

Universität Bayreuth

Lehrstuhl Didaktik der Biologie

**Energie als Querschnittskonzept im naturwissenschaftlichen
Unterricht: Entwicklung evidenzbasierter Vermittlungsstrategien
und schulpraktische Implementierung**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

– Dr. rer. nat. –

der Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften

an der Universität Bayreuth

vorgelegt von

Dipl.-Biologin

Yelva C. Larsen

2015

Diese vorliegende Dissertation wurde von Dezember 2009 bis Juli 2015 unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner angefertigt.

Dissertation eingereicht am:

Zulassung durch die Promotionskommission:

Wissenschaftliches Kolloquium:

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Rhett Kempe

Erstgutachter: Prof. Dr. Franz X. Bogner

Inhaltsverzeichnis

A. Summary.....	5
B. Zusammenfassung	7
C. Synopsis	10
C.1 Gesellschaftliche und schulische Relevanz	10
C.2 Ziele der Gesamtstudie	10
C.3 Theoretischer Hintergrund und Forschungsrahmen	11
C.3.1 Die kognitive Metapherntheorie.....	11
C.3.2 Energie als „cross-cutting“ Konzept	12
C.3.3 Steuerung phänomenorientierter Lernumgebungen	13
C.4 Umsetzung einer phänomenorientierten Vermittlung	14
C.4.1 Das Miniaturmodell.....	14
C.4.2 Die mobile Ausstellung	15
C.5 Die Umsetzung der Teilstudien	17
C.5.1 Teilstudie A	17
C.5.2 Teilstudie B	19
C.5.3 Teilstudie C	21
C.6 Zusammenfassung & Empfehlungen für den Unterricht.....	22
C.6.1 Verbindung von Phänomenen mit einem Energieflussdiagramm	22
C.6.2 Reflektierter Einsatz konzeptueller Metaphern	23
C.6.3 Differenzierung zwischen offener und abgeschlossener Systeme.....	23
C.6.4 Das Teilchenmodell zur Veranschaulichung von Energie	23
C.6.5 „Peer-monitoring“ als semiformeller Kompromiss.....	24
C.7 Literaturverzeichnis der Zusammenfassung	25
D Teilarbeiten	28
D.1 Publikationsmanuskripte	28
D.2 Darstellung des Eigenanteils	29
D.3 Artikel A	30
D.4 Artikel B	50
D.5 Artikel C	61
E Anhang	82
E.1 Vorstudie.....	82
E.2 Ausstellungsumsetzung	97
E.3 Auszeichnung UN-Dekade 2011/2012 „Bildung für nachhaltige Entwicklung“	100
E.4 Verwendete Fragebögen	101
E.5 Danksagung	116

A. Summary

Scientific literacy of the concept of energy plays an important role within all aspects of life and gets special emphasis in school. Energy as an abstract idea can only be perceived if linked to objects. Different characteristics of energy are part of biology, chemistry and physics education, and understanding energy as a cross-cutting concept presents a particular challenge. In this context, a phenomena-oriented and interdisciplinary learning environment was developed to foster experiences according to a scientific concept of energy (cf. Gropengießer, 2007); students' understanding of the presented phenomena (substudy A) and of energy as a cross-cutting concept (substudy B) was evaluated. In addition, substudy C examined the method of peer-monitoring in combination with workbook guidance to foster a self-responsible control of behaviour and to structure a phenomena-oriented, semiformal learning environment. The conceptual metaphor theory (Lakoff & Johnson, 1980) was applied as a research framework: Energy can be understood consciously by its effects as well as unconsciously by image schemata expressed with the help of conceptual metaphors (Lancor, 2014a). Image schemata are based on bodily experiences from early childhood (Lakoff & Johnson, 2008).

Substudy A focuses on the interplay between a phenomena-oriented learning and image schemata on students' understanding of energy. A scale model was developed that exemplified the processes of a real biogas plant, using energy-dependent phenomena interlinked with each other by the transfer of energy. A case study (n=23) including teaching experiments with students between 11 and 16 years of age demonstrated that the examination of the presented phenomena helped students to describe key aspects of energy. Results confirmed that the interpretation of newly made experiences with energy was based on pre-existing schemata. Two central image schemata could be identified: The person schema and the object schema. In contrast to older students, most learners up to 13 years applied the person schema and did not use conceptual metaphors in an analogical sense. Abstract thinking and analogical reasoning seems to be an essential prerequisite for a sophisticated understanding of conceptual metaphors as analogical images (cf. Gentner et al., 2001). Consequently, a reflected and critical use of metaphors appears to be of particular importance in the process of communicating the concept of energy, especially with reference to younger children without pre-knowledge.

In substudy B six aspects (input, transformation, transfer, degradation, output and conservation of energy) are deemed necessary to foster an interdisciplinary understanding of energy (see app. A). Still, based on the "system nature of the concept of energy" (Duit, 2014) the respective aspects are considered – depending on context - either in the light of closed or open systems. Both systems were combined by the representation of an open system (by using a

scaled model) within a closed system (by using a mental model). The learning approach of a joint representation was evaluated using case studies ($n = 12$) that included teaching experiments with 15 to 16-year-old students. Within the open system, the input, transfer and output of energy did not contradict with students' concepts of energy conservation. In contrast to the open system, students had serious difficulties to explain the conservation of energy outside of the scale model and applied non-academic concepts. In doing so, gaps in perception seemed to be filled with pre-existing image schemata. A molecular perspective is discussed to illustrate the conservation of energy within a closed system.

In substudy C obtained results of substudy A and B were incorporated into the development and implementation of a phenomena-oriented exhibition focusing on bioenergy. The mobile exhibition included minds-on and hands-on activity-stations to connect formal and informal learning (see app. B). Within the approach "bringing the science centre to school" it has been provided to schools in Upper-Franconia and has reached approximately 4200 students (August 2010 to July 2015). The exhibition received an award as a project of the UN decade "Education for sustainable development". "Peer-monitoring" was used to implement a self-responsible control of behaviour, it is based on a cooperative learning approach combined with a "positive dependence" (cf. Konrad, 2014). It was compared with "self-monitoring" regarding the level of knowledge, motivation and learning emotions ($n=470$). A between group comparison underlined, that the application of peer-monitoring resulted in an increased level of knowledge combined with a better perception of competence, while anxiety and boredom levels diminished. There is some evidence that regulation was not necessarily correlated with a feeling of restriction if guided by a person of the same age (cf. self-determination theory; Deci & Ryan, 2008). Peer-monitoring offers structural elements of control, which can be combined with specific educational objectives without a "top-down" teacher regulation. With its easy application, both in class as well as in out-of-school learning it seems to be a semiformal compromise between instruction and exploration. Learners' mutual regulation by the instructional design opens up diverse opportunities and further research will be needed to confirm cognitive and affective learning outcomes.

B. Zusammenfassung

Eine naturwissenschaftliche Grundbildung zum Energiekonzept spielt in allen Lebensbereichen eine zentrale Rolle und erfährt in einem schulischen Kontext einen hervorgehobenen Stellenwert. Energie ist eine abstrakte Vorstellung und kann nur gekoppelt an Objekte wahrgenommen werden. Das Energiekonzept kommt im Biologie-, Chemie- und Physikunterricht unterschiedlich zur Anwendung und eine fächerverbindende Vermittlung stellt eine besondere Herausforderung dar. Vor diesem Hintergrund wurde eine phänomenorientierte und fächerverbindende Lernumgebung entwickelt, welche beabsichtigt Erfahrungen im Sinne eines naturwissenschaftlichen Energiekonzepts zu stiften (vgl. Gropengießer, 2007). Die Lernwirksamkeit wurde hinsichtlich dem Verständnis der gezeigten Phänomene (Teilstudie A) und eines disziplinenübergreifenden Energiekonzepts (Teilstudie B) evaluiert. Darüber hinaus untersuchte Teilstudie C die Methode des „peer-monitoring“ als eigenverantwortliche Verhaltenskontrolle in Kombination mit „workbook guidance“ zur Strukturierung phänomenorientierter, semiformeller Lernumgebungen. Die kognitive Metapherntheorie (Lakoff & Johnson, 1980) dient als theoretischer Forschungsrahmen: Energie kann bewusst über Wirkungen als auch unbewusst über Image-Schemata erschlossen (Lakoff & Johnson, 2008) und über konzeptuelle Metaphern beschrieben werden (Lancor, 2014a). Image-Schemata beruhen auf frühkindlichen körperlichen Erfahrungen (Lakoff & Johnson, 2008).

Teilstudie A beschäftigt sich mit den Auswirkungen der Interaktion einer phänomenorientierten Lernumgebung und Image-Schemata auf das Lernverständnis von Energie. Es wurde ein Miniaturmodell entwickelt, das exemplarisch die Prozesse innerhalb einer realen Biogasanlage veranschaulicht; unterschiedliche energieabhängige Phänomene wurden dabei durch die Weiterleitung von Energie verbunden. Eine Fallstudie (n=23) unter Einbezug von Vermittlungsexperimenten mit 11 bis 16-Jährigen konnte darlegen, dass sich die Auseinandersetzung mit den dargestellten Phänomenen lernförderlich auf die Beschreibung zentraler Aspekte zum Energiekonzept auswirkte. Die Ergebnisse zeigen, dass neue Erfahrungen auf Grundlage bestehender Schemata interpretiert wurden. Zwei zentrale Image-Schemata konnten identifiziert werden: Das Personen-Schema und das Objekt-Schema. Im Gegensatz zu älteren Lernenden wendeten die meisten Lernenden bis 13 Jahre das Personen-Schema an und gebrauchten konzeptuelle Metaphern nicht als Analogie. Abstraktionsfähigkeit im Sinne eines „analogical reasoning“ scheint eine Grundvoraussetzung eines fachlichen Verständnisses konzeptueller Metaphern als „Sprachbilder“ zu sein (vgl. Gentner et al., 2001). Insbesondere bei jüngeren Lernenden ohne Vorwissen sollte daher der Einsatz von Metaphern als erklärendes Element zur Vermittlung eines Energiekonzeptes kritisch reflektiert werden.

In Teilstudie B wurden sechs Aspekte (Aufnahme, Abgabe, Umwandlung, Transport, Erhaltung und Entwertung von Energie) als besonders zentral für ein fächerverbindendes Energiekonzept erachtet (s. Anhang A). Auf Grundlage der systemischen Natur von Energie (“system nature of the concept of energy” Duit, 2014) werden die genannten Aspekte in den Naturwissenschaften jedoch kontextabhängig entweder in Bezug zu offenen oder abgeschlossenen Systemen gesetzt. In Teilstudie B wurden beide Systeme durch die Kombination eines offenen Systems (als gegenständliches Miniaturmodell) als Teil eines abgeschlossenen Systems (als Denkmodell) verbunden. Der Lernansatz einer gemeinsamen Repräsentation beider Systeme wurde mittels Fallstudien (n=12) unter Einbezug von Vermittlungsexperimenten mit 15 bis 16-Jährigen evaluiert. Innerhalb des offenen Systems stellte die Aufnahme, Weiterleitung und Abgabe von Energie keinen Widerspruch zu den Vorstellungen der Lernenden zur Energieerhaltung dar. Im Gegensatz zum offenen System hatten Lernende jedoch große Schwierigkeiten, die Energieerhaltung außerhalb des Modells zu erklären und wendeten fachlich falsche Konzepte an. Wahrnehmungslücken schienen hierbei durch Image-Schemata überbrückt worden zu sein. Zur Repräsentation der Energieerhaltung innerhalb eines abgeschlossenen Systems wird eine molekulare Perspektive diskutiert.

In Teilstudie C flossen die Ergebnisse von Teilstudie A und B praxisorientiert in die Entwicklung und Umsetzung einer phänomenorientierten Ausstellung zum Schwerpunkt Bioenergie ein. Vor dem Anspruch formelle und informelle Lernumgebungen zu verbinden wurde sie als mobile Ausstellung mit „hands-“ und „minds-on“ Stationen umgesetzt (s. Anhang B). Die Ausstellung rotiert mit dem Ansatz „Bringing the science center to school“ zwischen Schulen in Oberfranken, sie wurde bisher von ca. 4200 Lernenden besucht (August 2010 bis Juli 2015) und ist als offizielles UN-Dekade Projekt „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgezeichnet. „Peer-monitoring“ wurde zur Förderung einer eigenverantwortlichen Verhaltenskontrolle eingesetzt, welche auf kooperativem Lernen in Kombination mit einer „positiven Abhängigkeit“ (vgl. Konrad, 2014) basiert. Es wurde mit „self-monitoring“ in Bezug auf Wissenszuwachs, Motivation und Lernemotionen verglichen (n=470). Beim Zwischengruppenvergleich zeigte „peer-monitoring“ einen höheren Wissenszuwachs verbunden mit einer gesteigerten Kompetenzwahrnehmung und einer verringerten Wahrnehmung von Angst und Langeweile. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Steuerung durch Gleichaltrige nicht zwangsläufig als eine Einschränkung des Autonomieempfindens empfunden wird (vgl. Selbstbestimmungstheorie nach Deci & Ryan, 2008). „Peer-monitoring“ bietet strukturelle Steuerelemente, die ohne eine „top-down“ Lehrerregulierung mit konkreten Lernzielen kombiniert werden können. Durch die einfache Umsetzung über Rollenzuweisungen kann es als

Mittelweg zwischen Instruktion und Exploration, sowohl innerhalb als auch außerhalb der Schule zur Anwendung kommen. Eine Selbstregulierung der Lernenden über das instruktionale Design eröffnet unterschiedlichste Umsetzungsmöglichkeiten, es bedarf weiterer Forschung und empirischer Daten zur Bestätigung kognitiver und affektiver Lernchancen.

C. Synopsis

C.1. Gesellschaftliche und schulische Relevanz

In Lehrplänen und Curricula kommt dem Energiebegriff insbesondere in den naturwissenschaftlichen Fächern eine besondere Schlüsselrolle zu (NRC, 2012; Schweingruber, et al., 2013; KMK, 2004, 2005). Er ist von zentraler Bedeutung für das Verständnis einer Vielzahl biologischer, physikalischer und chemischer Prozesse, die unser heutiges Leben bestimmen (Bannwarth et al., 2007, S. 44).

In einem gesellschaftlichen Kontext ist die wirtschaftliche Entwicklung auf Wachstum basierender Gesellschaftsformen energiegetrieben. Die kontinuierliche Steigerung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe hat den Lebensstandard in den Industrienationen maßgeblich verbessert, aber auch schwerwiegende Umweltprobleme verursacht. Der Verbrauch fossiler Ressourcen zur Energieversorgung trägt maßgeblich zu einer weltweiten Klimaerwärmung bei (McGlade & Ekins, 2015). Ein vorausschauender Umgang mit den verbleibenden Ressourcen ist langfristig unabdingbar, weshalb Möglichkeiten einer nachhaltigen Energieversorgung weltweit ein hervorgehobener Stellenwert eingeräumt wird. Ein fachlich adäquates Verständnis von Energie ist im Sinne einer Bewertungskompetenz eine wichtige Voraussetzung innerhalb der Debatte einer möglichst ökologisch vertretbaren und langfristig gesicherten Energieversorgung (DeWaters & Powers, 2011).

C.2. Ziele der Gesamtstudie

Der abstrakte Begriff Energie und somit die Vorstellung von Energie können wegen ihrer schwierigen Erfassbarkeit in den naturwissenschaftlichen Fächern eine Barriere für Lernende darstellen (u.a. Nordine, Krajcik & Fortus, 2010; Chen et al., 2014). In dieser Konsequenz steht bereits seit den 1970er Jahren die Diskrepanz von Vorstellungen Lernender zu wissenschaftlichen Vorstellungen zum Energiebegriff im Fokus der Lehr- und Lernforschung. Eine Zusammenstellung von Studien zu Schülervorstellungen umfasst mehr als 190 Arbeiten zu diesem Themengebiet (Duit, 2009). Absicht der vorliegenden Gesamtstudie ist es Lernhürden aus Perspektive einer Vorstellungsgenese darzustellen, zu analysieren und phänomenorientierte Vermittlungsansätze zum Verständnis eines disziplinenübergreifenden Energiekonzeptes zu bilden. Die drei Teilstudien der Gesamtstudie haben folgende Schwerpunkte:

- Phänomenorientierte Vermittlung von Energie: Evaluation der Lernwirksamkeit vor dem Hintergrund der kognitiven Metapherntheorie (Teilstudie A).

- Fächerverbindende Vermittlung von Energie: Evaluation der Lernwirksamkeit des Denkmodells „thinking in systems“ (Teilstudie B).
- Strukturierung phänomenorientierter und schülerzentrierter Lernumgebungen: Evaluation der Lernwirksamkeit von „peer-monitoring“ als eigenverantwortliche Verhaltenskontrolle in Kombination mit „workbook guidance“ (Teilstudie C).

C.3 Theoretischer Hintergrund und Forschungsrahmen

C.3.1 Die kognitive Metapherntheorie (Teilstudie A)

Lakoff und Johnson (2008) erweiterten mit der kognitiven Metapherntheorie den Begriff der Metapher grundlegend: Sie deuten die Metapher, neben ihrer Funktion als poetisch-rhetorisches Stilmittel, als Ergebnis eines kognitiven Prozesses. Im deutschsprachigen Raum findet die kognitive Metapherntheorie in der Lehr- und Lernforschung in der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens Anwendung (Gropengießer, 2007; Groß, 2007). Bereits frühkindlich haben wir über sich wiederholende Erfahrungen mit dem eigenen Körper und der Umwelt Schemata entwickelt und verinnerlicht, welche als Image-Schemata bezeichnet werden (Lakoff und Johnson, 2008). Sie beziehen sich auf ein bekanntes, erfahrbares Bezugssystem und können unbewusst über konzeptuelle Metaphern und Analogien auf ein neues abstraktes Zielobjekt übertragen werden, welches nicht unmittelbar erfahrbare ist („base-to-target mapping“, Gentner et al., 2001; Goswami, 2001). Konzeptuelle Metaphern vereinen somit Ursprungs- und Zielbereich und bauen auf Erfahrungen auf, selbst wenn sie körperlich nicht erfahren werden können („embodiment of mind“, Lakoff, 1990, S. 267; Lakoff & Johnson, 2008). Vergleichbare Ansätze finden sich auch in vorausgehenden Theorien: Piaget charakterisierte die Verinnerlichung von Handlungen als den Übergang zum Denken (zitiert in Ginsburg & Oppen, 1998). Auch wenn Piagets Stufenmodell einer kognitiven Entwicklung vom konkreten Handeln zum abstrakten Denken nicht aufrechterhalten werden konnte (Saalbach, Grabner & Stern, 2013), so besteht dennoch das Bestreben, neuartige Phänomene an bekannte Schemata und Konzepte zu assimilieren.

Energie als abstrakter Begriff ist für unsere Sinne unsichtbar und Image-Schemata kommen zur Anwendung (Lancor, 2014). Energie kann aber auch über Wirkungen wahrgenommen werden und vorausgehende Studien haben wiederholt die Lernförderlichkeit einer Vermittlung über Phänomene bestätigt (u.a. Brook & Wells, 1988; Watts, 1983; Driver, 1994; Nordine et al., 2010; Duit, 2014).

In Anlehnung an die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer, 2007; Groß, 2007) wird postuliert, dass eine phänomenorientierte Vermittlung Erfahrungen zu Energie stiften kann, die sich positiv auf die fachliche Anschlussfähigkeit vorhandener Konzepte der Lernenden auswirken.

Diese Annahme beruht auf dem Ansatz, dass Vorstellungen auf Grundlage verfügbarer Image-Schemata zumeist eine größere Varianz und geringere fachliche Anschlussfähigkeit zeigen als Vorstellungen, die auf direkten, unmittelbaren Erfahrungen basieren. Energie ist jedoch immer nur in Ausschnitten erfahrbar und es wird vermutet, dass es bei der Stiftung von Erfahrungen über eine phänomenorientierte Vermittlung zu einer Überschneidung von Wahrnehmung und Imagination kommt. Konzepte zur Energie werden dabei über zwei interagierende Zugänge erschlossen, sie basieren auf direkten, unmittelbaren Erfahrungen und der Übertragung bereits vorhandener Schemata auf Energie als abstrakten Begriff. In Anlehnung an die kognitive Metapherntheorie (Lakoff & Johnson, 2008) dienen Metaphern als Übertragungsmedium (Gropengießer, 2007). Ihre Analyse bietet die Möglichkeit vorhandene Schemata zu identifizieren und auf ihre Lernwirksamkeit bei der Übertragung auf Konzepte zur Energie zu untersuchen.

C.3.2 Energie als „cross-cutting“ Konzept (Teilstudie B)

Vor dem Hintergrund einer kontextspezifischen Betrachtung von Energie in den Fachwissenschaften, stellt der schulische Anspruch einer fächerverbindenden Betrachtung eine besondere Lernhürde dar (Schweingruber et al, 2012). Lernangebote, die ein ganzheitliches Verständnis von Energie fördern, erfordern eine kohärente Verbindung einer physikalischen, biologischen und chemischen Sichtweise von Energie. Nur wenige Studien hatten jedoch bisher zum Ziel in diesem Diskurs eine disziplinenübergreifende Perspektive aufzuzeigen (Cooper & Klymkowsky, 2013; Nagel & Lindsey, 2015; Redish et al., 2014). Ansätze zum Verständnis eines fächerverbindenden Energiekonzepts aufzuzeigen, ist Absicht von Teilstudie B.

Es werden sechs Aspekte als zentral für ein ganzheitliches Verständnis von Energie ermittelt: Aufnahme, Umwandlung, Transport, Erhaltung, Entwertung und Abgabe von Energie (Anhang 1). Innerhalb der Fachdisziplinen unterscheiden sich nicht nur die relevanten Aspekte zum Energiekonzept, sie kommen auch in unterschiedlichen Systemvorstellungen zur Anwendung. Dem Aspekt der Energieerhaltung liegt die idealisierte Vorstellung eines abgeschlossenen Systems zugrunde. Es ist insbesondere im Bereich der Physik bedeutsam, hat jedoch für lebende Organismen in einem biologischen Kontext keine Relevanz: Organismen können als offene Systeme betrachtet werden, die entropiearme Energie aufnehmen und entropiereiche „entwertete“ Energie abgeben.

Eine mangelnde Differenzierung offener und abgeschlossener Systeme kann Ursache fälschlich falscher Vorstellungen sein, beispielsweise im Kontext einer alltagsweltlichen Vorstellung der Herstellung und des Verbrauchs von Energie. Als Vermittlungsstrategie wird die Abgrenzung beider Systeme durch die Modellvorstellung offener Systeme als Teil eines abgeschlossenen Systems evaluiert.

C.3.3 Steuerung phänomenorientierter Lernumgebungen (Teilstudie C)

Konstruktivistische Arbeitsweisen favorisieren ein autonomes und schülerzentriertes Lernen, wobei sich der Lernende sein Wissen eigenständig aus den angebotenen Informationen konstruiert (Mayer, 2004). Zu viel Selbststeuerung kann jedoch auch eine Überforderung darstellen (Rittle-Johnson, 2006; Klahr & Nigam, 2004). Selbstständig erforschende Arbeitsweisen in Verbindung mit minimaler Anleitung waren in der Vergangenheit wiederholt der Kritik ausgesetzt (e.g. Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Mayer, 2004). Schüler/innen, die eine Problemstellungen mithilfe konkreter Hilfestellungen („direct guided instruction“) bearbeiteten, zeigten in Metaanalysen im Vergleich zu „non-guided discovery learning“ einen signifikant höheren Lernerfolg (Alfieri et al., 2011; Kirschner, Sweller & Clark, 2006). Ein Überangebot an Reizen und Informationen und ein Verlust an Lenkung kann bei informellen Lernangeboten beispielsweise eine Überforderung darstellen (Allen, 2004). Mayer (2004) bezeichnet konstruktivistische Arbeitsweisen mit minimaler Anleitung als ineffektiv und ineffizient.

Overall, the constructivist view of learning may be best supported by methods of instruction that involve cognitive activity rather than behavioral activity, instructional guidance rather than pure discovery, and curricular focus rather than unstructured exploration (Mayer, 2004, S. 14).

Bisherige Studien haben den Fokus jedoch hauptsächlich auf den Lernerfolg und weniger auf die Komponenten „intrinsische Motivation“ und „Lernemotionen“ gelegt (Alfieri et al. 2011). Nach der Selbstbestimmungstheorie (SDT) sind die Grundbedürfnisse Autonomie, Kompetenz und soziale Eingebundenheit wichtige Motivationsgrundlagen (Deci & Ryan, 2008). Eine zu starke Einschränkung der Autonomie kann demnach den Forscherdrang der Schüler/innen minimieren und sich negativ auf die intrinsische Motivation und die Lernemotionen auswirken (vgl. Bamberger & Tal, 2007; Cox-Petersen et al. 2003; Tal, Bamberger & Morag, 2005).

In der Gegenüberstellung zu vorherigen Studien, die instruktionale und explorative Ansätze verglichen, wurde in der vorliegenden Studie ausschließlich die Steuerung von Strukturvorgaben mittels „peer-monitoring“ und „self-monitoring“ variiert. Brown und Kollegen (Brown et al., 1999) beschreiben „peer-monitoring“ wie folgt:

Peer monitoring of learning behaviours involves learners keeping an eye on whether their partners are going through appropriate and effective processes and procedures of learning (S. 174).

„Peer-monitoring“ wurde in Kombination mit Rollen zur Förderung einer eigenverantwortlichen Verhaltenskontrolle eingesetzt, welche auf kooperativem Lernen in Kombination mit einer „positiven Abhängigkeit“ (vgl. Konrad, 2014) basiert. Vor dem Hintergrund der SDT stellt sich hierbei Frage, wie sich „peer-monitoring“ auf die wahrgenommene Autonomie und Kompetenz der Lernenden auswirkt.

C.4 Umsetzung einer phänomenorientierten Vermittlung

Energie ist abstrakt, kann aber über Wirkungen wahrgenommen werden, die Lernwirksamkeit der Visualisierung über Phänomene konnte wiederholt bestätigt werden (u.a. Driver, 1994; Nordine et al., 2010; Duit, 2014). Alle drei Teilstudien basieren auf phänomenorientierten Lernangeboten, welche im Folgenden dargestellt werden.

C.4.1 Das Miniaturmodell (Teilstudie A & B)

Zur Erfahrungsstiftung wurde ein Miniaturmodell entwickelt, welches Energie über einen Energiefluss darstellt. Es zeigt die Weitergabe von Energie, beginnend mit der Zufuhr chemischer Energie durch die mikrobielle Verwertung von Biomasse bis hin zur Stromerzeugung (Fig.1). Während der Auseinandersetzung mit dem Modell konnte Energie über „Energieindikatoren“ identifiziert werden. Der „Weg“ der Energie konnte über ein Energieflussdiagramm verfolgt und dargestellt werden.

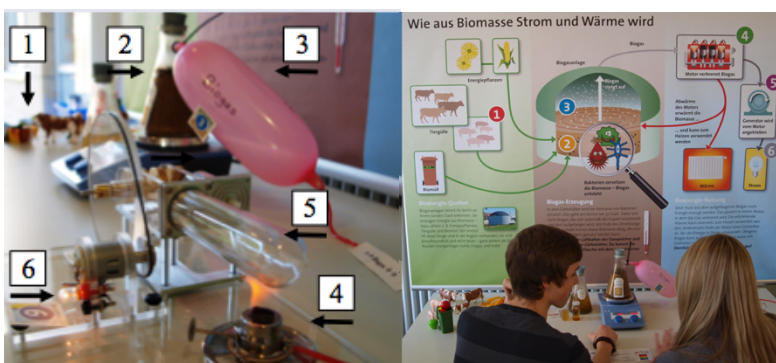


Abb. 1: links:
 (1) Zufuhr von Biomasse;
 (2) Bakterielle Produktion von Biogas;
 (3) Speicherung von Biogas;
 (4) Verbrennung von Biogas;
 (5) Bewegung eines Sterlingmotors;
 (6) Betrieb einer Glühlampe;
 rechts: Lernende bei der Auseinandersetzung mit dem Miniaturmodell

Während der Auseinandersetzung mit dem Modell sollte Energie über „Energieindikatoren“ identifiziert und der Energiefluss innerhalb des Modells beschrieben und aufgezeichnet werden. Hierbei sollten die zentralen Aspekte von Umwandlung, Transport, Erhaltung, Entwertung, Aufnahme und Abgabe von Energie auf das Miniaturmodell übertragen werden.

C.4.2 Die mobile Ausstellung (Teilstudie C)

Praxisorientiert wurde in Zusammenarbeit mit dem Regionalmanagement von Stadt und Landkreis Bayreuth eine mobile Ausstellung zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse entwickelt und umgesetzt. Der Schwerpunkt der Ausstellung befasste sich mit nachhaltigen Nutzungsmöglichkeiten von Bioenergie. Mit dem Ansatz „Bringing the science center to school“ kommt die mobile Ausstellung in Schulen zum Einsatz. Eine handlungsorientierten Erfahrungsstiftung und Wissensvermittlung wurde über „hands-on“- und „minds-on“-Stationen vereinbart. Zur Umsetzung einer semiformalen Lernumgebung wurden zwei Steuerungsinstrumente favorisierte, welche gemeinsam zur Anwendung kamen:

- 1) Die materielle Steuerung über ein Forscherheft
- 2) Die personale Steuerung über „peer-monitoring“ mit Hilfe von Rollenkärtchen

Teilstudie C evaluiert die Methode des „peer-monitoring“ im Vergleich zu einer Selbststeuerung über „self-monitoring“.

Wissensvermittlung über „hands-on“ und „minds-on“-Stationen

Die Ausstellung beinhaltet zwei Lernzirkel: „Entflammt für Energie“ und „Bioenergie-Edutainment“ mit insgesamt 14 mobilen Stationen. Die Entwicklung eines didaktischen Konzepts, die Pilotierung und Evaluation der „Bioenergie-Edutainment“-Stationen erfolgte im Rahmen der vorliegenden Dissertation. Der Sachbericht ist verfügbar unter (Stand Juli, 2015): <http://www.region-bayreuth.de/Bioenergieregion/BioenergieFachprojekte/Umweltbildung/Bioenergie-Edutainment-Programm.aspx>

Die Projektpartner setzten sich aus dem universitären (Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Jochen Koubek, Angewandte Medienwissenschaft der Universität Bayreuth), schulischen (Zusammenarbeit mit Frau Karoline Scholl, Albert-Schweitzer-Mittelschule Bayreuth) und Umweltbildungs-Bereich (Zusammenarbeit mit Dipl. Biol. Thomas Kappauf, Umweltschutz-Informationszentrum Lindenhof) zusammen. Im Rahmen der Pilotierung wurden zwei Zulassungsarbeiten von den Lehramtsstudentinnen Romana Tamm und Anna-Lena Waldmann angefertigt. Eine ausführliche Beschreibung der Stationen und ein Kurzfilm zur Ausstellung sind online verfügbar (Stand Juli, 2015):

<http://www.region-bayreuth.de/Bioenergieregion/BioenergieFachprojekte/Umweltbildung.aspx>

Die Deutsche UNESCO Kommission hat die Stationen als offizielles Projekt der UN - Dekade 2011/2012 „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgezeichnet. Sie werden als mobile Ausstellungen im Landkreis eingesetzt und sind bisher von ca. 4200 Lernenden besucht worden (Stand: Juli, 2015). Einzelne Stationen können ebenfalls von Schulen entliehen werden. Sie eignen sich für Projekttag und den Nachmittagsunterricht an Ganztagschulen, können aber ebenso in den laufenden Fachunterricht eingebunden werden.

Didaktisches Konzept

Das Konzept von „hands-on“- und „minds-on“- Stationen kombiniert eine ganzheitliche, handlungsorientierte Auseinandersetzung mit einer Wissensvermittlung über Infostationen. Das Stiften von Erfahrungen wurde mit einer materiellen Steuerung über ein Forscherheft und einer personalen Steuerung über Gleichaltrige mittels „peer-monitoring“ begleitet. In Teilstudie C wird „peer-monitoring“ mit einer Selbststeuerung über „self-monitoring“ verglichen und evaluiert. Innerhalb der Ausstellung sollte Bioenergie als Überbegriff energetischer Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse verstanden werden. Die Ausstellung basiert auf einer Gegenüberstellung von fossilen und nachwachsenden Rohstoffen auf Grundlage von industriellen Produkten und Brennstoffen. Es werden Umweltproblematiken und die Begrenztheit fossiler Rohstoffe aufgezeigt und ökologisch verträgliche Handlungsalternativen vermittelt. Dabei wird die Vielfalt der nachwachsenden Rohstoffe bei der Verwendung fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe durch exemplarische Beispiele mit Alltagsbezug aufgezeigt. Veranschaulicht werden sie beispielsweise durch den Einsatz von Holz, einer Ölpresse und einer Modellbiogasanlage. Mit Hilfe einer Brennstofforgel werden die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten vereint und mit fossilen Rohstoffen verglichen. Sie besteht aus acht Säulen (Mineralöl, Rapsöl, Holzpellets, Weizen, Braunkohle, Maissilage, Holzpellets, Getreidestroh). Der Energiegehalt jeder Säule entspricht einer KWh. Der Lernzirkel „Entflammt für Energie“ legt einen besonderen Schwerpunkt auf eine fächerverbindende Vermittlung, indem er die Nutzung nachwachsender Rohstoffe mit künstlerischen Aspekten und einer ästhetischen Betrachtung vereinigt. Die Schüler/innen setzen sich dabei selbstständig „mit eigenen Händen“ mit der Thematik auseinander, dabei wird beispielsweise gefühlt, gemalt, gesägt und gebastelt.

C.5. Die Umsetzung der Teilstudien

C.5.1. Teilstudie A

Tab. 1: Tabellarische Zusammenfassung der Teilstudie A

Lernhürde	Erfahrungsbasierte Deutung von Phänomenen im Kontext Energie
Theorie	• Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens • Kognitive Metapherntheorie
Umsetzung	Vermittlungsexperimente mit einem Miniaturmodell & Einzelinterviews n: 9 (männlich: 4, weiblich: 5), 6./7. Jahrgangstufe, Gesamtschule n: 14 (männlich: 10, weiblich: 4), 9. Jahrgangstufe, Gymnasium
Auswertung	• Vorstellungsentwicklung: Pre-/ Postvergleich der Schüleraussagen zu den zentralen Aspekten zur Energie • Kognitionslinguistische Inhaltsanalyse: Identifikation von Konzepten und zugrundeliegender Image-Schemata
Ergebnisse	• Vorstellungsentwicklung: geringere Variation innerhalb der Konzepte nach der Auseinandersetzung mit dem Miniaturmodell • Zentrale Image-Schemata: Person-Schema (Energie als Lebewesen) und Objekt-Schema (Energie als Substanz)
Didaktische Empfehlung	• Lernhürde: Mangelndes metaphorisches Verständnis (scheinbar in Abhängigkeit vom Alter und/oder Vorwissen) • Reflektierter Einsatz von Substanzmetaphern als erklärendes Element (insbesondere bei jüngeren Lernenden ohne Vorwissen) • Lernbegleitung bei einer Erfahrungsstiftung über eine phänomenorientierte Lernumgebung

Eine phänomenorientierte Vermittlung bietet einerseits die Lernchance durch das Stiften von Erfahrungen zum Energiekonzept eine Ergänzung bzw. Alternative zu vorhandenen Image-Schemata aufzuzeigen. Andererseits können gezeigte Phänomene auf Grundlage bestehender Schemata fachlich falsch interpretiert werden. In diesem Zusammenhang bietet die Analyse von Metaphern die Möglichkeit vorhandene Image-Schemata aufzudecken, ihre Lernwirksamkeit zu untersuchen und Verstehensprozesse nachzuvollziehen. 23 Schüler/-innen zwischen 11 und 16 Jahren wurden während ihrer Auseinandersetzung mit einem phänomenorientierten Miniaturmodell (Abb.1) befragt, die Stichprobe wurde in zwei Gruppen unterteilt (Tab. 1). In Anlehnung an die Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010, S. 602, vgl. Niebert & Gropengießer, 2014) wurden anhand der Schüleraussagen Konzepte erkannt. Zur Identifikation übergeordneter Image-Schemata (kognitive Metapherntheorie; Lakoff & Johnson, 2008) wurden in einer zweiten Analyse die Schüleraussagen auf die Verwendung von Substanzmetaphern und zugrundeliegender Schemata untersucht (Schmitt, 2015).

Die Ergebnisse demonstrierten, dass im Gegensatz zu älteren Lernenden mit Vorwissen, Lernende zwischen 11 und 13 Jahren vor der Auseinandersetzung mit dem Miniaturmodell Schwierigkeiten hatten Vorstellungen zu den genannten Aspekten zu entwickeln und zu verbalisieren. Nach der Auseinandersetzung konnten die Aspekte am Beispiel der dargestellten Phänomene beschrieben werden. Es zeigte sich bei den Lernenden eine geringere Varianz innerhalb der genannten Konzepte. Anhand der gefundenen Konzepte konnte eine Überschneidung von Wahrnehmung und Imagination bestätigt werden, das Person-Schema (Lakoff & Johnson, 1999, S. 34-36; Lakoff & Johnson 2003, S. 28-29) und das Objekt-Schema (Lakoff & Johnson 1987, S. 126; Lancor, 2014) konnten als zwei zentrale Image-Schemata identifiziert werden. Energie wurde hierbei nicht als abstrakter Begriff, sondern als konkrete Materie verstanden (Lancor, 2014). Im Gegensatz zu älteren Lernenden mit Vorwissen, zeigten die Konzepte der Lernenden zwischen 11 und 13 Jahren auch nach der Auseinandersetzung eine geringe fachliche Anschlußfähigkeit. Im Unterschied zu den älteren Lernenden zwischen 15 und 16 Jahren waren die meisten jüngeren Lernenden nicht in der Lage die verwendeten Metaphern als Analogien zu verstehen. Als Fallbeispiel spricht Aylana von „kleinen Energiedingern“, dabei personalisiert Aylana Energie als Subjekt mit den körperlichen Eigenschaften eines Lebewesens. Energie bewegt sich eigenständig ohne den Transport über einen Energieträger. Auf Grundlage ihrer eigenen Fortbewegung besitzt Aylana eine verkörperte Vorstellung, die auf Energie übertragen wurde. Im Zusammenhang mit den verschiedenen Aspekten zur Energie sollte der Mangel eines „analogical reasoning“ (Goswami, 2001) in Abhängigkeit vom Alter und Vorwissen genauer untersucht werden (vgl. Neumann et al., 2013; vgl. Opitz et al., 2015). Vor dem Hintergrund der Ergebnisse sollte der Einsatz von Substanzmetaphern als erklärendes Element in der Vermittlung kritisch in Bezug zu den Lernervoraussetzungen reflektiert werden.

C.5.2 Teilstudie B

Tab. 2: Tabellarische Zusammenfassung der Teilstudie B

Lernhürde	Fachspezifische Modellvorstellung offener und abgeschlossener energetischer Systeme
Theorie	• Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens • Kognitive Metapherntheorie
Strategie	Repräsentation eines gegenständlichen Miniaturmodells (offenes System) in Kombination mit einem mentalen Denkmodell (abgeschlossenes System)
Umsetzung	Vermittlungsexperimente & Einzelinterviews (n: 12, Alter: 15-16 Jahre)
Auswertung	• Vorstellungsentwicklung: Vergleich der naturwissenschaftlichen Anschlussfähigkeit der Schüleraussagen zum offenen/ abgeschlossenen System • Kognitionslinguistische Inhaltsanalyse: Identifikation von Konzepten und zugrundeliegender Image-Schemata
Ergebnisse	• zentrales Denkschema: Geber-Gabe-Nehmer Schema • offenes System: Übertragung des Geber-Gabe-Nehmer Schemas führte zu fachlich anschlussfähigen Vorstellungen • abgeschlossenes System: Übertragung des Geber-Gabe-Nehmer Schemas führte zu fachlich falschen Vorstellungen der Energieerhaltung
Didaktische Empfehlung	• Lernhürde: Energieerhaltung wurde nur verstanden, wenn sie wahrgenommen werden konnte • Das Teilchenmodell als Möglichkeit Energie „erfahrbar zu machen“, auch wenn sie visuell nicht mehr wahrgenommen werden kann.

In der Schule könnte Energiebildung ein verbindendes Element zwischen den naturwissenschaftlichen Disziplinen sein. Das Verständnis von Energie ist jedoch unterschiedlich, in biologischen Systemen scheint dieses beispielsweise im Widerspruch zu den Gesetzen der Physik zu stehen. Physikalische Systeme werden in Bezug auf die Energieerhaltung oft als idealisierte geschlossene Systeme betrachtet, während in offenen ökologischen oder physiologischen Systemen ein dynamisches Gleichgewicht dominiert. Das Denkmodell „thinking in systems“ beabsichtigt, Aspekte von Umwandlung, Transport, Erhaltung, Entwertung, Aufnahme und Abgabe von Energie in einem fächerverbinden Ansatz zu vereinen und Energie als Querschnittskonzept im naturwissenschaftlichen Unterricht aufzuzeigen. Das Modell betrachtet offene Systeme (mit der Aufnahme und Abgabe von Energie) als Teil eines "idealisierten" geschlossenen Systems, in dem die Gesamtmenge an Energie erhalten bleibt. Die Umsetzung des offenen Systems gewährleistet ein Miniaturmodell, das mit der Umwelt (betrachtet als geschlossenes System), im Austausch steht (Abb.2).

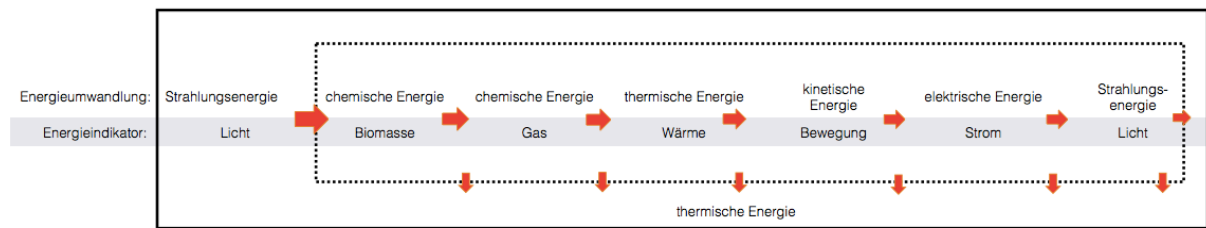


Abb. 2: Schematische Darstellung des Energieflusses über dem Miniaturmodell. Gestrichelte Linie: offenes System, durchgezogene Linie: abgeschlossenes System, Pfeile: Energiefluss

Es wurden vier Vermittlungsexperimente mit Fokusgruppen (Tab. 2) von jeweils drei Lernenden (9. Klasse, Gymnasium) durchgeführt. Innerhalb des Miniaturmodells konnten die Aspekte zur Energie von den Lernenden beobachtet und beschrieben werden. Außerhalb des Modells war der Verbleib der Energie jedoch nicht mehr durch Wirkungen erfahrbar, entzog sich der Wahrnehmung und konnte nicht mehr gedeutet werden. Besonders das Verständnis der Energieerhaltung ist dabei mit Verständnisschwierigkeiten verbunden. Das Geber-Gabe-Nehmer Schema (Gropengießer, 2007; vgl. Lakoff & Johnson, 2008) wurden scheinbar durch direkte Erfahrungen mit Energie bestätigt und auf einen nicht mehr wahrnehmbaren Vorstellungsbereich außerhalb des Modells übertragen, fachlich falsche Vorstellungen waren die Folge (Tab. 3).

Tab. 3: Fallbeispiele zur Vorstellungsentwicklung von Schüler/innen zwischen 15 und 16 Jahren

	fördert	wird übertragen auf
Direkt Erfahrung (Energie innerhalb des Miniaturmodells als offenes System)	Image-Schemata: Geber-Gabe-Nehmer Schema	Imaginative Vorstellung (Energie außerhalb des Miniaturmodells als Denkmodell eines abgeschlossenen Systems)
„Die Lampe gibt Licht an die Umgebung ab.“ Sarah (15 J.)	Energie ist im (Kreis)lauf	„Das Licht wird für die Photosynthese auf Pflanzen übertragen.“ (Sarah, 15 J.)

Folgestudien sollten die Betrachtung auf Teilchenebene zur Veranschaulichung und Deutung energetischer Umwandlungsprozesse untersuchen, auch wenn diese nicht mehr über Phänomene wahrgenommen werden können (vgl. Arons, 1999; Van Heuvelen & Zou, 2001).

C.5.3 Teilstudie C

Tab. 4: Tabellarische Zusammenfassung der Teilstudie C

Lernhürde	Steuerungselemente in einer phänomenorientierten und schülerzentrierten Lernumgebung
Theorie	Selbstbestimmungstheorie (Deci & Ryan, 2008)
Strategie	Strukturierung über Rollenvorgaben mittels „peer-monitoring“ und Forscherheften
Umsetzung	Vergleich der affektiven und kognitiven Lernförderlichkeit von „peer- und self-monitoring“ (n=470)
Auswertung	Pre-, post-, follow up-Fragebogendesign mit statistischer Auswertung (SPSS Statistics 21)
Ergebnisse	Alle Teilnehmer der Intervention hatten einen signifikanten Wissenszuwachs im Vergleich zur Kontrollgruppe. Teilnehmer mit „peer“-gesteuerten Rollenvorgaben hatten im Vergleich zu Teilnehmern ohne Vorgaben folgende signifikante Unterschiede: • Steigerung von Wissenszuwachs und Kompetenzwahrnehmung • Verringerung der Wahrnehmung von Angst und Langeweile
Didaktische Empfehlung	Anwendung von „peer-monitoring“ als Kompromiss zwischen „self-monitoring“ und „teacher-monitoring“

Für eine schulpraktische Implementierung einer phänomenorientierten Vermittlung von Energie wurden Vermittlungsansätze zur Überwindung von Lernhürden in einer mobilen Ausstellung zur Energiebildung mit „hands-on“- und „minds-on“-Stationen umgesetzt. Mit dem Ansatz „Bringing the science center to school“ untersucht die Teilstudie „peer-monitoring“ als Kompromiss zwischen einer Selbststeuerung und einer lehrerzentrierten „top-down“-Lenkung. Zur schülerzentrierten Strukturierung der handlungsorientierten Stationen wurden Rollen (Vorleser, Material-, Lärm- und Zeitwächter) mit definierten Vorgaben zur Bearbeitung der Stationen entwickelt und evaluiert. Mit der Ausführung der Rollen kontrollierten sich die Schüler/-innen gegenseitig in der Bearbeitung der Stationen. 470 Schüler/-innen der Haupt- und Mittelschule (Jahrgangsstufe 8/9) haben an der Studie teilgenommen. Der Wissenszuwachs der Gruppe mit Rollenvergabe (peer-monitoring, n: 230, weiblich: 49,4%), der Gruppe ohne Rollenvergabe (n: 218, weiblich: 47,7%) und einer Kontrollgruppe (n: 22, weiblich: 34,8%) wurde in einem Vor-Nach-Behaltenstest-Design verglichen. Zusätzlich zu einem multiple-choice-Wissenstest wurden Motivation, Lernemotionen und kognitive Belastung der Teilnehmer ermittelt. Alle Teilnehmer der Intervention besaßen im Nach- und Behaltenstest ein höheres Wissen im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Beim Zwischengruppenvergleich zeigte die Gruppe mit „peer“-gesteuerter Rollenzuweisung einen höheren Wissenszuwachs im Vergleich zur Gruppe ohne Rollenzuweisung. Ebenfalls war die Wahrnehmung der Kompetenz gesteigert und die Wahrnehmung von Angst und Langeweile zur Gruppe ohne Rollenzuweisung verringert. Alle genannten Unterschiede waren signifikant. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Fremdsteuerung durch Gleichaltrige nicht zwangsläufig mit einer Einschränkung des Autonomieempfindens verbunden ist.

C.6. Zusammenfassung & Empfehlungen für den Unterricht

Aus der Gesamtstudie können folgende Empfehlungen für die Vermittlung des Energiekonzepts und die Gestaltung von Unterricht abgeleitet werden:

C.6.1. Verbindung von Phänomenen mit einem Energieflussdiagramm (Teilstudie A)

In Teilstudie A konnte der vorher-nachher Vergleich der ermittelten Schülerkonzepte aufzeigen, dass die Lernenden vor einer tomenorientierten Auseinandersetzung große Schwierigkeiten hatten Vorstellungen zu den genannten Aspekten zu entwickeln. Ohne ein konkretes Bild fällt Lernenden die Verbalisierung von Vorstellungen zur Energie als abstrakter Begriff offensichtlich sehr schwer. Das Lernangebot zielte darauf ab, zu den genannten Aspekten Erfahrungen zu stiften, indem die aufgezeigten Phänomene über den „Fluss“ der Energie miteinander verbunden wurden. Er sollte von den Lernenden beschrieben und in einem Energieflussdiagramm dargestellt werden. Nach der aktiven Auseinandersetzung mit dem Lernangebot konnten die Aspekte am Beispiel der dargestellten Phänomene beschrieben werden und Lernenden zeigten eine höhere Anzahl übereinstimmender Konzepte.

C.6.2. Reflektierter Einsatz von konzeptueller Metaphern (Teilstudie A)

Die Verwendung von Substanzmetaphern ist im Kontext Energie besonders präsent, sie werden sowohl von Lernenden als auch in der Fachliteratur als erklärendes Element verwendet (Lancor, 2014 a,b). Ihr Einsatz in der Vermittlung bietet die Möglichkeit abstrakte Sachverhalte zu veranschaulichen (Niebert, Marsch & Treagust, 2012). Relationale Gemeinsamkeiten zur Veranschaulichung kommen auch in anderen Kontexten zur Anwendung, z.B. als Analogien im Modelldenken. Ihr Verständnis setzt jedoch die Fähigkeit zur Differenzierung zwischen dem wörtlich Gesagten und dem übertragenen Gemeinten voraus (. Die Ergebnisse der Teilstudie A deuten an, dass das Verständnis einer konzeptuellen Metapher als Analogie im Kontext Energie ein bereichsspezifisches Vorwissen und/oder ein abstraktes Denkvermögen vorauszusetzen scheint.

Ihr Verständnis stellt jedoch eine Grundvoraussetzung zum Erlernen fachlich korrekter Vorstellungen zum Energiekonzept dar. Falls sich die Ergebnisse in Folgestudien bestätigen, sollten curriculare Vorgaben vor diesem Hintergrund diskutiert werden.

C.6.3. Unterscheidung zwischen offener und abgeschlossener Systeme (Teilstudie B)

Der Energiebegriff wurde fachspezifisch geklärt (Anhang 1), es konnten folgende zentrale Aspekte eines übergreifenden Energiekonzepts identifiziert werden: Aufnahme, Umwandlung, Transport, Entwertung, Abgabe und Erhaltung von Energie. Ihnen liegen jedoch unterschiedlichen Modellvorstellungen von Systemen zugrunde, welche im Unterricht thematisiert werden sollten: Unter Berücksichtigung der Energieerhaltung sind in der Physik offene Systeme Teilsysteme eines übergeordneten abgeschlossenen Systems, in dem der Satz der Energieerhaltung zur Anwendung kommt. Für biologische Systeme hat hingegen der Satz der Energieerhaltung keine Relevanz. Lebende Organismen können jedoch ebenfalls als offene Teilsysteme betrachtet werden, die untereinander wechselwirken und zwischen denen Informations-, Energie- und Stoffströme bestehen können. Energie wird hierbei aus der Umwelt aufgenommen, gespeichert und wieder an die Umwelt abgegeben. Hierbei stellt die Vorstellung eines abgeschlossenen Systems ohne externe Energiezufuhr und -abfuhr aus biologischer Sicht eine „Sackgasse“ dar (vgl. Von Bertalanffy, 1950), was in der Vermittlung berücksichtigt werden sollte.

C.6.4 Das Teilchenmodell zur Veranschaulichung von Energie (Teilstudie B)

Eine phänomenorientierte Vermittlung bietet die Möglichkeit auf einer makroskopischen Ebene Erfahrungen zu stiften. Das Teilchenmodell kann Energie auf einer mikroskopischen Ebene veranschaulichen, wenn diese nicht mehr über Phänomene erfahrbar ist. Es ermöglicht sowohl an das Geber-Gabe-Nehmer Schema (vgl. Gropengießer, 2007), als auch an eine stoffliche Vorstellung von Energie anzuknüpfen und diese im Sinne eines „conceptual development“ (Duit & Treagust, 2003) weiterzuentwickeln. Energie kann, auf molekularer Ebene betrachtet, durch Teilchen charakterisiert werden (Tipler & Mosca, 2008, S. 190). Die Vorstellung, dass alle Stoffe aus kleinsten Teilchen aufgebaut sind, bietet die Möglichkeit, beobachtete Phänomene zur Energie auf der Teilchenebene zu deuten. Durch die Verknüpfung einer makroskopischen und mikroskopischen Ebene bietet sich ebenfalls die Chance der Verbindung einer biologischen, physikalischen und chemischen Perspektive von Energie (vgl. Dreyfus, Redish & Watkins, 2011).

Auch wenn sich Energie der Wahrnehmung entzieht, können Änderungen der Erscheinungsform von Energie auf Teilchenebene gedeutet und erklärt werden.

Sie lassen sich auf kinetische Energie, potentielle Energie (Lageenergie) und Strahlungsenergie reduzieren und lassen sich über Molekülbewegungen und Anziehungskräfte darstellen. Andere Erscheinungsformen von Energie können daraus abgeleitet werden (vgl. NRC, 2012; Lancor, 2014a, S. 1256). Darstellungsmöglichkeiten über das Teilchenmodell wurde bereits in unterschiedlichen Kontexten aufgezeigt (Papageorgiou & Johnson, 2005; Krajcik et al., 2014). Es ermöglicht eine fachlich korrekte und real-materielle Vorstellung von Energie.

C.6.5 „Peer-monitoring“ als semiformeller Kompromiss (Teilstudie C)

Die fachlich falschen Konzepte der Lernenden verdeutlichen, dass das Stiften von Erfahrungen über ein phänomenorientiertes Lernangebot mehr als einen rein handlungsaktiven Umgang mit dem Lernkontext erfordert. Teilstudie C belegt, dass durch die Kombination einer materiellen Steuerung mittels Forscherheften und einer personalen Steuerung durch „peer-monitoring“ eine semiformelle Lernumgebung begünstigt werden kann. „Peer-monitoring“ wurde zur Förderung einer eigenverantwortlichen Verhaltenskontrolle eingesetzt, welche auf kooperativem Lernen in Kombination mit einer „positiven Abhängigkeit“ (vgl. Konrad, 2014) basiert. Interessanterweise scheint sich hierbei die Steuerung über Gleichaltrige nicht negativ auf das Autonomieempfinden der Lernenden auszuwirken. „Peer-monitoring“ stellt insbesondere aufgrund der einfachen Umsetzung eine attraktive Methode als Mittelweg zwischen einer Selbststeuerung und einer „top-down“ Lehrersteuerung dar. Sie bietet Strukturelemente, die mit konkreten Lernzielen kombiniert werden können und sowohl im Unterricht als auch an außerschulischen Lernorten (Science Centern etc.) zur Anwendung kommen können.

C.7 Literaturverzeichnis der Zusammenfassung

- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1.
- Allen, S. (2004). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education*, 88(S1), 17-33.
- Arons, A. B. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics* 67(12), 1063-1067.
- Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. (Eds.). (2006). *Metaphor and analogy in science education* (Vol. 30). Dordrecht: Springer.
- Bamberger, Y., & Tal, T. (2007). Learning in a personal context: Levels of choice in a free choice learning environment in science and natural history museums. *Science Education*, 91(1), 75-95.
- Bannwarth, H., Kremer, B. P., & Schulz, A. (2007). *Basiswissen Physik, Chemie und Biochemie*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Brook, A. J., & Wells, P. (1988). Conserving the circus? An alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, 23(2), 80-92.
- Brown, C. C., Topping, K. J., Henington, C., & Skinner, C. H. (1999). Peer Monitoring of Learning Behaviour: The case of 'Checking Chums'. *Educational Psychology in Practice*, 15(3), 174-182.
- Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J. S., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (Eds.). (2014). *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education*.
- Cooper, M. M., & Klymkowsky, M. W. (2013). The trouble with chemical energy: Why understanding bond energies requires an interdisciplinary systems approach. *CBE-Life Sciences Education*, 12(2), 306-312.
- Cox-Petersen, A. M., Marsh, D. D., Kisiel, J., & Melber, L. M. (2003). Investigation of guided school tours, student learning, and science reform recommendations at a museum of natural history. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(2), 200-218.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology*, 49(3), 182-201.
- DeWaters, J. E., & Powers, S. E. (2011). Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior. *Energy Policy*, 39(3), 1699-1710.
- Dreyfus, B. W., Redish, E. F., & Watkins, J. (2011). Students' Views of Macroscopic and Microscopic Energy in Physics and Biology. arXiv preprint arXiv:1106.5801.
- Driver, R. (1994). *Making sense of secondary science: Support materials for teachers*. Psychology Press.
- Duit, R. (2009). *STCSE – Bibliography Students and Teachers Conceptions and Science Education*. Kiel: IPN – Leibniz Institute for Science Education (accessed 09/05/2015).
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International journal of science education*, 25(6), 671-688.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. In R. Chen & A. Eisenkraft (Eds.), *Teaching and learning of energy in K-12 education* (S. 67–85). Dordrecht: Springer.
- Gentner, D., Bowdle, B., Wolff, P., & Boronat, C. (2001). Metaphor is like analogy. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*, 199-253.
- Ginsburg, H., & Oppen, S. (1998). *Piagets Theorie der geistigen Entwicklung*. Klett-Cotta.

- Goswami, U. (2001). Analogical reasoning in children. The analogical mind: Perspectives from cognitive science, 437-470.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger, & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 105-116). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Groß, J. (2007). *Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion*, Bd. 16. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661-667.
- Kultusministerkonferenz, K. M. K. (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*.
- Kultusministerkonferenz, K. M. K. (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*.
- Konrad, K. (2014). *Kooperatives Lernen*. In *Lernen lernen–allein und mit anderen* (pp. 79-87). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Krajcik, J., Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (2014). Conclusion and summary comments: teaching energy and associated research efforts. In *Teaching and Learning of Energy in K–12 Education* (pp. 357-363). Springer International Publishing.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). The metaphorical structure of the human conceptual system. *Cognitive science*, 4(2), 195-208.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1987). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind*. Chicago: University of Chicago press.
- Lakoff, R. T. (1990). *Talking power: The politics of language in our lives*. New York: Basic Books.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York: Basic Book.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. University of Chicago press.
- Lancor, R. (2014a). Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics. *Science & Education*, 23(6), 1245-1267.
- Lancor, R. (2014b). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59(1), 14-26.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. In *Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 601-613). Verlag für Sozialwissenschaften.
- McCurdy, B. L., & Shapiro, E. S. (1992). A comparison of teacher-, peer-, and self-monitoring with curriculum-based measurement in reading among students with learning disabilities. *The Journal of Special Education*, 26(2), 162-180.
- McGlade, C., & Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 [deg] C. *Nature*, 517(7533), 187-190.
- Nagel, M. L., & Lindsey, B. A. (2015). Student use of energy concepts from physics in chemistry courses. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 67-81.
- National Research Council [NRC]. (2012). *A framework for K-12 science education*. Washington.
- 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.

- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D. F. (2012). Understanding needs embodiment: A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96(5), 849-877.
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2010). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670-699.
- Opitz, S. T., Harms, U., Neumann, K., Kowalzik, K., & Frank, A. (2015). Students' energy concepts at the transition between primary and secondary school. *Research in Science Education*, 45(5), 691-715.
- Papageorgiou, G., & Johnson, P. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena?. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1299-1317.
- Redish, E. F., Bauer, C., Carleton, K. L., Cooke, T. J., Cooper, M., Crouch, C. H., ... & Zia, R. K. P. (2014). An interdisciplinary repurposing of physics for biologists. *American Journal of Physics*, 82(5), 368-377.
- Rittle-Johnson, B. (2006). Promoting transfer: Effects of self-explanation and direct instruction. *Child development*, 77(1), 1-15.
- Saalbach, H., Grabner, R. H., & Stern, E. (2013). Lernen als kritischer Mechanismus geistiger Entwicklung: Kognitionspsychologische und neurowissenschaftliche Grundlagen frühkindlicher Bildung. In *Handbuch frühkindliche Bildungsforschung* (pp. 97-112). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Schmitt, R. (2015). Lexikon-Einträge zu "Metaphernanalyse" (S. 261f.) in: Rainer Diaz-Bone, Christoph Weischer (Hrsg.). *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften*, Wiesbaden: Springer-VS.
- Schweingruber, H., Keller, T., & Quinn, H. (Eds.). (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. National Academies Press.
- Tal, R., Bamberger, Y., & Morag, O. (2005). Guided school visits to natural history museums in Israel: Teachers' roles. *Science Education*, 89(6), 920-935.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. D. Pelte (Hrsg.). Spektrum Akademischer Verlag.
- Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work-energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194.
- Von Bertalanffy, L. (1950). The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111(2872), 23-29.
- Watts, M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 213-217.

D Teilarbeiten

D.1 Publikationsmanuskripte

Die aus der vorliegenden Arbeit hervorgegangenen Publikationsmanuskripte sind im Folgenden aufgeführt:

- A. Larsen, Y. C. & Bogner F. X. (2015)
Envision the invisible: A phenomena-oriented learning of energy analysed through the lens of the metaphor theory
Science & Education
(submitted)
- B. Larsen, Y. C., Groß J. & Bogner F. X. (2015)
Does „thinking in systems“ foster a crossdisciplinary understanding of energy?
European Scientific Journal (ESJ)
ISSN: 1857-7881 (Print), ISSN: 1857-7431 (Online)
(published online)
- C. Larsen, Y. C., Groß J. & Bogner F. X. (2015)
Bringing out-of-school learning into schools: Self- versus peer-regulation of learning behaviour
Research in Science Education (RISE)
(submitted)

Anhang:

- Larsen, Y. C., Groß J. & Bogner F. X. (2015)
Vermittlung eines fächerverbindenden Energiekonzepts nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion
Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN)
(submitted)
- Larsen, Y. C. & Bogner F. X. (2015)
Handlungsorientierte Lernangebote zur energetischen und stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen
Unterricht Chemie, 26 (148), 41-43.

D.2 Darstellung des Eigenanteils

Alle Konzepte zur Lernwirksamkeit und ihrer Evaluation habe ich selbstständig entwickelt, durchgeführt und ausgewertet:

Die eingesetzten Erhebungsinstrumente der Fragebögen wurden aus der Literatur übernommen, mit Ausnahme der multiple-choice Wissensfragen, die von mir entwickelt wurden. Alle Interventionen einschließlich der Vermittlungsexperimente und Schülerinterviews wurden von mir alleine entwickelt und durchgeführt. Alle empirischen Daten habe ich selbstständig erhoben und ausgewertet. Die Pre-, Post-, Follow-up Datenerhebung durch Fragebögen erfolgte mit Unterstützung von Lehrkräften. Die Eingabe der Fragebögen erfolgte durch eine wissenschaftliche Hilfskraft. Die Fragebögen wurden von mir statistisch ausgewertet, die qualitative Analyse erfolgte in Zusammenarbeit mit einer wissenschaftlichen Hilfskraft als „Rater“ zur Ermittlung der Interrater-Reliabilität. Denkmuster wurden durch die Diskussion mit Kollegen ermittelt.

Das Miniaturmodell, das die Vorgänge in einer Biogasanlage zeigt, ist in Zusammenarbeit mit Bernd Rothammel (Regionalmanagement Stadt und Landkreis Bayreuth) in Anlehnung an eine Publikation von Jaeckel und Parchmann (2010) und einen Beitrag der „Sendung mit der Maus“ zur Nutzung von Biogas entstanden.

Didaktisches Konzept, Pilotierung und Evaluation der „Bioenergie-Edutainment“ Stationen wurde von mir durchgeführt. In die Pilotierung sind Ergebnisse von zwei Zulassungsarbeiten von den Lehramtsstudentinnen Romana Tamm und Anna-Lena Waldmann eingeflossen, die von mir mitbetreut wurden. Alle drei Teilarbeiten wurden von mir als Erstautor konzipiert, verfasst und unter Zusammenarbeit mit meinen Mitautoren kritisch überarbeitet.

Jaeckel, M. S., & Parchmann, I. (2010). Bioenergieträger der zweiten Generation, Schulexperimentelle Erarbeitung und konzeptionelle Einbettung am Beispiel Biogas und hydrothermale Karbonisierung. *Chemkon*, 17(3), 117-123.

D.3 Artikel A

Larsen, Y. C. & Bogner F. X. (2015)

Envision the invisible: A phenomena-oriented learning of energy analysed through the lens of the metaphor theory

Research in Science Education (RISE)

(submitted)

Envision the invisible: A phenomena-oriented learning of energy analysed through the lens of the conceptual metaphor theory

Yelva C. Larsen and Franz X. Bogner*

University Bayreuth, Didactics of Biology, Z-MNU (Centre for mathematical and natural scientific education), Germany

Abstract

Our study analyses the genesis of images of energy and their effects on students' understanding. It is based on the assumption that two central ways of understanding shape our concepts of energy: Characteristics of energy can be demonstrated by external representations of energy-related phenomena and by internal, mental representations. In the framework of the conceptual metaphor theory the latter is verbalized by the use of metaphors that are based on unconscious embodied image schemata. A learning model was developed to investigate the interplay between pre-existing image schemata and a phenomena-oriented learning of energy. It showed, exemplified, processes of a real biogas plant, using energy-related phenomena interlinked with each other by an energy-tracking diagram. Students would be given the task to examine and describe the transfer of energy within the model. Before the examination, the 23 students (aged from 11 to 16 years) were individually interviewed about their understanding of key aspects of energy, previously named aspects were to be connected with presented phenomena after examination of the model. We applied the conceptual metaphor theory to identify underlying image schemata and analysed their impact on students' descriptions and interpretations. Two central image schemata could be identified: The person schema and the object schema. Interestingly, only learners up to thirteen years of age applied the person schema and did not use conceptual metaphors in a figurative sense. Against this background, students under the age of 13 seemed to lack abilities of abstract thinking and analogical reasoning as an essential prerequisite for a sophisticated understanding of conceptual metaphors in the context of energy.

Keywords: analogical reasoning; abstract thinking; image schema; conceptual metaphor theory; students' conceptions; experience-based learning

Introduction & Theoretical Framework

The correlation between burning fossil fuels and the current global warming process (Höök and Tang 2013) is a prominent example for the importance of a sophisticated understanding of energy-related challenges of our time. Learning about energy is gaining importance within an educational context worldwide (NRC 2012) and the UN Decade “Education for Sustainable Development” (2005-2014) drew special attention to the subject (Wals 2012). In science education, energy is a cross-cutting concept that intersects all science disciplines (Neumann et al. 2013). In spite of this significance, learning about energy is often connected with specific learning obstacles and research concentrates on bridging the gap between scientific and learners’ concepts of energy (e.g., Duit and Häußler 1994; Nordine et al. 2010; Chen et al. 2014). For more than 30 years, studies have been investigating learners’ concepts of energy (Duit 2009; Eisenkraft et al. 2014). In contrast to earlier studies focusing on students’ conceptions we concentrate on the genesis of images of energy and their effects on students understanding. It is assumed that concepts of energy are based on two ways of understanding (1) external representations (via effects of energy) and (2) internal representations (via image schemata). Both approaches are explained in the following.

(1) Understanding energy by external representations

Energy is linked to objects and can be perceived and experienced by energy-related phenomena. The representation via phenomena is directly perceptible and claimed to foster a better understanding of energy. The embodiment of energy by phenomena has been described as early as the 1980s (e.g. Brook and Wells 1988; Watts 1983) and its conduciveness for learning has been confirmed by subsequent studies (Driver 1994; Nordine et al. 2010; Duit 2014). Watts (1983) spoke of “action-related” energy; Driver (1994) showed that it is easier to understand and comprehend aspects of energy by drawing on personal experiences.

(2) Understanding energy by internal representations

We applied the conceptual metaphor theory (Lakoff and Johnson 1980; Johnson 1987; Lakoff and Johnson 2008) as a research framework to analyze the genesis of an internal representation of energy.

The cognitive-linguistic theory states that recurring physical experiences like bodily movements, manipulations of objects and perceptual interactions (Johnson 1987, p. 29) form mental images. These image schemata are the basis for the conceptualization of our surroundings. Interestingly image schemata also activated specific neuronal nets (Gallese and Lakoff 2005) and Rohrer (2005) demonstrated that the presentation of metaphors as well as physical actions stimulated the same nets in the sensorimotor cortex. Following the theory, abstract concepts like energy that cannot be experienced directly are structured and understood, because embodied image schemata are used as a conceptual domain and transferred to a new context ("base-to-target mapping", Gentner et al. 2001; Goswami 2001). They are transmitted via conceptual metaphors and analogies. Unconsciously, in doing so we resort to schemata that may have been established in early childhood and support us in understanding new content on the basis of the known and familiar (Lakoff and Johnson 1999). Exemplarily the "up-down schema" (Lakoff 1987, p. 275-278; Johnson 1987, p. 126; Groß 2007, p. 172) is the source domain for more abstract concepts like "good and bad". Image schemata have played a major role in very different kind of studies (Oakley 2007), e.g. poetics (Lakoff and Turner 2009), mathematics (Lakoff and Núñez 2000), cognitive development (Mandler 1992), literary criticism (Turner 1987) or linguistic theories of grammar (Langacker 1987; Talmy 1983). Within science education, conceptual metaphors and analogies are used to explain abstract concepts that could not be perceived directly. Research within science education analyses the genesis of students' conceptions based on applied image schemata (Gropengießer 2007; Niebert, Marsch and Treagust 2012; Niebert and Gropengießer 2013; 2014; Groß 2007) as well as learning opportunities and hurdles if conceptual metaphors and analogies are used as tools for teaching science (Duit 1991; Harrison and Treagust 2006; Ritchie 1994). The approach is linked to prior psycholinguistic investigations on the role of image schemata in human cognition (Gibbs 1994; Gibbs and Colston 1995).

Within this study we focus on the genesis of internal representations of energy; it is presumed that our understanding of energy as an abstract, non-physical entity is grounded in schemata (cf. Gupta, Hammer and Redish 2010; Lancor 2014a, Aubusson et al. 2006). Not only in everyday life, but also in science, energy is explained through the application of metaphors (Scherr et al. 2012; Brewe 2011). Exemplarily the metaphor "energy flows through the conductor" transfers experiences with a liquid to the topic "energy". Meta-

phors like “energy carrier” are based on the bodily experience with gravity and the experience of lifting something up and carrying it around.

Study Question

Directly perceptible subjects can be understood immediately, abstract subjects that are not directly perceptible can be accessed via image schemata. We presume that in the context of energy both ways of understanding are connected: Energy is a non-physical entity, but shows effects, consequently external representations (direct experiences via phenomena) and internal representations of image schemata (via metaphors and analogies) interact with each other (fig.1).

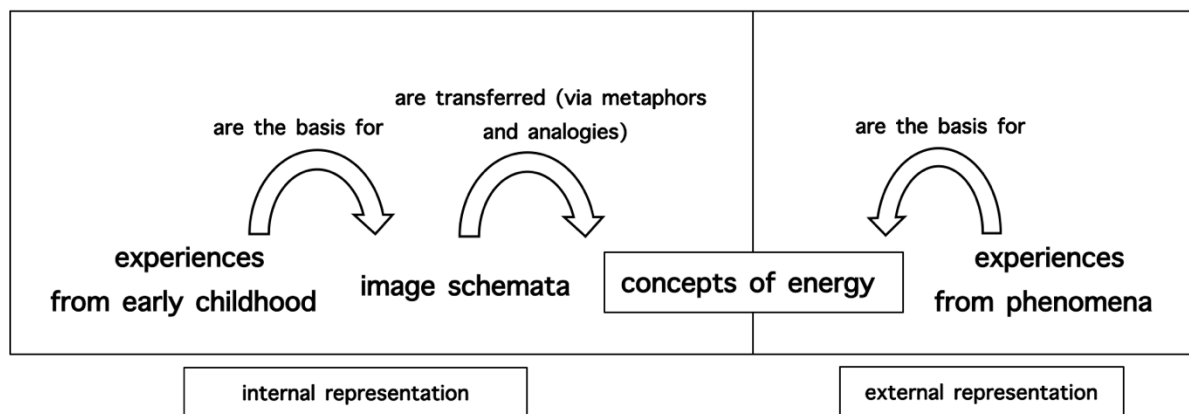


Fig. 1: Hypothesized interplay between internal and external representations: Concepts of energy are based on external representations of energy via phenomena and internal representations of image schemata expressed by the use of metaphors and analogies.

We focus on three central research questions to analyse the effect of pre-existing image schemata on a phenomena-oriented learning of energy:

- (1) Does the presentation of phenomena foster students' understanding of key aspects of energy?
- (2) Which underlying image schemata can be identified and how do they influence students' concepts?
- (3) What is the interplay between external representations (via phenomena) and internal representations of image schemata (via metaphors and analogies)?

Method

Development of a phenomena-oriented learning model

We developed a scale model to examine the interaction between pre-existing image schemata and a phenomena-oriented learning of energy. The model showed, exemplified, the processes of a real biogas plant, using energy-related phenomena interlinked with each other by the “flow” of energy. The input of energy was biomass-based, using liquid manure, corn and organic waste. Biogas was produced by fermentation of organic waste in an Erlenmeyer flask, held in a balloon and then transferred and ignited. The flame heated the flask of a Stirling engine, in addition (invisible to the learner) petroleum was used to accelerate the process. The electric energy lighted a lamp, thermal and radiant energy was emitted as indicated by light and heat. “Energy indicators” such as movement, light and heat helped the students to “sense” and experience energy. Single phenomena were interlinked by the “flow” of energy and the model included the transformation of the following forms of energy: from chemical energy to thermal energy to kinetic energy to electric energy to thermal energy and radiant energy. Learners were familiar with a majority of phenomena, mostly part of everyday life. They could be assigned to the field of biology, biochemistry and physics education.

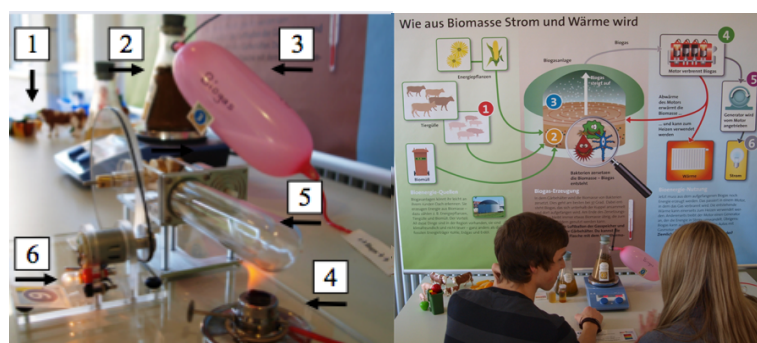


Fig. 2: left: single steps within the scale model:

- (1) energy supply via biomass;
- (2) bacterial fermentation;
- (3) storage of biogas;
- (4) combustion of biogas;
- (5) movement of a Stirling engine;
- (6) operation of an electric bulb;

right: students' examination of the scaled model

Integration of the Model into a Teaching Experiment

The scaled model was integrated into a teaching experiment (Steffe and D'Ambrosio 1996; Komorek and Duit 2004) that consisted of a pre-interview, a learning activity in context with the scale model and a post-interview.

Firstly, students were asked to talk freely about their understanding of the following six key aspects of energy: input, transformation, transfer, degradation, output and conservation of energy¹. These aspects are assumed to be central for a cross-cutting concept of energy (Larsen, Groß and Bogner 2015). Secondly, students watched an introductory five-minute film illustrating the production and use of biogas. Thirdly, they were tasked to investigate and describe the presented phenomena and the way of energy. While examining the model, students moved from one phenomenon to the next. They could observe processes that demonstrate the transfer and transformation of energy (e.g. by a Sterling engine, a generator or a light bulb) as well as its various indicators (light, biomass, gas, heat, movement, electricity, heat and light) (fig. 2). By creating an energy-tracking diagram (fig. 3), students should be enabled to relate single phenomena to the same origin of energy and should be encouraged to follow the transfer of energy within the model.

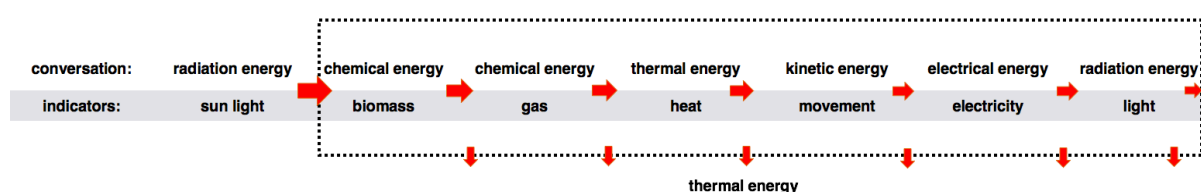


Fig. 3: Schematic representation of the energy-tracking diagram, the upper line represents transformations of energy and the lower line indicators of energy.

The model also offered possibilities to interact; energy supply could be disrupted at any point and temperature could be measured with a digital infrared thermometer. Finally, students were requested to describe the six previously named aspects of energy (input, transformation, transfer, degradation, output and conservation of energy) by means of the presented phenomena within the scale model.

Students from two age groups were individually interviewed: Nine 6th and 7th graders (four males and five females) between 11-13 years of age from comprehensive school and fourteen 9th graders (ten males and four females) between 15-16 years of age from grammar school.

More males than females were willing to participate on a voluntary basis and gender distribution was not balanced. In contrast to 9th graders, students from grade 6th to 7th

¹ It is important to note that the various aspects of transfer/ transformation and conservation are based

had not been taught in physics so far and results of both groups were analysed separately. A standardized but open guideline for guided interviews permitted further questioning to clarify students' comprehension (Groß 2007, p. 48). The interviewer also encouraged a closer examination of the model. The same person conducted all teaching experiments that lasted between 35 and 48 minutes. Interviews were audiotaped with a voice recorder.

Data analysis

In accordance with the conceptual metaphor theory (Lakoff and Johnson 2008; cf. Schmitt 2010) we analysed ontological metaphors to unveil underlying embodied schemata. We evaluated the interviews and teaching experiments following Mayring's qualitative content analysis (Mayring 2010, p. 602; see also Niebert and Gropengießer 2014; Gropengießer 2007). Interviews were transcribed, summarized, categorized and explicated to identify crucial concepts. For data categorization we grouped students' descriptions according to the key aspects. Same descriptions were listed as concepts if mentioned by several learners. In a second step we analysed ontological metaphors within students' concepts and identified underlying schemata through a comparison with image schemata known from literature (Lakoff 1987, p. 126, p. 272-278; Lakoff and Johnson 2003, p. 28-29; Gropengießer 2007, p. 109). In a third step we defined lower and higher level categories within image schemata (cf. Santibáñez 2002). A second person repeated the concept determination; if necessary, a consensus was found by discussion.

Results & Discussion

(1) Does the presentation of phenomena foster students' understanding of key aspects of energy?

Younger students (11 to 13 years of age) and older students (15 to 16 years of age) differed in prior knowledge: In contrast to 6th and 7th grade different aspects of energy had already been addressed in physics education in 9th grade. Even before the examination of the learning model most older students could name scientifically correct definitions of the previously named aspects of energy.

However, the majority had difficulties to refer to examples and their definitions seemed to be rote-learned (cf. Chabalengula, Sanders and Mumba 2012). The examination of the

learning model connected key aspects with concrete examples. Older students were able to link their prior knowledge from physics education and the aforementioned definitions with the presented phenomena. Additionally, the energy-tracking diagram helped them to identify different forms of energy. Many students were also able to connect the transformation of energy with its degradation and named the output of thermal energy. They described the conservation by the transfer of energy, but failed to provide a scientific explanation for the conservation of energy if heat evaded and thermal energy was not perceptible anymore.

In contrast to older students, younger students from 11 to 13 years of age did not have prior knowledge with regard to the key aspects of energy. Before the examination of the model we did not provide examples with regard to the single aspects and talking about energy without a concrete image seemed to be very difficult for younger learners. Independent of single aspects, younger learners had severe difficulties to develop and verbalize their ideas. Unlike older students that referred to concepts learned at school, younger students referred to very different areas of everyday life. In the pre-interviews students expressed spontaneous and very different ideas. Consequently, no clear patterns could be identified and categorized as concepts. Exemplary Ines (12 years) mentioned that “conservation of energy means that forests aren’t cut down”, further questioning demonstrated that she referred to environmental conservation. Tim (13 years) associated energy degradation with “energy that costs less”, using money as a reference. Ideas did not seem to be stable, as students did not align their previous ideas with the observed phenomena. After the examinations of the model, younger students were able to connect most of the aspects with the phenomena-oriented learning model. Apart from the scientific connectivity of individual concepts named, the pre/post comparison indicates that all students improved the way to communicate their ideas. Thus, the model intends to make energy conceptually tangible (cf. Nordine et al. 2010) as the variation within named ideas decreased and recurring concepts could be identified.

(2) Which underlying image schemata can be identified and how do they influence students’ concepts?

It seems as if the abstract concept of energy is only tangible in connection with the idea of energy as a discrete entity (cf. Lancor 2014b, p. 17).

Within students’ responses, energy could either move actively or passively and we identified two higher-level schemata: The person schema (tab. 1) and the object schema (tab. 3).

The Person Schema

Tab. 1: The personification of energy: Description of energy as an anthropocentric concept based on the person schema.

Concept	Thinking pattern	Source domain
Energy as a living being, which moves intentionally and actively	Personification of energy (Anthropomorphisms, cf. Kattmann 2008)	Person schema (Lakoff and Johnson 1999, p. 34-36; Lakoff and Johnson 2003, p. 28-29)

An anthropocentric view of energy transfers human characteristics to the concept of energy. It has been confirmed by previous studies (Solomon 1983; Driver et al. 1994; Trumper 1993; Watts 1983) for several years. Concepts that could be assigned to the person-schema are listed below (tab. 2).

Tab. 2: The personification of energy, identified concepts of energy as something living (person-schema)

Concept	Example
Energy moves and acts actively.	“The small energy things (...) go to the small wheel, this wheel starts to turn and then they pass (...).”
Energy comes and goes.	
Energy does not change, but causes different effects.	
Energy shows effects if it is active and no effects if it is inactive.	“Energy is not active anymore and thus shows no effect.”
Energy moves independently from an energy carrier.	“Energy carrier is a medium wherein energy moves.”
Energy remains within the system and accumulates (cf. Solomon 1985).	“Energy remains in the light when you turn it on and is suppressed when you turn it off.”

From the perspective of the conceptual metaphor theory, embodied conceptions of energy are grounded in our own body movement and shape our conceptual understanding of energy (cf. Lakoff and Johnson 1987). Interestingly only younger learners (aged from 11 to 13 years) imagined energy as a subject that can move and act independently of an

energy carrier. These students used metaphors without an awareness of their comparative character; energy was not compared but equated with something living. They had a vitalistic concept and did not perceive energy as an abstract term, but as something tangible that has physical features.

At first glance, learners' conception of energy as something living seemed to support an understanding of the input, output and conservation of energy. Students that personified energy were also able to describe their ideas about the transfer and conservation of energy (cf. Duit 2014). Still, named ideas differed from scientific ones and based on students' concept of energy as an active, moving object that produces different effects, learners neither understood the necessity of a carrier nor the idea of transformation of energy. Aylana (12 years old) described the movement of energy as follows: "The small energy things here, they go through there, go to the small wheel, this wheel starts to turn and then they pass to the lamp where the lamp begins to shine.". Aylana's explanation is characteristic for many students of her age-group. In her imagination, energy isn't transported passively, but has a life of its own with an active behaviour. The "energy things" operate and move on their own, like Aylana does herself. She connects not only familiar physical experiences to her concept of energy, but also transfers her own target-oriented behaviour to her concept of energy. The idea that energy behaves intentionally like herself enables her to understand the abstract idea of energy. Thus the person schema seems to be grounded not only on physical interactions, but also on Aylana's self-perception. Klara (12 years old) remarked that "energy becomes slower and the light shines less and when it shines more, the energy becomes faster and the light shines brighter". Like Klara, other learners described their notions when comparing different energy manifestations as faster or slower and stronger or weaker respectively. They transferred existing schemata based on their own movement to the observed phenomena.

The conception of energy as something living reached its limitation when energy was not physically tangible anymore. Klara (12 years old) remarked at the beginning: "I think at one point energy just leaves and is then simply gone."

During the course of the dialogue, a contradiction emerged between the observation that energy disappears and that energy as something living cannot disappear. Laura (12 years old) commented, for example: "Energy goes into the air and then disappears somehow. I don't know how to explain this.". Klara revised her initial statement: "Ener-

gy has to be preserved somewhere. I imagine energy staying somewhere in the light and somewhere in the room.” She understood energy as something that comes, enters and escapes a lamp again, but also argued with active and inactive energy.

The Object Schema

Abstract entities like energy are often understood as tangible three-dimensional objects, and learners’ conception of energy as an item (Watts 1983), as substantial or a substance-like matter (Gilbert and Pope 1986; Brewe 2011) is well known from literature. With reference to the conceptual metaphor theory, the description of energy as a substance is an ontological metaphor; it is used to objectify abstract concepts and complex experiences (Lakoff and Johnson 2003; Lancor 2014b) (tab. 3). The identified object schema (Lakoff and Johnson 1987, p. 126) is based on everyday interactions with concrete objects that we can move and manipulate in different ways; they have physical attributes that are transferred to a conceptual model of energy (Lakoff and Johnson 1987, p. 126). It is a higher-level schema (Santibáñez 2002) to which other concepts can be subordinated. In the context of the object schema, Lancor (2014b) defined six metaphors that are used by university students studying biology, physics and chemistry: „ (...) energy as a substance that can be accounted for; can flow; can be carried; can change forms; can be lost; and can be an ingredient, a product, or stored in some way.“ (p. 17).

Tab. 3: The objectification of energy: Description of energy as an anthropocentric concept based on the person schema.

Concept	Thinking pattern	Source domain
Energy as an object with physical attributes	Objectification of energy (cf. Watts 1983; Gilbert and Pope 1986; Brewe 2011)	Object schema (Lakoff and Johnson 1987, p. 126)

Within our study, both younger (11 to 13 years of age) and older students (15 to 16 years of age) applied metaphors that were previously listed by Lancor (2014b) and that referred to the object schema. Further questioning revealed that students applied metaphors differently. In contrast to younger students, older students demonstrated awareness of the analogy “energy is like an object” when they described energy as a substance that is passively transferred. There-

fore, students' sophisticated understanding of the different aspects of energy differed between age groups. Students' non-academic concepts are listed (tab. 4) and described in the following.

Tab. 4: The objectification of energy, identified concepts of energy as something substantial (object-schema).

Concept	Example
Energy can be transformed into an energy carrier.	"Energy is transformed to fire, heat, light and electricity."
Energy is a concrete matter.	"Corn is energy."
No differentiation between energy and energy carrier.	"Fire is energy."
Energy is produced and used up. Energy becomes less and less.	"Energy is produced by bacteria." "Finally, the lamp burns and there is no energy left."
Production means conservation.	"Energy is produced continually and is thereby conserved."

For the explanation of the flow of energy within the scaled model, the idea that energy is supplied, transformed into different manifestations (forms of energy) and transferred back to the environment is basic to a scientific understanding of energy conservation. Among younger students Maximilian (12 years) was the only student able to name different forms of energy and the scientific concept of transformation from one form to another. All others failed to do so when observing the phenomena. They did not differentiate between energy forms and energy carriers and named, for example, the transformation from gas to electric current to light or heat.

Among younger students, two non-academic concepts were predominant: They either had the concept that energy is equalled to fire, heat, light and electricity or that energy is transformed into it. Identified concepts are well known from literature.

Intuitively, terms such as fire, movement, heat, electricity and light are often used synonyms to energy. Colloquial language hardly differentiates between forms of energy and its carrier, as we speak, for example, of electricity and heat instead of electric and thermal energy (e.g. Kesidou and Duit 1993; Maskill and Pedrosa de Jesus 1997). Therefore, difficulties to identify the different forms of energy (Jewett 2008; Duit 2014) and the missing differentiation between energy and energy carrier (Hartley et al. 2012; Burger

and Gerhardt 2003, p. 497) are common non-academic concepts. Most younger students (under 14 years of age) equalled the emission of energy to its consumption as well as the supply of energy to its production. Energy was produced (via bacteria) and consumed (by a lamp). For instance, Lena (12 years) considered generating biogas with bacteria as synonym to generating energy, without taking energy transformation into account. Asking repeatedly about the source of the energy though, helped four students to develop their concepts. Lena, for example, mentioned corn and later the sun as a source of energy. Still, only Sonja (13 years) was able to differentiate supply and production of energy during the post-questioning. However, being asked during the post-questioning, altogether five younger students were able to name the emission of radiation to the environment: three students mentioned the lamp's emission of heat without help and two more students could do so after being encouraged to cautiously touch the lamp. Asked for the conservation of energy, Lena (12 years) answered that energy is produced continually and is thereby conserved.

The missing concept of the input and output of energy (Ogborn 1990; Chabalengula, Sanders and Mumba 2012; Brook and Driver 1984) seems to be based on the concept of destruction. It has been described in the context of 'matter' within research in chemistry education (Barke 2006, p. 304). If energy is equalled with matter, the destruction of energy seems to be logical from a student's perspective.

(3) What is the interplay between external representations of phenomena and internal representations of image schemata?

It seems as if the concept of energy without a concrete image is somewhat problematic for students. Images could refer to both, external and internal representations.

Energy could only be perceived indirectly via energy-dependant effects. Students described the way of energy and related key aspects by using the presented phenomena.

Contemporaneously they applied image schemata to compensate for gaps in perception, e.g. if energy was no longer traceable. Their concepts became a conglomerate based on perception and image schemata. Exemplarily students' understanding of energy as something physical merged with the learners' observations to a "fictional reality". Aylana (12 years old) speaks of "small energy things" - she personalises energy as a subject with features of something living. Although all pupils observed the same phenomena (as external representations), their interpretations differed depending on their internal representation. In contrast to Aylana, Nils (11

years old) describes energy as “invisible lightning”. Accordingly, we extended our initial hypothesis: Internal representations have a direct effect on the interpretation of the observed effects (fig. 4).

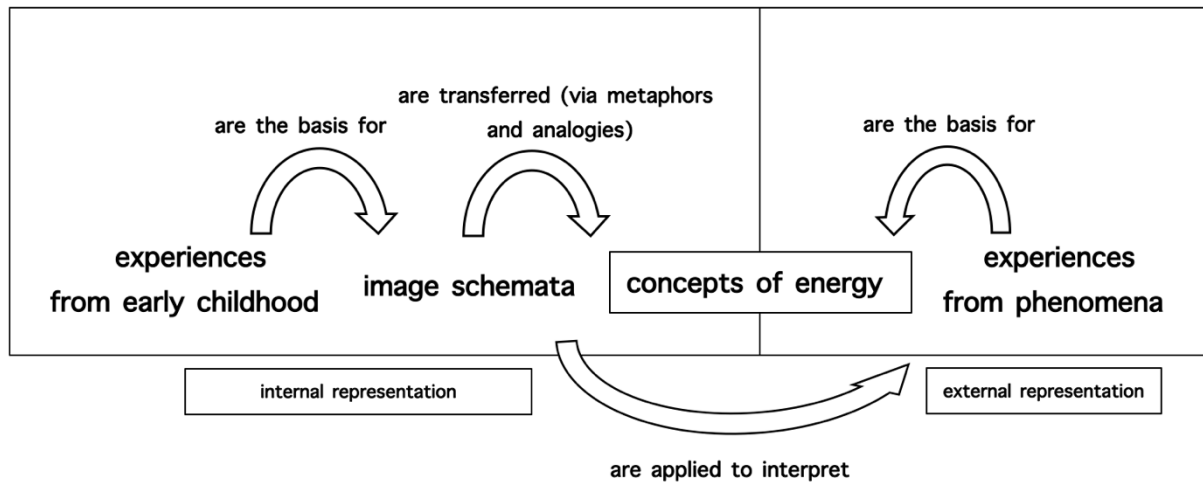


Fig 4: Extension of the initial hypothesis: Image schemata (as internal representations) have a direct effect on the interpretation of energy-dependent phenomena (as external representations).

Implication for Teaching and Learning Concepts of Energy

Even if we conducted a qualitative study with a small sample size and groups that differed regarding several variables, our case studies show important tendencies. Students applied image schemata to interpret presented phenomena. The conceptual metaphor of energy as substance-like without being a substance is regarded as supportive for a descriptive specification of energy (Gupta, Hammer and Redish 2010, Lancor 2014b, Aubusson et al. 2006, Scherr et al. 2012; Brewe 2011). Our results demonstrated that students' combination of the presented phenomena with the object schema does not per se lead to a better understanding of energy.

Although older and younger students referred both to the object schema, their concepts and understanding of energy differed. In contrast to learners between 15 to 16 years of age with pre-knowledge of physics, learners between 11 and 13 years of age without pre-knowledge did not comprehend ontological metaphors in a figurative or literal sense, missing the ability for analogical reasoning (cf. Goswami 2001). Requirements of analogical reasoning are multifactorial and development-related; they could be determined by age and pre-knowledge (Morrison, Doumas and Richland 2011). Depending on the type of task, the age-dependency of analogical reasoning varies between 11-12 years

(Marini and Case 1994) and between 10, 13 and 17 years (Hatcher et al. 1990). De Neys and Everaerts (2008) also showed differences in the ability of abstract thinking and analogical reasoning among adults. We agree with an age-dependency of analogical reasoning, as university students seem to be capable of “base-to-target mapping” and integrated conceptual metaphors into scientific contexts (Lancor 2014b).

In view of our findings, we demonstrate that a sophisticated description and interpretation of energy-related phenomena requires skills of abstract thinking and analogical reasoning. Duit (1991) indicated the danger of understanding the use of metaphors and analogies in a literal sense (see also Dagher 1995). Niebert and colleagues demonstrated that analogies and conceptual metaphors were often not understood as intended (Niebert, Marsch and Treagust 2012). Consequently, teachers should be aware of students’ analogical reasoning when teaching abstract concepts like energy. In the context of students’ understanding of energy as a real object, our findings clearly show that analogical reasoning is essential for a metaphorical understanding and a sophisticated interpretation of the observed phenomena. This may prohibit young learners from reaching a more academic concept of energy. Neumann and colleagues (2013) confirmed that aspects of energy differ in the level of difficulty, their understanding is successively structured and built onto one another in the following sequence: (1) energy forms and sources (grade 6), (2) energy transfer and transformation (grade 8) and energy conservation (grade 10) (see also Liu and McKeough 2005; Lee and Liu 2010; Opitz et al. 2015). If age limits the ability to understand energy as substance-like, this should be taken into consideration by curriculum developers. Consequently, the age-dependency in the context of analogical reasoning and conceptual metaphors of energy needs more clarification and should be examined by future studies.

References

- Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. (Eds.). (2006). *Metaphor and analogy in science education* (Vol. 30). Dordrecht: Springer.
- Barke, H. D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer-Verlag.
- Brewe, E. (2011). Energy as a substance-like quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(2), 020106.
- Brook, A., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of energy*. University of Leeds.
- Brook, A. J., & Wells, P. (1988). Conserving the circus? An alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, 23(2), 80.
- Burger, J., & Gerhardt, A. (2003). Energie im biologischen Kontext. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 56(6), 324-329.
- Chabalengula, V. M., Sanders, M., & Mumba, F. (2012). Diagnosing students' understanding of energy and its related concepts in biological context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(2), 241-266.
- Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J. S., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (Eds.). (2014). *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education*.
- Dagher, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science education*, 79(3), 295-312.
- De Neys, W., & Everaerts, D. (2008). Developmental trends in everyday conditional reasoning: The retrieval and inhibition interplay. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(4), 252-263.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). Making sense of secondary science. Research into children's ideas. New York: Routledge.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. In R. Chen & A. Eisenkraft (Eds.), *Teaching and learning of energy in K-12 education* (pp. 67-85). Dordrecht: Springer.
- Duit, R., & Häußler, P. (1994). Learning and teaching energy. In P. Fensham, R. Gunstone, & R. White, (Eds.), *The content of science* (pp. 185-200). London, UK: The Falmer Press.
- Duit, R. (2009). STCSE – Bibliography Students and Teachers Conceptions and Science Education. Kiel: IPN – Leibniz Institute for Science Education (accessed 09/05/2015).
- Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (2014). *Teaching and learning of energy in K-12 education*. R. F. Chen (Eds.). Dordrecht: Springer.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.
- Gentner, D., Bowdle, B., Wolff, P., & Boronat, C. (2001). Metaphor is like analogy. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*, 199-253.
- Gibbs, R. W. (1994). *The poetics of mind: Figurative thought, language, and understanding*. New York: Cambridge University Press.
- Gibbs, R. W., & Colston, H. L. (1995). The cognitive psychological reality of image schemas and their transformations. *Cognitive Linguistics*, 6(4), 347-378.
- Gilbert, J. K., & Pope, M. L. (1986). Small group discussions about conceptions in science: A case study. *Research in Science & Technological Education*, 4(1), 61-76.

- Goswami, U. (2001). Analogical reasoning in children. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*, 437-470.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction—a Framework for Improving Teaching and Learning Science. In *Science education research and practice in Europe* (pp. 13-37). SensePublishers.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 105-116). Springer Berlin Heidelberg.
- Groß, J. (2007). *Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote*. (Vol. 16). Oldenburg: Didaktisches Zentrum. Dissertation, Universität Hannover.
- Gupta, A., Hammer, D., & Redish, E. F. (2010). The case for dynamic models of learners' ontologies in physics. *The Journal of the Learning Sciences*, 19(3), 285-321.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2006). Teaching and learning with analogies. In *Metaphor and analogy in science education* (pp. 11-24). Springer Netherlands.
- Hartley, L. M., Momsen, J., Maskiewicz, A., & D'Avanzo, C. (2012). Energy and matter: differences in discourse in physical and biological sciences can be confusing for introductory biology students. *BioScience*, 62(5), 488-496.
- Hatcher, R., Hatcher, S., Berlin, M., Okla, K., & Richards, J. (1990). Psychological mindedness and abstract reasoning in late childhood and adolescence: An exploration using new instruments. *Journal of Youth and Adolescence*, 19(4), 307-326.
- Höök, M. & Tang, X. (2013). Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change - A review. *Energy Policy*, 52, 797-809.
- Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the confused student IV: A global approach to energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210-217.
- Johnson, M. (1987). *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Cognition*.
- Kattmann, U. (2008). Learning biology by means of anthropomorphic conceptions. *Biology in context: Learning and teaching for the 21st century*. London, UK: Institute of Education, University of London.
- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics – An interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85-106.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1987). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind*. Chicago: University of Chicago press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh. The embodied mind and its challenge to western thought*. New York: Basic Books.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (2003). *Metaphors we live by*. London: University of Chicago press.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. Basic books.
- Lakoff, G., & Turner, M. (2009). *More than cool reason: A field guide to poetic metaphor*. University of Chicago Press.
- Lancor, R. A. (2014a). Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics. *Science & Education*, 23(6), 1245-1267.
- Lancor, R. A. (2014b). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23.

- Langacker, R. W. (1987). *Foundations of cognitive grammar: Theoretical prerequisites* (Vol. 1). Stanford University Press.
- Larsen, Y., Groß, J. & Bogner, F.X. (2015). Does “thinking in systems” foster a cross-disciplinary understanding of energy? *European Scientific Journal*, Special(2), 285–295.
- Lee, H., & Liu, O. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665–688.
- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students’ concept of energy: An analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493–517.
- Mandler, J. M. (1992). How to build a baby: II. Conceptual primitives. *Psychological review*, 99(4), 587.
- Marini, Z., & Case, R. (1994). The development of abstract reasoning about the physical and social world. *Child Development*, 65(1), 147-159.
- Maskill, R., & Pedrosa de Jesus, H. (1997). Pupils’ questions, alternative frameworks and the design of science teaching. *International Journal of Science Education*, 19(7), 781–799.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse [Qualitative content analyses]. In *Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 601-613). Verlag für Sozialwissenschaften.
- Morrison, R. G., Doumas, L. A., & Richland, L. E. (2011). A computational account of children’s analogical reasoning: balancing inhibitory control in working memory and relational representation. *Developmental Science*, 14(3), 516-529.
- National Research Council [NRC]. (2012). *A framework for K-12 science education*. Washington, DC: National Academies Press. Achieve Inc. (2013). Next Generation Science Standards.
- 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.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2013). The model of educational reconstruction: A framework for the design of theory- based content specific interventions. The example of climate change. In T. Plomp, & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research – Part B: Illustrative cases* (pp. 511-531). Enschede, the Netherlands: SLO.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Understanding the Greenhouse Effect by Embodiment–Analysing and Using Students’ and Scientists’ Conceptual Resources. *International Journal of Science Education*, 36(2), 277-303.
- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D. F. (2012). Understanding needs embodiment: A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96(5), 849-877.
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2010). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670–699.
- Oakley, T. (2007). Image schemas. *The Oxford handbook of cognitive linguistics*, 214-235.
- Ogborn, J. (1990). Energy, Change, Difference and Danger. *School Science Review*, 72(259), 81-85.
- Opitz, S. T., Harms, U., Neumann, K., Kowalzik, K., & Frank, A. (2015). Students’ energy concepts at the transition between primary and secondary school. *Research in Science Education*, 45(5), 691-715.
- Ritchie, S. M. (1994). Metaphor as a tool for constructivist science teaching. *International Journal of Science Education*, 16(3), 293 – 303.

- Rohrer, T. (2005). Image schemata in the brain. In B. Hampe & J. Grady (Eds.), *From perception to meaning: images schemas in cognitive linguistics* (pp. 165-196). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Santibáñez, F. (2002). The object image-schema and other dependent schemas. *Atlantis*, 183-201.
- Scherr, R. E., Close, H. G., McKagan, S. B., & Vokos, S. (2012). Representing energy. I. Representing a substance ontology for energy. *Physical Review—Special Topics: Physics Education Research*, 8(8)020115, 1–11.
- Schmitt, R. (2010). Metaphern-Analyse. In *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 676-691). Verlag für Sozialwissenschaften.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 49–59.
- Steffe, L.P., & D'Ambrosio, B.S. (1996). Using teaching experiments to understand students' mathematics. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 65-76). New York: Teacher College Press.
- Talmy, L. (1983). How language structures space. In Herbert L. Pick, Jr., & Linda P. Acredolo (Eds.), *Spatial orientation: Theory, research, and application* (pp. 225-282). New York: Plenum Press.
- Trumper, R. (1993). Children's energy concepts: a cross-age study. *International Journal of Science Education*, 15(2), 139-148.
- Turner, M. (1987). *Death is the mother of beauty: Mind, metaphor, criticism*. University of Chicago Press.
- Wals, A. E. (2012). *Shaping the education of tomorrow: 2012 full-length report on the UN decade of education for sustainable development*. Paris, France: UNESCO.
- Watts, M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213-217.

D.4 Artikel B

Larsen, Y. C., Groß J. & Bogner F. X. (2015)

Does „thinking in systems“ foster a crossdisciplinary understanding of energy?

European Scientific Journal (ESJ)

ISSN: 1857-7881 (Print), ISSN: 1857-7431 (Online)

(published online)

DOES “THINKING IN SYSTEMS” FOSTER A CROSSDISCIPLINARY UNDERSTANDING OF ENERGY?

Yelva C. Larsen ^a, Jorge Groß ^b and Franz X. Bogner ^a

^a University Bayreuth, Didactics of Biology, Z-MNU (Centre for mathematical and natural scientific education), Germany

^b Otto-Friedrich-University Bamberg, Department of Science Education, Germany

Abstract:

In school education the concept of energy should be a unifying element between all natural science disciplines. Still, many characteristics of living systems appear to be in contradiction to the laws of physics. Physics often refer to energy conservation in a closed system, whereas biology is dominated by open ecological or physiological systems with a "dynamic equilibrium". This makes the underlying, crosscutting scientific concept of energy hard to understand. Our study investigated, if the idea of an open energy system (with an in- and output of energy), located within an “idealized” closed system (in which the total amount of energy is conserved), offers the potential for a cross-disciplinary understanding. We developed a learning environment and applied interviews to identify students’ ability to think in open and closed systems. Four teaching experiments with focus groups of three students each (9th grade, secondary school, males = 10) were carried out. Within the learning environment a scaled model demonstrated processes in a biogas plant and illustrated the idea of an open system that is in direct exchange with the environment. Students easily described the conversion of energy within the scaled model, but faced severe difficulties when the energy was emitted into the environment. Consequently they showed scientifically wrong conceptions when energy could not be perceived through phenomena anymore. We propose the particle model to illustrate energy and to bridge the apparent macro- microscopic gap.

Keywords: conceptual development, particle model, open system, closed system, interdisciplinary learning

Introduction

Energy plays a central role in our everyday lives, as well as in science. Concepts of energy are crosscutting and intersect all natural science disciplines. Worldwide, societies have recognized the central role of schools within energy education and responded with a curricular implementation of energy concepts across all branches and years of schooling (e.g. NRC 2012). However, in science class the topic of energy is generally being taught focusing on the respective discipline. Rarely previous knowledge from other disciplines is incorporated, making the underlying, crosscutting scientific concepts hard to understand. Cooper & Klymkowsky critiqued that „we are failing our students by not making explicit connections among the ways energy is treated in physics, chemistry, and biology.“ (2013, p. 309). Between disciplines energy consumption, degradation and conservation often appear to be contradicting and are regarded as specific learning hurdles (e.g. Neumann et al. 2013). Only a few studies applied a multidisciplinary perspective in the discourse about a better understanding of energy (Cooper & Klymkowsky 2013; Dreyfus et al. 2015; Lancor 2014, 2014; Nagel & Lindsey 2015; Redish et al. 2014). Until now, empirically validated strategies are missing. We present our theoretical model of “thinking in systems” for an interdisciplinary understanding of the concept of energy in science class. In relation to the respective discipline, the “system nature” of the concept of energy (Duit 2014) is often either perceived within a closed or an open system. Lancor stated, that “the principle of energy conservation needs to be introduced in tandem with the idea of a clearly defined system.” (2014, p. 1263). In reference to the 2nd law of thermodynamics, physics refer to energy conservation within a closed system, e.g. in terms of calculations. In contrast to these “idealized systems” (Nordine et al. 2010, p. 670) it is stated, that „nonequilibrium systems, such as those found in living organisms, are open in terms of energy” (Cooper and Klymkowsky 2013, p. 307). Within biological structures, that are in direct exchange with each other, energy circulates (e.g. within physiological or ecological systems). This approach is incorporated, for instance, in the research field of biological or biochemical thermodynamics (Alberty, 2006; Haynie, 2001).

Already in 1950 Von Bertalanffy developed the interdisciplinary “Theory of Open Systems in Physics and Biology“. He criticized that „so far, physics and physical chemistry have been concerned almost exclusively with processes in closed reaction systems, leading to chemical equilibria. (...) We need, therefore, an extension and generalization of the principles of physics and physical chemistry, complementing the usual theory of reactions and equilibria in closed systems, and dealing with open systems, their steady states, and the principles governing them.“ (1950, p. 23). More than sixty years later we are using his considerations of a “dy-

namic equilibrium" by taking open and closed systems for an interdisciplinary teaching approach into account.

This approach combines both systems - with the idea of an in- and output of energy in open systems that are located within an “idealized” closed system. The closed system stands for a constancy of the total amount of energy amidst the change of energy within the open systems (c.f. Hiebert 1962; Elkana 1974).

The model of “thinking in systems”

“Thinking in systems” deals with a theoretical model. Hereby open systems have to be defined previously; they can be enlarged to more complex systems or reduced to a lower level of complexity. Energy can be transferred from one part of a system to another part, as well as from one system to another.

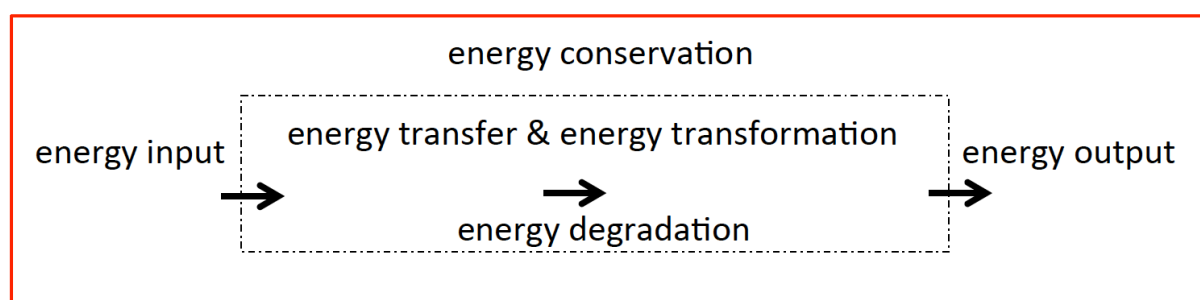


Fig. 1: The schematic representation of an open system within a closed system combines key ideas of energy. The black dashed line indicates the open system and the red continuous line the idealized closed system. Note, that Fig. 1 is simplified, taking only one single open system into account.

Fig. 1 shows a schematic representation: Within the closed system (red continuous line) energy is conserved and can move between open systems (indicated by a black dashed line). The total amount of energy remains unchanged. The connection of both systems relates energy conservation (closed system) with its input and output (open systems). Inside the open system (dashed line) energy is transferred, transformed, thereby degraded and emitted into the environment. The black line is dashed to indicate that open systems always interact with the overarching system; hence they are exposed to external forces, inter alia expressed by gravitational energy (cf. Doménech et al. 2007). As a consequence the open system should not be considered independently from the surrounding systems.

The application of our theoretical model of “thinking in systems” should connect open and closed systems within a learning environment. Thus it should foster an understanding of interdisciplinary key ideas of the concept of energy.

We developed a learning environment, which is based on the idea of “thinking in systems” and analysed the effects on students’ understanding of the concept of energy.

Sample and Procedure

Four teaching experiments were conducted and audiotaped, with focus groups of three students each. Learners were between 15 and 16 years (grade 9, secondary school). It is important to note that many aspects of the concept of energy have already been addressed in the classroom. Teaching experiments consisted of a pre-interview, an intervention and a post-interview. The same person conducted all teaching experiments and interviews that lasted on average 35 minutes. An open interview guide enabled us to rephrase original questions and to add questions to identify „mis“conceptions. Altogether twelve participants (males = 10) were interviewed. The learning environment (schematically shown in Fig. 2) should demonstrate the idea of an energy exchange between an open system (consisting of a scaled biogas model) and the idealized closed system (environment).

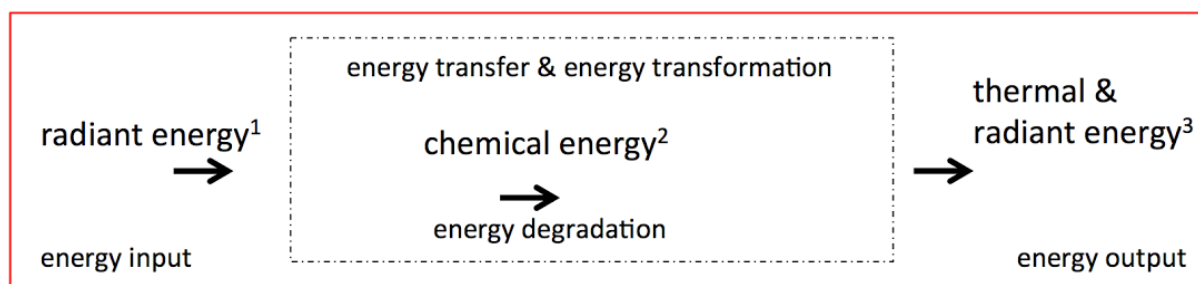


Fig. 2: Schematic representation of the practical implementation of “thinking in systems” within a learning activity. Transformation processes are indicated by numbers and explained in more detail below. The black dashed line indicates the open system and the red continuous line indicates the idealised closed system (cf. Fig. 1).

1. Energy input by biomass (as a source of energy).
2. Production of biogas via fermentation of biomass by bacteria (using liquid manure and corn) in a scaled biogas model (based on Jaeckel & Parchmann 2010)
3. Ignition of biogas and emission of thermal and radiant energy indicated by light and heat. Emitted heat could be measured with a digital infrared thermometer.

Pre-interview: Students explained – contextless - six predefined key ideas of the energy concept (input, transformation, transfer, degradation, output and conservation of energy)

Intervention: The scaled model was introduced and the interviewer explained the idea of “thinking in system” in relation to the model, including the idea of an energy exchange between the open system (represented by the model) and the closed system (represented by the environment).

Post-interview: Students should describe the six predetermined key ideas (input, output, transformation, transfer, degradation and conservation of energy) of the energy concept in reference to the open system (represented by the model) and the closed system (represented by the environment).

Data Evaluation

Firstly we evaluated the scientific connectivity of the students' descriptions. Secondly we analysed the students' „mis“conceptions and tried to detect underlying schemata to identify causes for possible learning obstacles. Our understanding of students' conceptual development is based on the theoretical assumption of an “embodied mind“ as the origin of cognitive schemata and is grounded on the theory of Experientialism (Lakoff & Johnson 1999): Lakoff and Johnson assume that we understand new matter on the basis of the known and familiar and rely on schemata that already have been established in early childhood (Lakoff 1987). They are assigned and help to structure concepts (Lakoff & Johnson 2008). Hereby energy as an abstract concept is understood imaginatively, because directly meaningful concepts and schemata are used (cf. Niebert & Gropengießer 2014).

Results

Scientific connectivity of students' descriptions

Pre-interview: In the pre-interview students mainly named definitions that already have been addressed in the classroom - interestingly they all referred to physics education. Stated descriptions of the predetermined key ideas (including input, transformation, transfer, degradation and output of energy as well as energy conservation) were not always scientifically correct at first, but have been elaborated and improved during the group discussions.

Post-interview/open system: Without difficulties students were able to transfer the key ideas to the open system. They easily identified different manifestations of energy and connected transfer and transformation processes. Hereby they explained the in- and output of energy and the degradation of energy along with energy conservation.

Post-interview/closed system: Although students could state that energy is not destroyed and still exist within the environment, they could not detect the conversion of energy outside of the open system. Learners knew that thermal and radiation energy is released into the environment and is still existent, but they could not perceive any manifestations of energy. “Mis”conceptions occurred when energy was no longer experienced by phenomena.

Exemplary „mis“conceptions

The question of the whereabouts of energy within a closed system led to extensive learning difficulties. Students answered to the question “What happens with the energy output of the glowing lamp?” and tried to explain the conservation of energy. Two “mis”conception, named during the post interview, exemplarily demonstrate the students’ attempts to identify the remaining energy (Tab. 1). David perceived the earth as a closed system; simultaneously he tried to identify energy through its effects. For Sarah energy re-circulated between the earth and the sun. Inquiring closer, Sarah compared energy with a water cycle.

Tab. 1: Students “mis”conceptions when energy was no longer experienced by phenomena

“Mis”conception	Example
Energy causes changes	“Thermal energy accumulates and contributes to global warming” (David, 15 years).
Energy is cycling	“Thermal energy is absorbed by the sun and re-radiated. Radiation energy passes on to plants and is further used for photosynthesis” (Sarah, 15 years).

Discussion

Overall, students’ concepts seemed to be quite sophisticated, if they had to reproduce key ideas of the concept of energy and applied them to the open system. It is important to note that the discussion itself (without any intervention) proved to be very conducive to learning. Contrary to our assumption, energy conservation together with the degradation or in- and output of energy did not appear to be contradicting for the students (c.f. Ogborn 1990; Trumper 1996; Neumann et al. 2013). Already before the intervention, students had a scientific understanding of energy as quantitatively stable, but subject to qualitative change. However, we identified the shift from the open to the closed system as a specific obstacle for the students.

In the post interview students could easily apply the key ideas of energy, as long as energy could be detected through its effects. They could also describe the transfer of energy into the system and out of the system. It has already been shown that the observation of energy-related phenomena fosters an experience-based understanding of energy (Brook & Wells 1988, Driver et al. 2013, Nordine et al. 2010). Thus the change from “visible” energy (open system) to “invisible” energy (closed system) could be detected as a difficulty. It seemed to be counter-inductive for the learners to believe that the “released” (thermal and radiation) energy is still there, because it could not be sensed anymore. They knew that energy could not be destroyed,

though they were not able to apply this idea in a “real world” context. This seems comprehensible as our understanding of the world is based on our experiences.

Causes for “mis”conceptions and underlying schemata

“Energy causes changes”: In accordance with literature, participants of our study only recognized energy by visible changes (Goldring & Osborne 1994; Trumper 1996; Van Heuvelen & Zou 2001) and transformation processes when they could be observed (Trumper 1998; Goldring & Osborne 1994). David’s “mis”conception that thermal energy accumulates and contributes to global warming (due to energy conservation) is representative. Students lacked the concept that (at the atomic level) heat is kinetic energy that is transferred by atoms - consequently energy “gets lost” in the atmosphere.

“Energy is cycling”: Sarah’s “mis”conception, that thermal energy is “absorbed” by the sun and re-radiated, demonstrates students’ attempts to identify an in- and output of energy. The schema of an in- and output (of energy) is directly and intuitively understandable, because of our daily life experiences (cf. Gropengießer 2007, p.109).

The closed system is counterintuitive

The idea of the conversion of energy within a closed system is based on a physical ideal that cannot be experienced directly in daily life (Nordine et al. 2011, p. 670). In real life we perceive a barrier between the in- and outside (of the system) (cf. “container schema” Johnson 1987, p. 126; Lakoff 1987, p. 267). The idea of a closed system that simultaneously is contiguous is a completely new idea that cannot be understood within common schemata. Unlike open systems, e.g. ecological or physiological systems, an idealized closed system is based on a mental image that must be accepted on the basis of physical laws.

We present the particle model as a possible solution that leads to a conceptual development: All matter is composed of discrete, energetic particles. Perceiving energy from a molecular perspective - transmitted by particles - offers the opportunity to relate to the “mis”conception “energy causes changes” also if these changes are not perceptible on a macroscopic scale. Energy can appear - simplified - as a mixture of kinetic energy, potential energy and radiation energy. Other forms of energy can be derived from this (c.f. NRC 2012; Lancor 2014, p. 1256).

Particle models of matter are widely recognised as being fundamental in science education and pupils' understanding benefits from the introduction of a "particle level" (e.g. Papageorgiou & Johnson 2005). Understanding the structure and properties of matter is an essential part of science literacy (Tytler, Peterson & Prain 2006; Merritt & Krajcik 2013).

"A vast array of biological, chemical and physical phenomena can only be explained by understanding the changes in the arrangement and motions of atoms and molecules." (Harrison & Treagust 2003, p. 189). The suitability for learning of the display of molecular movements and bonds has been shown in different contexts. In science education the model is used "to explain material properties, the states of matter and phase changes, chemical reactions, the water cycle, diffusion, DNA and cell biology." (Harrison & Treagust 2003, p. 189). Still, besides the identified learning effectiveness, significant difficulties have been found. Although it is easy to inspire students at a macroscopic level, it is a pedagogical challenge to create the same fascination at the molecular level (Othman, Treagust & Chandrasegaran 2008). Additionally a progression in thinking within particle models is generally only attained over periods of some years (Garcia Franco & Taber 2009).

Conclusion

In contrast to (physical) closed systems that refer to the second law of thermodynamics, living systems are open systems that are never in true equilibrium. Von Bertalanffy (1950) speaks of a "dynamic equilibrium". Our interdisciplinary approach of "thinking in systems" presents an opportunity to link both systems. Within an open system key ideas of energy could be easily experienced (by sophisticated students) using the phenomena it produces. Though, we identified specific learning obstacles that are connected with energy conservation within closed systems. Outside of the open system energy is not conceptually tangible and cannot be perceived by its effects anymore. We propose the particle model to bridge the macroscopic (visible) –molecular (invisible) gap. Future studies should investigate if the conception of discrete, energetic particles and the display of molecular movements and bonds foster an understanding of the way energy is transformed and conserved, if it cannot be perceived through phenomena anymore.

References

- Alberty, R. A. (2006). *Biochemical thermodynamics: applications of Mathematica* (Vol. 48). John Wiley & Sons.
- Brook, A. J., & Wells, P. (1988). Conserving the circus? An alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, 23(2), 80.
- Cooper, M. M., & Klymkowsky, M. W. (2013). The trouble with chemical energy: Why understanding bond energies requires an interdisciplinary systems approach. *CBE-Life Sciences Education*, 12(2), 306-312.
- Doménech, L. J., Gil-Pérez, G., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., & Valdés, P. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16(1), 43–64.
- Driver, R., Rushworth, P., Squires, A., & Wood-Robinson, V. (Eds.). (2013). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. Routledge.
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. In R. Chen & A. Eisenkraft (Eds.), *Teaching and learning of energy in K-12 education* (pp. 67–85). Dordrecht: Springer.
- Elkana, Y. (1974). *Discovery of the conservation of energy*. London: Hutchinson.
- Garcia Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary students' thinking about familiar phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917-1952.
- Goldring, H., Osborne, J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, 29(1), 26-32.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 105-116). Springer Berlin Heidelberg.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2003). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 189-212). Springer Netherlands.
- Haynie, D. T. (2001). *Biological thermodynamics*. Cambridge University Press.
- Hiebert, E. N. (1962). *Historical roots of the principle of conservation of energy*. Ayer Co Pub.
- Jaeckel, M. S., & Parchmann, I. (2010). Bioenergieträger der zweiten Generation, Schulexperimentelle Erarbeitung und konzeptionelle Einbettung am Beispiel Biogas und hydrothermale Karbonisierung. [Bioenergy sources of the second generation] *Chemkon*, 17(3), 117-123.
- Johnson, Mark (1987). *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*, University of Chicago.
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. Chicago, London.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought*. Basic books.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. University of Chicago press.
- Lancor, R. A. (2014). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23.
- Merritt, J., & Krajcik, J. (2013). Learning progression developed to support students in building a particle model of matter. In *Concepts of matter in science education* (pp. 11-45). Springer Netherlands.
- Nagel, M. L., & Lindsey, B. A. (2015). Student use of energy concepts from physics in chemistry courses. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 67-81.
- 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.

- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Understanding the Greenhouse Effect by Embodiment—Analysing and Using Students' and Scientists' Conceptual Resources. *International Journal of Science Education*, 36(2), 277-303.
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2010). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670–699.
- National Research Council [NRC]. (2012). A framework for K-12 science education. Washington,
- Ogborn, J. (1990). Energy, Change, Difference and Danger. *School Science Review*, 72(259), 81-85.
- Othman, J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550
- Papageorgiou, G., & Johnson, P. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena?. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1299-1317.
- Redish, E. F., Bauer, C., Carleton, K. L., Cooke, T. J., Cooper, M., Crouch, C. H., ... & Zia, R. K. P. (2014). An interdisciplinary repurposing of physics for biologists. *American Journal of Physics*, 82(5), 368-377.
- Trumper, R. (1996). Teaching about energy through a spiral curriculum: Guiding principles. *Journal of Curriculum and Supervision*, 12(1), 66-75.
- Trumper, R. (1998). A longitudinal study of physics students' conceptions on energy in pre-service training for high school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7(4), 311-318.
- Tytler, R., Peterson, S., & Prain, V. (2006). Picturing evaporation: Learning science literacy through a particle representation. *Teaching Science: the journal of the Australian Science Teachers Association*, 52(1), 12-17.
- Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work–energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194.
- Von Bertalanffy, L. (1950). The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111(2872), 23-29.

D.5 Artikel C

Larsen, Y. C., Groß J. & Bogner F. X. (2015)

Bringing out-of-school learning into schools: Self- versus peer-regulation of learning behaviour

International Journal of Science Education (IJSE)

(submitted)

Bringing out-of-school learning into schools: Self- versus peer-regulation of learning behaviour

Yelva C. Larsen ^a, Jorge Groß ^b and Franz X. Bogner ^a

^a University Bayreuth, Didactics of Biology, Z-MNU (Centre for mathematical and natural scientific education), Germany

^b Otto-Friedrich-University Bamberg, Department of Science Education, Germany

Abstract

Science centers often provide a unique mixture between minds- and hands-on learning. Bringing mobile exhibitions to schools could combine curricula with authentic experiences that focus on interactivity and exploration. We suggest a peer-monitoring of students' activities in combination with workbook guidance to structure this specific learning environment, which is a semi-formal learning approach between teacher- and self-monitoring. Within our study, 470 secondary school students between 13-16 years, participated in a multimodal hands- and minds-on exhibition that we designed and later displayed in different schools. Its focus lies on bioenergy and renewable resources. We compared the cognitive and affective outcomes of three groups: the first used peer-monitoring to control students' activities, the second a self-monitoring strategy and for the purpose of comparison, there was a third group that did not visit the exhibition. Within our quasi-experimental design we applied a pre-post-follow up questionnaire to compare cognitive and affective outcomes. In contrast to the control group both treatment groups demonstrated a highly significant increase in short- and long-term knowledge, while the peer-monitored group showed significantly higher cognitive learning outcomes than the self-monitored group. Surprisingly, peer-monitoring additionally increased students' perceived competence and simultaneously reduced the perceived level of anxiety and boredom. Consequently, when focusing on cognitive and affective learning outcomes, peer-monitoring of students' activities clearly is more effective than self-monitoring. We support peer-monitoring as a non docent-guided method that can be applied within in- and out-of-school learning. Our research contributes to the fields of 'semi-formal learning' as well as motivation and autonomy in group learning.

Keywords: peer-monitoring, self-monitoring, workbook guidance, science centre, semi-formal learning, hands-on learning

Introduction

„Scientific field trips to science centers can generate a sense of wonder, interest, enthusiasm, motivation, and eagerness to learn, which are much neglected in traditional formal school science“ (Eshach, 2007, p. 125). Science centers often present fluid transitions between education and entertainment (Schwan, Grajal & Lewalter, 2014), providing opportunities for cognitive (Lelliott, 2014) as well as social and affective learning (Şentürk & Özdemir, 2014). They offer authentic experiences with natural and technological phenomena combined with an autonomous, active and student-centred learning. Especially parameters such as intrinsic motivation, science learning achievement, an interest in science and self-confidence seem to benefit from out-of-school learning (Falk et al., 2014; Wenglinsky & Silverstein, 2007; DeWitt & Storksdieck, 2008; Bok, 2006; Anderson, Kisiel & Storksdieck, 2006).

Bringing the Science Centre into School

Although the advantages of out-of-school learning seem numerous, mainly monetary or logistic constraints (e.g. due to location, organization and implementation of scientific fieldtrips) are the reason why field trips a rare exception from daily school routine (Falk & Dierking, 2002; Anderson et al., 2006). Bringing portable exhibits or entire exhibitions into schools is a new idea that could be a valuable complement to out-of-school learning (Eshach, 2007). As ‘semi-formal learning’ it should be adapted simultaneously to the teachers’ and the students’ needs: Curriculum connection is one of the most often mentioned motivations for teachers to leave the classroom (Anderson & Zhang, 2003; Kisiel, 2003, 2005). Used as a supplement to “normal” classroom instruction, they provide opportunities to reinforce or expand the classroom curriculum. (cf. Hofstein & Rosenfeld, 1996; Storksdieck, 2006 cited in Eshach, 2007). Exhibits can easily be presented within a conceptual framework; they introduce a learning topic, summarize it, or deepen and extend it. Portable exhibitions, put up in schools, present a semi-formal learning environment that could link student-centred attributes with pre-determined learning objectives. The implementation of portable augmented reality approaches (Larsen et al., 2011) already showed positive effects on learning, while little literature considers the structure needed to support semi-formal learning environments (Jones, Scanlon & Clough, 2013). The present study focuses on the amount of structure to provide, looking for the balance between as much structure as necessary and as little structure as possible.

What is the right Amount of Structure?

The degree of structure has been discussed controversially. Teachers often prefer “structured student engagement” (e.g. docent-led guidance, worksheets or other writing activities) to free-choice learning (Cox-Petersen et al., 2003, Kisiel 2007). This seems to be triggered by the demand to supervise student behaviour, to keep them “on task” as well as by curricular specifications (Anderson et al., 2006). In contrast, informal learning settings are often characterized by an unstructured and non-sequential learning atmosphere (McManus, 1992; Ramey-Gassert, Walberg, & Walberg, 1994; Wellington, 1990). Less structure, missing accountabilities and an oversupply of stimuli and information may complicate to keep the focus on predetermined learning objectives (Allen, 2004) as well as to follow the intended connections, underlying the different types of exhibits (Allen, 2004; Falk, 1997). Minimal guidance particularly has been exposed to criticism in the context of knowledge gain (e.g. Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Mayer, 2004; Sweller, Kirschner & Clark, 2007). The meta-analysis of Alfieri and colleagues (2011) clearly showed that direct-guided instruction significantly improved knowledge gains in comparison to non-guided discovery learning settings. Conversely, teacher-controlled guidance often minimizes the opportunities to explore and is not always adjusted to the students’ needs when taking intrinsic motivation and learning emotions into account (Stavrova & Urhahne, 2010; Tal, Bamberger & Morag, 2005; Randler & Bogner, 2006). Researchers proposed different approaches that minimize the amount of choice in favour of a combination of guidance and exploration (Bamberger & Tal, 2007; 2008; DeWitt & Hohenstein, 2010; Jarvis & Pell, 2005). Group learning is a student-centred learning approach that is frequently used within formal as well as informal learning settings. Up to now, only few studies have dealt with the value of monitoring in the process of group learning (e.g. Allen, 2004). „Peer monitoring of learning behaviours involves learners keeping an eye on whether their partners are going through appropriate and effective processes and procedures of learning“ (Brown et al., 1999; p.174). Classroom studies of peer-monitoring mainly focused on the efficiency of peer-monitoring for the assessment of “on-task” and “off-task” behaviour, especially concerning group learning (for a review see Brown et al. 1999, Henington and Skinner, 1998). So far, research about peer-monitoring neglected affective and cognitive learning outcomes. We evaluated these effects in the context of a portable exhibition and propose peer-monitoring combined with workbook guidance to balance teacher-controlled instruction and self-directed exploration. Cognitive achievement effects of internal regulation compared to externally regulated behaviour, intrinsic motivation and short term learning emotions were of particular interest for this study.

Study Design

Didactic Concept & Realization

In line with the existing syllabus, the exhibits focused on the potential of renewable resources to replace fossil fuels, with special regard to bioenergy. As part of young students' scientific literacy it is not only imperative to sensitise their awareness of the finiteness of fossil fuels, but also to inform them about possible alternatives and related technologies. In contrast to wind, water and solar energy, bioenergy and educational approaches fostering it are still limited and many students show only little knowledge of it (Halder et al., 2010; 2011). The exhibition consisted of mobile exhibits that could be presented in out-of-school settings as well as inside schools. Single exhibits could also be used independently as solitary elements. We put a special focus on the application of "hands-on" exhibits in combination with multi-sensory exploration. They are known to attract more and to result in longer-lasting attention compared to non-participatory exhibits (Richards & Menninger, 2003 as cited in Allen, 2004; Anderson & Lucas, 1997; DeWitt & Osborne, 2010). A workbook and informational sheets were embedded into the "hands-on" learning part. With our learning environment we intended to awaken the interest of both genders.

Exhibits 1-4 covered a comparison of products based on renewable resources and mineral-oil based products. They included:

- (1) sorting of different products based on their sustainability.
- (2) using vision, comparing natural and synthetic fibre structures with a microscope.
- (3) using touch: a haptic comparison of natural and synthetic fibre structures.
- (4) smelling and tasting of natural products used as food colorants and their assignment to associated products.

Exhibits 5-7 showed application forms of bioenergy based on renewable gaseous, solid and liquid biomass based fuels, they included:

- (5) a miniature model of a biogas plant.
- (6) an "energy organ" consisting of eight columns (energy content of 1 KW each) powered by renewable and fossil fuels. Students compared volumes and energy values of renewable and fossil fuels.
- (7) the production of sun-seed oil with a manual seed press, including its tasting and burning (conducted under supervision)
- (8) an interactive computer game as a voluntary learning activity that was not included in the knowledge questionnaire. The "Energy race" required physical effort by riding a fixed bicycle.

Workbook Guidance

We applied a self-instructional workbook guidance approach and informational worksheets to combine hand-on and minds-on learning. Following Krombaß & Harms (2008), the workbook consisted of a closed task setting and was subdivided into sections; each section corresponded to informational sheets and hands-on exhibits. The informational sheets provided clearly defined solutions and the workbook contents were taken up in the knowledge questionnaire. We focused on factual information in favour of a between-groups comparison with only one variable (peer- versus self-monitoring). Thus we deliberately avoided open-ended tasks that require observation, discussion, and deduction of ideas (c.f. Eshach, 2007) to reduce the level of choice.

Implementation

The mobile exhibition was used in secondary schools in Bayreuth and the surrounding area. The data was collected carrying out a questionnaire survey. In total, 470 students (8th/9th grade, secondary school) participated in the study. The visit of the exhibition was part of an educational programme: Two groups, a self-monitored group (n=218, female: 47.7%) and a peer-monitored group (n=230, female: 49.4%) participated in a half-day programme that included a preliminary session (20 min.), a workbook-guided visit (90 min.) of the exhibition and a debriefing session (15 min.), (see Figure 1). The preliminary session was divided in two parts. The first part comprised a topical introduction that provided background knowledge for a more profitable learning experience. The second included an introduction to the method of peer-monitoring and behavioural rules (self-monitoring). The debriefing session (15 min.) consisted of a short teacher-directed discussion that summarized the learning outcomes. The same person conducted the preliminary and the debriefing session to avoid any “teacher effects” within test results; during the workbook-guided visit of the exhibition there was no teacher guidance. Each day, two classes visited the exhibition with a time frame of 135 min. per class. The number of students in the exhibition did not exceed 34 at any given moment. Classes were randomly divided into self- and peer-monitored groups and subdivided, also randomly into groups with up to four students each. Both treatment groups completed identical exhibit-related and workbook-guided activities. We specified different rotation sequences for each group in the workbook to provide a smooth cycle between exhibits. Each group had a time frame of up to 15 min. per exhibit.

Self- versus Peer-monitoring

Self- and peer-monitoring differ in internal regulation (self-monitored behaviour) and externally regulated behaviour (peer-monitored behaviour). We defined particular target behaviours that should help students to keep the focus on specific learning objectives (c.f. Henington and Skinner, 1998), which were communicated differently to both groups. Behavioural rules were told to the self-monitored groups and fixed on a poster that was put up in front of the class. In contrast, each peer-monitored group received a little bag with the same amount of role cards as group members. Before starting with an exhibit, each person had to draw a card out of the bag and put it back when finished. Meanwhile the role card holders had to make sure that the rest of the group followed the instructions and specific requisites of each role (Tab. 1), e.g. glasses for the role as a reader.

Table 1. Description of roles and role specific instructions for peer-monitoring.

Reader...

- ✓ read out short operating procedures at each exhibit and additional activity related information written down in the workbook to the rest of the group.

Moderator monitored that peers...

- ✓ stayed focused to the topic.
- ✓ did not disturb other groups and worked quiet (we recommend a sound level meter).
- ✓ finished each exhibit that had been started.

Material guard supervised that peers....

- ✓ handled materials with care.
- ✓ left exhibits tidy and neat.

Inspector monitored/ supervised that students...

- ✓ tried to solve all exhibit related activities.
- ✓ recorded all results in the workbook.
- ✓ finished activities before the consulting provided solutions.
- ✓ corrected wrong answers using the provided solutions.

Time manager (only performed if the group consisted of five students) ...

- ✓ made sure that the processing time per exhibit had not exceeded a maximum of 15 min..

Measurement of Science Learning Outcome

We applied a pre-, post- and retention-test to monitor pre-knowledge as well as the short- and long-term learning effects of the self- and peer-monitored groups. For the assessment of knowledge we developed a multiple-choice questionnaire with 21 items and four distractors per item. We conducted a pilot study for the development of a multiple-choice questionnaire: We provided questions that students (n=25, female: 45.8%) had to answer in writing. Those students did not visit the exhibition. Questions concentrated on factual knowledge with regard to workbook tasks and information sheets (see Tab. 2).

Table 2. Listing of four item examples of the science achievement questionnaire

1. Which plant is used for the liquid fuel production in Germany?			
a) barley	b) rye	c) wheat	d) rape
2. Which source of energy is based on mineral oil?			
a) gasoline	b) heating oil	c) biodiesel	d) plastic
3. Bioenergy is based on ...			
a) wind	b) sun light	c) water	d) geothermal energy
4. Mineral oil arises from ...			
a) dinosaur fossils	b) underground methane bubbles	c) emissions of black smokers in the deep sea	d) dead marine organisms

We used the same questions and students' incorrect answers as distractors in the multiple-choice questionnaire and conducted a distractor analysis ($n=51$, female: 36.2%, note, that gender distribution was not balanced). Based on this analysis, we selected distractors with a solution probability that varied from 20% to 80%. We applied an item difficulty index of about 25% easy items, 50% medium items and 25% difficult items (Bortz & Döring, 2002). Multiple-choice items had a sufficient level of internal consistency, determined by a Cronbach's alpha coefficients ($N = 470$) of 0.651 (pre-knowledge), 0.751 (post-knowledge) and 0.688 (retention-knowledge), (Lienert & Raatz, 1998). In the main study students completed the pre-test one week before participation, the post-test immediately after, and the retention test six to eight weeks later (Fig. 1). Students were not informed about the test schedules or repeated applications (e.g. Bogner, 1998). Additionally, students were assured that their responses would have no influence on their school marks. We advised teachers not to make any thematic connection to the exhibition until finishing the study with the retention-questionnaire. In order to exclude external learning variables not due to the programme (e.g. Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2006), a control group ($n=22$, female: 34.8%) completed the questionnaire three times without participating in the programme. In the statistical analysis, we considered gender differences, because distribution was not balanced.

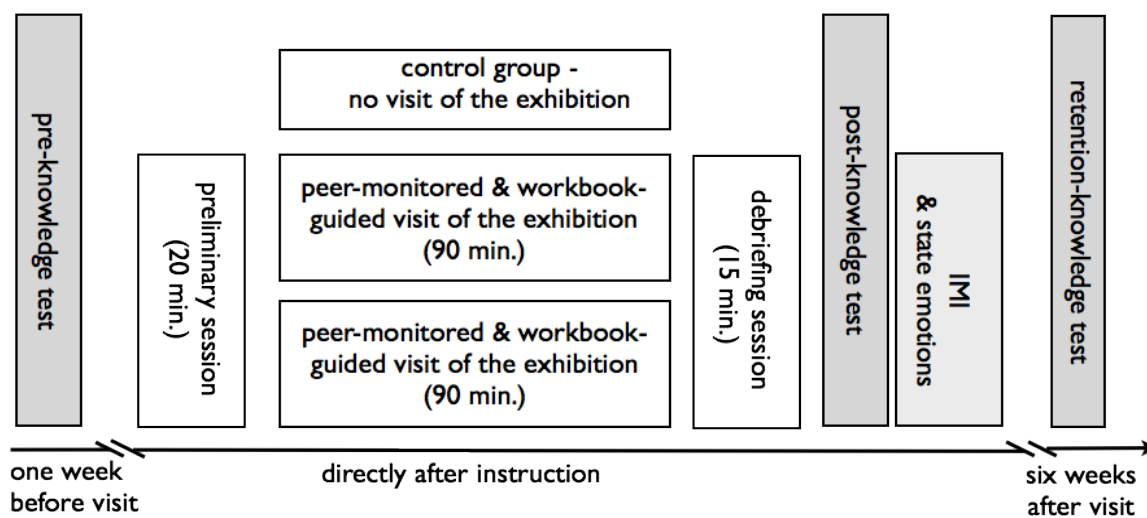


Figure 1. Overview of the study design including the two interventions and the control group (white boxes), applied scales (grey boxes) and time of testing indicated by an arrow.

Measurement of Short-Term Learning Emotions and Intrinsic Motivation

With the post-questionnaire, we assessed students' short-term learning emotions and indicators for students' intrinsic motivation. The German translation (Schaal & Bogner, 2005) of the subscales - perceived competence (6 Items) and perceived choice (7 Items) - of the intrinsic motivation inventory (Ryan, 1982) was applied as well as subscales for the short-term learning emotions of anxiety, boredom, interest and well-being (4 items each); based on Gläser-Zikuda and colleagues (2005) and adapted by Meissner & Bogner (2011). Both measurements used a 4-point Likert scale. We assessed sufficient Cronbach's alpha coefficients between 0.730 and 0.849 for all scales (Lienert & Raatz, 1998).

Statistics

We used SPSS Version 21 for data analysis. The effect size r was calculated according to Field (2009; $r = z/\sqrt{N}$) with .10 regarded as a small, .30 as a medium, and .50 as a large effect size (Cohen, 1977). We applied a non-parametric Mann-Whitney test for inter-group differences and a Wilcoxon signed-rank test for within group differences. Additionally, a binary logistic regression measured the relationship between the post- or retention-knowledge (categorical dependent variable) and scenario, pre-knowledge and gender (independent predictor variables). Results display the odds ratio as a probability score where the independent variable is a predictor for the dependent variable. We included the effect of pre-existing knowledge, gender and the interaction as predictor variables. The odds ratio shows the effect of the variables in the equation (reference category: peer-monitored group, right answer, male); odds ra-

tio = 1 reflects no difference in knowledge gain, odds ratio >1 indicates a higher, and odds ratio <1 a lower probability to give correct answers.

Results

Control versus Treatment

A control group (n=22) completed our questionnaires at the three test intervals. A comparison between pre-test (25th/75th, P=6.0/11.25, median=10), post- test (25th/75th, P=8.75/12, median=10) and retention-test (25th/75th, P=6/13, median=10) revealed neither external short- and long-term nor persistent learning effects: Pre- versus post-test ($z = -1.28$, $p = 0.2$, $r = 0.27$); pre- versus retention-test ($z = -0.68$, $p = 0.50$, $r = 0.15$); post-test versus retention-test ($z = -0.49$, $p = 0.63$, $r = 0.10$).

Science Learning Outcome

Sum scores of correct answers of both, peer- and self-monitoring, showed a highly significant knowledge increase in short- and long-term learning outcomes in comparison to pre-knowledge. Long-term achievement decreased in both groups in comparison to short-term learning outcomes (Fig. 2).

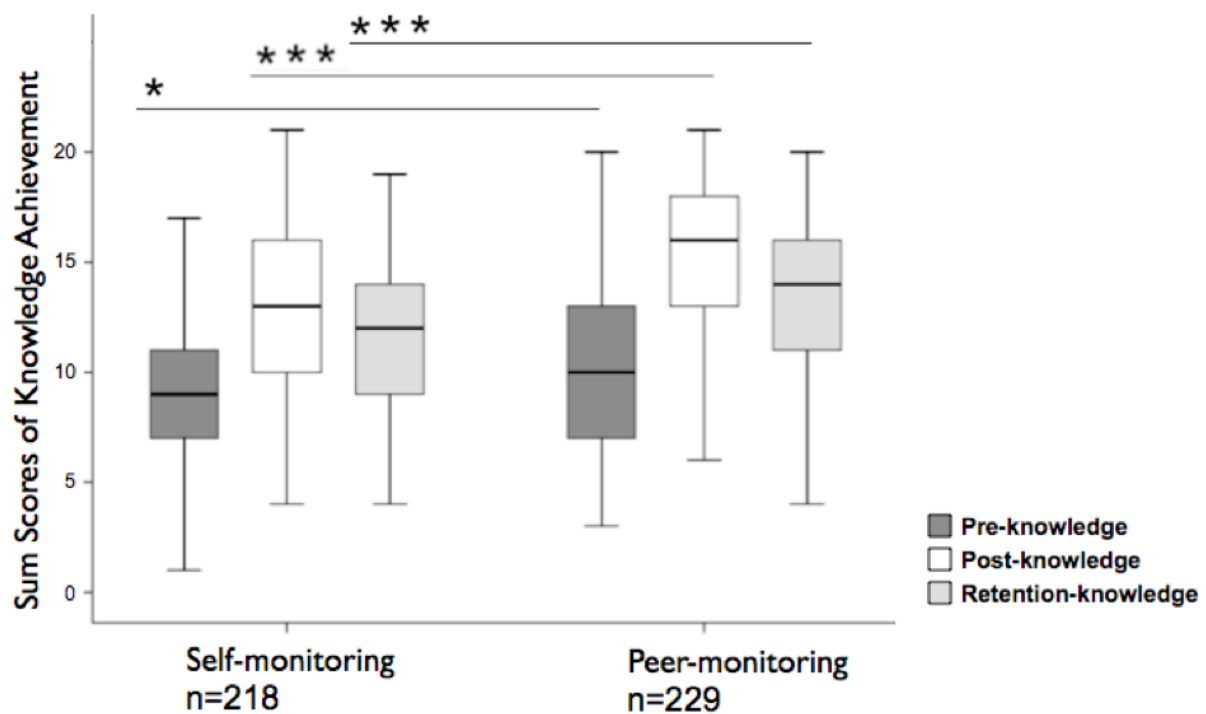


Figure 2. Box-Whisker-Plot showing sum scores of knowledge achievement of the self- and peer-monitored group at the three times of testing. Note: The Box-Whisker-Plot indicates the median, lower and upper quartile and the 9th and 91st percentile; ***significant at <.001, *significant at <.05.

Self- versus Peer-monitoring

At all testing times the peer-monitored group showed higher achievement outcomes (pre-, post- and retention test) than the self-monitored group (Tab. 3). Differences remained, if effects of the predictor variables of pre-knowledge and gender were excluded.

Data are shown below: Our inter-group comparison of science knowledge achievement scores (21 items) showed that, immediately after the programme, the peer-monitored cohort (25th/75th, P=13.0/18.0, median=16) performed significantly better than the self-monitored cohort (25th/75th, P=10.0/16.25, median=13), ($U = 17837.50$, $z = -5.30$, $p < .001^{***}$, $r = 0.25$). The better performance of the peer-monitored group (25th/75th, P=10.0/16.0, median=14) compared to the self-monitored group (25th/75th, P=9.0/14.0, median=12) still persisted six weeks after the programme ($U = 18872$, $z = -4.54$, $p < .001^{***}$, $r = 0.21$). A higher score of the peer-monitored cohort (25th/75th, P=7.0/13.0, median=10) was already visible in the pre-knowledge test ($U = 21835$, $z = -2.37$, $p < .018^*$, $r = 0.11$) in comparison to the self-monitored cohort (25th/75th, P=7.0/11.0, median=9).

Table 3. Group comparison of science knowledge achievement between different times of testing.

	Self-monitored group (n=218)			Peer-monitored group (n=230)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
25th/75th P	7.0/11.0	10.0/16.25	9.0/14.0	7.0/13.0	13.0/18.0	10.8/16.0
Median	9.0	13.0	12.0	10.0	16.0	14.0
	T1:T2	T1:T3	T2:T3	T1:T2	T1:T3	T2:T3
z	-11.52	-8.84	-6.20	-12.31	-10.62	-9.56
p	< .001***	< .001***	< .001***	< .001***	< .001***	< .001***
r	-0.78	-0.60	-0.42	-0.81	-0.70	-0.63

Note: Wilcoxon signed-rank test z; ***significant at $p < .001$, exact one-tailed significance; effect size r.

We applied a logistic regression to test for the influence of pre-existing knowledge and gender in post- (Tab. 4) and retention knowledge (Tab. 5). Asterisks indicate that all predictor variables (scenario, pre-knowledge and gender) for post- as well as for retention-knowledge were statistically significant (with the exception of gender in step 5 for the retention knowledge): Depending on the predictor included in the model, the odds ratio reveals a probability, which is 33.1% (odds ratio = .669) to 39.8% (odds ratio = .602) higher, that the self-monitored group responds incorrectly in the post-knowledge test (Tab. 4). The retention-knowledge test shows similar results, with a probability that is 22.3% (odds ratio = .777) to 40.8% (odds ratio = .592) higher (Tab. 4).

Table 4. Logistic Regression predicting “post-knowledge” from scenario, pre-knowledge and gender by odds ratio.

Variable	Reference	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
Intervention	peer-mediated	.669**	.687**	.602**	.605**	.691**
Pre-knowledge	right answer		.387**	.347**	.353**	.350**
Intervention x Pre-knowledge				1.230*	1.222*	1.238*
Gender	male				.798**	.916
Intervention x Gender						.769**
Constant		2.483**	4.296**	4.601**	5.126**	4.795**

n=9534 (*significant at $p < .05$, **significant at $p < .01$)

Table 5. Logistic Regression predicting “retention-knowledge” from scenario, pre-knowledge and gender by odds ratio.

Variable	Reference	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
Intervention	peer-mediated	.752**	.777**	.592**	.593**	.601**
Pre-knowledge	right answer		.353**	.281**	.284**	.283**
Intervention x Pre-knowledge				1.572**	1.567*	1.569**
Gender	male				.890**	.902
Intervention x Gender						.974
Constant		1.622**	2.901**	3.326**	3.513**	3.490**

n=9534 (* $p < .05$, ** $p < .01$)

Short-Term Learning Emotions and Intrinsic Motivation

Tab. 6 shows that students of the peer-monitored group had a significantly lower perception of their level of boredom and anxiety and a significantly higher perception of their level of competence in comparison to the self-monitored group. We did not record any differences with regard to the perception of choice, well-being and interest. Within all between-group comparisons the effect size r was small.

Table 6. Between-group comparison of predictors for the perception of short-term learning emotions (left side) and intrinsic motivation (right side).

Variable	Well-being	Interest	Boredom	Anxiety	Competence	Choice
Self-monitored (25th/75th P) (n=152)	1.3/2.3	1.5/2.5	2.8/3.5	3.3/3.5	2/2.5	1.6/2.6
Median	1.8	2	3	3.5	2.3	2.1
Peer-monitored (25th/75th P) (n=230)	1.5/2.3	1.5/2.5	2.8/3.8	3.3/4	1.8/2.5	1.6/2.3
Median	1.9	2	3.3	3.8	2.2	2
U	17254	17256	15298	14810	14377	16324
z	-0.22	-0.22	-2.08	-2.59	-2.96	-1.1
Between-group comparison p	.83	.83	.04*	.01**	0.003**	.27
r	0.01	0.01	0.11	0.13	0.15	0.06

Note: Mann-Whitney test U and z; **significant at $p < .01$, * significant at $p < .05$, exact one-tailed significance; effect size r.

Discussion

Science Learning Outcome

The self- and the peer-monitored group demonstrated a significant increase in short- and long-term cognitive learning. We did not compare workbook- with non-workbook guidance, but we still can conclude that the applied workbook guidance was effective with regard to factual knowledge. Our results are in accordance with Krombaß and Harms (2008), working with worksheets about biodiversity in a natural history museum. Researchers provide counter-arguments like the restriction of exploration (Griffin & Symington, 1997; Rix & McSorley, 1999) and pro-arguments, e.g. facilitating group dialogues (Mortensen & Smart, 2007) and curriculum connection (Mortensen & Smart, 2007) with regard to worksheets in an out-of school learning setting. Unlike rigid or unstructured formats, the more structured ones are often associated with an increase of feelings such as autonomy, intrinsic motivation and achievement than either rigid or completely unstructured formats (Ames, 1992; Fantuzzo, King & Heller, 1992; Ryan & Stiller, 1991; Stipek, 1996). In a semi-formal learning environment, self-instructional workbook guidance offers the opportunity to provide self-management and to set a focus on specific learning aims as „carefully designed worksheets may increase students' exposure to curriculum during a museum visit, and thus may help build better bridges between teacher needs and museum free-choice identities“ (Mortensen & Smart, 2007, p. 1389).

The peer-monitored instruction revealed a better short-term and long-term learning outcome compared to the self-monitored group. Effectiveness of peer-monitoring has been shown especially with regard to the prevention of “off-task” behaviour within group learning

(Brown et al. 1999, Henington and Skinner, 1998). It seems likely that a higher percentage of „on-task“ behaviour is also connected with a better learning outcome. Although we did not perform a quantitative observational study, we observed interesting group dynamics within the self-monitored group: Some students took over a “leader function”, while others became passive followers. Scharfenberg, Bogner and Klautke (2008) used a video-analysis to confirm that even in hands-on lessons passive followers remain passive. In the peer-monitored group, activity cards challenged all participants to become active, engaging thus both active and passive students, as well as low and high achievers. Cognitive learning outcome, intrinsic motivation and short term learning emotions should not be regarded as isolated factors but as influencing each other. The consideration of learning emotions within educational programs has been neglected for a long time in educational research (Fröhlich, Sellmann & Bogner, 2012; Osborne, Simon & Collins, 2003).

Peer-monitoring had a positive effect on affective outcomes, resulting especially in a lower perception of the level of anxiety and boredom. Short term learning emotions cannot always be expected to be long lasting, but they can very much influence learning processes (Ainley, 2006; Randler et al., 2009; Hidi, Berndorff & Ainley, 2002; Gläser-Zikuda et al., 2005). Pekrun and colleagues (2011) defined specific “achievement emotions“ (e.g. enjoyment, anxiety and boredom), which correspond to students’ learning achievements. In addition, psychological studies emphasise the correlation between emotions in learning and achievement (Hascher, 2003).

Intrinsic Motivation in the Light of Self Determination Theory

Neither effect sizes of short-term learning emotions nor predictors for intrinsic motivation revealed high values (Tab. 3). Thus, significant differences between results should not be overestimated.

In comparison to self-monitoring, peer-monitoring resulted in a higher perception of competence and choice, both subscales are indicators for intrinsic motivation. Besides perceived competence, intrinsic motivation is triggered by a feeling of social relatedness and autonomy (e.g. Deci & Ryan, 2000; Williams & Deci, 1996). Thus, peer-assisted learning promotes competence and autonomy among students, which has a positive effect on students’ self-conceptions (for a review see Fantuzzo & Ginsburg-Block, 1998; Ginsburg-Block, Rohrbeck & Fantuzzo, 2006; Rohrbeck et al., 2003). However peer-assistance can not be equated with peer-monitoring. A higher perception of competence and choice in peer-monitoring, compared to self-monitoring is an unexpected result.

The assignation and performance of specific roles might be connected with the higher perception of competence. Our study indicates, that, within Self Determination Theory, the three “psychological needs” competence, relatedness and autonomy (e.g. Deci & Ryan, 2000; Grolnick & Ryan, 1989) interact with each other. We did not measure social relatedness, but it might play an important role especially for young people and is an important factor especially in informal learning settings (Falk & Dierking, 2000; Price & Hein, 1991). Working in small groups in combination with the application of roles could have influenced group dynamics and social relatedness positively (c.f. Price and Hein, 1991). Ryan and Deci (2000) discussed a direct relationship between students’ motivation to pursue academic goals and their level of engagement in learning tasks; peer-monitoring may increase this level. To conclude, we cannot explain all interactions between the psychological needs and supplementary factors, but can still conclude that peer-monitoring seems to shape a social environment, which fosters students competence, thereby promoting intrinsic motivation.

Short-Term Learning Emotions

Self- and peer-monitored instruction did not provoke notable effects on well-being and interest, but peer-monitoring lowered the perceived level of anxiety and boredom. Pekrun and colleagues (2002a) stated: ‘Self-regulating one’s own learning may induce positive feelings, whereas external control may induce anger, anxiety, or boredom’ (p. 99). In 2010, they confirmed themselves, observing the level of boredom to be negatively related with self-regulation. Contrary to this statement the performance of specific roles did not seem to be perceived as a loss of self-regulation. This may simply be due to the fact that peers are not perceived as an authority; each person in the group performs a specific task that is perceived as part of a game, since “without rules there is no game” (Dewey, 1981; p. 52). We tried to avoid the risks of comparisons within the groups, the “competence threat” and social divisiveness (Topping, 2005) by applying a structured switching of roles. Interestingly Ryan, Stiller and Lynch (1994) described pupils as internalizing extrinsic school regulations when they felt secure and cared for.

The reduced perception of anxiety is an interesting phenomena; Gläser-Zikuda and colleagues (2005) stated that self-regulated learning requires a variety of strategies that need to be performed before they may be experienced as emotionally positive and valuable.

Although both groups received the same behavioural rules, the higher perception of anxiety within the self-monitored group could be based on insufficient experience in self-mediated learning, creating insecurity.

In different contexts, the new and unknown influenced the cognitive (Kubota and Olstad, 1991) as well as the affective outcomes (Rennie, 1995) negatively. With the application of role cards students knew and told each other how to behave, apparently emotionally reassuring, and thereby reducing the level of perceived anxiety (Sarason, 1984).

Conclusion

Bringing Science Centers into School

Opportunities for free-choice learning outside of and beyond formal education are established (Falk & Dierking, 2002). However, efficient practical approaches for the implementation of scientific activities inside school are still rare. Mobile exhibits (in addition with pre- and post-visit materials) developed in alignment with school curricula can support affective as well as cognitive learning outcomes. Workbook guidance seems to be appropriate to provide a semi-formal learning environment inside school. However, workbook-guided programmes in the context of school education require well-designed workbooks that fit curriculum standards and the learning objectives intended by the design of exhibits. In conclusion, schools, science centers and museums should cooperate to create a shared vision and to bring more scientific activities into the classroom (Eshach, 2007; Mosian 2009).

The Effectiveness of Peer-monitoring

Peer-monitoring as a method to mutually observe each other's behaviour within group learning, seems to be effective for both cognitive and affective learning outcomes. Studies that compared teacher- and peer-monitoring of process learning behaviours revealed both to be equally effective (McCurdy & Shapiro, 1992). Peer-monitoring seems to be a useful tool to introduce informal learning experiences into the formal school curriculum, based on teachers needs, but not "top-down" teacher-controlled. The application of role cards is easy to implement without the need of special resources. It seems a fruitful approach to target and define specific behaviours of process learning that imply less teacher control, but are still tailored to their needs. This could provide an enriching repertoire of student-centred learning opportunities, suitable not only in out-of-school contexts, but also during classroom teaching. In accordance to Malcolm, Hodgkinson & Colley (2003) we conceive 'formality' and 'informality' as attributes present in all circumstances of learning that should not be considered separately. We are amongst the first to suggest peer-monitoring to link these attributes and our results provide evidence, that, in contrast to self-determined behaviour, an externally, but peer-controlled learning behaviour not necessarily contradicts intrinsic motivation.

References

- Ainley, M. (2006). Connecting with learning: Motivation, affect and cognition in interest processes. *Educational Psychology Review*, 18(4), 391-405.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1-18.
- Allen, S. (2002). Looking for learning in visitor talk: A methodological exploration. In G. Leinhardt, K. Crowley, & K. Knutson (Eds.), *Learning conversations in museums* (pp. 259-303). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Allen, S. (2004). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education*, 88(S1), S17-S33.
- Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of educational psychology*, 84(3), 261-271.
- Anderson, D., & Lucas, K. B. (1997). The effectiveness of orienting students to the physical features of a science museum prior to visitation. *Research in Science Education*, 27(4), 485-495.
- Anderson, D., & Zhang, Z. (2003). Teacher perceptions of field-trip planning and implementation. *Visitor Studies Today*, 6(3), 6-11.
- Anderson, D., Kisiel, J., & Storksdieck, M. (2006). Understanding teachers' perspectives on field trips: Discovering common ground in three countries. *Curator: The Museum Journal*, 49(3), 365-386.
- Bamberger, Y., & Tal, T. (2007). Learning in a personal context: Levels of choice in a free choice learning environment in science and natural history museums. *Science Education*, 91(1), 75-95.
- Bamberger, Y., & Tal, T. (2008). An experience for the lifelong journey: The long-term effect of a class visit to a science center. *Visitor Studies*, 11(2), 198-212.
- Bogner, F. X. (1998). The influence of short-term outdoor ecology education on long-term variables of environmental perspective. *The Journal of Environmental Education*, 29(4), 17-29.
- Bok, D. (2006). *Our underachieving colleges: A candid look at how much students learn and why they should be learning more*. Princeton University Press.
- Bortz, J., & Döring, N. (2007). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human-und Sozialwissenschaftler*. Springer-Verlag.
- Brown, C. C., Topping, K. J., Henington, C., & Skinner, C. H. (1999). Peer Monitoring of Learning Behaviour: The case of 'Checking Chums'. *Educational Psychology in Practice*, 15(3), 174-182.
- Cohen, J. (1977). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (rev. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cox-Petersen, A. M., Marsh, D. D., Kisiel, J., & Melber, L. M. (2003). Investigation of guided school tours, student learning, and science reform recommendations at a museum of natural history. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(2), 200 – 218.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68.
- Ryan, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of personality and social psychology*, 43(3), 450.
- Dewey, J., & Poulos, K. E. (1991). *1938: Logic: the Theory of Inquiry*. J. A. Boydston (Ed.). Southern Illinois University Press.
- DeWitt, J., & Hohenstein, J. (2010). School trips and classroom lessons: An investigation into teacher-student talk in two settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 454-473.

- DeWitt, J., & Osborne, J. (2010). Recollections of Exhibits: Stimulated-recall interviews with primary school children about science centre visits. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1365-1388.
- DeWitt, J., & Storksdieck, M. (2008). A short review of school field trips: Key findings from the past and implications for the future. *Visitor Studies*, 11(2), 181-197.
- Eshach, H. (2007). Bridging in-school and out-of-school learning: Formal, non-formal, and informal education. *Journal of science education and technology*, 16(2), 171-190.
- Falk, J. H. (1997). Testing a museum exhibition design assumption: Effect of explicit labeling of exhibit clusters on visitor concept development. *Science Education*, 81(6), 679-687.
- Falk, J. H. & Dierking, L. D. (2002) *Lessons without limit: how free- choice learning is transforming education* (Walnut Creek, CA, AltaMira Press).
- Falk J. H., Dierking L. D. (2000) *Learning from museums: Visitors experiences and their making of meaning*. Altamira Press, Walnut Creek, CA.
- Falk, J. H. & Dierking, L. D. (2002) *Lessons without limit: how free- choice learning is transforming education*. Walnut Creek, CA, AltaMira Press.
- Falk, J. H., Needham, M. D., Dierking, L. D., & Prendergast, L. (2014). International Science Centre Impact Study. *Final report. John. H. Falk Research, Corvallis, Oregon*.
- Fantuzzo, J., & Ginsburg-Block, M. (1998). Reciprocal peer tutoring: Developing and testing effective peer collaborations for elementary school students. *Peer-assisted learning*, 121-144.
- Fantuzzo, J. W., Riggio, R. E., Connelly, S., & Dimeff, L. A. (1989). Effects of reciprocal peer tutoring on academic achievement and psychological adjustment: A component analysis. *Journal of educational psychology*, 81(2), 173.
- Fantuzzo, J. W., King, J. A., & Heller, L. R. (1992). Effects of reciprocal peer tutoring on mathematics and school adjustment: A component analysis. *Journal of Educational Psychology*, 84(3), 331.
- Fröhlich, G., Sellmann, D., & Bogner, F. X. (2012). The influence of situational emotions on the intention for sustainable consumer behaviour in a student-centred intervention. *Environmental Education Research*, (ahead-of-print), 1-18.
- Ginsburg-Block, M. D., Rohrbeck, C. A., & Fantuzzo, J. W. (2006). A meta-analytic review of social, self-concept, and behavioral outcomes of peer-assisted learning. *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 732.
- Gläser-Zikuda, M., Fuß, S., Laukenmann, M., Metz, K., & Randler, C. (2005). Promoting students' emotions and achievement—Instructional design and evaluation of the ECOLE-approach. *Learning and Instruction*, 15(5), 481-495.
- Griffin, J., & Symington, D. (1997). Moving from task-oriented to learning-oriented strategies on school excursions to museums. *Science education*, 81(6), 763-779.
- Grolnick, W. S., & Ryan, R. M. (1989). Parent styles associated with children's self-regulation and competence in school. *Journal of educational psychology*, 81(2), 143.
- Halder, P., Havu-Nuutinen, S., Pietarinen, J., & Pelkonen, P. (2011). Bio-energy and youth: Analyzing the role of school, home, and media from the future policy perspectives. *Applied Energy*, 88(4), 1233-1240.
- Halder, P., Pietarinen, J., Havu-Nuutinen, S., & Pelkonen, P. (2010). Young citizens' knowledge and perceptions of bioenergy and future policy implications. *Energy Policy*, 38(6), 3058-3066.
- Hascher, T. (2003). Well-being in school – why students need social support. In P. Mayring & C. von Rhöneck (Eds.), *Learning Emotions – The influence of affective factors on classroom learning* (pp. 127-142). Lang.
- Henington, C., & Skinner, C. H. (1998). Peer monitoring. *Peer assisted learning*, 237-253.
- Hidi, S., Berndorff, D., & Ainley, M. (2002). Children's argument writing, interest and self-efficacy: An intervention study. *Learning and Instruction*, 12(4), 429-446.

- Hofstein, A., & Rosenfeld, S. (1996). Bridging the gap between formal and informal science learning. *Studies in Science Education*, 28(1), 87 – 112.
- Jarvis, T., & Pell, A. (2005). Factors influencing elementary school children's attitudes toward science before, during, and after a visit to the UK National Space Centre. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 53-83.
- Jones, A. C., Scanlon, E., & Clough, G. (2013). Mobile learning: Two case studies of supporting inquiry learning in informal and semiformal settings. *Computers & Education*, 61, 21-32.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kisiel, J. F. (2003). Teachers, museums and worksheets: A closer look at a learning experience. *Journal of Science Teacher Education*, 14(1), 3-21.
- Kisiel, J. (2005). Understanding elementary teacher motivations for science fieldtrips. *Science Education*, 89(6), 936-955.
- Kisiel, J. F. (2007). Examining teacher choices for science museum worksheets. *Journal of Science Teacher Education*, 18(1), 29-43.
- Krombaß, A., & Harms, U. (2008). Acquiring knowledge about biodiversity in a museum—are worksheets effective?. *Journal of Biological Education*, 42(4), 157-163.
- Kubota, C. A., & Olstad, R. G. (1991). Effects of novelty-reducing preparation on exploratory behavior and cognitive learning in a science museum setting. *Journal of research in Science Teaching*, 28(3), 225-234.
- Larsen, Y. C., Buchholz, H., Brosda, C., & Bogner, F. X. (2011). Evaluation of a portable and interactive augmented reality learning system by teachers and students. In *EDEN-2011 Open Classroom Conference* (pp. 41-50).
- Lelliott, A. (2014). Understanding gravity: The role of a school visit to a science centre. *International Journal of Science Education, Part B*, 4(4), 305-322.
- Lienert, G. A., & Raatz, U. (1998). Testaufbau und Testanalyse. Beltz.
- Malcolm, J., Hodgkinson, P., & Colley, H. (2003). Informality and formality in learning: a report for the Learning and Skills Research Centre. Learning and Skills Research Centre.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59(1), 14.
- McCurdy, B. L., & Shapiro, E. S. (1992). A comparison of teacher-, peer-, and self-monitoring with curriculum-based measurement in reading among students with learning disabilities. *The Journal of Special Education*, 26(2), 162-180.
- McManus, P. M. (1992). Topics in museums and science education. *Studies in Science Education*, 20(1), 157–182.
- Meissner, B., & Bogner, F. (2011). Enriching students' education using interactive workstations at a salt mine turned science center. *Journal of Chemical Education*, 88(4), 510-515.
- Mortensen, M. F., & Smart, K. (2007). Free-choice worksheets increase students' exposure to curriculum during museum visits. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(9), 1389-1414.
- Moisan H. (2009). Partners in process: How museum educators and classroom teachers can create outstanding results. *Journal of Museum Education*, 34(4), 23–40.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International journal of science education*, 25(9), 1049-1079.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Positive emotions in education. In E. Frydenberg (Ed.), *Beyond coping: Meeting goals, visions, and challenges* (pp. 149–174). Oxford, UK: Elsevier.

- Pekrun, R., Goetz, T., Daniels, L. M., Stupnisky, R. H., & Perry, R. P. (2010). Boredom in achievement settings: Exploring control–value antecedents and performance outcomes of a neglected emotion. *Journal of Educational Psychology*, 102(3), 531.
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P., & Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36-48.
- Price, S., & Hein, G. E. (1991). More than a field trip: Science programmes for elementary school groups at museums. *International Journal of Science Education*, 13(5), 505–519.
- Ramey-Gassert, L., Walberg, H. J., & Walberg, H. J. (1994). Reexamining connections: Museums as science learning environments. *Science Education*, 78(4), 345–363.
- Randler, C., & Bogner, F. X. (2006). Cognitive achievements in identification skills. *Journal of Biological Education*, 40(4), 161-165.
- Randler, C., Khambari, M. N. M., Moses, P., Luan, W. S., & Simsek, A. (2009). Association between emotional variables and school achievement. *International Journal of Instruction*, 2(2), 3-10.
- Rennie, L. J. (2007). Learning science outside of school. In *Handbook of Research on Science Education*, ed. S. K. Abell and N. G. Lederman, 125-167. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rix, C., & McSorley, J. (1999). An investigation into the role that school-based interactive science centers may play in the education of primary-aged children. *International Journal of Science Education*, 21(6), 577-593.
- Rohrbeck, C. A., Ginsburg-Block, M. D., Fantuzzo, J. W., & Miller, T. R. (2003). Peer-assisted learning interventions with elementary school students: A meta-analytic review. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 240.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68.
- Ryan, R. M., & Stiller, J. (1991). The social contexts of internalization: Parent and teacher influences on autonomy, motivation, and learning. *Advances in motivation and achievement*, 7, 115-149.
- Ryan, R. M., Stiller, J. D., & Lynch, J. H. (1994). Representations of relationships to teachers, parents, and friends as predictors of academic motivation and self-esteem. *The Journal of Early Adolescence*, 14(2), 226-249.
- Sarason, I. G. (1984). Stress, anxiety, and cognitive interference: reactions to tests. *Journal of Personality and social Psychology*, 46(4), 929.
- Schaal, S. and Bogner, F. X. (2005) Human visual perception – learning at working stations. *Journal of Biological Education*, 40(1), 28-39.
- Scharfenberg, F. J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2006). The suitability of external control-groups for empirical control purposes: a cautionary story in science education research. *Electronic Journal of Science Education*, 11(1).
- Scharfenberg, F. J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2008). A Category-based Video Analysis of Students' Activities in an Out-of-school Hands-on Gene Technology Lesson. *International Journal of Science Education*, 30(4), 451-467.
- Schwan, S., Grajal, A., & Lewalter, D. (2014). Understanding and engagement in places of science experience: Science museums, science centers, zoos, and aquariums. *Educational Psychologist*, 49(2), 70-85.
- Şentürk, E., & Özdemir, Ö. F. (2014). The effect of science centers on students' attitudes towards science. *International Journal of Science Education, Part B*, 4(1), 1-24.
- Stavrova, O., & Urhahne, D. (2010). Modification of a school programme in the deutsches museum to enhance students' attitudes and understanding. *International Journal of Science Education*, 32(17), 2291-2310.

- Stipek, D. J. (1996). Motivation and instruction. *Handbook of educational psychology*, 85-113.
- Sweller, J., Kirschner, P. A., & Clark, R. E. (2007). Why minimally guided teaching techniques do not work: A reply to commentaries. *Educational Psychologist*, 42(2), 115-121.
- Tal, R., Bamberger, Y., & Morag, O. (2005). Guided school visits to natural history museums in Israel: Teachers' roles. *Science Education*, 89(6), 920-935.
- Topping, K. J. (2005). Trends in peer learning. *Educational psychology*, 25(6), 631-645.
- Wellington, J. (1990). Formal and informal learning in science: The role of the interactive science centers. *Physics Education*, 25(5), 247.
- Williams, G. C., & Deci, E. L. (1996). Internalization of biopsychosocial values by medical students: a test of self-determination theory. *Journal of personality and social psychology*, 70(4), 767.

E Anhang

E.1 Vorstudie

Larsen, Y. C., Groß J. & Bogner F. X. (2015)
Vermittlung eines fächerverbindenden Energiekonzepts nach dem Modell der Didaktischen
Rekonstruktion
Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN)
(submitted)

E.2 Ausstellungsumsetzung

Eine Ausstellungsdokumentation und erstellte Materialien sind dem Sachbericht zu entnehmen, verfügbar unter:

<http://www.region-bayreuth.de/Bioenergieregion/BioenergieFachprojekte/Umweltbildung/Bioenergie-Edutainment-Programm.aspx> (Stand Juli, 2015).

Zugehörige Publikation: Larsen, Y., Groß J. & Bogner F. X. (2015). Handlungsorientierte Lernangebote zur energetischen und stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. *Unterricht Chemie*, 26 (148), 41-43

E.3 Auszeichnung UN-Dekade 2011/2012 „Bildung für nachhaltige Entwicklung“

E.4 Verwendete Fragebögen

Im Folgenden sind die angewandten Fragebögen der drei Testzeitpunkte aufgeführt. Sie enthalten die in dieser Studie verwendeten Skalen, sowie Skalen, offene Fragen und Aufgaben zum Erstellen einer „concept map“, deren Auswertung nicht Teil der hier vorgelegten Arbeit sind.

Vermittlung eines fächerverbindenden Energiekonzepts nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Yelva C. Larsen ^{a*}, Jorge Groß ^a, Franz X. Bogner ^b

^a Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Didaktik der Naturwissenschaften,
Markusplatz 3, 96047 Bamberg

^b Universität Bayreuth, Lehrstuhl Didaktik der Biologie, Z-MNU (Zentrum für math.-
naturwiss. Unterricht), NW-1, 95447 Bayreuth

*Korrespondierender Autor:

Tel.: +49 (0)951 863-1915

Fax: +49 (0)951 863-4805

Email: yelva.larsen@uni-bamberg.de

Zusammenfassung

Ein naturwissenschaftliches Energiekonzept ist in der belebten als auch unbelebten Natur für das Verständnis einer Vielzahl physikalischer und biochemischer Prozesse von zentraler Bedeutung. Innerhalb der Fachwissenschaften kommen jedoch unterschiedliche Aspekte von Energie zur Anwendung und ein fächerverbindendes Energiekonzept stellt für Lernende eine wesentliche Lernhürde dar. Diese darzustellen, zu analysieren und Vermittlungsansätze für einen erfolgreichen Lernprozess zu bilden, ist das Ziel dieser Studie. Sie orientiert sich am Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Methodik; das Studiendesign gliedert sich in drei Teile: (a) Klärung fachspezifischer Vorstellungen im Kontext Energie und Identifikation zentraler Aspekte eines fächerverbindenden Energiekonzepts, (b) Beleuchtung von Lernhürden einer fächerverbindenden Betrachtung und (c) Entwicklung von Vermittlungsstrategien zu ihrer Überwindung. (a) Zur Darstellung von Energie als „cross-cutting concept“ werden folgende sechs Aspekte als wichtig erachtet: Aufnahme, Umwandlung, Transport, Entwertung, Abgabe und Erhaltung von Energie. (b) Die genannten Aspekte kommen entweder im Kontext offener oder abgeschlossener Systeme zur Anwendung, was ihre gemeinsame Betrachtung erschwert. Ein mangelndes Verständnis offener (Aufnahme und Abgabe von Energie) und abgeschlossener (Erhaltung von Energie) Systeme wird als Ursache der Alltagsvorstellung der Produktion und des Verbrauchs von Energie postuliert. (c) Zwei interagierende Verstehenszugänge werden als bedeutsam für eine Vorstellungsentwicklung von Energie als „cross-cutting concept“ erachtet: Energie ist abstrakt und kann in Anlehnung an die kognitive Metapherntheorie und die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens sowohl über vorhandene Image-Schemata erschlossen werden, als auch über Phänomene wahrgenommen werden. Das Stiften von Erfahrungen über Phänomene in Kombination mit dem Denkmodell eines offenen Systems als Teil eines übergeordneten abgeschlossenen Systems wird als Vermittlungsstrategie aufgezeigt. Beispielhaft legt die vorliegende Studie ein theoriegeleitetes Vorgehen dar, die aufgezeigten Vermittlungsstrategien werden in Folgestudien evaluiert.

Einleitung

In Lehrplänen und Curricula kommt einem fächerverbindenden Energiekonzept eine Schlüsselrolle zu (NRC, 2012; Schweingruber, Keller & Quinn, 2012). Es gilt als zentral für ein vertieftes Verständnis der Naturwissenschaften (Neumann, Viering, Boone & Fischer, 2013; Opitz et al., 2015) und ist eine wichtige Voraussetzung einer Bewertungskompetenz im Sinne eines „socio-scientific reasoning“, insbesondere innerhalb der gesellschaftlichen Debatte einer ökologisch vertretbaren und langfristig gesicherten Energieversorgung (vgl. Bannwarth, Kremer & Schulz, 2007). Diese Bedeutung spiegelt sich jedoch oft nicht im limitierten Verständnis Lernender wieder (u.a. Nordine, Krajcik & Fortus, 2010; Chen et al., 2014). Der Energiebegriff ist abstrakt und stellt eine nicht zu unterschätzende Barriere für Lernende dar. Folglich konzentriert sich die Lehr- und Lernforschung bereits seit den 1970er Jahren auf die Diskrepanz zwischen dem wissenschaftlichen Verständnis und den Vorstellungen Lernender zum Energiekonzept. Vor dem Hintergrund einer kontextspezifischen Betrachtung von Energie in den Fachwissenschaften, stellt der schulische Anspruch einer fächerverbindenden Betrachtung eine besondere Lernhürde dar. Lernangebote, die ein ganzheitliches Verständnis von Energie fördern, erfordern eine kohärente Verbindung einer physikalischen, biologischen und chemischen Sichtweise von Energie. Nur wenige Studien hatten jedoch bisher zum Ziel in diesem Diskurs eine disziplinenübergreifende Perspektive aufzuzeigen (Cooper & Klymkowsky, 2013; Nagel & Lindsey, 2015; Redish et al., 2014). Diese darzustellen, zu analysieren und Ansätze zum Verständnis eines fächerverbindenden Energiekonzepts zu bilden, ist Absicht dieser Studie. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (s. Abb.1) (Duit et al., 2012; Gropengießer & Kattmann, 2013) bietet einen Forschungsrahmen für eine Annäherung von fachwissenschaftlicher, schulischer und Lerner-Perspektive. Es basiert auf einem moderaten Konstruktivismus (Riemeier, 2007), Lernen wird dabei als ein aktiver Prozess der Wissensintegration in bereits bestehende Vorstellungen betrachtet (Duit & Treagust, 2003). Folgerichtig sollten Vermittlungsstrategien zum Energiekonzept in Abhängigkeit zu den bestehenden Lernervoraussetzungen didaktisch strukturiert werden. Das Studiendesign gliedert sich in drei Teile: a) Klärung fachspezifischer Vorstellungen im Kontext Energie und Identifikation zentraler Aspekte eines fächerverbindenden Energiekonzepts (fachliche Klärung) b) Identifikation von Lernhürden eines fächerverbindenden Energiekonzepts (Lernpotenzial-Diagnose) und c) Aufzeigen von Vermittlungsstrategien zu ihrer Überwindung (Didaktische Struktur/ierung) (vgl. Abb.1).

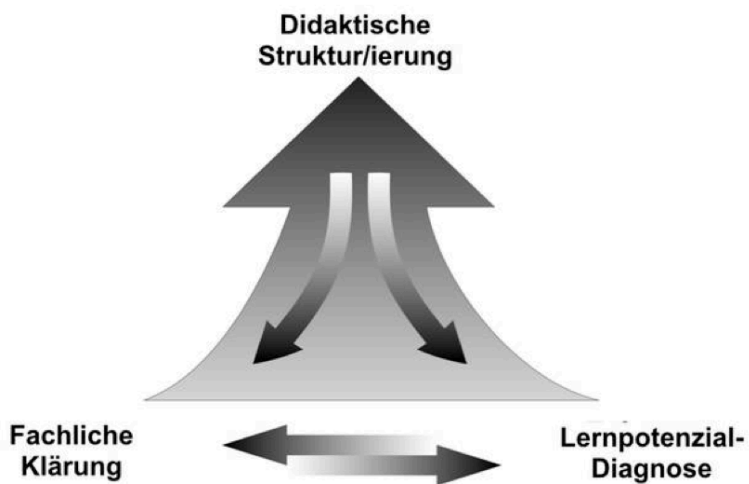


Abb. 1: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (verändert nach Groppengießer & Kattmann, 2013)

Fachliche Klärung

1. Das Energiekonzept aus fachwissenschaftlicher Perspektive

Bis heute existiert keine allgemeingültige Definition von Energie (Feynman, Leighton & Sands, 2011). In Lehrbüchern lassen sich Begriffsbestimmungen meist in drei Kategorien einteilen (vgl. Lancor, 2014a, S. 1254). Energie wird dabei vorwiegend in einem physikalischen Kontext verstanden:

- 1) Energie als „die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten“ (Sadava et al., 2011 zitiert in Hartley et al., 2012), konkreter als „die Fähigkeit durch Bewegung von Materie gegen eine Kraft Arbeit zu leisten.“ (Purves et al., 2006, S. 1706).
- 2) Energie als die Fähigkeit (in physikalischen und chemischen Systemen) eine Veränderung zu bewirken (Campbell & Reece, 2007 zitiert in Hartley et al., 2012; Purves et al., 2006, S. 1706).
- 3) Energie als messbare physikalische Veränderung, verstanden als Maß der Änderung in einem System (Tipler & Mosca, 2008, S. 190).

Diese Definitionen beziehen sich vorrangig auf Vorgänge, die beobachtet werden können. Sie wurden in der Literatur auf Grund ihrer Kontextspezifität und des Fehlens eines kausalen Zusammenhangs vielfach diskutiert (Hecht, 2007; Kaper & Goedhard, 2002). Unter anderem kritisierte Duit (1991), dass die Energieentwertung zu wenig Berücksichtigung findet, welche beispielsweise das Arbeitsvermögen begrenzt.

Für den schulischen Alltag erweisen sich die oben genannten Definitionen als nicht ausreichend praktikabel. Der Versuch einer fachlichen Klärung zeigt, dass innerhalb der Fachwissenschaften kein einheitliches Energiekonzept existiert. Es lässt sich ableiten, dass innerhalb des Physik-, Biologie- und Chemieunterrichts unterschiedliche Aspekte bedeutsam erscheinen (vgl. Lancor, 2014a). Die nordamerikanischen „Next Generation Standards“ betonen die Bedeutung eines Verständnisses von Energie als „cross-cutting concept“ (NRC, 2012; Chen et al., 2014). Zur Identifikation zentraler Aspekte eines fächerverbindenden Energiekonzepts werden im Folgenden fachspezifische Aspekte aus Perspektive des Physik-, Chemie- bzw. Biologieunterrichts beleuchtet.

Energie im Physikunterricht

Duit (2014) favorisiert ein universelleres Energiekonzept und fasst die Aspekte Energieumwandlung, Energietransport, Energieerhaltung und Energieentwertung in einem Energiequadruga zusammen (s. Abb. 2). Sie kommen auch in den Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss innerhalb des Basiskonzepts Energie (KMK, 2004, S. 9) zur Anwendung.

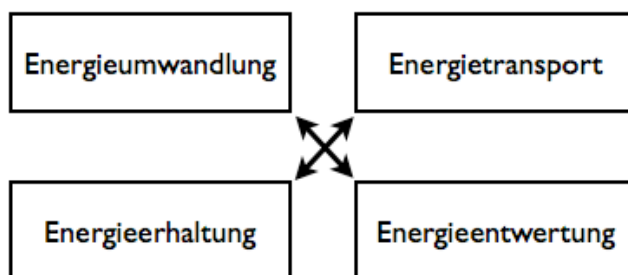


Abb. 2: Vier zentrale Aspekte des Energiekonzepts (Duit, 2014)

Die genannten Aspekte implizieren den 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik und werden insbesondere im Physikunterricht als verbindendes Element der Teildisziplinen Mechanik, Wärmelehre und Elektrizitätslehre verwendet. Im Hinblick auf ein „fachspezifisch-pädagogisches Wissen“ und ein ganzheitliches Verständnis werden sie als zentral betrachtet. Ihr physikalisches Verständnis wird nachfolgend beschrieben:

Energieumwandlung

Energie kann ihre Erscheinungsform in Abhängigkeit vom Träger verändern und dabei in unterschiedliche Energieformen umgewandelt werden. Dies entspricht einer phänomenologischen Unterteilung in mechanische, thermische, elektrische, optische oder chemische Prozesse.

Die beteiligten Energieformen können hauptsächlich auf die zwei Ausgangsformen kinetische und potentielle Energie zurückgeführt werden (Jewett, 2008).

Energietransport

Energie ist immer an Objekte (Energieträger) gekoppelt, durch die ein Energietransport erfolgt, z.B. durch eine Wärmeleitung (Atome/Moleküle) oder eine Stromleitung (Elektronen). Ein Energietransport über Energieträger lässt sich indirekt über physikalische Messgrößen bestimmen. Der Transport von Energie impliziert nicht zwangsläufig eine Umwandlung der Erscheinungsform von Energie (Jewett, 2008).

Energieentwertung

Unterschiedliche Erscheinungsformen von Energie unterscheiden sich in ihrer qualitativen Wertigkeit. Thermische Energie ist nur eingeschränkt in andere Energieformen umwandelbar und stellt eine Endstufe aller Umwandlungsprozesse dar (Herwig & Moschallski, 2009). Die Anzahl möglicher Umwandlungen reduziert sich daher mit jedem Transformationsprozess und der Gesamtbetrag der nutzbaren Energie kann in einem System ohne die Zufuhr von Energie abnehmen (Duit, 2014).

Energieerhaltung

Unabhängig von der Wertigkeit von Energie bleibt die Gesamtmenge an Energie innerhalb eines abgeschlossenen Systems (als idealisierte Vorstellung) konstant. Sie kann weder vermehrt noch vermindert werden, das heißt die Summe der verschiedenen Erscheinungsformen von Energie enthält stets die gleiche Menge an Gesamtenergie (Feynman, Leighton & Sands, 2011, S. 3-4). Die Vorstellung der Energieerhaltung in einem abgeschlossenen System beruht fachlich betrachtet auf einer physikalischen Idealvorstellung, die bisher nicht widerlegt werden konnte, jedoch auch nicht unmittelbar erfahrbar ist (Nordine, Krajcik & Fortus, 2010, S. 670).

Energie im Chemie- und Biologieunterricht

Der Chemie- und Biologieunterricht beschäftigt sich mit Stoff- und Energieumwandlungen und damit verbundenen (bio)-chemischen Reaktionen. Im Chemieunterricht stehen hierbei „Wie“-Fragen und Stoffeigenschaften im Vordergrund, während sich der Biologieunterricht mit „Warum“-Fragen beschäftigt. In beiden Fächern erscheinen die Aspekte der Aufnahme (vgl. Lee & Liu, 2010) und Abgabe von Energie innerhalb von offenen Systemen als zentral: Als Grundprinzip entstehen bei chemischen Reaktionen neue Stoffe und die Energie, die zur Überwindung der Anziehungskräfte aufgebracht werden

muss, unterscheidet sich innerhalb der Produkte und der Edukte. Als Konsequenz laufen die damit verbundenen Reaktionen entweder endotherm oder exotherm ab, wobei Energie zugefügt oder abgegeben wird. Im Biologieunterricht steht im Zusammenhang mit Energie der Metabolismus von Lebewesen im Vordergrund. Lebende Organismen benötigen eine beständige Zufuhr von Energie um Strukturen aufzubauen bzw. aufrechtzuerhalten und Prozesse in Bewegung zu halten. Auf atomarer Ebene zeichnet sich Energie durch die Fähigkeit zum Umsortieren von Atomen aus (Campbell & Reece, 2010, S. 88). Energie bewegt sich dabei in Richtung der geringeren Gleichverteilung der Atome. Besteht keine Potenzialdifferenz kommt der Energiefluss zum Stillstand. Die Gleichverteilung von Atomen kann biologisch als Abbauprozess gedeutet werden. Durch die Zufuhr von Atomen mit einer geringeren Gleichverteilung bzw. die Abfuhr von Atomen mit einer hohen Gleichverteilung kann eine erneute Potenzialdifferenz hergestellt werden, wodurch es abermals zum Energiefluss kommt. Umgekehrt bedeutet in biologischen Systemen eine Gleichverteilung gleichzeitig das Ende des Energieflusses und den Tod des lebenden Organismus. Pflanzen betreiben Photosynthese und sind phototroph, sie sind die Grundlage der Strukturbildung. Sie nutzen Sonnenlicht als Energiequelle, um aus niedermolekularen, anorganischen Stoffen (hohe Gleichverteilung) komplexere organische Stoffe (geringe Gleichverteilung) aufzubauen. Im Gegensatz dazu nehmen chemotrophe Lebewesen hochmolekulare, organische Stoffe als Nährstoffe auf und wandeln diese in niedermolekulare, organische Stoffe um (Katabolismus). Die Verbindung einer stofflichen und energetischen Ebene lässt sich wie folgt darstellen: Bei der Umwandlung hochmolekularer Stoffe in niedermolekulare Stoffe wird Energie freigesetzt. In lebenden Organismen nimmt der Anteil der thermischen Energie durch Umwandlungsprozesse beständig zu und wird an die Umgebung abgeführt. Auf Teilchenebene betrachtet ist eine erhöhte Molekülbewegung mit einer erhöhten Gleichverteilung gleichzusetzen. Als Ausgleich benötigen Organismen eine beständige Zufuhr von hochmolekularen Stoffen um Abbauprozesse auszugleichen.

Zusammenfassend lassen sich für die Vermittlung eines fächerverbindenden Energiekonzepts sechs zentrale Aspekte identifizieren: Aufnahme, Umwandlung, Transport, Entwertung, Abgabe und Erhaltung von Energie. Sie werden innerhalb der Lernpotenzial-Diagnose aus fachwissenschaftlicher Perspektive (einer kontextspezifischen Betrachtung) als auch aus Schülerperspektive auf Lernhürden eines fächerverbindenden Energiekonzepts analysiert.

Lernpotenzial-Diagnose

Lernhürden einer fachwissenschaftlichen Betrachtung von Energie

Es konnte aufgedeckt werden, dass innerhalb des Physik- und des Biologie-/Chemieunterrichts je nach Kontext unterschiedliche Aspekte zum Energiekonzept bedeutsam erscheinen (vgl. Lancor, 2014a). Der Energiebegriff wird systemisch betrachtet, Duit (2014) spricht von “the system nature of the concept of energy“. Die genannten Aspekte kommen jedoch innerhalb von unterschiedlichen Systemvorstellungen zur Anwendung, woraus sich Lernhürden ableiten lassen: Bei physikalischen Berechnungen steht häufig die Energiebilanz im Vordergrund, die durch charakteristische Messgrößen und Messverfahren quantifiziert wird. Hierbei wird Energie innerhalb von Systemen mit klar definierten Systemgrenzen betrachtet und es gilt zwischen eintretender, austretender und innerer Energie zu unterscheiden. Die Energie innerhalb eines Systems kann dabei als Arbeitsvermögen bezeichnet werden, wobei die Arbeit als die Übertragung von Energie von einem festgelegten Teilsystem zu einem anderen betrachtet wird (Bader, 2001, S. 26). Unter Berücksichtigung der Energieerhaltung sind in der Physik offene Systeme Teilsysteme eines übergeordneten abgeschlossenen Systems, in dem der Satz der Energieerhaltung zur Anwendung kommt. Dabei bleibt Energie quantitativ erhalten, ist aber einer qualitativen Veränderung (Energieentwertung) unterworfen.

Die Biologie setzt sich mit Lebewesen auseinander, welche als energieabhängige offene Teilsysteme betrachtet werden können. Teilsysteme können von der Zelle bis zum Ökosystem unterschiedliche Systemebenen einnehmen, die untereinander wechselwirken und zwischen denen Informations-, Energie- und Stoffströme bestehen können. Energie wird hierbei aus der Umwelt aufgenommen, gespeichert und wieder an die Umwelt abgegeben (s. Abb. 3).

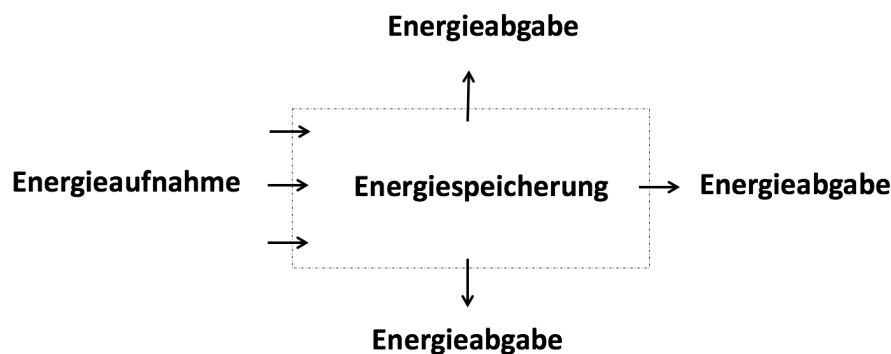


Abb. 3: Vereinfachte Darstellung der Aufnahme und Abgabe von Energie innerhalb von offenen biologischen Systemen.

Zur Aufrechterhaltung eines Gleichgewichts impliziert diese Zufuhr gleichzeitig auf stofflicher Ebene die Ausscheidung von niedermolekularen Strukturen und auf energetischer Ebene die Abgabe von thermischer Energie. Der offene Charakter eines Systems ist daher die notwendige Bedingung für die kontinuierliche Arbeitskapazität des Organismus (Von Bertalanffy, 1950) und die Vorstellung eines abgeschlossenen Systems ohne externe Energiezufuhr stellt aus biologischer Sicht eine „Sackgasse“ dar (s. Abb. 4).

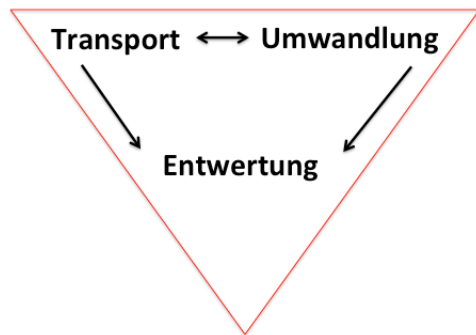


Abb. 4: Energieentwertung (ohne eine externe Energiezufuhr) impliziert, dass Transformationsprozesse irreversibel sind (vgl. Larsen, Groß & Bogner, 2015).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Aspekte der Auf- und Abnahme von Energie in offenen Systemen und die Energieerhaltung in einem abgeschlossenen System zur Anwendung kommen. Werden diese unterschiedlichen Systemvorstellungen in der Vermittlung nicht berücksichtigt kann die gemeinsame Betrachtung der Aspekte im Sinne eines fächerverbindenden Energiekonzepts zu Verständnisschwierigkeiten führen.

Lernhürden einer alltagsweltlichen Betrachtung von Energie

Eine Zusammenstellung von Studien zu Schülervorstellungen umfasst mehr als 190 Studien zum Energiekonzept (Duit, 2009), es konnten fachlich falsche Vorstellungen in einem physikalischen (Duit, 2014), biologischen (Burger, 2002; Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012) und chemischen Kontext (Barke & Harsch, 2011) aufgezeigt werden. Es konnten insbesondere Verständnisschwierigkeiten zu folgenden Bereichen belegt werden:

- Energiespeicherung (Arons, 1999; Van Heuvelen & Zou, 2001)
- Energieerhaltung (Ogborn, 1990; Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012)
- Energieentwertung (Trumper, 1996)
- Identifikation unterschiedlicher Energieformen (Duit, 2014)

Unabhängig von der Fachdisziplin konnte hierbei die Vorstellung von Energie als eine immaterielle, abstrakte Idee (Watts, 1983) als besondere Lernhürde identifiziert werden.

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer, 2007; Groß, 2007) bietet in Anlehnung an die kognitive Metapherntheorie (Lakoff & Johnson, 1987; 1999; 2008) einen Verstehenszugang zur Erschließung abstrakter Konzepte. Bereits frühkindlich haben wir über sich wiederholende Erfahrungen mit dem eigenen Körper und der Umwelt Image-Schemata entwickelt und verinnerlicht, welche unbewusst abgerufen und auf abstrakte Vorstellung übertragen werden können. Abstrakte Konzepte werden dabei durch die Übertragung eines erfahrbaren Bereichs auf einen nicht unmittelbar erfahrbaren Bereich erschlossen. Es wird vermutet, dass Vorstellungen auf Grundlage vorhandener Image-Schemata zumeist eine größere Varianz und geringere fachliche Anschlussfähigkeit zeigen, als Vorstellungen, die auf direkten Erfahrungen basieren. Das Stiften von Erfahrungen mittels einer phänomenorientierten Vermittlungsstrategie sollte sich demnach lernförderlich auf das Lernerverständnis auswirken. Eine Vermittlungsstrategie über Phänomene wird seit den 1980er Jahren (Brook & Wells, 1988; Watts, 1983) bis heute (Nordine, Krajcik & Fortus, 2010) zur Veranschaulichung von Energie bestätigt.

In der vorliegenden Analyse wird postuliert, dass auch bei einer phänomenorientierten Vermittlung Image-Schemata unbewusst zur Anwendung kommen: Vorstellungen zum Energiekonzept basieren auf unmittelbaren Erfahrungen, in denen Energie über Phänomene wahrgenommen werden kann. Wirkungen von und Veränderungen durch Energie können jedoch immer nur in Ausschnitten sinnlich erfasst werden und es wird vermutet, dass „Wahrnehmungslücken“ durch vorhandene Image-Schemata geschlossen werden. Die Gleichsetzung von Energie mit etwas Materiellem kann beispielsweise Ursache fachlicher Fehlvorstellungen sein (Hartley et al., 2012), insbesondere in Bezug auf den Aspekt der Energieerhaltung (Burger & Gerhardt, 2003, S. 497). In der unmittelbaren Auseinandersetzung wird Energie indirekt in Verbindung mit Objekten wahrgenommen, diese Wahrnehmung interagiert mit einem bereits vorhandenen „Objekt-Schema“ (Lancor, 2014 a,b). Wir haben durch die Interaktion mit Objekten ein festgelegtes Schema entwickelt, welches unbewusst abgerufen und auf die Vorstellung von Energie übertragen wird.

Die quantitative Erhaltung von Energie ist durch die Umwandlung in unterschiedliche Energieformen und die damit verbundene qualitative Entwertung nur begrenzt über Phänomene erfahrbar. Genauso wie Masse, beispielsweise bei Verbrennungsprozessen nicht mehr visuell wahrgenommen werden kann und scheinbar verschwindet, kommt die Vorstellung der Vernichtung von Energie (Vernichtungskonzept; Barke, 2006, S. 304) zur Anwendung. Als Konsequenz verstehen Lernende die Auf- und Abgabe von Energie oft als Produktion und Verbrauch von Energie (vgl. Burger, 2002). Zusammenfassend liegt der Studie die Annahme zugrunde, dass das Stiften von Erfahrungen vorhandene Schemata ergänzen bzw. ersetzen kann und sich positiv auf die Vermittlung der Aspekte zum Energiekonzept auswirkt.

Didaktische Struktur/ierung

Die Modellvorstellung offener Systeme (mit der Aufnahme und Abgabe) von Energie als Teil eines übergeordneten abgeschlossenen Systems (indem die Gesamtenergie erhalten bleibt) kann eine fruchtbare Alternative zum Vernichtungskonzept anbieten. Das offene System wird über ein Miniaturmodell dargestellt, dass die Weitergabe von Energie über Phänomene zeigt. Es ist Bestandteil eines übergeordneten abgeschlossenen Systems, welches real nicht existiert und als Denkmodell graphisch visualisiert wird. Die Vermittlungsstrategie beruht auf der Vorstellung von Energie, die weder erzeugt noch verbraucht werden kann, sich aber zwischen oder innerhalb von Systemen bewegt und dabei unterschiedlich in Erscheinung tritt (s. Abb. 5).

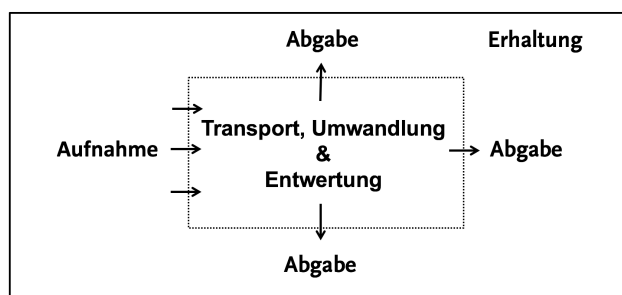


Abb. 5:
Schematische Darstellung eines offenen Systems (durchgezogene Linie) innerhalb eines abgeschlossenen Systems (gestrichelte Linie) (vgl. Larsen, Groß & Bogner, 2015).

Von Bertalanffy (1950, S. 23) stellte bereits vor über 60 Jahren beide Systeme gegenüber und forderte in der Physik und physikalischen Chemie die Berücksichtigung von Zuständen eines Nicht-Gleichgewichts:

“So far, physics and physical chemistry have been concerned almost exclusively with processes in closed reaction systems, leading to chemical equilibria. (...) The cell and the organism as a whole, however, do not comprise a

closed system, and are never in true equilibrium, but in a steady state. We need, therefore, an extension and generalization of the principles of physics and physical chemistry, complementing the usual theory of reactions and equilibria in closed systems, and dealing with open systems, their steady states, and the principles governing them.“

Es wird vor diesem Hintergrund vermutet, dass sich die gemeinsame Betrachtung offener und abgeschlossener Systeme lernwirksam auf das Verständnis eines fächerverbindenden Energiekonzepts auswirkt.

Im Kontext dieser Studie wurde ein Miniaturmodell entwickelt, dass die Weitergabe von Energie, beginnend mit der Zufuhr chemischer Energie durch die mikrobielle Verwertung von Biomasse bis hin zur Stromerzeugung über „Energieindikatoren“ veranschaulicht (s. Abb. 6).

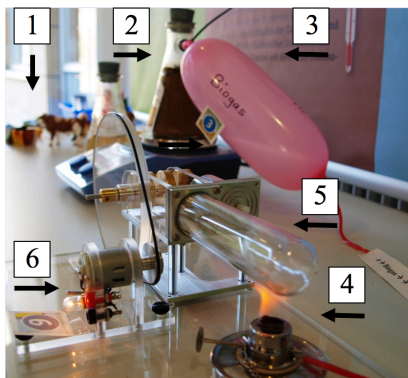


Abb. 6: Analoges Miniaturmodell einer Biogasanlage, (1) Zufuhr von Biomasse, (2) Bakterielle Produktion von Biogas, (3) Speicherung von Biogas, (4) Verbrennung von Biogas, (5) Bewegung eines Sterlingmotors, (6) Betrieb einer Glühlampe.

Einem Ansatz mit methanbildenden Mikroorganismen wurde Biomasse (Gülle, Mais und biologische Abfälle) zugeführt. Das Biogas wurde in einem nächsten Schritt verbrannt und die thermische Energie über einen Sterlingmotor zur Stromerzeugung für eine Glühlampe genutzt. Energie sollte hierbei über Indikatoren wie Wärme und Licht (vgl. Nordine, Krajcik & Fortus, 2010) durch ihre Wirkung erfahrbar werden. Die Energieentwertung wird dabei über die stete Abgabe von thermischer Energie gezeigt, welche über ein digitales Thermometer gemessen werden konnte. Die aufgezeigten Phänomene sind den Lernenden dabei aus ganz unterschiedlichen Bereichen des Alltags bekannt. Sie wurden durch die Weitergabe der Energie miteinander verbunden und verknüpfen belebte, als auch unbelebte Teilsysteme über einen ganzheitlichen, fächerverbindenden Vermittlungsansatz. Es werden dabei folgende Erscheinungsformen von Energie eingebunden bzw. über Phänomene dargestellt: Chemische Energie, thermische Energie, kinetische Energie, elektrische Energie und Strahlungsenergie. Abbildung 7 zeigt das dazugehörige Energieflussdiagramm, es beschreibt den Weg der Energie, der von den Lernenden über die gezeigten Phänomene verfolgt werden kann.

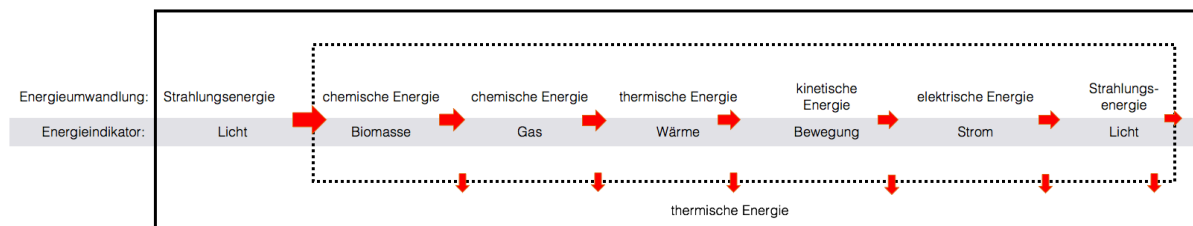


Abb. 7: Schematische Darstellung des Energieflusses über dem Miniaturmodell. Gestrichelte Linie: offenes System, durchgezogene Linie: abgeschlossenes System, Pfeile: Energiefluss.

Das Diagramm beschreibt den Weg der Energie, der von den Lernenden über die gezeigten Phänomene verfolgt werden kann, gleichzeitig thematisiert es das offene System als Teil eines abgeschlossenen Systems. Das offene System (gestrichelte Linie) wird über das Miniaturmodell repräsentiert und steht mit der Umgebung als Teil eines abgeschlossenen Systems (durchgezogene Linie) im Austausch. Im Gegensatz zur Veranschaulichung des offenen Systems über das Miniaturmodell, beschränkt sich das abgeschlossene System auf eine idealisierte Vorstellung als Denkmodell.

Im Rahmen einer Folgestudie wird evaluiert ob die Veranschaulichung offener Systeme mit der Aufnahme und Abgabe von Energie als Teil eines abgeschlossenen Systems (in dem die Gesamtmenge an Energie erhalten bleibt) Lernenden eine Alternative zur alltagsweltlichen Vorstellung der Herstellung und des Verbrauchs von Energie bietet.

Literatur

- Arons, A. B. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics* 67(12), 1063-1067.
- Bader, Martin (2001): Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrganges "Einführung in die mechanische Energie und Wärmelehre". Dissertation, LMU München: Fakultät für Physik.
- Bannwarth, H., Kremer, B. P., & Schulz, A. (2007). Basiswissen Physik, Chemie und Biochemie. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Barke, H. D., & Harsch, G. (2011). *Schülervorstellungen*. In Chemiedidaktik kompakt (pp. 9-34). Berlin Heidelberg: Springer.
- Barke, H. D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer-Verlag.
- Brook, A. J., & Wells, P. (1988). Conserving the circus? An alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, 23(2), 80-92.
- Burger, J., & Gerhardt, A. (2003). Aus Bildung und Wissenschaft - Energie im biologischen Kontext. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 56(6), 324-329.
- Burger, J. (2002). Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext": Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen. Dissertation, Universität Bielefeld.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., & Marl, J. (2006). *Biologie*. 6. aktualisierte Auflage. München: Pearson.

- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2010). *Biologie Oberstufe*. München: Pearson.
- Chabalengula, V. M., Sanders, M., & Mumba, F. (2012). Diagnosing students' understanding of energy and its related concepts in biological context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(2), 241-266.
- Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J. S., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (Eds.). (2014). *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education*.
- Cooper, M. M., & Klymkowsky, M. W. (2013). The trouble with chemical energy: Why understanding bond energies requires an interdisciplinary systems approach. *CBE-Life Sciences Education*, 12(2), 306-312.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R. (2009). STCSE – Bibliography Students and Teachers Conceptions and Science Education. Kiel: IPN – Leibniz Institute for Science Education (Zugriff am 09.05.2015).
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. In *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (pp. 67-85). Springer International Publishing.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. In *Science education research and practice in Europe* (pp. 13-37). SensePublishers.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). Feynman lectures on physics 1: Mainly mechanics, radiation, and heat. New York: Basic Books.
- Gropengießer, H. (2007). *Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens*. In Theorien in der biologiedidaktischen Forschung (S. 105-116). Springer Berlin Heidelberg.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2013). Didaktische Rekonstruktion, In: H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann, (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (pp. 16-23). Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Groß, J. (2007). Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote. (Vol. 16). Oldenburg: Didaktisches Zentrum. Dissertation, Universität Hannover.
- Hartley, L. M., Momsen, J., Maskiewicz, A., & D'Avanzo, C. (2012). Energy and matter: differences in discourse in physical and biological sciences can be confusing for introductory biology students. *BioScience*, 62(5), 488-496.
- Hecht, E. (2007). Energy and change. *The Physics Teacher*, 45(2), 88-92.
- Herwig, H., & Moschallski, A. (2009). Allgemeine Betrachtungen zum Wärmeübergang an Systemgrenzen. In *Wärmeübertragung* (S. 15-20). Vieweg & Teubner.
- Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the confused student IV: A global approach to energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210-217.
- Kaper, W. H., & Goedhart, M. J. (2002). "Forms of energy", an intermediary language on the road to thermodynamics? Part 1. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95.
- Kultusministerkonferenz, K. M. K. (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1987). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind*. Chicago: University of Chicago press.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York: Basic Book.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. University of Chicago press.
- Lancor, R. (2014a). Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics. *Science & Education*, 23(6), 1245-1267.

- Lancor, R. (2014b). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23.
- Larsen, Y., Groß, J. & Bogner, F.X. (2015). Does “thinking in systems” foster a crossdisciplinary understanding of energy? *European Scientific Journal*, Special(2), 285–295.
- Lee, H., & Liu, O. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665–688.
- Nagel, M. L., & Lindsey, B. A. (2015). Student use of energy concepts from physics in chemistry courses. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 67-81.
- National Research Council [NRC]. (2012). A framework for K-12 science education. Washington.
- 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.
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2010). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670–699.
- Ogborn, J. (1990). Energy, Change, Difference and Danger. *School Science Review*, 72(259), 81-85.
- Opitz, S. T., Harms, U., Neumann, K., Kowalzik, K., & Frank, A. (2015). Students’ energy concepts at the transition between primary and secondary school. *Research in Science Education*, 45(5), 691-715.
- Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, H. C. (2006). *Biologie*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Redish, E. F., Bauer, C., Carleton, K. L., Cooke, T. J., Cooper, M., Crouch, C. H., ... & Zia, R. K. P. (2014). An interdisciplinary repurposing of physics for biologists. *American Journal of Physics*, 82(5), 368-377.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 69-79). Springer Berlin Heidelberg.
- Schweingruber, H., Keller, T., & Quinn, H. (Hrsg.). (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. D. Pelte (Hrsg.). Spektrum Akademischer Verlag.
- Trumper, R. (1996). Teaching about energy through a spiral curriculum: Guiding principles. *Journal of Curriculum and Supervision*, 12(1), 66-75.
- Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work–energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194.
- Von Bertalanffy, L. (1950). *The theory of open systems in physics and biology*. *Science*, 111(2872), 23-29.
- Watts, M. (1983). *Some alternative views of energy*. *Physics Education*, 18, 213-217.

ANREGUNG

Fühlen, sehen, selbermachen

Handlungsorientierte Lernangebote zur Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen

Der Lerngegenstand „Erneuerbare Energien“ ist in Deutschland sowohl in der Haupt-, Mittel- und Realschule, als auch im Gymnasium im Curriculum verankert. In der Realität zeigt sich jedoch, dass häufig nur die Themen Wind-, Wasserenergie und auch Photovoltaik unterrichtet werden. Die Energiebereitstellung aus Biomasse führt wohl aufgrund der Komplexität des Themas ein eher „stiefmütterliches“ Dasein unter den erneuerbaren Energien.

Die Verwendung nachwachsender Rohstoffe – insbesondere zur Energiebereitstellung – ist jedoch ein Thema, das in der Gesellschaft immer mehr an Bedeutung gewinnt. Für eine mobile Ausstellung im oberfränkischen Raum, die anschließend auch regional ausgeliehen werden kann, wurden die zwei Lernzirkel „Entflammt für Energie“ und „Bioenergie-Edutainment“ entwickelt. An insgesamt 14 „hands- and minds-on“-Stationen setzen sich Schülerinnen und Schüler hierbei mit der stofflichen und energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen auseinander. Einzelne Stationen werden im Folgenden beispielhaft beschrieben. Beide Lernzirkel und ein Kurzfilm zur Ausstellung sind ausführlicher im Internet dargestellt: <http://www.region-bayreuth.de/Bioenergieregion/BioenergieFachprojekte/Umweltbildung.aspx>

Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Station: Planet Plastik

Es werden ausgewählte Konsumartikel wie Kleiderbügel, Fußbälle, Gürtel oder Federmäppchen aus dem alltäglichen Lebensumfeld von Jugendlichen auf einem Tisch präsentiert. Produkte gleicher Art bestehen

einmal aus Kunststoff, zum anderen auch aus Naturmaterialien. An jedem Artikel ist ein Barcode angebracht, der mit einem Scanner abgelesen werden kann. Daraufhin zeigt ein Computer Informationen beispielsweise zum Verbrauch von fossilen Rohstoffen im Produktionszyklus, als auch zum Herstellungsmaterial und -ort (s. Abb. 1).

Station: Fühlst du den Unterschied

In Kästen werden jeweils die gleichen Produkte aus natürlichen und synthetischen Materialien gegenübergestellt (z. B. Naturhaar- und Synthetikaarpinsel) und erfüllt. Bei älteren Schülerinnen und Schülern werden zusätzlich Säckchen mit pflanzlichen Fasern (z. B. Flachs, Hanf, Kokos, Jute, Baumwolle), tierischen Fasern (z. B. Schafwolle, Angora, Seide, Kaschmir) und synthetischen Fasern (z. B. Elastan, Polyester, Polyamid) verwendet. Bei dem Tastspiel erfühlen die Schülerinnen und Schüler Unterschiede natürlicher

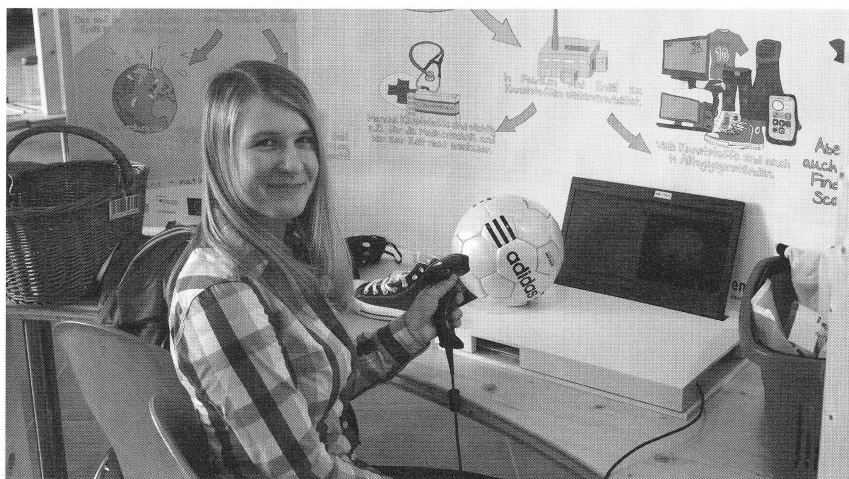
und synthetischer Materialien und beschreiben sich diese gegenseitig.

Station: Wolle ist nicht gleich Wolle!

Es werden Gewebestrukturen aus synthetischer Faser und Naturfaser unter dem Mikroskop betrachtet und in Ausschnitten abgezeichnet. Als Material bieten sich Nylonstrumpfhosen im Vergleich mit dünnen Baumwollstrumpfhosen an. Je nach Vergrößerung können sowohl einzelne Faserstrukturen, als auch die Anordnung der Gewebe verglichen werden.

Station: Blaukraut bleibt Blaukraut – natürliche Farbstoffe

Blaukraut enthält den wasserlöslichen Farbstoff Anthocyan, der seine Farbe pH-Wert-abhängig verändert und als Säure-Base-Indikator verwendet werden kann. Die Lernenden stellen selbst Blaukrautsaft her, hierfür wird Blaukraut gehobelt und kann entweder gepresst oder mit Wasser übergossen („Lösungszeit“ etwa eine Stunde) werden. Werden



1 | Untersuchung verschiedener Konsumartikel an der Station „Planet Plastik“

Zitronensaft oder Essig zugegeben wird ein rötlicher Farbumschlag beobachtet, wohingegen bei Natron oder Pottasche ein Farbumschlag ins grünlich-gelbe erfolgt. Je nach pH-Wert erhält man neben rot, lila und blau auch gelbe, braune und grüne Farbtöne, mit welchen anschließend gemalt werden kann.

Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Station: Schneid' dir 'ne Scheibe ab

An dieser Station wird die abstrakte Größe Kilowattstunde (kWh) durch die Verwendung von Holz veranschaulicht. Aufgabe ist es, von einem Stamm ein Stück Buchenholz mit dem Gewicht von möglichst genau 240 g abzusägen. Der Energiegehalt, der bei der Verbrennung von diesem Stück freigesetzt wird, entspricht ca. einer kWh elektrischen Stroms.

Neben der Verwendung von Holz zeigt eine Brennstofforgel die Vielfalt an nachwachsenden Brennstoffen (Rapsöl, Holzpellets, Weizen, Braunkohle, Maissilage, Getreidestroh) und stellt sie Mineralöl gegenüber. Der Energiegehalt jeder Säule entspricht einer kWh. Auf einem Plakat werden zusätzlich Nutzungsmöglichkeiten von einer kWh veranschaulicht, z. B. durch eine Stunde bügeln (bei einer Leistung von ca. 1000 Watt).

Station: Bioenergie live

Mit einer Modellanlage wird dargestellt, wie aus Gülle, Pflanzen und organischen Abfällen erst Biogas und dann Strom und Wärme erzeugt werden kann (s. **Abb. 2**). Die Energieumwandlung erfolgt in mehreren Etappen: Durch die Verbrennung von Biogas (chemische Energie) wird der Kolben eines Stirlingmotors bewegt (kinetische Energie) und über einen elektrischen Generator eine Glühlampe betrieben (Licht- und Wärmeenergie). Da die Umwandlung in thermische Energie nicht sichtbar ist und sich somit leicht der Erfahrungswelt des Lernenden entzieht, kann die Temperatur bei jedem Umwandlungsschritt mit einem digitalen Thermometer erfasst werden. Die einzelnen Umwandlungsschritte werden zusätzlich in einem Informationsvideo der Sendung mit der Maus erklärt: <http://www.wdrmaus.de/sachgeschichten/sachgeschichten/biogas.php5>

Station: Das Licht der Sonnenblume

An dieser Station kann man eigenhändig aus Sonnenblumensamen Öl pressen (vgl. **Kasten 1**), welches danach in einem Teelichthalter mit Docht eine Flamme erzeugt. So wird eine Form der Bioenergie ganz unmittelbar veranschaulicht. Die Teelichthalter werden anschließend mit Transparentpapier beklebt, sodass die Kerze buntes Licht gibt.

Zusatzstation

Neben handlungsorientierten Stationen bietet eine Informationsstation die Möglichkeit zu einer vertiefenden Auseinandersetzung. Computerpräsentationen zeigen die schädlichen Auswirkungen der Verbrennung fossiler Rohstoffe und Ihre Begrenztheit auf. Ebenfalls werden ökologisch verträgliche Handlungsalternativen beleuchtet und es können Fakten zur Bioenergieregion Bayreuth abgerufen werden. In einer weiteren Station werden empfehlenswerte Umweltspele, Experimentierkästen und Medien vorgestellt, die zum „Schmökern“ einladen.

Das Konzept

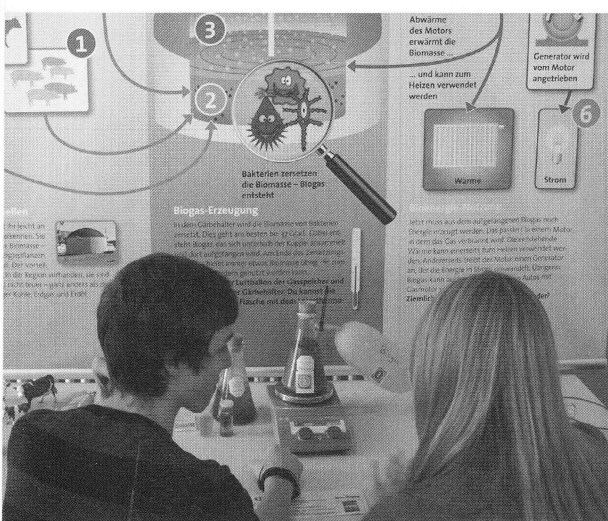
Eine ganzheitliche, handlungsorientierte Auseinandersetzung wird mit der Vermittlung von Stoffinhalten kombiniert. Das Thema „Nachwachsende Rohstoffe“ wird aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet und fächerübergreifend bearbeitet.

Die Schülerinnen und Schüler setzen sich selbstständig, „mit eigenen Händen“ mit der Thematik auseinander. Dabei wird gefühlt, gemalt, gesagt und gebastelt. Die Einbindung künstlerischer Aspekte ergänzt die ästhetische Komponente bei der Verwendung von Naturmaterialien. Roter Faden innerhalb der Stationen ist eine Rohstoffsensibilisierung über die wiederholte Gegenüberstellung von fossilen und nachwachsenden Stoffen. Dabei wird die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von Naturprodukten als Material und Brennstoff verdeutlicht. Absicht ist es, Bioenergie ganzheitlich als Oberbegriff darzustellen. Der Begriff Bioenergie umfasst die Einbindung fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe. Hierzu werden Beispiele mit Alltagsbezug vorgestellt, u.a. die Anwendung von Holz, einer Ölpresse und einer Modellbiogasanlage.

Auswertung des Projekts

Die Auswertung umfasst eine qualitative Erhebung von Schülervorstellungen zur Ermittlung von Lernhürden bei der Vermittlung und eine quantitative Evaluation des Lernangebotes vor dem Hintergrund der Selbststeuerung eigener Lernprozesse.

In einer Fragebogenabfrage wurden schriftlichen Schülerantworten auf die Frage „Was stellst du dir unter Bioenergie vor?“ erhoben. 470 Schülerinnen und Schüler der Haupt- und Mittelschule (Jahrgangsstufe 8/9) haben an der Gesamtstudie teilgenommen. Die Auswertung offenbarte, dass alltagsweltliche Vorstellungen maßgeblich auf Erfahrungen mit den Begriffen „Bio“ und „Energie“ gründen. Es zeigte sich, dass Bioenergie vielfach als Überbegriff für erneuerbare Energien



2 | Erzeugung und Verbrennung von Biogas in einer Modellanlage an der Station „Bioenergie Live“

verwendet wird. Bei der Vermittlung sollte daher besonderer Wert darauf gelegt werden, Bioenergie von anderen Formen erneuerbarer Energien abzugrenzen.

Quantitative Evaluation

Die Lernstationen setzen die Fähigkeit einer eigenverantwortlichen Auseinandersetzung voraus. Dies kann jedoch in Kombination mit der anspruchsvollen Thematik eine Überforderung darstellen. Zur Strukturierung der Lernumgebung wurden Rollenkärtchen mit definierten Vorgaben zur Bearbeitung der Stationen verwendet. Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten dabei in Vierergruppen mit Rollenkärtchen mit vier Funktionen (Vorleser, Material-, Lärm- und Zeitwächter). Als Vergleichsgruppe diente eine Gruppe ohne Kärtchen. An der Erhebung haben 470 Schülerinnen und Schüler der Haupt- und Mittelschule (Jahrgangsstufe 8/9) aus dem Landkreis und der Stadt Bayreuth teilgenommen. In einem Vor-, Nach- und Behaltenstest wurden Wissenszuwachs, Motivation, Lernemotionen und kognitive Belastung der Gruppen verglichen. Beide Gruppen hatten einen signifikanten Wissenszuwachs im Nach- und Behaltenstest. Interessanterweise bewertete die Gruppe, die mit den Rollenkärtchen gearbeitet hatte, ihre wahrgenommene Kompetenz höher und hatte eine geringere Wahrnehmung von Angst und Langeweile. Ebenfalls zeigte sie einen höheren Wissenszuwachs als die Vergleichsgruppe.

Die Ergebnisse zeigen, dass strukturelle Vorgaben nicht immer mit einer Einschränkung des Autonomieempfindens verbunden sind. Hattie bestätigte in seiner Studie die Bedeutung einer inhaltlichen Klarheit durch eine starke Korrelation mit dem Lernerfolg [1].

Yelva Larsen und Franz X. Bogner

LEHRER

ANREGUNG 1

Das Licht der Sonnenblume

1. Mithilfe der Handmühle werden Sonnenblumensamen und -öle in die Ölpresse gegeben.

2. Pressen die Kerne aus, bis das Öl in die Ölpresse fließt.

3. Fülle das Öl in den Kerzenhalter und bringe vorsichtig in der Mitte einen Docht an.

4. Soaked diesen Kerzenhalter mit Transparenthalter, um strahlende Lichteffekte zu erhalten.

Diese Kerze ist nachfüllbar!

Lebe bunt – natürlich mit Bioenergie!

www.bioenergieregion-bayreuth.de

Entflammt für Energie

Kulturfonds BAYERN

BIOENERGIE REGION BAYREUTH

energyinart Bioenergie | Info | Netzwerk | Kunst

Das Licht der Sonnenblume

Herstellung von Sonnenblumenöl

Schülerinnen und Schüler pressen eigenständig mit einer Handölmühle aus Sonnenblumensamen Öl, das für ein Teelicht verwendet wird. Die Teelichthalter können zudem mit Transparenthalter beklebt werden.

Hinweis: Handölmühlen können bei den Firmen Rajkumar und Piteba zum Preis von ca. 100 €/Stück bezogen werden. Alternativ kann eine einfache Ölpresse selbst gebaut werden. Eine Anleitung hierzu ist auf S. 49 f. in diesem Heft beschrieben.

Für den Einsatz der Handölmühle ist zu bedenken, dass die Ausbeute an Öl gering ist. Für einen Liter Sonnenblumenöl werden ca. 4 kg geschälte Sonnenblumenkerne benötigt. Bei der Verwendung größerer Mengen ist die Mühle in kurzen Abständen zu reinigen, da sich der Presskuchen verfestigt. Alternativ kann auch exemplarisch Öl in kleinen Mengen gepresst werden und für die Kerze industriell gefertigtes Sonnenblumenöl verwendet werden.

Brennstoff oder Nahrungsmittel

Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass Pflanzensamen als Ausgangsstoff zur Ölgewinnung dienen können. Das gewonnene Öl wird unmittelbar als Brennstoff genutzt. Es kann aber auch mit einer Scheibe Brot verzehrt werden. Diese Gegenüberstellung von Pflanzenöl als Brenn- und Nahrungsmittel kann aus sozialer, ökonomischer und ökologischer Perspektive vertieft werden. Es bietet Anknüpfungspunkte zur Schulung der Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltiger Entwicklung (vgl. [1, 2]).

Literatur

- [1] Bögeholz, S.: Bewertungskompetenz für systematisches Entscheiden in komplexen Gestaltungssituationen nachhaltiger Entwicklung. In: Theorien in der biologiendidaktischen Forschung. Springer Berlin, Heidelberg 2007, S. 209–220
- [2] Knebel, A.; Blankemeyer, E.: Biokraftstoffe: Rahmenbedingungen, Klima- und Umweltbilanz, Marktentwicklungen. Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin 2012 (Renews Spezial, Bd. 54)

Das Projekt

Die Finanzierung des Projektes wurde vom Bayerischen Kulturfond (Unterricht und Kultus) und der Oberfrankenstiftung unterstützt. Die Deutsche UNESCO Kommission hat die Lernstationen als offizielles Projekt der UN-Dekade 2011/2012 „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgezeichnet.

Auszeichnung

Nachhaltigkeit lernen



Die Vereinten Nationen haben für die Jahre 2005-2014 die Weltdekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgerufen. Für die Beteiligung an dieser Dekade wird der

**Lehrstuhl Didaktik der Biologie,
Universität Bayreuth**

bezogen auf das Projekt

**„Bioenergie-Edutainment: ein
handlungsorientierter Stationenzirkel zum
Thema nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie“**

durch das Deutsche Nationalkomitee der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgezeichnet. Es wird damit als Beitrag zur Allianz „Nachhaltigkeit lernen“ anerkannt.

Die oben genannte Initiative darf in den Jahren

2011/2012

den Titel

**Offizielles Projekt der
UN-Weltdekade 2011/2012
Bildung für nachhaltige Entwicklung**

tragen.

Die Vereinten Nationen haben die UNESCO weltweit mit der Umsetzung dieser Dekade betraut.

Im Namen der Deutschen UNESCO-Kommission und des Nationalkomitees für die Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ gratulieren wir zu Ihrem herausragenden Projekt.

Minister a.D. Walter Hirche
Präsident der Deutschen
UNESCO-Kommission

Dr. Roland Bernecker
Generalsekretär der Deutschen
UNESCO-Kommission

Prof. Dr. Gerhard de Haan
Vorsitzender des
Nationalkomitees

Liebe(r) Schüler(in),

Dieser Fragebogen ist Teil einer wissenschaftlichen Untersuchung. Bearbeite ihn bitte deshalb **allein** und **sorgfältig**! Mache bitte bei jeder Frage nur **ein** Kreuz. Der Fragebogen wird **nicht** benotet und bleibt **geheim**. Damit du anonym bleibst, wird für dich ein Code erstellt.

Dein persönlicher Code besteht aus:

- deinem Geschlecht (weiblich oder männlich)
- deinem Geburtsmonat
- deinem Geburtsjahr
- den ersten beiden Buchstaben des Namens deiner Mutter
- deiner Hausnummer

Geschlecht	Monat	Jahr	Mutter	Hausnummer
☐	☐	☐	☐	☐

Hast du schon mal was von Bioenergie gehört? Wenn ja - in welchem Zusammenhang?

Was stellst du dir unter Bioenergie vor?

Welches Symbol kennzeichnet Bioplastik?

☐	☐	☐	☐

- Wissensquiz / Vortest -



1. Welche Pflanze wird in Deutschland für die flüssige Brennstoffgewinnung genutzt?

- ☐ Gerste
- ☐ Roggen
- ☐ Weizen
- ☐ Raps

2. Zusammen mit Erdöl und Erdgas werden alle Energieträger, die wie Kohle ursprünglich aus der Erde kommen, auch ...

- ☐ terrestrische Energieträger ...
- ☐ maritime Energieträger ...
- ☐ fossile Energieträger ...
- ☐ solare Energieträger.... genannt.

3. Was wird nicht aus Erdöl gewonnen?

- ☐ Benzin
- ☐ Heizöl
- ☐ Biodiesel
- ☐ Kunststoff

4. Was ist kein nachwachsender Rohstoff?

- ☐ Holzwolle
- ☐ Bambus
- ☐ Ausscheidung der Lackschildlaus
- ☐ Polyester

5. Welcher Brennstoff enthält die meiste Energie bei gleichem Volumen?

- ☐ Stroh
- ☐ Rapsöl
- ☐ Holzhackschnitzel
- ☐ Sägemehl

6. Aus welchen Pflanzenteilen kann man das meiste Pflanzenöl gewinnen?

- ☐ Samen
- ☐ Blüten
- ☐ Blättern
- ☐ Wurzeln

7. Aus welchem Rohstoff lässt sich keine Bioenergie gewinnen?

- ☐ Erdöl
- ☐ Holz
- ☐ Gülle
- ☐ Getreide

8. Was ist bei der Verbrennung am wenigsten umweltschädlich?

- ☐ Kohle
- ☐ Erdöl
- ☐ Holz
- ☐ Erdgas

9. Wie müssen die Bedingungen sein, damit sich Biogas bildet?

- ☐ warm
- ☐ trocken
- ☐ kalt
- ☐ sauerstoffreich

10. Was gehört nicht in die Biogasanlage?

- ☐ Asche
- ☐ Gülle
- ☐ Biomüll
- ☐ Mais





11. Bei der Verbrennung von Holz wird ...

- ☐ weniger Kohlenstoffdioxid...
- ☐ genauso viel Kohlenstoffdioxid...
- ☐ doppelt so viel Kohlenstoffdioxid...
- ☐ 4 x so viel Kohlenstoffdioxid...

... freigesetzt, wie die Bäume zuvor während ihres Wachstums aufgenommen haben.

12. Um einen 4-Personen-Haushalt ein Jahr lang mit Strom zu versorgen braucht, man die Gülle von ...

- ☐ 4 Schweinen.
- ☐ 11 Schweinen.
- ☐ 32 Schweinen.
- ☐ 47 Schweinen.

13. Die älteste Energiequelle der Menschheit ist ...

- ☐ Kohle.
- ☐ Holz.
- ☐ Wind.
- ☐ Wasser.

14. Biogas bildet sich auch....

- ☐ bei der Produktion von Bier.
- ☐ bei der Herstellung von Blätterteig.
- ☐ im Pansen einer Kuh.
- ☐ in unterirdischen Kohlelagerstätten

15. Paprika wird nicht nur als Lebensmittel verwendet, sondern auch ...

- ☐ als Farbstoff in Süßigkeiten.
- ☐ als Konservierungsmittel.
- ☐ als Zusatz in Zigaretten.
- ☐ als Beimischung in Düngemittel.

16. Die Energiequelle, die für die Gewinnung von Bioenergie genutzt wird, ist...

- ☐ der Wind.
- ☐ die Sonne.
- ☐ das Wasser.
- ☐ die Erdwärme.

17. Im Gegensatz zu Plastik aus Kunststoff ist Bioplastik...

- ☐ kompostierbar.
- ☐ weicher.
- ☐ härter.
- ☐ länger haltbar.

18. Die Verbrennung von Erdöl schädigt die Umwelt, weil dabei sehr viel ...

- ☐ Kohlenstoffdioxid ...
- ☐ Stickstoff ...
- ☐ Methan ...
- ☐ Ammoniak ...
- ... freigesetzt wird.

19. Zu viel Kohlenstoffdioxid in der Luft...

- ☐ reizt die Haut.
- ☐ ist in hohen Konzentrationen giftig für Pflanzen.
- ☐ verschlechtert die Qualität von Trinkwasser.
- ☐ trägt zur Klimaerwärmung bei.

20. Erdöl entstand aus ...

- ☐ Dinosaurierfossilien.
- ☐ unterirdischen Methanblasen.
- ☐ Absonderungen von schwarzen Rauchern in der Tiefsee.
- ☐ abgestorbenen Meeresorganismen.

Antworte, was deiner Meinung nach am besten zutrifft und nicht was deine Eltern oder der Lehrer erwarten könnten!	trifft vollkommen zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Ich strenge mich an in der Schule gut zu sein.				
Wenn ich beschließe etwas Schweres zu lernen, kann ich es auch.				
Wenn wir uns im Unterricht mit etwas beschäftigen, bringe ich mich ein.				
In der Schule arbeite ich so gut ich kann.				
Ich kann gute Noten in der Schule bekommen.				
Der beste Weg für mich gute Noten zu bekommen, ist meinen Lehrer dazu zu bringen mich zu mögen.				
Wenn ich im Unterricht bin, beteilige ich mich an Diskussionen.				
Ich bekomme keine guten Noten in der Schule, egal was ich mache.				
Wenn ich in einem Fach gute Noten bekommen will, muss ich mit meinem Lehrer gut auskommen können.				
Ich passe im Unterricht auf.				
Ich kann es nicht verhindern, in der Schule schlecht abzuschneiden.				
Ich werde in der Schule nicht gut sein, wenn mein Lehrer mich nicht mag.				
Im Unterricht höre ich sehr aufmerksam zu.				
Ich kann nicht gut in der Schule sein, auch wenn ich es will.				
Wenn mein Lehrer mich nicht mag, werde ich in dem Unterrichtsfach nicht gut sein.				
Wenn ich im Unterricht bin, fühle ich mich gut.				
Wenn ich schlechte Noten bekomme, ist es weil ich mich mit meinem Lehrer nicht gut verstehe.				
Wenn wir uns im Unterricht mit etwas beschäftigen, interessiert es mich.				
Es gefällt mir neue Dinge im Unterricht zu lernen.				
Um gut in der Schule zu sein, muss ich nur meinen Lehrer dazu bringen mich zu mögen.				
Schule macht Spaß.				

Liebe(r) Schüler(in),

Du hast am Stationenzirkel zum Thema „ Bioenergie & nachwachsende Rohstoffe“ teilgenommen. Uns interessiert was du dabei gelernt hast. Bearbeite den Fragebogen bitte wieder **allein** und **sorgfältig**! Mache bitte bei jeder Frage nur **ein** Kreuz. Der Fragebogen wird **nicht** benotet und bleibt **geheim**. Damit du anonym bleibst, wird für dich wieder der **selbe** Code erstellt.

Dein persönlicher Code besteht aus:

- deinem Geschlecht (weiblich oder männlich)
- deinem Geburtsmonat
- deinem Geburtsjahr
- den ersten beiden Buchstaben des Namens deiner Mutter
- deiner Hausnummer

Geschlecht	Monat	Jahr	Mutter	Hausnummer

Was stellst du dir unter Bioenergie vor?

Welches Symbol kennzeichnet Bioplastik?

☐	☐	☐	☐

- Wissensquiz / Nachtest -

1. Welche Pflanze wird in Deutschland für die flüssige Brennstoffgewinnung genutzt?

- ☐ Gerste
- ☐ Roggen
- ☐ Weizen
- ☐ Raps

2. Zusammen mit Erdöl und Erdgas werden alle Energieträger, die wie Kohle ursprünglich aus der Erde kommen, auch ...

- ☐ terrestrische Energieträger ...
- ☐ maritime Energieträger ...
- ☐ fossile Energieträger ...
- ☐ solare Energieträger... genannt.

3. Was wird nicht aus Erdöl gewonnen?

- ☐ Benzin
- ☐ Heizöl
- ☐ Biodiesel
- ☐ Kunststoff

4. Was ist kein nachwachsender Rohstoff?

- ☐ Holzwolle
- ☐ Bambus
- ☐ Ausscheidung der Lackschildlaus
- ☐ Polyester

5. Welcher Brennstoff enthält die meiste Energie bei gleichem Volumen?

- ☐ Stroh
- ☐ Rapsöl
- ☐ Holzhackschnitzel
- ☐ Sägemehl

6. Aus welchen Pflanzenteilen kann man das meiste Pflanzenöl gewinnen?

- ☐ Samen
- ☐ Blüten
- ☐ Blättern
- ☐ Wurzeln

7. Aus welchem Rohstoff lässt sich keine Bioenergie gewinnen?

- ☐ Erdöl
- ☐ Holz
- ☐ Gülle
- ☐ Getreide

8. Was ist bei der Verbrennung am wenigsten umweltschädlich?

- ☐ Kohle
- ☐ Erdöl
- ☐ Holz
- ☐ Erdgas

9. Wie müssen die Bedingungen sein, damit sich Biogas bildet?

- ☐ warm
- ☐ trocken
- ☐ kalt
- ☐ sauerstoffreich

10. Was gehört nicht in die Biogasanlage?

- ☐ Asche
- ☐ Gülle
- ☐ Biomüll
- ☐ Mais





11. Bei der Verbrennung von Holz wird ...

- ☐ weniger Kohlenstoffdioxid...
- ☐ genauso viel Kohlenstoffdioxid...
- ☐ doppelt so viel Kohlenstoffdioxid...
- ☐ 4 x so viel Kohlenstoffdioxid...

... freigesetzt, wie die Bäume zuvor während ihres Wachstums aufgenommen haben.

12. Um einen 4-Personen-Haushalt ein Jahr lang mit Strom zu versorgen braucht, man die Gülle von ...

- ☐ 4 Schweinen.
- ☐ 11 Schweinen.
- ☐ 32 Schweinen.
- ☐ 47 Schweinen.

13. Die älteste Energiequelle der Menschheit ist ...

- ☐ Kohle.
- ☐ Holz.
- ☐ Wind.
- ☐ Wasser.

14. Biogas bildet sich auch....

- ☐ bei der Produktion von Bier.
- ☐ bei der Herstellung von Blätterteig.
- ☐ im Pansen einer Kuh.
- ☐ in unterirdischen Kohlelagerstätten

15. Paprika wird nicht nur als Lebensmittel verwendet, sondern auch ...

- ☐ als Farbstoff in Süßigkeiten.
- ☐ als Konservierungsmittel.
- ☐ als Zusatz in Zigaretten.
- ☐ als Beimischung in Düngemittel.

16. Die Energiequelle, die für die Gewinnung von Bioenergie genutzt wird, ist...

- ☐ der Wind.
- ☐ die Sonne.
- ☐ das Wasser.
- ☐ die Erdwärme.

17. Im Gegensatz zu Plastik aus Kunststoff ist Bioplastik...

- ☐ kompostierbar.
- ☐ weicher.
- ☐ härter.
- ☐ länger haltbar.

18. Die Verbrennung von Erdöl schädigt die Umwelt, weil dabei sehr viel ...

- ☐ Kohlenstoffdioxid ...
- ☐ Stickstoff ...
- ☐ Methan ...
- ☐ Ammoniak ...
... freigesetzt wird.

19. Zu viel Kohlenstoffdioxid in der Luft...

- ☐ reizt die Haut.
- ☐ ist in hohen Konzentrationen giftig für Pflanzen.
- ☐ verschlechtert die Qualität von Trinkwasser.
- ☐ trägt zur Klimaerwärmung bei.

20. Erdöl entstand aus ...

- ☐ Dinosaurierfossilien.
- ☐ unterirdischen Methanblasen.
- ☐ Absonderungen von schwarzen Rauchern in der Tiefsee.
- ☐ abgestorbenen Meeresorganismen.

Bewertungsbogen

Wie schätzt du dich ein?

Wie anstrengend (geistige Anstrengung) fandest du die Beantwortung der Fragen?

1 = (sehr einfach) bis 7 = (sehr schwer)

4 = genau so anstrengend wie Fragen im normalem Unterricht

Meine geistige Anstrengung war ...	1	2	3	4	5	6	7
... während der Beantwortung der Fragen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Antworte, was deiner Meinung nach am besten zutrifft und nicht was deine Eltern oder der Lehrer erwarten könnten!	trifft vollkommen zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Es war für mich ein gutes Projekt.				
Ich habe mich gelangweilt.				
Der Unterricht hat mir Angst gemacht.				
Ich halte mich für ziemlich gut bei dieser Tätigkeit.				
Ich glaube, dass ich eine Wahl hatte, diese Tätigkeit auszuüben.				
Der heutige Unterricht hat mich interessiert.				
In der Stunde haben mich einige Dinge beunruhigt.				
Ich denke, verglichen mit anderen Schülern war ich ziemlich gut bei dieser Tätigkeit.				
Ich hatte das Gefühl, als ob es nicht meine eigene Wahl war, diese Stationen zu bearbeiten.				
Ich möchte mehr über das Thema erfahren.				
Ich war mit den Gedanken heute öfter woanders.				
Nach längerer Beschäftigung mit dieser Tätigkeit fühlte ich mich ziemlich fachkundig.				

Bewertungsbogen

Antworte, was deiner Meinung nach am besten zutrifft und nicht was deine Eltern oder der Lehrer erwarten könnten!	trifft vollkommen zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Ich war nicht wirklich frei in der Wahl, diese Aufgabe zu bearbeiten.				
Ich bin mit meiner Leistung bei dieser Aufgabe zufrieden.				
Ich habe mich in der Stunde unter Druck gefühlt.				
Der Unterricht hat mir Spaß gemacht.				
Der Unterricht war zum Einschlafen.				
Ich übte die Tätigkeit aus, weil ich es wollte.				
Der Unterricht hat mich heute nervös gemacht.				
Was ich über das Thema erfahren habe, bringt mir was.				
Das war eine Tätigkeit, die ich nicht sehr gut konnte.				
Ich übte die Tätigkeit aus, weil ich es musste.				
Der Unterricht hat mir Freude gemacht.				
Ich war mit dem Unterricht zufrieden.				
Ich fand das Thema wichtig.				
Ich hatte das Gefühl, dass ich das tun musste.				
Ich war ziemlich geschickt bei dieser Tätigkeit.				
Die Stunde hat heute ewig gedauert.				
Ich übte die Tätigkeit aus, weil ich keine Wahl hatte.				

Vielen Dank!

Liebe(r) Schüler(in),

du hast vor einigen Wochen am Stationenzirkel zum Thema „Nachwachsende Rohstoffe & Bioenergie“ teilgenommen. Uns interessiert was du davon behalten hast. Auch dieser Fragebogen ist Teil einer wissenschaftlichen Untersuchung. Bearbeite ihn bitte wieder **allein** und **sorgfältig**! Mache bitte bei jeder Frage nur **ein** Kreuz. Der Fragebogen wird **nicht** benotet und bleibt **geheim**. Damit du anonym bleibst, wird für dich wieder der **selbe** Code erstellt.

Dein persönlicher Code besteht aus:

- deinem Geschlecht (weiblich oder männlich)
- deinem Geburtsmonat
- deinem Geburtsjahr
- den ersten beiden Buchstaben des Namens deiner Mutter
- deiner Hausnummer

Geschlecht	Monat		Jahr		Mutter		Hausnummer		

Bsp.: Frau XY ist weiblich, geboren im September 1990, ihre Mutter heißt Renate und sie wohnt in Hausnummer 59.

W	O	9	9	0	R	E		5	9
---	---	---	---	---	---	---	--	---	---

Was behältst du am besten? Dinge , die du ...

gelesen ...	geschrieben ...	gehört ...	gesehen (Film) ...	gemacht ...
☐	☐	☐	☐	☐
... hast.				

Welches Symbol kennzeichnet Bioplastik?

☐	☐	☐	☐

Welche Wörter verbindest du mit Bioenergie - schreibe sie an die Pfeile und ergänze die Abbildung mit eigenen Pfeilen und Begriffen zum Wort Bioenergie !

Wie anstrengend (geistige Anstrengung) fandest du die Beschriftung der Abbildung?

1 = (sehr niedrig) bis 7 = (sehr hoch)

4 = genau so anstrengend im normalem Unterricht

Meine geistige Anstrengung war ...	1	2	3	4	5	6	7
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Was stellst du dir unter Bioenergie vor?

- Wissensquiz / Behaltenstest -

1. Zusammen mit Erdöl und Erdgas werden alle Energieträger, die wie Kohle ursprünglich aus der Erde kommen, auch ...

- ☐ maritime Energieträger ...
- ☐ solare Energieträger...
- ☐ fossile Energieträger ...
- ☐ terrestrische Energieträger ... genannt.

2. Welche Pflanze wird in Deutschland für die flüssige Brennstoffgewinnung genutzt?

- ☐ Raps
- ☐ Roggen
- ☐ Weizen
- ☐ Gerste

3. Was ist kein nachwachsender Rohstoff?

- ☐ Bambus
- ☐ Holzwolle
- ☐ Polyester
- ☐ Ausscheidung der Lackschildlaus

4. Was ist bei der Verbrennung am wenigsten umweltschädlich?

- ☐ Erdgas
- ☐ Erdöl
- ☐ Holz
- ☐ Kohle

5. Was gehört nicht in die Biogasanlage?

- ☐ Mais
- ☐ Gülle
- ☐ Biomüll
- ☐ Asche

6. Aus welchen Pflanzenteilen kann man das meiste Pflanzenöl gewinnen?

- ☐ Blättern
- ☐ Blüten
- ☐ Samen
- ☐ Wurzeln

7. Aus welchem Rohstoff lässt sich keine Bioenergie gewinnen?

- ☐ Getreide
- ☐ Holz
- ☐ Gülle
- ☐ Erdöl

8. Wie müssen die Bedingungen sein, damit sich Biogas bildet?

- ☐ kalt
- ☐ warm
- ☐ trocken
- ☐ sauerstoffreich

9. Was wird nicht aus Erdöl gewonnen?

- ☐ Kunststoff
- ☐ Biodiesel
- ☐ Heizöl
- ☐ Benzin

10. Welcher Brennstoff enthält die meiste Energie bei gleichem Volumen?

- ☐ Rapsöl
- ☐ Holzhackschnitzel
- ☐ Sägemehl
- ☐ Stroh





11. Bei der Verbrennung von Holz wird ...

- ☐ weniger Kohlenstoffdioxid...
- ☐ genauso viel Kohlenstoffdioxid...
- ☐ doppelt so viel Kohlenstoffdioxid...
- ☐ 4 x so viel Kohlenstoffdioxid...

... freigesetzt, wie die Bäume zuvor während ihres Wachstums aufgenommen haben.

12. Zu viel Kohlenstoffdioxid in der Luft...

- ☐ verschlechtert die Qualität von Trinkwasser.
- ☐ trägt zur Klimaerwärmung bei.
- ☐ ist in hohen Konzentrationen giftig für Pflanzen.
- ☐ reizt die Haut.

13. Die Energiequelle, die für die Gewinnung von Bioenergie genutzt wird, ist...

- ☐ die Erdwärme.
- ☐ die Sonne.
- ☐ das Wasser.
- ☐ der Wind.

14. Erdöl entstand aus ...

- ☐ abgestorbenen Meeresorganismen.
- ☐ Dinosaurierfossilien.
- ☐ unterirdischen Methanblasen.
- ☐ Absonderungen von schwarzen Rauchern in der Tiefsee.

15. Paprika wird nicht nur als Lebensmittel verwendet, sondern auch ...

- ☐ als Beimischung in Düngemittel.
- ☐ als Konservierungsmittel.
- ☐ als Zusatz in Zigaretten.
- ☐ als Farbstoff in Süßigkeiten.

16. Die älteste Energiequelle der Menschheit ist ...

- ☐ Holz.
- ☐ Kohle.
- ☐ Wind.
- ☐ Wasser.

17. Die Verbrennung von Erdöl schädigt die Umwelt, weil dabei sehr viel ...

- ☐ Methan ...
- ☐ Stickstoff ...
- ☐ Ammoniak ...
- ☐ Kohlenstoffdioxid ...
... freigesetzt wird.

18. Im Gegensatz zu Plastik aus Kunststoff ist Bioplastik...

- ☐ weicher.
- ☐ länger haltbar.
- ☐ härter.
- ☐ kompostierbar.

19. Um einen 4-Personen-Haushalt ein Jahr lang mit Strom zu versorgen braucht, man die Gülle von ...

- ☐ 4 Schweinen.
- ☐ 32 Schweinen.
- ☐ 11 Schweinen.
- ☐ 47 Schweinen.

20. Biogas bildet sich auch....

- ☐ bei der Herstellung von Blätterteig.
- ☐ im Pansen einer Kuh.
- ☐ in unterirdischen Kohlelagerstätten.
- ☐ bei der Produktion von Bier.

Bewertungsbogen

Wie anstrengend (geistige Anstrengung) fandest du die Beantwortung der Fragen?

1 = (sehr niedrig) bis 7 = (sehr hoch)

4 = genau so anstrengend wie Fragen im normalem Unterricht

Meine geistige Anstrengung war ...
... während der Beantwortung der Fragen.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Antworte, was deiner Meinung nach am besten zutrifft und nicht was deine Eltern oder der Lehrer erwarten könnten!	trifft vollkommen zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Unsere Lehrer ermutigen die Klasse Fragen zu stellen und bei Bedarf Hilfe bei ihnen zu suchen..				
Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.				
Wenn ich Schwierigkeiten bei den Hausaufgaben habe, hätte ich kein Problem damit einen Lehrer um Hilfe zu bitten.				
Ich habe gelegentlich mit Absicht etwas gesagt, was die Gefühle des Anderen verletzen könnte.				
Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.				
Ich habe es gerne, wenn die Arbeit gleichmäßig verläuft.				
Schwierigkeiten sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann.				
Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, dass ich gut mit ihnen zurechtkommen kann.				
Ich bin immer gewillt, einen Fehler den ich mache auch zuzugeben.				
Ich würde einen Lehrer nur um Hilfe bitten, wenn es gar nicht anders geht.				
In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.				
Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.				
Wenn sich Widerstände auftun, finde ich Mittel und Wege, mich durchzusetzen.				

Bewertungsbogen

Antworte, was deiner Meinung nach am besten zutrifft und nicht was deine Eltern oder der Lehrer erwarten könnten!	trifft vollkommen zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Ich glaube nicht, dass Lehrer mir helfen würden, auch wenn ich sie fragen würde.				
Ich sage immer, was ich denke.				
Ich denke nicht, dass es etwas bringen würde, zu einem Lehrer zu gehen, wenn ich Hilfe brauche.				
Ich mag es, wenn unverhofft Überraschungen auftreten.				
Ich warte geradezu darauf, dass etwas Aufregendes passiert.				
Ich probiere gerne Dinge aus, auch wenn nicht immer etwas dabei herauskommt.				
Für jedes Problem kann ich eine Lösung finden.				
Wenn ich Hilfe brauche würde es mir nichts ausmachen, außerhalb des Unterrichts mit einem Lehrer zu arbeiten.				
Ich beschäftige mich nur mit Aufgaben, die lösbar sind.				
Wenn eine neue Sache auf mich zukommt, weiß ich, wie ich damit umgehen kann.				
Wenn ich etwas im Unterricht nicht verstehe, bitte ich einen Lehrer selten, es noch einmal zu erklären.				
Was auch immer passiert, ich werde schon klar kommen.				
Ich lasse die Dinge gerne auf mich zukommen.				
Ich fühle mich unwohl dabei, einen Lehrer um Hilfe bei den Hausaufgaben zu bitten.				
Ich bin manchmal ärgerlich, wenn ich meinen Willen nicht bekomme.				
Ich fühle mich von Lehrern eingeschüchtert.				
Ich weiß gerne, was auf mich zukommt.				
Wenn um mich herum alles drunter und drüber geht, fühle ich mich so richtig wohl.				

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Ich danke meinem Doktorvater Prof. Dr. Franz X. Bogner für die Möglichkeit am Lehrstuhl Didaktik der Biologie promovieren zu können, ohne ihn wäre diese Dissertation nicht möglich gewesen. Vielen Dank für die Anleitung zum selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten, die konstruktive Kritik an meinen Manuskripten und die lehrreiche Mitarbeit im EU-Projekt „Science Center To Go“. Bei Prof. Dr. Jorge Groß bedanke ich mich für die fruchtbaren Diskussionen, seine hilfreichen Ratschläge und die Überarbeitung der Manuskripte. Meinem Vater Erik Sören Larsen, meinem Schwager Thorsten Hanns und meinem Partner Stefan Rupp danke ich ebenfalls für die Korrektur meiner Manuskripte. Dr. Franz-Josef Scharfenberg möchte ich insbesondere für seine Hilfsbereitschaft bei statistischen Fragen danken.

Des Weiteren gilt mein Dank allen Lehrkräften und Schüler/innen, die zum Gelingen meiner Dissertation beigetragen haben und deren Begeisterung und Engagement mich motiviert hat. Bedanken möchte ich mich auch bei Karoline Scholl (Albert-Schweitzer-Mittelschule Bayreuth), Prof. Dr. Jochen Koubek (Angewandte Medienwissenschaft der Universität Bayreuth) und Dipl. Biol. Thomas Kappauf (Umweltschutz-Informationszentrum Lindenhof) für die gute Zusammenarbeit. Mein Dank gilt ebenfalls Bernd Rothammel (Regionalmanagement Stadt und Landkreis Bayreuth) für die Mitteleinwerbung, die Koordination der Projekte „Entflammt für Energie“ und „Bioenergie-Edutainment“ und sein besonderes Engagement. Die Projekte wurden finanziell unterstützt von der Oberfrankenstiftung.

Meine ehemaligen Kollegen an der Universität Bayreuth wie auch die jetzigen Kollegen an der Universität Bamberg haben mich unterstützt, begleitet und motiviert - ich danke euch von ganzem Herzen.

Zu guter Letzt danke ich im Besonderen meiner Familie, meinem Partner und meinen Freunden, die mich in meiner Promotionszeit begleitet haben, mir zur Seite standen und mich für manche Stunden entbehren mussten.