

Didaktik der Physik Frühjahrstagung – Dresden 2017

Aktuelle Schülerrahmenkonzepte zur Energie

Julia Behle*, Thomas Wilhelm*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str.1, 60438 Frankfurt
behle@em.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Dass Präkonzepte relevant für den Unterricht sind, ist spätestens seit den großen Untersuchungen zu Schülervorstellungen in den 1980er Jahren bekannt. Zu Präkonzepten von Energie wurden damals sowohl die Sichtstruktur, die Assoziationen [1], sowie die Tiefenstruktur, die Rahmenkonzepte [2], analysiert. Dabei zeigte sich sowohl die bekannte Primärassoziation der Schülerinnen und Schüler von Energie als einer Art Treibstoff als auch eine häufig erwähnte anthropozentrische Sichtweise auf Energie im vorunterrichtlichen Rahmen. Neuere Untersuchungen von Schülerassoziationen zur Energie haben allerdings gezeigt, dass sich bei den Schülerinnen und Schülern im Laufe der letzten 30 Jahren ein Wandel vom Treibstoff als Primärassoziation hin zum elektrischen Strom vollzogen hat [3]. Daher liegt es nahe, dass auch in der Tiefenstruktur der Schülervorstellungen, den Rahmenkonzepten, ein ähnlicher Wechsel stattgefunden haben könnte. Im Rahmen der Entwicklung und Evaluation eines außerschulischen Workshops zum Thema Energie wurden dazu leitfadengestützte Schülerinterviews über die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zum Energiebegriff geführt. Diese Interviews wurden dann mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse auf das Vorhandensein bestimmter Rahmenkonzepte untersucht. Im Zuge dessen ließen sich schließlich zwei neue Rahmenkonzepte beschreiben: Energie als Katalysator und Partiiell transferierte Energie.

1. Motivation

Schülervorstellungen oder Präkonzepte sind für das spätere Verständnis eines fachlichen Konzepts von großer Relevanz. Dies gilt vor allem dann, wenn Schülerinnen und Schüler das erste Mal mit einem Lerngegenstand in Berührung kommen, zum Beispiel im Anfangsunterricht oder aber auch bei einer außerschulischen Lerngelegenheit. Da im Rahmen des Projekts „MINT – die Stars von Morgen“ zur außerschulischen Berufsorientierung im Workshop „Neue Technologien“ als Zielsetzung unter anderem ein physikalisch anschlussfähiges Energiekonzept bei Schülerinnen und Schülern ohne Vorerfahrungen angeregt werden soll [4], erscheint hierfür die genauere Betrachtung der Tiefenstruktur von Schülervorstellungen zur Energie, den Rahmenkonzepten, als sinnvoll.

Die großen Untersuchungen zur Oberflächen- und Tiefenstruktur der Schülervorstellungen zur Energie fanden bereits in den 1980er Jahren statt und zogen sowohl in Deutschland, als auch international wohl bekannte Veröffentlichungen mit sich. Dabei stellte sich unter anderem heraus, dass viele Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff „Energie“ eine Vorstellung eines universellen Treibstoffs assoziierten, der für den Antrieb verschiedener Vorgänge verbraucht werden kann. Ebenso zeigte sich, dass gerade jüngere Schülerinnen und Schüler eine anthropozentrische Vorstellung von Energie als „Lebensenergie“ oder einem „energetischen Gefühl“ besaßen und das physikalisch korrektere Konzept des Energietransfers mit einem universelleren, quantifizierbaren

Bilanzierungsbegriff der Energie erst mühsam erlernen mussten.

Eine Replikationsstudie des originalen Assoziations-tests von Duit aus dem Jahr 2009 ergab jedoch, dass zumindest im Bereich der Schülerassoziationen ein Wandel weg von der klassischen Treibstoffvorstellung hin zu einer starken Assoziation des Begriffs Energie mit dem elektrischen Strom stattgefunden hat. Ebenso legt das p-prims Konzept von diSessa [5] sowie weitere Untersuchungen von Rahmenkonzepten anderer physikalischer Bereiche (z.B. Mechanik [6] oder Druck und Wärme [7]) und eine spätere Untersuchung zu Energiequellen [8] nahe, dass mehrere Rahmenkonzepte oder Fragmente derselben nebeneinander existieren können. Dies wird auch Kompartimentalisation [9] oder Erklärungsvielfalt [10] genannt. Diese Erkenntnisse sprechen der ursprünglichen Annahme eines singulären, weit gefassten Rahmenkonzepts entgegen.

Es erscheint daher naheliegend, dass auch ein Wandel in den Rahmenkonzepten der Schülerinnen und Schüler im Vergleich zu den 1980er Jahren stattgefunden haben kann, was durch die starke mediale Verwendung des Begriffs „Energie“ auch nicht weiter verwunderlich erscheint. Aus diesen Gründen ist eine neuere Untersuchung der Schülerrahmenkonzepte sinnvoll, wenn zur Analyse möglicher Veränderungen in den Rahmenkonzepten der Schülerinnen und Schüler durch eine außerschulische Lerngelegenheit ein vollständiges Bild der aktuellen Schülervorstellungen zur Energie entwickelt werden soll. Ebenso naheliegend ist es, für diese Untersu-

chung auf eine analoge Methodik zurückzugreifen, wie sie bei den ursprünglichen Untersuchungen zu Schülervorstellungen Anwendung fand: Die qualitative Inhaltsanalyse von Schülerinterviews.

2. Das Basiskonzept Energie

Im Physikunterricht nimmt die Energie spätestens seit der Definition der vier Basiskonzepte eine zentrale Rolle ein. Dies ist aufgrund der weiten medialen Verbreitung des Begriffs Energie und der starken persönlichen Relevanz von (elektrischer) Energie für den Alltag der Schülerinnen und Schüler durchaus positiv zu werten im Sinne der Klafki'schen Prämisse, die Schülerinnen und Schüler dort abzuholen, wo sie stehen. Betrachtet man die wissenschaftliche Verwendung des Begriffs Energie und vergleicht sie mit der in den Medien (und somit auch in den Köpfen der Schüler) verbreiteten Nutzung desselben, so lässt sich allerdings häufig eine Dissonanz feststellen: Im wissenschaftlichen Umfeld der Physik, Chemie und Biologie wird die Energie oft als eine quantifizierende, abstrakte Bilanzierungsgröße verwendet, die in ihrer Reinform für viele Schülerinnen und Schüler schwer zu verstehen und zu gebrauchen ist. In den Medien, aber auch im Sprachgebrauch der Schülerinnen und Schüler findet man eine deutlich freiere Verwendung des Energiebegriffs. Zudem wird der Begriff seit den 2000er Jahren aufgrund der gesellschaftlichen Relevanz der „Energiewende“ so häufig verwendet, dass er allgegenwärtig erscheint [11]. Erschwerend hinzukommt, dass im Physikunterricht teilweise immer noch die (historische, fast 200 Jahre alte) Definition Poncelets von der Energie als „Fähigkeit, Arbeit zu verrichten“ verwendet wird – eine Definition, die bei Schülerinnen und Schülern schwerlich eine Assoziation zum Energiebedarf ihres Smartphones zulässt.

Dieser Diskrepanz zwischen alltäglicher und wissenschaftlicher Nutzung des Energiebegriffs wird von Seiten der Didaktik durch eine zielgerichtete didaktische Rekonstruktion Rechnung getragen. Eine sehr bekannte Rekonstruktion aus dem deutschsprachigen Raum stellt hier die Energiequadriga von Duit dar [1], die schon in den 1980er Jahren formuliert und seither regelmäßig kommentiert und angepasst wurde. In ihrer ursprünglichen Form beschreibt die Energiequadriga die Aspekte Energieumwandlung, Energietransport, Energieentwertung und Energieerhaltung als zentral für das Verständnis des Energiebegriffs in der Schule. Aufgrund der steigenden Wichtigkeit und Verfügbarkeit sowie des fächerübergreifenden Charakters (u.a. ist die Energiespeicherung Teil der Bildungsstandards für das Fach Chemie [12]) von Möglichkeiten zur Energiespeicherung wird auch dieser Aspekt inzwischen als zentral angesehen [13]. Ebenso zu erwähnen sind die Energieformen, die in den Medien häufig erwähnt werden und für Schülerinnen und Schüler so intuitiv verstehbar sind, dass sie zum Teil schon in der Grundschule behandelt werden können [11]. Das

Verständnis dieser sechs Aspekte ist inzwischen als allgemeines Ziel im Physikunterricht anerkannt [14].

3. Schülervorstellungen

Der Oberbegriff „Schülervorstellungen“ fasst all jene Vorkenntnisse, Vorstellungen und Vorerfahrungen zusammen, die Schülerinnen und Schüler zu einem bestimmten Lerngegenstand mitbringen. Viele der grundlegenden empirischen Studien zu Schülervorstellungen, zumindest im Bezug auf Energie, stammen aus den 1980er bis 1990er Jahren und diese setzten dabei oft unterschiedliche Schwerpunkte. Die Untersuchungen zu Schülervorstellungen über Energie, die sich auch auf den vorunterrichtlichen Bereich erstrecken, lassen sich grob in zwei Sphären unterteilen: Die Untersuchungen zu dem im deutschsprachigen Raum sehr bekannten Assoziationstest zur Energie von Duit [1] sowie verschiedene internationale Untersuchungen (in erster Linie qualitative Analysen von Schülerinterviews) zur Analyse der den Schülervorstellungen zugrunde liegenden Rahmenkonzepten [2+15+16]. Grundsätzlich untersuchen die Assoziationsanalysen dabei eher eine direkt einsehbare Sichtstruktur, während die Untersuchungen zu den Rahmenkonzepten eine Fokussierung der Tiefenstruktur der Schülervorstellungen vornehmen (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Assoziationen und Rahmenkonzepte

Eine neuere Untersuchung von Lancor [17] verbindet diese beiden Ebenen über Metaphern, allerdings zielt dieser Ansatz darauf, das Verständnis und die Vorstellungen von Studierenden der Naturwissenschaften zu ergründen. Da die Untersuchungen zu möglichen Veränderungen der Schülervorstellungen aber vor allem mit Schülerinnen und Schüler ohne Vorerfahrungen durchgeführt werden sollen, erscheint eine analoge Herangehensweise hier nicht zielführend.

3.1. Assoziationen

Wie zuvor erwähnt legte die Analyse der Sichtstruktur der Schülervorstellungen eine der wichtigsten Grundlagen für unser heutiges Verständnis von Schülervorstellungen zur Energie. Die spontan geäußerten Assoziationen von Schülerinnen und Schülern gewähren einen Einblick in die Kontexte, in denen ein physikalisches Konzept in deren Alltagsvorstellungen verortet ist und lassen zudem Rückschlüsse auf die Natur der Vorstellungen zu. Duit benutzte 1985 für seine Untersuchungen unter anderem einen schriftlichen Assoziationstest [18], der 2008 von Crossley im Rahmen einer Replikationsstudie wieder eingesetzt wurde [3]. Beide Studien gingen dabei analog vor: Die Schülerinnen und

Schüler bekamen einen Fragebogen mit drei Fragen, die sie schriftlich beantworten sollten: Neben den spontanen Assoziationen zum Begriff Energie sollten sie zudem Beispiele für Energie nennen und versuchen, das, was sie sich unter Energie vorstellen, zu beschreiben. Dabei zeigte sich neben der zu erwartenden generellen Progression mit zunehmendem Alter hin zu physikalischeren Assoziationen zudem der eingangs erwähnte Unterschied in den Hauptassoziationen der Schülerinnen und Schüler weg von einer Treibstoffvorstellung hin zu einer Assoziation mit dem elektrischen Strom.

Da beide Untersuchungen im schulischen Rahmen stattfanden und der zu untersuchende Workshop im außerschulischen Rahmen stattfindet [4], wurde im Vorfeld der Interviews eine erste Erhebung durchgeführt, die unter anderem die Übertragbarkeit der Ergebnisse Crossleys auf die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops in grober Näherung überprüfen sollte. Dabei wurde der Assoziationstest von Duit auf zwei Fragen reduziert, so dass die folgenden Fragen gestellt wurden:

1. Woran denkst du, wenn du das Wort „Energie“ hörst? Schreibe Begriffe auf, die dir dazu einfallen!
2. Bitte versuche in wenigen Worten zu umschreiben, was du unter Energie verstehst! Du kannst auch gerne Beispiele angeben.

Dieser Assoziationstest wurde im Rahmen des Workshops mit 82 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 8 und 9 durchgeführt. Das Alter der Schülerinnen und Schüler lag dabei zwischen 14 und 16 Jahre. Die Ergebnisse des Tests zeigen, dass die Nennungen grob mit denen der 9. Hauptschulklassen von Crossley vergleichbar sind (siehe Abb.2). Eine weitere Gemeinsamkeit mit der Studie von Crossley (im Gegensatz zu Duit [18]) ergibt sich in der Tatsache, dass keiner der Befragten eine Assoziation mit „Energie sparen“ äußerte. Auch Öl (keine Nennung) und Benzin (eine Nennung) spielten de facto keine Rolle mehr. Was allerdings auffällt ist, dass die

Schülerinnen und Schüler (vielleicht aufgrund des außerschulischen Rahmens?) kaum physikalische Termini für ihre Energieformen verwenden.

3.2. Rahmenkonzepte

Die meist als qualitative Inhaltsanalyse von Schülerinterviews durchgeführten Untersuchungen der Tiefenstruktur der Schülervorstellungen von Energie definierten in erster Linie Rahmenkonzepte zur Energie, die in im englischsprachigen Raum als „energy frameworks“ bekannt sind. Diese „Frameworks“ fassen häufig verwendete Argumentations-, Erklärungs- und Gedankenmuster von Schülerinnen und Schülern zu übergeordneten Rahmenkonzepten zusammen, die durch gemeinsame, verbindende Aspekte definiert werden. Seit den ersten Untersuchungen in den 1980er Jahren wurden einige unterschiedliche Konzeptkategorien definiert, die verschiedenen Zielsetzungen folgen. Da für den Rahmen der Untersuchung des außerschulischen Workshops, aber auch für den Anfangsunterricht, curricular orientierte Konzeptkategorien [19] als weniger passend angesehen werden und zudem im weiteren Rahmen der Untersuchungen zwischen gesellschaftlichen (z.B. Umweltproblematik) und fachbezogenen Konzepten unterschieden werden soll, wurden als Basis für die qualitative Inhaltsanalyse die Energy Frameworks von Watts [2] herangezogen. Watts beschrieb in seiner Arbeit sieben zentrale Rahmenkonzepte zur Energie, die von Schülerinnen und Schüler zur Beschreibung von Energie herangezogen werden:

- *Anthropozentrische Energie*: Energie ist eine Art Lebensenergie, die Lebewesen besitzen. Hierunter fällt auch das gefühlte „Energie haben“.
- *Funktionale Energie*: Energie tritt nicht auf natürlichem Weg auf. Sie ist von Menschen für Menschen gemacht und für ein modernes Leben unabdingbar.
- *Produzierte Energie*: Energie ist ein Nebenprodukt von Vorgängen. Sie wird zusätzlich zum eigentlichen Prozess emittiert, es kann zu einer Zu-

Klassenstufe 9, Gymnasium [3]		Klassenstufe 9, Hauptschule [3]		Vergleichsgruppe Workshop RS/HS 8/9	
Elektrischer Strom	52%	Elektrischer Strom	68%	Elektrischer Strom	71%
Mechanische Energie	32%	Kraft	36%	Licht	13%
Wärmeenergie	29%	Sonne	26%	Bewegung	13%
Wärme	23%	Wärme	26%	Solar(energie), Sonnenenergie	10%
Kraft	21%	Wasser	24%	Kraft	9%
Elektrische Energie	21%	Sport	16%	Erneuerbare Energie	9%
Chemische Energie	20%	Licht	8%	Sonne	9%
Licht	14%	Atomenergie	6%	Akku/Batterie	7%

Tab. 1: Übersicht über die acht häufigsten Assoziationen bei Crossley [3] im Vergleich zur Workshopgruppe

satzenergie kommen.

- *Energie als Aktivität*: Energie ist nur in Vorgängen vorhanden. Diese Aktivitäten werden Energie gleichgesetzt.
- *Energie als Zutat*: Energie ist ein inerte Inhaltsstoff von Dingen. Sie lässt sich nur durch Trigger (z.B. essen) aus den Dingen auslösen und nutzbar machen.
- *Gelagerte Energie*: Energie ist in Dingen vorhanden bzw. gespeichert. Sie kann in verschiedenen Formen auftreten und lässt sich verbrauchen, um etwas zu bewirken.
- *Transferierte Energie*: Energie kann unterschiedliche Erscheinungsformen haben, die jedoch gleichwertig und ineinander umwandelbar sind. Sie lässt sich von System zu System transferieren.

Von diesen Rahmenkonzepten lassen sich zwei als physikalisch anschlussfähig, beziehungsweise bedingt anschlussfähig betrachten: *Transferierte Energie*, die zu jenem Konzept von Energie äquivalent erscheint, das durch die (erweiterte) Energiequadriga im Unterricht vermittelt wird, sowie *Gelagerte Energie*, die lediglich mit der „Fehlvorstellung“ des Energieverbrauchs behaftet ist. Die sieben Rahmenkonzepte von Watts wurden im nächsten Schritt als Basis des Kodiermanuals für die hier durchgeführte qualitative Interviewanalyse herangezogen.

4. Eigene Erhebung

4.1. Stichprobe

Zur Untersuchung der aktuellen Schülervorstellungen zur Energie wurden mit Schülerinnen und Schülern aus dem Großraum Frankfurt leitfadengestützte Einzelinterviews zu verschiedenen Aspekten des Energiebegriffs durchgeführt. Anschließend wurden die 25-40 Minuten langen Interviews transkribiert und deren Inhalt einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. An den Interviews nahmen insgesamt 17 Schülerinnen und Schüler (sieben Mädchen und zehn Jungen) aus Gesamt-, Real- und Gymnasialklassen im Alter von 11-15 Jahren teil. Von dieser Gruppe hatten vier das Thema Energie bereits im Physik- und zwei im Nawi-Unterricht explizit behandelt

4.2. Interviewleitfaden

Der Leitfaden für die Schülerinterviews bestand aus sieben Kategorien, die in ihrer Reihenfolge festgelegt waren. Zunächst wurden die Schülerinnen und Schüler analog zu dem schriftlichen Assoziationstest von Duit nach ihren spontanen Assoziationen zum Begriff Energie befragt. Im nächsten Schritt sollten sie eine kurze Beschreibung ihrer eigenen Vorstellung von Energie geben, wobei Nachfragen seitens der Interviewenden erlaubt waren. Danach folgte eine kurze Einheit mit acht Symbolbildern, zu denen die Teilnehmenden Stellung nehmen sollten, inwiefern sie dieses Bild mit Energie assoziieren würden und, wenn ja/nein, warum (Beispiele siehe Abb. 2).

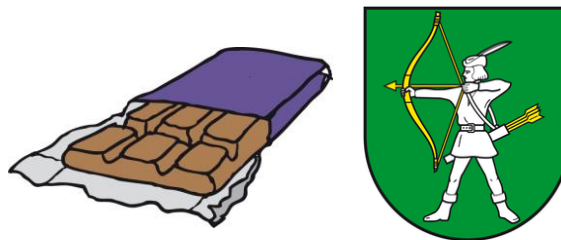


Abb. 2: Symbolbilder

Die Energie im spezifischen Kontext wurde im nächsten Schritt explizit beleuchtet: So sollten die Schülerinnen und Schüler auf verschiedene Arten erläutern, wie ein kleiner Tischventilator betrieben werden kann, beschreiben, an welchen Stellen sie Energie verorten würden und was mit dieser passiert. Danach wurden die Interviewten nach Möglichkeiten der Stromerzeugung und auch dort nach möglichen Verbindungen zur Energie gefragt. Als letztes sollten die Schülerinnen und Schüler zur aktuellen gesellschaftlichen Debatte über Energie und Energieversorgung sowie zu Aspekten des Energiesparens Stellung nehmen und erklären, welche Informationsquellen zum Thema Energie sie eigentlich selbst nutzen.

4.3. Inhaltsanalyse

Die transkribierten Interviews wurden in einem deduktiv-induktiven Vorgehen einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. Zunächst wurde ein Kodiermanual auf Basis der sieben Rahmenkonzepte von Watts [2] entwickelt. Danach wurden, soweit möglich, Ankerbeispiele für die Rahmenkonzepte aus den Interviews gewonnen und in das Kodiermanual eingepflegt. Danach wurden die restlichen Aussagen der Schülerinnen und Schüler über Energie anhand des Kodiermanuals dem passenden Rahmenkonzept zugewiesen. In einem weiteren Schritt wurden diese Kategorien dann, je nach Bedarf, weiter angepasst und ausgeschärft. Da sich in den Interviews nach den ersten beiden Kodierschritten noch vermehrt Aussagen zur Energie fanden, die sich in keines der Rahmenkonzepte von Watts einordnen ließen, wurden schließlich zu diesen Aussagen zwei weitere Rahmenkonzepte induktiv entwickelt und in das Kodiermanual aufgenommen. Im Folgenden sollen die final verwendeten Rahmenkonzepte des Kodiermanuals mit Beispielen aus Interviews vorgestellt werden.

4.3.1. Anthropozentrische Energie

Dieses Rahmenkonzept bezieht den Begriff Energie auf das biologische System „Mensch“. Schülerinnen und Schüler, die dieses Rahmenkonzept verwenden, argumentieren aus einer menschenzentrierten Sichtweise. Energie ist eine vitalistische Essenz, eine „Lebensenergie“, die Lebewesen benötigen, um zu leben oder um Dinge tun zu können. Der Begriff Energie wird beispielsweise als Synonym für Kondition, Ausdauer, körperliche Verfassung oder persönliches Befinden verwendet. Das anthropozentrische Energiekonzept beschreibt den Energiebegriff, der in

unserer Alltagssprache in Bezug auf den Menschen verwendet wird, zum Beispiel in der Aussage „ich habe gerade zu wenig Energie, um aufzustehen“. Randlelemente der Kategorie erweitern das Konzept vom Menschen auf Objekte, die dann animistisch beschrieben werden, beispielsweise als Dinge, die „etwas tun können“, „Kraft einsetzen wollen“ oder „Stärke haben“. Im Gegensatz zur *gelagerten Energie* wird bei anthropozentrischer Energie nicht nur mit Energieformen und -speicherung argumentiert, sondern auch mit Handlungen und Zuständen, die gar nichts mit Energie im physikalischen Sinne zu tun haben, sondern sich lediglich auf das körperliche Wohlbefinden auswirken, zum Beispiel Schlafen, Fitness oder das Alter.

Beispiel:

S: Manche Leute sind halt so, eher so „ja ich geh da jetzt hin und mach das zu Ende“ und andere sind mehr so schlapp und rennen da eigentlich noch so ganz langsam... hinterher [...].

S: Ich glaub, die hier vorne haben mehr Energie, aber auch weil die da mehr so positiver wirken, als die hinten.

I: Also du meinst, weil die jetzt noch so ein bisschen fitter da aussehen?

S: Ja.

4.3.2. Funktionale Energie

Die Energie hat in diesem Rahmenkonzept eine klar zielgerichtete Komponente. Sie wird absichtlich von Menschen produziert, um Arbeit oder andere, für den Menschen und seine Umwelt nützliche Dinge verrichten zu können. Sie wird als Bestandteil eines fortschrittlichen, bequemen und modernen Lebens wahrgenommen, während natürliche Vorgänge keine Energie benötigen. Energie wird als extern hergestellter Treibstoff (im übertragenen Sinne) angesehen, der für meist technische Vorgänge benötigt wird, um zum Beispiel Maschinen oder Geräte anzutreiben. Dieser (meist als elektrisch beschriebene) Treibstoff wird den Menschen dafür kontinuierlich zur Verfügung gestellt.

Beispiele:

S1: [...] Weil man benutzt ja schon, man... viele Leute können ohne Handy gar nicht mehr wirklich leben und dann, wenn die das ´mal irgendwie ausschalten müssen, dann ist das für die dann irgendwie sowas, aber jetzt das ist einfach so, dass, weil früher mussten die ganz ohne Energie leben und dann kann man sich das gar nicht mehr vorstellen.

I: Ist da bei dem Wind, der da weht, ist da auch Energie im Spiel oder ist der nur... halt zum Antreiben da?

S2: Da ist keine Energie im Spiel, das ist ja, das hat uns ja die Umwelt gegeben sozusagen, damit wir es nutzen können.

4.3.3. Produzierte Energie

Schülerinnen und Schüler, die aus dem Rahmenkonzept der produzierten Energie heraus argumentieren, beschreiben die Energie als eine Art Nebenprodukt, das bei Vorgängen produziert wird. Diese Produktion geschieht immer zusätzlich zu einem anderen Ereignis. Die Vorgänge selbst müssen nichts mit Energie zu tun haben, so dass der Eindruck entsteht, dass die Energie aus dem Nichts kommt. Ein von Watts genanntes Beispiel wäre, dass zwei Chemikalien, die miteinander reagieren, immer Energie produzieren, aber für die Reaktion selbst keine Aktivierungsenergie oder Reaktionsenergie benötigen und auch nicht selbst Energie „sind“ oder „haben“. Es kann bei Verwendung dieses Rahmenkonzepts auch beschrieben werden, dass verschiedene Produktionsprozesse zusammenspielen, um eine bestimmte Art von Energie zu produzieren oder entstehen zu lassen. Die Energie wird intern produziert und extern zur Verwendung frei, oft wird auch von überschüssiger Energie als Nebenprodukt gesprochen, die analog zu Emissionen ausgestoßen oder abgestrahlt wird.

Beispiel:

S1: Also weil, ähm wenn man's ja verbrennt, dann entsteht halt, ähm, ja Energie.

S2: Zum Beispiel [...] ´nen Motor, ´nen Automotor. Da wird der einmal mit Strom angemacht und dann [...] fließt das die ganze Zeit und erzeugt selber Energie, weil man damit selber Energie gewinnen kann. Dann [...] kann man länger Autofahren und gewinnt sogar Energie.

4.3.4. Energie als Aktivität

Energie ist in diesem Rahmenkonzept eine Form von manifestierter, offensichtlicher Aktivität. Durch die Aktivität lässt sich nicht nur erkennen, ob an einer bestimmten Stelle Energie im Spiel ist, die Aktivitäten selbst werden als Energie bezeichnet. Ohne sichtbare Aktivität wird einem Gegenstand oder System keine Energie zugeschrieben. Das prominenteste Beispiel ist hier die Bewegung, in der Energie vorhanden ist, die Energie produziert oder die Energie darstellt.

Dieses Rahmenkonzept wurde in den Interviews in seiner zentral beschriebenen Form gar nicht von den Schülerinnen und Schülern verwendet, so dass das folgende Beispiel als eher ungewöhnlich zu werten ist, da „die Energie“ selbst agiert:

S: Also die Bretter müssen ja die ganzen Sachen halten und wenn [...] man zu viele Sachen da drauf packt, dann biegt sich das dann irgendwann und wenn man dann nochmal ´ne Sache oder zwei Sachen drauf packt, dann bricht das. [...] Also dass ein Gewicht auf die Energie drückt und das Gewicht dann die Energie abbricht.

I: Also das heißt, da in dem Brett ist Energie drin und die hält das vorm Durchbrechen ab?

S: Mhm.[Zustimmung]

4.3.5. Energie als Zutat

In diesem Rahmenkonzept ist Energie ein im Hintergrund ruhender Inhaltsstoff oder Bestandteil von Objekten oder bestimmten Materialien, der einen katalysierenden Vorgang benötigt, um frei und aktiv zu werden oder benutzbar zu sein. Die Schülerinnen und Schüler, die Energie als Zutat beschreiben, differenzieren scharf zwischen der Energie selbst (die von ihnen nicht explizit als solche beschrieben oder benannt werden muss) und dem auslösenden Vorgang, der diese Energie frei setzt. Als häufiges Beispiel von Watts wird Essen genannt, das dem Menschen nur dann Energie gibt, wenn man es isst, aber ansonsten keine Energie „gespeichert“ hat. Sowohl Auslöser, als auch ruhende „Zutat“ sind nötig, um letztlich aktive, nutzbare Energie bereit zu stellen.

Beispiel:

I: Das hier sind Regalböden, da stehen verschiedene Sachen oben drauf.

S: Ich glaub, [...] es hat nix mit Energie zu tun.

I: Warum?

S: Weil es... in den Büchern ist ja keine Energie. Und in dem Holz ist ja zwar Energie, aber [...] die wird ja nicht genutzt.

I: Also ist da grad Energie da oder ist da keine Energie da?

S: Nein [keine Energie].

Auch dies ist auf den ersten Blick kein klassisches Beispiel für Energie als Zutat. Der Schüler sagt zwar, dass in dem Holz Energie sei, aber da diese nicht genutzt wird, spricht er ihr sozusagen den typischen „Energiecharakter“ ab. Die Energie wird für ihn erst dann zur „echten Energie“, wenn sie genutzt werden kann.

4.3.6. Gelagerte Energie

Das Rahmenkonzept der gelagerten Energie ist sehr breit und wird auch häufig von den Schülerinnen und Schülern genutzt. Unter gelagerte Energie fallen im Allgemeinen zwei Antwortkategorien:

1. Energie wird als etwas beschrieben, das als Bestandteil von Objekten existiert. Bestimmte Materialien oder Dinge haben ihre eigene „Energiequelle“, aus der resultiert, dass diese Objekte Energie besitzen.
2. Es werden verschiedene, distinktive Energieformen beschrieben, z.B. chemische Energie (die Energie in Chemikalien) oder elektrische Energie (die Energie im Strom), die sich in Dingen oder Vorgängen befinden. Diese Energieformen können „aufgebraucht“ werden, um Reaktionen in anderen Gegenständen hervorzurufen. Die Energieformen können auch mit unterschiedlichen Eigenschaften beschrieben werden.

Beiden Kategorien zugrunde liegt die Annahme, dass Energie als eine Art innere Kraftquelle angesehen wird, die entweder nur einmal konsumiert wird (fossile Brennstoffe, Essen) oder wieder aufladbar

ist (Menschen, Akkus). Energie wird auch als die „Kraft, die etwas hat, um Dinge tun zu können“ beschrieben. Im Gegensatz zur *transferierten* oder *partiell transferierten Energie* wird die benutzte Energie hier nicht explizit in eine andere Energieform umgewandelt, sondern ist nach Gebrauch weg und verschwindet.

Beispiele:

S1: Also bei der Kerze denke ich so ähnlich wie bei dem Feuer auch. Nur dass halt das Wachs diesmal halt sozusagen die Kraftquelle ist ... oder die Energiequelle. Und die Kerze brennt ja auch so lange, bis das Wachs weg ist [...].

S2: [...] in der Uhr ist Energie. Da ist Strom drin. Das wird halt verbraucht dann [...].

I: Wie funktioniert so 'ne Uhr dann deiner Meinung nach?

S: Der Strom gibt Saft, [...] wenn Batterien drin sind, geben sie Strom ab, damit sie tickt.

4.3.7. Transferierte Energie

Dieses Rahmenkonzept umfasst grob die Modellvorstellung von Energie, die in der didaktischen Rekonstruktion der Energiequadriga auch in der Schule gelehrt wird: Energie ist etwas, das verschiedene Formen annehmen kann, die ineinander umwandelbar sind (Metamorphose), und das wie eine Flüssigkeit von System zu System fließen und transferiert werden kann. Schülerinnen und Schüler beschreiben Energie als etwas, das an Energieträger gebunden sein kann, oder das sich „in ihnen“ oder „auf ihnen“ befindet. Diese Energieträger geben die Energie dann an andere Energieträger weiter. Die beschriebenen Energieformen müssen dabei nicht mit den aus dem Physikunterricht bekannten Formen übereinstimmen, sondern sind oft auf den jeweiligen Energieträger bezogen (zum Beispiel Windenergie). Die Umwandlung oder auch „Verwandlung“ der Energieformen wird explizit angesprochen. Im Gegensatz zur *partiell transferierten Energie* werden hier im Verlauf des Interviews zum Teil längere Umwandlungsketten beschrieben, teilweise auch auf Energieerhaltung oder Quantifizierung eingegangen. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist der einigermaßen stringent formulierte Energiefluss.

Beispiele:

S1: [...] zum Beispiel ein Wasserkraftwerk, ähm, wo [...] Wasser gestaut wird, also Hebeenergie, dann wird es durch ein Rohr, ähm, durchgeflossen, wo dann eine Art Ventilator ist, ähm, das dann durch die Bewegungsenergie, also den Wasserdruck, angetrieben wird, und diese Bewegungsenergie kommt dann zu einem Generator, der dann die Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandelt und diese wird dann weiter an die Hochspannungsleitung geleitet.

S2: Energie kann auf jeden Fall nicht vernichtet werden und neu erschaffen werden und es wandelt nur seine Form. In, in sozusagen Elektroenergie,

[...] zum Kauen brauchen Menschen das und zum Bewegen halt.

4.3.8. Energie als Katalysator

Dieses neue, induktiv gefundene Rahmenkonzept beschreibt Energie als Antrieb oder Katalysator für Vorgänge oder Aktivitäten, jedoch nicht als Inhaltsstoff von Körpern oder Objekten. Die Energie wird meist abstrakt oder als Antrieb beschrieben, sie initiiert Vorgänge, die ohne ihre Anwesenheit nicht möglich wären (zum Beispiel in Form von Aktivierungsenergie bei chemischen Reaktionen). Die Energie kann ohne Träger existieren, sie kann jedoch durchaus eine für den Interviewten beschreibbare Form besitzen, zum Beispiel Feuer, Licht oder Wärme. Die *Energie als Katalysator* stellt somit den Gegensatz zur *Energie als Zutat* dar. Im Gegensatz zur *funktionalen Energie* fehlt die Beschränkung auf den menschlichen Komfort und der Fokus auf den menschengemachten Charakter der Energie für einen bestimmten Zweck.

Beispiele:

S1: Ähm... also ich glaub, in dem Bild... ja halt, aber die Zwiebel, die wächst ja von der Sonnenenergie, weil die wird ja dann so... ja, aber... ob die Zwiebel jetzt selbst Energie hat? Glaube nicht.

I: Aber sie braucht Energie zum Wachsen, hast du gesagt.

S1: Ja, von der Sonne.

S2: zum Beispiel bei Reaktionen, [...] da wird ja auch Energie benötigt, [...] beim Erhitzen, da wird praktisch Energie freigelassen und diese Energie ist praktisch ein Antrieb, mit dem man etwas bewirken kann, zum Beispiel bei der chemischen Reaktion, dass sich der Stoff verändert.

4.3.9. Partiiell transferierte Energie

Das ebenfalls neue Rahmenkonzept der *partiiell transferierten Energie* befindet sich konzeptuell

zwischen der *gelagerten* und der *transferierten Energie*. Schülerinnen und Schüler, die sich dieses Rahmenkonzepts bedienen, argumentiert mit lokalem Energietransfer. Energie kommt in verschiedenen, explizit benannten Formen vor (analog zur *gelagerten Energie*). Die Formen müssen ebenso nicht den aus dem Physikunterricht bekannten Formen entsprechen (z.B. Windenergie, Nahrungsenergie oder Sonnenenergie). Manche Formen von Energie lassen sich ineinander umwandeln. Beispielsweise wird die Energie des Windes umgewandelt in elektrische Energie. Im Gegensatz zur *transferierten Energie* wird hier aber kein Konzept zum durchgängigen Fluss von Energie durch verschiedene Systeme erklärt, beispielsweise kann der durch verschiedene Energieumwandlungen „hergestellte“ Strom immer noch „verbraucht“ werden. Auch Argumentationen von Energie, die verbraucht, aber dann zur Produktion einer anderen Energieform genutzt wird, fallen unter die Kategorie der *partiiell transferierten Energie*.

Beispiel:

S: In der Steckdose kommt ja Energie raus. Und somit wird der Ventilator betrieben.

I: Wie funktioniert das genau? Wie würdest du dir das vorstellen, dass der betrieben wird?

S: Also da ist ja Elektrizität. Und die Elektrizität betreibt dieses kleine Windrad. [...]

I: Und was passiert dann mit der Energie?

S: Die wird verbraucht.

I: Und dann? Der Ventilator, der dreht sich...

S: Und erzeugt damit auch Energie. Also Bewegungsenergie.

I: Das heißt, die eine Energie geht weg und die andere Energie kommt?

S: Ja.

		Interview																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Alter		15	15	15	15	13	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	13	14
Transferierte Energie																		
Partiiell transferierte Energie																		
Gelagerte Energie																		
Energie als Katalysator																		
Anthropozentrische Energie																		
Funktionale Energie																		
Produzierte Energie																		
Energie als Zutat																		
Energie als Aktivität																		
		SchülerInnen mit Vorwissen								SchülerInnen ohne Vorwissen								

Physikalisch anschlussfähiges Konzept

Schwach ausgeprägtes Rahmenkonzept: seltene Argumentation (1-2 Nennungen) in einzeltem Kontext

Stark ausgeprägtes Rahmenkonzept: häufige Argumentation in verschiedenen Kontexten

Bedingt anschlussfähiges Konzept

Abb. 3: Übersicht über die verwendeten Rahmenkonzepte nach Interview

[...]

I: Und was ist dann mit dem [...] Wind, wenn sich der Ventilator dreht? Wo kommt der denn her?

S: [...] Der Ventilator dreht sich ja durch den Strom und dadurch wird die Luft ja halt umhergewirbelt, also entsteht Wind.

[...]

I: Das heißt, die Luft bewegt sich halt auch einfach?

S: Ja, die bewegt sich dann.

I: Hat die Luft dann auch Energie?

S: Nein.

Man sieht bei diesem Beispiel, dass der Schüler zunächst von Energieverbrauch spricht, aber offensichtlich Energieumwandlung beschreibt. Erst zum Schluss verschwindet die Energie, da der bewegten Luft keine Energie zugeschrieben wird.

5. Ergebnisse

Im Vergleich zu der von Watts durchgeführten Interviewstudie [2], aber auch zu anderen Untersuchungen der 1980er und 1990er Jahre [13+14] zeichnet sich bei den aktuellen Schülerrahmenkonzepten durchaus eine Veränderung ab. Galt früher *anthropozentrische Energie* (oder deren Äquivalente in anderen Publikationen) als häufigstes Rahmenkonzept bei jüngeren Schülerinnen und Schülern, so argumentieren selbst 11- und 12-jährige heute durchaus schon aus dem Rahmenkonzept der *gelagerten Energie*. *Anthropozentrische Energie* wird zwar noch durchaus häufig im biologischen oder sportlichen Kontext genannt – immerhin verwenden 65% aller Schülerinnen und Schüler in diesen Kontexten Aussagen, die sich der anthropozentrischen Energie zuordnen lassen – außerhalb dieses Kontextes spielt sie allerdings für kaum eine Schülerin oder einen Schüler eine zentrale Rolle. Ebenso auffällig ist die starke (aufgrund der Arbeit von diSessa [5] durchaus erwartete) Fragmentierung der verwendeten Rahmenkonzepte, vor allem bei Schülerinnen und Schülern ohne Vorkenntnisse durch den Physik- oder Nazi-Unterricht (siehe Abb. 3).

Wie bereits erwähnt waren viele der Schüleräußerungen keinem der Rahmenkonzepte von Watts zuzuordnen, weswegen die beiden neuen Rahmenkonzepte *Energie als Katalysator*, sowie *partiell transferierte Energie* definiert werden mussten. Ebenso erstaunlich wie erfreulich ist die Tatsache, dass viele der Interviewten durchaus physikalisch anschlussfähige Vorstellungen von Energie formulieren, auch wenn sie dabei nicht unbedingt die fachlich korrekten Termini benutzen oder durch sprachliche Präzision glänzen. Dies zeigt sich besonders bei jenen Interviewten, die schon über Vorkenntnisse verfügen: Hier argumentierte jede Person mindestens aus dem Rahmenkonzept der partiell transferierten Energie als zentralem Konstrukt. Interessant ist zudem, dass die Rahmenkonzepte *Energie als Zutat* und *Energie als Aktivität* nur noch durch drei bezie-

hungsweise zwei eher randständige Beispiele über alle Interviews repräsentiert sind. Am häufigsten verwendet wurde hingegen *gelagerte Energie*, *transferierte Energie* und *partiell transferierte Energie* mit Nennungshäufigkeiten zwischen 45 und 70 Nennungen über 17 Interviews.

6. Fazit und Ausblick

Schülerinnen und Schüler verfügen heute über ein anderes Spektrum an Rahmenkonzepten zur Energie als dies noch vor 30 Jahren der Fall war. Dies ist aufgrund der medialen Verbreitung des Energiebegriffs durchaus zu erwarten gewesen und nicht weiter verwunderlich. Zu beachten ist die durchaus häufige Koexistenz und kontextabhängige Verwendung unterschiedlicher Rahmenkonzepte bei den Schülerinnen und Schülern, weswegen man bei der Formulierung von „der“ singulären Schülervorstellung eines Schülers oder einer Schülerin vorsichtig sein sollte. Ebenso lässt sich vorsichtig formulieren, dass viele Schülerinnen und Schüler durchaus physikalisch sinnvolle Gedanken zur Energie äußern, diese aber in unterrichtlichen Situationen schnell als fachlich falsch gewertet werden könnten, da ihnen schlicht das Fachvokabular und die sprachliche Präzision fehlt. Auch lässt sich der vorsichtige Appell an die anderen naturwissenschaftlichen Fächer Biologie und Chemie ausdrücken, bei der Verwendung des Energiebegriffs Vorsicht walten zu lassen, um nicht jene Rahmenkonzepte zu verstärken, die physikalisch weniger anschlussfähig sind, als bereits vorhandene (*Anthropozentrische Energie* im biologischen Kontext und *Energie als Katalysator* im chemischen).

Zu klären ist in einem nächsten Schritt, wie stark jedes der aktuellen Rahmenkonzepte zur Energie tatsächlich bei den Schülerinnen und Schülern repräsentiert ist, da die Interviewstudie über quantitative Gewichtung noch keine verlässliche Aussage treffen kann, sondern lediglich Trends aufzeigt. Hier ist auch zu klären, ob die Rahmenkonzepte *Energie als Zutat* und *Energie als Aktivität* noch hinreichend repräsentativ abgebildet werden können, oder ob diese beiden Konzepte inzwischen irrelevant geworden sind. Die neu entwickelten und ausgeschärften Rahmenkonzepte sowie die Aussagen der Schülerinnen und Schülern aus den Interviews sollen zu diesem Zweck zur Entwicklung von Items für ein Testinstrument dienen, das die vorhandenen Rahmenkonzepte der Probanden bestimmen soll. Mit Hilfe dieses Testinstruments soll dann in einer weiteren Untersuchung im Prä-Post-Design geklärt werden, inwiefern eine außerschulische Lerngelegenheit (zum Beispiel der eingangs erwähnte Workshop) dazu in der Lage ist, Veränderungen in den Rahmenkonzepten der Teilnehmenden auszulösen.

7. Literatur

- [1] Duit, R. (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht. Habilitationsschrift. Universität Kiel.
- [2] Watts, D. (1983): A study of alternative frameworks in school science. Dissertation, University of Surrey.
- [3] Crossley, A.; Hirn, N.; Starauschek, E. (2009): Schülervorstellungen zur Energie – Eine Replikationsstudie. In: Nordmeier, V., Grötzebauch, H. (Hrsg.), Didaktik der Physik - Bochum 2009, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [4] Behle, J.; Wilhelm, T. (2016): Energie für die Insel – Ein Experimentierworkshop mit „Neuen Technologien“. In: PhyDid B
- [5] diSessa A. (1988): Knowledge in pieces. In: Forman, G.; Pufall, P., Constructivism in the Computer Age, Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 49–70
- [6] Fischbein, E; Stavy, R.; Ma-Naim, H. (1989): The psychological study of naive impetus conceptions. In: Science Education, 66, 4, S. 623-633.
- [7] Clough, E.E.; Driver, R. (1986): A study of consistency in the use of student's conceptual frameworks across different task contexts. In: Science Education 70, 4, S.473-796.
- [8] Boyes, E.; Stanisstreet, M. (1990): Pupil's ideas concerning energy sources. International Journal of Science Education Vol.12, Iss. 5
- [9] Mandl, H.; Gruber, H.; Renkl, A. (1993a). Lernen im Physikunterricht - Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlichen Erfahrungen. In: Kuhn, W. (Hrsg.): Didaktik der Physik, Vorträge Physikertagung 1993 Esslingen (Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Fachausschuß Didaktik der Physik), S. 21 - 36
- [10] Hartmann, S. (2004). Erklärungsvielfalt, Studien zum Physiklernen, Band 37, Logos-Verlag, Berlin
- [11] Schmidkunz, H.; Parchmann, I. (2011): Basis-konzept Energie. In: Unterricht Chemie, 22, 121, S. 2-7.
- [12] KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Luchterhand, München 2005
- [13] Rincke, K. (2015): (Elektrische) Energie – Unterrichten zu einem schwierigen Begriff mit großer Bedeutung. In: Unterricht Physik 146, Jg 26, S.2-10
- [14] Duit, R. (2007): Energie: Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 18(5), S. 4-7
- [15] Solomon, J. (1983): Learning about energy: How pupils think in two domains. In: European Journal of Science Education, 5, S.49-59.
- [16] Trumper, R. (1993): Children's energy concepts: a cross-age study. International Journal of Science Education, 15:2, S. 139-148
- [17] Lancor, R. A. (2014): Using Student-Generated Analogies to Investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study. In: International Journal of Science Education, 36, 1, S. 1-23
- [18] Duit, R. (1986): Energievorstellungen. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie, 34 (13), S. 7-9.
- [19] Liu, X.; McKeough, A. (2005): Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. In: J. Res. Sci. Teach., 42: S. 493-517