

**Entwicklung, Erprobung und Etablierung  
neuer experimenteller Umweltbildungsangebote  
zum Themengebiet ‚Energie und Chemie‘  
für die Klassenstufen 4 bis 7**

**Abschlussbericht**

für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

(Az 32828/01-41)

Projektleitung: Prof. Dr. Petra Mischnick

Projektdurchführung: Dr. Ilka Deusing-Gottschalk

Technische Universität Braunschweig

Institut für Lebensmittelchemie

Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor

Projektpartnerin: Prof. Dr. Mirjam Steffensky

Projektdurchführung: Dr. Karen Rieck

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

(IPN)

Abteilung Didaktik der Chemie

Braunschweig/Kiel, Januar 2016 – Dezember 2017

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>32828</b>	Referat	<b>41</b>	Fördersumme	<b>115.400 €</b>
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

**Antragstitel**      **Entwicklung, Erprobung und Etablierung neuer experimenteller Umweltbildungsangebote zum Themengebiet ‚Chemie und Energie‘ für die Klassenstufen 4 bis 7**

**Stichworte**

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>24 Monate</b>	<b>01.01.2016</b>		
Zwischenberichte	30.06.2016	31.12.2016	30.06.2017

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Prof. Dr. Petra Mischnick	Tel	0531 / 391 - 7201
	TU Braunschweig	Fax	0531 / 391 - 7230
	Institut f. Lebensmittelchemie / Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor	Projektleitung	
	38106 Braunschweig	Prof. Dr. Petra Mischnick	
		Bearbeiterin	
		Dr. Ilka Deusing-Gottschalk	

**Kooperationspartner**      Prof. Dr. Mirjam Steffensky  
Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN), Abteilung Didaktik der Chemie  
24098 Kiel

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Energie ist ein abstrakter, für SchülerInnen schwer erfassbarer Begriff. Durch einen stofflichen Bezug kann er besser (be)greifbar werden. Daher sollen Lernangebote mit einer Fokussierung auf stoffliche Träger bzw. im Kontext regenerativer Energien auf stoffliche Systeme zur Speicherung konzipiert werden.

SchülerInnen ab Klasse 4 sollen damit ein grundlegendes Wissen über das Konzept Energie sowie Aspekte der Bewertungskompetenz entwickeln. Die beiden Ansätze einer handlungsorientierten Umweltbildung und der Vermittlung eines naturwissenschaftlichen Grundverständnisses sollen miteinander verzahnt werden. Damit soll das Verständnis der SchülerInnen für einen nachhaltigen Umgang mit Energie über angeleitetes Handeln hinaus gefördert werden.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

In zwei Themenfeldern sollen experimentelle Module mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt werden, in denen die vier grundlegenden (Sub)Konzepte der Energie, Energieform, -träger, -transformation und -erhaltung, auf phänomenologischer Ebene erarbeitet werden. Durch das experimentelle Herangehen werden die gewonnenen Erkenntnisse tiefer verankert.

- |              |   |
|--------------|---|
| Themenfeld 1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die verschiedenen Energieformen und ihre Umwandbarkeit ineinander</li> <li>• Energieumwandlungen in Verbindung mit Energieerhaltung</li> <li>• Vergleich unterschiedlicher Energieträger</li> </ul>  |
| Themenfeld 2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Sonne als Energiequelle und die unterschiedlichen Arten erneuerbarer Energie</li> <li>• Speicherung von regenerativ erzeugter Energie in Form von chemischer Energie</li> <li>• Wärmedämmung zur Steigerung des nutzbaren Anteils</li> </ul> |

Dabei wird immer auch ein konkreter Bezug zur Lebenswelt der Kinder hergestellt, z.B. dienen Nahrungsmittel als Verständnisbrücke. Verknüpft wird dieser fachwissenschaftliche Fokus mit der Bewertungskompetenz. Das Projekt wird über den gesamten Zeitraum durch das Institut für die Didaktik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel fachdidaktisch begleitet. Im Rahmen einer am Agnes-Pockels-Labor etablierten AG-Struktur sollen die Module mit Gruppen von Viertklässlern entwickelt werden. Auf dieser Grundlage werden dann Module für Schulklassen zur Durchführung im Schülerlabor konzipiert, Teilmodule auch in Form von Experimentierkisten für den Einsatz im Schulunterricht.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Im Projektverlauf wurden wie geplant Experimentiereinheiten entwickelt, in denen SchülerInnen ab Klasse 4 die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Energiekonzepts sowie die erneuerbaren Energien und die damit verbundenen Anforderungen erarbeiten können. Es wurden drei Module mit insgesamt sechs Themenschwerpunkten aus dem Feld 'Chemie und Energie' entwickelt. Zu den Experimenten wurden die erforderlichen Arbeitsmaterialien, Verlaufspläne zur Durchführung sowie weitere Informationsmaterialien erstellt. Für alle Module wurden zusätzlich Pre-/Posttest-Kombinationen durchgeführt, mit denen im Rahmen des Projekts der Erkenntnisgewinn der Kinder in den einzelnen Modulen erfasst wurde. Die Module wurden sowohl im Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor als auch von Partnern mit unterschiedlichen Schülergruppen erprobt. Auf Basis der dabei gemachten Erfahrungen wurden die Module, auch im Hinblick auf die Vorstellungen der Kinder, überarbeitet. Die Projektziele ließen sich im Rahmen des Arbeits- und des Kostenplans umsetzen.

Die Ergebnisse der Pre-/Posttest-Kombinationen zeigen, dass die SchülerInnen einen messbaren Erkenntnisgewinn erzielen konnten. Dieser beruht nicht nur auf den erworbenen Grundkenntnissen im Hinblick auf das Energiekonzept und die Energieversorgung. Auch die Bewertungskompetenz wurde durch das Trainieren von Vergleichen und Abwägen verschiedener Sachverhalte gefördert.

Durch die vermittelten Kompetenzen entwickeln die SchülerInnen ein größeres Verständnis für bestimmte Verhaltensweisen eines nachhaltigen Umgangs mit Energie. Dies erhöht nicht nur ihre Akzeptanz, sondern führt zu einer tieferen Verankerung der nachhaltigen Handlungsweisen.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Das Projekt wurde zu folgenden Anlässen der Öffentlichkeit präsentiert:

- 18.06.2016, TU NIGHT, der Wissenschaftsnacht der Technischen Universität Braunschweig (ausgewählte Experimente und Poster)

- 13./14.03.2017, 12. Jahrestagung von LernortLabor, dem Bundesverband der Schülerlabore, in Würzburg (Poster)

Ausgewählte Projektinhalte mit dem Schwerpunkt 'Erneuerbare Energien' wurden im Februar 2017 den Angehörigen der AG-TeilnehmerInnen präsentiert.

- 12./13.09.2017, 34. Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh in Berlin (Kurzvortrag und Poster)

Ausgewählte Projektinhalte wurden am 19.09.2017 im Rahmen der Veranstaltung „10 Jahre Stadt der Wissenschaft“ der Stadt Braunschweig und der Forschung Region Braunschweig der Öffentlichkeit präsentiert.

Nach endgültiger Fertigstellung werden die Projektinhalte auf der Homepage des Agnes-Pockels-Labors ([www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor](http://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor)) und im Netzwerk zur MINT-Nachhaltigkeitsbildung [mint.NB](http://mint.NB) ([www.mint-nachhaltigkeitsbildung.de](http://www.mint-nachhaltigkeitsbildung.de)) anderen Interessierten zur Verfügung gestellt.

## **Fazit**

Die entwickelten Module mit unterschiedlichen Schwerpunkten aus dem Themenbereich 'Chemie und Energie' wurden von verschiedenen Schulklassen und Schülerarbeitsgemeinschaften von Viert- und Fünftklässlern durchgeführt. Die SchülerInnen führten die Experimente mit viel Engagement durch. Entscheidend für das Verständnis und die Bereitschaft der Kinder, sich mit dem abstrakten Begriff Energie auseinander zu setzen, war, dass immer auch ein konkreter Bezug zur Lebenswelt der Kinder hergestellt wurde. Durch die vermittelten Kompetenzen können die SchülerInnen ein größeres Verständnis für nachhaltige Handlungsweisen entwickeln, wodurch diese eher akzeptiert und eingesetzt werden. Die entwickelten Module werden in das bestehende Angebot des Agnes-Pockels-Labors aufgenommen und weitergeführt. Mit der Bereitstellung von Experimentierkisten wird der Einsatz der Experimente im Schulunterricht unterstützt und gefördert.

**Inhalt**

Projektkennblatt	2
Inhaltsverzeichnis	4
Zusammenfassung	7
1 Hintergrund und Ziel	9
2 Vorgehensweise	10
3 Schülerarbeitsgemeinschaften	12
4 Die Module in der Praxis	15
4.1 Einführung	15
4.2 Modul 1: Grundlagen des Energiekonzepts	16
4.2.1 Energieformen und ihre Umwandlung	16
4.2.2 Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz	18
4.3 Modul 2: Chemische Energieträger	22
4.3.1 Nutzung und Vergleich	22
4.3.2 Kohlenstoffdioxid	25
4.4 Modul 3: Energie aktuell	27
4.4.1 Erneuerbare Energien	27
4.4.2 Energiespeicherung	32
4.5 Kurzfassung für den Einsatz in der Schule	39
5 Vernetzung der Module	40
6 Erprobung der Module	43
6.1 Agnes-Pockels-SchülerInnenlabor	43
6.2 Erprobung durch Partner	49
7 Didaktische Überlegungen	51
7.1 Ergebnisse aus dem Berichtszeitraum Juli bis Dezember 2018	53
7.2 Diskussion der Ergebnisse aus dem Gesamtprojekt	59
8 Fazit	60
9 Quellenverzeichnis	62

**Anhang**

**Anhang: Inhaltsübersicht**

Übersicht Module 1- 3	65
Modul 1: Grundlagen des Energiekonzepts	
- Verlaufspläne	66
- Anhang	77
- Pre-/Post-Tests	82
- Arbeitsblätter	87
Modul 2: Chemische Energieträger	
- Verlaufspläne	101
- Anhang	114
- Pre-/Post-Tests	117
- Arbeitsblätter	122
Modul 3: Energie aktuell	
- Verlaufspläne	139
- Anhang	162
- Pre-/Post-Tests	166
- Arbeitsblätter	171
Information und Hintergrundwissen für Lehrkräfte	199

**Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1: Beispiel eines von AG-TeilnehmerInnen gestalteten Plakats zum Thema ‚Erneuerbare Energien‘
- Abb. 2: Einfaches Kalorimeter zur Messung des Energiegehalts von Energieträgern
- Abb. 3: Der Fingerwärmer
- Abb. 4: „Stärkebombe“: In die Flamme eines Gasbrenners (a) wird Stärke geblasen (b)
- Abb. 5: Einfache Batterie aus Kupfer- und Zinkblechen sowie Gurkenscheiben
- Abb. 6: Laden eines Zink-Iod-Akkus mit Strom aus Windenergie
- Abb. 7: „Heißes Eis“ aus Natriumacetat-Trihydrat
- Abb. 8: Möglichkeiten zur Vernetzung der Module
- Abb. 9: Experimentierangebot bei der Veranstaltung „Cloud der Wissenschaft“
- Abb. 10: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Grundlagen Energie) für alle Kinder der Gruppe 1
- Abb. 11: Zusammengeführte Aufgaben 1 und 6 im Pre- und Posttest für alle Kinder der Gruppe 1

Abb. 12: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Energiespeicherung) für alle Kinder der Gruppe 1

Abb. 13: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Energieeffizienz) für alle Kinder der Gruppe 1

Abb. 14: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Grundlagen Energie) für alle Kinder der Gruppe 2

Abb. 15: Zusammengeführte Aufgaben 1 und 6 im Pre- und Posttest für alle Kinder der Gruppe 2

Abb. 16: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (chemische Energieträger) für alle Kinder der Gruppe 2

Abb. 17: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Energieeffizienz) für alle Kinder der Gruppe 2

### **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Energieformen und ihre Umwandlung - Übersicht der Experimente

Tab. 2: Energieeffizienz - Übersicht der Experimente

Tab. 3: Nutzung chemischer Energieträger - Übersicht der Experimente

Tab. 4: Kohlenstoffdioxid - Übersicht der Experimente

Tab. 5: Erneuerbare Energien - Übersicht der Experimente

Tab. 6: Energiespeicherung - Übersicht der Experimente

Tab. 7: Experimentierkiste 'Energiekonzept': Energieformen und ihre Umwandlung/ Energieeffizienz

Tab. 8: Experimentierkiste 'Energie aktuell': Erneuerbare Energien/ Energiespeicherung

Tab. 9: Die Module in der Übersicht

Tab. 10: Getestete Experimentiereinheiten in den AGs 2016/2017

Tab. 11: Getestete Experimentiereinheiten in den AGs 2017/2018

Tab. 12: Getestete Experimentiereinheiten der Grundschulgruppen im Agnes-Pockels-Labor

Tab. 13: Getestete Experimentiereinheiten im Fehling-Lab

Tab. 14: Getestete Experimentiereinheiten in der Schule durch das Chemol

### **Abkürzungsverzeichnis**

AG Arbeitsgemeinschaft

E Energie

AB Arbeitsblatt

GS Grundschule

## Zusammenfassung

Bereits Schulkinder sollen möglichst früh zu umweltorientiertem Handeln angeleitet werden, um entsprechende Verhaltensmuster möglichst tief zu verankern. Schülerlabore als außerschulische Lernorte können dies unterstützen, da durch die experimentelle Herangehensweise ein tieferes Verständnis gefördert wird.

In diesem Projekt wurden Module mit Experimentiereinheiten entwickelt, in denen die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Energiekonzepts sowie die erneuerbaren Energien und die damit verbundenen Anforderungen von Schulkindern ab Klasse 4 erarbeitet werden können. Der Phänomen-orientierte und experimentelle Zugang im Schülerlabor stand dabei im Mittelpunkt. Das jeweilige Vorwissen wurde berücksichtigt, ebenso wurde stets ein konkreter Bezug zur Lebenswelt der Kinder hergestellt. Der fachwissenschaftliche Fokus wurde mit der Bewertungskompetenz verknüpft. Ziel war es nicht, die fachlichen Zusammenhänge mit den SchülerInnen vollständig zu erarbeiten, sondern ein erstes Denken in Systemen anzuregen. Die Entwicklung der Module erfolgte in Schülerarbeitsgemeinschaften von Viertklässlern, die besonders interessiert am naturwissenschaftlichen Arbeiten waren.

Das erste Modul behandelt die Grundlagen des Energiekonzepts und den effizienten Umgang mit Energie. Ziel ist, dass die Kinder die vier (Sub)Konzepte der Energie, nämlich Energieformen, -träger, -umwandlung und -erhaltung kennenlernen, in Experimenten erarbeiten und dabei erkennen, dass diese immer zusammenspielen. Die Kinder lernen die Energieformen Bewegungs-, Licht-, Wärme-, Lageenergie sowie elektrische und chemische Energie kennen und erkennen dabei, dass bei jeder ihrer eigenen Handlungen Energieumwandlungen ablaufen. Die Energieerhaltung wird im Zusammenhang mit der Energieumwandlung betrachtet. Ein weiterer Schwerpunkt des Moduls ist die effiziente Nutzung von Energie mit Experimenten zum nutzbaren Anteil der eingesetzten Energie sowie zum Umgang mit Wärmeenergie. Begriffe wie „Energie gewinnen“, „Energiesparen“ oder „Energie verschwenden“, die im alltäglichen Leben immer wieder auftauchen, werden naturwissenschaftlich erfasst und bewertet.

Der Einsatz chemischer Energieträger und das dabei entstehende Kohlenstoffdioxid werden im zweiten Modul behandelt. Der Vorgang der Verbrennung und seine Produkte werden experimentell untersucht, verschiedene Energieträger verglichen. Ihre Herkunft wird erfasst und bewertet. Außerdem werden die Eigenschaften des bei der Nutzung produzierten Kohlenstoffdioxids und die sich daraus ergebenden Konsequenzen in verschiedenen Experimenten erarbeitet.

Thema des dritten Moduls sind die erneuerbaren Energien und die Energiespeicherung. Ausgangspunkt sind die Verfahren zur direkten Nutzung der Sonnenenergie, Solarthermie und Fotovoltaik. Der Wasserkreislauf, die Entstehung von Wind und die Grundlagen des Pflanzenwachstums werden mit einbezogen. Dabei soll herausgearbeitet werden, dass auch andere erneuerbare Energien wie Wasser- und Windkraft oder die Nutzung von Biomasse ebenfalls aus Sonnenenergie gespeist werden. Die Kinder sollen in einfachen Experimenten die grundlegenden Prinzipien erkennen und darauf aufbauend modellhaft ihre technische Anwendung erarbeiten. Ausgehend von der Speicherung chemischer Energie in Pflanzen erarbeiten die Kinder außerdem verschiedene Wege zur Speicherung von Wärmeenergie und von elektrischer Energie. Die Begriffe Energiegewinnung und Energieverbrauch werden unter dem Aspekt des Einsatzes von erneuerbaren Energien betrachtet und als Umwandlung von Energie in für uns nutzbare Energie bzw. Umwandlung von Energie in für uns nicht mehr nutzbare Formen beschrieben. Das Für und Wider der Energiewende wird thematisiert: Aus welchen Gründen wird sie angestrebt, welche Probleme ergeben sich daraus?

Für alle Module wurden Pre-/Posttest-Kombinationen erstellt, mit denen der Erkenntnisgewinn der Kinder in den einzelnen Modulen erfasst werden konnte.

## 1 Hintergrund und Ziel

Schon Schulkinder sollen heutzutage ein Bewusstsein für ihre Umwelt entwickeln, denn um die Verhaltensmuster möglichst tief zu verankern, sollte mit dem Einüben umweltrelevanter Handlungsweisen so früh wie möglich begonnen werden. Dazu gehören beispielsweise der sparsame Umgang mit Ressourcen wie Wasser und Energie oder Strategien wie Müllvermeidung bzw. -trennung. Dies findet nur teilweise und in unterschiedlicher Ausprägung bereits zuhause statt. Im Schulalltag, insbesondere im Sachunterricht, sollen alle Kinder zu umweltorientiertem Handeln angeleitet werden.

Laut dem niedersächsischen Kerncurriculum für Sachunterricht sollen die SchülerInnen bereits in der Grundschule verschiedene Formen der Energiegewinnung kennen und erneuerbare von nicht erneuerbaren Energien unterscheiden können. Dennoch zeigen Untersuchungen, dass der Energiebegriff auch bei älteren SchülerInnen oft nicht gefestigt ist. Im Alltag wird Energie in vielen Zusammenhängen und Begriffskombinationen verwendet, die mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen von Energie nicht ohne weiteres kompatibel sind. Zum Begriff Energie existiert in der Bevölkerung eine Reihe sehr unterschiedlicher Vorstellungen, die in vielen Fällen nicht mit wissenschaftlichen Erkenntnissen übereinstimmen. Dies liegt auch an der alltagssprachlichen Verwendung des Begriffs (Huber & Habelitz-Tkotz, 2015; Duit, 2007). So findet sich das Wort Energie beispielsweise in 'Energiesparen', 'Energiegewinnung' oder 'Energieverbrauch', wodurch dem Wort 'Energie' eine bestimmte Bedeutung zugewiesen wird. In weiterführenden Schulen treffen die SchülerInnen in verschiedenen Fächern auf unterschiedlichen Blickwinkeln auf den Begriff Energie. Während in der Physik die Energieerhaltung ein grundlegender Aspekt ist, blickt die Biologie eher auf den Energieverbrauch von lebenden Systemen, während in der Chemie von exo- oder endothermen Reaktionen die Rede ist. Den SchülerInnen gelingt es dann oft nicht, diese unterschiedlichen Perspektiven einem einzigen Energiebegriff zuzuordnen (Harms, 2016).

Gleichzeitig erscheint es unerlässlich, sich intensiv mit dem Schlüsselthema Energie zu beschäftigen (Müller, 2008). Auch wenn angenommen wird, dass ein Verständnis des Energiekonzeptes ein Prozess ist, der sich über Jahre erstreckt, erscheint die frühe Anbahnung anschlussfähiger Teilaspekte wie Energieformen, Energieumwandlung und -erhaltung sinnvoll. Darauf kann dann nicht nur im naturwissenschaftlichen Anschlussunterricht aufgebaut werden, sondern die SchülerInnen auch in die Lage versetzt werden, die alltagssprachliche Verwendung des Begriffs

einzuordnen und entsprechend zu bewerten. Dazu müssen sie kennenlernen, was sich hinter diesen gängigen Begriffen tatsächlich verbirgt. Voraussetzung dafür sind grundlegende Erkenntnisse zu oft schwer greifbaren Phänomenen rund um das Thema 'Energie'. Durch experimentelle Angebote und deren Verbreitung über außerschulische Lernorte in Form von Schulklassenbesuchen, Arbeitsgemeinschaften, Lehrerfortbildungen oder dem Verleih von Experimentierkisten kann dies gefördert werden, z.B. im Kontext des Themas „Energie und Energieversorgung“. Durch die Phänomenorientierte und experimentelle Vorgehensweise können die Kinder selbst sowohl einfache naturwissenschaftliche Grundlagen als auch technische Anwendungen erarbeiten.

Dieser fachwissenschaftliche Fokus sollte mit der Bewertungskompetenz verknüpft werden. Dies ist gerade mit Blick auf die Energiewende erforderlich, weil diese langfristig auch von der heutigen Schülergeneration bewältigt werden muss. Über das Fachwissen hinaus sollen sich die SchülerInnen Fähigkeiten aneignen, die helfen, das Wissen über nachhaltige Entwicklung praktisch umzusetzen.

Zu verschiedenen Feldern des übergeordneten Themas 'Energie und Chemie' wurden drei Module entwickelt, die jeweils mehrere Experimentiereinheiten umfassen. Im ersten Modul werden die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Energiekonzepts sowie Maßnahmen zur effizienteren Nutzung von Energie von den Kindern erarbeitet. Im zweiten Modul setzen sich die SchülerInnen mit der Nutzung von chemischen Energieträgern und den sich daraus ergebenden Konsequenzen auseinander. Im dritten Modul werden die erneuerbaren Energien und die damit verbundenen Anforderungen wie Speichertechnologien behandelt.

## **2 Vorgehensweise**

Das Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor möchte SchülerInnen frühzeitig mit naturwissenschaftlichen Themen in Berührung bringen, solange sie noch ihre natürliche Neugier und Aufgeschlossenheit zeigen und bevor sich geschlechterstereotypische Verhaltenweisen entwickeln und verfestigen. Daher werden für besonders an Chemie bzw. an Naturwissenschaften allgemein interessierte Kinder altersgestufte AGs angeboten, die wöchentlich stattfinden. Mit diesem regelmäßigen und langfristigen Angebot soll nachhaltig das Interesse an MINT-Fächern gefestigt werden. In drei Stufen werden den SchülerInnen die Grundzüge wissenschaftlichen Arbeitens vermittelt. In den Anfänger-AGs lernen Viertklässler zunächst Geräte und einfache Arbeitstechniken anhand vorge-

gebener Versuche kennen, wobei bereits auf dieser Stufe Ideen der Kinder in die Versuche einfließen. In der Fortgeschrittenen-AG für Fünft- und Sechsklässler wird an vorgegebenen Themen schon selbständiger gearbeitet, die SchülerInnen entwickeln auch eigene Vorschriften. In der ForscherInnen-AG für SchülerInnen ab Klasse 7 werden selbstgewählte Fragestellungen bearbeitet. Dieses etablierte AG-Angebot bot eine gute Voraussetzung für die Durchführung des Projekts. Die einzelnen Module und die dazugehörigen Experimentiereinheiten wurden insbesondere in den Anfänger-AGs entwickelt und auch getestet. Zusätzliche fachlich oder experimentell anspruchsvollere Einheiten wurden in der Fortgeschrittenen-AG erarbeitet.

Die sogenannten Anfänger-AGs finden ein ganzes Schuljahr einmal wöchentlich statt. Es handelt sich um zwei Gruppen von je 20 Viertklässlern, jeweils aus zehn Jungen und zehn Mädchen zusammengesetzt, die zuvor im Rahmen von sogenannten Schnuppertagen aus ca. 200 SchülerInnen verschiedener Grundschulen in Braunschweig und dem näheren Umland als besonders interessiert am naturwissenschaftlichen Arbeiten ausgewählt worden waren. Zum Konzept gehört es, die Kinder anhand alltagsrelevanter Fragestellungen an das wissenschaftliche Arbeiten und Denken heranzuführen.

Die Module in diesem Projekt wurden folglich unter Mitwirkung der Altersgruppe, an die sich die Experimentiereinheiten dann später auch richten, erarbeitet und durchgeführt. Das jeweilige Vorwissen und die Vorerfahrungen wurden generell berücksichtigt und die Lerneinheiten daran angepasst, um die SchülerInnen zu erreichen. Daher wurden in einer Einführung zunächst ihre Vorkenntnisse erfasst und die grundsätzlichen Fragen gestellt, die im Rahmen der Versuchsreihe beantwortet werden sollten. Dabei wurde immer auch ein konkreter Bezug zur Lebenswelt der Kinder hergestellt, da sich dies bereits in früheren Gruppen als entscheidend für das Verständnis und für die Bereitschaft der Kinder, sich mit dem abstrakten Begriff Energie auseinander zu setzen, erwiesen hatte.

Da im ersten Durchlauf einige kritische Punkte beim Verständnis identifiziert worden waren, wurden die Einheiten anschließend unter Berücksichtigung der im Verlauf der AGs gewonnenen Erkenntnisse über Denkweisen und Vorstellungen der Kinder sowie der Erfahrungen und Beobachtungen bei der Durchführung der einzelnen Versuchsreihen überarbeitet. Einige Experimente wurden in der Durchführung leicht verändert, zum Teil vereinfacht, und ihre Abfolge wurde sowohl hinsichtlich didaktischer als auch praktischer Erfahrungen optimiert. Auch die Einführungs- und Abschlussphasen

der einzelnen AG-Einheiten wurden noch stärker auf die Lebenswelt der Kinder abgestimmt, damit die Kinder sich besser wiederfinden konnten. Die im Zuge des Projekts erarbeiteten Pre-/Post-Testkombinationen wurden in den AGs der folgenden Schuljahre eingesetzt, um den Erkenntnisgewinn der Kinder zu erfassen.

Zu den einzelnen Modulen wurden Verlaufspläne für die einzelnen Versuchseinheiten erstellt, in denen die Vorgehensweise bei der Hinführung zum Thema, im Labor und bei der Auswertung bzw. Abschlussbesprechung beschrieben ist. Dazu gibt es für alle Experimente Versuchsanleitungen mit Materiallisten und eine ausführliche Beschreibung der Durchführung. Zusätzlich wurde eine Information für Lehrkräfte erstellt, in der ergänzende Beobachtungen und Erklärungen zu den einzelnen Experimenten ebenso aufgeführt sind wie zusätzliche Hintergrundinformationen. Diese Materialien sind im Anhang zusammengestellt.

Die SchülerInnen erarbeiteten in den AGs insgesamt drei Module, die aus jeweils zwei Teilmodulen zu einem abgeschlossenen Themenfeld bestehen, die einander ergänzen:

Modul 1: Grundlagen des Energiekonzepts

- a. Energieformen und ihre Umwandlung
- b. Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz

Modul 2: Chemische Energieträger

- a. Nutzung und Vergleich
- b. Kohlenstoffdioxid

Modul 3: Energie aktuell

- a. Erneuerbare Energien
- b. Energiespeicherung

### **3 Schülerarbeitsgemeinschaften**

#### **Schuljahr 2015/16**

Im September 2015 starteten zwei Viertklässler-AGs mit je 20 Kindern. Zunächst wurde für die Kinder ein bereits etablierter Einstieg gewählt, damit sie notwendige Arbeitstechniken wie Abmessen oder Wiegen und typische Laborgeräte kennenlernten. So konnten sie eine gewisse Sicherheit im Labor erlangen. Außerdem wurden die grundlegenden Methoden naturwissenschaftlichen Arbeitens eingeübt. Wichtig für die geplante Vorgehensweise war auch, dass die Kinder sich kennenlernen und als Gruppe arbeiten können.

Das Projekt startete im Januar 2016 und somit mitten im Schuljahr 2015/2016. In den beiden AGs wurde umgehend mit der Erarbeitung der Projektinhalte begonnen, Planung und erste Durchführung fanden dabei parallel statt. Zum Einstieg setzten sich die Kinder als erstes mit der Frage „Energie - Kennt ihr den Begriff? Was ist das? Was stellt ihr euch darunter vor?“ auseinander. Anschließend wurden in beiden AGs parallel die ersten Module erarbeitet und durchgeführt. Im Zeitraum bis zu den Sommerferien Ende Juni wurden die Themen ‘Grundlagen des Energiekonzepts’ und ‘Chemische Energieträger’ bearbeitet.

Inhaltliches Ziel des ersten Moduls ‘Grundlagen des Energiekonzepts’ war, dass die Kinder die vier grundlegenden (Sub)Konzepte der Energie, nämlich Energieformen, -träger, -transformation und -erhaltung kennenlernen, in Experimenten erarbeiten und dabei erkennen, dass diese immer zusammenspielen. Ein weiteres Ziel war es, Ausdrücke wie „Energie sparen“, „Energie gewinnen“ oder „Energie verschwenden“ naturwissenschaftlich zu betrachten und zu verstehen, um diese vergleichen und auch bewerten zu können. In unterschiedlichen Kontexten wurden die vier Konzepte immer wieder angesprochen und (wieder)entdeckt. Die Kinder sollten erkennen, dass für die Betrachtung von Energie in verschiedenen Kontexten Fragen wie „Wo kommt die Energie her?“, „Wo geht die Energie hin?“ und „Wie wird die Energie verwendet?“ entscheidend sind.

Chemische Energieträger waren Schwerpunkt des darauffolgenden Moduls. Der Verbrennungsprozess selbst wurde ergründet, verschiedene Energieträger wurden experimentell untersucht und verglichen, wozu auch Nährstoffe gehörten. Es wurde ein einfaches Kalorimeter entwickelt, um unterschiedliche Energieträger vergleichen zu können. Außerdem wurde erarbeitet, dass bei ihrer Nutzung Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen, die sich darauf ergebenden Konsequenzen erfasst und bewertet.

### **Schuljahr 2016/17**

Zu Beginn des Schuljahrs 2016/17 starteten zwei neue Anfänger-AGs mit je 20 Viertklässlern. Im Anschluss an eine mehrwöchige Eingewöhnungszeit mit etabliertem Verlauf, in der sich die Kinder wieder untereinander sowie typische Materialien, Techniken und Arbeitsweisen kennenlernen konnten, starteten die beiden AGs in die Projektarbeit. In der ersten Phase setzten sich die Kinder mit den grundlegenden Konzepten des Energiebegriffs auseinander und testeten damit gleichzeitig die überarbeitete

Version des ersten Moduls, in dem die Grundlagen des Energiekonzepts, nämlich Energieformen, ihre Umwandlung und Energieerhaltung im Mittelpunkt standen.

Im Anschluss daran wurden weitere Inhalte entwickelt und durchgeführt. Schwerpunkt des dritten Moduls waren die erneuerbaren Energien aus Sonnenlicht, Wind, Wasser und Biomasse sowie die Speicherung von Energie. Am Ende dieses Moduls wurden in den beiden AGs in Gruppenarbeit Poster erstellt, auf denen die Kinder ihre Erkenntnisse darstellten. Diese Poster konnten die Kinder an mehreren Terminen am Rande der AGs präsentieren und dabei ihren Angehörigen die Inhalte erläutern. Dieses Angebot wurde jeweils von etlichen Personen, meist Eltern und Geschwistern, wahrgenommen. Es führte ganz nebenbei dazu, dass die Kinder ihre Erkenntnisse noch einmal reflektierten. Dabei entwickelten sich teilweise lebendige Diskussionen.

Abschließend erarbeiteten die Kinder eine Einheit zum effizienten Einsatz von Energie. Dabei wurden erste Versionen der Pre-/Post-Testkombinationen eingesetzt. Zum Abschluss wurde das überarbeitete Modul 'Chemische Energieträger', das die Nutzung von Energieträgern und Kohlenstoffdioxid beinhaltet, durchgeführt.



Abb. 1: Beispiel eines von AG-TeilnehmerInnen gestalteten Plakats zum Thema 'Erneuerbare Energien'

## Schuljahr 2017/18

Auch im Schuljahr 2017/18 starteten wie gewohnt zwei neue Anfänger-AGs mit je 20 Viertklässlern. Im Anschluss an die übliche mehrwöchige Eingewöhnungszeit zum Kennenlernen der TeilnehmerInnen und des Labors führten die beiden AGs alle im Projektverlauf erarbeiteten Einheiten durch. Damit sämtliche Einheiten in der verbleibenden Projektlaufzeit bis Ende 2018 einmal vollständig durchgeführt werden konnten, waren die Programme der beiden AGs unterschiedlich aufgebaut. Zunächst starteten beide Gruppen mit dem Modul 1, um die Grundlagen des Energiekonzepts zu erarbeiten. In einer AG schlossen sich dann Modul 2 'Chemische Energieträger' und die effiziente Nutzung an. Abschließend wurde Modul 3 'Energie aktuell' durchgeführt. In der zweiten AG wurden zunächst Energiespeicherung und die effiziente Nutzung und anschließend das Modul 2 und die erneuerbaren Energien bearbeitet. Vor dem Einstieg in ein neues Themenfeld füllten die SchülerInnen jeweils einen Pretest aus, welcher als Posttest nach Abschluss dann ein zweites Mal bearbeitet wurde.

## 4 Die Module in der Praxis

### 4.1 Einführung

Um die Kinder auf das Themenfeld Energie einzustimmen und um die Vorstellungen und Ideen der Kinder zum Begriff „Energie“ zu erfahren, sollten die Kinder sich erst einmal mit der grundlegenden Frage beschäftigen, was Energie eigentlich ist. Dazu sollten sie die offene Fragestellung 'Energie - Kennt ihr den Begriff? Was ist das? Was stellt ihr euch darunter vor?' in eigenen Worten kurz beantworten.

Folgende Aussagen wurden von den Kindern gemacht, die hier nach Kategorien sortiert wiedergegen werden:

#### 1. Aussagen zu Energieformen

- *Feuer hat Energie.*
- *Sonnenstrahlen enthalten Energie.*

#### 2. Beispiele für Energieumwandlungen

- *Batterien machen Strom.*
- *Zitronen-, Kartoffel-, Apfelbatterie*
- *Wind- und Wasserkraftwerke*
- *In Hitze ist auch Bewegung, sie enthält Energie.*
- *Die Sonne macht aus Wasserstoff Energie.*
- *Solarplatten machen aus der Energie der Sonne Wärme.*

- *Eigentlich verbrennt das Benzin im Motor zu Gas und das gibt dann die Energie.*
- *Energie gibt uns Ausdauer und Kraft.*

### 3. Beispiele für Energieträger

- *Benzin gibt Autos die Energie zum Fahren.*
- *In Vitaminen steckt Energie, denn sie machen aktiv.*
- *In Lebensmitteln steckt Energie.*

### 4. Persönliche Bewertungen

- *Energie ist lebensgefährlich, z.B. als Blitz oder Stromschlag.*

### 5. Definitionen für „Energie“

- *Energie gibt es in verschiedenen Formen wie Wärme, Strom, Lebewesen, Blitz.*
- *Alles was lebt, sich bewegt oder sich verändert, enthält Energie.*
- *Jegliche Energie steckt in Atomen: die Elektronen bewegen sich, Energie steckt im Kern in Protonen und Neutronen.*

Die Vorstellungen und Gedankengänge der Kinder waren offensichtlich sehr unterschiedlich. Es gab einfache, aber auch sehr komplexe Antworten. Überraschend war, dass die Antworten überwiegend zutreffend waren und insgesamt fast die gesamte Breite des Themas abbildeten. Die gesammelten Antworten wurden seitens des IPN als Ausgangsmaterial für die Entwicklung einer Pretest-Posttest-Kombination genutzt.

## 4.2 Modul 1: Grundlagen des Energiekonzepts

### 4.2.1 Energieformen und ihre Umwandlung

Tab. 1: Energieformen und Ihre Umwandlung - Übersicht der Experimente

Energieformen	AB1: Wenn Mühlen sich drehen... Energieformen praktisch kennenlernen
Umwandlungen	AB2: Was passiert, wenn man Energie nutzt? Alltagsbeispiele für Umwandlungen von Bewegungs-, elektrischer, Licht- und chemischer Energie finden und ausführen
Wärmeenergie nutzen	AB3: Mit Volldampf voraus! Bewegung durch Wasserdampf

Ziel des ersten Teilmoduls ist es, den abstrakten Begriff Energie (be)greifbar zu machen. Die Kinder lernen die vier Subkonzepte des Energiebegriffs kennen, nämlich

Energieform, Energieumwandlung, Energieträger und Energieerhaltung. Damit erfahren sie erste, ganz grundlegende Erkenntnisse zum Begriff Energie.

Da der Phänomen-orientierte und experimentelle Zugang im Mittelpunkt steht, sollen die Kinder anhand einfacher und auch alltagsnaher Vorgänge unterschiedliche Beispiele für Energieumwandlungen erleben und auf diese Weise erarbeiten, dass Energie in verschiedenen Formen auftritt (Arbeitsblatt 1: Wenn Mühlen sich drehen...). Anschließend können die Kinder ihre eigenen Ideen in einer Versuchsreihe zum freien Experimentieren einbringen, in der sie einfache Alltagsbeispiele für Energieumwandlungen im Labor umsetzen und dabei untersuchen, welche Energieformen auftreten (Arbeitsblatt 2: Was passiert, wenn man Energie nutzt?).

Sie lernen in diesen ersten Experimenten, die Energieformen Bewegungsenergie, elektrische Energie, Lichtenergie, Wärmeenergie, Lageenergie und chemische Energie zu erkennen und zu benennen. Auf Fachbegriffe wie kinetische oder potentielle Energie wird verzichtet, um keine sprachlichen Hürden aufzustellen. In diesen Experimenten werden auch übergeordnete Prinzipien sichtbar. Die Kinder nehmen wahr, dass man Energie selbst nicht direkt sehen oder anfassen kann, sondern dass sie sich nur an ihren Wirkungen wie Bewegung, Licht, Wärme, elektrischer Strom erfassen lässt, wobei eine Energieform in eine andere umgewandelt wird. Gleichzeitig erkennen sie, dass Energie quasi bei jedem alltäglichen Vorgang eine Rolle spielt und auch bei jeder ihrer eigenen Handlungen Energieumwandlungen ablaufen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Form von Merksätzen für die Kinder zusammengefasst:

1. Energie kann man nicht sehen, man erkennt sie an ihren Wirkungen wie Bewegung, Licht, Wärme....  
→ Dabei wird eine Energieform in eine andere umgewandelt.
2. Bei jeder Umwandlung entsteht Wärmeenergie.  
→ Wärmeenergie lässt sich oft nicht mehr umwandeln. Sie ist dann entwertet.

Die Erfahrung zeigt, dass die Erkenntnis, dass Energie etwas ganz Grundsätzliches ist, dazu führt, dass der abstrakte Begriff Energie für die Kinder anschaulich lebensnah wird und dadurch einen ganz anderen Stellenwert bekommt. In den Gruppen, die bisher diese Einheiten durchgeführt haben, war bei der Einführung in das Thema immer wieder bei einigen Kindern eine gewisse Skepsis und Berührungsangst zum Begriff „Energie“ zu beobachten, die sich an dieser Stelle auflöste. Sie wurde durch die – für einige Kinder sehr überraschende – Erkenntnis abgelöst, dass Energie in

unserem und selbstverständlich auch in ihrem eigenen Alltag ständig und überall eine Rolle spielt. Diese Erkenntnis erhöhte die Bereitschaft, sich mit dem Thema näher zu beschäftigen, auch im eigenen Lebensumfeld.

In einem weiteren Experiment wird die Umwandlungskette chemische Energie – Wärmeenergie - Bewegungsenergie, die Grundlage der Arbeitsweise von klassischen Kraftwerken ist, untersucht. Durch mit Wasserdampf angetriebene schwimmende Kreisel bzw. nach dem gleichen Prinzip fahrende Dampfboote wird sie spielerisch erarbeitet und angewendet (Arbeitsblatt 3: Wärme gezielt nutzen). Den noch fehlenden Schritt der Umsetzung von Bewegungsenergie in elektrische Energie, der in einer Kraftwerksturbinen abläuft, können die SchülerInnen dann mittels eines Handgenerators nachvollziehen. Anhand dessen Erwärmung stellen sie fest, dass ein Teil der Energie – ungewollt - in Wärmeenergie umgewandelt wird.

#### 4.2.2 Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz

Tab. 2: Energieeffizienz - Übersicht der Experimente

Gezielte Nutzung von Energie	AB1: Energiesparen mit Köpfchen Vergleiche von Energienutzung im Alltag: Leuchtmittel, Kochen
Wärmedämmung	AB2: Wenn Wärme wandert Wege der Wärmeübertragung AB3: Wärmedämmung – wozu? Dämmstoffe im Vergleich

Der Begriff „Energiesparen“ ist jedem bekannt. Unklar ist aber, was er eigentlich genau bedeutet und was er umfasst. Natürlich soll Energie so selten wie möglich eingesetzt werden, darüber sind sich die Kinder erfahrungsgemäß schnell einig. Energie soll aber auch so eingesetzt werden, dass von der eingesetzten Energie ein möglichst großer Anteil tatsächlich genutzt wird. Dazu werden hier die entsprechenden Grundlagen erarbeitet, indem die Kinder verschiedene Maßnahmen aus dem Alltagsleben kennenlernen, die eine bessere Ausnutzung von Energie bewirken.

Damit die Kinder ein Bewusstsein dafür entwickeln können, werden zwei alltägliche Vorgänge genauer untersucht und die Wege der Energie dabei verfolgt. Zunächst werden drei verschiedene Typen von Leuchten, nämlich die klassische Glühlampe, eine Halogenlampe und eine LED-Lampe, untersucht und verglichen. Die ausgewählten Leuchten weisen eine vergleichbare Leuchtkraft auf, was mittels eines Solar-

moduls verdeutlicht wird: Die auftretende Spannung wird gemessen, sie ist bei allen drei Leuchten vergleichbar. Gleichzeitig wird die Wärmeentwicklung bei der Nutzung der Leuchten durch Temperaturmessung in einem bestrahlten Glas erfasst. Bei der LED-Leuchte ist keine Temperaturerhöhung festzustellen, bei der Halogenleuchte eine leichte, bei der klassischen Glühlampe dagegen eine deutliche. Da nicht nur die Lichtenergie, sondern auch die Wärmeenergie aus der eingesetzten elektrischen Energie entsteht, können die Kinder aus ihren Beobachtungen schließen, dass die Glühlampe von den drei Beispielen am wenigsten effizient, also der größte „Energieverschwender“ ist, weil sie einen großen Teil der eingesetzten Energie als Wärmeenergie an die Umgebung abgibt. Die Erkenntnis dieses Experiments ist, dass zumindest im Hinblick auf die Energieausnutzung am besten nur LED-Leuchten eingesetzt werden sollten, da diese keine Wärmeenergie abgeben. Die Energieumwandlungen werden also unter dem Blickwinkel der Energieerhaltung betrachtet. Die Kinder beobachten, was mit der eingesetzten Energie passiert und schätzen, wie groß die jeweiligen Anteile sind. So kann man erarbeiten, dass bei einer Umwandlung neben nutzbarer auch immer für uns nicht mehr nutzbare Energie entsteht, oft in Form von Wärme.

In einem zweiten Versuch werden Varianten beim Wasserkochen in der Küche verglichen. Ein kleiner Topf wird mit einem der Größe der Heizplatte angepassten verglichen, zusätzlich wird der Einfluss eines Deckels untersucht. Die Kinder erhitzen eine definierte Wassermenge exakt zwei Minuten und messen dann die erreichte Temperatur. Ganz eindeutig ist der größenangepasste Topf mit Deckel der Gewinner, ein zu kleiner Topf wirkt sich in gleicher Größenordnung nachteilig aus wie Erhitzen ohne Deckel. Klarer Verlierer ist der zu kleine Topf ohne Deckel, in dem sich das Wasser nur etwa halb so stark erwärmt wie im ersten Fall. Um Wasser unter diesen Umständen zum Kochen zu bringen, muss also etwa doppelt so viel Energie eingesetzt werden wie unter optimalen Bedingungen nötig wäre. Zwar kennt die Mehrheit der AG-Kinder diese Regeln bereits von Zuhause, doch sind sie nicht repräsentativ für alle 10jährigen. Durch diese Experimente erfassen sie zudem die zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten, nämlich dass Wärmeenergie, die an die Umgebung abgegeben wird (offener Topf, kontaktfreie Heizplatte) keiner weiteren Nutzung zugänglich und somit verloren ist. Dies nennt man Energieentwertung. Durch diese Einsicht werden die Regeln idealerweise stärker akzeptiert.

Die wichtige Erkenntnis dieser Experimente ist das Prinzip der Energieerhaltung. Effiziente Nutzung von Energie bedeutet, dass ein möglichst hoher Anteil der eingesetzten

Energie in die gewünschte Form umgewandelt und so optimal ausgenutzt wird. Dies lässt sich erreichen, indem effektive Wege zur Umwandlung gewählt werden, bei denen möglichst wenig nutzlose Wärmeenergie entsteht, oder indem die entstehende Wärme genutzt wird.

Auch diese Erkenntnisse werden in Form von Merksätzen für die Kinder zusammengefasst:

3. Energie bleibt immer erhalten, aus Energie entsteht immer wieder Energie.

→ Sie kann aber nicht unendlich oft umgewandelt werden, weil die nutzbare Energie bei jeder Umwandlung weniger wird.

4. Nur ein Teil der eingesetzten Energie wird für den gewünschten Zweck genutzt.

→ Der Anteil der nutzbaren Energie hängt von dem Weg der Umwandlung ab.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse lassen sich für Alltagsbegriffe mit Bezug zu Energie unter Berücksichtigung der Subkonzepte Erläuterungen erarbeiten:

- Energieverbrauch bedeutet, dass Energie in eine für uns nicht mehr nutzbare Form umwandelt wird, sie ist entwertet.
- Energiesparen bedeutet auch, den nicht nutzbaren Anteil möglichst gering zu halten.

Eine weitere wichtige Maßnahme zur effizienten Nutzung von Energie, die viele Kinder aus dem Alltag kennen, ist Wärmedämmung. Voraussetzung für das Verständnis von Experimenten zur Wärmedämmung ist eine Vorstellung davon, wie Wärme übertragen wird. Die Thermoskanne, ein Alltagsgegenstand, wird als Einstieg genutzt. Wie funktioniert diese? Die Kinder wissen normalerweise, dass diese Kaltes kalt und Heißes heiß hält, haben aber meist keine Idee, wie dies gelingt, oder vermuten, dass ein Dämmstoff enthalten sein könnte.

Die wichtigste Erkenntnis bei der Wärmeübertragung ist, dass Wärmeenergie immer vom wärmeren, also von einem Teilchen höherer Energie, zum kälteren, also auf ein Teilchen geringerer Energie, übertragen wird. Die räumliche Anordnung der Medien hat auf diesen Grundsatz keine Auswirkung. Dies können die Kinder in einem Experiment zur Wärmeübertragung zwischen mit Wasser- bzw. Luft gefüllten Bechergläsern beobachten. Dabei überträgt Wasser die Wärme jedoch wesentlich schneller als Luft. Ursache hierfür ist die geringere Teilchenzahl in der Luft. Die Energie wird in diesem Beispiel zu einem großen Teil bei Zusammenstößen von zwei Teilchen übertragen. Viele

Kinder übertragen diese Erkenntnis direkt auf die Thermoskanne und folgern dann, dass in der Zwischenwand also besser Luft als Wasser sei. In den bisher durchgeführten Einheiten konnten jedoch immer wieder einige Kinder den Gedanken fortführen und kamen zu der richtigen Erkenntnis, dass gar keine Teilchen, also ein Vakuum, am besten sei.

Mit diesem Wissen können die Kinder ein Experiment zum Einsatz von Dämmstoffen durchführen. Als thematischer Einstieg dient der Eisbär. Obwohl er in einer sehr kalten Umgebung lebt, friert er nicht. Die meisten Kinder glauben, das Fell des Eisbären sei dafür verantwortlich. Tatsächlich zeigt die Erfahrung, dass immer wieder Kinder der Meinung sind, dass das Fell tatsächlich wärmt im Sinne von „Wärme produziert“. Um dies zu klären, kann ein Stück Fell (z.B. Lammfell) um ein Thermometer gewickelt werden. Die Temperatur wird vorher und dann wieder nach einer Wartezeit kontrolliert. Dies sollte möglichst nach Durchführung des Experiments erfolgen, um nicht die Erkenntnisse vorwegzunehmen. Lässt man die Kinder vorab schätzen, wie sich die Temperatur des in Fell eingewickelten Thermometers entwickeln wird, erwartet erfahrungsgemäß die Mehrheit eine spürbare Temperaturerhöhung. Als Ursache für diese Fehlvorstellung kommt die eigene Erfahrung der Kinder infrage: Wenn ich friere und dann eine Jacke überziehe, wird mir warm. Umso größer ist normalerweise das Erstaunen über die unveränderte Temperatur. Dies beweist, dass Fell keine Wärme erzeugt, sondern nur verhindert, dass die Körperwärme des Tieres an die Umgebung abgegeben wird. In dieser Erkenntnis steckt ein grundlegendes Prinzip des Energiekonzepts: Energie kann nur aus Energie entstehen. Die Wärme(energie) kann (bei bestimmungsgemäßer Nutzung) nicht aus einem Fell entspringen, sondern nur aus einer anderen Energieform, in diesem Fall nämlich chemischer Energie aus der Nahrung oder der Fettreserve des Tieres.

Die Dämmung von Wohngebäuden kennen Kinder meist aus ihrer Umgebung und sie können in der Regel auch Materialien nennen, die dafür genutzt werden. Etliche dieser Materialien stehen auch im Labor zur Verfügung. In den Experimenten können die Kinder selbst entscheiden, welche Dämmstoffe sie untersuchen wollen. Als Vergleich dienen ungedämmte Versuchsansätze. So stellen die Kinder fest, dass sich die getesteten Materialien in ihrer Wirkung nur wenig unterscheiden. Der Einsatz von Dämmstoffen wirkt sich dagegen im Vergleich zum ungedämmten Zustand gravierend aus. Eine weitere Erkenntnis ist, dass Kühlhalten und Warmhalten letztendlich die gleichen Prozesse sind. Ziel ist in beiden Fällen, die Übertragung von Wärmeenergie

soweit wie möglich zu verhindern. Die Richtung der Übertragung ist immer gleich: Von warm zum kalt, also von energiereich zu energiearm.

### 4.3 Modul 2: Chemische Energieträger

#### 4.3.1 Nutzung und Vergleich

Tab. 3: Nutzung chemischer Energieträger - Übersicht der Experimente

Chemische Energieträger	AB1: Welcher Teil der Kerze brennt? Untersuchung der Bestandteile einer Kerze und der Kerzenflamme
Nutzung von Energieträgern	AB2: Chemische Energieträger – Was passiert bei der Nutzung? CO <sub>2</sub> -Nachweis, Identifizierung der Verbrennungsprodukte einer Kerze, Untersuchung von Atemluft
Vergleich von Energieträgern	AB3a: Kann man messen, wie viel Energie in einem Energieträger steckt? Entwicklung und Test eines einfachen Kalorimeters AB3b Chemische Energieträger – Wie viel Energie steckt drin? Verschiedene Energieträger im Vergleich

Neben dem fachlichen Erkenntnisgewinn wird in diesem zweiten Modul besonderer Wert darauf gelegt, die Ausbildung einer Bewertungskompetenz zu fördern. Als chemisch arbeitendes Labor setzen wir in diesem Modul die chemischen Energieträger als Schwerpunkt und erarbeiten dazu verschiedene Aspekte, die dann abschließend in Bezug gebracht werden. Die Kinder sollen erfahren, dass in chemischen Energieträgern Energie gespeichert, die bei ihrer Nutzung freigesetzt, d.h. bei in eine andere Form umgewandelt wird. Dabei entstehen Kohlendioxid und Wasser. Die Analogie von Brennstoffen wie Holz oder Kohle zu Lebensmitteln wird verdeutlicht. Zunächst wird am Beispiel der Kerze untersucht, wie sich die Energie in einem Energieträger nutzen lässt, nämlich durch Verbrennen des Energieträgers (Arbeitsblatt 1: Was brennt bei einer Kerze?). Wenn man Kinder fragt, was bei einer Kerze verbrennt, so antworten sie meist spontan „Der Docht“, schließlich sitzt die Flamme ja am Docht. Untersuchen die Kinder jedoch die Kerze und ihre einzelnen Teile genauer, entdecken sie, dass gasförmiges Wachs verbrennt. Die Energieformen, die bei der Verbrennung entstehen, haben dagegen keine stoffliche Erscheinungsform mehr. Aus diesen Beobachtungen könnte man schließen - und einige Kinder tun das auch -, dass sich der Energieträger Wachs direkt

in Licht- und Wärmeenergie umgewandelt hätte. Das führt zu der Frage, wo das Wachs denn geblieben ist. Diese Frage wird unter Einbeziehung von Nahrung und des menschlichen Körpers untersucht (Arbeitsblatt 2: Chemische Energieträger). Die Kinder lernen die notwendigen Nachweisreaktionen, um die Verbrennungsprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser dann auch bei der Nutzung unterschiedlicher Energieträger identifizieren zu können. So gelangen sie zu der wichtigen Erkenntnis, dass für Energie und Stoffe gleiche Regeln gelten: Energie bleibt bei ihrer Nutzung erhalten, verändert jedoch ihre Form. Stoffe verschwinden beim Verbrennen nicht einfach, es findet eine chemische Reaktion statt, bei der neue Stoffe entstehen:

stofflich:  $\text{Wachs} \rightarrow \text{Kohlenstoffdioxid} + \text{Wasser}$

energetisch:  $\text{Chemische Energie} \rightarrow \text{Wärmeenergie} + \text{Lichtenergie}$

In diesem Fall, der Verbrennung von Wachs, sind die entstandenen Stoffe unsichtbar. Aber mit einem Trick bzw. einer Nachweisreaktion kann man sie sichtbar machen. Mithilfe von Bausteinen, die von einer großen Einheit zu vielen kleinen Produkten umgebaut werden, kann dies anschaulich demonstriert werden, ohne dass die tatsächlichen Bindungsverhältnisse thematisiert werden müssen. Damit kann man auch verdeutlichen, dass die Energie in den Bindungen steckt, die dann gelöst werden.

Im Anschluss an die Untersuchung des Verbrennungsprozesses werden verschiedene chemische Energieträger hinsichtlich ihres Energiegehalts verglichen. Kinder, die einen gewissen Forscherdrang haben und bereit sind, z.B. im Rahmen einer Experimentier-AG oder einem Projekttag etwas auszuprobieren, können zunächst in einer Einheit zum forschenden Experimentieren eine einfache Apparatur entwickeln, mit der man den Energiegehalt von Stoffen vergleichen kann (Arbeitsblatt 3a: Kann man messen, wie viel Energie in einem Energieträger steckt?). Dabei können die Kinder die Vorgehensweise beim wissenschaftlichen Arbeiten kennenlernen. Sie erarbeiten dazu am Beispiel der Kerze die Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit zwei Stoffe verglichen werden können. Durch Ausprobieren und anschließendes Vergleichen der Ergebnisse sollen sie selbst erkennen, dass die Menge des im Versuch verbrauchten Energieträgers ebenso wie die Wassermenge und die Temperatur des Wassers bekannt sein müssen, also gemessen werden müssen, um später vergleichen zu können. Durch eine Fehlerbetrachtung bei den ersten Versuchen wird die Apparatur dann verbessert, z.B. durch eine Ummantelung, um den Wärmestrom zu kanalisieren, einen Stopfen, um zu verhindern, dass Wasserdampf nach oben entweicht und zu einem

Wärmeverlust führt, oder Rühren des Wassers, um eine einheitliche Temperatur zu erhalten. Am Ende haben die Kinder ein einfaches Kalorimeter entwickelt (Abb. 2).



Abb. 2: Einfaches Kalorimeter zur Messung des Energiegehalts von Energieträgern

Alternativ kann die Messapparatur auch vorgegeben werden. Darin wird eine Auswahl von Stoffen wie z.B. Kerzenwachs, Holz, Öl, Ethanol und sogar Schokolade untersucht und verglichen (Arbeitsblatt 3b: Chemische Energieträger – wie viel Energie steckt drin?). Die Versuchsdurchführung ist so angelegt, dass aufgrund der Vorgaben bei Wasservolumen und Temperaturdifferenz keine aufwendigen Berechnungen durchgeführt werden müssen, sondern allein die Massendifferenz des Energieträgers vor und nach Versuchsdurchführung ausreicht, um einen Vergleich zu ermöglichen. Damit gelingt es trotz des relativ einfachen Versuchsaufbaus, die Energieträger nach steigendem Energiegehalt zu sortieren und auch Abstufungen der Energiegehalte grob aufzuzeigen.

In der sich anschließenden Diskussion werden verschiedene Energieträger hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihrer Herkunft bzw. Gewinnung verglichen, um eine Bewertung der Stoffe zu ermöglichen. Die erforderlichen Informationen können in die Diskussion hineingegeben oder als Vorbereitung von den Kindern selbst zusammen-

getragen werden. Dabei kann man auch die Konkurrenz von Tisch und Tank zu thematisieren, also Produkte als Brennstoff zu verwenden, die auch als Nahrungsmittel dienen könnten. Beispiele hierfür sind Pflanzenöle wie Rapsöl, aus denen Biodiesel gewonnen wird, oder Getreide, das zur Produktion von Bioethanol genutzt wird. Auch das Thema Generationengerechtigkeit spielt hier hinein. Die Kinder lernen, dass verschiedene Perspektiven berücksichtigt werden müssen, um eine Sache vollständig bewerten zu können. Hierdurch lässt sich verdeutlichen, wie sich das eigene Handeln – z.B. bei der Auswahl des Kraftstoffs - auf das Leben anderer Menschen auswirkt.

### 4.3.2 Kohlenstoffdioxid

Tab. 4: Kohlenstoffdioxid - Übersicht der Experimente

Kohlenstoffdioxid in der Luft	AB 1: Atmen Pflanzen auch? Sauerstoffnachweis bei Pflanzen AB2: Was macht Kohlenstoffdioxid in der Luft? Temperaturvergleich bei Lichteinwirkung auf Luft und eine CO <sub>2</sub> -Atmosphäre
Kohlenstoffdioxid im Wasser	AB3: Kohlenstoffdioxid und Wasser Löslichkeit von CO <sub>2</sub> in Abhängigkeit von der Wassertemperatur AB 4: Wie kommt das Kohlenstoffdioxid ins Wasser? Übergang von CO <sub>2</sub> aus der Luft ins Wasser AB 5: Wie wirkt Kohlenstoffdioxid im Wasser? Säurewirkung durch CO <sub>2</sub> , Auflösung von Kalk mit Säure

Auch in diesem Teilmodul hat die Bewertungskompetenz große Bedeutung. An mehreren Stellen ergeben sich Gelegenheiten, die Erkenntnisse aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Dabei machen die Kinder die Erfahrung, dass ein bestimmter Aspekt aus einer Perspektive eine positive Wirkung, aus einer anderen Perspektive eine negative haben kann.

Anknüpfend an die Erkenntnis, dass Kohlenstoffdioxid eines der beiden Reaktionsprodukte der Verbrennung von Energieträgern ist, wird die Rolle des Kohlenstoffdioxids thematisiert. Die experimentelle Sequenz startet mit der Untersuchung der Pflanzenatmung (Arbeitsblatt 1: Atmen Pflanzen auch?). Die Kinder untersuchen Pflanzen sowohl in gasfreiem Wasser als auch mit CO<sub>2</sub> versetztem Wasser und lernen dafür den Sauerstoffnachweis mit Indigocarmin kennen. Bei dieser Farbreaktion lässt sich gut erkennen, dass Pflanzen Kohlenstoffdioxid benötigen, um Sauerstoff zu produzieren. In

einem zweiten Experiment stellen sie fest, dass die Temperatur in einer CO<sub>2</sub>-Atmosphäre bei Lichteinstrahlung stärker steigt als in Luft (Arbeitsblatt 2: Was macht Kohlenstoffdioxid in der Luft?). Daran schließen sich verschiedene Experimente von Kohlenstoffdioxid in Wasser an (Arbeitsblatt 3-5: Kohlenstoffdioxid und Wasser; Wie kommt Kohlenstoffdioxid ins Wasser?; Wie wirkt Kohlenstoffdioxid im Wasser?). In diesen Experimenten erfahren die Kinder, dass sich Kohlenstoffdioxid in Wasser gut löst und wie es ins Wasser gelangt. Auch die Säurewirkung von Kohlenstoffdioxid wird untersucht.

Im Verlauf der Einheit wird zwischen den Experimenten immer wieder die Frage aufgeworfen: „Ist es gut oder schlecht, wenn viel Kohlenstoffdioxid in der Luft ist?“ bzw. dann im weiteren Verlauf „Ist es gut oder schlecht, wenn viel Kohlenstoffdioxid im Wasser ist?“. Die Kinder können dadurch stufenweise ihre gerade neu gewonnenen Erkenntnisse einbringen und müssen ihre Einschätzungen immer wieder überprüfen und diskutieren. Dadurch kommen sie im fortschreitenden Verlauf zu immer differenzierteren Bewertungen. So überwiegt zu Beginn meist die Ansicht, dass viel Kohlenstoffdioxid positiv sei, weil dann viele Pflanzen wachsen und Sauerstoff produzieren können, was positiv für Mensch und Tiere wäre. Nach der Erkenntnis, dass sich Kohlenstoffdioxid gut in Wasser löst, kann wieder die Frage nach den Folgen aufgeworfen werden. Ist ein steigender Kohlenstoffdioxidgehalt im Wasser gut oder schlecht? Auch hier kann argumentiert werden, dass dann Wasserpflanzen besser wachsen und mehr Sauerstoff produzieren, was für Fische wiederum positiv ist. Nachdem die Kinder die saure Reaktion von Kohlenstoffdioxid in Wasser und die daraus resultierende Auswirkung von Säure auf kalkhaltige Tierprodukte wie Muscheln oder Eierschalen kennengelernt haben, ändern die meisten ihre Meinung spontan in das Gegenteil: Es sollte besser kein Kohlenstoffdioxid im Wasser sein. Durch Impulse wie „Was passiert mit den Fischen, wenn keine Wasserpflanzen wachsen?“ und „Wo hat die Muschel eigentlich ihre Schale her?“ erkennen sie, dass hier viele unterschiedliche Aspekte berücksichtigt werden müssen. In bisher durchgeführten Einheiten befürworteten die meisten Kinder, dass durchaus Kohlenstoffdioxid im Wasser enthalten sein müsse, jedoch nicht zu viel. Einen hohen Kohlenstoffdioxidanteil in der Luft hielten sie für positiv, weil dann die Bäume gut wachsen und viel Sauerstoff produzieren können. Die Beobachtung, dass viel Kohlenstoffdioxid in der Luft zu ihrer Erwärmung bei Lichteinstrahlung führt, brachte einige dann wieder zu der Auffassung, dass es doch ganz gut sei, wenn ein Teil des Kohlenstoffdioxids aus der Luft in die Ozeane übergeht.

Im Anschluss daran sollte eine Diskussion über die steigende Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre erfolgen. Auch hier spielt die Generationengerechtigkeit eine Rolle. In diesem Zusammenhang wird dann auch die Energiewende, also die Verringerung des Einsatzes fossiler Energieträger durch Umstellung auf regenerative Energien wie Solar- und Windenergie, thematisiert. Damit kann der Übergang zu dem Modul 'Energie aktuell' geschaffen werden.

Ziel dieses Moduls ist es nicht, mit den SchülerInnen die fachlichen Zusammenhänge vollständig zu erarbeiten, das lassen die Vielschichtigkeit dieses Themas und das Alter der Kinder nicht zu. Es geht vielmehr darum, ein erstes Denken in Systemen und den zahlreichen nicht direkt sichtbaren und teilweise gegensätzlichen Auswirkungen anzuregen.

#### 4.4 Modul 3: Energie aktuell

##### 4.4.1 Erneuerbare Energien

Tab. 5: Erneuerbare Energien - Übersicht der Experimente

Energie der Sonne	AB1: Wärme von der Sonne Solarthermie, Fingerwärmer AB2: Strom aus Sonnenlicht Fotovoltaik AB2a: Die Grätzelzelle Bau einer Farbstoffsolarzelle
Windkraftwerke	AB3: Energie aus Wind Windentstehung AB4: Aufwindkraftwerk Bau und Betrieb
Wasserkraftwerke	AB5: Ein kleines Wasserkraftwerk Wasserräder im Vergleich
Energie in Biomasse	AB6: Was machen Pflanzen mit dem Sonnenlicht? Pflanzenwachstum, Zuckernachweis in Blättern

In diesem Teilmodul erhalten die Kinder einen Überblick über unterschiedliche Verfahren zur Nutzung erneuerbarer Energien an den Beispielen Sonne, Wind, Wasser und Biomasse. Die Kinder lernen Solarthermie, Fotovoltaik, Wind- und Wasserkraft sowie Energie aus Biomasse kennen und testen beispielhafte Anwendungen zur Ener-

giegewinnung experimentell. Bei den Quellen Wind, Wasser und Biomasse wird außerdem herausgearbeitet und soweit wie möglich auch experimentell demonstriert, dass die Sonne die eigentliche Energiequelle für alle diese Verfahren der Energiegewinnung ist. Über die Entstehung von Wind wird ebenso diskutiert wie über den Wasserkreislauf, außerdem lernen die Kinder die Fotosynthese kennen.

Außerdem wird geklärt, warum in diesem Zusammenhang doch immer von 'Energiegewinnung' gesprochen wird, obwohl dieser Begriff eigentlich dem Prinzip der Energieerhaltung widerspricht. Die Grundlagen des Energiekonzepts werden dabei berücksichtigt. Unter diesem Aspekt werden auch Definitionen für die Begriffe Energiegewinnung und Energieverbrauch erarbeitet. Energiegewinnung bedeutet, dass vorhandene Energie in eine nutzbare Form gebracht wird. Analog dazu wird die Umwandlung von nutzbarer Energie in nicht mehr nutzbare Energie wie z.B. Wärmeenergie als 'Energieverbrauch' bezeichnet. Ergänzend dazu wird Energieverschwendung als vermeidbare Energienutzung behandelt, weil immer auch ein Teil der Energie anschließend nicht mehr nutzbar ist. Dazu können die Kinder Beispiele aus ihrem Alltag zusammentragen wie z.B. unnötiges Licht, Auto statt Fahrrad nutzen oder Lüften, wenn die Heizung läuft.

Für einige der Experimente dieses Teilmoduls stehen zusätzlich bebilderte Arbeitsanleitungen zur Verfügung. Anstelle der im Labor genutzten Anleitungen in Textform zeigen jeweils drei Fotos, wie das jeweilige Experiment durchgeführt wird. Diese Bildanleitungen wurden bei einem offenen Experimentierangebot von den Kindern sehr gut angenommen und auch problemlos umgesetzt. Die meisten Kinder verglichen zunächst die bereitgestellten Materialien mit den Abbildungen, bevor sie dann zielgerichtet das Experiment durchführten. Diese Art der Arbeitsanleitungen hat sich damit gut bewährt, sie können künftig auch bei Schulklassenbesuchen für Kinder mit sonderpädagogischem Förderbedarf oder mit geringeren Sprachkenntnissen eingesetzt werden. Insbesondere bei der Verwendung von Geräten mit schwierigen oder unbekannt Namen wie z.B. Erlenmeyerkolben oder Petrischale wird diesen Kindern die Durchführung damit deutlich erleichtert.

Ausgangspunkt in diesem Teilmodul ist die Sonne. Aus dem Alltag ist vielen Kindern die Nutzung von Sonnenenergie bekannt, z. B. bei Fotovoltaik-Anlagen auf Hausdächern. In den Experimenten lernen die Kinder die beiden unterschiedlichen Varianten der direkten Nutzung von Sonnenenergie kennen: Bei der Solarthermie wird die von der Sonne gelieferte Energie als Wärmeenergie genutzt, bei der Fotovoltaik wird die Licht-

energie der Sonneneinstrahlung in elektrische Energie umgeformt. Die Kinder untersuchen und vergleichen unterschiedliche Versuchsanordnungen und erarbeiten so die Voraussetzungen für eine optimale Ausnutzung der Sonnenenergie. Sie untersuchen die Wärmewirkung von Licht auf verschiedenen Untergründen und erforschen so, wie man effektiv mit Sonnenenergie warmes Wasser erzeugen kann (Arbeitsblatt 1: Wärme von der Sonne). In Form eines Fingerwärmers bauen sie ein Modell eines Solarkochers (Abb. 2). Die Wirkung des Modells können sie dann am eigenen Leib spüren: Wenn man den Finger mitsamt dem Fingerwärmer vor eine Lampe hält, wird der Finger sehr schnell so heiß, dass man ihn wegziehen muss. So lassen sich auch Anwendungsvarianten wie seitliche Einstrahlung oder unterschiedliche Abstände testen.

Die SchülerInnen führen auch verschiedene Experimente durch, in denen mithilfe eines Solarpaneels Lichtenergie in elektrische Energie umgewandelt wird (Arbeitsblatt 2: Strom aus Sonnenlicht). Dabei untersuchen sie den Zusammenhang zwischen der Menge des einfallenden Lichts und der daraus entstehenden elektrische Energie ebenso wie den Einfluss des Einfallwinkels des Lichts. Dies lässt sich anhand der Drehgeschwindigkeit eines Propellers am Generator einfach verfolgen.



Abb. 3: Der Fingerwärmer

Darüber hinaus lernen sie auch Möglichkeiten der technischen Anwendung ihrer experimentell gewonnenen Erkenntnisse kennen. Dazu gehören Solarthermieanlagen zur Gewinnung von Heißwasser, Solarkocher bzw. -öfen und natürlich großtechnische Fotovoltaik-Anlagen. Anhand ihrer Beobachtungen können dann auch erarbeiten, wie

eine Solaranlage auf einem Hausdach platziert sein muss, damit sich möglichst viel elektrische Energie erzeugen lässt.

Ergänzend dazu können experimentell erfahrene und naturwissenschaftlich besonders interessierte SchülerInnen eine Einheit zum Thema Farbstoffsolarzellen bearbeiten. In der sogenannten Grätzelzelle wird Sonnenenergie durch Einsatz von Pflanzenfarbstoffen in elektrische Energie umgewandelt. Dies erfolgt mit einem kommerziell erhältlichen Bausatz für eine Farbstoffsolarzelle (Arbeitsblatt 2a: Die Grätzelzelle). In dieser Einheit sind chemische, physikalische und biologische Phänomene eng verknüpft. Damit ist es gut dazu geeignet, dass sich SchülerInnen fachübergreifend mit dem Aspekt der Stromgewinnung aus Sonnenlicht beschäftigen. Verschiedene Aspekte beim Einsatz der etablierten Siliziumsolarzellen und von Farbstoffsolarzellen können verglichen und bewertet werden. Damit ist die Gesamteinheit auch gut für einen Einsatz im Rahmen eines Projekts oder einer AG geeignet.

Anschließend führen die SchülerInnen verschiedene Experimente zur Nutzung von Windkraft durch. Die typischen Windkraftanlagen, die vielerorts in der Landschaft stehen, kennen die Kinder bereits. Sie wissen in der Regel auch, dass damit Strom erzeugt wird. Zunächst erkunden sie in einem einfachen Experiment, dass durch Temperaturunterschiede in der Luft Wind entsteht (Arbeitsblatt 3: Energie aus Wind). Durch die Auftriebsströmung, die die von einer Kerze erwärmte Luft erzeugt, wird ein Windrad bewegt. Dass dabei wirklich eine Luftströmung entsteht, kann mit der sogenannten Teebeutelrakete noch zusätzlich demonstriert werden. Dazu wird ein aufgeschnittener, entleerter Teebeutel aufgestellt und oben angezündet. Die Teebeutelreste werden von den entstehenden heißen Gasen mit nach oben gezogen. Dies wird von den meisten Kindern mit Erstaunen zur Kenntnis genommen: Zwar ist eigentlich allen bereits vorher bekannt, dass warme Luft nach oben steigt, aber diesen Vorgang *sehen* zu können, beeindruckt sie ganz offensichtlich. Dass sich mit einer Drehbewegung in einem Generator Strom erzeugt wird, lässt sich mit eines Handgenerators nachvollziehen. Als Nebeneffekt stellen die Kinder dabei auch fest, dass ein Teil der Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird. Anschließend bauen und untersuchen die SchülerInnen ein Aufwindkraftwerk (Arbeitsblatt 4: Aufwindkraftwerk).

Dass die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche nicht überall zu gleichen Temperaturen führt, sondern sich je nach Oberfläche oder Höhenlage unterschiedliche Temperaturbereiche entwickeln, ist den AG-Kindern durchaus bewusst. Bestimmte Wetterphänomene wie stetiger Wind am Meer oder im Gebirge kennen etliche aus

eigener Erfahrung, nach diese Experimentiereinheit können sie diese Beobachtung meist auch erklären. Es ist also kein Zufall, dass genau dort häufiger Windenergieanlagen stehen. Sie erkennen, dass in den Luftströmungen vorhandene Bewegungsenergie ebenfalls von der Sonne stammt.

Zu den nachhaltigen Energien gehört auch die Nutzung der Energie aus Wasserkraft, wie es schon seit Jahrtausenden gebräuchlich ist. Wasserräder sind den Kindern bekannt, viele von ihnen können ihre Funktion auch beschreiben. Mit einem einfachen selbst gebauten Wasserrad untersuchen die Kinder zunächst den Einfluss von Wassermenge, der Geschwindigkeit des Wassers und der Fallhöhe (Arbeitsblatt 5: Ein kleines Wasserkraftwerk). Sie erarbeiten durch Vergleiche spielerisch, dass je tiefer das Wasser fällt, desto mehr Lageenergie in Bewegungsenergie umgewandelt wird. Das Wasserrad dreht sich daher schneller, erhält also eine höhere Bewegungsenergie. Dieser Prozess wird technisch in Wasserkraftwerken zur Stromerzeugung genutzt. Dazu werden verschiedene Varianten vorgestellt. In einer speziellen Variante des klassischen Wasserrads, dem Segner'schen Wasserrad, wird aufgrund der besonderen Bauweise eine horizontale Drehbewegung erzeugt.

Anschließend wird diskutiert, woher die Energie eigentlich stammt, die in dem Wasser als Lageenergie gespeichert ist. Den Wasserkreislauf kennen die SchülerInnen bereits aus der Schule. Auf dieser Basis wird herausgearbeitet, dass auch hier die Sonne die ursächliche Energiequelle dieses Kreislaufs ist.

Auch Biomasse fungiert als erneuerbare Energiequelle. Dazu muss erarbeitet werden, woher Pflanzen ihre Energie erhalten. Stellt man Kindern diese Frage, so erhält man viele verschiedene Antworten. Meist werden Wasser und Erde bzw. Dünger genannt. Dass (Sonnen-)Licht für das Wachstum von Pflanzen zwingend erforderlich ist, ist nicht immer sofort klar. Dies kann jedoch in einem einfachen Langzeitexperiment nachvollzogen werden. Dazu werden Kressesamen vergleichend sowohl im Dunkeln als auch mit Licht aufgezogen. Zwar keimen die Samen aufgrund der im Samen gespeicherten Energie auch in Dunkelheit, wachsen dann aber nicht weiter. Nur mit Licht entstehen kleine Pflänzchen. Im nachfolgenden Experiment erforschen die Kinder, was Pflanzen mit dieser Sonnenenergie machen (Arbeitsblatt 6: Was machen Pflanzen mit dem Sonnenlicht?). Dazu lernen die Kinder zunächst eine Nachweisreaktion für Zucker kennen. Anschließend untersuchen sie Blätter einer Pflanze, bei der einige Blätter eingewickelt, also lichtlos gehalten waren. Nur in beleuchteten Blättern lässt sich Zucker nachweisen. Der schwierige Begriff Fotosynthese lässt sich so anschaulich

verdeutlichen: Mit Licht ('Foto') wird Zucker aufgebaut ('Synthese'). Pflanzen wandeln also Sonnenenergie in chemische Energie um, Biomasse stellt eine Form der Energiespeicherung dar. Diese steht den Pflanzen zur Verfügung, wenn die Sonne nicht scheint.

Dabei zeigt sich ein generelles Problem, das die Nutzung erneuerbarer Energien begleitet: Sonne und auch Wind stehen nicht immer zur Verfügung. Der Begriff Energiewende wird eingebracht und geklärt. Dann wird das Für und Wider diskutiert: Aus welchen Gründen wird sie angestrebt, welche Probleme ergeben sich daraus? Es ist erforderlich, Strategien zur Energiespeicherung zu entwickeln, um eine zuverlässige Versorgung zu gewährleisten, wie es die Pflanzen getan haben. Dieser Aspekt eröffnet einen sehr guten Übergang zum Folgemodul Energiespeicherung.

#### 4.4.2 Energiespeicherung

Tab. 6: Energiespeicherung - Übersicht der Experimente

Chemische Energieträger	AB1: Können Pflanzen Energie speichern? Nachweis von Stärke und Ölen als Energiespeicherstoffe AB2: Ist Abfall wirklich Abfall? Biogas aus Pflanzenresten AB3: Wie können wir die Energie der Sonne speichern? Wasserelektrolyse, Brennstoffzelle und Power-to-gas-Konzept
Speicherung elektrischer Energie	AB4: Batterien – Ganz einfach! Aufbau einer Batterie AB5: Wie funktioniert ein Akkumulator? Zink-Iod-Akku
Speicherung von Wärmeenergie	AB6: Wie lässt sich Wärme speichern? Natriumacetat als Latentwärmespeicher

Die Kinder lernen in diesem Teilmodul verschiedene Verfahren zur Speicherung von Energie kennen und erarbeiteten in einfacher Form die naturwissenschaftlichen Grundlagen. Auch wenn Verfahren zur Energiespeicherung eigentlich unabhängig von der Art der Herkunft der zu speichernden Energie sind, so erhält dieses Thema durch die Energiewende eine ganz neue Aktualität. Dass sich Energie grundsätzlich speichern lässt, ist bereits in den vorangestellten Modulen erarbeitet worden. Im Teilmodul 'Erneuerbare Energien' erfahren die SchülerInnen, dass Pflanzen die Energie des Son-

nenlichts nutzen, um energiereiche Stoffe wie Zucker zu synthetisieren. Pflanzen wandeln Sonnenenergie in chemische Energie um, Biomasse und Pflanzenspeicherstoffe stellen eine Form der Energiespeicherung dar. In Modul 2 ‚Chemische Energieträger‘ wird der Energiegehalt von verschiedenen Substanzen verglichen, u.a. auch von Pflanzenöl. Diese Erkenntnisse werden in der Einführung aufgegriffen. Biomasse und daraus hergestellte Stoffe wie z.B. Ethanol, Biodiesel oder Biogas können als Ersatz für fossile Brennstoffe dienen. Zwar entsteht auch bei ihrer Verbrennung Kohlenstoffdioxid, dieses wurde aber zuvor von den Pflanzen aus der Luft gebunden, sodass die Kohlenstoffdioxidbilanz insgesamt neutral ist.

Pflanzen speichern die Energie des Sonnenlichts in bestimmten Molekülen wie Stärke oder Ölen. Grundsätzlich können unterschiedliche Pflanzenteile, Früchte bzw. Samen wie Mais- und Weizenkörner, Nüsse, Sonnenblumenkerne bzw. Speicherorgane wie Kartoffeln, o.ä. ganz einfach mit Iodlösung bzw. der Fettfleckprobe auf das Vorhandensein von Stärke und Ölen untersucht werden (Arbeitsblatt 1: Können Pflanzen Energie speichern?). Dass wir Menschen genau diese Speicherstoffe als Energiequelle für uns nutzen, ist den Kindern in der Regel nicht bewusst. Hier bietet sich ggf. ein Abstecher zum Thema Ernährung und Energiegehalte von Lebensmitteln an. Wie viel Energie in Stärke tatsächlich steckt, lässt sich mit der „Stärkebombe“ eindrucksvoll demonstrieren. Dazu wird etwas Stärke mit einem Strohhalm in eine Flamme geblasen, sie explodiert dabei förmlich unter Bildung einer Stichflamme.

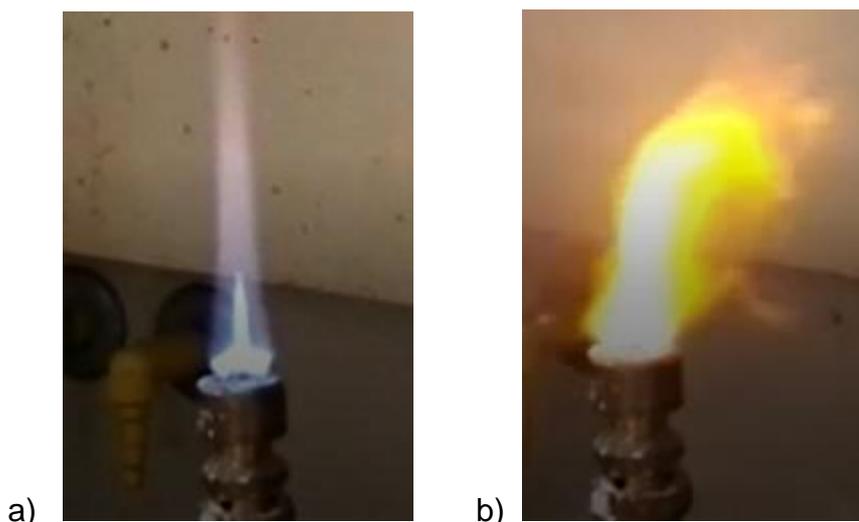


Abb. 4: „Stärkebombe“: In die Flamme eines Gasbrenners (a) wird Stärke geblasen (b)

Im Teilmodul ‚Erneuerbare Energien‘ ist ein Experiment zum Nachweis von Traubenzucker (Glucose) in beleuchteten Blättern vorgesehen. Die Pflanze benötigt Licht, um Glucose zu bilden. Da der Speicherstoff Stärke aus Glucosebausteinen besteht, ist dieser Syntheseschritt Voraussetzung für den Stärkeaufbau. Wurde der Glucosenachweis mit den SchülerInnen zuvor nicht durchgeführt, kann in diesem Modul der einfacher durchzuführende Stärkenachweis in Blättern erfolgen, um die Lichtabhängigkeit zu demonstrieren.

Jedoch ist nicht nur in Stoffen wie Stärke oder Ölen chemische Energie gespeichert, sondern grundsätzlich in jeder Form von Biomasse. Diese können wir ebenfalls nutzen. Ein gängiges Verfahren ist die Herstellung von Biogas, also die bakterielle Umsetzung organischer Substanzen unter Bildung von Gas. Fast jedes Kind hat die typischen, meist grün abgedeckten Anlagen schon einmal gesehen. Der Prozess dauert mehrere Tage. Der Versuch eignet sich also für mehrtägige Projekte oder kann in der Schule vorbereitet bzw. durchgeführt werden. Es entsteht ein Gasgemisch, das auch Methan enthält. Dieser Prozess lässt sich modellhaft nachvollziehen, wenn man organisches Material wie Gartenabfälle oder Kartoffelschalen, Salatblätter oder ähnliches nach Zugabe von etwas Komposterde möglichst unter Luftabschluss gären lässt (Arbeitsblatt 2: Ist Abfall wirklich Abfall?). Das entstehende Gas wird in einem Luftballon aufgefangen, die Mengen könnten durch Größenvergleich der Luftballons verglichen werden. Der Methananteil ist bei dieser Versuchsanordnung in der Regel sehr gering, da der Abbau des organischen Substrats in einem mehrstufigen Prozess verläuft und die letzte Stufe, die Methanogenese, nur anaerob abläuft. Die im Versuchsverlauf entstehenden Gase riechen silageartig, ggf. leicht nach Essig und faulig, sind aber nicht brennbar.

Leider können wir Menschen die Fähigkeit der Pflanzen, das Sonnenlicht zur Synthese von organischen Stoffen zu nutzen, nicht so einfach nachahmen. Dennoch können auch wir das Sonnenlicht nutzen, um einen chemischen Energieträger herzustellen, indem eine Wasserelektrolyse mit Solarstrom durchgeführt und der entstehende Wasserstoff gespeichert wird. Dieser Ablauf kann z.B. in einfachen, selbstgebauten Elektrolysezellen demonstriert werden. Vielfältiger nutzbar sind kommerziell erhältliche Experimentiersets (wie z.B. von der Firma Heliocentris, diese werden im Agnes-Pockels-Labor verwendet), mit dem die Kinder die Wasserelektrolyse einfach, sicher und gut erkennbar durchführen können (Arbeitsblatt 3: Wie können wir die Energie der Sonne speichern?). Mit der Knallgasprobe kann demonstriert werden, wie viel Energie

in Wasserstoff gespeichert ist. Schon kleine Mengen, aufgefangen in einem kleinen Reagenzglas, erzeugen einen heftigen Knall. Diese kleine Explosion zeigt den Kindern aber auch eine Schwierigkeit bei der technischen Nutzung von Wasserstoff auf. Wasserstoff explodiert schnell und erzeugt eine gefährliche Druckwelle. Der aufgefangene Wasserstoff wird anschließend in eine Brennstoffzelle eingespeist. Dabei wird die chemische Energie wieder in elektrische Energie umgewandelt. Auf die Vorgänge, die in Elektrolyseur und Brennstoffzelle ablaufen, wird dabei nicht weiter eingegangen, sie werden jeweils als „black box“ behandelt, in der elektrische Energie in chemische Energie bzw. umgekehrt umgewandelt werden kann. Mit älteren Schülern und SchülerInnen kann das Power-to-Gas-Konzept bis hin zur Umsetzung zu Methan behandelt werden, das dann je nach Bedarf in Gaskraftwerken wieder verstromt werden kann.

Ein Schwerpunkt der Energiewende ist der Ersatz von Kraftwerken durch Fotovoltaik- und Windkraftanlagen zur Stromerzeugung. Die Stromproduktion unterliegt daher einer gewissen Unstetigkeit, mal wird mehr Strom produziert als gebraucht wird, mal ist der Bedarf höher als die Produktion. Es ist also notwendig, Strom speichern zu können, um ihn dann nutzen zu können, wenn er benötigt wird. In diesem Modul werden dazu zwei unterschiedliche Wege aufgezeigt. Das Power-to-Gas-Konzept ist erst in Zusammenhang mit erneuerbaren Energiequellen aufgekommen. Akkumulatoren sind dagegen klassische Energiespeicher für die unabhängige Stromversorgung und weit verbreitet. Aktuelles Ziel der Entwicklung ist, Akkus mit hoher Kapazität und Leistung kostengünstig bereitzustellen.

Batterien und Akkumulatoren sind allen AG-Kindern bekannt. Die gängige Erklärung lautet meist: „Darin ist Strom gespeichert.“ Um die tatsächlich in einer Batterie bzw. einem Akku ablaufenden Prozesse begreifen zu können, müssen die Kinder zunächst den prinzipiellen Aufbau kennenlernen (Arbeitsblatt 5: Batterien – Ganz einfach!; eine bebilderte Arbeitsanleitung liegt vor). Dazu bauen sie einfache Batterien: Zwei unterschiedlich edle Metalle – die beiden Pole, dazwischen eine Gurkenscheibe als Stromleiter, schon liegt eine elektrische Spannung an. Baut man einen kleinen Kopfhörer in den Stromkreis an, ist ein Knistern wahrnehmbar – „es knistert vor Spannung“. Dass die Materialien eine entscheidende Rolle spielen, lässt sich durch die Kombination unterschiedlicher Materialien zeigen. Mit einer Kupfer-Zink-Kombination und einer größeren Reaktionsfläche lässt sich sogar ein Leichtlaufmotor betreiben!

Die entstehende Spannung ist also eine Folge der Stoffeigenschaften. Zwischen den Stoffen möchte eine chemische Reaktion ablaufen, bei der Energie frei wird. Immer wenn ein geschlossener Stromkreis vorliegt, läuft die Reaktion, dabei wird elektrische Energie freigesetzt, es fließt Strom. In dem Reaktionssystem ist also Energie gespeichert und zwar als chemischer Energie in den Reaktionspartnern.

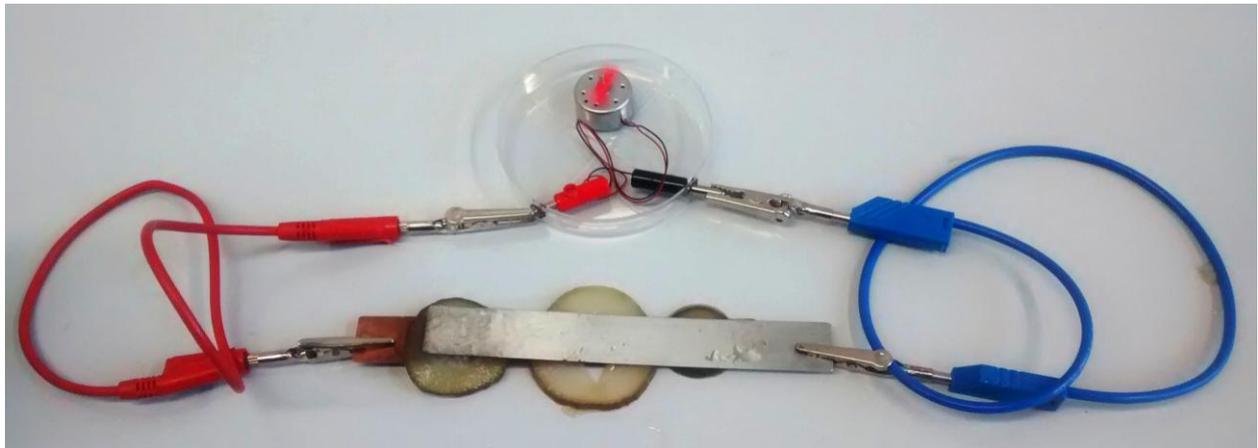


Abb. 5: Einfache Batterie aus Kupfer- und Zinkblechen sowie Gurkenscheiben

Akkumulatoren lassen sich im Gegensatz zu Batterien wieder aufladen. Auch das ist den Kindern aus ihrem Alltag bekannt. Sie haben aber erwartungsgemäß keine Idee, warum das so ist. Dies lässt sich in einem Experiment anschaulich nachvollziehen (Arbeitsblatt 5: Wie funktioniert ein Akkumulator? Eine bebilderte Arbeitsanleitung liegt vor). Der Zink-Iod-Akku ist ein ideales Beispiel, weil die Vorgänge an den Elektroden visuell gut erkennbar sind. Die beiden Stoffe Iod und Zink reagieren in Lösung spontan miteinander, die zuerst durch das Iod braun gefärbte Lösung wird heller und schließlich farblos. Dass dabei Energie freigesetzt wird, lässt sich fühlen, die Lösung wird leicht warm. Dies ist der Entladevorgang. Der Akku kann einfach mit einer Batterie, aber auch in Bezug auf erneuerbare Energien mit einem windgetriebenen Propeller mit Generator oder einem Solarpaneel aufgeladen werden. Im Akku befindet sich eine Zinkiodidlösung. Beim Laden bildet sich an der Anode Iod, um die Elektrode färbt sich die zuvor farblose Lösung erst gelb, dann braun. An der Kathode scheidet sich metallisches Zink als silbrig-weißer Belag ab. Schaltet man einen Verbraucher dazu, entlädt sich der Akku wieder. So kann ein kleiner Propellermotor betrieben werden. Während der Entladung entfärbt sich die Lösung wieder, der silbrige Belag löst sich auf. Diese Vorgänge können von den Kindern während der beliebig oft im Wechsel wiederholt werden.



Abb. 6: Laden eines Zink-Iod-Akkus mit Strom aus Windenergie

Der Unterschied eines Akkus zu einer Batterie aus der Perspektive der Chemie wird damit klar: Im Akku kann die zugrunde liegende Reaktion in beide Richtungen ablaufen, einmal unter Energieaufnahme und einmal unter Energieabgabe. Zwar gibt ein Akku elektrische Energie ab, die Speicherung erfolgt jedoch in Form von chemischer Energie.

Bei allen Energieumwandlungen entsteht auch Wärmeenergie. Dadurch nimmt der Anteil der nutzbaren Energie mit jedem Umwandlungsschritt ab. Dieses Prinzip haben die Kinder in zuvor durchgeführten Experimenten bereits erarbeitet. Wenn es gelänge, diese zumindest teilweise mit zu nutzen, ließen sich die energetischen Wirkungsgrade der Prozesse verbessern. Dazu sind leistungsfähige Wärmespeicher erforderlich, ein Beispiel, einen Latentwärmespeicher, lernen die Kinder in einem einfachen Experiment kennen.

In Latentwärmespeichern wird die zugeführte Wärmeenergie gespeichert und beim Phasenwechsel wieder freigesetzt. Dazu nutzt man die unterschiedlichen Wärmekapazitäten, die die Stoffe in ihren verschiedenen Aggregatzuständen aufweisen. Während des Phasenübergangs eines Stoffes, also der Änderung des Aggregatzustands, ändert dieser auch seinen Energiegehalt. Die zuvor zum Verflüssigen zugeführte Energie wird bei der Erstarrung einer Schmelze wieder abgeben. Man nennt diese Stoffe deshalb Phasenwechselmaterialien (technische Bezeichnung: PCM = phase change

materials). Dazu zählen Substanzen wie Natriumacetat-Trihydrat, Natriumsulfat-Decahydrat (Glaubersalz) oder Paraffine, deren Schmelzwärme wesentlich größer ist als die Wärme, die sie ohne den Phasenumwandlungseffekt allein aufgrund ihrer spezifischen Wärmekapazität speichern können. Vielen sind die praktischen, kleinen Taschenwärmer, die nach kurzem Drücken angenehme Wärme abgeben, aus dem Alltag bekannt. Diese enthalten üblicherweise Natriumacetat-Trihydrat. Das Salz löst sich beim Erwärmen in seinem Kristallwasser und liegt dann nach dem Abkühlen flüssig als unterkühlte Schmelze in einem metastabilen Zustand vor. Beim Kristallisieren erwärmt es sich bis auf den Schmelzpunkt, der bei 58 °C liegt. Die Energie wird in Form von physikochemischer Energie gespeichert und als Wärmeenergie freigesetzt.

Im Experiment (Arbeitsblatt 5: Wie lässt sich Wärme speichern?) setzen die Kinder das Salz Natriumacetat-Trihydrat ein. Es wird unter Wärmezufuhr geschmolzen und dann möglichst schnell abgekühlt. Das Salz löst sich in seinem eigenen Kristallwasser, die dafür erforderliche Solvatationsenergie wird von außen zugeführt und später bei der Kristallisation wieder abgegeben. Wird ein Kristallisationskeim in die unterkühlte, metastabile Lösung gegeben, kristallisiert das Salz rasch unter starker Wärmefreisetzung. Die Temperatur im Reagenzglas kann bis zu 50 °C erreichen und über eine längere Zeit halten. Gießt man eine übersättigte, kalte Lösung in einer Schale auf einen Kristallisationskeim, tritt die Kristallisation schlagartig ein, sie erfolgt bereits beim Gießen. Da die entstehenden Gebilde aussehen wie gefrorenes Wasser, nennt man sie auch „heißes Eis“.



Abb. 7: „Heißes Eis“ aus Natriumacetat-Trihydrat

Eine wichtige Erkenntnis dieses Moduls soll sein, dass allen vorgestellten Verfahren zur Energiespeicherung (physiko)chemische Prozesse zugrunde liegen. Ob Pflanzenspeicherstoffe, Biogas, Wasserstoff, Akkumulatoren oder Latentwärmespeicher, immer ist die Energie in Form von chemischer Energie (bzw. im letzten Beispiel physikochemischer Energie) in den Molekülbindungen gespeichert.

#### 4.5 Kurzfassung für den Einsatz in der Schule

Nicht jeder Schulklasse ist es möglich, das SchülerInnenlabor zu besuchen. Wir möchten wir dennoch allen SchülerInnen die Möglichkeit geben, sich das Thema 'Energie' experimentell zu erarbeiten. Daher haben wir auf Grundlage der im Rahmen des Projekts entwickelten Module Unterrichtseinheiten mit für den Einsatz im Klassenraum geeigneten Experimenten erarbeitet und das dafür erforderliche Material in Form von praktischen Experimentierboxen zusammengestellt, die nun für den Verleih zur Verfügung stehen. Interessierte Lehrkräfte können sich das Material im Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor ausleihen, um es im Schulunterricht einzusetzen. Die Experimentierkisten beinhalten jeweils das für die Durchführung der Experimente benötigte Material im Klassensatz, die Arbeitsanleitungen, Verlaufspläne mit Vorschlägen zur Unterrichtsgestaltung und weitere Informationen zu den Experimenten. Für die Durchführung ist pro Teilmodul eine Doppelstunde zu veranschlagen.

Tab. 7: Experimentierkiste ‚Energiekonzept‘: Energieformen und ihre Umwandlung/  
Energieeffizienz

Einheit	Versuch / Arbeitsblatt
Energieformen	AB1: Wenn Mühlen sich drehen... Windfahrstuhl, Lichtmühle, Handgenerator
Wärmeenergie	AB2: Mit Volldampf voraus! Bewegung durch Wasserdampf
Gezielte Nutzung von Energie	AB3: Energiesparen mit Köpfchen Vergleiche von Energienutzung im Alltag: Leuchtmittel
Wärmedämmung	AB4: Wärmedämmung – wozu? Dämmstoffe im Vergleich

Aus dem Modul 'Grundlagen des Energiekonzepts' wurden Experimente zu Energieformen und ihrer Umwandlung, zur Nutzung von Wärmeenergie, Energienut-

zung im Alltag sowie zur Wärmedämmung ausgewählt. Die erforderlichen Materialien und Anleitungen sind in einer Experimentierkiste zusammengestellt. In einer weiteren Experimentierkiste sind Experimente aus dem Modul 'Energie aktuell' zur Nutzung von Sonnen- und Windenergie, zu Energie in Biomasse sowie Batterien als Energiespeicher zusammengestellt. Für das Modul 'Chemische Energieträger' steht keine Verleih-Kiste zur Verfügung, da die darin enthaltenen Experimente für eine Durchführung im Klassenraum nicht geeignet sind. Bei mehreren Experimenten entstehen Flammen, es wird mit größeren Wassermengen oder empfindlichen Glasgeräten gearbeitet, oder die eingesetzten Chemikalien eignen sich nicht für einen Einsatz außerhalb des Labors. Eine Übersicht über die im Rahmen des Projekts neu in unser Verleih-Angebot aufgenommenen Experimentierkisten und der darin enthaltenen Experimente geben die Tabellen 7 und 8.

Tab. 8: Experimentierkiste ‚Energie aktuell‘: Erneuerbare Energien/Energiespeicherung

Einheit	Versuch / Arbeitsblatt
Energie der Sonne	AB1: Wärme von der Sonne weiße und schwarze Flächen / Fingerwärmer AB2: Strom aus Sonnenlicht Stromerzeugung mit einem Solarmodul
Energie aus Wind	AB3: Aufwindkraftwerk Bau und Betrieb eines Aufwindkraftwerks
Energie in Biomasse	AB4: Können Pflanzen Energie speichern? Nachweis von Stärke und Ölen als Energiespeicherstoffe
Speicherung elektrischer Energie	AB5: Batterien – Ganz einfach! Aufbau einer Batterie

## 5 Vernetzung der Module

Jedes Modul bildet für sich eine abgeschlossene Einheit, wobei in jedem Teilmodul ein thematischer Schwerpunkt gesetzt wird (siehe Tabelle 9). Die jeweiligen beiden Teilmodule ergänzen sich, sind aber unabhängig voneinander durchführbar. Daher können die (Teil-)Module sowohl einzeln als auch als Abfolge durchgeführt werden. Die Reihenfolge ist dabei nicht festgelegt, sie kann nach Bedarf variiert werden. Einige Kombinationen bieten sich besonders an. Zumindest das Teilmodul 'Energieformen und ihre Umwandlung' aus dem Modul 'Grundlagen des Energiekonzepts' sollte möglichst

als erstes durchgeführt werden. In diesem Teilmodul werden grundlegende Prinzipien und Begriffe des Energiekonzepts eingeführt, die in den anderen Modulen immer wieder aufgegriffen werden. Wenn es nicht möglich sein sollte, dieses Modul zur Einführung durchzuführen, müssen diese Grundlagen vor Beginn eines anderen Teilmoduls behandelt werden. Dazu eignet sich die Geschichte im Anhang der Unterlagen zu Modul 1: „Eine kleine Reise der Energie“. Mithilfe dieser Geschichte aus der Erfahrungswelt der SchülerInnen lernen sie die Energieformen kennen und erfahren, dass diese ineinander umwandelbar sind. Auch das Prinzip der Energieerhaltung sowie Begriffe wie Energiegewinnung oder Energieverbrauch werden dort kurz, aber anschaulich eingeführt.

Tab. 9: Die Module in der Übersicht

Modul	Teilmodul a	Teilmodul b
1 Grundlagen des Energiekonzepts	Energieformen und ihre Umwandlung	Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz
2 Chemische Energieträger	Nutzung und Vergleich von chemischen Energieträgern	Kohlenstoffdioxid: Eigenschaften und Folgen
3 Energie aktuell	Erneuerbare Energien	Energiespeicherung

Je nachdem, welche Schwerpunkte man setzen möchte, kann man mit unterschiedlichen Teilmodulen anknüpfen. Im zweiten Teilmodul 'Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz' erhalten die SchülerInnen ebenfalls grundlegende Einblicke, die einen besonderen Erkenntnisgewinn hinsichtlich alltäglicher Vorgänge und damit das Potential bieten, Handlungsweisen der SchülerInnen zu beeinflussen. Das abschließende Experiment des ersten Teilmoduls 'Mit Volldampf voraus!' leitet aber auch zum Modul 'Chemische Energieträger' über. In dem Teilmodul 'Erneuerbare Energien' werden Alternativen zu chemischen Energieträgern erarbeitet, sodass auch dieses Teilmodul anschließen kann. 'Energiespeicherung' kann sowohl das Teilmodul 'Erneuerbare Energien' als auch die Grundlagen des Energiekonzepts ergänzen. Die chemischen Energieträger sind wiederum ein Punkt im Teilmodul 'Energiespeicherung', d.h. die Versuche aus Modul 2a können Modul 3b ergänzen. Nicht zuletzt ergänzt das Teilmodul 'Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz' in Zusammenhang mit der Energiewende auch Modul 3. Das Experiment zur Kohlenstoffdioxidverwertung durch Pflanzen aus dem Teilmodul 'Kohlenstoffdioxid' ergänzt die Experimente zur Energie in Biomasse.

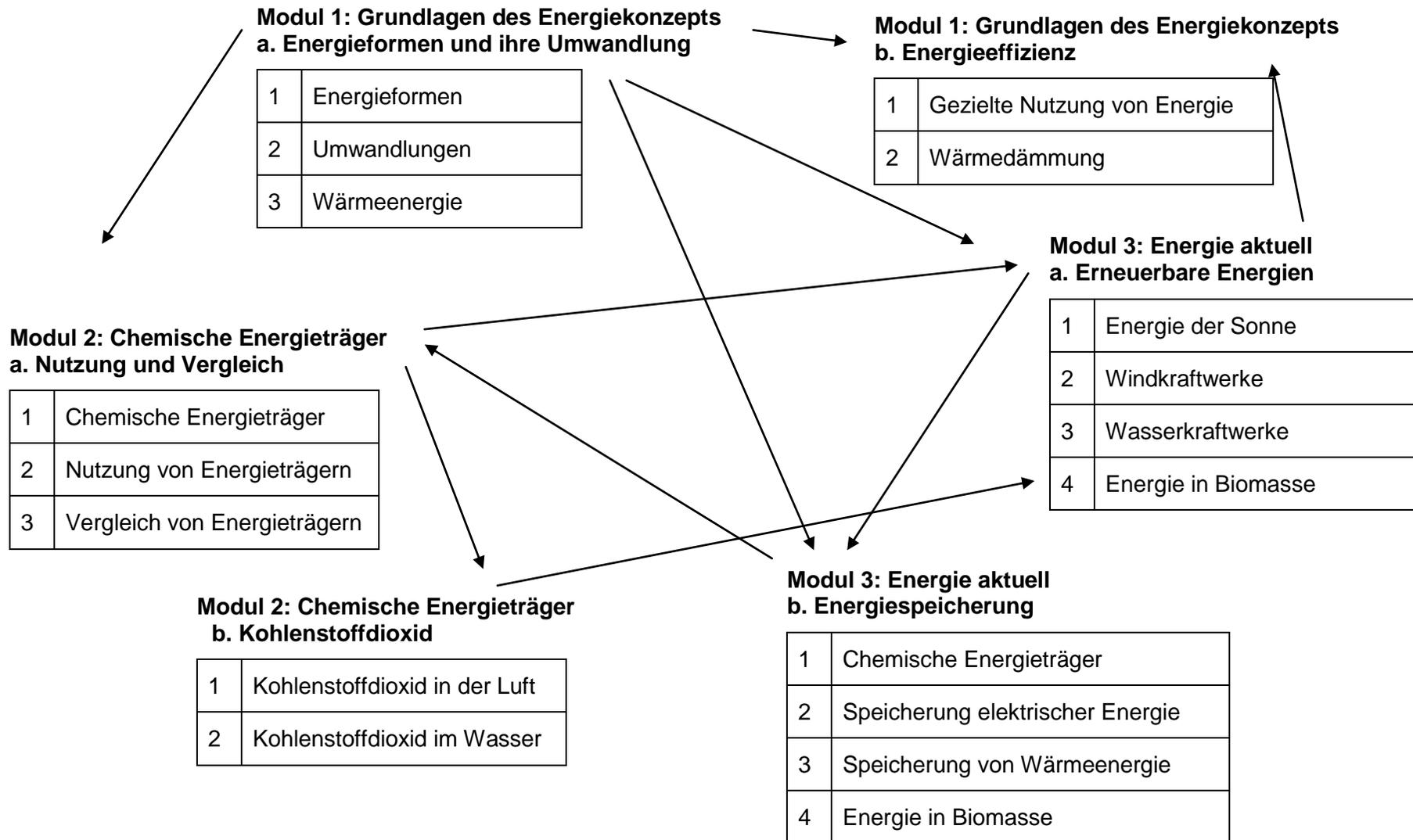


Abb.8: Möglichkeiten zur Vernetzung der Module

Einen Überblick über mögliche Vernetzungen bzw. Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Module gibt Abb. 8. Die Teilmodule sind jeweils für eine Dauer von ca. 3 - 4 Stunden inklusive einer Pause konzipiert. Verlaufspläne und Arbeitsblätter für die Durchführung der Module befinden im Anhang.

## **6 Erprobung der Module**

### **6.1 Agnes-Pockels-SchülerInnenlabor**

Parallel zur fortlaufenden Entwicklung der Module starteten bereits im Oktober 2016 Tests zur Erprobung der ersten Inhalte. Die Erfahrungen dieser Testläufe wurden genutzt, um die Inhalte zu optimieren und Stolperfallen, die in den ersten Durchläufen aufgetreten waren, zu eliminieren. Gleichzeitig konnten so auch die Präkonzepte der SchülerInnen besser berücksichtigt werden. Im Agnes-Pockels-SchülerInnenlabor wurden während der gesamten Projektlaufzeit Tests durchgeführt (siehe Kapitel 7). Dadurch war es möglich, alle Inhalte mehrfach bzw. bereits überarbeitete Inhalte in einem neuen Durchlauf zu testen.

### **Öffentliche Angebote**

Das Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor beteiligt sich regelmäßig an verschiedenen Veranstaltungen, die sich an die interessierte Öffentlichkeit wenden. Zwei Veranstaltungen im Projektzeitraum wurden genutzt, um ausgewählte Experimente aus den Modulen zu präsentieren und hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit und Verständlichkeit auch für Ungeübte zu testen. Es handelte sich um die regelmäßig einmal im Jahr stattfindende Wissenschaftsnacht der TU Braunschweig, die TU Night, sowie um eine mehrtägige Freiluftveranstaltung in Braunschweig aus Anlass des 10-jährigen Jubiläums des Titels „Stadt der Wissenschaft“, die unter dem Namen „Cloud der Wissenschaft“ lief.

Einzelne Experimente wurden auf der TU Night 2016 im Schülerlabor präsentiert. Erfahrungsgemäß besuchen bei dieser Art Veranstaltung, mit der sich die TU Braunschweig an die interessierte Öffentlichkeit richtet, sehr unterschiedliche Personenkreise das Labor: Eltern und Kinder, um gemeinsam Experimente durchzuführen, Lehrkräfte und Schüler aller Schultypen aller Klassenstufen, aber auch zufällige Besucher, die weder konkrete Erwartungen noch entsprechende naturwissenschaftliche Vorkenntnisse haben. Für diese Veranstaltung hatte das Agnes-Pockels-SchülerInnenlabor ein vielfältiges Angebot mit thematisch unterschiedlichen Experimenten für jedes Alter zusammengestellt. Die BesucherInnen sollten geführt forschend experimentieren. Es gab daher

keine Arbeitsanleitungen wie es in den Experimentiereinheiten in diesem Projekt eigentlich vorgesehen ist, sondern nur jeweils die Aufgabe und das dafür erforderliche Material. Wenn die Besucher/innen allein nicht weiterkamen, bekamen sie Informationsmaterial in Form von vorbereiteten Tipps zur Lösung der Problemstellung zur Verfügung. Außerdem standen MitarbeiterInnen des Labors zur Betreuung zur Verfügung. Da sich ein Experiment als für Kinder sehr schwierig auszuführen erwies, wurde es daraufhin durch ein thematisch gleiches, aber motorisch einfacher auszuführendes Experiment ersetzt. Die anderen angebotenen Experimente aus dem Projektprogramm hatten sich bewährt.



Abb. 9: Experimentierangebot bei der Veranstaltung „Cloud der Wissenschaft“

Die „Cloud der Wissenschaft“ fand vom 15. bis 27.09.2017 täglich auf dem zentral in der Braunschweiger Innenstadt gelegenen Burgplatz statt. Ziel der Veranstaltung war es, Erwachsene und auch Kinder mit dem Braunschweiger Wissenschaftsnetz in Berührung zu bringen. Das Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor präsentierte an einem Tag elf verschiedene Stationen mit Experimenten aus den Themenfeldern ‘Erneuerbare Energien’ und ‘Energiespeicherung’ zum Mitmachen (Abb. 9). Um möglichst viele Kinder anzusprechen und die Hemmschwelle herabzusetzen, wurde mit Bildern gearbeitet. Anstelle der im Labor genutzten Versuchsanleitungen in Textform zeigten jeweils drei Fotos, wie das jeweilige Experiment durchgeführt wird. Das Material war für jedes

Experiment einzeln in einem Kasten bereitgestellt. Dieses Angebot wurde nicht nur von Kindern, sondern auch von etlichen Erwachsenen wahrgenommen.

### **Anfänger-AGs Schuljahr 2016/2017**

Das Modul 'Grundlagen des Energiekonzepts' wurde in einer ersten überarbeiteten Fassung in den Anfänger-AGs des Schuljahr 2016/17 direkt nach der etablierten Eingewöhnungsphase getestet, da in diesen Gruppen im Anschluss an den Test die Entwicklung weiterer Module erfolgen sollte. Die Durchführung der Experimentiereinheiten wurde durch eine Pre-/Posttest-Kombination zu Beginn und am Ende des Moduls ergänzt. Die Ergebnisse dieser Tests sind in Kapitel 7 aufgeführt. Insgesamt verlief die praktische Durchführung der Experimente problemlos. Die Schwierigkeiten sowohl bei der Heranführung als auch bei der praktischen Durchführung, die während der Entwicklungsphase aufgetreten waren, erwiesen sich als gelöst. Insbesondere die veränderte Einführung der Experimentiereinheit zu Energieumwandlungen, in der Alltagssituationen unter dem Blickwinkel der Energieumwandlungen betrachtet wurden, führte dazu, dass die Kinder im Vergleich zu den ersten Durchgängen die Aufgabe mit größerer Motivation und geringeren Vorbehalten durchführten. Sie konnten für sich selbst einen Bezug zur Aufgabe erkennen und waren motiviert und entwickelten mit viel Kreativität ihre eigenen kleinen Beispiel-Experimente. An dieser Stelle waren bei den ersten Gruppen noch deutliche Berührungsängste mit der Thematik zu spüren gewesen.

Tabelle 10: Getestete Experimentiereinheiten in den AGs 2016/17

Modul	Experimente
Grundlagen des Energiekonzepts	Energieformen
	Energieumwandlungen
	Energieerhaltung – Wärmeenergie
	Energie sparen – Energie verschwenden
Chemische Energieträger - Nutzung	Kerze und Flamme
	Verbrennungsprodukte
	Energiegehalte
Chemische Energieträger - Kohlenstoffdioxid	Kohlenstoffdioxid in Luft
	Kohlenstoffdioxid in Wasser

Zum Abschluss des AG-Jahres erprobten die AGs noch das Modul 2 'Chemische Energieträger'. Das Teilmodul 'Nutzung von Energieträgern' umfasste Experimente zur Verbrennung von chemischen Energieträgern, den Produkten der Verbrennung und zu ihrem Energiegehalt. In der Auswertungsphase wurden weiterführende Aspekte wie Ursprung der Energieträger, ihre Gewinnung und daraus resultierende Effekte thematisiert. Im Teilmodul 'Kohlenstoffdioxid' lernten die Kinder Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Umwelt kennen. Sowohl die thematische Einbettung als auch die praktische Durchführung der Experimente erwiesen sich als problemlos.

### Anfänger-AGs Schuljahr 2017/2018

Auch die Anfänger-AGs des Schuljahr 2017/18 starteten mit der etablierten Eingewöhnungsphase, anschließend führten beide Gruppen parallel als Einstieg in das Thema Energie das Teilmodul 'Energieformen und ihre Umwandlung' des ersten Moduls 'Grundlagen des Energiekonzepts'.

Tabelle 11: Getestete Experimentiereinheiten in den AGs 2017/18

Modul	Experimente
Grundlagen des Energiekonzepts - Energieformen	Energieformen
	Energieumwandlungen
	Energieerhaltung - Wärmeenergie
Grundlagen des Energiekonzepts – Energieeffizienz	Energie sparen
	Wärmedämmung
Chemische Energieträger - Nutzung	Kerze und Flamme
	Verbrennungsprodukte
	Energiegehalte
Chemische Energieträger - Kohlenstoffdioxid	Kohlenstoffdioxid in Luft
	Kohlenstoffdioxid in Wasser
Energie aktuell	Biomasse
	elektrische Energie
	Wärmeenergie

Im Anschluss daran durchliefen die beiden Gruppen unterschiedliche Programme. Nur so war es möglich, dass die restlichen Module innerhalb der noch verbleibenden Restlaufzeit des Projekts jeweils einmal vollständig mit entsprechenden Pre-/Post-Testkombinationen durchgeführt werden konnten.

In einer AG schlossen sich dann Modul 2 'Chemische Energieträger' sowie das Teilmodul 'Energieeffizienz' an. In der zweiten AG wurden die Teilmodule 'Energieeffizienz' und 'Energiespeicherung' bearbeitet. Vor dem Einstieg in ein neues Themenfeld füllten die SchülerInnen jeweils einen Pretest aus, dieser wurde als Posttest nach Abschluss (meist zwei bis drei Wochen später) dann ein zweites Mal bearbeitet. Die Ergebnisse dieser Tests sind in Kapitel 7 aufgeführt.

### Grundschulgruppen

Eine Grundschule aus dem Braunschweiger Umland hatte sich vor Projektbeginn bereit erklärt, mit SchülerInnen der Klassenstufe 4 die entwickelten Experimentierangebote im Schülerlabor und Teile davon auch in der Schule durchzuführen. Es war geplant, dies überwiegend im Rahmen der Experimentier-AG der Schule durchzuführen, einige Module sollten mit einer vierten Klasse im Labor getestet werden. Aus schulinternen Gründen konnten diese Tests nicht im geplanten Umfang durchgeführt werden.

Tabelle 12: Getestete Experimentiereinheiten mit Grundschulgruppen im Agnes-Pockels-Labor

Modul	Experimente
Grundlagen des Energiekonzepts	Energieformen
	Energieumwandlungen
	Energieerhaltung – Wärmeenergie
	Energie sparen – Energie verschwenden
Energie aktuell – Erneuerbare Energien	Sonne
	Wind
	Wasser
	Biomasse

In der einführenden Einheit lernten die Kinder in kleinen Experimenten anhand verschiedener Windmühlen zunächst verschiedene Energieformen kennen. Insbesondere beim sich daran anschließenden Thema 'Energieumwandlungen' erwiesen sich die

Kinder als sehr kreativ. Wie in den Gruppen zuvor war auch hier zu beobachten, dass Jungenteams deutlich offener an die Aufgabenstellung herangingen, bei Mädchenteams herrschte zunächst eine gewisse Berührungsangst vor. Diese legte sich dann aber schnell, nachdem die Mädchen in den ersten vorsichtigen Schritten bereits Erfolge verbuchen konnten. Den Kindern wurde bewusst, dass Energie in jeder Handlung in ihrem Alltag eine Rolle spielt, dass ihr Tun quasi eine Kette von Energieumwandlungen darstellt. Das Fazit der Lehrerin gerade zu dieser Einheit war sehr positiv. Sie hätte diese gern noch ausführlicher haben wollen, da sie hier einen großen potenziellen Lernerfolg erkannte. Leider war die Besuchszeit der Gruppe begrenzt. Ein Experiment setzte sich mit den Vorgängen 'Energie sparen' und 'Energie verschwenden' auseinander, auch unter dem Aspekt der Energieerhaltung. In der abschließenden Einheit setzten sich die Kinder spielerisch mit der Energie in Wasserdampf auseinander.

Die zweite Gruppe, eine vierte Klasse, bearbeitete das Modul „Erneuerbare Energien“ mit den Schwerpunkten Energie aus Sonne, Wind und Wasser. Zusätzlich führten sie die Pre-/Posttest-Kombination zu den erneuerbaren Energien durch (Ergebnisse siehe Kap.7). In dieser Klasse war kein Unterschied im Engagement zwischen Jungen und Mädchen zu erkennen, sie gingen mit dem gleichen Interesse heran.

Die Kinder führten zuerst Experimente zu Nutzung der Sonnenwärme, der Solarthermie, durch. Danach folgten Experimente zur Fotovoltaik. Versuche zur Wind- und Wasserenergie sowie der Stromgewinnung schlossen sich an. Auch diese wurden problemlos durchgeführt. Den Abschluss des Moduls bildete eine kurze Einheit zur Umsetzung von Sonnenenergie durch Pflanzen. Einige der Kinder äußerten zum Abschluss den Wunsch, öfter kommen und im Labor arbeiten zu können.

In dieser Schulklasse waren zwei Kinder mit sonderpädagogischem Förderbedarf. Diesen Kindern wurde seitens der Lehrerin bei der Durchführung der Tests Unterstützung beim Lesen angeboten, sie verzichteten jedoch darauf. Arbeitsmaterialien und -anleitungen wurden im Versuchsverlauf durch die betreuenden Personen mit den Kindern am Arbeitsplatz besprochen, um Verständnisprobleme zu vermeiden. Bei der Durchführung der Experimente arbeiteten diese Kinder genauso engagiert und erfolgreich mit wie alle anderen. Sie beteiligten sich auch sehr aktiv an den Besprechungen zur Versuchsauswertung. Dies wurde von der Lehrerin als sehr positiver Effekt hervorgehoben. Insgesamt wünschte sie sich einen noch größeren experimentellen Anteil. Um dies möglich zu machen, könnte aus ihrer Sicht ein Teil der Besprechungen in den Schulunterricht verlagert werden.

## 6.2 Erprobung durch Partner

Als Partner für die Erprobung einiger Projektinhalte hatten sich bereits vor Projektbeginn das Fehling-Lab in Stuttgart und das Chemol in Oldenburg zur Verfügung gestellt. Da zur Durchführung der Projektinhalte nicht nur gängiges Labormaterial zum Einsatz kommen musste, sondern auch spezielle Geräte und Materialien erforderlich waren, wurde in beiden Schülerlaboren selbst ausgewählt, welche Projektinhalte getestet wurden. Auch welche Schulklassen dafür infrage kamen, wurde vor Ort entschieden.

Im **Fehling-Lab in Stuttgart** wurden schwerpunktmäßig Versuche aus Modul 2, 'Chemische Energieträger' getestet. So wurden aus dem Teilmodul 'Nutzung' die Experimente zur Verbrennung chemischer Energieträger und der Identifizierung ihrer Verbrennungsprodukte durchgeführt, außerdem aus dem Teilmodul 'Kohlenstoffdioxid' die Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid. Das Thema Kohlenstoffdioxid wurde dabei mit einem regionalen Bezug bearbeitet. Anstelle der Untersuchung von Muschel- und Eierschalen setzten sich die SchülerInnen mit der Frage auseinander, was Kohlenstoffdioxid mit den Höhlenbildung der Schwäbischen Alb, einem Kalksteingebirge, zu tun hat. Diese Änderung war seitens des Fehling-Labs eingebracht worden, um den SchülerInnen einen konkreten Zusammenhang zwischen den Experimenten und ihrer Umwelt aufzuzeigen.

Beide Versuchsreihen wurden fünfmal in zweistündigen Testbesuchen durchgeführt. Die Schulklassen bestanden jeweils aus 29 SchülerInnen, sodass jede Versuchsreihe von insgesamt 145 SchülerInnen durchgeführt wurde. Die SchülerInnen konnten den Versuchsbeschreibungen und Erklärungen problemlos folgen. Sowohl von Schüler- als auch von Lehrerseite wurden die Besuche als positiv bewertet. Aus organisatorischen Gründen konnten keine Pre-Post-Tests durchgeführt werden.

Tabelle 13: Getestete Experimentiereinheiten im Fehling-Lab

Modul	Experimente
Chemische Energieträger - Nutzung	Kerze und Flamme
	Verbrennungsprodukte
Chemische Energieträger - Kohlenstoffdioxid	Wirkung von Kohlenstoffdioxid in Wasser
	Kohlenstoffdioxid und Schwäbische Alb

Im **Schülerlabor Chemol in Oldenburg** führten die Kinder einer Grundschulklasse in mehreren kurzen Einheiten alle Experimente des Teilmoduls 'Erneuerbare Energien' durch, also die Themen Energie aus Sonne, aus Wind, Wasser und Biomasse. Zusätzlich testeten sie die überarbeitete Version der dazugehörigen Pre/Posttest-Kombination (Ergebnisse siehe Kap.7).

Die Experimente ließen sich schnell und einfach von den Kindern durchführen. Voraussetzung war eine entsprechende Vorbereitung durch das Chemol, die zunächst als aufwändig beurteilt wurde. Da die meisten Materialien allerdings anschließend weiterverwendet werden können, wurde dieser einmalige Aufwand akzeptiert. Die Experimente zur Energie aus Biomasse wurden als aus chemischer Sicht am interessantesten eingeschätzt. Die SchülerInnen stellten in der anschließenden Diskussion selbst den Bezug zur Energie des Körpers her.

Tabelle 14: Getestete Experimentiereinheiten in der Schule durch das Chemol

Modul	Experimente
Energie aktuell – Erneuerbare Energien	Sonne
	Wind
	Wasser
	Biomasse

Insgesamt zogen sowohl die Verantwortlichen im Labor als auch die Lehrkraft der Klasse ein positives Fazit. Insbesondere wurde das geschlossene Konzept des Moduls sowie die große Vielfalt der Inhalte und den hohen Anteil an einfach durchzuführenden Experimenten hervorgehoben. Die begleitende Lehrkraft unterstützte die Einheiten teilweise spontan, indem sie den Kindern kleinere Videos aus dem Internet von ähnlichen Experimenten vorspielte. Die Aufgabenstellung, erst ein Modell zu bauen und dann seine Arbeitsweise zu untersuchen, wurde als sehr förderlich für das Verständnis bewertet.

Die Anzahl der Experimente bringt eine große Zahl an Arbeitsblättern mit sich. Lernschwächere Kinder könnten dadurch den Überblick verlieren. Im Chemol werden üblicherweise wenig Arbeitsblätter eingesetzt, da dort eine intensive Betreuung in Kleingruppen erfolgt, für jede Kleingruppe mit 3 - 4 Kindern steht eine Betreuungsperson zur Verfügung. Dadurch ist es möglich, dass die Experimente mündlich während der Durchführung erläutert werden, ebenso werden Beobachtungen und Erklärungen

besprochen ohne schriftliche Dokumentation des Versuchsverlaufs. Diese Vorgehensweise wird lernschwächeren Kinder sicherlich besser gerecht, ist aber nicht in allen Schülerlaboren umsetzbar. Diese Erfahrung führte dazu, dass für eine Vielzahl der Experimente textfreie Arbeitsanleitungen mit Bildern erstellt und getestet worden sind (siehe S.:28).

Regelmäßig besuchen verschiedene **Studienseminare für Sachunterricht** und Chemie das Agnes-Pockels-Labor, damit die AnwärterInnen das Angebot des Labors kennenlernen. Die Seminarleiterinnen stellten den AnwärterInnen, die im Schuljahr 2017/18 die Studienseminare Sachunterricht besuchten, auch dieses Projekt vor. Die AnwärterInnen hatten dann die Möglichkeit, im Rahmen einer Seminararbeit ein Modul aus diesem Projekt im Schulunterricht zu erproben und zu evaluieren. Das Teilmodul 'Energie sinnvoll nutzen: Energieeffizienz' soll dazu im Rahmen einer Hausarbeit im Sachunterricht evaluiert werden. Aus schulinternen Gründen wird dies erst nach Projektschluss im März 2018 erfolgen, sodass die sich daraus ergebenden Erkenntnisse für diesen Bericht leider nicht berücksichtigt werden können.

## 7 Didaktische Überlegungen

Ziel der didaktischen Begleitung des Projektes war es, die Lernwege, spezifischen Schwierigkeiten und besonderen Herausforderungen der Kinder, die an den Umweltbildungsangeboten zum Thema Energie teilgenommen haben, einzuschätzen. Diese Einschätzung stellte die Grundlage für die Weiterentwicklung der Bildungsangebote dar. Im Mittelpunkt dieser Erhebungen stand das konzeptuelle Wissen zu Energie in verschiedenen Kontexten. Darüber hinaus wurden kleine Gedächtnisprotokolle der Leiter/-innen der Bildungsangebote angefertigt, um inhaltliche oder organisatorische Schwierigkeiten festzuhalten. Diese Protokolle wurden für die Weiterentwicklung der Bildungsangebote verwendet. Das iterative Vorgehen ist eher als explorativ zu beschreiben, es ist keine Evaluation im strengen Sinne, da zum Beispiel weder eine Kontrollgruppe vorhanden ist noch mögliche zu kontrollierenden Hintergrundmerkmale der Kinder erhoben wurden.

Im Folgenden wird ein Überblick über die verwendeten Instrumente, die beteiligten Kinder und die Ergebnisse im letzten Berichtszeitraum (Juli bis Dezember 2017) sowie eine zusammenfassende Darstellung der gesamten Ergebnisse gegeben und diskutiert.

### *Instrumente*

Zur Erfassung des Wissens der Kinder wurden zum einen schriftliche Tests eingesetzt. Diese bezogen sich konkret auf die Themen der jeweiligen Bildungsangebote. Es wurden allerdings keine Details der Versuche oder vergleichbares abgefragt, sondern Fragen auf einer stärker generalisierten Ebene verwendet. Die teilnehmenden Kinder erhielten vor und im Anschluss an die jeweiligen Bildungsangebote den gleichen Test. Die Fragen waren dabei als richtig-falsch-Aufgaben konstruiert. Das bedeutet, dass die Kinder zu jeder Antwortoption entscheiden mussten, ob sie falsch oder richtig ist. Dieses Format erlaubt es festzustellen, ob Kinder richtige Vorstellungen haben und aber auch falsche Vorstellungen ablehnen.

Ein Beispiel aus dem Test ist die folgende Frage und die dazu angebotenen Antworten:

<b>Welche Aussagen über Energie sind richtig und welche falsch?</b>	richtig	falsch
Energie kann man herstellen, also neu erschaffen.		x
Energie verschwindet, wenn man sie nutzt, sie ist dann nicht mehr vorhanden.		x
Energie kann nicht verschwinden.	x	

Richtige Antworten wurden mit einem Punkt und falsche Antworten mit 0 Punkten bewertet. Wurde kein Kreuz gesetzt, wurde das mit „keine Angabe“ gewertet. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden mit Excel berechnet.

Als weiterer Indikator für die mögliche Veränderung von Vorstellungen wurde zum anderen zu Beginn und am Ende der Bildungsangebote die offene, sehr allgemeine Frage „Was ist Energie?“ gestellt und die Antworten zu den verschiedenen Zeitpunkten verglichen.

### *Beteiligte Kinder*

Im Zeitraum von Juli 2017 bis Dezember 2017 haben 35 Kinder an den außerschulischen AGs zum Thema Energie teilgenommen. Diese teilten sich auf zwei Gruppen auf:

Gruppe 1 bestand aus 18 Kindern, wobei acht der Kinder Jungen waren und Gruppe 2 bestand aus 16 Kindern, von denen sechs Jungen waren.

Das durchschnittliche Alter der Kinder betrug zehn Jahre. Bei der Darstellung der Ergebnisse aus Pre- und Posttest werden alle Kinder berücksichtigt, die sowohl am Pre- als auch am Posttest teilgenommen haben.

## 7.1 Ergebnisse aus dem Berichtszeitraum Juli bis Dezember 2017

### *Pre- und Posttest*

#### **Gruppe 1**

Die Kinder der Gruppe 1 füllten den teilgenommenen Modulen entsprechend die Tests zu Grundlagen des Energiekonzepts, Energiespeicherung und Energieeffizienz aus. Die maximal zu erreichende Punktzahl in Energiegrundlagen-Test (Energieformen, Energieumwandlungen, Energieerhaltung, Energie sparen/verschwenden) beträgt 18 Punkte. Im Mittel wurden im Pretest 9 Punkte (Standardabweichung  $SD=2.4$ ) und im Posttest 16 Punkte ( $SD=2,2$ ) erreicht. In der Abbildung 10 sind die Antworten zu den einzelnen Aufgaben und ihren Antwortoptionen dargestellt.

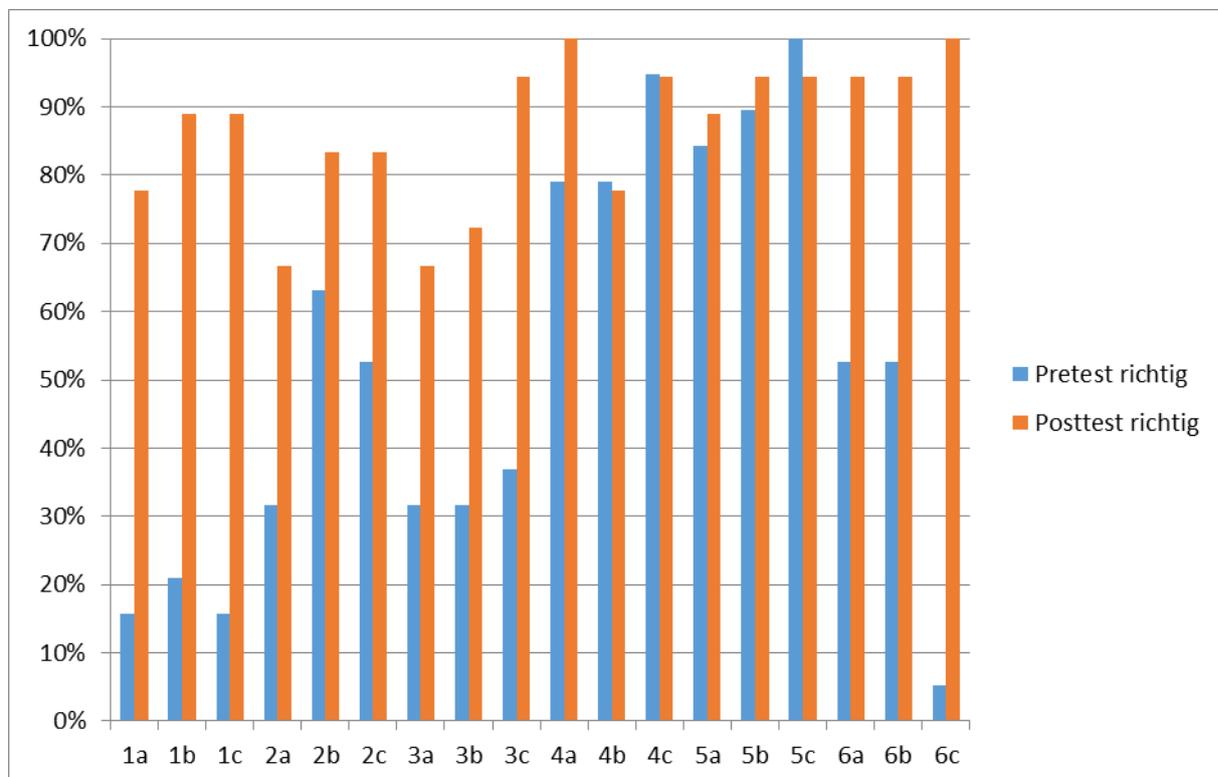


Abb. 10: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Grundlagen Energie) für alle Kinder der Gruppe 1

Bei zwei der stärker übergeordneten Fragen des Tests wurde zudem analysiert, wie kohärent die Kinder antworten. Ausgehend davon, dass die Veränderung von Vorstellungen ein langwieriger Prozess ist, der in der Regel nicht gradlinig, sondern über viele Zwischenvorstellungen verläuft, findet man häufig Lerner, die richtige Vorstellungen bejahen, aber falsche Vorstellungen noch nicht ablehnen. Hierfür wurden bei den Aufgaben 1 und 6 Einzelitems der entsprechenden Aufgabenstämme zusammen (z.B. Frage 1a, 1b und 1c = Frage 1) und „hart“ kodiert. Das bedeutet, dass ein Kind lediglich einen Punkt erhält, wenn es alle drei „Unteraufgaben“ richtig beantwortet hat. Die Aufgaben bezogen sich auf typische Vorstellungen zur Energieerhaltung (Aufgabe 1 entspricht der vorne aufgeführten Beispielaufgabe). Hier sieht man, dass es lediglich einem der Kinder gelingt, zum ersten Messzeitpunkt eine der zwei Fragen kohärent zu beantworten, während es beim zweiten Messzeitpunkt 12 bzw. 16 der insgesamt 18 Kinder gelingt.

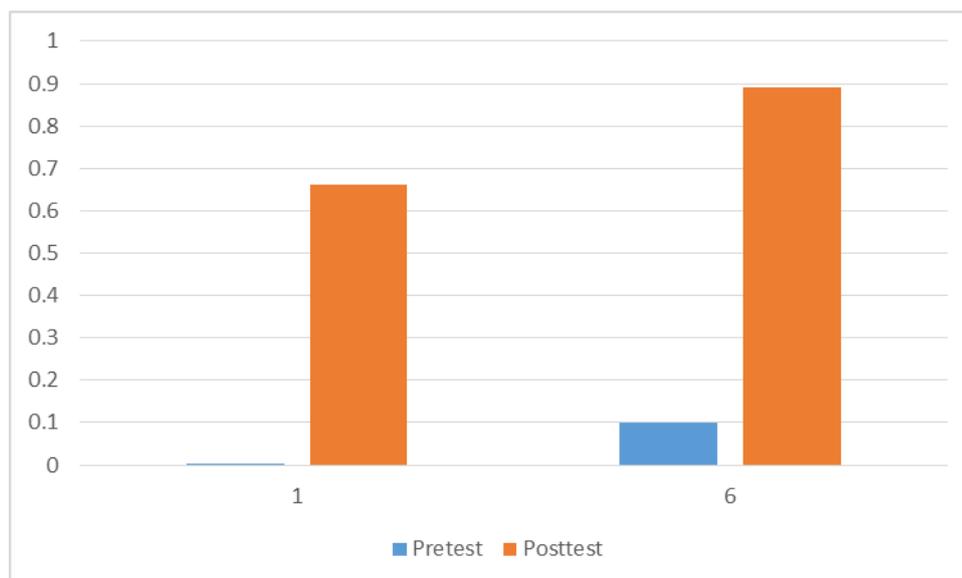


Abb. 11: Zusammengeführte Aufgaben 1 und 6 im Pre- und Posttest für alle Kinder der Gruppe 1

In dem Test zur Energiespeicherung konnten wiederum maximal 18 Punkte erreicht werden. Hier erzielte die Gruppe 1 im Pretest im Mittel 12 Punkte ( $SD=2.4$ ) und im Posttest 16 Punkte ( $SD=1,2$ ). In der Abbildung 12 sind die Antworten zu den einzelnen Aufgaben und ihren Antwortoptionen dargestellt.

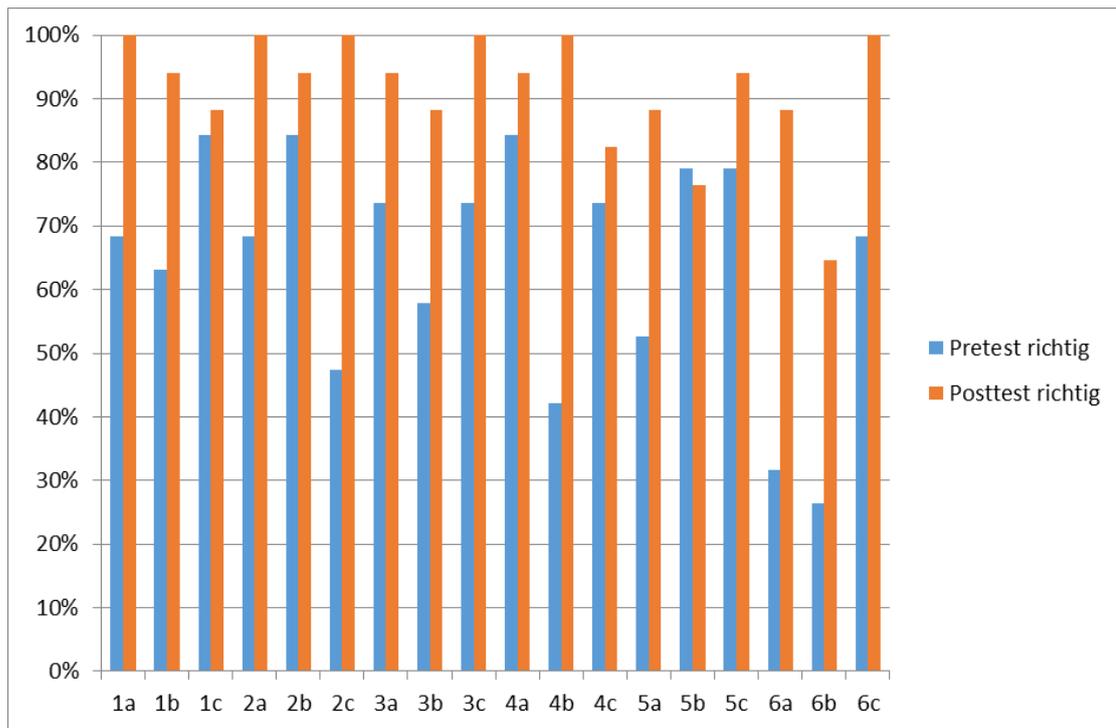


Abb. 12: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Energiespeicherung) für alle Kinder der Gruppe 1

In dem Test zur Energieeffizienz erzielten die Kinder im Pretest im Mittel 13 von 18 Punkten (SD=3.0) und im Posttest 17 Punkte (SD=1,1). In der Abbildung 13 sind die Antworten zu den einzelnen Aufgaben und ihren Antwortoptionen dargestellt.

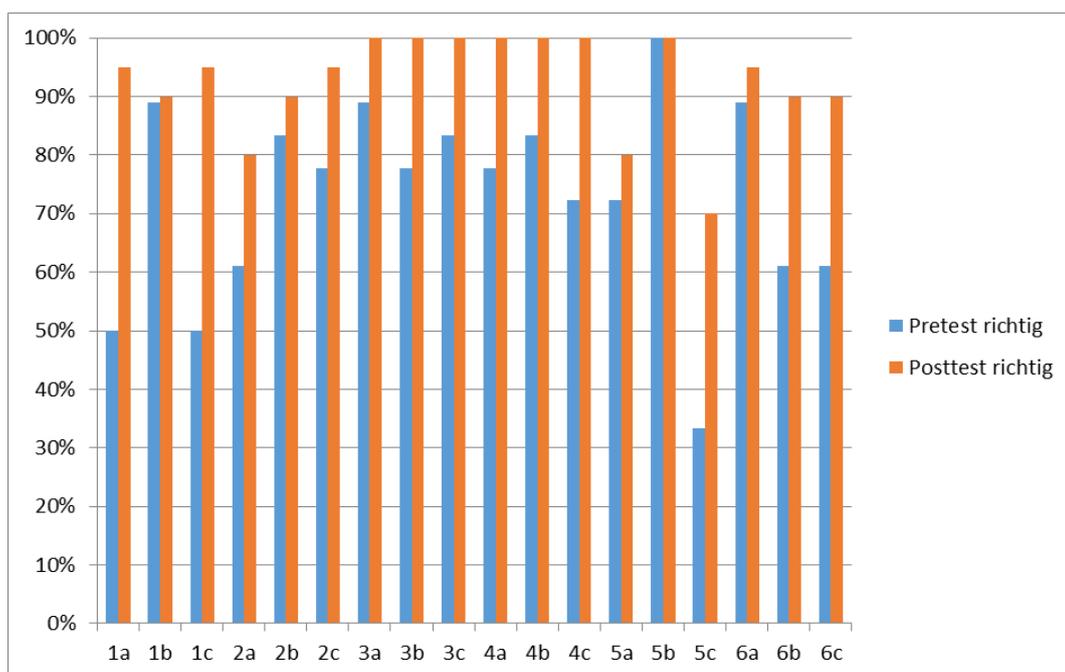


Abb. 13: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Energieeffizienz) für alle Kinder der Gruppe 1

## Gruppe 2

Die Kinder der Gruppe 2 füllten den teilgenommenen Modulen entsprechend die Tests zu Grundlagen des Energiekonzepts, chemische Energieträger und Kohlenstoffdioxid aus. Im Mittel wurden wie in Gruppe 1 im Pretest 9 der 18 Punkte erreicht (SD=1.8) und im Posttest 15 Punkte (SD=1,9) erreicht. In der Abbildung 14 sind die Antworten zu den einzelnen Aufgaben und ihren Antwortoptionen dargestellt.

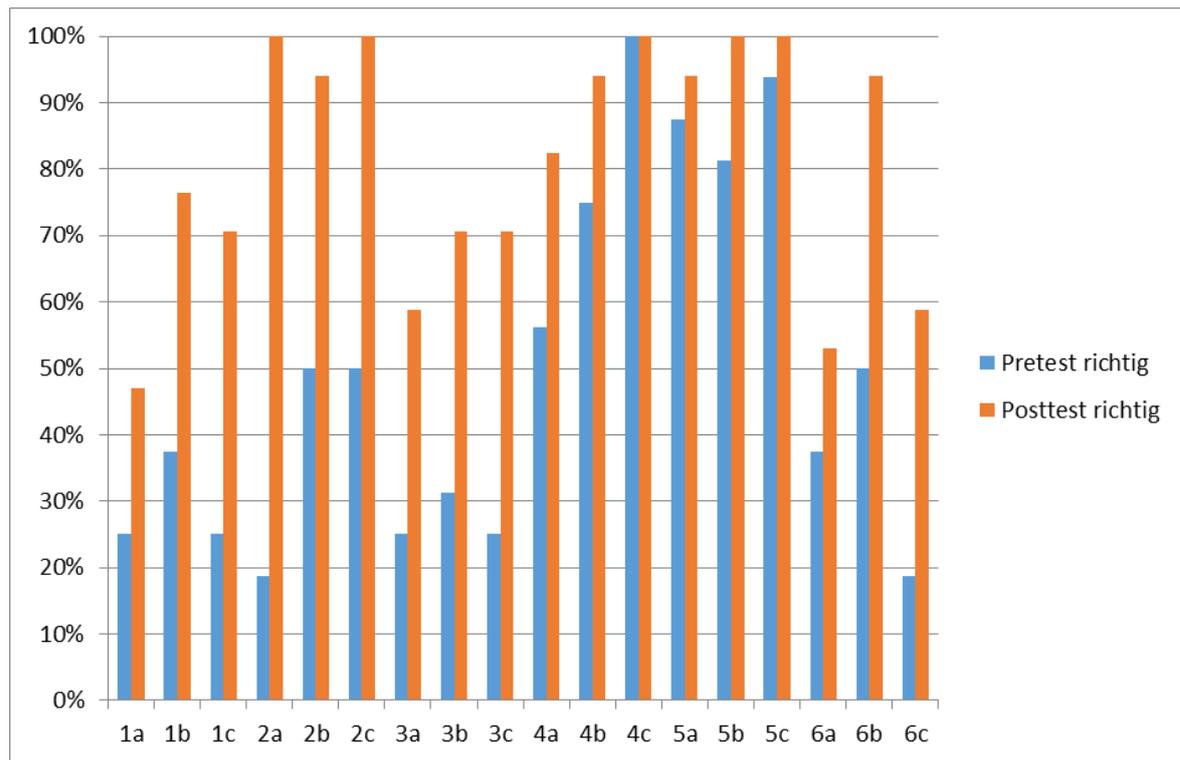


Abb. 14: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Grundlagen Energie) für alle Kinder der Gruppe 2

Genau wie bei der Gruppe 1 wurde auch hier bei den Fragen 1 und 6 analysiert, inwiefern es den Kindern gelingt, kohärent auf übergeordnete Fragen zu antworten. Hier sieht man, dass es keinem der Kinder gelingt, zum ersten Messzeitpunkt beide Fragen kohärent zu beantworten und auch beim zweiten Messzeitpunkt gelingt es lediglich 7 bzw. 5 der 17 Kinder.

Hier sieht man, dass es keinem der Kinder gelingt zum ersten Messzeitpunkt alle drei Fragen kohärent zu beantworten und auch beim zweiten Messzeitpunkt gelingt es lediglich knapp der Hälfte bzw. einem Drittel der Kinder.

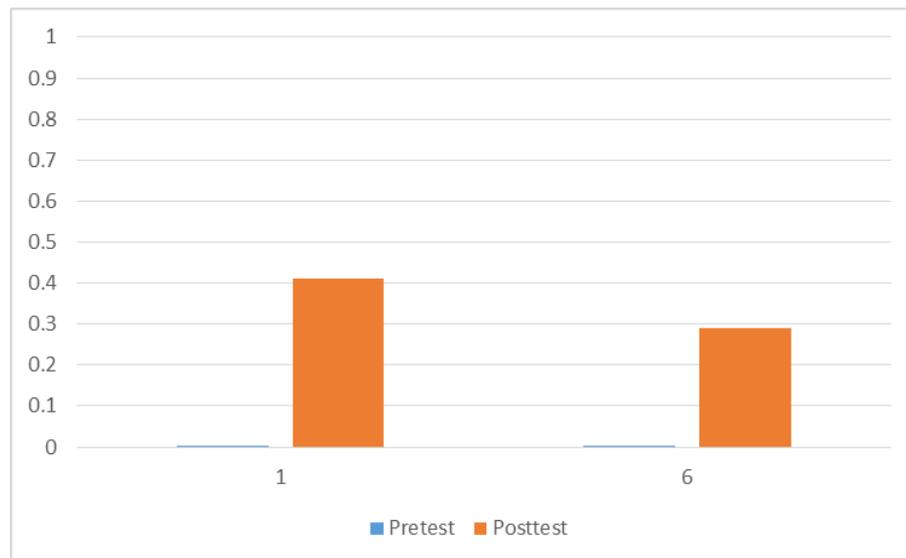


Abb. 15: Zusammengeführte Aufgaben 1 und 6 im Pre- und Posttest für alle Kinder der Gruppe 2

In dem Test zu chemischen Energieträgern erzielten die Kinder im Pretest im Mittel 9 von 18 Punkten ( $SD=1.8$ ) und im Posttest 17 Punkte ( $SD=0.9$ ). In der Abbildung 16 sind die Antworten zu den einzelnen Aufgaben und ihren Antwortoptionen dargestellt.

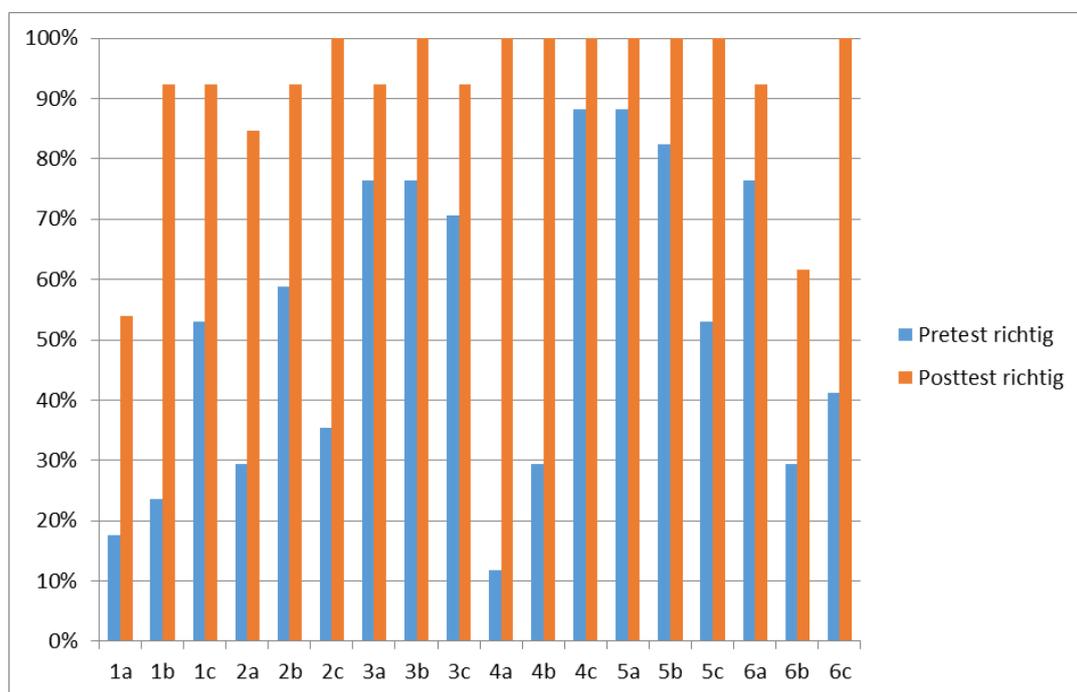


Abb. 16: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (chemische Energieträger) für alle Kinder der Gruppe 2

In dem Test zur Energieeffizienz erzielten die Kinder im Pretest im Mittel 11 von 18 Punkten (SD=1.7) und im Posttest 17 Punkte (SD=0.7). In der Abbildung 17 sind die Antworten zu den einzelnen Aufgaben und ihren Antwortoptionen dargestellt.

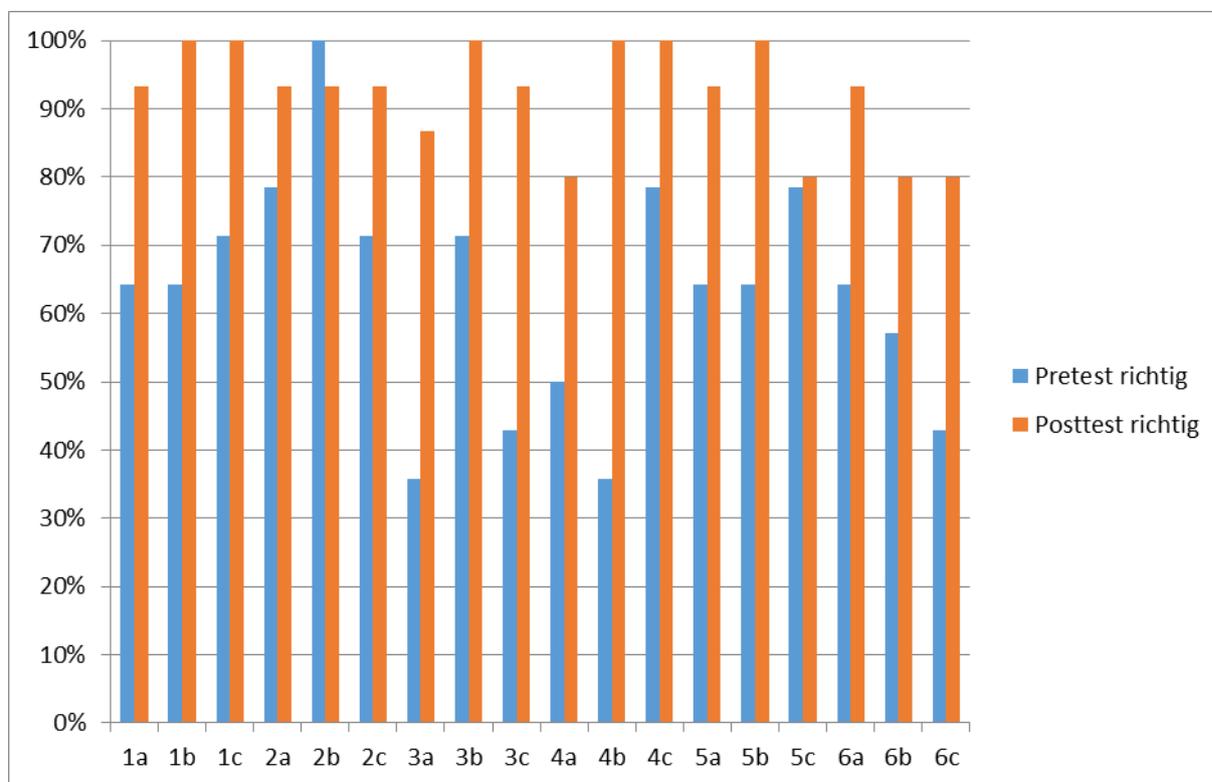


Abb. 17: Prozentualer Anteil richtiger Lösungen im Pre- und Posttest (Energieeffizienz) für alle Kinder der Gruppe 2

### Auswertung offene Frage

Neben dem Test mit dem geschlossenen Antwortformat wurde den Kindern zusätzlich die sehr allgemeine Frage „Was fällt Dir zu Energie ein?“ gestellt. Hier zeigen sich zu Beginn des Moduls die aus der Literatur bekannten Schülervorstellungen, so wird Energie von den Kindern überwiegend mit Kraft und Strom gleichgesetzt („Energie ist eine besondere Kraft“ oder „Das ist Strom eigentlich“). Lediglich zwei Antworten deuten darauf, dass die Kinder eine erste anschlussfähige Vorstellung einer Definition von Energie als einer Fähigkeit, Veränderungen hervorzurufen („Die Sache die man dafür braucht etwas zu betreiben, zum Beispiel den Körper oder den Fernseher.“). Die Antworten der Kinder nach der Teilnahme an den Bildungsangeboten zeigen deutlich, dass die Kinder sich intensiv mit Energieformen auseinandergesetzt haben. So verweisen hier viele Antworten darauf, dass Energie in verschiedenen Formen vorkommen kann („Energie ist unsichtbar und es gibt verschiedene Formen“). Andere

Antworten deuten auf Energieformen und Energieerhaltung. Sichtbar wird, dass die Kinder nach der Teilnahme an den Bildungsangeboten andere zusätzliche Dinge mit dem Begriff Energie assoziieren. Ob sie diese Aspekte, die für das Basiskonzept Energie grundlegend sind, tatsächlich verstanden haben, lässt sich an den Antworten nicht ablesen.

### **Zusammenfassung**

In beiden Gruppen zeigt sich über die Themen hinweg in den standardisierten Tests ein ähnliches Bild. Die Kinder schneiden deskriptiv im Posttest besser ab, die Standardabweichung wird kleiner, das bedeutet, dass die Streuung um den Mittelwert sich zum zweiten Messzeitpunkt verringert. Erwartungsgemäß finden sich Unterschiede in den einzelnen Aufgaben, so lassen sich bei manchen Aufgaben kaum Unterschiede in den Messzeitpunkten erkennen. Ursächlich könnte zum einen die Nicht-Thematisierung des erfragten Aspekts in den Modulen sein oder zum anderen das hohe Vorwissen der Kinder, das die Abbildung von Lernzuwächsen mit den vorliegenden Aufgaben erschwert.

### **7.2 Diskussion der Ergebnisse aus dem Gesamtprojekt**

Die Ergebnisse der standardisierten Befragungen in den verschiedenen Phasen des Projektes zeigen ein relativ ähnliches Bild. Deskriptiv steigern die Kinder ihr Wissen, auf Signifikanzprüfungen wurde angesichts der kleinen Gruppengrößen verzichtet. Gleichzeitig verringert sich im Nachtest die Spanne zwischen den niedrigsten und höchsten Punktzahlen, die im Test erreicht wurden und entsprechend nimmt auch die Standardabweichung ab. Das deutet darauf hin, dass Kinder mit unterschiedlichen Voraussetzungen von den Bildungsangeboten profitieren.

Die Ergebnisse aller Pretests verweisen darauf, dass die Kinder bereits mit einem relativ hohen Vorwissen in das Bildungsangebot gekommen sind. Bei keiner der Fragen lassen sich beispielsweise Bodeneffekte erkennen, vergleichbare Aufgaben zu dem ausgesprochen anspruchsvollen Konzept der Energie in anderen Untersuchungen würden vermutlich deutlich größere Unterschiede zum ersten Messzeitpunkt produzieren. Es liegt nahe hier einen Selektionseffekt anzunehmen, da vermutlich nur besonders interessierte und damit einhergehend Kinder mit viel Vorwissen an den extracurricularen und nicht primär durch die Schule organisiertem Angeboten teilnehmen. Erfreulich ist, dass die teilnehmenden Kinder ungefähr gleich viele Mädchen wie Jungen umfassen.

Auch die Ergebnisse der Tests lassen keinen Hinweis auf systematische geschlechtsspezifische Unterschiede zu. Diese Ergebnisse decken sich auch mit den Eindrücken der AG-Leiterinnen, die hier keine bemerkenswerten genderspezifischen Auffälligkeiten beschreiben. In den letzten Jahren werden generell die Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen bezüglich der Leistung oder des Interesses im Grundschulalter in Bezug auf die Naturwissenschaften nicht als gravierend angenommen (Wendt et al., 2016). Trotzdem ist dieser Eindruck an dieser Stelle in positiver Weise bemerkenswert, da in den Lernangeboten recht viele technische Kontexte genutzt wurden, die Mädchen häufig weniger ansprechen als zum Beispiel biologisch-medizinische Kontexte (Holstermann & Bögeholz, 2007).

In einzelnen Aufgaben lassen sich parallel vorliegende widersprüchliche Vorstellungen erkennen (vgl. Auswertungen zu den Aufgaben 1 und 6 aus dem Modul 1). So werden in der Aufgabe 1 aus dem Modul Chemische Energieträger die Kinder gefragt „Wenn Holz verbrennt, wird es darum herum warm. Woher stammt die Energie für die Wärme?“ Fast alle Kinder stimmen dabei im Posttest der Aussage 1b „Die Energie war im Holz gespeichert“ zu, während lediglich etwas über der Hälfte die Aussage „Die Energie entsteht erst, wenn das Holz angezündet wird.“ ablehnt. Dies ist ein aus der Literatur bekanntes Phänomen, dass der Aufbau von kohärenten Vorstellungen bei schwierigen Konzepten wie dem Energiekonzept ein Prozess ist, der sich in der Regel über mehrere Jahre vollzieht. Hier muss auch berücksichtigt werden, dass die Intervention sich zwar über einen längeren Zeitraum erstreckte, aber trotzdem insgesamt nur wenige Stunden umfasst. Unabhängig davon deuten die Ergebnisse auf einen Lernfortschritt zum Thema Energie. Das hier entwickelte Wissen kann wiederum als Grundlage für das anschließende Lernen, das Interesse an dem globalen Schlüsselproblem Energie, aber auch für ein umweltorientiertes Handeln angenommen werden.

## **8 Fazit**

Schon Schulkinder sollen möglichst früh ein Bewusstsein für ihre Umwelt und den verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen entwickeln, da dieses als grundlegend für ein entsprechendes umweltorientiertes Verhalten angesehen wird. Umweltorientiertes Handeln wie sparsamer Umgang mit Wasser und Energie oder Mülltrennung wird heute an vielen Schulen auch im Schulalltag gefördert. Über das angeleitete Handeln hinaus sollten die SchülerInnen aber auch ein wirkliches Verständnis für diese Aspekte entwickeln, dafür können diese Themen speziell im Sachunterricht vertieft werden. Mit

den in diesem Projekt entwickelten Modulen zu unterschiedlichen Schwerpunkten aus dem Themenbereich 'Chemie und Energie' steht das Material zur Verfügung, mit dem Schulkinder ab Klasse 4 und im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht an weiterführenden Schulen die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Energiekonzepts sowie die erneuerbaren Energien erarbeiten können. Im Mittelpunkt steht dabei der am Phänomen orientierte und experimentelle Zugang. Entscheidend für das Verständnis und die Bereitschaft der Kinder, sich mit dem abstrakten Begriff Energie auseinander zu setzen, ist ein konkreter Bezug zur Lebenswelt der Kinder. Die Kinder sollen erkennen, dass auch ihr eigenes Handeln bedeutend ist, und so ein größeres Verständnis für nachhaltige Handlungsweisen entwickeln, sodass diese leichter akzeptiert und verstärkt werden.

Der fachwissenschaftliche Fokus wird mit der Bewertungskompetenz im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BnE) verknüpft. Bei BnE geht es nicht in erster Linie um konkretes Wissen, sondern um Kompetenzen, die einen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigen. Diese Vorgehensweise findet sich immer stärker in den Curricula wieder, in denen neben dem Erkenntnisgewinn auch die Kompetenzen Kommunikation und Bewertung berücksichtigt werden. Dazu gehört die Fähigkeit, Sachverhalte zu erfassen und aus unterschiedlichen Perspektiven zu bewerten. Die Kinder erwerben die Fähigkeit, ihr Handeln im Alltag zu reflektieren und in Richtung des Nachhaltigkeitsgedanken auszurichten. Bei den im Rahmen dieses Projekts entwickelten Modulen bietet sich an verschiedenen Stellen die Gelegenheit, diese Fähigkeiten zu trainieren. Darauf kann dann im naturwissenschaftlichen Anschlussunterricht aufgebaut werden.

Nicht alle Lehrkräfte an Grundschulen haben eine naturwissenschaftliche Ausbildung, da Sachunterricht zum Teil fachfremd unterrichtet wird oder aber von Sachunterrichtslehrkräften mit nicht naturwissenschaftlichen Bezugsfächern. Es ist zu erwarten, dass sie daher bei Themen aus dem naturwissenschaftlichen Bereich eine gewisse Hemmschwelle haben und diese Themen nicht oder nicht in größerem Umfang im Unterricht behandeln. Dies gilt auch für das Thema Energie. Materialien und Fortbildungen sind ein Ansatzpunkt, um Lehrkräfte zu unterstützen, das Thema in den Unterricht aufzunehmen. Deshalb sollen auch künftig entsprechende Lehrerfortbildungen angeboten werden. Anschließend können die Lehrkräfte mit ihren Klassen die angebotenen Module im Schülerlabor durchführen und die Besuche angemessen in den Unterricht einbauen.

Zur Fortführung werden die im Rahmen dieses Projekts entwickelten Module in das bestehende Angebot des Agnes-Pockels-Labors integriert und stehen damit dann allen BesucherInnen offen. Alternativ stehen die Inhalte auch in Form von Experimentierkisten für den Verleih zum Einsatz in der Schule zur Verfügung, sodass auch Schulen, denen ein Laborbesuch nicht möglich ist, das Angebot nutzen können.

Die Projektinhalte werden außerdem auf der Homepage des Agnes-Pockels-Labors ([www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor](http://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor)) und im Netzwerk zur MINT-Nachhaltigkeitsbildung mint.NB ([www.mint-nachhaltigkeitsbildung.de](http://www.mint-nachhaltigkeitsbildung.de)) veröffentlicht und damit allen anderen Interessierten zur Verfügung gestellt. So soll eine möglichst große Verbreitung der Inhalte erreicht werden.

## 9 Quellenverzeichnis

- Praxis der Naturwissenschaften Chemie – Chemie in der Schule (PdN-ChiS), N. Huber, W. Habelitz-Tkotz: Stolpersteine auf dem Weg zu einem naturwissenschaftlichen Energie-Konzept, 2015 64(2) 29 – 36
- Praxis der Naturwissenschaften Physik – Physik in der Schule (PdN-PhiS), R. Kienle, G. Kirchgeßner: Der Energiebegriff im Anfangsunterricht, 2008 57(2) 29 - 35
- Praxis der Naturwissenschaften Physik – Physik in der Schule (PdN-PhiS), R. Müller: Einführung der Energie, 2008 5(2) 35 - 38
- Unterricht Biologie, Energie in der Biologie (411), Friedrich-Verlag, Seelze 2016
- Unterricht Biologie, Pflanzen für Energie (412), Friedrich-Verlag, Seelze 2016
- Naturwissenschaften im Unterricht Physik (NiU), S. Bresler: Bildergalerie Energieumwandlungen, 2007 101 9-13
- <http://www2.vobs.at/bio/botanik/b-photosynthese-1.htm>
- BIOACID / Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), Das andere CO<sub>2</sub>-Problem – Ozeanversauerung, Kiel 2012
- Unterricht Biologie, U. Harms: Ohne Energie geht gar nichts, 411 (2016) 2-11
- Unterricht Physik, R. Duit: Energie – Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts, 18 (2007) 4-7
- Unterricht Biologie, Konkurrenz zwischen Teller und Tank, 412 (2016) 14-25
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). (2010). Erneuerbare Energien. Arbeitsheft für Schülerinnen und Schüler. Grundschule. Berlin: BMU.

- Opitz, S., Neumann, K., Bernholt, S., & Harms, U. (2016). How do students understand energy in biology, chemistry, and physics?: Development and validation of an assessment instrument. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*.
- Korsch, L. (2012): Strom aus dem Teebeutel - Ein Schülerexperiment mit Farbstoff-solarzellen, Bachelorarbeit, Universität Mainz
- D. Wiechoczek, Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie: Vorversuch zum Zink-Iod-Akkumulator sowie: Der reversible Zink-Iod-Akku als Modellversuch zum Zink-Brom-Akkumulator, abgerufen am 21.04.2015 unter:  
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/echemie/vzni2akv.htm> und  
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/echemie/znjakkuv.htm>
- Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71–86.
- Wendt, H., Steinmayr, R. & Kasper, D. (2016). Geschlechterunterschiede in mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen. In H. Wendt, W. Bos, C. Selzer, O. Köller, K. Schwippert & D. Kasper (Hrsg.). *TIMSS 2015. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland* (S. 257–298). Münster: Waxmann.