

# **Experimentelle pädagogische Angebote zu 'Chemie und Energie' in chemisch arbeitenden SchülerInnenlaboren - Bestandsaufnahme, Tagung und Publikation**

Abschlussbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
(Az 31178-41)

Projektleitung: Prof. Dr. Petra Mischnick  
Projektdurchführung: Dr. Ilka Deusing-Gottschalk  
unter Mitwirkung von: Kristiena Matis

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Lebensmittelchemie  
Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor

Braunschweig, Juni 2013 - Februar 2015

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



|    |              |         |           |             |                 |
|----|--------------|---------|-----------|-------------|-----------------|
| Az | <b>31178</b> | Referat | <b>41</b> | Fördersumme | <b>64.544 €</b> |
|----|--------------|---------|-----------|-------------|-----------------|

**Antragstitel** Experimentelle pädagogische Angebote zu „Chemie und Energie“ in chemisch arbeitenden SchülerInnenlaboren – Bestandsübersicht, Tagung und Publikation

**Stichworte** „Chemie und Energie“ – experimentelle Angebote – außerschulische Lernorte

|                  |                   |                   |                 |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Laufzeit         | Projektbeginn     | Projektende       | Projektphase(n) |
| <b>21 Monate</b> | <b>01.06.2013</b> | <b>28.02.2015</b> |                 |

Zwischenberichte

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

**Kooperationspartner** Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), Frankfurt a. Main

### ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Um der grundlegenden Bedeutung des Bereichs „Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung, Energieversorgung“ gerecht zu werden, müssen im gesamten primären Ausbildungssektor die elementaren naturwissenschaftlichen Kenntnisse und Zusammenhänge vermittelt werden.

Dieses Projekt soll einen möglichst umfassenden Überblick über bereits vorhandene Beiträge aus dem Bereich Chemie ermöglichen. Es geht der Frage nach „Was gibt es an außerschulischen Lernorten an experimentellen Angeboten zum Themenbereich 'Chemie und Energie'? Wo sind weiße Flecke? Damit sollen die Bereiche identifiziert werden, in denen noch Entwicklungsbedarf besteht. Die Ergebnisse sollen mit ExpertInnen diskutiert und auf einer Tagung präsentiert werden.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Die Recherche erfolgte in mehreren Schritten. Ausgewählte Fachzeitschriften wurden nach einschlägigen Veröffentlichungen durchgesehen, um einen grundsätzlichen Überblick zu erhalten und die für das Energiethema relevanten Beiträge der Chemie herauszukristallisieren. Auf dieser Grundlage wurde ein Fragebogen entwickelt, mit dem eine strukturierte Befragung der bei LernortLabor registrierten Schülerlabore erfolgte. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden WissenschaftlerInnen mit der Bitte um Stellungnahme und Kommentierung der Ergebnisse vorgelegt, dazu gehörten sowohl ExpertInnen für die jeweiligen Fachgebiete als auch aus Chemiedidaktik, Schülerlaboren und Schule.

Die Ergebnisse der Recherche wurden in einer Broschüre veröffentlicht und auf einer Tagung im Zentrum für Umweltkommunikation (ZUK) diskutiert. Abschließend wurden sie in eine allgemein zugängliche und nutzbare Form gebracht, die grundsätzlich eine Aktualisierung zulässt. Es handelt sich um eine nach Kategorien sortierte EXCEL-Datei mit Quellenangaben. Diese steht ebenso wie die Projektbroschüre auf der Homepage des Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labors zum Download zur Verfügung.

## **Ergebnisse und Diskussion**

An der Umfrage haben 44 Schülerlabore teilgenommen, von denen 31 Angebote zum Thema hatten. Es wurden 122 Angebote in einer Übersicht erfasst und ausgewertet. Die meisten Angebote richten sich an SchülerInnen der Klassen 11-13 (94), gefolgt von den Klassen 7-10 (78). Angebote bis Klasse 6 sind selten (14). Allein im Themenbereich Recycling von Sekundärstoffen ist das Angebot altersmäßig ausgewogen (12 Angebote, 3-5 Angebote je Altersstufe).

Themenbereiche wie Energiewandlung und -speicherung umfassen ein weites Feld, hierzu gibt es ein zahlenmäßig großes Angebot (insgesamt 82 Nennungen), die meisten zu Photovoltaik und Brennstoffzellen. Bei deutlich chemisch geprägten Themenbereichen wie Katalyse oder 'Intelligente' Materialien ist der Aspekt 'Energie' meist nicht so unmittelbar gegeben oder erkennbar, hier gibt es deutlicher weniger Angebote (28). Die identifizierten Lücken sowohl hinsichtlich der angebotenen Themen als auch mit Blick auf die Zielgruppen sollten mit entsprechenden Angeboten gefüllt werden.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Auf der 31. Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh (Kiel, 11.-13. 09.2014) wurde das Projekt auf einem Poster präsentiert, die Tagung wurde angekündigt, ebenso in der Ausgabe 4(2014) der CHEMKON.

Es wurde eine Broschüre erarbeitet, in der das Projekt, die Erkenntnisse daraus, beispielhafte Experimente aus Schülerlaboren dazu zusammen mit Stellungnahmen von Wissenschaftlern aus relevanten Fachgebieten, Chemiedidaktik, Schülerlabor und Schule zusammengestellt sind. Die Broschüre hat einen Umfang von 102 Seiten und enthält eine Übersicht über die im Rahmen des projekt erfassten Experimente. Die Auflage beträgt 1000 Stück. Das Agnes-Pockels-Labor verschickt die Broschüre kostenfrei an Interessenten, solange der Vorrat reicht. Außerdem steht sie auf der Homepage des Agnes-Pockels-Labors (<https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor>) zum Download zur Verfügung.

Die Abschlusstagung des Projekts fand am 16.01.2015 im Zentrum für Umweltkommunikation der DBU Osnabrück statt. Die Veranstaltung richtete sich an Lehrkräfte der Chemie bzw. des allgemeinen naturwissenschaftlichen Unterrichts, an ChemiedidaktikerInnen an den Hochschulen, BetreiberInnen außerschulischer Lernorte im Bereich Chemie oder vergleichbarer Einrichtungen und natürlich auch Interessierte von Verbänden und Institutionen, die sich mit dieser Thematik beschäftigen. Einladungen für die Tagung waren zuvor an Schülerlabore, GDCh-Lehrerfortbildungszentren und Chemie-Didaktiken an Universitäten, jeweils mit der Bitte um Weitergabe an Interessierte, insbesondere Lehrkräfte, und weitere Interessengruppen versendet worden. Im Rahmen dieser Tagung wurde die Projektbroschüre veröffentlicht. Die DBU gab gleichzeitig eine Pressemitteilung mit Informationen zum Projekt, seinen Erkenntnissen und der Tagung heraus, die anschließend weitere Medien übernahmen.

Die Projektbroschüre wurde anschließend an die Teilnehmer/innen der Tagung, die Schülerlabore, die an der Umfrage teilgenommen hatten, sowie alle anderen Unterstützer/innen des Projekts verteilt. Ein Teil der Auflage ging an die GDCh (100 Stück) und an die DBU (200 Stück) zur weiteren Verteilung. Größere Stückzahlen gingen außerdem an das Lehrerfortbildungszentrum Nürnberg, die Chemiedidaktik der TU Braunschweig und an die weiterführenden Schulen in Braunschweig. Weitere Exemplare wurden an diverse Interessenten versendet.

Auf der 10. Jahrestagung von LernortLabor (Berlin, 08.-10.03.2015) wurden das Projekt und die Erkenntnisse daraus auf einem Poster präsentiert.

## **Fazit**

Es gibt in den Schülerlaboren durchaus ein vielfältiges Angebot an Experimenten zu 'Chemie und Energie' für die Klassenstufen ab 7. Eine Ausweitung der Angebote auch für jüngere SchülerInnen ist erforderlich.

Die Schülerlabore verfahren sehr unterschiedlich, was die Verbreitung und Weitergabe ihrer Experimente betrifft. Es ist teilweise schwierig, umfassende Informationen über Angebote zu erhalten. Der Transfer zwischen den Schülerlaboren sollte gefördert werden, schon dadurch ließe sich das Angebot verbreitern.

In jedem Fall sollte ein enger Austausch zwischen Fachwissenschaft, Chemiedidaktik und Schülerlabor erfolgen, damit auch aktuelle Themen aus der Forschung angemessen aufbereitet zeitnah ihren Weg zu den SchülerInnen finden. Dies betrifft besonders die Bereiche Katalyse und 'Intelligente' Materialien.

Schülerlaborangebote sind inzwischen fest etabliert und werden von den Schulen für ihre Arbeit zu als Ergänzung zum Schulunterricht gern genutzt. Daher sollten die Rahmenbedingungen für Schülerlabore verbessert werden, damit die Fortführung ihrer Arbeit auch künftig gewährleistet ist.

# **Experimentelle pädagogische Angebote zu 'Chemie und Energie' in chemisch arbeitenden SchülerInnenlaboren - Bestandsaufnahme, Tagung und Publikation**

## **Inhaltsverzeichnis**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1 Hintergrund und Stand des Wissens</b>                     | <b>7</b>  |
| <b>2 Vorgehensweise</b>  | <b>7</b>  |
| <b>3 Literaturrecherche und Identifizierung der Kernthemen</b> | <b>8</b>  |
| 3.1 Literaturrecherche   | 8         |
| 3.1.1 Ziel der Recherche                                       | 8         |
| 3.1.2 Chemiedidaktische Fachzeitschriften                      | 8         |
| 3.1.3 Themenhefte der GDCh                                     | 10        |
| 3.2 Einordnung und Abgrenzung der Kernthemen                   | 11        |
| 3.2.1 Identifizierung der Kernthemen                           | 11        |
| 3.2.2 Katalyse   | 11        |
| 3.2.3 "Energiegewinnung" bzw. Energiewandlung                  | 11        |
| 3.2.4 Energiespeicherung                                       | 12        |
| 3.2.5 'Intelligente Materialien' zum Thema Chemie und Energie  | 13        |
| 3.2.6 Recycling und Einsatz von Sekundärrohstoffen             | 13        |
| <b>4 Umfrage in Schülerlaboren</b>                             | <b>13</b> |
| 4.1 Ablauf der Umfrage   | 13        |
| 4.1.1 Entwicklung des Fragebogens                              | 13        |
| 4.1.2 Testlauf   | 15        |
| 4.1.3 Durchführung der Umfrage                                 | <b>16</b> |
| 4.2 Ergebnisse   | 17        |
| 4.2.1 Statistische Auswertung                                  | 17        |
| 4.2.2 Inhaltliche Auswertung der Experimente                   | 20        |
| <b>5 Erstellung der Projektbroschüre</b>                       | <b>23</b> |
| 5.1 Allgemeine Informationen                                   | 23        |
| 5.2 Eigene Beiträge  | 23        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.3      | Stellungnahmen aus der Fachwissenschaft  | 25        |
| 5.4      | Stellungnahmen aus Chemiedidaktik, Schülerlabor und Schule   | 25        |
| 5.5      | Beispielhafte Experimente aus Schülerlaboren   | 25        |
| 5.6      | Andere Institutionen   | 26        |
| <b>6</b> | <b>Tagung</b>  | <b>26</b> |
| 6.1      | Allgemeine Informationen   | 26        |
| 6.2      | Beiträge der ReferentInnen   | 27        |
| 6.2.1    | Ilka Deusing-Gottschalk und Petra Mischnick:<br>Projekt 'Chemie und Energie in Schülerlaboren'                 | 27        |
| 6.2.2    | Marco Oetken und Isabel Rubner: Erneuerbare Energien<br>als Gegenstand der naturwissenschaftlichen Bildung     | 28        |
| 6.2.3    | Armin Reller: Geschichten von Stoff- und Energietransformationen   | 28        |
| 6.2.4    | Rolf Hempelmann: Energieversorgung der Zukunft - der Beitrag der Chemie  | 29        |
| 6.2.5    | Ilka Parchmann: Das Thema Energie in der Bildung –<br>Perspektiven für schulisches und außerschulisches Lernen | 29        |
| 6.2.6    | Nicole Garner: Energie aus nachwachsenden Rohstoffen -<br>Experimentelle Angebote für Schülerlabore            | 29        |
| 6.2.7    | Rolf Hempelmann: Schülerlabore & Neue Energien   | 29        |
| 6.2.8    | Nicole Garner: Schülerlabore aus Sicht der Schulen   | 30        |
| 6.3      | Abschlussdiskussion  | 30        |
| <b>7</b> | <b>Fazit</b>   | <b>31</b> |
| <b>8</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>32</b> |

## **Anhang**

Fragebogen 'Chemie und Energie in Schülerlaboren'

Tagungsflyer 'Chemie und Energie in Schülerlaboren 2015'

## **Anlage**

Projektbroschüre "**Chemie und Energie in Schülerlaboren - Was gibt es? Was ist zu tun?**" inkl. CD mit der Übersicht der experimentellen Angebote zum Thema 'Chemie und Energie' in Schülerlaboren

### **Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1: Anzahl der angebotenen Experimente je Klassenstufe
- Abb. 2: Anzahl der Schülerlabore mit Angeboten für die jeweilige Klassenstufe
- Abb. 3: Angebote zur Energiegewinnung/-wandlung und Energiespeicherung
- Abb. 4: Eingesetzte Solarzellen in den experimentellen Angeboten zur Photovoltaik
- Abb. 5: Eingesetzte Brennstoffe in den experimentellen Angeboten zur Brennstoffzelle
- Abb. 6: Energieträger in den experimentellen Angeboten zu Chemischen Energiespeichern

### **Tabellenverzeichnis**

- Tab. 1: Übersicht über projektrelevante Schwerpunktthemen in den Zeitschriften PdN-ChiS und NiU-C in den vergangenen Jahren
- Tab. 2: Zugang zu den Angeboten der an der Umfrage beteiligten Schülerlabore
- Tab. 3: Freigaberegungen für Versuchsanleitungen in den beteiligten Schülerlaboren
- Tab. 4: Experimente zur Katalyse, zu 'Intelligenten' Materialien und zum Recycling

### **Abkürzungsverzeichnis**

|          |   |
|----------|---|
| DBU      | Deutsche Bundesstiftung Umwelt                        |
| GDCh     | Gesellschaft Deutscher Chemiker                       |
| PdN-ChiS | Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule |
| NiU-C    | Naturwissenschaften im Unterricht Chemie              |
| CHEMKON  | Chemie konkret  |
| MNU      | Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht |
| ZUK      | Zentrum für Umweltkommunikation                       |

## Zusammenfassung

Das Thema "Energieversorgung" gehört zu den drängenden gesellschaftlichen Herausforderungen. Der Chemie kommt dabei eine wichtige, wenn auch nicht immer offensichtliche Rolle zu, z.B. bei der Energiespeicherung oder -einsparung durch neue Materialien. Diese Erkenntnis wie das Bewusstsein für die Notwendigkeit eines nachhaltigen Umgangs mit unseren Ressourcen sollten bereits im Schulalter geweckt werden.

Die außerschulischen Lernorte bieten Schulen insbesondere im experimentellen Bereich eine attraktive Ergänzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Sie sind oft forschungsnah angesiedelt und können daher in sich schnell entwickelnden, zukunfts-trächtigen Gebieten wie der Energieversorgung eine wichtige Funktion übernehmen. Trotz zahlreicher Aktivitäten gab es bisher keine Übersicht zum experimentellen Angebot von Schülerlaboren auf dem Themenfeld 'Chemie und Energie'. Dieses Projekt sollte diese Lücke schließen und einen möglichst umfassenden Überblick über bereits vorhandene Beiträge aus dem Bereich Chemie ermöglichen.

Das Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor der TU Braunschweig hat basierend auf einer Literaturrecherche in ausgewählten Fachzeitschriften eine strukturierte Befragung der bei Lernort-Labor registrierten Schülerlabore zu ihren Angeboten im Bereich 'Chemie und Energie' durchgeführt. Für die Klassenstufen ab 7 gibt es in den Schülerlaboren durchaus ein vielfältiges Angebot an Experimenten zu 'Chemie und Energie'. 78 Angebote<sup>1</sup> richten sich an die Klassen 7 - 10 und 94 Angebote an die Klassen 11 - 13, an SchülerInnen bis Klasse 6 dagegen nur 14 der insgesamt 122 Angebote.

Die thematischen Schwerpunkte zur Energiegewinnung lagen wie erwartet bei Photovoltaik (22 Angebote) und Brennstoffzellen (18 Angebote). Bei der Energiespeicherung waren alternative Treibstoffe und elektrochemische Speicher mit je 8 Angeboten die wichtigsten Vertreter. Zahlenmäßig stärkste Angebote waren bei Recycling von Sekundärrohstoffen das Kunststoffrecycling (6), bei 'Intelligenten' Materialien die Leuchtdioden (6) und beim Thema Katalyse die elektrochemische Katalyse (5).

ExpertInnen aus Didaktik und einschlägigen Fachwissenschaften haben die Ergebnisse aus ihrer Sicht beleuchtet und kommentiert. So ließen sich die Bereiche identifizieren, in denen noch Entwicklungs- und Förderungsbedarf besteht. Die identifizierten Lücken sowohl hinsichtlich der angebotenen Themen als auch mit Blick auf die Zielgruppen sollten mit entsprechenden Angeboten gefüllt werden. Dies ließe sich in einem ersten Schritt bereits durch einen intensiveren Transfer zwischen den Schülerlaboren erreichen.

In jedem Fall sollte ein enger Austausch zwischen Fachwissenschaft, Chemiedidaktik und Schülerlabor erfolgen, damit auch aktuelle Themen aus der Forschung angemessen aufbereitet zeitnah ihren Weg zu den SchülerInnen finden. Dies betrifft besonders die Bereiche Katalyse und 'Intelligente' Materialien, in denen im Gegensatz zu den Bereichen Energiewandlung und -speicherung noch wenige Angebote bestehen. Die Erkenntnisse aus dem Projekt wurden der Broschüre "Chemie und Energie in Schülerlaboren - Was gibt es? Was ist zu tun?" veröffentlicht, die auf der Homepage des Labors zum Download ebenso zur Verfügung steht wie eine Übersicht über die erfassten experimentellen Angebote. Projekt und Ergebnis wurden auf einer Tagung präsentiert und diskutiert.

---

<sup>1</sup> Diese Zahlenangaben stellen lediglich die Gesamtzahl der Nennungen dar. Diese beinhaltet sowohl inhaltlich verschiedene Experimente als auch gleiche Experimente von verschiedenen Laboren.

## 1 Hintergrund und Stand des Wissens

Die Themen Nachhaltigkeit und damit auch Ressourcenschonung und Energieversorgung sind schon länger Gegenstand der Diskussion um Bildungsstandards und Zielkompetenzen. Aufgrund der angestrebten Wende in der Energieversorgung hat ihre Bedeutung aber noch einmal deutlich zugenommen. Die Notwendigkeit eines nachhaltigen Umgangs mit unseren Ressourcen muss jedem bewusst sein. Dafür sollte heutzutage bereits in der Schulzeit das Fundament geschaffen werden, indem hier möglichst ideologiefrei die elementaren naturwissenschaftlichen Kenntnisse und Zusammenhänge verknüpft mit aktuellen Entwicklungen vermittelt werden.

Im gesamten primären Ausbildungssektor sollte daher der entsprechenden Bildungsvermittlung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Zu Fragen der "Energiegewinnung"<sup>2</sup> und "-einsparung"<sup>1</sup> leistet die Chemie unverzichtbare Beiträge, auch wenn diese nicht immer offensichtlich sind. Materialien, ihre Herstellung, ihre Eigenschaften und ihre Entsorgung sind für alle diese Bereiche von essentieller Bedeutung und berühren damit Kernkompetenzen der Chemie. Die gestiegene Sensibilisierung für diese Themenfelder äußert sich auch in Aktivitäten der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh). So soll die GDCh-Fachgruppe "Nachhaltige Chemie" dieses Schlüsselthema stärker in die Öffentlichkeit tragen. Der Arbeitskreis „Chemie und Energie“ legt seinen Schwerpunkt noch stärker auf die genannten Aspekte. Das 2013 erschienene Themenheft "Von Kohlehalden und Wasserstoff", das Energiebereitstellung und Speichertechnologien behandelt, wurde mit von der GDCh herausgegeben.

Die außerschulischen Lernorte bieten Schulen eine attraktive Ergänzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts insbesondere im experimentellen Bereich, die bei guter Kooperation auch unmittelbar auf das Unterrichtsgeschehen in den Schulen zurückwirkt. Allerdings gibt es bisher kein systematisches und abgestimmtes Vorgehen. Trotz zahlreicher Aktivitäten zur Verbreitung und Stärkung der Erfassung, Zusammenarbeit und Kommunikation ([www.lernort-labor.de](http://www.lernort-labor.de)) gab es bisher keine Übersicht zum experimentellen Angebot auf dem Themenfeld "Chemie und Energie".

## 2 Vorgehensweise

Dieses Projekt sollte diese Wissenslücke schließen und einen möglichst umfassenden Überblick über bereits vorhandene Beiträge aus dem Bereich Chemie ermöglichen. Im Mittelpunkt standen die experimentellen Angebote der außerschulischen Lernorte ("Schülerlabore") zur Vermittlung dieser Kenntnisse und Konzepte.

Das Projekt umfasste sechs Arbeitsphasen. In der ersten Phase wurde in einschlägigen chemiedidaktischen Fachzeitschriften nach Beiträgen aus dem experimentellen Bereich zum Thema 'Chemie und Energie' und in Publikationen der Fachwissenschaft recherchiert. Ziel war es, zunächst einen grundlegenden Überblick über das Themengebiet zu erhalten, sodass sich in der zweiten Phase Kernthemen des Bereiches 'Chemie und Energie' identifizieren ließen. Diese dienten in der dritten Phase als Grundlage für die Entwicklung eines Fragebogens, mit dem eine strukturierte Befragung der bei Lernort-Labor registrierten Schülerlabore erfolgte, um bestehende experimentelle Angebote an außerschulischen Lernorten zum Themenbereich "Chemie und Energie"

---

<sup>2</sup> Zwar lässt sich Energie nur aus einer Energieform in eine andere umwandeln, dennoch verwenden wir hier aufgrund ihrer weiten Verbreitung die Begriffe "Energiegewinnung" und "Energieeinsparung".



erfassen zu können. Die aus den eingegangenen Antworten der Schülerlabore erstellte Übersicht und Auswertung der Angebote wurde in der vierten Phase ExpertInnen aus Fachwissenschaft, Chemiedidaktik, Schülerlaboren und Schule mit Bitte um Einschätzung und Kommentierung vorgelegt.

Auf Basis der so gewonnenen Erkenntnisse wurde in einer abschließende Betrachtung dargelegt, welche Angebote es an außerschulischen Lernorten an experimentellen Angeboten zum Themenbereich 'Chemie und Energie' gibt. Die Themenbereiche, die fehlen oder unterrepräsentiert sind, wurden identifiziert, um den Entwicklungsbedarf aufzuzeigen. In der fünften Phase wurde eine Broschüre erstellt, die die Ergebnisse der Umfrage, Expertenstellungnahmen und die daraus folgenden Erkenntnisse beinhaltet. Zum Abschluss des Projekts wurden die Ergebnisse auf einer Fachtagung im Zentrum für Umweltkommunikation (ZUK) in Osnabrück im Januar 2015 präsentiert und diskutiert. In diesem Rahmen wurde auch die Broschüre veröffentlicht. Die Erkenntnisse des Projekts sind außerdem in elektronischer Form zugänglich.

### **3 Literaturrecherche und Identifizierung der Kernthemen**

#### **3.1 Literaturrecherche**

##### **3.1.1 Ziel der Recherche**

Ziel der Literaturrecherche war, einen grundsätzlichen Überblick über das Themengebiet zu erhalten, um die für das Thema Energie relevanten Beiträge der Chemie identifizieren zu können. Daher wurde keine die vollständige Erfassung aller Angebote beabsichtigt. Zum einen sollte erfasst werden, welche experimentellen Angebote zum Thema 'Chemie und Energie' in der Chemiedidaktik bzw. im Chemieunterricht an den Schulen bereits vorhanden sind. Zum anderen sollte die Recherche in den einschlägigen Zeitschriften einen groben Überblick darüber geben, welche Themen und Schwerpunkte aktuell in den Chemie-Didaktiken der Universitäten bearbeitet werden. Dabei lag der Fokus auf experimentellen Angeboten, konzeptionelle oder didaktische Aspekte wurden dabei nicht berücksichtigt. Berücksichtigt wurden nicht sämtliche Experimente zum Thema Energie, sondern nur die, die einen Bezug zu Chemie aufwiesen, also stofforientiert angelegt waren.

##### **3.1.2 Chemiedidaktische Fachzeitschriften**

Die Recherche erfolgte in mehreren Schritten. Im ersten Schritt wurden die Zeitschriften ausgewählt, die Grundlage der Recherche sein sollten. Dazu wurden zunächst Fachzeitschriften im naturwissenschaftlichen Bereich gesichtet, die sich mit Themen zur Unterrichtsgestaltung, experimentellen Konzepten und/oder der naturwissenschaftlichen Didaktik befassen. Die Zeitschriften wurden hinsichtlich ihrer Eignung als Recherchegrundlage für dieses Projekt eingestuft. Grundlage hierfür war die Anzahl der Artikel, die einen Bezug zum Projektthema haben. Wir haben uns aus praktischen Gründen auf diese Zeitschriften beschränkt, es gibt weitere Artikel auch in anderen Zeitschriften.

Folgende Fachzeitschriften wurden daher für die Literaturrecherche ausgewählt:

- Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule (PdN-ChiS)
- Naturwissenschaften im Unterricht Chemie (NiU-C)
- Chemie konkret (CHEMKON)

- Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)

Die Recherche umfasste jeweils die letzten fünf Jahrgänge der Zeitschriften, also die Jahre 2009 bis 2013 sowie die ersten Exemplare des Jahres 2014. Teilweise wurden auch ältere Veröffentlichungen berücksichtigt, wenn diese aufgrund von Verweisen im Verlauf der Recherche als relevant auffielen.

Die einzelnen Hefte der Zeitschriftenreihen PdN-ChiS und NiU-C besitzen jeweils einen Themenschwerpunkt, hierbei sind mehrfach projektrelevante Themenhefte zu finden (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht über projektrelevante Schwerpunktthemen in den Zeitschriften PdN-ChiS und NiU-C in den vergangenen Jahren

| Fachzeitschrift | Jahrgang  | Heft | Schwerpunktthema                      |
|-----------------|-----------|------|---------------------------------------|
| PdN-ChiS        | 2010 (59) | 2    | Solarzellen                           |
| PdN-ChiS        | 2011 (60) | 1    | Katalyse und Nachhaltigkeit           |
| PdN-ChiS        | 2011 (60) | 4    | Perspektiven nachhaltiger Entwicklung |
| PdN-ChiS        | 2011 (60) | 5    | Ressourcen und Nachhaltigkeit         |
| PdN-ChiS        | 2013 (62) | 5    | Batteriesysteme                       |
| NiU-C           | 2010 (21) | 21   | Basiskonzepte Energie                 |
| NiU-C           | 2011 (22) | 116  | Wärmespeicher                         |

Die Literaturrecherche in den Zeitschriften *"Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule"*, *"Naturwissenschaften im Unterricht Chemie"*, *"Chemie konkret"*, *"Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht"* der Jahrgänge 2009 - 2013 ergab 68 relevante Literaturstellen. Sie ließen sich grob den vier Themen Katalyse, Energiewandlung, Energiespeicherung und 'Intelligente Materialien' zuordnen. Einige Artikel fielen in mehr als eine Kategorie. In den einzelnen Kategorien ließen sich Schwerpunktthemen ausmachen.

Im Überblick ergeben sich folgende Themen und Schwerpunkte:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Katalyse                   | - neue Katalysatoren für etablierte Prozesse<br>- Photokatalyse   |
| Energiewandlung            | - Brennstoffzelle<br>- Photovoltaik   |
| Energiespeicherung         | - Wärmespeicherung<br>- Elektrochemische Energiespeicher (Batterien bzw. Akkumulatoren)<br>- Chemische Energiespeicher (Biogas, Biotreibstoffe) |
| 'Intelligente Materialien' | - Organische LED<br>- Neue Solarzellen (Kunststoff- oder Farbstoffsolarzellen)  |

### 3.1.3 Themenhefte der GDCh

Über die Erhebung der bestehenden experimentellen Angebote zum Thema 'Chemie und Energie' für den Chemieunterricht an den Schulen und den in den Chemie-Didaktiken aktuellen Themen hinaus soll aber auch erfasst werden, was gegenwärtig fachlich, energiepolitisch und in der Praxis relevant ist. Dazu wurde diese Erhebung durch die Recherche in fachlichen Übersichten unterlegt, um sicherzustellen, dass alle aus Sicht der Chemie aktuellen Fachgebiete berücksichtigt werden. Dazu wurden die einschlägigen Themenhefte der "Aktuellen Wochenschau/HIGHCHEM hautnah" der GDCh gesichtet. Hierbei handelt es sich um die Hefte mit den Themen "*Elektrochemie und Energie*" (2006/07), "*Nachhaltige Chemie*" (2008/09) und "*Chemie und Energie*" (2010/11).

Darin fanden sich einige in den Zeitschriften zum Chemieunterricht noch nicht erfasste/aufgetretene Aspekte, die eine Erweiterung der Themen und besonders der darunter fallenden Schwerpunkte erforderlich machten. Insbesondere bei den 'Intelligenten Materialien' wurde der Umfang der Schwerpunkte erheblich erweitert. Viele Anwendungen im Energiesektor erfordern den Einsatz von speziellen Materialien bzw. Rohstoffen wie z.B. Edelmetallen oder Seltenerdmetallen. Die langfristige Sicherstellung der Versorgung mit diesen Rohstoffen ist also für eine erfolgreiche Umsetzung einer bezahlbaren Energiewende unabdingbar und stellt damit auch einen wichtigen Aspekt des Themas 'Chemie und Energie' dar. Einige dieser Rohstoffe sind selten, oder ihre Gewinnung ist aufwendig und damit teuer. Daher bieten sich das Recycling von verbrauchtem Material, z.B. von Elektronikschrott, und die anschließende Wiederverwertung der Rohstoffe als sogenannte Sekundärrohstoffe an. Diese Aspekte werden unter dem Thema 'Recycling und Einsatz von Sekundärrohstoffen' zusammengefasst.

Folgende Schwerpunkte wurden zusätzlich als relevant bewertet:

|  |  |
|--|--|
| Katalyse                                     | - Elektrokatalyse<br>- Biokatalyse   |
| Energiespeicherung                           | - Akkumulatoren mit verbesserten Eigenschaften (z.B. Lebensdauer, Energiedichte)<br>- Supercaps<br>- Hydrothermale Carbonisierung  |
| 'Intelligente Materialien'                   | - Metallorganische Gerüstverbindungen (MOF)<br>- Wärmedämmende Materialien<br>- Leitfähige Polymere<br>- Ionische Flüssigkeiten<br>- Thermoelektrische Materialien<br>- Ultraleichte Materialien |
| Recycling und Einsatz von Sekundärrohstoffen | - Wiedergewinnung von Metallen<br>- Kunststoffrecycling  |

## **3.2 Einordnung und Abgrenzung der Kernthemen**

### **3.2.1 Identifizierung der Kernthemen**

Der Abgleich der beiden Recherchen in den diadaktischen und fachwissenschaftlichen Zeitschriften der Chemie soll bereits einen ersten Hinweis darauf geben, wo es möglicherweise "blinde Flecken" gibt, also im Bereich experimenteller Angebote für SchülerInnen Lücken vorhanden sind. Bereits im Verlauf der Literaturrecherche war festzustellen, dass sich einige Artikel mehr als einem Thema zuordnen lassen. Bei der Einordnung in Kategorien wurde daher berücksichtigt, welcher Aspekt im Einzelfall überwiegt. Beispielsweise steht bei Kunststoffszolarzellen der Materialaspekt im Mittelpunkt, daher werden sie den 'Intelligenten Materialien' zugeordnet.

Damit ließen sich in der zweiten Phase folgende Kernthemen des Bereiches 'Chemie und Energie' identifizieren:

- "Energiegewinnung" bzw. Energiewandlung
- Energiespeicherung
- Katalyse
- 'Intelligente Materialien' zum Thema Chemie und Energie
- Recycling und Einsatz von Sekundärrohstoffen

### **3.2.2 Katalyse**

Der Bereich Katalyse weist per se einen Bezug zum Thema Chemie und Energie auf, da ein Katalysator laut Definition die Aktivierungsenergie einer Reaktion senkt, den Bedarf an Energiezufuhr also reduziert. Prozesse unter Verwendung eines Katalysators haben einen wichtigen Stellenwert in der Chemie. Katalysatoren dienen in der Praxis dazu, eine bestimmte Reaktion zu beschleunigen bzw. überhaupt erst möglich zu machen. Dennoch sollten nicht sämtliche Experimente, in denen ein Katalysator eingesetzt wird, erfasst werden. Entscheidend für die Relevanz für unsere Erhebung ist der Aspekt der "Energieeinsparung" im Gesamtprozess. Dieser sollte mit dem Versuch adressiert werden. Experimente mit lange bekannten und praxisbewährten Katalysatoren können ebenso dazu zählen wie neu entwickelte Katalysatoren, die neue Perspektiven eröffnen.

Eine wichtige Rolle im Bereich Chemie und Energie spielen elektrochemische Prozesse, wie sie in Brennstoffzellen ablaufen. Aber auch Photokatalyse - Stichwort "Light to Hydrogen" - und Biokatalyse sind wichtige Schlagworte in diesem Themenbereich.

### **3.2.3 "Energiegewinnung" bzw. Energiewandlung**

Zentraler Aspekt der Energiewende ist die Energiegewinnung bzw. Energiewandlung. Energie lässt sich nur aus einer anderen Energieform gewinnen, also durch Wandlung einer Energieform in eine andere und so verfügbar machen. Dennoch ist dieser Begriff weit verbreitet. Außer der Sonne dienen noch Biomasse (chemische Energie), Windenergie, Wasserkraft (potentielle Energie) und thermische Energie (Geothermie) als regenerative bzw. "unerschöpfliche" Energiequellen. Für die Energiewende spielt die Versorgung mit elektrischer Energie eine entscheidende Rolle. Hierzu können z.B. Windkraftträder, Brennstoffzellen und die Photovoltaik einen wichtigen Beitrag leisten.

Durch die Umsetzung von Biomasse zu anderen, für die Umwandlung in kinetische Energie in Motoren besser geeignete chemische Energiespeicher, die in Prozessen wie z.B. dem Biomass-to-liquid-Verfahren erfolgt, können Kraftstoffe statt aus fossilen aus regenerativen Quellen gewonnen werden. 'Nachwachsende Rohstoffe' bzw. die daraus gewonnenen Biotreibstoffe selbst stellen somit stoffliche Energieträger dar und fallen daher in die Kategorie Energiespeicherung.

### 3.2.4 Energiespeicherung

Voraussetzung für den Einsatz regenerativer Energien ist die Möglichkeit der Energiespeicherung. Es gibt viele Möglichkeiten, Energie zu speichern, und grundsätzlich werden verschiedene Arten von Speichern benötigt. Chemierelevant ist die Speicherung von Energie in Form von Wärme, in elektrochemischer oder chemischer Form. Beispiele hierfür sind Phasenwechselmaterialien, Akkumulatoren oder Treibstoffe. All diese Formen erfordern ein stoffliches Medium, das physikalische oder chemische Veränderungen erfährt, anders als bei der Speicherung als potentieller Energie wie in einem Pumpspeicherwerk.

Kernfragen für die Entscheidung für eine Speicherform sind, wie schnell die gespeicherte Energie zur Verfügung stehen und über welchen Zeitraum der Energiefluss aufrechterhalten werden muss. Während Speicher zur Stabilisierung des Stromnetzes im Sekunden- und Minutenbereich arbeiten und entsprechend schnell ansprechbar sein müssen, werden im Zuge des verstärkten Einsatzes von erneuerbaren Energien sogar 'Saisonspeicher' benötigt, bei denen Ladungs- und Entladungszyklen entsprechend langsam von statten gehen.

Elektrochemischen Stromspeichern kommt bei der Energiewende eine besonders wichtige Rolle zu. Sie werden in vielfältiger Form benötigt. Es werden derzeit viele neue, langlebige Akkumulatoren mit einer großen Bandbreite an Leistung und Speicherkapazität entwickelt. Hohe Erwartungen werden in den Lithium-Ionen-Akkumulator gesetzt, der eine hohe Energiedichte aufweist. Elektrochemische Kondensatoren - sogenannte 'Supercaps' - besitzen dagegen eine hohe Leistungsdichte.

Wärmeenergie kann auf unterschiedliche Art gespeichert werden. Weit verbreitet ist die Temperaturerhöhung eines Speichermediums mit hoher Wärmekapazität wie Wasser, aber Wärmeenergie kann auch durch Phasenumwandlung oder als Reaktionswärme gespeichert werden.

Als chemische Energiespeicher dienen hauptsächlich alternative Treibstoffe. Hierzu gehören Biotreibstoffe wie Biogas und Biokraftstoffe der ersten und zweiten Generation. Für die Erzeugung von Kraftstoffen der ersten Generation wird nur die Frucht (→ Öl, Zucker, Stärke) für die Kraftstoffproduktion genutzt. Bei Kraftstoffen der zweiten Generation wird die fast vollständige Pflanze verwendet, wie bei der Ethanolgewinnung aus Cellulose oder dem Biomass-to-liquid-Verfahren, bei dem Biomasse erst "verflüssigt", dann zu Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff ("Synthesegas") umgesetzt und aus diesen anschließend Flüssigtreibstoff hergestellt wird.

Aber auch Wasserstoff ist ein wichtiger chemischer Energiespeicher. Die direkte Speicherung von Wasserstoff verbraucht Energie, entweder zur Kühlung oder zur Kompression. Eine Alternative bietet die Speicherung in chemisch gebundener Form, z.B.

als Metallhydrid. Entscheidend für den Beitrag von Wasserstoff zur Energiewende ist die Art seiner Gewinnung.

### **3.2.5 'Intelligente Materialien' zum Thema Chemie und Energie**

Einen entscheidenden Anteil bei der Einführung regenerativer Energien und der Reduzierung des Energiebedarfs leisten neue Materialien, die in 'intelligenter Weise' neue Anwendungen ermöglichen oder bestehende Anwendungen verbessern. So senken organische LEDs, wärmedämmende oder ultraleichte Materialien den Energie-"verbrauch". Leitfähige Polymere oder Kunststoffszellulose eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten. Mit thermoelektrischen Materialien lässt sich elektrische Energie aus Abwärme gewinnen. Mit ionischen Flüssigkeiten werden neue Prozesse ermöglicht, die z.B. weniger Lösungsmittel erfordern. Außerdem haben ionische Flüssigkeiten ein größeres elektrochemisches Fenster, was - anders als im wässrigen Milieu - die Abscheidung von unedlen Metallen möglich macht. Metallorganische Gerüstverbindungen lassen sich sehr spezifisch herstellen, für sie gibt es viele Anwendungsmöglichkeiten, sowohl in der Prozesschemie als auch in der Gasspeicherung, z.B. für Wasserstoff.

### **3.2.6 Recycling und Einsatz von Sekundärrohstoffen**

Einen wichtigen Beitrag zum Thema 'Chemie und Energie' leistet das Recycling von Sekundärrohstoffen. Bei vielen neuen Technologien, die im Rahmen der Energiewende zum Einsatz kommen sollen, werden Rohstoffe verwendet, die nur in beschränkten Mengen zur Verfügung stehen bzw. sehr wertvoll sind. Für eine erfolgreiche und kostengünstige Anwendung ist es daher unerlässlich, die Versorgung mit diesen Rohstoffen langfristig sicherzustellen. Dieser häufig übersehene Aspekt der stofflichen Basis jeder Technologie ist demzufolge mit zu berücksichtigen. Hierzu gehören z.B. die Seltenerdmetalle, die in vielen modernen elektrischen und elektronischen Bauteilen benötigt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von Neodym für getriebefreie Windräder. Aber auch bei anderen Metallen wie z.B. Aluminium, das mittels Schmelzflusselektrolyse unter hohem Energieaufwand gewonnen wird, leistet das Recycling einen großen Beitrag zur Energieeinsparung.

Die stoffliche Wiederverwertung von Kunststoff stellt ebenfalls einen Beitrag zur Ressourceneinsparung dar und hat indirekt Relevanz für die Energiefrage, da die fossilen Primärrohstoffe v.a. energetisch genutzt werden und sich hier eine Konkurrenzsituation ergibt. (Allerdings gehen nur ca. 10% des Erdöls in die stoffliche Produktion, der weitaus größere in die energetische Nutzung.)

## **4 Umfrage in Schülerlaboren**

### **4.1 Ablauf der Umfrage**

#### **4.1.1 Entwicklung des Fragebogens**

Ziel war, einen Fragebogen zu entwickeln, mit dem eine strukturierte Befragung der bei LernortLabor registrierten Schülerlabore erfolgen konnte. Es sollten zum einen bestehende experimentelle Angebote an außerschulischen Lernorten zum Themenbereich 'Chemie und Energie' erfasst werden und dabei zum anderen fehlende oder unter-

repräsentierte Themenbereiche entdeckt werden. Für die Umfrage in Schülerlaboren wurde ein Fragebogen entwickelt, der zunächst einem Testlauf unterworfen wurde, bevor die eigentliche Umfrage durchgeführt wurde.

Auf der Grundlage der unter 3.2 beschriebenen Kernthemen wurde der Fragenkatalog in sechs Abschnitte aufgeteilt. Die Abschnitte 1 - 5 umfassten die Fragen zu den beschriebenen fünf Kernthemen. Im sechsten Abschnitt wurden allgemeine Informationen zu den jeweiligen Laboren abgefragt. Hierunter fielen Informationen über mögliche Ansprechpartner und zur Konzeption der angebotenen Experimente ebenso wie zum Auftritt im Internet. Abschließend wurde um die Zustimmung des Schülerlabors zur Verwendung der im Fragebogen gemachten Angaben im Rahmen dieses Projekts gebeten bzw. wurden eventuelle Einschränkungen hierzu abgefragt, damit die Daten dann auch in der geplanten Datensammlung (Broschüre) verwendet werden können.

Innerhalb der einzelnen Kategorien ließen sich jeweils wichtige Unterkategorien ermitteln, zu denen konkret nach Experimenten gefragt werden sollte. Diese Fragen sollten sich überwiegend einfach durch optionale ja-nein-Antwortmöglichkeiten beantworten lassen. Der Fragenkatalog zu jeder Kategorie wurde durch eine offene Frage nach weiteren Versuchen zu diesem Themenbereich abgeschlossen, um möglichst alle Angebote erfassen zu können.

Dies sollte - soweit möglich - auch alters- bzw. klassenstufenbezogen erfolgen, um den Entwicklungsbedarf aufzeigen zu können. Die Zuordnung erfolgte in drei Stufen:

- bis Klasse 6
- Klassen 7 - 10, also Sekundarstufe I
- Klassen 11-13, also Sekundarstufe II

In der Kategorie "Energiegewinnung" bzw. Energiewandlung wurde gefragt nach:

- Brennstoffzellen
- Photovoltaik

Zur Energiespeicherung ergaben sich die Unterkategorien:

- Alternative Treibstoffe (Chemische Energiespeicher)
- Chemische Wasserstoffspeicher
- Elektrochemische Energiespeicher
- Speicherung von Wärmeenergie

In der Kategorie Katalyse wurde nach folgenden Unterkategorien gefragt:

- Metallkatalysatoren
- Elektrokatalyse
- Biokatalyse
- Photokatalyse

Als 'Intelligente Materialien' zum Thema Chemie und Energie fanden sich:

- Ultraleichte Materialien
- Isolierstoffe
- Leuchtdioden
- Gasspeichermaterialien
- Thermoelektrische Materialien

Die Kategorie Recycling und Einsatz von Sekundärrohstoffen teilt sich auf in:

- Art der Sekundärrohstoffe
- Recyclingverfahren

Der Fragebogen sollte so angelegt sein, dass einerseits möglichst viele Informationen erfasst werden können, andererseits aber eine sinnvolle Zusammenstellung und Auswertung der unterschiedlichen Antworten möglich ist. Dabei musste jeweils genau abgewogen werden, wie speziell eine Frage formuliert werden kann, um die Antworten später zusammenfassen zu können, andererseits aber möglichst viele Adressaten mit der Frage angesprochen werden. Außerdem war zu beachten, dass die Bearbeitung des Fragebogens möglichst einfach und ohne zu großen Zeitaufwand durchgeführt werden konnte. Ein in der Beantwortung zu aufwendiger Fragebogen erhöht das Risiko, dass die späteren Teilnehmer in der Umfrage nicht oder nur teilweise antworten.

Zum Erstellen des Fragebogens wurde ein spezielles Programm verwendet. Es handelt sich um das Programm "Grafstat" in der Version 4.276 aus 2013. Dieses Programm dient zur Erstellung und Auswertung von Umfragen mittels eines Fragebogens. Grafstat wurde von der Universität Münster entwickelt und durch die Bundeszentrale für politische Bildung gefördert. Mithilfe dieses Programms kann der Fragebogen den Teilnehmern im Internet zur Verfügung gestellt werden und lässt sich online beantworten. Die Erhebung der Daten erfolgt dann durch Datensammelpunkte. Grafstat bietet neben Einfach- oder Mehrfachantworten auch die Möglichkeit, auf offen gestellte Fragen in Freitext zu antworten. Auch die spätere Auswertung wird durch Grafstat unterstützt.

#### **4.1.2 Testlauf**

Der Fragebogen wurde in einer ersten Version zunächst einer kleinen Zahl der für die Umfrage in Frage kommenden Schülerlabore probeweise vorgelegt. Durch diesen Testlauf sollten potentielle Fehlerquellen im Fragebogen wie z.B. Verständnisprobleme oder nicht berücksichtigte Antwortmöglichkeiten, die die spätere Auswertung erschweren oder verfälschen können, aber auch technische Probleme, vor der eigentlichen Durchführung identifiziert und eliminiert werden.

Insgesamt haben sechs Labore am Testlauf teilgenommen und anschließend ihr Feedback abgegeben, nämlich folgende Schülerlabore:

- NanoBiolab, Saarbrücken
- Science-Forum, Siegen
- Flying Science Circus, Clausthal
- FreiEx, Bremen



- Teutolab, Bielefeld
- Agnes-Pockels-Schülerlabor, Braunschweig

Sie erhielten die vorbereiteten Unterlagen, also Anschreiben und Fragebogen inklusive Einleitung mit der Bitte, die Umfrage ganz normal zu bearbeiten und anschließend zu kommentieren. Dazu stand ihnen zusätzlich ein Auswertungsformular, in dem ihre Kommentare eintragen konnten, zur Verfügung. Zusammen mit den Unterlagen erhielten sie eine Mail mit technischen Hinweisen zur Durchführung wie z.B. Informationen über Browser-Voraussetzungen.

Um ein umfassendes und konstruktives Feedback von den Teilnehmern zu erhalten, wurde ein spezieller Feedback-Fragebogen erstellt. Er umfasste die Themenfelder Verständlichkeit, Umfang bzw. Aufwand und Struktur. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse wurden Fragebogen und Begleitmaterialien überarbeitet. Der Fragebogen in seiner endgültigen Fassung ist im Anhang zu finden.

#### **4.1.3 Durchführung der Umfrage**

Außerschulische Lernorte in Deutschland können sich bei "LernortLabor" oder kurz "LeLa", dem Bundesverband der Schülerlabore e.V., registrieren lassen. Dort waren derzeit 320 Schülerlabore erfasst. Diese Labore werden nach Fachrichtungen kategorisiert. Dazu gehören Biologie, Chemie, Geowissenschaften, Informatik, Mathematik, Medizin, Physik und Technik. Zusätzlich gibt es die Kategorie 'multidisziplinär'. In der Fachrichtung Chemie waren zum Zeitpunkt des Versands 135 Einträge vorhanden.

Mit dem LernortLabor-Vorsitzenden Professor Rolf Hempelmann und dem Geschäftsführer Dr. Olaf Haupt war im Vorfeld vereinbart worden, dass zum Versand dieser Umfrage der LernortLabor-Emailverteiler genutzt werden kann. Geplant war, die Umfrage an alle chemisch arbeitenden Schülerlabore in Deutschland zu versenden. Aus technischen Gründen - es existiert bei LernortLabor kein nach Fachrichtungen getrennter Email-Verteiler, er hätte extra für diese Umfrage erstellt werden müssen - wurde die Umfrage dann Ende März 2014 an alle bei LernortLabor registrierten Schülerlabore versandt. Da aber auch physikalisch oder technisch orientierte Schülerlabore experimentelle Angebote zu den Themenfeldern dieser Umfrage haben können, war diese Änderung auch positiv zu bewerten. Neun weitere nicht bei LernortLabor registrierte Schülerlabore mit chemischer Ausrichtung, die im Verlauf des Projekts aufgefallen waren, wurden direkt angeschrieben.

Informationen zum Projekt selbst und seinem Ziel erhielten die Teilnehmer in einem separaten Anschreiben. Der Kontext, in dem das Projekt eingebettet ist, wurde dargestellt, um dadurch das Motiv für diese Arbeit aufzuzeigen. Die einzelnen Stufen des Projekts wurden beschrieben, damit die Teilnehmer/innen beurteilen konnten, inwieweit ihre Antworten einen Beitrag zum Erreichen des Projektziels leisten und sie selbst am Ende auch von den Ergebnissen profitieren können. Damit sollten sie motiviert werden, an der Umfrage teilzunehmen und möglichst viele Informationen beizusteuern. Als zusätzlicher Anreiz wurde den Schülerlaboren, die an der Umfrage teilnehmen, die Broschüre zugesagt.

## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Statistische Auswertung

Insgesamt haben 44 Schülerlabore den Fragebogen beantwortet. Dazu gehörten auch jeweils ein Schülerlabor in der Schweiz und in Österreich. Von diesen Schülerlaboren bieten 31 Labore insgesamt 122 verschiedene Experimente zum Thema 'Chemie und Energie' an. Es ist zu vermuten, dass sich insbesondere Labore, die Angebote zu diesem Thema machen, von der Umfrage angesprochen gefühlt haben und der Rücklauf daher nicht als statistisch/zufällig zu bewerten ist. Unter diesem Aspekt erscheint das Thema gemessen an seiner Bedeutung für unsere Zukunft stark unterrepräsentiert.

**Energiegewinnung/-wandlung** und **Energiespeicherung** sind die Themenfelder mit der größten Zahl an Experimenten. Fast die Hälfte (45 %) der gemeldeten Angebote beschäftigt sich mit Energiegewinnung/-wandlung, ein knappes Viertel (22 %) mit Energiespeicherung. Hierzu gab es 55 bzw. 27 Nennungen<sup>3</sup>. Jeweils ca. die Hälfte davon richtet sich an die Klassen 11 - 13, etwa 43 % an die Klassen 7 - 10. Für SchülerInnen bis Klasse 6 gibt es kaum Angebote (7 bzw. 2 Nennungen).

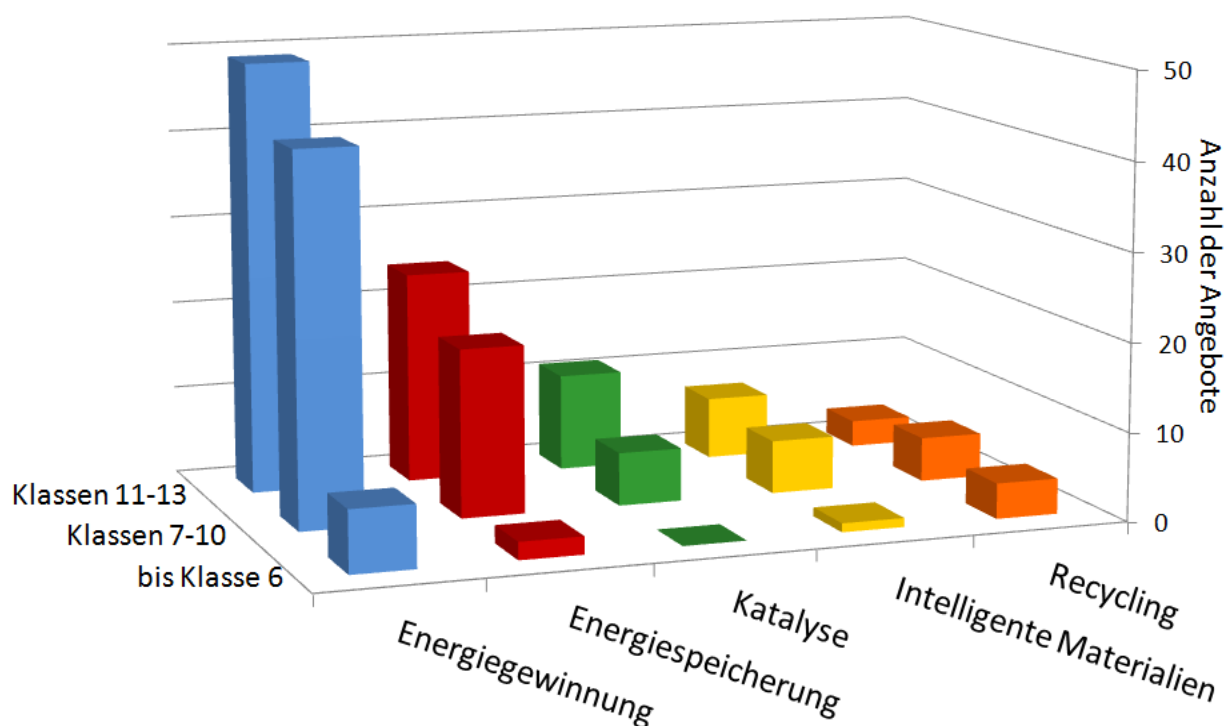


Abb. 1: Anzahl der angebotenen Experimente je Klassenstufe

Etwa ein Drittel aller Nennungen betrifft die anderen drei Themenfelder Katalyse, 'Intelligente' Materialien und Recycling von Sekundärrohstoffen. Experimente zu den Themen **Katalyse** und **'Intelligente' Materialien** werden jeweils 14 mal genannt. Davon gilt nur ein einziges Angebot für SchülerInnen bis Klasse 6. Experimente zur Katalyse haben ihren Schwerpunkt in den Klassen 11 - 13, da das Thema Katalyse schwer-

<sup>3</sup> Ein Schülerlabor kann zu einem Thema mehrere Angebote haben, ein Angebot kann sich an mehrere Klassenstufen richten.

punktmäßig erst in höheren Klassenstufen behandelt wird. Bei den neuen Materialien ist die Zahl der Angebote in den Klassen 7 - 10 dagegen fast groß wie in 11 - 13. Einzig beim Thema **Recycling von Sekundärrohstoffen** sind die 12 Angebote für die verschiedenen Altersstufen relativ gleichmäßig verteilt (Abb. 1).

Für die unteren Klassenstufen sind also vergleichsweise wenige Angebote zum Thema 'Chemie und Energie' in Schülerlaboren zu finden. Nur 14 der insgesamt 122 Angebote richten sich an die Altersstufe bis Klasse 6. Ergiebiger sind die Angebote für die Klassen 7 - 10 mit 78 und für die Klassen 11 - 13 mit 94 Nennungen. Ein Grund für diese Situation ist, dass manche Schülerlabore sich ausschließlich an höhere Klassenstufen richten. Die Zahl der Schülerlabore aller Fachrichtungen insgesamt, die sich an Oberstufenschüler wenden, ist zwei- bis dreimal so hoch wie die Nennungen für den Grundschulbereich.



Abb. 2: Anzahl der Schülerlabore insgesamt mit Angeboten für die jeweilige Klassenstufe (lernort-labor.de, Stand 24.10.2014)

Zusätzlich zu den Angeboten zum Thema Chemie und Energie wurden die Schülerlabore danach gefragt, inwieweit sie ihre Angebote öffentlich zugänglich machen und nach welchen Kriterien das Angebot zusammengestellt wird.

Bei etwa einem Viertel werden die angebotenen Experimente nur im eigenen Labor durchgeführt und sind für andere nicht zugänglich. Die Mehrheit (39 %) gibt die Experimente bzw. die Vorschriften dazu nach Absprache an interessierte Dritte weiter. Lediglich 12 % stellen ihre Experimente zur freien Verfügung. Knapp ein Viertel aller Labore hat unterschiedliche Regelungen je nach Experiment.

Der Anteil von 11 % der Schülerlabore, die die von ihnen angebotenen Experimente mit vollständiger Versuchsanleitung auf ihrer Homepage einstellen, deckt sich mit der Angabe, dass 12 % ihre Experimente frei zur Verfügung stellen. In der Praxis

bedeutet das, dass z.B. eine Lehrkraft auf der Suche nach Experimenten auf der Homepage dieses Schülerlabors alle Angaben findet, die zur Durchführung des Experiments erforderlich sind.

Tab. 2: Zugang zu den Angeboten der an der Umfrage beteiligten Schülerlabore

| Sind die von Ihnen angebotenen Experimente nur intern oder auch für andere Interessierte zugänglich? |     |
|--|-----|
| - frei zugänglich  | 12% |
| - nur für das eigene Labor bestimmt  | 26% |
| - nach Absprache   | 39% |
| - unterschiedlich je nach Experiment   | 23% |

Bei einem Viertel aller Schülerlabore sind die angebotenen Experimente auf der Homepage als Kurzbeschreibung zu finden. Damit können sich NutzerInnen ein Bild von dem Experiment machen, z.B. potentielle Besucher des Schülerlabors können abschätzen, was sie erwartet. Die eigenständige Durchführung der Experimente ist mit diesen Informationen in der Regel nicht ohne weiteres möglich.

Bei einigen wenigen Laboren werden lediglich die Titel der angebotenen Experimente auf ihrer Homepage aufgeführt. Bei 23 % der Labore sind keine Angaben zu den einzelnen Experimenten zugänglich (Tab. 3). Auch dieses Ergebnis stimmt gut mit dem Anteil der Labore überein, deren Experimente nur für das eigene Labor bestimmt sind.

Tab. 3: Freigaberegulungen für Versuchsanleitungen in den beteiligten Schülerlaboren

| Sind die von Ihnen angebotenen Experimente auf der Homepage zu finden? |                |                 |
|--|----------------|-----------------|
|  | <i>absolut</i> | <i>anteilig</i> |
| - nur die Versuchstitel  | 2              | 5%              |
| - als Kurzbeschreibung   | 11             | 25%             |
| - mit vollständiger Versuchsanleitung                                  | 5              | 11%             |
| - keine Angaben zum einzelnen Experiment                               | 10             | 23%             |
| - unterschiedlich je nach Experiment                                   | 16             | 36%             |

Die Zusammenstellung der angebotenen Experimente in den Schülerlaboren erfolgt nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. So orientiert sich die überwiegende Mehrheit (71 %) der an der Umfrage teilnehmenden Labore an Unterrichtsinhalten bzw. Lehrplänen. Die eigene Expertise, sei es die Forschungsrichtung einer universitären Einrichtung oder das firmeneigene Wissen, kommt bei der Zusammenstellung ebenfalls zum Tragen (49 %). Aber auch aktuelle oder regionale Themen werden aufgegriffen. Viele Labore gehen auch auf individuelle Wünsche z.B. von Lehrkräften ein.

#### 4.2.2 Inhaltliche Auswertung der Experimente

Die thematischen Schwerpunkte zur Energiegewinnung lagen wie erwartet bei Photovoltaik (22 Angebote) und Brennstoffzellen (18 Angebote). Bei der Energiespeicherung waren alternative Treibstoffe und elektrochemische Speicher mit je 8 Angeboten die wichtigsten Vertreter (Abb. 3). Diese Zahlenangaben stellen lediglich die Gesamtzahl der Nennungen dar. Diese beinhaltet sowohl inhaltlich verschiedene Experimente als auch gleiche Experimente von verschiedenen Laboren.

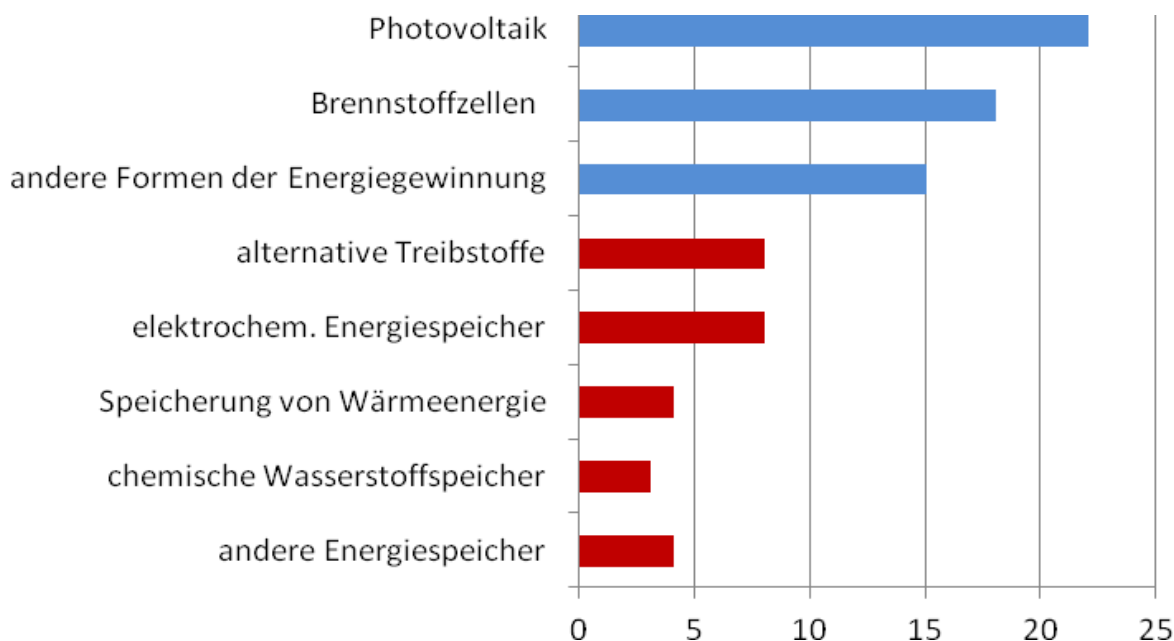


Abb. 3: Angebote zur Energiegewinnung/-wandlung (rot) und Energiespeicherung (blau), 82 Nennungen

Bei Experimenten im Bereich der Photovoltaik werden überwiegend Silizium-solarzellen eingesetzt. (Abb. 4). Die Experimente beinhalten oftmals physikalische Gesichtspunkte wie das Aufnehmen von Kennlinien oder die Untersuchung der Stromproduktion der Solarzellen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Faktoren. Aber auch Grätzelzellen spielen eine Rolle. Im Gegensatz zu den Siliziumzellen können diese von den Schülern selbst hergestellt werden, die chemischen Aspekte treten deutlicher hervor. Sie sind für Schülerexperimente besonders geeignet, zum einen, weil sie aus gängigen Materialien relativ einfach herstellbar ist, zum anderen, weil Lichtabsorption in der Farbstoffschicht und Ladungstrennung im Halbleiter voneinander entkoppelt sind. Mit einfachen selbstgebaute Grätzelzellen lässt sich ein messbarer Strom erzeugen. Bei einigen Angeboten werden unterschiedlichen Typen von Solarzellen im Vergleich eingesetzt.

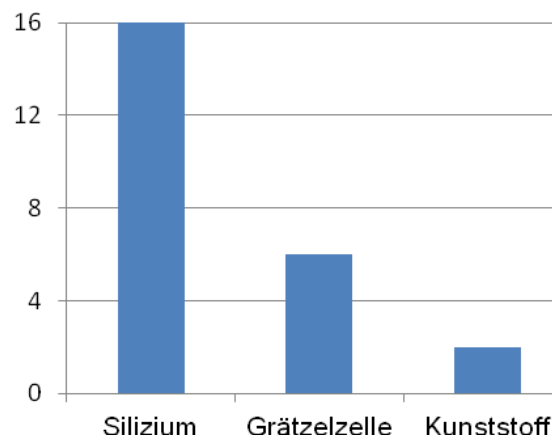


Abb. 4: Eingesetzte Solarzellen in den experimentellen Angeboten zur Photovoltaik

Versuche mit Brennstoffzellen werden ebenfalls recht häufig angeboten. In den meisten Laboren kommen Wasserstoffbrennstoffzellen zur Anwendung, deutlich seltener Methanol. Andere Brennstoffe spielen kaum eine Rolle (Abb. 5).

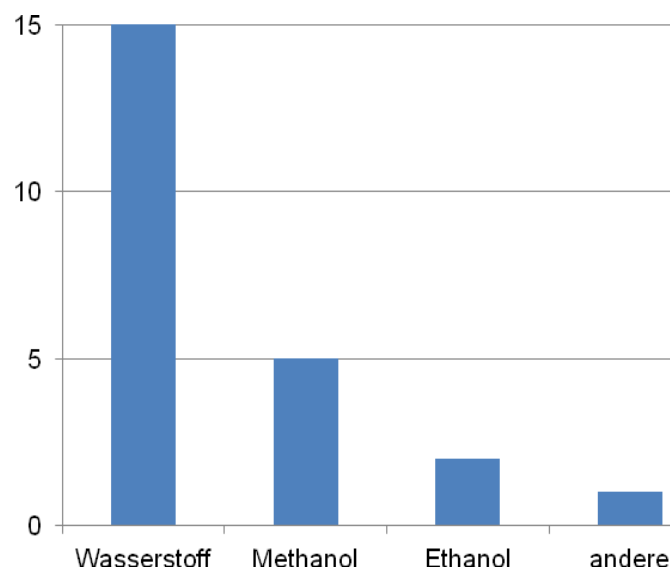


Abb. 5: Eingesetzte Brennstoffe in den experimentellen Angeboten zur Brennstoffzelle

Insgesamt bietet fast jedes zweite teilnehmende Labor Versuche mit Brennstoffzellen an. Dies deutet auf den ersten Blick auf ein sehr breites Angebot an Experimenten hin. Bei näherer Betrachtung stellt man jedoch fest, dass die Mehrheit kommerzielle Sets einsetzt. Es gibt verschiedene Anbieter für Experimentiersets. Diese stellen in der Regel Komplettangebote dar, bestehen also aus fertig einsetzbaren Geräten und Materialien mit abgestimmten Konzepten, Handreichungen und Versuchsanleitungen. Viele der Schülerlabor-Angebote sind demzufolge sehr ähnlich aufgebaut.

Ganz anders stellt sich die Situation bei den Angeboten zu Batterien und Akkumulatoren dar. Zwar haben nur acht Schülerlabore angegeben, dass sie Experimente

dazu anbieten. Die Versuche sind jedoch sehr unterschiedlich aufgestellt, mit experimentellen Zellen einerseits und etablierten Zellen, wie Ni-Metallhydrid, andererseits. Die Angebote decken ein weites Feld von der relativ einfachen Dosenbatterie, die auch für Jüngere geeignet wäre, über den klassischen Bleiakkumulatoren und Lithium-Ionen-Akkumulatoren bis hin zu Redox-Flow-Batterie ab. Die Schülerlabore entwickeln ihre demnach Angebote selbst, dazu wird auch eigene Expertise genutzt.

Aus der Anzahl der Angebote in den Schülerlaboren lässt sich also überhaupt nicht auf die Bandbreite des Angebots schließen. Wünschenswert wäre, dass diese Experimente keine Einzelangebote bleiben, sondern eine größere Verbreitung fänden.

Zu den chemischen Energiespeichern zählen sowohl flüssige Treibstoffe als auch Gase. Bei vielen Angeboten werden verschiedene Energieträger verglichen. Wasserstoff wird am häufigsten eingesetzt, dafür werden so unterschiedliche Quellen wie Wasserzersetzung, Metallhydride oder auch Druckgasflaschen genutzt.

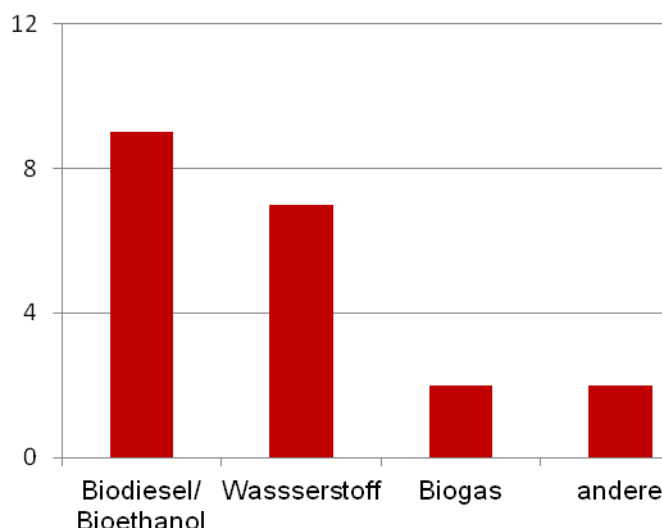


Abb. 6: Energieträger in den experimentellen Angeboten zu Chemischen Energiespeichern

Bei den flüssigen Treibstoffen stehen Biodiesel und Bioethanol an oberster Stelle, also sogenannte Biokraftstoffe der ersten Generation, bei denen nur Teile der Pflanzen zur Energiegewinnung genutzt werden. Kraftstoffe der zweiten Generation, bei denen die gesamte Pflanze verwertet wird, spielen in Schülerlaboren offensichtlich keine Rolle. Experimente mit Biogas werden kaum angeboten (Abb. 6).

Bei jedem der Themenfelder Recycling von Sekundärrohstoffen, 'Intelligente' Materialien und Katalyse gab es ein Hauptthema; andere Themen kamen nur vereinzelt vor (Tab. 4). Die zahlenmäßig stärksten Angebote waren Kunststoffrecycling (6 Nennungen), Leuchtdioden (6 Nennungen) und die elektrochemische Katalyse (5 Nennungen). Eine weitere Differenzierung erfolgt aufgrund der geringen Anzahl der Angebote in diesen Bereichen nicht.

Sicherlich gibt noch mehr Angebote gerade in den Bereichen Katalyse und Materialien, die vielleicht aber nicht das Thema Energie im Blickpunkt haben. So kann z.B. bei der Fotosynthese auch der Sauerstoffkreislauf im Blickpunkt stehen, bei OLED kann man den Fokus auf die Technologie legen.

Tab. 4: Experimente zur Katalyse, zu 'Intelligenten' Materialien und zum Recycling (36 Angebote)

| Thema                             | Zahl der Nennungen |
|-----------------------------------|--------------------|
| Leuchtdioden                      | 6                  |
| andere 'Intelligente' Materialien | 6                  |
| Elektrokatalyse                   | 5                  |
| andere Katalyseexperimente        | 9                  |
| Kunststoffrecycling               | 6                  |
| andere Sekundärrohstoffe          | 4                  |

## 5 Erstellung der Projektbroschüre

### 5.1 Allgemeine Informationen

Die Broschüre soll zum einen ausführlich über das Projekt und seine Erkenntnisse informieren und zum anderen die wissenschaftlichen Aspekte des Themas beleuchten und ist damit Teil dieses Berichts (siehe Anlage). Nicht zuletzt soll sie Leser dazu anregen, Experimente aufzugreifen und sich mit der Thematik zu beschäftigen.

Die Broschüre wurde im Druck- und Verlagshaus Zarbock, Frankfurt, in einer Auflage von 1.000 Stück produziert. Sie wurde im Rahmen der Abschlusstagung veröffentlicht, die unter dem Titel "Chemie und Energie in Schülerlaboren - Was gibt es? Was ist zu tun?" am 16.01.2015 im Zentrum für Kommunikation der DBU in Osnabrück stattfand.

Die Teilnehmer/innen der Tagung, die Schülerlabore, die an der Umfrage teilgenommen hatten, sowie alle anderen Unterstützer/innen des Projekts erhielten die Broschüre direkt. Ein Teil der Auflage ging an die GDCh (100 Stück) und an die DBU (200 Stück) zur weiteren Verteilung. Größere Stückzahlen gingen außerdem an das Lehrerfortbildungszentrum Nürnberg, die Chemiedidaktik der TU Braunschweig und an die weiterführenden Schulen in Braunschweig. Weitere Exemplare wurden auf Anfrage versendet.

Das Agnes-Pockels-Labor verschickt die Broschüre kostenfrei an Interessierte, solange der Vorrat reicht. Außerdem steht sie auf der Homepage des Agnes-Pockels-Labors (<https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor>) zum Download zur Verfügung.



## 5.2 Eigene Beiträge

Das erste Kapitel, das den Titel " Experimentelle Angebote zu 'Chemie und Energie' in Schülerlaboren - Was gibt es?" trägt, enthält zunächst Informationen zum Entstehen und zum Hintergrund des Projekts. Anschließend werden Ablauf und Durchführung des Projekts beschrieben. Es beinhaltet sowohl eine ausführliche statistische als auch eine inhaltliche Auswertung der zusammengestellten Antworten. Aus den einzelnen Themenbereichen werden die häufigsten der erfassten Experimente vorgestellt. Außerdem wird erläutert, wie die Ergebnisse dokumentiert werden.

Das abschließende Kapitel setzt sich mit der Kernfrage des Projekts "Was ist zu tun?" auseinander. Dazu wird die grundsätzliche Rolle der Schülerlabore ebenso beleuchtet wie die der Chemiedidaktik. Die Bereiche, in denen aktuell noch Entwicklungs- und Förderungsbedarf besteht, werden identifiziert, sich daraus ergebende Handlungsperspektiven werden aufgezeigt.

Ein Ziel des Projekts war es, einen möglichst umfassenden Überblick über experimentelle Angebote aus dem Bereich Chemie und Energie zu schaffen. Die Ergebnisse sollten möglichst in elektronischer Form zugänglich gemacht werden, damit Interessenten die Möglichkeit erhalten, sich zu informieren, welche Experimente zum Themenbereich 'Chemie und Energie' überhaupt in Schülerlaboren angeboten werden, welche Schülerlabore etwas anbieten und an welche Altersstufen sich diese Angebote richten.

Dazu wurden alle Experimente in Form einer Excel-Datei mit den jeweiligen Zusatzinformationen erfasst, wie sie von den Schülerlaboren im Rahmen der Umfrage angegeben worden waren. Diese Form bietet neben der Möglichkeit, Suchfunktionen und weitere Informationen zu Experimenten zur Verfügung zu stellen, auch die Option, die Daten zu erweitern und zu aktualisieren. Dies umfasst folgende Angaben:

- Bezeichnung des Experiments
- Themenfeld (Energiegewinnung/-wandlung, Energiespeicherung, Katalyse, Intelligente Materialien, Recycling von Sekundärrohstoffen)
- Unterthema (wie unter 4.1.1 aufgelistet)
- Klassenstufe(n), an die sich das Experiment richtet
- Link zum Versuch oder zusätzliche Informationen nach Angabe des jeweiligen Schülerlabors
- Name, Sitz und Adresse der Homepage des jeweiligen Schülerlabor
- ein- oder weiterführende Literatur zur Thematik (aus der Eingangsrecherche in chemiedidaktischen Fachzeitschriften)

Um Interessenten zu ermöglichen, Experimente zu finden, die ihren Anforderungen entsprechen, stehen Suchfilter zur Verfügung. So können die Experimente nach Themen, nach Klassenstufen oder auch nach dem Ort des Schülerlabors ausgewählt werden.

Diese Datei ist der Broschüre als CD beigelegt. Außerdem ist die Datei auf der Homepage des Agnes-Pockels-Labor zu finden. Damit besteht einerseits die Chance, die Informationen möglichst vielen Interessenten zur Verfügung zu stellen. Andererseits können die Inhalte auch aktualisiert oder ergänzt werden, sofern die dazu erforderlichen Informationen vom betreffenden Schülerlabor an das Agnes-Pockels-Labor übermittelt werden.

### **5.3 Stellungnahmen aus der Fachwissenschaft**

Die zusammengestellten experimentellen Angebote aus den Schülerlaboren wurden Wissenschaftlern unterschiedlicher Forschungsausrichtung mit Bitte um Stellungnahme und Kommentierung vorgelegt. Sie sollten zum einen die jeweilige Technologie erläutern und den Stand der aktuellen Forschung darstellen und zum anderen eine Prognose zur zukünftigen Entwicklung dieser Technologie wagen. Außerdem wurden sie gebeten, die vorgelegten Ergebnisse zu kommentieren. Dabei sollte eine Aussage dazu erfolgen, in wie weit die bereits existierenden experimentellen Angebote das Feld gut abdecken, vielleicht von der fachlichen Entwicklung schon wieder überholt sind oder ob sie falsche Schwerpunkte setzen. Besonders wichtig war auch die Einschätzung, ob wichtige und ggf. welche Themen fehlen. Entscheidend dabei war, dass grundlegenden Erkenntnisse, die mit einer bestimmten Technologie verbunden sind, bereits bei der Konzeption eines SchülerInnen-Experiments berücksichtigt sein sollten. Diese erkennen ExpertInnen mit einem vertieften Verständnis in der Regel besser.

Den Bereich Biomassekonversion hatte Ferdi Schüth, Direktor des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim, übernommen. Das Feld der Brennstoffzellen- und Batterieforschung teilten sich Ulrike Krewer, Institut für Energie- und Systemverfahrenstechnik, und als Spezialist für mikrobielle Brennstoffzellen Uwe Schröder vom Institut für Ökologische und Nachhaltige Chemie, beide TU Braunschweig. Hermann Pütter, Neustadt, aktiv in der GDCh Arbeitsgruppe 'Chemie und Energie', befasste sich mit der Wasserstofftechnologie. Als Experte für Ressourcenstrategie steuerte Armin Reller, Universität Augsburg, einen Beitrag zum Thema Sekundärstoffrecycling bei. Die 'Intelligenten' Materialien beinhalten ein sehr breites Spektrum. Petra Mischnick, Institut für Lebensmittelchemie der TU Braunschweig, hatte daraus das Gebiet der Aerogele betrachtet, da hier leider kein/e externe/r Experte/Expertin gefunden werden konnte.

### **5.4 Stellungnahmen aus Chemiedidaktik, Schülerlabor und Schule**

Neben den FachwissenschaftlerInnen kamen auch Vertreter der Chemiedidaktik und aus Schülerlaboren zu Wort. Sie sollten die Stellung des Themas 'Chemie und Energie' in der Chemiedidaktik und den aktuellen Stand der Aktivitäten hierzu aufzeigen und die Rolle der Schülerlabore in diesem Kontext darstellen. Außerdem wurden auch sie um eine Kommentierung der Ergebnisse, auch mit der Frage nach einem Abgleich der bestehenden Angebote mit den Curricula der Schulen, gebeten.

Diesen Part übernahmen aus der Hochschuldidaktik Ilka Parchmann, IPN Kiel, und Marco Oetken, PH Freiburg. Das Gebiet der Photoprozesse speziell aus Sicht der Chemiedidaktik stellte Michael Tausch, Universität Wuppertal, dar. Rolf Hempelmann als Vorsitzender von LernortLabor betrachtete die Rolle der Schülerlabore und ihr Potenzial auf diesem Gebiet. Petra Schille erläuterte aus der Perspektive einer Lehrkraft für Chemie, Physik und Mathematik die Bedeutung von Schülerlaboren für die Schule.

### **5.5 Beispielhafte Experimente aus Schülerlaboren**

Ergänzend dazu wurden ausgewählte Experimente aus den Schülerlabor-Angeboten, die bei dieser Umfrage erfasst worden sind, beschrieben und durch Abbildungen illustriert. Dazu gehören sowohl typische Angebote, wie sie in mehreren Schüler-

laboren in ähnlicher Weise bestehen, als auch Experimente, die aufgrund einer speziellen Thematik nur in einzelnen Schülerlaboren durchgeführt werden.

Folgende Experimente werden in der Broschüre vorgestellt:

1. Herstellung von Biodiesel aus Rapsöl
2. Redox-Flow-Batterie
3. Photovoltaische Gewinnung von Wasserstoff und seine Nutzung
4. Kupferrecycling aus Elektronikschrott
5. Wärmespeicherung mit Phasenwechselmaterialien
6. Farbstoffsolarzelle nach Grätzel
7. Experimente mit Wind- und Solarenergie
8. Bioethanol als alternativer Treibstoff
9. Betrieb einer Brennstoffzelle
10. Das E-Bobbycar-Projekt

## 5.6 Andere Institutionen

Ergänzt werden diese Beiträge durch Präsentationen anderer Angebote für SchülerInnen (und ggf. andere), die sich ebenfalls mit dem Thema Chemie und Energie beschäftigen, aber nicht von Schülerlaboren initiiert sind. Dazu gehören die Schulpartnerschaft des Verbands der Chemischen Industrie, das Projekt energie.bildung der Universität Oldenburg und die Wanderausstellung der DBU "T-Shirts, Tüten und Tenseide".

# 6 Tagung

## 6.1 Allgemeine Informationen

Die eintägige Abschlussveranstaltung zu diesem Projekt fand am 16.01.2015 im Zentrum für Umweltkommunikation (ZUK) der DBU in Osnabrück statt. Die Veranstaltung richtete sich an Lehrkräfte der Chemie bzw. des allgemeinen naturwissenschaftlichen Unterrichts, an ChemiedidaktikerInnen an den Hochschulen, BetreiberInnen außerschulischer Lernorte im Bereich Chemie oder vergleichbarer Einrichtungen und natürlich auch Interessierte von Verbänden und Institutionen, die sich mit dieser Thematik beschäftigen.

Bereits im Rahmen der Umfrage waren die Schülerlabore darüber informiert worden, dass eine Abschlusstagung zu diesem Projekt durchgeführt werden wird. Die Veranstaltung wurde auch auf der Jahrestagung der Fachgruppe Chemieunterricht in Kiel (September 2014) auf einem Poster und in der CHEMKON (4)2014, dem Mitgliedsheft der Fachgruppe, angekündigt.

Im Auftrag des Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labors wurde vom ZUK ein Einladungsflyer sowohl in gedruckter Form als auch als elektronisch versendbare Fassung erstellt. Die gedruckten Exemplare (Auflage 1000 Stück) wurden Mitte November in kleinen Portionen an Multiplikatoren versendet, versehen mit der Bitte, diese an Interessierte zu verteilen. Dazu gehören u.a.:

- Schülerlabore, die an der Umfrage teilgenommen haben
- GDCh-Lehrerfortbildungszentren

- Chemie-Didaktiken an Universitäten

Auch an die Kultusministerien der Länder wurden einige Exemplare verschickt. Alle ReferentInnen und sonstigen Unterstützer des Projekts erhielten ebenfalls einige Einladungsflyer.

Der elektronische Versand der Einladungen erfolgte über Verteiler von Lernort-Labor und der DBU an alle registrierten Schülerlabore bzw. weitere potentielle Interessengruppen. Zusätzlich wurde die Tagung in die Veranstaltungskalender von Lernort-Labor und der DBU im Internet aufgenommen. Seitens der GDCh wurde die Veranstaltung auf [www.gdch.de/gesellschaft](http://www.gdch.de/gesellschaft) und auf [www.energie-und-chemie.de](http://www.energie-und-chemie.de) eingestellt und über Facebook und Twitter bekannt gegeben.

Die Tagung begann mit Grußworten von Vertretern der DBU, der GDCh und dem Niedersächsischen Kultusministerium, die den Stellenwert dieses Themas aufzeigten. Anschließend wurden Entstehung, Ablauf und Erkenntnisse des Projekts vorgestellt. Die nachfolgenden ReferentInnen erörterten die Sichtweisen aus der Fachwissenschaft, Chemiedidaktik, Schülerlabor und Schule. Ergänzt und aufgelockert wurde das Programm durch Präsentationen von ausgewählten Experimenten zum Themenfeld Chemie und Energie. Abschließend fand eine Diskussion der Teilnehmer statt, um die Frage "Was ist zu tun?" beantworten zu können. Der genaue Ablauf der Veranstaltung ist dem angehängten Tagungsflyer zu entnehmen. Insgesamt nahmen 47 Personen aus unterschiedlichen Bereichen teil.

Seitens der DBU wurde eine Pressemitteilung herausgegeben, die anschließend in weiteren Medien verbreitet wurde (u.a. [www.Finanznachrichten.de](http://www.Finanznachrichten.de), [www.boxenstopp-heizen-kuehlen.de](http://www.boxenstopp-heizen-kuehlen.de)).

## **6.2 Beiträge der ReferentInnen**

### **6.2.1 Ilka Deusing-Gottschalk und Petra Mischnick: Projekt 'Chemie und Energie in Schülerlaboren'**

Zur Einführung wurden das Agnes-Pockels-SchülerInnenlabor, seine Arbeitsweise und Ziele vorgestellt. Verschiedene Themenbereiche aus der Angebotspalette, insbesondere zum Thema Nachhaltigkeit, wurden genannt. Anschließend folgten Informationen zum Entstehen und zum Hintergrund des Projekts. Ablauf und Durchführung wurden beschrieben, die Ergebnisse der Umfrage wurden präsentiert. Dies beinhaltete sowohl eine statistische als auch eine inhaltliche Auswertung der zusammengestellten Antworten. Aus den einzelnen Themenbereichen wurden die häufigsten der erfassten Experimente vorgestellt. Außerdem wurde die Dokumentation der Ergebnisse erläutert. Die wichtigsten Aussagen aus den Stellungnahmen aus der Broschüre wurden dem Publikum als Grundlage für die spätere Diskussion kurz zusammengefasst, soweit die AutorInnen diese nicht selbst auf der Tagung präsentierten.

Insgesamt war festzustellen, dass es durchaus vielfältige Angebote zu "Chemie und Energie" gibt, diese aber nicht immer so einfach zu finden sind. Die "Sichtbarkeit" müsste verbessert werden, wozu dieses Projekt hoffentlich beitragen kann. Der Transfer zwischen den Schülerlaboren sollte gefördert werden. Da nicht jedes Schülerlabor die Kapazitäten hat, neue Angebote zu bestimmten Themen auszuarbeiten, wäre es hilfreich, wenn bereits existierende "gute Angebote" eine stärkere Verbreitung erfahren würden.

Eine weitere Schlussfolgerung aus den Ergebnissen ist, dass die identifizierten Lücken mit entsprechenden Angeboten gefüllt werden sollten. Dies gilt sowohl hinsichtlich der angebotenen Themen - hier sind Experimente zu Materialien oder Katalyse stärker zu berücksichtigen - als auch mit Blick auf die Zielgruppen. Eine Ausweitung der Angebote auch für jüngere SchülerInnen ist erforderlich.

Außerdem sollte ein enger Austausch zwischen Fachwissenschaft, Chemiedidaktik und Schülerlabor erfolgen, damit auch aktuelle Themen aus der Forschung angemessen aufbereitet zeitnah ihren Weg zu den SchülerInnen finden.

Die Arbeit von Schülerlaboren wird in den Schulen geschätzt und zur Ergänzung des Unterrichts genutzt. Daher wäre es grundsätzlich an der Zeit, die Rahmen- und Arbeitsbedingungen für Schülerlabore zu sichern und zu verbessern. Seitens der Schulen dürfen Schülerlaborbesuche nicht an Organisatorischem oder Formalien scheitern.

### **6.2.2 Marco Oetken und Isabel Rubner: Erneuerbare Energien als Gegenstand der naturwissenschaftlichen Bildung**

Im Rahmen dieses Vortrags wurden verschiedene aktuelle im Arbeitskreis von Prof. Oetken entwickelte Experimente vorgestellt und größtenteils auch live vorgeführt. Es handelte sich um Forschungsfelder des Freiburger Projektes „Perspektiven nachhaltiger Energieversorgung“.

Es wurde demonstriert, wie das aktuelle und zukunftsweisende, aber technisch aufwendige Themenfeld der Lithium-Ionen-Akkumulatoren für den Chemieunterricht zugänglich gemacht werden kann. Die Funktionsweise der Graphitinterkalationselektroden, durch die das Lithium gut handhabbar wird, wurde erläutert, Maßnahmen zur Leistungssteigerung wurden vorgeführt. So besitzt auch der Natrium-Ionen-Akkumulator eine Graphitintercalationselektrode, dazu eine elektrochrome  $\text{TiO}_2$ -Elektrode. Ihr Ladungszustand ist anhand der Farbe des  $\text{TiO}_2$  visuell zu erkennen.

Auch eine Selbstbau-Brennstoffzelle mit Aktivkohle/Graphit-Elektroden wurde vorgeführt. Diese Art der Elektroden ist aufgrund ihrer sehr großen Oberfläche sehr gut geeignet, auch für die Verwendung in Metall-Luft-Batterien.

Das Power-to-Gas-Konzept, die Methanisierung von Kohlenstoffdioxid, wurde vorgestellt. Wie sich dieser Vorgang für Schüler mit einfachen Mitteln umsetzen lässt, wurde vorgestellt.

### **6.2.3 Armin Reller: Geschichten von Stoff- und Energietransformationen**

Die Entwicklung des Energie- und Rohstoff-Verbrauchs der Menschheit wurde anhand ausgewählter Beispiele aufgezeigt. Eine Kohlenstoffbilanz der Menschheit heute wurde ebenso vorgelegt wie die Energiebilanz der Landwirtschaft. Hier ist die aufgewendete Energie fast dreimal so stark angestiegen wie die im Getreide gesammelte Energie.

Die spezifischen Umweltbelastungen bei der Primärproduktion ausgewählter Metalle wurden genannt. Klassische Industriemetalle wie Kupfer oder Stahl liegen bei den Treibhausgasemissionen um Dimensionen niedriger als Metalle für Zukunftstechnologien wie Indium oder Gallium (Faktor Hundert) oder Platin (Faktor Zehntausend). Die

Zahl der in der Technik und Industrie eingesetzten Metalle ist in den letzten Jahrhunderten explodiert. Die Verteilung der Rohstoffe auf der Welt fällt sehr ungleichmäßig aus, dieser Sachverhalt beeinflusst die Geopolitik einiger Staaten.

#### **6.2.4 Rolf Hempelmann: "Energieversorgung der Zukunft - der Beitrag der Chemie"**

Dieser Vortrag beleuchtete den Zusammenhang von Elektrochemie und Energiespeicherung. Verursacht auch durch die Energiewende steht in der Elektrizitätsversorgung ein Paradigmenwechsel an. Bisher wurde Energie in Kraftwerken nach Bedarf erzeugt. Künftig wird Energie bedarfsunabhängig dann erzeugt, wenn die Energiequellen wie Sonne oder Wind zur Verfügung stehen. Dies erfordert effiziente Speichertechniken, ein Gebiet der Elektrochemie. Möglichkeiten der energieeffizienten Stoffwandlungen wurden u.a. am Beispiel der Chlorherstellung mittels Elektrokatalyse und der Redox-Flow-Batterien erläutert.

#### **6.2.5 Ilka Parchmann: Das Thema Energie in der Bildung – Perspektiven für schulisches und außerschulisches Lernen**

Die Fachdidaktik setzt sich aus drei entscheidenden Bausteinen zusammen. Zum einen müssen Schülervorstellungen und Interessen analysiert werden. Das Energiekonzept lässt sich aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten. Es ist erwiesen, dass Schüler das Konzept Energie in mehreren Stufen lernen. Die Analyse von Fachforschung und Perspektiven ist ebenfalls entscheidend. Dazu muss die aktuelle Forschung didaktisch umgesetzt werden. Dritter Baustein ist die Konzeption von Lernangeboten. Dazu lassen sich auch authentische Lerngelegenheiten, wie sie in Schule, Alltag, Gesellschaft, Unternehmen und Forschung vorzufinden sind, nutzen. Diese unterstützen den Lernprozess.

#### **6.2.6 Nicole Garner: Energie aus nachwachsenden Rohstoffen - Experimentelle Angebote für Schülerlabore**

Im Vortrag wurde über das Projekt „*Chemie und Nachhaltigkeit im Schülerlabor*“ der Universität Bremen berichtet. Das Projekt wurde vorgestellt, Ziele und Konzeption sowie bisher gemachte Erfahrungen wurden anhand von Beispielen erläutert. Zum Konzept gehören die Integration kontextorientierten Angebote in den laufenden Unterricht sowie schüleraktives Experimentieren mit ergebnisoffenen Fragestellungen. Wichtig ist die eigenständige Lösbarkeit der Aufgaben durch die SchülerInnen. Das Thema Nachhaltige Energieträger wurde am Beispiel der Biokraftstoffe der 1. Generation, also Bioethanol und Biodiesel, entwickelt. Dazu gehört auch die kontroverse Diskussion um dieses Thema.

#### **6.2.7 Rolf Hempelmann: Schülerlabore & Neue Energien**

Der Vortrag beinhaltete grundsätzliche Informationen über Schülerlabore. Diese lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien einteilen, z.B. nach Arbeitsweise oder

Fachrichtung. Über die Hälfte der Schülerlabore in Deutschland wird von Forschungseinrichtungen, überwiegend universitäre aber auch außeruniversitären, getragen.

Für alle Energiefragestellungen sind der 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik die zentrale Grundlage, die je nach Altersstufe thematisiert werden können. Als Beispiele für "Neue Energien" aus der Physikalischen Chemie wurden das Bioheizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung, der Stirlingmotor als Selbstbau u.a. aus Labormaterialien, die Brennstoffzelle sowie die Redox-Fluss-Batterie vorgestellt.

### **6.2.8 Nicole Garner: Schülerlabore aus Sicht der Schulen**

Zur Einführung wurden Inhalte der Bildungs- und Rahmenpläne verschiedener Bundesländer mit Bezug zum Thema "Chemie und Energie" aufgeführt. Der positive Einfluss von Schülerlaboren auf den Lerneffekt bei Schülerinnen lässt sich wissenschaftlich nachweisen. Lehrkräften und SchülerInnen haben unterschiedliche Erwartungen an Schülerlabore. Während die Lehrkräfte eher die Vermittlung von Fachinhalten und eine thematische Ergänzung des Schulunterrichts neben besseren Möglichkeiten zum Experimentieren im Blickpunkt haben, erwarten die SchülerInnen eher neue Erfahrungen und interessante Angebote, auch zur beruflichen Orientierung. Das fachliche Lernen soll unter besseren Rahmenbedingungen als in der Schule stattfinden. Grundsätzlich gilt, dass Schülerlabore einen Mehrwert zum schulischen Lernen darstellen sollten.

### **6.3 Abschlussdiskussion**

Der Teilnehmerkreis der Tagung spiegelte ein breites Interesse an der Thematik wider. Er setzte sich aus Vertretern von Schülerlaboren, Schule, Fachwissenschaft, Chemiedidaktik, Ministerium und Verbänden zusammen. Die abschließende Diskussion berührte daher ganz verschiedene Aspekte des Themas. Die vorgestellten Erkenntnisse bezogen sich hauptsächlich auf klassische Schülerlaborangebote, also auf Besuche von Schulklassen im Rahmen des Unterrichts. Schülerforschungszentren, die eher eine Individualförderung anbieten und die von einzelnen SchülerInnen regelmäßig außerhalb des regulären Unterrichts besucht werden, werden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt. Ihre Arbeit muss anders bewertet werden.

Die Tatsache, dass für Grundschulen weniger Angebote zu "Chemie und Energie" bestehen, könnte auch bedeuten, dass das Thema Energie für Grundschüler als zu schwierig angesehen wird. Andererseits ist die Zahl der Schülerlabore, die sich dieser Altersgruppe annehmen, generell geringer. Man muss sich hier Gedanken um altersgemäße Zugänge machen.

Angemerkt wurde, dass sowohl SchülerInnen der Grundschulen als auch der Oberstufe gut erreichbare und interessierte Zielgruppen darstellen. In den Jahrgängen dazwischen gehe das Interesse der SchülerInnen an Chemie vielfach verloren. Daher sind Ideen, dem entgegenzuwirken, besonders willkommen..

Teilnehmende Lehrkräfte bemängelten, dass sie zu wenige Möglichkeiten zur Fortbildung haben, um z.B. neue Experimente kennen zu lernen oder Tagungen wie die aktuelle zu besuchen. Oft scheitert die Teilnahme aus organisatorischen Gründen. Die Möglichkeit, Schülerlaborbesuche im schuleigenen Lehrplan zu verankern, stieß auf

reges Interesse. Weiterhin wurde seitens der Lehrkräfte angeregt, Curricula wieder zentral zu entwickeln. Einige Lehrkräfte unterstrichen auch noch einmal, dass Schülerlabore im Hinblick auf die Berufsorientierung wichtige Arbeit leisten.

Mehrere Teilnehmer betonten die Wichtigkeit eines Austauschs zwischen den Schülerlaboren untereinander. Genau dieser Aspekt spielt in einem neuen von Lernort-Labor durchgeführten und von der DBU geförderten Projekt eine wichtige Rolle. Mit Fokus auf die naturwissenschaftlich-technische Umweltbildung sollen vorhandene Angebote in Schülerlaboren erfasst und kommuniziert werden. Dazu soll ein bundesweites Netzwerk von Schülerlaboren etabliert werden.

## 7 Fazit

Eine Erkenntnis dieses Projekts ist, dass es in den Schülerlaboren durchaus ein vielfältiges Angebot an Experimenten zu "Chemie und Energie" gibt. Es gestaltet sich aber schwierig, zu erfahren, welche Experimente genau angeboten werden. Einerseits gab es bisher keinen Überblick über das Angebot der Schülerlabore zu diesem Thema - diese Lücke konnte mithilfe dieses Projekts geschlossen werden -, andererseits weisen die Angaben der Schülerlabore zu ihren Angeboten große Unterschiede hinsichtlich des Informationsgehalts auf. Das Projekt hat auch aufgezeigt, dass die Schülerlabore sehr unterschiedlich verfahren, was die Verbreitung und Weitergabe ihrer Experimente betrifft. Teils sind diese nur für das eigene Labor bestimmt, teils lassen sich sämtliche Informationen im Internet recherchieren. Grund dafür ist sicher auch die mangelnde Kapazität, Inhalte geeignet für die Dissemination aufzubereiten. Viele SchülerInnen, Lehrkräfte wie auch andere Schülerlabore könnten davon profitieren, wenn sich dieser "Schatz" heben ließe.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass sich die Vielfalt der Angebote von Themengebiet zu Themengebiet stark unterscheidet und sich nicht einfach aus der Anzahl der Angebote schließen lässt. Einiger Schülerlabore bieten spezielle Experimente aus dem Spektrum ihres Forschungsgebiets an, das in den chemiedidaktischen Zeitschriften bisher nicht zu finden ist. Dies ist besonders bei Einrichtungen an fachwissenschaftlichen Hochschuleinrichtungen und Forschungszentren der Fall

Andererseits gibt es Themengebiete wie z.B. die Brennstoffzelle, bei denen die Schülerlabore stark auf kommerzielle Experimentiersets zu diesem Themengebiet zurückgreifen. Dabei handelt es sich in der Regel um Komplettangebote, die sowohl das zur Durchführung der Experimente erforderliche Material als auch Versuchsvorschriften und teilweise auch ein didaktisches Konzept umfassen. Es sind verschiedene Gründe für diese Situation denkbar. So kann es in öffentlichen Institutionen einfacher sein, Mittel für Anschaffungen zu erhalten als Personalmittel, um Versuchsreihen selbst entwickeln zu können. Vielleicht fehlt in von Fachwissenschaftlern betriebenen Schülerlaboren mitunter das didaktische Fachwissen, um neu aufkommende Themen entsprechend aufzubereiten.

Themenbereiche wie Energiewandlung und -speicherung stellen ein weites Feld dar. Hierzu gibt es ein zahlenmäßig großes Angebot. Angebote zu Katalyse oder 'Intelligente Materialien' sind dagegen kaum zu finden. Liegt es daran, dass Energiekonzepte meist stark physikalisch geprägt sind? Allerdings stellt sich die Frage, ob es auch in diesen nach Anzahl der Angebote schwach vertretenen Bereichen vielleicht viel mehr



gibt. Viele Versuche kann man aus unterschiedlichen Blickwinkeln bearbeiten, nicht immer steht das Zusammenspiel von 'Chemie und Energie' im Vordergrund. Bei deutlich chemisch geprägten Themenbereichen wie Katalyse oder 'Intelligente Materialien' ist der Aspekt 'Energie' meist nicht so unmittelbar gegeben oder erkennbar wie bei Brennstoffzellen oder der Photovoltaik. Aber auch dort wird weniger die stoffliche Natur und der Aufbau des Elektrodenmaterials, von Membranen oder von Solarzellen thematisiert als die Funktionsweise bei der Energiewandlung. Das Potential für ein breiteres Angebot ist grundsätzlich vorhanden.

In jedem Fall sollte ein enger Austausch zwischen Fachwissenschaft, Chemiedidaktik und Schülerlabor erfolgen, damit auch aktuelle Themen aus der Forschung angemessen aufbereitet zeitnah ihren Weg zu den SchülerInnen finden. Der Transfer zwischen den Schülerlaboren sollte gefördert werden.

Die identifizierten Lücken sollten mit entsprechenden Angeboten gefüllt werden sollten. Dies gilt sowohl hinsichtlich der angebotenen Themen - hier sind Experimente zu Materialien oder Katalyse stärker zu berücksichtigen - als auch mit Blick auf die Zielgruppen. Eine Ausweitung der Angebote auch für jüngere SchülerInnen ist erforderlich.

In diesem Projekt wurden die experimentellen Angebote in Schülerlaboren zu "Chemie und Energie" lediglich erfasst, eine Bewertung erfolgte nicht. Die zugrunde liegenden didaktischen Konzepte wurden nicht berücksichtigt. Es lässt sich aus den vorliegenden Informationen über die Angebote auch nicht beurteilen, inwieweit die Forderungen der ExpertInnen, nämlich die Vermittlung wesentlicher physikalisch-chemischer Grundlagen sowie die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung, erfüllt werden.

Abschließend soll noch einmal betont werden, dass die Rahmenbedingungen für Schülerlabore zu verbessern sind, damit die Fortführung ihrer Arbeit auch künftig gewährleistet ist. Nur dann können sie die Erwartungen, die von den verschiedenen Parteien an sie gestellt werden, auch erfüllen. Schülerlaborangebote sind inzwischen fest etabliert und werden von den Schulen für ihre Arbeit zu als Ergänzung zum Schulunterricht gern genutzt. Daher sollten Schülerlaborbesuche nicht an Organisatorischem oder Formalien scheitern.

## 8 Literaturverzeichnis

- *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* (PdN-ChiS), Aulis Verlag in der STARK Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Hallbergmoos
- *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* (NiU-C), Friedrich Verlag GmbH, Seelze
- *Chemie konkret* (CHEMKON), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- *Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht* (MNU), Verlag Klaus Seeberger, Neuss
- *HIGHCHEM hautnah - Aktuelles über Elektrochemie und Energie*, Beiträge der Wochenschau 2006, GDCh
- *HIGHCHEM hautnah - Aktuelles über Nachhaltige Chemie*, Beiträge der Wochenschau 2008; GDCh

- *HIGHCHEM hautnah - Aktuelles über Chemie und Energie*, Beiträge der Wochenschau 2010, GDCh
- <http://www.aschemann.at/Downloads/Fragebogen.pdf>
- L. Gräf, A. Werner, B. Batinic, W. Bandilla (Hg.), *Online Research - Methoden, Anwendungen und Ergebnisse*, Hogrefe-Verlag, Göttingen 1999
- <http://www.fragebogen.de>
- <http://www.grafstat.de>

## **Anhang**

Fragebogen 'Chemie und Energie in Schülerlaboren'

Tagungsflyer 'Chemie und Energie in Schülerlaboren 2015'

## **Anlage**

Projektbroschüre "**Chemie und Energie in Schülerlaboren - Was gibt es? Was ist zu tun?**" inkl. CD mit der Übersicht der experimentellen Angebote zum Thema 'Chemie und Energie' in Schülerlaboren

Dieses Projekt wurde von der **Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)** mit einem Druckkostenzuschuss und von **LernortLabor- Bundesverband der Schülerlabore e.V.** bei der Ausführung unterstützt.

Die teilnehmenden Schülerlabore sind in der Broschüre aufgeführt.