

# Nachhaltigkeit + Chemie im Schülerlabor



gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

## „Nachhaltigkeit und Chemie – Entwicklung neuer experimenteller Angebote für Schülerinnen und Schüler in den Schülerlaboren NanoBioLab in Saarbrücken und FreiEx in Bremen“

Aktenzeichen der DBU: 28349 – 41

**Abschlussbericht**  
**Förderzeitraum Juni 2011 - September 2014**

Prof. Dr. Rolf Hempelmann  
Dr. Angela Munnia, Dr. Walter Zehren, Dr. Sabine Fey  
Johannes Huwer, Matthias Seel  
Universität des Saarlandes  
Physikalische Chemie  
Transferzentrum Nano-Elektrochemie (TNE)  
Campus B2 2  
66123 Saarbrücken

Prof. Dr. Ingo Eilks  
Dr. Silvija Markic  
Nicole Garner  
Universität Bremen  
Institut für die Didaktik der Naturwissenschaften (IDN)  
Leobener Straße, NW 2  
28359 Bremen

Prof. Dr. Jorg Thöming  
Dr. Antje Siol  
Universität Bremen  
Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT)  
Leobener Straße 1  
28359 Bremen



**Projektbeginn** Juni 2011  
**Projektlaufzeit** 36+6 Monate

Saarbrücken und Bremen,  
im Oktober 2014



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

Az	<b>28349-41</b>	Referat	Fördersumme	<b>234.094 €</b>
----	-----------------	---------	-------------	------------------

**Antragstitel** **Nachhaltigkeit und Chemie –  
Entwicklung neuer experimenteller Angebote  
für Schülerinnen und Schüler in den Schülerlaboren  
NanoBioLab in Saarbrücken und FreiEx in Bremen**

**Stichworte** Elektrochemische Energiewandler und Energiespeicher, Chemie mit nachwachsenden Rohstoffen, organische Synthesen

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>36 Monate</b>	<b>01.06.2011</b>	<b>30.09.2014</b>	<b>1</b>
Zwischenberichte	Nr. 1; Dez. 2011 Nr. 4; Juli 2013	Nr. 2; Juni 2012 Nr. 5; Feb. 2014	Nr. 3; Dez. 2012 Endbericht Okt. 2014

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Universität des Saarlandes Physikalische Chemie Transferzentrum Nano-Elektrochemie (TNE) Campus B2 2 66123 Saarbrücken	Tel 0681 302 4750 Fax 0681 302 4759
		Projektleitung: Prof. Dr. R. Hempelmann
		Bearbeiter: Dr. A. Siol, Dr. A. Munnia

**Kooperationspartner** Universität Bremen  
Zentrum für Umweltforschung und Nachhaltige Technologien (UFT) sowie  
Institut für die Didaktik der Naturwissenschaften (IDN)  
Prof. Dr. J. Thöming und Prof. Dr. I. Eilks  
Leobener Str. NW2  
28334 Bremen

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Für den Einsatz in Schülerlaboren sollen Aufgabenstellungen zur Nachhaltigen Chemie und zur Chemie mit nachwachsenden Rohstoffen im Sinne von „Forschendem Lernen und offenem Experimentieren“ entwickelt werden, wozu es umfangreiche Vorarbeiten am NanoBioLab in Saarbrücken und am FreiEx in Bremen gibt. **Ziel 1** des vorliegenden Projektes ist die Entwicklung von Schülerexperimenten vorwiegend aus den Bereichen Physikalische und Elektrochemie im Hinblick auf Energienachhaltigkeit, aber auch aus dem Bereich Ionische Flüssigkeiten. **Ziel 2** ist die Entwicklung von organischen „Speed“-Synthesen unter besonderer Berücksichtigung von stofflicher Nachhaltigkeit, Entsorgung und Energieeffizienz.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Der Lehrstuhl Prof. Hempelmann (Partner 1) forscht auf den Gebieten Elektro- und Nanochemie und besitzt Know-how bei Brennstoffzellen, Batterien, (bio-)elektroorganischen Synthesen und Ionischen Flüssigkeiten. Partner 2 besitzt einschlägige Kompetenz im Bereich Umweltforschung, Organische Synthesen und Nachhaltige Technologien am UFT bei Prof. Thöming und Dr. Siol und besondere fachdidaktische Expertise im IDN bei Prof. Eilks und Dr. Markic, gerade auch in der Didaktik einer chemiebezogenen Bildung für nachhaltige Entwicklung (BnE). Diese Zusammenarbeit deckt in ihrer fachwissenschaftlichen Breite viele Felder ab, in denen sich die moderne Chemie besonders um Fragen einer nachhaltigen und grünen Chemie bemüht. Durch die fachdidaktische Expertise ist zudem gewährleistet, dass die entsprechenden fachwissenschaftlichen Arbeiten kompetent fachdidaktisch elementarisiert und in moderne Bildungszusammenhänge eingeordnet werden.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Ausgehend von der DBU-geförderten *Nachhaltigkeit im organisch-chemischen Praktikum - NOP* sollen synthetische Arbeitsmethoden entwickelt werden, die sich für eine Anwendung und Umsetzung im Schülerlabor und/oder im Chemieunterricht der Klassenstufen 5-12(13) an Gymnasien und anderen Schulen der Sekundarstufe eignen. Angestrebt werden Versuchsvorschriften in Form „ergebnisoffener“ Problemstellungen (Forschendes Experimentieren) mit Arbeitsblättern für analytische Fragestellungen, für energierelevante Fragestellung, vorzugsweise aus der Elektrochemie, für chemische Reaktionen aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe, für einfache Naturstoffsynthesen (Farb- oder Duftstoff), Additionsreaktion an eine Doppelbindung sowie C-C-Verknüpfungsreaktionen. Diese Vorschriften werden in einen problemorientierten und alltagsbezogenen Kontext eingebunden. Dabei sollen besonders – soweit im entsprechenden Jahrgang möglich – neue fachspezifische Konzepte und Handhabungen zu folgenden Themen vermittelt werden:

- Elektrochemische Energiewandler und Energiespeicher,
- energetisch günstige, umweltschonender alternativer Reaktionsbedingungen durch Verwendung katalytischer und enzymatischer Reaktionen,
- alternative Techniken zu thermischen Reaktionen: elektrochemische Reaktionen
- Verwendung nachwachsender Rohstoffe.

Wesentliche Voraussetzung für die Bearbeitung offener Aufgaben ist die Einbindung in den normalen Unterricht. Erst dadurch stehen Vorkenntnisse zur Verfügung, die den Schülerinnen und Schülern eine weitgehend eigenständige Problemlösung erlauben. Der Ansatz „Forschendes Experimentieren im Schülerlabor“ soll zu einem vertieften Verständnis der Grundprinzipien der Nachhaltigen Chemie und der Chemie nachwachsender Rohstoffe führen.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

In zahlreichen öffentlichen Auftritten bei Tagungen, Messen und Konferenzen wurde unser Kooperationsprojekt durch Poster-Präsentationen, Vorträge, Experimental-Vorträge, Lehrerfortbildungen etc. präsentiert. Die Ergebnisse flossen laufend in die Ausbildung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Saarbrücken und Bremen ein und wurden/werden über Fortbildungsangebote auch den bereits praktizierenden Lehrkräften zugänglich gemacht. Über die Schülerlabore und über die Lehrkräfte als Multiplikatoren haben wir bei vielen Schülerinnen und Schülern Motivation und Kognition bzgl. der stofflichen Verwertung von Biomasse und der Nachhaltigen Chemie deutlich verbessert. Am Ende des Projektes sollen die erzielten Ergebnisse in einem Buch und unser projekteigenes Internet-Portal, sowie auch bei [www.lernort-labor.de](http://www.lernort-labor.de) und [www.freix.uni-bremen.de](http://www.freix.uni-bremen.de) zusammengeführt werden. Über diese Medien und unsere Konferenz- und Tagungsauftritte werden viele Schülerlabore sowohl im deutschsprachigen Raum als auch auf internationaler Ebene angesprochen.

## **Fazit**

Nach 3jähriger Projektarbeit (+ 6 Monate kostenneutraler Verlängerung) konnte die Entwicklungsarbeit an den Unterrichtsmodulen abgeschlossen werden. Die Angebote wurden mehrfach in den Schülerlaboren in Bremen und Saarbrücken durchgeführt und dadurch mehrfach optimiert. Ferner konnten die Inhalte erfolgreich in fachdidaktischen Zeitschriften publiziert werden. Im Rahmen dieses Kooperationsprojektes konnten bisher drei Master- und Staatsexamensarbeiten erfolgreich abgeschlossen werden. Zwei Promotionsvorhaben werden Ende 2014/Anfang 2015 zum Abschluss kommen.

# Inhalt

<b>Projektkennblatt</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Kurzfassung des Berichts</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Anlass und Zielsetzung</b> .....	<b>8</b>
2.1 Synergie zwischen Saarbrücken und Bremen.....	10
<b>3. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b> .....	<b>11</b>
3.1 Zeitplan.....	11
3.2 Kooperation und Arbeitsaufteilung .....	13
3.3 Entwicklung der Modulinhalte .....	15
3.4 Austausch innerhalb der beiden Projektteams .....	18
3.5 Evaluation.....	18
3.6 Unterstützung durch den Projektbeirat.....	20
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>22</b>
4.1 Schülerlabor „NanoBioLab“ der Universität des Saarlandes .....	22
4.1.1 Allgemeines zur Durchführung der Schülerpraktika in Saarbrücken .....	22
4.1.2 Vorstellung der einzelnen Module .....	23
4.2 Schülerlabor „FreiEx“ der Universität Bremen.....	30
4.2.1 Vorstellung der einzelnen Module .....	30
4.3 Lehrerfortbildungen .....	47
4.4 Lehrveranstaltungen.....	48
4.5 Unterrichtsreihe „Energienachhaltigkeit“ .....	49
<b>5. Öffentlichkeitsarbeit</b> .....	<b>51</b>
5.1 Vorträge und Präsentationen .....	56
5.2 Fachdidaktische Publikationen im Berichtszeitraum zum Thema Schülerlabor .....	59
5.3 Pressestimmen.....	60
5.4 Buchprojekt .....	61
<b>6. Ausblick</b> .....	<b>65</b>
<b>7. Anhang</b> .....	<b>66</b>
7.1 Inhaltsverzeichnis (entspricht der CD-Rom).....	66
7.2 Tabellenverzeichnis .....	71
7.3 Abbildungsverzeichnis .....	72

## 1. Kurzfassung des Berichts

„Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor“, dieser Titel beinhaltet den Überlapp eines politischen und gesellschaftlichen Handlungsprinzips, einer speziellen aber für Nachhaltigkeitsfragen besonders relevanten Naturwissenschaft und einer in Deutschland sehr lebendigen außerschulischen Bildungsbewegung. Alle Projektpartner haben Chemie studiert, haben aber teilweise eine stärker fachwissenschaftliche bzw. fachdidaktische Expertise. Die Synergien, die sich aus der Komplementarität im Hintergrund und der Interdisziplinarität im Ziel ergeben können, galt es zur Vermittlung von naturwissenschaftlich-technischer Nachhaltigkeitsbildung an Jugendliche frei zu setzen und zu nutzen.

Ausgangslage waren die beiden Chemie-Schülerlabore NanoBioLab in Saarbrücken und FreiEx in Bremen, beide voll im Betrieb. Das Angebot umfasste ursprünglich einzelne zwei- bis dreistündige Praktika mit Bezug zum schulischen Curriculum, also halbtägige Veranstaltungen. Um Nachhaltige Chemie und den damit verbundenen Nachhaltigkeitsgedanken in diesen Schülerlaboren zu implementieren und über die Schülerlabore auch in die Schulen zu tragen, haben wir im Rahmen des vorliegenden Projekts Schülerlabor-Module entwickelt, also größere Unterrichtseinheiten, die dann auch zeitlich mehr als einen halben Tag in Anspruch nehmen. Geeignete Module haben wir zu Unterrichtsreihen zusammengefasst, um so auch ein Experimentangebot für eine Projektwoche oder für ein Wissenschaftscamp vorzuhalten.

Unsere Schülerlabor-Module sind modular aufgebaut und bestehen aus obligatorischen und optionalen Modulelementen. Obligatorisch in jedem Fall sind:

- Theoretische Einführung (Nachhaltige Chemie und der Nachhaltigkeitsgedanke sind Schüler/innen vom Standard-Schulunterricht her nicht unbedingt vertraut)
- Experiment im Schülerlabor (halbtägig, zentral für das jeweilige Modul)
- Nachbereitung (nützlich, damit sich das Gelernte verfestigt)

Dazu kamen als optionale Modulelemente eventuell noch ein zweites Schülerlabor-Praktikum, wenn der Stoff zu umfangreich ist, eine Führung durch ein einschlägig arbeitendes Forschungslabor oder eine Exkursion zu einem einschlägig arbeitenden Betrieb. Für Schüler/innen ist so der Zusammenhang zwischen dem didaktisch natürlich stark reduzierten Schülerlaborexperiment und der Wirklichkeit in „Forschung“ und „Produktion“ erkennbar, was natürlich sehr viel stärker als nur ein Schülerlabor-Praktikum für Naturwissenschaft und Technik motiviert und die Schüler/innen vielleicht sogar dazu bringt, eine derartige berufliche Option für sich selbst in Erwägung zu ziehen (Berufsorientierung).

Derartige Schülerlabor-Module für Sekundarstufe 1 und Sekundarstufe 2 haben wir nach Jahrgangsniveaus gestaffelt: Module für Klassenstufe 5/6, für 7/8, für 9/10 und für 11/12 (13). Außerdem sind diese Module so konzipiert, dass sie jeweils einen Teilbereich der Chemie und einen bestimmten Aspekte der Nachhaltigkeit in den Vordergrund stellen. Das ist nachfolgenden kurz zusammengefasst.

**Tabelle 1.1: In Bremen entwickelte Module**

Niveau	Thema	Aspekte der Nachhaltigkeit	Sparte der Chemie
5/6	Duftstoffe aus Blüten und Früchten	Schonender Umgang mit Ressourcen; nachwachsende Rohstoffe	Organische Chemie
7/8	Luft: Reinhaltung und Analyse	Menschliche Einflüsse auf den die Erde und ihr Klima	Anorganische Chemie
9/10	Alternative Treibstoffe durch Chemie	Nachwachsende und nachhaltige Energiequellen	Organische Chemie
11/12 (13)	Synthese: Vanille oder Vanillin	Bewertung verschiedener synthetischer Strategien	Organische Chemie
11/12 (13)	Biokunststoffe	Moderne und nachhaltige Synthesestrategien	Organische Chemie

**Tabelle 1.2: In Saarbrücken entwickelte Module**

Niveau	Thema	Aspekte der Nachhaltigkeit	Sparte der Chemie
7/8	Wasser: Trinkwasser, Abwasser, Gewässergüte	Schonender Umgang mit Ressourcen, Ressourceneffizienz	Analytische Chemie
9/10	Korrosion und Korrosionsschutz	Langlebigkeit von Anlagen unter Verwendung unbedenklicher Chemikalien,	Elektrochemie
11/12 (13)	Bioenergie nachwachsender Rohstoffe / Thermodynamik	Kraft-Wärme-Kopplung, CO <sub>2</sub> -neutrale Brennstoffe, Energieeffizienz,	Thermodynamik
11/12 (13)	Schmerzmittel	Klassische nachhaltige Chemie: Minimierung des Einsatzes organischer Lösemittel;	Organische Chemie
11/12 (13)	Omega-3-Fettsäuren	Erhalt der traditionellen Kulturlandschaft und Artenvielfalt, Nutzung regionaler Agrarprodukte, weniger Transportkosten, Qualitätssicherung	Organische Analytik

Mit der Auswahl unserer Modulthemen decken wir die wesentlichen Aspekte der Nachhaltigen Chemie ab. Fachlich gehen wir deutlich über die Organische Chemie hinaus, die bisher die Nachhaltige Chemie dominiert.

Die optionalen Modulelemente „Führung durch ein einschlägig arbeitendes Forschungslabor“ und „Exkursion zu einem einschlägig arbeitenden Betrieb“ wurden z.B. realisiert im Modul „Korrosion und Korrosionsschutz“. Die Schüler/innen haben selbst im Schülerlabor Stahlbleche elektrolytisch verzinkt. Danach wurde ihnen im Transferzentrum Nanoelektrochemie in Saarbrücken-Dudweiler das Galvanoformen und das ECM (ElectroChemical Machining) demonstriert, beides Forschungsarbeiten in Forschungsverbänden zwischen Universität und Industrie. Bei einem Besuch der Großverzinkerei Neunkirchen/Saar haben die Schüler/innen schließlich die industrielle Verzinkung hautnah erleben können. Als zweites Beispiel sei das Modul „Omega-3-Fettsäuren“ angeführt: Im Schülerlabor analysieren die Schüler/innen Pflanzenfette mittels Dünnschichtchromatographie. Im Labor des Instituts für „Bioanalytik und instrumentelle Analytik“ wurde die gleichen analytischen Fragestellung mittels HPLC (High Performance Liquid Chromatography) angegangen, und schließlich beim Besuch der (übrigens DBU-geförderten) Firma KD Pharma in Bexbach wurde den Schüler/innen gezeigt, wie Omega-3-Fettsäuren mittels präparativer Chromatographie mit überkritischem CO<sub>2</sub> aus Fischölen extrahiert werden.

Natürlich lassen sich sowohl „Forschungslabor“ als auch „Industriebetrieb“ nicht in allen Modulen realisieren.

Die Module wurden im Zuge der Entwicklung von Lehramtsstudierenden und einzelnen Schülergruppen getestet und aufgrund des „Feedbacks“ optimiert und dann zunächst im Schülerlabor des jeweiligen Standorts implementiert. Mit dieser Umsetzung des Konzepts „Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor“ wurden sehr viele Schüler/innen erreicht: in Saarbrücken besuchen schon seit Jahren ca. 1.800 Schüler/innen jährlich das NanoBioLab, und etwa ein Drittel davon hat eines der o.a. Experimente durchgeführt, so dass wir in den Projektjahren 2 und 3 mehr als 1.000 Schüler/innen allein in Saarbrücken erreicht haben. In Bremen sind die Besucherzahlen des Schülerlabors etwas niedriger.

Die Übertragung der Entwicklungsergebnisse des einen Schülerlabors auf das andere Schülerlabor erwies sich als schwieriger als zunächst erwartet und ist auch nicht in allen Fällen gelungen. Das liegt an den unterschiedlichen didaktischen Konzepten. Im NanoBioLab wird „Forschendes Experimentieren“ in ziemlich reiner Form praktiziert. Das ist deshalb möglich, weil „Forschendes Experimentieren im Schülerlabor“ für die Chemie-Lehramtsstudierenden ein Pflichtpraktikum (mit begleitendem Seminar) ihrer Fachdidaktik-Ausbildung ist. In diesem Rahmen muss jeder Saarbrücker Chemie-Lehramtsstudent neun Betreuungstermine im NanoBioLab absolvieren. Insofern steht im NanoBioLab ein gut ausgebildeter und engagierter Betreuer für 2 bis 3 Schülergruppen, also für 6 bis 8 Schüler/innen zur Verfügung; dadurch bedingt sind die Versuchsanleitungen in der Regel sehr offen formuliert: es wird eigentlich nur das Problem gestellt; epistemische Fragen und Versuchsdurchführungen müssen seitens der Schüler/innen erarbeitet werden.

Im Bremer Schülerlabor FreiEx gibt es diese hohe Betreuerdichte nicht, dementsprechend wird das Konzept des „Geführt Forschenden Experimentierens“ verfolgt, mit deutlich ausführlicheren Versuchsanleitungen.

Die Unterschiede in den Konzepten spiegeln natürlich ein Stück weit die Pluralität der Schülerlaborszene insgesamt wieder, und insofern wird jedes andere Schülerlabor unter den ausgearbeiteten Modulen solche finden, die gut zum eigenen Konzept passen.

Schülerlabor-Unterrichtsreihen wurden und werden in Saarbrücken im Rahmen der „Sieben-Labore-Tour“ (WissenschaftsCamp) angeboten, das jeweils in den saarländischen Schulherbstferien stattfindet. Es handelt sich um eine Zusammenarbeit von saarländischen Schülerlaboren, und so können und werden z.B. beim diesjährigen Hauptthema „Wissenschaft und Umwelt“ auch Experimente aus den Bereichen Werkstoffwissenschaft, Mechatronik, Bioverfahrenstechnik und Energieverfahrenstechnik angeboten, die aber im gleichen Maße wie die Nachhaltige Chemie dem Nachhaltigkeitskonzept entsprechen.

Bremer Aktivitäten können von interessierten Lehrkräften im Zuge der Sommeruniversität und den jährlich statt findenden MINT-Fachtagen besucht werden. Zusammen mit ihren Schülerinnen und Schülern sind sie zum Open Campus geladen, um an zahlreichen Veranstaltungsangeboten der auf dem Bremer Uni-Campus verorteten Schülerlaboren teilzunehmen.

Insgesamt ist es aus unserer Sicht gelungen, Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor zu implementieren, eine große Schüler/innen-Zahl zu erreichen und über sie und über ihre Lehrer/innen als Multiplikatoren, aber natürlich auch über unsere intensive Öffentlichkeitsarbeit, die Thematik in die Schulen und von dort auch in eine breitere Öffentlichkeit zu tragen. Über die Grenzen Bremens und des Saarlandes hinaus werden die „Produkte“ der wissenschaftlichen Arbeit beider Standorte in Form einer Webpräsenz und in Form eines Buches transportiert und sind so an anderen Standorten installierbar. Beide beteiligten Schülerlabore werden noch lange weiter betrieben werden, und vor allem die Module zur Nachhaltigen Chemie, die bei den Schüler/innen besonders gut angekommen sind, werden noch viele Jahre lang angeboten werden.

## 2. Anlass und Zielsetzung

In der modernen Chemie ist die Nachhaltige Entwicklung im Sinne von Nachhaltiger Chemie und Chemie mit nachwachsenden Rohstoffen unbestritten grundlegende Herausforderungen. Dies drücken gleichermaßen Initiativen der Chemie (z.B. SusChem<sup>1</sup>), wie auch der Politik (z.B. UNO Weltdekade zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BnE)<sup>2</sup>) aus. Dieser Herausforderung muss sich auch die Ausbildung in Chemie an Schulen und außerschulischen Lernorten, wie Schülerlaboren, stellen<sup>3</sup>. Mehr Nachhaltigkeit und eine nachhaltige Entwicklung sind notwendig, um mit aktuellen Problemen wie dem Klimawandel, Ressourcenknappheit, sozialer Ungleichheit und mangelnder Generationengerechtigkeit umgehen zu können. Damit junge Menschen später in diesem Sinne individuell oder gesellschaftlich adäquat handeln können, ist Bildung für nachhaltige Entwicklung auch eine Aufgabe für Schule. Diese Aufgabe kann leichter wahrgenommen werden, wenn es seitens der Universitäten Angebote für eine Bildung im Sinne der Nachhaltigkeit gibt und den jetzigen und den zukünftigen Lehrkräften entsprechende Kompetenzen in der Aus- und Fortbildung vermittelt werden.

---

<sup>1</sup> <http://www.suschem.org/>

<sup>2</sup> <http://www.bne-portal.de/>

<sup>3</sup> GDCh (Hrsg.) Green Chemistry. Nachhaltigkeit in der Chemie. Weinheim: Wiley-VCH, 2003

In der Broschüre „Aktuelles zur Nachhaltigen Chemie“<sup>4</sup> ist ein repräsentativer Überblick gegeben, Stand 2009, der hierzu scheinbar nur bedingt passt. Demzufolge beinhaltet Nachhaltige Chemie, gekennzeichnet durch i) *die Verwendung weniger Rohmaterialien und weniger Energie*, ii) *eine Maximierung des Gebrauchs nachwachsender Rohstoffe* und iii) *eine Minimierung des Einsatzes gefährlicher Chemikalien*, zu 80 bis 90% Organische Chemie. Organisch-präparatives Arbeiten erfordert bisher wegen des Einsatzes organischer Lösungsmittel einen Abzug für jeden Arbeitsplatz; es gibt detaillierte Vorschriften („Kochbuch“-Experimente) und es wird viel Zeit benötigt (stundenlanges Sieden unter Rückfluss, Destillieren, Umkristallisationen usw.). Daher sind Schülerexperimente mit synthetischem Schwerpunkt der traditionellen Form leider kaum auf Schülerlabore übertragbar bzw. gehen nicht über einfache Destillationen, schnelles Cracken oder schlichte Kippversuche - wie z.B. die einfachen Fruchttestersynthesen - hinaus. Die Schülerinnen und Schüler langweilen sich, wenn nur Rezepte nachgekocht werden sollen und einzelne Arbeitsschritte stundenlang dauern. Das sind die Gründe dafür, dass in Deutschland in den Chemie-Schülerlaboren<sup>5</sup> überwiegend Themen der Anorganischen Chemie und der Physikalischen Chemie angeboten werden und dass die Organische Chemie und damit auch die Nachhaltige Chemie kaum vertreten sind.

Inhaltlich baut das Projekt auf den Erfahrungen aus den ebenfalls DBU-geförderten Projekten *Nachhaltigkeit im organisch-chemischen Praktikum - NOP, Oberstufenprofil – Nachhaltige Chemie, Der Klimawandel vor Gericht* und *Bildung für nachhaltige Entwicklung im Chemieunterricht – Ein Projekt zur Praxisinnovation über die Stärkung der Lehrerexpertise* an der Universität Bremen auf. Es greift curriculare Forderungen und experimentelle Vorarbeiten aus beiden Standorten etwa zu nachwachsenden Rohstoffen (Biodiesel, Chitosan, Bioethanol), moderner Katalyse (Festkörpersäuren, Enzym-Katalyse) oder zur Elektrochemie (Brennstoffzelle) auf, bedient sich aber auch aus der Expertise vorhandener, einschlägig fachwissenschaftlicher Forschung an beiden Standorten. Daneben werden bereits vorhandene Unterrichtsvorschläge aus der fachdidaktischen Literatur oder etwa aus der Informationsserie *Nachwachsende Rohstoffe* des VCI für den Einsatz im Schülerlabor angepasst und ggf. erweitert. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Vermittlung wesentlicher Prinzipien der Green Chemistry und auf allgemeine Aspekte der Nachhaltigkeitsdebatte gelegt werden, etwa auf Fragen zur Gefahrenminimierung, Entsorgung oder Energieeffizienz.

Im Projekt sollen daher Schülerlabormodule zum Themenbereich „Chemie und Nachhaltigkeit“ entwickelt, erprobt und implementiert werden. Ziel ist die Entwicklung von mindestens zehn Modulen für die Jahrgänge der Sekundarstufen I und II (Klasse 5-13). Ein Modul umfasst dabei eine Einführung im Unterricht in der Schule, ein Schülerlaborangebot, ein optionales Kontaktangebot zu akademischer oder industrieller Forschung bzw. zur beruflichen Orientierung, sowie eine Nachbetrachtung in der Schule oder Universität. In Form von Modulhandbüchern werden sowohl Unterrichtsmaterialien für alle Teilbereiche des Moduls als auch für die durch die Lehrkraft vorzunehmende Vor- und Nachbereitung bereitgestellt, sowie zu deren eigener inhaltlicher Vorbereitung.

---

<sup>4</sup> M. Beller und J.O. Metzger (Hrsg.), *Aktuelles zur Nachhaltigen Chemie*, Band IV der Reihe „HighChem hautnah“, Gesellschaft Deutscher Chemiker, Frankfurt 2009.

<sup>5</sup> D. Dähnhardt, O.J. Haupt und C. Pawek (Hrsg.), *Kursbuch 2010 Schülerlabore in Deutschland*, Marburg 2009

## 2.1 Synergie zwischen Saarbrücken und Bremen

Die *Expertisen beider Forschungsstellen* ergänzen sich vorteilhaft: Der Saarbrücker Lehrstuhl von Prof. Hempelmann arbeitet fachwissenschaftlich auf den Gebieten Angewandte Elektrochemie, Kolloid- und Nanochemie und besitzt umfangreiches Know-how zur (bio-)elektroorganischen Synthese<sup>6</sup> (und zur Synthese und Verwendung von Ionischen Flüssigkeiten. Die beiden Bremer Projektpartner liefern seitens des UFT von Prof. Thöming und Dr. Siol einschlägige Kompetenz im Bereich Umweltforschung, Organische Synthesen und Nachhaltige Technologien, die sich u.a. bereits im Projekt *Nachhaltigkeit im Organischen Praktikums* (NOP) ausgedrückt hat<sup>7</sup>). Ergänzt wird dies durch die besondere fachdidaktische Expertise am Bremer Lehrstuhl von Prof. Eilks, gerade auch in der Didaktik einer chemiebezogenen Bildung für nachhaltige Entwicklung (BnE)<sup>8</sup> und der Strukturierung von kooperativen Lehr-Lern-Arrangements unter Einbezug offener Experimente und forschungsorientierter Schüleraktivitäten<sup>9</sup>. Diese Zusammenarbeit deckt in der fachwissenschaftlichen Breite in der komplementären Ergänzung nahezu alle Felder ab, in denen sich die moderne Chemie besonders um Fragen einer nachhaltigen und grünen Chemie bemüht. Durch die verschiedenen fachdidaktischen Projekte am IDN der Universität Bremen ist zudem zu erwarten, dass die entsprechenden fachwissenschaftlichen Arbeiten kompetent fachdidaktisch elementarisiert und in moderne Bildungszusammenhänge eingeordnet werden, so dass Konzepte und Materialien entstehen, die vor dem Hintergrund der schulischen Rahmenvorgaben und einer modernen kompetenzorientierten naturwissenschaftlichen Bildung erfolgreich sind<sup>10</sup>.

Das Projekt nutzt universitäre Schülerlabore als *innovative Strukturen* für die Verbindung von schulischem und außerschulischem Lernen. Im Projekt werden Schülerlaborangebote entwickelt und implementiert, die interessierten Schulen und Lerngruppen Themen der nachhaltigen Entwicklung mit Bezug zu Chemie und chemischer Technik nahe bringen.

Für alle Jahrgangsstufen ab Klasse 5 bis zum Abitur wurden entsprechende Module mit Lehrplanbezug erstellt. Ein Modul umfasst dabei immer vor- und nachbereitende Unterrichtsmaterialien, ein flexibles Schülerexperimentierangebot in den beteiligten Schülerlaboren, sowie Materialien für die Einbeziehung weiterer außerschulischer Lernorte aus Forschung und chemischer Industrie.

Die einzelnen Module greifen stufenangemessen aktuelle Entwicklungen aus der Nachhaltigkeitsdebatte auf und machen sie im Sinne eines forschenden Lernens im Schülerlabor erfahrbar. In Absprache mit den Lehrkräften werden die Schülerlaborangebote individuell auf die Lerngruppe abgestimmt. Die Schülerinnen und Schüler werden von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der beteiligten Universitäten in der Durchführung der Versuche im Schülerlabor begleitet. Alle entwickelten Module werden an den Standorten Bremen und Saarbrücken angeboten.

Im Schülerlabor liegt der Fokus auf selbstgesteuertem, kooperativem und forschendem Lernen (Inquiry-Based Science Education). Dieser Ansatz eines *partizipativen Lernens* wurde gewählt, um die eigenständige Konstruktion von Wissen zu ermöglichen, den Lernenden

<sup>6</sup> <http://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/hempelmann/forschung/tne.html>

<sup>7</sup> [http://www.vdw.uni-bremen.de/Forschung/reaktionstechnik/reaktionstechnik\\_de.htm](http://www.vdw.uni-bremen.de/Forschung/reaktionstechnik/reaktionstechnik_de.htm); <http://www2.uft.uni-bremen.de/chemischeanalytik/analytikhome.htm>; <http://www.oc-praktikum.de/nop/>

<sup>8</sup> U.a. T. Feierabend, I. Eilks, *Math. Naturwiss. Unterr.*, **62**, 92-97 (2009); I. Eilks, T. Feierabend, D. Höttecke, C. Hössle, J. Menthe, K. Mrochen, H. Oelgeklaus, *Bewerten Lernen und Klimawandel in vier Fächern – Erste Einblicke in das Projekt „Der Klimawandel vor Gericht“ (Teil 1 und 2)*, Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, im Druck.

<sup>9</sup> U.a. T. Witteck, B. Most, S. Kienast, I. Eilks, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **7**, 108-119 (2007); T. Witteck, I. Eilks, *Sch. Sci. Rev.*, **88** (323), 95-102 (2006)

<sup>10</sup> <http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/projekte.php>

Mitbestimmung bei ihren Lernwegen einzuräumen und insgesamt das Interesse und die Motivation für naturwissenschaftlich-technische Fragen zu stärken. Die Aktivitäten und Materialien für die Schülerlaborbesuche fokussieren dabei nicht nur auf das Lernen der fachlichen Hintergründe. Sie betrachten gleichermaßen die ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Thematik. Sie erlauben damit den Aufbau *interdisziplinären Wissens* und bereiten auf Kommunikations- und Entscheidungsfähigkeit in gesellschaftlichen Diskursen vor.

Es wurde eine Internetplattform mit aktuellen und einführnden Informationen eingerichtet<sup>11</sup>. Ausführlichere Lehrerhandreichungen zu den einzelnen Modulen können im Vorfeld von interessierten Lehrkräften angefordert werden. Diese helfen den Schülerlaborbesuch im Unterricht vorzubereiten, effektiv zu gestalten und später im Unterricht auszuwerten.

### 3. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

#### 3.1 Zeitplan

Das Projekt gliederte sich grob in drei Phasen, die den drei Jahren der Förderung entsprechen und inhaltlich aufeinander aufbauten (Tabelle 3.1).

**Tabelle 3.1: Detaillierter Zeitplan**

Jahr	Tätigkeiten
<b>1. Jahr</b>	Literaturrecherche
<b>09/2011</b>	Festlegung der genauen Themen, Entwicklung passender aktueller und spannender Kontexte, Entwicklung der Angebote
-	
<b>08/2012</b>	Durchführung einzelner Praktika mit Lehramtsstudierenden bzw. mit Schulklassen
<b>2. Jahr</b>	Fertigstellung und Implementation der Schülerlaborangebote
<b>09/2012 -</b>	Aufnahme des Schülerlaborbetriebs zur „Nachhaltigen Chemie“ in den Schülerlaboren Bremen und Saarbrücken
<b>08/2013</b>	
<b>3. Jahr</b>	Weitere Erprobung in den Schülerlaboren, Bremen / Saarbrücken
<b>09/2013 -</b>	Regulärer Schülerlaborbetrieb, Lehrerfortbildung, Evaluation, Dokumentation, Dissemination der Ergebnisse durch Konferenzbeiträge/Publicationen
<b>08/2014</b>	
<b>4. bis 6. Jahr</b>	Erstellung eines Buches Verstetigung der Modulangebote im Schülerlaborbetrieb zur „Nachhaltigen Chemie“ in Saarbrücken und in Bremen. Gelegentlich Lehrerfortbildungsveranstaltungen

<sup>11</sup> <http://www.schülerlabor-nachhaltigkeit.de>

Die Übergänge zwischen den drei Phasen müssen allerdings als gleitend angesehen werden. Im ersten Projektjahr stand die Auswahl der Themen, deren Konzeption und die Materialentwicklung im Vordergrund. Begleitend zur Modulentwicklung wurden erste Pilotierungen der entwickelten Bildungsangebote mit Lehramtsstudierenden an beiden Standorten sowie mit ausgewählten Lerngruppen durchgeführt. Eine mehr qualitative Evaluierung der Projektergebnisse erfolgte parallel zum laufenden Betrieb der Schülerlabore durch Fragebögen und Interviews. Im zweiten Projektjahr wurden die Module implementiert, wenngleich einige Module noch nicht vollständig ausgearbeitet waren, und evaluiert. Ferner diente das zweite Jahr der schrittweisen Optimierung und der beginnenden Popularisierung der entwickelten Bildungsangebote. Im dritten Projektjahr wurden die Bildungsangebote weiterhin angeboten, zwischen den Standorten ausgetauscht und begleitend in der Lehrerfortbildung vorgestellt. Bereits von Beginn an wurde das Kooperationsvorhaben systematisch dokumentiert, auf Tagungen vorgestellt und die Arbeitsergebnisse in fachdidaktischen Zeitschriften publiziert (siehe Kap. 5 ff.)

**Tabelle 3.2: Zeitplan „Chemie & Nachhaltigkeit im Schülerlabor“**

Monate	6-9 2011	10-12 2011	1-3 2012	4-6 2012	7-9 2012	10-12 2012	1-3 2013	4-6 2013	7-9 2013	10-12 2013	1-3 2014	4-6 2014	6-9 2014	10-11 2014
Literaturrecherche														
Themen finden, Kontexte herstellen														
Synthesen erarbeiten und optimieren														
Durchführung von Praktika für Lehramtsstudenten & Referendare														
Durchführung von Schülerpraktika														
Evaluierung der Leistungserfolge														
Publikationen						X	X	X						
Zwischenberichte (Z)		Z		Z		Z		Z			Z			
Beirat (B)		B					B							B
Treffen der Kooperationspartner (K)	K		K			K	K	K			K		K	
Abschlussbericht und Schlussfolgerungen														

Offizieller Projektbeginn war der 01.06.2011. Die wirkliche inhaltliche Arbeit an beiden Standorten begann aber erst im September 2011. Der Zeitplan ist in Tabelle 3.2 aufgeführt: Um die am Projektbeginn aufgrund noch nicht vorhandener Personalkapazität ausgefallene Zeit nachholen zu können, hat die DBU mit ihrem Schreiben vom 05.11.2013 einer kostenneutra-

len Verlängerung unseres Kooperationsprojekts zugestimmt. Nicole Garner wird ihre Arbeit in Bremen mit der Promotion voraussichtlich Ende 2014 abschließen. Johannes Huwer in Saarbrücken plant, seine Promotion im Januar/Februar 2015 abzuschließen.

### 3.2 Kooperation und Arbeitsaufteilung

Ausgehend von den nationalen Bildungsstandards für den Chemieunterricht und deren Umsetzung in landesspezifischen Kerncurricula für den Chemieunterricht (bzw. integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht) definierten wir vier verschiedene Niveaus, für die jeweils mindestens zwei Module für die Schülerlabore entwickelt werden sollten. Diese Niveaus orientierten sich an den Jahrgängen 5/6, 7/8, 9/10 und 11/12(13) (gymnasiale Oberstufe). Aufgrund der derzeitigen Umstellung vieler Bildungspläne und Curricula war eine genaue Verortung der Themen jeweils nur weich zu treffen. Dennoch ließen sich aus der Tradition des Chemieunterrichts, die sich zumindest implizit auch in den aktualisierten Bildungsplänen und Curricula wieder findet, die unten genannten Niveaus wie folgt umreißen:

- **Niveau 1, Klassenstufe 5/6:** Es findet ein überwiegend phänomenologischer Einstieg in die Welt der Stoffe, Stoffeigenschaften, Trennverfahren, ausgewählte Stoffe/ Stoffgemische (Wasser, Luft) statt. Ein erstes einfaches Teilchenmodell wird zum Teil eingeführt.
- **Niveau 2, Klassenstufe 7/8:** Die Sicht auf die Chemie wird um Grundcharakteristika chemischer Stoffumwandlungen erweitert. Teilchendeutungen werden über ein einfaches Konzept der Atome erweitert bis hin zum differenzierten Atomaufbau. Typische Inhalte sind etwa Metalle und Metallgewinnung, aber auch erste umweltrelevante Themen, wie Luftverschmutzung oder der Treibhauseffekt.
- **Niveau 3, Klassenstufe 9/10:** Auf der Basis des differenzierten Atomaufbaus werden verschiedene Modelle chemischer Bindungen und die Chemie der Ionenverbindungen und Moleküle behandelt. Typische Themen sind die Säure-Base-Chemie, Salze, Elektro-Chemie, ausgewählte Themen mit einfachen organischen Verbindungen und die Kunststoffe.
- **Niveau 4, Klassenstufe 11/12 (13) (Gymnasiale Oberstufe):** Grundlegende Themen insbesondere der physikalischen und organischen Chemie werden vertieft und auch theoretisch fundiert behandelt.

Entsprechend den sich gegenseitig ergänzenden Expertisen beider Standorte fokussierte sich die UdS vorrangig auf die Bereiche Anorganische und Technische Chemie sowie Physikalische und Elektrochemie inkl. des Themenbereichs Energie. An der UHB wurden vorwiegend Angebote aus dem Bereich Organische und Umweltchemie entwickelt. Wegen der besonderen Wichtigkeit sollten an beiden Standorten Experimente zur „Chemie von und mit nachwachsenden Rohstoffen“ bearbeitet werden, natürlich jeweils unterschiedliche Aspekte, z.B. aus der Oleochemie, der Zuckerchemie und der Chemie biogener bzw. biodegradabler Polymere. Alle Module wurden in enger Kooperation der Universitäten Bremen und des Saarlandes entwickelt und nach der ersten Erprobung an beiden Standorten implementiert. Basierend auf ihrer besonderen fachdidaktischen Expertise hat die UHB die UdS bei der fachdidaktischen Auslegung der entwickelten Module intensiv unterstützt.

An jedem der beiden Standorte war im Förderzeitraum geplant:

- Ausarbeitung von ca. 20 Versuchsanleitungen für einzelne Schülerpraktika (d.h. 4 bis 6 Versuchsanleitung für jedes der vier o.a. Niveaus)
- Erstellung von zusammen 5 Modulen, davon jeweils ein Modul für die drei Niveaus der Jahrgänge 5-10 und zwei Module für die gymnasiale Oberstufe
- Ausarbeitung der Unterrichtsreihe „Energienachhaltigkeit“ bei UdS (siehe Kap. 4.5 )

**Tabelle 3.3: Themen, die an der UdS bearbeitet wurden**

Niveau	Thema
5/6	<b>Wasser als Trinkwasser, Wasser als Abwasser; Gewässergüte</b> Häuser heute - Niedrigenergiehäuser: Wärmeleitung, Heizen, Dämmen Photovoltaik, Photothermie
7/8	<b>Umweltverträglicher Korrosionsschutz: Schutz von Werkstoffen (z.B. Antikalk, Schiffe)</b> Zuckerchemie: Gewinnung aus Zuckerrüben (Alkoholische Gärung, Destillation); Süßungsmittel im Vergleich: Natur (Saccharose, Steviosid) vs. Kunst (Aspartam etc.)
9/10	<b>Galvanotechnik: Metallveredelung, Korrosionsschutz</b> Brennstoffzellen: Direktumwandlung von chemischer in elektrische Energie
11/12 (13)	Waschmittel und deren Inhaltsstoffe Energieumwandlungsprozesse durch den Stirling-Motor Grüne Chemie hilft elektrische Energie umweltverträglich zu gewinnen und zu speichern

**Tabelle 3.4: Themen, die an der UHB bearbeitet wurden**

Niveau	Thema
5/6	<b>Wir gewinnen ‚grüne‘ Rohstoffe – Gewinnung von Duftstoffen aus Pflanzen</b> als Ausgangsstoffe für verschiedene Produkte, einfache Trennverfahren Müllvermeidung und Müllaufarbeitung – eine Aufgabe moderner Chemie
7/8	<b>Luft: Reinhaltung, Analyse von Schadstoffen</b> Klimakiller Kuh? - Untersuchungen zur Methanproduktion bei verschiedenen Futterkomponenten bei Rindern
9/10	<b>Alternative Treibstoffe durch Chemie (Biodiesel, -ethanol, BtL)</b> , Extraktion von Pflanzenfetten aus verschiedenen Samenpflanzen (Soja, Raps, Sonnenblumen, Lein), Optimierung der Gewinnung, Reinigung der Öle, Umwandlung in Biodiesel, Heizwert / Kalorimetrie, Nachweis der Einzelfettsäuren (DC)
11/12 (13)	Synthese: Fasern und Folien (Polylactid) <b>Katalyse: Enzymatik, Festkörpersäuren</b> <b>Grüne Synthesen in der organischen Chemie Synthese eines Naturstoffs a) aus natürlicher Quelle, b) Vollsynthetisch – Vanillin &amp; Click Chemie</b> Vergleich der beiden Wege, Reinheitsprüfung und Ausbeute Duftstoffe – Gewinnung und Umwandlung mit sanften Methoden

Die für die Bearbeitung vorläufig vorgesehenen Themen wurden auf dem Auftakttreffen am 12.9.2011 in Bremen formuliert. Aufgeführt waren zu Beginn mehr Themen, als im Arbeitsplan oben benannt sind. Um ein möglichst adressatengerechtes und passgenaues Angebot je nach Interessenlage und Bedarf von Schulen bieten zu können, sollte angemessener Spielraum für Veränderungen und Ergänzungen - die sich aus der Entwicklung heraus ergeben könnten - vorbehalten sein. In den Tabellen 3.3 und 3.4 ist eine Übersicht über die denkbaren Themen für die Bearbeitung an beiden Standorten aufgeführt.

Im Ergebnisteil dieses Berichts (Kapitel 4) werden die Modulthemen, die schließlich von den beiden Kooperationspartnern favorisiert wurden (in den Tabellen 3.3 und 3.4 fett markiert), mit Hintergrundinformationen, Experimentierunterlagen und Materialien zur Nachbereitung im schulischen Unterricht ausführlich vorgestellt. Darüber hinaus wurden in Bremen zwei weitere und in Saarbrücken sogar vier weitere Module konzipiert.

Einige Themen haben sich im Verlauf der Modulentwicklung für den Einsatz im Schülerlabor jedoch nicht bewährt. Dafür gab es verschiedene Gründe:

- Stirling-Motor: zu speziell, keine Modelle verfügbar, nicht im Curriculum gefordert.
- Die Verwendung von Vanadium-Salzen ist im Bremer Unterricht aus sicherheitstechnischen Gründen nicht erlaubt.
- Polylactid: es gibt bereits ausreichendes Unterrichtsmaterial.
- Mülltrennung und -vermeidung: für diese Altersklasse ist nur ein geringer Bezug zum Fach Chemie herstellbar.
- Versuche mit Pansensaft aus Rindern als Katalysator bei der Methangewinnung ist wegen der Geruchsbelästigung (immer viele Abzüge notwendig, an der UdS nicht in ausreichendem Maße verfügbar) und der hierzu geltenden Biostoffverordnung kaum einsetzbar.

Die beiden Teilvorhaben in Saarbrücken und in Bremen wurden eng verzahnt an beiden Standorten durchgeführt. Sie ergänzten sich komplementär. Eine Maßnahme zur Vernetzung der beiden Standorte bestand darin, dass Betreuer des einen Standortes an besonderen Aktionen des anderen Standortes teilnahmen.

### 3.3 Entwicklung der Modulinhalte

Ausgehend von der DBU geförderten *Nachhaltigkeit im organisch-chemischen Praktikum - NOP*<sup>12</sup> und von den Experimenten aus der Informationsserie *Nachwachsende Rohstoffe*<sup>5</sup> sollen synthetische Arbeitsmethoden entwickelt werden, die sich für eine Anwendung und Umsetzung im Schülerlabor und/oder im Chemieunterricht der Klassenstufen 5-12(13) an Gymnasien und anderen Schulen der Sekundarstufe eignen. Angestrebt wurden Schülerlaborangebote in Form „ergebnisoffener“ Problemstellungen (Forschendes Experimentieren) mit Arbeitsblättern für analytische Fragestellungen, für energierelevante Fragestellungen, vorzugsweise aus der Elektrochemie, für chemische Reaktionen aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe und für einfache Naturstoffsynthesen (Farb- oder Duftstoffe). Diese Vorschriften wurden in einen problemorientierten und alltagsbezogenen Kontext eingebunden. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Aspekte Nachhaltigkeit, Entsorgung und Energieeffizienz gelegt werden. Dabei sollten besonders neue fachspezifische Konzepte und Handhabungen zu folgenden Themen vermittelt werden:

---

<sup>12</sup> <http://www.oc-praktikum.de>

Die Aufgabenstellungen im vorliegenden Projekt sollten entwickelt und erprobt werden im Hinblick auf folgende vier Kriterien, die sich als entscheidend für den Erfolg des Schülerlabors NanoBioLab erwiesen haben:

1. Ergebnisoffenheit der Fragestellung
2. Eigenständige Lösbarkeit durch Schüler
3. Unterrichtsbezug, d.h. Integration in den laufenden Unterricht der jeweiligen Klassenstufe
4. Bearbeitbarkeit von Teilaufgaben in etwa 15 Minuten  
(damit Fehlversuche, die wesentlich für das Forschende Experimentieren sind, nicht den zeitlichen Rahmen des Praktikums sprengen)

Wesentliche Voraussetzung für die Bearbeitung offener Aufgaben ist die Einbindung in den normalen Unterricht. Erst dadurch stehen Vorkenntnisse zur Verfügung, die den Schülerinnen und Schülern eine weitgehend eigenständige Problemlösung erlauben. Damit unterscheidet das vorliegende Projekt deutlich von vielen anderen Schülerlaboren und Schülerlaborprojekten, in denen unter eng geführter Anleitung experimentiert wird. Diese „konventionelle“ Vorgehensweise erlaubt zwar die Bearbeitung komplexerer Aufgaben, resultiert aber nicht in einer nachhaltigen Ausprägung einer naturwissenschaftlichen Arbeitsweise. Unser Ansatz „Forschendes Experimentieren im Schülerlabor“ wird dagegen, davon sind wir fest überzeugt, zu einem vertieften Verständnis der Grundprinzipien der Nachhaltigen Chemie und der Chemie nachwachsender Rohstoffe führen. Die Auswahl geeigneter Themen aus dem Gebiet „Nachhaltige Chemie“ und die Anpassung des Schwierigkeitsgrads der Aufgaben an den Kenntnis- und Entwicklungsstand der Schülerinnen und Schüler erfordern die Mitwirkung erfahrener Pädagogen / Fachdidaktiker / Gymnasiallehrer, denen genau bewusst ist, womit man Schüler motivieren und was man ihnen zumuten kann. Nachdrücklich sei an dieser Stelle betont, dass auch bereits vorhandene Versuchsvorschriften, z.B. die in der FCI-Informationsserie *Nachwachsende Rohstoffe*<sup>9</sup> aufgeführten Schülerversuche, im Sinne der o.a. Kriterien überarbeitet wurden, wenn sie dafür geeignet erschienen.

Die Projektlaufzeit wurde mit einer allgemeinen Literaturrecherche bzgl. der Aspekte *Green Chemistry*, *Scientific inquiry* und *Schülerlabore als außerschulische Lernorte* begonnen. Als Beispiele der hier genutzten Literatur können an dieser Stelle „*Green Chemistry – Nachhaltigkeit in der Chemie*“, „*HighChem hautnah – Aktuelles zur Nachhaltigen Chemie*“ und ein Themenheft der fachdidaktischen Zeitschrift „*Naturwissenschaften im Unterricht Chemie (Heft 99)*“ genannt werden. Die allgemeine Recherche bzgl. des Aspektes der nachhaltigen Chemie dient vor allem dazu, einen Überblick über das Thema und eine Ausgangslage für das weitere Arbeiten zu erhalten, während die allgemeine Literaturarbeit bzgl. der außerschulischen Lernorte und des Begriffs der *Scientific inquiry* erste Gestaltungshinweise für die zu entwickelnden Module ergaben. Zusätzlich zu dieser allgemeinen Recherchearbeit wurden die Rahmen- und Bildungspläne derjenigen Bundesländer, deren Schülerinnen und Schüler als Teilnehmer der zu entwickelnden Schülerlabore in Frage kommen, in Augenschein genommen. Durch diese Tätigkeit sollte in Erfahrung gebracht werden, welche Aspekte und Themen in den einzelnen Modulen des außerschulischen Lernangebots behandelt werden können, um ein sinnvolles Lernangebot für die Teilnehmer schaffen zu können.

Die Suche nach geeigneten Themen und Kontexten war Mitte 2012 weitestgehend abgeschlossen. Erste Module waren bereits im Frühjahr 2012 vollständig bearbeitet, und befanden sich in der Implementierung durch Schülerinnen und Schüler bzw. Lehramtsstudenten.

Die qualitative Evaluierung der Projektergebnisse erfolgte parallel zum laufenden Betrieb der Schülerlabore durch Fragebögen und Interviews.

Leider sind auch nur wenige der auf studentische Praktika ausgerichteten Experimente des Buches „Neues und nachhaltigeres organisch-chemisches Praktikum -NOP“<sup>13</sup> unmittelbar auf Schülerlabore übertragbar. Für einen Einsatz in Schülerlaboren müssen die Vorschriften erheblich herunter gebrochen werden und einige Gefahrstoffe, die für einen Umgang durch SchülerInnen nicht zulässig sind, substituiert werden. Ferner beinhaltet organisch-analytisches Arbeiten heutzutage rein instrumentelle Analytik, vorzugsweise Massenspektrometrie und NMR-Spektroskopie. Beide Analysemethoden sind viel zu kompliziert und zu teuer, und SchülerInnen langweilen sich, wenn nur Rezepte nachgekocht werden sollen und einzelne Arbeitsschritte stundenlang dauern. Das sind die Gründe dafür, dass in Deutschland in den Chemie-Schülerlaboren<sup>14</sup> überwiegend Themen der Anorganischen Chemie und der Physikalischen Chemie angeboten werden und dass die Organische Chemie und damit auch die Nachhaltige Chemie kaum vertreten sind.

Das Projekt ist umsetzungsorientiert. Erreicht haben wir in der Förderperiode:

- Die Dokumentation von 10 Modulen zur Behandlung von „Chemie und Nachhaltigkeit“ für alle Jahrgangsstufen der Sekundarstufen I und II in einem universitären Schülerlabor mit begleitenden Angeboten zur Vor- und Nachbereitung, sowie zur Verbindung zu authentischer Forschung bzw. zur beruflichen Orientierung.
- Ein dauerhaftes Angebot der 10 entwickelten Module an beiden Standorten für den Abruf durch interessierte Schulen. Jedes Modul wurde mit mindestens vier Lerngruppen (davon jeweils mindestens eine zur Prüfung der Implementierbarkeit auch am anderen Standort) durchgeführt. Die Bereitstellung des Angebots wird mindestens drei Jahre über den Projektzeitraum hinaus von den beteiligten Universitäten sichergestellt.
- Eine umfangreiche Sammlung von Versuchen und Unterrichtsideen für den Einsatz in Schülerlaboren, aber auch in Schulen zu unterschiedlichsten Themen aus dem Bereich von „Chemie und Nachhaltigkeit“. Eine Buchpublikation über die entwickelten Materialien, Konzepte und Erfahrungen in der Umsetzung soll das Projekt am Ende zusammenfassen.
- Durch Integration des Projekts in die Lehramtsausbildung wurden Studierende für die Arbeit in und mit Schülerlaboren ausgebildet und lernen selber über Inhalte und Umsetzungsmöglichkeiten von Themen aus dem Bereich „Chemie und Nachhaltigkeit.“
- An beiden Standorten wurden Lehrerfortbildungen zu „Chemie und Nachhaltigkeit“ angeboten, die auf das Angebot des Schülerlabors aufmerksam machen und über die Einbindung der Angebote in den schulischen Chemieunterricht ausbilden. Diese Angebote wurden in Bremen in Kooperation mit dem Chemielehrerfortbildungszentrum Bremen-Oldenburg veranstaltet. Für den Antragszeitraum wurden je Standort mindestens zwei Fortbildungen veranstaltet. Die Fortbildungen stehen jetzt auf Abruf für interessierte Standorte oder Fachkollegien auch dezentral zur Verfügung.

Während der Umsetzung von Chemie und Nachhaltigkeit im Schülerlabor wurden auch, gewissermaßen als „Beifang“, wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen:

---

<sup>13</sup> Neues und nachhaltigeres organisch-chemisches Praktikum, Frankfurt 2005

<sup>14</sup> D. Dähnhardt, O.J. Haupt und C. Pawek (Hrsg.), Kursbuch 2010 Schülerlabore in Deutschland, Marburg 2009

- Wissenschaftlicher Ertrag im Sinne von Erkenntnissen aus der begleitenden Evaluation über Lehrererwartungen an Schülerlaborangebote und deren effektiver Strukturierung, sowie Erkenntnisse über die motivationale Wirkung der Schülerlaborangebote auf die SchülerInnen.
- Wissenschaftlicher Ertrag im Sinne von Publikationen in einschlägigen Lehrerzeitschriften und wissenschaftlichen Zeitschriften (z.B. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, *Journal of Chemical Education*, oder *Chemistry Education Research and Practice*), sowie durch Präsentationen auf Fachtagungen und Lehrerkongressen, etwa der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh - FG Chemieunterricht), der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP) oder den regionalen Tagungen des Vereins zur Förderung des Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU).

### 3.4 Austausch innerhalb der beiden Projektteams

Sobald ein Unterrichtsmodule an einem Standort entwickelt, getestet, verbessert und erneut optimiert wurde, erfolgte die Implementierung beim Projektpartner. Die grundsätzlich unterschiedliche Organisationsstruktur führte allerdings zu gewissen Schwierigkeiten bei der Überführung von Experimente und Materialien, die deshalb auch nicht immer direkt möglich war.

In Saarbrücken ist das Betreuen im Schülerlabor obligatorischer Bestandteil der Lehramtsausbildung. Dementsprechend hoch ist die Betreuerdichte bei den Versuchen. Die Betreuungsrelation (Betreuer/in : Schüler/in) ist ca. 1:6. Daher ist intensives forschendes Experimentieren an offenen Aufgabenstellungen für die Schülerinnen und Schüler möglich. Dementsprechend frei sind die Aufgabenstellungen formuliert und wenige schriftliche Hilfestellungen vorhanden. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten während des Praktikums alle die gleiche (Forschungs-) Aufgabe.

Im Bremer Schülerlabor ist die Betreuungsrelation deutlich niedriger; es sind in der Regel – neben der Lehrperson aus der Schule – nur zwei Betreuer anwesend, so dass eine intensive Betreuung nach dem UdS-Modell nicht umzusetzen ist. Um dennoch ein forschendes Lernen zu ermöglichen, wird in Bremen im Praktikum das „Konzept des Lernen an Stationen“ mit gestaffelten Lernhilfen bevorzugt. So konnten trotz niedrigerer Betreuungsrelation einige Module aus der UdS in den laufenden Bremer Schülerlaborbetrieb integriert werden.

### 3.5 Evaluation

Parallel zu den beschriebenen Recherchearbeiten wurde ein mehr qualitatives Evaluationskonzept entwickelt, das in wesentlichen Zügen auf den Arbeiten von Bolte (1996; 2004a; 2004b) und Streller (2009) basiert und die Motivation der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler sowie die Erwartungen der Lehrerinnen und Lehrer erfragen soll, ohne ein strenges Vergleichsgruppendesign.

Die begleitende Evaluation verfolgt drei Interessen. Neben einer reinen Dokumentation (summative Evaluation) werden die Evaluationsergebnisse auch im Sinne eines zyklischen Optimierungsprozesses als Gestaltungshilfe genutzt (formative Evaluation). Das dritte Interesse ist ein Forschungsinteresse, generell mehr über die Wahrnehmung und Wirkung von

Schülerlaborangeboten im Kontext der Chemie zu erfahren. Aus diesem Grund werden die Schülerlaborangebote mit einer Kombination von Instrumenten evaluiert, die sowohl die Lehrer- als auch Schülerperspektive in den Blick nehmen.

*Erhebung der Schülerwahrnehmung des Schülerlaborangebots:* Dieser Bereich wird vorrangig im Hinblick auf die Optimierung der Schülerlabormodule erhoben. Hier wird mit einer Kombination eines eng begrenzten offenen und eines kurzen Likert-Fragebogens erhoben, wie die Schülerinnen und Schüler die Angebote empfunden haben, wo Schwierigkeiten aufgetreten sind und welche Angebote ggf. zu schwer oder ein wenig motivierend waren. Diese Daten sind insbesondere während der Entwicklungszyklen wichtig, um an entsprechenden Stellen nachbessern und die Angebote optimieren zu können.

*Untersuchung zum motivationalen Lernklima:* Schülerlaborangebote sind ein Ort des Lernens. Wichtiges Ziel von Schülerlaboren ist aber auch, die Motivation und das Selbstkonzept der SchülerInnen bzgl. der Naturwissenschaften zu stärken. In Anlehnung an die Arbeiten von Bolte und Streller findet daher eine Untersuchung der Schülerlabormodule im Hinblick auf die Wahrnehmung des naturwissenschaftlichen Unterrichts und ein Vergleich zu außerschulischen Lernumgebungen statt. Eingesetzt wird hierbei der von Streller für außerschulische Lernumgebungen angepasste Einsatz des Motivationalen Lernklimaindex. Dieser erhebt die Schülerwahrnehmung über bisher erfahrenen Chemieunterricht in der Schule und gleicht diesen mit idealen Vorstellungen der SchülerInnen über naturwissenschaftlichen Unterricht ab. Dies wird in Bezug gesetzt zur Wahrnehmung der Aktivität im Schülerlabor. Diese Untersuchung gibt einerseits Rückmeldung über die Wahrnehmung der SchülerInnen des spezifischen Schülerlaborangebots, auch im Vergleich. Sie erlaubt wegen der Breite der erhobenen Daten (2 Standorte, 10 Module, 7 Jahrgangsstufen, mehrere Durchführungen) aber auch allgemeinere Aussagen über die Schülerwahrnehmung von Schülerlaboren. Eine solchermaßen breit angelegte Cross-Level-Erhebung bezogen auf ein in sich verwandtes Fachgebiet liegt zu Schülerlaboren bislang nicht vor.

*Untersuchung von Lehrererwartungen an Schülerlabore:* Parallel zur Untersuchung der Schülerwahrnehmung, soll auch die Lehrerperspektive erfasst werden. Auch über die Sicht und Erwartungen von Lehrkräften über Besuche im Schülerlabor liegen bislang kaum verlässliche Daten vor, im weder Allgemeinen noch speziell für die Chemie. Wir haben alle Lehrkräfte vor dem Einsatz des Schülerlabormoduls über ihre Erwartungen an den Besuch eines Schülerlabors im Allgemeinen und bezogen auf diesen Besuch im Besonderen befragt. Mit einem zweiten Fragebogen werden die Lehrkräfte aufgefordert zu reflektieren, inwieweit dieser Erwartungen eingelöst wurden. Auch hier bietet die Rückmeldung nach dem Besuch viel Potenzial die Angebote schrittweise zu optimieren. Die Befragung an sich hat durch die zu erwartende Zahl an teilnehmenden Lehrkräften (2 Standorte, 10 Module, 7 Jahrgangsstufen, mehrere Durchführungen) aber auch Potenzial, einen allgemeineren Einblick in die Wahrnehmung und Erwartungen von Chemielehrkräften bzgl. eines Besuches im Schülerlabor zu generieren.

Im FreiEx in Bremen wurden dazu Fragebögen mit teils offenen und teils Likert-skalierten Fragen formuliert. Die Schülerinnen und Schüler sowie Lehrerinnen und Lehrer wurden gebeten jeweils zwei Fragebögen auszufüllen: Für jeden Teilnehmer jeweils ein Fragebogen vor dem Besuch im Schülerlabor und einen nach der praktischen Phase im Schülerlabor. Ziel der Fragebögen war es, die Erwartungen an Schülerlabore im Allgemeinen sowie die Erfahrungen mit den entwickelten Modulen zu ergründen. Die allgemeinen Erwartungen wurden vor dem Besuch im Schülerlabor und die Erfahrungen nach der praktischen Phase

erfragt. Die Ergebnisse aus diesen Fragebögen wurden genutzt, um die entwickelten Materialien bzw. Experimente fortlaufend zu optimieren und an die Erwartungen der Teilnehmer anpassen zu können.

### 3.6 Unterstützung durch den Projektbeirat

Die DBU hat die Einberufung eines wissenschaftlichen Beirats zur Begleitung und Entwicklung der Projektarbeit zur „Chemie und Nachhaltigkeit - Entwicklung neuer experimenteller Angebote für Schülerinnen und Schüler in den Schülerlaboren NanoBioLab (Saarbrücken) und FreiEx (Bremen)“ sowohl zum Auftakt als auch zur Halbzeit des Förderzeitraumes empfohlen. Die Mitglieder unseres Projektes sind in Tabelle 3.5 aufgeführt:

**Tabelle 3.5: Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats**

<b>Teilnehmer</b>	<b>Institution</b>
Ulrike Peters, Dr. Maximilian Hempel, Martin Schulte	DBU Osnabrück, Zentrum für Umweltkommunikation ZUK
Prof. Dr. Bernd Ralle	Lehrstuhl für Didaktik der Chemie I, Universität Dortmund
Prof. Dr. Petra Mischnick	Institut für Lebensmittelchemie, TU Braunschweig und Leitung des Agnes-Pockels-SchülerInnenlabors
Dr. Walter Sterzel	Henkel AG & Co. KGaA, Abt. Zentrale Analytik, Düsseldorf
Dr. Eva Backes-Miller	Ministerium für Bildung und Kultur des Saarlandes, Abt. D: Berufliche Schulen, frühkindliche Bildung, Weiterbildung, Sport
Prof. Dr. Burkhard König	Institut für Organische Chemie, Universität Regensburg

Der Wissenschaftliche Beirat und das Projektkonsortium der DBU trafen sich zur 1. Sitzung am 22.11.2011 in den Räumen des ZUK der DBU in Osnabrück und zur Halbzeit des Projekts am 25.01.2013 in Bremen.

Beide Beiratstreffen waren für den Start/Fortgang der Arbeiten im Saarland und Bremen sehr nützlich. Hilfreiche Kommentare zur Themenauswahl wurden diskutiert, die möglichen Verbreitungswege besprochen und das Evaluationskonzept erörtert. Dies kam der Profil-schärfung des Projektes außerordentlich zu Gute und war für das Team sehr motivierend. Der Beirat wünschte sich spannende und pfiffige Experimente, die geeignet sind, das bei den Schülerinnen und Schüler leider immer noch konstant negative Image des Faches Chemie nachhaltig zum Positiven zu verbessern. Besonders Mädchen und junge Frauen können durch Darstellung sinnstiftender Zusammenhänge aus dem medizinisch-umwelt-technologischen Bereich für Naturwissenschaften gewonnen werden.

**Geeignete Synthesen und Methodenauswahl:** Möglich wären im Schülerlabor organische Synthesen an Oberflächen und Phasentransferkatalysen sowie die Anwendung von Mikroreaktionstechniken zur Verdeutlichung nachhaltiger Syntheseverfahren. Schülerinnen und Schüler sollten Gelegenheit erhalten, kleine Massen-, Abfall- und Energiebilanzen zu erstellen, um zu erlernen, ein Syntheseverfahren nach energetischen Kriterien (zum Lösemittelverbrauch, Kühlen, Heizen, Entsorgen, etc.) aufzuschlüsseln, hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu beurteilen und zu diskutieren. Eine besondere Herausforderung für uns war dabei die sinnvolle Verschmelzung der Unterrichtsmethode des „Forschenden Lernens“ - die eine ergebnisoffene Organisationsstruktur bedingt - mit den zeitlichen Frequenzen der organischen Synthesetechniken. Besonderer Wert muss ferner auf die Verwendungsbeschränkung zahlreicher Stoffe und auf die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen (z.B. kein Vanadium, keine Mineralöle, kein Klärschlamm) in den Schülerlabors gelegt werden.

**Dissemination:** Besonderen Wert legten die Beiratsmitglieder auf eine weite Verbreitung der Projektergebnisse (Module). Eine intensive Öffentlichkeitsarbeit (Vortrags- und Posterbeiträge auf Tagungen, Messen, Konferenzen), Publikationen in einschlägigen Fachjournalen sowie die Zusammenfassung unserer Arbeitsergebnisse in Form eines Buches wurden sehr begrüßt. Gleichzeitig sollte aber auch die digitale Verbreitung unserer Modulhandbücher vorangetrieben werden. Hierzu diente der Internetauftritt (<http://www.nachhaltigkeit-schuelerlabor.de/>), der auch nach Ablauf des Projektes aktiv bleibt. Ferner sind für den regionalen Vertrieb via Boxen eine Verbreitung auch in benachbarte Städte und Gemeinden möglich. Unsere publikumswirksamen Aktivitäten sind in Kapitel 5 ausführlich dargelegt.

**Unterstützung der Schulen:** Teil des Angebots sollten Materialien zur Vor- und Nachbereitung in den Schulen sein. Ebenfalls sollten Unterlagen zur Kompetenzentwicklung zum Nachhaltigkeitsgedanken, Entscheidungshilfen, Bewertungskriterien und zur Meinungsbildung ergänzt werden. Dabei sollte für die Lehrkräfte der curriculare Schnittpunkt und der Mehrwert, den der Besuch eines Schülerlabors mit seinen vielfältigen experimentellen Möglichkeiten hierbei bietet, explizit herausgestellt werden. Mittelfristig sollten die Schülerlaborangebote an allen Universitäten an die Lehrerbildung gekoppelt sein, denn Lehramtsstudenten bilden die Schnittstelle zwischen Universität und Schule und „dienen“ später im Berufsleben als besonders wirkungsvolle Multiplikatoren.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Schülerlabor „NanoBioLab“ der Universität des Saarlandes

#### 4.1.1 Allgemeines zur Durchführung der Schülerpraktika in Saarbrücken

**Tabelle 4.1: Die in Saarbrücken entwickelten Module im Überblick**

Niveau	Thema	Aspekte der Nachhaltigkeit	Sparte der Chemie
5/6	Öle und Fette	Nachwachsende Rohstoffe,	Einführung des Stoffbegriffs
5/6 7/8	Wasser: Trinkwasser, Abwasser; Gewässergüte	Schonender Umgang mit Ressourcen, Ressourceneffizienz	Analytische Chemie
9/10	Stationäre Elektrizitätsspeicher	Speicherung regenerativer Energien,	Elektrochemie
9/10	Korrosion und Korrosionsschutz	Langlebigkeit von Anlagen unter Verwendung unbedenklicher Chemikalien,	Elektrochemie
9/10	Zucker, Süßstoffe und Biokunststoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Organische Chemie
11/12 (13)	Waschmittel	Schadstoffvermeidung, Energieeinsparung	Anorganische Komplexchemie
11/12 (13)	Bioenergie nachwachsender Rohstoffe / Thermodynamik	Kraft-Wärme-Kopplung, CO <sub>2</sub> -neutrale Brennstoffe, Energieeffizienz,	Thermodynamik
11/12 (13)	Schmerzmittel	Klassische nachhaltige Chemie: Minimierung des Einsatzes organischer Lösemittel;	Organische Chemie
11/12 (13)	Omega-3-Fettsäuren	Erhalt der traditionellen Kulturlandschaft und Artenvielfalt, Nutzung regionaler Agrarprodukte, weniger Transportkosten, Qualitätssicherung	Organische Analytik

Die Schülerpraktika des Saarbrücker Projektpartners finden im Schülerlabor NanoBioLab statt. Es handelt sich um ein Chemielabor entsprechend dem Stand der (Sicherheits-) Technik. Hier finden auch regelmäßig Fachdidaktik-Praktika der Lehramtsstudierenden statt. Den Schüler/-innen wird also Gelegenheit geboten, in einem authentischen Universitätslabor zu arbeiten. Das Labor verfügt über 12 Arbeitsplätze und bietet Platz für insgesamt 36 Schüler/innen. Es stehen leider nur zwei Abzüge zur Verfügung. Während der Durchführung der Schülerlabor-Module arbeiten die Schüler/innen in Kleingruppen von zwei bis maximal vier Lernenden. Die praktische Arbeit erfolgt in der Regel als *Offenes Experimentieren*, d.h. weitgehend selbstständiges Experimentieren. Von den anwesenden Betreuern (wissenschaftliche Mitarbeiter und Studenten) kann jederzeit Hilfestellung in Anspruch genommen werden.

#### 4.1.2 Vorstellung der einzelnen Module

Im Zuge des Projektes *Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor* wurden von dem Projektpartner in Saarbrücken diverse Modul für die Jahrgänge 5 bis 12/13 entwickelt, die lebensnahe Kontexte sowie unterschiedliche Aspekte der Nachhaltigkeitsdebatte auf (vgl. Tabelle 4.1) aufgreifen. Insgesamt nahmen in Saarbrücken ca. 1800 Schülerinnen und Schüler an dem Projekt teil. Die Bremer Module wurden in Saarbrücken von schulischen Lerngruppen sowie Studenten getestet. Im Folgenden sollen, entsprechend dem Projektantrag, fünf Module ausführlich vorgestellt werden.

#### **Modul „Wasser als Trinkwasser Gewässergüte“ zu Niveaustufe 5/6**



**Abb. 4.1: Schülerinnen beim Nachbau eines natürlichen Filters**

In diesem Modul, siehe Abb. 4.1 und Tabelle 4.2, geht es um den Weg vom Abwasser zum Trinkwasser. Zweck ist es, den Schülern die Notwendigkeit von Abwasserreinigung und Trinkwasseraufbereitung nahe zu bringen. Dabei wird der Bezug zum Alltag (wohin geht unser Abwasser – woher kommt unser Trinkwasser?) ebenso verwirklicht wie Aspekte der Ressourcenschonung und der nachhaltigen Sicherstellung einer angemessenen Wasserqualität. Außerdem wird der handwerkliche Teil der Chemie erlebt, indem einfache Tätigkeiten wie zum Beispiel das Falten eines Filters selbst durchgeführt werden. Natürlich wird auch Sachwissen bezüglich der mechanischen Reinigungsmethoden in einem Wasserwerk oder einer Kläranlage vermittelt, damit lässt sich das Modul sowohl in den Sachunterricht der Grundschule als auch in den Naturwissenschafts-Unterricht integrieren.

Im experimentellen Teil versuchen die Schüler selbst, schmutziges Wasser zu reinigen. Dabei sehen sie, wie schwierig es sein kann, Verunreinigungen zu entfernen. Die Versuchsanleitungen sind offen gestaltet und bieten ausreichend Spielraum für die unterschiedlichen Anforderungen der Schüler einer Grundschulklasse. Auch Vor- und Nachbereitung in der Schule können sehr flexibel gestaltet werden. Das Modul kann somit vom Lehrer gut in den Unterrichtsverlauf integriert werden; auch die Besprechung weiterer Reinigungsschritte wie der biologischen Reinigung ist denkbar. Besonders wertvoll ist die Kombination mit dem Besuch eines Wasserwerks bzw. einer Kläranlage.

Im Laufe der zahlreichen Implementierungen konnte das Modul mehrfach optimiert werden. Dabei konnten die Materialien mehrfach optimiert werden, sodass die Arbeitsblätter und Lernhilfen leicht für die Schüler verständlich wurden.

Dieses Modul wurde von Frederik Philippi, Freiwilliges Soziales Jahr, erarbeitet.

**Tabelle 4.2: Experimente des Moduls Wasser Trinkwasser, Wasser als Abwasser, Gewässergüte**

<b>Wasserreinigung 5/6</b>	<b>Inhalte des Experiments</b>	<b>Schwierigkeit</b>	<b>Dauer in Minuten</b>
Verschmutzung von Wasser	Verhalten verschiedener Verunreinigungen im Wasser	leicht	je 15 Min.
Natürliche Filter	Bau eines natürlichen Filters	mittel	35 Min.
Komplette Reinigung des Wassers	Komplette Reinigung des abgegebenen Schmutzwassers	schwer	je 35 Min.

**Modul „Wasser als Trinkwasser, Wasser als Abwasser; Gewässergüte“  
zu Niveaustufe 7/8**

Dies ist eine anspruchsvollere Variante des vorherigen Moduls.

Am Beispiel der Kläranlage soll den Schülern verdeutlicht werden, dass sauberes Wasser nur durch intensive Behandlung von Abwasser wieder gewonnen werden kann. Hier sollen die Schüler sensibilisiert werden, darauf zu achten, welche Stoffe in den Ausguss gelangen. Eine biologische Reinigung kann allerdings nicht in den am Projekt beteiligten Schülerlaboren durchgeführt werden, da dies keine S2 Labore sind.

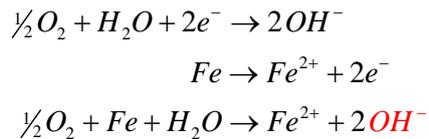
**Modul „Korrosion und Korrosionsschutz“ zu Niveaustufe 9/10**

Die Elektrochemie ist eine etwa 150 Jahre alte Wissenschaft, die in den letzten Jahrzehnten im akademischen Bereich an Bedeutung verloren hatte. Im Zuge der regenerativen Energien und der Energiewende hat die Elektrochemie aber in jüngster Zeit eine richtige Renaissance erlebt. Vor allem wiederaufladbare Batterien sind heute in aller Munde. Häufig werden beim Aufladen Metalle abgeschieden, und beim Entladen der Batterie aufgelöst. Insofern spielt die elektrochemische Metallabscheidung auch bei der Speicherung regenerativer Energie eine große Rolle.

Im Schülerpraktikum „Korrosion von Eisen“ und „Verzinken“ bearbeiten Schülerinnen und Schüler mehrere Aufgaben rund um das genannte Thema, vgl. Tabelle 4.3.

*Verzinkung von Eisen:* Eisenbleche sollen elektrolytisch möglichst gleichmäßig verzinkt werden. Das gelingt den Schülern in der Regel gut.

*Beurteilung des Korrosionsschutzes:* Qualitative Beurteilung des Korrosionsschutzes von verzinktem Eisen, lackiertem Eisen und Weißblech. Dazu wird das verzinkte Blech angekratzt und auf diesen Kratzer ein Tropfen Wasser aufgebracht. Das Experiment stützt sich auf die Reaktionsgleichungen



Die Bildung von  $OH^-$  und damit die Erhöhung des pH-Wertes erfolgt an der Dreiphasenzone Wasser, Eisen und Luft und wird mit der Rotfärbung des Indikators Phenolphthalein nachgewiesen. Die Bildung von  $Fe^{2+}$  erfolgt in der Mitte des Tropfens, dort wo die schützende Zinkschicht weggekratzt worden ist, und wird mit Kaliumhexacyanoferrat nachgewiesen: es bildet sich „Berliner Blau“. Dass es sich tatsächlich um einen elektrochemischen Vorgang handelt, das erkennen die Schüler, wenn sie Eisenoxidation (Anodenvorgang) und Sauerstoffreduktion (Kathodenvorgang) räumlich trennen, indem sie in ein Becherglas zwei Elektroden einsetzen und Spannung und Strom messen. Dabei wird ihnen gleichzeitig klar gemacht, dass sie mit dieser Anordnung eine Batterie gebaut haben.

*Bestimmung der jährlichen Abnahme der Schichtdicke:* Die Schüler sollen ihre Ergebnisse quantifizieren (Faraday-Gesetz) und in einer Hochrechnung ein Gefühl dafür bekommen, wie schnell ein Korrosionsvorgang abläuft.

*Galvanoformen in der universitären F&E-Arbeit:* Ziel eines Verbundprojektes zusammen mit universitären und industriellen Partnern ist es, härtere, verschleißfestere und anwendungsoptimierte Werkstoffe und Prozesse für das Galvanoformen durch neue Legierungen und nanostrukturierte Gefüge auf galvanischem Wege herzustellen. Das entsprechende Labor und die erforderlichen elektrochemische Präparations- und Charakterisierungsanlagen wurden den Schülern von den involvierten Doktoranden gezeigt. So erhielten die Schüler einen authentischen Einblick in die universitäre Forschung

*Verzinken in der Industrie:* Wir haben die Großverzinkerei Neunkirchen/Saar besucht. Dieser Firmenbesuch war eindrucksvoll, hätte allerdings besser vorbereitet werden müssen, denn die Schüler wussten nicht so recht, was sie fragen sollten. Aber sie haben einen authentischen Einblick in den beruflichen Alltag bekommen.

Insgesamt erwies sich in der Erprobung mit den Schülern der Klassenstufe 11/12 (Juniorstudenten der Chemie, also Eliteschüler) der experimentelle Teil als so umfangreich und zeitintensiv, dass es besser sein wird, beide Experimente (Verzinken und Korrosionstests) noch ein wenig auszubauen und dann auf zwei Praktikumsnachmittage zu verteilen, so dass das Modul um ein Modulelement (zweites Schülerpraktikum) erweitert werden würde.

Im Laufe der zahlreichen Implementierungen konnte das Modul mehrfach verbessert werden. Im Laufe der Zeit wurden die Materialien optimiert, so dass die Arbeitsblätter und Lernhilfen für die Schüler leicht verständlich wurden. Das Modul wurde von Johannes Agné im Rahmen seiner Wissenschaftlichen Staatsexamensarbeit erarbeitet.

**Tabelle 4.3: Übersicht der Experimente des Moduls zur Galvanotechnik**

Galvanotechnik Niveau 9/10	Inhalte des Experiments	Schwierigkeit	Dauer in Minuten
Galvanik	Elektrochemische Zinkabscheidung	leicht	20
Korrosion	Farbtest zur Korrosion	leicht	20
Korrosion als elektrochemischer Vorgang	Elektrochemische Zelle, räumliche Trennung von Oxidation und Reduktion	mittel	40

**Modul „Omega-3-Fettsäuren“ zu Niveaustufe 11-13**

Omega-3-Fettsäuren avancierten in den vergangenen zehn Jahren zu einem Inbegriff gesunder Ernährung. Zu ihren wichtigsten Vertretern gehören -Linolensäure, Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure. Sie beugen Herz-Kreislauferkrankungen vor, senken Blutfette und dienen als Entzündungshemmer.



**Abb. 4.2: Besuch bei der DBU-geförderten Firma KD Pharma in Bexbach**

Die theoretische Einführung beschäftigt sich, neben der Rolle der Omega-3-Fettsäuren in der Ernährung, mit den chemischen Eigenschaften und typischen Reaktionen dieser Fettsäuren. Im Schülerpraktikum wandeln die Schülerinnen und Schüler die nativen Triglyceride zu Ethylestern um und zwar mittels einer Speed-Synthese in Form einer „Schüttelreaktion“. Mit Hilfe von Dünnschichtchromatographie wird der  $\alpha$ -Linolensäure-Gehalt bestimmt. Die Bestimmung der Säurezahl und der Iodzahl bietet die Möglichkeit, Aussagen über den Gehalt an freien Fettsäuren bzw. über die Anzahl der Doppelbindungen im Pflanzenöl zu machen.

Im Forschungslabor der Analytischen Chemie wird moderne Fettsäure-Analytik mittels GC-MS nach heutigem Stand-der-Technik demonstriert. Bei einem Firmenbesuch, siehe Abb. 4.2, lernen die Schüler die technische Umsetzung kennen: In einem patentierten Zweischrittverfahren, basierend auf Extraktion und Chromatographie mit überkritischem Kohlendioxid, werden Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure aus Fischölen in hoher Reinheit gewonnen. Der Produktionsprozess ist ein besonders schönes Beispiel für Nachhaltige Chemie.

Im vorliegenden Modul, vgl. Tabelle 4.3, sollen sich Schülerinnen und Schüler Grundzüge der Oleochemie durch eigene Labortätigkeit erarbeiten und dann diese einfachen Extraktions- und Analysemethoden einerseits mit moderner Labortechnik und andererseits mit industrieller Realität vergleichen. Ziel ist es, einen Eindruck von Nachhaltiger Chemie zu vermitteln und gleichzeitig für eine nachhaltige Ernährung mit regionalen Produkten zu sensibilisieren, hier aus der Biosphärenregion Bliesgau.

**Tabelle 4.4: Experimente des Moduls Omega-3-Fettsäure**

<b>Omega-3-Fettsäuren 11/12</b>	<b>Inhalte des Experiments</b>	<b>Schwierigkeit</b>	<b>Dauer in Minuten</b>
Extraktion der Öle aus Samen	Pflanzensamen werden zerkleinert und das Öl mit Hilfe eines geeigneten Lösungsmittels extrahiert.	leicht	20
Herstellung der Ethylester	Umesterungsreaktion in Form einer „Schüttelreaktion“	leicht	5
Dünnschichtchromatographie	Bestimmung des Gehalts an $\alpha$ -Linolensäure	mittel	20 (+30 Min. Laufzeit)
Bestimmung der Säurezahl	Bestimmung der SZ durch Titration der Pflanzenöle mit KOH.	mittel	15
Bestimmung der Iodzahl	Bestimmung der IZ durch elektrophile Addition von Iod an die DB, Rücktitration	mittel-schwer	20 (+ 10 Min Wartezeit)

Das Angebot wurde von Studenten des gymnasialen Lehramtes, Juniorstudenten und mehreren Schulklassen erprobt. Aufgrund der konstruktiven Rückmeldungen der Studenten konnten die Materialien optimiert werden. Auch hier kann der experimentelle teil, in etwas größerer Ausführlichkeit, durchaus auf zwei Praktikumshalbtage ausgedehnt werden. Das Modul wurde von Matthias Sehn im Rahmen seiner wissenschaftlichen Staatsexamensarbeit erarbeitet.

### **Modul „Bioenergie – Thermodynamische Aspekte“ zu Niveaustufe 11-13**

Die Ressourcen der Erde an fossilen Brennstoffen neigen sich immer schneller dem Ende zu und doch steigt der Durst der Menschheit nach mehr Energie immer weiter. Im Zuge dieser Problematik bekommt die Suche nach nachhaltigen Brennstoffen eine verstärkte Relevanz in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Bioenergie aus Biomasse stellt dabei eine wichtige Brücke in ein neues Zeitalter dar.

Mit Hilfe des modifizierten Verbrennungskalorimeters können Schüler im Laborexperiment sowohl Funktionsweise des Verbrennungskalorimeters erlernen als auch selbstständig Heizwerte von verschiedenen Brennstoffen bestimmen, siehe Tabelle 4.4. Im Zentrum steht die Unterscheidung der beiden Begriffe „Wärme“ und „Temperatur“. Im Verlauf des entwickelten Moduls wird jedoch nicht nur auf physikalisch-chemische Aspekte, sondern auch auf die Problematik der Nachhaltigkeit verschiedener Brennstoffe eingegangen. So sollen die Schüler durch Verknüpfung eines vorbereitenden Unterrichts verschiedene ökonomische, ökologische und soziale Aspekte bei der Produktion von Biokraftstoffen, (z.B. bei der Produktion von Bioethanol) kennen lernen und eine Mentalität im Sinne der Nachhaltigkeit entwickeln. Auch soll der Vergleich von Ethanol aus verschiedenen Herkunftsarten zeigen, dass es chemisch betrachtet keine Unterschiede zwischen Bioethanol der ersten und der zweiten Generation gibt.

Das Angebot wurde durch Studenten des gymnasialen Lehramtes, Juniorstudenten und mehreren Schulklassen erprobt. Aufgrund der konstruktiven Rückmeldungen der Studenten konnten die Materialien optimiert werden. Dieses Modul wurde von Johannes Huwer im Rahmen seiner Wissenschaftlichen Staatsexamensarbeit erarbeitet.

**Tabelle 4.5: Übersicht der Experimente des Moduls zur Heizwertbestimmung**

<b>Heizwertbestimmung Niveau 11/12</b>	<b>Inhalte des Experiments</b>	<b>Schwierig- keit</b>	<b>Dauer in Minuten</b>
Brennwertbestimmung von flüssigen Brennstoffen (am Beispiel von Ethanol, Propanol und Butanol)	Kalorimetrische Messung zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie	leicht	je 25 Min.
Brennwertbestimmung von festen Brennstoffen (am Beispiel von Holz)	Kalorimetrische Messung zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie	mittel	20 Min.
Brennwertbestimmung von Lebensmitteln (am Beispiel von Kartoffeln und Schokolade)	Kalorimetrische Messung zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie	schwer	je 25 Min.

### **Modul „Schmerzmittel“ zu Niveaustufe 11-13**

Am Beispiel von Acetylsalicylsäure (Aspirin<sup>®</sup>) kann eine organische Synthese im Becherglas oder Erlenmeyerkolben in kleinem Maßstab realisiert werden, siehe Tabelle 4.5. Man benötigt nur wenige Gramm der Ausgangsstoffe Salicylsäure und Essigsäureanhydrid und als Lösemittel Wasser (keine organischen Lösemittel, unkritische Entsorgung). Es wird auch nicht unter Rückfluss erhitzt, d.h. es wird kein Kühlwasser benötigt und der Energiebedarf ist gering, was auch einen Bezug zur Nachhaltigkeit schafft.

Damit die Reaktion im Schülerlabor gut eingesetzt werden kann, wird nicht mit konzentrierter, sondern mit halbkonzentrierter Schwefelsäure als Katalysator gearbeitet.

#### **Abb. 4.3: Die Umsetzung von Salicylsäure und Acetanhydrid zum Aspirin**

Mit Schmerzmitteln sind Schüler der Oberstufe meistens schon vertraut. „Jedes Kind“ kennt Aspirin<sup>®</sup> und hat Namen wie Paracetamol<sup>®</sup> und Ibuprofen<sup>®</sup> schon gehört. Sie wissen aber zunächst nicht, wie die Ausgangsstoffe heißen, und damit nicht, welchen Wirkstoff sie herstellen. Durch vergleichende Dünnschichtchromatographie verschiedener Wirkstoffe können sie herausfinden, welchen sie hergestellt haben. Anhand der Reaktionsgleichung werden die funktionellen Gruppen hervorgehoben und der Reaktionsmechanismus erklärt. Die Versuche mit Eisen(III)chlorid (bildet mit Salicylsäure einen violetten Komplex) zeigen eindeutig, dass sich ein neuer Stoff gebildet hat.

Für die Synthese wurde als Alternative zur säurekatalysierten Aspirinsynthese die Reaktion in der Mikrowelle (handelsübliche Haushaltsmikrowelle) ausprobiert (vgl. Salters Chemie, Support Pack 1, Bildungshaus Schulbuchverlage 2012). Entgegen der in der Literatur beschriebenen Methode war aber eine längere Bestrahlungszeit (ca. 3 min) und eine größere Menge an Essigsäureanhydrid zur Umsetzung der Edukte notwendig. Die Reaktion verläuft dann aber vollständig ab.

Diese Synthesemöglichkeit kann im Sinne der Nachhaltigkeit als sinnvoll bezeichnet werden, da auf die Verwendung von Schwefelsäure verzichtet werden kann. Eine Titration der Acetylsalicylsäure nach Verseifung wurde zur Gehaltsbestimmung einer Aspirin-tablette mit Schülern der Klassenstufe 12 erfolgreich ausprobiert und kann je nach Dauer des Verbleibes der Gruppen im Schülerlabor im Anschluss durchgeführt werden.

Dieses Modul wurde von Dr. Sabine Fey, Lehrauftrag im NanoBioLab, erarbeitet

**Tabelle 4.6: Experimente des Moduls zu Synthese eines Arzneimittelwirkstoffes / Schmerzmittels**

<b>Schmerzmittel/ Arzneimittelwirkstoff Niveau 11/12</b>		<b>Inhalte des Experiments</b>	<b>Schwierigkeit</b>	<b>Dauer in Minuten</b>
Synthese eines unbekanntes Schmerzmittels/Arzneimittelwirkstoffes (Aspirin®)		Organische Synthese, Aufarbeitung des Reaktionsproduktes	mittel	30
Alternativ: Welche Säuren sind zur Synthese des Arzneimittelwirkstoffes geeignet (3 Säuren zur Verfügung)		Organische Synthese, Aufarbeitung	mittel	60 (mehr Zeitaufwand)
Alternativ: Synthese mit Feststoffsäure als Katalysator		Organische Synthese, Aufarbeitung	mittel	40
Synthese eines unbekanntes Schmerzmittels in der Mikrowelle		Organische Synthese, Aufarbeitung	mittel	20
Umkristallisation aus Wasser (optional)		Reinigungsmethode in der organischen Chemie, Kristallisation	leicht	15
Vorversuche zur Dünnschichtchromatographie (DC)		Chromatographie als Nachweis- und Trennmethode	mittel	20
Nachweis von Aspirin durch Vergleich verschiedene Stoffe		Chromatographie	leicht	20
Versuche mit Eisen(III)chlorid		Nachweis funktioneller Gruppen	leicht	10
Bestimmung des Aspiringehaltes in einer Tablette		Verseifung der Estergruppe, Rücktitration, Berechnung	schwer	30

## 4.2 Schülerlabor „FreiEx“ der Universität Bremen

### 4.2.1 Vorstellung der einzelnen Module

Im Zuge des Projektes *Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor* wurden von dem Projektpartner in Bremen diverse Modul für die Jahrgänge 5 bis 12 entwickelt. Insgesamt nahmen in Bremen 520 Schülerinnen und Schüler mit 37 Lehrern an dem Projekt teil. Die Bremer Module wurden in Bremen von 28 schulischen Lerngruppen getestet. Die Differenz zwischen der Anzahl der teilnehmenden Lehrpersonen und Lerngruppen ergibt sich dadurch, dass auch einige Module aus Saarbücken von Bremer Schulklassen durchgeführt wurden. Außerdem existieren in Bremen bereits zahlreiche Inklusionsklassen, die außerschulische Exkursionen meistens mit zwei Lehrpersonen durchführen.

Die Module greifen lebensnahe Kontexte sowie unterschiedliche Aspekte der Nachhaltigkeitsdebatte auf (vgl. Tabelle 4.6). Im Folgenden sollen, entsprechend dem Projektantrag, fünf Module ausführlich vorgestellt werden.

**Tabelle 4.7: Überblick über die Arbeiten des Projektpartners in Bremen**

Niveau	Thema	Aspekte der Nachhaltigkeit	Implementierung
5/6	Duftstoffe aus Blüten und Früchten	Schonender Umgang mit Ressourcen; nachwachsende Rohstoffe	neun Schülergruppen, Vorstellung auf Tagungen
7/8	Luft: Reinhaltung und Analyse	Menschliche Einflüsse auf den die Erde und ihr Klima	zwei Schülergruppen, eine studentische Gruppe, Lehrerfortbildungen, Vorstellung auf Tagungen
9/10	Alternative Treibstoffe durch Chemie	Nachwachsende und nachhaltige Energiequellen	Sechs Schülergruppen, eine studentische Gruppe, Lehrerfortbildungen, Vorstellung auf Tagungen
11/12	Synthese: Vanille oder Vanillin	Bewertung verschiedener synthetischer Strategien	fünf Schülergruppen, eine studentische Gruppe, Lehrerfortbildungen, Vorstellung auf Tagungen
11/12	Zeolithe und Molekularsiebe in Chemie und Alltag	Moderne und nachhaltige Synthesestrategien	zwei Schülergruppen, eine studentische Gruppe Lehrerfortbildungen,
11/12	Kunststoffe – alles künstlich und ohne Natur?	Nachwachsende Rohstoffen in alltäglichen Produkten; Bewertung verschiedener synthetischer Strategien	zwei Schülergruppen, eine studentische Gruppe
10 – 12	Parabene – Analyse kosmetischer Zusätze	Schutz der menschliche Gesundheit; Analyse von alltäglichen Zusätzen	zwei Schülergruppen, eine studentische Gruppe, Lehrerfortbildungen

**Modul „Duftstoffe aus Blüten und Früchten, einfache Trennverfahren“  
zu Niveaustufe 5/6**

Ein Leben ohne Aromastoffe ist nur schwerlich vorstellbar. Jeder Mensch konsumiert täglich aromatisierte Speisen, Getränken oder Kosmetika. Dabei wird zwischen natürlichen und synthetischen Aromastoffen unterschieden. Während natürliche Aromastoffe alldiejenigen umfassen, deren Ausgangsstoffe und Herstellungsverfahren natürlich sind, lassen sich synthetische Aromastoffe weiter unterteilen. Naturidentische Aromastoffe folgen dem Vorbild der Natur und entsprechen bzgl. ihrer Molekularstruktur ebendiesem Vorbild. Künstliche

Aromastoffe haben dahingegen kein Vorbild in der Natur. Lediglich die Geschmacks- und Geruchseigenschaften folgen zumeist einem natürlichen Ideal.

**Tabelle 4.8: Liste der Experimente des Moduls Duftstoffe aus Blüten und Früchten**

Nr.	Dauer	Experiment	Kognitiver Anspruch	Grad der Offenheit
1	20 Min.	Duftquiz		
2	20 Min.	Duftölgewinnung mittels Enfleurage		
3	25 Min.	Duftölgewinnung mittels Mazeration		
4	20 Min.	Duftölgewinnung mittels Extraktion		
5	40 Min.	Vergleich unterschiedlicher Lösungsmittel bei einer Extraktion.		
6	40 Min.	Duftölgewinnung mittels Destillation,		
7	15 Min.	Duftölgewinnung mittels Extraktion in der Soxhlet-Apparatur.		
8	15 Min.	Herstellung eines Riechsalzes		
9	30 Min.	Herstellung und Bewertung einer Hautcreme		Herstellung 
10	30 Min.	Herstellung und Bewertung eines Duschgels		Bewertung 

In diesem Angebot werden vornehmlich natürliche Duftstoffe behandelt, also über den Geruch wahrnehmbare Stoffe und Stoffgemische. Die Schülerinnen und Schüler sollen unterschiedliche Verfahren kennenlernen, mit dessen Hilfe diese aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Die Experimente zu diesem Modul wurden im Rahmen der Masterarbeit zum Thema *Gewinnung grüner Rohstoffe* von Insa Kaspers erarbeitet. In dieser Arbeit wurden 10 Experimente zu pflanzlichen Duftstoffen erprobt (vgl. Tabelle 4.7). Das Experi-

mentierangebot umfasst hauptsächlich unterschiedliche Möglichkeiten zur Gewinnung pflanzlicher Duftöle. Die Spannweite der unterschiedlichen Verfahren reicht dabei von historisch bedeutsamen Methoden, wie der Enfleurage, bis hin zu aktuell bedeutsamen Verfahren, wie der Soxhlet-Extraktion oder Destillationen. Die im praktischen Teil gewonnenen Duftstoffe können von den Schülerinnen und Schüler gleich weiterverarbeitet werden, wodurch die alltäglichen Einsatzgebiete der natürlichen Duftstoffe aufgezeigt werden sollen. Geruchsaktive Stoffe können durch ihren Geruch bestimmte Assoziationen wecken. Parfüms können allein durch ihren Geruch das Gefühl vermitteln, exklusiv oder erfrischend zu sein. Und die entspannende Wirkung von Badesalzen wird durch einen angenehmen Geruch gefördert. Diese Beispiele können beliebig durch weitere ergänzt werden. Die manipulative Wirkung wird häufig zielgerichtet zu Verkaufsförderung genutzt. Die Experimente und Materialien zu diesem Modul greifen auch diesen Teilbereich der Duftstoffe auf.

**Tabelle 4.9: Gestaltungsvorschläge des Moduls Duftstoffe aus Blüten und Früchten**

Intention Die Lernenden sollen...	Versuche	Vor- und Nachbereitung
<b>Gestaltungsvorschlag 1: Gewinnung und Verarbeitung von Duftstoffen</b>		
...Sicherheit bei der Arbeit im Labor und beim Anfertigen von Protokollen gewinnen, ...nachwachsende Rohstoffe kennenlernen, selbst gewinnen und verarbeiten, ...die Stofftrennverfahren Extraktion und Destillation kennenlernen und durchführen, ...die Kopf-, Herz- und Basisnote als Bestandteile von Parfümen kennenlernen, ...die Vermeidung von Abfällen als Maßnahme für den Umweltschutz erkennen.	Versuche: 1, 4, 5, 6, 7, 9 (oder 10)	<u>Vorbereitung:</u> Heranführung an allgemeine Aspekte zur Laborarbeit und Nachhaltigkeit <u>Nachbereitung:</u> Bewertung verschiedener Lösungsmittel
<b>Gestaltungsvorschlag 2: Duftstoffe aus „grünen“ Rohstoffen und ihre Gewinnung</b>		
...Sicherheit bei der Arbeit im Labor und beim Anfertigen von Protokollen gewinnen, ...nachwachsende Rohstoffe kennenlernen, selbst gewinnen und verarbeiten, ...Extraktion, Enfleurage, Mazeration und Destillation kennenlernen und durchführen, ...die Vermeidung von Abfällen als Maßnahme für den Umweltschutz erkennen.	Versuche: 2, 3, 4, 6, 7, 8	<u>Vorbereitung:</u> Heranführung an allgemeine Aspekte zur Laborarbeit und Nachhaltigkeit <u>Nachbereitung:</u> Bewertung verschiedener Methoden zur Duftölgewinnung

Innerhalb des Moduls können unterschiedliche Aspekte aus der Nachhaltigkeitsdebatte altersgerecht aufgegriffen werden: zum einen lernen die Schüler nachwachsende Rohstoffe und deren Verwendung in alltäglichen Produkten (wie Parfüms und Cremes) kennen. Die unterschiedlichen Techniken zur Gewinnung der Duftstoffe können aber genauso unter den Aspekten der Nachhaltigkeit bewertet werden wie die verschiedenen eingesetzten Lösungsmittel, siehe Tabelle 4.8.

Dieses Modul wurde im Zeitraum von März 2013 bis August 2014 von insgesamt 9 Schulklassen durchgeführt. Im Laufe der zahlreichen Implementierungen konnte das Modul mehrfach verbessert werden. Dabei konnten die Materialien optimiert werden, so dass die Arbeitsblätter und Lernhilfen für die Schüler leicht verständlich wurden.

### **Modul „Luft: Reinhaltung, Analyse von Schadstoffen“ zu Niveaustufe 7/8**

Der Schutz der Umwelt und unserer Lebensbedingungen im globalen Maßstab sind zentrale Aspekte der gegenwärtigen Nachhaltigkeitsdebatte. Derartige Themen sind geeignet, um Schülerinnen und Schülern die alltägliche Relevanz des Faches Chemie aufzuzeigen. Der anhaltende Treibhauseffekt, der drastische Abbau der Ozonschicht und die hohen Feinstaubwerte innerhalb deutscher Großstädte stehen immer wieder im Fokus gesellschaftlicher Diskussionen. Diese Aktualität und die hohe Alltagsrelevanz lässt ein vertieftes Verständnis seitens der Schülerinnen und Schüler sinnvoll erscheinen. Ein entsprechendes Schülerlabor-Modul soll die chemischen Aspekte und Zusammenhänge hinter diesen Problemstellungen genauer beleuchten, siehe Tabelle 4.9. Das Ziel des Moduls ist es, die Ursachen und Auswirkungen atmosphärischer Probleme kennenzulernen und Möglichkeiten aufzuzeigen, wie mit diesen Problemen umgegangen werden kann. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler auch lernen, dass der Treibhauseffekt nicht ausschließlich menschengemacht ist, sondern einen natürlichen Ursprung hat, und dass Ozon nicht nur schädlich, sondern in der Stratosphäre auch lebensnotwendig für den Menschen ist. Lourdes Lischke hat im Sommersemester 2012 eine Bachelorarbeit zum Thema *Chemie der Atmosphäre* angefertigt. In dieser Arbeit wurden etwa 20 verschiedene Versuchsvorschriften zu den Themen Treibhauseffekt, Ozon und Aerosole erstellt (vgl. Tabelle 3). Dieser Arbeit folgte eine Masterarbeit, in der die Materialien der Vor- und Nachbereitung sowie das Modulhandbuch ausgearbeitet wurden. Tabelle 4.10 zeigt, wie diese Materialien sinnvoll zu einer Unterrichtseinheit durchgeführt werden könnten.

Das Modul wird seit Mai 2013 in Bremen angeboten. Seitdem wurde das Modul von einer Studentengruppe und zwei Schulklassen und mehreren Kleingruppen durchgeführt. Ausgehend von den Erfahrungen bei der praktischen Erprobung konnten die Experimente und Materialien optimiert werden. Die Experimente zum Treibhauseffekt und den Aerosolen sind nahezu ausnahmslos in der Schule realisierbar. Aus diesem Grund wurden die Experimente und Materialien aus diesem Modul im Anschluss an den Optimierungsprozess in Lehrerfortbildungen eingesetzt und so den Lehrern zugänglich gemacht. Die erste Lehrerfortbildung zu diesem Modul fand im Februar 2014 statt.

**Tabelle 4.10: Liste d. Experimente des Moduls „Luft: Reinhaltung, Analyse von Schadstoffen**

Nr.	Dauer	Experiment	Kognitiver Anspruch	Grad der Offenheit
1	15 Min.	Aufnahme der Wärmestrahlung durch verschiedene Aluminiumplatten		
2	25 Min.	Abgabe der Wärmestrahlung durch verschiedene Oberflächen		

Nr.	Dauer	Experiment	Kognitiver Anspruch	Grad der Offenheit
3	15 Min.	Vergleich der Wärmeabgabe von Wasser an verschiedenen Trinkbechern		
4	25 Min.	Experiment zur Absorption von Wärme und Licht		
5	35 Min.	Aufnahme von Wärmestrahlen durch verschiedene Gase		
6	20 Min.	Modellversuch zum Treibhauseffekt		
7	15 Min.	Modellexperiment zum Treibhaus-effekt mit Cola		
8	10 Min.	Positive Wirkung von Ozon		
9	10 Min.	Negative Wirkungen von Ozon		
10	15 Min.	Wirkung von Ozon auf Gummischlauch		
11	25 Min.	Negative Wirkungen von Ozon auf Pflanzen		
12	30 Min.	Bildung von Aerosolen und ihr Einfluss auf die Temperatur		
13	20 Min.	Wirkung von Rußaerosolen auf die Lichtintensität		

**Tabelle 4.11: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit**

<b>Intention</b> Die Lernenden sollen...	<b>Versuche</b>	<b>Vor- und Nachbereitung</b>
<b>Gestaltungsvorschlag 1: Grundlagen des Treibhauseffektes</b>		
...Sicherheit bei der Arbeit im Labor und beim Anfertigen von Protokollen gewinnen, ...Grundlagen des Treibhauseffektes kennenlernen, ...unerwünschte Eigenschaften der Stoffen erkennen, ...die Luftverschmutzung als Problematik erkennen ...der Einfluss der Menschen auf die Erzeugung von Luftschadstoffe erkennen.	Versuche: 1 - 6	<u>Vorbereitung:</u> Heranführung an den Treibhauseffekt <u>Nachbereitung:</u> Verstärkung des Treibhauseffektes durch den Menschen
<b>Gestaltungsvorschlag 2: Wirkungen von Ozon auf die Atmosphäre</b>		
...Sicherheit bei der Arbeit im Labor und beim Anfertigen von Protokollen gewinnen, ...die Bildung von Ozon in der Atmosphäre verstehen, ...die Wirkungen von Ozon auf die Stratosphäre und Troposphäre unterscheiden ...die Bildung von Aerosolen durch die Reaktion mit Ozon und ihre Wirkungen auf die Atmosphäre kennenlernen.	Versuche: 8, 9, 11, 12, 13	<u>Vorbereitung:</u> Heranführung an die Ozon-und Aerosol-Thematik <u>Nachbereitung:</u> Auswirkungen von Ozon
<b>Gestaltungsvorschlag 3: Krankheiten der Atmosphäre: Treibhauseffekt, Ozonloch, Sommersmog, Veränderung der Wolken</b>		
...Sicherheit bei der Arbeit im Labor und beim Anfertigen von Protokollen gewinnen, ...die Atmosphäre als Patientin erkennen, die an verschiedenen Krankheiten leidet: Treibhauseffekt, Ozonloch, Sommersmog und Veränderung der Wolken, ...die Erreger und Symptome der Krankheiten erkennen, ...die Teilhabe der Menschen an der Erhaltung der Planeten erkennen.	Versuche: 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13	<u>Vorbereitung:</u> Heranführung an den Treibhauseffekt sowie die Ozon-und Aerosol-Thematik <u>Nachbereitung:</u> Auswirkungen und mögliche Handlungsstrategien zur Bekämpfung der Atmosphärenkrankheiten.

### **Modul „Alternative Treibstoffe durch Chemie, Extraktion von Pflanzenfetten aus Samenpflanzen“ zu Niveaustufe 9/10**

Die Betrachtung von alternativen Energiequellen bietet sich für eine Thematisierung des Nachhaltigkeitsaspektes in besonderem Maße an. Erdöl ist eine der wichtigsten fossilen Rohstoffe. Kunststoffe, synthetische Farben sowie Benzin und Dieselkraftstoffe werden aus diesem Rohstoff gefertigt. Die Nutzung von Erdöl als Rohstoff ist allerdings an etliche Nachteile gebunden. Nach Schätzungen gehen die Erdölreserven in etwa 30 – 40 Jahren zur Neige. Es werden zwar immer wieder Erdölfelder gefunden, dauerhaft kann der heutige Bedarf an Erdöl dadurch jedoch nicht gedeckt werden. Durch die ungleichmäßige Verteilung der Erdölreserven auf der Erde entstehen lange Transportwege und hohe Unfallrisiken mit starken Umwelteinflüssen. Auch die wirtschaftliche Abhängigkeit von Fördernationen rückt immer weiter in den Fokus der Betrachtung. Letztendlich ist auch die Freisetzung von klimaverändernden Verbrennungsprodukten ein entscheidender Nachteil, der seit der Klimadiskussion um den Treibhauseffekt und die globale Erderwärmung immer relevanter wird. Diese Aspekte förderten die Suche nach einer geeigneten Alternative, sorgte letztendlich sogar für eine gesetzlich verpflichtende Beimischungsquote bis 2020. Mit Biodiesel auf der Basis von Raps fand man eine Alternative zu fossilen Treibstoffen, der sowohl Vor- als auch Nachteile bietet

Um an diese Thematik anknüpfen zu können, wurde eine Auswahl an Experimenten getroffen und aufgearbeitet, welche die Herstellung und die Eigenschaften von Pflanzenölethylestern als Modellsubstanz für Biodiesel im Vergleich zu konventionellen Dieselkraftstoffen thematisieren (vgl. Tabelle 4.11). Für die Synthese von Biodiesel ausgehend von Pflanzenölen werden drei verschiedene Versuchsvorschriften angeboten werden. Zum einen die Synthese von Biodiesel durch das Erhitzen unter Rückfluss, in einer schulgerechten Variante im Reagenzglas und die Synthese von Biodiesel, in der Mikroreaktoren eingesetzt werden. Kontinuierliche Reaktionen in Mikroreaktoren werden in den Produktionsanlagen für chemische Produkte häufig aufgrund ihrer zahlreichen Vorteile eingesetzt (vgl. auch Koenig, 2010). Zu diesem Modul wurden vier Gestaltungsvorschläge mit geeigneten Materialien konzipiert (vgl. Tabelle 4.12). Die Materialien und Experimente wurden so konzipiert, dass die Schülerinnen und Schüler die aktuelle Diskussion um Biokraftstoffe der 1. Generation nachempfinden können. Dabei sollen sie Biodiesel und konventionelle Dieselkraftstoffe bzgl. ihrer Eigenschaften vergleichen und sich die Vor- und Nachteile von Biodiesel selbstständig erarbeiten. Außerdem besteht die Möglichkeit mit der Mikroreaktor-Technologie eine neue, nachhaltige Produktionsmethode kennenzulernen.

Das Modul wurde für die Jahrgänge 9 und 10 konzipiert. Die behandelten Themen stimmen mit den Bildungs- und Rahmenplänen dieser Jahrgänge überein. Vereinzelt Bereiche (z.B. Ökobilanzen) eignen sich aber auch für ältere Jahrgänge. Seit Februar 2012 wurde dieses Angebot wiederholt in Bremen durchgeführt. Eine Gruppe von Lehramtsstudenten sowie 6 Schulklassen haben das Angebot wahrgenommen und die Experimente im FreiEx an der Universität Bremen durchgeführt.

**Tabelle 4.12: Liste der Experimente des Moduls „Alternative Treibstoffe durch Chemie“**

Nr.	Dauer	Experiment	Kognitiver Anspruch	Grad der Offenheit
1a	15 Min.	Extraktion von Pflanzenfetten	 niedrig hoch	 nicht offen offen
1b	75 Min.	Extraktion von Pflanzenfetten mit Hilfe der Soxhlet-Apparatur	 niedrig hoch	 nicht offen offen
2a	20 Min.	Herstellung von Biodiesel mit Hilfe von Mikroreaktoren	 niedrig hoch	 nicht offen offen
2b	45 Min.	Herstellung von Biodiesel	 niedrig hoch	 nicht offen offen
2c	15 Min.	Herstellung von Biodiesel im Schülersversuch	 niedrig hoch	 nicht offen offen
3	15 Min.	Trocknung des hergestellten Biodiesels	 niedrig hoch	 nicht offen offen
4a	15 Min.	Viskosität von Biodiesel und Rapsöl	 niedrig hoch	 nicht offen offen
4b	20 Min.	Bestimmung des Flammpunktes von Biodiesel	 niedrig hoch	 nicht offen offen
4c	20 Min.	Vergleich des Heizwertes von Biodiesel und herkömmlichen Dieselmotoren	 niedrig hoch	 nicht offen offen
4d	10 Min.	Mischbarkeit von Biodiesel und konventionellen Dieselmotoren	 niedrig hoch	 nicht offen offen
4e	15 Min.	Bestimmung der Dichte von Biodiesel	 niedrig hoch	 nicht offen offen

**Tabelle 4.13: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit**

Intention	Versuche	Vor- und Nachbereitung
<b>Gestaltungsvorschlag 1: Biodiesel als Alternative zu konventionellen Kraftstoffen<sup>15</sup></b>		
Die Lernenden sollen... einen alternativen Treibstoff kennenlernen, die Notwendigkeit von Alternativen erkennen, lernen, wie Biodiesel in einer chemischen Reaktion hergestellt wird, die Eigenschaften von Biodiesel, konventionellen Dieselkraftstoffen und Pflanzenöl vergleichen und bewerten, Vor- und Nachteile von Biodiesel kennen und ihr erworbenes Wissen zur kritischen Hinterfragung nutzen.	Versuche: 1a (oder b), 2c und 4.	<u>Vorbereitung:</u> Allgemeine Heranführung an das Thema. Heranführung an Vor- und Nachteile sowie gesetzliche Normen für Dieselkraftstoffe <u>Nachbereitung:</u> Ergebnissicherung durch Fehlersuche in Zeitungsartikel
<b>Gestaltungsvorschlag 2: Vergleich unterschiedlicher Synthesemöglichkeiten</b>		
die Grundsätze für nachhaltige Produktionsprozesse kennenlernen, lernen, wie Biodiesel in einer chemischen Reaktion hergestellt wird, zwei Synthesemethoden für die Herstellung von Biodiesel kennenlernen, miteinander unter Berücksichtigung der Grundsätze für nachhaltige Produktionsprozesse vergleichen und bewerten und eine neue, nachhaltige Synthesemöglichkeit kennenlernen.	Versuche: 2a und 2b	<u>Vorbereitung:</u> Heranführung an die Mikroreaktoren-Technologie <u>Nachbereitung:</u> Bewertung der beiden Synthesen unter Berücksichtigung der Aspekte einer grünen Chemie
<b>Gestaltungsvorschlag 3: Ökobilanz von Biodiesel</b>		
einen alternativen Treibstoff kennenlernen, die Notwendigkeit von Alternativen erkennen, lernen, wie Biodiesel in einer chemischen Reaktion hergestellt wird, die Eigenschaften von Biodiesel, konventionellen Dieselkraftstoffen und Pflanzenöl vergleichen und bewerten, Vor- und Nachteile von Biodiesel kennen und Ökobilanzen als Instrument für die Bewertung eines Produktes kennenlernen und nutzen.	Versuche: 1a (oder b), 2c und 4 a - d.	<u>Vorbereitung:</u> Allgemeine Heranführung an Biodiesel als nachwachsender Kraftstoff und Ökobilanzen <u>Nachbereitung:</u> Vervollständigung einer Ökobilanz

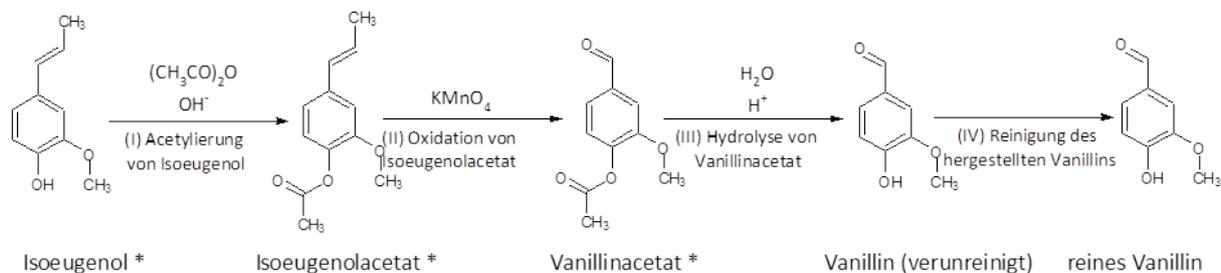
<sup>15</sup> Dieser Gestaltungsvorschlag kann auch als Lernfirma umgesetzt werden. Die Schülerinnen und Schüler ordnen sich in der Vorbereitung und dem Praktikum dem Forschungsteam oder dem Qualitätsteam der fiktiven Firma „Diesel Industries“ zu. In der Nachbereitung schlüpfen die Schüler dann in die Rolle des Marketingteams.

## Modul „Künstliches Vanillin oder natürliche Vanille?“ zu Niveaustufe 11/12

Vanille ist das weltweit am häufigsten verwendete Aroma. Schon vor 500 Jahren war es sehr geschätzt, aber auch sehr teuer. Vanille ist eine Pflanze aus der Familie der Orchideen, die sehr hohe Ansprüche an ihre Umgebung stellt und dementsprechend nur in wenigen Regionen der Erde wächst (u. a. in Madagaskar und Mexiko). Vanilleschoten enthalten 1,5 – 3 % Vanillin. Vanillin ist der Stoff, der das Aroma der Vanillepflanze ausmacht.

Bis heute ist es nicht möglich, das angenehm süße Aroma der natürlichen Vanilleschote zu imitieren. Neben Vanillin bestimmen diverse Fette, Wasser, Vanillinsäure, 4-Hydroxybenzoesäure, 4-Hydroxybenzaldehyd und etwa 130 weitere Komponenten das Aromaprofil der Schote. Die Nachfrage ist so groß, dass sie durch das natürliche Vanillearoma, das aus Vanilleschoten gewonnen wird, diese nicht decken könnte. Dementsprechend wird vielfach künstlich hergestelltes Vanillin auf Basis unterschiedlicher Rohstoffe angeboten. In modernen, industriellen Prozessen werden Lignin, Nelkenöl oder Guajakol als Ausgangsstoffe verwendet. Im Schülerlabor-Modul *Künstliches Vanillin oder natürliche Vanille* können die erstgenannten Synthese- und Produktionsmöglichkeiten schülergerecht nachempfunden werden. Ergänzt werden die Synthesen durch zusätzliche Experimente zu der Thematik. (vgl. Tabelle 4.13). Je nach Wahl der Experimente entsteht ein anderer Schwerpunkt für dieses Modul (vgl. Tabelle 4.14). Experiment 1 wird in zwei verschiedenen Versionen angeboten. Isoeugenol dient in beiden Fällen als Ausgangsstoff der Synthese. Auch die einzelnen Syntheseschritte sind identisch. Die Experimente 1a und 1b unterscheiden sich lediglich im zweiten Reaktionsschritt. Während Experiment 1a konventionell durchgeführt wird, kommt in Experiment 1b eine Labormikrowelle zum Einsatz. Die Schülerinnen und Schüler können dementsprechend die unterschiedlichen Synthesewege bzgl. der Aspekte der grünen Chemie bewerten. Organische Synthesen wie diese beanspruchen im Schulunterricht zu große Zeitspannen, sodass diese wichtige Teildisziplin der Chemie häufig vernachlässigt werden muss. Daher haben wir ein modulares Synthesesystem entwickelt, das aus verschiedenen Teilsynthesen besteht und somit einen zeitlich flexiblen Einstieg ermöglicht (vgl. Abb. 4.3).

Im November 2012 wurde die Synthese von Vanillin auf Basis von Isoeugenol erstmals von einer Schülergruppe durchgeführt. Bis zum Projektende wurde das Modul mit fünf Schulklassen durchgeführt. Ausgehend von diesen Erfahrungen konnten die Materialien und Experimente maßgeblich optimiert werden, sodass nun auch die langen Synthesevorschriften gut für die Schülerinnen und Schüler verständlich sind. Außerdem hat sich gezeigt, dass sie anfallenden Wartezeiten (3×15 Minuten) für die Schülerinnen und Schüler sinnvoll genutzt werden sollten. Für ein abwechslungsreiches Angebot werden an dieser Stelle thematisch angegliederte Experimente erachtet.



**Abbildung 4.4: modulares Synthesesystem von Vanillin:** die mit \* gekennzeichneten Schritte können als alternative Einstiege dienen

**Tabelle 4.14: Liste der Experimente des Moduls „Künstliches Vanillin oder natürliche Vanillin“**

Nr.	Dauer	Experiment	Kognitiver Anspruch	Grad der Offenheit
1a	4 x 1 h	Synthese von Vanillin ausgehend von Isoeugenol (konventionell)	niedrig hoch	nicht offen offen
1b	4 x 1 h	Synthese von Vanillin ausgehend von Isoeugenol (Mikrowelle)	niedrig hoch	nicht offen offen
2	2 h	Synthese von Vanillin ausgehend von Lignin	niedrig hoch	nicht offen offen
3	30 Min.	Extraktion des Vanille-Aromas	niedrig hoch	nicht offen offen
4	20 Min.	Vanillin und Vanille in verschiedenen Lebensmitteln	niedrig hoch	nicht offen offen
5	15 Min.	Strukturaufklärung von Vanillin	niedrig hoch	nicht offen offen
6	15 Min.	Struktur- Eigenschaftsbeziehung bei aromatischen Duftstoffen	niedrig hoch	nicht offen offen

**Tabelle 4.15: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit**

Intention Die Lernenden sollen...	Versuche	Vor- und Nachbereitung
<b>Gestaltungsvorschlag 1: Künstliches Vanillin aus Lignin</b>		
<p>die Synthese von Vanillin aus Lignin kennenlernen und durchführen,                      Kriterien zur Bewertung von nachhaltigen Herstellungsprozessen kennenlernen und anwenden,                      künstliches und natürliches Vanillin bewerten,                      Nachweisreaktionen von Aldehyden und Phenolen anwenden und                      die Struktur-Eigenschafts-Beziehung aromatischer Duftstoffe ergründen.</p>	<p>Versuche:                      2, 3, 5 und 6</p>	<p><u>Vorbereitung:</u>                      Heranführung an Aromastoffe im Allgemeinen und Vanillin im Speziellen sowie Wiederholung diverser Nachweisreaktionen  <u>Nachbereitung:</u>                      Bewertung der Synthese unter Berücksichtigung der Aspekte der grünen Chemie</p>
<b>Gestaltungsvorschlag 2: Künstliches Vanillin aus Isoeugenol</b>		
<p>die Synthese von Vanillin aus Nelkenöl kennenlernen und durchführen,                      Kriterien zur Bewertung von nachhaltigen Herstellungsprozessen kennenlernen und anwenden und                      die Atomökonomie als Bewertungskriterium kennenlernen und anwenden.</p>	<p>Versuche:                      1a, 3 und 4</p>	<p><u>Vorbereitung:</u>                      Vanillin als beliebter Aromastoff und Heranführung an der Aspekte der Nachhaltigkeit  <u>Nachbereitung:</u>                      Bewertung der Synthese unter Berücksichtigung der Aspekte der grünen Chemie</p>
<b>Gestaltungsvorschlag 3: Vergleich zweier Synthesen</b>		
<p>die Synthese von Vanillin aus Nelkenöl kennenlernen und durchführen,                      Kriterien zur Bewertung von nachhaltigen Herstellungsprozessen kennenlernen und anwenden,</p>	<p>Versuche:                      1a und b</p>	<p><u>Vorbereitung:</u>                      Vanillin als beliebter Aromastoff und Heranführung an der Aspekte der Nachhaltigkeit  <u>Nachbereitung:</u>                      Vergleich der beiden Synthesen unter Berücksichtigung der Aspekte der grünen Chemie</p>

## **Modul „Synthese von Fasern und Folien: Kunststoffe – alles künstlich und ohne Natur?“ zu Niveaustufe 11/12**

Die Eigenschaften und von Kunststoffen sind sehr vielfältig: Manche sind weich, andere sind hart. Manche sind zäh, andere sind zerbrechlich und spröde. Manche sind bunt gefärbt, andere sind lichtdurchlässig. Ähnlich wie die Eigenschaften der Kunststoffe sind auch die Anwendungsmöglichkeiten im Alltag sehr reichhaltig. Das Leben ohne Kunststoffe ist nicht mehr denkbar. Gefertigt werden Kunststoffe heute zumeist auf Basis von Erdöl. In Zeiten der Ressourcenverknappung stehen Kunststoffe auf Basis fossiler Rohstoffe (z.B. PP, PE, PET und Nylon) in der Kritik. Da Erdöl nicht unbegrenzt zur Verfügung steht, fehlt in absehbarer Zeit ein wichtiger Grundstoff für die Produktion von Kunststoffen. Viele Plastiksarten verrotten außerdem kaum bzw. nur sehr langsam. Aus der immensen Kunststoffproduktion ergibt sich draus zwangsläufig ein Entsorgungsproblem. In den Weltmeeren findet sich inzwischen 6 – 10mal so viel Plastik wie Plankton. Der Müll wird mit den Meeresströmungen weit transportiert und treibt auf riesigen Flächen dicht an dicht. Durch Plastikabfälle im Meer verenden jedes Jahr etwa eine Millionen Seevögel, 100.000 Meeressäuger und unzählige andere Meeresbewohner, da sich Plastikteile im Verdauungstrakt der Tiere ansammeln (NABU, 2011). Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe (z.B. TPS und PLA) wird ein hohes Potenzial bei der Überwindung dieser Probleme zugeschrieben. Die sogenannten Biokunststoffe können unabhängig von fossilen Rohstoffen produziert werden und sind bioabbaubar.

Weil bereits zahlreiche Experimente zur Herstellung von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe existieren, wurde dieses Modul um die Thematik der *Click* Chemie ergänzt. Das Konzept der Click-Chemie beschreibt eine Möglichkeit, schneller und zielgerichteter Zielmoleküle aus kleineren Einheiten zu synthetisieren. Dies erfolgt durch die Verknüpfung von Kohlenstoff-Heteroatomen. Reaktionen der Click Chemie genügen bestimmten Kriterien:

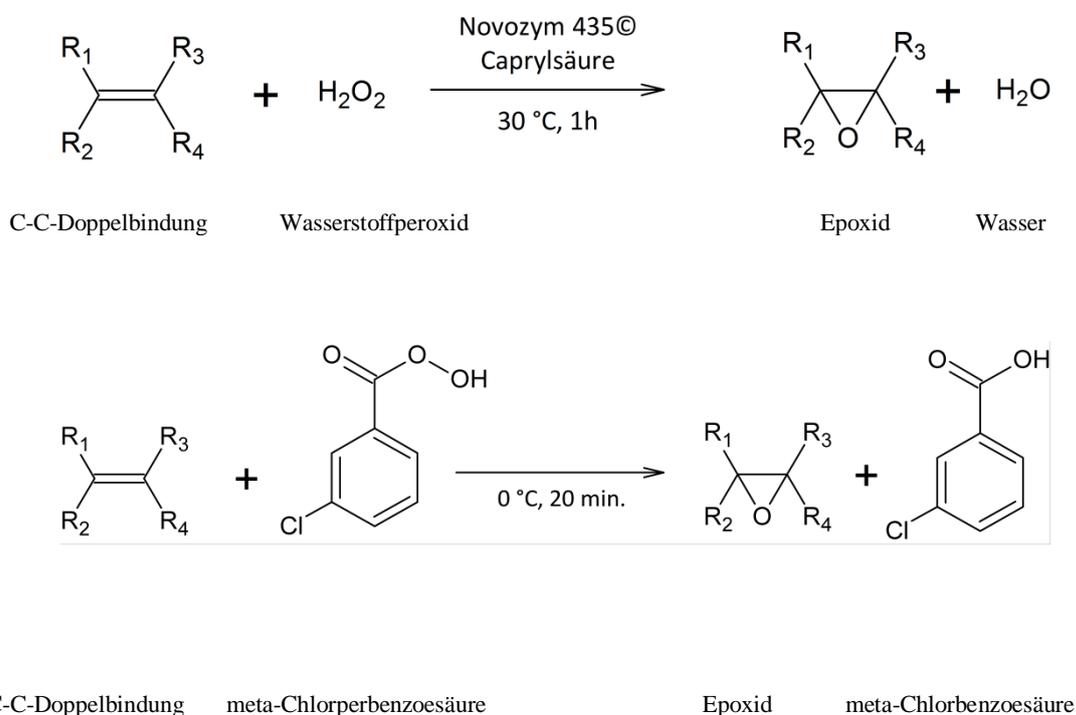
- modulare und breite Anwendungsmöglichkeit
- hohe Ausbeuten
- unbedenkliche und nicht störende Nebenprodukte
- hohe Stereospezifität
- einfache Reaktionsbedingungen
- leicht verfügbare und billige Reagenzien
- Lösungsmittel, die eine einfache Produktisolierung ermöglichen
- einfache Aufarbeitung und Isolierung des Produkts mittels Kristallisation oder Destillation
- hohe thermodynamische Antriebskraft, um eine schnelle Reaktion zu einem einzigen Reaktionsprodukt zu garantieren
- hohe Atomeffizienz

Click-Reaktionen basieren auf der Grundlage einiger weniger, zuverlässig ablaufender Reaktionen. Vor allem Cycloadditionsreaktionen, Nucleophile Substitutionen (insbesondere an Ringen wie Epoxiden) und Additionsreaktionen an Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen (z.B. die Epoxidierungsreaktionen) erfüllen diese anspruchsvollen Kriterien (Hartmuth, Kolb, Finn, Sharpless, 2001). Zahlreiche Veröffentlichungen aus den letzten Jahren zeigen die hohe fachwissenschaftliche Relevanz dieser Konzeption. Zudem korrelieren viele der oben genannten Kriterien mit den Prinzipien der grünen Chemie (vgl. Anastas & Warner, 1998).

Die hohe Bedeutung der Click Chemie in der Forschung lässt die Thematisierung dieser Thematik, eingebettet in den bildungsplanrelevanten Kontext der Kunststoffe, sehr geeignet erscheinen.

Das Modul *Kunststoffe – alles Künstlich und ohne Natur* enthält 10 Experimente (vgl. Tabelle 4.15). Je nachdem wie diese Experimente miteinander kombiniert werden, ergeben sich unterschiedliche Unterrichtsverläufe, die jeweils andere Aspekte der Nachhaltigkeit ansprechen (vgl. Tabelle 4.16). Die Schwerpunkte variieren dabei von der Thematisierung von nachwachsenden Rohstoffen in alltäglichen Kontexten bis hin zu Bewertung chemischer Synthesen unter Berücksichtigung der Aspekte einer Grünen Chemie. Experiment 8 wird dazu in zwei verschiedenen Versionen angeboten. Leinöl dient in beiden Fällen als Ausgangsstoff. Die Epoxidierung des Öls erfolgt in Experiment 7a mittels meta-Chlorperbenzoesäure, während in Experiment 7b eine Lipase eingesetzt wird, mit deren Hilfe die Epoxidierung in Anwesenheit von Wasserstoffperoxid erfolgt (vgl. Abb. 4.4). Die Schülerinnen und Schüler können dementsprechend die unterschiedlichen Synthesewege bzgl. der Aspekte der grünen Chemie bewerten. Das Gefahrenpotenzial der verwendeten Substanzen kann dabei genauso betrachtet werden, wie der Energieverbrauch, die Atomökonomie und die Abfallproduktion.

Seit Ende 2013 wird dieses Modul im FreiEx-Schülerlabor angeboten. Das Modul wurde bereits zwei Schulklassen im Schulpraktikum sowie von einer Studentengruppe im studentischen Praktikum durchgeführt. Beide Erfahrungen ermöglichten eine Optimierung der Materialien. Es hat sich gezeigt, dass das Konzept der Click Chemie schwer für Schüler schwer verständlich ist. Es wurden entsprechende Materialien entworfen, die dieses Konzept schülergerecht aufarbeitet.



**Abbildung 4.5: Synthese von Leinölepoxid mit Hilfe eine Lipase und Wasserstoffperoxid (oben) und mit Hilfe von meta-Chlorperbenzoesäure (unten)**

**Tabelle 4.16: Liste der Experimente des Moduls „Kunststoffe – alles Künstlich und ohne Natur“**

Nr.	Dauer	Experiment	Kognitiver Anspruch	Grad der Offenheit
1	25 Min.	Herstellung eines Kunststoffs aus Milchproteinen		
2	30 Min.	Herstellung eines Kunststoffs aus Milchsäure		
3	25 Min.	Herstellung eines Kunststoffes aus Stärke		
4	60 Min.	Herstellung eines Kunststoffes aus Cellulose		
4a	15 Min. (+Wartezeit)	Herstellung einer Folie aus Celluloseacetat		
4b	20 Min.	Herstellung eines Fadens aus Celluloseacetat		
5	30 Min.	Vergleichende Eigenschaften von Kunststoffen		
6	40 Min.	Recycling einer CD		
7a	60 Min.	Click-Chemie – ein zwei Komponenten-Kleber aus Leinöl (1)		
7b	120 Min.	Click-Chemie – ein zwei Komponenten-Kleber aus Leinöl (2)		

**Tabelle 4.17: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit**

Intention	Versuche	Vor- und Nachbereitung
Die Lernenden sollen...		
<b>Gestaltungsvorschlag 1: Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen</b>		
<p>Die mit Kunststoffen in Verbindung gebrachte Müllproblematik erkennen und nach Lösungsansätzen suchen.</p> <p>nachwachsende Rohstoffe zur Herstellung von Kunststoffen kennenlernen.</p> <p>Eine Polykondensationsreaktion durchführen und PLA aus Milchsäure herstellen.</p> <p>Eine säurekatalysierte Veresterung durchführen, um Celluloseacetat herzustellen.</p> <p>Alltägliche Gebrauchsmaterialien herstellen und dabei Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen verwenden.</p> <p>Verschiedene Kunststoffe bzgl. ihrer Eigenschaften miteinander vergleichen.</p>	<p>Versuche:</p> <p>1 - 5</p>	<p><u>Vorbereitung:</u></p> <p>Heranführung an die Umweltproblematiken, die durch konventionelle Kunststoffe auf Basis von Erdöl entstehen.</p> <p><u>Nachbereitung:</u></p> <p>Vergleich von konventionellen und Biokunststoffen bzgl. verschiedener Kriterien</p>
<b>Gestaltungsvorschlag 2: Moderne Methoden der Kunststoffgewinnung</b>		
<p>Die Rolle der Chemie bei der nachhaltigen Entwicklung erkennen.</p> <p>Die Aspekte einer nachhaltigen Chemie kennenlernen und anwenden.</p> <p>Celluloseacetat durch die säurekatalysierte Veresterung von Cellulose herstellen und die Synthesevorschrift im Sinne einer grünen Chemie bewerten und ggf. optimieren.</p> <p>Alltägliche Gebrauchsmaterialien herstellen und dabei Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen verwenden.</p> <p>Eine Methode zum Recyceln von Kunststoffen kennenlernen und durchführen.</p> <p>Einen Kunststoff auf Basis von Leinöl herstellen.</p> <p>Die Click-Chemie als besonders nachhaltige Synthesestrategie kennenlernen.</p>	<p>Versuche:</p> <p>4, 6 und 7</p>	<p><u>Vorbereitung:</u></p> <p>Heranführung an die Aspekte der Nachhaltigkeit</p> <p><u>Nachbereitung:</u></p> <p>Bewertung der Synthese unter Berücksichtigung der Aspekte der grünen Chemie</p>
<b>Gestaltungsvorschlag 3: Vergleich zweier Synthesen</b>		
<p>Leinöl auf zwei unterschiedlichen Wegen epoxidieren (Additionsreaktion)</p> <p>Epoxidiertes Leinöl zu einem Polyester weiterverarbeiten (nucleophile Substitution).</p> <p>Kriterien zur Bewertung von nachhaltigen Herstellungsprozessen kennenlernen und anwenden,</p>	<p>Versuche:</p> <p>8 und 9</p>	<p><u>Vorbereitung:</u></p> <p>Heranführung an die Aspekte der Nachhaltigkeit</p> <p><u>Nachbereitung:</u></p> <p>Vergleich der beiden Synthesen unter Berücksichtigung der Aspekte der grünen Chemie</p>

### 4.3 Lehrerfortbildungen

Lehrer sind für Schülerlabore Multiplikatoren, deshalb ist die Lehrerfortbildung besonders wichtig. Das NanoBioLab im Saarland hat dabei, wie bisher schon geschehen, mit dem Saarländischen Landesinstitut für Pädagogik und Medien (LPM) zusammengearbeitet. Das IDN der Universität Bremen ist am Lehrerfortbildungszentrum Bremen-Oldenburg beteiligt und kooperiert eng mit dem Bremer Landesinstitut für Schule (LIS Bremen), über das Fortbildungsangebote für interessierte Lehrkräfte angeboten werden können<sup>16</sup>. Als exemplarische Ansätze für einen Unterricht zum Bereich einer grünen Chemie sowie zur Kooperation mit Schülerlaboren an den Universitäten in Bremen und Saarbrücken wurden daher ausgewählte Module des entwickelten Kursangebots dauerhaft in den Pflichtanteil der universitären Chemielehrausbildung integriert.

Diese Angebote wurden in Kooperation mit der Lehrerfortbildung der Gesellschaft Deutscher Chemiker (insb. dem Lehrerfortbildungszentrum Bremen-Oldenburg) für beide Standorte veranstaltet. Neben den Modulangeboten zu den Themen Wasserreinigung, Atmosphärenchemie und Duftstoffen für den frühen Chemieunterricht konnten Chemielehrkräfte für den fortgeschrittenen Chemieunterricht Fortbildungen zur Vanillin-Synthese, zu alternativen Kunststoffen und NaWaRos besuchen. Eine detaillierte Aufstellung über die zu die im Rahmen des Projekts durchgeführten Lehrerfortbildungsveranstaltungen ist in Tabelle 4.17 zu sehen.

Auch nach Ablauf der Projektförderung stehen für interessierte Standorte oder Fachkollegien über das Lehrerfortbildungszentrum Bremen-Oldenburg und über das LPM auch dezentral auf Abruf Lehrerfortbildungen zur Verfügung, da die entsprechende Infrastruktur an beiden Standorten bereit steht. Begleitend werden ausgewählte Materialien und Aktivitäten auch über das Internet interessierten Lehrkräften oder SchülerInnen zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4.18: Lehrerfortbildungen

Thema	Inhalte	Durchgeführt von
<b>2012</b>		
<b>Versuche rund um nachwachsende Rohstoffe für den Chemieunterricht</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Alternative Kunststoffe durch Chemie)	I. Eilks, N. Garner, A. Siol (05.03. in Bremen)
<b>Grüne Chemie und Nachhaltigkeit in Kooperation mit dem Schülerlabor FreiEx in Bremen</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Synthese: Vanille oder Vanillin?)	I. Eilks, N. Garner, A. Siol (12.09. in Bremen)
<b>Nachwachsende Rohstoffe im naturwissenschaftlichen Unterricht</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Alternative Kunststoffe durch Chemie)	I. Eilks, N. Garner (27.11. in Marne)
<b>NW- Regionalkonferenz</b>	Vortrag (Alternative Kunststoffe durch Chemie & Synthese: Vanille oder Vanillin?)	N. Garner (09.10., 28.11. und 11.12. in Bremen)

<sup>16</sup> <http://www.chemie.uni-bremen.de/lehrerfortbildung/index.html>

<b>2013</b>		
<b>Nachwachsende Rohstoffe</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Alternative Kunststoffe durch Chemie)	A. Siol, N. Garner (05.06. in Bremen)
<b>Chemie, die unter die Haut geht - Körperpflegeprodukte im naturwissenschaftlichen Unterricht herstellen, untersuchen und bewerten</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum in Osnabrück (Parabene – Analyse kosmetischer Zusätze)	I. Eilks, N. Garner (11.11. in Osnabrück)
<b>Versuche für die Grundschule</b>	Lebenszyklus eines Schmetterlings	Angela Munnia, Johannes Huwer und Rolf Hempelmann (22.08.)
<b>2014</b>		
<b>Der Klimawandel vor Gericht ? Fachwissen, Kommunizieren und Bewerten lernen im Umfeld der Klimaproblematik</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Luft Reinhaltung und Analyse)	I. Eilks, N. Garner (25.03. in Büsum)
<b>Creemen ohne Reue - Experimentelle Ideen und neue Aufgabenstellungen</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Parabene – Analyse kosmetischer Zusätze)	I. Eilks, N. Garner (14.05. in Nürnberg)
<b>Biokunststoffe unter der Lupe</b>	Fortbildung + Lehrerpraktikum (Kunststoffe)	I. Eilks, N. Garner (geplant im Nov. In Moorege)
<b>Experimentieren im Fach Naturwissenschaften (Teil 1)</b>	Modul: „Öle und Fette“ Modul „Wasserreinigung“	Walter Zehren, Angela Munnia und Johannes Huwer (04.02.)

#### **4.4 Lehrveranstaltungen**

**Saarbrücken:** Fachdidaktisches Modul III: Forschendes Lernen (Seminar und Praktikum): Die im Projekt entwickelten Experimente sind elementare und mittlerweile obligatorische Bestandteile der Chemielehrerausbildung. Im Seminar lernen die Studierenden theoretische Hintergründe kennen und im Praktikum findet der Kontakt mit Schülerinnen und Schülern statt.

**Bremen:** Spezielle Themen der Chemie und ihre experimentelle Vermittlung (Praktikum und Seminar): Dieses Modul ist ein fester Bestandteil in der Ausbildung für Lehramtsstudierende der Sek. I und II. Zwei Sitzungen dieses Moduls orientieren sich an Ergebnissen, die im Zuge des Projektes entwickelt wurden. Pro Sitzung wird ein spezielles Modul vorgestellt. Die Studierenden erhalten einen theoretischen Input, führen die entwickelten Experimente durch und diskutieren im Anschluss über die Möglichkeit, die Inhalte in den schulischen Kontext zu integrieren. Dabei können die Teilnehmer auch die Materialien, die für die Vor- und Nachbereitung in der Schule entwickelt wurden, sichten.

#### 4.5 Unterrichtsreihe „Energienachhaltigkeit“

Die Unterrichtsreihe „Energienachhaltigkeit“ wurde in Zusammenarbeit mit dem saarländischen Schülerlaborverbund SaarLab erarbeitet und durchgeführt. Um ein breiteres Angebot zur Verfügung stellen zu können, haben wir die Zusammenarbeit mit anderen Schülerlaboren gesucht. Im Zuge der Sieben-Labore-Tour können sich, jeweils in den Herbstferien, 24 begeisterte Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 9 bis 11 an Gymnasien und Gemeinschaftsschulen auf eine Tour durch sieben Schülerlabore der Saar-Uni und der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) begeben. Dabei experimentieren die Schülerinnen und Schüler vormittags und nachmittags in den Schülerlaboren, abends findet ein sportliches und kulturelles Rahmenprogramm statt, und übernachtet wird auch auf dem Universitätscampus. Ihnen wird somit ein umfangreiches Ganztagsprogramm im Sinne einer naturwissenschaftlich-technischen Umweltbildung ermöglicht. Es soll auch erwähnt werden, dass die Bremer Projektmitarbeiterin Nicole Garner (damals Nicole Poppe) in der Woche vom 3. bis zum 7.10.2011 als Betreuerin an der Sieben-Labore-Tour 2011 der Universität des Saarlandes mitgewirkt hat. Diese Arbeit diene vor allem dazu, die Arbeiten des Projektpartners aus Saarbrücken und dessen Arbeitsfeld genauer kennenlernen zu können. Ein regelmäßiger persönlicher Austausch wird von beiden Projektpartnern hat als wichtiger Baustein für erfolgreiche Zusammenarbeit gesehen.

In den Herbstferien 2013 fand im Rahmen der Sieben-Labore-Tour die Unterrichtsreihe „Wissenschaft und Nachhaltigkeit“ statt, in den Herbstferien 2014 bietet SaarLab eine analoge Unterrichtsreihe zu „Wissenschaft und Umwelt“ an.

**Tabelle 4.19: Sieben-Labore-Tour 2013**

Tag	Labor/Institution	Aktivität
Mo. 21.10.13	Olympiastützpunkt	Begrüßung und Einführung
	Schülerlabor Advanced Materials	Recycling von Wertstoffen
Di. 22.10.13	EnerTec	Leistungsoptimierung bei Windenergieanlagen
	SinnTec	Infrarotsensorik für die Energieeffizienz
Mi. 23.10.13	Schülerenergielabor SALINE	Photovoltaik
		Thermo-Solartechnik
Do. 24.10.13	NanoBioLab	Omega-3-Fettsäuren
		Bioenergie
Fr. 25.10.13	Physik im NanoBioLab	Licht und seine Entstehung
	Mach-mit-Labor Biochemie	Biotechnologie und Nachhaltigkeit - erklärt am Beispiel leuchtender Bakterien

Die Sieben-Labore-Tour erfreut sich bei Schülerinnen und Schülern großer Attraktivität und ist jährlich deutlich überbucht. Weitere Angebote im Sinne einer solchen naturwissenschaft-

lich-technischen Umweltbildung sind für die nächsten Jahre geplant, jeweils in den Schul-Herbstferien.

**Tabelle 4.20: Sieben-Labore-Tour 2014**

Tag	Labor/Institution	Aktivität
Mo. 27.10.14	Hörsaal Chemie	Begrüßung und Einführung
	Zentrum für Nanoanalytik	Magnetismus und Umwelt
Di. 28.10.14	EnerTec	Leistungsoptimierung bei Windenergieanlagen
	SinnTec	Infrarotsensorik für die Energieeffizienz
Mi. 29.10.14	Schülerenergielabor SALINE	Photovoltaik, Thermo-Solartechnik
	mitmachLabor der Biotechnologie	Experimente zur Bioverfahrenstechnik
Do. 30.10.14	Schülerumweltlabor	Analyse von Gewässern
	Schülerlabor Advanced Materials	Recycling von Wertstoffen
Fr. 31.10.14	NanoBioLab	Biokunststoffe
	Mach-mit-Labor Biochemie	Biotechnologie und Nachhaltigkeit - erklärt am Beispiel leuchtender Bakterien

## 5. Öffentlichkeitsarbeit

Eine Grundlage für eine intensive Öffentlichkeitsarbeit war die Gestaltung eines Logos für das Kooperationsprojekt. Es ist Bestandteil aller Printmedien und unsere Projektkennung auf der gemeinsamen Internetplattform.



Abbildung 5.1: Das Projekt-Logo

Für Tagungen und Workshops wurden in Saarbrücken und Bremen einheitliche Poster-Templates verwendet. Die Farbcodierung soll die Orientierung auf der zukünftigen Homepage erleichtern und dort in den Navigationsleisten eingesetzt werden. Gleichzeitig wurde der Wiedererkennungswert des Projekts erhöht und die Teamarbeit verdeutlicht.

Poster-Template 1



Poster-Template 2



Abbildung 5.2: Poster-Templates

Seit dem Sommer 2013 ist unser Projekt „Nachhaltigkeit + Chemie im Schülerlabor“ online unter <http://www.nachhaltigkeit-schuelerlabor.de/> zu erreichen. Unser Webmaster ist Johannes Huwer in Saarbrücken.

Abbildung 5.3: Ausgewählte Screenshots der Projektwebsite



Neben Informationen zum Projekt, den Mitstreitern sowie der DBU als Förderer werden die entwickelten Module, nach Jahrgängen geordnet, vorgestellt.

Ein kurzes Intro erklärt die Intention zum jeweiligen Modul und gibt Hinweise zur Einbindung der Modul Inhalte in das Schulcurriculum. Die sich daran anschließende Tabelle listet die möglichen Versuche auf und gibt den Zeitbedarf nebst Schwierigkeitsgrad an.

Die Modul-Informationen unserer Projekt-Website sollen dabei lediglich Appetizer sein, um interessierten Lehrkräften einen ersten Eindruck über Art, Stil, Umfang, Möglichkeiten und Perspektiven sowie die benötigten Vorkenntnisse und Zeitbedarfe der Lerngruppen zu vermitteln. Erst nach Kontaktaufnahme mit uns erhalten die interessierten Lehrkräfte Zugriff auf das komplette Unterrichtsmaterial.

Diese Prozedur soll die Absatzmöglichkeiten des noch zu erstellenden Sachbuches sicherstellen, dass zeitgleich mit diesem Abschlussbericht von den Projektpartnern umgesetzt wird.

Sie sind hier: • Oberstufe • Omega-3-Fettsäuren

### Omega-3-Fettsäuren

Omega-3-Fettsäuren avancierten in den vergangenen zehn Jahren zu einem Inbegriff gesunder Ernährung. Zu ihren wichtigsten Vertretern gehören  $\alpha$ -Linolensäure, Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure. Sie beugen Herz-Kreislauferkrankungen vor, senken Blutfette und dienen als Entzündungshemmer.

Die theoretische Einführung beschäftigt sich, neben der Rolle der Omega-3-Fettsäuren in der Ernährung, mit den chemischen Eigenschaften und typischen Reaktionen dieser Fettsäuren. Im Schülerpraktikum wandeln die Schülerinnen und Schüler die nativen Triglyceride zu Ethylestern um und zwar mittels einer Speed-Synthese in Form einer Schichtenreaktion. Mit Hilfe von Dünnschichtchromatographie wird der  $\alpha$ -Linolensäure-Gehalt bestimmt.



Die Bestimmung der Säurezahl und der Iodzahl bietet die Möglichkeit, Aussagen über den Gehalt an freien Fettsäuren bzw. über die Anzahl der Doppelbindungen im Pflanzenöl zu machen. Im Forschungslabor der Analytischen Chemie wird moderne Fettsäure-Analytik mittels GC-MS nach neuem Stand-der-Technik demonstriert. Bei einem Firmenbesuch, lernen die Schüler die technische Umsetzung kennen. In einem patentierten Zweischnittverfahren, basierend auf Extraktion und Chromatographie mit oberflächlich Kohlenstoffdioxid, werden Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure aus Fischölen in hoher Reinheit gewonnen. Der Produktionsprozess ist ein besonders schönes Beispiel für nachhaltige Chemie.



Im vorliegenden Modul sollen sich Schülerinnen und Schüler Grundzüge der Öko-Chemie durch eigene Labortätigkeit erarbeiten und dann diese einfachen Extraktions- und Analysemethoden einerseits mit moderner Labortechnik und andererseits mit industrieller Realität vergleichen. Ziel ist es, einen Eindruck von nachhaltiger Chemie zu vermitteln und gleichzeitig für eine nachhaltige Ernährung mit regionalen Produkten zu sensibilisieren, hier aus der Biosphärenregion Bliessau.

### Die Versuche



Sie sind hier: • Oberstufe • Vanillin-Synthese

### Künstliches Vanillin oder natürliche Vanille?



Vanille ist eine beliebte Geschmacks- und Geruchsrichtung. Das angenehm süßliche Aroma ist als Inhaltsstoff in zahlreichen Produkten zu finden. Die Nachfrage ist so groß, dass sie durch das natürliche Vanillinaroma, das aus Vanilleschoten gewonnen wird, nicht abgedeckt werden kann. Dementsprechend wird vielfach künstlich hergestelltes und kostengünstigeres Vanillin angeboten.

Im Zuge des zunehmenden Verbrauches natürlicher Ressourcen, der zunehmenden Belastung der Umwelt und der Veränderung des Klimas wurde eine Debatte ausgelöst, die verstärkt nachhaltige Produktionsprozesse fördert. Explizit heißt dies u.a., auf fossile und toxische Rohstoffe zu verzichten, die Abfallproduktion und den Energieaufwand zu minimieren und ausschließlich ungefährliche Substanzen zu verarbeiten. In diesem Modul können die Schülerinnen und Schüler den Herstellungsprozess von synthetischem Vanillin hautnah nachempfinden.

Neben der synthetischen Herangehensweise, kann das Vanillinaroma mit unterschiedlichen Methoden analysiert werden. Damit bietet der Vanillin-Kontext einen relevanten und interessanten Kontext zur Thematisierung von Aspekten der Nachhaltigkeit im Chemieunterricht der Oberstufe.

Die Kurzbeschreibung gibt einen kurzen Einblick in das Angebot und die verfügbaren Materialien. Bei Interesse schicken wir Ihnen gerne die komplette Handreichung als pdf zu.

[>> Download der Kurzbeschreibung <](#)



Sie sind hier: • Über das Projekt • Förderung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vertreten durch Frau Dipl.-Biol. Ulrike Peters für die finanzielle Unterstützung und das stete Interesse am Fortgang der Arbeit.



Für die Akzeptanz an beiden universitären Standorten Saarbrücken und Bremen als auch für die Werbung in beiden Schullandschaften war/ist eine rege Öffentlichkeitsarbeit Voraussetzung. Beide Laborstandorte verfügen über eine gute Vernetzung innerhalb des eigenen universitären Campus, den Schulen der Region sowie mit den landeseigenen Lehrerfortbildungszentren, die auch über den Förderzeitraum hinaus Bestand haben werden.

**Tabelle 5.1 Übersicht Netzwerk SAARBRÜCKEN:**



Der Internetauftritt des Kooperationspartners Saarbrücken ist unter der URL <http://www.nanobiolab.de> erreichbar. Dadurch dass jeder Chemie-Lehramt-Student in seinem Studium „zwangsweise“ das NanoBioLab durchlaufen muss, gibt es jetzt, nach elfjährigem NanoBioLab-Betrieb, in jedem Saarländischen Gymnasium und in jeder Saarländischen Gemeinschaftsschule Chemielehrer, die NanoBioLab aus eigener Anschauung kennen, ein ganz enormes Netzwerk. Deshalb erreichen wir die volle Auslastung des NanoBioLab ohne jede Öffentlichkeitsarbeit. Der Internetauftritt dient also weniger der Öffentlichkeit als vielmehr dem operativen Geschäft des Schülerlabors, nämlich der Absprache von Besuchsterminen der Schulen und von Betreuungsterminen der Studenten sowie der schnellen gegenseitigen Information der Labor-Mitarbeiter.



<http://www.saarlab.de/>

Das NanoBioLab ist Bestandteil des Saarländischen Verbundes von Schülerexperimentierlaboratorien SaarLab ([www.saarlab.de](http://www.saarlab.de)), dem bundesweit zweitgrößten regionalen Netzwerk von Schülerlaboren. Der Verbund ist Ausrichter der jährlichen **Sieben-Labore-Tour**, die in diesem Herbst zum 12. Mal stattfindet. Informationen sind unter der URL <http://www.saarlab.de/sieben-labore-tour> zu erhalten.



Es wurden schon eine Reihe von Lehrerfortbildungsveranstaltungen im *NanoBioLab* durchgeführt, teilweise koordiniert vom **Landesinstitut für Pädagogik und Medien (LPM)**, teilweise koordiniert vom **NanoBioNet eV**. Das LPM hat ein Zentrum für nachhaltige Entwicklung, siehe <http://www.lpm.uni-sb.de/typo3/index.php?id=1068> .

**Tabelle 5.2: Übersicht Netzwerk BREMEN:**



Das "FreiEx"-Schülerlabor des UFT ist im „Forum Lehren und Lernen“ der Universität Bremen verankert und unter der URL <http://www.freisex.uni-bremen.de/> erreichbar.



Eine Kooperation des Schulzentrums Rübekamp mit dem Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien, UFT, der Universität Bremen und Bildungsbehörde des Landes Bremen. Mehr Informationen zum Projekt siehe <http://www.nachem.uni-bremen.de/>.



<http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/idcstart.php>

<http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/projekte.php?id=268>

<http://www.idn.uni-bremen.de/>



Die Universität Bremen hat ein vielfältiges Angebot für Schülerinnen und Schüler und für Lehrerinnen und Lehrer mit dem Ziel entwickelt, einen lebendigen Austausch mit den Schulen der Region zu etablieren. Die beteiligten Fachbereiche, Institute und Wissenschaftler haben sich im Netzwerk „Forum Lehren und Lernen“ zusammengeschlossen und stimmen ihre Angebote aufeinander ab.

<http://www.schule.uni-bremen.de/>



Das Landesinstitut für Schule in Bremen koordiniert die Referendarsausbildung und ist für die Fort- und Weiterbildung der Lehrkräfte im Land Bremen verantwortlich <http://www.lis.bremen.de/sixcms/detail.php?gsid=bremen56.c.3635.de> .



Über das Lehrerfortbildungszentrum OL-HB <http://www.lfz.uni-bremen.de/> werden Workshops, Praktika und Seminare in Raum Weser-Ems angeboten.

## 5.1 Vorträge und Präsentationen

Zur Veröffentlichung der in diesem Verbundprojekt entwickelten Unterrichtsmodule wurden zunächst die oben dargestellten Plattformen genutzt. Auf diesen Wegen waren und sind regional tätige Referendare, Lehrerinnen und Lehrer unmittelbar erreichbar. Ihre Mitarbeit und Beurteilung wie auch das Echo der Schülerinnen und Schüler sind zur Optimierung der einzelnen Module genutzt worden. Als überregionaler Verteiler für die optimierten Unterrichtsmodule dient die eigene Projekt-website [www.nachhaltigkeit-schülerlabor.de](http://www.nachhaltigkeit-schülerlabor.de).

Die entwickelten Materialien und Konzepte wurden auf einschlägigen nationalen Fachtagungen der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh - FG Chemieunterricht), der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP) und des Vereins zur Förderung des Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU) in den Jahren 2012, 2013 und 2014 vorgestellt.

**Tabelle 5.3: Vorträge und Präsentationen 2011/2012**

Veranstaltung, Datum	Vortragstitel		Autor
Göttingen, 25. - 30.09.2011	internationale <i>Summer School</i> zum Thema <i>Green Chemistry</i>		N. Poppe
Berlin, 18.11. 2011		Poster	
DBU – Kluge Köpfe für große Aufgaben Osnabrück, 26. -27.9.2011		Poster, Vortrag	
7. Jahrestagung der Schülerlabore Chemnitz 18.-20.3.2012	Nachhaltige Chemie im Schüler- labor	Poster	A. Siol
Messe Perspektive Umweltberufe Osnabrück 27.-28.4.2012		Poster / Stand	
Jahrestagung der Fachgruppe Chemie- unterricht der Gesellschaft Deutscher Chemiker GDCh Freiburg, 13.-15.09.2012	Chemie und Nachhaltigkeit Entwicklung neuer experimen- teller Angebote für Schülerinnen und Schüler in den Schüler- laboren FreiEx in Bremen und NanoBioLab in Saarbrücken	Vortrag/ Poster	N. Poppe
Jahrestagung der Gesellschaft für Di- daktik der Chemie und Physik GDChP Hannover, 17.-20.09.2012	Chemie und Nachhaltigkeit in Schule und Schülerlabor	Poster	N. Poppe
MNU Jahrestagung Bremerhaven 14.-15.11.2012	Nachhaltige Chemie im Schüler- labor – Entwicklung neuer expe- rimenteller Angebote für Schüle- rinnen und Schüler	Poster Experim- ental- vortrag	N. Poppe

Zusätzlich wurden im zweiten und dritten Projektjahr und werden auch nach Ende der Projektlaufzeit Vorträge und Workshops auf ausgewählten regionalen Tagungen für Chemielehrer (etwa des MNU in Saarbrücken und Bremerhaven) angeboten. Kooperationen mit den Landesverbänden des MNU in Bremen und dem Saarland bestehen ebenso wie vielfältige Kontakte zu anderen Landesverbänden.

**Tabelle 5.4: Vorträge und Präsentationen 2013**

<b>Veranstaltung, Datum</b>	<b>Vortagstitel</b>		<b>Autor</b>
LeLa-Jahrestagung der Schülerlabore Bremen 11.03.2013	Brennwerte von Biokraftstoffen	Vortrag/ Poster	J. Huwer
	Nachhaltigkeit und Chemie in Schule und Schülerlabor	Poster	J. Huwer, A. Siol
	Nachhaltigkeit und Chemie im FreiEx-Schülerlabor	Poster	N. Garner
	Das FreiEx-Schülerlabor	Workshop	A. Siol
19. Internat. Sommerakademie der DBU in Ostritz, 11.06.2013	Nachhaltige Chemie im FreiEx und im NanoBioLab	Vortrag	R. Hempelmann
GDCh-Wissenschaftsforum, Darmstadt 01.-04.09.2013	Forschendes Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht der Klassenstufen 5 / 6	Experimentalvortrag	W. Zehren
	Omega-3-Fettsäuren in den Pflanzenölen einer Biosphärenregion	Vortrag	M. Seel
	Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor	Poster	N. Garner
	Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor NanoBioLab	Poster	J. Huwer
	Bioenergie nachwachs. Rohstoffe – Thermodynamische Aspekte	Vortrag/ Poster	J. Huwer
EUROMAT 2013 Sevilla, Spanien 08-03.09.2013	The German Schülerlabor – a STEM educational innovation	Keynote lecture	R. Hempelmann
Jahrestagung der GDChP München 09.-12.09.2013	Nachhaltigkeit und Chemie – Experimentelle Angebote im Schülerlabor	Poster	N. Garner
MNU Jahrestagung Bremerhaven 18.+19.11.2013	Cremon ohne Reue – ein experimentelles Angebot für Schüler/innen der Sek. 1 und 2	Vortrag	N. Garner

**Tabelle 5.5: Vorträge und Präsentationen 2014**

<b>Veranstaltung, Datum</b>	<b>Vortragstitel</b>	<b>Autor</b>	
Humboldt-Kolleg, Education and Development, Argatala, Indien, 24.01.2014	Science Education and Education for Sustainable Development	Plenarvortrag	I. Eilks
New Horizons in Science Teaching Haifa, Israel, 13.02.2014	Science Education and Education for Sustainable Development	Plenarvortrag	I. Eilks
MINT-Fachtagung für Lehrkräfte naturwissenschaftlicher Fächer, Bremen, 05.03.2014	Praktikum für Lehrkräfte zur Vorstellung des FreiEx und seiner Angebote	Praktikum	N. Garner, A. Siol
LeLa-Jahrestagung der Schülerlabore Heidelberg, 16-18.03.2014	Süßungsmittel im Schülerlabor – der süße Geschmack von Lifescience	Vortrag/Poster	J. Huwer
SaarLab Jahrestreffen 30.04.2014	Projektvorstellung im Schülerlaborverbund Saarlab	Vortrag	R. Hempelmann
	Süßungsmittel im Schülerlabor – der süße Geschmack von Lifescience	Poster	J. Huwer
22. Symposium in Chemistry and Science Education Bremen 19.-21.06.2014	Relevant chemistry education and education for sustainable development	Vortrag	I. Eilks
	Sustainability and chemistry in non-formal student laboratories: A project to support learning about sustainability	Vortrag/Poster	N. Garner
European Conference on Research and Innovation in Chemistry Education Jyväskylä, SF, 7.-10.7.2014	Sustainability and chemistry in non-formal student laboratories: A project to support learning about sustainability	Vortrag	N. Garner
HOPE Annual forum 2014 Helsinki, Finnland 27.-30.08.2014	The German Schülerlabor – Development – position today - impact	Plenarvortrag	R. Hempelmann
Jahrestagung Fach-Gruppe Chemieunterricht der GDCP, Bremen, 15.-18. 09. 2014	Nachhaltigkeit und Chemie – im Schülerlabor – Erwartungen und Erfahrungen	Poster	N. Garner
	Nachhaltigkeit und Chemie: Forschendes Experimentieren in der Klassenstufe 5	Poster	J. Huwer
iSER –Conference: Science, Mathematics and Tecnology Education in the 21. Century, Cappadocia, Türkei 26.10. – 02.11.2014	Science Education and Education for Sustainable Development	Plenarvortrag	I. Eilks
	Sustainability and chemistry in non-formal student laboratories: A project to support education for sustainable development	Vortrag	N. Garner

## 5.2 Fachdidaktische Publikationen im Berichtszeitraum zum Thema Schülerlabor

Publikation zu den entwickelten Konzepten konnten in einschlägigen Zeitschriften für Chemielehrkräfte, etwa *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* und *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* platziert werden. Ausgewählte Konzepte wurden auch international in einschlägigen Fachzeitschriften publiziert etwa *Chemistry in Action*. Eine Buchpublikation über die entwickelten Materialien, Konzepte und Erfahrungen in der Umsetzung wird das Projekt am Ende zusammenfassen. Auf den folgenden Seiten sowie im Anhang unter Kapitel 3 „Öffentlichkeitsarbeit“, Kapitel 4 „Module“ und im Kapitel 5 „Veröffentlichungen“ sind alle publizierten Projektbeiträge, sowohl in gedruckter Form als auch in der digitalen Version, beigefügt.

Eilks, I.; Poppe, N.: *Wieviel Kontext muss sein beim Experimentieren in Schülerlaboren?* In: Bundesverband d. Schülerlabore (Hrsg.), Knowledge Café zur 8. LeLa Jahrestagung, Bremen, Schülerlabore als Brücke zwischen Fachwissenschaft & Fachdidaktik? 12-14 (2013)

Haupt, O.J.; Domjahn, J.; Martin, U.; Skiebe-Corette, P.; Vorst, S.; Zehren, W.; Hempelmann, R.: *Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung*, *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 66, 324-330 (2013)

Haupt, O.J.; Hempelmann, R.: *Schülerlabor Kategorien: Das Klassische Schülerlabor*, *LeLa magazin* Ausgabe 6 Juni 2013, S. 4

Hempelmann, R.: *Schülerforschungszentren – ein kurzer Überblick über Zielgruppe, Forschungsthemen und Didaktik*. In R. Lentz (IHK Darmstadt) und B. Heintz (DIHK) (Hrsg.), *Aufbau von regionalen Schülerforschungszentren, Berichte und Praxisempfehlungen*, Klett MINT GmbH, Darmstadt, Stuttgart 2013

Garner<sup>17</sup>, N.; de Lourdes Lischke, M.; Siol, A.; Eilks, I.: *Learning about chemistry's contributions to sustainable development in a non-formal laboratory context for secondary level students*. In K. D. Thomas & H. E. Muga (eds.), *Cases on pedagogical innovations for sustainable development*, Hershey: IGI Global, 229-244 (2014),

Garner, N., de Lourdes Lischke, M., Siol, A.; Eilks, I.: *Nachhaltigkeit und Chemie - Experimentelle Angebote für Schülerlabore*. In S. Bernholt (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science und Fachunterricht*, Münster: Lit., 603-605 (2014).

Garner, N.; Hayes, S. M.; Eilks, I.: *Linking formal and non-formal science education - A reflection from two cases in Ireland and Germany*. *Sisyphos Journal of Education*, 2(2), 10-31 (2014).

Garner, N.; Huwer, J.; Siol, A.; Hempelmann, R.; Eilks, I.: *On the development of non-formal learning environments for secondary school students focusing sustainability and Green Chemistry*. In: V. Gomes Zuin & L. Mammino (Eds.), *Worldwide trends in green chemistry education*, Cambridge: RSC (2015), angenommen / im Druck

Garner, N.; Siol, A.; Eilks, I.: *Parabens as preservatives in personal care products*. *Chemistry in Action* (2014), angenommen / im Druck

---

<sup>17</sup> Nicole Garner ehem. Nicole Poppe

Garner, N.; Siol, A.; Eilks, I.: *Aromen im Chemieunterricht: Die Struktur bestimmt den Geruch*. Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 63, 26-30 (2014),

Garner, N.; Siol, A.; Eilks, I.: *Die Konservierung von Kosmetika mit Parabenen*. Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 63(1), 17-20 (2014).

Garner, N.; Siol, A.; Huwer, J.; Hempelmann, R.; Eilks, I. : *Sustainability and chemistry in non-formal student laboratories: A project to support learning about sustainability*. In I. Eilks, Markic, S.; Ralle, B.; (Eds), *Science education research and education for sustainable development*, Aachen: Shaker (2014), angenommen / im Druck

Poppe, N.; Siol, A.; Markic, S.; Eilks, I.; Thöming, J.; Zehren, W.; Munnia, A.; Huwer, J.; Hempelmann, R.: *Chemie und Nachhaltigkeit Entwicklung neuer experimenteller Angebote für Schülerinnen und Schüler in den Schülerlaboren FreiEx in Bremen und NanoBioLab in Saarbrücken*. In: S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based learning - Forschendes Lernen*, Münster: Lit., 716-718 (2013).

Siol, A.; Poppe, N.; Eilks, I.; Jastorff, B.: *Struktur-Wirkungs-Denken als moderne Strategie in der Wirkstoffforschung*. Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 62 (2), 24-28 (2013).

Zehren, W.; Neber, H.; Hempelmann, R.: *Kognitive und motivationale Effekte durch regelmäßiges Forschendes Experimentieren im Schülerlabor*, Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 66, 416-423 (2013)

### 5.3 Pressestimmen

Ein besonderes Highlight war die Auszeichnung unseres Verbundprojekts als ein UNESCO-Dekadeprojekt 2004-2014 für „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. Am 25.11.2013 überreichten uns Prof. de Haan und Prof. Kruse-Graumann im Rahmen einer Feierstunde die Auszeichnung in Frankfurt am Main. [Beschreibung des Projektes auf der Homepage des BnE-Portals<sup>18</sup>], siehe Abb. 5.4 .



**Abbildung 5.4: Feierstunde UN-Dekade, 25.11.2013, Frankfurt a.M.**

Prof. G. de Haan, A. Siol, J. Huwer, N. Garner, Prof. R. Hempelmann, Prof. L. Kruse-Graumann

<sup>18</sup> <http://www.dekade.org/datenbank/index.php?d=g&gType=11&gid=2390&hLite=Sch%C3%BClerlabor>

## Mit Experimenten auf der Spur von Chemie und Natur

Fünftklässler des Homburger Christian-von-Mannlich-Gymnasiums untersuchen derzeit die Eigenschaften von Fetten und Ölen

Fünftklässler des Homburger Mannlich-Gymnasiums erlernen, wie man ein Experiment vorbereitet, aufbaut und welche Schlüsse man aus den Ergebnissen zieht. Sie nehmen damit an einem Forschungsprojekt teil, bei dem es um die Eigenschaften von Fetten und Ölen geht.

Homburg. „Dürfen wir heute wieder experimentieren?“ Omar, Schüler der Klasse 5d des Christian-von-Mannlich-Gymnasiums in Homburg wartet schon gespannt auf den heutigen Naturwissenschaftsunterricht. Dort wird zurzeit noch mehr experimentiert als sonst, denn die Klassenstufe fünf nimmt am Forschungsprojekt „Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor“ des Nano-Bio-Lab der Universität des Saarlandes teil, wie es in einer Pressemitteilung der Schule heißt.

### Öle werden selbst gepresst

Bei diesem Projekt experimentieren die Schülerinnen und Schüler unter Leitung von den Fachlehrern Christina Bachmann und Thorsten Bruch zum Thema „Fette und Öle“. Hier wer-

den die Eigenschaften von Fetten, beispielsweise von Fettflecken, erforscht oder Öle selbst gepresst. Mit diesem Projekt, das

Spaß und Experimentieren verbindet, soll das Verständnis für Naturwissenschaften geweckt und gefördert werden. Wissen-

schaftlich betreut wird die Versuchsreihe von Doktorand Johannes Huwer. Untersucht wird, welche Auswirkungen das for-

schende Experimentieren auf Motivation und Lernerfolg bei Schülern hat. Dass das Experimentieren zu höherer Motivation führt, zeigt sich beispielsweise an Omar. Durch das praktische Arbeiten lassen sich theoretische Zusammenhänge auch besser begreifen und nachhaltiger vermitteln, so Bachmann. Auch Schlüsselkompetenzen, wie das selbstständige Entdecken und Erkennen von Zusammenhängen und die Arbeit im Team werden gefördert, so dass fachliche und methodische Grundlagen des Forschens schon frühzeitig eingeübt werden.

Das Thema „Fette und Öle“ ist nach dem Thema „Wasserreinigung“ bereits die zweite Unterrichtsreihe mit dem Nano-Bio-Lab, heißt es in der Mitteilung weiter. Gemeinsam ist diesen Themen, dass sie einen direkten Bezug zur Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler zulassen, so dass man nicht nur wissenschaftliche Methoden und Inhalte, sondern zu allererst für das Leben lernt.

Und das Wichtigste: Allen Schülern hat das Experimentieren Spaß gemacht. *bez*



Nelly, Selina und Michelle (von links) vom Homburger Mannlich-Gymnasium beim Versuch „Ist Öl brennbar?“ Unterstützt werden sie von Johannes Huwer, Doktorand der Saar-Uni. FOTO: HUWER/MANNLICH-GYMNASIUM

**Abbildung 5.5: Johannes Huwer unterstützt beim Experimentieren** (Quelle: 2013-12-31 Schüler am CvM durften experimentieren, Saarbrücker Zeitung)

Johannes Huwer konnte die Unterrichtsmodule in die saarländischen Schulen bringen. Die „Hardware“ wurde in Boxen verpackt und in die Schulen transportiert. Unterstützt von Studenten, konnten zahlreiche Schülerinnen und Schüler in ihren Schulen die Unterrichtsmodule kennenlernen und ihre Experimente unter intensiver Betreuung durchführen. Diese und weitere Pressenstimmen sind im Anhang unter 3.3 sowie auf der CD Rom zu finden.

### 5.4 Buchprojekt

Am Ende dieses Vorhabens sollen die erzielten Ergebnisse in einem Buch und auf dem Internet-Portal zusammengeführt werden. Über diese Medien - und über unsere Publikationen und Fachvorträge auf einschlägigen Konferenzen und Tagungen - werden alle Schülerlabore im deutschsprachigen Raum auch über den Förderzeitraum hinaus angesprochen. Die Ergebnisse fließen laufend in die Ausbildung der Chemie-Lehramtsstudierenden in Saarbrücken und Bremen ein und werden über Fortbildungsangebote auch den schon praktizierenden Lehrkräften zugänglich gemacht. Über die Schülerlabore und über die Lehrkräfte als Multiplikatoren werden wir bei vielen Schülerinnen und Schülern Motivation und Kognition bzgl. der stofflichen Verwertung von Biomasse und der Nachhaltigen Chemie sichtlich verbessern.

### Buchkonzept zur Veröffentlichung der Modulunterlagen

#### Nachhaltigkeit und Chemie in Schule, Schülerlabor und Lehrerbildung

(Konzept: Ingo Eilks, Antje Siol & Rolf Hempelmann)

## **1 Zielsetzung**

Mehr Nachhaltigkeit in Forschung, Anwendung und industrieller Produktion ist ein Kernanliegen moderner Chemie geworden. Hierzu hat die Chemie seit etwa 1990 die Idee einer grünen bzw. nachhaltigen Chemie entwickelt. Dies ist ein Regelkatalog für das Arbeiten im chemischen Labor und der Industrie, der auf mehr Ressourceneffizienz und weniger Gefährdungspotenziale und Umweltbelastung abzielt. Aber auch andere nachhaltigkeitsrelevante Fragestellungen betreffen die Chemie direkt oder indirekt, etwa die globalen Herausforderungen des Klimawandels oder einer nachhaltigen und gerechten Versorgung der Menschen mit Rohstoffen und Produkten.

Dieses Buch gibt einen Einblick in die Anstrengungen der Chemie für mehr Nachhaltigkeit aus einer fachlichen, fachdidaktischen und unterrichtspraktischen Perspektive. Es reflektiert die Entwicklungen in der Chemie hin zu mehr Nachhaltigkeit in den letzten 20 Jahren, ordnet diese ein in aktuelle Trends einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BnE) und der Öffnung von Schule und leitet über in eine Reihe praktischer Beispiele. Diese Beispiele stellen den Hintergrund von ausgewählten Entwicklungen dar und machen Vorschläge, wie Lernende sich mit solchen Thematiken auseinander setzen können. Eine Vielzahl von Vorschlägen für eine experimentelle Behandlung der Themen wird gemacht, unterstützt wird dies durch beispielhaftes Unterrichtsmaterial. Die Unterrichtsvorschläge sind entstanden und erprobt im Projekt „Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor“ gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Sie fokussieren ein breites Einsatzspektrum vom Chemie oder Naturwissenschafts-Anfangsunterricht in der Sekundarstufe I über die gymnasiale Oberstufe bis hin zu chemischen Grundpraktika in der Universität.

Das Buch zielt auf eine bessere Verortung der Auseinandersetzung mit einer nachhaltigen Chemie in Schule, Schülerlabor und Lehrerbildung ab. Die Zielgruppe des Buches sind Lehrkräfte an weiterführenden Schulformen, Betreuungspersonal in Chemie-bezogenen Schülerlaboren, Akteure der außerschulischen Bildung und Lehrerbildner.

## **2 Allgemeines**

Herausgeber: Rolf Hempelmann, Antje Siol & Ingo Eilks

Verlag: AULIS Verlag Stark, Hallbergmoos

Umfang: ca. 250 Seiten + CD ROM

Preis: ca. 30 Euro

Manuskriptbereitstellung: bis Januar 2015

Erscheinungstermin: Anfang 2015

Zusatzmaterial: Das Buch enthält eine CD-ROM mit Schülerarbeitsblättern zu den Versuchen

## **3 Gliederung und Autoren**

Grußwort Ulrike Peters, DBU

Vorwort Rolf Hempelmann, Antje Siol & Ingo Eilks

### **Allgemeiner Teil\***

- **Wege zu mehr Nachhaltigkeit in der Chemie – ein historischer Abriss**  
Fachwissenschaftlicher Teil: Paradigmenwechsel, Wandel hin zu Green Chemistry  
Sustainable Chemistry – Green Chemistry: historische Entwicklung der Begriffe, Unterscheidung. Autoren: B. Jastorff, N. Garner, A. Siol, I. Eilks
- **Konzepte einer Bildung für nachhaltige Entwicklung im Chemieunterricht**  
Fachdidaktischer Teil: Verschiedene Konzepte: Gestaltungskompetenz, UNESCO, ESD (von M. Burmeister)  
Bildungstheoretische Grundlagen  
Autoren: I. Eilks, F. Rauch
- **Die Bedeutung außerschulischer Lernorte:**  
Methodisches Kapitel: Non-formale, informelle, formale Bildung. Allgemeines über Schülerlabore, Studien über die Effekte.

Vorschlag, wie Schülerlabore in unserem Projekt in den Unterricht integriert werden (Vorbereitung, Praktikum, Nachbereitung, Beiträge zur Berufsorientierung und zur Förderung der Relevanz); Autoren: J. Huwer, W. Zehren, O. Haupt, R. Hempelmann

Die drei Anfangskapitel mit den drei Säulen: Fachwissenschaft, Fachdidaktik, Methodischer Teil ; Umfang der Kapitel: 15 – 20 Seiten! Gleichberechtigte Kapitel.

### **Praktische Beispiele\*\***

- **Energie aus nachwachsenden Rohstoffen.**  
Autoren: J. Huwer, T. Feierabend (ggf), N. Garner, A. Siol, R. Hempelmann, I. Eilks
- **Biokunststoffe**  
Autoren: N. Garner, J. Huwer, A. Siol, I. Eilks
- **Reinhaltung/Reinigung von Luft**  
Autoren: N. Garner, L. Lischke, J. Huwer, A. Siol, R. Hempelmann, I. Eilks)
- **Energie- und Ressourceneinsparungen durch moderne Katalyse**  
Autoren: I. Eilks, N. Garner, A. Siol
- **Grüne Synthesen in der organischen Chemie**  
Autoren: A. Siol, J. Huwer, S. Fey, N. Garner, I. Eilks
- **Energiewandlung und Energiespeicherung**  
Autoren: R. Hempelmann, J. Huwer, M. Oetken (ggf.)
- **Reinhaltung und Reinigung von Wasser**  
Autoren: J. Huwer, M. Seel, F. Philippi, R. Hempelmann

\* Die theoretischen Kapitel umfassen je etwa 15-20 Druckseiten.

\*\* Die praktischen Kapitel umfassen je etwa 20-25 Druckseiten. Sie sind alle einheitlich gegliedert. Die Gliederung umfasst jeweils

- Eine Diskussion des fachlichen Hintergrunds und eine Einordnung in die Nachhaltigkeitsdebatte (3-4 S.)

- Szenarios zur Einbindung und Umsetzung im schulischen Chemieunterricht, inklusive der Einordnung in übliche Bildungspläne und Anknüpfungsmöglichkeiten für die Öffnung von Schule (3-4 S.)

- Hinweise zu erweiterten experimentellen Umsetzungsmöglichkeiten im Schülerlabor, einschließlich der Diskussion sicherheitsrelevanter Fragestellungen (2-3 S.)

- Eine Übersicht über ausgewählte Experimente zur Thematik (10-12 S.)

- Hinweise auf weiterführende Informationen und Literatur (1 S.)

## 6. Ausblick

In dem jetzt abgeschlossenen Projekt „Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor“ haben wir, das ist jedenfalls unsere eigene Überzeugung, die Synergien, die in den Titelbegriffen unseres Vorhabens stecken, tatsächlich freisetzen und nutzen können. Bei „Nachhaltigkeit“ denkt man natürlich sofort an die drei Säulen Ökologie (Umweltschutz), Ökonomie (angemessen prosperierende Wirtschaft) und Soziales, und man denkt an die berühmte Aussage des Brundtland-Berichts der Vereinten Nationen „Unsere gemeinsame Zukunft“ von 1987: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“

Dass die Chemie (der zweite Titelbegriff) und die mit ihr verbundene Chemische Industrie eine zur Nachhaltigkeit gut passende Naturwissenschaft ist, geht schon daraus hervor, dass es die Sparte Nachhaltige Chemie / Green Chemistry gibt, also eine „nachhaltige“ Wissenschaft, während es ansonsten eher nachhaltige Wirtschaftskonzepte gibt, z.B. das historische Beispiel der Nachhaltigen Forstwirtschaft.

Im „Schülerlabor“ (dem dritten Titelbegriff) geht es in diesem Zusammenhang weniger um Nachhaltigkeit allgemein, sondern speziell um „Bildung für nachhaltige Entwicklung“, BnE. Das alles ist im Schülerlabor allerdings „nur“ der Überbau und Kontext. Denn die primären Ziele sind:

- (i) in Jugendlichen das Interesse für Naturwissenschaft und Technik zu wecken bzw. zu fördern und ein gewisses Grundverständnis zu erzielen, d.h. einen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung („Scientific Literacy“) zu leisten, und
- (ii) Jugendlichen die Augen für technische Zusammenhänge zu öffnen, d.h. einen Beitrag zur Technikmündigkeit („Technical Maturity“) zu leisten, und sie dazu zu animieren, eine spätere berufliche Tätigkeit im Bereich Naturwissenschaft/Technik als Option für die eigene Zukunft in Betracht zu ziehen.

Wenn man die obigen Begriffe und die damit verbundenen Chancen zusammenfasst, kommt man zur (in unserem Fall chemiebezogenen) naturwissenschaftlich-technischen Umweltbildung, und dieser Begriff trifft genau das, was wir in den abgelaufenen drei Jahren in den beiden Schülerlaboren NanoBioLab und FreiEx umgesetzt haben und wozu wir Unterrichtsmaterialien entwickelt haben, die zumindest teilweise auch in die Schule übertragbar sind.

Bildung ganz allgemein ist essentiell für die Gesellschaft, denn ein höheres Bildungsniveau ermöglicht es dem einzelnen, eine befriedigende berufliche Tätigkeit zu finden, und gemäß „better jobs, better lives“ einen zufriedenstellenden Lebensstandard zu erreichen. Damit kann der Einzelne auch gelegentliche persönliche Rückschläge verkraften. Diese Zufriedenheit der Individuen stabilisiert die gesamte Gesellschaft, denn auch sie wird dadurch belastbar. Ganz analog wirkt naturwissenschaftlich-technische Umweltbildung, zu deren Vermittlung wir im vorliegenden Projekt beigetragen haben, zunächst auf die Haltung des Einzelnen gegenüber der Umwelt, erlaubt ihm z.B. eine vernünftige Abwägung zwischen den Argumenten von eher *lokal handelnden Naturschützern* und den *global formulierten Zielen von Umweltschützern*. Diese Fähigkeiten der Einzelnen wird letztendlich auch die Haltung der gesamten Gesellschaft zur Umwelt beeinflussen.

Unsere neuen Schülerlaborangebote bewirken, wie sich im Laufe des vorliegenden Projektes gezeigt hat, bei Jugendlichen eine Förderung ihrer kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten

ten zur Lösung umweltrelevanter Fragestellungen sowie der damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um solche Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll anzugehen. Ganz im Sinne der allgemeinen Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss Biologie – Chemie – Physik, hier natürlich ausgerichtet auf chemierelevante Nachhaltigkeitsfragen, werden wir selbst diese Angebote für Schüler/innen weiterhin vorhalten, wir werden parallel dazu durch unsere Publikationstätigkeit für eine weite Verbreitung sorgen, und wir wollen selbst, auch im Rahmen weiterer Projekte, sogar noch weitergehende Angebote erstellen.

### **Danksagung:**

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die großzügige finanzielle Unterstützung des gesamten Projektes und ganz speziell für die damit verbundene Unterstützung der Doktorarbeiten von Nicole Garner und Johannes Huwer. Wir danken Frau Dipl.-Biol. Ulrike Peters von der DBU für zahlreiche hilfreiche und anregende Gespräche und für ihr stetes Interesse am Fortgang der Arbeit.

Wir danken den Mitgliedern unseres Wissenschaftlichen Beirats für ihre Zeit bei den Beiratssitzungen und für ihre Ratschläge, die uns weitergeführt und motiviert haben.

Zu Dank verpflichtet sind wir auch einer Reihe von Chemie-Lehramtsstudierenden, die im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten (Bachelor-Arbeiten, Master-Arbeiten, Wissenschaftliche Examensarbeiten) Teilaspekt dieses Vorhabens mit großem Engagement bearbeitet haben.

## **7. Anhang**

**7.1 Inhaltsverzeichnis des Anhangs** (entspricht der beiliegenden CD-Rom)

**7.2 Tabellenverzeichnis**

**7.3 Abbildungsverzeichnis**

## **Anhang**

### **1. Abschlussbericht (digital auf der beiliegenden CD-Rom)**

### **2. Zwischenberichte (alle digital auf der beiliegenden CD-Rom)**

2.1 Zwischenbericht Nr. 1

2.2 Zwischenbericht Nr. 2

2.3 Zwischenbericht Nr. 3

2.4 Zwischenbericht Nr. 4

2.5 Zwischenbericht Nr. 5

### **3. Öffentlichkeitsarbeit**

#### **3.1 Screen shots der Projekt-Website**

#### **3.2 Flyer und Handouts**

3.2.1 Flyer UdS neue experimentelle Angebote für Schülerlabore

3.2.2 Flyer UHB Chemie und Nachhaltigkeit im Schülerlabor

3.2.3 Handout UHB Duftstoff-Modul

3.2.4 Handout UHB Atmosphären-Modul

3.2.5 Handout UHB Biodiesel-Modul

3.2.6 Handout UHB Vanillin-Modul

#### **3.3 Zeitungsberichte**

3.3.1 2013-11-12 UdS Pressemitteilung UN-Dekade Preis

3.3.2 2013-12-31 UdS Schüler am AMG durften experimentieren

3.3.3 2014-01-30 UdS Chemie-Unterricht mal anders

3.3.4 2014-02-04 UdS Mit Experimenten auf der Spur von Chemie und Natur

3.3.5 2014-02-04 UdS Mit Experimenten auf der Spur von Chemie und Natur

3.3.6 2012-23-03 UHB Biodiesel aus dem Uni-Labor

3.3.7 2014-11-14 UHB Pressemitteilung Mitteilung UHB Nachhaltigkeit ...

#### **3.4 Poster**

3.4.1 [Poster] UdS LeLa Aspirin (Fey)

3.4.2 [Poster] UdS LeLa Stirling Motor (Grün)

3.4.3 [Poster] UdS Saarlabor Bliesgauöle & Bioenergie (Huwer)

3.4.4 [Poster] UdS LeLa Bioenergie & Biodiesel (Hempelmann)

3.4.5 [Poster] UdS LeLa Kalorimeter (Huwer)

3.4.6 [Poster] UdS Saarlabor Bliesgauöle & Bioenergie (Huwer)

3.4.7 [Poster] UdS GDCh Bioenergie (Huwer)

- 3.4.8 [Poster] UdS GDCh Bliesgauöle & Biodiesel (Huwer)
- 3.4.9 [Poster] UdS LeLa Süßstoffe (Huwer)
- 3.4.10 [Poster] UdS GDCh Studie Evaluation (Huwer)
- 3.4.11 [Poster] UHB GDCh Vanillin (Garner)
- 3.4.12 [Poster] UHB GdCh Duftstoffe & Vanillin (Garner)
- 3.4.13 [Poster] UHB GDCh Reinhaltung der Luft (Garner)
- 3.4.14 [Poster] UHB LeLa Duftstoffe & Vanillin (Garner)
- 3.4.15 [Poster] UHB Internationales Sommer Symposium Vanillin (Garner)
- 3.4.16 [Poster] UHB GDCh Studie Evaluation (Garner)

## 4. Modulhandbücher

### 4.1 Modulhandbücher aus Saarbrücken

- 4.1.1 UdS Wasserreinigung (Jahrgang 5 + 6)
- 4.1.2 UdS Korrosion (Jahrgang 7 + 8)
- 4.1.3 UdS Kalorimetrie (Jahrgang 9 + 10)
- 4.1.4 UdS Aspirin (Oberstufe)
- 4.1.5 UdS Omega-3-Fettsäuren (Oberstufe)

### 4.2 Modulhandbücher aus Bremen

- 4.2.1 UHB Duftstoffe (Jahrgang 5 + 6)
- 4.2.2 UHB Atmosphäre (Jahrgang 7 + 8)
- 4.2.3 UHB Biodiesel (Jahrgang 9 + 10)
- 4.2.4 UHB Kunststoffe (Oberstufe)
- 4.2.5 UHB Vanillin (Oberstufe)

## 5. Publikationen

### 5.1 Buchartikel

- 5.1.1 Garner, Nicole; Siol, Antje; Huwer, Johannes; Hempelmann, Rolf; Eilks, Ingo: ***Sustainability and chemistry in non-formal student laboratories: A project to support learning about sustainability.*** In: I. Eilks, S. Markic, B. Ralle (Eds), Science education research and education for sustainable development, Aachen: Shaker (2014), angenommen / im Druck
- 5.1.2 Garner, Nicole; Lischke, Maria de Lourdes; Siol, Antje; Eilks, Ingo: ***Learning about chemistry's contributions to sustainable development in a non-formal laboratory context for secondary level students.*** In: K. D. Thomas & H. E. Muga (eds.), Handbook of Research on Pedagogical Innovations for Sustainable Development, Hershey: IGI Global (2014), 229-244

## 5.2 Zeitschriftenartikel

- 5.2.1 Garner, Nicole; Siol, Antje; Eilks, Ingo: **Parabens as preservatives in personal care products**. Chemistry in Action (2014), angenommen / im Druck
- 5.2.2 Garner, Nicole; Siol, Antje; Eilks, Ingo: **Aromen im Chemieunterricht: Die Struktur bestimmt den Geruch**. Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 63 (2014), 26-30
- 5.2.3 Garner, Nicole; Siol, Antje; Eilks, Ingo: **Die Konservierung von Kosmetika mit Parabenen**. Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 63(1) (2014), 17-20
- 5.2.4 Garner, Nicole; Hayes, Sarah M.; Eilks, Ingo: **Linking formal and non-formal science education - A reflection from two cases in Ireland and Germany**. Sisyphos Journal of Education , 2(2) (2014), 10-31
- 5.2.5 Siol, Antje; Poppe, Nicole; Eilks, Ingo; Jastorff, Bernd: **Struktur-Wirkungs-Denken als moderne Strategie in der Wirkstoffforschung**. Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 62 (2) (2013), 24-28
- 5.2.6 Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S., Zehren, W., & Hempelmann, R. (2013). **Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung**. Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 66(6), 324–330.
- 5.2.7 Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S., & Hempelmann, R. (2013). **Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung** (eine Kurzfassung). LeLa Magazin, 5, 2-4.
- 5.2.8 Haupt, O., & Hempelmann, R. (2013). **Schülerlabor Kategorien: Das Klassische Schülerlabor**. LeLa Magazin, 6, 4-5.
- 5.2.9 Zehren, W., Neber, H., & Hempelmann, R. (2013). **Forschendes Experimentieren im Schülerlabor**. Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 66(7), 416–423.
- 5.2.10 Zehren, W., & Hempelmann, R. (2014). **Kognitive und motivationale Effekte durch regelmäßiges Forschendes Experimentieren im Schülerlabor**. LeLa Magazin, 9, 8-10.

## 5.3 Artikel in Tagungsbänden

- 5.3.1 Garner, Nicole, de Lischke, Maria Lourdes, Siol, Antje; Eilks, Ingo: **Nachhaltigkeit und Chemie - Experimentelle Angebote für Schülerlabore**. In: S. Bernholt (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science und Fachunterricht, Münster: Lit (2014), angenommen / im Druck
- 5.3.2 Poppe, Nicole; Siol, Antje; Markic, Silivja; Eilks, Ingo; Thöming, Jörg; Zehren, Walter; Munnia, Angela; Huwer; Johannes; Hempelmann, Rolf: **Chemie und Nachhaltigkeit Entwicklung neuer experimenteller Angebote für Schülerinnen und Schüler in den Schülerlaboren FreiEx in Bremen und NanoBioLab in Saarbrücken**. In: S. Bernholt (Hrsg.), Inquiry-based learning - Forschendes Lernen, Münster: Lit (2013), 716-718
- 5.3.3 Eilks, Ingo; Poppe, Nicole: **Wieviel Kontext muss sein beim Experimentieren in Schülerlaboren?** In: Bundesverband der Schülerlabore (Hrsg.), Knowledge Café zur 8. Le-La Jahrestagung, Bremen 2013 Schülerlabore als Brücke zwischen Fachwissenschaft und Fachdidaktik? (2013), 12-14

5.3.4 Hempelmann, R.: **Schülerforschungszentren – ein kurzer Überblick über Zielgruppe, Forschungsthemen und Didaktik**, in R. Lentz (IHK Darmstadt) und B. Heintz (DIHK) (Hrsg.), Aufbau von regionalen Schülerforschungszentren, Berichte und Praxisempfehlungen, Klett MINT GmbH, Darmstadt, Stuttgart 2013

5.3.5 Seel, M., Huwer, J., Fey, S., Munnia, A., Hempelmann, R., Garner, N., Eilks, I. (2014 - im Druck). **Nachhaltige Chemie in Schülerlaboren NanoBioLab und FreiEx**. In U. Witte (Hrsg.), Neue Trends in der Umweltkommunikation. München: OEKOM-Verlag.

5.3.6 Huwer, J., Hempelmann, R., & Brünken, R. (2014). **Nachhaltigkeit und Chemie: Forschendes Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht der Klassenstufe 5 – Eine Studie über Kognition und aktuelle Motivation** In S. Bernholt (Hrsg.), Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Münster: Lit.

5.3.7 Garner, N.; Huwer, J.; Siol, A.; Hempelmann, R.; Eilks, I.: **On the development of non-formal learning environments for secondary school students focusing sustainability and Green Chemistry**. In V. Gomes Zuin & L. Mammino (Eds.), *Worldwide trends in green chemistry education*. Cambridge: RSC (2015), angenommen / im Druck

## 7.2 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1.1: In Bremen entwickelte Module</i>	6
<i>Tabelle 1.2: In Saarbrücken entwickelte Module</i>	6
<i>Tabelle 3.1: Detaillierter Zeitplan</i>	11
<i>Tabelle 3.2: Zeitplan „Chemie &amp; Nachhaltigkeit im Schülerlabor“</i>	12
<i>Tabelle 3.3: Themen, die an der UdS bearbeitet wurden</i>	14
<i>Tabelle 3.4: Themen, die an der UHB bearbeitet wurden</i>	14
<i>Tabelle 3.5: Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats</i>	20
<i>Tabelle 4.1: Die in Saarbrücken entwickelten Module im Überblick</i>	22
<i>Tabelle 4.2: Experimente d. Moduls Wasser Trinkwasser, Wasser als Abwasser, Gewässergüte</i>	24
<i>Tabelle 4.3: Übersicht der Experimente des Moduls zur Galvanotechnik</i>	26
<i>Tabelle 4.4: Experimente des Moduls Omega-3-Fettsäure</i>	27
<i>Tabelle 4.5: Übersicht der Experimente des Moduls zur Heizwertbestimmung</i>	28
<i>Tabelle 4.6: Experimente des Moduls zu Synthese eines Arzneimittelwirkstoffes</i>	30
<i>Tabelle 4.7: Überblick über die Arbeiten des Projektpartners in Bremen</i>	31
<i>Tabelle 4.8: Liste der Experimente des Moduls Duftstoffe aus Blüten und Früchten</i>	32
<i>Tabelle 4.9: Gestaltungsvorschläge des Moduls Duftstoffe aus Blüten und Früchten</i>	33
<i>Tabelle 4.10: Liste d. Experimente des Moduls „Luft: Reinhaltung, Analyse von Schadstoffen“</i>	34
<i>Tabelle 4.11: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit</i>	36
<i>Tabelle 4.12: Liste der Experimente des Moduls „Alternative Treibstoffe durch Chemie“</i>	38
<i>Tabelle 4.13: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit</i>	39
<i>Tabelle 4.14: Liste der Experimente des Moduls „Künstliches Vanillin oder natürliche Vanillin“</i>	41
<i>Tabelle 4.15: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit</i>	42
<i>Tabelle 4.16: Liste der Experimente des Moduls „Kunststoffe – alles Künstlich &amp; ohne Natur“</i>	45
<i>Tabelle 4.17: Vorschläge zur Gestaltung einer Unterrichtseinheit</i>	46
<i>Tabelle 4.18: Lehrerfortbildungen</i>	47
<i>Tabelle 4.19: Sieben-Labore-Tour 2013</i>	49
<i>Tabelle 4.20: Sieben-Labore-Tour 2014</i>	50
<i>Tabelle 5.1 Übersicht Netzwerk SAARBRÜCKEN:</i>	54
<i>Tabelle 5.2: Übersicht Netzwerk BREMEN:</i>	55
<i>Tabelle 5.3: Vorträge und Präsentationen 2011/2012</i>	56
<i>Tabelle 5.4: Vorträge und Präsentationen 2013</i>	57
<i>Tabelle 5.5: Vorträge und Präsentationen 2014</i>	58

### 7.3 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 4.1: Schülerinnen beim Nachbau eines natürlichen Filters</i>	23
<i>Abbildung 4.2: Besuch bei der DBU-geförderten Firma KD Pharma in Bexbach</i>	26
<i>Abbildung 4.3: Die Umsetzung von Salicylsäure und Acetanhydrid zum Aspirin</i>	29
<i>Abbildung 4.4: modulares Synthesesystem von Vanillin:</i>	40
<i>Abbildung 4.5: Synthese von Leinölepoxid</i>	44
<i>Abbildung 5.1: Das Projekt-Logo</i>	51
<i>Abbildung 5.2: Poster-Templates</i>	51
<i>Abbildung 5.3: Ausgewählte Screenshots der Projektwebsite</i>	52
<i>Abbildung 5.4: Feierstunde UN-Dekade, 25.11.2013, Frankfurt a.M.</i>	60
<i>Abbildung 5.5: Johannes Huwer unterstützt beim Experimentieren</i>	61