

Zentrum für Chemie e.V.

# Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht

## Abschlussbericht

Dr. Thomas Schneidermeier

Bensheim im Januar 2020



Aktenzeichen 32847/01

**Bezug:**

Zentrum für Chemie e.V.  
Auerbacher Weg 24  
64625 Bensheim  
zukunftstechnologien@z-f-c.de  
www.z-f-c.de

www.dbu.de

Zentrum für Chemie e.V.

# Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht

## Abschlussbericht

Dr. Thomas Schneidermeier

Bensheim im Januar 2020


gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

Aktenzeichen 32847/01

06/02		<b>Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	<b>32847/01</b>	Referat	<b>43</b>	Fördersumme	<b>219.892 Euro</b>
<b>Antragstitel</b>		Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht			
<b>Stichworte</b>		Energiewende, Ressourceneffizienz, Klimaschutz, Unterrichtseinheiten, Netzwerkschulen, Hessen			
<b>Laufzeit</b>		Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
<b>36 Monate</b>		<b>5. Oktober 2016</b>	<b>4. Oktober 2019</b>	<b>Abschluss</b>	
<b>Abschlussbericht</b>		15.10.2019		Tel           0174 2493016  Fax  Projektleitung Dr. Thomas Schneidermeier  Bearbeiter	
<b>Bewilligungsempfänger</b>		Zentrum für Chemie e.V. Auerbacher Weg 24 64625 Bensheim			
<b>Kooperationspartner (keine Antragsteller)</b>		u. a. TU Darmstadt, Hochschule RheinMain, Universität zu Köln, Universität Halle, VCI Hessen, Unternehmerverbände Südhessen, Landesenergieagentur Hessen, H2BZ-Initiative Hessen, Merck, GGEW, Hessisches Kultusministerium, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen			
<p><b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b></p> <p>Natur- und ingenieurwissenschaftliche Inhalte sind unter anderem dann dazu geeignet, das Interesse von Schüler*innen für MINT-Themen zu wecken und sie für MINT-Berufsfelder zu interessieren, wenn sie mit lebensnahen Themen verknüpft und anschaulich vermittelt werden. Dazu prädestiniert sind u. a. zukunftsweisende neue Technologien im Bereich der Energiewende.</p> <p>MINT-Lehrkräfte sollen durch ein Workshopprogramm in die Lage versetzt werden, inhaltlich fundierte sowie methodisch und didaktisch hochwertige Unterrichtssequenzen zu erarbeiten und durchzuführen, um einerseits die gesellschaftliche Akzeptanz für die Umsetzung der Energiewende zu stärken und andererseits die Gewinnung potenzieller und gut informierter Fachkräfte „von morgen“ durch die Integration von klimafreundlichen Zukunftstechnologien zu unterstützen. Schüler*innen sollen durch MINT-Workshops zur Energiewende eine Bewertungskompetenz vermittelt und eine berufliche Orientierung im Umfeld dieses Themenkomplexes erhalten.</p>					

## Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Für Lehrkräfte der Fächer Chemie, Informatik, Mathematik und Physik sind insgesamt vier 1,5-tägige Workshops geplant. Ein mit dem Hessischen Kultusministerium abgestimmter Kooperationsvertrag zwischen den teilnehmenden Schulen und dem ZFC soll dazu beitragen, dass Lehrkräfte der beteiligten Schulen an allen vier aufeinander aufbauenden Veranstaltungen teilnehmen. Mit der kontinuierlichen Teilnahme soll gewährleistet werden, dass Lehrkräfte in enger Zusammenarbeit mit den Kolleg\*innen aus den beteiligten Schulen über einen längeren Zeitraum Unterrichtsmaterialien entwickeln, durchführen und nachbereiten und sie als Multiplikatoren nachhaltig in die Fach- bzw. Fachbereichskonferenzen und damit in den Unterricht der beteiligten Schulen einbringen. Die entstandenen Unterrichtseinheiten sollen u. a. in OneNote publiziert werden, um sie durch das im Auftrag des ZFC programmierte Add-in Teach@Note leicht in die Unterrichtsplanung von Lehrkräften zu integrieren. Die Workshops für Lehrkräfte werden durch Eingangs- und Abschlussbefragungen von Lehrkräften und Schüler\*innen durch Prof. Dr. Martin Lindner (Universität Halle) evaluiert.

Ein Beirat begleitet das Projekt. Dem Beirat gehören Heike Blaum (VCI Hessen), Prof. Dr. Claudia Bohrmann-Linde (Universität Tübingen, jetzt Universität Wuppertal), Dr. Justus Brans (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung), Robert Hennies (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit), Klaus Holl (Goethe-Gymnasium Bensheim), Rita Flad (Hessisches Kultusministerium), Dirk-Karl Pilgram (Georg-Christoph-Lichtenbergschule Ober-Ramstadt), Monika Biewald (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung) und Mathias Rust (AK Schule Wirtschaft / Vereinigung der hessischen Unternehmerverbände) an.

Ergänzend zur Workshopreihe für Lehrkräfte finden für ausgewählte Schüler\*innen aus ganz Hessen in enger Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen schulübergreifend neun einwöchige berufsorientierende Workshops („Erfinderlabore“) zum Themenbereich „Energiewende“ statt.

Die Projekte werden im engen Schulterschluss mit Ministerien, Hochschulen, Unternehmen und Verbänden durchgeführt, um aktuelle Entwicklungen in der „Energiewende“ in die Projektumsetzung zu integrieren. Aus dem Hochschulnetzwerk des ZFC beteiligen sich Prof. Birgit Scheppat (Hochschule RheinMain, Brennstoffzellentechnologie), Prof. Dr. Amitabh Banerji (Universität Köln, jetzt Universität Potsdam, OLED/OPV), Prof. Dr. Mathias Rehahn (TU Darmstadt, OLED/OPV), Prof. Dr. Helge Bode (Goethe-Universität Frankfurt) und Prof. Dr. Martin Kiehl (TU Darmstadt, Industrie 4.0/ Digitalisierung).

Zur Verbreitung der Ergebnisse der Workshops für Lehrkräfte und Schüler\*innen wird im Förderzeitraum zu öffentlichen Veranstaltungen eingeladen. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse bei Messen und Kongresse vorgestellt werden.

## Ergebnisse und Diskussion

Zwischen Oktober 2016 und Juni 2019 fanden vier Workshops für jeweils etwa 40 Lehrkräfte, eine Informationsveranstaltung zur Workshopreihe im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt (200 Gäste), ein Vorbereitungsworkshop für die Abschlussveranstaltung der Workshopreihe, die Abschlussveranstaltung im Hessischen Landtag (100 Gäste), neun einwöchige Workshops für Schüler\*innen der Oberstufe („Erfinderlabor“, 77 Teilnehmerinnen, 77 Teilnehmer, etwa 1500 Gäste bei den Abschlussveranstaltungen), zwei Beiratssitzungen, Vorträge und Informationsstände zum Projekt u. a. bei der Jubiläumsveranstaltung von *MINT Zukunft schaffen* im Bundeswirtschaftsministerium (200 Gäste) und der Didacta (ca. 500 Besucher am Stand an fünf Tagen) sowie Fortbildungen zur Nutzung von Teach@Note (etwa 100 Lehrer\*innen) statt.

Es wurden neun Filme zum Themenbereich Energiewende erstellt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt (vgl. [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de), <https://www.youtube.com/channel/UCOpS-L6ZL9Vq9hHO44hKdLA>)

Die in den Lehrerworkshops erstellten Unterrichtseinheiten wurden im Unterricht erprobt, weiterentwickelt und auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) im Word- und im OneNote-Format zum Download bereitgestellt.

Folgende Unterrichtseinheiten stehen zur Verfügung:

- Energiewende im Chemieunterricht – Treibhauseffekt und Energieeffizienz am Beispiel der OLED (Sek I)
- Energiewende im Physikunterricht – Wasserstoff als Energieträger der Zukunft (Sek I)
- Energiewende im Mathematikunterricht – sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen durch Lineare Optimierung (Sek II)
- Energiewende im Informatikunterricht – Simulation von Energieversorgungsnetzen für eine sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen (Sek II)

Das Add-in Teach@Note wurde weiterentwickelt. Es ermöglicht in der Desktopversion von OneNote auch für Lehrkräfte ohne IT-Kenntnisse eine Einbindung der neuen Einheiten in die persönliche Unterrichtsplanung.

Zur Verbreitung des Themenkomplexes „Energiewende und Klimaschutz im Unterricht“ wurde der Webauftritt des ZFC neugestaltet, ein Facebookauftritt mit News zur Energiewende umgesetzt, der Youtubekanal des ZFC ausgebaut und öffentliche Veranstaltungen durchgeführt (s.o.). Alle im Projektantrag formulierten Vorhaben wurden umgesetzt.

## Fazit

Die Erfinderlabore ermöglichten den Teilnehmer\*innen durch die Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen die Energiewende praktisch mit Hilfe von Experimenten und Anwendungsbezug zu erfassen.

Die erstellten Unterrichtseinheiten in den Fächern Chemie, Physik, Informatik und Mathematik erlauben Schüler\*innen, die naturwissenschaftlichen und mathematischen Hintergründe der Energiewende in ihren Grundzügen zu verstehen und damit eine Bewertungskompetenz zu entwickeln.

Durch die ausgerichteten öffentlichen Veranstaltungen und die Teilnahme an Messen und Kongressen ist es gelungen, dass Thema „Energiewende“ mehr als 1000 Lehrkräften anschaulich zu präsentieren. Eine umfangreiche Medienarbeit trägt dazu bei, das Thema in Print, Web und Film der Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Die Verstetigung des Projekts ist noch nicht gesichert. Die Leitung der Landesenergieagentur Hessen stellt Personalmittel zur Verfügung, um das Projekt zu verstetigen. Zur Umsetzung finden gegenwärtig Gespräche mit Ministerien und Hochschulen statt.

# Inhaltsverzeichnis

---

Projektkennblatt .....	2
Inhaltsverzeichnis .....	4
Wir über uns .....	5
Verzeichnis von Abbildungen .....	6
Verzeichnis von Tabellen .....	6
Zusammenfassung .....	7
Einleitung .....	7
Zielsetzung .....	8
<b>1 Arbeitsschritte und Methoden .....</b>	<b>9</b>
1.1 Themenfelder – Vorüberlegungen .....	9
1.1.1 Erzeugung von elektrischer Energie .....	9
1.1.2 Energiespeicherung .....	10
1.1.3 Energieeffizienz und Lastmanagement .....	10
1.2 Workshopreihe für Lehrkräfte – Unterrichtseinheiten .....	11
1.3 (Digitale) Verbreitung der Unterrichtseinheiten .....	13
1.4 Workshops für Schüler*innen – außerschulische Lernorte .....	14
1.5 Dissemination .....	14
<b>2 Ergebnisse .....</b>	<b>15</b>
2.1 Workshopreihe für Lehrkräfte – Unterrichtseinheiten .....	15
2.1.1 Kurzbeschreibung der Workshops .....	15
2.1.2 Chemie – Treibhauseffekt und Energieeffizienz am Beispiel der OLED (Sek I) .....	20
2.1.3 Physik – Wasserstoff als Energieträger der Zukunft (Sek I) .....	21
2.1.4 Mathematik – sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen durch Lineare Optimierung (Sek II) .....	22
2.1.5 Informatik – Simulation von Energieversorgungsnetzen für eine sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen (Sek II) .....	23
2.2 Evaluation der Workshopreihe für Lehrkräfte .....	25
2.2.1 Evaluationskonzept .....	25
2.2.2 Ergebnisse der Evaluation des Gesamtprogramms .....	26
2.2.3 Ergebnisse der Evaluation der Unterrichtsmaterialien .....	26
2.2.4 Ergebnisse der Interviews mit Lehrkräften .....	27
2.2.5 Ergebnisse der Fragebogenstudie mit Schüler*innen .....	29
2.2.6 Zusammenfassung .....	30
2.2.7 Empfehlung .....	30
2.3 (Digitale) Verbreitung der Unterrichtseinheiten .....	31
2.4 Workshops für Schüler*innen – außerschulische Lernorte .....	31
2.4.1 Erfinderlabore „Elektromobilität-Brennstoffzellen“ (2017-2019) .....	32
2.4.2 Erfinderlabore „Organische Elektronik“ (2017, 2018) .....	33
2.4.3 Erfinderlabor „Neue Hochleistungsmaterialien für die Zukunft“ (2019) .....	34
2.4.4 Erfinderlabore: Stimmen von Teilnehmer*innen .....	35
2.5 Dissemination .....	35
2.5.1 Workshopreihe für Lehrkräfte .....	35
2.5.2 Workshops für Schüler*innen .....	36
2.5.3 Öffentliche Veranstaltungen .....	37
2.5.4 Verbreitung im Internet .....	38
2.5.5 TV-Beiträge im Hessischen Rundfunk und bei RTL .....	40
<b>Diskussion .....</b>	<b>41</b>
<b>Fazit .....</b>	<b>45</b>
<b>Ausblick .....</b>	<b>46</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>47</b>
<b>Impressum .....</b>	<b>48</b>

## Wir über uns

Das Zentrum für Chemie (ZFC) ist ein eingetragener gemeinnütziger Verein. Er führt seit 2004 in Kooperation mit Schulen, Hochschulen, Unternehmen, Verbänden, Stiftungen und Ministerien Projekte durch, um neben der Vermittlung einer Grundkompetenz in den Naturwissenschaften gesellschaftlich relevante Themen wie den Klimaschutz, die Energiewende und die Ressourceneffizienz in den Unterricht der MINT-Fächer Chemie, Physik, Mathematik, Biologie und Informatik zu integrieren und mit klassischen Unterrichtsinhalten zu verzahnen. Zielgruppe sind Schüler\*innen in einem Alter zwischen acht und neunzehn sowie Lehrkräfte aller Schularten (vgl. Abbildung 1).

Durch die Projekte sollen fachliche Grundlagen für eine Meinungsbildung gelegt, aber auch Perspektiven für neue Berufsfelder vermittelt werden.

Um die Kopplung von klassischen Unterrichtsinhalten mit Berufsfeldern im MINT-Umfeld zu stärken, gründete das ZFC im April 2013 die Initiative „Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht“ (Abbildung 2). Ziel der Initiative ist es, Schüler\*innen den Zusammenhang zwischen Unterrichtsinhalten und zukünftigen Berufsmöglichkeiten durch lebensnahe, zukunftsweisende Themen anschaulich zu vermitteln.

Themenschwerpunkt sind ressourceneffiziente Technologien wie die Wasserstofftechnologie, die Organische Elektronik und die Lithium-Ionen-Technologie.

Mitarbeiter des Vereins sind im Unterricht tätige Lehrkräfte und außerschulische Fachkräfte wie Dipl.-Chemiker, Dipl.-Biologen und Ärzte.

Das ZFC ist seit seiner Gründung bei Lehrerfortbildungen, Pädagogischen Tagen und Messen durch Informationsstände und Vorträge kontinuierlich vertreten. Darüber hinaus wirken Mitglieder des Vereins in Expertenrunden im Bereich „Naturwissenschaftliche Bildung“ mit und nehmen Beiratstätigkeiten wahr.

**SCHULE 3.0**  
ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN  
IN DEN UNTERRICHT

Abbildung 2: Logo der ZFC-Initiative „Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht“



Abbildung 1: Projekte des ZFC entlang der Bildungskette

## Verzeichnis von Abbildungen

---

Abbildung 1: Projekte des ZFC entlang der Bildungskette .....	5
Abbildung 2: Logo der ZFC-Initiative „Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht“ .....	5
Abbildung 3: Muster eines Kooperationsvertrags .....	12
Abbildung 4: Verpflichtungserklärung der teilnehmenden Schulen .....	13
Abbildung 5: Impressionen von Workshop I .....	16
Abbildung 6: Impressionen von Workshop II .....	17
Abbildung 7: Impressionen von Workshop III .....	18
Abbildung 8: Lehr-Lernprozessmodell .....	20
Abbildung 9: Entwicklung der Teilnehmer*innenzahl in den vier Workshops .....	26
Abbildung 10: Fragenkatalog der Lehrerinterviews .....	28
Abbildung 11: Altersverteilung der befragten Schüler*innen der KIM-Studie .....	29
Abbildung 12: Kurzsкала der intrinsischen Motivation .....	29
Abbildung 13: Kommentar eines Schülers/einer Schülerin .....	30
Abbildung 14: Webformular zum Download von Unterrichtsmaterialien .....	31
Abbildung 15: Erfinderlabore „Elektromobilität-Brennstoffzellen“ (2017-2019) – Impressionen .....	32
Abbildung 16: Erfinderlabore „Organische Elektronik“ (2017, 2018) – Impressionen .....	33
Abbildung 17: Erfinderlabor „Neue Hochleistungsmaterialien für die Zukunft“ (2019) – Impressionen .....	34
Abbildung 18: Vorstellung der Zwischenergebnisse im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt – Impressionen .....	37
Abbildung 19: Abschlussveranstaltung im Hessischen Landtag – Impressionen .....	38
Abbildung 20: „Klimaschutz und Energiewende“: Schwerpunkt auf der Startseite von <a href="http://www.z-f-c.de">www.z-f-c.de</a> .....	39
Abbildung 21: ZFC auf Facebook: „Energiewende, Klimaschutz und Ressourceneffizienz“ .....	39
Abbildung 22: ZFC auf youtube: Beiträge zur Energiewende .....	39
Abbildung 23: TV-Beitrag in der Hessenschau (07/2018) .....	40
Abbildung 24: TV-Beitrag bei RTL (02/2019) .....	40
Abbildung 25: Zeit- und Arbeitsplan der Workshopreihe .....	41

## Verzeichnis von Tabellen

---

Tabelle 1: Programm von Workshop I .....	15
Tabelle 2: Programm von Workshop II .....	17
Tabelle 3: Programm von Workshop III .....	18
Tabelle 4: Programm von Workshop IV .....	19
Tabelle 5: 1. Gesamtprogramm .....	25
Tabelle 6: 2. Programmakteure .....	25
Tabelle 7: 3. Programmadressaten .....	25
Tabelle 8: Vorgesehene Themen der Workshopreihe .....	42
Tabelle 9: Workshopprogramm in Modulen .....	46



## Zusammenfassung

MINT-Lehrkräfte sollen in die Lage versetzt werden, inhaltlich fundierte sowie methodisch und didaktisch hochwertige Unterrichtssequenzen zu erarbeiten und durchzuführen, um einerseits die gesellschaftliche Akzeptanz für die Umsetzung der Energiewende zu stärken und andererseits die Gewinnung potenzieller und gut informierter Fachkräfte „von morgen“ durch die Integration von klimafreundlichen Zukunftstechnologien in den Unterricht zu unterstützen. Schüler\*innen sollen durch MINT-Workshops zur Energiewende eine Bewertungskompetenz vermittelt und eine berufliche Orientierung im Umfeld dieses Themenkomplexes erhalten.

Zur Umsetzung fanden ein umfangreiches Workshopprogramm für Lehrkräfte und neun einwöchige Workshops für Schüler\*innen statt.

In den Schuljahren 2016/2017 und 2017/2018 nahmen durchschnittlich 40 Lehrkräfte aus 13 hessischen Schulen an einem vierteiligen Workshopprogramm teil. In Kooperation mit Partnern aus Hochschule und Wirtschaft entstanden folgende Unterrichtseinheiten:

- Energiewende im Chemieunterricht – Treibhauseffekt und Energieeffizienz am Beispiel der OLED (Sekundarstufe I)
- Energiewende im Physikunterricht – Wasserstoff als Energieträger der Zukunft (Sekundarstufe I)
- Energiewende im Mathematikunterricht – sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen durch Lineare Optimierung (Sekundarstufe II)
- Energiewende im Informatikunterricht – Simulation von Energieversorgungsnetzen für eine sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen (Sekundarstufe II)

Zur Integration der erstellten Unterrichtseinheiten in die individuelle Unterrichtsplanung von Lehrkräften wurde das Add-in Teach@Note für das digitale Notizprogramm Microsoft OneNote weiterentwickelt.

Ziele und Ergebnisse wurden auf öffentlichen Veranstaltungen u. a. im Hessischen Landtag, im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt und der Didacta der Öffentlichkeit präsentiert.

77 Schülerinnen und 77 Schüler aus etwa 100 hessischen Schulen sowie der Deutschen Schule Seoul nahmen in Kooperation mit Partnern aus Wirtschaft und Hochschule an neun einwöchigen Workshops zu den Themenbereichen *Wasserstofftechnologien/Brennstoffzellen*, *Organische Elektronik* und der „weißen“ *Biotechnologie* teil. Die Schüler\*innen präsentierten ihre Ergebnisse in einem festlichen Rahmen in Abschlussveranstaltungen der Öffentlichkeit.

Die Workshops für Lehrkräfte und Schüler\*innen sind durch Pressemitteilungen und Filme dokumentiert.

Auf Grund der positiven Resonanz von Lehrkräften und Schüler\*innen und der großen gesellschaftlichen Bedeutung schlugen das ZFC und renommierte Partner aus Hochschule und Wirtschaft vor, dass Projekt weiterzuführen und zu verstetigen. Es sollte in einem (Schul)netzwerk für Lehrkräfte der Fächer *Biologie*, *Chemie*, *Informatik*, *Physik*, *Mathematik*, *Politik und Wirtschaft* und *Erdkunde* in enger Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen durchgeführt werden, um die Energiewende mit damit verbundenen Zukunftstechnologien, Berufsfeldern und gesellschaftlichen Aspekten nachhaltig in den Unterricht zu integrieren.

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung gefördert (AZ 32847/01) und erstreckte sich vom 5. Oktober 2016 bis zum 4. Oktober 2019. Zahlreiche Partner aus Schule, Hochschule und Wirtschaft unterstützten das Projekt. Die Workshops wurden durch Eingangs- und Abschlussbefragungen von Lehrkräften und Schüler\*innen evaluiert und von einem Beirat begleitet.

## Einleitung

Natur- und ingenieurwissenschaftliche Inhalte sind unter anderem dann dazu geeignet, das Interesse von Schüler\*innen für MINT-Themen zu wecken, wenn sie mit lebensnahen Themen verknüpft und anschaulich vermittelt werden. Dazu prädestiniert sind u. a. zukunftsweisende neue Technologien im Bereich der Energiewende.

Diese Technologien werden in der zukünftigen Berufswelt eine bedeutende Rolle spielen. Sie eignen sich daher auch dazu, Schüler\*innen aller Schularten über mögliche Berufsperspektiven im MINT-Bereich durch geeignete Unterrichtssequenzen fachlich fundiert zu informieren. Dadurch können auch mittelfristig zukünftige Fachkräfte gewonnen werden. Studien zeigen, dass eine Verknüpfung von fachlichen Inhalten mit einer Berufsorientierung notwendig ist. 64% aller jungen, berufstätigen Menschen fühlen sich falsch oder unzureichend bzgl. ihrer

späteren Berufswahl informiert. Nur jeder 3. würde sich noch einmal für die gewählte Ausbildung entscheiden. Nur 56% aller Schüler fühlen sich ausreichend über ihre beruflichen Möglichkeiten informiert. 54% der Schüler wissen nicht, welche Berufe gute Zukunftsaussichten bieten. Zwischen 35 und 50% der Studierenden brechen in den MINT-Fächern ihr Bachelorstudium ab. 52% der Betroffenen führen ihre Entscheidung auf falsche Vorstellungen bzw. mangelnde Information über den Studiengang zurück (1).

Am 30. Juni 2011 beschloss der Bundestag den Atomausstieg und die Energiewende. Seither wurde eine Reihe von Maßnahmen beschlossen (2). In Hessen (3), aber auch in allen anderen Bundesländern (4) ist die Energiewende ein zentrales Vorhaben der nächsten Jahre. Dies spiegelt sich teilweise auch in den Curricula der Bundesländer wider. Das derzeit verbindliche Kerncur-

riculum Hessen für das Fach Physik (5) fordert z. B. im Inhaltsfeld „Zukunftssichere Energieversorgung“ eine grundlegende Auseinandersetzung mit einer nachhaltigen und zukunftssicheren Energieversorgung. Allerdings sind dazu vorhandene Unterrichtsmaterialien von Hochschulen oder Verlagen nicht an die stark unterschiedlichen Kompetenzen der Schüler\*innen in den einzelnen Schulen angepasst. Darüber hinaus beschäftigte sich ein Großteil der Lehrkräfte im Studium fachlich nicht mit der Energiewende, da sie erst im Jahre 2011 beschlossen wurde. Vie-

le Lehrkräfte benötigen deshalb Unterstützung durch Fachleute aus Hochschule und Wirtschaft, um einen didaktisch und methodisch fundierten Unterricht durchzuführen.

Folglich spielt die Energiewende im MINT-Unterricht eine bislang eher untergeordnete Rolle. Dies führt dazu, dass Schüler\*innen zu diesem Themenkomplex in der Regel keine fundierten fachlichen Kompetenzen aufbauen können und deshalb weder gesellschaftlich noch berufsperspektivisch ausreichend informiert sind.

## Zielsetzung

---

MINT-Lehrkräfte sollen in den kommenden drei Schuljahren durch ein Workshopprogramm in die Lage versetzt werden, inhaltlich fundierte sowie methodisch und didaktisch hochwertige Unterrichtssequenzen zu erarbeiten und durchzuführen, um einerseits die gesellschaftliche Akzeptanz für die Umsetzung der Energiewende zu stärken und andererseits die Gewinnung potentieller und gut informierter Fachkräfte „von morgen“ zu unterstützen.

Das Workshopprogramm trägt den Titel „Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht“ und soll im engen Schulterschluss mit Ministerien, Hochschulen, Unternehmen und Verbänden durchgeführt werden. Dabei greift das ZFC auf sein langjähriges Netzwerk zurück. Das Workshopprogramm ist Teil der seit 2013 bestehenden ZFC-Initiative „Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht“.

Mit den Themenfeldern „OLED/OPV“, „Brennstoffzellentechnologie“ und „Smart Grids“ wurden exemplarisch Technologien gewählt, die u. a. für eine Einsparung von Treibhausgasen von Bedeutung sind. Sie bieten Schüler\*innen gute Berufsperspektiven, haben eine große Alltagsrelevanz und lassen sich in die Curricula mehrerer MINT-Fächer einbinden. Das dreijährige Projekt ist nicht auf diese Themenfelder beschränkt. Es ist themenoffen und lässt eine Themenerweiterung zu.

Eine Beschränkung auf die Fächer Chemie, Physik, Mathematik und Informatik ist notwendig, da die vom Hessischen Kultusministerium und den Netzwerkschulen freigegebenen Personalressourcen explizit für diesen Fachbereich vorgegeben sind. Im Sinne des kompetenzorientierten Unterrichts werden politische und wirtschaftliche Zusammenhänge bei der Erstellung der Unterrichtsmaterialien eingebunden.

Ziel ist die Entwicklung und Erprobung neuer (Unterrichts-) Inhalte für Schüler\*innen unterschiedlicher Schulfor-

men. Sowohl Lehrkräften als auch Lernenden soll das Projekt neue Ansätze der Qualifikation, Bildung, Beteiligung am gesellschaftlichen Leben und dessen Wandel sowie neue Informationen ermöglichen. Zentral ist dabei der Wissenstransfer zwischen Lehrkräften unterschiedlicher Schulen, Hochschulen und Unternehmen. Das Angebot richtet sich an hessische Schulen.

Die Erstellung, Durchführung und Evaluation der Unterrichtsmaterialien wird durch Mitarbeiter des ZFC und den beteiligten Hochschulen durch einen kontinuierlichen Austausch mit den Lehrkräften langfristig begleitet. Durch die langjährige Mitarbeit von ZFC-Mitarbeitern in den landesweiten Lehrerfortbildungsprogrammen SiNUS („Steigerung der Effizienz des Unterrichts“) bzw. „Kompetenzorientiertes Unterrichten in Mathematik und Naturwissenschaften“ greifen die Akteure auf einen reichhaltigen Erfahrungsschatz in der Lehrerfortbildung zurück.

Neben den Workshops für Lehrkräfte werden für begabte Schüler\*innen der Oberstufe einwöchige Workshops zur Energiewende durchgeführt. Im Förderzeitraum sind sechs Veranstaltungen zu den Themen „Elektromobilität – Brennstoffzellen“ und zur „Organischen Elektronik“ (OLED, *Organische Leuchtdiode*; OPV, *Organische Photovoltaik*) geplant.

Die Projekte sollen im engen Schulterschluss mit Ministerien, Hochschulen, Unternehmen und Verbänden durchgeführt werden, um aktuelle Entwicklungen in der „Energiewende“ in die Projektumsetzung zu integrieren. Aus dem Hochschulnetzwerk des ZFC beteiligen sich Prof. Dr. Birgit Scheppat (Hochschule RheinMain, Brennstoffzellentechnologie), Prof. Dr. Amitabh Banerji (Universität Köln, jetzt Universität Potsdam, OLED/OPV), Prof. Dr. Mathias Rehahn (TU Darmstadt, jetzt Helmholtz-Zentrum Geesthacht, OLED/OPV) sowie Prof. Dr. Martin Kiehl (TU Darmstadt, Industrie 4.0/Digitalisierung).

# Arbeitsschritte und Methoden

## 1.1 Themenfelder – Vorüberlegungen

Neben der Erzeugung von elektrischer Energie mittels erneuerbarer und CO<sub>2</sub> – neutraler Energieträger ist auf Grund der damit verbundenen hohen Leistungsschwankungen die Speicherung von überschüssiger Energie ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende. Weitere Elemente sind die Steigerung der Energieeffizienz von elektrischen Geräten und ein möglichst verlustarmer Transport von elektrischer Energie vom Kraftwerk zum Verbraucher.

Nach Zahlen des Umweltbundesamtes (UBA) steigerte sich der Anteil von erneuerbaren Energien im Stromsektor von 37,8 Prozent (2018) auf 42,1 Prozent (2019) des Bruttostromverbrauchs. Damit übertraf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern 2019 erstmals die Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohlekraftwerken (6). Auch aufgrund dieser fortschreitenden Entwicklung ist es von Bedeutung, verschiedene Möglichkeiten elektrischer Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien in den Unterricht zu integrieren.

Im Folgenden werden diese Themenfelder exemplarisch kurz skizziert und in einen ersten curricularen Kontext gestellt.

### 1.1.1 Erzeugung von elektrischer Energie

Bei Anlagen, die Solarenergie nutzen, unterscheidet man zwischen solarthermischen und photovoltaischen Anlagen. Solarthermische Anlagen haben die Erzeugung von Wasserdampf und das Antreiben von Turbinen durch Erwärmen von Flüssigkeiten zum Ziel. Die Erzeugung elektrischen Stroms erfolgt dann mit Hilfe eines Generators, angetrieben durch die sich drehenden Turbinen. Photovoltaikanlagen greifen jedoch auf ein ganz anderes physikalisches Prinzip zurück, den so genannten Foto-Effekt, also das Auslösen von Elektronen aus Halbleitern durch die auf die Schicht auftreffenden Lichtteilchen (Photonen) der Sonne (vgl. (7)).

#### Photovoltaik – Organische Halbleiter

Die aktuell etablierten optoelektronischen Anwendungen wie LEDs, Solarzellen und Photodioden verwenden anorganische Halbleiter wie zum Beispiel Silizium oder Germanium. Sie werden seit den 1950er Jahren genutzt und nehmen relativ hohe Kosten und die limitierte Prozessierung auf Grund der hohen

Stabilität in Kauf. Neue, und im Rahmen des Projekts auch im Unterricht zu integrierende Möglichkeiten bieten organische Halbleiter wie zum Beispiel das konjugierte Polymer Superyellow der Firma MERCK. Dadurch werden die photonischen Bauteile in Zukunft voraussichtlich erheblich kostengünstiger, haben positive Effekte auf Synthese und Prozessierung und ermöglichen innovative Umsetzungsideen.

Eine mögliche Unterrichtseinheit könnte dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Aufbau und Funktionsweise von OLEDs und OPVs sowie deren Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel des Einsatzes von Superyellow aufzeigen. Herausforderungen wären hierbei die Wahl des richtigen Grades an didaktischer Reduktion und der angemessenen und sprachlich verständlichen Aufarbeitung des fachlich komplexen Inhalts. Curricular besteht eine Anbindung an die Basiskonzepte Energetische Betrachtungen, Struktur – Eigenschafts-Beziehungen (Donator-Akzeptor-Konzept) und Chemische Reaktion (8).

Neben MINT Camps oder Projekttagen ist eine Umsetzung im Regelunterricht auch schon in der Sekundarstufe I möglich. Während im Fach Chemie die Organische Elektronik bei der Besprechung des Elements Kohlenstoff bei der Einführung des Periodensystems und von organischen Molekülen thematisiert werden kann (8), stellen OLEDs/OPVs einen möglichen Inhalt des Physikunterrichts unter der Leitidee „Zukunftssichere Energieversorgung und -nutzung“ dar (5). Es bieten sich sowohl fächerverbindende Konzepte zwischen Chemie- und Physiklehrkräften einer Klasse, aber auch Umsetzungen in nur einem der beiden Fächer an. Ein Vergleich mit anorganischen LEDs und Fotozellen würde zudem eine in den Curricula geforderte Bewertung von Lösungsmöglichkeiten der globalen Energieproblematik unterstützen.

In der Oberstufe des Faches Chemie bietet sich eine Thematisierung der OLEDs/OPVs in den Themenfeldern Aromate, Kunststoffe sowie Farbstoffe an (9). Je nach angestrebtem Abschluss (Abitur oder Realschulabschluss), lassen sich fachliche und berufsorientierte Anteile flexibel gestaltet ausarbeiten und zu einer Unterrichtseinheit zusammenführen. Besuche bei Partnerunternehmen geben Schüler\*innen die Möglichkeit, Einblicke in Berufsfelder der Industrie zu erhalten. Eine Einsicht in die universitäre Forschung erlaubt die Zusammenarbeit mit Hochschulen wie der TU Darmstadt (u. a. Kooperationspartner Prof. Dr. Rehahn). Auf der fachlichen Ebene bieten u. a. die bereits entwickelten didaktischen und experimentellen

Materialien (vgl. organic photo electronic – Koffer (10)) sehr gute Möglichkeiten der unterrichtlichen Umsetzung.

### Brennstoffzellen

In einem Gesamtkonzept zur Energiewende spielt die Brennstoffzelle als „Produzent“ elektrischer Energie im Zusammenhang mit dem Energiespeicherkonzept *Power to Gas* zukünftig voraussichtlich eine bedeutende Rolle. Vor allem im Bereich der Elektromobilität und der Problematik der Energiespeicherung für eine alltagstaugliche Langstreckennutzbarkeit, könnten die Brennstoffzellen den vom Elektromotor benötigten elektrischen Strom mit schadstofffreier Emission produzieren oder selbst zum Antrieb verwendet werden (vgl. (11)). Die herkömmlichen Otto- oder Dieselmotoren würden damit mittelfristig stark an Bedeutung verlieren.

Im Kontext dieser realen umweltfreundlichen Anwendungen lässt sich sowohl in Physik als auch in Chemie eine Unterrichtseinheit zum Aufbau und zur Funktionsweise der Brennstoffzelle konzipieren. Während Verbrennungsmotoren viele Schadstoffe ausstoßen, unter anderem das in vielen Studien als Auslöser des Klimawandels angesehene Kohlendioxid, ist das „Abgas“ eines Systems aus Brennstoffzelle und Elektromotor reines Wasser. Da die Behandlung des Elektromotors ein fester Bestandteil des Physikunterrichts in der Sekundarstufe I und II (magnetische Felder, elektromagnetische Induktion) ist (5) (12), ließe sich in diesem Zusammenhang eine Thematisierung sowohl in der Mittel- als auch Oberstufe verorten. Im Einstiegsunterricht in die Elektrizitätslehre stellt sich die Frage „Woher kommt der Strom in meinem Stromkreis?“. Neben der Verwendung von Akkumulatoren (z. B. Lithium-Ionen-Akku) könnte bereits im ersten Lehrjahr der Physik die Brennstoffzelle behandelt werden.

In Chemie kann bereits bei der Einführung des Elements Wasserstoff im zweiten Lehrjahr die Funktionsweise der Brennstoffzelle in ihren Grundzügen thematisiert werden. Eine Vertiefung bietet sich im dritten Lehrjahr (Inhaltsfeld: *Schatzkiste der Natur – Chemie in Alltag und Technik. Galvanisches Element/Elektrolyse*) bzw. im vierten Lehrjahr (*Redoxreaktionen, mobile Energiewandler*) an (vgl. (8)).

Brennstoffzellen können also sowohl fachspezifisch, aber auch fächerübergreifend (Chemie, Physik, Politik, Erdkunde) in den Sekundarstufen I und II in Unterrichtseinheiten aufbereitet werden. Bei der Konzeption der Unterrichtseinheiten wird auf bereits entwickeltes didaktisches Material z. B. der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NOW zurückgegriffen (vgl. (13)).

In die Unterrichtseinheiten werden Werksführungen und Besuche von Hochschulen (z. B. Wasserstofflabor des Kooperationspartners Hochschule RheinMain) eingebunden, um den Schüler\*innen die Verknüpfung der vermittelten fachlichen Inhalte mit Ausbildungs- und Berufsperspektiven aufzuzeigen.

### 1.1.2 Energiespeicherung

Zur Speicherung der aus erneuerbaren Energieträgern gewonnener elektrischer Energie werden zukünftig zwei Konzepte benötigt. Einerseits müssen Kurzzeitspeicher für tägliche Zyklen mit hoher Effizienz, wie zum Beispiel Batterien (u. a. Li-Ionen-Akkus), Pumpspeicher oder Wärmespeicher, andererseits Langzeitspeicher für wenige Zyklen im Jahr, aber großer Kapazität zur Verfügung stehen. Zu letzterem zählen die Was-

serstoffproduktion und –speicherung, die Methanisierung des erzeugten Wasserstoffs, aber auch die Nutzung von Biomasse und Biokraftstoffen (14).

### Power to Gas

Nach Plänen der Bundesregierung soll Wasserstoff eine tragende Säule der Energiewirtschaft werden (15). Zum einen muss der CO<sub>2</sub> – Ausstoß bei der Erzeugung elektrischer Energie stark verringert werden, um das „2°C-Ziel“ der Erderwärmung (vgl. (16)) umsetzen zu können, was mit der emissionsfreien Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse möglich ist. Zum anderen kann die technische Marktreife in allen Wasserstoffmärkten dazu beitragen, eine zukunftssichere Energieversorgung bei steigendem Pro-Kopf-Verbrauchs und gleichzeitig neuen technischen Innovationen zu gewährleisten. Letztlich kann eine „eigene Herstellung“ für mehr Sicherheit und Unabhängigkeit durch die Vermeidung von Importen fossiler Brennstoffe sorgen. Eine langfristige und flächendeckende Verfügbarkeit belegt die Nachhaltigkeit des Konzepts (vgl. (11)).

Grundidee des Power to Gas – Ansatzes ist die Elektrolyse von Wasser zu Wasser- und Sauerstoff mittels im Überfluss produziertem elektrischen Strom aus erneuerbaren Energien. Der gewonnene Wasserstoff kann nun einerseits über Wasserstoffspeicher und ein Tankstellennetz für die Versorgung mit Brennstoffzellen betriebener Fahrzeuge genutzt und andererseits unter Zugabe von Kohlendioxid aus der Umgebungsluft zu Methan umgewandelt werden. Das gewonnene Methan kann über das herkömmliche Erdgasnetz verteilt und in Großkraft- oder Blockheizkraftwerken wieder in elektrischen Strom umgewandelt oder in großen Gasspeichern als Reserve eingelagert werden (vgl. (17)).

Für eine Unterrichtseinheit sowohl in Physik („zukunftsichere Energieversorgung“) als auch in Chemie („Elektrolyse“) bzw. fächerübergreifend bietet sich zum Beispiel die methodisch-didaktisch Aufbereitung der Gewinnung von Wasserstoff mit Hilfe von Windkraft an. Die dafür notwendige Technologie wird u. a. im Windpark Mainz getestet. Die Anlage ist die weltweit größte ihrer Art und kann auch besichtigt werden. Sie bezieht den für die Elektrolyse von Wasser notwendigen Strom zum Teil aus den vier benachbarten Windrädern der Mainzer Stadtwerke (18).

In der Oberstufe ergeben sich im Physikunterricht gleich mehrere mögliche Anknüpfungspunkte. Im Rahmen der Betrachtung „verschiedene Energieformen“ in der Einführungsphase könnte ein Exkurs das Thema „Erneuerbare Energien und deren Speicherung“ zum Inhalt haben, verknüpft mit Ideen der Pump- oder Lageenergiespeicher. In der Qualifikationsphase bietet das Thema „Kernenergie“ die Möglichkeit, Alternativen zur Erzeugung des elektrischen Stroms in Atomkraftwerken aufzuzeigen. Im Chemieunterricht der Oberstufe könnte der Sabatier-Prozess („Gewinnung von Methan aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff“) als Beispiel bei der Behandlung des chemischen Gleichgewichts aufgegriffen und seine Anwendung im Power to Gas – Konzept besprochen werden (vgl. (19)).

### 1.1.3 Energieeffizienz und Lastmanagement

Beim Ausbau erneuerbarer Energien spielt das Lastmanagement eine zentrale Rolle. Die elektrische Energie muss stets

genau in den Mengen produziert werden, wie sie von den Verbrauchern benötigt wird. Hierfür gibt es zwei Umsetzungsmöglichkeiten. Traditionell wird die Stromerzeugung in den Kraftwerken gesteuert, alternativ könnte auch die Nachfrage, also die Netzlast gesteuert werden. Ein solches, stark erweitertes Lastmanagement ist auch die Hauptaufgabe der seit einigen Jahren diskutierten „intelligenten Stromnetze“ (Smart Grids und Smart Meter) (vgl. (20)).

Smart Grids lassen sich in Informatik in der Oberstufe gut in die Vorgaben des Kerncurriculums integrieren. In der Einführungsphase der Oberstufe (Themenfeld E1) sind z. B. Internetprotokolle vorgesehen. *Eine Grundlage der Kommunikation im Netzwerk stellen die Protokolle dar, welche die Dienste eines Netzwerks bestimmen. Durch die Untersuchung eines Protokolls, beispielsweise von POP3 oder SMTP, vertiefen die Lernenden ihr Verständnis des Protokollbegriffs. Eine Analyse der Protokolle zeigt verschiedene Schwachstellen auf, die ebenfalls Inhalt des Unterrichts werden können (z. B. Mails, die auf dem Server lagern, Log-Files des Servers, Authentifizierung). Der Einsatz einer Simulationssoftware erlaubt handlungsorientiertes Lernen und das schulische Rechnernetz sowie der mit dem Internet verbundene häusliche PC bieten vielfältige Möglichkeiten zum realitätsnahen und eigenständigen Arbeiten* (21).

Es stellt sich die Frage, welche Elemente (Hard- und Software) benötigt werden, damit Maschinen untereinander kommunizieren können. Bei SmartGrids müssen Computer bidirektional mit den Sensorsystemen in den Haushalten bzw. sogar direkt mit den Haushaltssystemen kommunizieren. Man könnte im Unterricht die Protokolle thematisieren, die die verschiedenen Komponenten des SmartGrids bei der Kommunikation verwenden. Dabei könnte auch der Aspekt Echtzeitkommunikation eine Rolle spielen.

Bei den Systemen in den Haushalten handelt es sich um eingebettete Systeme, die in der Qualifikationsphase Q4 als Wahlthema vorgesehen sind. *Eingebettete Systeme stellen eine Kombination aus Hard- und Softwarekomponenten dar, die die Aufgabe haben, ein technisches System zu überwachen oder zu regeln oder zu steuern. Sie verrichten vordefinierte Aufgaben in einem technischen Kontext, oftmals in Echtzeit. Sensoren liefern Eingangsdaten, die im System verarbeitet werden. Diese Verarbeitung führt zur Ausgabe von Daten, die wiederum der Steuerung von Aktoren dienen. Die Lernenden nutzen geeignete Mikrocontroller, bauen mithilfe elektronischer Bauteile Schaltungen auf, verwenden Sensordaten, verarbeiten diese und erzeugen Ausgaben zur Steuerung der Aktoren* (21).

Eine sehr gute Möglichkeit der Anbindung besteht in der Qualifikationsphase Q1 (Themenfeld Q1.4 und Q1.5, *Höhere Datenstrukturen und Graphen*). In der Q1 geht es darum, wie man einen Ausschnitt aus der Realität in einem Softwaresystem abbildet. Aktuell wird in der Schule die objektorientierte Modellierung gewählt. Im Smart Grid gibt es Kraftwerke, Verbrauchergeräte und das Netz, die miteinander interagieren. Das modelliert man mit Klassen, aus denen man Objekte erzeugen kann, die dann so interagieren, wie in der Realität auch (*Das Kraftwerk sendet eine Botschaft an die Waschmaschine des Kunden, dass es jetzt gerade günstig wäre, die Wäsche zu waschen, woraufhin die Waschmaschine des Kunden automatisch quittiert und sich einschaltet*). Softwaresysteme kommen in diesem Kontext auf zwei Ebenen zum Einsatz: Zum einen kann man ein System bauen, mit dem sich ein Smart Grid simulieren lässt. Damit kann man z. B. Strategien

testen. Zum anderen braucht man natürlich auch ein Softwaresystem, das tatsächlich die Steuer- und Schaltzentrale eines realen Smart Grids ist.

Im Kerncurriculum verbindlich festgelegt ist die Datenstruktur „Graph“. Graphen passen als Datenstruktur hervorragend zu Smart Grids. *Viele netzförmige Strukturen lassen sich mit Graphen objektorientiert modellieren. Die Kanten können mit Eigenschaften, wie z. B. Entfernung, Transportkapazität oder Richtung belegt werden. Anhand des Themenfeldes Graphen erarbeiten sich die Lernenden grundlegende Begriffe, Konzepte und Algorithmen, die in vielfältigen Kontexten angewendet werden können* (21).

In der Sekundarstufe I ist gegenwärtig kein Informatikunterricht vorgesehen. In einigen Schulen wird Informatik im Rahmen des MINT-Unterrichtes oder in Arbeitsgemeinschaften z. B. in einer Robotik-AG angeboten. In beiden Bereichen kann man einfache eingebettete Systeme besprechen und selbst z. B. auf der Mikrocontrollerplattform Arduino34 bauen. Man könnte ein Windrad als Energiequelle und ein Lämpchen als Verbraucher einrichten, die miteinander kommunizieren. Das Lämpchen würde nur dann Energie aus dem Netz ziehen, wenn sich das Windrad dreht.

Eine Einbindung in den Mathematikunterricht ist ebenfalls möglich. Dabei bietet sich der Kompetenzbereich K3 Modellieren an. Smart Grids und das Verhalten der beteiligten Komponenten können auch mit Mitteln der Mathematik modellieren werden. Die Mathematik bietet zum Beispiel die Möglichkeit, die Logik für die oben beschriebene Simulationssoftware zu liefern. Denkbar wäre, dass man mithilfe von Funktionen den Energiebedarf einer Region unter Berücksichtigung von stochastischen Einflüssen modelliert. Man könnte auch modellieren, wie Energieströme aussehen, die Windräder und Solarparks über das Jahr hinweg im zeitlichen Verlauf liefern.

In der Mathematik spielt die Optimierung eine große Rolle. Letztlich geht es in der Analysis der Oberstufe darum, verschiedene Funktionen und ihre Eigenschaften und mathematische Werkzeuge kennenzulernen, mit denen man Funktionen analysieren kann, häufig unter dem Aspekt „finden eines Optimums“.

*Mit den Begriffen der durchschnittlichen und lokalen Änderungsrate und schließlich dem Ableitungsbegriff stellt die Analysis nun Werkzeuge bereit, um Veränderungsprozesse mit nicht konstanten Änderungsraten genauer zu untersuchen. Typische Fragestellungen aus Natur, Gesellschaft, Technik oder Wirtschaft eröffnen die Möglichkeit, den Anwendungsaspekt der Analysis zu verdeutlichen. Gleichzeitig können dadurch in besonderer Weise die Modellierungs- und Problemlösekompetenzen der Lernenden entwickelt werden.[...] Die Lernenden arbeiten charakteristische Eigenschaften dieser Funktionsklassen heraus, so dass sie diese auch zur Modellierung von Sachzusammenhängen verwenden können. Um typische Anwendungssituationen aufzuzeigen, werden dabei Daten aus Realsituationen einbezogen* (22).

## 1.2 Workshopreihe für Lehrkräfte – Unterrichtseinheiten

Unter Berücksichtigung der Vorüberlegungen sind für Lehrkräfte der Fächer Chemie, Informatik, Mathematik und Physik insgesamt vier 1,5-tägige Workshops in den Schuljahren 2016/2017 und 2017/2018 geplant. Pro Schulhalbjahr soll ein

## Kooperationsvereinbarung zum Projekt

## Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht

zwischen

dem Zentrum für Chemie Bensheim,  
endvertreten durch Herrn Dr. Thomas Schneidermeierund  
der/dem\_\_\_\_\_  
Name der Schule

endvertreten durch

\_\_\_\_\_  
Schulleiterin / Schulleiter

Natur- und ingenieurwissenschaftliche Inhalte sind unter anderem dann dazu geeignet, das Interesse von Schüler\*innen zu wecken, wenn sie mit lebensnahen, berufsbezogenen Themen verknüpft und anschaulich vermittelt werden. In diesem Sinne geeignete Themen sind insbesondere zukunftsweisende neue Technologien im Bereich der Energiewende, der Organischen Elektronik und der Digitalisierung. Es ist davon auszugehen, dass diese Technologien die Berufswelt der Zukunft dominieren. Sie eignen sich daher darüber hinaus dazu, Schüler\*innen aller Schularten über mögliche Berufsperspektiven im MINT-Bereich zu informieren.

**Ziel**

Ziel der Kooperation ist es, Schüler\*innen durch Unterrichtsmaterialien im Bereich der Energiewende, der Organischen Elektronik und der Digitalisierung eine Orientierung zu beruflichen Möglichkeiten im Themenumfeld „Zukunftstechnologien“ zu ermöglichen.

**Leistungen des Zentrums für Chemie (ZFC)**

In den Schuljahren 2016/2017 und 2017/2018 werden folgende Leistungen erbracht:

- Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von vier Workshops jeweils zu Beginn eines Halbjahres in enger Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen
- Organisation und Durchführung einer Abschlussveranstaltung Mitte 2018
- Jeder Netzwerkschule wird ein Platz in einem Erfinderlabor garantiert. Voraussetzung für die Teilnahme ist ein Gesamtnotenschnitt von 13 Punkten und besser.
- Das ZFC unterstützt bei der Vermittlung von Aktivitäten zur MINT-Berufsorientierung (Vorträge aus Hochschule und Industrie, Werksführungen etc.) u. a. in Kooperation mit dem Arbeitskreis Schule Wirtschaft und Proবাদis.
- Das ZFC stellt die Netzwerkschulen mit einem Logo und einer Kurzbeschreibung auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) vor.
- Das ZFC stellt den Schulen für die Öffentlichkeitsarbeit Materialien wie Pressemitteilungen und Flyer zur Verfügung.

**Leistungen der Netzwerkschule**

- Die Netzwerkschule stellt eine Anrechnungsstunde aus dem Schuldeputat gemäß § 6 der Verordnung über die Pflichtstunden der Lehrkräfte zur Verfügung (vgl. Anlage „Verpflichtungserklärung“).
- Die Netzwerkschule stellt mindestens eine MINT-Lehrkraft für jeden Workshop frei.
- Die Netzwerkschule unterstützt die Öffentlichkeitsarbeit und Umsetzung des Projekts „Schule 3.0“ u. a. mit folgenden Maßnahmen:
  - Sie veröffentlicht auf ihrer Website und anderen Medien Pressemitteilungen des ZFC zum Projekt „Schule 3.0“ und zu den Erfinderlaboren.
  - Sie stellt auf Ihrer Schulhomepage und anderen schulspezifischen Medien die Zugehörigkeit zum Netzwerk „Schule 3.0“ dar.

**Inkrafttreten, Laufzeit und Kündigung**

- (1) Diese Vereinbarung tritt nach Unterzeichnung beider Partner zum Anfang des Schuljahres 2016/2017 in Kraft und endet mit dem Schuljahr 2017/2018 am 31.07.2017, soweit sie nicht vorher gekündigt oder auf andere Weise beendet wird.
- (2) Jeder Partner ist berechtigt, diese Vereinbarung aus wichtigem Grund zu kündigen. Eine Kündigung ist in der Regel nur zum Ende des Schuljahres möglich.
- (3) Kündigungen und Rücktrittserklärungen bedürfen der Schriftform.

Bensheim, den \_\_\_\_\_

Ort, Datum \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Dr. Thomas Schneidermeier\_\_\_\_\_  
Schulleiterin/Schulleiter

Zentrum für Chemie e.V.

\_\_\_\_\_  
Name der Schule

Abbildung 3: Muster eines Kooperationsvertrags

Workshop stattfinden. Ein mit dem Hessischen Kultusministerium abgestimmter Kooperationsvertrag (Abbildung 3) und eine Verpflichtungserklärung (Abbildung 4) für die Freigabe einer Deputatsstunde für das Projekt, abgeschlossen zwischen den teilnehmenden Schulen und dem ZFC, sollen dazu beitragen, dass Lehrkräfte der beteiligten Schulen an allen vier aufeinander aufbauenden Veranstaltungen teilnehmen.

Mit der kontinuierlichen Teilnahme soll gewährleistet werden, dass Lehrkräfte in enger Zusammenarbeit mit den Kolleg\*innen aus den beteiligten Schulen über einen längeren Zeitraum Unterrichtsmaterialien entwickeln, durchführen und nachbereiten und sie als Multiplikatoren nachhaltig in die Fach- bzw. Fachbereichskonferenzen und damit in den Unterricht der beteiligten Schulen einbringen. Dazu gehört auch die Anpassung von bereits publizierten Unterrichtsmaterialien von Hochschulen, Verlagen und Institutionen wie dem Umweltbundesamt oder dem Fonds der Chemischen Industrie zum Themenbereich „Energiewende“.

Eine Fortbildung von kompletten Fachschaften wie im Projekt SiNUS ist schulorganisatorisch nicht möglich. Damit wäre ein hoher Unterrichtsausfall in den MINT-Fächern verbunden, der von den Schulen nicht kompensiert werden kann.

Die Workshops werden durch Eingangs- und Abschlussbefragungen von Lehrkräften und Schüler\*innen durch Prof. Dr. Martin Lindner (Universität Halle) evaluiert.

Ein Beirat begleitet das Projekt. Dem Beirat gehören Heike Blaum (VCI Hessen), Prof. Dr. Claudia Bohrmann-Linde (Eberhard-Karls-Universität Tübingen, jetzt Bergische Universität Wuppertal), Dr. Justus Brans (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen), Robert Hennies (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit), Klaus Holl (Goethe-Gymnasium Bensheim), Rita Flad (Hessisches Kultusministerium), Dirk-Karl Pilgram (Georg-Christoph-Lichtenbergschule Ober-Ramstadt), Monika Biewald (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen) und Mathias Rust (AK Schule Wirtschaft / Vereinigung der hessischen Unternehmerverbände) an.

### 1.3 (Digitale) Verbreitung der Unterrichtseinheiten

Die entstandenen Unterrichtseinheiten sollen im pdf-, Word- und OneNote-Format publiziert werden und auf der Website des ZFC unter [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) und ggf. auf weiteren Plattformen zum Download verfügbar sein. Für das digitale Notizprogramm OneNote soll die vom ZFC in Auftrag gegebene Programmiererweiterung Teach@Note weiterentwickelt werden. Mit der Programmiererweiterung können Lehrkräfte in der Desktopversion von OneNote die in der Workshopreihe entstandenen Unterrichtseinheiten in die persönliche Unterrichtsplanung integrieren.

## Schulnetzwerk Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht

Schule

Ort

Schulnummer

### Verpflichtungserklärung

Die o.g. Schule verpflichtet sich auf der Grundlage der Kooperationsvereinbarung mit dem Zentrum für Chemie „Schulnetzwerk 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht“ dem Zentrum für Chemie e.V. eine Anrechnungsstunde aus dem Schuldeputat gemäß § 6 der Verordnung über die Pflichtstunden der Lehrkräfte (Pflichtstundenverordnung) vom 25. Juni 2012, ABI 7/12, S. 326 f., für die Laufzeit dieser Vereinbarung zur Verfügung zu stellen.

**Laufzeit der Vereinbarung: 01.08.2016 bis 31.07.2018**

Zustimmung der Gesamtkonferenz nach § 133 Abs. 1 HSchG durch

Beschluss vom \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Schulleiter/in

Abbildung 4: Verpflichtungserklärung der teilnehmenden Schulen

## 1.4 Workshops für Schüler\*innen – außerschulische Lernorte

Ergänzend zur Workshopreihe für Lehrkräfte finden für ausgewählte Schüler\*innen aus ganz Hessen in enger Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen schulübergreifend sechs einwöchige berufsorientierende Workshops („Erfinderlabore“) zum Themenbereich „Energiewende“ statt.

Die Workshops werden in einem Technologieunternehmen und in einer Hochschule durchgeführt. Sie richten sich an jeweils 16 ausgewählte Schüler\*innen aus der Oberstufe aus ganz Hessen mit herausragenden Schulleistungen.

Ziel ist es, den weit überdurchschnittlich begabten Schüler\*innen eine authentische berufliche Orientierung zu ermöglichen und sie für das Thema „Energiewende“ zu sensibilisieren. Darüber hinaus sollen die Erfahrungen der Teilnehmer\*innen in die Erstellung der Unterrichtseinheiten in den Lehrerworkshops einfließen.

Am ersten Tag der Veranstaltungswoche erhalten die Teilnehmer\*innen durch eine Werksführung und Fachvorträge einen Einblick in die Philosophie und das Kerngeschäft des Partnerunternehmens.

In den folgenden drei Tagen beschäftigen sich die Talente in der Partnerhochschule mit einer selbst gestellten oder einer vorgegebenen anspruchsvollen Aufgabe, die unterstützt durch Vorlesungen und Seminare experimentell bearbeitet wird. Sie arbeiten in kleinen Teams und werden von Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeitern betreut.

Zum Abschluss der Workshopwoche stellen die Schüler\*innen in einem festlichen Rahmen den Angehörigen und einge-

ladenen Gästen aus Schule, Hochschule, Wirtschaft und Politik ihre Ergebnisse vor. Fachleute aus Hochschule, Wirtschaft und Ministerien geben ein Feedback.

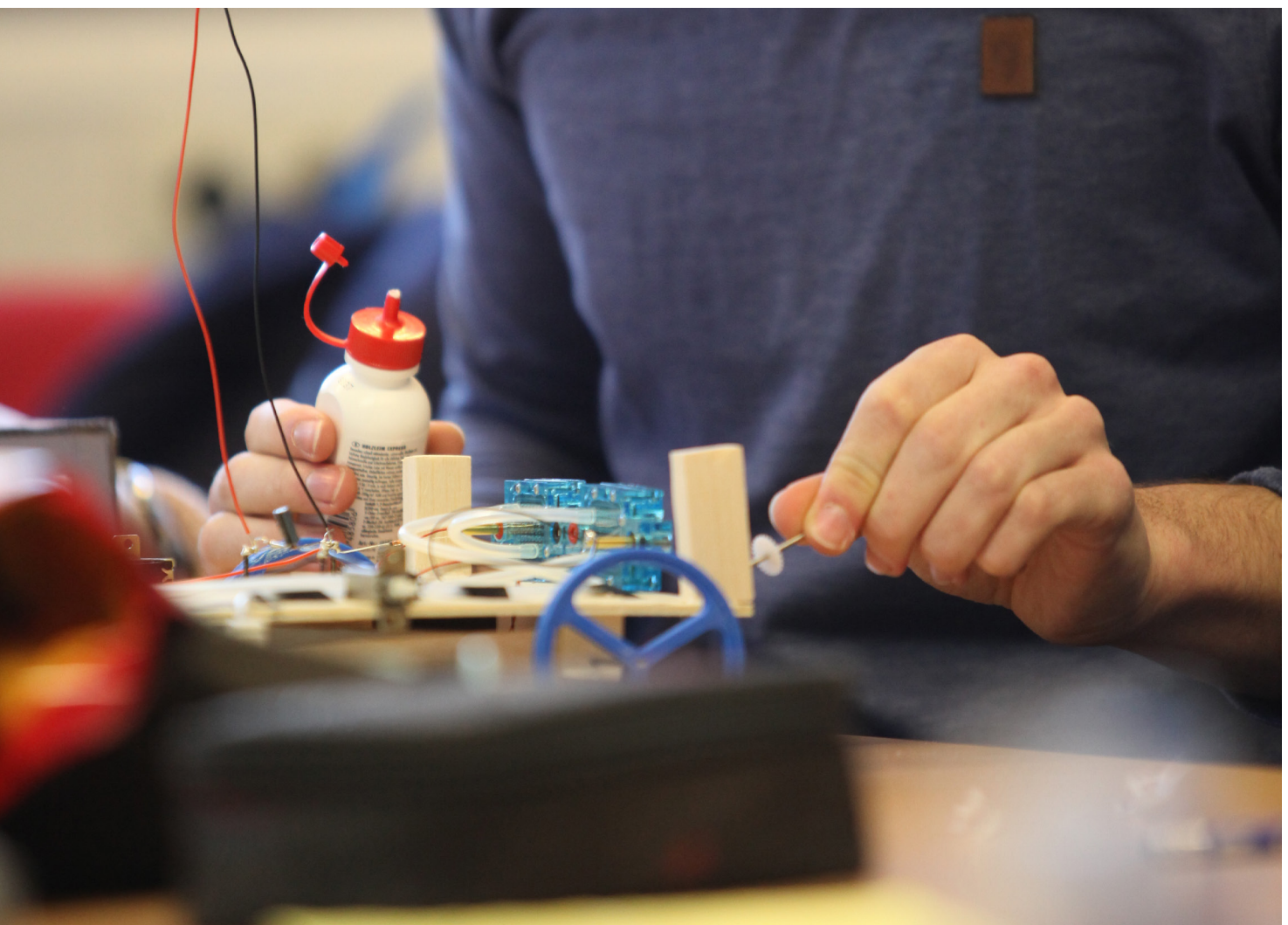
Im Rahmenprogramm erhalten die eingeladenen Gäste durch eine Podiumsrunde und Informationsstände Einblicke in Studien- und Berufsoptionen im MINT-Umfeld.

## 1.5 Dissemination

Durch eine umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit soll die Energiewende im MINT-Unterricht nachhaltig integriert und eine Verstetigung des Programms nach Beendigung der Förderperiode erreicht werden.

Zur Verbreitung der Ergebnisse der Workshops für Lehrkräfte und Schüler\*innen wird im Förderzeitraum zu öffentlichen Veranstaltungen eingeladen. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse bei Messen und Kongressen vorgestellt werden sowie durch Pressemitteilungen und Filme für die Öffentlichkeit verfügbar sein.

Durch eine Neugestaltung des Webauftritts des ZFC soll der Themenbereich „Klimaschutz und Energiewende“ hervorgehoben werden und die entstandenen Unterrichtseinheiten (s.o.) heruntergeladen werden können. Unterstützend soll ein Facebookauftritt des ZFC entstehen, mit dem u. a. Publikationen zur Energiewende der Öffentlichkeit, insbesondere Lehrkräften, gebündelt zugänglich gemacht werden können. Der Youtube-Kanal des ZFC soll durch Beiträge zur Energiewende ergänzt werden.





# Ergebnisse

## 2.1 Workshopreihe für Lehrkräfte – Unterrichtseinheiten

Zwischen Oktober 2016 und Juni 2018 fanden vier Workshops für jeweils etwa 40 Lehrkräfte aus 13 hessischen Schulen statt, um Unterrichtsmaterialien für die Fächer Chemie, Informatik, Mathematik und Physik zu erstellen. Legitimiert durch einen Mehrheitsbeschluss in ihren Gesamtkonferenzen nahmen folgende Schulen an der Workshopreihe teil:

- Alfred-Delp-Schule Dieburg
- Altes Kurfürstliches Gymnasium Bensheim
- Eleonorenschule Darmstadt
- Friedrich-Ebert-Schule Pfungstadt
- Georg-Christoph-Lichtenbergschule Ober-Ramstadt
- Goethe-Gymnasium Bensheim
- Heinrich-von-Kleist-Schule Eschborn
- Justin-Wagner-Schule Rossdorf
- Leibnizschule Wiesbaden
- Lichtenbergschule Darmstadt
- Nikolaus-August-Otto-Schule Bad Schwalbach
- Rheingauschule Geisenheim
- Ricarda-Huch-Schule Gießen

Gemäß eines Erlasses des Hessischen Kultusministeriums stellten 12 Schulen der Schulamtsbezirke *Darmstadt-Dieburg und der Stadt Darmstadt, Bergstraße und Odenwaldkreis, Groß-Gerau und Main-Taunus-Kreis* sowie *Rheingau-Taunus-Kreis und Wiesbaden* für die Schuljahre 2016/2017 und 2017/2018 dem Projekt jeweils eine Lehrerstunde zur Verfügung. Die Stunden wurden den Projektleitungen *Chemie, Physik* sowie *Mathematik und Informatik* zu gleichen Anteilen zugeordnet.

### 2.1.1 Kurzbeschreibung der Workshops

**Workshop I (05./06.10.2016):** Nach einer Aufteilung der 47 Lehrkräfte in die Fachgruppen „Chemie – OLED/OPV“, „Physik – Brennstoffzellentechnologie“, „Informatik/Mathematik – Digitalisierung“, wurden die curricularen Rahmenbedingungen besprochen und mit Hilfe von Fachvorträgen und Experimenten in die Themenfelder eingeführt. Die Fachvorträge fanden im Goethe-Gymnasium Bensheim statt. Experimente

Tabelle 1: Programm von Workshop I

Mittwoch, 05. Oktober	
14:30 – 15:00	Goethe-Gymnasium Bensheim: offener Beginn. Imbiss
15:00	Einführung <i>Dr. Thomas Schneidermeier, Zentrum für Chemie e.V.</i>
15:05	Grußworte <i>Klaus Holl, Schulleiter Goethe-Gymnasium Bensheim</i> <i>Gregor Disson, Geschäftsführer VCI Hessen</i>
15:15	Austausch mit Industrievertretern <i>Gerrit Riemer, Director Future Mobility Opel AG</i> – Vortrag: „Zukunft der Mobilität. Das Auto von morgen“ – Zukünftige Arbeitswelten – wie bereiten wir unsere Schüler*innen darauf vor?
16:15	Organisation der Workshop-Reihe – Vorstellung der Teilnehmer und Teilnehmerinnen und der Projektleitung – Ablauf – Klärung von Fragen – Aufteilung in die Teilgruppen „Chemie – Organische Elektronik“, „Physik – Brennstoffzellentechnologie“, „Informatik/Mathematik – Digitalisierung“
17:15	Inhalt der Workshop-Reihe – curriculare Einbindung der Workshopinhalte – Klärung von Fragen
18:30	Check-in im Allee-Hotel Bensheim
19:30	Get together: Gemeinsames Abendessen
Donnerstag, 06. Oktober	
	Frühstück im Allee-Hotel Bensheim
09:30 – 16:30	<u>Workshops</u> Goethe-Gymnasium Bensheim <i>Prof. Jens Gallenbacher, Prof. Martin Kiehl, Prof. Jutta Hanson (Informatik/Mathematik)</i>  TU Darmstadt <i>Jun.-Prof. Amitabh Banerji (Chemie)</i>  Hochschule Rhein-Main <i>Prof. Birgit Scheppat (Physik)</i>

wurden in der Hochschule Rhein-Main und an der TU Darmstadt umgesetzt (vgl. Tabelle 1, vgl. Abbildung 5).

Für die Veranstaltung wurden ein allgemeines Skript und personalisierte Pressemitteilungen für die teilnehmenden Schulen erstellt.



Abbildung 5: Impressionen von Workshop I

**Workshop II (22./23.02.2017)** wurde in der Lichtenbergschule Darmstadt und an der TU Darmstadt durchgeführt. Es nahmen die gleichen Lehrkräfte wie an Workshop I teil. Basierend auf den Ergebnissen von Workshop I arbeiteten die Lehrkräfte an Unterrichtseinheiten für die Sekundarstufen I und II. Dabei orientierten sie sich an den Rahmenbedingungen des Curriculums. Zum Austausch der Ergebnisse wurde von der Projektleitung eine dafür im Internet eingerichtete Austauschplattform vorgestellt. Sie basiert auf dem digitalen Notizprogramm Microsoft OneNote und erlaubt eine virtuelle Zusammenarbeit.

In der Fachgruppe Chemie wurden die Teilnehmer\*innen ergänzend zur Arbeit an den Unterrichtseinheiten an der TU Darmstadt durch Experimente in die Organische Photovoltaik eingeführt. In der Fachgruppe Informatik erläuterte eine Führungskraft von ABB praxisnahe Anwendungen. In der Fachgruppe Physik stellte eine Teilnehmerin des Erfinderlabors „Elektromobilität – Brennstoffzellentechnologie“ ihre Ergebnisse vor. Das Programm ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Zur Dokumentation der Veranstaltung wurde ein Film erstellt. Er ist auf dem youtube-Kanal des ZFC unter <https://www.youtube.com/watch?v=AffotWGSJow> abrufbar (vgl. Abbildung 6)

Tabelle 2: Programm von Workshop II

Mittwoch, 22. Februar	
12:30 – 13:00	Lichtenbergschule Darmstadt: offener Beginn.
13:00	Grußworte <i>Meinhard Hiemenz, Schulleiter Lichtenbergschule</i> Bericht <i>Tobias Braumann, Simeon Blöcher, Dr. Thomas Schneidermeier, Zentrum für Chemie e.V.</i>
14:00	Fachgruppe Chemie fährt ins Merck-TU Darmstadt-Juniorlabor Fachgruppe Informatik, Mathematik, Physik bleiben in der Lichtenbergschule
18:00	Check-in im Maritim Hotel Darmstadt
19:00	Get together: Gemeinsames Abendessen
Donnerstag, 23. Februar	
	Frühstück im Maritim-Hotel Darmstadt
09:00	Vortrag Informatik <i>Prof. Jochen Kreusel (ABB)</i>
09:30 – 16:30	Workshops für alle Fachgruppen Lichtenbergschule Darmstadt

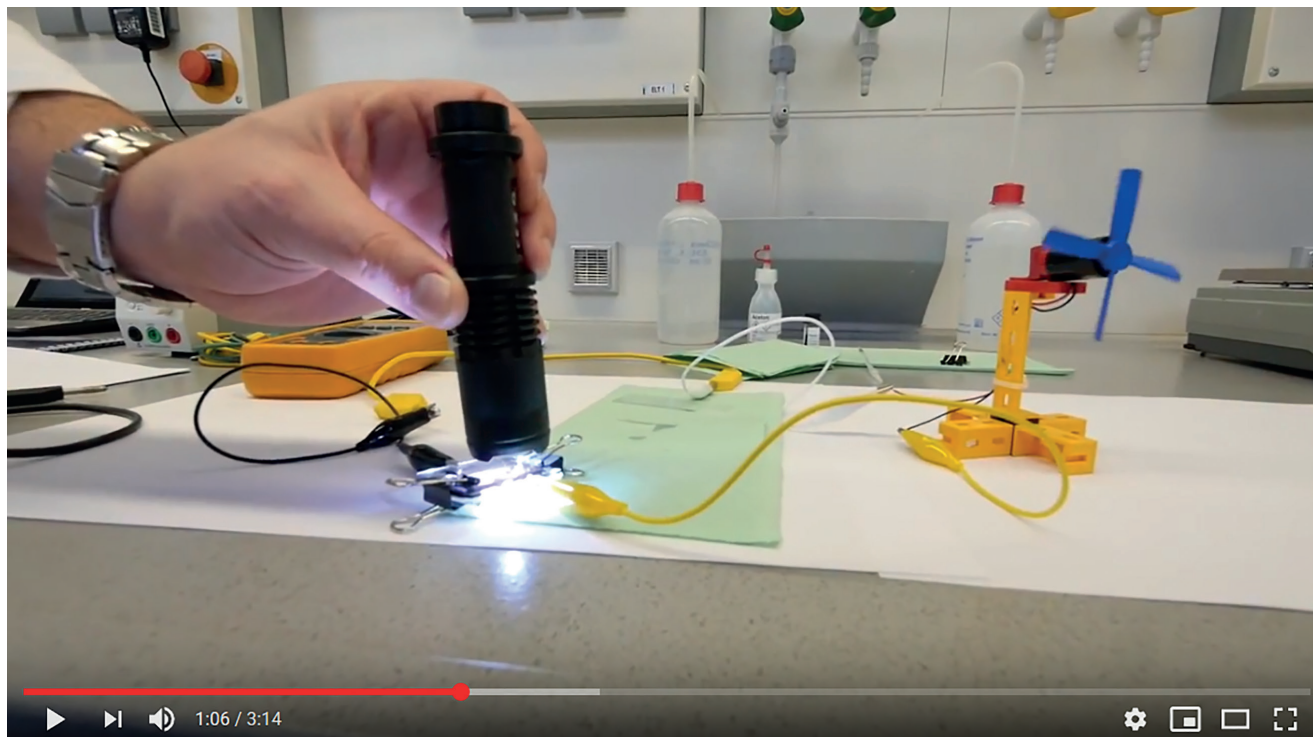


Abbildung 6: Screenshot des youtube-Videos von Workshop II

**Workshop III (30./31.08.2017)** wurde in der Eleonorenschule Darmstadt durchgeführt (Programm s. Tabelle 3). Nach einem Vortrag zum Thema „Energiewende und Berufsorientierung“ durch Dr. Brans vom Hessischen Wirtschaftsministerium und der Übergabe von Brennstoffzellenautos an die Netzwerkschulen der Fachgruppe Physik wurden Unterrichtseinheiten vorgestellt, die nach Workshop II in einzelnen Schulen durchgeführt wurden. Darauf aufbauend arbeiteten die Lehrkräfte der 13 Netzwerkschulen weiter an Unterrichtseinheiten für die Sekundarstufen I und II. Dabei wurde die in Workshop II eingeführte Austauschplattform genutzt. Prof. Lindner führte für die Evaluation Interviews mit Lehrkräften durch.

Zu Workshop III wurde ebenfalls ein Film (s. <https://www.youtube.com/watch?v=MEODwAgetdU>) erstellt. Impressionen von der Veranstaltung sind in Abbildung 7 zusammengestellt.



Abbildung 7: Impressionen von Workshop III

Tabelle 3: Programm von Workshop III

Mittwoch, 30. August	
12:00 – 13:00	Offener Beginn: Imbiss, Getränke
13:00	Begrüßung <i>Stefan Hein, Schulleiter der Eleonorenschule Darmstadt</i>
13:05	Einführung <i>Dr. Thomas Schneidermeier, Zentrum für Chemie e.V.</i>
13:15	Vortrag, Diskussion „Energiewende und Berufsorientierung“ <i>Dr. Justus Brans</i> <i>Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung</i> <i>Referat Energiepolitik, Erneuerbare Energien, Energietechnologien</i>
14:00	Übergabe der Brennstoffzellenfahrzeuge an die Netzwerkschulen <i>Prof. Dr. Birgit Scheppat, Oliver Eich (H2BZ-Initiative Hessen)</i>
14:15	Kaffeepause
14:30	Vorstellung von Unterrichtseinheiten in den Fachgruppen Weiterarbeit an den Unterrichtseinheiten
17:00	Vorstellung des Evaluationskonzepts <i>Prof. Dr. Martin Lindner</i>
18:15	Check-in Maritim Hotel, Darmstadt
19:00	Abendessen im Maritim Hotel, Darmstadt
Donnerstag, 31. August	
	Frühstück im Maritim Hotel, Darmstadt
08:30 – 15:30	Individuelles Programm in den einzelnen Fachgruppen (s.u.)
	<b>Fachgruppe Chemie</b>
08:30 – 11:30	Erstellung und Optimierung von Unterrichtseinheiten
11:30 – 12:30	Vorstellung der erarbeiteten Ergebnisse. Festlegung der nächsten Schritte
12:30 – 13:30	Mittagessen
14:00 – 15:30	Merck: Einblicke in die aktuelle OLED- und OPV-Forschung
	<b>Fachgruppe Physik</b>
08:30 – 11:30	Vorstellung des power-to-gas-Pilotprojekts Mainova Weiterarbeit und Optimierung von Unterrichtseinheiten
11:30 – 12:30	Vorstellung der erarbeiteten Ergebnisse Festlegung der nächsten Schritte
12:30 – 13:30	Mittagessen
13:30 – 15:30	Weiterarbeit und Optimierung von Unterrichtseinheiten
	<b>Fachgruppe Mathematik</b>
08:30 – 12:30	Erstellung von Unterrichtseinheiten
12:30 – 13:30	Mittagessen
13:30 – 15:30	Weiterarbeit an den Unterrichtseinheiten
	<b>Fachgruppe Informatik</b>
08:30 – 12:30	Weiterarbeit und Optimierung von Unterrichtseinheiten
12:30 – 13:30	Mittagessen
13:30 – 15:30	Weiterarbeit an den Unterrichtseinheiten

**Workshop IV (23./24.01.2018)** wurde im Goethe-Gymnasium Bensheim durchgeführt. Zu einem großen Teil nahmen die gleichen Lehrkräfte wie bei den ersten drei Workshops teil. Nach einer Vorstellung der Ergebnisse und Berichten zu bereits gehaltenen Unterrichtseinheiten arbeiteten die Lehrkräfte basierend auf den Ergebnissen der ersten drei Workshops in kleinen Arbeitsgruppen weiter an den Unterrichtseinheiten. Prof. Lindner führte für die Evaluation mit allen Teilnehmer\*innen eine Abschlussbefragung durch (vgl. Programm in Tabelle 4)

Die in den Lehrerworkshops erstellten Unterrichtseinheiten wurden im Unterricht erprobt, weiterentwickelt und auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) im Word-, OneNote- und pdf-Format zum Download bereitgestellt (vgl. Kapitel „(Digitale) Verbreitung der Unterrichtseinheiten“).

Folgende Unterrichtseinheiten stehen nach Abschluss der Workshopreihe zur Verfügung:

- Energiewende im Chemieunterricht – Treibhauseffekt und Energieeffizienz am Beispiel der OLED (Sek I)
- Energiewende im Physikunterricht – Wasserstoff als Energieträger der Zukunft (Sek I)
- Energiewende im Mathematikunterricht – sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen durch Lineare Optimierung (Sek II)
- Energiewende im Informatikunterricht – Simulation von Energieversorgungsnetzen für eine sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen (Sek II)

Sie sind berufsorientiert und wurden nach dem Lehr-Lern-Prozessmodell des Hessischen Kultusministeriums entwickelt (vgl. Abbildung 8). Eine weitere Unterrichtseinheit wurde im Fach Chemie für die Sekundarstufe II entwickelt. Sie ist noch nicht publikationsfertig.

**Tabelle 4:** Programm von Workshop IV

Dienstag, 23. Januar	
14:00	Raum 315: Offener Beginn. Imbiss, Getränke
14:20	Begrüßung <i>Klaus Holl, Goethe-Gymnasium Bensheim</i>
14:25	Einführung <i>Dr. Thomas Schneidermeier, Zentrum für Chemie e.V.</i>
14:35	Vorstellung des aktuellen Stands der Unterrichtseinheiten in den Fachgruppen <i>Chemie: Raum 212</i> <i>Mathematik/Informatik: Raum 112</i> <i>Physik: Raum 102</i>
15:00	Kollegialer Austausch in den Fachgruppen. Finalisierung der Unterrichtseinheiten
16:00	<i>Kaffeepause in Raum 315</i>
16:15	Kollegialer Austausch in den Fachgruppen. Finalisierung der Unterrichtseinheiten
17:30	Fahrt zum Alleehotel Bensheim (Europa-Allee 45)
	Check-in
19:00	Abendessen im Alleehotel, Bensheim
Mittwoch, 24. Januar	
07:30 – 08:30	Frühstück im Alleehotel, Bensheim
09:00	Raum 315: Offener Beginn. Imbiss, Getränke
09:15	Fortführung des Projekts: Stand und Ausblick
09:30 – 15:30	Interviews mit den einzelnen Schulgruppen, jeweils ca. 15 Minuten (Prof. Martin Lindner)
09:30	Kollegialer Austausch in den Fachgruppen. Finalisierung der Unterrichtseinheiten <i>Chemie: Raum 203, Mathematik/Informatik: Raum 112, Physik: Raum 102</i>
10:45	<i>Kaffeepause in Raum 315</i>
11:00	Kollegialer Austausch in den Fachgruppen. Finalisierung der Unterrichtseinheiten
12:15 – 13:00	Mittagessen
13:15 – 15:30	Kollegialer Austausch in den Fachgruppen. Finalisierung der Unterrichtseinheiten Vorstellung und Erörterung der erarbeiteten Ergebnisse in den jeweiligen Fachräumen. Verabredung der nächsten Arbeitsschritte.
15:30	Verabschiedung in den Fachgruppen

## Auf dem Weg zum kompetenzorientierten Unterricht – Lehr- und Lernprozesse gestalten

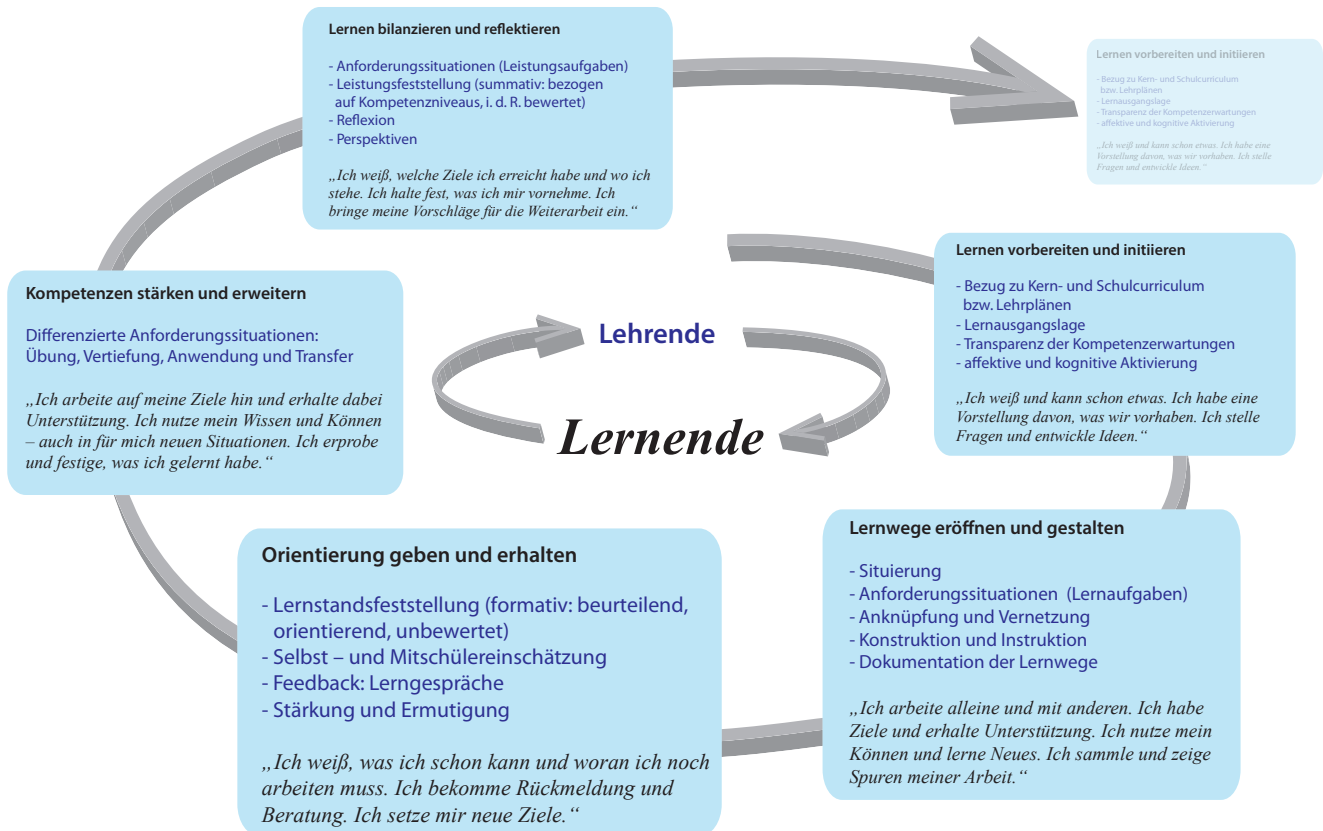


Abbildung 8: Lehr-Lernprozessmodell. Quelle: Hessisches Kultusministerium (Hrsg.): Bildungsstandards und Inhaltsfelder – Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I – Chemie. Wiesbaden: Selbstverlag 2011 (23).

Im Folgenden sollen die einzelnen Unterrichtseinheiten kurz vorgestellt werden. Die vollständigen Unterrichtseinheiten mit einer detaillierten Übersicht der einzelnen Stunden stehen auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) zum Download zur Verfügung.

### 2.1.2 Chemie – Treibhauseffekt und Energieeffizienz am Beispiel der OLED (Sek I)

**Gesamtdauer:** Ca. 20 Unterrichtsstunden (Ca. 15 Stunden ohne den Bau einer OLED)

**Zielgruppe:** Sekundarstufe I „2. oder 3. Lernjahr“ (Gymnasien, Realschulen, Gesamtschulen)

**Projektleitung:** Dr. Thomas Schneidermeier (Zentrum für Chemie e.V. (ZFC)/ Goethe-Gymnasium Bensheim)

**Hochschulpartner:** Prof. Dr. Amitabh Banerji (Universität zu Köln, jetzt: Universität Potsdam)

**Teilnehmer\*innen an den Workshops:** Peter Beigel (Goethe-Gymnasium Bensheim), Katharina Eckhardt (Nikolaus-Otto-Schule Bad Schwalbach), Olaf Marsen (Nikolaus-Otto-Schule Bad Schwalbach), Marius Kilchenstein (Georg-Christoph-Lichtenbergsschule Ober-Ramstadt), Anna Steinicke (Leibnizschule Wiesbaden), Alice Razkowski (Alfred-Delp Schule Dieburg), Angela Geiger (Altes-Kurfürstliches Gymnasium Bensheim), Jochen Kohlmann (Altes-Kurfürstliches Gymnasium Bensheim), Ines Schmitt-Vogt (Eleonorenschule Darmstadt), Viktor Neufeld (Eleonorenschule Darmstadt), Ralf Fischer (Friedrich-Ebert-Schule Pfungstadt), Petra Goodridge (Friedrich-Ebert-Schule Pfungstadt), Dr. Michael Wagner (Hein-

rich-von-Kleist-Schule Eschborn), Dr. Dirk Stallmann (Justin-Wagner-Schule Rossdorf), Dr. Petra Schmitz (Justin-Wagner-Schule Rossdorf), Frank Schmidt (Leibnizschule Wiesbaden), Ulrike Otto (Lichtenbergsschule Darmstadt), Dr. Harald Kosegarten (Ricarda-Huch-Schule Gießen)

Ziel der Unterrichtseinheit ist es, chemische Eigenschaften des Elements Kohlenstoff und ausgewählter Verbindungen anhand von gesellschaftlich und technologisch relevanten Beispielen aus Natur und Technik zu verstehen. Im Zentrum stehen dabei Wirkung und Erzeugung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid und die energieeffiziente OLED-Technologie.

Damit soll übergeordnet ein Beitrag für ein naturwissenschaftliches Grundverständnis im Kontext von globalen Herausforderungen wie den Klimaschutz geleistet, aber auch Perspektiven für neue Berufsfelder vermittelt werden.

Um die neu erworbenen Kenntnisse zum Element Kohlenstoff in ein Raster einordnen zu können, sind Vorkenntnisse zum Ordnungssystem des Periodensystems sowie zum Kern-Hülle-Modell und zum Schalenmodell von Vorteil.

Folgendes Fachwissen sollte vorhanden sein:

Die Schüler\*innen können

- das Periodensystem mit den Begriffen Hauptgruppen und Perioden beschreiben.
- die Zahl der Perioden und der Hauptgruppen nennen.
- die Namen der Hauptgruppen I, II, VII und VIII nennen.
- die Ordnung des Periodensystems (Atommasse, chemische Eigenschaften) begründen.

- die Stellung der Metalle und Nichtmetalle im Periodensystem beschreiben.
- die historische Entwicklung des Periodensystems (Mendelejew) beschreiben.
- den Atombau nach Dalton, Rutherford und Bohr beschreiben.
- den Bau eines Atoms mit Hilfe der Fachbegriffe Neutronen, Elektronen und Protonen beschreiben.
- den Aufbau eines Atoms symbolisch beschreiben.
- die Begriffe Massenzahl, Nukleonenzahl, Kernladungszahl und Ordnungszahl eines Elements erläutern können.
- Isotope definieren.

Die Unterrichtseinheit entspricht den Vorgaben des Kerncurriculums des Hessischen Kultusministeriums (8).

Im Fokus stehen die Themenfelder „Schatzkiste der Natur – Chemie in Alltag und Technik“, „Tafel des Wissens – Periodensystem der Elemente“ und „Magie des Kohlenstoffs – Organische Verbindungen“. Exemplarisch vermittelt werden die Basis-konzepte „chemische Reaktion“, „energetische Betrachtung bei Stoffumwandlungen“ und „Struktur-Eigenschaft-Beziehungen“.

Es werden alle im Kerncurriculum aufgeführten überfachlichen und fachlichen Kompetenzen geschult.

Die Unterrichtseinheit wurde nach dem Lehr-Lern-Prozessmodell umgesetzt (Abbildung 8).

#### Phase 1: Lernen vorbereiten und initiieren (2 Stunden)

Die Schüler\*innen machen sich mit den Ursachen der Energiewende vertraut. Sie erarbeiten die Gründe, weshalb die Bundesregierung beschlossen hat, in Zukunft auf nukleare und fossile Brennstoffe zu verzichten und auf erneuerbare Energien umzusteigen. Sie erkennen, dass dieser Transformationsprozess wesentliche Veränderungen in Gesellschaft und Wirtschaft mit sich bringt und Schüler\*innen jetzt und in Zukunft unmittelbar davon betroffen sind.

Darauf aufbauend stellen sie den Bezug zu chemischem Fachwissen her und erarbeiten eine Kompetenzliste.

#### Phase 2: Lernwege eröffnen und gestalten (8 Stunden)

Die Schüler\*innen machen sich mit naturwissenschaftlichen Grundlagen der Energiewende vertraut. Die Erkenntnisgewinnung durch Experimente und die Aneignung von chemischem Basiswissen ist in Phase 2 von besonderer Bedeutung.

#### Phase 3: Orientierung geben und erhalten (2 Stunden)

Die Kompetenzliste wird mit Hilfe eines Onlinequiz aufgearbeitet. Der Lernstand wird durch eine Lernkontrolle oder einen Test überprüft. Das Onlinequiz steht den Schüler\*innen auch zu Hause für die Vorbereitung der Lernstandsüberprüfung zur Verfügung.

#### Phase 4: Kompetenzen stärken und erweitern (7 Stunden / ohne OLED-Koffer: 2 Stunden)

Es werden Lösungsmöglichkeiten zur Verminderung des Treibhauseffekts erörtert. Dazu gehören auch energieeffiziente Technologien wie die OLED-Technologie. Anwendungsmöglichkeiten und Berufsfelder im Bereich der OLED-Technologie werden vorgestellt. Steht der OLED-Koffer zur Verfügung (Bezug: Prof. Dr. Amitabh Banerji) wird die OLED durch die Schüler\*innen selbst gebaut. Falls der Leistungsstand keinen eigenverantwortlichen Bau der OLED zulässt,

kann die Lehrkraft den Bau der OLED vorführen. Ist kein OLED-Koffer vorhanden, kann die Technologie mit Hilfe von im Internet verfügbaren Filmen und Animationen vorgestellt werden.

#### Phase 5: Lernen bilanzieren und reflektieren (1 Stunde)

Kritisch setzen sich die Schüler\*innen mit den Auswirkungen menschlichen Handelns auf Natur und Gesellschaft am Beispiel des Treibhauseffekts auseinander. Sie erkennen die gesellschaftliche Verantwortung der Industrie und die Notwendigkeit, „umweltfreundliche Technologien“ zu entwickeln. Sie reflektieren die Frage, ob sie in ihrem späteren Berufsleben in diesem Umfeld tätig sein wollen.

Sie reflektieren mit Hilfe der Kompetenzlisten ihren Kompetenzzuwachs.

### 2.1.3 Physik – Wasserstoff als Energieträger der Zukunft (Sek I)

**Autor\*innen:** Dr. Kevin Chugg & Azar Divshali & Rebecca Beyer (Lichtenbergschule Darmstadt), Lisa Felker (Goethe-Gymnasium Bensheim), Stefan Gehring & Katrin Wunderlich (Friedrich-Ebert-Schule Pfungstadt), Luca Grünwald (Eleonorenschule Darmstadt), Ingrid Hentschke & Sabine Kurtz (Nikolaus-August-Otto-Schule Bad Schwalbach), Barbara Kiehl & Frank Recker (Justin-Wagner-Schule Rossdorf), Svetlana Krüger & Louis Schumann (Georg-Christoph-Lichtenbergschule Ober-Ramstadt), Dr. Thomas Link (Heinrich-von-Kleist-Schule Eschborn), Lutz Mennicke & Norwin Terfort (Rheingauschule Geisenheim), Richard Thürauf (Altes Kurfürstliches Gymnasium Bensheim)

**Projektleitung:** Simeon Blöcher (Zentrum für Chemie / Goethe-Gymnasium Bensheim)

**Gesamtdauer:** Ca. 10 Unterrichtsstunden

**Zielgruppe:** Sekundarstufe I (G8: 9. Klasse / G9: 10. Klasse)

Ziel der Unterrichtseinheit ist es, die Notwendigkeit eines regenerativen Energieträgers zu verdeutlichen und eine auf Wasserstoff basierende Infrastruktur kennenzulernen. Dabei sollen die Schüler\*innen die Gewinnung von Wasserstoff und auch die Umwandlung in elektrische Energie anhand von Schülerexperimenten selbst untersuchen. Darauf aufbauend erforschen sie Möglichkeiten zum alltäglichen Einsatz von Wasserstoff als Ersatz eines mobilen Energieträgers sowie als stationären Pufferspeicher für Überschussenergie aus Wind- oder Solarkraftanlagen.

Damit soll übergeordnet ein Beitrag für ein naturwissenschaftliches Grundverständnis im Kontext von globalen Herausforderungen wie der Ausstieg aus einer von Erdöl abhängigen Energieversorgung geleistet, aber auch Perspektiven für neue Berufsfelder vermittelt werden.

#### Einordnung in das Hessische Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe (KCGO)

**Basiskonzept (Schwerpunkt):** Energie

**Themenfeld:** zukunftssichere Energieversorgung

**Allgemeine physikalische Kompetenzen (Schwerpunkte):** Beurteilen von Alltagskontexten mit naturwissenschaftlichen Kenntnissen (B1), abwägen und bewerten von Handlungsfolgen auf Natur und Gesellschaft (B2), reflektieren und bewerten

von Handlungsoptionen als Grundlage gesellschaftlicher Partizipation (B3)

**Überfachliche Kompetenzen (Schwerpunkte):** Personale Kompetenz (Dimension Eigenständiges und verantwortliches Handeln) Sozialkompetenz (Dimensionen: Kooperation und Teamfähigkeit, Umgang mit Konflikten, soziale Wahrnehmungsfähigkeit) Sprachkompetenz (Lesekompetenz, Kommunikationskompetenz) Selbstregulationskompetenz (Dimensionen Lernstrategien und Selbstbeobachtung) Involvement (Dimension Motivation), Demokratie und Teilhabe/zivilgesellschaftliches Engagement (Dimension einmischen, mitentscheiden, mitgestalten) Nachhaltigkeit / Lernen in globalen Zusammenhängen (Dimension soziale und ökonomische Fragestellungen wahrnehmen)

#### Notwendige Vorkenntnisse der Schüler\*innen

Dieses Wissen sollte den Schüler\*innen bereits als Argumentationsgrundlage zur Verfügung stehen:

- Elektrische Energie muss (fast) genau zu dem Zeitpunkt bereitgestellt werden, zu dem sie an einer anderen Stelle benötigt, also genutzt wird.
- In Deutschland werden verschiedene Kraftwerkstypen zur Bereitstellung elektrischer Energie genutzt.
- Diese unterscheiden sich vor allem in dem „Brennstoff“ / Energieträger. Unterteilung in fossile und regenerative Kraftwerke / Gewinnung elektrischer Energie
- Chemie: Redoxreaktionen (nach Lehrplan in Klassenstufe 9 (G8) bzw. 10 (G9), Kenntnis über den Atombau von Wasser)
- Physikalische Begriffe und Geräte (nur dem Funktionsprinzip nach): Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad, Transformator, Generator, Motor, Widerstand
- Energieversorgung und dazugehörige Prozesse (Erzeugung, Speicherung, Transport, Entwertung)

Die Schüler\*innen können...

- Spannung und Stromstärke in einem elektrischen Stromkreis eigenständig messen
- eine Mindmap erstellen
- ihre eigenen Erarbeitungen präsentieren und wesentliche Ergebnisse zusammenfassen
- an Stationen und in Gruppen von circa 3-4 Personen kooperativ arbeiten
- anhand einer gegebenen Aufgabenstellung eigenständig experimentieren

Die Unterrichtseinheit wurde nach dem Lehr-Lern-Prozessmodell umgesetzt (Abbildung 8)

#### Phase 1: Lernen vorbereiten und initiieren (2 Stunden)

- Sammeln von Kraftwerken zur Bereitstellung von elektrischer Energie
- Benennen von erneuerbaren Energiequellen
- Erkennen, dass erneuerbare Energiequellen nur mithilfe eines Energiespeichers permanent einsetzbar sind
- Vergleichen von verschiedenen Energiespeicher-Möglichkeiten
- Kennenlernen der Brennstoffzellen-Technologie anhand von Video und Animationen der chemischen Prozesse
- Planen des weiteren Vorgehens

#### Phase 2: Lernwege eröffnen und gestalten (4 Stunden)

- Stationenarbeit zur Untersuchung der physikalischen Eigenschaften von Brennstoffzellen
- Experimentelles Erarbeiten an einem Brennstoffzellen-Modellauto
- Stationen: Wasserstoffgewinnung / Anwendung der Brennstoffzelle / Mobilität durch die Brennstoffzelle / Leistungsbestimmung / Übertragung auf ein reales Auto

#### Phase 3: Orientierung geben und erhalten (1 Stunde)

- Individuelles Überprüfen der Lerninhalte in Bezug auf den derzeitigen Kenntnisstand

#### Phase 4: Kompetenzen stärken und erweitern (3 Stunden)

- Kennenlernen und recherchieren derzeitiger Einsatzmöglichkeiten der Brennstoffzelle und Wasserstoff als Energiespeicher
- Bewerten der Einsatzmöglichkeiten mithilfe der experimentell gewonnenen Daten, Vergleich mit realen Brennstoffzellen
- Durchführen eines Berufsschecks zur Energiewende, um eigene Berufsperspektive zu gewinnen

#### Phase 5: Lernen bilanzieren und reflektieren (2 Stunden)

- Rückbezug
- Reflexion über Entwicklung des eigenen Kenntnisstands und der eigenen Berufsorientierung

### 2.1.4 Mathematik – sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen durch Lineare Optimierung (Sek II)

**Autor\*innen:** Gudrun Schenk, Rebecca Beyer, Ellen Krüger, Jens Leidecker, Daniel Bremer, Tobias Braumann. Zentrum für Chemie e.V. / Altes Kurfürstliches Gymnasium Bensheim, Lichtenbergschule Darmstadt, Rheingauschule Geisenheim, Ricarda-Huch-Schule Gießen, Goethe-Gymnasium Bensheim

**Projektleitung:** Tobias Braumann. Zentrum für Chemie e.V. / Goethe-Gymnasium Bensheim

**Gesamtdauer:** Ca. 10 Unterrichtsstunden

**Zielgruppe:** Q2, Sekundarstufe II (Gymnasium)

Die Unterrichtseinheit beginnt mit einer gemeinsamen Betrachtung der aktuellen Datenlage. Dabei wird geklärt, dass in Deutschland aktuell (Stand 2018) etwa 1,5 mal so viel regenerative Leistung installiert ist (120 GW), wie zu Spitzenzeiten benötigt wird (80 GW). Grundsätzlich wäre Deutschland aktuell schon in der Lage, die Stromversorgung allein aus regenerativen Quellen sicherzustellen. Dies hat das Fraunhofer Institut ISE für 2016 und 2017 nachgewiesen (rückwirkend). Allerdings können regenerative Kraftwerke anders als herkömmliche Kraftwerke keine Garantien geben, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft Energie in das Netz eingespeist werden kann. Dies betrifft vor allem Solaranlagen und Windkraftwerke, die einen Großteil der regenerativen Kraftwerke ausmachen.

Ein großes aktuelles Problem ist also nicht der Ausbau der regenerativen Energien, sondern fehlende Mechanismen, um auch für regenerative Kraftwerke Garantien über deren Einspeisefähigkeit abgeben zu können.



Eine Lösung für dieses Problem sind virtuelle Kraftwerke. Ein virtuelles Kraftwerk verbindet viele regenerative Kraftwerke unterschiedlicher Art und geografischer Lage (und evtl. auch Verbraucher) über eine intelligente Steuerung zu einem großen Verbund. Die Unsicherheiten in diesem Verbund sind in Summe viel kleiner als die Unsicherheiten, die sich für ein einzelnes regeneratives Kraftwerk ergeben. Typischerweise enthält der Verbund auch Speicher für elektrische Energie, so dass Unsicherheiten weiter gedämpft werden können.

Mit der „Mathematikbrille“ betrachtet ergeben sich im Zusammenhang mit der intelligenten Steuerung lineare Optimierungsprobleme, die gelöst werden müssen. Der SIMPLEX-Algorithmus ist ein typischer Lösungsalgorithmus und ist in unterschiedlichster Software implementiert, die auch im Bereich der virtuellen Kraftwerke eingesetzt wird.

Um die Komplexität auf ein überschaubares Maß zu reduzieren, wird in der Unterrichtseinheit ein Einfamilienhaus betrachtet, auf dem sich schon eine Solaranlage befindet. Das System soll um einen Batteriespeicher ergänzt werden. Zu lösen ist das Problem, wie groß der Batteriespeicher sein muss und wann welche Energie wo hinfließt (und wann elektrische Energie aus dem Versorgungsnetz nachgekauft werden muss).

Nachdem das Problem als lineares Optimierungsproblem formuliert ist, geht es darum, wie solche Probleme gelöst werden können. In einem engen Wechselspiel zwischen Algebra und Geometrie werden die Grundlagen entwickelt und herausgearbeitet, dass das Lösen von linearen Optimierungsproblemen in drei Dimensionen durch das Berechnen von Eckpunkten von Polyedern bewerkstelligt werden kann.

Anschließend wird der SIMPLEX-Algorithmus in drei Dimensionen nachvollzogen. Das anfänglich modellierte Problem kann dann mithilfe der freien Software SoPlex gelöst werden.

### Einordnung in das Hessische Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe (KCGO)

**Leitideen (Schwerpunkt):** Algorithmus und Zahl (L1); Raum und Form (L3)

**Themenfelder:** Lineare Gleichungssysteme (Q2.1); Geraden und Ebenen im Raum (Q2.3); Vertiefung der Analytischen Geometrie (Q2.6)

**Allgemeine mathematische Kompetenzen (Schwerpunkt):** Mathematisch argumentieren (K1); Probleme mathematisch lösen (K2); Mathematisch modellieren (K3)

**Überfachliche Kompetenzen (Schwerpunkte):** Personale Kompetenz (Dimension Eigenständiges und verantwortliches Handeln) Sozialkompetenz (Dimensionen: Kooperation und Teamfähigkeit, Umgang mit Konflikten, soziale Wahrnehmungsfähigkeit) Sprachkompetenz (Lesekompetenz, Kommunikationskompetenz) Selbstregulationskompetenz (Dimensionen Lernstrategien und Selbstbeobachtung) Involvement (Dimension Motivation)

Demokratie und Teilhabe/zivilgesellschaftliches Engagement (Dimension einmischen, mitentscheiden, mitgestalten) Nachhaltigkeit / Lernen in globalen Zusammenhängen (Dimension soziale und ökonomische Fragestellungen wahrnehmen)

### Notwendige Vorkenntnisse der Schüler\*innen

Die Unterrichtseinheit kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt werden: Zu Beginn der Q2, so dass im gegebenen Kontext Inhalte entwickelt werden, als Projekt gegen Mitte/

Ende der Q2, so dass Inhalte im Kontext wiederholt werden können und evtl. als Projekt in der Q4.

Die vorliegende Reihenplanung ist so strukturiert, dass man sie gegen Ende des Kurshalbjahres „Lineare Algebra und Analytische Geometrie“ einsetzt. Die Schüler\*innen sollten also bereits Grundlagen zu LGS kennen und auch die Verknüpfung mit geometrischen Objekten kennen.

Die Unterrichtseinheit wurde nach dem Lehr-Lern-Prozessmodell umgesetzt (Abbildung 8).

#### Phase 1: Lernen vorbereiten und initiieren (2 Stunden)

- Wissen, dass die Energiewende die Bereiche Strom, Wärme und Mobilität umfasst.
- Erneuerbare Energiequellen benennen können.
- Probleme, die sich aus dem immer größer werdenden Anteil an erneuerbaren Energien am Energiemix ergeben benennen können und Lösungsstrategien benennen können.
- Erkennen, dass sich hinter der Problemstellung „Energiespeicher“ ein Optimierungsproblem verbirgt
- Reaktivierung von Wissen um Optimierungsprobleme und Lösungsstrategien

#### Phase 2: Lernwege eröffnen und gestalten (4 Stunden)

- Ausgangsniveausicherung lineare Gleichungen und deren geometrische Interpretation
- Geometrische Interpretation der Lösungsmenge von linearen Ungleichungen (in zwei Dimensionen)
- Geometrische Interpretation des Optimierungsproblems (in zwei Dimensionen)
- Anwenden des Wissens über lineare Ungleichungen zur Lösung von Optimierungsproblemen

**Zentrales Lernziel:** Die Zielgebiete, in denen sich die gültigen Lösungen eines Problems befinden, sind stets konvex. Eine optimale Lösung liegt damit stets in einer Ecke eines Zielgebietes. Damit schränkt man die Anzahl der noch in Frage kommenden Lösungen stark ein.

#### Phase 3: Orientierung geben und erhalten (2 Stunden)

- Vertiefung der erarbeiteten Konzepte in individueller Auseinandersetzung mit einer Aufgabe. Durch den Einsatz einer 3D-DGS sollen die für das Auffinden einer optimalen Lösung notwendigen Schritte noch einmal durchlaufen werden.
- Ausblick auf das SIMPLEX-Verfahren

#### Phase 4: Kompetenzen stärken und erweitern (2 Stunden)

- Kennenlernen des SIMPLEX-Verfahrens im Rahmen eines Vortrags

#### Phase 5: Lernen bilanzieren und reflektieren (1 Stunde)

- Rückbezug

### 2.1.5 Informatik – Simulation von Energieversorgungsnetzen für eine sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen (Sek II)

**Autor\*innen:** Philipp Schefzyk, Jochen Lohrbächer, Angela Karl, Cesar Roson, Alexander Schäfer, Enrico Steuer, Andreas Mül-

ler, Tobias Braumann. Zentrum für Chemie e.V. / Nikolaus-August-Otto-Schule Bad Schwalbach, Alfred Delp Schule Dieburg, Lichtenberschule Darmstadt, Friedrich-Ebert-Schule Pfungstadt, Goethe-Gymnasium Bensheim, Georg-Christoph-Lichtenbergschule Ober-Ramstadt

**Projektleitung:** Tobias Braumann. Zentrum für Chemie e.V. / Goethe-Gymnasium Bensheim

**Gesamtdauer:** Ca. 12 Unterrichtsstunden

**Zielgruppe:** Sekundarstufe II (Gymnasium)

Die Energiewende (Bereich Versorgung mit elektrischer Energie) beschäftigt aktuell die Gesellschaft. Die Kenntnisse über die aktuellen Problemstellungen auf diesem Gebiet sind aber oft lückenhaft.

Die Unterrichtseinheit beginnt mit einer gemeinsamen Betrachtung der aktuellen Datenlage. Dabei wird geklärt, dass in Deutschland aktuell (Stand 2018) etwa 1,5 mal so viel regenerative Leistung installiert ist (120 GW), wie zu Spitzenzeiten benötigt wird (80 GW). Grundsätzlich wäre Deutschland aktuell schon in der Lage, die Stromversorgung allein aus regenerativen Quellen sicherzustellen. Dies hat das Fraunhofer Institut ISE für 2016 und 2017 nachgewiesen (rückwirkend). Allerdings können regenerative Kraftwerke anders als herkömmliche Kraftwerke keine Garantien geben, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft Energie in das Netz eingespeist werden kann. Dies betrifft vor allem Solaranlagen und Windkraftwerke, die einen Großteil der regenerativen Kraftwerke ausmachen.

Ein großes aktuelles Problem ist nicht der Ausbau der regenerativen Energien, sondern fehlende Mechanismen, um auch für regenerative Kraftwerke Garantien über deren Einspeisefähigkeit abgeben zu können.

Eine Lösung für dieses Problem sind virtuelle Kraftwerke. Ein virtuelles Kraftwerk verbindet viele regenerative Kraftwerke unterschiedlicher Art und geografischer Lage (und evtl. auch Verbraucher) über eine intelligente Steuerung zu einem großen Verbund. Die Unsicherheiten in diesem Verbund sind in Summe viel kleiner als die Unsicherheiten, die sich für ein einzelnes regeneratives Kraftwerk ergeben. Typischerweise enthält der Verbund auch Speicher für elektrische Energie, so dass Unsicherheiten weiter gedämpft werden können.

Um das Verhalten eines solchen komplexen Systems zu untersuchen, kommen in verschiedenen Wissenschaftszweigen Simulationen zum Einsatz. Im Rahmen der Unterrichtseinheit entsteht eine Simulation eines Energieverteilungsnetzes.

Um die Komplexität auf ein überschaubares Maß zu reduzieren, wird in der Unterrichtseinheit eine überschaubare Anzahl an Energieerzeugern und Verbrauchern modelliert. Teil der Simulation ist eine Anbindung an das bestehende Energieversorgungsnetz, so dass hier kein autarkes System modelliert wird. Vielmehr soll die Simulation dazu dienen, die Parameter zu untersuchen und so zu optimieren, dass der Austausch mit dem Energieversorgungsnetz möglichst klein wird.

Als Entwicklungsumgebung wird *Greenfoot* (24) eingesetzt, so dass der Aufwand für die Entwicklung einer GUI überschaubar bleibt, gleichzeitig das Ergebnis aber ansprechend aussieht und komfortabel zu bedienen ist.

**Einordnung in das Hessische Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe (KCGO)**

**Inhaltsbezogene Kompetenzbereiche (Schwerpunkt):** Informatiksysteme (I4); Informatik, Mensch und Gesellschaft (I5)

**Themenfelder:** Klassen und Objekte (Q1.3); Höhere Datenstrukturen und ihre objektorientierte Modellierung (Q1.4)

**Prozessbezogene Kompetenzen (Schwerpunkt):** Kommunizieren und Kooperieren (P1); Modellieren und Implementieren (P3)

**Überfachliche Kompetenzen (Schwerpunkte):** Personale Kompetenz (Dimension Eigenständiges und verantwortliches Handeln) Sozialkompetenz (Dimensionen: Kooperation und Teamfähigkeit, Umgang mit Konflikten, soziale Wahrnehmungsfähigkeit) Sprachkompetenz (Lesekompetenz, Kommunikationskompetenz) Selbstregulationskompetenz (Dimensionen Lernstrategien und Selbstbeobachtung) Involvement (Dimension Motivation)

Demokratie und Teilhabe / zivilgesellschaftliches Engagement (Dimension einmischen, mitentscheiden, mitgestalten) Nachhaltigkeit / Lernen in globalen Zusammenhängen (Dimension soziale und ökonomische Fragestellungen wahrnehmen)

**Entwicklung der Unterrichtseinheit für die gymnasiale Oberstufe**

Die Unterrichtseinheit wurde im Goethe-Gymnasium Bensheim, in der Nikolaus-August-Otto-Schule Bad Schwalbach und in der Alfred-Delp-Schule Dieburg im Rahmen von Kursen in Q1 und Q4 in den Schuljahren 2016/17 und 2017/18 durchgeführt und evaluiert: Die sich daraus ergebenden Änderungen sind berücksichtigt.

In der gymnasialen Oberstufe werden die Schüler\*innen ab der Einführungsphase im Fach Informatik in Grund- und Leistungskursen unterrichtet. Die Materialien richten sich vor allem an Schüler\*innen von Leistungskursen. Einige Materialien sind in unterschiedlicher Komplexität angegeben. Die Materialien sind veränderbar und können von den Lehrkräften an das jeweilige Niveau der Schüler\*innen angepasst werden.

**Notwendige Vorkenntnisse der Schüler\*innen**

Die Unterrichtseinheit kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt werden: Zu Beginn der Q1, als Projekt gegen Mitte/Ende der Q1 und evtl. als Projekt in der Q4.

Die vorliegende Reihenplanung ist so strukturiert, dass man sie nach einer Einführung in die objektorientierte Modellierung und -Programmierung einsetzt. Die Schüler\*innen sollten also bereits Grundlagen zu UML-Klassendiagrammen kennen und schon einmal einfache UML-Klassendiagramme in Quellcode überführt haben. Die Einheit kann als erstes komplexeres Projekt/komplexe Übung zum Themenfeld Klassen und Objekte (Q1.3) gesehen werden.

Die Unterrichtseinheit wurde nach dem Lehr-Lern-Prozessmodell umgesetzt (Abbildung 8)

**Phase 1: Lernen vorbereiten und initiieren (1 Stunde)**

- Wissen, dass die Energiewende die Bereiche Strom, Wärme und Mobilität umfasst.
- Erneuerbare Energiequellen benennen können.
- Probleme, die sich aus dem immer größer werdenden Anteil an erneuerbaren Energien am Energiemix ergeben benennen können und Lösungsstrategien benennen können.
- Vorteile einer Computersimulation gegenüber einem Realexperiment benennen können
- Akteure der Computersimulation und ihre Eigenschaften sowie Einflussgrößen benennen können.

**Phase 2: Lernwege eröffnen und gestalten (4 Stunden)**

- Mit Greenfoot „warm werden“. Idee der Steuerung, von Act und Run verstehen und ausprobieren. Interaktion mit der Welt (getWorld) über deren Methoden (setText, getObjects, ...). Akteure anlegen durch Vererbung, Bildchen definieren.
- Dabei Wiederholung: Typecasting, abstrakte Methoden, Vererbung, ... in Java
- Vertiefung des Verständnisses über den gewählten Akteur aus der Notwendigkeit heraus, sein Verhalten in Code gießen zu müssen.

Im Rahmen der Modellierung und der Implementierung des ersten Modells werden sich die Schüler\*innen bewusst, dass viele Fragen noch nicht geklärt sind. In späteren Phasen wird das Modell dann überarbeitet und auch der Quellcode verfeinert.

**Phase 3: Orientierung geben und erhalten (2 Stunden)**

Durch einen Vortrag jeden Schülers (bei großen Kursen nur eine Auswahl) wird der jeweilige Lernstand der Schüler\*innen festgestellt. Die Diskussion im Plenum zeigt vorhandene Stärken auf und gibt auch Anleitung zur individuellen Weiterentwicklung.

**Phase 4: Kompetenzen stärken und erweitern (5 Stunden)**

Zur Stärkung und Erweiterung ihrer Kompetenzen beschäftigen sich die Schüler\*innen mit dem Thema „Virtuelles Kraftwerk“. Dazu findet auch eine Exkursion/Expertengespräch statt.

Um das virtuelle Kraftwerk implementieren zu können, muss zunächst das Modell noch einmal auf einen gemeinsamen Stand gehoben werden und jeder/jede Schüler\*in muss den eigenen Quellcode entsprechend anpassen.

**Phase 5: Lernen bilanzieren und reflektieren (1 Stunde)**

In der gemeinsamen Betrachtung der Simulation und der kritischen Diskussion verschiedener Phänomene, die in der Simulation sichtbar werden, wird die Frage erörtert, ob eine Versorgung ausschließlich mit erneuerbaren Energien möglich ist.

Dabei werden auch die Möglichkeiten und Grenzen des Werkzeugs Simulation diskutiert.

**2.2 Evaluation der Workshopreihe für Lehrkräfte**

Die Evaluation der Workshopreihe wurde von Prof. Dr. Martin Lindner (Martin-Luther-Universität Halle) durchgeführt. Prof. Dr. Lindner war u. a. von 2000 bis 2010 Landeskoordinator des SINUS-Programms in Schleswig-Holstein und wirkte u. a. in verschiedenen Projekten des IPN (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik) mit (u. a. *Chemie im Kontext*). Seit 2013 ist er in verschiedenen EU-Projekten wie dem Projekt INSTEM – „Innovative Networks for Science Technology Engineering & Mathematics education“ tätig (vgl. [http://www.biodidaktik.unihalle.de/mitarbeiterinnen/homepage\\_prof\\_lindner/mitarbeit\\_in\\_projekte/n/](http://www.biodidaktik.unihalle.de/mitarbeiterinnen/homepage_prof_lindner/mitarbeit_in_projekte/n/))

**2.2.1 Evaluationskonzept**

Die Evaluation wird für das Hessische Kultusministerium und die Deutsche Bundesstiftung Umwelt durchgeführt. Die Pilotphase des Projekts „Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht“ des Hessischen Kultusministeriums endet im Juni 2018.

Die Evaluation des Projekts setzt auf drei Ebenen an, um Daten zu erheben

1. Gesamtprogramm (s. Tabelle 5)
2. Programmakteure (s. Tabelle 6)
3. Programmadressaten (s. Tabelle 7)

Die Evaluationsaktivitäten geben ein recht gutes Bild der Entwicklung des Programms, die sich vergleichsweise nahtlos in die Evaluation vergleichbarer Projekte (SINUS, Chemie im Kontext etc.) einfügt.

**Tabelle 5:** 1. Gesamtprogramm

Verlauf des Programms	Kalender des Programms, Website, Dokumentationen in Presse und Medien	Summarische Dokumentation
Teilnehmerzahlen	TN-Listen, Online-Zugriffe	Quantitative Statistik
Materialien	(online-) Dokumentation der Materialien	Summarische Dokumentation
Einzelveranstaltungen	Protokolle, TN-Listen	Quantitative Statistik, Kategorien

**Tabelle 6:** 2. Programmakteure

Einsätze einzelner Akteure	Kalender des Programms, Protokolle, TN-Listen	Quantitative Statistik, Kategorien
Zusammenarbeit	Fragebögen, Interviews	Quantitative Statistik, qualitative Inhaltsanalyse
Zufriedenheit	Fragebögen, Interviews	
Materialien	Was wurde von wem erstellt?	Quantitative Statistik, Kategorien
Gesamtverlauf	Logbücher ausgewählter Akteure	Qualitative Inhaltsanalyse

**Tabelle 7:** 3. Programmadressaten

Zufriedenheit mit den Veranstaltungen	Fragebögen, Interviews	Quantitative Statistik, qualitative Inhaltsanalyse
Motivation für MINT	Fragebögen, Interviews	KIM-Fragebogen, qualitative Inhaltsanalyse
Langfristige Veränderungen	Fragebögen, Interviews zum naturwissenschaftlichen Selbstbild	Quantitative Statistik, qualitative Inhaltsanalyse
Materialien	Eignung aus Sicht der TN	qualitative Inhaltsanalyse

## 2.2.2 Ergebnisse der Evaluation des Gesamtprogramms

### Veranstaltungen

#### 1. Workshop I (5./6.10.2016)

Goethe-Gymnasium Bensheim. Experimente in der Hochschule Rhein-Main und der TU Darmstadt. 41 Lehrkräfte aus 13 Kooperationschulen.

#### 2. Erfinderlabor „Elektromobilität – Brennstoffzellentechnologie“ (16.01.–20.01.2016)

16 ausgewählte Schüler\*innen der Oberstufe aus 16 Schulen. Abschlusspräsentation vor 200 Gästen.

#### 3. Workshop II (22./23.02.2017)

Lichtenbergschule Darmstadt und TU Darmstadt: Es nahmen 34 Lehrkräfte aus 13 Kooperationschulen teil.

#### 4. Beiratssitzung (09.03.2017)

#### 5. Erfinderlabor „Organische Elektronik“ (07.05. – 12.05.2017)

16 ausgewählte Schüler\*innen der Oberstufe aus 15 Schulen, Abschlusspräsentation vor gut 100 Gästen.

#### 6. Workshop III (30./31.08.2017)

Eleonorenschule Darmstadt. Weiterarbeit von 36 Lehrkräften der 13 Netzwerkschulen an Unterrichtseinheiten für die Sekundarstufen I/II.

#### 7. Neue Wege im Unterricht: Zukunftstechnologien und Ressourceneffizienz (27.11.2017)

Senckenbergmuseum Frankfurt; Vorstellung der Zwischenergebnisse vor 200 Gästen aus Schule, Hochschule und Wirtschaft, darunter 150 Schulleitungsmitglieder aus 90 hessischen Schulen, anschließend Beiratssitzung

#### 8. Workshop IV (23./24.1.2018)

Goethe-Gymnasium Bensheim. 32 Lehrkräfte aus 12 Kooperationschulen

#### 9. Erfinderlabor „Elektromobilität – Brennstoffzellentechnologie“ (29.01.–02.02.2018)

8 ausgewählte Schüler\*innen aus 16 Schulen. Abschlusspräsentation vor 200 Gästen. Im Juli 2018 werden die gebauten Brennstoffzellenboote im Fernsehen in der Sendung „Hessenschau Sommertour“ gezeigt.

#### 10. Erfinderlabor „Organische Elektronik“ (16.04.–20.04.2018)

16 Schüler\*innen aus 16 Schulen bei Merck und der TU Darmstadt. Herstellung von OLED/OPV-Zellen, Abschlusspräsentation mit 150 Gästen

#### 11. Teach@Note (26.04., 04.05., 16.05., 06.06.)

Das vom Zentrum für Chemie programmierte Softwaremodul Teach@Note wurde an der Gesamtschule in Alsbach-Hähnlein, bei der Tagung der Leitungen der hessischen Medienzentren in Rotenburg, beim südhessischen Nawi-Fachtag in Darmstadt und einer Fortbildung im Medienzentrum Darmstadt-Dieburg vorgestellt.

Abbildung 9 zeigt, wie sich die Teilnehmerzahl in den vier Workshops entwickelt hat.

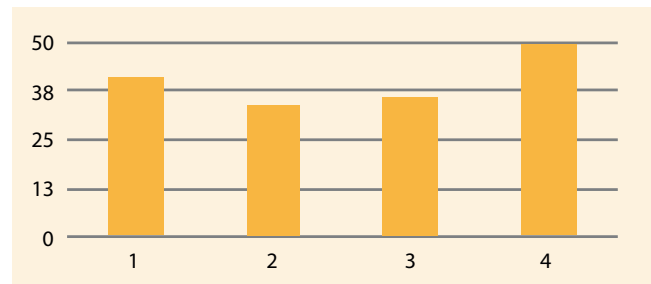


Abbildung 9: Entwicklung der Teilnehmer\*innenzahl in den vier Workshops (n1=42, n2=34, n3=36, n4=50). Zusätzlich nahmen an den Workshops 10, 5, 9 sowie 7 Referent\*innen und Projektleiter teil.

### Evaluation durch Logbücher

Die Projektleitungen führen Logbücher. Dies sind Word-Dateien, in die in unregelmäßigen Abständen mit Anmerkungen zum Verlauf des Programms und zur Entwicklung der Zusammenarbeit gefüllt werden. Besonders wichtig ist es, auch persönliche Anmerkungen und Kommentare zuzufügen, um den Programmverlauf aus der individuellen Sicht der Programmleiter verfolgen zu können. Dadurch werden Details deutlich, die für den erfolgreichen Verlauf wichtig sind, und es können früh Weichenstellungen erkannt werden, deren Folgen sich erst im Verlauf des Programms zeigen.

Die Logbücher werden mit einer großen Akribie und sehr ehrlich geführt. Sie zeigen deutlich, welche Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit auftraten und wie sie überwunden werden konnten. Dadurch lassen sich die Aussagen der Lehrkräfte aus den einzelnen Arbeitsgruppen gut verifizieren und abgleichen.

Die Logbücher zeigen den typischen Verlauf einer Zusammenarbeit unter Kolleginnen und Kollegen an Schulen. Nach einer Angewöhnungszeit und einer Zeit der Infragestellung kommt es erst nach Überwindung erster Schwierigkeiten zu einer konstruktiven Weiterarbeit. Diese wird dadurch solider und besser begründet und erzeugt profundere Ergebnisse. Der Programmverlauf entspricht damit weitgehend dem Entwicklungsgang vorangegangener Unterrichtsentwicklungsprojekte (wie SINUS, CHIK) und damit auch den Daten aus der Beobachtung der Communities of practice, die aus der Erforschung der Gruppendynamik auf professionelle Lerngemeinschaften übertragen wurden (25).

## 2.2.3 Ergebnisse der Evaluation der Unterrichtsmaterialien

Zur Evaluation der Unterrichtsmaterialien wird die Aktivität auf der gemeinsamen online-Plattform OneNote untersucht. Hierzu liegen die Berichte der Fachgruppen vor:

### Nutzung des digitalen Notizprogramms OneNote

Das digitale Notizprogramm Microsoft OneNote ermöglicht plattformunabhängig über einen beliebigen Webbrowser die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten. Das Programm wird von der Projektleitung genutzt, um zusätzlich zu Emails untereinander und mit den Teilnehmer\*innen zu kommunizieren. Darüber hinaus werden über OneNote die Unterrichtseinheiten erstellt.

### Bericht aus den Fachgruppen

In der Fachgruppe Informatik war die Akzeptanz von Anfang an sehr hoch. Die TN (Teilnehmer\*innen) haben das Notizbuch gut als Materialplattform für die Vorbereitung der Workshops nutzen können. Während der Workshops haben immer alle TN direkt in ein Notizbuch geschrieben, in dem alle TN Schreibrechte haben. Von dieser Möglichkeit wurde rege Gebrauch gemacht und diese Form zu arbeiten wurde von allen TN als sehr gewinnbringend beschrieben.

Zwischen den Workshops diente das Notizbuch mit Schreibrecht für alle für einen regen Austausch unter den TN, die Material im Unterricht evaluiert haben. Es war so ein Ablegen von Material möglich, das zugleich auch kommentiert werden konnte. Dazu alles erreichbar über eine Oberfläche.

Die Fachgruppe Mathematik hat erst im Rahmen von Workshop III tatsächlich auch Ergebnisse produzieren können. Zuvor wurde vor allem mit Stift und Papier gearbeitet und das Material eher schlecht als recht gesichert/strukturiert (vielleicht mit der Einschätzung im Hinterkopf, dass es sich nicht so richtig lohnt, das Erarbeitete zu sichern). Für den dritten Workshop wurde OneNote genau wie bei den Informatikern eingesetzt: Vorbereitungsmaterial an zentraler Stelle, während des Workshops dann Live-Zusammenarbeit über OneNote. Dabei war die Akzeptanz ähnlich hoch wie bei den Informatikern.

Für die Sicherung der Reihe haben bei den Informatikern bisher zwei von drei Evaluatoren OneNote auch für die Unterrichtsvorbereitung eingesetzt. Die dritte Lehrkraft kann OneNote nicht einsetzen, weil es unter einer Linux-Umgebung nicht vernünftig läuft.

Man kann sicher sagen, dass sowohl die Akzeptanz als auch die Fähigkeiten der TN im Umgang mit OneNote über die Zeit zugenommen haben. Viele TN haben die Vorteile von OneNote erlebt und die Software gerne genutzt.

In den Fachgruppen Chemie und Physik wurde das Programm beim zweiten Workshop eingeführt. Auf den Computern der Teilnehmer sollte OneNote zunächst eingerichtet und dann genutzt werden. Aufgrund eines instabilen W-LANs am Austragungsort konnte das Programm jedoch nicht wie gewünscht eingesetzt werden. Dadurch bestätigte sich bei einigen Teilnehmer\*innen eine bereits vorhandene Grundskepsis beim Einsatz cloudbasierter Werkzeuge. Aufgrund der technischen Probleme wurde an den Unterrichtseinheiten weitgehend mit Textverarbeitungsprogrammen wie Microsoft Word gearbeitet.

Um OneNote beim dritten Workshop uneingeschränkt nutzen zu können, wurden im Vorfeld die Internetzugänge am Austragungsort akribisch geprüft und an die Erfordernisse des Workshops angepasst; für die Physik-Gruppe wurde ein eigener Router eingesetzt. Darüber hinaus entlieh die Projektleitung für die Teilnehmer Schullaptops des Goethe-Gymnasiums Bensheim und richtete die erforderlichen Accounts ein. Die Akzeptanz nahm im Laufe des dritten Workshops dadurch spürbar zu. Durch die Vorstellung einer in OneNote erstellten Unterrichtseinheit durch die Projektleitung, wurden für alle Teilnehmer die Vorteile einer einheitlichen Strukturierung und der Cloudbasierung ersichtlich. Im Anschluss an die Vorstellung nutzten alle Teilnehmer das Programm für die Weiterarbeit an den eigenen Unterrichtseinheiten.

Zwischen den Workshops wurden die Unterrichtseinheiten von den Teilnehmer\*innen nur teilweise weiter bearbeitet. Das ist nicht überraschend, da die Teilnehmer mit dem eigenen Un-

terricht ausgelastet sind und in der Regel nur in den Ferien und in den Workshops Zeit für neue Unterrichtseinheiten investieren können. Die Weiterentwicklung der Unterrichtseinheiten zwischen den Workshops wird von der Projektleitung sowie den kooperierenden Hochschulen vorgenommen. Zur Abstimmung finden dazu regelmäßig Gespräche über Skype statt.

### Kommentar

Die Berichte zeigen, dass es insgesamt möglich war, die Materialien cloudbasiert zu erstellen und weiter zu entwickeln. Damit hat sich nach Überwinden der technischen Schwierigkeiten eine solide, offene und für alle einsehbare Datengrundlage entwickelt. Die wichtige Funktion der Projektleitung wird deutlich.

Die Materialien, die von den Lehrkräften bzw. den Projektleitungen entwickelt wurden, werden in den Fachgruppen evaluiert und sind in einem fortlaufenden Optimierungsprozess.

## 2.2.4 Ergebnisse der Interviews mit Lehrkräften

### Interviewstudie mit Einzellehrkräften (Workshop III)

Die erste Interviewstudie wurde am 31. August 2017 anlässlich des 3. Workshops in Darmstadt durchgeführt. Die befragten Lehrer\*innen wurden einzeln in einem ruhigen Besprechungszimmer der Schule oder im Vorbereitungsraum der Physik in einem strukturierten Interview befragt. Die Interviews wurden aufgezeichnet und analysiert, indem die Antworten den Fragen summarisch zugeordnet wurden.

### Fragenkatalog des Interviews:

Im Interview wurde zunächst eine anonyme, jedoch personalisierte Identifikation der befragten Person durchgeführt, um in Folgeinterviews die Entwicklung einzelner Personen dokumentieren zu können. Die Fragen richten sich nach den Fragekategorien des Fragebogens von (26). Hierbei geht es darum, den Grad der Zustimmung zu einer Neuerung zu erfassen. Ursprünglich wurde der Fragebogen entwickelt, um die Entwicklung junger Lehrkräfte zu begleiten. Es stellte sich heraus, dass so gut wie alle Novizen sieben Stufen durchlaufen, die von Unkenntnis über Zweifel an der eigenen Kompetenz bis hin zum Bedarf an Kooperation mit Fachkolleg\*innen reichen. In der höchsten Zustimmungsstufe ist dann eine Bereitschaft zu erkennen, an der Weiterentwicklung des Programms mitzuarbeiten. Der Fragen sind in Abbildung 10 zusammengefasst.

### Ergebnisse

Zum Fragenkomplex 1 und 2 sagen alle Befragten, dass sie gut informiert sind und sich insofern gut in das Programm einbezogen fühlen, da sie sich jederzeit über die Datenbasis in OneNote informieren können (auch wenn es einige kritische Stimmen zu OneNote gab). Die notwendige grundlegende Vorbereitung des Programms und die Vorstrukturierung durch die Projektgruppe wurden von allen als wichtig empfunden, und die Befragten fühlten sich dadurch nicht übergangen. Einige waren auch bereits an der Konstruktion des Programms beteiligt. Dabei gab es Unterschiede in den verschiedenen Fachgruppen: während in der Chemie-Gruppe die Vorstrukturierung der Einheit und die Einbettung in den Themenbereich „Kunststoffe“ als positiv, aber auch strenger in der Struktur gesehen wurde, sind die Themen in den anderen Fachgruppen

**1 Informationsbedarf**

- In wie weit fühlen Sie sich informiert über das Programm?
- Was fehlt Ihnen noch an Informationen?

**2 Eigene Betroffenheit: Was hat es mit mir zu tun?**

- Haben Sie den Eindruck, dass Sie genug in das Programm einbezogen wurden?
- Wurde über Ihren Kopf hinweg geplant?

**3 Sorge, die Aufgaben nicht erfüllen zu können**

- Trauen Sie sich zu, die Aufgaben zu erfüllen, die bei diesem Projekt auf Sie zukommen?
- Haben Sie schon Erfahrungen mit der Mitarbeit in diesem Projekt?

**4 Frage nach der Konsequenz für die Schüler/-innen**

- Meinen Sie, dass Ihre Schüler\*innen von dem Projekt profitieren?
- Denken Sie, dass die Schüler\*innen als Versuchskaninchen missbraucht werden?

**5 Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit anderen in diesem Innovationsfeld**

- Welche Erfahrungen haben Sie in der Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen in diesem Projekt gemacht?
- Haben Sie schon in anderen Projekten mitgearbeitet?

**6 Bereitschaft, das Konzept weiterzuentwickeln**

- Könnten Sie sich vorstellen, nicht nur einzelne Aufgaben oder Unterrichtsreihen, sondern auch das gesamte Konzept weiter zu entwickeln?

Abbildung 10: Fragenkatalog der Lehrerinterviews

noch nicht so fest umrissen. Dadurch bleibt hier mehr Freiraum, aber auch eine gewisse Unsicherheit.

Die Fragen zum Arbeitsaufwand wurden von den Befragten nüchtern beantwortet: natürlich macht eine Neuerung zunächst etwas mehr Arbeit, aber bei der guten Vorbereitung trauten sich alle den Einsatz zu. Die Teamarbeit wurde mehrfach als sehr positiv herausgestellt („...weil da jetzt viele Kollegen Gehirnschmalz reinstecken und da mehr rumkommt als wenn ich mich da als Einzelkämpfer hinsetze und mal so erratisch zwei Stunden zur Brennstoffzelle entwerfe“). Damalige Erfahrungen zum Unterricht lagen aus der Chemie-Gruppe vor, die durchweg positiv kommentiert wurden.

Die Vorteile für Schüler\*innen wurden immer wieder erwähnt, auch wenn zum Zeitpunkt der Befragung nur aus der Chemie-Gruppe konkrete Durchführungen zu konkreten Schülerrückmeldungen geführt haben. Der moderne, abwechslungsreiche und experimentell basierte Unterricht wird als produktiv für die „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“, schülerrelevant und positiv für die Berufsorientierung in MINT-Fächern eingeschätzt.

Zur Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen (Frage 5) wurden häufig die gleichen Erfahrungen berichtet: Auch wenn es am Anfang noch nicht reibungslos lief, hat dieser Workshop einen Durchbruch gebracht. Die Beteiligten kennen sich nun schon über ein Jahr, sie können sich einschätzen und arbeiten jetzt gewinnbringend und zügig zusammen. Die Zusammenarbeit an den Schulen klappt nun auch besser, auch wenn an einigen Schulen nicht Kolleginnen und Kollegen aller Fachgruppen mitmachen, sondern nur zwei Fächer vertreten sind.

Die Frage 6 wurde eher zurückhaltend kommentiert. Die Befragten sahen jeweils den Zeitaufwand als gravierend und betonten, dass sie lieber Zeit mit den Schüler\*innen verbringen als sie in die Weiterentwicklung zu stecken. Einige können sich jedoch vorstellen, in Lehrerfortbildungen ihr Wissen und ihre Erfahrungen weiterzugeben. Dabei wurden neue Themen im MINT-Bereich als sehr wichtig erwähnt.

**Diskussion**

Die Auswertung der Befragung zeigt das typische Bild eines Unterrichtsentwicklungsprojektes, wie wir es aus den Programmen SINUS und den darauf basierenden Programmen *Chemie im Kontext* und *Naturwissenschaften im Kontext* kennen ((27), (28)). Die erste Phase der Angewöhnung ist vorüber, die Arbeit hat „Tritt gefasst“, die vorgegebenen Strukturen und Angebote haben sich als tragfähig und unterstützend herausgestellt. Die Zusammenarbeit musste zunächst eingeübt werden, nun aber klappt sie gut bis hervorragend. Dass noch keine größere Bereitschaft zu erkennen ist, am Programm selbst mitzuarbeiten, ist für den jetzigen Stand charakteristisch: der Fokus liegt nun erst einmal auf der Umsetzung in den eigenen Klassen.

Die stärkere Vorstrukturierung im Themenbereich der Chemie wurde von allen Beteiligten dieses Faches als positiv herausgestellt. Die Einbettung in das Curriculum ist eine große Hilfe, um die Relevanz auch für das Abitur zu unterstreichen. Auch der Einsatz von Prof. Banerji wurde von vielen als große Unterstützung positiv herausgestellt. Der dadurch wegfallende höhere Freiheitsgrad in der Unterrichtsplanung wurde zwar ebenfalls angemerkt, aber als notwendig akzeptiert.

**Zweite Interviewstudie zum Programmverlauf (Workshop IV)**

Die Interviews zum Programmverlauf wurden mit Lehrkräften von jeweils einer Schule durchgeführt. Insgesamt nahmen 30 Lehrkräfte in 12 schulspezifischen Gruppen teil. Die Gruppengröße lag zwischen einer und fünf Personen. Dabei wurden die Interviews halbstandardisiert durchgeführt, d. h. alle Gruppen bekamen die gleichen Fragen in gleicher Reihenfolge, sie konnten jeweils frei darauf antworten.

Die Fragen bezogen sich auf

- Die Struktur / den zeitlichen Ablauf des Programms
- Die Themen
- Eine eventuelle Verlängerung des Programms

Die Interviews dauerten zwischen 10 und 22 Minuten, sie wurden aufgezeichnet, transkribiert. Darüber hinaus wurden Antwortkategorien gebildet.

**Ergebnisse**

Die Fortbildungsstruktur wurde als sehr hilfreich betrachtet. Die regelmäßigen Arbeitstreffen empfanden die Teilnehmer als arbeitsintensiv, aber auch als essenziell. Die 1,5-tägigen Treffen werden von allen Teilnehmer\*innen als elementar wichtig beschrieben, wobei der zeitliche Abstand zwischen den Treffen noch kürzer sein könnte. Eine Freistellung für einen weiteren Tag wäre hilfreich. Mögliche Treffen an einzelnen Nachmittagen seien weniger ergiebig als mehrtägige Treffen. Die Materialien, die ausgeteilt wurden, wurden von allen als sehr hilfreich empfunden.

Zur Zusammenarbeit innerhalb der Schulen wurde mehrfach angemerkt, dass es wichtig ist, sich regelmäßig persönlich zu treffen. Die reine Zusammenarbeit über online-tools ist weniger ergiebig, obwohl sie zum Materialaustausch als sinnvoll erachtet wird. Sie können aber die Entwicklungsprozesse, die als wichtig eingeschätzt werden, nicht abbilden. Eine Aussage trifft die Bedeutung der Zusammenarbeit gut: „Es brennt einfach heißer, wenn man zusammenarbeitet“. Insofern sollte auch die Strategie weiterverfolgt werden, mit mehreren Kolleginnen und Kollegen einer Schule am Programm teilzunehmen. Dies kann auch die Kontinuität der individuellen Mitarbeit stärken.

Auf den Bedarf einer professionellen Koordination wurde ebenfalls hingewiesen, beispielsweise für die zeitliche Abstimmung von Arbeitstreffen, für die Durchsetzung von Bedürfnissen bei den Schulleitungen und für die Versorgung mit neuen Materialien. Insgesamt ist für die Zusammenarbeit zwischen den Schulen eine externe Koordination sehr hilfreich. Auch der Bedarf an regelmäßigem fachlichen Input ist für ein zukunftsorientiertes Programm essenziell. Dieser kann im Schulverbund durch externe Koordinatoren leichter organisiert werden.

Die Themenwahl war gelungen, wobei die Vorstrukturierung in der Chemie-Gruppe hervorgehoben wurde. Einer Weiterarbeit stehen fast alle Kolleginnen und Kollegen aufgeschlossen gegenüber. Dafür wurden weitere Themen genannt, etwa Recycling-Technologien, künstliche Intelligenz, Messwerterfassung, 3D-Drucker oder Ressourceneffizienz. Da sich nun Entwicklerteams gebildet haben, ist die zügige Entwicklung neuer lehrplankonformer Unterrichtseinheiten wahrscheinlich. Ein bedeutender Anteil der Kollegen und Kolleginnen würde zunächst gerne die neu entwickelten Einheiten gründlich implementieren, dabei den fachverbindenden Charakter der Einheiten vertiefen und in ihren Schulen ausbauen.

Für die Weiterarbeit wurde als ein wichtiges Argument genannt, dass neue Themen auch auf leistungsstärkere Schüler\*innen stark motivierend und herausfordernd wirken. Für das MINT-Profil einiger Schulen sind viele Anregungen ebenfalls unterstützend.

**Fazit:** Das Programm hat sich bewährt. Eine zeitlich umfassende Unterstützung der Koordinatoren der Lehrkräfte bei der Erstellung von Unterrichtseinheiten ist von großer Bedeutung.

### 2.2.5 Ergebnisse der Fragebogenstudie mit Schüler\*innen

Die Schüler\*innen im Projekt wurden mit zwei Erhebungsinstrumenten befragt:

1. KIM-Fragebogen (29) zur intrinsischen Motivation
2. Bogen zur Einschätzung von Interesse an Naturwissenschaften

Hierbei ist die Absicht, Veränderungen in der Motivation und im Interesse an Naturwissenschaften durch den Unterricht im Projekt zu erfassen.

#### 1. Wie motivierend ist der Unterricht?

Der KIM-Fragebogen ist deshalb gut geeignet, weil er in kurzer Zeit ausgefüllt werden kann („Kurzskaala“ zur intrinsischen Motivation). Dadurch lassen sich in kurzer Zeit Ergebnisse gewinnen, die einen recht guten Eindruck in die Wirkung des Unterrichts

auf die Schüler\*innen ermöglichen. Er hat vier Fragekomplexe, die an die Motivationstheorie von Deci und Ryan anbinden:

1. Autonomie
2. Soziale Eingebundenheit
3. Kompetenzerleben

Diese drei Bereiche werden durch einen weiteren zur empfundenen Anspannung ergänzt.

Wir erhielten bisher aus 4 Lerngruppen insgesamt 67 Fragebögen zurück, Mädchen und Jungen waren im ausgeglichenen Verhältnis, das Alter lag zwischen 14 und 19 mit einem Schwerpunkt bei 15 Jahren (vgl. Abbildung 11).

Das Ergebnis zeigt ein eindeutiges Bild (Abbildung 12). Die Schüler\*innen konnten ihre Zustimmung zu den einzelnen Items auf einer Skala von 1 bis 5 ankreuzen, wobei 5 eine hohe Zustimmung und 1 keine Zustimmung markierten. Zu

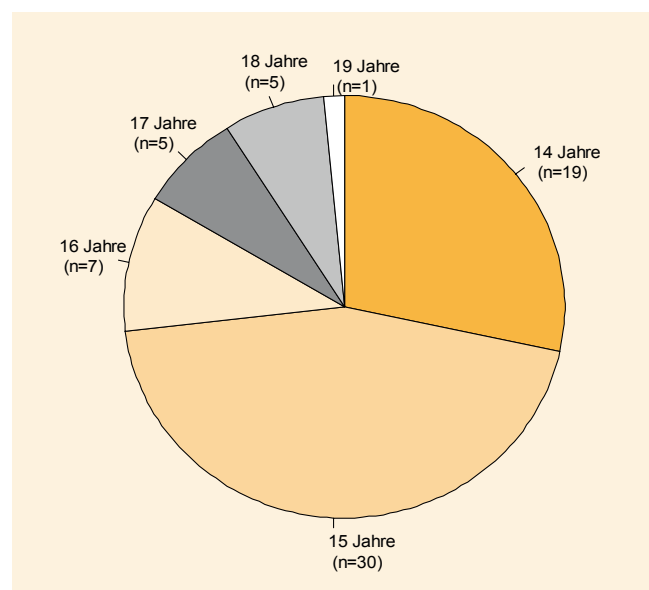


Abbildung 11: Altersverteilung der befragten Schüler\*innen der KIM-Studie

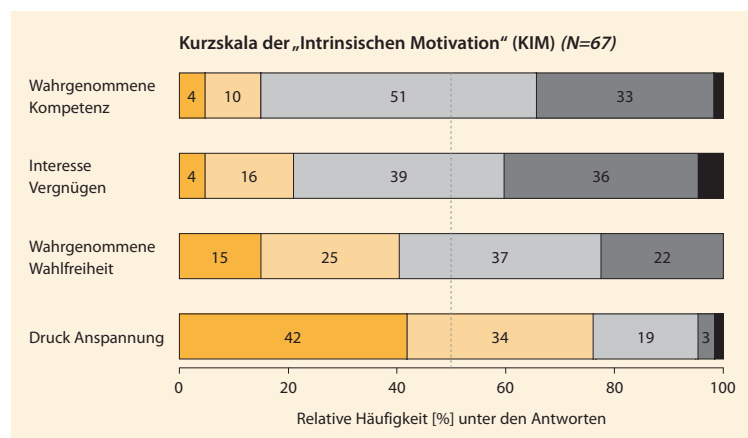


Abbildung 12: Kurzskaala der intrinsischen Motivation

Erläuterung von Abbildung 12: Verteilung der einzelnen Skalenwerte für die Skalen der Kurzskaala der intrinsischen Motivation. Die einzelnen Skalen sind links benannt. Die gesamte Länge der einzelnen Balken entspricht 100% der Stichprobe (N=67). Die Länge der einzelnen Teilabschnitte repräsentiert die relative Häufigkeit des Vorkommens der einzelnen Skalenbereiche in der Stichprobe. Die Farben stehen jeweils für einen Skalenbereich. Orange: 1-2; Hellorange: 2-3; Hellgrau: 3-4; Dunkelgrau: 4-5; Schwarz: fehlende Werte.

den vier Fragebereichen waren jeweils drei Antwortmöglichkeiten (Items) anzukreuzen, die dann zu einer Skala zusammengefasst wurden. Die Abbildung zeigt, dass bei den Skalen für Kompetenzerleben und Spaß eine durchweg hohe Zustimmung festzustellen ist, und eine durchgehende Ablehnung bei der Überforderung (Druck, Anspannung). Die Schüler\*innen sind also durchweg gut motiviert, am Unterricht teilzunehmen. Eine etwas geringere Zustimmung gab es bei der Wahlfreiheit, was sicher mit der engeren Führung des Unterrichts im Fach Chemie zusammenhängt, der in einem engen Zeitkorsett eine anspruchsvolle Stoffmenge zu bewältigen hatte. Den Schüler\*innen fiel das auf, auch wenn sie eine hohe Zustimmung zum Unterricht insgesamt zeigten.

## 2. Kann der Unterricht die Überzeugung zu Naturwissenschaften vergrößern?

Die Antworten aus prä/post-Befragungen lagen von 48 Schüler\*innen vor. Die Daten wurden mit dem Programm „R“ (30) ausgewertet. Die verwendeten Fragebögen fragen nach dem aktuellen Interesse an Naturwissenschaften, nach Beschäftigung mit den Naturwissenschaften auch im Freizeitverhalten sowie dem Berufswunsch.

Die befragten Schüler\*innen weisen im Wesentlichen in den Skalen zum Sachinteresse „Naturwissenschaften“ und „Experimentieren“ sowie im Fähigkeitsselbstkonzept Werte oberhalb der Skalenmitte auf. Das Gleiche gilt für die Skalen zur Selbsteinschätzung der Schüler in Bezug auf die „Fähigkeit“ bzw. auf den erlebten Spaß im Unterricht in mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern (alle Mittelwerte zwischen 3,6 und 3,8 auf der Skala von 1-5). Das Experimentieren in der Freizeit war hingegen gering ausgeprägt (M=1.9). Wir können also von einer eher interessierten Schülerschaft ausgehen.

Nach der Unterrichtseinheit waren die Zustimmung zu den Skalen zum „Alltagsbezug“, zur „Verständlichkeit“ und zur „Zusammenarbeit“ deutlich oberhalb des Mittelwertes. Die Schüler bewerteten jedoch die „Herausforderung“ und die „Offenheit“ des Unterrichts tendenziell eher mittelmäßig. Die Interessiertheit hinsichtlich der Inhalte des Unterrichts zum Thema Energiewende beurteilten die befragten Schüler positiv.

### 2.2.6 Zusammenfassung

Das Programm hat sich positiv entwickelt. Die Vorträge und die Eingaben der externen Fachleute wurden als Inspirationsquelle für die Entwicklung von Unterrichtsmaterial angenommen und für die Erstellung und Erprobung von Unterrichtseinheiten genutzt. Die Fertigstellung der Unterrichtsmaterialien hat durch die Verpflichtungen der Lehrkräfte in ihren eigenen Schulen in einigen Fällen etwas länger gedauert als ursprünglich geplant. Dem Leitungsteam ist es gelungen, über die üblichen Anfangshürden der Zusammenarbeit hinwegzuhelfen und die Arbeit zu verstetigen. Dabei sind die großen Zeitabstände der Treffen sicher eine Schwierigkeit; sie kann jedoch durch häufigere Treffen innerhalb der Schulen oder zwischen benachbarten Schulen teilweise umgangen werden.

Die Teilnehmerzahl in den Workshops hat sich bei etwa 40 stabilisiert, wobei zwei junge interessierte Lehrkräfte auf Anfrage einer Teilnehmerin im vierten Workshop dazu kamen. Einige der zunächst anwesenden Lehrkräfte hatten sich vermutlich eine andere Ausrichtung des Programms vorgestellt,

1.19	Ich habe ein Gefühl dafür bekommen, wie Forschung funktioniert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
1.20	Ich habe etwas über die Ziele naturwissenschaftlicher Forschung gelernt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
1.21	Ich habe einen Eindruck über die Bedeutung der Forschung für mein alltägliches Leben bekommen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
1.22	Gib bitte dem Unterricht über die Energiewende eine Schulnote.	1	2	3	4	5	6
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1.23	Was hat dir am Unterricht über die Energiewende am besten gefallen?	Alles, Alles					

Abbildung 13: Kommentar eines Schülers/einer Schülerin

bei anderen gab es Termenschwierigkeiten. Die Zusammenarbeit in den Workshops ist intensiv, und die Kolleginnen und Kollegen heben die gute Unterbringung, die gute Vorbereitung der Workshopleiter und den interessanten Input hervor. Sie fühlen sich dadurch wertgeschätzt.

Auch wenn die ungewohnte Austauschplattform *OneNote* anfangs noch als etwas unhandlich empfunden wurde, arbeiteten die Arbeitsgruppen in allen Fächern ab dem 3. Workshop reibungslos mit der Software.

Die Schüler\*innen, die bisher an den Befragungen teilgenommen haben, zeichnen ein klar positives Bild, das lediglich dadurch etwas eingetrübt wird, dass es bei dem komplexen Thema an einigen Stellen zu wenig Wahlfreiheit gab. Dies ist sicherlich dem knappen Zeitrahmen geschuldet, der die für komplexe Aufgabenstellungen typischen Zeitprobleme generiert. Es bleibt dem Geschick der weiteren Planung überlassen, diese Herausforderung zu meistern und echte Freiräume für Gestaltung und Entscheidungen vorzusehen.

Wie bereits angedeutet, sind diese Entwicklungen typisch für Unterrichtsentwicklungsprogramme und die konstruktive Bewältigung der aufgetretenen Herausforderungen zeigt die gute Arbeit der Projektgruppe sowie der beteiligten Lehrkräfte. Für das begrenzte Zeit- und Finanzbudget wurde hier eine vergleichsweise sehr effektive Arbeit geleistet.

Als Fazit kann ein Ausschnitt eines Bogens einer Schülerin/ eines Schülers dienen (Abbildung 13).

Einer Weiterarbeit sehen die meisten der beteiligten Kolleginnen und Kollegen mit einem guten Enthusiasmus entgegen. Es gibt viele Ideen für neue Themen, die bisher gemachten Erfahrungen haben die Gruppen gut stabilisiert. Die Überwindung der Anfangsschwierigkeiten führte in vielen Gruppen und auch im Projektteam zu einer großen Sicherheit. Gleichwohl ist der Bedarf an zeitlicher Entlastung überall zu spüren. Dies gilt auch für die Projektleitung, die durch eine Freistellung vom Schuldienst deutlich professioneller gestaltet werden kann.

### 2.2.7 Empfehlung

Die zunehmende Ressourcenknappheit, die Klimaveränderung und die damit verbundene Energiewende führen zu einer gesellschaftlichen Veränderung. Damit verbunden sind neue Be-



rufsfelder, die Schüler\*innen gute Berufsperspektiven ermöglichen. Die zunehmende Digitalisierung spielt in diesem Kontext eine bedeutende Rolle.

Aus diesen Gründen ist es notwendig, Lehrkräften durch kontinuierliche Fortbildungen einen darauf abgestimmten Unterricht zu ermöglichen.

Die Ergebnisse des Pilotprojekts zeigen, dass das Programm erfolgsversprechend verläuft. Es ist davon auszugehen, dass die beteiligten Lehrkräfte Aspekte der Energiewende und der Berufsorientierung zukünftig verstärkt in ihren Unterricht integrieren werden. Dabei sollten Lehrkräfte kontinuierlich durch ein regelmäßig stattfindendes Fortbildungsprogramm unterstützt werden. Ansonsten ist davon auszugehen, dass die Energiewende nicht nachhaltig in der Unterrichtsgestaltung einfließen wird.

Es ist zu empfehlen, das Workshopprogramm zu verstetigen und eine entsprechende personelle Ausstattung dauerhaft einzurichten.

### Optionale Verlängerung des Pilotprojekts um ein Schuljahr

Gemäß eines Erlasses des Hessischen Kultusministeriums hatten die zwölf teilnehmenden südhessischen Schulen die Möglichkeit, ihre Mitarbeit im Projekt durch ein Votum der Gesamtkonferenz um ein Schuljahr zu verlängern.

Bis auf die Schulleitung des Alten Kurfürstlichen Gymnasium Bensheim entschieden sich die Schulleitungen von elf Schulen weiter an dem Projekt teilzunehmen, wobei die Schulleitung von zwei Schulen (Lichtenbergschule Darmstadt, Eleonorenschule Darmstadt) aufgrund des bereits 2016 gefassten Mehrheitsbeschlusses eine weitere Abstimmung in ihren Gesamtkonferenzen ablehnten und die Schulleitung einer dritten Schule (Friedrich-Ebertschule Pfungstadt) erst nach Ablauf der vom Kultusministerium gesetzten Frist ihre Zustimmung an einer weiteren Teilnahme an die Projektleitung weiterreichte.

Das erneute positive Votum von elf der zwölf teilnehmenden Schulen belegt, dass das Workshopprogramm als sinnvoll erachtet und eine kontinuierliche Weiterarbeit von den Schulen gewünscht wird.

Nach Abwägung der fristgemäß zur Verfügung stehenden Personalressourcen von acht Lehrerstunden beschloss das Projektleitungsteam, das Stundenkontingent nicht wahrzunehmen und das Pilotprojekt ohne die Verlängerungsoption abzuschließen. Nach Einschätzung des Projektleitungsteams hätte das Stundenkontingent bei weitem nicht ausgereicht, um Mittel für die Fortbildungen einzuwerben und das Fortbildungsformat in Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen auszubauen. Die Erwartungshaltung der teilnehmenden Schulen an weitere Fortbildungsveranstaltungen in Mathematik, Informatik, Chemie und Physik wären mit den zur Verfügung stehenden Personalressourcen nicht zu erfüllen.

## 2.3 (Digitale) Verbreitung der Unterrichtseinheiten

Für die digitale Verbreitung stehen die Unterrichtseinheiten auf dem Portal [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) zum Download zur Verfügung. Dafür wurde ein Webformular zur Registrierung eingerichtet (Abbildung 14). Eine Registrierung wurde integriert, um einen

The image shows a web browser window with the URL [z-f-c.de/anforderung-unterrichtsmaterial](http://z-f-c.de/anforderung-unterrichtsmaterial). The page header includes 'Zentrum für Chemie' and navigation links like 'News', 'Über uns', 'Projekte', 'Anmeldung', 'Presse', and 'Kontakt'. The main heading reads 'Fordern Sie jetzt unsere Unterrichtsmaterialien zum Download an.' Below this is a registration form with the following fields: 'Name \*', 'Vorname \*', 'Institution \*', 'Funktion \*', 'Fächer', 'Verwendungszweck \*', and 'Downloadmaterial'. The 'Downloadmaterial' dropdown menu is set to 'Chemie: Energiewende CO2 OLED'. There is a small privacy notice checkbox and a 'Download anfordern' button at the bottom of the form.

Abbildung 14: Webformular zum Download von Unterrichtsmaterialien

Austausch mit den Lehrkräften zu ermöglichen, die die Unterrichtseinheiten herunterladen.

Darüber hinaus sollen in den kommenden Jahren Präsenzschulungen durchgeführt werden.

## 2.4 Workshops für Schüler\*innen – außerschulische Lernorte

Im Förderzeitraum wurden in Kooperation mit der TU Darmstadt, der Hochschule Rhein-Main, der Goethe-Universität Frankfurt sowie den Unternehmen Merck, GGEW und BRAIN zu den Themenbereichen Biotechnologie, Elektromobilität-Brennstoffzellen, Organische Elektronik und Materialwissenschaft insgesamt neun berufsorientierende einwöchige Workshops, die so genannten Erfinderlabore durchgeführt.

Aus knapp 700 Bewerber\*innen mit herausragenden Schulleistungen aus 100 hessischen Schulen sowie den Auslandsschulen Deutsche Schule Seoul und Deutsche Schule New Delhi wurden 77 Schülerinnen und 77 Schüler ausgewählt.

Sie beschäftigten sich praktisch in den genannten Hochschulen und Unternehmen in Teams, bestehend aus jeweils zwei Schülerinnen und zwei Schülern und betreut von Wissenschaftlern, eine Woche lang mit ressourceneffizienten Technologien. Bei allen Workshops wurden zum Abschluss in einem feierlichen Rahmen vor 100 bis 200 geladenen Gästen aus Schule, Hochschule, Politik und Wirtschaft die Ergebnisse präsentiert und Podiumsrunden mit Experten zur Berufsorientierung und zur Energiewende durchgeführt. In neun Veranstaltungen wurden damit knapp 1500 Personen erreicht. Darüber hinaus konnten sich die Gäste an Ständen zu Berufsoptionen im Themenumfeld „Energiewende und Ressourceneffizienz“ informieren. Die Veranstaltungen wurden in Pressemitteilungen und Filmen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht (vgl. Kapitel „Dissemination“, Anhang)

Im Projektantrag wurde keine Erfinderlabore zur Biotechnologie beantragt. Deshalb werden im vorliegenden Bericht ausschließlich die Ergebnisse der sechs Workshops zu den Themenbereichen *Elektromobilität-Brennstoffzellen*, *Organische Elektronik* und *Materialwissenschaft* vorgestellt. Berichte zu den Erfinderlaboren in der Biotechnologie stehen auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de), sowie den Kanälen des ZFC auf facebook und youtube zur Verfügung.

### 2.4.1 Erfinderlabore „Elektromobilität-Brennstoffzellen“ (2017-2019)

Bei den drei Erfinderlaboren zum Themenkomplex *Elektromobilität-Brennstoffzellen* sollten die Teilnehmer\*innen ein Fahrzeug bauen, das mit einer Brennstoffzelle betrieben wird. 2017 musste ein Auto, 2018 ein Boot und ein 2019 ein Lastenfahrzeug konstruiert werden.

Impressionen von den Veranstaltungen sind in Abbildung 15 zusammengestellt.

Exemplarisch soll die von Mitarbeitern der Hochschule Rhein-Main (Fachbereich Ingenieurwissenschaften) im Januar 2017 gestellte Aufgabe vorgestellt werden:

#### Entwickle dein eigenes Brennstoffzellenauto

*Die Elektromobilität als Hoffnungsträger der Energiewende, weg von den fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien, braucht funktionierende Konzepte, insbesondere im Hinblick auf Energiespeicherung. Alternative Fahrzeuge mit Elektroantrieb benötigen diese Energiespeicher in hinreichender Kapazität, um die Anforderungen des persönlichen Individualverkehrs hinsichtlich Reichweite und Unabhängigkeit von vorhandener und zukünftiger Ladeinfrastruktur zu erreichen.*

*Regenerativ erzeugter Wasserstoff ist mit seiner hohen gravimetrischen Speicherdichte von 33,33 kWh/kg eine hervorragende Alternative zu konventionellen Lithium-Polymer-Akkumulatoren, welche nur maximale Speicherdichten von 200 Wh/kg erreichen. Aktuell ist es nur mit Wasserstoff möglich, die vom Verbraucher geforderten hohen Reichweiten bereit zu stellen.*

*Ziel des Erfinderlabors 2017 ist es, ein Fahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb aus verschiedenen, vorgegebenen Mitteln und Materialien zu konstruieren. Zur Verfügung steht neben der oben genannten Brennstoffzelle und einer Antriebseinheit eine große Auswahl an Materialien, angefangen von eher exotischen Dingen wie Klebeband, Trinkhalme und Verpackungsflips bis zu den klassischen Konstruktionsmaterialien wie Holz, Plastik und Draht. Um eine Aussage über die Leistungsfähigkeit des späteren Fahrzeugs treffen zu können, muss der Leistungsbe- reich der Brennstoffzelle vor Beginn der Konstruktion durch geeignete Verfahren vermessen, sowie der Wasserstoffverbrauch und der Wirkungsgrad bestimmt werden.*

*Zu den Entwicklungsaufgaben gehört neben der Erstellung eines geeigneten Rahmens, eine Möglichkeit zur Wasserstoffspeicherung, der Gasanschluss an die Brennstoffzelle und die elektrische Kontaktierung von Brennstoffzelle und Antrieb.*

*Herausfordernd ist die Konstruktion für die Wasserstoffspeicherung, da sie die eigentliche Kapazität und damit Betriebsdauer und Reichweite des Fahrzeuges vorgibt. Außerdem muss man sich mit den verschiedenen Eigenschaften von Wasserstoff, wie Flüchtigkeit und Permeabilität, auseinandersetzen, um ein Speicherkonzept zu entwickeln, welches größtmögliches Volumen bei geringem Gewicht und hoher Sicherheit miteinander vereint.*

*Zum Abschluss des Erfinderlabors sollen die eigenständig geplanten und gebauten Brennstoffzellenfahrzeuge der verschiedenen Gruppen in einem kleinen Wettbewerb gegen die Uhr und/oder gegeneinander hinsichtlich Reichweite, Geschwindigkeit, Design und Originalität antreten.*

Bei den Abschlussveranstaltungen fanden im Vorfeld der Präsentation der Teilnehmer\*innen Podiumsrunden mit Experten statt, um Schüler\*innen, Eltern und Lehrkräfte unter den Gästen über Studien- und Berufsoptionen im Umfeld der Energiewende zu informieren. Exemplarisch sollen an dieser Stelle die von zukünftigen Abiturienten gestellten Fragen an Prof. Dr. Birgit Scheppat (Hochschule RheinMain, H2BZ-Initiative), Dr. Karsten McGovern (Leiter des hessischen Landesenergieagentur) und den Unternehmer Christian Winzenhöler (Omnibusbetrieb Winzenhöler GmbH & Co. KG) aufgeführt werden.

Prof. Dr. Birgit Scheppat:

- Was hat Sie an Wasserstoff so sehr interessiert und was war nötig, um Wasserstoffexpertin zu werden?
- Als Abiturientin hört man oft „nach dem Abi gehst du dann auf eine Hochschule oder Universität“. Vielleicht können Sie uns kurz den genauen Unterschied erläutern und ihren Tagesablauf als Professorin kurz beschreiben.
- Wenn man Ihnen jetzt aufmerksam zugehört hat, und sich für ein Studium interessiert. Welche verschiedenen Möglichkeiten hat man an der Hochschule RheinMain und wo informiert und bewirbt man sich darüber am besten?

Dr. Karsten McGovern:

- Welchen Weg haben Sie eingeschlagen, um Leiter der Landesenergieagentur zu werden?
  - Welche Kenntnisse muss man mitbringen?
  - Welche Herausforderungen stellen sich Ihnen an einem typischen Arbeitstag?
  - Kann man in der Landesenergieagentur ausgebildet werden?
- Christian Winzenhöler:
- Was bewegt einen Omnibusunternehmer dazu, eine so große Investition in Wasserstoffbusse zu tätigen?
  - Welche sind die wichtigsten drei Fähigkeiten, die man mitbringen muss, um ein Busunternehmen leiten zu können?

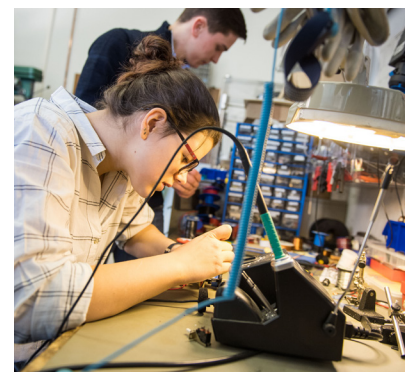
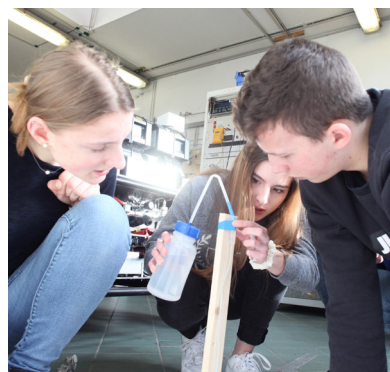


Abbildung 15: Erfinderlabore „Elektromobilität-Brennstoffzellen“ (2017-2019) – Impressionen

### 2.4.2 Erfinderlabore „Organische Elektronik“ (2017, 2018)

Diese beiden Erfinderlabore fanden im Fachbereich *Makromolekulare Chemie* der TU Darmstadt statt. Zwei Arbeitsgruppen beschäftigten sich mit der OLED (*Organic Light Emitting Diode*), zwei Arbeitsgruppen mit der OPV (*Organic Photovoltaic*). Folgende Arbeitsaufträge wurden umgesetzt:

#### ARBEITSGRUPPEN 1 und 2: Organische Leuchtdiode

Machen Sie sich zunächst mit dem Aufbau einer OLED mit Hilfe der im OLED-Koffer vorhandenen Materialien vertraut. Bauen und untersuchen Sie anschließend eine OLED. Nehmen Sie dabei eine Strom-Spannungs-Kurve auf und bewerten Sie das Leuchten. Synthetisieren Sie anschließend ein Emittiermaterial und machen Sie sich mit den dabei ablaufenden Reaktionsschritten vertraut. Untersuchen Sie das synthetisierte Polymer in einer OLED. Machen Sie sich in Ihrer Gruppe Gedanken, welche Faktoren variiert werden können und wie sich diese Veränderungen auf die Funktionsweise der OLED auswirken könnten. Vergleichen und bewerten Sie anschließend die Ergebnisse.

#### ARBEITSGRUPPEN 3 und 4: Organische Photovoltaikzelle

Machen Sie sich zunächst mit dem Aufbau einer OPV mit Hilfe der im OLED-Koffer vorhandenen OPV-Materialien vertraut. Bauen und untersuchen Sie anschließend eine Solarzelle mit Hilfe der vorhandenen Utensilien. Nehmen Sie dabei eine Strom-Spannungs-Kurve auf. Synthetisieren Sie anschließend ein Absorbermaterial und machen Sie sich mit den dabei ablaufenden Reaktionsschritten vertraut. Untersuchen Sie das synthetisierte Polymer in einer OPV. Machen Sie sich in Ihrer Gruppe Gedanken, welche Faktoren variiert werden können und wie sich diese Veränderungen auf die Funktionsweise der OPV auswirken könnten. Vergleichen und bewerten Sie anschließend die Ergebnisse.

Bei der Abschlussveranstaltung beantworteten Prof. Dr. Mathias Rehahn (bis 2019 Vizepräsident der TU Darmstadt), Dr. Katja Maria Scheible und Lena Emich (beide Merck) in einer Podiumsrunde Fragen zu Berufs- und Studienoptionen im Umfeld der Organischen Elektronik.

Impressionen von den Veranstaltungen sind in Abbildung 16 zusammengestellt.



Abbildung 16: Erfinderlabore „Organische Elektronik“ (2017, 2018) – Impressionen

### 2.4.3 Erfinderlabor „Neue Hochleistungsmaterialien für die Zukunft“ (2019)

Dieses Erfinderlabor fand im März 2019 im Fachbereich *Materialwissenschaft* der TU Darmstadt statt. Drei der vier Arbeitsgruppen beschäftigten sich mit der Energiewende. Folgende Arbeitsaufträge wurden von den Teilnehmer\*innen umgesetzt:

#### ARBEITSGRUPPE 2:

##### Materialien für Feststoffbatterien

Stellen Sie an Tag 1 zunächst  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  mittels Festkörpersynthese sowie mittels Sprühpyrolyse her. Charakterisieren sie beide Synthese-Produkte mithilfe der Röntgenbeugung. Stellen Sie am nächsten Tag Batteriekomposite aus den dargestellten Verbindungen durch Verreiben mit dem Festelektrolyt  $\text{La}_{0.9}\text{Ba}_{0.1}\text{F}_{2.9}$  und Leitkohlenstoff her. Pressen sie diese Komposite mit bereitgestellten Verbindungen zu Batteriezellen und charakterisieren Sie diese bezüglich einigen wenigen Lade- und Entladezyklen im entsprechenden Batteriesetup. An Tag 3 wird von den zu untersuchenden Materialien ein Impedanzspektrum aufgenommen und ausgewertet.

#### ARBEITSGRUPPE 3:

##### Edelmetallfreie Brennstoffzellen-Katalysatoren

Im Rahmen des Erfinderlabors wird zunächst ein Fe-N-C Katalysator ausgehend von einem Eisenporphyrin selbst synthetisiert. Im Porphyrin ist die Vierfachkoordination des Eisens durch Stickstoff gegeben. Somit ist die Struktur sehr ähnlich zu der des Aktivzentrums des Hämoglobins. Anschließend wird der so hergestellte Katalysator zu einer funktionsfähigen Membran-Elektroden-Einheit (MEA) verarbeitet. Die MEA besteht aus dem Anodenkatalysator, dem selbst hergestellten Kathodenkatalysator (Fe-N-C) und der Membran (Nafion™). Zuletzt soll dieser dem Hämoglobin nachempfundene Katalysator in der Brennstoffzelle mit einem

kommerziellen Platin Katalysator und einem in der Arbeitsgruppe „Katalysatoren und Elektrokatalysatoren“ der TU Darmstadt optimierten Fe-N-C Katalysator verglichen werden. Dazu werden die typischen Brennstoffzellen-Kennlinien aufgenommen.

#### ARBEITSGRUPPE 4:

##### Perowskit-Solarzellen

In dieser Arbeitsgruppe sollen Perowskit-Solarzellen gebaut und mit Hilfe eines Solarsimulators charakterisiert werden. Hierfür werden Mischperowskite verwendet, die vier Kationen:  $\text{Cs}^+$  (Caesium),  $\text{Rb}^+$  (Rubidium), Methylammonium ( $\text{MA}^+$ ) und Formamidinium ( $\text{FA}^+$ ) sowie zwei Anionen,  $\text{I}^-$  (Iodid) und  $\text{Br}^-$  (Bromid) beinhalten. Als weitere Komponente beinhalten die verwendeten Perowskite Blei ( $\text{Pb}^{2+}$ ). Die Rotationsbeschichtung (Eng.: spin-coating) als Hauptdepositions-methode wird für die Herstellung der elektronenleitenden mesoporösen Titanoxidschicht ( $m\text{-TiO}_2$ ), der Perowskitschicht und für den Lochleiter, spiro-MeOTAD, verwendet. Die kompakte Titanoxidschicht  $15\text{-TiO}_2$  wird mittels Spraypyrolyse hergestellt und das Gold wird gesputtert. An diesen hocheffizienten Solarzellen wird die Arbeitsgruppe eine Vielzahl von Grundlagenforschungsexperimenten durchführen, wie zum Beispiel das Tapered-Cross-Section XPS-Experiment, bei dem die Bandstruktur des gesamten Bauteils aufgestellt werden kann, um die genaue Funktionsweise der Solarzelle physikalisch erklären zu können.

Im Vorfeld der Präsentationen stellten Schüler\*innen des Goethe-Gymnasiums Bensheim in zwei Podiumsrunden Fragen zur Berufsorientierung, zum dualen Studium, zur OLED-Technologie und zur Energiewende an Dr. Martina Hüber, Melanie Jung, Dr. Thomas Eberle (Merck), Jun. Prof. Dr. Ulrike Kramm (TU Darmstadt) und Sebastian Hummel (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Energie und Wohnen).

Impressionen von der Veranstaltung sind in Abbildung 17 zusammengestellt.



Abbildung 17: Erfinderlabor „Neue Hochleistungsmaterialien für die Zukunft“ (2019) – Impressionen

#### 2.4.4 Erfinderlabore: Stimmen von Teilnehmer\*innen

Nach Abschluss der Erfinderlabore werden die Teilnehmer\*innen um ein Feedback zur Veranstaltungswoche gebeten. Das Feedback ist bis auf wenige Ausnahmen sehr positiv. Im Folgenden sind Stimmen einiger Teilnehmer\*innen aufgeführt.

##### Erfinderlabore „Elektromobilität-Brennstoffzellen“ (2017-2019)

**2017:** „Neben den interessanten Vorträgen bei der GGEW AG war für mich die Forschung an der Hochschule in nächster Nähe zu kooperativem Fachpersonal ein echter Höhepunkt“ so Florian Jordan aus Bad Hersfeld. „Das Erfindelabor hat mir die Möglichkeit gegeben, Einblicke in die Laborforschung zu nehmen, wie es in der Schule nur schwer möglich ist“, bilanziert Torsten Föhr aus Geisenheim. Und Helena Dörner aus Bensheim nimmt vor allem die wertvolle Erfahrung mit, durch die Teamarbeit ein komplett eigenes wissenschaftliches Projekt auf die Beine gestellt zu haben.

**2018:** „Gerade das praktische Arbeiten und eigenständige Forschen, das man in der Schule in dieser Tiefe nicht erlebt, haben mir besonders Spaß gemacht“, meint Mark Baaske vom Burggymnasium Friedberg. Emma Mehl von der Anna-Schmidt Schule in Frankfurt war mit einer völlig anderen Vorstellung ange-reist: „Dass wir die Möglichkeit hatten, so viel selbstständig zu arbeiten, hatte ich nicht erwartet.“ Für Jonas Galka vom Georg-Büchner-Gymnasium in Bad Vilbel war es besonders interessant, mit Wissenschaftlern in Kontakt zu kommen, die an zukunftsorientierten Themen forschen. „Auch deshalb, weil ich später selbst in der Forschung tätig werden möchte.“

**2019:** „Das Erfindelabor hat neue Horizonte eröffnet und mir gezeigt, inwieweit emissionsfreie und nachhaltige Brennstoffzellen eine Alternative zu Verbrennungsmotoren und auch zu Elektrofahrzeugen darstellen“, so Pia Wild von der Modellschule Obersberg in Bad Hersfeld. Für Natalie Voss (Rheingauschule Geisenheim) war die Woche „eine tolle Erfahrung, da neben dem eigenständigen Forschen auch eine kreative Herangehensweise nötig war.“ Die elektrisierende Arbeitsatmosphäre habe alle zum Zusammenarbeiten motiviert. „Und neben dem selbstständigen Problemlösen kam auch der Spaß nicht zu kurz.“ Der Bensheimer Schüler Lars Blümmler von der Geschwister-Scholl-Schule bilanziert. „Es war faszinierend, das Konzept der Brennstoffzelle praktisch umzusetzen. Dadurch konnte ich einen wirklich interessanten Zugang zu dieser Technologie erhalten und ein Projekt von den Einzelteilen bis zum Ergebnis zu entwickeln.“

##### Erfinderlabore „Organische Elektronik“ (2017, 2018)

**2017:** „Das war eine komplett neue Erfahrung für mich, die auch mein Interesse an diesem Themengebiet geweckt hat“, so Maximilian Kopp vom Starkenburg-Gymnasium in Heppenheim. „Der Dialog mit den anderen motivierten Jungforschern, Doktoranten und Professoren hat meinen Horizont positiv erweitert“, bilanziert Aaron Steinheimer von der Rheingauschule in Geisenheim. Gwendolin Fuchs (Altes Kurfürstliches Gymnasium Bensheim) gefiel „die Freiheit im Labor und dass wir selbst

unsere Verbesserungsvorschläge durch freies Experimentieren umsetzen durften“.

**2018:** „Ich wäre gerne länger geblieben, da für intensives Forschen eine Woche recht knapp ist“, meint Dorian Feisel von der Edertalschule in Frankenberg. „Jetzt sieht man viele technische Geräte mit anderen Augen“, kommentiert Nora Gieß von der Gesamtschule Gießen-Ost. „Die Zeit ging wie im Flug vorbei“, so Johannes Leistner vom Privatgymnasium Dr. Richter in Kelkheim. Auch Larissa Lichau (Oberstufengymnasium Eschwege) bilanziert eine Woche mit vielen Erfolgserlebnissen: „Es war faszinierend, dass unsere OLED am Ende tatsächlich geleuchtet hat.“

##### Erfinderlabor „Neue Hochleistungsmaterialien für die Zukunft“ (2019)

**2019:** „Eine tolle Möglichkeit, sich mit komplizierten Themen auseinanderzusetzen, die über den normalen Schulunterricht hinausgehen“, meinte Marvin Ahlborn vom Landgraf-Ludwigs-Gymnasium in Gießen. „Beim Arbeiten in der Gruppe haben der Spaß und die lockere Arbeitsatmosphäre jegliche Anstrengung und zeitliche Enge verdrängt“, bilanziert Laura Bradschelt von der Edertalschule in Frankenberg. Und Celine Gerspach bedankte sich für die Chance, ihr Wissen aus dem Unterricht praktisch anwenden und vertiefen zu können.

## 2.5 Dissemination

Durch eine umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit sollen Schulen motiviert werden, die Energiewende nachhaltig in den MINT-Unterricht zu integrieren.

Deshalb wurden zu den vom ZFC durchgeführten Veranstaltungen (Workshopreihe für Lehrkräfte, Workshops für Schüler\*innen, Vorstellung der Zwischenergebnisse, Abschlussveranstaltung) Pressemitteilungen und Filme erstellt, die Webpräsenz (neue Homepage des ZFC, Umsetzung eines Facebook-Auftritts, Beiträge zur Energiewende auf dem YouTube-Kanal des ZFC) ausgebaut und das Projekt bei Messen und MINT-Fachtagungen vorgestellt.

Im Folgenden werden die einzelnen Aktivitäten kurz dargestellt. Die vom ZFC organisierten Veranstaltungen sind durch Auszüge der Medienmitteilungen beschrieben. Die vollständigen Medienmitteilungen befinden sich im Anhang.

### 2.5.1 Workshopreihe für Lehrkräfte

- 05./06.10. 2016: Workshop I (s. Anhang)

#### Praxisnaher Unterricht – Bildung für morgen

Initiative Schule 3.0 startet mit ersten MINT-Workshops in die Praxis / Schon 13 Schulen machen mit

**Bensheim.** Nach drei Jahren intensiver Vorbereitungszeit ist die Initiative Schule 3.0 in ihre konkrete Praxisphase gestartet. Bis Ende 2018 werden vier aufeinander aufbauende Workshops in vier verschiedenen MINT-Fächern durchgeführt. 13 Schulen machen in einem Pilotprojekt mit. Über 50 Lehrer aus den angeschlossenen Netzwerkschulen trafen sich jetzt zur Kick-off-Veranstaltung in Bensheim.

...

- 22./23.02.2017: Workshop II. Keine Pressemitteilung. Erstellung eines Films (vgl. z-f-c.de, <https://www.youtube.com/channel/UCOpS-L6ZL9Vq9hHO44hKdLA>)
- 30./31.08.2017: Workshop III (s. Anhang) Erstellung eines Films (vgl. [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de); <https://www.youtube.com/channel/UCOpS-L6ZL9Vq9hHO44hKdLA>).

#### Herausforderung Energiewende: Ohne MINT geht es nicht

*Dritter Workshop der Initiative Schule 3.0 in Darmstadt betont berufliche Qualifikation / 50 Teilnehmer aus 13 hessischen Schulen*

**Darmstadt.** „Die Energiewende ist eine Ressourcenwende“, betonte Dr. Justus Brans beim dritten Workshop der Initiative Schule 3.0 in Darmstadt. Der Experte aus dem Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung prophezeit eine strukturelle Revolution mit globalen Auswirkungen. Die Energieversorgung müsse komplett neu gedacht werden.

...

- 23./24.01.2018: Workshop IV (s. Anhang)

#### Schule 3.0: Innovative Lernmodule sind bereits im Einsatz

*Vierter Workshop der Initiative Schule 3.0 in Bensheim abgeschlossen / Wunsch nach Fortführung des Projekts / 50 Teilnehmer aus 13 hessischen Schulen*

**Bensheim.** „Gute Ideen bleiben auf der Strecke, wenn sie nicht fortgesetzt werden“, so Richard Thürauf vom Alten Kurfürstlichen Gymnasium in Bensheim. Der Leiter des mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachbereichs repräsentiert eine von 13 Netzwerkschulen, die an dem Projekt „Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht“ teilgenommen haben. Der vierte Workshop der Reihe ging jetzt in Bensheim ins Finale.

...

## 2.5.2 Workshops für Schüler\*innen

- 16.01. bis 20.01.2017: Erfinderlabor *Elektromobilität-Brennstoffzellen* (s. Anhang)

#### Elektromobilität: Kluge Köpfe denken in die Zukunft

*21. Erfinderlabor: Hessens junge Hochleister forschten in Rüsselsheim und Bensheim  
Kooperation mit Hochschule RheinMain und GGEW AG*

**Bensheim/Rüsselsheim.** Die Experten sind sicher: Elektromobilität wird die Straßen des 21. Jahrhunderts schon bald dominieren. Aber welcher Stromlieferant setzt sich durch: Brennstoffzelle oder Batterie? Wem gehört die Zukunft? Auf jeden Fall den 16 Oberstufenschülern, die jetzt eine Woche lang im Dialog mit Wissenschaft und Wirtschaft wegweisende Technologien erforscht haben. Ihr Fazit: Das Rennen ist offen!

...

- 07.05. bis 12.05.2017: Erfinderlabor *Organische Elektronik* (s. Anhang).

#### Leuchtende Vorbilder: Jungforscher im OLED-Kosmos

*Hessische Top-Schüler forschten in Darmstadt zum Thema Organische Elektronik  
Auf den Spuren einer Zukunftstechnologie*

**Bensheim/Darmstadt.** „Unser starker Wirtschaftsstandort lebt von innovativen Unternehmen. Aber auch von kreativen Köpfen, die neu und anders denken“, so Sebastian Hummel aus dem Hessischen Wirtschaftsministerium. „Im Erfinderlabor treffen sich regelmäßig junge Leute, die unsere Probleme von Morgen lösen können“, sagte der Referent für Schlüsseltechnologien und Ressourceneffizienz beim Finale des Wissenschafts-Workshops, der in der vergangenen Woche in Darmstadt stattgefunden hat.

...

- 29.01. bis 02.02.2018: Erfinderlabor *Elektromobilität-Brennstoffzellen* (s. Anhang)

#### Wasserstoff-Boot in Eigenbau: Herausforderungen clever umschiff

*Hessens Top-Schüler forschten in Rüsselsheim und Bensheim  
Erneut Kooperation mit Hochschule RheinMain und GGEW AG*

**Bensheim/Rüsselsheim.** Eine Strohhalmpackung als Floß, ein Plastikbeutel als Tank, die Schiffsschraube aus einer Getränkedose: Heraus kommt ein Wasserstoffboot mit Brennstoffzellenantrieb. Gebaut von den leistungsstärksten Oberstufenschülern aus ganz Hessen. Entwickelt aus drei wesentlichen Zutaten: wissenschaftlicher Kreativität, geballter Energie und unbändigem Forschergeist.

...

- 16.04. bis 20.04.2018: Erfinderlabor *Organische Elektronik* (s. Anhang)

#### „Stars von Morgen“: Hessens Wissenschafts-Nachwuchs auf dem Sprung in die Zukunft

*Ausgewählte Schüler forschten in Darmstadt zum Thema Organische Elektronik  
Kooperation mit Merck und Technischer Universität*

**Bensheim/Darmstadt.** Was haben Unternehmensgründer Friedrich Jacob Merck und die Teilnehmer des Erfinderlabors gemeinsam? „Leidenschaftliche Neugier“, betonte Prof. Dr. Klaus Griesar im Atrium des Darmstädter Wissenschafts- und Technologieunternehmens. Der Leiter der Abteilung Science Relations war vom Wissensdurst und der Motivation aller 16 Oberstufenschüler begeistert. „Als Erfinder seid ihr für mich die Stars von Morgen.“

...

- 11.02. bis 15.02.2019: Erfinderlabor *Elektromobilität-Brennstoffzellen* (s. Anhang)

#### Hessische Jungforscher als Energieträger der Zukunft

*16 Top-Schüler bauen Brennstoffzellenfahrzeuge  
Kooperation mit Hochschule RheinMain und GGEW AG*

**Bensheim/Rüsselsheim.** „Es lohnt sich immer, in die Energiewende zu investieren. Und in solche kreativen Köpfe sowieso!“ Dr. Karsten McGovern ist Leiter der LandesEnergieAgentur Hessen (LEA) und begeistert vom Forschergeist einer jungen Generation, wie sie von 16 hessischen Top-Schülern beim Erfinderlabor glänzend repräsentiert wurde.

...

- 18.03. bis 22.03.2019: Erfinderlabor *Neue Hochleistungsmaterialien* (s. Anhang)

#### High-tech aus Hessen: Schüler forschen für eine bessere Zukunft

16 Teilnehmer beim Erfinderlabor zum Thema Materialwissenschaft Kooperation mit Merck und Technischer Universität

**Bensheim/Darmstadt.** Jeden Freitag demonstrieren Schüler für eine bessere Zukunft. Am letzten Freitag bewiesen 16 hessische Jungforscher, dass es sich lohnt: Denn eine nachhaltige Energiewende mit einem schnellen Kohleausstieg braucht effiziente neue Technologien, um erneuerbare Ressourcen optimal nutzen zu können. Beim Erfinderlabor des Zentrums für Chemie (ZFC) hat der Nachwuchs an innovativen Hochleistungsmaterialien geforscht und gezeigt, mit welchen Alternativen man Energie schon bald erzeugen und speichern könnte. ...

MINT Zukunft schaffen e.V. durchgeführt. Sie fanden in einem besonderen Rahmen im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt mit Vertretern aus 90 Schulen und im Hessischen Landtag mit Vertretern aus 60 Schulen statt.

- 24.11.2017: Vorstellung der Zwischenergebnisse im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt (s. PM im Anhang) (Abbildung 18)

#### Neue Technologien, limitierte Ressourcen: Schule denkt Zukunft

Initiative „Schule 3.0“ diskutierte mit Experten aus Wirtschaft und Bildung vor Vertretern aus 90 Schulen im Frankfurter Senckenberg-Naturmuseum

**Frankfurt.** Die Weichen für gesellschaftliche, wirtschaftliche und ökologische Veränderungen werden früh gestellt. „Der Faktor Nachhaltigkeit ist entscheidend für die Zukunft unserer Welt“, betont Prof. Dr. Dr. h.c. Volker Mosbrugger. Der Generaldirektor der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung plädierte in Frankfurt dafür, junge Menschen möglichst früh und systematisch auf die zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts vorzubereiten. „Ohne Zukunftstechnologien und Ressourceneffizienz ist eine nachhaltige Gestaltung der Erde nicht möglich“, sagte der international renommierte Wissenschaftler bei einer Veranstaltung der Initiative **Schule 3.0 – Zukunftstechnologien in den Unterricht** vor rund 200 Gästen aus Wirtschaft und Bildung. Aus ganz Hessen waren Schulleitungen und Lehrkräfte aus 90 Schulen der Einladung des **Zentrums für Chemie** und der Arbeitsgeberinitiative **MINT Zukunft schaffen** gefolgt.

### 2.5.3 Öffentliche Veranstaltungen

Im Förderzeitraum stellte das ZFC im Rahmen der Ehrung der hessischen MINT-freundlichen Schulen das Projekt im November 2017 und im November 2018 der Öffentlichkeit vor. Die Veranstaltungen wurden vom ZFC organisiert und gemeinsam mit der bundesweit agierenden Arbeitgeberinitiative



**Abbildung 18:** Vorstellung der Zwischenergebnisse im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt – Impressionen

- 15.11.2018: Abschlussveranstaltung im Hessischen Landtag (s. PM im Anhang) (Abbildung 19)

#### Energiewende in der Schule: „Pioniere“ geehrt

60 hessische Schulen als Vorbilder in Sachen Naturwissenschaften/Technik ausgezeichnet

**Wiesbaden.** Die Energiewende ist bundesweit ein zentrales Vorhaben der nächsten Jahre, „ein wichtiger Mosaikstein bei der Umsetzung der Energiewende ist die Implementierung in den Schulunterricht“, so Alexander Bonde, der Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Er zeichnete 13 Schulen im Rahmen einer Festveranstaltung im hessischen Landtag vor rund 150 Vertretern aus Schule, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft aus. Die Schulen und ihre engagierten Lehrer seien Vorbilder dafür, dass aktuelle umweltpolitische Themen mit gesellschaftlicher Bedeutung in den Fachunterricht eingebaut werden. Bonde: „Den ausgezeichneten Lehrern ist es gelungen, das Thema alltags- und unterrichtsnah aufzubereiten. Sie sind Pioniere für die Integration der Energiewende in den Fachunterricht.“ Weitere 47 Schulen wurden aufgrund ihrer vorbildlichen Schwerpunktsetzung zu naturwissenschaftlich-technischen Fächern und zur Digitalisierung ausgezeichnet.

...

Darüber hinaus präsentierte das ZFC das Projekt in Vorträgen und an Ständen u. a. bei der Didacta 2019 in Köln, bei der Jubiläumsveranstaltung von MINT Zukunft schaffen 2018 im Bundeswirtschaftsministerium und bei den südhessische Nawifachtagen (2017, 2018, 2019) in Darmstadt.

## 2.5.4 Verbreitung im Internet

### Homepage des ZFC

Die Homepage des ZFC [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) wurde 2019 in Layout und Text neugestaltet. Der Themenbereich „Klimaschutz und Energiewende“ ist als Schwerpunktthema der Projekte des ZFC auf der Startseite optisch und im Text deutlich hervorgehoben (Abbildung 20):

*Das Zentrum für Chemie (ZFC) ist ein eingetragener gemeinnütziger Verein. Er führt seit 2004 in Kooperation mit Schulen, Hochschulen, Unternehmen, Verbänden, Stiftungen und Ministerien Projekte durch, um neben der Vermittlung einer Grundkompetenz in den Naturwissenschaften gesellschaftlich relevante Themen wie den Klimaschutz, die Energiewende und die Ressourceneffizienz in den Unterricht der MINT-Fächer Chemie, Physik, Mathematik, Biologie und Informatik zu integrieren und mit klassischen Unterrichtsinhalten zu verzahnen. Damit sollen fachliche Grundlagen für eine Meinungsbildung gelegt, aber auch Perspektiven für neue Berufsfelder vermittelt werden.*

### ZFC auf Facebook

Die Facebookseite des ZFC <https://de-de.facebook.com/ZFC.Bensheim/> wurde 2017 eingerichtet, um über eigene Veranstaltungen zu berichten und bemerkenswerte Artikel aus verschiedenen Medien zur Energiewende zu bündeln. Lehrkräfte und die interessierte Öffentlichkeit sollen sich



Abbildung 19: Abschlussveranstaltung im Hessischen Landtag – Impressionen



auf dieser Seite über Aktuelles im ZFC und den Themenkomplex „Energiewende, Klimaschutz und Ressourceneffizienz“ informieren können (Abbildung 21).

**ZFC auf Youtube**

Auf dem Youtube-Kanal des ZFC <https://www.youtube.com/channel/UCOpS-L6ZL9Vq9hHO44hKdLA/videos> sind Filme zu Projekten des ZFC veröffentlicht. Ein Schwerpunkt ist die Energiewende. Die Filme sind auf der Homepage und auf der Facebookseite des ZFC integriert und können von anderen Nutzern in deren Website eingebunden werden (Abbildung 22).



Abbildung 20: „Klimaschutz und Energiewende“: Schwerpunkt auf der Startseite von [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de)

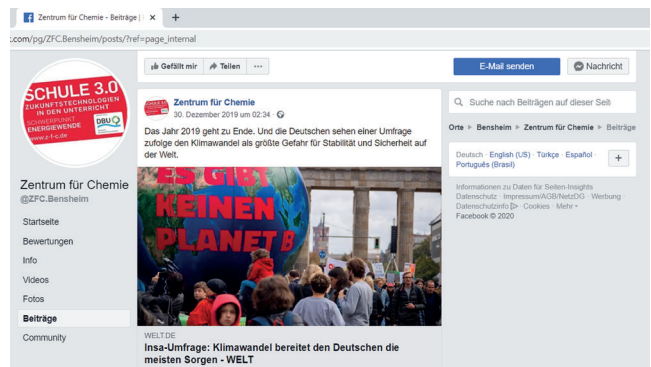
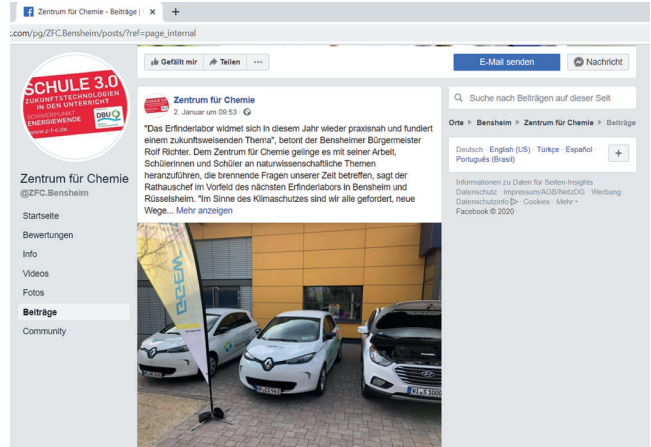


Abbildung 21: ZFC auf Facebook: „Energiewende, Klimaschutz und Ressourceneffizienz“

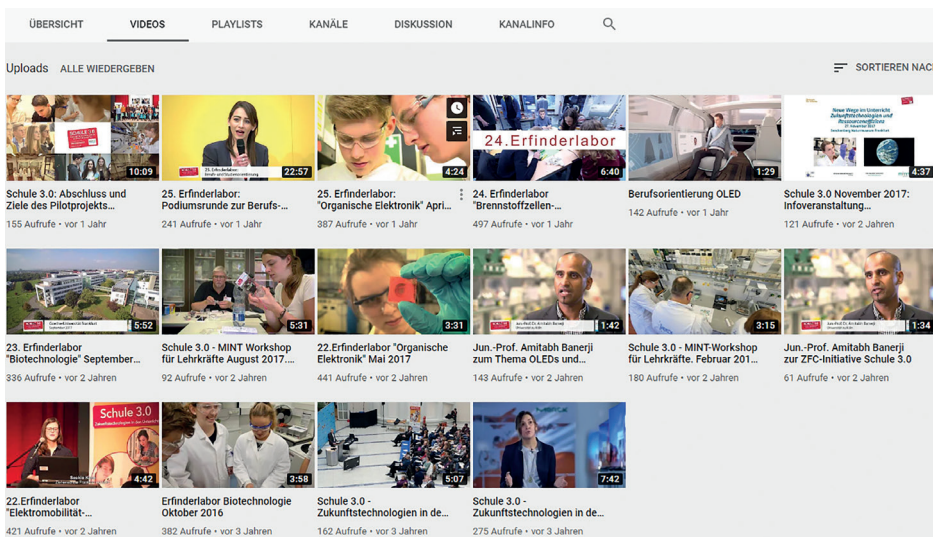


Abbildung 22: ZFC auf youtube: Beiträge zur Energiewende

### 2.5.5 TV-Beiträge im Hessischen Rundfunk und bei RTL

In Fernsehbeiträgen zu den Erfinderlaboren im Hessischen Rundfunk <https://www.hessenschau.de/tv-sendung/hessenschau---ganze-sendung.video-67894.html> (Abbildung 23) und bei RTL <https://www.rtl-hessen.de/beitrag/wiesbaden-hochbegabte-jungforscherin-aus-syrien> (Abbildung 24) wurde der Themenkomplex Energiewende „Brennstoffzellentechnologie“ öffentlichkeitswirksam präsentiert.



Abbildung 23: TV-Beitrag in der Hessenschau (07/2018)



Abbildung 24: TV-Beitrag bei RTL (02/2019)

## Diskussion

In folgendem Kapitel werden die Ergebnisse im Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung diskutiert. Abweichungen von der ursprünglichen Zielsetzung werden berücksichtigt und erörtert.

Zur transparenten Darstellung werden einzelne Textpassagen aus dem Antrag aufgeführt und im Anschluss kommentiert. Die aus dem Antrag entnommenen Textpassagen sind kursiv dargestellt.

**Antrag:** *Zur Integration der Energiewende in den Unterricht sind vier Workshops über jeweils zwei Tage vorgesehen. Sie richten sich an hessische Lehrkräfte der Fächer Chemie, Physik und Informatik/Mathematik und werden von Prof. Banerji, Prof. Gallenbacher und Prof. Scheppat sowie ausgewählten Lehrkräften inhaltlich und fachdidaktisch begleitet. Die für die Projektsteuerung ausgewählten Lehrkräfte bereiten die Workshops inhaltlich und methodisch vor und bereiten die Ergebnisse der einzelnen Veranstaltungen auf. Die Professoren steuern neben fachlichem Know-How auch tragfähige didaktische Konzepte bei. Die Workshops schließen mit einer großen Abschlussveranstaltung ab.*

*Das auf eine Dauer von drei Jahren ausgelegte Projekt beginnt im Sommer des Schuljahres 2016/17 und endet im Sommer des Schuljahres 2018/19.*

*Die Auftaktveranstaltung findet am 5. und 6. Oktober 2016 statt. Es werden Räumlichkeiten des Goethe-Gymnasiums Bensheim, der TU Darmstadt und der Hochschule RheinMain genutzt. Folgender Zeit- und Arbeitsplan ist vorgesehen (Abbildung 25).*

**Umsetzung und Diskussion:** Alle vier Workshops wurden durchgeführt. Auf Nachfrage einzelner Schulleitungen wurden die Workshops von 2 auf 1,5 Tage reduziert. Dadurch mussten die Lehrkräfte in der Regel nur für einen Unterrichtstag ausgeplant werden. Wie beantragt, fanden entsprechend des Zeitplans vier Workshops in Chemie, Physik, Informatik und Mathematik statt. Die Abschlussveranstaltung wurde im November 2018 im hessischen Landtag durchgeführt. Die Verschiebung war auf Grund des bereits im Schuljahr 2017/2018 im Juni endenden zweiten Halbjahres notwendig. Die Workshops wurden von Prof. Dr. Amitabh Banerji (Chemie), Prof. Dr. Birgit Scheppat (Physik), Prof. Dr. Martin Kiehl (Mathematik/Informatik) und Prof. Dr. Martin Lindner (Evaluation) fachlich und didaktisch kontinuierlich begleitet. Prof. Dr. Jens Gallenbacher konnte aus privaten Gründen nicht an den Workshops mitwirken. Für die Projektleitung waren die Lehrkräfte Simeon Blöcher (Physik), Tobias Braumann (Informatik, Mathematik) und Dr. Thomas Schneidermeier (Gesamtleitung, Chemie) verantwortlich.

Zusätzlich zu den geplanten Veranstaltungen fand im November 2017 eine Präsentation der Zwischenergebnisse im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt statt. Die Abschlussveranstaltung bereiten die Projektleitung und zwei Lehrkräfte der Netzwerkschulen im August 2018 vor.

Die Durchführung der Workshops sowie die Veranstaltungen im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt verliefen weitgehend reibungslos. Als herausfordernd erwies das geringe Zeit-

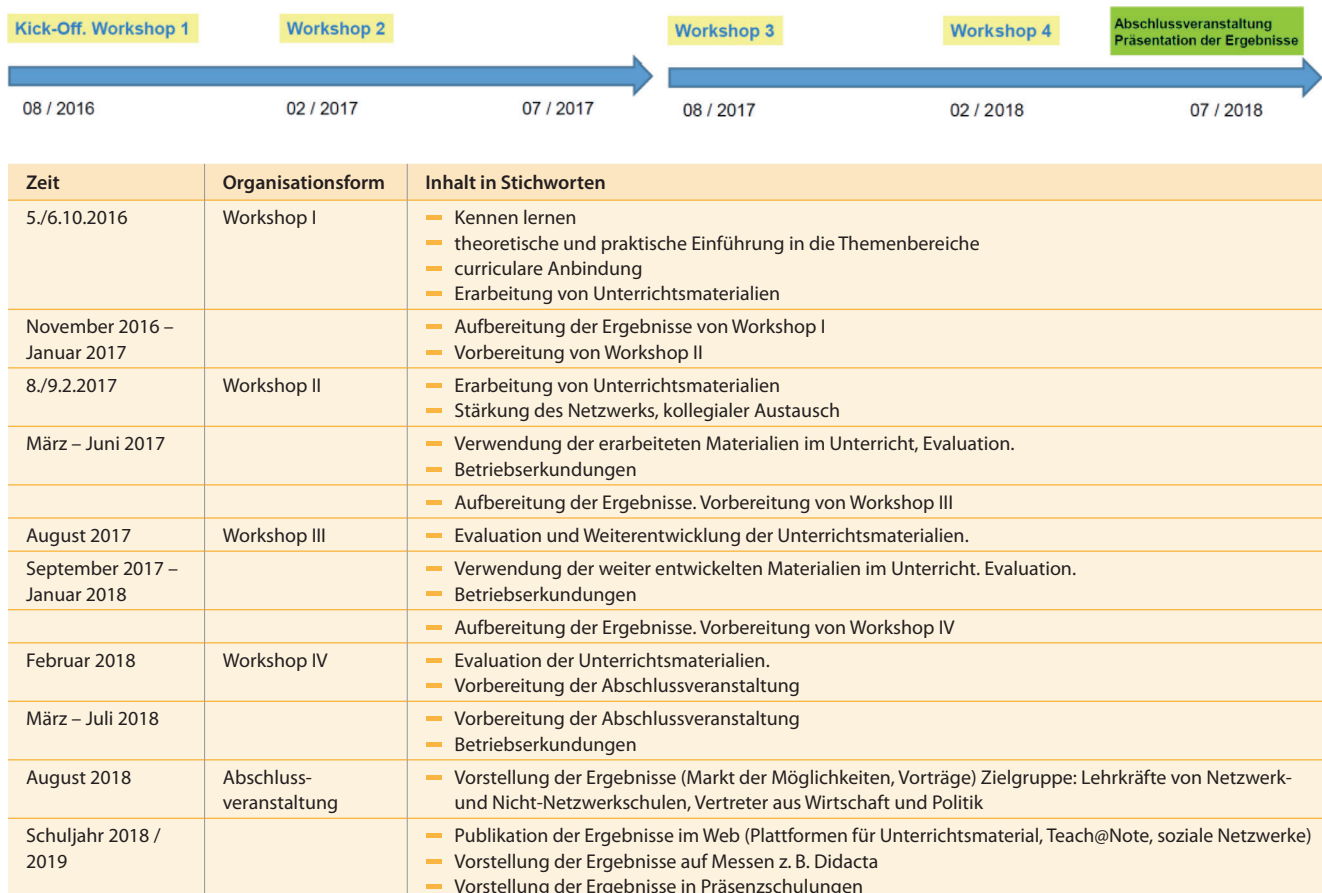


Abbildung 25: Zeit- und Arbeitsplan der Workshopreihe

budget für die Fachprojektleitung mit einem Stellenanteil von jeweils 0,11. Für eine erfolgreiche Projektdurchführung war deshalb ein sehr großes ehrenamtliches Engagement notwendig.

**Antrag:** Es sind folgende Themen vorgesehen (Tabelle 8).

**Umsetzung und Diskussion:** Im Förderzeitraum wurden für Chemie, Physik, Mathematik und Informatik zu jedem der vorgesehenen Themenbereiche eine Unterrichtseinheit erstellt. An Stelle von Prof. Dr. Gallenbacher unterstützte Prof. Dr. Kiehl die Lehrkräfte bei der Erstellung von Einheiten.

**Antrag:** Ziel der Fortbildungsreihe ist die Erstellung von Lernmaterialien, die im Fachunterricht, MINT-Camps, Projekttagen und Arbeitsgemeinschaften genutzt werden können. Die Lernmaterialien sollen fachlich und inhaltlich differenziert<sup>20</sup> sowie themenbezogene Berufsfelder und Studien- bzw. Ausbildungsmöglichkeiten aufzeigen.

In Physik entstand für die Sekundarstufe I die Einheit „Wasserstoff als Energieträger der Zukunft“. Ziel der Unterrichtseinheit ist es, die Notwendigkeit eines regenerativen Energieträgers zu verdeutlichen und eine auf Wasserstoff basierende Infrastruktur kennenzulernen. Dabei sollen die Schüler\*innen die Gewinnung von Wasserstoff und auch die Umwandlung in elektrische Energie anhand von Schülerexperimenten selbst untersuchen. Darauf aufbauend erforschen sie Möglichkeiten zum alltäglichen Einsatz von Wasserstoff als Ersatz eines mobilen Energieträgers sowie als stationäre Pufferspeicher für Überschussenergie aus Wind- oder Solarkraftanlagen („Power to gas“). Damit sollen übergeordnet ein Beitrag für ein naturwissenschaftliches Grundverständnis im Kontext von globalen Herausforderungen wie der Ausstieg aus einer von Erdöl abhängigen Energieversorgung geleistet, aber auch Perspektiven für neue Berufsfelder vermittelt werden.

Das im Antrag formulierte Thema wurde damit wie geplant in einer Unterrichtseinheit für Schüler\*innen aufbereitet (Details im Kapitel „Ergebnisse“).

In Mathematik und Informatik beschäftigten sich die Lehrkräfte fachspezifisch mit der Sicherung der Energieversorgung aus regenerativen Quellen. In Mathematik entstand für die Sekundarstufe II die Einheit „Sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen durch Lineare Optimierung“, in Informatik, ebenfalls für die Sekundarstufe II die Einheit „Simulation von Energieversorgungsnetzen für eine sichere Versorgung mit Energie aus regenerativen Quellen“.

Der im Antrag formulierte Themenbereich „Industrie 4.0/ Digitalisierung“ wurde folglich auf den für die Umsetzung der Energiewende elementaren Themenkomplex „Virtuelle Kraftwerke“ konzentriert und umgesetzt (Details im Kapitel „Ergebnisse“).

In Chemie entstand für die Sekundarstufe I die Einheit „Treibhauseffekt und Energieeffizienz am Beispiel der OLED“. Ziel der Unterrichtseinheit ist es, chemische Eigenschaften des Elements Kohlenstoff und ausgewählter Kohlenstoffverbindun-

gen anhand von gesellschaftlich und technologisch relevanten Beispielen aus Natur und Technik zu verstehen. Im Zentrum stehen dabei Wirkung und Erzeugung des Treibhausgas Kohlenstoffdioxid und die energieeffiziente OLED-Technologie. Damit sollen übergeordnet ein Beitrag für ein naturwissenschaftliches Grundverständnis im Kontext von globalen Herausforderungen wie den Klimaschutz geleistet, aber auch Perspektiven für neue Berufsfelder vermittelt werden (Details im Kapitel „Ergebnisse“).

Im Fach Chemie wurde für die OLED die Zielsetzung erreicht, wobei der Themenkomplex OPV zwar in der Fortbildung vermittelt, aber nicht durch Versuche in die Unterrichtseinheiten integriert wurde. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die von Prof. Dr. Banerji zur Verfügung gestellten didaktisch-methodischen Materialien in erster Linie auf die OLED und nicht auf OPV bezogen und von den Lehrkräften bevorzugt genutzt wurden.

Die erstellten Unterrichtsmaterialien wurden im Fachunterricht in allen an der Fortbildung beteiligten Schulen als auch in MINT-Camps (z. B. MINT-EC Camp in der Lichtenbergschule Darmstadt), Projekttagen (z. B. Justin-Wagner-Schule Rossdorf) und Arbeitsgemeinschaften genutzt.

**Antrag:** Durch die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den Professoren in den vergangenen Jahren können Labor- und Forschungseinrichtungen durch Lehrkräfte z. B. bei der Erprobung von Experimenten genutzt werden.

**Umsetzung und Diskussion:** Sowohl der Fachbereich Ingenieurwissenschaften der Hochschule RheinMain als auch der Fachbereich Chemie der TU Darmstadt stellten für die Workshops unkompliziert Laborräumlichkeiten zur Verfügung. Die Nutzung der Laborräume in den Hochschulen und der Austausch mit den Wissenschaftlern wurde von den Lehrkräften sehr geschätzt und als ein Mehrwert der Workshopreihe wahrgenommen.

**Antrag:** Teilnehmen können Lehrkräfte von Schulen, die nach einer Vorgabe des Hessischen Kultusministeriums aus vier südhessischen Schulamtsbezirken kommen und in einer Gesamtkonferenz mehrheitlich einer Teilnahme am Workshopprogramm zugestimmt haben. Mit der Zustimmung verbunden ist die Freigabe einer Lehrerstunde für das Projekt. Dafür wird ein Vertrag zwischen dem ZFC und den beteiligten Schulen geschlossen. Die Frist für die Entscheidung endet im Juni 2016.

**Umsetzung und Diskussion:** Nach einem aufwändigen mehrstufigen schulübergreifenden und schulinternen Prozess stimmten 12 südhessische Schulen in ihren Gesamtkonferenzen mehrheitlich einer Teilnahme an der Workshopreihe zu und stellten dem Projekt jeweils eine Lehrerstunde zur Verfügung. Der Prozess lässt sich in fünf Schritte unterteilen:

- Stufe 1: Sitzung des Berichterstatters mit den Gymnasialreferenten der vier Schulamtsbezirke, um das Programm vorzustellen und die weiteren Verwaltungsschritte abzustimmen.

Tabelle 8: Vorgesehene Themen der Workshopreihe

Fach (Schwerpunkt)	Thema	Hochschulbegleitung
Chemie	OLED / OPV	Jun.-Prof. Amitabh Banerji (Universität Köln)
Physik	Brennstoffzelle / Power to Gas	Prof. Birgit Scheppat (Hochschule RheinMain)
Informatik / Mathematik	Industrie 4.0 / Digitalisierung	Prof. Jens Gallenbacher (TU Darmstadt, Universität Mainz)

- Stufe 2: Vorstellung des Projekts und der Kooperationsvereinbarung in Schulleiterdienstversammlungen in jedem der vier Schulamtsbezirke durch den Berichterstatter.
- Stufe 3: Informationsveranstaltung für etwa 100 interessierte Fachbereichsleiter\*innen, Fachvorsteher\*innen und Lehrkräften mit Hochschul- und Industriepartnern (vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=8vtQg6bzcM>)
- Stufe 4: schulinterne Abstimmung u. a. in Schulleitungssitzungen sowie in Fachbereichs- und Fachkonferenzen.
- Stufe 5: Abstimmung aller Lehrkräfte der interessierten Schulen in ihren Gesamtkonferenzen

Problematisch ist die Abstimmung in den Gesamtkonferenzen, da die Stimmung in der Schule und die teilweise vorhandene Konkurrenz zwischen den Fachbereichen Einfluss auf das Abstimmungsergebnis nimmt. Die Inhalte des Programms spielen eine untergeordnete Rolle. Es wurde daher von mehreren Schulleitungen angeregt, nach einer Abstimmung in den betroffenen Fachkonferenzen Chemie, Physik, Mathematik und Informatik final die Schulleitung bzw. die Schulkonferenz damit zu beauftragen, über die Teilnahme der Schule am Workshopprogramm abzustimmen.

**Antrag:** Die Finanzierung des Projekts „Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht“ basiert auf einer personellen Grundversorgung durch das Hessische Kultusministeriums, Lehrerstunden der beteiligten Schulen und eingeworbenen Mitteln des ZFC.

**Umsetzung und Diskussion:** Das Hessische Kultusministerium stellte für die Workshopreihe 0,19 Stellenanteile zur Verfügung. Die teilnehmenden Schulen brachten durch die Freigabe einer Lehrerstunde 0,46 Stellenanteile ein. Damit standen für die Organisation und Durchführung der Workshopreihe insgesamt 0,65 Stellenanteile bereit.

Die teilnehmenden Lehrkräfte wurden von ihren Schulen für die Workshops freigestellt. Sie erhielten in der Regel aber keine zusätzlichen Entlastungsstunden, um zwischen den Terminen der Workshops an den Unterrichtseinheiten zu arbeiten. Dies führte dazu, dass sich die Lehrkräfte bevorzugt nur in den Workshops mit neuen Unterrichtsmaterialien beschäftigten. Bei zukünftigen Workshops ist zu empfehlen, den teilnehmenden Lehrkräften Entlastungsstunden für die Ausarbeitung von Unterrichtsmaterialien zwischen den Workshops zu gewähren.

**Antrag:** Ziel der Fortbildungsreihe ist die Erstellung von Lernmaterialien, die im Fachunterricht, MINT-Camps, Projekttagen und Arbeitsgemeinschaften genutzt werden können. Die Lernmaterialien sollen fachlich und inhaltlich differenziert sowie themenbezogene Berufsfelder und Studien- bzw. Ausbildungsmöglichkeiten aufzeigen.

**Umsetzung und Diskussion:** Für die Fächer Chemie, Physik, Informatik und Mathematik wurde jeweils eine Unterrichtseinheit fertig gestellt, die im Fachunterricht, MINT-Camps, Projekttagen und Arbeitsgemeinschaften genutzt werden kann. Themenbezogene Berufsbilder sind in jede Unterrichtseinheit integriert. Die inhaltliche Differenzierung nach Lernniveaus ist in Ansätzen, aber noch nicht wunschgemäß umgesetzt. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, werden binnendifferenzierte Arbeitsmaterialien zeitnah eingebunden.

**Antrag:** Basierend auf bereits vorhandenem Unterrichtsmaterial zur Energiewende, den Schulungen der beteiligten Professoren und eigenen Kenntnissen entwickeln und evaluieren die Lehrkräfte in den Workshops im kollegialen Austausch Unterrichtsmaterialien. Kern ist die didaktische Reduktion und die Anpassung an die Lerngruppen der eigenen Schule. Dabei werden Sie vom ZFC und Hochschulprofessoren begleitet. Die Mitarbeiter des ZFC sind selbst erfahrene Lehrkräfte und verfügen u. a. durch die mehrjährige Mitarbeit in den Fortbildungsprogrammen SINUS und „Kompetenzorientiertes Unterrichten in Mathematik und Naturwissenschaften“ über die dafür notwendigen Kompetenzen.

**Umsetzung und Diskussion:** Die im Antrag formulierten Ziele wurden umgesetzt. Wie bereits erwähnt, sollten den teilnehmenden Lehrkräften auch zwischen den Workshops Entlastungsstunden für eine Weiterentwicklung der Materialien zur Verfügung stehen.

**Antrag:** Eine hilfreiche digitale Unterstützung für die Anpassung an die eigenen Lerngruppen ist u. a. das Add-on Teach@Note.

**Umsetzung und Diskussion:** Der Umgang mit dem digitalen, cloudbasierten Notizprogramm OneNote war für einen Großteil der Lehrkräfte neu. Ein instabiles WLAN-Netzwerk beim zweiten Workshop führte dazu, dass das Programm nicht wie gewünscht genutzt werden konnte. Dies führte bei einigen Lehrkräften zu einer kritischen Haltung. Im dritten und vierten Workshop konnte das Programm dagegen problemlos genutzt werden. Die Akzeptanz des Programms nahm dadurch zu.

Das Add-on Teach@Note kam in den Workshops nicht zum Einsatz, da der Fokus auf der Erstellung und nicht auf der Einbindung von fertigen Unterrichtseinheiten lag. Die Verwendung von Teach@Note zur Integration von Unterrichtseinheiten in die individuelle Unterrichtsplanung soll durch zukünftige Schulungen erreicht werden.

**Antrag:** Wichtige Erkenntnisse für die Erstellung der Unterrichtsmaterialien sollen die Erfinderlabore für besonders begabte Schüler\*innen beisteuern. In den Erfinderlaboren beschäftigen sich ausgewählte Schüler\*innen eine Woche lang mit Fragestellungen zur OLED / OPV und zur Brennstoffzellentechnologie.

**Umsetzung und Diskussion:** Alle Teilnehmer\*innen der Workshops waren bei den Abschlussveranstaltungen der Erfinderlabore zu den Themenfeldern Brennstoffzellentechnologie und Organische Elektronik eingeladen, um dadurch gewonnene fachliche Erkenntnisse und ggf. Experimente bei der Gestaltung der Unterrichtsmaterialien zu berücksichtigen. Darüber hinaus stellte eine Teilnehmerin des Erfinderlabors in einem Lehrer\*innenworkshop zur Brennstoffzelle ihre Ergebnisse vor.

In den Erfinderlaboren erhalten die teilnehmenden Schüler\*innen in der Regel einen Einblick in die aktuelle Forschung zu energieeffizienten Zukunftstechnologien. Für Lehrkräfte ergibt sich dadurch bei den Abschlusspräsentationen eine gute Gelegenheit, aktuelle Forschungsinhalte kennen zu lernen und zu reflektieren, ob und ggf. wie sie in den Regelunterricht integriert werden könnten. Um den Synergieeffekt zu stärken, könnten zukünftig Lehrerworkshops parallel zu den Erfinderlaboren stattfinden.

**Antrag:** Formal sollen die Einheiten nach dem Strukturmodell des Hessischen Kultusministeriums konzipiert werden und abschließend zur Nutzung im Unterricht im Word-, pdf- und OneNote-Format vorliegen. Im OneNote-Format können die Unterrichtseinheiten mit Hilfe des vom ZFC entwickelten Add-ons Teach@Note in die individuelle Unterrichtsvorbereitung der Lehrkräfte eingebunden werden.

**Umsetzung und Diskussion:** Die im Antrag formulierten Ziele wurden umgesetzt. Es wurden vier Unterrichtseinheiten erstellt. Sie können unter [https://www.z-f-c.de/berufsbezogene-unterrichtseinheiten#section\\_pos\\_75](https://www.z-f-c.de/berufsbezogene-unterrichtseinheiten#section_pos_75) heruntergeladen werden.

**Antrag:** Die teilnehmenden Schulen sollen darüber hinaus ein umfangreiches Bonusprogramm erhalten. Dazu gehört insbesondere die Unterstützung bei der Planung von Werksführungen in KMUs und Großunternehmen sowie berufsorientierenden Vorträgen. Bei der Vermittlung greift das ZFC auf sein umfangreiches Netzwerk zurück (u. a. Arbeitskreis SchuleWirtschaft der Vereinigung der hessischen Unternehmerverbände).

**Umsetzung und Diskussion:** Folgende exklusive Leitungen konnten für die Netzwerkschulen arrangiert werden:

- Es stand jeweils ein Platz pro Schuljahr für Schüler\*innen mit weit überdurchschnittlichen Schulleistungen in den Erfinderlaboren zur Verfügung. Dieses Angebot wurde von den an den Fortbildungsworkshops beteiligten Schulen sehr gerne wahrgenommen, da durch die hohe Bewerberzahl für die Erfinderlabore keine Teilnahme garantiert werden konnte.
- In Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis SchuleWirtschaft konnte exklusiv für die Vertragsschulen ein Vortrag zur Brennstoffzellenautos bei Opel mit 30 Teilnehmer\*innen umgesetzt werden.
- Den Lehrkräften der Netzwerkschulen wurden kostenfrei Experimentierkoffer zur „Organischen Elektronik“ und zur „Brennstoffzellentechnologie“ zur Verfügung gestellt.
- Als Partner des Arbeitskreises SchuleWirtschaft sowie als HUB- und Auszeichnungspartner der bundesweiten Initiative *MINT Zukunft schaffen* wurden Netzwerkschulen bei der Vermittlung von Werksführungen für Schüler\*innen und bei der Bewerbung zur *MINT freundlichen Schule* unterstützt.
- Das ZFC unterstützte Netzwerkschulen wie die Rheingauschule Geisenheim bei der Umsetzung von Betriebsführungen für Schüler\*innen.

**Antrag:** Nach Beendigung des Projekts werden 48 MINT-Lehrkräfte aus bis zu 15 Schulen an den Workshops teilgenommen haben. Durch Multiplikation der Teilnehmer\*innen werden in den teilnehmenden Schulen etwa 300 weitere Lehrkräfte die Inhalte der Workshops kennen.

**Umsetzung und Diskussion:** An den vier Workshops nahmen zwischen 34 und 50 Lehrkräfte aus 13 Schulen teil (s. Evaluation). In den Fachschaftssitzungen Mathematik, Chemie, Physik und Informatik der 13 Schulen wurde über die Workshops berichtet. Geht man von durchschnittlich 8 Mitgliedern pro Fachschaft aus, kennen mindestens 400 Lehrkräfte die Inhalte des Workshopprogramms.

Die Zielvorgabe wurde damit erfüllt.

**Antrag:** Voraussichtlich werden mindestens drei Unterrichtseinheiten für den Regelunterricht und weitere Materialien für MINT Camps, Projekttag und Arbeitsgemeinschaften vorliegen. Die Unterrichtseinheiten und Materialien sind in verschiedenen Formaten publiziert und stehen u. a. auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) zum Download allen interessierten Lehrkräften in Deutschland zur Verfügung. Die Website [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) ist für eine Einbindung der Energiewende optisch und inhaltlich umgestaltet.

**Umsetzung und Diskussion:** Alle Vorhaben wurden erfüllt.

**Antrag:** Etwa 600 Schüler\*innen in den teilnehmenden Schulen werden sich im Förderzeitraum durch die erstellten Unterrichtseinheiten und Materialien fundierte Kompetenzen zur Energiewende angeeignet haben.

**Umsetzung und Diskussion:** Unterrichtseinheiten und Materialien wurden in allen 13 Netzwerkschulen in zumindest einem der vier Fächer eingesetzt. Bei einer Umsetzung in mindestens zwei Fächern und einer Gruppenstärke von 20 wurden damit mehr als 500 Schüler\*innen erreicht.

In der Evaluation wurde keine quantitative Erhebung der formulierten Ziele durchgeführt. Die aufgeführten Zahlen können deshalb nur als Anhaltspunkt für den Umfang der erreichten Schüler\*innen verstanden werden.

**Antrag:** Durch die Publikation im Web und der Vorstellung des Projekts auf Messen und weiteren Veranstaltungen werden Schüler\*innen sowie Lehrkräfte aus ganz Deutschland von dem Projekt nachhaltig profitieren.

**Umsetzung und Diskussion:** Die Ergebnisse können nachhaltig vermittelt werden, wenn ausreichend Personalressourcen zur Verfügung stehen. Dies ist gegenwärtig nicht der Fall, da das Kultusministerium für eine Verbreitung der Ergebnisse keine Ressourcen zur Verfügung stellt (Stand: Januar 2020).

**Antrag:** Konkret ist eine digitale Verbreitung der fertig gestellten Unterrichtsmaterialien mit begleitenden Präsenzs Schulungen über das Netzwerk „MINT-freundliche Schulen“ vorgesehen. Das ZFC ist auszeichnender Partner der Initiative *MINT Zukunft schaffen* und hat dadurch einen direkten Zugang zu über 1000 „MINT-freundlichen Schulen“ in Deutschland.

**Umsetzung und Diskussion:** Dieses Vorhaben soll noch umgesetzt werden.

**Antrag:** Darüber hinaus werden die Unterrichtsmaterialien digital nach ihrer Fertigstellung über das eigene Portal [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de), soziale Netzwerke (Facebook, Twitter), gängige Unterrichtsportale wie [lehrer-online.de](http://lehrer-online.de) und das Add-on Teach@Note allen interessierten Lehrkräften angeboten

**Umsetzung und Diskussion:** Bislang umgesetzt ist eine Bewerbung der entstanden Unterrichtseinheiten über [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) und den Facebook-Kanal des ZFC. Ein twitter-Kanal wurde noch nicht eingerichtet. Eine Verbreitung über weitere Unterrichtsportale und Teach@Note ist in Vorbereitung.

## Fazit

---

Die im Antrag formulierten Arbeitsschritte und Methoden wurden vollständig ausgeführt. Im Einzelnen wurde Folgendes erreicht:

- Alle geplanten Workshops für Lehrkräfte und Schüler\*innen fanden statt.
- Wie vorgesehen wurden Unterrichtseinheiten in den Fächern Chemie, Physik, Mathematik und Informatik erstellt.
- Die erstellten Einheiten wurden im Unterricht erprobt, weiterentwickelt und stehen auf der Homepage des ZFC auf [www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de) zum Download zur Verfügung.
- Die erstellten Unterrichtseinheiten erlauben Schüler\*innen, die naturwissenschaftlichen und mathematischen Hintergründe der Energiewende in ihren Grundzügen zu verstehen und damit eine Bewertungskompetenz zu entwickeln.
- Eine Evaluation wurde durch den anerkannten Fachdidaktiker Prof. Dr. Martin Lindner (Martin-Luther-Universität Halle) durchgeführt.
- Ein Beirat mit Mitgliedern aus Schule, Hochschule, Ministerien und Verbänden begleitete das Projekt.
- Das Add-in Teach@Note zur Integration der erstellten Unterrichtseinheiten wurde optimiert.

- Die Öffentlichkeitsarbeit wurde auf verschiedenen Plattformen im Internet (Homepage, Facebook, Youtube) und Pressemitteilungen (s. Anhang) umgesetzt. Durch öffentliche Veranstaltungen u. a. im Hessischen Landtag, im Senckenberg Naturmuseum Frankfurt, im Bundeswirtschaftsministerium und auf der Didacta wurde das Projekt „Schule 3.0 – Energiewende in den Unterricht“ hessen- und bundesweit disseminiert. Es ist damit gelungen, dass Thema „Energiewende“ mehr als 1000 Lehrkräften anschaulich zu präsentieren.
- Die Erfinderlabore ermöglichten den Teilnehmer\*innen durch die Kooperation mit Hochschulen und Unternehmen die Energiewende praktisch mit Hilfe von Experimenten und Anwendungsbezug zu erfassen.

Die Verstetigung des Projekts ist noch nicht gesichert. Die Leitung der Landesenergieagentur Hessen stellt Personalmittel zur Verfügung, um das Projekt zu verstetigen. Zur Umsetzung finden gegenwärtig Gespräche mit Ministerien und Hochschulen statt.

## Ausblick

Die zunehmende Ressourcenknappheit, die Klimaveränderung und die damit verbundene Energiewende führen zu einer gesellschaftlichen Veränderung. Damit verbunden sind neue Berufsfelder, die Schüler\*innen gute Berufsperspektiven ermöglichen. Die zunehmende Digitalisierung spielt in diesem Kontext eine bedeutende Rolle.

Aus diesen Gründen ist es notwendig, Lehrkräften durch kontinuierliche Fortbildungen einen darauf abgestimmten Unterricht zu ermöglichen.

Auf Grund der positiven Resonanz von Lehrkräften und Schüler\*innen und der großen gesellschaftlichen Bedeutung ist zu empfehlen, das Workshopprogramm zu verstetigen und eine entsprechende personelle Ausstattung dauerhaft einzurichten.

Führende Vertreter von Institutionen wie der Landesenergieagentur Hessen, dem Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen, dem Verband der Chemischen Industrie und der Senckenberg Gesellschaft sowie von Universitäten, Hochschulen und Unternehmen befürworten eine Verstetigung (vgl. [https://www.youtube.com/watch?v=0EZ82L\\_mc-Y](https://www.youtube.com/watch?v=0EZ82L_mc-Y)).

Es wird ein kontinuierliches, modularisiertes Aus- und Fortbildungsprogramm in einem (Schul)netzwerk für Lehrkräfte der Fächer *Biologie, Chemie, Informatik, Physik, Mathematik, Politik und Wirtschaft* und *Erdkunde* in enger Koope-

ration mit Universitäten, Hochschulen und Unternehmen vorgeschlagen. Je nach Bedarf der teilnehmenden Schulen können sich die Module über einen halben Tag bis mehrere Tage erstrecken.

Einen Überblick über die Abfolge der Module vermittelt Tabelle 9.

In einer fächerübergreifenden Informationsveranstaltung werden zunächst alle Module den teilnehmenden Lehrkräften vorgestellt und schulspezifische Ziele vereinbart.

In Modul 1 steht die gesellschaftliche Relevanz des Fortbildungsprogramms im Mittelpunkt. Beleuchtet werden die Themenkomplexe Biodiversität und Klimawandel sowie der wirtschaftliche und politische Kontext. Modul 2 zeigt Verknüpfungen der Energiewende zu den Bildungsplänen und zu den Kerncurricula auf. In Modul 3 werden bereits vorhandene Unterrichtsreihen, Arbeitsmaterialien und Versuche zur Energiewende vorgestellt. Modul 4 stellt digitale Werkzeuge vor, mit deren Hilfe Materialien zur Energiewende schülernah vermittelt werden können. Aufbauend auf die Module 1 bis 4 sollen in Modul 5 Unterrichtsmaterialien erarbeitet werden, die auf die teilnehmenden Schulen zugeschnitten sind. In Modul 6 werden ausgewählte Unterrichtsmaterialien für eine Publikation aufbereitet und damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

**Tabelle 9:** Workshopprogramm in Modulen

Module	Kurzbeschreibung	Fächerkanon
Informationsveranstaltung	u. a. Vorstellung der Module	fachübergreifend
Modul 1	gesellschaftliche Relevanz	fachübergreifend
Modul 2	Bildungspläne und Kerncurricula	fachübergreifend/fachspezifisch
Modul 3	Materialien und Versuche	fachspezifisch
Modul 4	digitale Werkzeuge	fachübergreifend/fachspezifisch
Modul 5	Erarbeitung von individuell angepassten Unterrichtseinheiten	fachübergreifend/fachspezifisch
Modul 6	Dissemination der Unterrichtseinheiten	fachübergreifend/fachspezifisch



# Literaturverzeichnis

1. **Institut für Demoskopie Allensbach, im Auftrag der Vodafone Stiftung Deutschland.** Schule, und dann? Herausforderungen bei der Berufsorientierung bei Schülern in Deutschland. <https://www.ifd-allensbach.de/studien-und-berichte/veroeffentlichte-studien/weiterstudien/5.html>. [Online] 2014. [Zitat vom: 04. 05 2016.]
2. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** Gesamtstrategie Energiewende. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/gesamtstrategie.html>. [Online] 2019. [Zitat vom: 01. 11 2019.]
3. **Landesenergieagentur Hessen.** <https://landesenergieagentur-hessen.de/>. [Online] [Zitat vom: 05. 01 2020.]
4. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** Energiewende in den Bundesländern. [http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2018/07/Meldung/direkt-erfasst\\_infografik.htm](http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2018/07/Meldung/direkt-erfasst_infografik.htm). [Online] 03. 07 2018. [Zitat vom: 05. 12 2019.]
5. **Hessisches Kultusministerium.** Kerncurriculum Physik Sek I. <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/sekundarstufe-i/physik>. [Online] 2011. [Zitat vom: 23. 07 2019.]
6. **Umweltbundesamt.** Erneuerbare Energien in Zahlen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>. [Online] 13. 03 2020. [Zitat vom: 01. 04 2020.]
7. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** Solarenergie Photovoltaik. <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Solarenergie-Photovoltaik/solarenergie-photovoltaik.html>. [Online] [Zitat vom: 02. 05 2019.]
8. **Hessisches Kultusministerium.** Kerncurriculum Chemie Sek I. <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/sekundarstufe-i/chemie>. [Online] [Zitat vom: 15. 03 2019.]
9. **Hessisches Kultusministerium.** Kerncurriculum Chemie Sek II. <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe/chemie>. [Online] 2016. [Zitat vom: 15. 07 2019.]
10. **J. Dörschell, A. Banerji, M. Zepp, M.W. Tausch.** organic photo electronic. *PdN.* 65 (1), 2016.
11. **Wasserstoff- und Brennstoffzelleninitiative e.V.** <https://www.h2bz-hessen.de/h2bz-initiative-hessen>. [Online] [Zitat vom: 01. 10 2019.]
12. **Hessisches Kultusministerium.** Kerncurriculum Physik Sek II. <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe/physik>. [Online] [Zitat vom: 05. 12 2019.]
13. **Nationale Organisation , für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.** <https://www.now-gmbh.de/de>. [Online] [Zitat vom: 12. 10 2019.]
14. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** Speichertechnologien. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/speicher-technologien.html>. [Online] [Zitat vom: 19. 01 2019.]
15. **Bundesregierung.** <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/wasserstoffstrategie-kabinett-1758824>. [Online] 10. Juni 2020 . [Zitat vom: 11. 06 2020.]
16. **Wojtysiak, Jenny.** „Deutlich unter 2 Grad“. <https://www.bundestag.de/resource/blob/531604/.../das-deutlich-unter-zwei-grad-ziel-data.pdf>. [Online] 10. 11 2017.
17. **Alexis Bazzanella, Dennis Krämer (Herausgeber).** *Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz – Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO2.* Frankfurt : DECHEMA, 2017. ISBN 978-3-89746-190-1.
18. **Energiepark Mainz.** <http://www.bine.info/publikationen/publikation/energiepark-mainz/>. [Online] 05 2018. [Zitat vom: 02. 08 2019.]
19. **Isabel Rubner, Marco Oetken.** Die Methanisierung (Sabatier-Reaktion). [https://www.chemie.com/fileadmin/user\\_upload/content/2424chemie/Versuchsbeschreibung\\_Methanisierung\\_Power\\_to\\_gas.pdf](https://www.chemie.com/fileadmin/user_upload/content/2424chemie/Versuchsbeschreibung_Methanisierung_Power_to_gas.pdf). [Online] PH Freiburg, 2013. [Zitat vom: 05. 01 2017.]
20. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** Intelligente Stromnetze. <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2019/05/Meldung/direkt-erklart.html>. [Online] 14. 05 2019. [Zitat vom: 02. 06 2019.]
21. **Hessisches Kultusministerium.** Kerncurriculum Informatik Sek II. <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe-9>. [Online] 2016. [Zitat vom: 01. 09 2017.]
22. **(Hrsg.), Hessisches Kultusministerium.** Kerncurriculum Mathematik Sek II. <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe-12>. [Online] 2016. [Zitat vom: 02. 02 2018.]
23. **(Hrsg.), Hessisches Kultusministerium.** *Bildungsstandards und Inhaltsfelder – Das neue Kerncurriculum Hessen. Sekundarstufe I – Chemie.* Wiesbaden : Selbstverlag, 2011.
24. **Michael Kölling, Ian Utting, Davin McCall, Neil Brown, Philip Stevens und Michael Berry.** <https://www.greenfoot.org/door>. [Online] [Zitat vom: 05. 12 2019.]
25. **Wenger, E.** *Communities of practice: learning, meaning, and identity.* s.l. : Cambridge University Press., 1998 .
26. **Hall, G. E., Hord, S. M.** *Implementing change: Patterns, principles, and pot-holes.* . Boston : MA: Pearson Education, 2006.
27. **Parchmann, I., Bertelsen, G., Demuth, R., Dierks, P., Höffler, T., Lindner, M., Lücken, M., Lütjohan, F., Precht, H., Stein, G., Wentorf, W.** Naturwissenschaften im Kontext – Ansatzpunkte und Vernetzung von Fachperspektiven in der Jahrgängen 5/6 und der gymnasialen Oberstufe. *MNU.* 64/5, 2011.
28. **Lindner, M., Bertelsen, G., Demuth, R., Dierks, P., Höffler, T., Lücken, M., Lütjohan, F., Parchmann, I., Precht, H., Stein, G., Wentorf, W.** Naturwissenschaften im Kontext – Nawi. [Buchverf.] D. Höttercke. *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie.* Berlin: Lit-Verlag, 2011.
29. **Wilde, M., Bätz, K. und Kovaleva, A. & Urhahne, D.** Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften.* 15, 34-45., 2009.
30. **Team, R Core.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing. <https://www.R-project.org/>. [Online] 2017.

# Impressum

## Projektträger

# Zentrum für Chemie

## Initiative



Wir bedanken uns ganz herzlich bei den teilnehmenden Netzwerkschulen und unseren Förderern und Unterstützern aus Ministerien, Hochschule und Wirtschaft. Für die fachliche Unterstützung bedanken wir uns insbesondere bei Prof. Dr. Amitabh Banerji (Universität Potsdam), Prof. Dr. Martin Lindner (Martin-Luther-Universität Halle) und Prof. Dr. Birgit Scheppat (Hochschule Rhein-Main).

## Förderer



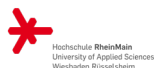
## Weitere Förderer



## Netzwerkschulen



## Hochschulen



## Weitere Unterstützer



Beirat: Heike Blaum (VCI Hessen), Prof. Dr. Claudia Bohrmann-Linde (Universität Tübingen), Dr. Justus Brans (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung), Robert Hennies (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit), Klaus Holl (Goethe-Gymnasium Bensheim), Rita Flad (Hessisches Kultusministerium), Dirk-Karl Pilgram (Georg-Christoph-Lichtenbergschule Ober-Ramstadt), Monika Biewald (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung), Mathias Rust (AK Schule Wirtschaft / Vereinigung der hessischen Unternehmerverbände)

## Herausgeber

Zentrum für Chemie e.V.  
Auerbacher Weg 24  
64625 Bensheim  
[zukunftstechnologien@z-f-c.de](mailto:zukunftstechnologien@z-f-c.de)  
[www.z-f-c.de](http://www.z-f-c.de)

Text: Dr. Thomas Schneidermeier mit Beiträgen von Prof. Dr. Amitabh Banerji, Simeon Blöcher, Tobias Braumann und Prof. Dr. Martin Lindner.

Projektbüro: Gabriele Riethe-Merz

Satz & Gestaltung: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg

Druck: Reprotechnik Bensheim


Fotos: Zentrum für Chemie e.V.

1. Auflage, Juni 2020

@ Zentrum für Chemie e.V.

Alle Rechte vorbehalten





Zentrum für Chemie e.V.  
Auerbacher Weg 24  
64625 Bensheim  
zukunftstechnologien@z-f-c.de  
www.z-f-c.de

**SCHULE 3.0**  
ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN  
IN DEN UNTERRICHT  
SCHWERPUNKT  
ENERGIEWENDE  
www.z-f-c.de

