

Explorative Studie zur partizipativen und nutzenorientierten Forschung in der Chemiedidaktik

Yasemin Gökkus* und Michael W. Tausch*^[a]

Zusammenfassung: Diese explorative Studie ist nach dem Prinzip der nutzenorientierten Grundlagenforschung konzipiert und wurde unter Beteiligung von ca. 1000 Lehrenden und Lernenden aus Gymnasien und Universitäten durchgeführt. Die inhaltlichen Schwerpunkte der 84 an 18 Gymnasien durchgeführten Schulstunden fokussieren den Zusammenhang Licht und Farbe sowie die Energiekonversion und -speicherung mit Lichtbeteiligung. Die erhobenen und statistisch ausgewerteten Daten dokumentieren eine starke Korrelation zwischen Lernertrag und Identifikation mit photochemischen Inhalten sowie eine überaus bedeutend eingeschätzte Zukunftsrelevanz der Energieform Licht im Chemieunterricht und im Lehramtsstudium.

Stichworte: nutzenorientierte Grundlagenforschung · Energieumwandlungen · Farbe · Photochemie · MINT-Fächer

Explorative Study for Participating and Use-Inspired Research in Chemical Education

Abstract: This explorative study is designed corresponding to the principle of the used-inspired basic research and was carried out with the participation of about 1000 teachers and students from grammar schools and universities. There were 84 lessons carried out at 18 grammar schools, focusing on the relationship between light and colour as well as energy conversions and storage, with special respect to the involvement of light. The collected and statistically evaluated data show a strong correlation between learning outcomes and identification with photochemical contents. Additionally, light energy is considered to be extremely significant for future in school chemistry and in teacher training.

Keywords: used-inspired basic research · energy conversion · colour · photochemistry · STEM subjects

1. Curriculare Innovationsforschung – partizipativ und nutzenbringend

Bei allen Differenzen betreffend die Inhalte, Methoden und Bedeutung fachdidaktischer Forschung für die Unterrichtspraxis ist man sich in der *community* der deutschen Chemiedidaktik in einem Punkt einig: In der Forschung, die den Unterricht betrifft, müssen die Forschenden aus den Hochschulen und die Lehrerschaft aus Schulen als gleichwertige Partner miteinander kooperieren. Dabei soll die forschende Didaktik „fachliche Horizonte überblicken“, „am Puls des Schulalltags horten“, „nach Highlights schnuppern“, „experimentelle Zugänge ertasten und „curriculares Design abschmecken“. In einem CHEMKON-Editorial werden diese Metaphern einzeln konkretisiert [1]. Die konzertierte Vorgehensweise zwischen Hochschule und Schule empfehlen auch I. Eilks und B. Ralle unter der Bezeichnung *partizipative Aktionsforschung* [2]. Dementsprechend war die Kooperation und konsequente Interaktion der Hochschuldidaktik mit der Schulpraxis eine erste Leitlinie für das Forschungsdesign der vorliegenden Studie.

Bei der Generierung einer zweiten Leitlinie lohnt es sich, „über den Tellerrand“ der experimentell-konzeptionell forschenden Chemiedidaktik zu schauen und Ideen aus der Psychologie und Pädagogik sowie aus der Politik und Ökonomie aufzugreifen. Die Professorin für Lehren und Lernen in Hamburg, G. Reinmann, vergleicht *praxisuntaugliche* Forschungs-

ergebnisse aus der didaktischen Forschung mit einem Auto, das ein Automobilkonzern nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen gebaut hat, sich auf der Straße aber als weitgehend fahruntauglich erweist. Sie fordert, den *Realitätsbezug* von Forschung mit dem *Realisierungsbezug* zu ergänzen [3]. In diesem Sinne wurde in der Studie nicht nur die Erforschung von neuen Erkenntnissen über die Realität im aktuellen Chemieunterricht angestrebt, sondern auch die Erzeugung innovativer, unterrichtstauglicher Lehr-/Lernmaterialien. Als geeignetes Forschungsmodell dafür erscheint die *nutzenorientierte Grundlagenforschung* des amerikanischen Politikwissenschaftlers D. E. Stokes [4]. Er entwickelte sein sogenanntes *Quadrantenmodell* (Abb. 1) für technologische Innovationen, mithilfe dessen die Abgrenzung und der Zusammenhang zu zwei weiteren Forschungstypen bzw. Forschungsrichtungen veranschaulicht wird.

Die Quadrantenfläche wird durch zwei Koordinatenachsen aufgespannt. Sie verdeutlichen die beiden Interessendimensionen einer Forschung: *Erkenntnisinteresse* und *Anwendungs- bzw. Nutzeninteresse* [5]. Je nach Konstellation der Intensität dieser Interessen unterscheidet Stokes drei Forschungstypen voneinander, für die er jeweils einen bekannten Wissenschaftler als Beispiel angibt. Bei der reinen *Grundlagenforschung* geht es hauptsächlich darum, Erkenntnisse hervorzubringen und diese für die weitere Forschung gewinnbringend einzusetzen, viel weniger um daraus erste Produkte zu ermöglichen. Exemplarisch wird für diesen Forschungstyp Nils Bohr genannt. Seine Forschung war vorrangig nützlich zur Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene. Im Gegensatz dazu strebt die *Angewandte Forschung* nicht neue theoretische Forschungsergebnisse an, sondern vielmehr Ergebnisse, die unmittelbar für praktische Anwendungen nutzbar sind. Zu den Vertretern dieser Forschungsszene wird Thomas Edison gezählt, der durch seine Forschungen und Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektrizität bekannt ist. Anders als bei den

[a] Y. Gökkus, M. W. Tausch
Bergische Universität Wuppertal
Didaktik der Chemie
Gaußstr. 20
42110 Wuppertal
* E-Mail: yurdanur@uni-wuppertal.de
mtausch@uni-wuppertal.de

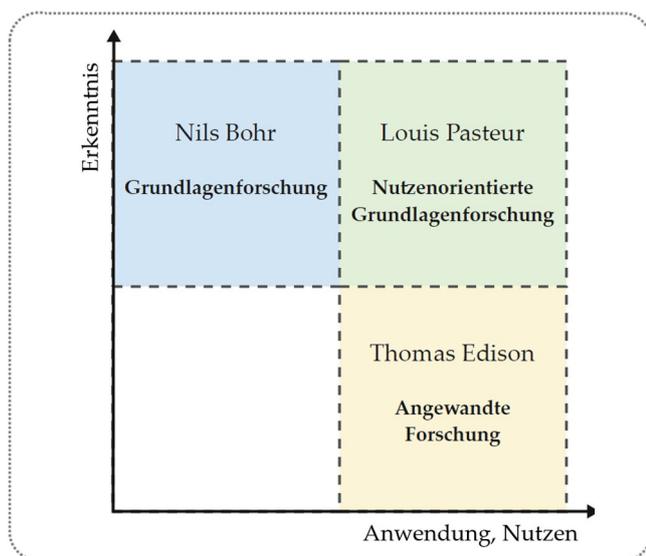


Abb. 1: Das Quadrantenmodell nach D. E. Stokes [4].

beiden oben beschriebenen Forschungstypen zeichnet sich die *nutzenorientierte Grundlagenforschung* (Stokes: *used-inspired basic research*) durch die Ausgewogenheit der beiden Interessendimensionen aus. Bei diesem Forschungstyp geht es sowohl um die Gewinnung neuer Erkenntnisse als auch um ihre praktische Umsetzung. Louis Pasteur ist einer ihrer Vertreter.

Bei der Exploration von „dringend notwendigen, alltagstauglichen Innovationen“ ist nach Reinmann in der Chemiedidaktik genau dieser Forschungstyp zweckmäßig [6]. Das ist bei der vorliegenden Studie der Fall.

2. Exploratives Forschungsdesign

Die Studie wurde im Rahmen eines Promotionsvorhabens durchgeführt, das in der Dissertation *Explorative Studie zur Einbindung photochemischer Inhalte in den Chemieunterricht* [7] dokumentiert ist. Entsprechend den beiden oben diskutierten Leitlinien wurde zweigleisig geforscht.

Erstens wurden in Anlehnung an C. E. Coburn [8] adäquate *Forschungsfragen* definiert und für die Feldstudie festgelegt, um das Potenzial für die erfolgreiche Einbindung photochemischer Inhalte als eine curriculare Innovation und die Akzeptanz seitens der Lehrenden und Lernenden zu identifizieren (vgl. Teil 4).

Zweitens wurde mit Bezug auf die Arbeiten von G. Reinmann die Methode des *Design-Based-Research* mit iterativ zyklischer Vorgehensweise gewählt, um eine intensive Beteiligung der Akteure aus der Schulpraxis an der Studie zu gewährleisten, denn nach G. Reinmann sind „zu heftig [ist die] Kritik und Enttäuschung seitens der Lehrenden in Schule, Hochschule und Weiterbildung, wenn man sie nach dem praktischen Nutzen der Lehr-, Lern- und Bildungsforschung fragt. [...] Menschen in der Praxis stellen – logischerweise – den Anspruch, dass man ihnen hilft, ihre Probleme zu lösen, und das sind Probleme vor Ort, bei denen lokale und personale Handlungsbedingungen berücksichtigt werden müssen; Menschen in der Praxis fordern ein, dass man mit ihnen kommuniziert und zusammenarbeitet; sie wollen Anregungen und Empfehlungen für die Praxis, [...]“ [9].

Mithilfe der angestrebten Erkenntnisse sollte eine Forschungslücke geschlossen werden, denn es gab noch keine umfangreiche explorative Untersuchung der Fachdidaktik zum realen Bedarf von photochemischen Inhalten seitens der Schule und ihrer Relevanz im schulischen Kontext. Die Gesamtstudie

wurde im Zeitraum 2016 bis 2019 nach dem in Abb. 2 dargestellten Verlaufsplan durchgeführt.

Nach der eigenen Einarbeitung in die Photochemie hat die Autorin in den *Voruntersuchungen* 426 Lehramtsstudierende aus 20 Universitäten per Fragebogen sowie 10 Lehrkräften und Vertretern von Lehrerfortbildungszentren durch Interviews zum Stellenwert photochemischer Inhalte im Chemieunterricht befragt (vgl. Ergebnisse in Abb. 3). Parallel dazu und danach hat sie Arbeitsmaterialien entwickelt, die Lehrkräfte in mehreren Lehrerfortbildungen an der Universität und bei 34 Schulbesuchen in die fachlichen Grundlagen der Unterrichtseinheiten und die Technik der Experimente eingeführt und sie mit Chemikalien und Geräten ausgestattet.

An der *Hauptstudie* (vgl. Abb. 2) waren 30 Lehrpersonen und 478 Schüler*innen aus 18 Gymnasien in Nordrhein-Westfalen (Köln, Bonn, Leverkusen, Wuppertal, Meerbusch, Bornheim, Wesel, Coesfeld, Steinhagen, Waltrop, Münster, Geseke und Bielefeld) beteiligt. Es wurden insgesamt 84 Schulstunden à 45 Minuten durchgeführt.

3. Voruntersuchungen

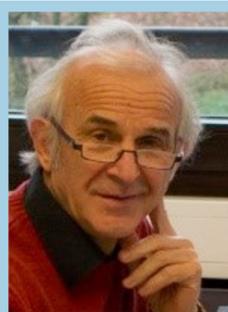
Die Voruntersuchungen umfassen die in Abb. 2 zugeordneten Arbeitspakete aus zwei Synopsen (Lehrpläne und Schulbücher) und zwei Befragungen (Schule, Universitäten, Lehrerfortbildungszentren).

Bei der **Synopse der Lehrpläne** für das Fach Chemie wurde in vier Schritten i) nach Begriffen mit den Wortgruppen *photo*, *foto*, *licht*, *strahl*, *sonne* und *solar* gesucht, ii) die fachliche Tiefe der Treffer aus dem ersten Schritt überprüft, iii) jeweils das Gewicht der Energieformen Licht, Wärme und elektrische Energie in den Lehrplänen ermittelt und iv) der Begriff „Energieumwandlung“ und seine Konkretisierung an Beispielen in den Lehrplänen verglichen.

Die Ergebnisse können in tabellarischer und grafischer Form in [7] auf den Seiten 96–101 und 102–105 eingesehen werden. Das herausragende und gemeinsame Merkmal aller Lehrpläne der 16 Bundesländer ist die untergeordnete Rolle der Energieform Licht im Vergleich zu Wärme und elektrischer Energie.



Yasemin Gökkus (geb. Yurdanur) schloss 2014 ihr Studium mit dem 1. Staatsexamen in den Fächern Chemie und Mathematik für das Lehramt an Gymnasien an der Universität Paderborn ab. Sie absolvierte 2016 das Referendariat am Zentrum für schulpraktische Ausbildung Krefeld an dem Mataré Gymnasium in Meerbusch und ist seit November 2016 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Chemiedidaktik an der Bergischen Universität Wuppertal. Ihre Promotion hat sie im März 2020 an der Bergischen Universität Wuppertal abgeschlossen.



Michael W. Tausch, langjähriger Chemielehrer, Schulbuchautor und Professor für Chemie und ihre Didaktik an den Universitäten Duisburg und Wuppertal entwickelt Lehr-/Lernmaterialien in Print- und Elektronikformaten sowie als Interaktionsboxen mit experimentellem Equipment. Sein Forschungsinteresse gilt insbesondere der curricularen Innovation des Chemieunterrichts und des Lehramtsstudiums. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Chemie mit Licht. Auf diesem Gebiet leistet er Pionierarbeit für nachhaltige, klimaneutrale und ressourcenschonende Entwicklung unter Nutzung von Solarlicht.

Jahr	Phasen und Arbeitspakete der Studie		
2019	Hauptstudie		
	Phasen der Hauptstudie		
	Lehrerfortbildungen	Unterricht in 18 Schulen	Auswertung
	Vorbereitung der Hauptuntersuchung		
	Sommerschule		Projektkurs
2018	Planung der Hauptuntersuchung		
	Stichprobe	Forschungsfragen, Feedbackbögen	Methodik
	Themen und Arbeitsmaterialien für den Chemieunterricht		
2017	1. Licht und Farbe	2. Energiekonversion und -speicherung	
	Auswahl geeigneter Experimente		Erstellung von Lernstanderhebungsbögen
	Photo-LIKE		
2017	Voruntersuchungen		
	Photochemische Inhalte in Lehrplänen und Schulbüchern		
	Betrachtungen der Photochemie aus verschiedenen Perspektiven		
	Schule	Universität	Fortbildungszentren
2016	Grundlagen		
	Erschließung von Kenntnissen zur Photochemie		
	...historische		...naturwissenschaftliche
	Forschungskonzept		
	Leitlinien: 1. partizipativ und 2. nutzenorientiert		

Abb. 2: Exploratives Forschungsdesign der Studie.

Die Lehrpläne weisen auch teilweise beträchtliche Unterschiede auf. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Energieform Licht in den Lehrplänen der südlichen Bundesländer, die über umfangreich ausgebaute Photovoltaik verfügen, bei den Energieumwandlungen mehr vertreten ist als in den Lehrplänen der sonnenärmeren Bundesländer im Norden der Republik. Da die Hauptuntersuchung an Schulen im Land Nordrhein-Westfalen geplant war, wurden für dieses Bundesland bei der Synopse neben Chemie auch die Kernlehrpläne der MINT-Nachbarfächer Biologie und Physik einbezogen (vgl. [7], S. 105–119). Dabei werden die Interdisziplinarität der Energieform Licht und die vielfältigen Möglichkeiten, photochemische Inhalte an obligatorische Inhalte aus den Lehrplänen anzuknüpfen, offensichtlich.

Für die **Schulbuchsynopse** wurden unter den meist verbreiteten Schulbüchern 5 für die Sek. I und 4 für die Sek. II ausgewählt. Darin wurden die Anzahl, Ausführlichkeit und fachliche Tiefe von photochemischen im Vergleich zu elektrochemischen Inhalten und Experimenten ermittelt. Erwartungsgemäß ist die Elektrochemie in allen Schulbüchern weitaus stärker vertreten als die Photochemie (vgl. [7], S. 121–126).

Bei der Betrachtung der Photochemie aus der Perspektive der **Universität** wurden die beiden Fragen aus Abb. 3 an Lehramtsstudierende gestellt. Den Buchstaben A bis I in Abb. 3 sind Experimente zu den Themen photochemische Halogenierung von Alkanen (A), Photometrie, Flammenfärbung (B), Lichtbrechung, Photoeffekt u.a. physikalische Effekte (C), Photosynthese, Fotografie (D), Fluoreszenz, Phosphoreszenz (E), Chemolumineszenz, Biolumineszenz (F), photogalvanische Zellen, Titandioxid-Solarzellen (G), LED, OLED, Lampen (H) und Photoisomerisierungen (I) zugeordnet.

Es ist bezeichnend, dass fast die Hälfte der Befragten (47,4%) keine photochemischen Experimente aus der eigenen Schulzeit kennt. Von denen, die mit *ja* geantwortet haben, kennen die meisten (28%) Experimente zur photochemischen Halogenierung von Alkanen. Innovative Experimente zu Solarzellen (1,9%), Elektrolumineszenz (0%) und Photoisomerisierungen (0%) kommen in Abb. 3a ganz schlecht weg. Bei den

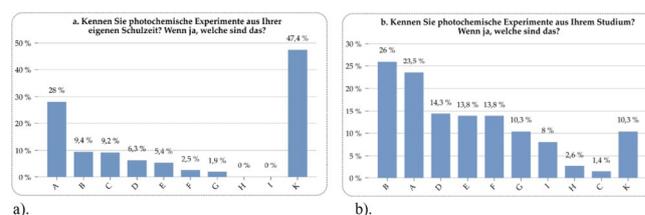


Abb. 3: Ergebnis der Umfrage von 426 Studierenden aus 20 Universitäten deutschlandweit über ihre Kenntnisse zu Experimenten mit Licht aus der Schule (a) und aus dem Studium (b).

gleichen Fragen für im Studium kennengelernte photochemische Experimente ist eine deutliche Zunahme bei allen Themen A bis I zu erkennen; nur noch 10,3% antworten hier mit *nein*. Auf die Frage nach der **zukünftigen Relevanz** von Experimenten mit Licht im Chemieunterricht geben 53,1% der Studierenden an, dass sie diese für ebenso relevant halten wie Experimente mit Wärme und elektrischer Energie, 20,6% halten Experimente mit Licht sogar für noch relevanter. Die Interviews mit Lehrkräften über Lerninhalte und Experimente mit Licht ergeben aus der Perspektive der **Schule** ein heterogenes Bild mit pro- und contra-Argumenten (vgl. [7], S. 135–145). Allerdings heben sich einige Fehlvorstellungen deutlich hervor, beispielsweise a) Experimente mit Licht hätten keinen Alltagsbezug, b) der Aufwand an Geräten, Chemikalien, Sicherheitsvorkehrungen und Zeitbedarf bei Experimenten mit Licht sei höher als bei herkömmlichen Schulexperimenten und c) photochemische Experimente und Inhalte seien nicht lehrplankonform.

In den Interviews mit Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen aus **Lehrerfortbildungszentren** wurden von diesen a) die Aktualität photochemischer Inhalte, b) ihre Interdisziplinarität für die MINT-Fächer und c) der Bezug zu den Lehrplänen im Zusammenhang mit dem Basiskonzept Energie hervorgehoben.

4. Forschungsfragen und Lernstanderhebung in der Hauptuntersuchung

In der Hauptuntersuchung wurde angestrebt, die *Potenzialindikatoren* der Innovation „Chemie mit Licht“, d. h. jene Merkmale der Innovation, die diese im Vergleich mit der aktuellen Praxis als erfolversprechenden Fortschritt kennzeichnen [10], zu ermitteln. Dazu wurden folgende vier **Forschungsfragen** F1–F4 jeweils für Schüler*innen und Lehrkräfte abgeleitet, die in der Hauptuntersuchung der Strukturierung der Ergebnisse dienen sollten:

- F1: Inwiefern zeigt sich eine individuelle Akzeptanz der Innovation und die Verinnerlichung von neuem Wissen darüber? (Identifikation)
- F2: Welches Ausmaß der Veränderung des Wissens durch die Innovation kann den Rückmeldungen entnommen werden? (Tiefe)
- F3: Inwiefern ist Nachhaltigkeit in der praktischen Umsetzung der Innovation zu erkennen? (Nachhaltigkeit)
- F4: Welches Ausmaß an Befürwortung für die Verbreitung der Innovation ist zu erkennen? (Verbreitung)

Diese vier Forschungsfragen wurden in konkrete Einzelfragen zerlegt und in Feedbackbögen mit 2 (richtig/falsch) Bewertungsoptionen sowie Feedbackbögen mit 10-stufigen Rating-skalen an die Lernenden (getrennt nach Sek. I und Sek. II) sowie an die beteiligten Lehrpersonen adressiert.

Parallel und unterstützend zu den vier Forschungsfragen wurden zur **Lernstanderhebung** bei jeder Lerngruppe eine Pre- und Post-Messung mit mehreren Fragebögen aus 6 bis 20 Aufgaben zur durchgeführten Lerneinheit sowie eine Follow-up-Messung mit drei Aufgaben durchgeführt. Die vollständigen Feedbackbögen zu den Forschungsfragen F1 bis F4 können ebenso wie die Aufgabenbögen zur Lernstanderhebung bei der Autorin angefordert werden.

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte nach dem *Mixed-Methods-Ansatz* [11]. Neben den *Pivot-Tabellen* des *Microsoft-Excel* Pakets wurde dabei die *Software SPSS Statistics 25.0 (Statistical Package for the Social Science)* der Firma IBM verwendet [12]. Damit wurden alle statistisch relevanten Parameter, einschließlich der Pearson-Korrelationskoeffizienten ermittelt und in Grafiken dargestellt.

5. Lerninhalte und Arbeitsmaterialien in der Hauptuntersuchung

Für die Hauptuntersuchung wurden auf der Basis von Vorarbeiten aus der Chemiedidaktik Wuppertal [13] zwei Unterrichtseinheiten zu den beiden Lerninhalten **Licht und Farbe**

sowie **Energiekonversion und -speicherung** entworfen und mit Lehr-/Lernmaterialien ausgestattet. Dazu gehören ein experimentelles Equipment mit Arbeitsanleitungen für über 10 Experimente, in denen Spektralfarben, Farbigekeit durch Lichtabsorption und -emission, Fluoreszenz und Phosphoreszenz, Solvatochromie und Photochromie, thermische und photochemische bzw. photoelektrochemische Reaktionen, Stoffkreisläufe und Energieumwandlungen mit Lichtbeteiligung untersucht werden. Die Experimente mit Auswertungsaufgaben für die Lernenden stehen in 23 Einzelarbeitsblättern sowie in 7 kombinierten Arbeitsblättern, die zusätzlich auch Empfehlungen für die Lehrenden zur Gestaltung des Unterrichts enthalten, im Materialienpaket **Photo-LIKE** (Photoprozesse – lehrplan-konform, interdisziplinär, kohärent, experimentbasiert) auf der Internetplattform <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/> kostenlos zur Verfügung [14]. Weitere didaktische Hinweise, Videos und Lehrfilme sowie ein Glossar mit Fachbegriffen zu den photochemischen Inhalten aus den beiden Unterrichtseinheiten sind ebenfalls im Materialienpaket enthalten (Abb. 4). In der Hauptuntersuchung wurden insgesamt 36 Einzelstudien mit Lerngruppen (Klassen der Sek. I und Kurse der Sek. II) durchgeführt. In 19 Gruppen hat die Autorin den Unterricht geleitet, in 17 Gruppen Lehrende der Fächer Chemie oder Biologie aus den entsprechenden Schulen. Der Unterricht fand in den Chemieräumen der 18 teilnehmenden Gymnasien statt, angestrebt wurde der übliche 45-Minuten-Takt der Unterrichtsstunden. Es wurde vorwiegend in Gruppen experimentiert, dokumentiert und ausgewertet (Abb. 5).

6. Ergebnisse der Hauptuntersuchung

Für die Auswertung wurde alle erhobenen Daten aus den Feedbackbögen und den Lernstanderhebungsbögen der 478 Schüler*innen zusammengeführt. Bei der statistischen Verarbeitung der Daten wurde die Autorin im Rahmen eines FCI-Projekts von zwei studentischen Hilfskräften mit entsprechender Expertise in Methoden der Statistik unterstützt. Aus den Ergebnissen zu den Forschungsfragen F1/F2 und F3/F4 lassen sich folgende **Potenzialindikatoren** der curricularen Innovation mit photochemischen Inhalten im Chemieunterricht herleiten:

- Die Schüler*innen haben sich in hohem Grad (7,74 auf einer 10-stufigen Skala) mit den photochemischen Inhalten *identifiziert*, sie konnten ihre Kenntnisse aus dem Unterricht anwenden und neue *fachliche* Erkenntnisse dazu gewinnen (Abb. 6).
- Bei den Schüler*innen erzeugt die Durchführung der Experimente und die Auseinandersetzung mit den Fachinhalten eine deutliche Wende in der Gewichtung von Schlag-

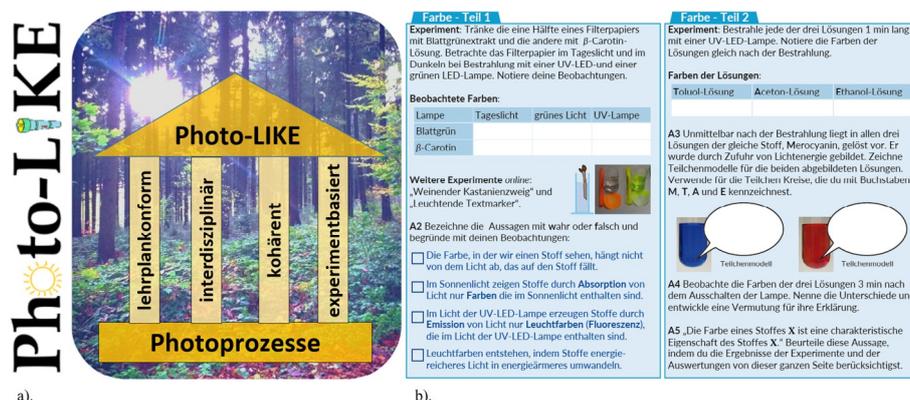


Abb. 4: a) Photo-LIKE Materialienpaket [14] und b) Ausschnitt aus einem kombinierten Arbeitsblatt für Gruppenunterricht in der Lerneinheit *Licht und Farbe*.

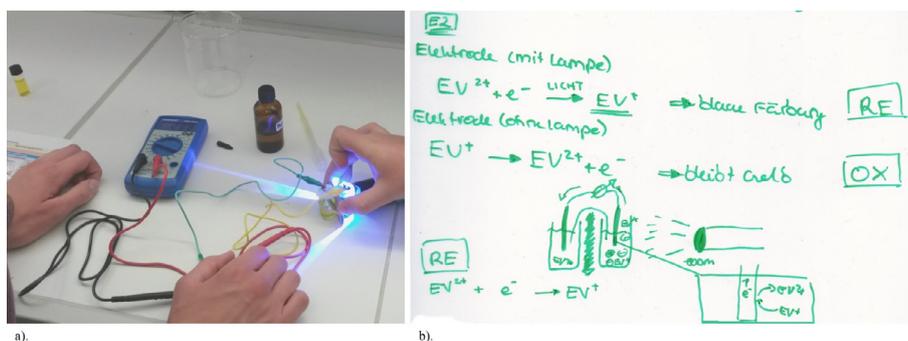


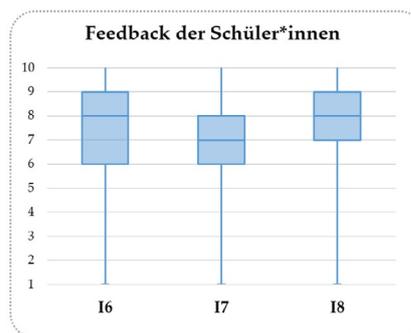
Abb. 5: Schüler*innen beim Experimentieren mit der photogalvanischen Konzentrationszelle und Auswertungsnotiz der Ergebnisse zur Lerneinheit *Energiekonversion und -speicherung*.

16: Das ausgewählte Experiment fand ich interessant und sie haben mir Spaß gemacht.

17: Ich konnte beim Bearbeiten der Aufgaben zu den Experimenten mein Wissen aus dem Unterricht zuvor anwenden.

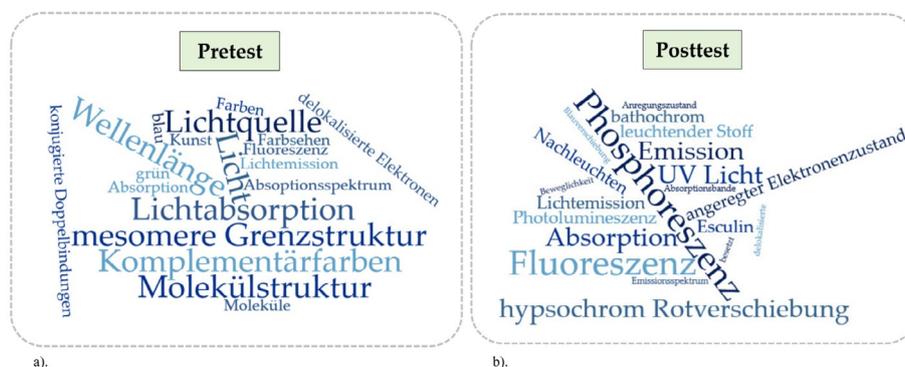
18: Ich habe beim Bearbeiten der Aufgaben und Durchführen der Experimente Neues dazugelernt.

a).



b).

Abb. 6: a) Drei Items 16, 17 und 18 aus dem Feedbackbogen und b) Schülerbewertungen dazu (die drei Aussagen wurden von $n_{16} = 490$ bzw. $n_{17} = 445$ bzw. $n_{18} = 464$ Schüler*innen bei einer 10-stufigen Ratingskala bewertet).



a).

b).

Abb. 7: Word Clouds vor und nach der Durchführung der Unterrichtseinheit *Licht und Farbe* in 6 Kursen der Sek. II.

wörtern, die im Zusammenhang mit dem jeweiligen Themenkomplex angegeben wurden (Abb. 7). Das wurde bei jeder der beiden durchgeführten Unterrichtseinheiten mit photochemischen Inhalten sowohl in der Sek. I als auch in der Sek. II beobachtet.

- c) Es gibt aus Sicht der Schüler*innen bei der Integration von photochemischen Inhalten in den Unterricht eine starke Korrelation ($r > 0,5$) zwischen den statistischen Merkmalen „Spaß“ und „Lernertrag“ (Abb. 8a); über 90% von ihnen wünscht sich, dass Experimente mit Licht im Chemieunterricht mindestens in gleichem Maße wie Experimente mit Wärme und elektrischer Energie vorkommen (Abb. 8b); demnach wäre aus ihrer Sicht die *verbreitete* Einbindung der Energieform Licht in den Chemieunterricht *nachhaltig*.
- d) Sowohl die Lehrkräfte als auch die Schüler*innen bewerten den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben aus der Hauptstudie als angemessen, die Aufgaben sind weder zu leicht noch zu anspruchsvoll (Abb. 9). Das ist für diese Studie, die sowohl Potenzialindikatoren für eine Innovation *erforschen* als gleichzeitig *nutzenorientiert* sein will, sinnvoll und effizient im Sinne der „kalkulierten fachlichen Herausforderung“ nach J. Leisen [15].
- e) Bei Lehrkräften beträgt der Grad der *Identifikation* mit photochemischen Inhalten 7,85 auf einer 10-stufigen Skala und es gibt eine starke Korrelation ($r > 0,5$); zwischen den statistischen Merkmalen „Lernertrag“ und „Integrierbarkeit“ in die Kernlehrpläne aus NRW (Abb. 10a).
- f) Von den insgesamt **943 Personen** (471 Schüler*innen, 407 Studierende und 65 Lehrkräfte), die an der Gesamtstudie (Voruntersuchungen und Hauptstudie) teilgenommen haben, hält die Mehrheit von 86% zukünftig Experimente mit der Energieform Licht für ebenso relevant oder relevanter wie Experimente mit Wärme oder elektrischer Energie (Abb. 10b).

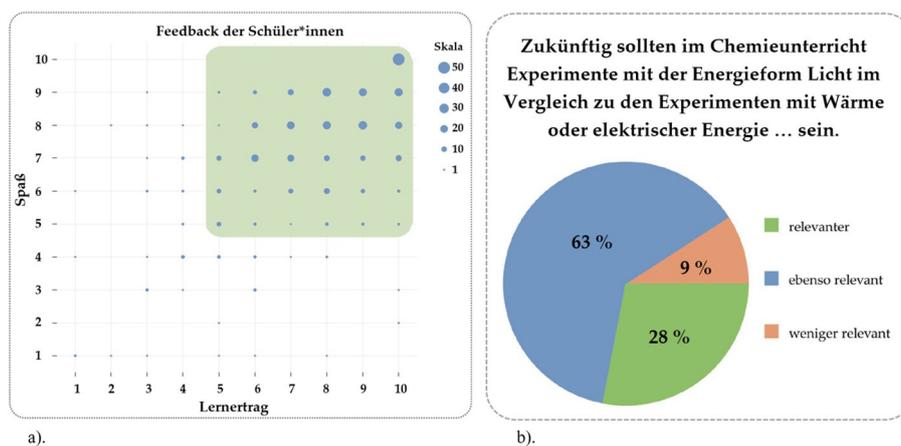


Abb. 8: a) Streudiagramm der Feedback-Daten von Schüler*innen zu den Items „Lernertrag“ und „Spaß“; b) Statistik der Feedback-Daten zu dem Item über die Relevanz photochemischer Inhalte (Vervollständigung des Textes aus der Abbildung).

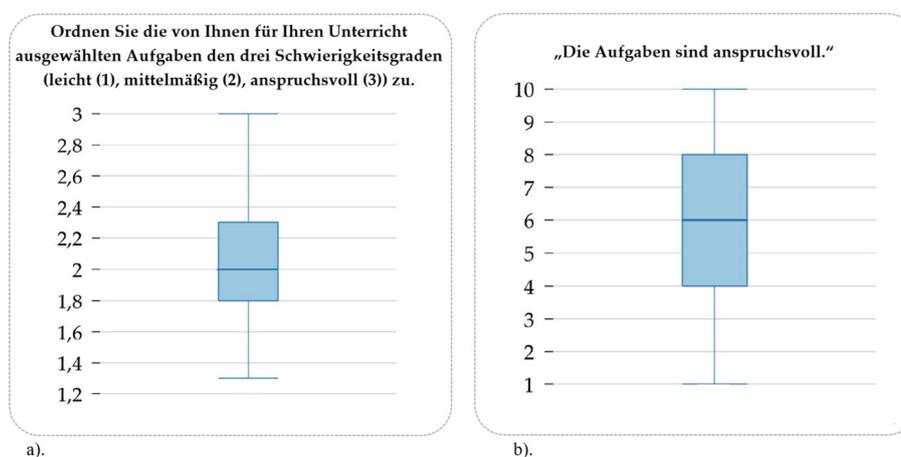


Abb. 9: Bewertung des Schwierigkeitsgrades der in der Studie eingesetzten Aufgaben durch a) die Lehrer*innen ($n_L = 23$) und b) die Schüler*innen ($n_S = 478$) bei unterschiedlicher Fragestellung.

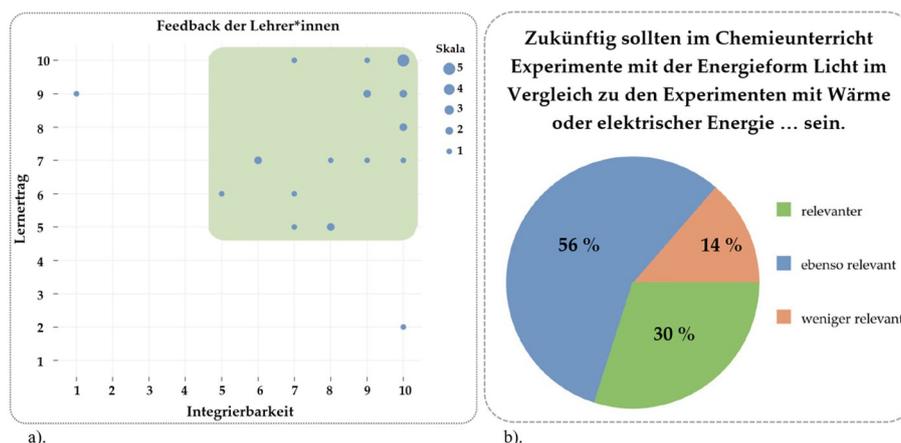


Abb. 10: a) Streudiagramm der Feedback-Daten von Lehrkräften zu den Merkmalen „Integrierbarkeit“ und „Lernertrag“ in der Hauptstudie; b) Statistik der Feedback-Daten zu dem Item über die Relevanz photochemischer Inhalte (Vervollständigung des Textes aus der Abbildung).

Die zahlreichen **verbalen Äußerungen** seitens aller Kategorien von an der Studie beteiligten Personen werden hier nicht wiedergegeben. Sie sind ebenso wie die oben angeführten Statistiken aufschlussreich und können in [7] eingesehen werden. Angesichts der Skepsis aus den Interviews mit Lehrkräften in der Voruntersuchung (vgl. Teil 3) ist hier anzumerken, dass diejenigen, die in der Hauptstudie selbst mit den Experimenten gearbeitet haben, diese wegen der „einfachen Durchführbar-

keit“, den „schönen Beobachtungen“, der „Alltagsrelevanz“ und „Erweiterung des Energiebegriffs“ für integrierbar in den Chemieunterricht erachten. Als mögliche Anknüpfungen an lehrplanpflichtige Inhalte (in Nordrhein-Westfalen) werden *Stoffeigenschaften*, *Stoffkreisläufe*, *Bindungslehre*, *Farbstoffe* und *Elektrochemie* genannt.

7. Relevanz der Studie, kritische Eigenreflexion und Perspektiven

Die Kultusministerkonferenz KMK hat im Jahr 2017 Bildung für nachhaltige Entwicklung BNE als allgemeinen und grundsätzlichen Auftrag für die Schulen erklärt [16]. Konkrete Inhalte in der BNE-Leitlinie wurden im Jahr 2019 erstmalig in Nordrhein-Westfalen verbindlich ausgewiesen, die anderen Bundesländer folgten analog. Allerdings sind Phänomene mit Licht weder im KMK-Papier noch in den BNE-Leitlinien der Länder angemessen vertreten. Unter diesen Prämissen sind die in dieser Studie beforschten Photoprozesse unverzichtbar, wenn die heutige Schuljugend im Verlauf ihres Berufslebens bei der Entwicklung nachhaltiger technischer Verfahren unter Nutzung von Solarlicht mitwirken soll. Somit erfüllt die vorliegende Studie mit den Forschungsfragen F1, F3 und F4 das Gütekriterium der externen und mit F3 das der internen Validität.

Die Reliabilität der Studie wird durch das gesamte Forschungsdesign und den Durchführungsmodus der Studie belegt. Sie hat sowohl eine „diagnostische“ als auch eine „therapeutische“ Komponente [19]. Einerseits hat sie Zusammenhänge zwischen unterrichtsrelevanten Parametern generiert und Fehlvorstellungen über die Kompatibilität photochemischer Inhalte mit den Lehrplänen und die Praktikabilität photochemischer Experimente in der Schule aufgedeckt. Diese Erkenntnisse können in weiteren Forschungsvorhaben und bei der Nachjustierung von Lehrplänen im Sinne von BNE dienen. Andererseits sind aus der Studie aufgrund wiederholter Zyklen aus Unterrichtseinsätzen und Optimierungen praxistaugliche Experimente und Materialien für die Einbindung innovativer Inhalte mit Licht in den Schulunterricht hervorgegangen, die von an der Studie teilgenommenen Lehrpersonen weiterhin eingesetzt werden.

Selbstkritisch wird eingeräumt, dass bei der Datenerhebung in den Feedbackbögen differenzierter hätte vorgegangen werden können, etwa nach geschlechtsspezifischer Trennung und stärkerer Kopplung der Feedbackbögen an die Lernstandserhebungen. In weiteren Feedbackbögen und die Lernstandserhebungen hätte dem fachspezifischen Blickwinkel der Chemie bzw. der Biologie auf die Photoprozesse besser Rechnung getragen werden können. Diese und andere zeit- und arbeitsintensive Ergänzungen waren in dem auf drei Jahre begrenzten Promotionsvorhaben nicht möglich.

Vorausblickend auf globale Herausforderungen des 21. Jahrhunderts wie Energieeffizienz, Klimaneutralität, Digitalisierung und Ressourcenschonung durch grüne Chemie ist die Steigerung des Stellenwerts von Photoprozessen in den MINT-Fächern ein Muss (Abb. 11). Dabei können die jeweilige *Fachspezifik* und die *Interdisziplinarität* gleichermaßen zur Geltung kommen. Vorgänge mit Lichtbeteiligung haben Schlüsselfunktionen bei innovativen Themen der Grundlagenforschung und bei darauf basierenden Anwendungen. Spektroskopische Methoden der Analytik und die supraauflösende Mikroskopie wenden Erkenntnisse über die Elementarprozesse bei der Photo-, Elektro- und Chemolumineszenz an. Die digitalisierte Kommunikation über Glasfaser-Lichtleiter und lichtaktive Sensoren ist auf intelligente Materialien und logische Schaltungen mit photoaktiven molekularen Schaltern angewiesen. Für die Konversion von Licht in elektrische Energie werden anorganische, organische und hybride Photovoltaikzellen verwendet und für die effiziente Umwandlung von elektrischer Energie in Licht setzt man anorganische und organische Leuchtdioden (LED und OLED) ein. Bei der Verwirklichung künstlicher Photosynthese durch die Synthese chemischer Energielangzeitspeicher und wertvoller Grundchemikalien aus Wasser und Kohlenstoffdioxid unter Einsatz von Licht als einzige Energiequelle, sind grundlegende Kenntnisse über die



Abb. 11: Photoprozesse haben in den MINT-Fächern einen Querschnittscharakter.

Photokatalyse und Photosensibilisation sowie über photostationäre Zustände unverzichtbar.

Um die curriculare Einbindung dieser und weiterer photochemische Lehr-/Lerninhalte in den Chemieunterricht und in das Lehramtsstudium zu unterstützen, werden fortlaufend Experimente entwickelt, optimiert und digital aufbereitet. Die grundlegenden Experimente aus der vorliegenden Studie liegen bereits als *Videoclips* und/oder als *Tutorials*, d.h. vertonte Lehrfilme mit Darstellern und Alltagsbezügen, nach Themen geordnet auf der Internetplattform <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/> vor und sind dort über das Materialienpaket POTO-LIKE verlinkt [14]. Weitere Videos und interaktive Animationen sind in Bearbeitung. Die anhand der beiden inhaltlichen Schwerpunkte dieser Studie ermittelten *Potenzialindikatoren* von curricularen Innovationen mit Licht können und sollten in weiteren Studien mit analogem Forschungsdesign auch für andere photochemische Inhalte durchgeführt werden.

Dank

Dem Fonds der Chemischen Industrie FCI wird für die Förderung des Projekts **Photo-Digit** (Photoprozesse in digitalen Medien) gedankt. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG wird für die Förderung der Forschungsvorhaben TA 228/4-1 **Photo-LeNa** (Photoprozesse in der Lehre der Naturwissenschaften) und TA 228/4-2 **Photo-MINT** (Photoprozesse in der Lehre der MINT-Fächer) gedankt.

Literatur

- [1] Tausch, M. W. (1998). Sinne, der Fachdidaktik, Chemkon, 5 (4) 173.
- [2] Eilks, I., Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. Chemkon 9/1, 13–18.
- [3] a) Reinmann, G., Sesink, W. (2011): Entwicklungsorientierte Bildungsforschung. Diskussionspapier; b) Reinmann, G. (2007). Innovationskrise in der Bildungsforschung: Von Interessenkämpfen und ungenutzten Chancen einer Hard-to-do-Science. In: Reinmann, G., Kahlert, J.(Hrsg.). Der Nutzen wird vertagt. Bildungswissenschaften im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Profilbildung und praktischem Mehrwert. Pabst, Lengerich.
- [4] Stokes, D. E. (1997). Pasteur's Quadrant. Basic Science and Technological Innovation. Brookings Institution, Washington.
- [5] Fischer, F., Waibel, M., Wecker, C. (2005). Nutzenorientierte Grundlagenforschung im Bildungsbereich. Argumente einer internationalen Diskussion. Zeitschrift der Erziehungswissenschaft 8/3, 427–442.
- [6] Reinmann, G. (2006). Nur „Forschung danach“? Vom faktischen und potentiellen Beitrag der Forschung zu alltagstauglichen Innovationen beim E Learning. Arbeitsbericht Nr. 14.
- [7] Yurdanur, Y. (2020). Explorative Studie zur Einbindung photochemischer Inhalte in den Chemieunterricht. Dissertation; <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/dissertationen.html> (letzter Zugriff am 10.12.2020).
- [8] Coburn, C. E. (2003). Rethinking Scale. Moving beyond Numbers to Deep and Lasting Change. Educational Researcher 6, S. 3.
- [9] Reinmann, G. (2007). Innovationskrise in der Bildungsforschung: Von Interessenkämpfen und ungenutzten Chancen einer Hard to do Science. In: Reinmann, G., Kahlert, J.(Hrsg.). Der Nutzen wird vertagt... Bildungswissenschaften im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Profilbildung und praktischem Mehrwert. Pabst, Lengerich.
- [10] Tausch, M. W. (2019). Chemie mit Licht – Innovative Didaktik für Studium und Unterricht. Lehrbuch. Springer, Berlin.
- [11] Döring, N., Borz, J. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Springer, Berlin.
- [12] Raab-Steiner, E., Benesch, M. (2015). Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung. Facultas, Wien.
- [13] Meuter, N., et al. (2017). Photonen und Moleküle – Innovation trifft Tradition Chemkon 24 (4), 265–271.
- [14] Photo-Like: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/qr-materialien-zum-buch/experimentierkoffer-materialiensets/qr-34-materialienbox-photo-like.html> (letzter Zugriff am 10.12.2020).
- [15] Leisen, J. (2015). Fachlernen und Sprachlernen, MNU 68 (3) 132.
- [16] Bericht der Kultusministerkonferenz vom 17.03.2017: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf (letzter Zugriff am 10.12.2020).
- [17] Leitlinie BNE: https://www.schulministerium.nrw.de/Schulsystem/Unterricht/BNE/Kontext/Leitlinie_BNE.pdf (letzter Zugriff am 10.12.2020).
- [18] Goldenbaum, A. (2012). Innovationsmanagement in Schulen. Eine empirische Untersuchung zur Implementation eines Sozialen Lernprogramms. Springer, Wiesbaden.
- [19] Reinmann, G. (2013). Entwicklung als Forschung? Gedanken zur Verortung und Präzisierung einer entwicklungsorientierten Bildungsforschung. In: Seufert, S., Metzger, C. (Hrsg.). Kompetenzentwicklung in unterschiedlichen Lernkulturen. Festschrift für Dieter Euler zum 60. Geburtstag. Eusl, Paderborn.

Eingegangen am 8. Oktober 2020

Angenommen am 13. November 2020

Online veröffentlicht am 19. Januar 2021