

Chemiebezogenes Lernen im Sachunterricht

Vielperspektivische Zugänge für die Grundschule



Nina Dunker, Anne Reh (Hg.)

Chemiebezogenes Lernen im Sachunterricht: Vielperspektivische Zugänge für die Grundschule

Nina Dunker & Anne Reh (Hg.)

Publikationsreihe Kinder.Sachen.Welten

Die Reihe **Kinder.Sachen.Welten** widmet sich den zentralen Fragen und Entwicklungen des Sachunterrichts. Ein besonderer Fokus liegt auf der Vielfalt der Zugänge und Perspektiven im Sachunterricht und ihrer zentralen Bedeutung für das Lernen in der Grundschule. Die Reihe vereint wissenschaftliche Perspektiven mit praxisnahen Ansätzen und bietet Wissenschaftler:innen und Lehrkräften fundierte Impulse zur Weiterentwicklung des Sachunterrichts.

Im Mittelpunkt stehen die didaktischen und methodischen Grundlagen des Sachunterrichts sowie seine verschiedenen fachlichen und bildungstheoretischen Dimensionen. Die Reihe greift aktuelle fachdidaktische Entwicklungen auf und bietet Orientierung für eine zeitgemäße Unterrichtsgestaltung. Sie thematisiert historische, gesellschaftliche, naturwissenschaftliche und technische Aspekte und zeigt Wege auf, wie Kinder in der Grundschule mit ihren eigenen Erfahrungen und Fragen aktiv an die Welt herangeführt werden können.

Mit einer engen Verbindung zwischen Theorie und Praxis richtet sich **Kinder.Sachen.Welten** an alle, die den Sachunterricht reflektieren, weiterentwickeln und neue Wege für die Vermittlung von Themen des Sachunterrichts in der Grundschule erschließen möchten.

Reihenherausgeber ist **Prof. Dr. Markus Peschel**, Professor für Didaktik des Sachunterrichts an der Universität des Saarlandes.

Nina Dunker & Anne Reh (Hg.)

Chemiebezogenes Lernen im Sachunterricht: Vielperspektivische Zugänge für die Grundschule



| **wbv**

Ein Schneider-Titel bei
wbv Publikation
2025 wbv Publikation
ein Geschäftsbereich der
wbv Media GmbH & Co. KG, Bielefeld

Gesamtherstellung:
wbv Media GmbH & Co. KG
Auf dem Esch 4, 33619 Bielefeld,
service@wbv.de
wbv.de

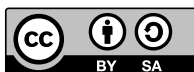
Umschlaggestaltung:
Christiane Zay, Passau

ISBN Print: 978-3-7639-7834-2
ISBN E-Book: 978-3-7639-7835-9
DOI: 10.3278/9783763978359

Printed in Germany

Diese Publikation ist frei verfügbar zum Download unter
wbv-open-access.de

Diese Publikation ist unter folgender Creative-Commons-
Lizenz veröffentlicht:
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>



Für alle in diesem Werk verwendeten Warennamen
sowie Firmen- und Markenbezeichnungen können
Schutzrechte bestehen, auch wenn diese nicht als solche
gekennzeichnet sind. Deren Verwendung in diesem Werk
berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese frei verfü-
gbar seien.

Der Verlag behält sich das Text- und Data-Mining nach
§ 44b UrhG vor, was hiermit Dritten ohne Zustimmung
des Verlages untersagt ist.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die freie Verfügbarkeit der E-Book-Ausgabe dieser Publikation wurde ermöglicht durch ein Netzwerk wissenschaftlicher Bibliotheken und Institutionen zur Förderung von Open Access in den Sozial- und Geisteswissenschaften im Rahmen der *wbv OpenLibrary 2024*.

Die Publikation beachtet unsere Qualitätsstandards für Open-Access-Publikationen, die an folgender Stelle nachzulesen sind:

https://www.wbv.de/fileadmin/importiert/wbv/PDF_Website/Qualitaetsstandards_wbvOpenAccess.pdf

Großer Dank gebührt den Förderern der *wbv OpenLibrary 2024* im Fachbereich *Lehramt*:

Humboldt-Universität zu **Berlin** | Universitätsbibliothek **Bielefeld** | Pädagogische Hochschule **Freiburg** | Justus-Liebig-Universität **Gießen** | TIB **Hannover** | Universitätsbibliothek **Kaiserslautern-Landau** | **Karlsruhe** Institute of Technology (KIT) | Universitätsbibliothek **Kassel** | Universitäts- und Stadtbibliothek **Köln** | Zentral- und Hochschulbibliothek (ZHB, **Luzern**) | Fachhochschule **Münster** | Universitäts- und Landesbibliothek **Münster** | Carl von Ossietzky Universität **Oldenburg** | Universitätsbibliothek **Osnabrück** | Universität **Potsdam** | Universität **Regensburg**

Liebe Leserinnen und Leser,

es ist mir eine große Freude, die Fortsetzung der Buchreihe „Kinder.Sachen.Welten“ zu präsentieren. Seit der letzten Publikation haben sich viele Entwicklungen ergeben, die den Sachunterricht in der Grundschule nachhaltig beeinflusst und weiterentwickelt haben. Dies wird u. a. an der Arbeit des neuen Perspektivrahmens der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts deutlich, der insbesondere Vielperspektivität und Vernetzung in den Mittelpunkt der sachunterrichtlichen Auseinandersetzung stellt. Auf der anderen Seite sind die Perspektiven mit ihren fachlichen Bezügen unabdingbar, denn nur aufbauend auf einer fachlich soliden Basis und mit entsprechenden fachlich orientierten Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen kann sichergestellt werden, dass die zu vermittelnden Inhalte anschlussfähig und solide sind. In diesem Band werden einige dieser Bezüge und Entwicklungen aufgegriffen und ein Ausblick auf die Entwicklungen – sowohl auf fachbezogener bzw. perspektivischer Ebene als auch in Hinblick auf die vielfachliche bzw. vielperspektivische Entwicklung – gegeben. Insgesamt wird in diesem Band auch die grundlegende bildende Aufgabe des Sachunterrichts benannt und die Notwendigkeit, den Unterricht an die sich wandelnden gesellschaftlichen Anforderungen anzupassen.

Den Herausgeberinnen Nina Dunker und Anne Reh gelingt es dabei, sowohl fachorientierte bzw. spezifische Aspekte eines chemieorientierten Sachunterrichts – dessen Fachbezüge in der Grundschule häufig gemieden werden – zu versammeln, als auch Lösungen anzubieten, wie fachorientierte Zugänge bzw. Inhalte in sachunterrichtliche Zusammenhänge gestellt werden können. Der Band leistet somit einen doppelten Beitrag: Die Spezifika und fachliche Grundlegung nicht zu vernachlässigen und gleichzeitig Lösungen anzubieten, dies in einen kindorientierten Zusammenhang zu bringen.

Dieser Band bringt zudem eine Neuerung mit sich, die auch aufgrund des Verlagsanschlusses des Schneider-Verlags erfolgen konnte: Dieser Band ist der erste der Reihe, der vornehmlich als Open-Access-Publikation geplant wurde und Verbreitung findet. Andere Bände der Reihe haben zwar auch den Open-Access-Charakter, der aber aufbauend auf der Print-Ausgabe erfolgte. Hier ist es nun umgekehrt. Wir hoffen, damit eine breite Leserschaft für die aktuellen Entwicklungen in der Didaktik des Sachunterrichts zu erreichen und wünschen viel Spaß und neue Erkenntnisse bei der Lektüre des Bandes „Chemiebezogenes Lernen im Sachunterricht: Vielperspektivische Zugänge für die Grundschule“.

Saarbrücken im Januar 2025
Markus Peschel

Inhalt

Nina Dunker & Anne Reh

Chemiebezogenes Lernen im vielperspektivischen Sachunterricht 11

Ralf Geiß & Svantje Schumann

Chemiewissenschaftliche Propädeutik im Sachunterricht. Wie lässt sich
Verstehen von chemischen Stoffumwandlungen auf der Primarstufe anbahnen? 15

Julia Menger

Ausgewählte Prinzipien als Rahmen für die Unterrichtsentwicklung im
naturwissenschaftlichen Sachunterricht 33

Susanne Miller, Anne Reh, Joana Ernst, Mona Stets, Rebecca Hummel & René Schroeder

Die Frage als eigentliche Chance für Conceptual Change 47

Marie Fischer, Pascal Kihm, Luisa Lauer, Markus Peschel

Die *Kinder-Sachen-Welten-Frage* unter besonderer Berücksichtigung
chemischer Bezüge 59

Nina Dunker

Forschendes Lernen im chemiebezogenen Sachunterricht 77

Tim Billion-Kramer, Laura Arndt, Inga Desch, Katrin Schneider-Özbek, Markus Rehm

Nichts bleibt, wie es war: Stoffe und ihre Veränderungen in den Lebenswelten
von Grundschulkindern 95

Yannik Wilke

Formatives Assessment und Lernprozessbegleitung als Teil der
Leistungsbeurteilung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht 105

René Schroeder, Anne Reh

Didaktisch-Diagnostische Betrachtung von Lehr-Lernsituationen –
Experimentieren mit Feuer 123

Alina Tum und Maik Walpuski

Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen
Sachunterricht und Chemieunterricht 135

Marie-Christin Fritz, Christina Egger, Herbert Neureiter

Wie viel Chemie steckt in Milch? 149

Anja Lembens, Christian Nosko, Susanne Jaklin-Farcher und Katrin Reiter

Materialien zum Thema „Saures und Basisches im Alltag“ – Unterstützung zur
Unterrichtsgestaltung und Weiterentwicklung des Professionswissens von
Sachunterrichtslehrer:innen 163

Christian Nosko, Sandra Puddu und Anja Lembens

Naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im Sachunterricht Raum
geben 177

Ralf Geiß & Svantje Schumann

Phänomenbasierte Zugänge zur Chemie im Sachunterricht der Grundschule ... 189

Beate Blaseio

Chemische Aspekte in aktuellen Sachunterrichtscurricula in Deutschland,
Österreich und der Schweiz 207

Chemiebezogenes Lernen im vielperspektivischen Sachunterricht

NINA DUNKER & ANNE REH

Im aktuellen Konzept des vielperspektivischen Sachunterrichts stellt das chemiebezogene Lernen eine von mehreren Perspektiven dar, die es Schülerinnen und Schülern ermöglicht, Phänomene ganzheitlich und wissenschaftlich zu erschließen, indem sie diese unter Zuhilfenahme naturwissenschaftlicher Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen untersuchen (GDSU 2013; Steffensky 2022). Im ersten Abschnitt dieses Buches finden sich entsprechend Beiträge zu den Aufgaben und Prinzipien des Sachunterrichts (Menger) und ebenso chemiewissenschaftlicher Propädeutik im Sachunterricht (Geiß und Schumann).

Es soll bereits im Grundschulunterricht ein umfassendes Verständnis für die natürliche und materielle Welt vermittelt werden. Ob diesem hohen Anspruch jedoch umfänglich nachgekommen werden kann, wird auch in der Fachgesellschaft kontrovers (Möller et al. 2014). Konsens lässt sich dahingehend formulieren, dass nicht der Aufbau eines reinen Faktenwissens im Vordergrund steht, sondern es „vielmehr um ein Erarbeiten von Konzepten“ (Möller et al. 2014: 528) geht, welche – mit Blick auf Chemie – das Erfassen von Stoffeigenschaften und Stoffumwandlungen umfassen. Den Potenzialen des Sachunterrichts und der Frage danach, „inwiefern Elementarisierungen und Rekonstruktionen chemischer Konzepte zu Stoffveränderungen Kinder unterstützen können, lebensweltliche Phänomene zu verstehen“ (Billion-Kramer et al. in diesem Band S. 93) wird im Beitrag von Billion-Kramer et al. nachgegangen. Dabei ergeben sich logische Vernetzungen zu allen Perspektiven des Sachunterrichts, die eine vielperspektivische Bearbeitung und eine Vernetzung der aufgebauten Wissensbestände und Konzepte ermöglichen (Möller et al. 2014). Naturwissenschaftliche Bildung orientiert sich im Sachunterricht häufig am Konzept des Scientific Literacy (Gogolin et al. 2017; Steffensky 2022), so auch der Artikel in diesem Band von Nosko, Puddu und Lembens, der im Rahmen des Forschenden Lernens exemplarisch die Löslichkeit von Stoffen zur Förderung naturwissenschaftlicher Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen in den Blick nimmt. Ausgehend vom Scientific Literacy kann auch bereits für das Grundschulalter die Anbahnung von Modellierungsprozessen argumentiert werden (Gogolin et al. 2017; GDSU 2013), deren Einsatz jedoch auch kontrovers diskutiert wird. Modelle sind in der Chemie wichtige Zugänge und Werkzeuge, um die Stoffumwandlungsprozesse darstellbar und erklärbar zu machen. Der wissenschaftliche Diskurs im Sachunterricht beschäftigt sich ebenfalls langjährig mit der Frage, ob und inwieweit Modelle und für den Chemiebereich, insbesondere Teilchenmodelle, bereits im Grundschulunterricht thematisiert werden sollen. Hierzu gibt es aktuell unterschiedliche Positionen, welche im Rahmen dieser Publikation ebenfalls aufgezeigt werden. Dabei differieren die Posi-

tionen nicht in der Frage, ob Modelle genutzt werden können, sondern wie detailliert auf Ebene von Teilchen bereits mit Kindern im Grundschulalter gearbeitet werden kann. Leitend ist hier nicht nur die Aushandlung von Bezugswissenschaft und Fachdidaktik, sondern ebenso die sachdidaktische Aushandlung von Kind und Sache. Der Artikel von Fitz, Egger und Neureiter befasst sich dezidiert mit dem Modelllernen am Beispiel des Zentrifugierens und Homogenisierens.

Das Konzept des vielperspektivischen Sachunterrichts bestimmt den Diskurs der Fachdidaktik seit vielen Jahren (Lauterbach 2017) und hat an vielen Stellen Kontroversen ausgelöst, wenn es um die Frage ging, welche spezifisch monoperspektivischen und damit auch in Bezug auf eine Fachwissenschaft bezogenen Anteile des Erschließungsprozesses ausschließlich im Rahmen der dafür vorgesehenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen vermittelt werden können.

„Gleichsam einer Pendelbewegung schwingt das Konzept der Vielperspektivität im Diskurs zwischen Fachbezug und Kindorientierung (Albers 2017; Schroeder 2022). Als zentrales Prinzip verweist es darin auch auf eines der Grundprobleme dieser Fachdidaktik: Bestimmt sich der disziplinäre Kern aus einem integrativen Konnex verschiedener Bezugsfächer oder bildet die Lebenswelt der Kinder, also das Alltägliche, Vorfachliche im Sinne eines phänomenologischen Verständnisses dieses Begriffes (Husserl 2002), den grundlegenden Referenzpunkt originär sachunterrichtlicher Perspektivierung? (Flügel et al. 2024: 63)“.

Im Rahmen dieser Publikation möchten wir die Breite der Ansätze in der Praxis darstellen, ohne die Kontroversen, die sich aus den jeweiligen Sichtweisen ergeben, zu bewerten, denn sie sind Teil des wissenschaftlichen Diskurses in unserer Fachgesellschaft und bilden diesen aus unserer Sicht zum jetzigen Zeitpunkt besonders gut ab. Gleichzeitig ist es aber auch herausfordernd im Sachunterricht, als vielperspektivisches Fach, für Lehrkräfte in allen Bezugswissenschaften ein umfassendes Fachwissen zu erwerben. Zur Unterstützung dieses Prozesses gibt der Artikel von Lembens, Nosko, Jaklin-Farcher und Reiter Einblicke in den Themenkomplex „Saures und Basisches im Alltag“. Dieser Artikel fokussiert die Unterstützung von Lehrkräften zur Unterrichtsgestaltung. Ausgehend von der vielperspektivischen Gestaltung von Sachunterricht hin zu monoperspektivischen Sichtweisen der Vereinzelung der Fächer an weiterführenden Schulen stellt sich in diesem Kontext auch die Frage nach dem Übergang zwischen Sachunterricht und Chemieunterricht. Dieser wird im Artikel von Tum und Walpuski in den Blick genommen.

Ein weiteres relevantes Element naturwissenschaftlicher Grundbildung stellt zudem die Frage oder das Fragen von Kindern dar. Der Beitrag von Fischer et al. in diesem Sammelband adressiert das Prinzip der Fragenorientierung vor dem Hintergrund einer Kinder-Sachen-Welten-Frage und zeigt konkrete unterschiedliche Umsetzungsmöglichkeiten auf. Ebenso der Artikel von Miller et al., der die Kinderfrage als „eigentliche Chance des Unterrichts“ (Combe & Gebhard 2007: 51) in den Mittelpunkt stellt und diese aus erkenntnis-, bildungs- und lerntheoretischer Perspektive diskutiert. Der Beitrag von Dunker thematisiert das Forschende Lernen im Sachunterricht und die damit verbundenen Herausforderungen.

Zukunftsfähige Kompetenzen, die in der Grundschule erworben werden sollen, umfassen nicht nur fachliche Kenntnisse, sondern auch überfachliche Kompetenzen wie kritisches Denken, Problemlösungsfähigkeiten, Teamarbeit und Kommunikation (Kahlert 2016). Dies lässt sich auch aus dem Bildungsanspruch des Sachunterrichts ableiten (GDSU 2013). Dazu sind im Grundschulunterricht besondere Herausforderungen zu berücksichtigen, wie beispielsweise die Frage nach der Analyse der Ausgangsvoraussetzungen von Kindern und dem Umgang mit diesen (Schroeder et al. 2021). Mit Blick auf didaktisch-diagnostische Potenziale im Sachunterricht fokussiert der Beitrag von Schroeder und Reh die Analyse von entsprechenden Ausgangsvoraussetzungen beim Experimentieren. Ein integratives Lernen, das verschiedene Perspektiven und Disziplinen einschließt, bereitet Schülerinnen und Schüler auf die Anforderungen einer sich wandelnden Welt vor, muss aber gleichzeitig auch den Anforderungen von Schule gerecht werden, wenn es beispielsweise um Leistungsbewertung geht. Der Text von Wilke beleuchtet in diesem Kontext das formative Assessment und eine Lernprozessbegleitung mit Blick auf Naturwissenschaften. Konkret wird dies anhand eines Versuchs zum Thema Feuer verdeutlicht.

Insgesamt ist das chemiebezogene Lernen im vielperspektivischen Sachunterricht ein wichtiger Bestandteil der Grundschulbildung, der dazu beiträgt, Schülerinnen und Schülern ein umfassendes Verständnis für die Welt um sie herum zu vermitteln und sie auf eine aktive Teilnahme an der Gesellschaft vorzubereiten. Dennoch sind chemische Aspekte im Sachunterricht der Grundschule meist unterrepräsentiert (Janssen et al. 2014). Im Beitrag von Blaseio wurden die Lehrpläne aus 2023 der D-A-CH-Länder in den Klassen 1 bis 4 systematisch untersucht, um zu ermitteln, welche chemischen Aspekte im frühen Sachlernen der Grundschule Berücksichtigung finden.

Mit der Publikation verbinden wir, die Herausgeberinnen, den Wunsch, einerseits die Vielfalt der Diskurse nebeneinanderzustellen, auch wenn diese zum Teil aus unterschiedlichen Sichtweisen argumentieren. Wir möchten zudem vor dem Hintergrund unserer Fachdidaktik Sachunterricht das Spannungsfeld „Chemie für kleine Kinder“ versus „Sachunterricht unter Zuhilfenahme der chemiebezogenen Perspektive“ und den damit verbundenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen aufzeigen und dafür sensibilisieren, dass die sachunterrichtlichen Prinzipien wie beispielsweise Fragenorientierung, Perspektivenvernetzung, forschendes Lernen oder Phänomenorientierung die Grundpfeiler des sachunterrichtlichen Lernens darstellen und damit das Lernen rahmen.

Literatur

- Combe, Arno & Gebhard, Ulrich (2007): Sinn und Erfahrung. Zum Verständnis fachlicher Lernprozesse in der Schule. Leverkusen-Opladen: Verlag Barbara Budrich. <https://doi.org/10.2307/j.ctvdf00pz>
- Flügel, Alexandra; Kater-Wettstädt, Lydia; Kucharz, Diemut; Pech, Detlef; Schomaker, Claudia; Schroeder, René; Simon, Toni & Skorsetz, Nina (2024): Vielperspektivität – Reflexion eines Konstrukts didaktischen Denkens im Sachunterricht. In: GDSU Journal 2024(15), S. 62–72.
- GDSU (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gogolin, Sarah; Krell, Moritz; Lange-Schubert, Kim; Hartinger, Andreas; Upmeyer zu Belzen, Annette & Krüger, Dirk (2017): Erfassung von Modellkompetenz bei Grundschüler/innen. In: H. Giest, A. Hartinger und S. Tänzer (Hrsg.): *Vielperspektivität im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 108–115.
- Janssen, Mareike; Spitzer, Philipp & Gröger, Martin (2014): Durch Naturbezug mehr Chemie im Sachunterricht. In: S. Bernholt (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. Kiel: IPN, 405–407.
- Kahlert, Joachim (2016): Der Sachunterricht und seine Didaktik. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. <https://doi.org/10.36198/9783838546025>
- Lauterbach, Roland (2017): Vielperspektivität – ein Beitrag zur Identitätsfindung der Didaktik des Sachunterrichts. In: H. Giest, A. Hartinger & S. Tänzer (Hrsg.): *Vielperspektivität im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 13–26.
- Möller, Kornelia; Kleickmann, Thilo & Sodian, Beate (2014): Naturwissenschaftlich-technischer Lernbereich. In: W. Einsiedler, M. Götz, A. Hartinger, F. Heinzel, Joachim Kahlert und U. Sandfuchs (Hrsg.): *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 527–535.
- Schroeder, René; Blumberg, Eva; Kottmann, Brigitte; Miller, Susanne & Reh, Anne (2021): Chancen des inklusionsorientierten Sachunterrichts für didaktisch-diagnostisches Handeln. Konzeptionelle und methodologisch-methodische Grundlagen eines forschungsbasierten Entwicklungsansatzes für die Lehrer:innenbildung. *Qfl – Qualifizierung für Inklusion*, 3(2), 1–18.
- Steffensky, Mirjam (2022): Chemische Aspekte. In: J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 141–145.

Chemiewissenschaftliche Propädeutik im Sachunterricht. Wie lässt sich Verstehen von chemischen Stoffumwandlungen auf der Primarstufe anbahnen?

RALF GEISS & SVANTJE SCHUMANN

1 Einleitung

Propädeutik wird zwar tendenziell eher mit dem Unterricht auf der Sekundarstufe in Verbindung gesetzt, aber Vorstufen von Erkenntnis gibt es in jeder Alters- und Entwicklungsstufe. Es kann also durchaus gefragt werden, wie sich ein späteres Verständnis für Chemie bereits in der Grundschule anbahnen lässt und wie sich in diesem Sinne günstige Bedingungen herstellen lassen. Exemplarisch soll am Beispiel der Kerze, auf der Basis der Darstellung der Chemiewissenschaftsentwicklung und dem Grundsatz erfahrungsbasierter Bildung hergeleitet werden, wie sich ein Verständnis vom Wesen einer chemischen Reaktion ansatzweise auch in der Grundschule anbahnen lassen kann.

Sachunterricht in der Grundschule hat den Anspruch, Kinder bei der Welterschließung (vgl. Kahlert 2022: 18 f.; Schumann 2023) zu unterstützen. Laut Duncker hat Sachunterricht die Aufgabe, Kindern zu ermöglichen, „Wirklichkeit zu erschließen, indem er sie durchschaubar und verständlich macht, so daß die Schüler lernen, sich in ihr zu orientieren, in ihr zu handeln und sie verantwortlich mitzugestalten“ (Duncker 2004: 29). U. a. Köhnlein sieht dabei vor allem die geistige Entfaltung im Zentrum, er schreibt: „Dem Erschließen der Welt durch das Individuum entspricht das Wachstum seiner geistigen Gestalt“ (Köhnlein 1999: 88). Für Lauterbach (2020: 61) sollte sich der Sachunterrichtsinhalt auf bildungsrelevante und lebensbedeutsame Sachen und Sachverhalte konzentrieren; Unterrichtsinhalte würden durch didaktische Entscheidungen sowie im Unterrichtsprozess in der Gemeinschaft von Lehrkräften und Schüler:innen entstehen. Eine besondere Aufmerksamkeit erfährt im Sachunterricht der Anspruch, Verstehen zu unterstützen (Kahlert 2022: 26). Dieser Anspruch wurde besonders nachdrücklich von Martin Wagenschein vertreten (vgl. u. a. Wagenschein 1970a, 1970b, 1989).

Erfahrungsbasierte Bildung bedeutet, dass Kinder möglichst häufig unmittelbar in Kontakt mit Phänomenen und Prozessen kommen. Das Thema der erfahrungsbasierten Bildung ist tief und fest in der Pädagogik verankert und hat u. a. Wurzeln in der Zeit der Reformpädagogik. Aktuell wird er wieder verstärkt aufgegriffen, u. a. weil immer deutlicher wird, dass die Gesellschaft der Zukunft auf empathische Menschen mit stabiler Persönlichkeit in besonderem Maße angewiesen sein wird. In erfahrungs-

basierten Bildungsprozessen übernehmen Kinder viel Initiative und können insbesondere Selbst- und Sozialkompetenz entwickeln, aber auch Sach- und Methodenkompetenz.

Im Folgenden wird die Frage gestellt, ob es möglich erscheint, Kinder auf der Primarstufe (es wird dabei an Kinder ab ca. der 3. oder 4. Klasse bis ca. zur 6. Klasse gedacht – in der Schweiz besuchen Kinder sechs Jahre lang die Primarschule) beim Anbahnen eines Verständnisses von Chemie zu unterstützen. Was könnte zum Verständnis aufbau beitragen oder ihn begünstigen, was könnte eher verwirrend für Kinder sein, was interessant bzw. irrelevant für sie? Sind „kindgerechte“ Zugangswege formulierbar und begründbar? Ausgehend von einer Auseinandersetzung mit der wissenschaftshistorischen Genese der Chemie wird versucht, eine Kernidee der Chemie zu benennen und Vorschläge zu entwickeln, wie man Kinder der Primarstufe bei der Auseinandersetzung mit dieser Idee unterstützen könnte. Die Vorschläge werden skizziert und abschließend kritisch reflektiert.

2 Chemiezugänge wissenschaftsgeschichtlich betrachtet

Die Ursprünge der Chemie liegen in der Alchemie. Alchemisten versuchten, Stoffe umzuwandeln oder herzustellen, wobei das Spektrum sehr breit war und von Schießpulver über Pharmazeutika bis hin zu Gold reichte. Eine wesentliche Vorstellung der Alchemisten war, dass Stoffe erst von unreinen Zutaten durch Anwendung der Prinzipien (wie Erhitzen, Abkühlen, Zusatz bestimmter Stoffe) befreit und auf die sogenannte „materia prima“, eine Art Ursubstanz, zurückgeführt werden, die dann z. B. in Gold umgewandelt werden sollte. Die Alchemisten entwickelten u. a. Destillations-, Extraktions- und Sublimationsapparaturen.

Die griechisch beeinflusste arabische Alchemie bezog sich u. a. auch auf das Elementkonzept des Empedokles. Empedokles (ca. 494 bis 434 v. Chr.) war ein griechischer Philosoph, Naturforscher, Politiker und Dichter. Er glaubte, die Natur habe insgesamt vier Urstoffe oder Wurzeln, wie er das nannte. Diese vier Wurzeln nannte er Erde, Luft, Feuer und Wasser, entsprechend vier Primärqualitäten, nämlich Trockenheit, Kälte, Hitze und Feuchtigkeit. Alle Veränderungen in der Natur ergeben sich dadurch, dass die vier Stoffe sich verbinden und wieder voneinander trennen. Denn alles besteht aus Erde, Luft, Feuer und Wasser, nur eben in unterschiedlichen Mengenverhältnissen. Es blieb aber bei Empedokles die Frage offen, was die Ursache dafür ist, dass die Stoffe sich zusammenfügen, oder was dafür sorgt, dass eine komplexe Verbindung, ein Baum oder ein Insekt zum Beispiel, sich wieder auflöst. Empedokles meinte, dass in der Natur zwei verschiedene Kräfte wirken müssen. Diese Kräfte nannte er Liebe und Streit. Was die Dinge verbindet, ist die Liebe, was sie auflöst, der Streit. Empedokles unterscheidet also zwischen Stoffen und Kräften. Die Vier-Elemente-Lehre beeinflusste lange das chemische, chemisch-biologische und medizinische Denken. Empedokles hielt Feuer, Wasser, Erde, Luft für ewig existent – unterschiedlich gemischt können sie die gesamte lebende Welt abbilden (Wessel 2021).

Die späteren griechischen Philosophen entwickelten die Lehre des Empedokles weiter. Platon sah die Elemente als notwendig für die wahrnehmbare Natur an, Aristoteles ordnete ihnen Eigenschaften und sinnliche Qualitäten zu: Feuer ist trocken und warm, Erde trocken und kalt, Luft feucht und warm und Wasser schließlich feucht und kalt. Die Elemente können sich zu Substanzen verbinden. So entwickelte die Vier-Elemente-Lehre ihre Dynamik. In den Metamorphosen des Ovid heißt es an einer Stelle: *„Vier erzeugende Stoffe enthält das ewige Weltall. Zwei von ihnen sind schwer, und es drängt sie beständig nach unten, weil ihr Gewicht sie belastet: die beiden sind Erde und Wasser. Ebenso viele entbehren der Schwere; sie streben, weil nichts sie presst, in die Höhe: die Luft und das Feuer, das reiner als Luft ist. Aber obwohl sie räumlich getrennt sind, wird dennoch aus ihnen alles, und alles zerfällt in sie.“* Die Lehre von den vier Elementen prägte die Wissenschaftsgeschichte zwei Jahrtausende. Sie fand ihren Platz in der Alchemie des späten Mittelalters und der frühen Neuzeit.

Später hat man versucht, die Vier-Elemente-Lehre mithilfe von Experimenten zu bestätigen. Ein bekanntes Beispiel hierzu war dasjenige des belgischen Naturforschers Johan Baptista van Helmont. Während um 350 v. Chr. der griechische Gelehrte Aristoteles daran glaubte, dass der Boden alle Substanzen für das Pflanzenwachstum liefert, gelang es im 17. Jahrhundert van Helmont nachzuweisen, dass die Masse des Baumes sich nicht allein aus der Aufnahme von Erde bilden kann. Er verglich nämlich die Gewichtszunahme einer Weidenpflanze mit der Abnahme des Gewichts des Bodens nach einem längeren Zeitraum und stellte dabei fest: Die Pflanze hatte erheblich an Gewicht zugelegt – das Gewicht des Bodens hatte aber kaum abgenommen. Fierz-David stellt das Experiment wie folgt dar: Johan Baptista van Helmont nahm *«eine gewisse Menge von Erde und trocknete sie im Backofen, nachdem das Brot herausgenommen worden war. Diese trockene Erde wog er sehr genau. Darauf brachte er sie in einen gut verzinnnten Kessel, der mit vielen Löchern versehen war, und pflanzte eine kleine Weide hinein, die er ebenfalls genau gewogen hatte. Darauf begoss er die Pflanze mit Regenwasser, wobei er sich versicherte, dass es keinen Rückstand beim Verdampfen hinterließ, und ließ die Weide einige Jahre wachsen. Nach etwa fünf Jahren nahm er die Weide aus dem Kessel, entfernte alle Erde von den Wurzeln und wog nun die Pflanze. Ebenso wog er die Erde nach nochmaligem Trocknen im Backofen, und nun fand er, dass die Weide, die vor fünf Jahren ein halbes Pfund schwer gewesen war, jetzt 550 Pfund wog. Die getrocknete Erde aber hatte nur um wenige Unzen, das heißt etwa 50g, abgenommen. Daraus folgte nach van Helmonts Ansicht einwandfrei, dass aus reinem Wasser Erde, das heißt nämlich eine Pflanze, entstehen könne. Ferner zeigte er, dass die neu entstandene <Erde> – eben die Weide – in Wirklichkeit aus allen vier Elementen, Feuer, Luft, Erde, Wasser, zusammengesetzt war, und zwar wie folgt: Er verbrannte die Weide und beobachtete, dass Wasser, Rauch (d. h. also Luft) und Feuer entwichen und dass Asche (also Erde) verblieb. Damit war die alte Elementenlehre glänzend gerechtfertigt!»* (Fierz-David 1952). Es war dann Robert Boyle, der 1661 in seinem Buch *The Sceptical Chymist* die Frage stellte, *«ob dieses Experiment nicht noch anders als nach van Helmont erklärt werden könnte, und ob dieses Element <Wasser> denn überhaupt etwas Einfaches sei. Er stellte die Frage, ob vielleicht die sogenannten vier Elemente nicht ihrerseits zusammengesetzte Körper seien»* (zit. nach Fierz-David 1952).

Als eine sehr ursprüngliche chemische Theorie kann die Phlogistontheorie bezeichnet werden, die insbesondere durch den Chemiker Georg Ernst Stahl (1659–1734) zu Beginn des 18. Jahrhunderts ausgearbeitet wurde. Nach der Phlogistontheorie sind alle Stoffe aus zwei Komponenten zusammengesetzt: aus den charakteristischen Elementen (Wasser, Erde, Luft) und aus einer mehr oder weniger großen Menge einer entzündbaren Substanz, dem Phlogiston. Georg Ernst Stahl erklärte z. B. das Rosten eines Metalls mit dem Entweichen des Phlogistons aus dem metallischen Körper. Und auch Feuer bedeutete nach Stahl, dass Phlogiston aus einem Material entweicht. Im Gegensatz, so die Annahme, konnte man Metall gewinnen, indem man einen sehr phlogistonhaltigen Stoff einem Metalloxid zuführe (Geiß 2017: 116). Es war möglich, mit der Phlogistontheorie viele damals bekannte Phänomene der Chemie zu beschreiben. So erklärte sie den Befund, dass in abgeschlossenen Gefäßen Kerzen nach einiger Zeit ausgehen. Luft sollte danach nur eine bestimmte Menge aus der Kerze entweichendes Phlogiston aufnehmen können.

Dann entdeckten jedoch zuerst Joseph Priestley (1774) und Carl Wilhelm Scheele (Entdeckung 1771, Publikation 1777) den Sauerstoff bzw. die Tatsache, dass Luft aus verschiedenen Bestandteilen besteht. Joseph Priestley führte gegen Ende des 18. Jahrhunderts Versuche durch, die den Hinweis ergaben, dass es einen Zusammenhang zwischen Bestandteilen der Luft und dem Pflanzenwachstum gibt. Priestley stellte fest, dass in einem luftdicht verschlossenen Glas eine Kerze schnell erlosch und eine Maus nach kurzer Zeit starb; wenn Kerze und Maus gemeinsam im Glas waren, starb die Maus noch schneller. Wenn aber in dem Gefäß eine Pflanze wuchs, brannte eine Kerze länger und eine Maus konnte überleben. Priestley sprach von «verbrauchter» und «frischer» Luft (vgl. Lockemann 1929). Er kam zu dem Schluss, dass die Pflanze der Luft offenbar den Luftbestandteil wiedergab, der der Luft vorher durch Kerze und/oder Maus entzogen worden war. Endgültig widerlegt wurde die Phlogistontheorie 1785 von Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794), der, anknüpfend an diese Erkenntnisse zur Luftforschung, zeigen konnte, dass alle Verbrennungsphänomene ohne Einsatz von unwahrscheinlichen Annahmen mit Hilfe seiner Oxidationstheorie und durch das Gas Sauerstoff erklärt werden konnten.

Lavoisier gilt als einer der wichtigsten Begründer der modernen Chemie. Geiß schreibt (2017: 117): «Die Sprache in seinen Publikationen ist teilweise so modern, dass es dem Leser manchmal schwerfällt, zu begreifen, dass der Autor in der zweiten Hälfte des 18. Jhd. gelebt hat». Und Beretta führt aus:

«In seinen Mitteilungen hat Lavoisier nicht nur seine Experimente auf das Genaueste beschrieben, sondern – und das ist in der Geschichte der Chemie wohl erstmals der Fall – er hat auch die Art seiner Experimente, die Gewichtszahlen vor und nach dem Versuch sowie die Schlüsse, die man daraus ziehen kann, in ganz neuer Weise dargestellt. Gewagte Spekulationen hat er streng vermieden, seine Schlüsse auf das Sorgfältigste abgewogen und, wenn er etwa eine Vermutung äußern musste, die notwendigen Vorbehalte stets ausdrücklich gemacht. Alle Arbeiten Lavoisiers sind mit der bewussten Absicht verfasst, dass es immer möglich sein sollte, seine Angaben nachzuprüfen» (Beretta 1999).

Antoine Laurent de Lavoisier stellte 1789 erstmals eine Liste von 33 «einfachen Stoffen» auf. Nach heutiger Definition sind 21 davon Elemente, also Stoffe, die sich mit keinem chemischen Verfahren weiter trennen lassen.

Grundsätzlich lässt sich, wenn man die Wissenschaftsgeschichte der Chemie ansieht, erkennen: Es ist nicht einfach, in der Wissenschaftsdisziplin Chemie zu Erkenntnissen zu kommen. Die jüngste bedeutsame chemische Theorie, die Orbitaltheorie von Erwin Schrödinger, stammt aus dem Jahr 1928. Chemische Erkenntnisse brauchen viel Zeit, sind also sehr schwierig zu gewinnen. Warum? Vielleicht kann man sich das deutlicher vor Augen führen, wenn man die Chemie mit anderen Naturwissenschaften vergleicht. Die Physik hat gegenüber der Chemie den Vorteil, dass sie Details oft erst einmal außen vor lassen und in vereinfachten Situationen denken kann. Das geht in der Chemie nicht. Es ist eben nicht vernachlässigbar, dass bei der brennenden Kerze Wasser entsteht oder Ruß, und man kann auch nicht darauf verzichten, zu unterscheiden, ob bei einer Verbrennung Luft benötigt wird oder Sauerstoff. In der Biologie ist es so, dass auf vielen Teilgebieten solche Phänomene Gegenstand der Betrachtung bzw. Untersuchung sind, die man gut sinnlich wahrnehmen und analysieren kann. Das geht in der Chemie auch nicht – quasi «das Wichtigste» in der Chemie bleibt den Sinnen verborgen – bei chemischen Reaktionen gibt es eben nur das «Vorher» und das «Nachher». Wie sieht es vor diesem Hintergrund nun aus: scheint es möglich zu sein, Kinder auf der Primarstufe beim Anbahnen eines Verständnisses von Chemie zu unterstützen? Was könnte zu Verständnis führen, was könnte eher verwirrend für Kinder sein oder uninteressant bzw. irrelevant? Kann es «kindgerechte Zugangswege» geben? In der Wissenschaftsgeschichte zeigt sich: Eine Urfrage der Chemie war und ist die Frage, wie aus einem Stoff ein ganz anderer werden kann. Aber ist es möglich, Kinder der Primarstufe an die Idee der Stoffumwandlung heranzuführen?

3 Vorschläge zur Anbahnung von Verständnis in Bezug auf Stoffumwandlungen

Vorgänge, die zur Bildung neuer Stoffe führen, werden chemische Reaktionen genannt. Aber nicht immer, wenn neue Eigenschaften auftreten, tritt auch ein neuer Stoff auf. Wenn beispielsweise Wasser verdampft, ändert sich nur der Aggregatzustand, es entsteht aber kein neuer Stoff. Für chemische Reaktionen gilt jedoch, dass im Prozess auf geheimnisvolle Weise neue Stoffe entstehen. Es gibt verschiedene Arten, wie chemische Reaktionen ablaufen können:

- Stoffspaltungen sind chemische Reaktionen, d. h., es werden neue Stoffe dabei gebildet. Im Verlauf von Stoffspaltungen werden aus einem Stoff mindestens zwei neue Stoffe gebildet.
- Stoffvereinigungen sind chemische Reaktionen, d. h., es werden neue Stoffe dabei gebildet. Im Verlauf von Stoffvereinigungen wird aus mindestens zwei Stoffen ein neuer Stoff gebildet.

Was für Möglichkeiten könnte es geben, um Erfahrungen mit chemischen Reaktionen zu sammeln und erste Erkenntnisse zu gewinnen und ein Verständnis anzubahnen? Im Folgenden werden verschiedene Vorschläge skizziert, die anschließend kritisch reflektiert werden.

3.1 Feuer als Urphänomen in der Geschichte der Menschheit kennenlernen

Ein «Urphänomen» ist das Feuer, wenn man sich die Geschichte der Menschheit anschaut. Zuverlässige archäologische Fundstellen von Lagerfeuern sind zwar nur ca. 500.000 Jahre alt. Aber es gilt als sehr wahrscheinlich, dass es dem frühen Homo erectus schon vor über 1,5 Mio. Jahren gelang, Feuer für sich nutzbar zu machen (vgl. Geiß 2017: 48).

Die Nutzung von Feuer in der Altsteinzeit lässt sich mit Kindern der Primarstufe gut nachvollziehen – Kinder können z. B. im Rahmen eines Projekttages oder einer Projektwoche einmal möglichst ursprünglich zu leben versuchen – u. a. auch ausprobieren, ob sie aus Naturmaterialien im Wald erfahren, wie man Feuer machen kann und dabei auf die Sicherheit achtet, wie man mit oder über dem Feuer kocht etc. Der Nutzen von Feuer für die Menschen wird so erlebbar: als Licht- und Wärmequelle, als Schutz vor wilden Tieren, aber auch die Aspekte können bewusst werden, dass Lebensmittel mit Hilfe von Feuer leichter verdaubar oder haltbarer gemacht werden können. Und es lassen sich Erfahrungen sammeln, wie dass sich Holzspeerspitzen über dem Feuer härten ließen oder es verschiedene Verwendungszwecke für Asche gab und gibt. Ausprobiert werden kann, welche zwei ursprünglichen Arten des Feuermachens es gibt: Zum einen gibt es Feuerbohrer, wobei man ein Stück hartes Holz mit z. B. der Hilfe eines Drehbogens auf einem Stück weichen Holzes reibt/dreht und in die Kerbe Zunder, z. B. Bär-lappsporen, feinste Holzspäne etc. füllt. Kinder und Erwachsene schaffen es immer nur, ein Heißwerden, Rauchen oder Glimmen zu produzieren – man erfährt, wie schwierig es ist, ein Feuer auf diese Weise zu entzünden. Zum anderen und ebenso anspruchsvoll ist die Methode, dass man mit einem Feuerstein gegen einen Pyritstein schlägt und versucht, den Funken z. B. mit einem getrockneten, weich und flach geklopften Zunderpilzlederstückchen aufzufangen, dieses Lederstückchen, das die Hitze sehr gut speichern kann, dann in ein Nest mit Zunder zu betten und durch Pusten aus dem Glimmen eine Flamme hervorzulocken.

Feuermachen lässt sich zudem auch als Gruppenspiel durchführen. Unter dem Motto «Vertrauen statt Verbote» entwickelte der Künstler Kain Karawan ein Spiel, um Kinder mit dem Umgang mit Feuer vertraut zu machen (vgl. <https://www.mitfeuerspielen.de/autor.html>). Kerninhalt ist das Vor- und Nachmachen. Teil des Spiels ist bereits die Vorbereitung: Gemeinsam werden die Türen und Fenster des Klassenzimmers geschlossen, um Luftzug zu vermeiden; es wird gegenseitig geschaut, dass alle, wie vorher besprochen, Baumwollkleidung tragen, die schwerer entzündlich ist als Kleidung aus Kunstfasern, und ggf. wird noch die Kleidung gewechselt; es wird gegenseitig geschaut, dass Feuer-Fangstellen ausgeschlossen werden können (längere Haare fixiert, Schmuck etc. beiseitegelegt, auch Mützen, Schals etc. abgelegt – der Test ist, dass der Kopf nach vorn gebeugt wird, bis das Kinn auf der Brust aufliegt: Alles, was

dann nach vorne fällt oder nach vorne ragt, muss abgelegt oder noch «gebändigt» werden); es wird gegenseitig geschaut, dass die Ärmel der Kleidung nicht zu lang oder zu weit sind (der Test ist, zu schauen, ob die Ärmel so fest über die Ellbogen gerollt sind, dass sie nicht herunterrutschen) und schließlich wird geprüft, ob der Aufbau vollständig ist: Vor jedem Kind liegt ein Backblech, darauf steht ein Glas mit Wasser.

Der Spielablauf ist dann wie folgt: Der erwachsene Spielleiter (später kann auch ein Kind die Spielleitung übernehmen) erklärt, welcher Spielzug als nächster kommen wird.

- Spielschritt 1 «Demonstration»: der Spielleiter zeigt eine Streichholzschachtel, führt vor, wie man ein Streichholz herausnimmt und mit der Reibefläche kräftig über die Reibefläche der Schachtel fährt, vom eigenen Körper weg nach vorne; am Ende der Reibebewegung wird das Streichholz ruhig und ganz senkrecht, also mit ausgestrecktem Arm, auf Augenhöhe, aber eben weit weg von den Augen, emporgehalten und im Blick behalten. Nun kann man die Flamme ruhig betrachten und dann das Streichholz auspusten, wobei man leicht pustet. Das Streichholz wird dann mit dem Kopf in das Wasserglas getaucht. Danach wird es auf dem Blech abgelegt. Es wird geschaut, ob alle Kinder gut zugeschaut haben.
- Spielschritt 2 «Pantomime»: Der Spielleiter erklärt nun, welche Aktivität gleich folgen wird, nämlich, dass die Kinder gleich je eine Streichholzschachtel mit einem Streichholz bekommen und diese auf ihr Blech legen. Sie sollen dann das Streichholz anzünden erst einmal pantomimisch «trocken» üben, d. h. das Streichholz erst einmal verkehrt herum halten und mit der Seite ohne Zündkopf die Reibebewegung ausprobieren, das dann nur «virtuell» brennende Streichholz senkrecht vor sich halten und dann ruhig «auspusten». Alle handeln dabei gemeinsam – der Spielleiter macht den Ablauf vor, sodass alle gleichzeitig dieselben Schritte durchführen.
- Spielschritt 3 «Streichholz anzünden»: Wenn alle Kinder soweit sind, machen nun alle den Ablauf gemeinsam, aber diesmal wird das Streichholz richtig herum gehalten und wirklich angezündet und später die Flamme ausgepustet und das Streichholz sicher abgekühlt.
- Spielschritt 4 «Experiment 1»: Wenn alle Kinder soweit sind, dass sie sich sicher zutrauen, ein Streichholz anzuzünden, kann man gemeinsam ein kleines Experiment machen, nämlich das Streichholz auch einmal kurz waagrecht halten, nachdem es brennt. Man wird feststellen, dass es sofort viel schneller und mit viel größerer Flamme brennt.
- Spielschritt 5 «Kerze anzünden»: Der Spielleiter erklärt den nächsten Schritt: das Anzünden einer Kerze. Auch hier erfolgt Vormachen, Nachmachen als Pantomime und dann tatsächliche Durchführung.

- Spielschritt 6: Der Spielleiter erklärt ein Feuerzeug, weil es wichtig ist, sich mit diesem erst einmal vertraut zu machen. Geklärt wird, dass es einen Gastank gibt, ein Rädchen, mit dem man die Gaszufuhr regeln kann (Richtung des Minuszeichens ist die Flamme kleiner, Richtung des Pluszeichens größer), eine Drucktaste, mit der das Gas entzündet werden kann, und eine Öffnung, an der die Flamme austritt. Wenn die Gastaste losgelassen und also nicht mehr gedrückt wird, ist das Feuerzeug aus. Man muss also beim Feuerzeug die Flamme nicht auspusten. Im Anschluss wird das Erzeugen einer kleinen Flamme mit dem Feuerzeug geübt, dann das Erzeugen einer großen Flamme, dann das Anzünden einer Kerze mit dem Feuerzeug.

Je nach Selbstvertrauen, Vorerfahrungen etc. kann das Spiel über eine längere Zeit gehen, beispielsweise kann in der ersten Woche das Spiel erst nur angekündigt und auf Notwendigkeiten, wie z. B. richtige Kleidung, hingewiesen werden und dann situativ entschieden werden, wann die einzelnen Spielschritte eingeführt und erprobt werden.

3.2 Weitere Möglichkeiten für Dialoge und Erfahrungssammlung

Mit den Kindern lässt sich im Dialog überlegen, warum Wasser oder gepustete Luft oder ein Feuerlöscher Feuer löschen. Was muss ein Löschmittel können oder wie muss es beschaffen sein? Entwickelt werden kann so im Gespräch u. a., dass ein gutes Löschmittel folgende Eigenschaften aufweist: Es ist

- nicht brennbar,
- leicht transportierbar,
- leicht und großflächig verteilbar (Pulver, Flüssigkeit, Gas),
- nicht giftig,
- in großen Mengen verfügbar,
- billig,
- gut lagerbar.

Ggf. kommen Kinder auch auf die Idee, dass man Feuer löschen kann, indem man ihm Brennstoff entzieht oder Hitze. Und manche Kinder haben schon mal gehört oder erfahren, dass Feuer «Luft» braucht, um zu brennen und dass man ein Feuer daher «ersticken» kann.

Mit dem Brennstoff kann man sich auseinandersetzen, indem man sich eine Bienenwachskerze anschaut. Dabei lässt sich u. a. überlegen, woraus diese besteht, was Bienenwachs eigentlich ist (Arbeitsbienen schwitzen Wachs aus Segmenten ihres Unterleibs aus und bauen daraus Waben; in Waben werden Vorräte gesammelt oder Eier gelegt – ggf. kann man einen Film dazu anschauen). Auch bezüglich eines Dochts kann man überlegen, was das eigentlich ist und welche Funktion ein Docht hat (u. a. Saugwirkung). Kinder können dann auf verschiedene Weisen Kerzen selbst herstellen: Kerzen ziehen, Kerzen gießen und Kerzen rollen.

3.3 Auseinandersetzung mit der brennenden Kerze

Um das Phänomen «brennende Kerze» näher zu erforschen, kann man die Kerze auf einer feuerfesten Unterlage anzünden und beobachten. Folgender Erkundungsauftrag lässt sich dazu formulieren: «Beobachtet die brennende Kerze. Zeichnet die brennende Kerze dann so, dass der obere Teil der Kerze und die Kerzenflamme ganz genau dargestellt sind».

Folgende Beobachtungen sind möglich:

- Die Flammenform: Die Flamme einer Kerze ist in der Regel ellipsenförmig langgezogen, oben meist spitz, unten stumpfer. Am oberen Ende läuft sie nicht immer spitz zu, manchmal erscheint sie dort ausgefranst.
- Die Flammenzonen: a) Es gibt einen Flammenkern, das ist eine Zone, in der die Flamme farblos und durchsichtig ist und die im inneren, unteren Zentrum der Flamme liegt und den Docht umhüllt. b) Es gibt einen Flammenmantel, das ist eine Zone, wo die Flamme gelb und undurchsichtig ist und die außen und oben die Flamme bildet und den oberen Teil des Flammenkerns umhüllt. c) Es gibt einen Flammensaum, da sieht die Flamme blau und durchsichtig aus; der Flammensaum liegt außen und unten, er umhüllt den unteren Teil des Flammenkerns. Feststellbar ist insgesamt auch:
- Es existieren keine scharfen Grenzen zwischen den verschiedenen Zonen einer Flamme.
- Docht: Der anfänglich wachsfarbene Docht ist in der Kerzenflamme schwarz. Bis etwa 2 bis 3 mm über dem Wachssee weist der Docht noch die Farbe des Waxes auf. Das obere Ende des Dochts reicht bis etwa in die Mitte des Flammenkerns. Ein seitlich gekrümmter Docht glüht am oberen Ende. Ein gerade in der Flamme stehender und von ihr vollständig umschlossener Docht glüht nicht.
- Wachs: Am oberen Rand der Kerze bildet sich ein fester Wachswall, innen liegt ein flüssiger Wachssee.

Zu den einzelnen Beobachtungen lassen sich nun Fragen stellen. Eine Frage ist, was denn eigentlich brennt, wenn eine Kerze brennt – der Docht, das flüssige Wachs, das feste Wachs oder das gasförmige Wachs? Hierzu kann man jeweils Experimente durchführen. Man kann zu der Aussage, dass es vermutlich das gasförmige Wachs ist, das bei der Kerze brennt, auch ein Experiment vorführen, den sog. Flammensprung.

Zum Docht ist zu sagen: Der Docht als Quelle von Wachsgas hält die Verbrennung, die Flamme, an einem Ort fest. Der Docht ist zwar brennbar, verbrennt jedoch sehr schnell. Seine zentrale Bedeutung kann also nicht im Verbrennen bestehen. Der Docht ist vor allem dazu da, das flüssige Wachs aufzusaugen und es in die Flamme zu leiten, sodass es dort verdampfen kann. Das Brennen der Kerze beruht nahezu ausschließlich auf der Verbrennung von Wachsgas. Das Wachsgas wird aus dem flüssigen Wachs im Docht gebildet. Der Docht hat somit die Funktion einer Flüssig-Wachs-Leitung – er transportiert flüssiges Wachs aus dem Wachssee in das heiße Innere der Flamme, dort verdampft es und verbrennt. Es stellt sich noch die Frage, wie es möglich ist, dass das flüssige Wachs im Wachsnebel so schnell wieder verdampfen kann. Dies

hat mit der enorm großen Oberfläche all der Wachs-Tröpfchen zu tun. Wegen der sehr großen Oberfläche kommt sehr viel flüssiges Wachs mit der heißen Streichholzflamme in Kontakt. Somit kann in kurzer Zeit viel Wachsgas gebildet werden und das flüssige Wachs sehr schnell verdampfen.

Eine andere Frage kann sein, warum sich oben auf der Kerze ein fester Wachswall außen und ein flüssiger Wachssee innen bildet. Unterhalb der Flamme bildet sich in der Kerze ein Wachssee. Der Wachssee wird von einem festen Wachsrand am oberen Ende der Kerze aufgestaut. Die Bildung des Wachsrandes lässt sich folgendermaßen erklären: Dort, wo der Wachswall das flüssige Wachs des Wachssees aufstaut, strömt relativ kalte Luft von der Seite in die Kerze hinein. Dieser Luftstrom kühlt den Wachswall, sodass er trotz der großen Hitze des nahen Flammensaums nicht schmilzt.

Dass eine Verbrennung auf Luft angewiesen ist, kann man mit Hilfe eines weiteren Experiments versuchen zu zeigen.

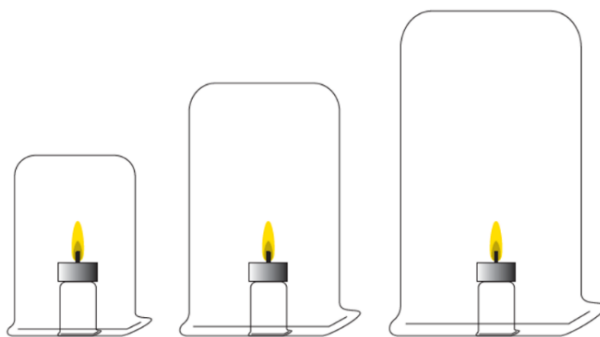


Abbildung 1: Das Brennen einer Kerze unter verschiedenen großen Bechergläsern. Quelle: Geiß (2017: 80)

Zur Durchführung dieses Experiments ist zu sagen: Drei gleich große, brennende Teelichter werden auf je ein 50-ml-Becherglas gestellt und gleichzeitig unter drei verschiedenen großen Bechergläsern eingeschlossen. Beobachten lässt sich: Je größer das Becherglas ist, desto länger brennt die Kerze. Schlussfolgerung: Für die Verbrennung von Wachsgas ist Luft erforderlich. Je mehr Luft zur Verfügung steht, umso länger brennt die Kerzenflamme. Wenn die Luft ‹verbraucht› ist, erlischt die Flamme.

Fragen kann man auch: Wenn bei der Verbrennung etwas verbraucht wird, z. B. «Luft» und «Wachs» – wird dann auch ggf. etwas produziert? Hierzu kann man zwei Experimente durchführen:

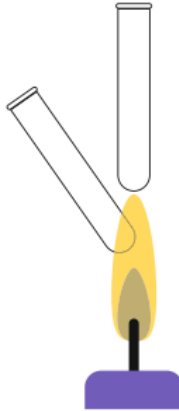


Abbildung 2: Die Entstehung von Ruß bei Verbrennungen. Quelle: Geiß (2017: 91)

Das Experiment «Reagenzglas in und über der Kerzenflamme» verläuft wie folgt: Der Boden eines Reagenzglases wird in den Flammenmantel einer brennenden Kerze gehalten. Anschließend hält man ein zweites Reagenzglas unmittelbar kurz über die Kerzenflamme. Beobachten lässt sich: Der Boden des ersten Reagenzglases färbt sich zunehmend schwarz. Der Boden des zweiten Reagenzglases färbt sich nicht schwarz. Erklären lässt sich das wie folgt: Im Flammenmantel wird aus Wachsgas schwarzer Kohlenstoff (Ruß) gebildet. Der Kohlenstoff verschwindet jedoch auch wieder im Flammenmantel, denn dort ist genügend Sauerstoff und es findet eine vollständige Verbrennung statt.

Kann weißes bzw. helles/hellgelbes Wachs die Quelle des Rußes sein? Zunächst einmal ist man geneigt zu sagen: Nein! Aber irgendwie muss es ja doch so sein, dass in der Hitze der Kerzenflamme durch einen dieser rätselhaften Vorgänge Kohlenstoff aus Wachs gebildet wird. Der Ruß kann nicht nur vom Docht kommen – es entsteht viel mehr Ruß, als so ein kleiner Docht hergeben würde. Die einzige überzeugende Quelle für den Ruß im Flammenmantel ist das Wachs. Später kann auf dieser Erfahrung eine weitere Erkenntnis aufbauen: Aus Wachs wird durch die große Hitze in der Flamme Kohlenstoff gebildet. Man könnte festhalten: Wachs wird umgewandelt zu Kohlenstoff. Nach kurzer Zeit kommen diese glühenden Kohlenstoffpartikel mit nachströmendem Sauerstoff in Kontakt und verbrennen zu Kohlenstoffdioxid. Aus Kohlenstoff und Sauerstoff wird also Kohlenstoffdioxid.

4 Kritische Reflexion und Deutung der Experimente

Wie kann eine kritische Auseinandersetzung mit der Auseinandersetzung mit der brennenden Kerze aussehen?

1. Auseinandersetzung mit dem «Feuer in der Steinzeit bzw. der Geschichte der Menschheit»: Kinder können hier Erfahrungen sammeln und das Bewusstsein schärfen. Viele der vorgeschlagenen Aktivitäten sind «greifbar» und «erlebbar» – selbst wenn man Asche als Scheuermittel oder Pflanzendünger ausprobiert und nicht weiß, warum Asche so funktioniert, erlebt man doch, dass es dieses Funktionieren «im Alltag» gibt. Man muss also nicht etwas bloß glauben, sondern man wird Zeuge, dass bestimmte Dinge «wahr» sind.
2. Das Feuer-Spiel: Kinder können hier psychomotorisch Erfahrung sammeln und Selbstvertrauen bilden. Sie erfahren Selbstwirksamkeit und Souveränität. Sie erleben aber auch, wie es ist, eine Fähigkeit zu erwerben, was das mit einem macht und auch, wie es auf andere wirkt. Ebenfalls erfahrbar ist die Verantwortungsübernahme und ein empathischer Umgang miteinander, z. B. wenn manche Kinder Ängste haben.
3. Klärung der Herkunft des Bienenwachses und Herstellung von Kerzen: Auch wenn man hier, wenn es um das Zeigen des Ausschwitzens von Honig durch Bienen und den Bau von Waben durch Bienen geht, vermutlich auf einen Film zurückgreift, um einen Prozess wahrnehmbar zu machen, so ist das Gezeigte nah an der Realität der Kinder. Denn diese kennen ja zumindest in der Regel fliegende, ggf. Blüten bestäubende Bienen, stechende Bienen, Honig, Wachs und ggf. andere Produkte (z. B. Propolis) und haben ggf. sogar schon mal Bienenbeuten oder einen Imker gesehen. Zusammen mit der Herstellung von Kerzen können die Kinder dann Zusammenhänge herstellen. Die Kerzenherstellung stellt ein haptisch-ästhetisches Erlebnis dar, d. h. man kann das Wachs riechen, fühlen, verformen. Beim Herstellen ergeben sich dem Potenzial nach neue Fragen, z. B. die Frage, wie dick eine gerollte Kerze sein darf und wie dick ihr Docht beschaffen sein muss, damit sie noch gut brennt. Antworten auf diese Fragen oder auch Beurteilungen der Brauchbarkeit verschiedenen Dochtmaterials lassen sich explorativ finden und dialogisch beleuchten.
4. Beim Vorschlag «Dialog über gute Löschmittel» wurde bewusst nicht schematisch, z. B. unter Gebrauch des typischen Feuerdreiecks, vorgegangen, sondern es wurden «pragmatische» Antworten «bottom-up» gesucht, die der erfahrbaren oder konkret vorstellbaren Sphäre angehören. Allerdings müsste man die Nennungen der Kinder nutzen, um deutlich zu machen, wo Fragen offen sind. Falls ein Kind also sagt, einem Feuer müsse man Luft entziehen und könne es dann «ersticken», dann dürfte man dies nicht einfach schnell bestätigen, sondern durch Nachfragen dazu anregen, über diese doch sehr dramatische Aussage in einen Austausch und ein Nachdenken zu kommen.

5. Kerzenflamme zeichnen: Das Zeichnen unterstützt oder bewirkt bzw. fördert ein bewusstes, genaues Beobachten. Es wird auch möglich, dass sich, bedingt durch Irritation, Fragen bilden können, z. B. die Frage: Warum gibt es keine homogene Flamme, sondern eine, die so seltsame Zonen hat?
6. Experimentelle und dialogische Auseinandersetzung mit der Frage, was eigentlich bei einer brennenden Kerze brennt: Verstehen können Kinder sicherlich, dass das Brennen einer Kerze ein irreversibler Vorgang ist. Von daher könnte es sich anbieten, auf der Basis dieses Verständnisses in einen Dialog mit den Kindern zu kommen, in der Art einer Frage wie: «Wenn die Kerze beim Brennen verschwindet – wo ist sie danach?».

Obwohl versucht wurde, sich im Fall der brennenden Kerze auf das ursprünglich Beobachtbare, nicht durch «Belehrungsapparate» Erzeugtes (Wagenschein 1976) zu beschränken: Manches beim Phänomen «brennende Kerze» wird für Kinder der Primarstufe schwer oder nicht verständlich sein. Dazu gehört die Tatsache, dass nicht der Docht brennt, sondern das Wachsgas. Denn in den Augen der Kinder brennt der Docht ja sehr gut – dass er «zu kurz» ist bzw. «zu wenig Material» bedeutet in Relation zum entstehenden Ruß, also unter Produktion von «zu wenig Ruß» verbrennt, ist vermutlich für viele Kinder kein überzeugendes Argument, aus einfachen Gründen: a) dass ein Docht brennt, sieht man – dass Wachsgas brennt, sieht man nicht b) die Menge an entstehendem Ruß kann man schwer einschätzen. Damit deutet sich an, dass auch der Flammensprung schwierig zu verstehen sein könnte und von den Kindern nicht als Beweis dafür, dass Wachsgase brennen, angesehen werden könnte.

Man müsste sich also überlegen, ob man ein so eindrückliches und ästhetisches Erlebnis wie den Flammensprung «schon in der Primarschule opfern soll», um das Verbrennen von Wachsgas zu beweisen – oder damit warten bis zu den weiterführenden Schulen, um zu vermeiden, dass die Kinder sich mit der Aussage «das hatten wir schon in der Grundschule» gar nicht mehr für den Versuch «Flammensprung» interessieren. Das Brennen einer Kerze unter verschiedenen großen Bechergläsern, das ja auch, wenn man sich die Wissenschaftsgeschichte anschaut, relativ am Anfang steht, scheint hingegen gut verständlich zu sein. In dem Sinne, dass die Kinder erkennen können und verinnerlichen können, dass Kerzen zum Brennen «Luft» brauchen. Es sind erfahrungsgemäß nur wenige Kinder, die schon in der Primarstufe auf die Idee kommen, dass Luft aus verschiedenen Bestandteilen besteht und die Kerze den Sauerstoff zum Brennen benötigt, z. B. weil sie gehört haben, dass Menschen Sauerstoff zum Atmen brauchen und dies auf die Kerze übertragen. Ein Lehrer berichtete einmal von einer Form, mit der er Kindern das Erlebnis zu vermitteln versuchte, dass ein Feuer Sauerstoff verbraucht: Er machte in einem geschlossenen Raum ein vergleichsweise großes Feuer auf einer feuerfesten Unterlage. Irgendwann spürten die Kinder, dass ihnen das Atmen schwerfiel – und sie kamen auf den Gedanken: «das Feuer «frisst» die Luft, die ich zum Atmen brauche!».

Vermutet werden kann, dass die Entstehung von Wasser eher Widerspruch bei Kindern hervorruft. Denn, wie schon gesagt: Es ist davon auszugehen, dass für Kinder

höchst irritierend ist, dass durch Feuer quasi das Gegenteil, nämlich Wasser, entstehen können sollte.

Vermutet werden kann schließlich, dass die Entstehung von Ruß bei Verbrennungen von Kindern gut verstanden wird, da sie, falls sie ohnehin über ein wenig Erfahrung mit Feuern verfügen, die Entstehung von «etwas Schwarzem» (Asche, Ruß) bei Feuern «gewohnt» sind. Allerdings stellt sich die Frage, ob die Kinder, wenn überhaupt, mehr verstehen können, als dass bei einer brennenden Kerze Wachsgas und Luft «verbraucht» und Ruß und Wasser gebildet werden, und ob sie verstehen können, dass es sich bei der brennenden Kerze um einen Vorgang handelt, bei dem nicht einfach ein Gegenstand (die Kerze) bzw. mehrere Gegenstände (die Kerze und Luft) «verschwinden», sondern eine Stoffverwandlung vorliegt.

Führt man sich mögliche Sichtweisen auf das Phänomen «brennende Kerze» vor Augen, so lässt sich vermuten: a) Dass Kinder den Prozess auf einer atomaren Ebene zu deuten bzw. zu verstehen zu versuchen (also Teilchen-Modellvorstellungen entwickeln), erscheint wenig naheliegend zu sein b) Es erscheint auch wenig wahrscheinlich, dass Kinder mit Energie-Konzepten versuchen, das Phänomen zu erklären (also z. B. das Brennen deuten als ein Entziehen oder Hinzufügen von Energie). Es lässt sich am ehesten vermuten, dass Kinder den Vorgang aus stofflicher Perspektive betrachten – welche Stoffe liegen vor, welche verschwinden, welche entstehen.

5 Weiterführende Diskussion: Atommodelle auf der Primarstufe?

Erkennen lässt sich, vor welche Herausforderungen bereits erste Zugänge zum Verstehen einer chemischen Reaktion Kinder der Primarschule und Lehrer:innen stellen. Vor diesem Hintergrund lässt sich weiterführend darüber nachdenken, wie Einführungen in Atom-Modelle, wie sie immer wieder auf der Primarstufe zu beobachten sind, eingeschätzt werden können.

Es deutet sich auf der Basis der bisherigen Reflexion bereits an, dass Atom-Modelle auf der Primarstufe eine Verfrühung bedeuten und eine Überforderung vieler Kinder darstellen – und dass durch solche Verfrühungen der Aufbau von nicht tragfähigen Vorstellungen tendenziell befeuert wird. Tatsächlich findet man auch bei älteren Jugendlichen oft Modellvorstellungen, die das chemische Denken eher erschweren. Gefragt z. B. danach, was denn zwischen festem Atomkern und Elektronenhülle sei, antworten viele Jugendliche und Erwachsene spontan mit «Luft». Und darauf angesprochen, dass das ja nicht sein könne und es wohl Vakuum sein müsse, reagieren sie erst recht irritiert: Wenn die Welt überwiegend aus «Nichts» besteht – wie ist es dann möglich, dass Dinge «fest» sind und «zusammenhängend» bzw. «tragend»?!

In Schulbüchern findet sich oft der Vorschlag, einfache Atommodelle bereits in der Primarstufe einzuführen, die man dann ggf. auch mit Hilfe von Versuchen untermauert.

Aber: Was ist zu diesen Überlegungen zur «Modellbildung in der Chemie» in Bezug auf das Verständnis von Primarschüler:innen zu sagen? Eine verfrühte Mathematisierung (gemeint ist das «Berechnen von Phänomenen», z. B. das Rechnen mit Dichte im Fall des Phänomens Auftrieb in der Physik oder das rechnerische Ausgleichen von Reaktionsgleichungen in der Chemie) birgt die Gefahr, Nicht-Verstehen mit zu verursachen. Ähnlich kann in der Chemie ein verfrüht eingeführtes Konzept über Atome dem Verstehen im Wege stehen. Buck schreibt dazu, dass, wenn Chemie ohne Verbindung zur unmittelbar sinnlichen Erfahrung reduziert würde auf ein «pures Gedankengebäude, das auf der Annahme einer <andersweltlichen> Agens, dem Atom, beruht» (Buck 2007: 2), die Gefahr bestünde, dass Chemie für Schüler:innen zu einer auswendig zu lernenden Formel- und Geheimwissenschaft werde, deren Wissen nicht mehr zu einer sinnvollen Deutung natürlicher Phänomene genutzt werden könne. Wagenschein beschreibt eine Beobachtung, bei der er wahrnimmt, wie eine frühe Hinführung zum Denken u. a. in Formeln und Atommodellen hinderlich für Verstehensprozesse ist, weil Sich-Bildende Phänomene nicht mehr genügend gründlich wahrnehmen, sondern viel zu schnell auf einer nicht verstandenen abstrakten Ebene Aussagen treffen. Er schildert, was passierte, als er Pädagogik-Studierenden die Frage stellte, warum Schnee weiß ist, wo doch Eis undurchsichtig ist:

«Alle gaben vage Antworten, keine traf das Richtige. Offenbar hatte ihr Schulunterricht diese Frage nicht für nachdenkenswert gehalten, dafür aber so viel weitgehende Fachgelehrsamkeit vermittelt [...], dass nicht nur die Lösung mit deren Hilfe nicht mehr gefunden, sondern auch die Frage nicht mehr empfunden wurde. Nur einer schreibt: »Das habe ich mich auch schon gefragt, normalerweise müsste doch der Schnee durchsichtig sein.« Wie wenig dazu gehört: Jeder Wassertropfen wirft das Licht zweimal zurück (einmal an seiner Vorderfläche, einmal an der inneren Rückseite). Von vielen Tropfen kommt viel Licht zurück. Viel diffuses Tageslicht heisst »weiß«. Das Licht dringt nicht durch. Es wird »in einer Unmasse von ›Echos‹ erschöpft«, schreibt Tyndall, ein Meister verständlicher Darstellung. Die Frische des Sehens und die kritische Prüfung der Erwachsenen-Auskünfte scheinen in der Schule in Autoritätsgläubigkeit umzuschlagen [...]» (Wagenschein 1973: 71 f.).

Momentan stellen sich Kindheiten tendenziell so dar, dass «vermitteltes Wissen» und «vermittelte Erklärungen» (z. B. mittels Suchmaschinen, KI-Tools, YouTube-Filmen) von Kindern in großem Maße konsumiert werden. Im Vergleich dazu stellt der Aufbau von selbst konstruiertem Verständnis auf der Basis authentischer Erfahrungen und dialogischer Anregungen eher die Ausnahme dar. Kinder sind tendenziell davon betroffen, dass die Menge an Erfahrungen, auch der Erfahrungen, die im Außenraum stattfinden, sowie insbesondere auch leibliche und ästhetische Erfahrungen, zurückgeht. Vor diesem Hintergrund erscheint es wichtig zu sein, dass die Schule Kindern möglichst vielfältige sinnlich-ästhetische und psychomotorische Erlebnisse ermöglicht. Erfahrungen bilden nicht nur im Sinne des Aufbaus von Fachverständnis, sondern vor allem auch im Sinne von Selbstwertgefühl, Orientierung, Empathie, Verantwortung, Partizipation, also insgesamt für die Autonomieentfaltung, eine wichtige Basis.

Literatur

- Beretta, Marco (1999): Lavoisier: Die Revolution in der Chemie. In: Spektrum der Wissenschaft, Biographie Nr. 3.
- Buck, Peter (2007): (Bis jetzt neun) Theoreme einer phänomenologisch-philosophisch fundierten Theorie des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Internes Arbeitspapier, unveröffentlicht.
- Duncker, Ludwig (2004): Der Erziehungsanspruch des Sachunterrichts. In: Duncker, Ludwig & Popp, Walter (2004) (Hrsg.): Kind und Sache. Zur pädagogischen Grundlegung des Sachunterrichts. Weinheim: Juventa, 29–40.
- Fierz-David, Eduard Hans (1952): Die Entwicklungsgeschichte der Chemie. Basel: Birkhäuser. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-6820-4>.
- Geiß, Ralf (2017): Chemie – entdecken und verstehen. Die Verwandlung der Stoffe. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54708-3>.
- Kahlert, Jürgen (2022): Der Sachunterricht und seine Didaktik. 5. aktualisierte Auflage. Bad Heilbrunn: UTB, <https://doi.org/10.36198/9783838558585>.
- Karawan, Kain (o. J.): Mit Feuer spielen, <https://www.mitfeuerspielen.de/autor.html> [10.09.2023].
- Köhnlein, Walter (1999): Vielperspektivität und Ansatzpunkte naturwissenschaftlichen Denkens. Analyse von Unterrichtsbeispielen unter dem Gesichtspunkt des Verstehens. In: Köhnlein et al. (1999) (Hrsg.): Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 88–124.
- Lauterbach, Roland (2020): Bedingungen und Voraussetzungen der Sachen. In: Tänzer et al. (2020) (Hrsg.): Sachunterricht begründet planen: das Prozessmodell Generativer Unterrichtsplanung Sachunterricht (GUS) und seine Grundlagen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 59–77.
- Lockemann, Georg (1929): Priestley. In: Bugge, Günther (1929) (Hrsg.): Das Buch der großen Chemiker. Weinheim: Verlag Chemie.
- Mach, Ernst (1903): Populärwissenschaftliche Vorlesungen. 3. vermehrte und durchgesehene Auflage. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, <https://www.projekt-gutenberg.org/mach/popwiss/chap002.html> [06.08.2023].
- Schumann, Svantje (2023) (Hrsg.): Erschließen und Verstehen. Die Bedeutung der Erschließung für Bildungsprozesse. Band 4 der Reihe „Gespräche zum Sachunterricht“. Münster: Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830997160>
- Wagenschein, Martin (1970a): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken. Pädagogische Schriften. Band I. Stuttgart: Klett.
- Wagenschein, Martin (1970b): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken. Band II. Stuttgart: Klett.
- Wagenschein, Martin; Banholzer, Agnes & Thiel, Siegfried (1973): Kinder auf dem Wege zur Physik. Stuttgart: Klett.
- Wagenschein, Martin (1976): Rettet die Phänomene! Beiträge zur pädagogischen Autonomie der Schule. In: Fragen der Freiheit: Beiträge zur freiheitlichen Ordnung von Kultur, Staat und Wirtschaft, 72(121), 50–65.

Wagenschein, Martin (1989): Verstehen lehren. Weinheim & Basel: Beltz.

Wessel, Günther (2021): Die Natur als Netzwerk denken, <https://www.deutschlandfunkkultur.de/feuer-wasser-erde-luft-die-natur-als-netzwerk-denken-100.html>
[06.08.2023].

Ausgewählte Prinzipien als Rahmen für die Unterrichtsentwicklung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

JULIA MENDER

Das Bildungsverständnis des Sachunterrichts ist geprägt von dem Ziel, Kinder zum reflektierten Handeln in der Gegenwart und zur verantwortungsbewussten Mitgestaltung der Zukunft zu befähigen (GDSU 2013: 9; Pech 2020: 158). Die Vorstellung darüber, wie Kinder durch den Sachunterricht in ihrer Lebenswelt handlungsfähig sein und bleiben können, ändert sich durch die Dynamik des gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Wandels fortlaufend (Götz et al. 2022: 16). Zusammen mit der großen inhaltlichen und methodischen Breite des Faches ist es kaum möglich, Qualifikationsziele und Bildungsstandards verbindlich festzulegen. Umso wichtiger ist ein Referenzrahmen, der zentrale Begründungswege für die Auswahl von Inhalten und die Gestaltung von Lernangeboten eröffnet. Mit dem klar formulierten Gegenwarts- und Zukunftsbezug im Bildungsverständnis des Faches knüpft der Sachunterricht an Klafkis Verständnis von grundlegender Bildung an (Klafki 2007: 49). Bildung ist dabei geprägt durch Selbsttätigkeit, Mündigkeit und Vernunft (Klafki 2007: 19). Vernunft geht über die reine Anhäufung von Wissen hinaus, indem zusätzlich die Voraussetzungen für den Wissenserwerb und die Möglichkeiten der Anwendung von Wissen reflektiert werden (Klafki 2007: 31 f.). Bildung versteht sich also als verstehende, ordnende Fähigkeit mit dem Blick auf gesamtgesellschaftliche Fragen und Möglichkeiten der Nutzung des Wissens. Im Zusammenhang mit sachunterrichtlichen Bildungsprozessen zeigt sich dieser starke Zusammenhang zwischen Wissenserwerb, Persönlichkeitsentwicklung und der Beziehung des Kindes zu seiner Lebenswelt (Götz et al. 2022: 16) in der sachunterrichtsdidaktischen Trias aus Kind, Sache und Welt (Pech 2009: 4). Von dieser zentralen Denkfigur ausgehend lassen sich Aufgaben und Prinzipien des Sachunterrichts formulieren, die einerseits die Sachunterrichtsdidaktik konturieren, andererseits einen konkreten Orientierungsrahmen für die Unterrichtsentwicklung bieten können (Abbildung 1).

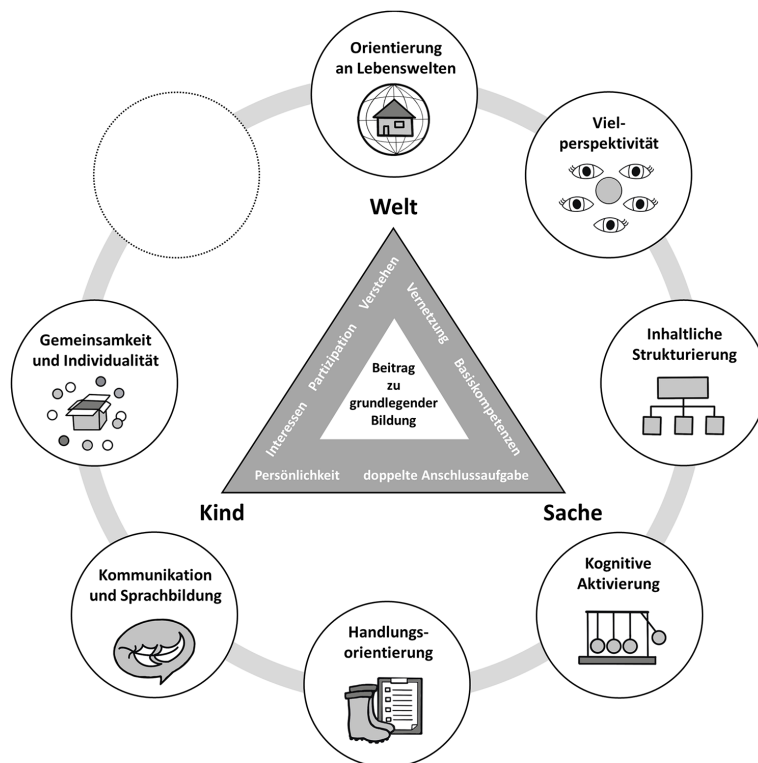


Abbildung 1: Aufgaben und Prinzipien im Sachunterricht

Mit didaktischen Prinzipien (außen dargestellt) sind in der Regel Erwartungen an die konkrete Ausgestaltung und damit Qualitätsdimensionen des Unterrichts verbunden (Beyer 2011: 337). Damit mit dieser normativen Komponente des Prinzipienbegriffs keine Willkür oder Einseitigkeit einhergeht, sollten didaktische Prinzipien von theoretischen Zusammenhängen und empirischen Befunden getragen sein (Einsiedler & Hardy 2022: 401). Darüber hinaus beanspruchen sie nicht isoliert voneinander generelle Gültigkeit, sondern sind argumentativ miteinander verknüpft und bilden ein komplexes Netzwerk, in dem sie sich gegenseitig begründen und konkretisieren (Beyer 2011: 340). Die hier ausgewählten Prinzipien des Sachunterrichts begründen sich, genauso wie die Aufgaben (im grauen Dreieck), aus aktuellen sachunterrichtsdidaktischen Diskursen, empirischen Forschungsergebnissen sowie der Konzeption des Sachunterrichtes, wie sie im Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013) erkennbar wird. Die Auswahl erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es wurde daher ein freies, gestrichelt umrahmtes Feld als Platzhalter für weitere Prinzipien eingefügt. Die einzelnen Aufgaben und Prinzipien werden im Folgenden erläutert, begründet und schließlich mit Blick auf naturwissenschaftliches Lernen reflektiert. So soll ein übergeordneter Orientierungsrahmen für didaktische Entscheidungen und Handlungen entstehen, der aber auch als Auswahl von Kriterien für didaktische Reflexionen fungieren kann.

1 Orientierung an Lebenswelten

Mit dem allgemeinen Bildungsanspruch des Sachunterrichts haben sich Lebenswelten von Kindern als ein zentraler Bezugspunkt des Sachunterrichts und seiner Didaktik etabliert (Nießeler 2022: 29). Anknüpfend an moderat-konstruktivistische Ansätze werden im Sachunterricht durch die Orientierung an Lebenswelten kindliche Erfahrungen, Interessen, Fragen und Vorstellungen über die soziale, natürliche, technisch-gestaltete und digitale Welt thematisiert, in Lernumgebungen bearbeitet, ausdifferenziert und schließlich durch Interaktion, Kommunikation und Reflexion zu anschlussfähigen Deutungen weiterentwickelt (Kahlert 2022: 223 f.). Angesichts wachsender Heterogenität in Lerngruppen, z. B. durch kulturelle, ökonomische, sprachliche, kognitive oder körperliche Unterschiede, bilden vielfältige Lebenswelten statt der *einen* Lebenswelt den Referenzrahmen (Kaiser & Seitz 2017: 10; Schroeder 2019: 124). Damit wird die Verschiedenheit der Lernvoraussetzungen und Perspektiven auf die Welt anerkannt. Eine so verstandene Lebensweltorientierung wirkt sich entsprechend auf die Unterrichtsplanung, -umsetzung und -reflexion aus. Zu Beginn der *Unterrichtsplanung* wird ein mögliches Thema gezielt auf Gegenwarts- und antizipierte Zukunftsbedeutung für die Kinder der Lerngruppe überprüft (Klafki 2007: 270). Lehrkräfte und Kinder finden gemeinsam bedeutungsvolle Probleme, Fragen oder Projekte, die lebensweltlich eingebettet sind und gleichzeitig Entwicklungspotenzial für die Zukunft enthalten (Klafki 2007: 273). Ist das Potenzial für Handlungs-, Verstehens- und Urteilsmöglichkeiten sichergestellt, kann der Lerngegenstand didaktisch rekonstruiert werden (Kattmann et al. 1997), indem lebensweltliche Vorstellungen auf fachwissenschaftliche Sichtweisen bezogen und systematisch zu Lernangeboten zusammengeführt werden. Lebensweltorientierung lässt sich in der *Praxis des Sachunterrichts* auf verschiedene Weisen herstellen. Exkursionen im physisch-materiellen Raum ermöglichen eine direkte Begegnung, ein sinnlich-körperbasiertes-emotionales Erleben, was eine grundlegende Voraussetzung für vertieftes Lernen bildet (Gryl & Kuckuck 2023: 14). Andere Schwerpunkte setzen virtuelle Exkursionen, die als hybride Exkursionen den physisch-materiellen Raum mit Hilfe digitaler Medien anders erfahrbar machen. Koordinaten gestützte Spiele oder virtuelle Rallyes, abrufbare Videos in einer Ausstellung oder Simulationen, die Unsichtbares sichtbar machen, sind nur wenige Beispiele, lebensweltlich relevante Kompetenzen mit virtuellen Exkursionen zu fördern (ebd.: 15). Das Erlebnis schafft eine gemeinsame Basis, eröffnet vielfältige Möglichkeiten der sachbezogenen Kommunikation und schließlich soziale Einbindung (Kaiser & Seitz 2017: 18 f.). Durch die intensive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand werden zufällig gemachte, unstrukturierte Alltagserfahrungen durch sachunterrichtliche Lehr-Lernangebote systematisch-planvoll im Sinne der jeweiligen Fachperspektive(n) erweitert und auf Intersubjektivität geprüft (Künzli David et al. 2017: 34). Sachunterricht ist auf diese Weise anschlussfähig, sowohl an die Lernvoraussetzungen der Kinder als auch an die Fachkulturen der verschiedenen Bezugsdisziplinen.

Nachhaltiges Lernen ist eng mit der Anwendung des Gelernten und dem Transfer auf neue Kontexte verbunden (Helmke 2022: 186). So ist es am Ende des Lernprozesses

wichtig, den Kern des Gelernten herauszuarbeiten, zu versprachlichen und zum Verstehen von anderen Phänomenen oder zum Lösen anderer Probleme zu nutzen. Übertragen auf die Orientierung an Lebenswelten ergibt sich daraus ein zirkulärer Prozess (Schroeder 2019: 122). Die Lebenswelten sind Ausgangspunkte des Lernens und die Erkenntnisse werden zu ihrer Sicherung an die Lebenswelt rückgebunden. Lernergebnisse werden dadurch von Lernenden als relevant empfunden, werden länger gespeichert und sind flexibler nutzbar. Für die nächste Lernsituation entsteht also ein umfassender lebensweltlicher Ausgangspunkt, der sich wiederum durch neue Lernprozesse kumulativ weiterentwickelt.

Konsequenzen für naturwissenschaftliches Lernen im Sachunterricht – Ein Beispiel zu Säure-Base-Reaktionen

Im Zusammenhang mit der Orientierung an Lebenswelten kann es für naturwissenschaftliches Lernen eine Herausforderung sein, bedeutungsvolle Fragen, Probleme oder Kontexte zu identifizieren, die nicht nur als Lernanlass dienen, sondern auch die Lernangebote und -prozesse strukturieren. Dabei kann es helfen, bei der Suche ganz bewusst den Alltag der Kinder in den Blick zu nehmen, um mit ihren Augen auf die Welt zu schauen. Komplexe Sachverhalte können so sichtbar werden, die durch den Unterricht erschlossen und in einen größeren Zusammenhang gestellt werden. Abbildung 2 zeigt, wie eine Planung, die sich an Lebenswelten orientiert, aussehen könnte.



Abbildung 2: Struktur der Lerneinheit „Brausepulver“

Die Leitfrage „Warum prickelt Brausepulver auf der Zunge?“ ergibt sich unmittelbar aus der Lebenswelt vieler Kinder. Die Gasbildung ist für Kinder direkt erfahrbar, sei es beim Essen des Brausepulvers, wenn der Schaum sich spürbar im Mund ausbreitet, oder beim Auflösen einer Brausetablette im Wasserglas, wenn kleine Bläschen deutlich sichtbar nach oben steigen. Durch die Herstellung des eigenen Brausepulvers als Ziel der Einheit wird das Ergebnis in die Lebenswelt zurückgeführt und das Lernen wird für Kinder bedeutungsvoll. Kinder nehmen das Brausepulver mit nach Hause, präsentieren ihr Produkt stolz und erzählen ihren Freunden und Familien vom Unterricht. Dabei wird das Gelernte gefestigt und es fällt leichter, die Erkenntnisse auf andere Kontexte zu übertragen. Der Blick der Kinder ist geschärft, sodass ähnliche Kontexte (z. B. Badekugeln, die im Badewasser sprudeln) leichter als solche erkannt werden können.

2 Vielperspektivität

Aufgrund des Bildungsverständnisses des Sachunterrichts ist kaum ein didaktisches Prinzip so eng mit dem Sachunterricht verknüpft wie die Vielperspektivität (Giest et al. 2017: 9). Wenn die Lebenswelt nicht nur der Ausgangspunkt, sondern auch strukturgebendes Merkmal sachunterrichtlichen Lernens sein soll, zieht dies einen vielperspektivischen Zugang zur Erschließung komplexer Frage- und Problemstellungen nach sich. Der fragende Blick auf die Lebenswelt wirkt wie ein Prisma, der zum Verstehen von Zusammenhängen einzelne Fachdisziplinen sichtbar macht (Giest 2015). Dieser perspektivbezogene Blick kann die noch nicht kohärenten Einzelerfahrungen und Wissensfragmente strukturieren und systematisieren, gleichzeitig aber auch den fachlichen Anspruch sichern. Allerdings erschließt sich ein komplexer Inhalt noch nicht allein aus seiner Betrachtung aus verschiedenen Fachperspektiven. Erst die Vernetzung der Perspektiven in Bezug auf Inhalte, fachspezifische Arbeitsweisen und Wissensformen macht die komplexen Zusammenhänge sichtbar (Peschel et al. 2021: 234). Vielperspektivität lässt sich mit Blick auf inklusionsorientierten Sachunterricht aber auch im Sinne einer Anerkennung subjektiver Perspektiven von Lernenden auf einen komplexen Lerngegenstand verstehen (Simon 2019). Die unterschiedlichen Sichtweisen und Lernwege schaffen nicht nur Möglichkeiten einer natürlichen Differenzierung, sondern unterstützen Kinder auch dabei, eigenverantwortlich zu handeln, eine eigene Position zu entwickeln, um schließlich fundiert urteilen zu können (Bertschy 2021: 153). Vielperspektivischer Sachunterricht kombiniert also fachwissenschaftliche und -methodische Offenheit mit einer Offenheit für die vielfältigen Perspektiven der Lernenden auf die Sachen des Sachunterrichts (Köhnlein et al. 2013).

Vielperspektivität in der Lerneinheit „Brausepulver“

In Anlehnung an Bertschy (2021), Künzli David et al. (2017), Peschel et al. (2021) und Giest (2015) wurde aus der übergeordneten, lebensweltorientierten Fragestellung „Warum prickelt Brausepulver auf der Zunge?“ ein konkretes Vorhaben abgeleitet (Wir stellen unser eigenes Brausepulver her), welches eine vielperspektivische Erschließung

auf der Ebene der Fachdisziplinen und der individuellen Lernwege, Interessen und Erfahrungen der Kinder ermöglicht. Die vier untergeordneten Fragestellungen werden nicht von der Lehrkraft als Schwerpunkte der Einheit vorgegeben, sondern stehen hier beispielhaft für das Ergebnis einer ersten gemeinsamen Annäherung an die Sache und eines anschließenden Planungsgesprächs zur Gestaltung des weiteren Vorgehens. Im Sinne der Partizipation bestimmen die Kinder maßgeblich die inhaltliche Ausrichtung der Lerneinheit und die methodische Gestaltung (Simon 2019: 73), was sich zusätzlich interessenfördernd auswirken kann (Hartinger 1997: 217). Die untergeordneten Fragestellungen sind dabei weder willkürlich gewählt noch stehen sie isoliert nebeneinander. Sie hängen unmittelbar mit der übergeordneten Fragestellung zusammen und ihre Beantwortung ist notwendig, um das Vorhaben umsetzen zu können (Giest 2015: 6). Durch den projektartigen Aufbau der Lerneinheit mit der Beantwortung einer Frage oder der Umsetzung eines Vorhabens als klares Ziel (Gudjons 2014) kann der Lernprozess zum einen als sinngebend oder sinnerschließend erlebt werden. Zum anderen führt die Präsentation und die anschließende Verköstigung des eigenen Brausepulvers sowohl die fachlichen als auch die subjektiven Perspektiven zusammen. Folgende Perspektiven werden in der dargestellten Lerneinheit miteinander verknüpft:

Naturwissenschaftliche Perspektive

- Veränderung von Stoffen durch chemische Reaktionen am Beispiel der Säure-Base-Reaktion mit Gasentwicklung
- ein Gas als besondere Zustandsform wahrnehmen und seine Eigenschaften kennen
- Beobachtungen miteinander vergleichen
- einfache Experimente planen und durchführen
- Variablenveränderung verstehen und umsetzen
- Erste Einsichten in chemische Reaktionen gewinnen und auf Regelmäßigkeiten zurückführen

Sozialwissenschaftliche Perspektive

- Marketing- und Werbestrategien analysieren und für das eigene Produkt nutzen
- Verbraucherinformationen strukturiert aufschreiben

Perspektivvernetzender Themenbereich Gesundheit

- Reflexion der Zuckermenge, der Aroma- und Farbstoffe im Sinne einer ausgewogenen Ernährung

Perspektivvernetzender Themenbereich Nachhaltige Entwicklung

- Ressourcenschonende und lebensmittelgerechte Verpackungsmöglichkeiten reflektieren und diskutieren

3 Inhaltliche Strukturierung, kognitive Aktivierung und Handlungsorientierung

Sachunterrichtliches Lernen ist untrennbar verbunden mit dem Verstehen von Zusammenhängen, der Weiterentwicklung eigener Vorstellungen sowie der flexiblen und reflektierten Anwendung von Wissensbestandteilen und Kompetenzen. Anregende Lernangebote, eine sachlogisch begründete Sequenzierung der Inhalte und angemessene Impulse, Hilfestellungen und Rückmeldungen regen die geistige Aktivität der Kinder an, durch die neue Erfahrungen mit vorhandenem Wissen in Beziehung gesetzt werden (GDSU 2013: 10). Mit den didaktischen Prinzipien inhaltliche Strukturierung, kognitive Aktivierung und Handlungsorientierung wird ein Rahmen für die Entwicklung von Lernangeboten und die Ausgestaltung von Lerngelegenheiten gesetzt. So entstehen Orientierungshilfen für Planungsentscheidungen und Handlungsmöglichkeiten für die Interaktion im Unterricht.

Inhaltliche Klarheit und Strukturiertheit des Unterrichts sind als Kernmerkmale der Unterrichtsqualität empirisch sehr gut abgesichert (Helmke 2022: 190 f., 197). Ein inhaltlich klarer Unterricht zeichnet sich dadurch aus, dass inhaltliche Aspekte des Unterrichtsgegenstandes sprachlich prägnant und verständlich, fachlich korrekt und inhaltlich kohärent dargestellt werden (Lipowsky 2020: 82). Die Strukturiertheit des Unterrichts kann sich auf Oberflächenstrukturen wie beispielsweise die Gliederung in Phasen oder die Etablierung von Regeln und Routinen beziehen, aber auch kognitionspsychologisch im Sinne der Tiefenstrukturen von Unterricht verstanden werden. Dann subsumiert sie Maßnahmen und Handlungen, die eine Verbindung zwischen dem Vorwissen der Lernenden und neuen Wissens-elementen herstellen und den Aufbau einer komplexen und geordneten Wissensstruktur fördern (ebd.: 79). Vor allem diese Merkmale der Tiefenstruktur beeinflussen Verstehensprozesse und Lernmotivation der Lernenden und wirken sich somit deutlich auf die Qualität von Unterricht aus (Kunter & Voss 2011: 87; Lipowsky 2020: 104). Da im (naturwissenschaftlichen) Sachunterricht inhaltliche Klarheit und Strukturierung des Unterrichts sehr eng miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig stark bedingen, werden sie im Folgenden zum didaktischen Prinzip der inhaltlichen Strukturierung zusammengeführt (Kleickmann 2012: 8 ff.). Komplexe Lerngegenstände sollen durch Maßnahmen der inhaltlichen Strukturierung für Kinder zugänglich und verstehbar gemacht werden, damit eine Weiterentwicklung der Alltagsvorstellungen ermöglicht wird.

Bezogen auf die *Planungsphase* des Unterrichts steht die Frage im Zentrum, wie der Lerngegenstand fachlich zentrale Konzepte und Methoden repräsentiert und zu inhaltlich und methodisch relevanten Lerngelegenheiten kohärent arrangiert werden kann (Lipowsky 2020: 104). In der Sequenzierung entstehen einzelne Etappen des Verstehens-

prozesses in Form von Teilerkenntnissen, die für ein tiefergehendes Verständnis miteinander verknüpft werden. Da dieser Prozess stark von dem Lern- und Entwicklungsstand der Kinder abhängig ist, sollten alle wichtigen Planungs- und Strukturierungsentscheidungen gemeinsam mit der Lerngruppe getroffen werden (Helmke 2022: 239). Der Sachunterricht folgt dann einem sichtbaren roten Faden, der Transparenz über die Schritte des Lernprozesses schafft und diese in einen sinnvollen Kontext einbettet. Darüber hinaus führen die gemeinsame Planung und Sequenzierung zu inhaltlicher Klarheit auch in Bezug auf den fachwissenschaftlichen Kontext (Menger 2021: 125).

In der *Unterrichtspraxis* zeigt sich die inhaltliche Strukturierung vor allem in der direkten Interaktion zwischen Lehrkräften und Lernenden durch konkrete Maßnahmen der Lernunterstützung. Sie lenken die Aufmerksamkeit der Kinder auf die relevanten Aspekte des Unterrichtsgegenstands, geben einen Überblick über wesentliche Teilaspekte, setzen diese in Relation zueinander, eröffnen Anknüpfungspunkte und helfen Lernenden dabei, ihr Wissen neu zu organisieren (Lipowsky 2020: 80). Dies kann in allen Phasen des Unterrichts mit Hilfe von Hervorhebungen, Zusammenfassungen, der Kombination verschiedener Repräsentationsformen oder dem Herstellen von Bezügen gelingen (Kleickmann 2012: 8, 11 ff.).

Voraussetzung für Verstehen fördernde Gespräche sind Lerngelegenheiten, die Lernende zum vertieften Nachdenken und einer differenzierten Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand anregen. Ziel ist es, dass bestehende Wissensstrukturen verändert, erweitert, vernetzt, umstrukturiert oder neu gebildet werden (Kunter & Voss 2011: 88). In der *Planungsphase* zeigen sich Maßnahmen der kognitiven Aktivierung in (1) herausfordernden, komplexen Aufgabenstellungen, die sich auf unterschiedlichen Wegen bearbeiten lassen und bereits vorhandene Erfahrungen oder Vorstellungen aufgreifen sowie (2) in der Einbettung der Aufgaben in Alltagssituationen, die dazu anregen, erworbenes Wissen anzuwenden, zu kontrastieren und zu vergleichen. Inwieweit das einzelne Kind durch das Lernangebot kognitiv aktiviert wird, hängt ähnlich wie bei der inhaltlichen Strukturierung davon ab, ob sich der Unterricht an seinen individuellen Bedürfnissen und Ausgangslagen orientiert (Lipowsky & Hess 2019: 82). In der Unterrichtspraxis wirken vor allem Gespräche kognitiv aktivierend, in denen beispielsweise unterschiedliche Lösungswege verglichen, unerwartete Beobachtungen diskutiert oder die eigenen Lernwege reflektiert werden. Lehrkräfte können Widersprüche aufdecken oder auch bewusst provozieren, immer wieder Erklärungen und Begründungen einfordern sowie konstruktive Rückmeldungen formulieren (ebd.: 84).

Neben der kognitiven ist auch die körperlich-sinnliche Aktivierung – also die Handlungsorientierung – eng mit dem Sachunterricht verbunden. Die Grundlage hierfür bilden Erkenntnisse aus der Kognitionspsychologie, die gezeigt haben, dass konkrete Handlungen den Aufbau mentaler Operationen fördern (Aebli 1976: 87 f.). Interne Konstruktionsleistungen entstehen nämlich über materielle, symbolische oder mentale Handlungen (Giest 2018: 19). Handlungsorientiertem Unterricht wird oft ein hoher Grad an Selbstbestimmung zugesprochen. Diese wirkt sich positiv auf die Förderung und den Erhalt von Interesse und intrinsischer Motivation aus (Hartinger 1997: 238 und Hartinger 2022: 127), stärkt das Selbstwirksamkeits- und Kompetenzerleben

und dadurch die Persönlichkeitsentwicklung. Handlungsorientierung steht darüber hinaus in engem Zusammenhang mit dem Lernen in Projekten (Marquardt-Mau & Schroeder 2022; Gudjons 2014). Dies zeichnet sich dadurch aus, dass gemeinsam mit den Kindern geplant wird, wie ein für sie relevantes Problem handlungsorientiert bearbeitet und schließlich gelöst werden kann. Ziel des Projektunterrichts ist ein Produkt, wie zum Beispiel eine Ausstellung, ein Klassenreiseführer für den eigenen Wohnort oder ein Poster. Mit Blick auf die Förderung von Lern- und Denkprozessen sollte der Fokus erweitert werden, sodass nicht nur Handlungs-, sondern auch Denkprodukte wie zum Beispiel die Beantwortung einer Fragestellung oder das Erklären eines Phänomens das Ergebnis eines handlungsorientierten Unterrichts sein können.

Inhaltliche Strukturierung, kognitive Aktivierung und Handlungsorientierung in der Lerneinheit „Brausepulver“

Da sich viele der Ausführungen auf die Ausgestaltung von Lerngelegenheiten in der Unterrichtspraxis beziehen, können hier nur Planungsaspekte näher betrachtet werden. Die Lerneinheit „Brausepulver“ folgt einem roten Faden und entwickelt in einzelnen Schritten perspektivbezogene und perspektivübergreifende Aspekte (siehe Vielperspektivität). Darüber hinaus zeichnet sie sich durch Zieltransparenz aus. Gemeinsam mit den Kindern wird ein Produkt, das fertige Brausepulver, festgelegt, das die Kinder nicht nur motiviert, sondern auch den inhaltlichen Rahmen der Einheit absteckt. Es bieten sich viele Lerngelegenheiten, in denen forschende Zugänge in Form von Experimenten oder strukturierten Beobachtungen sowie sinnliche, kreative oder problemlösende Zugänge Berücksichtigung finden.

4 Kommunikation und Sprachbildung

Ein wesentlicher Bestandteil wirksamen Sachunterrichts ist die sachbezogene Kommunikation als Bindeglied zwischen Kind und Sache (Kaiser 2018: 48) und damit zwischen Erfahrung, Denken und Verstehen. Als Werkzeug dient die Sprache der Aneignung, der Verarbeitung, der Modellierung und der Konzeptualisierung von Inhalten, gleichzeitig aber auch der Reflexion und Einordnung von Erfahrungen (GDSU 2013: 11). Kooperative Lernformen, Klassengespräche und Reflexionen in Kleingruppen regen die Versprachlichung der eigenen Gedanken und Beobachtungen sowie die Begründung der eigenen Haltung an. Vor allem Nachfragen von Mitlernenden provozieren eine intensive kognitive Auseinandersetzung mit der Sache, was zu Überprüfung und Neustrukturierung der eigenen Vorstellungen führen kann. Kommunikativer Austausch als fester Bestandteil des Sachunterrichts wirkt sich nicht nur kognitiv aktivierend, sondern auch sprachfördernd aus. Kinder lernen, Erlebnisse, Zusammenhänge und Einschätzungen sprachlich adäquat und präzise darzustellen, damit andere sie verstehen können. Die Alltagssprachlichen Ausdrucksformen, die an Erfahrungen und Vorstellungen anknüpfen, werden durch angemessene Impulse der Lehrkraft behutsam um fachsprachliche Mittel erweitert, damit schließlich eine fachsprachliche Gesprächskultur

etabliert werden kann (GDSU 2013: 11). Sprachliche Partizipation ist folglich im Sachunterricht die Voraussetzung dafür, dass Lernende ihre sprachlichen und fachlichen Lernmöglichkeiten ausschöpfen, erweitern und herausfordern (Quehl & Trapp 2015: 34). Sprachbildender naturwissenschaftlicher Sachunterricht legt sprachliche Ziele fest, bietet einen reichhaltigen sprachlichen Input an und überführt mündliche, kontextgebundene, alltagssprachliche Kommunikationssituationen in schriftliche, kontextreduzierte und bildungssprachliche (Siegmund 2022: 269). Dieser Prozess kann im Sinne des Scaffolding-Konzeptes in drei Stufen ablaufen (Quehl & Trapp 2020: 44 ff.): (1) Aktivitäten (z. B. Versuche durchführen oder experimentieren) in kleinen Gruppen durchführen und alltagssprachlich besprechen, (2) angeleitetes Berichten in sogenannten Forscherkonferenzen mit anderen Gruppen (Übergang von der Alltags- zur Fachsprache) und (3) Verschriftlichen der Ergebnisse in einem Forschertagebuch oder einem Plakat (Fachsprache). Beim Übergang von der Alltags- zur Fachsprache kann die Lehrkraft durch Umformulierungen behutsam von den alltagssprachlichen Formulierungen der Kinder ausgehend fachsprachliche Begriffe einführen und die Kinder so gezielt unterstützen (ebd.: 47). Die Reflexion des eigenen sprachlichen Handelns durch Lehrkräfte und eine grundsätzliche Sensibilität für die Verwendung von Sprache bei der Formulierung von Arbeitsaufträgen, in Unterrichtsgesprächen und in Texten ist eine wichtige Voraussetzung, um Sprache und Lernen miteinander zu verschränken und Kinder in ihrer sprachlichen Entwicklung zu fördern (ebd.: 55 f.).

5 Gemeinsamkeit und Individualität

Sachunterricht, der die hier skizzierten Prinzipien berücksichtigt, ist bereits im Kern inklusiv, da er

- komplexe Phänomene und Fragestellungen als Chance versteht, den Unterricht zu öffnen, um Möglichkeiten der natürlichen Differenzierung und Lernunterstützung zu schaffen,
- auf die verschiedenen Lernbedürfnisse von Kindern reagiert und individuell unterschiedliche Lernwege sowie körperbasierte Lernformen als Voraussetzung für individuellen Lern- und Entwicklungsfortschritt anerkennt,
- Mitbestimmung, Kooperation und Kommunikation als Grundlage für gemeinsames Lernen und soziale Teilhabe versteht (Kaiser & Seitz 2017; Schroeder & Miller 2017).

Unterrichtsmethodisch kann man dem Spannungsfeld zwischen Individualität und Gemeinsamkeit begegnen, indem zunächst auf der Grundlage der Kinderinteressen, -erfahrungen und Wünsche und unter Wahrung der Anschlussfähigkeit ein gemeinsamer Gegenstand des Lehr-Lern-Prozesses festgelegt wird. Dieser wird in einzelne Teilfrage- oder Problemstellungen untergliedert, die unterschiedliche Bearbeitungsmodi erfordern und somit natürliche Differenzierung ermöglichen. Der gemeinsame Lerngegenstand erschließt sich in den vielfältigen Perspektiven, die die Arbeitsergebnisse

hervorbringen. Gegenseitige Präsentationen der gewonnenen Erkenntnisse mit aktivierenden Elementen für die zuhörenden Kinder schaffen Raum für sprachliche Aktivität, soziale Teilhabe, Vertiefung der Erkenntnisse und inhaltliche Vernetzungen (Gebauer & Simon 2012: 16 ff.).

Die Frage nach Merkmalen für wirksamen Sachunterricht beschäftigt seit vielen Jahren Forschende in Bildungswissenschaften, der Lernpsychologie und den Fachdidaktiken. Auch Lehrkräfte reflektieren ihre individuellen Überzeugungen von qualitativem Sachunterricht auf der Grundlage ihrer eigenen Erfahrungen, ihres Wissens und Könnens. Die hier vorgestellten didaktischen Prinzipien sollen einen Anstoß geben, die eigene Planungs- und Unterrichtspraxis zu reflektieren und eigene Überzeugungen zu prüfen, neu auszurichten oder bestätigt zu sehen. Keinesfalls erhebt die hier getroffene Auswahl Anspruch auf Ausschließlichkeit. Vor allem im naturwissenschaftlichen Sachunterricht kann sie eine Hilfe sein, das Lernen nicht auf eine Fachperspektive zu verengen, sondern den Blick für die Fragen der Kinder zu weiten und Lernangebote zu schaffen, die die Phänomene der Welt verstehbar machen.

Literatur

- Aebli, Hans (1976): Grundformen des Lehrens. Eine allgemeine Didaktik auf kognitionspsychologischer Grundlage. Stuttgart: Klett.
- Beyer, Klaus (2011): Didaktische Prinzipien. In: Hellekamps et al. (2011) (Hrsg.): Schule. Handbuch der Erziehungswissenschaften 3. Paderborn: Schöningh, 337–348.
- Bertschy, Franziska (2021): Vielperspektivität und Perspektivenverbindung. Bildungsprozesse im Sachunterricht ermöglichen. In: Bachmann et al. (2021) (Hrsg.): Die Bildung der Generalistinnen und Generalisten. Perspektiven auf Fachlichkeit im Studium zur Lehrperson für Kindergarten und Primarschule. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 141–162. <https://doi.org/10.35468/5860-09>
- Einsiedler, Wolfgang & Hardy, Ilonca (2022): Methoden und Prinzipien des Sachunterrichts. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 401–412.
- Gebauer, Michael & Simon, Toni (2012): Inklusiver Sachunterricht konkret: Chancen, Grenzen, Perspektiven, www.widerstreit-sachunterricht.de, 18, 1–20.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013) (Hrsg.): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Giest, Hartmut (2018): Handlungsorientierung im Sachunterricht – eine Trendanalyse. In: Franz et al. (2018) (Hrsg.): Handeln im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 17–24.
- Giest, Hartmut; Hartinger, Andreas & Tänzer, Sandra (2017): Editorial. In: Giest et al. (2017) (Hrsg.): Vielperspektivität im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 9–12.
- Giest, Hartmut (2015): Wider die Klebekonzentration. Perspektiven vielperspektivischen Lernens im Sachunterricht. In: Grundschulunterricht Sachunterricht, 3, 4–7.

- Götz, Margarete; Kahlert, Joachim; Fölling-Albers, Maria; Hartinger, Andreas; Miller, Susanne; Wittkowske, Steffen & von Reeken, Dietmar (2022): Didaktik des Sachunterrichts als bildungswissenschaftliche Disziplin. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 15–28.
- Gryl, Inga & Kuckuck, Miriam (2023): Geographische Bildung durch Exkursionen im vielperspektivischen Sachunterricht. In: Gryl, Inga & Kuckuck, Miriam (2023) (Hrsg.): Exkursionsdidaktik. Geographische Bildung in der Grundschule. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 9–35. <https://doi.org/10.35468/6025-01>
- Gudjons, Herbert (2014): Handlungsorientiert lehren und lernen: Schüleraktivierung, Selbsttätigkeit, Projektarbeit. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hartinger, Andreas (2022). Interessen entwickeln. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 126–130.
- Hartinger, Andreas (1997): Interessenförderung. Eine Studie zum Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Helmke, Andreas (2022): Unterrichtsqualität und Professionalisierung. Diagnostik von Lehr-Lern-Prozessen und evidenzbasierte Unterrichtsentwicklung. Seelze: Kallmeyer.
- Kahlert, Joachim (2022): Der Sachunterricht und seine Didaktik. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. <https://doi.org/10.36198/9783838558585>
- Kaiser, Astrid (2018): Kommunikativer Sachunterricht. In: Kaiser, Astrid & Pech, Detlef (2018) (Hrsg.): Neuere Konzeptionen und Zielsetzungen im Sachunterricht. Bielefeld: wbv, 48–57.
- Kaiser, Astrid & Seitz, Simone (2017): Inklusiver Sachunterricht. Theorie und Praxis. Baltmannsweiler: Schneider.
- Kattmann, Ulrich; Duit, Reinders; Gropengießer, Harald & Komorek, Michael (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3 (3), 3–18.
- Klafki, Wolfgang (2007): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Weinheim: Beltz.
- Kleickmann, Thilo (2012): Kognitiv aktivieren und inhaltlich strukturieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Kiel: IPN.
- Köhnlein, Walter; Marquardt-Mau, Brunhilde & Duncker, Ludwig (2013): Vielperspektivität, www.widerstreit-sachunterricht.de, 19, 1–3.
- Künzli David, Christine; Gysin, Stefanie & Bertschy, Franziska (2017): Sachunterricht als inter- und transdisziplinär konstituiertes Fach – Implikationen für die Unterrichtsplanung und -gestaltung. In: Giest et al. (2017) (Hrsg.): Vielperspektivität im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 27–39.
- Kunter, Mareike & Voss, Tamar (2011): Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In: Kunter et al. (2011) (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Münster: Waxmann, 85–113. <https://doi.org/10.31244/9783830974338>
- Lipowsky, Frank (2020): Unterricht. In: Wild, Elke & Möller, Jens (2020) (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Berlin: Springer, 70–118. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_4

- Lipowsky, Frank & Hess, Miriam (2019): Warum es manchmal hilfreich sein kann, das Lernen schwerer zu machen. Kognitive Aktivierung und die Kraft des Vergleichens. In: Schöppe, Karola & Schulz, Franz (2019) (Hrsg.): *Kreativität & Bildung – Nachhaltiges Lernen*. München: kopaed, 77–132.
- Marquardt-Mau, Brunhilde & Schroeder, René (2022): Lehren und Lernen in Projekten. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 439–445.
- Menger, Julia (2021): Lernwirksamer Sachunterricht kann nicht von der Lehrkraft am Schreibtisch geplant werden. In: Billion-Kramer, Tim (2021) (Hrsg.): *Wirksamer Sachunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider, 123–130.
- Nießeler, Andreas (2022): Lebenswelt/Heimat als didaktische Kategorie. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 29–33.
- Pech, Detlef (2020): Tragfähige Grundlagen: Sachunterricht. In: Hecker et al. (2020) (Hrsg.): *Kinder lernen Zukunft. Anforderungen und tragfähige Grundlagen*. Frankfurt am Main: Grundschulverband, 158–167.
- Pech, Detlef (2009): Sachunterricht – Didaktik und Disziplin. Annäherung an ein Sachlernverständnis im Kontext der Fachentwicklung des Sachunterrichts und seiner Didaktik, www.widerstreit-sachunterricht.de, 13, 1–10.
- Peschel, Markus; Fischer, Marie; Kihm, Pascal & Liebig, Mark (2021): Fragen der Kinder – Fragen der Schule – Fragen der Sache. Die Kinder-Sachen-Welten-Frage (KSW-Frage) als Element einer neuen Lernkultur im Sinne der didaktischen Inszenierung eines vielperspektivischen Sachunterrichts. In: Peschel, Markus (2021) (Hrsg.): *Didaktik der Lernkulturen*. Frankfurt am Main: Grundschulverband, 231–250.
- Quehl, Thomas & Trapp, Ulrike (2020): Sprachbildung im Sachunterricht der Grundschule. Mit dem Scaffolding-Konzept unterwegs zur Bildungssprache. Münster: Waxmann.
- Quehl, Thomas & Trapp, Ulrike (2015): Wege zur Bildungssprache im Sachunterricht. Sprachbildung in der Grundschule auf der Basis von Planungsrahmen. Münster: Waxmann.
- Schroeder, René (2019): Lebensweltorientierung im inklusiven Sachunterricht – Widersprüche in Theorie und Praxis. In: GDSU Journal, 9, 118–138.
- Schroeder, René & Miller, Susanne (2017): Sachunterrichtsdidaktik und Inklusion. In: Hellmich, Frank & Blumberg, Eva (2017) (Hrsg.): *Inklusiver Unterricht in der Grundschule*. Stuttgart: Kohlhammer, 231–247.
- Siegmund, Benjamin (2022): Sprachbildung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Eine Interventionsstudie zur Wirksamkeit fachintegrierter Sprachbildung nach dem Scaffolding-Ansatz und mit Focus-on-Form-Strategien, <https://doi.org/10.46586/SLLD.253>.
- Simon, Toni (2019): Vielperspektivität und Partizipation als interdependente und konstitutive Merkmale einer inklusionsorientierten Sachunterrichtsdidaktik. In: Siebach et al. (2019) (Hrsg.): *Ich und Welt verknüpfen. Allgemeinbildung, Vielperspektivität, Partizipation und Inklusion im Sachunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider, 66–76.

Die Frage als eigentliche Chance für Conceptual Change

SUSANNE MILLER, ANNE REH, JOANA ERNST, MONA STETS,
REBECCA HUMMEL & RENÉ SCHROEDER

1 Zusammenfassung/Einleitung

Die Frage gilt nach Combe und Gebhard (2007: 51) als „eigentliche Chance des Unterrichts“, wobei nicht in erster Linie die Lehrer:innenfrage, sondern die Schüler:innenfrage gemeint ist. Der bildungswirksame Wert von Fragen ist in der historischen Entwicklung bis heute nahezu unumstritten, er soll nachfolgend aus erkenntnis-, bildungs- und lerntheoretischer Perspektive nachgezeichnet werden. Auf diesen allgemeineren theoretischen Überlegungen werden dann spezifischere sachunterrichtsdidaktische Konzepte unter der Perspektive der Fragenorientierung beleuchtet. In der Unterrichtsforschung verlagert sich die Aufmerksamkeit aktuell eher auf die Tiefenstrukturen des Unterrichts. Hier wird insbesondere der Unterricht als qualitativ bezeichnet, der sowohl auf einer eher normativen Ebene als „gut“ zu bezeichnen ist als auch auf einer empirischen Ebene als effektiv. Schüler:innenfragen gelten unter dieser Perspektive als sichtbarer Ausdruck der kognitiven Aktivierung (Lipowsky 2020). In der Sachunterrichtsdidaktik bieten Schüler:innenfragen im Rahmen der Frage nach qualitativ hochwertigem Unterricht zum einen das Potenzial, verschiedene konzeptionelle Vorstellungen eines „guten“ Sachunterrichts fassbarer zu machen und zum anderen im Sinne der kognitiven Aktivierung als Indikator für Conceptual-Change-Prozesse. Beide Begründungslinien sollen nachfolgend theoretisch fundiert, aber auch problematisiert werden, weil einerseits die empirische Forschungslage zu Schüler:innenfragen insbesondere für den Grundschulkontext noch schwach ausgeprägt ist und andererseits die Anregung einer erhöhten Frageaktivität der Schüler:innen als voraussetzungsreich gilt.

1.1 Schüler:innenfragen im Rahmen der Qualitätsdimensionen

Die aktuelle Unterrichtsforschung geht davon aus, dass ein als „qualitativ“ bezeichneter Unterricht sowohl den pädagogischen, normativen Wertvorstellungen eines guten Unterrichts als auch den empirischen Kriterien eines effektiven Unterrichts genügt (Kunter & Ewald 2016: 12). Diese Betrachtungsebene lenkt die Aufmerksamkeit auf die sogenannten Tiefenstrukturen des Unterrichts, weil differenzierte Befunde der Unterrichtsforschung gezeigt haben, dass die Effektivität der als gut bezeichneten Unterrichtskonzepte von sogenannten Tiefenstrukturen des Unterrichts abhängt. In der deutschsprachigen Unterrichtsforschung konzentriert man sich bei der empirischen Bestimmung der Tiefenstruktur im Wesentlichen auf die drei Basisdimensionen: Klas-

senführung, kognitive Aktivierung und konstruktive Unterstützung (Praetorius et al. 2020). Eine fachspezifische Auslegung der Dimensionen für den Sachunterricht nehmen beispielsweise Fauth et al. (2014) vor, wenn sie das Stellen von Aufgaben, die zum Nachdenken anregen, als kognitive Aktivierung bezeichnen. Verschiedene Studien zur Qualität von Unterricht bestätigen, dass die Qualität der Lernergebnisse auf Seiten der Schüler:innen von der Qualität der kognitiven Aktivierung abhängt (Lipowsky et al. 2009; Baumert & Kunter 2013; Kleickmann 2012). Unter kognitiver Aktivierung wird die Anleitung zielgerichteter Tätigkeiten der Lernenden, insbesondere das Erzeugen kognitiver Konflikte, verstanden (Kunter & Voss 2011). Schon Dewey (1993: 201) sah die Frage als „bedeutsame Umschlagstelle“ zwischen einer Irritation durch eine neue Erfahrung, der Erkenntnis der Unvereinbarkeit der Vorerfahrungen mit dem gegenwärtig Erlebten und dem stattfindenden hypothesenprüfenden Forschungsprozess. „Denken heißt nach etwas fragen, etwas suchen, was noch nicht zur Hand ist“ (Dewey 1993: 198). Insbesondere beim Experimentieren stellt die Forscher:innenfrage einen zentralen Bestandteil naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung dar (Lange-Schubert et al. 2017).

2 Begründungslinien

2.1 Die Frage aus sachunterrichtsdidaktischer Perspektive

Bildungs- und erkenntnistheoretisch wird die Frage als „fruchtbarer Prozess im Bildungsprozess“ (Copei 1966), als „Ausgangspunkt von Bildung“ (Petzelt 1962) oder als „Strukturmerkmal der denkenden Erfahrung“ (Dewey 2004) beschrieben. Lerntheoretisch gilt die Frage durch die zum Ausdruck gebrachte epistemische Tendenz im Kontext der Person-Gegenstandstheorie des Interesses (Krapp 2005, 2010) als Ausgangspunkt für den Aufbau vertieften situationalen Interesses und damit als bedeutungsvoll für höherwertige Lernprozesse (Seidel & Krapp 2014). Didaktisch wird die Frage als „eigentliche Chance des Unterrichts“ (Combe & Gebhard 2007: 51) behauptet. Auch hier gibt es eine lange Traditionslinie seit der Reformpädagogik, in der das unbedingte Fragerrecht des Kindes gefordert wurde (Scheibe 1969). Ausgehend von dem Verständnis der Frage als Ausdruck (lebensweltlich geprägten) Interesses fungiert die Schüler:innenfrage aus fachdidaktischer Perspektive als Ausgangspunkt unterrichtlicher Auseinandersetzung mit lebensweltnahen Inhalten. „Eine Möglichkeit, sich die Sachen (des Sachunterrichts) zu erschließen, ist es, mittels einer Fragestellung an die Sache auseinandersetzung zu gehen“ (Peschel et al. 2021: 231). Unterrichtskonzeptionell und bildungsprogrammatisch lässt sich insbesondere im Sachunterricht die Schüler:innenfrage als zentraler Bezugspunkt verstehen. Sie gibt Aufschluss über Denkniveau und Vorwissen, Vorstellungs- und Deutungsmuster, sprachliche Ausdrucksfähigkeit sowie Interessen und Erfahrungen (Rothkegel 2002).

In der sachunterrichtlichen Zielsetzung einer Erschließung von Welt (Köhnlein 2012; Kahlert 2004; Kahlert 2022) rückt die Frage ebenfalls in den Mittelpunkt der Betrachtung. So könne sich jeder Mensch die Welt nur im Verhältnis zu den Fragen erschließen, die er an sie stellt (Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und

Kultur 2010: 5). Bildungs- und Lehrpläne anderer Bundesländer fordern ebenfalls die Förderung einer Neugier- und Fragehaltung, um an die Lernbedürfnisse der Kinder anzuschließen und zu anschlussfähigem Wissen zu gelangen. Im Perspektivrahmen der Gesellschaft für Sachunterricht wird das Fragenstellen in den Zusammenhang des eigenständigen Erarbeitens und der interessierten Begegnung mit den Sachen gestellt (GDSU 2013: 22 f.).

Aufgrund seiner Themenvielfalt wird dem Sachunterricht ein besonders hohes Potenzial für das Ausgehen von Schüler:innenfragen zugeschrieben. Im gesamten Bildungssystem gibt es laut Kahlert (2014) kein Unterrichtsfach, das eine ähnliche inhaltliche Bandbreite aufweist, und kaum ein Thema, das nicht zum Gegenstand des Sachunterrichts werden kann (ebd.). Die Lebenswelten der Schüler:innen selbst werden zum Unterrichtsgegenstand, deren unterrichtliches Aufgreifen darauf abzielt, die Lernenden bei der Erschließung ebendieser zu unterstützen (Kahlert 2014). So schlagen Peschel et al. (2021) vor, von einer sogenannten übergeordneten Frage Themenfelder vielperspektivisch zu erschließen, um einer „Verinselung fachlichen Wissens vorzubeugen“ (Peschel et al. 2021: 232). Da Kinder ihrem ‚Wissensdurst‘ durch Fragen an die Sachen, Dinge und Phänomene dieser Welt Ausdruck verleihen, bildet vor allem der Sachunterricht einen geeigneten Ort, um an das Fragebedürfnis der Kinder anzuknüpfen (Miller & Brinkmann 2013). Neben der Vermittlung fachlicher Ziele haben im Sachunterricht der Aufbau und die Förderung von Interesse, Motivation und positiven selbstbezogenen Kognitionen eine hohe Bedeutung (Blumberg, Möller & Hardy 2004: 41). Insgesamt gehen die eher normativ geprägten (sachunterrichts-)didaktischen Schriften davon aus, dass mit Schüler:innenfragen durch deren hohe subjektive Bedeutsamkeit eigene Interessen, Vorwissen bzw. Vorerfahrungen und eine spezifische intrinsische Motivation für den Lerngegenstand zum Ausdruck gebracht werden, wodurch sich das Potenzial zu einem lebensweltorientierten, selbstbestimmten, kommunikativen und forschenden Lernen entfaltet.

Im Rahmen der naturwissenschaftlich-technischen Perspektive spielen Schüler:innenfragen in verschiedenen Konzeptionen wie im exemplarischen genetisch-sokratischen Ansatz (Wagenschein 1997; Köhnlein 2012) oder in verschiedenen Ansätzen zur Wissenschaftsorientierung schon sehr früh eine zentrale Rolle. Ein weiterer historischer Ankerpunkt ist in der Konzeption Science 5/13 (Schwedes 1976) aus den frühen 1970er-Jahren zu sehen. Das im Nuffield Junior Science Project entwickelte Curriculum wollte durch die Entwicklung einer Fragehaltung ein entdeckendes Herangehen an naturwissenschaftliche und technische Probleme fördern, im Vergleich zu anderen frühen wissenschaftsorientierten Ansätzen stand die Erfahrungswelt der Kinder stärker im Mittelpunkt. Die Fragehaltung wurde gemeinsam mit dem wissenschaftsorientierten Problemlöseverhalten zum obersten Ziel erhoben, diese sollte durch eine konkrete Erfahrung aufgeworfen werden. Brinkmann (2019: 88) fasst das Konzept so zusammen, dass methodische naturwissenschaftliche Verfahrensweisen, Informationsgewinnung und eine positive Einstellung zu Naturwissenschaften gelernt werden sollten. Schüler:innenfragen im Unterricht aufzugreifen und Kinder dazu zu ermutigen, Fragen zu stellen, wird im aktuelleren Kontext des Sachunterrichts auch damit verbunden, „Kin-

der in ihren Bemühungen um Welterkenntnis ernst zu nehmen“ (Michalik 2015: 180). Dabei ist Ziel und Fokussierung der Frage jeweils für die verschiedenen Perspektiven des Sachunterrichts unterschiedlich gelagert. So sollen Fragen im Kontext sozialwissenschaftlicher Erschließungsprozesse auf das Zusammenleben in der Demokratie fokussieren und Lernende für Fragen der Gesellschaft sensibilisiert werden (GDSU 2013). Oftmals finden sich hier philosophische Fragen, auf die es kaum richtige oder falsche Antworten zu geben scheint (z. B. Was ist für dich Familie?). Für historische Erschließungsprozesse fokussieren Fragen die „Veränderungen menschlichen Zusammenlebens in der Zeit“ (GDSU 2013: 57). Explizit nicht als historische Frage werden Fragen gerahmt, die sich einzelnen Phänomenen widmen. Epistemische Fragen findet man hingegen vor allem in naturwissenschaftlichen Settings. Diese sollen im Sinne eines naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges zur Generierung von Wissen beitragen. Daran schließt sich beispielsweise die weitere Planung von Experimenten an. Fragen im naturwissenschaftlichen Sinne sind somit auch eng mit Conceptual-Change-Prozessen verwoben, wie im Folgenden ausgeführt wird.

2.2 Die Bedeutung von Schüler:innenfragen in Conceptual-Change-Ansätzen

Schüler:innenfragen haben einen diagnostischen Wert, da sie Aufschluss über vorliegende Interessen, Präkonzepte und das Vorwissen der Kinder geben (Schroeder & Miller 2017). Denn eine Frage entsteht in Anlehnung an Dewey (2004) genau an der Umschlagstelle zwischen Wissen und Noch-Nicht-Wissen. Dabei sind Fragen an Verwunderung, Zweifel, Irritationen oder Neugierde (Dewey 1988; Combe & Gebhard 2007; Wagenschein 1977; Landwehr 2009), also den bisherigen Erfahrungsschatz der Kinder, gekoppelt. Entsprechend kann aus der Frage bestenfalls das bisherige Wissen, die bisherigen Erfahrungen und Interessen direkt oder indirekt rekonstruiert werden. Das Stellen einer Frage ermöglicht, Noch-Nicht-Wissen durch den Prozess der Beantwortung in neues Wissen zu überführen und damit zur Sacherschließung beizutragen. Eben jener Umschlag bzw. eine Veränderung oder ein Umlernen vorhandener Konzepte wird als Conceptual Change gefasst. Damit kann die Formulierung einer Frage im Erkenntnisprozess als Hinweis darauf verstanden werden, dass Lernen im Sinne einer Konzeptveränderung stattfindet¹. Dabei umschreibt eine Konzeptveränderung eine Hinführung der Kinder von ihren Alltagsvorstellungen hin zu wissenschaftlich tragfähigen Konzepten (Kaiser 2013). Conceptual-Change-Prozesse werden jedoch im Rahmen naturwissenschaftlicher Bildungsprozesse gemeinhin als schwierig gefasst, da Kinder bereits mit tief verwurzelten Konzepten über ihre Umwelt in den Unterricht kommen (Möller 2007). Zudem findet die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens diskontinuierlich statt (Kaiser 2013). D. h. es bedarf gesonderter Impulse, die eine „Transformation vorhandener Wissensstrukturen“ (ebd.: 127) intendieren. Als Voraussetzung für eine Umdeutung bestehender Konzeptionen werden verschiedene Ansätze

¹ Möller (2022: 263) spricht sich dafür aus, tatsächlich von „Konzeptveränderung“ und nicht von „Konzeptwechsel“ zu sprechen, weil es nicht primär um einen Wechsel von einer nicht belastbaren Vorstellung zu einer adäquateren Vorstellung, sondern allgemein um die Veränderung vorhandener Vorstellungen bei den Lernenden ginge.

verfolgt: (1) Vermeidung wissenschaftlich nicht tragfähiger Vorstellungen, (2) Erzeugung von Konflikten bzgl. bestehender Präkonzepte, (3) die Ermöglichung von Umdeutungen, indem wissenschaftliche und alltagstheoretische Vorstellungen in Beziehung zueinander gesetzt werden (Kaiser 2013).

Eine handelnde Auseinandersetzung mit den Sachen wird als besonders förderlich für den Konzeptwechsel angesehen (Jonen et al. 2003). Da bestehende Fehl- und Alltagsvorstellungen recht stabil sind, führt die direkte Unterweisung kaum zu Veränderungen. Neben der handelnden benötigt es auch eine längere und vertiefte Auseinandersetzung mit der Sache, um wissenschaftlich tragfähige Konzepte anzubahnen (Koerber & Osterhaus 2022). Hier greift mit Blick auf Conceptual-Change-Prozesse auch die Idee des Lernens in der Zone der nächsten Entwicklung nach Wygotsky, die wie folgt definiert wird:

“the degree to which the child masters everyday concepts shows his actual level of development, and the degree to which he has acquired scientific concepts shows the zone of proximal development.” (Author’s translation, 1985, pp. 47–48 nach Heedgard 2003: 140)

Der Übergang in die Zone der nächsten Entwicklung wird nicht nur als ein Moment, sondern als ein Prozess oder als soziale Genese verstanden. Dabei wird hier nochmal die Relevanz der Instruktion der Lehrkraft zur Hinführung in die Zone der nächsten Entwicklung deutlich: „Through instruction, the scientific concepts relate to and become the child’s everyday concepts” (Hedegaard 2005: 172). Auch Kaiser (2013) beschreibt die Relevanz von spezifischen Impulsen als Voraussetzung, Kinder im Übergang von Alltags- zu wissenschaftlichen Konzepten zu unterstützen. Eine Frage im Kontext naturwissenschaftlicher Bildungsprozesse, die vom Kinde ausgeht, kann unter Rückbezug auf die theoretisch elaborierten Hinweise darauf, dass diese eine „Umschlagstelle im Erkenntnisprozess“ markiert, als erklärtes Ziel lehrkraftseitiger Instruktionen verstanden werden. Denn in dieser manifestiert sich das Noch-Nicht-Wissen oder auch Konflikte mit bestehenden Vorstellungen der Kinder. Sie können somit als Ausgangspunkt von Conceptual-Change-Prozessen im Sinne eines Umlernens und dem Übergang in die Zone der nächsten Entwicklung verstanden werden. Im naturwissenschaftlichen Lernen und im Sinne der Anleitung von Conceptual-Change-Prozessen kommt der Kinderfrage und der Hinleitung der Kinder zu dieser damit eine besondere Rolle zu.

3 Forschungsbedarfe – Problematisierungen – und Konsequenzen

Entgegen der Relevanz, die Fragen im Lern- und Erkenntnisprozess – auch mit Fokus auf den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn – aufweisen, sind Schüler:innenfragen – vor allem mit Blick auf die Grundschule – bisher wenig untersucht. Im Folgenden wird der bisherige Kenntnisstand aufgeführt und anschließend dargestellt, wie Fragen mit Blick auf den (naturwissenschaftlich geprägten) Sachunterricht angeregt werden können.

3.1 Schüler:innenfragen als seltene Ereignisse

Zur Verbreitung von Schüler:innenfragen liegen leider nur wenige und überwiegend ältere Befunde aus der Unterrichtsforschung in der Sekundarstufe vor, diese legen nahe, dass Schüler:innenfragen eher „seltene Ereignisse“ (Niegemann 2004: 350) im Unterricht darstellen (Dillon 1988; Niegemann & Stadler 2001; Wragg & Brown 2001). Die wenigen Fragen bewegen sich weitgehend auf einem eher niedrigen Niveau und beziehen sich auf organisatorische Aspekte des Unterrichts (z. B. nach unterrichtlichen Abläufen) (Niegemann & Stadler 2001). In einer Videostudie der Sekundarstufe (Seidel et al. 2006) machten Schüler:innenfragen etwa 14 % der Schüler:innenbeiträge aus, während über 70 % der Schüler:innenäußerungen als Antworten eingestuft wurden, die häufig Reaktionen auf Fragen der Lehrkraft darstellten (Kobarg & Seidel 2007). Auch in seinem Forschungsüberblick fasst Niegemann (2004) auf Grundlage von elf Studien das Auftreten und Niveau von Schüler:innenfragen im Unterricht in der Sekundarstufe als insgesamt gering zusammen. Zu ähnlichen Ergebnissen hinsichtlich des Fragenniveaus von Schüler:innenfragen kommen auch zwei Studien aus den USA: Chin, Brown und Bruce (2002) bezifferten den Anteil von „*procedural questions*“ auf 65 % und sog. „*wonderment questions*“ auf lediglich 14 %. Grässer und Person (1994: 110 f.) sehen den Anteil von sog. „*deep-reasoning-questions*“ ebenfalls bei nur 22 %. In einer kanadischen Studie werden mehr als die Hälfte der Fragen als „*basic information questions*“ (Scardamalia & Bereiter 1992: 187 f.) bezeichnet. Auch diese empirischen Auseinandersetzungen mit Fragen in schulischen Kontexten fokussierten Unterricht in der Sekundarstufe.

3.2 Schüler:innenfragen im Grundschulbereich

Gesicherte Erkenntnisse aus dem Grundschulbereich über das Frageverhalten der Schüler:innen liegen nicht vor. Es kann vermutet werden, dass sich bei der festgestellten niedrigen Anzahl und dem niedrigen Niveau der Fragen von Schüler:innen der Sekundarstufe verschiedene Effekte von Schulsozialisation widerspiegeln, wie auch Pallesen und Hörnlein (2019) in ihrem theoretisch auf der Annahme des Unterrichts als regelhaftes Kommunikationsgeschehen fußenden Beitrags vermuten. Sie gehen davon aus, dass sich ein schulsozialisatorischer Effekt hinsichtlich der Unterrichtskommunikation in einem Dreischritt aus Lehrer:innenfrage, Schüler:innenantwort und Lehrerbewertung zeigt (Pallesen & Hörnlein 2019). Über die Trias von Frage, Ant-

wort und Bewertung verstetige sich das hierarchisch geprägte Verhältnis und münde darin, dass – mit Heinzel (2011: 54) gesprochen – „aus fragenden Kindern Antwortende“ und Schüler:innen „nicht selten zu angepassten Antwortgebern [...] herangebildet werden“ (Reusser 2001: 107). Dies legen auch Befunde zu den als „conversational environments“ (Ronfard et al. 2018: 116) bezeichneten Umfeldbedingungen nahe, die Einfluss auf die Anzahl der Fragen zu nehmen scheinen. In einem internationalen Review verweisen Ronfard et al. (2018: 116) darauf, dass Kinder im schulisch-unterrichtlichen Kontext (bspw. im Vergleich zu privat-familiären und außerschulischen Settings) grundsätzlich wenig(er) Fragen stellen.

Grundlagenforschung zum Frageverhalten von Schüler:innen im Grundschulunterricht stellt also angesichts der aufgezeigten Bedeutsamkeit eine bislang nicht systematisch bearbeitete Lücke in der Grundschulforschung auf nationaler und internationaler Ebene dar. Aus dem durch die DFG geförderten Projekt „Fragen im Sachunterricht der Grundschule – eine videobasierte Beobachtungsstudie im Kontext von Unterrichtsqualität“ (FragS), das von den Autor:innen seit September 2023 durchgeführt wird, können bezüglich des quantitativen und qualitativen Frageverhaltens von Grundschüler:innen erstmalig gesicherte Erkenntnisse erwartet werden. In der Hauptfragestellung geht es neben der Erfassung der Schüler:innenfragen auch um die Ermittlung möglicher Zusammenhänge zwischen den Schüler:innenfragen und den Lehrer:innenfragen sowie der verschiedenen Unterrichtsqualitätsdimensionen. Das quantitative Design sieht eine Unterrichtsvideographie in insgesamt 140 Grundschulklassen vor. Es wird der Sachunterricht in den Blick genommen, aus Gründen der Vergleichbarkeit wird ausschließlich Unterricht zum Thema Strom videographiert. Anzahl, Art und Niveau der Schüler:innen- und Lehrer:innenfragen werden systematisierend erhoben und die Unterrichtsqualität wird hochinferent geratet, mögliche Zusammenhänge werden regressionsanalytisch berechnet. Als Kontrollvariablen werden das Vorwissen, das sachunterrichtliche Interesse und die Selbstwirksamkeit vorab mittels Fragebogen erhoben. Die erwarteten Ergebnisse sollen neben der Beantwortung der genannten Forschungsfragen auch einen Beitrag leisten, die unterrichtlichen Situationen mit einem qualitativ hohem Frageaufkommen seitens der Schüler:innen auch hinsichtlich förderlicher unterrichtlicher Bedingungen zu analysieren.

4 Qualitätsverbesserung durch Schüler:innenfragen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Im naturwissenschaftlichen Sachunterricht wird das Lernen gemeinhin als Veränderung vorhandener Vorstellungen verstanden, woraus sich für die Lehrkräfte die Aufgabe ergibt, die Lernenden bei diesen Veränderungsprozessen so zu unterstützen, dass wissenschaftlich anschlussfähige Vorstellungen aufgebaut werden können (Möller 2016). Als ein Forschungsdesiderat aus fachdidaktischer Perspektive formuliert Kornelia Möller, dass die Operationalisierung der kognitiven Aktivierung, die gewünschte Veränderungsprozesse im Sinne eines Conceptual Changes anregt, noch ein offenes Problem

darstellt. Insbesondere im naturwissenschaftlichen Bereich stelle „das Unterstützen von Conceptual-Change-Prozessen besondere Anforderungen bezüglich der kognitiven Aktivierung, da Lernende häufig mit festen und nicht angemessenen Vorstellungen in den Lernprozess eintreten und diese Präkonzepte das Erlernen angemessener Konzepte erschweren können“ (ebd.: 59). Durch eine systematische Anregung von Schüler:innenfragen, die in ihrer Wirksamkeit systematisch kontrolliert werden müsste, könnte aus Sicht der Autor:innen genau dieses Forschungsdesiderat bearbeitet werden. Dabei erfordert die systematische Anregung von Fragen immer auch entsprechende lehrkraftseitige Kompetenzen, die durch Instruktionen und Scaffolds die Schüler:innen auf ihrem Weg begleiten. So formuliert bereits Wygotsky (1985), dass die Qualität von Instruktionen daran abzuleiten sei, dass diese das Lernen unterstützen. Leitend für diese Unterstützung sind aber nicht nur didaktische Fertigkeiten von Lehrkräften, sondern vor allem die Etablierung einer Fragenkultur in Schule, die den bereits beschriebenen sozialisatorischen Effekten der Unterrichtskommunikation im Sinne eines Lehrer:innenfrage-Schüler:innen-Antwortspiels (Pallesen & Hörnlein 2019) entgegensteht. Diese Veränderung unterrichtskultureller Zugangsweisen kann als langfristiges Ziel von Unterrichtsentwicklungsprozessen formuliert werden. Einen ersten Zugang bietet diesbezüglich das Projekt FragS, welches durch die quantitative Erfassung der Fragenaktivität im Sachunterricht eine erste Ist-Stand-Analyse gegenwärtiger Praxis liefert und die im Artikel aufgezeigten Desiderate bzgl. grundschulspezifischer Daten zum Frageverhalten von Schüler:innen beantworten kann.

Literatur

- Baumert, Jürgen & Kunter, Mareike (2013): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: I. Gogolin, H. et al. (Hrsg.): Stichwort: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 277–337. https://doi.org/10.1007/978-3-658-00908-3_13
- Blumberg, Eva; Möller, Kornelia & Hardy, Ilonca (2004): Erreichen motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen in einem schülerorientierten naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht – Bestehen Unterschiede in Abhängigkeit von der Leistungsstärke? In: W. Bos, et al. (Hrsg.): Heterogenität. Eine Herausforderung an die empirische Bildungsforschung. Münster: Waxmann, 41–55.
- Brinkmann, Vera (2019): Fragen stellen an die Welt. Eine Untersuchung zur Kompetenzentwicklung in einem an den Schülerfragen orientierten Sachunterricht. 1. Aufl. Bielefeld: wbv Publikation (Basiswissen Grundschule, Bd. 41).
- Cazden, Courtney B. (2001): Classroom Discourse. The Language of Teaching and Learning. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Chin, Christine & Osborne, Jonathan (2008): Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. In: Studies in Science Education 44 (1), 1–39. <https://doi.org/10.1080/03057260701828101>

- Chin, Christine; Brown, David E. & Bruce, Bertram C. (2002): Student-generated questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521–549. <https://doi.org/10.1080/09500690110095249>
- Combe, Arno & Gebhard, Ulrich (2007): *Sinn und Erfahrung. Zum Verständnis fachlicher Lernprozesse in der Schule*. Leverkusen-Opladen: Verlag Barbara Budrich (Studien zur Bildungsgangforschung, 20). <https://doi.org/10.2307/j.ctvdf00pz>
- Copei, Friedrich (1966): *Der fruchtbare Moment im Bildungsprozess* (9. Aufl.). Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Dewey, John (1988): *Kunst als Erfahrung*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Verlag.
- Dewey, John (1993): *Erfahrung und Denken. Das Wesen der Erfahrung*. In: J. Oelkers (Hrsg.): *Demokratie und Erziehung. Eine Einleitung in die philosophische Pädagogik*. 5. Aufl. Weinheim: Beltz Verlagsgruppe, 186–202.
- Dewey, John (2004): *Erfahrung, Erkenntnis und Wert*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Dillon, James T. (1988): *Questioning and Teaching. A Manual of Practice*. London: Croom Helm.
- Engel (2011): Children's need to know: Curiosity in schools. *Harvard Educational Review*, 81, 625–645. <https://doi.org/10.17763/haer.81.4.h054131316473115>
- Fauth, Benjamin; Decristan, Jasmin; Rieser, Svenja; Klieme, Eckhard & Büttner, Gerhard (2014): *Grundschulunterricht aus Schüler-, Lehrer- und Beobachterperspektive. Zusammenhänge und Vorhersage von Lernerfolg*. In: *Zeitschrift für pädagogische Psychologie* 28 (3), 127–137. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000129>
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg.) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Good, Thomas L.; Slavings, Ricky L.; Harel, Kathleen H. & Emerson, Hugh (1987): Student passivity. A study of question asking in K-12 classrooms. *Sociology of Education*, 60, 181–199.
- Graesser, Arthur C. & Person, Natalie K. (1994): Question Asking During Tutoring. *American Educational Research Journal*, 31(1), 104–137. <https://doi.org/10.3102/00028312031001104>
- Hedegaard, Mariane (2003): Cultural minority children's learning within culturally sensitive classroom teaching. *Pedagogy, Culture & Society*, 11:1, 133–152. <https://doi.org/10.1080/14681360300200164>
- Hedegaard, Mariane (2005): An introduction to radical-local teaching and learning. In: *Radical-local teaching and learning. A cultural-historical approach* (33–50). Aarhus: Aarhus University Press.
- Heinzel, Friederike (2011): Kindgemäßheit oder Generationenvermittlung als grundschulpädagogisches Prinzip? In: F. Heinzel (Hrsg.): *Generationenvermittlung in der Grundschule. Ende der Kindgemäßheit?* Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 40–68.

- Jonen, Angela; Möller, Kornelia & Hardy, Ilonca (2003): Lernen als Veränderung von Konzepten – am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule. In: D. Cech & H.-J. Schwier (Hrsg.): *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht* (93–108). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kahlert, Joachim (2004): *Der Sachunterricht und seine Didaktik* (4. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB].
- Kahlert, Joachim (2022): *Der Sachunterricht und seine Didaktik* (5. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB]. <https://doi.org/10.36198/9783838558585>
- Kahlert, Joachim (2014): Sachunterricht ein fachlich vielseitiger Lernbereich. In: W. Einsiedler et al. (Hrsg.) *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik*. (505–512). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kaiser, Astrid (2013): Conceptual Change als Impuls für didaktisches Denken. In: A. Kaiser & D. Pech (Hrsg.): *Basiswissen Sachunterricht, Band 4. Lernvoraussetzungen und Lernen im Sachunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 126–132.
- Kleckmann, Thilo (2012): Kognitiv aktivieren und inhaltlich strukturieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Kiel: IPN Leibniz-Institut f. d. Pädagogik d. Naturwissenschaften an d. Universität Kiel.
- Praetorius, Anna-Katharina; Grünkorn, Juliane; Klieme, Eckhard (Hg.) (2020): *Empirische Forschung zu Unterrichtsqualität. Theoretische Grundfragen und qualitative Modellierungen*. Weinheim und Basel: Beltz Juventa Verlag. <https://doi.org/10.3262/ZPB2001009>
- Kobarg, Mareike & Seidel, Tina (2007): Prozessorientierte Lernbegleitung – Videoanalysen im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Unterrichtswissenschaft*, 35(2), 148–168.
- Koerber, Susanne & Osterhaus, Christopher (2022): Does advanced theory of mind protect primary-school children from loneliness? Longitudinal relations from 9–10 years. *The Journal of Genetic Psychology*, 183(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/00221325.2021.1994913>
- Köhnlein, Walter (Hrsg.) (2012): *Sachunterricht und Bildung*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Krapp, Andreas (2005): Die Bedeutung von Interesse für den Grundschulunterricht. In: *Grundschulunterricht* 52 (10), 4–8.
- Krapp, Andreas (2010): Die Bedeutung von Interessen für die Lernmotivation und das schulische Lernen – eine Einführung. In: I. Hemmer & M. Hemmer (Hrsg.): *Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis*. Weingarten: Hochschulverband für Geographie und ihre Didaktik e.V., 9–26.
- Scheibe, W. (1969): *Berthold Otto: Gesamtunterricht. Eine Interpretation*. Weinheim/Berlin/Basel: Verlag Julius Beltz.
- Seidel, Tina & Krapp, Andreas (Hrsg.) (2014): *Pädagogische Psychologie*. (6. völlig neu bearbeitete Auflage des Lehrbuchs). Weinheim: Beltz PVU (1. Auflage 1986).

- Kunter, Mareike & Ewald, Silvia (2016): Bedingungen und Effekte von Unterricht: Aktuelle Forschungsperspektiven aus der pädagogischen Psychologie. In: N. McElvany et al. (Hrsg.): Bedingungen und Effekte guten Unterrichts (Dortmunder Symposium der Empirischen Bildungsforschung). Münster: Waxmann, 9–32.
- Kunter, Mareike & Voss, Tamar (2011): Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In M. Kunter et al. (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Münster: Waxmann, 85–113. <https://doi.org/10.31244/9783830974338>
- Landwehr, Brunhild (2009): Vom Staunen zum Fragen. In: R. Lauterbach, H. Giest & B. Marquardt-Mau (Hrsg.): Lernen und kindliche Entwicklung. Elementarbildung und Sachunterricht. Klinkhardt: Bad Heilbrunn, 221–228.
- Lange-Schubert, Kim; Böschel, Florian & Hartinger, Andreas (2017): Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden – Untersuchungen durchführen und wissenschaftliche Modelle nutzen am Beispiel Aggregatzustände und ihre Übergänge. In: H. Giest (Hrsg.), Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret (25–38). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Lipowsky, Frank; Rakoczy, Katrin; Drollinger-Vetter, Barbara; Klieme, Eckhard; Reusser, Kurt & Pauli, Christine (2009): Quality of geometry instruction and its short-term impact on students' understanding of Pythagorean Theorem. *Learning and Instruction*, 19(6), 527–537. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.11.001>
- Lipowsky, Frank (2020): Unterricht. In: E. Wild & J. Möller (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 69–118. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_4
- Michalik, Kerstin (2015): Philosophische Gespräche mit Kindern als Medium für Bildungsprozesse im Sachunterricht. In: H.-J. Fischer et al. (Hrsg.): Bildung im und durch Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 175–196.
- Miller, Susanne & Brinkmann, Vera (2013): Schüler:innenfragen im Mittelpunkt des Sachunterrichts. In: E. Gläser & G. Schönknecht (Hrsg.): Sachunterricht in der Grundschule. entwickeln – gestalten – reflektieren. Frankfurt: Grundschulverband, 226–241.
- Möller, Kornelia (2007): Naturwissenschaftlicher Sachunterricht. Kindern beim Erlernen von Naturwissenschaften helfen. *Grundschulmagazin*, 1, 8–10.
- Möller, Kornelia (2016): Bedingungen und Effekte qualitätsvollen Unterrichts – ein Beitrag aus fachdidaktischer Perspektive. In: N. McElvany & W. Bos (Hrsg.): Bedingungen und Effekte guten Unterrichts. Münster: Waxmann, 43–64.
- Niegemann, Helmut (2004): Lernen und Fragen: Bilanz und Perspektiven der Forschung. In: *Unterrichtswissenschaft* 32 (1), 345–356.
- Niegemann, Helmut & Stadler, Silke (2001): Hat noch jemand eine Frage? Systematische Unterrichtsbeobachtung zu Häufigkeit und kognitivem Niveau von Fragen im Unterricht. In: *Unterrichtswissenschaft* 29 (2), 171–192.
- Pallesen, Hilke & Hörnlein, Miriam (2019): Warum Schüler:innen keine Fragen stellen. In: D. Rumpf & S. Winter (Hrsg.): Kinderperspektiven im Unterricht. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 11–22. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22432-5_2

- Peschel, Markus; Fischer, Marie; Kihm, Pascal & Liebig, Mark (2021): Fragen der Kinder – Fragen der Schule – Fragen an die Sache. In: M. Peschel (Hrsg.): Didaktik der Lernkulturen. Frankfurt a. M.: Grundschulverband e.V., 231–250.
- Petzelt, Alfred (1962): Von der Frage: eine Untersuchung zum Begriff der Bildung (2. Aufl.). Freiburg i. B.: Lambertus.
- Reusser, Kurt (2001): Unterricht zwischen Wissensvermittlung und Lernen lernen. Alte Sackgassen und neue Wege in der Bearbeitung eines pädagogischen Jahrhundertproblems. In: C. Finkbeiner & G. W. Schnaitmann (Hrsg.): Lehren und Lernen im Kontext empirischer Forschung und Fachdidaktik. Donauwörth: Auer, 106–140.
- Ronfard, Samuel; Zambrana, Imac; Hermansen, Tone & Kelemen, Deborah (2018): Question-asking in childhood: A review of the literature and a framework for understanding its development. *Developmental Review*, 49, 101–120. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2018.05.002>
- Rothkegel, Alexandra (2002): Warum heißt Luft eigentlich Luft? In: *Grundschulmagazin* 1–2, 29–31.
- Scardamalia, Marlene & Bereiter, Carl (1992): Text-Based and Knowledge-Based Questioning by Children. In: *Cognition and Instruction*, 177–199. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0903_1
- Schroeder, René & Miller, Susanne (2017): Schülerfragen im Sachunterricht am Beispielthema „Brücken – und was sie stabil macht“. In: H. Giest et al. (Hrsg.): Vielperspektivität im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Band 27), 185–200.
- Schwedes, H. (1976): Lernziele/Erste Erfahrungen. *Naturwissenschaftlicher Unterricht Primarstufe. Bausteine für ein offenes Curriculum*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Seidel, Tina; Prenzel, Manfred; Rimmel, Rolf; Dalehefte, Inger Marie; Herweg, Constanze; Kobarg, Mareike & Schwindt, Katharina (2006): Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 52 (6), 799–821.
- Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (2010): Lehrplan für die Grundschule und die Förderschule mit dem Bildungsgang Grundschule. Heimat- und Sachkunde.
- Wygotski, Lew S. (1985): Arbeiten zu theoretischen und methodologischen Problemen der Psychologie. *Ausgewählte Schriften Bd. 1*. Köln.
- Wagenschein, Martin (1997): Verstehen lehren. Genetisch – sokratisch – exemplarisch. 11. Aufl. Weinheim: Beltz Verlag.
- Wragg, Edward & Brown, George (2001): Questioning in the Primary School (2. Aufl.). London: Routledge Falmer. <https://doi.org/10.4324/9780203420072>

Die *Kinder-Sachen-Welten-Frage* unter besonderer Berücksichtigung chemischer Bezüge

„Sollten wir nur noch Autos mit (Lithium-Ionen-)Akkus fahren?“

MARIE FISCHER, PASCAL KIHM, LUISA LAUER, MARKUS PESCHEL¹

Abstract

Vielperspektivität und **Vernetzung** sind die zwei zentralen Prinzipien der Didaktik des Sachunterrichts (als wissenschaftlicher Disziplin) sowie des Sachunterrichts (als Unterrichtsfach) (vgl. Köhnlein 1999: 13; Giest et al. 2017: 9; Schmeinck 2021: 194; Gervé 2022: 17 f.). **Vielperspektivität** bezeichnet in der Didaktik des Sachunterrichts das ‚didaktische Prinzip‘ (vgl. Köhnlein et al. 2013: 3) der ‚Vielfalt *aufeinander bezogener* Inhalte, Betrachtungsweisen, Wissensformen und Methoden‘ (ebd.: 1; Herv. d. V.; vgl. auch Nießeler 2020: 53). Diesem Prinzip folgend, sollte die Didaktik des Sachunterrichts Lehr-Lern-Prozesse dahingehend adressieren, dass das bildungsrelevante Potenzial einer vielperspektivischen Erschließung von Inhalten im Mittelpunkt der Planung, Durchführung und Auswertung von sachunterrichtlichen Lehr-Lern-Prozessen steht (vgl. Thomas 2022: 274). Anders formuliert: In unserem Verständnis sollte Sachunterricht (als Unterrichtsfach) so oft es geht vielperspektivisch angelegt sein. Ausgangspunkt und Zentrum sachunterrichtlichen Lernens sind somit u. E. **vielperspektivische Fragestellungen und Themenbereiche** (vgl. ebd.; Tänzer 2010; GDSU 2013).

Lauterbach (2017: 14f.) nimmt eine bildungssprachliche Reflexion des Begriffes „Vielperspektivität“ vor: „Der Wortstamm ‚*Perspektive*‘ ist uns geläufig. Bildungssprachlich wird damit laut Duden zum einen die Betrachtungsweise oder Betrachtungsmöglichkeit von einem bestimmten Standpunkt aus bezeichnet [...], zum anderen eine Aussicht auf Zukunft, genauer auf Zukunftserwartungen. Das Suffix in *Vielperspektivität* [...] bezeichnet als substantivierte Eigenschaft etwas Abstraktes, [...] etwas Nichtgegenständliches im Sinne von allgemeiner Gültigkeit, in unserem Fall die Abstraktion von Betrachtungsmöglichkeiten oder Zukunftsaussichten“ (ebd.; Herv. d. V). Als indefinites Nominale erzeugt das Präfix „*viel*“ „ein vages, unscharfes Maß an Bestimmtheit“ (ebd.) und „multipliziert die abstrahierte Gesamtheit der Perspektiven auf ungewisse Weise [...]. Für den Sachunterricht ist das von Belang: sprachlich (es werden keine Namen genannt),

1 Universität des Saarlandes

gegenständlich (es wird nicht auf sinnlich wahrnehmbare Dinge verwiesen), methodisch (es werden weder Verfahren noch Ordnungsformen angegeben)“ (ebd.).

Eine Annahme, die unserem Beitrag zugrunde liegt, ist, dass (vielperspektivischer) Sachunterricht sich grundsätzlich an der Aufgabe messen lassen muss, inwiefern er einen Beitrag zur grundlegenden Bildung von Kindern leistet (vgl. Schumann 2013; Rauterberg 2013; Trevisan 2019). Bzgl. unseres Bildungsverständnisses verweisen wir dabei auf Heymann (1996), Klafki (2007) und Peschel et al. (2020) und somit auf Kategorien wie „Exemplarität“, „Fundamentalität“, „Gegenwartsbedeutung“, „Zukunftsbedeutung“.

Angesichts der Schwerpunktlegung in diesem Band, Aspekte chemischen Lernens im naturwissenschaftlich orientierten Sachunterricht zu diskutieren, werden wir besonders die chemischen Bezüge in einer exemplarischen Kinder-Sachen-Welten-Frage (kurz: KSW-Frage) („Sollten wir nur noch Autos mit (Lithium-Ionen-)Akkus fahren?“) hervorheben. Dies geschieht im Bewusstsein, dass „monoperspektivische [und hier sogar bezugsfachwissenschaftliche!] Zugänge zu Phänomenen im Rahmen von Welterschließungsprozessen“ – „vor der Prämisse des sachunterrichtlichen Prinzips der Vielperspektivität“ – „einen veränderten [und u. E. reduzierten] Zugang für Bildungsprozesse darstellen“.^{2,3} Wir machen damit einen konkreten Vorschlag, „welche Art der Wendung bezugsfachwissenschaftliche[.] [und monoperspektivische] Zugänge erfahren [müssen], um sachunterrichtlich relevant zu werden“.

„Gesellschaftliche Bildung ist damit nicht an einen Fächerkanon oder ein Fachcurriculum geknüpft, sondern an Problem- und Fragestellungen und der zu ihrer Beantwortung oder Bearbeitung jeweiligen Fachaspekte“ (Pech 2009: 7).

1 Fach(-kultur-)bezogene Perspektiven und chemische Bezüge

Die fünf Perspektiven des Sachunterrichts (GDSU 2013) (historisch, sozialwissenschaftlich, geografisch, naturwissenschaftlich und technisch) lassen sich als methodisch kontrollierte, fach- oder wissenschaftsbezogene Zugriffsweisen auf Welt verstehen (vgl. Trevisan 2019: 24f.). Die Perspektiven beziehen sich auf Wissenschaftsdomänen/-felder und deren **lebensweltliche Bedeutung** und gehen „von den Interessen der Kinder und ihren Lebenswelterfahrungen“ (ebd.) sowie „ihrem Lernbedürfnis“ (Köhnlein 2012: 80) aus. Sie übergreifen in perspektivischem Verständnis „verwandte“ *Fachkulturen* (zum Kulturbegriff siehe Nießeler 2020; Peschel 2021), die im Sachunterricht der Primarstufe (noch) nicht getrennt verstanden werden (vgl. Schmid et al. 2013: 49).

Die **naturwissenschaftliche Perspektive** (GDSU 2002: 15 ff.; GDSU 2013: 37 ff.) umfasst Bezüge zu den einzelnen (Bezugs-)Fachorientierungen – Physik, Chemie, Biologie, Technik – und bearbeitet die „Frage nach dem Verhältnis von Mensch und Natur“

2 Die Zitate aus dem vorangegangenen und dem folgenden Satz stammen aus dem Call for Papers zum vorliegenden Sammelband.

3 Hinsichtlich des Begriffes *Welterschließen* verweisen wir auf Gervé (2017) und Kahlert (2004).

(GDSU 2013: 37) in einer „von den Naturwissenschaften mitgeprägten Welt“ (ebd.; vgl. auch Giest 2017: 9). Sie adressiert dabei auch chemische Bezüge, die v. a. ein grundlegendes Verständnis bzw. ein wissenschaftlich anschlussfähiges Konzept von Materie (Strukturen und Veränderungen von Stoffen; Herstellung und Verwendung dieser Stoffe aufgrund ihrer Eigenschaften) anbahnen sollen (vgl. Giest 2017: 9; Steffensky 2022: 141 f.).

In jeder Perspektive des Sachunterrichts gibt es, wie auch in der naturwissenschaftlichen Perspektive, entsprechende sog. *perspektivenbezogene* Themenbereiche, ein Begriff, der inhaltlich auf Erkenntnisse, Wissensbestände, Sachverhalte, Fragestellungen und Konzepte aus den einzelnen Fachkulturen verweist. Zum anderen gibt es prozedural zu verstehende *perspektivenbezogene* Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (GDSU 2013: 15), die auf fachgemäße Methoden zur Erschließung von Fragestellungen abzielen (Tab. 1⁴).

Tabelle 1: Chemische Bezüge in den perspektivenbezogenen Themenbereichen und den DAHs der naturwissenschaftlichen Perspektiven des Sachunterrichts (GDSU 2002; 2013)

Perspektivrahmen 2002	Perspektivrahmen 2013
Material-/Stoffeigenschaften, Stoffumwandlungen: Eigenschaften von Feststoffen (Metalle, Kunststoffe) und Flüssigkeiten (Öl, Essig), Steinen und Mineralien, Stoffgemische aus Feststoffen bzw. aus Flüssigkeiten, Lösungen, Lösungsverhalten, Verbrennungsprozesse als chemische Stoffumwandlung, Oxidation von Metallen wie Eisen, Kupfer oder Silber an der Luft	chemische Eigenschaften von Stoffen/Körpern (z. B. Brennbarkeit, Lösbarkeit, Rosten) Stoffumwandlungen (z. B. Rosten und Verbrennung, Kohlenstoffkreislauf)
Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (DAHs) der naturwissenschaftlichen Perspektive (Perspektivrahmen 2013)	
Anders als die perspektivenbezogenen Themenbereiche der naturwissenschaftlichen Perspektive sind die aufgeführten perspektivenbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (DAHs) der naturwissenschaftlichen Perspektive eher fachübergreifend naturwissenschaftlich formuliert. Sie lassen sich nicht unbedingt einem konkreten Bezugsfach zuordnen, da es sich um Methoden und Zugangsweisen handelt, die (u. E.) in allen naturwissenschaftlichen Disziplinen Anwendung finden (vgl. Hacking 1996; Schaake 2011; Höttecke & Rieß 2015).	
<ul style="list-style-type: none"> • „DAH NAWI 1: Naturphänomene sachorientiert (objektiv) untersuchen und verstehen • DAH NAWI 2: Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden • DAH NAWI 3: Naturphänomene auf Regelmäßigkeiten zurückführen • DAH NAWI 4: Konsequenzen aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für das Alltagshandeln ableiten • DAH NAWI 5: Naturwissenschaftliches Lernen bewerten und reflektieren“ (GDSU 2013: 39). 	

Wir stellen hier einen Gegenentwurf zu traditionellen Unterrichtsvorschlägen vor, die monoperspektivische und häufig sogar einzelfachliche (hier chemiebezogene) Themen wie Stoffeigenschaften und -umwandlungen (z. B. Löslichkeit, Verbrennung, Chromatographie, s. Tab. 1) in Form von expliziten Aufgaben(sammlungen) umsetzen

4 Ein Beispiel für eindeutig biologische Bezüge in den perspektivenbezogenen Themenbereichen der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts wäre „Pflanzen, Tiere und ihre Unterteilungen“ (GDSU 2013: 39), ein Beispiel für eindeutig physikalische Bezüge wäre „physikalische Vorgänge“ (ebd.), worunter etwa Kraft(wechsel)wirkungen oder Veränderungen des Aggregatzustandes gefasst werden (vgl. ebd.: 44).

(vgl. Hesecker et al. 2019: 144 ff.), um diese mit perspektivenbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen zu erarbeiten (vgl. Fink 2017: 91 f.) (vgl. zu dieser Kritik auch Kihm et al. 2023).

Entfaltet man Unterrichtsinhalte im Wesentlichen bezogen auf die Systematik *eines* Faches, bleibt u. E. nicht viel von ihrem Bildungspotential für den Sachunterricht der Grundschule übrig. „Der fachliche Blickwinkel engt ein, oft noch ehe die Kinder ihre mitunter diffusen und vielfältigen Erfahrungen zum Thema aktiviert und vorgebracht haben“ (Kahlert 2022: 221). „Die einzelnen fachlichen Perspektiven haben [...] für sich allein betrachtet auch ihre Erkenntnisgrenzen und können dadurch nur einen eingeschränkten Ausschnitt der Welt erklären“ (Trevisan 2019: 24). Sachunterricht darf deshalb u. E. nicht darauf reduziert werden, perspektivenbezogene Themen(bereiche) (z. B. Kohlenstoffdioxid, Verbrennung) zu bearbeiten, sondern muss das Potenzial mind. der gesamten naturwissenschaftlichen Perspektive – hier unter besonderer Berücksichtigung chemischer Bezüge – für die Bearbeitung lebensweltlicher⁵ Probleme und Fragestellungen nutzen. „Die gegenwärtigen und zukünftigen Probleme und Herausforderungen der Welt lassen sich nicht innerhalb einzelner Wissenschaftsdisziplinen lösen, es kommt auf vernetzendes Denken an, das Fragestellungen und Wissen aus verschiedenen Fachdisziplinen integriert“ (Michalik 2021: 139; vgl. auch Köhnlein 2012: 344 ff.; Giest 2017: 10; Billion-Kramer 2021: 236).

2 Vielperspektivisch-vernetzender Sachunterricht und chemische Bezüge

Ziel eines *vielperspektivischen Sachunterrichts* sollte es sein, dass Schüler:innen ein „kohärentes, anschlussfähiges Verständnis über [...] zentrale Konzepte [hier] der Chemie und Physik entwickeln anstelle unverbundener Wissenselemente über einzelne Aspekte spezifischer Inhaltsbereiche“ (Steffensky 2022: 145). Dies schließt u. E. (1) die perspektivenbezogenen und perspektivenübergreifenden DAHs, v. a. aber (2) die Bedeutung (hier) naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden für ökonomische, historische, kulturelle, soziale und ökologische Prozesse ein (vgl. Marquardt-Mau 2004; Osborne 2014). Vielperspektivischer Sachunterricht beinhaltet auch chemiebezogene Erkenntnisse und Methoden, die als Elemente naturwissenschaftlichen und chemischen Lernens (vgl. Steffensky 2022) mit gesellschaftlichen Fragen verbunden werden müssen (vgl. Trevisan 2019: 24; Michalik 2021: 139).

In seiner konkreten Umsetzung bedeutet vielperspektivischer Sachunterricht u. E. allerdings häufig, dass „ein bisschen ‚historischer Apfel‘, dann ein bisschen ‚geografischer‘ und zuletzt ein bisschen ‚biologischer Apfel‘“ (Trevisan 2019: 24; vgl. auch Scholz 2004; Pech 2009: 7) unterrichtet wird, ohne „quer“ zu den fachlichen Perspektiven [Denken zuzulassen und] Zusammenhänge sichtbar werden“ (Trevisan 2019: 24) zu lassen. „Perspektivenvielfalt kommt in den [von Mathis und Kolleg:innen; Anm.

5 Zum Begriff der Lebenswelt siehe Fischer et al. (2022).

d. V.] untersuchten Unterrichtsstunden nur als additive Sammlung von Aspekten vor“ (Mathis et al. 2015: 79; vgl. auch Mathis & Duncker 2017: 66 ff.; Trevisan 2019: 32 ff.; Heseke et al. 2019; Kihm et al. 2023: 143 f.).⁶

Vielperspektivischer Sachunterricht versteht sich demgegenüber vielmehr als „Integrationsfach, das diese fachliche Vielfalt als Chance sieht, bei Kindern ein **vernetztes** Verstehen ihrer Um- und Mitwelt anzubahnen und zu fördern“ (Lange 2017: 42; Herv. d. V.; vgl. auch Giest et al. 2017: 10).

Exkurs: Vernetzung

Der Begriff „Vernetzung“ verweist allgemein auf die Verknüpfung von Informationseinheiten. Die Bezugnahme auf ein didaktisches „Netz“ (vgl. Kahlert 2022) macht deutlich, dass Beziehungen, Zusammenhänge oder Verbindungen zwischen Wissensbeständen und anderen Informationseinheiten zu knüpfen sind. Dieses Vernetzen resp. Verknüpfen geht über die kritisierte additive Aneinanderreihung von Themen oder Perspektiven hinaus, indem *Querverbindungen* (Gemeinsamkeiten, Unterschiede) zwischen den Wissensbeständen gesucht werden. Entsprechend wird erst durch die Verknüpfung der Erkenntnisse aus verschiedenen Wissensdomänen und durch die Betrachtung der Zusammenhänge eine vernetzte Vielperspektivität im o. g. Sinne erzeugt (vgl. ebd.).

Abbildung 1: Exkurs Vernetzung

Die Vernetzung der Perspektiven des Sachunterrichts, ihren Wissensbeständen, Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen, kann auf verschiedene Arten umgesetzt werden (vgl. GDSU 2013: 72 f.). Ein Ansatz sind die exemplarischen **Perspektiven vernetzenden Themenbereiche (PVTs)** des Perspektivrahmens (Mobilität, Gesundheit, Nachhaltige Entwicklung, Medien, vgl. ebd.). Dies sind „Themen und Fragestellungen, die von sich aus ohne eine Vernetzung der Erkenntnisse aus verschiedenen Perspektiven nicht sinnvoll bearbeitbar sind“ (ebd.). Sie integrieren die verschiedenen Perspektiven, binden sie zusammen, „machen Zusammenhänge deutlich und ermöglichen es somit, dass das Wissen auf die Lebenswirklichkeit der Kinder zurückgeführt werden kann“ (ebd.: 15). Eine weitere Möglichkeit, den vielperspektivischen Sachunterricht auf bildungsrelevante, komplexe und lebensweltliche Themen zu beziehen, ist die Ausrichtung an Klafkis „**epochaltypischen Schlüsselproblemen**“ (2007). Schmid et al. (2013) stellen mit der **übergeordneten Fragestellung** eine weitere Möglichkeit vor, die es erfordert, „Wissensbestände aus verschiedenen Bezugswissenschaften des Sachunterrichts zu berücksichtigen und zu vernetzen“ (ebd.: 48).⁷

6 Ausgangspunkt der zitierten Analysen von Mathis et al. (2015), Mathis und Duncker (2017) und Trevisan (2019) ist der historisch orientierte Sachunterricht: Anhand von Lehrwerkanalysen zeigen die Autor:innen, dass die Vernetzung zu anderen Perspektiven im historisch orientierten Sachunterricht selten ist. Dieser Befund ist u. E. auf den naturwissenschaftlich orientierten Sachunterricht übertragbar (vgl. dazu auch Heseke et al. 2019; Kihm et al. 2023) bzw. dort aufgrund der einzelfachlichen Herangehensweise ggf. sogar noch ausgeprägter.

7 „Klafkis Kriterien für die Bestimmung von Inhalten im Rahmen der didaktischen Analyse (hier zentral die exemplarische Bedeutung, die Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung und die Orientierung an epochaltypischen Schlüsselproblemen), [...] Dimensionen des Weltzugriffs von Köhne (2000), Polare Paare und Didaktische Netze von Kahlert (2002)“, sind einige bildungstheoretische Grundsetzungen, die Schmid et al. (2013: 50) zur Bestimmung von Bildungsinhalten im Sachunterricht vorschlagen.

In diesem Beitrag soll es primär um die *Kinder-Sachen-Welten-Frage* (Peschel et al. 2021), eine Weiterentwicklung der übergeordneten Fragestellung (Schmid et al. 2013), gehen.

2.1 Von der übergeordneten Fragestellung zur *Kinder-Sachen-Welten-Frage*

Die **übergeordnete Fragestellung** (Schmid et al. 2013; Trevisan 2019) fungiert als integrierendes Element, um disziplinäre Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen sowie Wissensbestände aus den verschiedenen Perspektiven zu einer Gesamtsicht zu vernetzen. Durch die übergeordnete Fragestellung wird ein (komplexes gesellschaftlich und fachlich relevantes) Thema (a) vielperspektivisch, (b) aus lebensweltlichen Bezügen und (c) von einem übergeordneten Interesse erschlossen und bearbeitet. Die Schüler:innen sollen dazu angeregt werden, sich mittels der übergeordneten Fragestellung „in einem komplexen Themenfeld eine eigene fundierte Meinung zu bilden und sich mit verschiedenen (fachlichen) Perspektiven bewusst auseinanderzusetzen.“ (Trevisan 2019: 34). Durch die Perspektivenvernetzung mittels übergeordneter Fragestellung werden Trivialisierungen, Verinselungen des fachlichen Wissens oder die Addition von Fachinhalten vermieden (vgl. ebd.; Schmid et al. 2013).

Die ***Kinder-Sachen-Welten-Frage*** (kurz: KSW-Frage)⁸ ist als Weiterentwicklung der übergeordneten Fragestellung nach Schmid et al. (2013) bzw. Trevisan (2019) zu verstehen.

Die KSW-Frage – als „didaktisches Hilfsmittel“ (Peschel et al. 2021: 238) für die Unterrichtsplanung der Lehrperson – soll eine Vernetzung *aller* Perspektiven evozieren und somit die Gefahr der Perspektivenaddition, die bei über- und untergeordneten Fragestellungen besteht, vermeiden. Damit dies gelingen kann, muss die KSW-Frage u. E. so gewählt werden, dass sie folgenden Kriterien (Abb. 2) entspricht:

⁸ Kinder-Sachen-Welten sind die drei zentralen Bezugspunkte des Sachunterrichts (vgl. Pech 2009): Grob skizziert, steht die Dimension „Kinder“ dabei für die Kindorientierung im Sachunterricht, wobei die Schüler*innen mit ihrem Vorwissen, ihren Vorerfahrungen und ihren Bedürfnissen im Vordergrund stehen. Die Schüler*innen setzen sich mit verschiedenen Lebens-„Welten“ auseinander und erschließen sich diese (zum Begriff der Lebenswelten siehe Fischer et al. (2022); zum Begriff des Erschließens siehe Gervé (2017) und Kahlert (2004)). In der Auseinandersetzung mit ihren (Lebens-)Welten setzen die Schüler*innen sich mit den „Sachen“ dieser (Lebens-)Welten im Sachunterricht auseinander.

Kriterium	Erläuterungen
Lebenswelten	Der Bildungsinhalt (vgl. Tänzer 2010; Trevisan 2019), auf den die KSW-Frage sich bezieht, sollte einerseits in den aktuellen Lebenswelten der Kinder und andererseits in ihren zukünftigen Lebenswelten eine Rolle spielen. Dies adressiert die Gegenwarts-/Zukunftsbedeutung des (Bildungs-)Inhaltes sowie die epochaltypischen Schlüsselprobleme (vgl. Klafki 2007). Die KSW-Frage sollte <i>aus der Perspektive der Kinder</i> wichtig sein, da sie sich auf ihre Interessen, Erfahrungen und Bedürfnisse bezieht.
Exemplarität	Die Erkenntnisse, die die Kinder durch die Beschäftigung mit der KSW-Frage und an diesem exemplarischen Bildungsinhalt gewinnen (Zusammenhänge, Strukturen, Regelmäßigkeiten, perspektivenbezogene und -übergreifende DAHs), sollten auf andere Themenbereiche oder (KSW-) Fragen übertragbar sein. Dies adressiert die Exemplarität und Fundamentalität des (Bildungs-)Inhaltes (vgl. Klafki 2007).
Kontroversität	Wie die übergeordnete Fragestellung begründet auch die KSW-Frage ein „ Spannungsfeld “ (Schmid et al. 2013: 9; Trevisan 2019: 52), das u. E. jedoch „Konfliktpotenzial“ mit sich bringen sollte. Bei der Beantwortung der KSW-Frage sollten die Kinder mit verschiedenen, teils konfligierenden individuellen Interessen konfrontiert werden. Die KSW-Frage sollte sich aus verschiedenen Perspektiven und nicht eindeutig beantworten lassen, da verschiedene Akteur*innen involviert sind. Dabei sollen ihre subjektiven Einstellungen, Interessen und Werte aufgegriffen werden, sodass im Lernprozess unterschiedliche, aber begründete Standpunkte expliziert (und schließlich auch eingenommen; s. u.) werden.
Vernetzung/Integration	<i>Alle</i> Perspektiven des Sachunterrichts müssen zur Lösung eines Problems bzw. zur Klärung der KSW-Frage systematisch miteinander vernetzt und so in Beziehung zueinander gesetzt werden, dass eine umfängliche (= vielperspektivische) Analyse und Beurteilung gefördert wird. Die KSW-Frage kann folglich nur „durch das Beiziehen von Wissensbeständen und methodischen Zugangsweisen unterschiedlicher fachlicher Perspektiven und/oder von Wissen betroffener Akteure befriedigend beleuchtet werden“ (Trevisan 2019: 42). Ein Teilaspekt davon ist es, die Leistungsfähigkeit der fachkulturbezogenen Perspektiven ebenso wie deren Grenzen für die Analyse und Beurteilung komplexer Probleme einschätzen zu lernen. Hier lässt sich u. E. nun auch die oben aufgeworfene Frage beantworten, wie genau das (zwangsläufige) Aufschließen der fachbezogenen Perspektiven bei der Bearbeitung der KSW-Frage zu realisieren ist: Die Näherung an die fachbezogenen Perspektiven erfolgt unter der KSW-Frage subsumiert. Bei ihrer Beantwortung geht es weniger um die Vermittlung kanonisierter Wissensbestände als um die „gemeinsame Suche nach möglichen Antworten“ (Trevisan 2019: 43) auf die KSW-Frage. Bei diesem Suchprozess rückt u. E. das Anwenden/Erkennens/Nutzen der perspektivbezogenen, insbesondere aber der perspektivenübergreifenden DAHs in den Vordergrund. Die Perspektiven werden also mittels perspektivenbezogener und -übergreifender Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen aufgeschlossen (vgl. Peschel et al. 2021: 247f.).

Abbildung 2: Kriterien an eine KSW-Frage (orientiert an Peschel et al. 2021 und Kihm et al. 2023)

3 Lithium-Ionen-Akkus (z. B. im Kontext von Elektromobilität) als Thema im Sachunterricht

Als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts (Hüttl et al. 2010; Doppelbauer 2020) erlangte Elektromobilität auf Basis von Lithium-Ionen-Akkus in der Auseinandersetzung mit der Klimakrise und ihrer Folgen sowie vor dem Hintergrund der Endlichkeit fossiler Energieträger immer mehr an Bedeutung (vgl. Buberger et al. 2022). Eine gesellschaftlich und medial – mit Blick auf die Pariser Klimaschutzziele – besonders breit geführte Diskussion (vgl. Quaschnig 2021: 365) ist die Ablösung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (in der Patentliteratur auch als „Brennkraftmaschine“ bezeichnet, nachfolgend kurz „Verbrennerautos“) durch Elektroautos – zugespitzt formuliert: „das Verbot der Verbrennerautos“.⁹

⁹ Der Verbrennungsmotor ist eine Wärmekraftmaschine nach dem Prinzip der Verbrennungskraftmaschine, die durch Verbrennung von Treibstoff (v. a. Erdöl) chemische Energie aus Atombindungen in mechanische Arbeit umwandelt.

Der kommerzielle Bildungsmarkt hat das gesellschaftliche Interesse und die gleichzeitige Kontroverse um Elektromobilität auf Basis von Lithium-Ionen-Akkus (versus „Verbrennungsmobilität“) bislang nur vereinzelt in didaktischen Materialien für den Sachunterricht aufgegriffen (vgl. Patzelt 2019; Pfister & Zettl 2021; Segmüller-Schwaiger 2022).¹⁰

3.1 Vorschlag einer Kinder-Sachen-Welten-Frage: Sollten wir nur noch Autos mit (Lithium-Ionen-)Akkus fahren?

Historisch betrachtet existieren Fahrzeuge mit Elektromotor bereits seit dem 19. Jahrhundert (vgl. Thomes et al. 2013; Hanselka & Jöckel 2010), umso interessanter ist die Frage, warum diese Technologie erst jetzt wieder so stark im Fokus der breiten Öffentlichkeit steht.¹¹

Warum sich Elektroautos damals nicht gegen Verbrennungsautos durchsetzen konnten (vgl. Arnold et al. 2010), lässt weitere perspektivische Betrachtungen relevant werden:¹²

- niedriger Ölpreis – sozialwissenschaftliche Perspektive,
- Reichweitenvorteil von Benzinern – technische Perspektive,
- Speicherung von Energie in chemischen Energieträgern (Öl als leicht handhabbare, recht gut zugängliche und beständige „Speicherform“ von Energie) – naturwissenschaftliche Perspektive,
- Versorgungssicherheit, Energieträger, Energietransport – sozialwissenschaftliche Perspektive,
- Abhängigkeit von Energie-Import-Export – geografische Perspektive.

Der prognostizierte weitersteigende Ölpreis spricht dafür, „dass der traditionelle Ansatz, Fahrzeuge mit fossilen, ölbasierten Energieträgern zu betreiben, in Zukunft mehr und mehr durch alternative Antriebskonzepte ergänzt oder ersetzt wird“ (Hanselka & Jöckel 2010: 22) (*naturwissenschaftliche Perspektive; DAH NAWI 4: Konsequenzen aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für das Alltagshandeln ableiten*).

Die gesteigerte Bedeutung der Thematik zeigt sich unter anderem in Forderungen der Bundesregierung, bis zum Jahr 2030 sieben bis zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland „auf den Straßen zu haben“ (*sozialwissenschaftliche Perspektive*;

¹⁰ Dazu muss man anmerken, dass naturwissenschaftlich-technische Bezüge im Sachunterricht (verglichen mit historischen, geografischen, sozialwissenschaftlichen Bezügen) insgesamt unterrepräsentiert sind (vgl. Peschel 2014). Innerhalb der naturwissenschaftlichen Perspektive nehmen chemische Bezüge verglichen mit biologischen (dominant) und physikalischen Bezügen den geringsten Anteil ein (vgl. Altenburger 2014; Schroeder 2022).

¹¹ Dies bedient u. a. Aspekte, die in der historischen Perspektive adressiert werden (DAH HIST 1: Fragen nach Veränderungen menschlichen Zusammenlebens in der Zeit stellen).

¹² „Elektromotoren als automobiler Antrieb besitzen eine rund 190-jährige Tradition. Ihre Ursprünge, und zwar auf der Straße, der Schiene und dem Wasser, fallen unmittelbar mit der Praxistauglichkeit des Elektromotors in den 1830er-Jahren zusammen, technisch ergänzt in den 1850ern durch brauchbare Bleiakkumulatoren und die Siemens'sche Entwicklung des dynamo-elektrischen Prinzips im Jahr 1866. Das Konzept ist damit älter als die mobile Anwendung von Verbrennungsmotoren. Mit ihnen fuhren erste Fahrzeuge in den 1860er-Jahren zu Wasser und zu Lande mit Hilfe des Lenoir'schen Gasmotors. Den Durchbruch schaffte das Konzept auf Basis des 1876 patentierten Ottomotors in Form der Fahrzeugkonstruktionen von Daimler und Benz aus den Jahren 1885/1886“ (Kampker et al. 2018: 3 f.).

DAH SOWI 3: Politisch urteilen).¹³ Der Bedeutungszuwachs lässt sich außerdem mit technischen Fortschritten hinsichtlich der Akkukapazität und damit Reichweite der Fahrzeuge begründen (*technische Perspektive*; DAH TE 3&4: Technik nutzen und bewerten) sowie aktuell unter den Fragen der Versorgungssicherheit aus anderen Staaten (*sozialwissenschaftliche Perspektive*; DAH SOWI 3: Politisch urteilen; DAH SOWI 2: Argumentieren sowie zwischen Einzelnen oder zwischen Gruppen mit unterschiedlichen Interessen und Bedürfnissen verhandeln) (Arnold et al. 2010).

Der Wunsch vieler Menschen, die eigenen umweltschädlichen Einflüsse zu minimieren, trägt zum erhöhten Absatz in der E-Autobranche und damit auch zu Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt bei (*sozialwissenschaftliche Perspektive*; DAH SOWI 4: Ökonomische Entscheidungen begründen) (vgl. Buberger et al. 2022).

Durch die Aktualität des Themas und die Dringlichkeit der Auseinandersetzung mit regenerativen Energieformen und Mobilitätskonzepten, um der Klimakrise zu begegnen (vgl. Quaschnig 2021: 365), wird eine Relevanz für die gegenwärtigen und zukünftigen Lebenswelten der Kinder hergestellt (*Kriterium „Lebenswelten“, Bildungsrelevanz I*).

Elektroautos haben ökologische Vorteile im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren: Dazu zählen u. a. die geringere Luftverschmutzung und der Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen (vgl. Buberger et al. 2022), sofern die Energie aus erneuerbaren Ressourcen (z. B. Wind- oder Solarkraft) „gewonnen“ wird (DAH NAWI 3: Naturphänomene auf Regelmäßigkeiten zurückführen). Über den ‚Lebenszyklus‘ gerechnet, haben Elektroautos bereits jetzt schon eine bessere CO₂-Bilanz, als dies bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor der Fall ist (vgl. ebd.). Allerdings müssen die Umweltauswirkungen durch den Prozess der Batterieherstellung und -entsorgung berücksichtigt werden (*naturwissenschaftliche, technische und geographische Perspektive*).

Die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen (Lithium, Kobalt, Nickel, seltene Erden) für Batterien geht mit landschaftsverändernden Maßnahmen und Umweltauswirkungen, wie potenzieller Wasserverschmutzung und -knappheit in den Abbauregionen, einher (*geografische und naturwissenschaftliche Perspektive*; DAH GEO 4: Ordnungsmuster zu räumlichen Situationen und zu Natur-Mensch-Beziehungen aufbauen und weiterentwickeln). Sind die Arbeiter:innen in den Minen, in denen Rohstoffe für die Akkus abgebaut werden, nicht ausreichend geschützt oder angemessen bezahlt, entstehen weitere soziale Problematiken in den Förderländern (*sozialwissenschaftliche und geographische Perspektive*) – samt ethischen Fragestellungen. Nur bei ordnungsgemäßer Entsorgung der Batterien oder Recyclingprozessen zur Wiedernutzung der wertvollen Rohstoffe (Morche et al. 2013) und einer langen Nutzungsdauer der Elektrofahrzeuge ist die Umweltbilanz besser als bei Verbrennerfahrzeugen (Benzin oder Diesel). Gleichzeitig schreiten technische Entwicklungen voran, um z. b. chemische Akkus, Solarzellen und

13 <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/energie-und-mobilitaet/nachhaltige-mobilitaet-2044132#:~:text=15%20Millionen%20E%2DAutos%20bis,die%20Bundesregierung%20mit%20einem%20Umweltbonus.> [17.10.2023]

Elektroschrott effektiver zu machen (*technische Perspektive; DAH TE 3 und 4: Technik nutzen und bewerten*).

Solange die Anschaffungskosten für Elektroautos die der Verbrennerautos deutlich übersteigen, ergeben sich ohne finanzielle Unterstützungsmaßnahmen der Politik soziale Ungleichgewichte. Gäbe es nur noch Elektromobilität, wären Menschen, die auf individuelle Mobilitätslösungen angewiesen sind, finanziell benachteiligt oder ausgeschlossen (*sozialwissenschaftliche Perspektive; DAH SOWI 2: Argumentieren sowie zwischen Einzelnen oder zwischen Gruppen mit unterschiedlichen Interessen und Bedürfnissen verhandeln*) (Canzler 2010).

Vor einigen Jahren lag die Reichweite von Elektroautos meist nur bei ca. 150 km pro Ladevorgang (Backhaus et al. 2011). Hinzu kommt der notwendige Ausbau der Ladeinfrastruktur, um eine flächendeckende Versorgung mit elektrischer Energie und entsprechenden Ladesäulen zu gewährleisten. Der Unterschied zwischen städtischen und ländlichen Regionen, was Ladeinfrastruktur und Abhängigkeit von Individualverkehr angeht (*geografische und sozialwissenschaftliche Perspektive*), zeigt sich auch in der persönlichen „Betroffenheit“ der Kinder in der Auseinandersetzung mit der Frage und damit in der individuellen Beantwortung. Durch diese (lokale und globale) Komplexität der fachlichen Bezüge (Kriterium „Vernetzung/Integration“, Vielperspektivität I) und Kontroversität ergeben sich die unterschiedlichen Beantwortungsmöglichkeiten der Schüler:innen, die über ja/nein oder richtig/falsch-Entscheidungen hinausgehen (Kriterium „Kontroversität“, Vielperspektivität II; DAH NAWI 4: *Konsequenzen aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für das Alltagshandeln ableiten*).

Die KSW-Frage, ob wir nur noch Autos mit (Lithium-Ionen-)Akkus fahren sollten, ist somit sehr komplex und nur individuell als Teil der Gesellschaft zu „beantworten“. Die KSW-Frage soll einen provozierenden und fachlich begründbaren Diskussionsprozess in Gang setzen und das Lernen an einem roten Faden durch die unterrichtliche Auseinandersetzung führen – mit dem vorläufigen Schluss einer eigenen Meinung, die wiederum zum Diskurs in der Klasse gestellt werden kann. Um zu dieser individuellen Antwort zu gelangen, müssen sich die Schüler:innen den vielfältigen fachlichen Bezügen über die perspektivenbezogenen DAHs nähern. Dabei liefert das chemische Lernen innerhalb der naturwissenschaftlichen Perspektive über die Auseinandersetzung mit dem Aufbau, den Bestandteilen sowie Vor- und Nachteilen der (Lithium-Ionen-)Akkus und den Unterschieden zwischen reversiblen Vorgängen (Auf- und Entladen des Akkus) und (nahezu) irreversiblen Vorgängen (Verbrennung von Treibstoff) einen zentralen Beitrag zur Beantwortung der KSW-Frage.

4 Fazit

Der Sachunterricht hat als vielperspektivisches und vernetztes Sachfach die Aufgabe, bereits in der Grundschule bildungswirksame Lernprozesse zu erzeugen (vgl. Köhnlein 2012; Pech 2020), was u. E. nicht mit trivialen oder einfachen Näherungen an Sachverhalte geschehen kann (vgl. auch Schmid et al. 2013; Trevisan 2019). Vielmehr müs-

sen über die unterrichtliche Behandlung der Lebenswirklichkeit der Kinder *komplexe Themen* im Sachunterricht aufgegriffen werden – Themen, so komplex wie das Leben der Kinder in der Gesellschaft selbst (vgl. Michalik 2021; Billion-Kramer 2021).

Eine Möglichkeit, ein didaktisches Hilfsmittel, solche komplexen Fragen im Sachunterricht angehen zu können, ist die KSW-Frage, die es erlaubt, unter einem spezifischen Fokus lebensweltadressierend, provozierend, fachlich begründet und persönlichkeitsbildend vielschichtig, d. h. vielperspektivisch sich einer fachbasierten Meinung zu nähern (vgl. Peschel et al. 2021).

Dabei zeigt sich, dass chemische Aspekte der naturwissenschaftlichen Perspektive – und Chemie als Fachinhalt – eine wesentliche Rolle bei der Einschätzung spielen, ob wir nur noch Autos mit (Lithium-Ionen-)Akkus fahren sollten. Eine sozioökonomische Betrachtung oder eine historische Einschätzung kann nicht ohne die Bedeutung weiterer (geografischer, physikalischer, technischer und insbesondere chemischer) Fachlichkeiten erfolgen. Hierzu zählen auch die spezifischen DAHs, die in Bezug auf Chemie die gesamte naturwissenschaftliche Perspektive adressieren (s. Tab. 1). Die Näherung an alle Fachlichkeiten bzw. Teilaspekte erfolgt unter der KSW-Frage subsumiert, die dann wiederum die Perspektiven aufschließt. Dieses *Aufschließen* der Perspektiven erfolgt u. E. mittels perspektivenbezogener DAHs (vgl. Peschel et al. 2021: 247 f.). Die fachkulturbezogenen Perspektiven betonen „den *Anspruch der Sache*, der auf fachliche Bezüge verweist und damit einfordert, dass es im vielperspektivischen Sachunterricht auch um anspruchsvolle, anstrengende und lohnende Arbeit an Sachzusammenhängen geht“ (Thomas 2022: 271). Sie haben u. E. eine dienende Funktion als Kontrollinstanz für perspektivenvernetzende Themen: Die qualitative Prüfung, ob eben chemische Inhalte in der vielperspektivischen Aufarbeitung der KSW-Frage berücksichtigt wurden, zeigt, ob in den PVTs vernetzt und den fachlichen Ansprüchen genügend gearbeitet wurde.

Chemische Aspekte sind aber im Sachunterricht der Grundschule zumeist unterrepräsentiert (vgl. Peschel 2014; Schroeder 2022). Diesbezüglich kann die KSW-Frage mit ihrer fachlich basierten Kontroversität von Einschätzungen u. E. darin unterstützen, dass chemische Aspekte aufgrund ihrer Bildungsrelevanz (Exemplarität, Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung) eine zentralere Rolle spielen als bislang – insbesondere auch am Beispiel von Energie als perspektivenvernetzendem Themenbereich (vgl. Peschel 2016a).

Literatur

- Albers, Stine (2017): Bildung und Vielperspektivität im Sachunterricht – ein „inniges“ Verhältnis. *GDSU Journal* Juli, 11–20.
- Altenburger, Pia (2014): *Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe: Ergebnisse einer Evaluationsstudie*. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH.
- Arnold, Hansjörg; Kuhnert, Felix & Kurtz, Ralf (2010): *PwC-Studie_Elektromobilitaet_Herausforderungen.pdf*. https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/PwC-Studie_Elektromobilitaet_Herausforderungen.pdf [14.10.2023].
- Backhaus, Oliver; Döther, Henning & Heuper, Thomas (2011): *Elektroauto Milliardengrab oder Erfolgsstory?* Essen: MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH.
- Bertschy, Franziska; Gysin, Stefanie & Künzli David, Christine (2016): *„Alles eine Frage der Sache?“ – NMG-Unterricht kompetent planen. Überlegungen und Studienmaterialien für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung*. Zürich: Stiftung Mercator Schweiz.
- Bertschy, Franziska & Künzli David, Christine (2021): Inter- und transdisziplinär konstituierter Sachunterricht – vorhandene Deutungsmuster irritieren und neue zugänglich machen. In: T. Billion-Kramer (Hrsg.): *Wirksamer Sachunterricht (Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten)*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 26–39.
- Billion-Kramer, Tim (2021): Wirksamer Sachunterricht. Versuch einer Synopse. In T. Billion-Kramer (Hrsg.): *Wirksamer Sachunterricht (Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten)*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 215–24.
- Buberger, Johannes; Kersten, Anton; Kuder, Manuel; Eckerle, Richard; Weyh, Thomas & Thiringe (2022): Total CO₂-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 159, 112–158. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112158>
- Canzler, Weert (2010): Mobilitätskonzepte der Zukunft und Elektromobilität. In R. F. Hüttl, B. Pischetsrieder & D. Spath (Hrsg.): *Elektromobilität. Potenziale und wissenschaftlich-technische Herausforderungen*. acatech DISKUTIERT. Berlin, Heidelberg: Springer, 21–38.
- Doppelbauer, Martin (2020): *Grundlagen der Elektromobilität: Technik, Praxis, Energie und Umwelt*. 1. Aufl. 2020 Edition. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29730-5_1
- Fink, Elke (2017): Von Pulverdetektiven zu Sprudelgasexperten – Eigenschaften von Stoffen und Stoffumwandlungen als Unterrichtsthema. In H. Giest (Hrsg.): *Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 91–107.
- Fischer, Marie; Kunz, Christian; Liebig, Mark; Weber, Anke & Peschel, Markus (2022): (Lebens-)Welt als Ausgangspunkt und Zieldimension des Sachunterrichts und des Anfangsunterrichts. In: M. Gutzmann & U. Carle (Hrsg.): *Anfangsunterricht – Willkommen in der Schule!*. Frankfurt am Main: Grundschulverband e.V., 248–263.
- GDSU 2013. *Perspektivrahmen Sachunterricht*. vollst. überarb. und erw. Ausgabe. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- GDSU 2002. *Perspektivrahmen Sachunterricht*. vollst. überarb. und erw. Ausgabe. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gervé, Friedrich (2022): Sachunterricht in der Informationsgesellschaft. In A. Becher et al. (Hrsg.): *Sachunterricht in der Informationsgesellschaft*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 17–30. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0111-pedocs-241980> [15.01.2023].
- Gervé, Friedrich (2017): Welt erschließen: zum didaktischen Ort digitaler Medien im Sachunterricht. *Haushalt in Bildung & Forschung* 6, 2, 36–51. <https://doi.org/10.3224/hibifo.v6i2.04>
- Giest, Hartmut (2017): Einleitung. In H. Giest (Hrsg.): *Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 9–12.
- Giest, Hartmut; Hartinger, Andreas & Tänzer, Sandra (2017): Editorial. In H. Giest, A. Hartinger & S. Tänzer (Hrsg.): *Vielperspektivität im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 9–13.
- Goll, Thomas & Goll, Eva-Maria (2021): Wirksamer Sachunterricht als gelingender Umgang mit der Herausforderung fachlicher Vielfalt. In T. Billion-Kramer (Hrsg.): *Wirksamer Sachunterricht (Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten)*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 62–71.
- Hacking, Ian (1996): *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Stuttgart: Reclam.
- Hanselka, Holger & Jöckel, Michael (2010): Elektromobilität — Elemente, Herausforderungen, Potenziale. In: R. F. Hüttl, B. Pischetsrieder & D. Spath (Hrsg.): *Elektromobilität. Potenziale und wissenschaftlich-technische Herausforderungen*. acatech DISKUTIERT. Berlin, Heidelberg: Springer, 21–38. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16254-1_2
- Hartinger, Andreas & Lange, Kim (2014): Zur Geschichte und Konzeptionierung des Faches. In *Fachdidaktik für die Grundschule: Sachunterricht*. Berlin: Cornelsen Scriptor, 6–17.
- Heseker, Helmut; Dankers, Rhea & Hirsch, Julia (2019): *Erährungsbezogene Bildungsarbeit in Kitas und Schulen (ErnBildung)*. Schlussbericht für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Förderkennzeichen 2816HS006). Paderborn: Institut für Ernährung, Konsum und Gesundheit.
- Heymann, Hans W. (1996): Allgemeinbildung und Mathematik.
- Höttecke, Dietmar & Rieß, Falk (2015): Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 21, 1, 127–139. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z>
- Hüttl, Dieter; Spath, Bernd & Pischetsrieder, Reinhard F. (2010): *Elektromobilität – Potenziale und wissenschaftlich-technische Herausforderungen*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16254-1>
- Kahlert, Joachim (2022): *Der Sachunterricht und seine Didaktik*. UTB. <https://doi.org/10.36198/9783838558585>
- Kahlert, Joachim (2004): Lebenswelten erschließen. A. Kaiser & D. Pech (Hrsg.): *Basiswissen Sachunterricht. 2. Neuere Konzeptionen und Zielsetzungen im Sachunterricht*, 32–41.

- Kaiser, Astrid (2014): *Neue Einführung in die Didaktik des Sachunterrichts*. 5., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kampker, Achim; Vallée, Schnettler; Thomas, Paul; Kasperk, Garnet; Brost, Waldemar; Deutskens, Christoph; Kreisköther, Kai; Fluchs, Sarah; Förstmann, Ruben; Nee, Carsten; Meckelnborg, Alexander & Drauz, Ralf (2018): Grundlagen. In A. Kampker, D. Vallée & A. Schnettler (Hrsg.): *Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie*. Berlin, Heidelberg: Springer, 3–85. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53137-2_2 [17.10.2023].
- Kihm, Pascal; Fischer, Marie & Peschel, Markus (2023): „Macht Haribo Kinder froh?“ – mittels einer Kinder-Sachen-Welten-Frage (KSW-Frage) den Themenbereich „Gesunde Ernährung“ erschließen. In Frankfurt am Main: Grundschulverband e.V.
- Klafki, Wolfgang (2007): *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. 6. Auflage. Weinheim Basel: Beltz.
- Köhnlein, Walter (2011): Die Bildungsaufgaben des Sachunterrichts und der genetische Zugriff auf die Welt. *GDSU e.V. GDSU-Journal* 1.
- Köhnlein, Walter (2012): *Sachunterricht und Bildung*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, Julius.
- Köhnlein, Walter (1999): Vielperspektivisches Denken – eine Einleitung. In W. Köhnlein, B. Marquardt-Mau & H. Schreier (Hrsg.): *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 9–24.
- Köhnlein, Walter; Marquardt-Mau, Brunhilde & Duncker, Ludwig (2013): Vielperspektivität. *widerstreit-sachunterricht*.
- Künzli David, Christine; Gysin, Stefanie & Bertschy, Franziska (2016): Sachunterricht als inter- und transdisziplinär konstituiertes Fach. Ansprüche an die Unterrichtsgestaltung und Überlegungen im Hinblick auf die Lehrerinnen- und Lehrerbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 34(3), 305–316. <https://doi.org/10.36950/bzl.34.2016.9493>
- Lange, Jochen (2017): *Schulische Materialität. Empirische Studien zur Bildungswirtschaft*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg. <https://doi.org/10.1515/9783110522129>
- Lauterbach, Roland (2017): Vielperspektivität – ein Beitrag zur Identitätsfindung der Didaktik des Sachunterrichts. In H. Giest, A. Hartinger & S. Tänzer (Hrsg.): *Vielperspektivität im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 13–27.
- Marquardt-Mau, Brunhilde (2004): Ansätze zur Scientific Literacy. Neue Wege für den Sachunterricht. In: A. Kaiser & D. Pech (Hrsg.) *Neuere Konzeptionen und Zielsetzungen im Sachunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 67–83.
- Mathis, Christian & Duncker, Ludwig (2017): Perspektivenwechsel als didaktische Kategorie – Zur Qualität von Lehrwerken für den Sachunterricht. In: H. Giest, A. Hartinger & S. Tänzer (Hrsg.) *Vielperspektivität im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 66–74.
- Mathis, Christian; Siepmann, Katja & Duncker, Ludwig (2015): Anregungen zum Perspektivenwechsel – Eine Pilotstudie zur Unterrichtsqualität. <http://hdl.handle.net/11654/23365> [06.10.2023].

- Michalik, Kerstin (2021): Wirksamer Sachunterricht ist bildungswirksamer Sachunterricht. In: T. Billion-Kramer (Hrsg.). *Wirksamer Sachunterricht (Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten)*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 131–142.
- Morche, Dirk; Schmitt, Fabian; Genuit, Klaus; Elsen, Olaf; Kampker, Achim & Friedrich, Bernd (2013): Fahrzeugkonzeption für die Elektromobilität. In A. Kampker, D. Vallée & A. Schnettler (Hrsg.): *Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie*. Berlin, Heidelberg: Springer, 149–234. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31986-0_5 [14.10.2023].
- Nießeler, Andreas (2020): *Kulturen des Sachunterrichts: Bildungstheoretische Grundlagen und Perspektiven der Didaktik*. Schneider Verlag GmbH.
- Osborne, Jonathan (2014): Scientific Practices and Inquiry in the Science Classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.): *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. London: Routledge.
- Patzelt, Susanne (2019): Elektroautos und E-Mobilität. Warum sprechen alle davon? <https://www.cornelsen.de/produkte/elektroautos-und-e-mobilitaet-warum-sprechen-alle-davon-arbeitsblatt-mit-loesungen-1100014383>.
- Pech, Detlef (2009): Sachunterricht – Didaktik und Disziplin. Annäherungen an ein Sachlernverständnis im Kontext der Fachentwicklung des Sachunterrichts und seiner Didaktik. www.widerstreit-sachunterricht.de [15.01.2023].
- Pech, Detlef (2020): Tragfähige Grundlagen: Sachunterricht. In: U. Hecker, M. Lassek & J. Ramseger (Hrsg.): *Kindern lernen Zukunft. Anforderungen und tragfähige Grundlagen*. Frankfurt am Main: Grundschulverband e.V., 158–167.
- Pech, Detlef & Rauterberg, Marcus (2013): Auf den Umgang kommt es an. ‚Umgangsweisen‘ als Ausgangspunkt einer Strukturierung des Sachunterrichts. Skizze der Entwicklung eines „Bildungsrahmens Sachlernen.“ *Beiheft 5 von www.widerstreit-sachunterricht.de*.
- Peschel, Markus (2016a): Energie als perspektivenvernetzender Themenbereich im Sachunterricht. In: C. Maurer (Hrsg.) *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 36; Jahrestagung/Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2015. Regensburg: Universität Regensburg, 373–375.
- Peschel, Markus; Fischer, Marie; Kihm, Pascal & Liebig, Mark (2021): Fragen der Kinder – Fragen der Schule – Fragen an die Sache. Die Kinder-Sachen-Welten-Frage (KSW-Frage) als Element einer neuen Lernkultur im Sinne der didaktischen Inszenierung eines vielperspektivischen Sachunterrichts. In: M. Peschel, hg. *Kinder lernen Zukunft: Didaktik der Lernkulturen*. Frankfurt am Main: Grundschulverband e.V., 231–250. <https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/handle/20.500.11880/33499> [15.01.2023].
- Peschel, Markus (2014): Individuelle Förderung beim naturwissenschaftlichen Lernen im Sachunterricht der Grundschule. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 7(2), 146–160.
- Peschel, Markus (2021): Lernkulturen und Didaktik. Etablierung einer lernorientierten Didaktik über den Lern- und Kulturbegriff. In: M. Peschel (Hrsg.) *Didaktik der Lernkulturen*. Frankfurt am Main: Grundschulverband e.V., 7–30.

- Peschel, Markus (2016b): Offenes Experimentieren – Individuelles Lernen. Aufgaben in Lernwerkstätten. In: H. Hahn, I. Esslinger-Hinz & A. Panagiotopoulou (Hrsg.) *Paradigmen und Paradigmenwechsel in der Grundschulpädagogik*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 120–129.
- Peschel, Markus; Bützow, Amelie; Fischer, Marie; Hoffmann, Anna; Hoffmann, Susanne; Kihm, Pascal; Lindow, Angela; Meisberger, Chiara; Strohmeier, Marion; Valeske, Luisa; Weber, Björn; Werle, Julia & Werner, Emelie (2020): „Sachunterricht und Bildung“. Eine Theorie des Sachunterrichts?! Erweiterte Rezension des Werkes von W. Köhnlein – mit Kommentaren von W. Köhnlein. *www.widerstreit-sachunterricht.de* Nr. 25.
- Pfister, Petra & Zettl, Christiane (2021): *Lernwerkstatt Mobilität & Verkehr: Verkehr früher, heute und in der Zukunft*. 1. Auflage. KOHL VERLAG Der Verlag mit dem Baum.
- Quaschnig, Volker (2021): *Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe – Techniken und Planung – Ökonomie und Ökologie – Energiewende*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. <https://doi.org/10.1007/978-3-446-46868-9>
- Ramseger, Jörg (2013): Experimente, Experimente! Was lernen Kinder im naturwissenschaftlichen Unterricht? In: H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.): *Handbuch Experimentieren*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 83–90.
- Rauterberg, Marcus (2013): „Naturbildung in der Frühpädagogik“. In: M. Rauterberg & S. Schumann (Hrsg.): *Umgangsweisen mit Natur(en)*. Beiheft 9, 33–46.
- Schaake, Steffen (2011): *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen lernen: historische, gesellschaftliche und kulturell relevante Stationen für den Chemieunterricht*. Kassel university press GmbH.
- Schmeink, Daniela (2021): Sachunterricht kompetenzorientiert unterrichten – eine komplexe anspruchsvolle Aufgabe. In T. Billion-Kramer, *Wirksamer Sachunterricht (Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten)*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 187–196.
- Schmid, Kuno; Trevisan, Paolo; Künzli, David, Christine & Di Giulio, Antonietta (2013): Übergeordnete Fragestellung als zentrales Element eines Sachunterricht-Curriculums. In: M. Peschel & C. Mathis. *SaCHen unterriCHten. Beiträge zur Situation der Sachunterrichtsdidaktik in der deutschsprachigen Schweiz*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 41–53.
- Scholz, Gerold (2004): Offen, aber nicht beliebig. Materialien für den Sachunterricht. *www.widerstreit-sachunterricht.de*, (2), 1–13.
- Schroeder, René (2022): *Ungestört bei der Sache?: Eine Befragung von Lehrkräften an Grund- und Förderschulen zur Sachunterrichtspraxis unter Bedingungen des Förderschwerpunktes emotionale und soziale Entwicklung*. Julius Klinkhardt. <https://doi.org/10.35468/5943>
- Segmüller-Schwaiger, Silvia (2022): *Energie und Strom in der Grundschule: Vielfältige Arbeitsmaterialien und Experimente für den Sachunterricht in den Klassen 3 und 4*. 1. Auflage, Augsburg: Auer Verlag in der AAP Lehrerwelt GmbH.
- Steffensky, Mirjam (2022): Chemische Aspekte. In: J. Kahlert et al. (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*, 128–133.

- Tänzer, Sandra (2010): Unterrichtsthemen entwerfen. In: S. Tänzer & R. Lauterbach (Hrsg.) *Sachunterricht begründet planen: Bedingungen, Entscheidungen, Modelle*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 129–140.
- Thomas, Bernd (2022): Vielperspektivischer Sachunterricht. In: J. Kahlert et al. (Hrsg.) *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts.*, 269–276.
- Thomes, Paul; Kampker, Achim, Vallée, Dirk & Schnettler, Armin (2013): Grundlagen. In: A. Kampker, D. Vallée & A. Schnettler, hg. *Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie*. Berlin, Heidelberg: Springer, 5–58. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31986-0_2 [14.10.2023].
- Trevisan, Paolo (2019): Natur, Mensch, Gesellschaft – ein vielperspektivisches und integratives Fach. In: P. Trevisan & D. Helbling (Hrsg.): *Nachdenken und vernetzen in Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bern: hep, 20–42.
- Trevisan, Paolo & Helbling, Dominik (2019): *Nachdenken und vernetzen in Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bern: hep.

Forschendes Lernen im chemiebezogenen Sachunterricht

NINA DUNKER

1 Einleitung

Die aktuell dynamische und sich stetig wandelnde Welt erfordert eine Neubewertung einer grundlegenden Bildung, um Kinder nicht nur auf die Gegenwart, sondern insbesondere auf die Zukunft vorzubereiten. Diese Zukunft präsentiert sich als ein komplexes Geflecht von Unvorhersehbarkeiten und Ambivalenzen. Technologische Innovationen, gesellschaftliche Veränderungen und ökologische Herausforderungen stellen Kinder vor dynamische und oft unvorhersehbare Szenarien. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass Kinder lernen, mit Unsicherheit umzugehen (Ambiguitätskompetenzen¹) und flexibel auf sich ändernde Bedingungen zu reagieren (Adaptivitätskompetenzen²) (Council of Europe 2018; Hoffjann 2022). Hierzu bedarf es in Bildungsprozessen einer vermehrten Orientierung auf grundlegende Kompetenzfacetten, die wirksames Lernen, kollaborative Lösungs- und Innovationsfindung und kritisches Denken ermöglichen. Die OECD (2019) fasst diese überfachlichen Kompetenzen in dem 4K-Modell zusammen. Dies beruht auf den Kompetenzfacetten Kollaboration, Kreativität, kritisches Denken und Kommunikation.

Der Fokus im Sachunterricht liegt unter Zuhilfenahme einer fachlichen Grundbildung auf der Entwicklung von Kompetenzen, die es Kindern ermöglichen, sich selbst in einer unvorhersehbaren Zukunft Orientierung zu verschaffen, Zusammenhänge selbstständig zu erschließen und zu verstehen sowie daraus abgeleitet erfolgreich zu agieren. Dazu gehören kritisches Denken, kreative Problemlösungsfähigkeiten, Teamarbeit, interkulturelle Kompetenzen und die Fähigkeit, komplexe Informationen vielperspektivisch zu analysieren. Diese Fähigkeiten sind nicht nur in der Wissensvermittlung, sondern auch in der Anwendung von Wissen von zentraler Bedeutung.

Der Bildungsauftrag besteht nicht nur darin, Wissen zu vermitteln, sondern auch darin, die Entwicklung von individuellen Fähigkeiten und die Förderung eines umfassenden Verständnisses der Welt zu ermöglichen.

Der Sachunterricht, als Fach in der Grundschule, in dem Welterschließungsprozesse einhergehen mit grundlegenden Erkenntnissen über die Welt und die Sachen in ihr, fungiert dabei als wichtiger grundständiger Erfahrungsraum für Schülerinnen

1 Ambiguitätskompetenz, auch als Ungewissheitstoleranz bezeichnet, umfasst die Fähigkeit, Vieldeutigkeiten, Heterogenität und Unsicherheiten zu identifizieren, zu verstehen, deren Widersprüchlichkeiten auszuhalten, konstruktiv zu gestalten und effektiv damit umzugehen.

2 Adaptivitätskompetenz beschreibt die Fähigkeit eines Individuums, sich an seine Umwelt anzupassen und seine Fähigkeiten in einer Weise zu entwickeln, die ein erfolgreiches Leben und positive zwischenmenschliche Interaktionen ermöglicht.

und Schüler auf ihrem Lernweg (Klafki 1992; Kahlert 1998; Köhnlein 2015; Gervé 2022). Es wird daher für eine verstärkte Frage- und Forschungsorientierung im Sachunterricht im Gegensatz zu einem antwortorientierten Ansatz plädiert, um die Entwicklung von kritischem Denken, Kreativität, Kollaboration und Kommunikation als Grundlage für Problemlösungsfähigkeiten sowie Ambiguitäts- und adaptive Kompetenzen zu fördern (Kaiser 2016; Miller et al. 2013; Peschel 2014; OECD 2019).

2 Frage- und Forschungsorientierung im Sachunterricht

Ein frageorientierter Sachunterricht stellt ein zentrales Merkmal sachunterrichtlicher Interaktionsprozesse dar (Becher et al. 2013; Hartinger et al. 2014). Fragen stärken nicht nur die intellektuellen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler, sondern fördern auch ihre Neugier, ihr Interesse an der Welt und ihre Fähigkeit, komplexe Fragen zu formulieren und ihnen forschend zu begegnen (Brinkmann 2019; Kihm et al. 2019).

Damit die formulierten Fragestellungen auch von den Schülerinnen und Schülern untersucht und beantwortet werden können, legt die Sachunterrichtsdidaktik ihren Fokus auf die Förderung von Frage- und Forschungskompetenzen (Köhnlein 1998; Michalik 2015; Miller et al. 2011). Dabei schaffen Lehrkräfte Lernumgebungen, die Raum für Exploration, Experimentation und das Stellen von Fragen bieten. Durch die methodische Integration von Projekten, Fallstudien und realen Anwendungen können die Schülerinnen und Schüler dazu ermutigt werden, aktiv nach Antworten zu suchen und ihre eigenen Erkenntnisse zu gewinnen.

Die Förderung einer «echten» Frage- und Forschungsorientierung ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, nicht nur Antworten zu erhalten, sondern auch kritisch zu denken, innovative Lösungen zu finden und sich so auf die Herausforderungen einer sich ständig wandelnden Welt vorzubereiten (Neber 2006). Beispiele für scheinbare Fragenorientierung konnte Seifert (2021) im Rahmen eines Praxisforschungsprojektes aufzeigen, sodass hier der Verweis auf «echte» Fragenorientierung aufgegriffen wird, ohne ihn im Rahmen dieses Beitrags ausführlich zu thematisieren.

3 Forschungsorientierung und Forschendes Lernen im Sachunterricht

Um die Bildung dieser zukünftig notwendigen Kompetenzfacetten zu unterstützen, benötigt ein frage- und forschungsorientierter Sachunterricht ein didaktisches Setting, das die Entwicklung von Fragen und eine forschungsbasierte Annäherung an verschiedene Antworten ermöglicht. Hier wird das Forschende Lernen als adäquat gesehen, da es eine explorative Herangehensweise, bei der Schülerinnen und Schüler aktiv ihre Umgebung erkunden und Phänomene selbstständig entdecken, fördert. Diese hands-on-Erfahrungen, wie sie hier in den Beiträgen auf vielfache Art dargestellt werden, ermöglichen nicht nur die Anwendung von wissenschaftlichen Konzepten in realen Kon-

texten, sondern fördern auch ein tieferes Verständnis für naturwissenschaftliche Prinzipien, beispielsweise im Hinblick auf die verschiedenen Versuche zu Feuer und Verbrennung und deren zugrunde liegenden Eigenschaften. Partizipationsorientierte und innovative Lehr- und Lernkonzepte, die auf Forschendem Lernen basieren, können als motivierende Lerngelegenheiten betrachtet werden. Diese zeichnen sich durch einen hohen Grad an Eigeninitiative, Aktivität, Selbstbestimmung und dem Erleben von Selbstwirksamkeit aus (Reitinger 2013).

So kann eine Forschungsorientierung im Sachunterricht zur Stärkung der Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler beitragen. Indem sie lernen, selbstständig Fragestellungen zu formulieren, Hypothesen aufzustellen und Methoden zur Datenerhebung anzuwenden, wird das selbstgesteuerte Lernen unterstützt sowie die Entwicklung von kritischem Denken und die Fähigkeit, eigenständig evidenzbasierte Schlussfolgerungen zu ziehen, gefördert.

Forschendes Lernen ist ein pädagogischer Ansatz, der die Schülerinnen und Schüler dazu ermutigt, aktiv in den Lernprozess einzutreten, indem sie eigene Fragen entwickeln, Hypothesen aufstellen, Experimente durchführen und Ergebnisse reflektieren. Dass es für sie möglich ist, in diesen Settings für sie «neue» und damit hoch relevante Erkenntnisse zu gewinnen, zeigt Messner (2009). Die Grundzüge dieses Ansatzes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. **Eigenständige Fragestellung:**
Schülerinnen und Schüler werden ermutigt, ihre eigenen Fragen und Interessen zu identifizieren, die als Ausgangspunkt für den Forschungsprozess dienen.
2. **Aktive Teilnahme:**
Die Lernenden sind aktive Akteure im Bildungsprozess. Sie gestalten ihre Lernumgebung, nehmen aktiv am Experimentieren teil und sind selbst für ihre Lernfortschritte verantwortlich.
3. **Forschungsorientierter Prozess:**
Der Lernprozess ist als Forschungsprozess konzipiert. Dies beinhaltet das Entwickeln von Hypothesen, das Planen und Durchführen von Experimenten sowie die systematische Auswertung von Ergebnissen.
4. **Reflexion:**
Eine kontinuierliche Reflexion über den Forschungsprozess ist integraler Bestandteil des Lernens. Schülerinnen und Schüler reflektieren nicht nur über ihre Ergebnisse, sondern auch über ihre Annahmen, Strategien und Lernfortschritte.
5. **Interdisziplinarität:**
Forschendes Lernen fördert die Anwendung von Kenntnissen aus verschiedenen Disziplinen. Es ermutigt dazu, über fachspezifische Grenzen hinauszuschauen und eine interdisziplinäre Perspektive einzunehmen.
6. **Soziales Lernen:**
Die Zusammenarbeit und der Austausch von Ideen zwischen den Schülerinnen und Schülern werden betont. Das soziale Lernen spielt eine wichtige Rolle, um unterschiedliche Perspektiven zu integrieren und voneinander zu lernen.

7. Anwendungsbezug:

Der Fokus liegt auf der Anwendbarkeit des erworbenen Wissens. Die Schülerinnen und Schüler werden ermutigt, ihre Ergebnisse nicht nur theoretisch zu verstehen, sondern auch in realen Kontexten anzuwenden.

8. Lehrende als Begleiter:

Die Lehrerrolle verschiebt sich von der reinen Wissensvermittlung hin zur Rolle eines Begleiters und Facilitators. Lehrerinnen und Lehrer unterstützen die Schülerinnen und Schüler dabei, ihre Forschungsfragen zu entwickeln und den Forschungsprozess zu strukturieren. Vertiefter geht Bertsch (2016) auf die verschiedenartigen Definitionen zum Forschenden Lernen ein und präsentiert, in Anlehnung an die vom National Research Council im Jahr 2000 aufgestellte Perspektive, eine Tabelle inklusive möglicher Differenzierungen:

Zentrale Aspekte	Differenzierungsmöglichkeiten			
Lerner/in beschäftigt sich mit einer klaren Fragestellung	Lerner/in formuliert eine Frage	Lerner/in wählt eine Fragestellung und stellt neue Fragen	Lerner/in konkretisiert Fragestellungen, die von der Lehrperson vorgegeben werden	Lerner/in beschäftigt sich mit Fragen, die von der Lehrperson vorgegeben werden
Lerner/in sammelt passende Daten, um die Frage zu beantworten	Lerner/in legt Methoden zur Datenerhebung fest und sammelt Daten	Lerner/in wird bei der Datensammlung unterstützt	Daten werden zur Verfügung gestellt und Lerner/in analysiert die Daten	Daten werden zur Verfügung gestellt und Lehrperson erklärt, wie man die Daten analysiert
Lerner/in formuliert auf Basis der Daten eine Schlussfolgerung	Lerner/in formuliert Schlussfolgerungen auf Basis der Daten	Lerner/in wird beim Schlussfolgern unterstützt	Lehrperson zeigt verschiedene Wege, wie die Daten interpretiert werden können	Lehrperson zeigt, wie auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten eine Schlussfolgerung gezogen wird
Lerner/in verknüpft die Schlussfolgerung mit wissenschaftlich gesichertem Wissen	Lerner/in recherchiert selbständig und vergleicht Schlussfolgerungen mit anderen Ergebnissen	Lerner/in wird bei Vergleich mit anderen Quellen unterstützt	Lehrer/in zeigt mögliche Querbezüge auf	
Lerner/in kommuniziert und begründet die Schlussfolgerung	Lerner/in formuliert logische Begründungen für die eigene Schlussfolgerung	Lerner/in wird bei der Kommunikation und Argumentation unterstützt	Lehrer/in gibt grobe Richtlinien für Kommunikation und Argumentation vor	Lehrer/in gibt Art und Weise der Kommunikation und Argumentation vor

Abbildung 1: Aspekte Forschenden Lernens inklusive Differenzierungsmöglichkeiten (NRC 2000, zit. nach Bertsch 2016)

Insgesamt steht das Forschende Lernen für einen aktiven und eigenverantwortlichen Ansatz, der auf den Prinzipien des Konstruktivismus basiert. Dieser Ansatz ermöglicht nicht nur die Vertiefung des Wissens, sondern fördert auch die Entwicklung von kritischen Denkfähigkeiten und die Vorbereitung auf eine zunehmend komplexe und dynamische Welt.

Für die Erfüllung des Anspruchs des Forschenden Lernens bezogen auf den hochschulischen Kontext reicht dies nach Huber (2019) allerdings noch nicht aus: Er macht deutlich, dass sich Forschendes Lernen vor allem dadurch auszeichnet, dass sein Ziel in einer Gewinnung von Erkenntnissen, welche für Dritte interessant sind, liegt (Huber 2019: 20). Übertragen auf das Forschende Lernen im Sachunterricht stellt die Präsentation der Ergebnisse möglichst auch über die Klassengemeinschaft hinaus einen wichtigen Aspekt dar, der die Relevanz des Lernprozesses mit seinen Ergebnissen für die Kinder herausstellen kann.

Die Herausforderungen der Zukunft, sei es im Bereich der Umwelt, Technologie oder Gesellschaft, sind oft von großer Komplexität geprägt, welche in ihren Einzelheiten durchdrungen und auf Evidenz geprüft werden sollte. Evidenzbasiertes Lernen kann als grundlegender Baustein einer *Scientific Literacy*³ betrachtet werden und befähigt Kinder dazu, komplexe Probleme zu verstehen und diese aufgrund fundierter Informationen einzuordnen. Forschendes Lernen im Sachunterricht legt somit den Grundstein für eine evidenzbasierte Herangehensweise an komplexe Fragestellungen, welche im Fachunterricht fortgeführt werden.

In einer zunehmend technologisierten Welt werden Kenntnisse in Naturwissenschaften und Technik immer wichtiger. Das Forschende Lernen im Sachunterricht ermöglicht den Schülerinnen und Schülern nicht nur die Aneignung von Faktenwissen, sondern auch die Anwendung von naturwissenschaftlichen Prinzipien in praxisnahen Kontexten, wie z. B. das Explorieren, das Reflektieren und die Anbahnung von Urteilskompetenzen (Möller et al. 2024). Dies ist essenziell, um zunächst einen sinnvollen Lernprozess zu gestalten, im Laufe der individuellen Lernbiografie kann dies aber auch dazu führen, dass innovative Lösungen für die Herausforderungen der Zukunft entwickelt werden können.

Das Forschende Lernen im Sachunterricht ist somit nicht nur eine Bereicherung für die individuelle Bildung, sondern auch eine entscheidende Vorbereitung auf eine unsichere und ambivalente Zukunft. Indem es Schülerinnen und Schüler dazu befähigt, evidenzbasiert zu lernen und naturwissenschaftliche Prinzipien anzuwenden, legt es den Grundstein für eine Generation, die nicht nur Wissen besitzt, sondern dieses auch aktiv und verantwortungsbewusst in die Gestaltung ihrer Zukunft einbringen kann und in der Lage ist, selbstständige Urteile und Orientierungsrahmen für ihre Handlungen herzustellen.

Ausgehend von den hier dargestellten Möglichkeiten des Forschenden Lernens ist es von zentraler Bedeutung, dass Lehrpläne den Raum für Forschendes Lernen im

3 Scientific literacy bezieht sich auf die Fähigkeit einer Person, wissenschaftliche Konzepte zu verstehen, zu bewerten und anzuwenden, um informierte Entscheidungen in Bezug auf wissenschaftliche und technologische Fragen zu treffen. Es geht über das bloße Wissen von Fakten hinaus und beinhaltet das Verständnis der grundlegenden Prinzipien und Methoden, die in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen angewendet werden.

Sachunterricht vorsehen und explizit adressieren und nicht, wie Bertsch für den österreichischen Lehrplan herausarbeitet, dies zwar implizit unterstützt, aber «...zentrale Eigenschaften des Forschenden Lernens nicht erwähnt [werden]» (Bertsch 2016: 8).

Die erfolgreiche Umsetzung des Forschenden Lernens erfordert außerdem eine kontinuierliche Fortbildung der Lehrkräfte. Auch Lehrkräfte müssen in den verschiedenen Phasen der Lehrkräftebildung mit den notwendigen Kompetenzen (fachlich, fachdidaktisch und pädagogisch) ausgestattet werden, um forschungsbasiertes Lernen effektiv zu fördern und zu begleiten (u. a. Bertsch 2016; Huber 2019; Messner 2009; Reitinger 2013).

Die bisherigen Argumentationsstränge haben die Notwendigkeit des Forschenden Lernens im Sachunterricht und dessen Bedeutung für die Vorbereitung auf eine unvorhersehbare Zukunft herausgestellt. Der folgende Abschnitt vertieft die Verbindung zwischen dem Forschenden Lernen und den naturwissenschaftlichen Kompetenzen, darunter Motivation, Interesse, Selbstwirksamkeit im Umgang mit Naturphänomenen, wissenschaftliches Denken sowie naturwissenschaftliches Wissen.

4 Die Interdependenz von Forschendem Lernen, naturwissenschaftlichen Kompetenzen und zukunftsorientierter Bildung

Das Forschende Lernen im Sachunterricht entspricht den für das Lernen allgemein formulierten Prozessmerkmalen (u. a. beschrieben bei Reinmann-Rothmaier et al. 2006) und ist somit intrinsisch motivierend, da es die Neugier der Schülerinnen und Schüler weckt. Die Möglichkeit, eigene Fragestellungen zu entwickeln und selbstständig, zunehmend systematisch nach Antworten zu suchen, fördert eine tiefe, nachhaltige Motivation, die über bloße Wissensaneignung hinausgeht.

Die Verbindung von Lehrinhalten mit realen Anwendungen durch Forschendes Lernen schafft eine kontextualisierte Relevanz, die die *Motivation* der Lernenden steigert. Die Erkenntnis, dass das erworbene Wissen direkt auf die Welt um sie herum anwendbar ist, verstärkt das Interesse und die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Themen.

Forschendes Lernen ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, (naturwissenschaftliche) Phänomene eigenständig zu entdecken. Durch die persönliche Beteiligung am Prozess steigt das *Interesse*, da die Lernenden aktiv am Entstehungsprozess von Wissen teilhaben und dieses nicht passiv konsumieren.

Die Vielfalt der im Forschenden Lernen genutzten Methoden – von Experimenten bis zu Feldstudien – bietet zahlreiche Wege, Interessen zu wecken und individuelle Lernpräferenzen zu berücksichtigen. Diese Vielfalt fördert ein breites Interesse.

Forschendes Lernen stärkt die *Selbstwirksamkeit*, da die Schülerinnen und Schüler eigenverantwortlich handeln und Lösungen für selbst gestellte Herausforderungen finden. Dies fördert das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und die Überzeugung, dass man Einfluss auf naturwissenschaftliche Fragestellungen nehmen kann. Durch

die aktive Teilnahme an Forschungsprozessen entwickeln die Lernenden ein tieferes Verständnis für die Naturwissenschaften und erleben unmittelbar den Einfluss ihrer Handlungen auf den Erkenntnisgewinn. Dies trägt zur Entwicklung einer selbstwirksamen Haltung gegenüber naturwissenschaftlichen Fragestellungen bei.

Forschendes Lernen fördert *wissenschaftliches Denken*, indem es die Bildung von Hypothesen und die Experimentation als grundlegende Forschungsprinzipien betont. Die Fähigkeit, systematisch Fragen zu formulieren, Hypothesen aufzustellen und experimentelle Methoden anzuwenden, sind Schlüsselkompetenzen für wissenschaftliches Denken. Der Forschungsprozess beinhaltet auch die kontinuierliche Reflexion und Iteration. Schülerinnen und Schüler lernen, ihre Annahmen zu überprüfen, Ergebnisse zu interpretieren und ihre Vorgehensweise bei Bedarf anzupassen – essentielle Elemente des wissenschaftlichen Denkens.

Forschendes Lernen ermöglicht ein tieferes Verständnis für *naturwissenschaftliches Wissen*. Die direkte Anwendung von theoretischen Konzepten in realen Kontexten fördert ein ganzheitliches Begreifen von naturwissenschaftlichen Prinzipien. Die mit Forschendem Lernen erworbenen Kenntnisse werden oft langfristig gespeichert, da sie mit persönlichen Erfahrungen und Entdeckungen verbunden sind. Dies unterstützt eine nachhaltige Verankerung von naturwissenschaftlichem Wissen.

Die Wechselwirkung zwischen Forschendem Lernen und (natur-)wissenschaftlichen Kompetenzen ist unbestreitbar. Motivation, Interesse, Selbstwirksamkeit, wissenschaftliches Denken und Wissen über wissenschaftliche Erkenntnismethoden, Denkweisen und Herangehensweisen sind untrennbar mit der aktiven Auseinandersetzung und dem Forschungsprozess verbunden. In der Vorbereitung auf eine unsichere Zukunft fungiert diese Verbindung als Schlüssel, um Schülerinnen und Schüler zu kompetenten, motivierten und kritisch denkenden Akteuren in einer sich ständig wandelnden Welt zu befähigen.

4.1 Ein chemiebezogener Sachunterricht

Peschel (2013) macht schon früh darauf aufmerksam, dass Forschendes Lernen im Sachunterricht hauptsächlich mit naturwissenschaftlichem Lernen assoziiert wird, und dabei *«die (genaue bzw. zunehmend genaue) Beobachtung, der Austausch der Beobachtungen sowie die Fassung der Ergebnisse prüfbar Ergebnisse, die nachvollziehbar sind, [...] dabei zentrale Aspekte der Erkenntnisgewinnung in einem forschend orientierten Sachunterricht»* (Peschel 2013: 129) darstellen.

Die Frage, wie ein chemiebezogener Sachunterricht aussehen kann, wird im Folgenden durch ein Praxisbeispiel erläutert, welches die zuvor diskutierten Aspekte zum Teil aufnimmt – weitere interessante Praxisbeispiele zum Forschenden Lernen in der Grundschule, auch aus dem Bereich Kunst, zeigt die Publikationsreihe der Deutschen Kinder- und Jugendhilfe *«Kinder Forschen»* (2024).

4.2 Praxisbeispiel

Phase 1: Alltagsnahe Fragestellung und Hypothesenbildung

Bei diesem Praxisbeispiel gehen wir davon aus, dass eine Klasse einen außerschulischen Lernort besucht, in diesem Fall einen Bauernhof, bei dem Nutztiere gehalten werden. Wer schon einmal mit Kindern in der Grundschule einen landwirtschaftlichen Betrieb besucht hat, der wird sicherlich festgestellt haben, dass den meisten Kindern der Geruch auffällt, insbesondere, wenn man in einem Stall mit Nutztieren ist und die Kinder aus urbanen Lebenswelten kommen. Auch wenn Exkremente in einem Kuhstall beispielsweise regelmäßig durch einen Kotschieber in dafür vorgesehene Spalten gezogen werden, ist der Geruch deutlich wahrnehmbar. Die meisten Kinder im Grundschulalter hegen eine Faszination für körperliche Ausscheidungen und finden diese Themen faszinierend. Neben den Exkrementen finden sich in einem landwirtschaftlichen Betrieb aber noch viele andere Möglichkeiten, auf olfaktorische Entdeckungsreise zu gehen: In vielen Betrieben, in denen Rinder gehalten werden, werden diese mit Maissilage gefüttert. Diese Silage hat einen sehr charakteristischen säuerlichen Geruch, den viele Kinder aus ihrem Alltag nicht kennen, der sich aber sehr leicht diesem Futtermittel zuordnen lässt. Sollte es sich um einen Milchviehbetrieb handeln, können die Kinder auch den charakteristischen Geruch von Milch wahrnehmen. Fragestellungen, die sich aus diesen sensuell-phänomenologischen Zugängen am außerschulischen Lernort «Landwirtschaftlicher Betrieb/Bauernhof» ergeben könnten:

- Wie entsteht der charakteristische Geruch von Exkrementen?
- Wie entsteht der charakteristische Geruch von Silage?
- Wie entsteht der charakteristische Geruch von Milch?

Hierzu können gemeinsam verschiedene Hypothesen aufgestellt werden. Die Schülerinnen und Schüler können ermutigt werden, die olfaktorische Entdeckungsreise im Hinblick auf Exkrementen und Milch im Alltag weiter zu vertiefen und zu prüfen – silageähnliche Produkte finden sich wahrscheinlich nicht in Haushalten. Dabei könnten sie feststellen, dass Milch, welche nicht gegoren ist, in der Regel neutral riecht, während Exkrementen (auch menschliche) geruchlich wahrnehmbar sind. Im gemeinsamen Gespräch kann herausgearbeitet werden, dass der Geruch sich in der Luft «verteilt» und so erst durch unser Riechorgan wahrnehmbar ist. Um den Geruch zu untersuchen, müssen wir also die Luft untersuchen.

Zunächst sollten allerdings die fachlichen Grundlagen zu diesen beiden komplexen Themenbereichen der Landwirtschaft adäquat beleuchtet werden; dazu erfolgen zwei fachliche Exkurse mit den entsprechenden Informationen.

Fachlicher Exkurs zu Rinderexkrementen und den damit verbundenen Ursachen des Geruchs:

Im Hinblick auf die Vermeidung von Emissionen, welche durch Exkrementen in der konventionellen Landwirtschaft entstehen, werden vielfältige Forschungen durchgeführt. So untersuchten Woodbury et al. (2022) die Emission flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) aus landwirtschaftlich genutztem Rinderdung und deren Auswir-

kungen auf die Umwelt. Dabei wurden verschiedene Faktoren wie die Fütterung der Rinder, die Art der Düngung, der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und die Zeit seit der Düngung berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigten, dass die größten Beiträge zu den Geruchswerten Heptansäure (23,5 %), Hexansäure (17,6 %), Indol (14,7 %) und Dimethyldisulfid (DMDS) (9,50 %) waren. Die VOC-Messungen waren höher, wenn der Dung oberflächlich ausgebracht wurde, und die Emission von DMDS und Dimethyltrisulfid (DMTS) war größer, wenn die Rinder mit einer Diät gefüttert wurden, die 30 % feuchte Destillerrückstände mit Lösungsmitteln (WDGS) enthielt. Regen unmittelbar nach der Düngung hatte Einfluss auf die Arten und Mengen der emittierten VOC. Die Studie schlägt vor, den Dung bald nach der Ausbringung zu inkorporieren und die Landanwendung bei hoher Regenwahrscheinlichkeit zu verzögern, um die VOC-Emissionen zu reduzieren. Heptansäure und Hexansäure sind flüchtige Fettsäuren, die in landwirtschaftlich genutztem Rinderdung emittiert werden. Diese Verbindungen können einen starken Geruch verursachen und sind für die Geruchsbelästigung in landwirtschaftlichen Gemeinden verantwortlich. Indol ist eine aromatische Verbindung, die ebenfalls in Rinderdung emittiert wird und zu unangenehmen Gerüchen beiträgt. Dimethyldisulfid (DMDS) ist eine weitere flüchtige organische Schwefelverbindung, die in Rinderdung vorkommt und ebenfalls zu Geruchsbelästigungen beiträgt.

In Bezug auf die Auswirkungen auf den menschlichen Körper können diese Verbindungen bei hohen Konzentrationen zu Atemwegsreizungen, Kopfschmerzen und Übelkeit führen. Darüber hinaus können sie auch die Luftqualität beeinträchtigen und zu Umweltbelastungen führen.

Die Studie weist darauf hin, dass luftgetragene Schadstoffe aus Tierfütterungsbetrieben eine potenzielle Belastung für Anwohner darstellen können. Insbesondere die Verfütterung von feuchten Destillerrückständen kann die VOC-Emissionen aus Rindermist erhöhen, was zu Geruchsbelästigungen führen kann. Die Ergebnisse betonen die Bedeutung von Best Practices wie der sofortigen Inkorporation des Dungs und der Verzögerung der Landanwendung bei Regen, um die Umweltauswirkungen zu minimieren und die Luftqualität zu verbessern.

Insgesamt verdeutlicht die Studie, wie verschiedene Faktoren die VOC-Emissionen aus landwirtschaftlich genutztem Rindermist beeinflussen und betont die Bedeutung von Managementpraktiken, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.

Hales et al. (2015) konnten zeigen, dass die VOC- und geruchsbildenden Verbindungen aus dem Urin von Rindern eine größere Rolle für die Emissionen spielen als die aus dem Kot.

Fachlicher Exkurs zu Silage und Silierungsprozessen:

Litjens (2020) gibt im Rahmen ihrer Dissertation einen detaillierten Einblick in den Prozess der Silagebereitung und in die verschiedenen Phasen, die bei der Konservierung von Futtermitteln mittels Silierung auftreten. Es wird auf die Bedeutung der Konservierung durch Silierung, die verschiedenen Phasen des Prozesses (aerobe Phase, anaerobe Phase, Lagerphase, Entnahmephase), die Bedeutung der aeroben Stabilität sowie unerwünschte Prozesse bei der Silagebereitung eingegangen. Darüber hinaus werden

Silierzusatzstoffe und ihre Wirkungsmechanismen diskutiert, um eine erfolgreiche Silierung zu gewährleisten.

Der Silierprozess beginnt mit einem schnellen pH-Wertabfall durch die Bildung von Milchsäure und die Aufrechterhaltung eines anaeroben Milieus. Die aerobe Phase, die kurz nach dem Befüllen des Silos beginnt, und die anaerobe Phase, in der sich Milchsäurebakterien vermehren und Milchsäure gebildet wird, sind entscheidend für die Konservierung. Nach der Lagerphase folgt die Entnahmephase, die den Wiedereintritt von Luft in den Silo ermöglicht und eine aerobe Instabilität verhindern soll. Die aerobe Stabilität ist ein wichtiger Aspekt, der die Dauer beschreibt, in der sich die Silage nach dem Lufteintritt nicht nacherwärmt und schimmelt. Unerwünschte Prozesse wie Fehlgärungen, Fäulnis und Nacherwärmung können auftreten und die Qualität der Silage beeinträchtigen.

Die Verwendung von Silierzusatzstoffen, die nach verschiedenen Wirkungsmechanismen eingeteilt werden, ist ein wichtiger Aspekt für eine erfolgreiche Silierung. Dazu gehören zusätzliche Kohlenhydratquellen, Milchsäurebakterien, chemische Zusatzstoffe, Säuren, Enzyme, Trockeneis und Futterharnstoff. Jede dieser Komponenten spielt eine spezifische Rolle bei der Förderung der Milchsäurebildung, der Hemmung schädlicher Mikroorganismen und der Verbesserung der aeroben Stabilität.

Insgesamt bietet das Dokument einen detaillierten Einblick in die Silagebereitung, einschließlich der Prozessphasen, unerwünschter Ereignisse und der Bedeutung von Silierzusatzstoffen für eine erfolgreiche Konservierung dieses Futtermittels.

Auswertung der fachlichen Informationen vor dem Hintergrund des avisierten Unterrichts:

Während Kinder sich gefahrlos mit dem Thema Gärprozesse und Silage auseinandersetzen können, so scheint eine Beschäftigung mit Tierexkrementen aus hygienischen und gesundheitlichen Gründen (die oben beschriebenen Atemwegsreizungen) nicht angebracht. Um sich forschend-entdeckend mit den Gerüchen zu beschäftigen, muss gewährleistet sein, dass diese gefahrlos eingeatmet werden können und keinerlei gesundheitliche Risiken bestehen.

Die Frage, die sich vor dem Hintergrund des forschenden Lernens hier stellt, ist, wie gehen wir damit um, wenn einer Frage, wie in diesem Fall aus gesundheitlichen Gründen oder Gefahren, nicht nachgegangen werden kann. Ich plädiere dafür, dass im Hinblick auf die Wertschätzung der Frage trotzdem daran gearbeitet wird und die Gerüche beispielsweise beschrieben werden und auch verglichen werden mit anderen Gerüchen von Exkrementen, hier aber unbedingt darauf zu achten ist, dass keine gesundheitlichen Risiken in Kauf genommen werden. So kann beispielsweise überlegt werden, einen Experten zu Rate zu ziehen, dies kann beispielsweise der Landwirt sein oder ein anderer Experte (beispielsweise Forschende im Bereich der Tierernährung), der Auskunft über die Prozesse, welche für die Kinder interessant und relevant sind, geben kann. Ebenso kann im Kontext von sachunterrichtlichen Lernprozessen darüber nachgedacht werden, ob und inwieweit ein ästhetischer Zugang mögliche Erkenntnisse von Kindern erweitern kann.

Abschließend lässt sich sagen, dass für das forschende Lernen die Beschäftigung mit Gärungsprozessen durch Milchsäure gehaltvoll, gefahrenlos und für Kinder im Grundschulalter vor dem Hintergrund erster chemischer (phänomenologischer) Erkenntnisse sinnvoll sein kann. Darum soll im Folgenden dieser Aspekt weiter thematisiert werden.

Phase 2: Materialerkundung im Klassenzimmer

Um die Materialerkundung im Klassenzimmer fortzusetzen, können Proben aus dem landwirtschaftlichen Betrieb genommen werden und diese weiter im Klassenraum untersucht werden. Dazu ist denkbar, dass eine Probe von Silage genommen wird. Ebenfalls können Proben der Rohmilch in den Klassenraum mitgenommen werden. Die Proben können weiter olfaktorisch untersucht werden und die Wahrnehmungen sollten dokumentiert und diskutiert werden, denn die Wahrnehmung kann sehr individuell ausfallen: Während für einige Kinder die Silage einen unangenehmen Geruch verströmt, kann diese wiederum für andere Kinder angenehm riechen. Gleiches kann für Rohmilch gelten, wobei darauf zu achten ist, dass es auch Menschen gibt, die den Geruch von Milch überhaupt nicht wahrnehmen können.

Da der charakteristische Geruch von Silage während des Prozesses der Milchsäuregärung entsteht (Sieker et al. 2010), bietet es sich an, andere Produkte, welche durch Milchsäuregärung veredelt wurden, zum Vergleich zu untersuchen. Hier bietet sich die Anknüpfung an die Lebenswelt der Kinder an, indem Lebensmittel ausgesucht werden, wie zum Beispiel Sauerkraut, Kimchi, Kefir, Miso oder alkoholfreies Bier und Kombucha. Diese Lebensmittel können gefahrlos von den Kindern auch probiert werden und weisen alle den charakteristischen säuerlichen Geruch und Geschmack auf. Es kann darüber diskutiert werden, ob und inwieweit die Milchsäuregärung nur für den Geschmack zuständig ist oder auch eine andere Funktion hat. Es sei erwähnt, dass die eigentliche Frage, wie der Geruch genau entsteht, nicht experimentell im Rahmen des Unterrichts erarbeitet werden kann, da die komplexen Mechanismen der Silierung auf chemische Prozesse zurückzuführen sind, die so komplex sind, dass sie für Grundschüler und Grundschülerinnen kaum zugänglich sind (Sieker et al. 2010).

Dennoch kann das Thema «Haltbarmachung» ins Zentrum des Interesses eines forschenden Lernprozesses gerückt werden, um sich der ursprünglichen Frage anzunähern und diese auf phänomenologischer Ebene zu betrachten. Ein Bezug zum historischen Lernen kann ebenfalls aufgebaut werden, indem Konservierungsprozesse in früheren Zeiten thematisiert werden. Vorstellbar sind hier auch Interviews mit Familienangehörigen der älteren Generation, die vielleicht noch Erfahrungen damit haben, wie zu früheren Zeiten Lebensmittel aus dem Garten fermentiert und haltbar gemacht wurden.

In einem weiteren Schritt kann darüber nachgedacht werden, selber mit den Kindern zu fermentieren, Lebensmittel damit zu konservieren und dabei Geruch und Geschmack zu prüfen.

Dazu kann verschiedenes Gemüse und Obst (z. B. auch aus dem eigenen Schulgarten) mit Salzwasserlake bedeckt und somit luftdicht abgeschlossen und ggf. mit

einem Glasdeckel beschwert werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass entstehende Gase aus dem Gefäß entweichen können.

In früheren Zeiten wurden so Salzbohnen sowie Sauerkraut konserviert. Eine gute Übersicht über mögliche zu fermentierende Gemüse bietet neben vielen anderen eatbetter (2023) auf seiner Internetseite. Eine Idee davon, wie Fermentation «zu Omas Zeiten» stattgefunden hat, bieten zum einen Wilde Fermente (2024) sowie Mikrobenzirkus (2024). Für das forschende Lernen im Sachunterricht können die Aspekte «Luftabschluss» sowie «entweichende Gase» experimentell untersucht werden, indem eine Reihe von Experimenten angelegt wird, die die verschiedenen Bedingungen variieren. Dazu kann auch noch einmal der Bezug zur Silage hergestellt werden, indem der Prozess der Silierung genauer beobachtet/betrachtet wird – auf die dazu angefertigte Dokumentation und die Bilder aus der Arbeit von Litjens, 2020, sollte unbedingt zurückgegriffen werden. So können Schülerinnen und Schüler erste Erkenntnisse mit den anaeroben Prozessen der Milchsäuregärung gewinnen.

Phase 3: Gemeinsame Auswertung mit Alltagsbezug

In einer anschließenden Gruppenbesprechung teilen die Schülerinnen und Schüler ihre Beobachtungen, erstellen vielleicht einen Geschmacks- und Geruchsparcours. Die Lehrkraft ermutigt die Schülerinnen und Schüler, ihre alltäglichen Erfahrungen einzubeziehen und zu überlegen, wie diese Eigenschaften Einfluss auf die Anwendung der Gärung im Alltag haben könnten. Um den Alltagsbezug noch größer zu machen, kann eine Kühlschrank-Safari organisiert werden, bei der die Kinder Lebensmittel im eigenen Kühlschrank untersuchen, um herauszufinden, ob es noch mehr Lebensmittel gibt, die sich das Prinzip der Milchsäuregärung zunutze machen.

In dieser Phase sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass der Bogen zum Tierfutter und der Silage an vielen Stellen eingebaut wird, damit die Schülerinnen und Schüler den Transfer von der Silage zu eigenen Lebensmitteln und der Fermentation mitgehen können.

Phase 4: Reflexion

Wie schon zuvor erwähnt, kann es im forschenden Lernprozess besonders gehaltvoll sein, wenn die Ergebnisse auch einem größeren Publikum präsentiert werden. Dazu können die hergestellten fermentierten Lebensmittel beispielsweise den Eltern vorgestellt werden und verbunden mit einem Referat oder einer Präsentation der Schülerinnen und Schüler auf die besonderen Eigenschaften beziehungsweise den Prozess der Haltbarmachung erläutert werden.

Dieses an den Alltag angelehnte Beispiel betont die Relevanz und Anwendbarkeit der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse im täglichen Leben der Schülerinnen und Schüler. Der konstruktivistische Ansatz ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, durch eigene Erfahrungen und Entdeckungen ein tieferes Verständnis für den Prozess zu entwickeln und gleichzeitig ihre Selbstwirksamkeit im Alltag zu stärken.

Auch wenn eigentlich im chemischen Sinne nicht erklärt wird, welche Stoffe bei der Gärung ausschlaggebend für die geruchliche Wahrnehmung sind, so stellt dieses Vor-

gehen dennoch einen Zugang über chemische Prozesse und deren Auswirkungen beziehungsweise Ergebnisse auf in diesem Fall Lebensmittel dar. Der Transfer vom außerschulischen Lernort landwirtschaftlicher Betrieb hin zum eigenen Kühlschrank und der Frage, wie Lebensmittel haltbar gemacht werden können, erfolgt über einen phänomenologischen Zugang zum Prozess der Gärung. Bei strenger Kritik des forschenden Lernprozesses ist anzumerken, dass damit die Ausgangsfrage der Schülerinnen und Schüler nicht komplett beantwortet werden kann, dennoch kann eine Möglichkeit geschaffen werden, den auf der sinnlichen Wahrnehmung basierenden Fragen zu begegnen und grundlegende Erfahrungen im Bereich chemischer Prozesse zu sammeln.

5 Integration von Konstruktivismus, Alltagsbezug und Forschendem Lernen im Sachunterricht

Die Integration von konstruktivistischen Lehransätzen, Alltagsbezug und Forschendem Lernen im Sachunterricht eröffnet einen reichhaltigen pädagogischen Raum, der nicht nur die Erforschung der Eigenschaften von Materialien und Prozessen durch Grundschülerinnen und Grundschüler ermöglicht, sondern auch entscheidende bildungswissenschaftliche Prinzipien stärkt.

Die Einbindung des Forschenden Lernens als zentrales Element betont die Rolle der Schülerinnen und Schüler als aktive Gestaltende im eigenen Lernprozess, indem den eigenen Fragen nachgegangen wird und diese damit auch wertgeschätzt werden. Die Schülerinnen und Schüler entwickeln nicht nur zunehmend eigenständig Hypothesen, sondern sie sind auch maßgeblich an der Gestaltung und Durchführung von Untersuchungen beteiligt. Dies entspricht dem forschungsbasierten Ansatz des Konstruktivismus, der darauf abzielt, dass Lernen durch aktive Exploration und Entdeckung stattfindet.

Das zunehmend selbstständige Entwickeln von Hypothesen im naturwissenschaftlichen Lernprozess trägt dazu bei, dass Schülerinnen und Schüler eine Vielzahl von zukunftsrelevanten Kompetenzen entwickeln. Das Formulieren von Hypothesen erfordert kritisches Denken, bei dem Schülerinnen und Schüler vorhandene Informationen analysieren, Lücken identifizieren und rationale Annahmen erstellen müssen. Diese Fähigkeit ist entscheidend für die Bewertung von Informationen in einer zunehmend komplexen Welt. Hypothesenentwicklung ermutigt dazu, Probleme zu identifizieren und innovative Lösungen zu suchen. Schülerinnen und Schüler lernen, systematisch an die Lösung von Herausforderungen heranzugehen und verschiedene Möglichkeiten zu berücksichtigen. Dadurch können sie divergente Lösungswege finden und gehen und so Innovationen möglich machen.

Durch das Formulieren von Hypothesen entwickeln die Schülerinnen und Schüler *Scientific Literacy*, das Verständnis von wissenschaftlichen Konzepten und Methoden. Darüber hinaus erfordert die Hypothesenentwicklung oft kreatives Denken, da Schülerinnen und Schüler innovative Ideen generieren müssen, um Fragen zu beantworten oder Probleme zu lösen. Sowohl das Verständnis von wissenschaftlichen Konzepten als

auch Kreativität werden als Schlüsselkompetenzen für die Bewältigung zukünftiger Herausforderungen angesehen. Das Teilen und Diskutieren von Hypothesen erfordert darüber hinaus Kommunikationsfähigkeiten. Schülerinnen und Schüler lernen, ihre Ideen verständlich zu formulieren und mit anderen effektiv zu kommunizieren, was in einer globalisierten Welt von großer Bedeutung ist.

Das eigenständige Formulieren von Hypothesen fördert vor allem die Eigenmotivation, da Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Interessen und Fragen verfolgen können. Gleichzeitig stärkt es die Selbstwirksamkeit, da die Lernenden erleben, dass ihre Ideen und Bemühungen einen Einfluss auf den Lern- und Forschungsprozess haben.

Bildungswissenschaftlich betrachtet fördert dieses Beispiel die Idee, dass Lernprozesse am effektivsten sind, wenn sie die natürliche Neugier der Schülerinnen und Schüler ansprechen. Das Forschende Lernen ermutigt die Schülerinnen und Schüler, ihre eigenen Fragen zu formulieren und diesen nachzugehen, was wiederum ihre intrinsische Motivation stärkt. Dieser Aspekt ist von grundlegender Bedeutung im Hinblick auf die Selbstbestimmungstheorie, die betont, dass das Streben nach Autonomie und eigenen Entscheidungen ein wesentlicher Treiber für effektives Lernen ist.

Die Verknüpfung von Alltagsbezügen und Forschendem Lernen betont die unmittelbare Anwendbarkeit des erworbenen Wissens. Die Schülerinnen und Schüler lernen nicht nur über abstrakte Konzepte, sondern erleben deren Relevanz in ihrem täglichen Leben. Dies entspricht dem Ansatz des Situierten Lernens, der betont, dass Wissen am besten in authentischen Kontexten erworben wird.

Insgesamt fördert die Synergie von Konstruktivismus, Alltagsbezug und Forschendem Lernen im Sachunterricht nicht nur ein tiefes Verständnis für naturwissenschaftliche Konzepte, sondern auch die Entwicklung von übertragbaren Fähigkeiten wie kritischem Denken, Problemlösungsfähigkeiten und Selbstwirksamkeit. Dieser ganzheitliche Ansatz für und im (chemiebezogenen) Sachunterricht bereitet die Schülerinnen und Schüler nicht nur auf die aktuellen schulischen Anforderungen vor, sondern auch auf die Herausforderungen einer sich ständig verändernden Welt. Das pädagogische Prinzip des Forschenden Lernens stellt somit die Verbindung zwischen dem Ziel der *Scientific Literacy* in einem wissenschaftsorientierten Sachunterricht mit naturwissenschaftlichen Inhalten und einer bildungstheoretisch begründeten Kindorientierung im Sachunterricht dar.

Literatur

- Becher, Andrea; Miller, Susanne; Oldenburg, Ines; Pech, Detlef; Schomaker, Claudia (2013) (Hrsg.). *Kommunikativer Sachunterricht – Facetten der Entwicklung*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Bertsch, Christian (2016): *Forschung des Lernens im naturwissenschaftlichen Sachunterricht – theoretische Grundlagen und Rahmenbedingungen in Österreich*. GDSU-Journal (5) 2016, 9–28.
- Brinkmann, Vera (2019): *Fragen stellen an die Welt. Eine Untersuchung zur Kompetenzentwicklung in einem an Schülerfragen orientierten Sachunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Council of Europe (2018): *Reference Framework of Competences for Democratic Culture*, Vol. 1, unter: <http://rm.coe.int/prems-008318-gbr-2508-reference-framework-of-competences-vol-1-8573-co/16807bc66c>. [Zugriff: 4.10.23]
- Deutsche Kinder- und Jugendhilfe (2024): *Kinder forschen*. Unter: https://forschendes-lernen.net/files/forschen_theme/materialien/Kinder-forschen_Arbeitshilfe-06.pdf [Stand: 2.2.24]
- Eatbetter (2024): *Fermentierte Lebensmittel*. Unter: <https://www.eatbetter.de/fermentierte-lebensmittel-die-10-gesuestesten-fuer-den-darm> [Stand: 1.2.2024]
- Gervè, Friedrich (2022): *Sachunterricht in der Informationsgesellschaft*. In: A. Becher, E. Blumberg, T. Goll, K. Michalik, C. Tenberge (Hrsg.). *Sachunterricht in der Informationsgesellschaft. Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts*. Bd. 32. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 17–30. <https://doi.org/10.35468/5935-02>
- Hales, Kristin; Parker, David & Cole, Andy (2015): *Volatile organic compound flux from manure of cattle fed diets differing in grain processing method and co-product inclusion*. In: *Atmospheric Environment* 100, 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.037>
- Harteringer, Andreas & Lange, Kim (2014): *Fachdidaktik für die Grundschule: Sachunterricht*. Berlin.
- Hoffjann, Olaf (2022): *Die Flucht in die Ambiguität. Strategische Kommunikation zwischen Ein- und Mehrdeutigkeiten*. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37677-2>
- Huber, Ludwig (2019): *«Forschende Haltung» und Reflexion: Forschendes Lernen als Thema, Ziel und Praxis der Lehrerinnen- und Lehrerbildung*. In: M. Knörzer, L. Förster, U. Franz & A. Harteringer (Hrsg.). *Forschendes Lernen und Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 19–39.
- Kahlert, Joachim (1998): *Grundlegende Bildung im Spannungsverhältnis zwischen Lebensweltbezug und Sachanforderungen*. In: B. Marquardt, B. Mau & H. Schreier (Hrsg.). *Grundlegende Bildung im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 67–81.

- Kaiser, Astrid (2016): Neue Einführung in die Didaktik des Sachunterrichts. In: C. Kiehl & B. Schnersch (2018) *Demokratiekompetenzen auf dem Prüfstand – Schule als Erfahrungsraum für Mündigkeit und Ambiguitätstoleranz?* Unter: <https://www.idz-jena.de/pubdet/wsd3-11> [Zugriff: 4.10.23]
- Kihm, Pascal; Peschel, Markus; Diner, Jenny (2019): Kinderfragen in der Lernwerkstatt. In: R. Baar, A. Feindt, S. Trostmann (Hrsg.). *Struktur und Handlung in Lernwerkstätten: Hochschuldidaktische Räume zwischen Einschränkung und Ermöglichung*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 109–120. <https://doi.org/10.35468/5742-10>
- Klafki, Wolfgang (1992): Allgemeinbildung in der Grundschule und der Bildungsauftrag des Sachunterrichts. In: R. Lauterbach, W. Köhnlein, K. Spreckelsen & E. Klewitz (Hrsg.). *Brennpunkte des Sachunterrichts*. Kiel: Klinkhardt, 11–31.
- Köhnlein, Walter (1998): *Der Vorrang des Verstehens*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Köhnlein, Walter (2015): Aufgaben und Ziele des Sachunterrichts. In: J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.) (2015). *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 88–97.
- Litjens, Iris (2020): *Untersuchungen zur Silagequalität – Siliererfolg/Hygienestatus und Futterwert – auf Milchkuhbetrieben in Deutschland*. Dissertation zur Erlangung des Grades einer Doktorin der Veterinärmedizin, Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover 2020.
- Messner, Rudolf (2009): Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In: Messner, R. (Hrsg.). *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum Forschenden Lernen*. Hamburg: edition Körber-Stiftung, 15–30.
- Mikrobenzirkus (2024): Die Erfindung des großen Gärens. Unter: <https://mikrobenzirkus.com/2018/09/10/die-erfindung-des-grossen-gaerens-teil-1/> [Stand: 1.2.24]
- Michalik, Kerstin (2015): Philosophieren mit Kindern. Sinnkonstitution im Gespräch. In: U. Gebhard (Hrsg.) *Sinn im Dialog. Zur Möglichkeit sinnkonstituierender Lernprozesse im Fachunterricht*. Wiesbaden: Springer VS, 179–197. https://doi.org/10.1007/978-3-658-01547-3_11
- Miller, Susanne & Brinkmann, Vera (2011): Von Schülerfragen ausgehen und mit heterogenen Lernvoraussetzungen umgehen. In einem Sachunterricht für alle Kinder. In: H. Gießt, A. Kaiser & C. Schomaker (Hrsg.). *Sachunterricht – auf dem Weg zur Inklusion*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 67–77.
- Miller, Susanne & Brinkman, Vera (2013): SchülerInnenfragen im Mittelpunkt des Sachunterrichts. In: E. Gläser & G. Schönknecht (Hrsg.). *Sachunterricht in der Grundschule entwickeln – gestalten – reflektieren*. Frankfurt am Main: Grundschulverband, 226–241.
- Möller, Wanda; Beutin, Johanna; Blumenthal, Stefan & Dunker, Nina (2024): *Zukunftsfähiger Sachunterricht – Die sachunterrichtliche Fachidentität im Kontext der Future Skills*. *Didacticum – Zeitschrift für (Fach)Didaktik in Forschung und Unterricht*. Ausgabe 5/1/2024.
- Neber, Heinz (2006): Fragen stellen. In: H. Mandl & F. Friedrich (Hrsg.). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe Verlag, 50–58.

- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2019): OECD Future of Education and Skills 2030. OECD LEARNING COMPASS 2030 – a Series of Concept Notes. https://www.oecd.org/education/2030-project/contact/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf.
- Peschel, Markus (2013): Gute Aufgaben für forschendes Lernen im experimentierenden Sachunterricht. In: S. Bernholdt (Hrsg.). *Inquiry-based Learning – forschendes Lernen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012. Kiel: IPN, 128–130.
- Peschel, Markus (2014): Vom instruierten zum freien Forschen – Selbstbestimmungskonzepte im GOFEX. In: E. Hildebrand, M. Peschel & M. Weishaupt (Hrsg.). *Lernen zwischen freiem und instruiertem Tätigsein*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 67–79. https://doi.org/10.35468/5375_05
- Reinmann-Rothmaier, Gabi & Mandl, Heinz (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: A. Krapp & B. Weidemann (Hrsg.). *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*. Weinheim: Beltz, 601–646.
- Reiting, Johannes (2013): *Forschendes Lernen: Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Immenhausen: Prolog-Verl. <https://doi.org/10.2307/j.ctvss3zbh>
- Seifert, Anja (2021): Wie könnte der Beruf dann heißen? – Praxisforschung zum (Kinder)Fragen im Sachunterricht. In: Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts e.V., GDSU-Journal Heft 12. 155–168.
- Sieker, Tim; Neuner, Andre; Dimitrova, Darina; Tippkötter, Nils; Bart, Hans-Jörg; Heinzle, Elmar & Ulber, Roland (2010): *Chemie Ingenieur Technik* (82) 8. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 1153–1159. <https://doi.org/10.1002/cite.201000088>
- Wilde Fermente (2024): Schnibbelbohnen. Unter: <https://www.wildefermente.de/schnibbelbohnen/> [Stand: 1.2.24].
- Woodbury, Bryan; Gilley, J. E.; Parker, David & Marx, David (2022): Emission of volatile organic compounds from land-applied beef cattle manure as affected by application method, diet, and soil water condition. In: *Biological Systems Engineering. Digital-Commons@University of Nebraska*, 1–12. <https://doi.org/10.13031/ja.14587>

Nichts bleibt, wie es war: Stoffe und ihre Veränderungen in den Lebenswelten von Grundschulkindern

TIM BILLION-KRAMER¹, LAURA ARNDT², INGA DESCH³, KATRIN SCHNEIDER-ÖZBEK³,
MARKUS REHM²

1 Lebenswelten, fachliche Expertisen und die Frage nach chemischem Potenzial im Sachunterricht

Themen und Zugänge im Sachunterricht kristallisieren sich aus den Denk- und Lebenswelten von Grundschulkindern (Reeken 2021; Billion-Kramer 2021; Köhnlein 2015). Sachunterricht versucht dazu beizutragen, dass Kinder ihre Welt verstehen und in ihr zunehmend handlungsfähig werden (GDSU 2013). So orientiert sich die Auswahl und unterrichtliche Gestaltung von Inhalten und Themen des Sachunterrichts an kindlichen Denk- und Lebenswelten und nicht an der Sachlogik von Universitätswissenschaften. Dennoch legt der Sachunterricht die Grundlage für den Fachunterricht an weiterführenden Schulen.

„Daraus resultiert eine *doppelte Anschlussaufgabe*: Der Sachunterricht muss einerseits anchlussfähig sein *an die Lernvoraussetzungen*, an die vor- bzw. außerschulisch erlangten Wissensbestände und Kompetenzen sowie an die Fragen, Interessen und Lernbedürfnisse der Schülerinnen und Schüler. Andererseits muss er Anschluss suchen *an das in Fachkulturen erarbeitete, gepflegte und weiter zu entwickelnde Wissen*.“ (GDSU 2013: 10)

Im Sinne einer solchen doppelten Anschlussfähigkeit gilt es somit stets zu prüfen, ob Konzepte,

„Fachbegriffe oder wissenschaftliche Methoden den Kindern dabei [helfen], Welt zu verstehen, handeln zu können und verantworten zu wollen, dann sind sie einzusetzen; führen sie zu tragem Wissen oder erfüllen lediglich einen vermeintlich zukunftsorientierten Selbstzweck, dann sind andere zu suchen.“ (Gervé 2021: 60)

Dieser Beitrag greift zentrale Konzepte der Chemie auf: Stoffe und ihre Veränderungen. Es wird diskutiert, inwiefern Elementarisierungen und Rekonstruktionen chemischer Konzepte zu Stoffveränderungen Kinder unterstützen können, lebensweltliche Phänomene zu verstehen. Dazu werden im folgenden Abschnitt lebensweltliche Kontexte und

1 PH Ludwigsburg, Abteilung Chemie und ihre Didaktik

2 PH Heidelberg, Chemie und ihre Didaktik

3 Forscherstation gGmbH Heidelberg

methodische Zugänge skizziert, um anschließend aus sachunterrichtsdidaktischer, fachwissenschaftlicher und chemiedidaktischer Perspektive Sinn und Unsinn chemischer Zugänge im Sachunterricht zu diskutieren.

2 Stoffe und ihre Veränderungen in der Lebenswelt von Grundschulkindern und Rekonstruktionsmöglichkeiten im Sachunterricht

Materie in den Lebenswelten von Grundschulkindern

Kinder begegnen in ihren Lebenswelten unterschiedlichen Formen und Zuständen von Materie, die als Phänomen erfahrbar und beschreibbar sind. Sie können diese Eigenschaften von Materie untersuchen: von Farbe, Geruch, Geschmack, Temperatur, Größe, Gewicht, Wasserlöslichkeit, Brennbarkeit bis hin zur Viskosität einer Flüssigkeit oder der Härte eines Feststoffs. Diese Eigenschaften lassen sich in unterschiedlichen Objektivierungsgraden messen. Untersuchte Stoffeigenschaften können charakteristisch für einen Stoff sein (z. B. Leitfähigkeit von Wärme oder Elektrizität) oder sie beschreiben einen derzeitigen Zustand eines Stoffes (z. B. die Temperatur oder das Aggregat). Philosophierend kann die Grenze zwischen fest und flüssig ausgelotet werden. Scheinbar ist Glas fest. Menschlichen Sinnen entgeht jedoch zunächst, dass es langsam fließt, wie beispielsweise alte Kirchenfenster zeigen.

Stoffveränderungen

In ihren Lebenswelten begegnen Kinder zudem Stoffveränderungen: physikalische Veränderungen der Aggregatzustände, wie das Schmelzen von Wachs oder Eis, aber eben auch chemische Veränderungen (Reaktionen), wie das Verbrennen von Holz am Lagerfeuer oder das Rosten von Schrauben oder Ketten am Fahrrad (Hadenfeld et al. 2018). Auch durch ernährungsphysiologische Prozesse hervorgerufene biochemische und physikalische Stoffveränderungen begegnen Kindern, wie Veränderungen im Aussehen und dem Geruch von Ausscheidungen nach dem Verzehr von Spargel, Knoblauch oder roter Bete. Je nach Art der Stoffumwandlung haben sie danach temporär oder dauerhaft teilweise andere Eigenschaften. Stoffumwandlungen lassen sich in drei Kategorien einteilen: (1) Phasenumwandlungen (z. B. Aggregatsveränderungen; diese können beispielsweise beim Schmelzen von Butter beobachtet werden), (2) Auflösungs- und Mischvorgänge (die Kunstwerke auf dem Kaffeefilter, die durch die Wasserzugabe zu den Filzstiftstrichen entstehen) sowie (3) chemische Reaktionen (das verbrannte Streichholz) (Busemann 1996, 1991). Fachsystematisch werden nur chemische Reaktionen als chemische Vorgänge eingeordnet, die ersten zwei Veränderungskategorien als physikalische Vorgänge (Busemann 1996, 1991).

Zurück zur Lebenswelt von Grundschulkindern: Hier sind verschiedene Stoffumwandlungen beobachtbar, allerdings kann auf makroskopischer Ebene nicht zwischen physikalischen Vorgängen sowie biochemischen und chemischen Veränderungen unterschieden werden. Weiterhin die Frage: Helfen Fachdisziplinen beim Verstehen dieser Vorgänge?

Methodische Zugänge

Methodisch können Lernende im Grundschulalter bereits auf zahlreiche Grundlagen zur Untersuchung von Stoffeigenschaften zurückgreifen: Beispielsweise aus dem Mathematikunterricht ist ihnen das Messen mit dem Lineal oder das Wiegen und Umrechnen von Größen vertraut. Gegebenenfalls haben sie im Sachrechnen bereits eigene Projekte dazu durchgeführt (Krauthausen 2018; Winter 1985). Farben sind bekannt, ihre Wirkungen lassen sich systematisierend mit Hilfe von Farbkreisen beschreiben. Diskurse vom subjektiven Erleben bis zu „objektiven“ Gesetzmäßigkeiten einer Farbe haben in der Farbtheorie eine lange Tradition (z. B. Itten 2019; Küppers 2017). Geschmack und Geruch sind nur teilweise intersubjektiv objektivierbar, so wird die Steviapflanze von manchen Menschen ausschließlich als süß beschrieben, von anderen zudem als bitter (Hellfritsch et al. 2012).

Für viele Untersuchungen von Materie bietet sich die Temperatur als Variable im Verhältnis zu anderen zu untersuchenden Eigenschaften an, wie der „Härte“ der Butter (Viskosität). Auch das Löseverhalten von Stoffen ist temperaturabhängig. Ferner kann in Zusammenhang mit der Temperaturabhängigkeit die Brennbarkeit von Stoffen untersucht werden.

Stoffeigenschaften, -zustände und ihre Veränderungen beispielsweise in Bezug auf Temperatur oder Viskosität lassen sich in kindlichen Lebenswelten u. a. beim Backen eines Kuchens beobachten. Eignet sich das Backen eines Kuchens in Verbindung mit der Untersuchung von Stoffeigenschaften und ihren Veränderungen zur Anbahnung eines chemischen bzw. Lebensweltverständnisses?

Untersuchungen von Stoffeigenschaften beim Backen eines Kuchens

Untersuchen und kontrastieren wir zwei Kuchen: einen Hefekuchen und einen Mürbekuchen. Die Zutaten:

Hefekuchen:	500 g Mehl, 60 g Zucker, 1 Würfel Hefe, 1 Ei, 200 ml Milch, 125 g Butter, 1 Prise Salz;
Mürbekuchen:	300 g Mehl, 200 g Butter, 100 g Zucker, 1 Ei, 1 Prise Salz.

Zunächst können die einzelnen Zutaten untersucht werden, beispielsweise ein Ordnen nach Gewicht, Volumen, Farbe oder Konsistenz (Wie lässt sich das Ei kategorisieren?). Nach dem Ordnen kann verglichen werden: Sind flüssige Zutaten gleich flüssig oder fließt die Milch anders als das (als flüssig kategorisierte) Eiweiß? Kann die Härte der Feststoffe untersucht werden? Kann man bei Butter noch von einem Feststoff sprechen? Mit einer Lupe oder einem (digitalen) Mikroskop können die pulverförmigen Feststoffe (Mehl, Salz, Zucker, Hefe) noch genauer betrachtet werden: Lassen sich Gemeinsamkeiten

ten oder Unterschiede feststellen? Auch zur Löslichkeit oder zum Schwimmverhalten kann geforscht werden: Wie verhalten sich Milch, Mehl, Zucker, Salz, Hefe, Backpulver, Butter, Kakao in Wasser? Lösen sich alle (gleich gut)? Gibt es Unterschiede im Lösungsverhalten zwischen flüssigen und festen Stoffen? Lösen sich einige Stoffe nicht? Sinken, schwimmen oder schweben sie im Wasser?

Nachdem die Zutaten ausführlich untersucht wurden, können Kinder prüfen, welche Eigenschaften bereits in Ausgangsstoffen veränderlich sind, also vor chemischen Reaktionen: Durch Zerschneiden lassen sich das Gewicht und die Größe verändern; der Geruch, die Farbe, die Löslichkeit und Viskosität bleiben hingegen gleich. Durch eine stärkere Außeneinwirkung als beim Schneiden, durch den Einsatz eines Rührgeräts oder Pürierstabs z. B., verändern sich das Eiweiß, Eigelb, die Butter und die Milch, hingegen treten keine Veränderungen bei Salz oder Zucker auf. Durch Einfrieren verändern sich zum Beispiel die Härte von Butter und die Viskosität von Milch, allerdings sind diese Veränderungen nur temporär, bei Raumtemperatur verhalten sie sich wieder wie vor dem Einfrieren. Durch Erhitzen verändern sich einige Stoffe und bleiben auch nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur verändert.

Was geschieht mit den einzelnen Zutaten und ihren Eigenschaften, wenn sie miteinander vermischt werden, wenn man sie längere Zeit stehen lässt und/oder sie erhitzt? Durch das Mischen erhalten wir zwei Teige, die sich voneinander durch Farbe, Geruch und Viskosität unterscheiden. Lässt man die Teige stehen, so sieht man beim Hefeteig, dass dieser seine Größe verändert hat oder auch, wenn er zu lange steht, beginnt, säuerlich zu riechen. Vor dem Backen werden kleine Teigproben beiseitegelegt, um die Eigenschaften des Stoffs „Teig“ mit dem Stoff „Kuchen“ zu vergleichen, sowie Fotos gemacht, um zu schauen, ob die Teige aufgegangen sind, sich die Größe beim Backen verändert. Was hat sich durch die Wärmezufuhr/Energiezufuhr verändert? Für den Vergleich von Teig und Kuchen bietet sich die Haptik an (Wie fühlt sich der Stoff an?), der Geruch, das Löse- oder Schwimmverhalten und beim gebackenen Kuchen bietet sich natürlich auch eine Geschmacksprobe an. Wiegt man den Kuchen vor und nach dem Backvorgang, wird man ebenfalls Unterschiede bemerken. Und überhaupt, wenn der Kuchen doch im Ofen ist, wieso kann ich ihn dann auch außerhalb schon riechen? Jetzt könnte sich noch eine Langzeituntersuchung anschließen, was passiert mit Teig oder Kuchen, wenn man ihn lange Zeit stehen lässt? Oder was passiert mit dem Kuchen, nachdem er gegessen wurde, welche Stoffumwandlungen geschehen im Körper?

Die Kinder können beim Backen viele Stoffeigenschaften untersuchen, aber sind dies chemische Eigenschaften oder physikalische? Und sind die beobachteten Stoffumwandlungen biologische, physikalische oder chemische? Ist diese Unterscheidung von Grundschulkindern zu leisten und welchen Bildungswert hätte dies?

3 Der Stoffbegriff und die Stoffumwandlung – zwei chemische Zugänge

Sekundarstufenlehrwerke für den Anfangsunterricht Chemie widmen sich im ersten Kapitel häufig und ausführlich dem Stoffbegriff. Offenbar wird vermutet, dieser sei grundlegend für das Verstehen von Chemie (vgl. Kienast et al. 2012; Sieve & Rehm 2012). In den meisten fachwissenschaftlichen Lehrwerken der Chemie wird der Stoffbegriff dagegen ausdrücklich nicht (mehr) erklärt (z. B. Mortimer & Müller 2020), schließlich wird inzwischen auf einer fachlichen Ebene häufig von einer Definition abgesehen. Zeitweise versuchte das Deutsche Institut für Normung (DIN) den Begriff „Stoff“ durch die DIN 32629 Stoffportion (Nov. 1988) wie folgt zu definieren:

„Zwei Stoffe sind einander gleich, wenn sie in allen stofflichen Eigenschaften übereinstimmen. [...] Erst von einer größeren Anzahl der Bausteine an werden die stofflichen Eigenschaften unabhängig von der, Größe' des Gegenstands. Von dieser nicht scharfen Grenze an ist die Verwendung des Stoffbegriffs erst eindeutig.“ (zit. nach Rehm & Stäudel 2012: 4)

Nach dieser Definition würde man die Änderung von Aggregatzuständen, zum Beispiel von Wasser zu Eis, als eine Änderung des Stoffes definieren müssen. Denn nach dieser – in den 1980er-Jahren zurückgezogenen – DIN 32629 stimmt, was beispielsweise Grundschullernende aus ihrer Alltagserfahrung heraus annehmen: Wasser und Eis seien zwei unterschiedliche Stoffe. Eine Begründung, die sich durch Beobachtungen aus Denk- und Lebenswelten der Kinder stützen lässt: Wasser und Eis haben keine Übereinstimmung in ihren „stofflichen“ Eigenschaften. Damit seien Wasser und Eis zwei unterschiedliche Stoffe, was nicht den chemischen Konventionen entspricht. Das heißt aus der Perspektive der Chemiedidaktik: Beide – Kinder und DIN – machen keinen Fehler, sondern sie wenden Erfahrungen aus ihrer jeweiligen Denk- und Lebenswelt an, auch wenn diese den chemischen Konventionen nicht entsprechen. Für eine chemiespezifische, fachlich angemessene Einordnung des Stoffbegriffs bedürfte es Erfahrungen aus der atomaren Welt, die es aber nicht gibt. Daher wird sowohl von Kindern, die Erfahrungen aus einer phänomenbezogenen Perspektive machen, als auch von der DIN der 80er-Jahre, die vor allem juristischen und nicht chemischen Ansprüchen genügen muss, die atomare Ebene nicht in Betracht gezogen. Das ist für die Chemiedidaktik zunächst stimmig: Die DIN-Norm wurde aus juristischen Gründen erlassen und ist bis zu ihrem Rückzug immer an Konventionen der Chemie gescheitert. Die Chemie scheitert jedoch an den Kindern im Grundschulalter, die ihre Welt auf Phänomenebene und nicht in der Welt der Atome wahrnehmen.

Eine Arbeitsdefinition mit Vorschlagscharakter nach chemischen Konventionen wird von der Organisation IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) geliefert. „Stoff“ wird charakterisiert als:

“matter of constant composition best characterized by the entities (molecules, formula units, atoms) it is composed of. Physical properties such as density, refractive index, electric conductivity, melting point etc. characterize the chemical substance.” (IUPAC 2019)

Nach IUPAC wird ein Stoff durch seine atomare Struktur beziehungsweise atomare Komposition verstanden. Bestimmte intensive Größen wie zum Beispiel Umwandlungstemperaturen von beispielsweise Schmelz- oder Siedepunkten (bei gegebenem Druck) charakterisieren ebenfalls einen Stoff. Das heißt, ein Stoff ist nach IUPAC eindeutig bestimmbar, wenn man bestimmte intensive Größen und seine atomare Komposition kennt.

Eine Stoffumwandlung (chemische Reaktion) ist dann vorhanden, wenn mindestens zwei Stoffe miteinander reagieren. Diese (Ausgangs-)Stoffe werden in der Regel als Edukte bezeichnet. Bei der Reaktion entsteht ein neuer Stoff mit neuen Eigenschaften (intensive Größen ändern sich bleibend). Die neuen Stoffe werden in der Regel als Produkte bezeichnet. Soll untersucht werden, ob tatsächlich eine Stoffumwandlung stattgefunden hat, sind die neuen intensiven Größen zu bestimmen. Hier hilft nun die Arbeitsdefinition der IUPAC. Man bestimmt beispielsweise die Veränderung der Umwandlungspunkte (Siedepunkt und Schmelzpunkt) oder weicht auf die atomare Komposition aus. Wenn durch die Bestimmung der neuen, intensiven Größen die Schlussfolgerung gezogen wird, dass ein neuer Stoff entstanden ist und damit eine Stoffumwandlung vorliegt, so setzt das voraus, dass ein Verständnis von intensiven versus extensiven Größen oder ein Verständnis der Änderung der atomaren Komposition vorliegt. Der Sachunterricht der Grundschule beschäftigt sich in der Regel weder mit intensiven/extensiven Größen noch mit der atomaren Komposition eines Stoffes. Das lässt sich sinnvoll begründen: Schließlich versucht der Sachunterricht in der Grundschule dazu beizutragen, dass Kinder ihre Lebenswelten verstehen. Analysen der Lebenswelt von Grundschulkindern (Elschenbroich 2001, 2010) zeigen, dass sich diese Lebenswelt phänomenal gestaltet und weniger im Bereich der Modelle zu finden ist. Sicher kommen Grundschul Kinder oft auch mit Modellen in Kontakt und finden Modelle in ihrer Lebenswelt. Das sind Modelle, zu denen es einen Bezug zu ihrer Lebenswelt gibt. Nur sehr vereinzelt helfen Aufgaben und Aussagen mit höherem modellspezifischem Komplexitätsgrad Lernenden im Grundschulalter allerdings beim Verstehen ihrer Lebenswelt (Lange-Schubert et al. 2022). Das Verstehen von chemischen Stoffumwandlungen greift aber auf eine komplexe Modellwelt zurück. Eine Änderung der atomaren Komposition greift auf Atommodelle zurück, die auch keine Entsprechung in der Lebenswelt haben. Diesen Modellen liegt ein sogenanntes diskontinuierliches Denken zugrunde. Daher spricht man auch vom Diskontinuum (die Welt der Atome beziehungsweise die submikroskopische Welt, die nicht mit menschlichen Sinnen erfahrbar ist) im Gegensatz zum Kontinuum (die phänomenale Welt beziehungsweise die Lebenswelt, die mit den Sinnen erfahrbar ist). Nimmt Sachunterricht Lebenswelten seiner Lernenden ernst, muss sich ein solcher Unterricht auf die phänomenale Ebene konzentrieren oder diese modellieren (beispielsweise in Wasserkreisläufen). Das gilt auch für das Lernen von chemischen Inhalten im Sachunterricht. Die Diskrepanz zwischen der durch Phänomene (indirekt) erfahrbaren Lebenswelt und deren physikalisch-chemischer Rekonstruktion und Erklärung auf Grundlage von Modellen der submikroskopischen Welt bleibt hierbei unauflösbar. Sind die Fachsystematik der Chemie und das lebensweltliche Selbstverständnis des Sachunterrichts vereinbar?

4 Fazit: Sinn und Unsinn von chemischen Zugängen im Sachunterricht

Lernende können im Sachunterricht Stoffumwandlungen erleben, beispielsweise beim Backen eines Kuchens. Einen chemischen Zugang zu Stoffumwandlungen, der über die Beobachtung äußerer Merkmale hinausgeht und die atomare Ebene als Argumentationsgrundlage benötigt, ist mit den Sinnen nicht erfahrbar und unter anderem auch nicht Teil der Lebenswelt von Grundschulkindern. Damit sind das Selbstverständnis des Sachunterrichts (der Lebensweltbezug) und des Faches Chemie (Stoffumwandlungen begründen sich auf der atomaren Ebene) nicht wirklich vereinbar: Die Vermittlung atomarer Anordnungen und deren Änderungen, konkret: die Erarbeitung dessen, was chemisch unter Stoffumwandlungen verstanden wird, und das Selbstverständnis des Sachunterrichts schließen sich aus. Zwar wird immer wieder diskutiert, Teilchenmodelle bereits in der Grundschule beziehungsweise im Sachunterricht einzuführen (vgl. Wodzinski 2011) und dies ohne darauf aufmerksam zu machen, wofür das Modell beziehungsweise die „Teilchen“ stehen. Die Vor- und Nachteile der Einführung eines mehr oder weniger tragfähigen Teilchenmodells sind aus der Perspektive der Chemie- und Sachunterrichtsdidaktik zudem breit diskutiert (vgl. Rehm & Parchmann 2009; Wodzinski 2011). Aus unserer Sicht überwiegen die Nachteile, vor allem die Tatsache, dass das Teilchenmodell im weiterführenden Unterricht durch einen kognitiven Konflikt dann wieder erschüttert werden muss. Das unzureichende Teilchenmodell hat sich dann aber womöglich bereits als vermeintlich erklärungs mächtig in der kognitiven Denkstruktur gefestigt. Verzichtet man auf diskontinuierliches Denken im Sachunterricht, wird aus der Perspektive des Kindes eine Unterscheidung einer physikalischen oder chemischen Einflussgröße nicht möglich sein, da die Stoffumwandlung mit den Kindern auf Phänomenebene diskutiert wird und eine Definition von „Stoff“, wie wir sie oben bei IUPAC aufgezeigt haben, keine Rolle spielt. Vielmehr plädieren wir dafür, sich mit naturwissenschaftlichen Konzepten auf der Phänomenebene sowie Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen im Sachunterricht auseinanderzusetzen und die Kluft zwischen der phänomenalen Welt und der Welt der Atome außen vor zu lassen.

Indes: Die Kluft zwischen der phänomenalen und der atomaren Welt ist nur eine Spielart der Kluft zwischen einem lebensweltlichen, entwicklungspsychologisch angemessenen Sachunterricht und der universitären Domäne Chemie. Eine weitere Kluft wird aus einer rein praktischen Sicht deutlich. Der Geschmack spielt in der Lebenswelt der Kinder eine große Rolle, auch bei der Erschließung der Welt. Aus der rein fachlichen Perspektive der Chemie wird der Geschmack eines Stoffes heutzutage niemals geprüft, da das Verzehrverbot im Labor aus Sicherheitsgründen sinnvollerweise besteht. Die Kinder also an Bedingungen und Verhaltensregeln im Labor gewöhnen und gleichzeitig einen Sinn für die kindlichen Erfahrungen ausschließen – den Kuchen also überhaupt nicht probieren lassen? Oder auf einen sachlogischen Chemie-Fokus verzichten und Alltagsphänomene und kindliche Erfahrungen mit allen Sinnen in den Mittelpunkt stellen? Wir plädieren für Letzteres, was wir anhand dieses Praxisbeispiels

sowie der Gegenüberstellung und Problematisierung beider Ansätze verdeutlicht haben. Mit der Bildung eines phänomenbezogenen Erfahrungsschatzes, auf den ihre zukünftigen Chemie- und Physik-Lehrkräfte aufbauen und den Modellen eine zu kontrastierende Basis liefern können, bahnt der Sachunterricht das Verständnis der Sachlogik der später folgenden Schul- und Studienfächer Biologie, Chemie und Physik an.

Literatur

- Billion-Kramer, Tim (2021): Wirksamer Sachunterricht – Versuch einer Synopse. In: Billion-Kramer (2021) (Hrsg.): Wirksamer Sachunterricht. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 215–242.
- Busemann, Jochen (1991): Materie und Stoff-Betrachtungen über Grundbegriffe der Chemie. In: Lab. med, 15. Jg., 570–575.
- Busemann, Jochen (1996): Betrachtungen über das Wort "Stoff" und seinen Gebrauch in der chemischen Fachsprache. In: Janich (1996) (Hrsg.): Die Sprache der Chemie. Würzburg: Königshausen & Neumann, 47–54.
- Elschenbroich, Donata (2001): Weltwissen der Siebenjährigen. Frankfurt am Main, Wien, Zürich: Büchergilde Gutenberg.
- Elschenbroich, Donata (2010): Die Dinge. München: Verlag Antje Kunstmann.
- Gervé, Friedrich (2021): Verstehen dürfen – Handeln können – Verantworten wollen. In: Billion-Kramer (2021) (Hrsg.): Wirksamer Sachunterricht. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 51–61.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hadenfeld, Jan Christoph; Neumann, Irene; Neumann, Knut & Steffensky, Mirjam (2018): Stoffe, Energie und Bewegungen beschreiben, untersuchen und nutzen – Schülervorstellungen. In: Adamina et al. (2018) (Hrsg.): „Wie ich mir das denke und vorstelle ...“. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt, 103–120.
- Hellfritsch, Caroline; Brockhoff, Anne; Stähler, Frauke; Meyerhof, Wolfgang & Hofmann, Thomas (2012): Human psychometric and taste receptor responses to steviol glycosides. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60. Jg., Heft 27, 6782–6793. <https://doi.org/10.1021/jf301297n>
- Itten, Johannes (2019): Kunst der Farbe. München: Christophorus Verlag.
- IUPAC (2019): The IUPAC Compendium of Chemical Terminology. Research Triangle Park, NC: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).
- Kienast, Stephan; Witteck, Torsten & Eilks, Ingo (2012): "Stoffe" im Chemieunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie, 23. Jg., Heft 128, 12–15.
- Köhnlein, Walter (2015): Aufgaben und Ziele des Sachunterrichts. In: Kahlert et al. (2015) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 88–97.
- Krauthausen, Günter (2018): Einführung in die Mathematikdidaktik – Grundschule. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54692-5>

- Küppers, Harald (2017): Einführung in die Farbenlehre. Köln: DuMont.
- Lange-Schubert, Kim; Böschl, Florian & Spreckelsen, Kay (2022): Modelle. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 511–517.
- Mortimer, Charles E. & Müller, Ulrich (2020): Chemie. Stuttgart, München: Thieme; Cando.
- Reeken, Dietmar von (2021): Begeisterung entwickeln für Kinder, die Sachen der Welt und ihre historische Dimension. In: Billion-Kramer (2021) (Hrsg.): Wirksamer Sachunterricht. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 167–176.
- Rehm, Markus & Parchmann, Ilka (2009): Die Welt der Atome – eine Frage ohne eindeutige Antwort! In: Unterricht Chemie, 20. Jg., 2–4.
- Rehm, Markus & Stäudel, Lutz (2012): Grundbegriffe und Basiskonzept der Chemie. Naturwissenschaften im Unterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie, 23. Jg., Heft 128, 2–7.
- Roth, Klaus & Streller, Sabine (2019): Vom wohl- oder übelriechenden Spargelurin. In: Chemie in unserer Zeit, 53. Jg., Heft 2, 126–129. <https://doi.org/10.1002/ciuz.201900008>
- Sieve, Bernhard & Rehm, Markus (2012): Wie definieren Schüler Grundbegriffe der Chemie?, 23. Jg., Heft 128, 8–11.
- Winter, Heinrich (1985): Sachrechnen in der Grundschule. Bielefeld: Cornelsen-Velhagen & Klasing.

Formatives Assessment und Lernprozessbegleitung als Teil der Leistungsbeurteilung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

YANNIK WILKE

1 Naturwissenschaftlicher Sachunterricht und diagnostische Potenziale

Der Sachunterricht versteht es als seine vornehmste Aufgabe, Schüler:innen darin zu unterstützen, ihre individuellen Fähigkeiten und Vorerfahrungen in den Unterricht einzubringen, um davon ausgehend ihre „natürliche, kulturelle, soziale und technische Umwelt sachbezogen zu verstehen, sie sich auf dieser Grundlage bildungswirksam zu erschließen und sich darin orientieren, mitwirken und handeln“ zu können (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts [GDSU] 2013: 9). Eine Besonderheit des Sachunterrichts bildet dabei die Vielperspektivität, die einfordert und ermöglicht, dass verschiedene Phänomene in unterschiedlichen fachlichen Perspektiven angenähert und bearbeitet werden können (ebd.), sodass für alle Schüler:innen mit ihren individuellen und kollektiven Erfahrungen und Präkonzepten Zugänge zu einem gemeinsamen Lerngegenstand erhalten und vertieft werden können (u. a. Seitz 2020; Seitz & Simon 2018). Hieran schließt ebenso die von der GDSU (2013: 10) postulierte doppelte Anschlussaufgabe des Sachunterrichts an, welche einerseits das Aufgreifen vor- und außerschulischer Erfahrungen, Vorwissensbestände sowie Fähig- und Fertigkeiten der Schüler:innen einfordert. Andererseits besteht die Forderung der Anschlussfähigkeit an die jeweiligen Fachkulturen der einzelnen Bezugsdisziplinen, um einen Zugang zu den dort entwickelten Kompetenz- und Wissensbeständen zu ermöglichen; hierfür sind zahlreiche (fachbezogene) Kompetenzen und belastbare Vorstellungen und Konzepte in der Perspektive der einzelnen Bezugsdisziplinen essenziell. Konkret bedeutet dies für die naturwissenschaftliche Perspektive, dass perspektivbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen sowie Themenbereiche abgedeckt werden müssen (vgl. 1 & 2), mit dem Ziel der „Entwicklung einer anschlussfähigen naturwissenschaftlichen Grundbildung“ (Steffensky 2022: 141).

Tabelle 1: Perspektivbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (nach Giest 2017, S. 9)

DAH NAWI 1	Naturphänomene sachorientiert (objektiv) untersuchen und verstehen
DAH NAWI 2	Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden
DAH NAWI 3	Naturphänomene auf Regelmäßigkeit zurückführen
DAH NAWI 4	Konsequenzen aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für das Alltagshandeln ableiten
DAH NAWI 5	Naturwissenschaftliches Lernen bewerten und reflektieren

Tabelle 2: Perspektivbezogene Themenbereiche (nach Giest 2017, S. 10)

TB NAWI 1	Nicht lebende Natur – Eigenschaften von Stoffen/Körpern
TB NAWI 2	Nicht lebende Natur – Stoffwandlungen
TB NAWI 3	Nicht lebende Natur – physikalische Vorgänge
TB NAWI 4	Lebende Natur – Pflanzen, Tiere und ihre Unterteilung
TB NAWI 5	Lebende Natur – Entwicklungs- und Lebensbedingungen von Lebewesen

In Bezug auf diese Ziele des (naturwissenschaftlichen) Sachunterrichts stellt die Auswahl einer passenden Lernsituation und Aufgabe für jede:n Schüler:in eine besondere Herausforderung für die Lehrkräfte dar, die neben didaktischen Kompetenzen und methodischen Kenntnissen auch ein breites diagnostisches Wissen voraussetzt (Blumberg 2008). So müssen sowohl Vorerfahrungen, Lernprozesse als auch Produkte des Lernens in adäquater und adressatengerechter Weise erhoben, analysiert, bewertet und rückgemeldet werden können. In diesem Bezug liefert die Struktur des Sachunterrichts bedeutsame Anknüpfungspunkte für eine ressourcenorientierte Diagnostik (Schroeder et al. 2021; Schroeder et al. 2023), wie sie auch im Inklusionsdiskurs und im Kontext der didaktischen Diagnostik gefordert wird (Prenzel 2016; Prenzel 2017). Hier profitiert der Sachunterricht von seiner Rolle als Kernfach der Grundschule (neben Deutsch und Mathematik), aber mit einem empirisch nachweisbar niedrigeren Selektionsdruck (Miller & Kottmann 2016). Verfolgt man die Prinzipien einer inklusionsorientierten Diagnostik und Förderung, so ist diese partizipativ angelegt und verläuft entlang der Stärken der einzelnen Schüler:innen und stellt die Potenzialentfaltung in den Fokus; sie ist somit weniger produkt- denn prozessorientiert und geht durch (intensive) Begleitung über die reine Beurteilung hinaus (Seitz 2020; Seitz & Wilke 2021).

Im Folgenden wird der Forschungsstand zu Lernprozessbegleitungen dargestellt und auf seine Potenziale in Bezug auf die Begleitung und Beurteilung von Lernprozessen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht bezogen. Hierbei werden insbesondere die Begleitung und Beurteilung naturwissenschaftlicher Erkenntniswege sowie mögliche dialogische Rückmeldeverfahren in den Fokus gerückt, ehe die Chancen und Grenzen des formativen Assessments und seine Implementation im Sachunterricht, mit Fokus auf das Experimentieren, thematisiert werden.

2 Formatives Assessment und Lernprozessbegleitung

Das diagnostische Handeln bildet eine zentrale Aufgabe von Lehrkräften in der Schule (Jürgens 2018). Dabei ist der Begriff der Diagnostik in den verschiedenen pädagogischen (Teil-)Disziplinen in unterschiedlicher Weise geprägt. Während er im Bereich der klassischen sonderpädagogischen Diagnostik als medizinisch-psychologische Statusdiagnose gefasst wird und häufig mit Fragen der Zuordnung zu Bildungsgängen und Selektionsentscheidungen einhergeht (Schäfer & Rittmeyer 2021), wird er in allgemeinen schulpädagogischen Publikationen zusammen mit dem Begriff der Leistungsbeurteilung gerahmt und bezieht sich auf verschiedene Methoden und Verfahrensweisen, die sowohl summativ als auch formativ angelegt sind (Jürgens & Lissmann 2015; Ingenkamp & Lissmann 2008). Für diese Methoden und Verfahren sind verschiedene Bezugssysteme und Funktionen prägend, die von pädagogischen Funktionen wie Motivation, Lernoptimierung und Entwicklungsförderung geprägt sind, jedoch auch unter systemischen Ansprüchen stehen, die in gesellschaftlicher Perspektive, die häufig mit einer Outputmaximierung, Hierarchisierung und Selektion einhergehen und kritisch hinterfragt werden müssen. Dies gilt für die pädagogische Perspektive – und insbesondere mit Blick auf die inklusionsorientierte Weiterentwicklung von Schule (u. a. Thurn 2019; Prengel 2017).

Diagnostisches Handeln ist im Sinne einer inklusionsorientierten Weiterentwicklung von Unterricht hochkomplex und umfasst mehr als ein summatives und genormtes Überprüfen von Lernergebnissen. Vielmehr begleitet die Diagnose oder die Leistungsbeurteilung in verschiedenen Formen – als Eingangsdiagnose, in Form informeller Feedbacks, Status- und Abschlussprognosen – den gesamten Bildungsweg von der Einschulung bis hin zum Übergang in die weiterführende Schule und darüber hinaus. Dem Sachunterricht kommt dabei eine besondere Rolle zu, da diagnostische Verfahren in den Fächern Deutsch und Mathematik oftmals schriftliche Überprüfungen als einen zentralen Ankerpunkt von Beurteilungen darstellen, von welchen im Sachunterricht Abstand genommen wird (Kernlehrplan Sachunterricht NRW, o. J.). Der Reichtum des Sachunterrichts geht von der Heterogenität der Lerngruppen und den individuellen Präkonzepten der Schüler:innen aus und versucht, diese für die Gestaltung des Unterrichtes aufzunehmen (Seitz & Scheidt 2012) und unterrichtliches Lernen darauf auszurichten.¹ Dies bietet ein besonderes Potenzial des Sachunterrichts (Schroeder et al. 2021), jedoch ist dieser im Bereich Diagnostik in gewisser Weise auch voraussetzungsvoller als andere Unterrichtsfächer. Dies begründet sich beispielsweise in den verschiedenen Bezugsdisziplinen des Sachunterrichts und entsprechenden multiperspektivischen Zugangsweisen, die derartig divergieren können, dass sich eine formalisierte Testung dieser selbst ausschließt.

Sowohl der Begriff der Lern(prozess)begleitung als auch der Begriff des formativen Assessment sind im pädagogischen Diskurs in unterschiedlicher Weise verwendet, weshalb kaum eine einheitliche Definition für beide Begriffe gefunden werden kann

1 Einen Einblick in die Heterogenität der Zugangsweisen und Präkonzepte zum Themenbereich Zeit mit entsprechenden didaktischen Schlussfolgerungen findet sich dabei Seitz (2006).

(Beutel 2020). Dennoch zeichnen sich bei den verschiedenen Konzeptionen und Methoden ab, die als verbindende Bestimmungsmerkmale herausgearbeitet werden können (Abb. 1) und sowohl an die Beurteilung in der Grundschule (Jürgens 2006) im Allgemeinen als auch im Spezifischen an den Sachunterricht (Seitz & Simon 2018) anschlussfähig erscheinen.



Abbildung 1: Bestimmungsmerkmale von Lernprozessbegleitungen (angelehnt an: Beutel & Pant 2020: 177)

Hierbei findet die Beurteilung von Lernprozessen in verschiedener Weise Anklang, wenn es um „individuelle und altersgemäße Adressierung“, „Dialog und Partizipation“ und „entwicklungsförderliches Feedback“ geht. Dabei sind die Übergänge von Lernbegleitung und Beurteilung fließend, sodass das Lernen als individueller Prozess begleitet, dokumentiert, partizipativ analysiert, dem Dialog über das Lernen öffnet und Leistungen in adressatengerechter Weise reflektiert sowie eine kompetenz- und entwicklungsorientierte Rückmeldung ermöglicht wird (Prenzel 2016; Seitz & Wilke 2021; Seitz & Simon 2018).

Das Ziel von Lernprozessbegleitung ist es, die Unterrichtsgestaltung an den Lernprozessen der Schüler:innen auszurichten, um Individualisierung zu ermöglichen und dadurch die Passung zwischen den Lernenden und dem Lerngegenstand zu gewährleisten. Auf diese Weise können Schüler:innen so in ihrem Lernen unterstützt werden, dass diese ihre individuelle Bestleistung erreichen können²(Textor et al. 2014; Langner et al. 2019; Martens 2015; Martens 2018; Martens 2020; Seitz 2020; Seitz et al. 2020; Häsel-Weide et al. 2021; Wilke 2021). Im deutschsprachigen Raum wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff Lernverlaufsdiagnostik bzw. wie oben der Begriff der

2 In diesem Kontext ist ebenso die Überführung der eigenen Potenziale in Performanz gemeint.

Lernprozessbegleitung diskutiert, der Formen der Leistungserhebung, -beurteilung, -dokumentation und -rückmeldung umfasst (Börnert 2014; Klauer 2014; Maier 2020; Seitz & Wilke 2021). Hierzu liegen bereits zahlreiche Methoden vor, die insbesondere den Lernprozess und die prozessbegleitende Diagnostik fokussieren (u. a. Winter 2017; Winter 2018; Groeben 2013; Thurn 2017). In der Beurteilung von Produkten, welche für den Sachunterricht eine bedeutende Rolle spielen, ist eine solche Prozessbegleitung unabdingbar. Dies wird auch im Rahmen des Lehrplans Sachunterricht unter 3. "Leistungen fördern und bewerten" deutlich (LP Sachunterricht NRW). So wird hier auf ein "pädagogisches Leistungsverständnis" verwiesen, welches "Leistungsanforderungen mit individueller Förderung verbindet". So sollen Leistungen nicht nur eingefordert werden, sondern ebenso ermöglicht und gefördert werden.

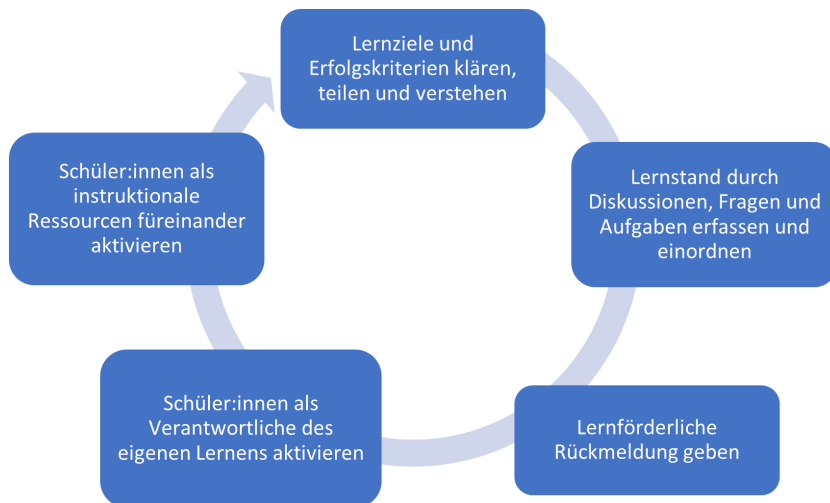


Abbildung 2: Dimensionen des Formativen Assessment in Anlehnung an William & Thompson (2008). (Eigene Darstellung (hierzu auch: Schütze et al. 2018; Black & Wiliam 2009; Bennett 2011; Harlen 2012))

Die Umsetzung von Lernprozessbegleitung (s. Abb. 2) ist voraussetzungs-voll, da sie eine permanente Reflexion der Prozessqualität – insbesondere der Beurteilungsnormen und -fehler – durch Lehrpersonen erfordert (Seitz & Wilke 2021; Prengel 2016; von Barga 2017). Effektiv ist sie vor allem dann, wenn Lehrer:innen mit gewonnenen Erkenntnissen nicht nur Schüler:innen beraten, sondern auch ihren Unterricht „anpassen“ (Stecker et al. 2005), im Sinne einer adaptiven Lehrkompetenz, die mit Blick auf Lernprozesse im Sachunterricht als Schlüssel zur Umsetzung eines qualitativ hochwertigen Sachunterrichts gehandelt wird (Reh & Schroeder 2024). Im Sinne eines weiten Inklusionsverständnisses (Simon 2017) gilt es dabei, alle Schüler:innen an ihren aktuellen Leistungsgrenzen derart im Lernen zu unterstützen, dass diese zwar herausgefordert, aber nicht über- oder unterfordert werden (Seitz et al. 2016; Seitz & Wilke 2021). Hier zeigt sich auch, dass formative diagnostische Verfahren in gleicher Weise zur Förderung von vermeintlich ‚leistungsschwächeren Schüler:innen‘ als auch zur Unterstüt-

zung von begabten Schüler:innen gedacht und eingesetzt werden (Seitz et al. 2016). Damit sind sie integraler Bestandteil einer begabungsförderlichen Schule und auch eines heterogenitätssensiblen Sachunterrichts, innerhalb dessen die Lernvoraussetzungen der Kinder Ausgangspunkt unterrichtlicher Prozesse darstellen.

Legt man den Fokus auf den nationalen und internationalen Forschungsstand zu Lernprozessbegleitungen³ zeigt sich im Kern ein deutliches Übergewicht im anglo-amerikanischen Sprachraum. Dem formativen Assessment wird hier eine hohe Wirksamkeit auf Lernerfolg von Schüler:innen und ein Potenzial für die Entwicklung der Unterrichtsqualität zugeschrieben (Artelt et al. 2001; Black & Wiliam 1998; Black & Wiliam 2009; van den Boom et al. 2004; Dunn & Mulvenon 2009; Hattie & Timperly 2007; Kingston & Nash 2011; McLaughlin & Yan 2017; Maier 2014; Souvignier et al. 2014; Schütze et al. 2018), weshalb folglich auch höhere Leistungen bzw. ein erhöhter Transfer von Potenzialen in (messbare) Performanz anzunehmen ist.

Ausschlaggebend für den Erfolg von Lernprozessbegleitung ist, dass die erprobten und bewährten Verfahren vollständig implementiert werden. Ihre Wirksamkeit entfaltet sich erst in der Alltagspraxis, die mit einer bestimmten pädagogischen Haltung⁴ hinterlegt ist bzw. als Teil eines professionellen pädagogischen Habitus⁵ verstanden wird (Helsper 2021). Maier (2020) macht dabei auf die Diskrepanz zwischen einfachen Grundprinzipien der Lernprozessbegleitung und der herausfordernden Praxis aufmerksam (vgl. Helsper 2021). Schütze et al. (2018) betonen, dass die Wirksamkeit von der konkreten praktischen Umsetzung abhängig ist. Durch eine nicht konsequente Anwendung der etablierten Verfahren sind selbst in Interventionsstudien die Auswirkungen auf die Unterrichtsqualität kaum effektiv (z. B. Pinger et al. 2018). Um die Akzeptanz, Umsetzbarkeit und Nachhaltigkeit von Lernprozessbegleitung zu erhöhen, schlagen Hebbecke und Souvignier (2018) vor, bei der Entwicklung von Instrumenten und Materialien verstärkt mit Lehrpersonen zusammenzuarbeiten (vgl. Wiliam et al. 2004; Yin et al. 2008). So können Fragestellungen und Bedarfe der Schulpraxis Impulse für die Weiterentwicklung von Forschung geben (Asbrand & Bietz 2019; Bietz et al. 2019; Asbrand & Martens 2021). Dem folgend wird im nachstehenden Kapitel anhand des Experimentierens eine Verbindung von formativem Assessment mit einer gängigen Arbeitsweise des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts hergestellt.

3 international als Formative Assessments theoretisch beschrieben und erforscht.

4 Hier zu verstehen als ein Rollenverständnis der Lehrkraft im Sinne einer/s Lernbegleiter:in, die sich am persönlichen Fortschritt der Lernenden orientiert.

5 Insbesondere sind hierbei die reflexive Grundhaltung und die Bereitschaft zu Aushandlungsprozessen innerhalb antinomischer Spannungsfelder sowie die stellvertretende Krisenlösung für die Lernenden von besonders hoher Bedeutung für das Gelingen von Lernprozessbegleitungen.

3 Diagnostische Potenziale für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Mit einem Rückgriff auf die in der Einleitung dargestellten Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen sowie die Themenbereiche wird deutlich, dass genormte (Leistungs-)Tests unter Umständen die Inhaltsbereiche abtesten können, jedoch die Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen derart komplex sind, dass diese nur schwierig – wenn überhaupt – adressatengerecht in Testaufgaben überführbar sind. Hier liegt es nahe, den Lernstand und den Fortschritt in den jeweiligen Kompetenzfeldern in den konkreten Situationen im Unterricht zu beobachten und daran anschließend zu bewerten und rückzumelden. Hierfür werden exemplarisch das Experiment und die Möglichkeit einer dialogischen Rückmeldung vorgestellt.

3.1 Experimentieren begleiten und beurteilen

Das Experiment lässt sich als ein Kern naturwissenschaftlichen Arbeitens beschreiben, der in allen Naturwissenschaften von zentraler Bedeutung für den Erkenntnisgewinn ist. Dies gilt ebenso für den Stellenwert von Experimenten im Schulunterricht (u. a. Bäumel 1979; Bohrmann & Möller 2015). Es folgt dem klaren Ablauf eines naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges und einhergehende Beurteilungen sind durch seine standardisierte Form (vgl. Tabelle 3) leicht übertragbar.

Tabelle 3: Schritte des Experimentierens

Planungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • Sachliche Hypothesen bilden, • Operationalisierung der Hypothesen, • Variablen klären, • Stichprobe bestimmen, • Versuchsplanung
Durchführungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung des Versuches entsprechend der vorher abgestimmten/ dokumentierten/vorgegebenen Anleitung • Beobachtung/Betrachtung des Phänomens • Sicherung der Ergebnisse
Auswertungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • Diskussion der Ergebnisse • Prüfung der Hypothesen • Ggf. Ableitung neuer Hypothesen • Ggf. Bedeutung der Ergebnisse für den Alltag ableiten

Dabei sind die diagnostischen Fragen, denen sich Lehrkräfte stellen müssen, postwendend abhängig von Ziel, Methode und der Sozialform – also dem Maß der Öffnung des Unterrichts (Bohl 2009; Bohl 2010). Dies nimmt Einfluss auf die Kriterien, die für die einzelnen Phasen des Experimentes zu Grunde gelegt werden oder ggf. partizipativ mit den Kindern ausgehandelt werden. Hierbei besteht die Schwierigkeit, dass die Lehrkräfte – auch in Doppelbesetzungen – kaum die notwendigen zeitlichen Ressourcen haben, die Arbeiten aller Schüler:innen zu begleiten, zu beraten und wertzuschätzen. Insbesondere in Gruppen- oder Teamphasen ist an reinen Endprodukten kaum zu er-

kennen, welche:r Schüler:in welchen Beitrag geleistet hat, folglich sind reine Beobachtungen lückenhaft und entsprechend fehleranfällig (Bohl 2009; Jürgens & Lissmann 2015). Zum Schließen dieser Lücke bietet es sich im Sinne formativen Assessments an, Schüler:innen aktiv in den Beurteilungsprozess einzubeziehen. So bietet das Formulieren von eigenen Hypothesen und die Sammlung dieser bereits eine erste Möglichkeit für die Diagnose von Präkonzepten und alltagstheoretischen Vorstellungen, die als Eingangsdiagnose und zur Strukturierung der weiteren Arbeit genutzt werden können (Jürgens 2018). Beispielsweise können unterschiedliche Materialien zur Verfügung gestellt werden, mit denen die unterschiedlichen Hypothesen und Variablen in strukturell ähnlichen Experimenten geprüft werden können, damit divergierende Präkonzepte mittels differenzierter didaktischer Entscheidungen getroffen werden können (Prenzel 2016; Black & William 1998). Hierfür können auch Lernlandkarten, Themenspeicher oder Tafelbilder genutzt werden (Wilke 2021). Insbesondere ist hier die Organisation von Phänomenkreisen in naturwissenschaftlichen Lernumgebungen nach Hartinger et al. (2013) zielführend.

Im Bereich der Durchführung der Experimente können die Schüler:innen in Gruppen und für sich ihr eigenes Handeln und die Ergebnisse dokumentieren. Entsprechende Differenzierungen können für und mit den Schüler:innen ausgehandelt werden; zum Beispiel können das Maß der Vorstrukturierung, Hilfekarten und verschiedene Dokumentationsformate verwendet werden (Winter 2018). Insbesondere Logbücher, in denen – neben wissenschaftlichen Protokollen – individuelle Erkenntnisse und „Lernhürden“ dokumentiert werden können, stellen hier eine Möglichkeit dar (Wildt 2009), die auch für dialogische Rückmeldeformate genutzt werden können (s. Kap. 3.2). Während einige Kinder bereits mit längeren Anleitungen für die Experimente konfrontiert werden können, ist als Strukturierungsmaßnahme die Vorgabe von Checklisten möglich, um das Lernen am gemeinsamen Gegenstand zu erhalten und die Schüler:innen schrittweise in die Lage zu versetzen, Handlungsabläufe selbstständig auszuführen und Erkenntnisse zu generieren (Prenzel 2016).

Ferner können ebenso Elemente des formativen Assessments in der Auswertungsphase von Experimenten genutzt werden, indem auch die Endprodukte in Form von Beobachtung und der Ableitung von Mustern und Regelmäßigkeiten aus diesen genutzt werden. Hierbei können verschiedene Darstellungsformen gewählt werden (Plakate, Workshops für andere Klassen, Ausstellungen, Lernvideos etc.), die zeitgleich sowohl der Sicherung der Erkenntnisse als auch eine vertiefte Auseinandersetzung aus einer anderen sachunterrichtlichen Perspektive erlauben und als zusätzlicher motivationaler Anreiz dienen können (Winter 2018; Prenzel 2016; Seitz & Wilke 2021). Ebenso ist es in diesen Phasen möglich, Peers als ‚critical friends‘ einzubinden und ohne (benotete) schriftliche Tests ein Monitoring über den Lernertrag des Experimentes durchzuführen, um diese für anschließende Lernschritte oder Wiederholungen zu nutzen (Seitz & Wilke 2021; Wilke et al. 2023). Hierfür ist jedoch bereits im Vorfeld ein Dialog über Leistungen notwendig.

3.2 Dialogische Rückmeldungen als Beispiel für eine Lernprozessbegleitung im Sachunterricht

Die ständige Rückkopplung von Informationen zwischen Lehrer:innen und Schüler:innen stellt im formativen Assessment eine zentrale Gelingensbedingung dar. Hierfür können einerseits standardisierte Lernentwicklungsgespräche und Lernkontrakte genutzt werden (ausführlich Winter 2018), allerdings auch informelle Dialoge über das Lernen (Wilke et al. 2023). Dies dient dazu, die Förderung im Unterricht eng auf die aktuellen Fähigkeiten und Lernbedürfnisse der Schüler:innen abzustimmen und nächste Schritte, Hilfen und weiterführende Aufgaben entlang dieser zu planen und gemeinsam zu strukturieren (Beutel 2020; Seitz & Simon 2018). Dies lässt sich ebenso auf das Experiment als teilweise geöffnete Lernform beziehen. So kann gemeinsam über Hypothesen und Fragestellungen diskutiert werden; das Für und Wider gewisser Vorgehensweisen abgewogen werden, ohne dass Schüler:innen im Vorfeld (beispielsweise durch unterschiedliche Aufgaben und Arbeitsaufträge) besonders werden. Vielmehr stellt die Heterogenität der Gruppe quasi ein Garant für lebhafte Debatten und diagnostische Potenziale dar (Seitz 2006). In der Durchführungsphase sind Lehrkräfte, wenn die Experimente hinreichend passgenau strukturiert sind, freigestellt für Beobachtungen des Lernens und Nachfragen zu stellen, zu unterstützen und durch Nachfragen vertiefte Einblicke in das Lernen der Schüler zu bekommen.⁶ Im folgenden Kapitel wird daher ein Beispiel für Material zur Unterstützung von Lernbegleitungsprozessen gegeben, das als Illustrierung der obigen theoretischen Überlegungen dient.

4 Möglichkeiten der Implementation – Chancen und Grenzen

Die theoretischen Überlegungen zur prozessbezogenen Diagnostik sind in der Breite allgemeindidaktischer Natur (u. a. Winter 2018), sodass sie an fachdidaktische Herausforderungen anzupassen sind (u. a. Seitz 2004). Im Folgenden werden daher, fußend auf den Ausführungen von Geiß & Schumann (in diesem Band), an beispielhaften Experimenten für den Sachunterricht mögliche Selbst- und Fremdbeurteilungsbögen vorgestellt, anhand derer Lehrkräfte und Schüler:innen in den Dialog über das Lernen und Leisten im Unterricht gehen können. Geist und Schumann (ebd.) fokussierten dabei auf das Urphänomen Feuer, zu dem Schüler:innen bereits in verschiedenen Formen Berührungspunkte auf diversen Kanälen sammeln können: Kerzen, Kamine, Grillen, Gasherde oder Lagerfeuer im Kontext der Freizeit und des Familienlebens, in religiösen Kontexten oder durch die Medien in Formen von Dokumentationen, Nachrichten oder in Formen von Geschichten und Märchen. Es kann entsprechend davon ausgegangen werden, dass es universelle Vorerfahrungen bei den Schüler:innen zum Themenfeld Feuer gibt, die als Ausgangslage des Lernprozesses aufgefasst werden

6 Entsprechende Methoden, Vorgehensweisen und Strukturhilfen finden sich hierfür bei Beutel und Pant (2020) und Winter (2018).

können. Hierfür eignen sich beispielsweise verschiedene Verfahren im Plenum, wie im Beitrag vorgestellt, jedoch können auch individualisierte Verfahren verwendet werden, in denen die Schüler:innen sich aktiv mit ihren eigenen Erfahrungshorizonten befassen und diesen bezogen auf den Gegenstand zusammenfassen können. In Tabelle 4 sind hier beispielsweise Fragen, die als Initiation in das Thema Feuer dienen können.

Tabelle 4: Erhebungen des Vorwissens und der Vorerfahrungen von Schüler:innen zum Thema Feuer

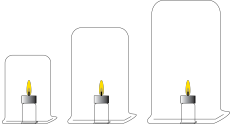














Welche Gegenstände können brennen?
Welche Gegenstände brennen nicht?
Wie kann ein Feuer entzündet werden?
Wofür kann man Feuer verwenden?
Welche Gefahren gibt es, wenn man mit Feuer arbeitet?
Was passiert mit Dingen, die brennen?
Beschreibe, wie du ein Feuer anzünden kannst.

Entlang dieser Vorgehensweise können dann Entscheidungen in Bezug auf die Differenzierungsmöglichkeiten innerhalb der folgenden Stunden und Experimente getroffen werden, sodass für alle Lernenden auf ihrer individuellen Ebene ein Forschen entlang der Grenzen der eigenen (naturwissenschaftlichen) Konzepte ermöglicht wird. Entsprechend werden dann Dokumentationshilfen/Protokolle mit bestimmten Fokussierungen versehen, sodass alle Schüler:innen zwar Zugang zu identischen Lerninhalten haben, jedoch individuelle Schwerpunkte in der Arbeit setzen, um bestmöglich entlang ihrer aktuellen Lernbedürfnisse zu arbeiten. Hierbei kann auch die Übung zum Anzünden eines Streichholzes eingebaut werden, falls dies nötig erscheint.

Bezogen auf die verschiedenen Experimente ist in diagnostischer Perspektive wichtig, dass diese möglichst selbstständig bearbeitet werden können, sodass die Lehrkraft weniger in Koordinationsaufgaben eingebunden ist. Somit ist sie „freigestellt“, um sich aktiv mit der Begleitung und Beratung einzelner zu befassen, um somit auch während der Bearbeitung zentrale Informationen über das Lernen zu gewinnen (Bohl 2009; Seitz & Wilke 2021). Hierfür ist es wichtig, dass die Arbeitsschritte gut strukturiert sind, sodass ein selbstständiges Experimentieren möglich ist. Weiter bedarf es einer begleitenden Dokumentation der Ergebnisse in einer Dokumentationshilfe, die geeignet ist, später durch ein Versuchsprotokoll abgelöst zu werden. Eine derartige Dokumentationshilfe dient den Schüler:innen dazu, wichtige Beobachtungen und Erkenntnisse zu fixieren, und gibt der Lehrkraft zusätzlich einen Kurzeinblick in das bisherige Arbeiten, wenn sie vorher eine andere Gruppe/eine:n andere:n Schüler:in beraten hat, und minimiert hier blinde Flecken in der Diagnostik. Bezogen auf das Experiment zum Brennen von Teelichtern unter Bechergläsern kann die Dokumentationshilfe wie folgt gestaltet werden (vgl. Abb. 1). In dieser können nicht nur die Ergebnisse der jeweiligen

Schüler:innen(gruppen) festgehalten werden, sondern auch in einem Schreibgespräch Ergebnisse von Mitschüler:innen und der Lehrkraft kommentiert werden. Auf diese Weise können bereits im Prozess selbst eigene Gedanken noch einmal überdacht und ggf. verändert werden. Der Lehrkraft bietet die Dokumentation auch das Nachvollziehen von Gedankengängen und Beobachtungen, ohne diese direkt beobachtet zu haben.

Tabelle 5: Exemplarischer Dokumentationsbogen für die kooperative Beurteilung wissenschaftlicher Erkenntniswege

Die Kerzen unter verschiedenen Bechergläsern: Was braucht eine Kerze eigentlich zum Brennen?	Kommentar Mitschüler:in	Kommentar Lehrkraft		
 <p>Quelle: Geiß (2017: 80)</p>	(Farbe)	(Farbe)		
Was passiert, wenn du die Bechergläser über die Kerzen stellst? Notiere deine Vermutung:	Ich verstehe deine Vermutung!			
				
Warum glaubst du, dass genau das passiert?	Ich verstehe deine Erklärung			
				
Beschreibe genau, welche Beobachtungen du gemacht hast.	Diese Beobachtungen habe ich auch gemacht!			
	Diese Beobachtung habe ich nicht gemacht!			
	Diese Beobachtung habe ich auch noch gemacht!		Bitte aufschreiben!	
Meine Vermutung ist eingetroffen!				
Was ist mit dem Wachs passiert? Was ist mit der Flamme passiert? Ist unter den verschiedenen Bechergläsern etwas anders gewesen?				

Auf Basis dieser Ergebnisse können verschiedene Schritte in der Begleitung gewählt werden. Zuerst könnten die Schüler:innen im Zuge einer Peer-Beratung gemeinsam ihre Ergebnisse vergleichen und besprechen. Hierbei können die Fragen aus der Dokumentationshilfe einer Strukturierung der Gespräche über das zurückliegende Experi-

ment dienen.⁷ Diese Gespräche unter den Schüler:innen können wiederum dokumentiert und/oder vorgestellt werden. Dieses Vorgehen stellt die Lehrkraft wiederum frei, um weitere Beobachtungen während der Präsentation der Ergebnisse zu erhalten und vertiefte Einblicke in die Denkweisen einzelner Schüler:innen innerhalb der Gruppen erschließen zu können.

Abschließend kann eine Abschluss-/Anschlussdiagnose vorgenommen werden, die ohne den Bedarf einer Bewertung im Sinne einer Leistungsbewertung, sondern im Sinne einer Selbstkontrolle für die Schüler:innen und die Lehrkraft ausgefüllt werden:

Tabelle 6: Abschluss- und Anschlussdiagnose

Ich habe heute etwas Neues gelernt:	
Ich habe verstanden:	
Ich nehme eine neue Frage mit:	

Diese Antworten können sowohl der Lehrkraft zur Evaluation dienen, ob die geplanten Stundenziele von den Schüler:innen erreicht worden sind. Andererseits können die Schüler:innen auf diese Weise im Sinne des forschenden Lernens ihr eigenes Lernen reflektieren und für sich neue, relevante und weiterführende Facetten und Fragen zum Thema in den Unterricht einbringen und damit aktiv an der weiteren Ausgestaltung ihres Lernens beteiligt werden.

Die Potenziale des formativen Assessments für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht und insbesondere das Arbeiten an naturwissenschaftlichen Experimenten liegen entsprechend der obigen Ausführungen in der Verzahnung von Begleitung des Lernens und der Diagnostik. Das offene und zeitgleich strukturierte Arbeiten in diesem Setting schafft für Lehrkräfte den notwendigen Freiraum für diagnostische Beobachtungen, die in Gesprächen mit den Schüler:innen an deren Wahrnehmung rückgekoppelt werden. Dabei entsteht nicht nur ein Mehrwert für die Schüler:innen durch bessere Passungen zwischen ihren Lernbedürfnissen und -bedarfen, sondern es kann auch als Motor für die Unterrichtsentwicklung verstanden werden, ohne einen signifikant erhöhten Zeitbedarf mit sich zu bringen, da das Arbeiten am Experiment und die diagnostische Arbeit der Lehrkraft synchron und aufeinander bezugnehmend stattfinden.

Grenzen des Vorgehens ergeben sich in diesem Zusammenhang durch die Struktur von Lehrplänen und den Anschlussaufgaben des Sachunterrichts (s. o.), sodass hier ein verstärkter Kommunikationsbedarf und Absprachen im Kollegium notwendig werden, da sonst die Gefahr besteht, dass das eigene Handeln im Verborgenen – d. h. auf den eigenen Unterricht beschränkt – bleibt und Kooperation mit anderen Lehrkräften erschwert/unmöglich wird (u. a. Reh & Wilke 2021; Wilke & Reh 2023). Auf der rein unterrichtspraktischen Ebene bedarf es dabei einer Abkehr von einem lehrerzentrierten

⁷ Im Sinne einer Differenzierung können die Strukturierungshilfen aus reduziert werden, oder in bestimmten Bereichen können die Schüler:innen bereits vorher in Gruppen- oder Partnerarbeit überlegen, wie bestimmte Felder ausgefüllt werden können. Hier ist auch die Hilfe der Lehrkraft denkbar – beispielsweise, wenn einzelne Schüler:innen durch Unsicherheiten im sprachlichen Bereich Probleme oder Hemmungen haben.

Vorgehen und einer Offenheit gegenüber den Fragen und Bedarfen der Schüler:innen. Eine Haltung des Zutrauens in die Schüler:innen und ein Überdenken der eigenen Rolle – von einem Darbieten und Erklären hin zu einem Begleiten und Beraten – erscheinen dabei als Gelingensbedingungen für formatives Assessment und Lernprozessbegleitung im Sachunterricht.

Literatur

- Artelt, Cordula; Demmrich, Anke & Baumert, Jürgen (2001): Selbstreguliertes Lernen. In: Baumert et al. (2001) (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich, 271–298. https://doi.org/10.1007/978-3-322-83412-6_8
- Asbrand, Barbara & Bietz, Carmen (2019): Wissenschaftliche Begleitung und Versuchsschule: Was man aus der Evaluation schulischer Projekte über Schulentwicklung lernen kann. In: Die Deutsche Schule 111(1), S. 78–90. <https://doi.org/10.31244/ddS.2019.01.08>
- Asbrand, Barbara & Martens, Matthias (2021): Kollaboration von Wissenschaft und Schulpraxis. Zum Potenzial der dokumentarischen Evaluationsforschung für die Schul- und Unterrichtsentwicklung. In: Zala-Mezö et al. (2021) (Hrsg.): Die Dokumentarische Methode in der Schulentwicklungsforschung. Münster: Waxmann, 217–236.
- Bäumel-Roßnagl, Maria-Anna (1979): Sachunterricht in der Grundschule. Michael Prögel Verlag: Anbach.
- Bennett, Randy Elliot (2011): Formative assessment: a critical review. In: Assessment in Education: Principles, Policy and Practice, 18, 5–25. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2010.513678>
- Beutel, Silvia-Iris (2020): Entwicklung und Implementation innovativer Leistungskonzepte. In: Beutel, Silvia-Iris & Pant, Hans Anand (2020) (Hrsg.): Lernen ohne Noten. Alternative Konzepte der Leistungsbeurteilung. Stuttgart: Kohlhammer, 149–196. <https://doi.org/10.17433/978-3-17-034271-2>
- Beutel, Silvia-Iris & Pant, Hans Anand (2020): Lernen ohne Noten. Alternative Konzepte der Leistungsbeurteilung. Stuttgart: Kohlhammer. <https://doi.org/10.17433/978-3-17-034271-2>
- Bietz, Carmen; Asbrand, Barbara & Rosenberger, Desirée (2019): Schulentwicklung durch Evaluation. Rückmeldungen für sich nutzen. In: Lernende Schule, 88, 34–37.
- Black, Paul & Wiliam, Dylan (1998): Assessment and Classroom Learning. In: Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 5(1), 7–74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Black, Paul & Wiliam, Dylan (2009): Developing the theory of formative assessment. In: Educational Assessment, Evaluation and Accountability, 21, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>

- Blumberg, Eva (2008): Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule – Eine Studie zum Einfluss von Strukturierung in schülerorientierten Lehr-Lernumgebungen auf das Erreichen kognitiver, motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen. Münster: Westfälische Wilhelms-Universität.
- Bohl, Thorsten (2009): Prüfen und Bewerten im offenen Unterricht. Weinheim und Basel: Beltz.
- Bohl, Thorsten & Kucharz, Diemut (2010): Offener Unterricht heute: konzeptionelle und didaktische Weiterentwicklung. Weinheim und Basel: Beltz.
- Bohrmann, Mareike & Möller, Kornelia (2015): Förderung experimenteller Kompetenzen im Sachunterricht der 3. Klasse. In: Maurer, Christian (2016) (Hrsg.): Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Berlin 2015. Regensburg: Universität Regensburg, 270–272.
- Börnert, Moritz (2014): Lernverlaufsdiagnostik – Definition, Einsatzbereiche und Perspektiven für die pädagogische Praxis. In: Potsdamer Zentrum für Empirische Inklusionsforschung (ZEIF), 2, 1–8.
- Dunn, Karee E. & Mulvenon, Sean W. (2009): A critical review of research on formative assessment: The limited scientific evidence of the impact of formative assessment in education. In: Practical Assessment, Research and Evaluation, 14(7), 1–11.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht (2. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Giest, Hartmut (2017) (Hrsg.): Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret. Begleitband 4 zum Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Groeben, Annemarie von der (2013): Verschiedenheit nutzen. Aufgabendifferenzierung und Unterrichtsplanung. Berlin: Cornelsen.
- Harlen, Wynne (2012): On the relationship between assessment for formative and summative purposes. In: Gardner, John (2012) (Hrsg.): Assessment and Learning. London: Sage, 87–102. <https://doi.org/10.4135/9781446250808.n6>
- Hartinger, Andreas; Grygier, Patricia; Tretter, Tobias; Ziegler, Florian (2013): Lernumgebungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren (Modul für SINUS an Grundschulen). Kiel: IPN Verlag. Häsel-Weide, Uta; Seitz, Simone; Wallner, Melina; Wilke, Yannik & Heckmann, Lara. (2021): Mit Aufgaben im inklusiven Mathematikunterricht professionell umgehen – Erkenntnisse einer Interviewstudie mit Lehrpersonen der Sekundarstufe. In: QfI – Qualifizierung für Inklusion, 3(1), <https://doi.org/10.21248/qfi.57>
- Hattie, John & Timperley, Helen (2007): The Power of Feedback. In: Review of Educational Research, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hebbecker, Karin & Souvignier, Elmar (2018): Formatives Assessment im Leseunterricht der Grundschule – Implementation und Wirksamkeit eines modularen, materialgestützten Konzepts. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 21, 735–765, <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0834-y>.
- Helsper, Werner (2021): Professionalität und Professionalisierung pädagogischen Handelns: Eine Einführung. Opladen: Budrich. <https://doi.org/10.36198/9783838554600>

- Ingenkamp, Karlheinz & Lissmann, Urban (2008): Lehrbuch der Pädagogischen Diagnostik. Weinheim und Basel: Beltz.
- Jürgens, Eiko (2006): Lebendiges Lernen in der Grundschule. Ideen und Praxisbausteine für einen schüleraktiven Unterricht. Weinheim und Basel: Beltz.
- Jürgens, Eiko (2010): Leistung und Beurteilung in der Schule. Eine Einführung in Leistungs- und Bewertungsfragen aus pädagogischer Sicht. Sankt Augustin: Academia.
- Jürgens, Eiko (2013): Leistungsverständnis – Eine Klärung vorweg. Über die Funktionen schulischer Leistungsbeurteilung. In: SchulVerwaltung Spezial, 14, 1/2013, 8–10.
- Jürgens, Eiko (2018): Leistungsbeurteilung. In: Harring et al. (2018) (Hrsg.): Handbuch Schulpädagogik. Münster: Waxmann, 505–514.
- Jürgens, Eiko & Lissmann, Urban (2015): Pädagogische Diagnostik. Grundlagen und Methoden der Leistungsbeurteilung in Schulen. Weinheim und Basel: Beltz.
- Kingston, Neal & Nash, Brooke (2011): Formative assessment: A meta-analysis and a call for research. In: Educational Measurement: Issues and Practice, 30, 28–37, <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.2011.00220.x>.
- Klauer, Karl Josef (2014): Formative Leistungsdiagnostik: Historischer Hintergrund und Weiterentwicklung zur Lernverlaufsdiagnostik. In: Hasselhorn et al. (2014) (Hrsg.): Lernverlaufsdiagnostik. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik – Tests und Trends. Göttingen u. a.: Hogrefe, 1–17.
- Langner, Anke; Ritter, Matthias; Steffens, Jan & Jugel, David (2019) (Hrsg.): Inklusive Bildung forschend entdecken: Das Konzept der kooperativen Lehrer:innenbildung. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25515-2>
- Maier, Uwe (2014): Formative Leistungsdiagnostik in der Sekundarstufe – Grundlegende Fragen, domänenspezifische Verfahren und empirische Befunde. In: Hasselhorn et al. (2014) (Hrsg.): Lernverlaufsdiagnostik. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik – Tests und Trends. Göttingen u. a.: Hogrefe, 19–41.
- Maier, Uwe (2020): Modellierung der Effekte lernzielorientierter Tests nach dem Prinzip des mastery measurement innerhalb einer digitalen, formativen Leistungsmessung. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 23, 769–791. <https://doi.org/10.1007/s11618-020-00958-6>
- Martens, Matthias (2015): Differenz und Passung: Differenzkonstruktionen im individualisierenden Unterricht der Sekundarstufe. In: Zeitschrift für Qualitative Forschung, 16(2), 211–230. <https://doi.org/10.3224/zqf.v16i2.24326>
- Martens, Matthias (2018): Individualisieren als unterrichtliche Praxis. In: Proske, Matthias & Rabenstein, Kerstin (2018) (Hrsg.): Kompendium qualitative Unterrichtsforschung. Unterricht beobachten – beschreiben – rekonstruieren. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 207–222.
- Martens, Matthias (2020): Heterogenität aus Sicht von Schüler:innen: Empirische Befunde zum individualisierten Unterricht in der Sekundarstufe. In: Kampshoff, Marita & Wiepcke, Claudia (2020) (Hrsg.): Vielfalt in Schule und Unterricht. Konzepte und Debatten im Zeichen der Heterogenität. Stuttgart: Kohlhammer, 125–138.

- Miller, Susanne & Kottmann, Brigitte (2016): Und dann war das auch noch so ein kleines, zartes Persönchen. Grundschullehrkräfte im Entscheidungsdilemma zwischen Fördern und Selektieren. In: Amrhein, Bettina (2016) (Hrsg.): Diagnostik im Kontext inklusiver Bildung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 154–167.
- Pinger, Petra; Rakoczy, Katrin; Besser, Michael & Klieme, Eckhard (2018): The interplay of formative assessment and instructional quality. Interactive effects on students' mathematics achievement. In: Learning Environments Research, 21(1), 61–79. <https://doi.org/10.1007/s10984-017-9240-2>
- Prenzel, Annedore (2016): Didaktische Diagnostik als Element alltäglicher Lehrerarbeit – „Formatives Assessment“ im inklusiven Unterricht. In: Amrhein, Bettina (2016) (Hrsg.): Diagnostik im Kontext inklusiver Bildung – Theorien, Ambivalenzen, Akteure, Konzepte. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 49–63.
- Prenzel, Annedore (2017): Individualisierung in der „Caring Community“ – Zur inklusiven Verbesserung von Lernleistungen. In: Textor et al. (2017) (Hrsg.): Leistung inklusive? Inklusion in der Leistungsgesellschaft. Band II: Unterricht, Leistungsbewertung und Schulentwicklung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 13–27.
- Reh, Anne & Schroeder, René (2024): Fachliche und soziale Teilhabe als Auftrag – Adaptivität als Strategie inklusiver (Sach-)Bildung? In: Bosse et al. (Hrsg.): Internationale und demokratische Perspektiven auf Inklusion und Chancengerechtigkeit. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 305–312. <https://doi.org/10.35468/6072-35>
- Reh, Anne & Wilke, Yannik (2021): Lehrerkooperation im Kontext habitualisierter Abgrenzungspraktiken im inklusiven Unterricht: Ein Regressions-Innovations-Dilemma. In: Zeitschrift für Inklusion, (4), <https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/607>.
- Schäfer, Holger & Rittmeyer, Christel (2021) (Hrsg.): Handbuch Inklusive Diagnostik. Weinheim und Basel: Beltz.
- Schroeder, René; Franzen, Katja & Reh, Anne (2023): Diagnostische Potenziale von Lernaufgaben im Sachunterricht fach- und entwicklungsbezogen analysieren und nutzbar machen. In: QfI- Qualifizierung für Inklusion, 5(1), <https://doi.org/10.21248/qfi.100>.
- Schroeder, René; Blumberg, Eva; Kottmann, Brigitte; Miller, Susanne & Reh, Anne (2021): Chancen des inklusionsorientierten Sachunterrichts für didaktisch-diagnostisches Handeln – Konzeptionelle und methodologisch-methodische Grundlagen eines forschungsbasierten Entwicklungsansatzes für die Lehrer:innenbildung. In: QfI- Qualifizierung für Inklusion, 3(2), <https://doi.org/10.21248/qfi.74>.
- Schütze, Birgit; Souvignier, Elmar & Hasselhorn, Marcus (2018): Stichwort – Formatives Assessment. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 21, 697–715. <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0838-7>
- Seitz, Simone (2004): Wie fühlt sich die Zeit an? Ästhetische Zugangsweisen zum Phänomen Zeit. widerstreit-sachunterricht, Online magazine 2 (3). <https://www.widerstreit-sachunterricht.de/ebeneI/didaktiker/seitz/zeit.pdf>
- Seitz, Simone (2006): Inklusive Didaktik: Die Frage nach dem ‚Kern der Sache‘. In: Zeitschrift für Inklusion, 1(1), <https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/184>.

- Seitz, Simone (2020): Dimensionen inklusiver Didaktik – Personalität, Sozialität und Komplexität. In: Zeitschrift für Inklusion, (2), <https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/570>.
- Seitz, Simone & Simon, Toni (2018): Grundlagen und Prinzipien diagnostischen Handelns im inklusiven Sachunterricht. In: Pech et al. (2018) (Hrsg.): Sachunterrichtsdidaktik & Inklusion. Ein Beitrag zur Entwicklung. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengrehren, 80–95.
- Seitz, Simone; Pfahl, Lisa; Lassek, Maresi; Rastede, Michaela & Steinhaus, Friederike (2016): Hochbegabung inklusive: Inklusion als Impuls für Begabungsförderung an Schulen. Weinheim und Basel: Beltz.
- Seitz, Simone; Häsel-Weide, Uta; Wilke, Yannik; Wallner, Melina & Heckmann, Lara (2020): Expertise von Lehrpersonen für inklusiven Mathematikunterricht der Sekundarstufe – Ausgangspunkte zur Professionalisierungsforschung. In: k:ON – Kölner Online Journal für Lehrer:innenbildung, 2, 50–69.
- Seitz, Simone; Hamisch, Katharina; Kaiser, Michaela; Slodczyk, Nadine & Wilke, Yannik (2020): Inklusive Schulkulturen unter widersprüchlichen Vorzeichen. In: Dietze et al. (2020) (Hrsg.): Inklusion – Partizipation – Menschenrechte: Transformationen in die Teilhabegesellschaft?. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 251–258.
- Seitz, Simone & Wilke, Yannik (2021): „Dann hab’ ich das einfach gemacht“ Leistungsbeurteilung im inklusiven Unterricht der Sekundarstufe I. In: Schule inklusiv, 11, 35–36.
- Simon, Toni (2017): Vielperspektivität im Sachunterricht – Annäherungen an inklusionspädagogische und -didaktische Begründungslinien. In: Giest et al. (Hrsg.), Vielperspektivität im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 177–184.
- Souvignier, Elmar; Förster, Natalie & Schulte, Elisabeth (2014): Wirksamkeit formativen Assessments – Evaluation des Ansatzes der Lernverlaufsdiagnostik. In: Hasselhorn et al. (2014) (Hrsg.): Lernverlaufsdiagnostik. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik – Tests und Trends. Göttingen u. a.: Hogrefe, 221–238.
- Steffensky, Mirjam (2022): Chemische Aspekte. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 141–145.
- Textor, Annette, Kullmann, Harry & Lütje-Klose, Birgit (2014): Eine Inklusion unterstützende Didaktik. Rekonstruktionen aus der Perspektive inklusionserfahrener Lehrkräfte. Jahrbuch für Allgemeine Didaktik (4), 69–91.
- Thurn, Susanne (2017): Leistungsbewertung und Vielfalt – Oder: Umgang mit den Widersprüchen des Systems. In: Pädagogik, 9, 6–9.
- Thurn, Susanne (2019): Inklusives Schulsystem. In: M. Haring, C. Rohlf & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.) Handbuch Schulpädagogik. Münster & New York: Waxmann, 103–115.
- van den Boom, Gerard; Paas, Fred; van Merriënboer, Jeroen J. G. & van Gog, Tamara (2004): Reflection prompts and tutor feedback in a web-based learning environment: effects on students’ self-regulated learning competence. In: Computers in Human Behavior, 20(4), 551–567.

- von Bargen, Imke (2017): Zum Leistungsverständnis von Lehrkräften im inklusiven Alltag – Einblicke in eine qualitative Längsschnittstudie. In: Textor et al. (2017) (Hrsg.): *Leistung inklusive? Inklusion in der Leistungsgesellschaft*. Band II: Unterricht, Leistungsbewertung und Schulentwicklung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2003.10.001>
- Wildt, Johannes (2009): Forschendes Lernen: Lernen im „Format“ der Forschung. In: *Journal Hochschuldidaktik*, Jg. 20 (2009), Heft 2, S. 4–7.
- Wilke, Yannik (2021): Ist mein Unterricht inklusiv? Vorstellung einer Reflexionshilfe zur Anregung forschenden Lernens im Praxissemester des Lehramtsstudiums für sonderpädagogische Förderung an der Universität Paderborn. In: *DiMawe – Die Materialwerkstatt*, 3(4), 49–56, <https://doi.org/10.11576/dimawe-4402>.
- Wilke, Yannik; Knerndel, Holger & Schmidt, Tim Lukas (2023): Lernprozessbegleitung partizipativ gestalten. Konzeptionen der Laborschule und mögliche Entwicklungsfelder. In: *Schule – Forschen – Entwickeln*, 2 (1).
- Wilke, Yannik & Reh, Anne (2023): Ungenutzte Innovationspotenziale inklusiver Unterrichts- und Schulentwicklung: Mechanismen der Abgrenzung und Regression von Innovationen durch funktionelle Regelverstöße. In: *Empirische Pädagogik*, 37(3), 5–21.
- Winter, Felix (2017): Neue Formen der Leistungsbeurteilung. In: *Pädagogik*, 9, 14–18.
- Winter, Felix (2018): *Lerndialog statt Noten. Neue Formen der Leistungsbewertung*. Weinheim [u. a.]: Beltz.
- Yin, Yue; Shavelson, Richard J.; Ayala, Carlos C.; Ruiz-Primo, Maria Araceli; Brandon, Paul R.; Furtak, Erin Marie; Tomita, Miki & Young, Donald B. (2008): On the Impact of Formative Assessment on Student Motivation, Achievement, and Conceptual Change. In: *Applied Measurement in Education*, 21(4), 335–359, <https://doi.org/10.1080/08957340802347845>.

Didaktisch-Diagnostische Betrachtung von Lehr-Lernsituationen – Experimentieren mit Feuer

RENÉ SCHROEDER, ANNE REH

1 Didaktische Diagnostik im Kontext naturwissenschaftlichen Sachunterrichts

Als Ausgangspunkt eines lernwirksamen Unterrichts sind die individuellen Schüler:innenvorstellungen sowie das Wissen der Lehrkräfte über eben diese Vorstellungen von zentraler Bedeutung (Möller 2019). Dies gilt als notwendige Bedingung, um ein Lernen in der Zone der nächsten Entwicklung zu ermöglichen (Möller 2018). Damit schließt ein Verständnis naturwissenschaftlichen Lernens an, das die Veränderung bzw. Ausdifferenzierung (vor-)fachlicher Konzepte, also Conceptual Change, als eine wesentliche Zielsetzung des Unterrichts ansieht (Lange & Ewerhardy 2014). Aus diesem Verständnis heraus fokussiert diagnostisches Handeln im Kontext naturwissenschaftlichen Unterrichts zunächst die Erfassung individueller Präkonzepte sowie deren Veränderung im Verlauf des Unterrichts als Gradmesser für fachliches Lernen (Junge & Steffensky 2019).

Insbesondere mit Blick auf chemische Phänomene gilt es, nicht nur Schüler:innenvorstellungen im Vorfeld des Unterrichts zu erfassen, sondern explizit auch die Entwicklung „hausgemachter“ Fehlvorstellungen durch ungeeignete Modelle, Veranschaulichungen oder Analogien zu vermeiden, die durch den ggf. hohen Abstraktionsgrad theoretischer Erklärungen besonders leicht entstehen können (Barke, Harsch & Schmid 2012). Insbesondere Prozesse, die kontraintuitiv sind, zum Beispiel, dass Verbrennen nicht bedeutet, ein Stoff ist vernichtet, sind mögliche Hürden (Junge & Steffensky 2019). Multiple Abstraktionsebenen zwischen konkret erfahrbarem, makroskopischer Phänomenebene (z. B. Brennen einer Kerze), submikroskopischer Ebene (z. B. freiwerdende exotherme Energie durch Aufbrechen der Molekülverbindungen im Brennstoff und Rekombination zu neuen Molekülen) sowie Modellebene (z. B. Teilchenvorstellungen) stellen besondere Herausforderungen dar und können daher zu Bruchstellen im Verstehensprozess führen (Abels 2019). Unter chemischer Perspektive sind dabei Schüler:innenvorstellungen zum Thema Stoffe (GDSU 2013; MSB NRW 2021) von Bedeutung. Zentrale Aspekte des Kernkonzeptes Stoffe sind „Eigenschaften und physikalische Veränderungen“, „Struktur-Eigenschafts-Beziehungen“, „Chemische Reaktionen“ und das Prinzip der „Erhaltung“ (Hadenfeldt et al. 2018). Für das Grundschulalter spielt der Teilaspekt Eigenschaften und Veränderungen, sowohl auf physikalischer (z. B. Verdunsten) als auch chemischer (z. B. Verbrennen) Ebene, die größte Rolle, da hier besonders leicht an den alltäglichen Erfahrungen der Kinder angeknüpft werden kann, wohingegen der

Teilchenaspekt in dieser Altersgruppe nur schwer vermittelbar erscheint (ebd.). Demnach lassen sich Verbrennungsprozesse („eine Kerze verbrennt“) vorrangig auf der Ebene veränderter Eigenschaften verstehen.

„Ein tatsächliches Verständnis dieser Prozesse ist nur mithilfe eines differenzierteren Teilchenmodells möglich. Nach unserer Einschätzung reicht es auf dieser Stufe zunächst aus, wenn Kinder die Veränderungen beschreiben und Bedingungen der Veränderungen untersuchen.“ (ebd.: 108 f.)

Didaktisch-diagnostisches Handeln im Sinne adaptiver Lehrkompetenz (Brühwiler 2014) beinhaltet dabei nicht nur die Erfassung von Schüler:innenvorstellungen vor dem Unterricht als Zone der aktuellen Entwicklung und eine darauf aufbauende Planung hin zur vermuteten Zone der nächsten Entwicklung, sondern es geht auch um den begleitenden Umgang mit artikulierten (Fehl-)Vorstellungen im Fortgang des Unterrichts (Junge & Steffensky 2019; Möller 2018). Sowohl auf der Planungs- wie auch der Handlungsebene des Unterrichts ergibt sich ein stetes Wechselspiel didaktischer und diagnostischer Anteile, was sich auf Seiten der Lehrkraft als adaptive Lehrkompetenz (Brühwiler & Vogt 2020) beschreiben lässt. Didaktische Planungsentscheidungen fußen auf diagnostischen Kenntnissen über die heterogenen Schüler:innenvorstellungen, die jeweiligen didaktischen Entscheidungen führen zu einem Lernangebot, in dem sich Schüler:innen, z. B. durch Experimente und Beobachtungen, mit ihren Vorstellungen auseinandersetzen können und diese ggf. auf Basis der gemachten Erfahrungen verändern. Diesen Prozess begleitet die Lehrkraft, nimmt gezielt artikuliert Vorstellungen wahr und reagiert adaptiv, um den Lernprozess zu unterstützen, indem Scaffolds oder zusätzliche Erklärungen gegeben, Fragen gestellt, Veranschaulichungen (neu) gewählt oder Hilfen gewährt werden (Adamina 2019; Lange-Schubert & Tretter 2017). Diese enge Rückkopplung zwischen didaktischem und diagnostischem Handeln, in Form einer didaktischen bzw. unterrichtsbezogenen Diagnostik, wird als hoch bedeutsam für die Gestaltung inklusiven (Sach-)Unterrichts angesehen (Liebers et al. 2013; Seitz & Simon 2018). Im Mittelpunkt steht nicht ein vermutetes Lerndefizit oder -problem eines Kindes, sondern die unterrichtliche Passung zwischen Lernangebot und individuellen Lernvoraussetzungen bzw. -interessen, sodass Adaptivität zum Kernmerkmal eines daran orientierten Sachunterrichts wird (Simon 2015). Es geht um das Verstehen unterrichtlicher Lehr-Lernsituationen mit dem Ziel, daraus didaktische Entscheidungen ableiten zu können, die das individuelle Lernen fördern (Wocken 2013).

Mit Blick auf die Komplexität sachunterrichtlicher Lernsituationen in stark heterogenen Lerngruppen (Kaiser & Seitz 2017) ist die Frage zu stellen, ob ein diagnostisch-didaktisches Vorgehen, das sich vorrangig auf fachbezogene Schüler:innenvorstellungen fokussiert und damit Conceptual Change in das Zentrum inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts rückt (Lange-Schubert & Tretter 2017), ausreicht. Denn es lassen sich eine Vielzahl individueller, sozialer, didaktischer, medialer, ökologischer wie auch professioneller Ressourcen und Barrieren ausmachen (Wocken 2013), die zu einem Gelingen oder Scheitern von Bildungs- und Lernprozessen beitragen können. Ebenso vollzieht sich Lernen nicht nur auf einer fachlich-inhaltlichen

Ebene, sondern durch die vielfältigen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen im Sachunterricht (GDSU 2013), z. B. Experimentieren, Laborieren, Beobachten, Messen etc., spielen auch entwicklungsbezogene Aspekte, z. B. im Bereich Motorik, Wahrnehmung, Emotion oder Kommunikation, eine bedeutende Rolle (Kahlert 2022; Lange-Schubert & Kahlert 2022). All diese Aspekte beeinflussen demnach, ob es gelingt, individuell anschlussfähige Lernangebote zu gestalten, die fachliches Lernen und soziale Teilhabe für alle Schüler:innen (Reh & Schroeder 2024) ermöglichen.

Welche gegenstandsbezogenen Herausforderungen sich beispielsweise beim Experimentieren mit Feuer über die Bearbeitung und Vermeidung von Fehlvorstellungen hinaus ergeben, wird folgend anhand einer exemplarisch ausgewählten realen Unterrichtsvignette diskutiert. Die Vignette wurde im Rahmen des Projektes DiPoSa (Didaktisch-diagnostische Potenziale des inklusionsorientierten Sachunterrichts) im Sachunterricht aufgezeichnet. Das Projekt DiPoSa und die Analysefolie, unter der die Szene betrachtet wird, werden im Folgenden vorgestellt.

2 Diagnosetool DiPoSa

Dem Leitsatz „inclusion for all, and especially for some“ (Lindmeier & Lütje-Klose 2015: 9) folgend wird im Projekt DiPoSa eine inklusionsorientierte Diagnostik im Sinne aller Kinder verfolgt (Simon & Simon 2014). Entsprechende Voraussetzungen, um eine solche umsetzen zu können, sind verschiedenste Kompetenzen, die sich im adaptiven Planungs- und Unterrichtshandeln von Lehrkräften manifestieren (Brühwiler & Vogt 2020). Für Aus- und Weiterbildungskontexte wurde im Projekt DiPoSa ein Analysetool in enger Zusammenarbeit mit Sachunterrichtslehrkräften (Schroeder et al. 2021; 2023, Reh et al. 2024) erarbeitet, welches die zielgerichtete Analyse von sachunterrichtlichen, kindbezogenen, strukturellen und lehrkraftseitigen Voraussetzungen im Sinne einer inklusionsorientierten Diagnostik ermöglicht (s. Abb. 1).

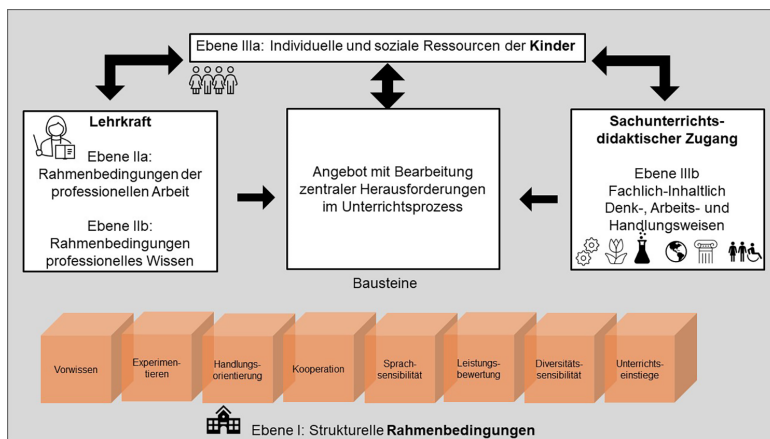


Abbildung 1: Analysetool DiAna (eigene Abbildung)

Innerhalb des Tools sind vier Analyseebenen verankert. So soll dieses nicht nur das Lehrer:innenhandeln in den Blick nehmen bzw. hierfür Reflexionsanlässe bieten, sondern auch die Frage fokussieren, unter welchen strukturellen Rahmenbedingungen Lehr-Lern-Interaktionen stattfinden, da beispielsweise räumliche und materielle Ausstattungsbedingungen eine Anpassung der Planung und Durchführung von Unterricht erfordern können (Wocken 2013). Ebenso sollen in der Analyse die individuellen Voraussetzungen der Kinder (Schomaker 2020), d. h. z. B. bestehende Schüler:innenvorstellungen, methodische Vorkenntnisse oder aufgabenrelevante motorische oder soziale Kompetenzen, in den Blick genommen werden (Wocken 2013; Kahlert & Heimlich 2014), da diese Ausgangspunkte unterrichtlicher Adaptionen sind. Zuletzt steht der fachlich-inhaltliche Anforderungsbereich des Sachunterrichts (u. a. GDSU 2013) im Fokus der Analysen, der mit Blick auf den fachimmanenten Bildungsauftrag (Köhnlein 2022) den konkreten Rahmen und die darin verankerten Bildungs- bzw. Lernziele des Unterrichts vorgibt.

Das Tool findet dabei im Rahmen der entwickelten Aus- und Fortbildungsmodule des Projektes in der Analyse exemplarisch ausgewählter Videosequenzen Anwendung. Diese wurden 2022 an verschiedenen Grundschulen des Gemeinsamen Lernens aufgezeichnet. Videografiert wurden ganze Unterrichtseinheiten im Sachunterricht in verschiedenen Klassenstufen, zu verschiedensten Themen. In einem engen Austausch mit Lehrkräften wurden im Anschluss Vignetten erstellt, die ein besonderes Potenzial für Lehrkontexte aufweisen.

3 Falldarstellung: Experimentieren mit Feuer

Exemplarisch wird im Folgenden eine videografierte Situation zum „Experimentieren mit Feuer“ in einer dritten Klasse vorgestellt und analysiert, um die didaktisch-diagnostischen Anforderungen, Potenziale und Herausforderungen beim Experimentieren im Sachunterricht, mit Schwerpunkt auf das Experimentieren zum Phänomenkreis (Spreckelsen 1997) Feuer, zu verdeutlichen. Die videografierte Stunde orientiert sich strukturell an der Idee „naturwissenschaftlicher Lernumgebungen“ nach Hartinger et al. (2013). Ziel dieser ist es, dass „Schülerinnen und Schüler nicht *kochrezeptartig* Versuche abarbeiten, sondern entweder selbst und *selbstständig Fragen nachgehen* oder – bei vorgegebenen Versuchen – den Auftrag haben, *eigene Erklärungen zu generieren*.“ (Hartinger et al. 2013: 8).

In der exemplarisch ausgewählten Szene besuchen die Kinder zum Experimentieren eine sogenannte Forscherwerkstatt, innerhalb derer das Experimentiersetting von zwei erfahrenen Lehrkräften angeboten wird. Es ist immer nur die Hälfte einer Klasse zugegen. Zu Beginn der Stunde sitzen die Kinder im Stuhlkreis zusammen und berichten über ihre Erfahrungen zum Thema Feuer und wiederholen die Sicherheitsregeln für das Experimentieren mit Feuer. Im Anschluss daran findet eine Phase des Experimentierens statt. Die Kinder sollen insgesamt sechs Experimente zum Phänomenkreis durchführen. Durch die Experimentierumgebung sollen die Kinder sich

erklären können, unter welchen Voraussetzungen eine Verbrennungsreaktion stattfinden kann. Hier spielt das sogenannte Verbrennungsdreieck im weiteren Verlauf eine zentrale Rolle.

Die einzelnen Experimente sind an verschiedenen Stationen vorbereitet und werden in 2er-Gruppen bearbeitet. An den Stationen sind alle Materialien zu finden, die für die Durchführung des Experiments benötigt werden, ebenso die Versuchsanleitung mit zielführenden Fragen zur Reflexion. Die dokumentierte Situation findet an der Station „Feuer unter Glas“ statt. Ziel des Experiments ist es zu zeigen, dass Feuer Luft bzw. Sauerstoff benötigt und die Dauer, die die Flamme unter Glas brennt, von der Größe des Becherglases abhängig ist, Sauerstoff also eine quantifizierbare Größe ist.

Auf Ebene der *strukturellen Rahmenbedingungen* werden verschiedenste Setzungen deutlich, die für das adaptive Planungshandeln relevant erscheinen. So ist aufgrund des Sondersettings „Forscherwerkstatt“ und der besonderen räumlichen Ausstattung die Arbeit in Kleinstgruppen (2–3 Kinder) möglich. Auch die Anzahl der aufgebauten Stationen und benötigten Materialien orientiert sich daran. Des Weiteren ist das Material wenig differenziert, der Betreuungsschlüssel aber hoch. Für das Experimentieren mit Feuer ist die Schule entsprechend gut ausgestattet.

Nachfolgend werden einzelne Schlüsselszenen vertiefend dargestellt und mit Blick auf die verschiedenen Ebenen des Analysetools analysiert. Dabei werden vor allem Szenen fokussiert, die für den Phänomenkreis Feuer von besonderer Bedeutung sind.

3.1 Erste Schritte beim Experimentieren mit Feuer

Azad versucht mehrfach, das Streichholz über die Fläche an der Seite der Schachtel zu streichen. Das Streichholz entzündet sich jedoch nicht.

Marek: „Geht nicht die andere Seite?“ Daraufhin dreht Azad die Schachtel und versucht es von der anderen Seite. Indes geht Marek einen Schritt zurück und schaut dabei auf die Hände von Azad. Die Lehrkraft (LK) hockt neben dem Tisch und schaut zu. Als sich das Streichholz entzündet, hält Azad dieses schnell an den Docht des ersten Teelichts. Marek atmet beim Entzünden des Streichholzes tief ein und beugt sich nach hinten, weg von der Flamme. Er betrachtet mit Abstand seinen Partner. Azad zündet unterdessen das erste Teelicht an und versucht auch das Zweite zu entzünden. Dabei ist das Streichholz bereits weit heruntergebrannt und er dreht es mit der Flamme nach oben und betrachtet es. Die LK sagt: „Hinlegen, hinlegen, hinlegen“, bleibt aber weiter in der Hocke und greift nicht körperlich ein. Das Streichholz wird immer kürzer. Die LK schaut weiterhin zu. Marek ruft etwas lauter: „Oha, puste aus!“. Daraufhin pustet Azad das Streichholz aus, betrachtet dieses genauer und zeigt Marek das abgebrannte Streichholz mit den Worten: „Oha! Das ist bis hier oben gekommen!“

Im Kontext der Szene werden verschiedene Barrieren sichtbar, die sich auf *Ebene der Kinder* beim Experimentieren mit Feuer ergeben. Mit Fokus auf Azad werden dabei andere Herausforderungen deutlich als bei der Betrachtung von Marek: So ist beim Anzünden eines Streichholzes eine gewisse feinmotorische Geschicklichkeit vonnöten, um das Streichholz nicht durch zu großen Druck durchzubrechen oder durch zu geringen Druck oder fehlende Dynamik beim Streichen nicht genug Reibung zu erzeugen. Eine Frage der Auge-Hand-Koordination ist das Anzünden der beiden Kerzen und auch

das Handling des brennenden Streichholzes. Dieses scheint neben den motorischen Anforderungen auch eine gewisse Ablenkung zu beinhalten, sodass die eigentliche Schrittfolge der Experimentierableitung in den Hintergrund tritt. So schaut Azad das brennende Streichholz genauer an, anstatt die Kerze wie vorgegeben anzuzünden. Er betrachtet das abgebrannte Streichholz genauer, anstatt in der Versuchsanweisung weiter fortzufahren.

Marek hingegen zeigt in dieser, aber auch in weiteren Szenen, Reaktionen, die als mindestens Unsicherheit, wenn nicht Angst oder Unwohlsein im Umgang mit Feuer gedeutet werden können. So lehnt er sich weit weg von der Flamme nach hinten oder atmet tief und laut ein, sobald sich das Streichholz entzündet. Für beide Kinder spielt also auch das emotionale Erleben, hier Ängstlichkeit, dort Faszination, eine Rolle für den sachunterrichtlichen Lern- und Arbeitsprozess (Böse & Spiegler 2022).

Auf *Ebene der Lehrkraft* wird indes mehreres deutlich: Sie muss das Experiment und dessen Ablauf gut kennen, um die Kinder im Prozess unterstützen zu können. Die Lehrkraft fungiert primär als Beobachterin und schreitet zu keinem Zeitpunkt körperlich ein. Sie gibt lediglich Hinweise oder stellt Hilfsfragen an die Kinder. Damit schafft sie die Möglichkeit für die Kinder, entsprechende Erfahrungen zu machen und auch eigenaktiv den Versuch durchzuführen. Die Lehrkraft wartet geduldig und beschleunigt die Durchführung nicht, etwa indem sie den Kindern einzelne Schritte abnimmt, wie z. B. das Anzünden der Teelichter, was insgesamt mehrere Minuten beansprucht.

Auf *Ebene des Sachunterrichts* ist diese Art der Unterstützung im Kontext der jeweiligen Bildungsziele zu reflektieren. Durch ihr Nicht-Einschreiten gibt die Lehrkraft Raum, Erfahrungen zu machen und entsprechende Kompetenzen aufzubauen, die es den Kindern später erlauben, sich in ihrer Umwelt zu „orientieren, mitzuwirken und zu handeln.“ (GDSU 2013: 9)

3.2 Reflexion und Wiederholung des Experiments

Die Kinder führen das Experiment durch. Die LK will, nachdem die Flammen beide erloschen sind, wissen, was die Kinder beobachten konnten und fragt: „Was hast du gesehen?“.

Marek: „Die hat sich ausgepustet.“

LK: „Was genau ist mit der Flamme passiert? Wurde die wirklich ausgepustet?“ und macht dazu eine Bewegung mit der Hand vor ihrem Gesicht, um das „Pusten“ zu untermalen.

Azad: „Nein, aber es ist ausgegangen.“ Weitere Beobachtungen konnten die Kinder nicht beschreiben. Nach Aufforderung der LK wiederholen die Kinder den Versuch und die LK hält die Kinder immer wieder dazu an, genau hinzuschauen und fragt: „Was seht ihr?“, „Was kannst du beobachten?“ Nach dem zweiten Durchlauf, in dem die beiden Kerzen wieder zu verschiedenen Zeitpunkten unter den verschiedenen großen Gläsern ausgehen, fragt Azad die LK: „Hä? Warum ist das so?“.

Im Sinne der Einheit von Denken und Sprechen für das Verstehen im Sachunterricht (Schroeder & Miller 2021) wird nochmals die Bedeutung von Sprache bzw. möglicher Sprachbarrieren deutlich. Um wirklich zu beschreiben, was passiert, benötigen die Kinder einen gewissen fachbezogenen Wortschatz (Rank et al. 2016). Insbesondere wird durch Mareks Sprachwahl deutlich, dass die Unterstützung in der Beobachtung

nicht ausreichend ist, sondern vielmehr auch gezielte Scaffolds, als Form der Mikro-adaption (Hardy et al. 2011), in der Kommunikation über das Experiment benötigt werden. Des Weiteren wird erkennbar, wie herausfordernd der Prozess des Beobachtens der beiden Kerzen ist. So müssen diese simultan über einen längeren Zeitraum fokussiert werden. Es muss deutlich werden, dass die Flammen kleiner werden, schließlich erlöschen und hierbei die Flamme unter dem großen Glas länger brennt als die Flamme unter dem kleinen Glas (*Ebene des Sachunterrichts*).

Die *Lehrkraft* gibt durch ihre Fragen keine Details preis, die die Kinder nicht in ihren Beschreibungen kommunizieren. Stattdessen fragt die Lehrkraft mit einer mehrfach umformulierten Frage, was passiert ist, und fordert eine Beschreibung des Geschehens ein. Deutlich wird im Gespräch, dass die Kinder nicht den gesamten Hergang schildern können. Daher wird das Experiment wiederholt. Die Lehrkraft achtet nochmals verstärkt darauf, den Aufmerksamkeitsfokus der Kinder auf das Experiment zu lenken. Nachdem Azad beobachtet, dass die Kerzen zu verschiedenen Zeitpunkten erlöschen, formuliert er eine Frage. Diese bezieht sich direkt auf das beobachtete Phänomen, ist in der Folge Ausgangspunkt der Reflexion des Versuchs und bietet Anknüpfungspunkte für eine vertiefende fachliche Klärung. Eine produktive Irritation scheint somit vorhanden, als Grundlage für eine weitere Konzeptentwicklung (Möller 2019).

4 Diskussion

In der Betrachtung der Situation zeigen sich übergreifende individuelle Barrieren (*Ebene Kind*) im Lernprozess (Leseverstehen etc.), aber auch phänomenspezifische Barrieren (*Ebene Sachunterricht*), die für das Thema Feuer und in der Stunde konkret beim Experimentieren mit Feuer berücksichtigt werden müssen. So entstehen Barrieren durch eine noch nicht erfolgte Auseinandersetzung bzw. fehlende Erfahrungen mit dem Gegenstand selbst, die sich beispielsweise in der Ablenkung durch das brennende Streichholz zeigen. Dies lenkt vom eigentlichen Versuchsaufbau ab oder hemmt, in Form von Ängsten bzw. der beobachtbaren Unsicherheit, den Experimentierprozess. Gleichzeitig sind Barrieren zu beobachten, die sich aus dem Experimentieren mit der Sache selbst ergeben. So ist das gezeigte Phänomen schwer zu beobachten, da es eine fokussierte Aufrechterhaltung der eigenen Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum erfordert sowie die simultane Betrachtung von zwei Kerzen und den sich parallel vollziehenden Prozessen des allmählichen Erlöschens der Flammen. Weiterhin stellt der Versuchsaufbau feinmotorische Anforderungen im Umgang mit dem Streichholz und den Kerzen, die im konkreten Beispiel für eine Verzögerung im Ablauf sorgen, da die Kinder lange benötigen, um die Kerzen korrekt zu entzünden. Zuletzt ergeben sich sprachliche Barrieren, die die Kommunikation über die Sache bzw. die Verbalisierung der eigenen Beobachtung erschweren. So ist unsicher, ob mit der Beschreibung „Die hat sich ausgepustet.“ ein Verweis auf eine Fehlvorstellung oder einen Beobachtungsfehler auf Seiten des Kindes vorliegt oder es schlicht eine Ungenauigkeit im sprachlichen Ausdruck ist.

Während des gesamten Experimentiervorgangs unterstützt die Lehrkraft durch Hilfsfragen, Scaffolds, kognitive Aktivierungsstrategien und positive Bestärkung (Adamina 2019; Möller 2016), also im Sinne mikroadaptiver Strategien (*Ebene: Lehrkraft*). Letztendlich schafft sie es so, das Phänomen für die Kinder sichtbar zu machen und den Gegenstand in den Fragenhorizont der Kinder zu rücken. Dies gelingt aber nur, da sich die Lehrkraft viel Zeit nimmt, nichts vorsagt oder vormacht, sondern die Kinder im selbstständigen Handeln unterstützt. Es findet ein permanenter Anpassungsprozess zwischen „diagnostiziertem“ Fortschreiten im Lern- und Arbeitsprozess und notwendiger „didaktischer“ Konsequenz im Lehrkrafthandeln statt, der sich als Form didaktisch-diagnostischen Handelns bzw. adaptiver Lehrkompetenz beschreiben lässt (Schroeder et al. 2023).

Kritisch zu diskutieren wäre in diesem Kontext das Sondersetting (*Ebene strukturelle Rahmenbedingungen*), in dem das Experimentieren angeboten wird. Die Lehrkraft hat Gelegenheit, sehr lange in der Gruppe zu verweilen, was in einem normalen Klassensetting mit doppelt so vielen Kindern und einem ungünstigeren Betreuungsschlüssel, vor allem bezüglich des fachdidaktisch qualifizierten Personals, kaum umzusetzen wäre. So sind in der Übertragung auf andere Settings bereits die strukturellen Rahmenbedingungen zu reflektieren und die Planung und Aufbereitung der Materialien entsprechend anzupassen. Denkbar wäre es z. B. im Vorfeld mit Kindern das Anzünden der Streichhölzer zu üben bzw. einen Erfahrungsraum zu schaffen, in dem durch den Aufbau von Routinen in der Handhabung Ängste abgebaut und Ablenkungen für das spätere Experimentieren minimiert werden können.

5 Fazit

In der Situationsanalyse zeigt sich, dass fachliche, auf den Phänomenkreis Feuer bezogene, als auch individuelle Voraussetzungen und Zugänge der Kinder eine bedeutende Rolle im Lehr-Lern-Prozess spielen. Um (Fehl-)Vorstellungen in den Blick nehmen zu können oder die Fragwürdigkeit einer Sache deutlich zu machen, ist auf Seiten der Lehrkraft entsprechendes Fachwissen in Verbindung mit fachdidaktischem Wissen sowie diagnostischen Fähigkeiten erforderlich. Diese bilden die Grundlage, um kindliche Zugänge, Vorstellungen und Lernvoraussetzungen analysieren und eine adaptive Unterstützung im Lernprozess anbieten zu können. (Fach-)didaktische und diagnostische Tätigkeitsanteile greifen hier eng ineinander. Hindernisse im Lernprozess sind dabei in Teilen abhängig von der Sache selbst (z. B. Ängste oder auch motorische Anforderungen) sowie dem damit verbundenen kindlichen Erfahrungshorizont. Dies zeigt sich besonders deutlich durch die Möglichkeitsräume, die die Lehrkraft schafft, um den Kindern eine handlungsorientierte Umsetzung des Experiments zu ermöglichen, die einer bloßen und schnellstmöglichen Abarbeitung des Arbeitsauftrags entgegensteht. Damit stellt die Lehrkraft den Erkenntnisprozess in den Fokus ihres didaktisch-diagnostischen Handelns.

Damit zeigt sich, dass didaktisch-diagnostisches Handeln im Sachunterricht, insbesondere mit Fokus auf die Bezugswissenschaft Chemie, weit mehr umfasst als die Berücksichtigung kindlicher Vorstellungen. Denn die Anbahnung von Conceptual-Change-Prozessen setzt die erfolgreiche Bearbeitung vieler anderer Hürden voraus, die insbesondere in stark heterogenen Lerngruppen immer vielfältiger werden. Diese Herausforderungen sind vom konkreten Phänomen abhängig und müssen bereits in der Planung durch die Lehrkraft bedacht werden. Didaktisch-diagnostisches Handeln unter fachdidaktischer Perspektive vollzieht sich somit immer in der Relation von Kind, Sache und (Lebens-)Welt (Schroeder 2016).

Literatur

- Abels, Simone (2019): Inklusion und Exklusion im naturwissenschaftlichen Unterricht. In B. Baumert & M. Willen (Hrsg.), *Zwischen Persönlichkeitsbildung und Leistungsentwicklung. Fachspezifische Zugänge zu inklusivem Unterricht im interdisziplinären Diskurs*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 129–135.
- Adamina, Marco (2019): Lernen unterstützen – adaptiv-konstruktiv lehren. In P. Labudde & S. Metzger (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaften. 1.-9. Schuljahr*. Bern: Haupt [UTB]. 3. Aufl., 183–196.
- Barke, Hans-Dieter (2006): *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Heidelberg: Springer.
- Barke, Hans-Dieter; Harsch, Günther & Schmid, Siegbert (2012): Learners Ideas and Misconceptions. In: *Essentials of Chemical Education*. Berlin, Heidelberg: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-21756-2_1
- Böse, Sarah & Spiegler, Juliane (2022): Zur Relevanz der Erforschung von Emotionen im Sachunterricht – ein Plädoyer. *widerstreit sachunterricht*, 2022(26), 1–12. <https://doi.org/10.25673/92536.2>
- Brühwiler, Christian & Vogt, Franziska (2020): Adaptive teaching competency. Effects on quality of instruction and learning outcomes. *Journal for educational research online*, 2020(1), 119–142.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht* (2. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hadenfeldt, Jan Christoph; Neumann, Irene; Neumann, Knut & Steffensky, Mirjam (2018): Stoffe, Energie und Bewegungen beschreiben, untersuchen und nutzen – Schülervorstellungen. In M. Adamina, M. Kübler, K. Kalcsics, S. Bietenhard & E. Engeli (Hrsg.), *„Wie ich mir das denke und vorstelle ...“ Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 103–120.
- Hardy, Ilonca; Hertel, Silke; Kunter, Mareike; Klieme, Eckhard; Warwas, Jasmin; Büttner, Gerhard & Lühken, Arnim (2011): Adaptive Lerngelegenheiten in der Grundschule. Merkmale, methodisch-didaktische Schwerpunktsetzungen und erforderliche Lehrerkompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 57(6), 819–833.

- Hartinger, Andreas; Grygier, Patricia; Tretter, Tobias & Ziegler, Florian (2013): Lernumgebungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren. In: Handreichungen des Programms SINUS an Grundschulen http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_SGS/Handreichung_Hartinger_et_al_fuer_web.pdf
- Junge, Katharina & Steffensky, Mirjam (2019): Diagnostik von Vorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In F. Zimmermann, J. Möller & T. Riecke-Baulecke (Hrsg.), *Basiswissen Lehrerbildung: Schulische Diagnostik und Leistungsbeurteilung*. Seelze: Kett Kallmeyer. 116–127.
- Kahlert, J. (2022): *Der Sachunterricht und seine Didaktik* (5. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB]. <https://doi.org/10.36198/9783838558585>
- Kahlert, Joachim & Heimlich, Ulrich (2014): Inklusion als Aufgabe des Bildungssystems, insbesondere der Grundschule. In: Einsiedler, W.; Götz, M.; Hartinger, A.; Heinzel, F.; Kahlert, J. & Sandfuchs, U. (Hrsg.): *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik*, Bad Heilbrunn, 4. Aufl., 104–116.
- Kaiser, Astrid & Seitz, Simone (2017): *Inklusiver Sachunterricht. Theorie und Praxis*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Köhnlein, Walter (2022): Aufgaben und Ziele des Sachunterrichts. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB]. 3. Aufl., 100–109.
- Lange, Kim & Ewerhardy, Anne (2014): Naturwissenschaftliches Lehren und Lernen. In A. Hartinger & K. Lange (Hrsg.), *Sachunterricht – Didaktik für die Grundschule* (S. 35–56). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Lange-Schubert, Kim & Kahlert, Joachim (2022): Inklusion im Sachunterricht – Ansprüche, Chancen, Herausforderungen. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB]. 3. Aufl., 76–83.
- Lange-Schubert, Kim & Tretter, Tobias (2017): Inklusives Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Vom guten Unterricht in heterogenen Lerngruppen. In F. Hellmich & E. Blumberg (Hrsg.), *Inklusiver Unterricht in der Grundschule*. Stuttgart: Kohlhammer. 268–293.
- Liebers, Katrin; Maier, Petra; Prengel, Annedore & Schönknecht, Gudrun (2013): Pädagogische Diagnostik und Lernwege von Kindern im inklusiven Sachunterricht. In S. Wittkowske & K. v. Maltzahn (Hrsg.), *Lebenswirklichkeit und Sachunterricht. Erfahrungen – Ergebnisse – Entwicklungen*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 48–62.
- Lindmeier, Christian & Lütje-Klose, Birgit (2015): Inklusion als Querschnittsaufgabe in der Erziehungswissenschaft. *Erziehungswissenschaft*, 2015(51), 7–16. <https://doi.org/10.3224/ezw.v26i2.21065>
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalens (Hrsg.) (2021): *Lehrplan für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen. Fach Sachunterricht Auszug aus Heft 2012 der Schriftenreihe „Schule in NRW“, Sammelband: Lehrpläne Primarstufe, RdErl. d. Ministeriums für Schule und Bildung v. 01.07.2021 – 526-6.08.01.13–150096*.

- Möller, Kornelia (2016): Bedingungen und Effekte qualitätvollen Unterrichts – ein Beitrag aus fachdidaktischer Perspektive. In N. McElvany & W. Bos (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts*. Münster: Waxmann. 43–64.
- Möller, Kornelia (2018): Die Bedeutung von Schülervorstellungen für das Lernen im Sachunterricht. In M. Adamina, M. Kübler, K. Kalcsics, S. Bietenhard & E. Engeli (Hrsg.), *„Wie ich mir das denke und vorstelle ...“ Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 35–50.
- Möller, Kornelia (2019): Lernen von Naturwissenschaften heißt Vorstellungen verändern. In P. Labudde & S. Metzger (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaften*. 1.-9. Schuljahr. Bern: Haupt [UTB]. 3. Aufl., 59–74.
- Rank, Astrid; Wildemann, Anja & Hartinger, Andreas (2016): Sachunterricht – der geeignete Ort zur Förderung von Bildungssprache? *www.widerstreit-sachunterricht.de*, 22(Oktober 2016), 1–7.
- Reh, Anne & Schroeder, René (2024): Fachliche und soziale Teilhabe als Auftrag – Adaptivität als Strategie inklusiver (Sach-)Bildung? In: IFO Tagungsband. 305–312. <https://doi.org/10.35468/6072-35>
- Reh, Anne; Thevißen, Max; Schroeder, René; Miller, Susanne & Blumberg, Eva (2024): Didaktisch-diagnostische Potenziale inklusionsorientierten Sachunterrichts: Alternative Zugangsweisen partizipativer Forschung und diagnostischen Handelns von Lehrkräften. In: Tagungsband GDSU. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 27–36. <https://doi.org/10.35468/6077-03>
- Schomaker, Claudia (2020): Bedingungen und Voraussetzungen der Schüler*innen. In S. Tänzer, R. Lauterbach, E. Blumberg, F. Grittner, J. Lange & C. Schomaker (Hrsg.), *Sachunterricht begründet planen. Das Prozessmodell Generativer Unterrichtsplanung Sachunterricht (GUS) und seine Grundlagen*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 2. Aufl., S. 78–94.
- Schroeder, René (2016): Diagnostik im inklusiven Sachunterricht – Zwischen Fachbezug und Lebenswelt. In H. Giest, T. Goll & A. Hartinger (Hrsg.), *Sachunterricht – zwischen Kompetenzorientierung, Persönlichkeitsentwicklung, Lebenswelt und Fachbezug* (Bd. 26). Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 75–83.
- Schroeder, René & Miller, Susanne (2021): "Weil in der Sonne ist richtig viel Licht" – Analyse schriftsprachlichen Ausdrucksvermögens bei der Erhebung von Schüler*innen-vorstellungen zum Thema Erde, Mond und Sonne im Weltall. In U. Franz, H. Giest, M. Haltenberger, A. Hartinger, J. Kantreiter, K. Michalik (Hrsg.), *Sache und Sprache. Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 55–62.
- Schroeder, René; Blumberg, Eva; Kottmann, Brigitte; Miller, Susanne & Reh, Anne (2021): Chancen des inklusionsorientierten Sachunterrichts für didaktisch-diagnostisches Handeln – Konzeptionelle und methodologisch-methodische Grundlagen eines forschungsbasierten Entwicklungsansatzes für die Lehrer*innenbildung. *Qfl – Qualifizierung für Inklusion*, 3(2), 1–18. <https://doi.org/10.21248/qfi.74>

- Schroeder, René; Franzen, Katja & Reh, Anne (2023): Diagnostische Potenziale von Lernaufgaben im Sachunterricht fach- und entwicklungsbezogen analysieren und nutzbar machen. *Qfl – Qualifizierung für Inklusion*, 5(1). <https://doi.org/10.21248/qfi.100>
- Seitz, Simone & Simon, Toni (2018): Grundlagen und Prinzipien diagnostischen Handelns im inklusiven Sachunterricht. In D. Pech, C. Schomaker & T. Simon (Hrsg.), *Sachunterrichtsdidaktik & Inklusion. Ein Beitrag zur Entwicklung*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren. 80–95.
- Simon, Toni (2015): Adaption – woran und wofür? Adaption als Kerngeschäft inklusionsorientierter Sachunterrichtsdidaktik. In K. Liebers, B. Landwehr, A. Marquardt & K. Schlotter (Hrsg.), *Lernprozessbegleitung und adaptives Lernen in der Grundschule: Forschungsbezogene Beiträge* (S. 229–234). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-11346-9_30
- Simon, Jaqueline & Simon, Toni (2014): Inklusive Diagnostik – Wesenszüge und Abgrenzung von traditionellen "Grundkonzepten" diagnostischer Praxis. Eine Diskussionsgrundlage. *Zeitschrift für Inklusion*, (4). <https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/194>
- Spreckelsen, Kay (1997): Phänomenkreise als Verstehenshilfe. In W. Köhnlein, B. Marquardt-Mau & H. Schreier (Hrsg.), *Kinder auf dem Weg zum Verstehen der Welt*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 111–127.
- Wocken, H. (2013): *Das Haus der inklusiven Schule. Baustellen – Baupläne – Bausteine* (4. Aufl.). Hamburg: Feldhaus.

Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen Sachunterricht und Chemieunterricht

ALINA TUM UND MAIK WALPUSKI

1 Einleitung

Der Sachunterricht ist ein vielperspektivisch angelegtes Fach, welches von den Erfahrungen und der Lebenswelt der Kinder ausgeht. Er muss anschlussfähig an die Lernvoraussetzungen sein, die die Schüler:innen aus ihrem vor- und außerschulischen Umfeld mitbringen, und soll gleichzeitig einen Anschluss für das in Fachkulturen angelegte Wissen ermöglichen, welches in den weiterführenden Schulen auf die Schüler:innen zukommt (GDSU 2013). Dort wird das Fach Sachunterricht als solches nicht mehr unterrichtet. Stattdessen greifen verschiedene gesellschaftswissenschaftliche und naturwissenschaftliche Fächer auf Inhalte zurück, die bereits im Sachunterricht thematisiert wurden (Demuth & Kahlert 2007). Der Sachunterricht endet in der Jahrgangsstufe 4. Während die meisten daran anknüpfenden Fächer in den Jahrgangsstufen 5 oder 6 erstmalig unterrichtet werden, setzt das Fach Chemie häufig erst in der Jahrgangsstufe 7 oder 8 ein. Daraus resultiert eine mindestens zweijährige Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht, in dem innerhalb der naturwissenschaftlichen Perspektive bereits erste chemiebezogene Kompetenzen angebahnt werden, und dem daran anknüpfenden Chemieunterricht. Dies macht den Übergang zwischen diesen beiden Fächern besonders herausfordernd.

2 Theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand

Während im Sachunterricht der Fokus auf vielperspektivische Zugänge zu Themen aus der Lebenswelt der Kinder gerichtet wird und dabei zentrale Kompetenzen erworben werden sollen (GDSU 2013), richten die verschiedenen Fachdisziplinen ihren Blick auf fachspezifische Kompetenzen und deren Weiterentwicklung. Für eine erfolgreiche Kompetenzentwicklung im Fach Chemie sollten chemische Inhalte im Unterricht im Sinne des kumulativen Lernens aufeinander aufbauen. Neues Wissen und neue Ideen sollen also mit dem bereits bestehenden Wissen und den bisherigen Erfahrungen in Verbindung gebracht werden, und sie sollen dadurch effizient in das vorhandene Wissensnetz integriert werden (Fischer et al. 2007; Lee 2012; Rother & Walpuski 2018). Für

den Chemieunterricht der Sekundarstufe I wurde zu diesem Zweck bereits eine Strukturierungs-Map entwickelt, die die hierarchischen Zusammenhänge fachlich bedeutsamer Ideen des Chemieunterrichts abbildet (Rother & Walpuski 2020; Celik 2022). Kumulatives Lernen sollte jedoch nicht nur innerhalb des Chemieunterrichts, sondern auch über die Grenzen der am Übergang beteiligten Fächer hinaus angestrebt werden. So soll im Sachunterricht bereits erworbenes Wissen mit den neuen schulischen Anforderungen des Chemieunterrichts in Verbindung gebracht werden, um Brüche im Wissensaufbau und eine voneinander getrennte Abspeicherung zu vermeiden (Hempel 2010). In Nordrhein-Westfalen werden solche kumulativen Lernprozesse durch aufeinander aufbauende Kompetenzformulierungen in den Lehrplänen für beide Fächer angeregt (MSB NRW 2021; MSW NRW 2013; MSW NRW 2008).

Verschiedene Schulleistungsstudien lassen jedoch vermuten, dass nicht alle Lernenden den Übergang erfolgreich bewältigen. So erreichten beispielsweise in TIMSS 2019 72,4% der deutschen Viertklässler:innen ein mittleres bis hohes Kompetenzniveau in den *Naturwissenschaften* (Steffensky et al. 2020), während in PISA 2018 nur 58,4% der deutschen 15-Jährigen ein vergleichbar hohes Niveau in den *Naturwissenschaften* erreichten (OECD 2019). Im IQB-Bildungstrend aus 2018 zeigten sich ähnliche Ergebnisse für das Fach Chemie. Dort erreichten im Kompetenzbereich *Fachwissen* 56,1% und im Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* 63,3% der Schüler:innen in Deutschland die Regelstandards (Weirich et al. 2019). Ein Teil der Lernenden scheint die naturwissenschaftlichen – und damit auch die chemiebezogenen – Kompetenzen also nach dem Übergang in die Sekundarstufe I nicht in dem Maße weiterzuentwickeln wie vorgesehen. Konkrete Rückschlüsse auf die chemiebezogenen Kompetenzen der Lernenden während der Übergangsphase lassen sich daraus jedoch noch nicht ableiten. Studien, die den Blick auf die Übergänge zwischen dem Sachunterricht und seinen naturwissenschaftlichen Bezugsdisziplinen richten, legten den Fokus bisher eher auf affektive Merkmale der Lernenden (z. B. Möller 2014; Moormann 2015; Pollmeier 2014). Forschung zu chemiebezogenen Kompetenzen von Lernenden und deren Entwicklung bezieht sich bisher auf Zeiträume ab dem ersten Unterrichtsjahr im Fach Chemie (z. B. Bernholt et al. 2020; Celik 2022; Weber 2018). Für jüngere Schüler:innen wurden naturwissenschaftliche oder chemiebezogene Kompetenzen hingegen bisher nur theoretisch erschlossen (z. B. AAAS 2001; Möller 2016; Nuffield Foundation & Collins Educational 1999; Wiser et al. 2012). Es ist demzufolge wenig darüber bekannt, über welche der in der Grundschule erwarteten chemiebezogenen Kompetenzen Schüler:innen zum Ende der Grundschulzeit und zwei Jahre später zu Beginn des Chemieunterrichts tatsächlich verfügen.

3 Ziel und Forschungsfragen

Vor dem Hintergrund der aktuellen Forschungsergebnisse und der herausgearbeiteten Desiderata zielt die vorliegende Untersuchung darauf ab, die in der Grundschulzeit erworbenen chemiebezogenen Kompetenzen von Lernenden zu Beginn und zum Ende der Übergangsphase zwischen Sachunterricht und Chemieunterricht zu beschreiben. Dabei wurden die beiden folgenden Forschungsfragen in den Blick genommen:

- FF1: Über welche der im Sachunterricht erwarteten chemiebezogenen Kompetenzen verfügen Schüler:innen zum Ende der Grundschulzeit?
- FF2: Über welche der chemiebezogenen Kompetenzen aus dem Sachunterricht der Grundschule verfügen Schüler:innen zu Beginn des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I immer noch oder zusätzlich?

4 Methodik und Design

Für die Messung der chemiebezogenen Kompetenzen der Lernenden wurden die im Sachunterricht erwarteten und für das Unterrichtsfach Chemie relevanten Kompetenzen anhand der curricularen Vorgaben für beide Fächer (MSW NRW 2013; MSW NRW 2008) identifiziert und als Grundlage genutzt, um einen Paper-Pencil-Test mit Multiple-Choice-Items zu entwickeln. Angelehnt an die Systematisierung der Kompetenzen im Lehrplan Chemie wurden je 24 Items zum *Fachwissen* (FW) mit den Basiskonzepten *Chemische Reaktion*, *Struktur der Materie* und *Energie* sowie zu den *prozessbezogenen Kompetenzen* (PK) mit den Kompetenzbereichen *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* entwickelt. Es existieren demzufolge acht Items für jede der sechs Unterkategorien. Für jede der je sechs Antwortalternativen müssen Lernende entscheiden, ob diese Antwort richtig oder falsch ist oder ob sie sich diesbezüglich unsicher sind. So kann für jede Antwortmöglichkeit ein Punkt erreicht werden und für jedes Item null bis sechs Punkte. Um die Testzeit zu reduzieren, wurden verschiedene Testheftversionen erstellt, die durch ein Balanced-Incomplete-Block-Design miteinander verknüpft sind.

Zur Validierung des Testinstruments wurde zunächst ein Expertenrating durchgeführt. Nach einer anschließenden Überarbeitung wurde das Testinstrument in einer Pilotstudie mit 760 Schüler:innen der Jahrgangsstufen 4 bis 8 erprobt. Zur Überprüfung der Qualität des Testinstruments wurden sowohl für das *Fachwissen* als auch für die *prozessbezogenen Kompetenzen* IRT-Analysen durchgeführt. Aufgrund des mehrstufigen Antwortformats der Items wurde dazu das Rating-Scale-Modell herangezogen. Es zeigten sich zufriedenstellende Reliabilitäten sowohl für das *Fachwissen* als auch für die *prozessbezogenen Kompetenzen* (Personenreliabilität_{FW} = .75; Itemreliabilität_{FW} = .99; Personenreliabilität_{PK} = .81; Itemreliabilität_{PK} = .99). Geringfügige Überarbeitungen der Items wurden daher nur dort vorgenommen, wo während der Datenerhebungen Verständnisschwierigkeiten seitens der Proband:innen festgestellt wurden.

Anschließend wurde das Testinstrument nach den Sommerferien 2019 in der Hauptstudie eingesetzt. Die Datenerhebung umfasste einen Zeitraum von 90 Minuten

und wurde durch geschulte Testleiter:innen durchgeführt. Neben den chemiebezogenen Kompetenzen wurden auch die *kognitiven Fähigkeiten* mithilfe des KFT 4–12+ R von Heller und Perleth (2000) sowie das *Leseverständnis* mithilfe des LGVT von Schneider et al. (2017) erhoben. Diese dienten als Kontrollvariablen. Die Stichprobe der Hauptstudie umfasste 888 Gesamtschüler:innen aus Nordrhein-Westfalen. Davon befanden sich 464 in der Jahrgangsstufe 5 und damit am Beginn der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht und dem Chemieunterricht und 424 Schüler:innen in der Jahrgangsstufe 7 oder 8, in welcher der Chemieunterricht einsetzt.

5 Ergebnisse

Zur Überprüfung der Qualität des überarbeiteten Tests wurden auch hier IRT-Analysen mithilfe des Rating-Scale-Modells durchgeführt. Es zeigten sich zufriedenstellende Reliabilitäten (Personenreliabilität_{FW} = .74; Itemreliabilität_{FW} = 1,00; Personenreliabilität_{PK} = .81; Itemreliabilität_{PK} = .99). Diese lassen auf eine nach wie vor gute Qualität des Messinstruments schließen.

5.1 Beschreibung der Kompetenzen zu Beginn und zum Ende der Übergangsphase

Um die Kompetenzen der Lernenden zu beschreiben, wurde jede Person auf Grundlage der in den Items erreichten Punktzahlen für jedes Basiskonzept und jeden Kompetenzbereich einem von vier Niveaus zugeordnet. Dabei zeichnet sich ein *hohes Niveau* dadurch aus, dass in mindestens 75 % der zu dem entsprechenden Basiskonzept oder Kompetenzbereich bearbeiteten Items fünf oder sechs Punkte erreicht wurden. Ein *niedriges Niveau* kommt hingegen zustande, wenn in mindestens 75 % aller bearbeiteten Items null, ein oder zwei Punkte erreicht wurden. Ein *mittleres Niveau* konnte auf zwei unterschiedlichen Wegen erreicht werden. Wenn in mindestens 75 % aller bearbeiteten Items drei oder vier Punkte erreicht wurden, wurde der Person ein *homogenes mittleres Niveau* zugeordnet. Wurden innerhalb des Basiskonzepts oder Kompetenzbereichs viele verschiedene Punktzahlen erreicht, sodass keine der zuvor genannten Punktekategorien auf mindestens 75 % der Items zutrifft, dann wird von einem *heterogenen mittleren Niveau* gesprochen.

Abbildung 1 zeigt die Anteile der Lernenden der Jahrgangsstufe 5 auf einem bestimmten Niveau getrennt nach Basiskonzepten und Kompetenzbereichen. Es zeigt sich, dass in allen Basiskonzepten und Kompetenzbereichen nur ein geringer Anteil an Lernenden ein *hohes*, ein *niedriges* oder ein *homogenes mittleres Niveau* erreicht. Die meisten Lernenden befinden sich in allen Bereichen auf einem *heterogenen mittleren Niveau*.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch in Abbildung 2 für die Jahrgangsstufe 7/8. In den drei Kompetenzbereichen der *prozessbezogenen Kompetenzen* sind die Anteile der Lernenden auf einem *hohen Niveau* zwar höher als in der Jahrgangsstufe 5, im Vergleich zum *heterogenen mittleren Niveau* fallen sie aber dennoch eher gering aus.

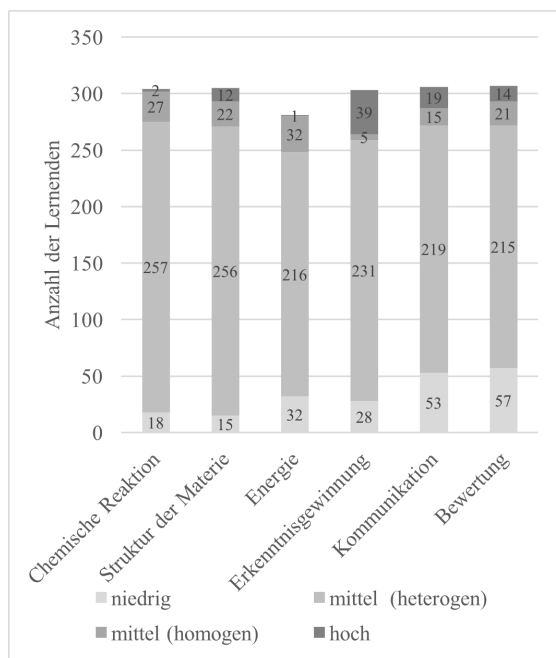


Abbildung 1: Anteil an Lernenden der Jahrgangsstufe 5 auf verschiedenen Niveaus getrennt nach Basiskonzepten und Kompetenzbereichen

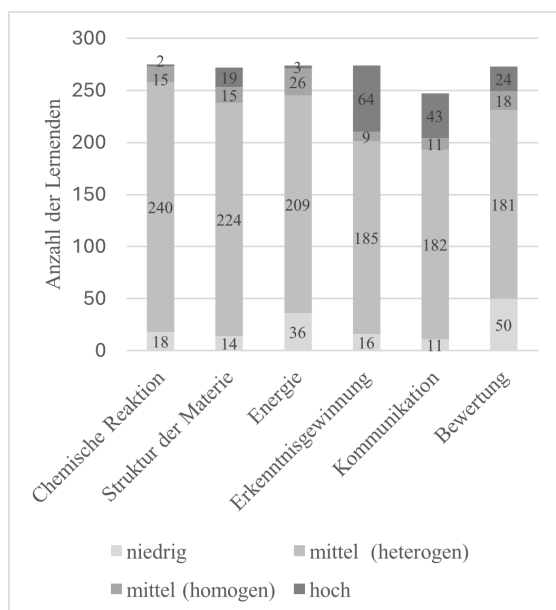


Abbildung 2: Anteil an Lernenden der Jahrgangsstufe 7/8 auf verschiedenen Niveaus getrennt nach Basiskonzepten und Kompetenzbereichen

Für einen Großteil der Lernenden lässt sich also keine Aussage dazu treffen, inwieweit die zum Ende der Grundschulzeit erwarteten Kompetenzen in einem bestimmten Basiskonzept oder Kompetenzbereich beherrscht werden, da die Kompetenzen innerhalb jedes Bereichs sehr heterogen ausgeprägt sind.

Um zu prüfen, ob die Leistungen auch zwischen den Kompetenzbereichen bzw. Basiskonzepten homogen bzw. heterogen sind, wurde in einem weiteren Schritt überprüft, wie viele Lernende in den Basiskonzepten und Kompetenzbereichen dasselbe und wie viele ein unterschiedliches Niveau erreichen. Aufgrund der Gestaltung der Testhefte im Balanced-Incomplete-Blockdesign hat jede Person nur zwei der drei Basiskonzepte und zwei der drei Kompetenzbereiche bearbeitet. Für jede mögliche Kombination aus zwei Basiskonzepten bzw. Kompetenzbereichen wurde dementsprechend überprüft, wie viele Lernende dasselbe oder ein unterschiedliches Niveau erreichten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 für die Jahrgangsstufe 5 und in Tabelle 2 für die Jahrgangsstufe 7/8 in Form von einzelnen Kreuztabellen für jede dieser möglichen Kombinationen zu finden. Die in Graustufen hinterlegten Zellen zeigen jeweils die Anzahl der Lernenden an, die dasselbe Niveau in beiden Bereichen erreichten.

Tabelle 1: Erreichte Niveaus in Jahrgangsstufe 5 – Kreuztabellen zu je zwei Basiskonzepten aus dem Kompetenzbereich Fachwissen oder zu je zwei Kompetenzbereichen der prozessbezogenen Kompetenzen

n = 151		Struktur der Materie			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Chemische Reaktion	niedrig	1	7	0	0
	mittel (het.)	2	111	10	6
	mittel (hom.)	0	9	3	1
	hoch	0	1	0	0

n = 154		Energie			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Struktur der Materie	niedrig	7	4	1	0
	mittel (het.)	20	97	11	0
	mittel (hom.)	0	8	1	0
	hoch	1	3	1	0

n = 153		Chemische Reaktion			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Energie	niedrig	8	22	1	0
	mittel (het.)	2	87	13	1
	mittel (hom.)	0	18	0	0
	hoch	0	1	0	0

n = 151		Kommunikation			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Erkenntnisgewinnung	niedrig	7	6	2	0
	mittel (het.)	25	80	6	6
	mittel (hom.)	0	2	0	0
	hoch	0	11	0	6

(Fortsetzung Tabelle 1)

n = 155		Bewertung			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Kommunikation	niedrig	13	7	1	0
	mittel (het.)	18	87	9	6
	mittel (hom.)	1	5	1	0
	hoch	0	6	0	1

n = 152		Erkenntnisgewinnung			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Bewertung	niedrig	6	19	0	0
	mittel (het.)	7	82	1	20
	mittel (hom.)	0	7	2	1
	hoch	0	6	0	1

Tabelle 2: Erreichte Niveaus in Jahrgangsstufe 7/8 – Kreuztabellen zu je zwei Basiskonzepten aus dem Kompetenzbereich Fachwissen oder zu je zwei Kompetenzbereichen der prozessbezogenen Kompetenzen

n = 135		Struktur der Materie			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Chemische Reaktion	niedrig	4	6	1	0
	mittel (het.)	5	96	4	10
	mittel (hom.)	0	9	0	0
	hoch	0	0	0	0

n = 137		Energie			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Struktur der Materie	niedrig	1	3	1	0
	mittel (het.)	15	87	11	0
	mittel (hom.)	2	5	3	0
	hoch	0	7	0	2

n = 137		Chemische Reaktion			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Energie	niedrig	2	15	1	0
	mittel (het.)	3	100	3	1
	mittel (hom.)	0	8	2	1
	hoch	0	1	0	0

n = 137		Kommunikation			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Erkenntnisgewinnung	niedrig	9	1	0	0
	mittel (het.)	15	67	3	11
	mittel (hom.)	2	2	1	1
	hoch	1	13	0	11

(Fortsetzung Tabelle 2)

n = 135		Bewertung			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Kommunikation	niedrig	4	4	1	0
	mittel (het.)	27	59	7	6
	mittel (hom.)	0	6	1	0
	hoch	0	13	0	7

n = 137		Erkenntnisgewinnung			
		niedrig	mittel (het.)	mittel (hom.)	hoch
Bewertung	niedrig	2	15	1	0
	mittel (het.)	3	63	2	31
	mittel (hom.)	1	7	0	1
	hoch	0	4	0	7

Diese zusätzlichen Analysen der erreichten Niveaus zeigen für beide Teilstichproben, dass die meisten Lernenden entweder in beiden bearbeiteten Bereichen ein *heterogenes mittleres Niveau* erreichen, welches sich durch sehr unterschiedliche Punktzahlen innerhalb des Bereichs auszeichnet, oder dass sie zwei verschiedene Niveaus erreichen, was ebenfalls eine insgesamt heterogene Leistung abbildet. Nur sehr wenige Lernende erreichen innerhalb des *Fachwissens* oder innerhalb der *prozessbezogenen Kompetenzen* immer das *hohe*, das *homogene mittlere* oder das *niedrige Niveau*. Insgesamt zeigt sich folglich ein sehr heterogenes Bild dessen, was die Lernenden an chemiebezogenen Kompetenzen aus dem Sachunterricht mitbringen. Es lassen sich keine konkreten Basiskonzepte oder Kompetenzbereiche benennen, in denen die Kompetenzen im Allgemeinen besonders stark oder schwach ausgeprägt sind.

Eine mögliche Erklärung für diesen Befund könnten die vielen Wahlmöglichkeiten in den Kompetenzformulierungen des zum Zeitpunkt der Erhebung gültigen Lehrplans Sachunterricht (MSW NRW 2008) darstellen. Häufig werden dort *prozessbezogene Kompetenzen* formuliert, zu denen mehrere Fachinhalte benannt werden. Anhand dieser oder anderer Fachinhalte soll die benannte Kompetenz erworben werden. Lehrkräfte können hier also entscheiden, welchen der vorgeschlagenen Inhalte sie auswählen oder ob sie einen anderen Inhalt nutzen, um die beschriebene Kompetenz zu fördern. Dies könnte insgesamt zu einem sehr unterschiedlich ausgeprägten Erwerb chemiebezogener Kompetenzen in verschiedenen Schulen oder sogar in verschiedenen Klassen innerhalb einer Schule führen. So wäre es zum einen denkbar, dass einige der als für das Unterrichtsfach Chemie relevant angesehenen *prozessbezogenen Kompetenzen* im Sachunterricht nicht anhand von chemischen oder sogar nicht anhand von naturwissenschaftlichen Inhalten vermittelt wurden und deshalb auch nicht ohne Weiteres auf chemiebezogene Inhalte übertragen werden können. Zum anderen werden durch die Vermittlung von *prozessbezogenen Kompetenzen* anhand unterschiedlicher Fachinhalte auch unterschiedliche Kompetenzen im Bereich *Fachwissen* vermittelt. So können ein vom Schulstandort abhängiger unterschiedlicher Lebensweltbezug oder auch die unterschiedliche fachliche Expertise von Sachunterrichtslehrkräften dazu führen, dass chemiebezogene Kompetenzen in verschiedenen Klassen mit verschiedenen Schwerpunkten und in unterschiedlicher Intensität vermittelt werden. Zudem ist nicht zu erwarten,

dass der während der Übergangsphase stattfindende Unterricht in den Fächern Biologie, Physik und Naturwissenschaften dazu führt, dass die chemiebezogenen Kompetenzen systematisch weiterentwickelt und somit homogenisiert werden, sodass auch zu Beginn des Chemieunterrichts ein heterogener Leistungsstand vorliegt.

5.2 Vergleich der Kompetenzen zu Beginn und zum Ende der Übergangsphase

Um zu untersuchen, ob sich die chemiebezogenen Kompetenzen der Lernenden während der Übergangsphase trotz des insgesamt heterogenen Bildes weiterentwickeln, wurden die Jahrgangsstufen 5 und 7/8 diesbezüglich miteinander verglichen. Zunächst wurde anhand der Kontrollvariablen überprüft, ob es sich bei den Schüler:innen beider Jahrgangsstufen um Kohorten mit ähnlichen Merkmalen handelt. Es zeigte sich, dass die Lernenden der Jahrgangsstufe 5 mit durchschnittlich 10,31 erreichten Punkten über signifikant höhere *kognitive Fähigkeiten* als die Lernenden der Jahrgangsstufe 7/8 mit durchschnittlich 7,92 erreichten Punkten verfügen ($t(824,93) = 6,61, p < .001, d = .448$). Im *Leseverständnis* konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Lernenden der Jahrgangsstufe 5 mit einem durchschnittlichen Prozentrang von 19,65 und den Lernenden der Jahrgangsstufe 7/8 mit einem durchschnittlichen Prozentrang von 22,21 festgestellt werden ($t(881) = 1,70, p = .090, d = 0.114$).

Um im nächsten Schritt die chemiebezogenen Kompetenzen der Lernenden miteinander vergleichen zu können, wurden die in einem gemeinsamen Rating-Scale-Modell über beide Jahrgangsstufen hinweg geschätzten Personenfähigkeiten für das *Fachwissen* und die *prozessbezogenen Kompetenzen* herangezogen. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen diese Personenfähigkeiten für die beiden Jahrgangsstufen im Vergleich.

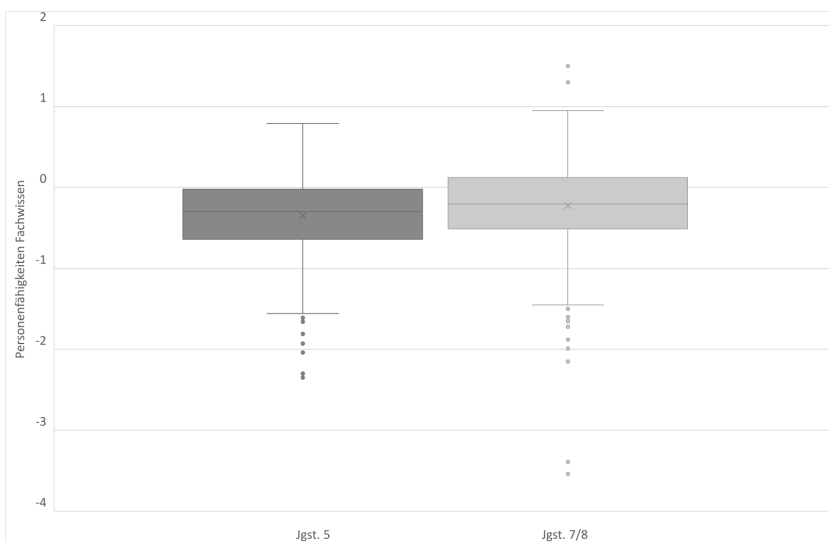


Abbildung 3: Vergleich der Personenfähigkeiten Fachwissen in Jahrgangsstufe 5 und 7/8

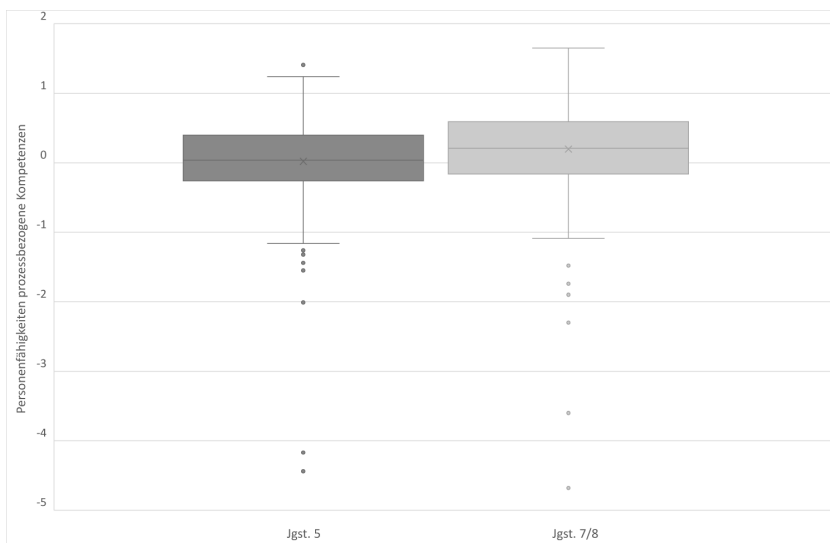


Abbildung 4: Vergleich der Personenfähigkeiten prozessbezogene Kompetenzen in Jahrgangsstufe 5 und 7/8

Es wird deutlich, dass sowohl im *Fachwissen* als auch in den *prozessbezogenen Kompetenzen* die Personenfähigkeiten in der Jahrgangsstufe 7/8 im Mittel höher ausgeprägt sind als in der Jahrgangsstufe 5. Um zu überprüfen, ob dieser Unterschied in den Personenfähigkeiten jeweils statistisch signifikant wird, wurden diese mithilfe einer ANCOVA mit Einbezug der Kontrollvariable *kognitive Fähigkeiten* miteinander verglichen. In der ANCOVA für das *Fachwissen* zeigt sich, dass sich die Personenfähigkeiten beider Jahrgangsstufen unter Kontrolle der *kognitiven Fähigkeiten* hochsignifikant mit einem großen Effekt voneinander unterscheiden ($F(1, 867) = 10,18, p = .001$, partielles $\eta^2 = .012$), wobei sie in der Jahrgangsstufe 7/8 höher ausgeprägt sind ($M = -0,29, SD = 0,55$) als in Jahrgangsstufe 5 ($M = -0,35, SD = 0,52$). Bezogen auf die *prozessbezogenen Kompetenzen* zeigt sich unter Kontrolle der *kognitiven Fähigkeiten* ein höchstsignifikanter Unterschied mit einem großen Effekt zwischen den beiden Jahrgangsstufen ($F(1, 864) = 16,22, p < .001$, partielles $\eta^2 = .018$). Auch hier sind die Personenfähigkeiten wie bereits in der Abbildung sichtbar im Mittel in der Jahrgangsstufe 7/8 höher ausgeprägt ($M = 0,20, SD = 0,63$) als in Jahrgangsstufe 5 ($M = 0,02, SD = 0,60$). Insgesamt verfügen die Schüler:innen der Jahrgangsstufe 7/8 folglich über höher ausgeprägte chemiebezogene Kompetenzen sowohl im *Fachwissen* als auch in den *prozessbezogenen Kompetenzen*. Dies deutet darauf hin, dass entweder der naturwissenschaftliche Unterricht während der Übergangsphase oder aber auch außerschulische Lerngelegenheiten in diesem Zeitraum dazu führen, dass die im Sachunterricht erworbenen chemiebezogenen Kompetenzen bis zum Beginn des Chemieunterrichts weiterentwickelt werden können, obwohl in dieser Phase noch kein Chemieunterricht stattfindet.

Zusammenfassend kann folglich festgehalten werden, dass die chemiebezogenen Kompetenzen, die Lernende aus der Grundschule in die weiterführende Schule mitbringen, sehr heterogen ausgeprägt sind, diese sich im Laufe der Übergangsphase zum Chemieunterricht weiterentwickeln, zu Beginn des Chemieunterrichts in Jahrgangsstufe 7 oder 8 aber insgesamt nach wie vor sehr unterschiedlich ausgeprägt sind.

6 Fazit

Die insgesamt sehr heterogen ausgeprägten chemiebezogenen Kompetenzen der Lernenden sowohl zu Beginn als auch zum Ende der Übergangsphase lassen sich vermutlich auf die vielen Wahlmöglichkeiten der im Lehrplan Sachunterricht beschriebenen Inhalte zurückführen. Diese können dazu führen, dass Lernende aus unterschiedlichen Klassen zum Ende der Grundschulzeit über unterschiedliche chemiebezogene Kompetenzen verfügen. Aus sachunterrichtsdidaktischer Sicht ist dies ein Indiz dafür, dass der Bezug zur Lebenswelt der Schüler:innen im Sachunterricht wie beabsichtigt hergestellt werden kann, denn Lehrkräfte haben viele Möglichkeiten, die im Lehrplan beschriebenen Kompetenzen anhand von unterschiedlichen Inhalten zu fördern, die für ihre Schüler:innen aktuell bedeutsam sind. Die daraus resultierende Heterogenität in den Kompetenzen der Schüler:innen führt jedoch auch dazu, dass der Chemieunterricht der Sekundarstufe I unterschiedlich gut und nicht zuverlässig an diese Kompetenzen anknüpfen kann, um kumulative Lernprozesse anzuregen. Während einige Schüler:innen bereits Gelerntes auf demselben Niveau im Chemieunterricht wiederholen, fehlen anderen die nötigen Grundlagen, um die im Chemieunterricht angesprochenen Kompetenzen erreichen zu können.

Um die Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht und dem Chemieunterricht mit Blick auf das kumulative Lernen zu verbessern, müsste bereits in der Grundschule dafür gesorgt werden, dass die Kompetenzen zum Ende der vierten Klasse homogener ausgeprägt sind. Dies könnte beispielsweise durch verbindlichere Vorgaben im Lehrplan Sachunterricht erreicht werden. Dadurch wären allerdings die Möglichkeiten des Sachunterrichts, sich auf die aktuelle Lebenswelt der Kinder zu beziehen, stärker eingeschränkt, was innerhalb des Sachunterrichts das Spannungsfeld zwischen den Erfahrungen der Kinder und den Anforderungen der Fachwissenschaften noch verstärken würde. Eine Einschränkung der zur Verfügung stehenden Inhalte im Sachunterricht ist folglich nur begrenzt umsetzbar. Um das kumulative Lernen über die Grenzen der Schulstufen hinweg zu verbessern, müssten demzufolge auch die Lehrkräfte der naturwissenschaftlichen Fächer der Sekundarstufe I gezielter an die sehr unterschiedlichen Kompetenzen ihrer Schüler:innen anknüpfen, indem sie sich zum Beispiel mit den im Sachunterricht erwarteten Kompetenzen vertraut machen. Zu diesem Zweck könnten in den curricularen Vorgaben der naturwissenschaftlichen Fächer der Sekundarstufe I Hinweise auf im Sachunterricht bereits vorhandene Kompetenzen formuliert werden bzw. die Lehrpläne im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I insgesamt besser aufeinander abgestimmt werden. Zudem könnten

Chemielehrkräfte gezielter an bereits vorhandene Kompetenzen anknüpfen, indem sie diese zu Beginn des Chemieunterrichts erheben. Zu diesem Zweck müsste aber ein entsprechend großer, empirisch geprüfter Itempool frei verfügbar sein. Dazu könnte der im Rahmen des Projekts entwickelte Test eine Ausgangsbasis darstellen.

7 Limitationen und Ausblick

Bei der Interpretation der Ergebnisse und deren Schlussfolgerungen muss immer berücksichtigt werden, dass diese sich exemplarisch auf Schüler:innen in Nordrhein-Westfalen beziehen und auch der Test sich an den Lehrplänen für dieses Bundesland orientiert. In anderen Bundesländern könnten die Kompetenzen der Lernenden zu den verschiedenen Zeitpunkten auch anders aussehen. Die aus dem Lehrplan entnommenen Kompetenzformulierungen, die als Grundlage für die Testentwicklung dienten, lassen sich in ähnlicher Form jedoch auch im Perspektivrahmen Sachunterricht wiederfinden. Dies lässt darauf schließen, dass der entwickelte Test auch in anderen Bundesländern zur Messung der in der Übergangsphase vorhandenen chemiebezogenen Kompetenzen eingesetzt werden könnte, um zu überprüfen, ob sich die beschriebenen Ergebnisse dort wiederfinden lassen. Für Nordrhein-Westfalen wäre es zudem interessant zu beobachten, inwiefern sich die Ergebnisse in den nächsten Jahren replizieren lassen. Dort existiert seit 2021 ein neuer Lehrplan Sachunterricht, der die Inhalte, anhand derer bestimmte Kompetenzen vermittelt werden sollen, verbindlich vorgibt und so weniger Wahlmöglichkeiten lässt als der bisher gültige Lehrplan (MSB NRW 2021; MSW NRW 2008). Ob dieser Lehrplan einen Beitrag dazu leistet, dass die chemiebezogenen Kompetenzen der Schüler:innen zum Ende der Grundschulzeit homogener ausgeprägt sind, bleibt abzuwarten.

Literatur

- AAAS (2001): Atlas of Science Literacy: Project 2061. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Bernholt, Sascha; Höft, Lars & Parchmann, Ilka (2020): Die Entwicklung fachlicher Basis-konzepte im Chemieunterricht – Findet ein kumulativer Aufbau im Kompetenzbereich Fachwissen statt?. In: Unterrichtswissenschaft, 48, 35–59. <https://doi.org/10.1007/s42010-019-00065-4>
- Celik, Kübra Nur (2022): Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“. Studien zum Physik- und Chemielernen. Berlin: Logos.
- Demuth, Reinhard & Kahlert, Joachim (2007): Übergänge gestalten: SINUS-Transfer Grundschule. Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Kiel: IPN.

- Fischer, Hans E.; Glemnitz, Ina; Kauertz, Alexander & Sumfleth, Elke (2007): Auf Wissen aufbauen – kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In: Kircher et al. (2007) (Hrsg.): Springer-Lehrbuch. Physikdidaktik: Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer, 657–678, https://doi.org/10.1007/978-3-540-34091-1_22.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013) (Hrsg.): Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Heller, Kurt A. & Perleth, Christoph (2000): Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klasse, Revision (KFT 4–12 + R). Hogrefe: Göttingen: Hogrefe.
- Hempel, Marlies (2010): Zur Anschlussfähigkeit der Sachfächer an den Sachunterricht – eine Erkundungsstudie. In: Giest, Hartmut & Pech, Detlef (2010) (Hrsg.): Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts 20. Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 75–82.
- Lee, JungMi (2012): Cumulative Learning. In: Seel, Norbert M. (2012) (Hrsg.): Encyclopedia of the Sciences of Learning. Boston, MA: Springer, 887–893, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1660.
- Ministerium für Schule und Bildung Nordrhein-Westfalen (MSB NRW) (2021): Lehrplan für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen. Fach Sachunterricht. Ritterbach.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung Nordrhein-Westfalen (MSW NRW) (2013): Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen: Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik. 2. Auflage. Ritterbach.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung Nordrhein-Westfalen (MSW NRW) (2008): Lehrplan Sachunterricht für die Grundschulen des Landes Nordrhein-Westfalen. Ritterbach.
- Möller, Kornelia (2014): Vom naturwissenschaftlichen Sachunterricht zum Fachunterricht – Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 20(1), 33–43. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0010-8>
- Möller, Kornelia (2016): Stufenübergreifendes Lernen fördern – Problem, Ziele, Konzept, Projektaufbau. In: Maurer, Christian (2016) (Hrsg.): Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Berlin 2015. Regensburg: Universität Regensburg, 243–245.
- Moormann, Alexandra (2015): Entwicklung von Schülereinstellungen zu den Fächern Sachunterricht, Naturwissenschaften und Biologie beim Übergang von der Grundschule in die Sekundarstufe I. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- Nuffield Foundation & Collins Educational (1999): Nuffield Primary Science, <https://www.stem.org.uk/cx4zn> [26.07.2023].
- OECD (2019): PISA 2018 Ergebnisse (Band 1): Was Schülerinnen und Schüler wissen und können. PISA, <https://doi.org/10.1787/1da50379-de>.
- Pollmeier, Katharina; Walper, Lena Mareike; Lange, Kim; Kleickmann, Thilo & Möller, Kornelia (2014): Vom Sachunterricht zum Fachunterricht – Physikbezogener Unterricht und Interessen im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe. In: Zeitschrift für Grundschulforschung, 7(2), 129–145.

- Rother, Alexander & Walpuski, Maik (2020): Vernetztes Lernen im Chemieunterricht. In: Roß, Joachim (2020) (Hrsg.): Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS. SINUS.NRW: Motivation durch kognitive Aktivierung: Impulse zur Weiterentwicklung des Unterrichts in den MINT-Fächern. Bielefeld: wbv Media, 83–100.
- Rother, Alexander & Walpuski, Maik (2018): Eine Landkarte des Lernens im Chemieunterricht: Vernetztes Lernen anlegen und mit Diagnoseaufgaben sichern. In: Trendel, Georg & Roß, Joachim (2018) (Hrsg.): Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS. SINUS.NRW: Verständnis fördern – Lernprozesse gestalten: Mathematik und Naturwissenschaften weiterdenken. Münster, New York: Waxmann, 193–208.
- Schneider, Wolfgang; Schlagmüller, Matthias & Ennemoser, Marco (2017): LGVT 5–12+: Lesegeschwindigkeits- und -verständnistest für die Klassen 5–12. 2., erweiterte und neu normierte Auflage. Göttingen: Hogrefe.
- Steffensky, Mirjam; Scholz, Luise A.; Kasper, Daniel & Köller, Olaf (2020): Naturwissenschaftliche Kompetenzen im internationalen Vergleich: Testkonzeption und Ergebnisse. In: Schwippert et al. (2020) (Hrsg.): TIMSS 2019: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. Münster, New York: Waxmann, 115–168.
- Weber, Katrin (2018): Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I. Studien zum Physik- und Chemielernen. Berlin: Logos.
- Weirich, Sebastian; Becker, Benjamin & Holtmann, Marlen (2019): Kompetenzstufenbesetzungen in den naturwissenschaftlichen Fächern. In: Stanat et al. (2019) (Hrsg.): IQB-Bildungstrend 2018: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich. Münster, New York: Waxmann, 169–199.
- Wiser, Marianne; Smith, Carol L. & Doubler, Sue (2012): Learning Progressions as Tools for Curriculum Development: Lessons from the Inquiry Project. In: Alonzo, Alicia C. & Gotwals, Amelia Wenk (2012) (Hrsg.): Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions. Rotterdam: Sense Publishers, 359–403. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_16

Wie viel Chemie steckt in Milch?

Modelllernen am Beispiel von Zentrifugieren und Homogenisieren

MARIE-CHRISTIN FRITZ, CHRISTINA EGGER, HERBERT NEUREITER

1 Einleitung

Wenn Wagenschein (1977) davon spricht, dass der naturwissenschaftliche Unterricht bei unmittelbar sinnlich fassbaren Naturphänomenen beginnen muss, so stößt dieser Ansatz bei chemischen Phänomenen außerhalb der direkt beobachtbaren Ebene auf Schwierigkeiten. Beispielsweise der Aufbau einer Emulsion entzieht sich der Beobachtung mit freiem Auge und wird für die Lernenden erst sichtbar unter dem Mikroskop oder durch den Einsatz geeigneter Modelle. In diesem Sinne spielen Modelle eine tragende Rolle im naturwissenschaftlichen Lernprozess, jedoch sieht sich die Verwendung von Modellen aufgrund des wenig vorhandenen Modellverständnisses in der Primarstufe und der hohen Anforderungen an Lehrpersonen mit diversen Problemen konfrontiert. Im Beitrag wird am Beispiel der Fachinhalte Zentrifugieren und Homogenisieren von Milch theoriebasiert aufgezeigt, wie diesen Herausforderungen im Sachunterricht begegnet werden kann.

2 Die Rolle von Modellen im Sachunterricht

Die Arbeit mit Modellen im Sachunterricht eignet sich, um die Alltagswelt der Schüler:innen in das Klassenzimmer zu holen (vgl. Abschnitt 5.2) und ausgewählte Phänomene oder Dinge daraus zu illustrieren, zu erklären oder vorherzusagen (Forbes et al. 2020). Hierbei ist eine wesentliche Aufgabe von Modellen, Schlüsselmerkmale eines Phänomens hervorzuheben (vgl. Abschnitt 5.1) und ohne eine exakte Kopie des Originals dennoch fachlich korrekt zu sein (Upmeyer zu Belzen et al. 2020; Haider & Fölling-Albers 2020). Eine Besonderheit liegt darin, dass mit Modellen auch nicht mit freiem Auge sichtbare Objekte und Phänomene veranschaulicht werden können, wie beispielsweise der mikroskopische Aufbau einer Emulsion (vgl. Abschnitt 4.1).

Wenn im Sachunterricht erfolgreich mit Modellen gelernt werden soll, braucht es ein gewisses Maß an Modellkompetenz (Haider 2019). Diese umfasst einerseits Wissen über das Wesen und den Zweck von Modellen und die Rolle des Modellierens im Erkenntnisprozess (Lange-Schubert et al. 2022), andererseits aber auch die Fähigkeit, Modelle zum Erkenntnisgewinn einzusetzen. Hierfür ist es notwendig, Modelle her-

zustellen, diese anzuwenden und zu testen und gegebenenfalls auf Basis der Erkenntnisse zu überarbeiten und erneut zu testen (Lange-Schubert et al. 2019). Die vorliegenden Forschungsergebnisse aus dem Primarstufenbereich deuten zusammenfassend auf ein wenig vorhandenes, überwiegend naives Modellverstehen von Primarstufenschüler:innen im Sinne von Modellen als wirklichkeitsgetreue Abbildung der Realität (Elbers 2010; Haider 2019; Trier 2013) sowie auf eine Kontextabhängigkeit beim Verstehen von Aussagen über Modelle hin (Böschl et al. 2019; Gogolin et al. 2017).

Werden Modelle im Sachunterricht genutzt, so ist wesentlich, dass auf Modelle zurückgegriffen wird, die bedeutsam für den Erkenntnisgewinn der Kinder sind (Schwarz et al. 2022). Modelle sollten demnach nicht nur eine Darstellung „von etwas“ sein, sondern auch als Werkzeug benutzt werden können, um naturwissenschaftliche Phänomene zu verstehen. In diesem Sinne werden im Folgenden am Beispiel des Zentrifugierens und Homogenisierens von Milch mögliche Lösungsansätze für einen solchen Einsatz von Modellen im Sachunterricht diskutiert.

3 Zentrifugieren und Homogenisieren von Milch als Aspekte chemischen Lernens

Bei Milch handelt es sich um ein alltägliches Lebensmittel aus der direkten Lebenswelt der Schüler:innen mit dem Potenzial, Ausgangspunkt für verschiedene naturwissenschaftliche Lernprozesse zu sein. Im Bereich der lebenden Natur (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013) eröffnen sich zahlreiche Anknüpfungspunkte zu biologischen Themen sowie Ernährung und Gesundheit. Der Sachunterricht verfügt jedoch bereits über ein Überangebot an biologischen Inhalten, was sich an österreichischen Schulen in einer ungleichen Verteilung der Unterrichtszeit äußert: Biologische und geografische Themen dominieren, während eine deutliche Unterrepräsentanz chemischer und physikalischer Inhalte festzustellen ist (Neureiter & Burchert 2010). Um diesem Ungleichgewicht zu begegnen und chemische Lerninhalte nachhaltig im Sachunterricht zu verankern, präsentiert der vorliegende Beitrag eine Erarbeitung des Themas Milch auf Ebene der nicht lebenden Natur bzw. aus Sicht der Chemie. Bei den nachfolgend beschriebenen *Lerninhalten* handelt es sich um chemisches Basiswissen, das dem Bereich „Eigenschaften von Stoffen“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013: 43–44) aus der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts zuzuordnen ist.

Chemisch gesehen ist Milch ein heterogenes Gemisch, das aus mehreren Stoffen (Wasser, Milchzucker, Eiweiß, Fett, Vitaminen und Mineralstoffen) in wechselnden Mengenverhältnissen besteht. Heterogene Gemische bestehen aus mehreren homogenen Phasen, zwischen denen es erkennbare Grenzen gibt. Wird nicht homogenisierte Milch über einen längeren Zeitraum stehen gelassen, so werden die beiden flüssigen Phasen durch sogenanntes „Aufrahmen“ klar erkennbar: Das Fett schwimmt auf der restlichen Milch, der fettfreien, primär aus Wasser bestehenden Magermilch. Solche

heterogenen Gemische zweier (normalerweise nicht mischbarer) Flüssigkeiten werden als *Emulsionen* bezeichnet (Mortimer & Müller 2015).

Für die Erzeugung von Milch unterschiedlichen Fettgehalts (z. B. 1,5 % Fett für Leichtmilch, 3,6 % für Vollmilch) wird in der Molkerei eine *Phasentrennung* durchgeführt. Mithilfe der Trennmethode *Zentrifugieren* werden die einzelnen Phasen der Emulsion – Fett und Magermilch – durch Schleudern voneinander getrennt (Mortimer & Müller 2015; Huppertz 2022b). Nach dem Zentrifugieren schwimmt die weniger dichte Flüssigkeit (Fett) auf der dichteren Flüssigkeit (Magermilch) und wird dann getrennt abgeleitet. Nachfolgend mischt die Molkerei Fett und Magermilch in den gewünschten Verhältnissen. Um zu verhindern, dass nach dem Mischen die weniger dichte Flüssigkeit auf der dichteren Flüssigkeit schwimmt, wird das Fett *homogenisiert*. Dazu wird das Gemisch in einem Homogenisator mit hoher Strömungsgeschwindigkeit durch feine Düsen gepresst. Dabei werden die zuvor unterschiedlich großen Fetttröpfchen in der Milch in wesentlich kleinere Tröpfchen aufgebrochen und gleichmäßig verteilt (Huppertz 2022a). Das Aufbrechen und die gleichmäßige Verteilung der Fetttröpfchen verhindert das Aufrahmen der Milch (Koolman 2003) und illustriert die *(Wieder-)Herstellung einer stabilen Öl-in-Wasser-Emulsion* durch Homogenisieren.

4 Anforderungen an Lehrpersonen bei der Nutzung von Modellen

Im emulgierten Zustand ist das Fett fein verteilt in der Milch und bildet dabei kleine Tröpfchen mit einer durchschnittlichen Größe von 0,2 μm (homogenisierte Milch) bzw. 3,5 μm (Rohmilch) (Postelmans et al. 2020). Damit sind die Fetttröpfchen nicht mehr mit freiem Auge erkennbar und die Nutzung geeigneter Modelle und Begrifflichkeiten wird notwendig. Dies kann jedoch aufgrund des häufig wenig vorhandenen Modellverständnisses der Primarstufenschüler:innen (vgl. Abschnitt 2) mit Herausforderungen verbunden sein. Die Lehrperson ist hierbei sowohl auf der Ebene des Fachwissens als auch im Hinblick auf die didaktische Planung und Umsetzung gefordert, was in der Primarstufe durch die fehlende fachliche Spezialisierung mit besonders hohen Anforderungen verbunden ist.

4.1 Wahl der passenden Vergrößerungsebene in Modellen

Werden chemische Sachverhalte für eine Altersgruppe didaktisch elementarisiert, so ist wesentlich, dass weiterhin fachlich gültige Aussagen möglich sind (Barke et al. 2018). Werden Modelle als Elementarisierungsstrategie verwendet, kann immer weiter in den Untersuchungsgegenstand (z. B. Milch) „hineingesehen“ und dieser vergrößert dargestellt werden. Je nach erklärbarem Sachverhalt finden unterschiedlich vergrößerte Ebenen Verwendung.

Zur Erklärung von Zentrifugieren und Homogenisieren von Milch bietet sich ein Modell auf einer Vergrößerungsebene an, die gerade ausreichend ist, um das Verhalten von Fett in der Milch abzubilden, ohne bereits auf atomare Teilchenebene vorzu-

dringen. Die in diesem Beitrag gewählte Darstellungsform¹ entspricht einem realen Blick durch das Mikroskop in tausendfacher Vergrößerung (vgl. Abbildung 1 bzw. Abschnitt 5.1.2).

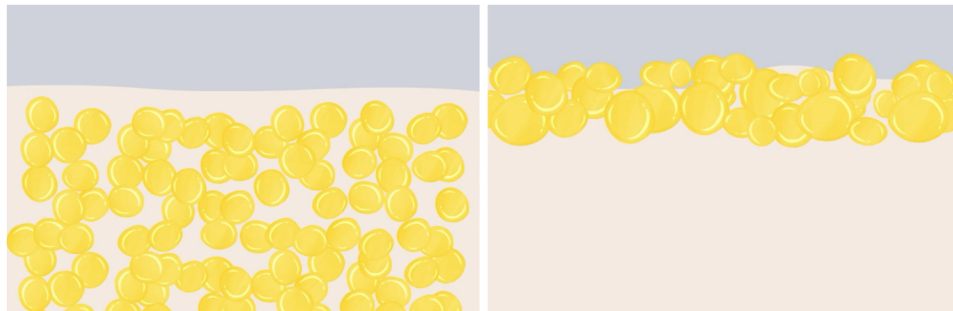


Abbildung 1: Darstellung der Öl-in-Wasser-Emulsion Milch durch diskontinuierliche Fetttropfchen, die in oder auf der kontinuierlich dargestellten Magermilch schwimmen, links: homogenisiert, rechts: aufgerahmt (eigene Darstellung)

Das Fett liegt nun diskontinuierlich in Form von Tröpfchen vor. Die umgebende Magermilch erscheint jedoch weiterhin kontinuierlich aufgrund des Größenunterschieds zwischen den 0,2–3,5 μm großen Fetttropfchen und den deutlich kleineren restlichen Bestandteilen der wässrigen Milch. Diese Darstellungsform macht für die Lernenden nachvollziehbar, wie die Trennung der Phasen beim Zentrifugieren zustande kommt. Ebenso kann das Aufrahmen der Milch verbildlicht werden, indem die Fetttropfchen aufgrund ihrer geringeren Dichte an die Oberfläche der restlichen Milch steigen und eine sichtbare Fettschicht bzw. Ölphase bilden. Insbesondere aber ist der Prozess des Homogenisierens auf eine derartige vergrößernde Darstellung angewiesen, in dem die anfänglich unterschiedlich großen Fetttropfchen entsprechend der Wortbedeutung „gleich groß gemacht“ und fein in der Milch verteilt werden, sodass wieder eine Emulsion vorliegt.

Werden eigene Modelle erstellt, so ist die Lehrperson gefordert, sich didaktisch begründet für eine passende Vergrößerungsebene zu entscheiden. Werden bestehende Modelle genutzt, so sind je nach Altersgruppe gezielte Erläuterungen nötig. Wesentlich für die Primarstufe und die Schaffung von anschlussfähigen Grundlagen ist, dass den Kindern vermittelt wird, dass dies eine besondere Form der Darstellung der Milch ist, um die Prozesse des Zentrifugierens und Homogenisierens gut betrachten zu können. Im chemischen Anfangsunterricht der Sekundarstufe sollte jedoch bewusst auf unterschiedliche Vergrößerungsebenen in Modellen und deren Konsequenzen eingegangen werden, um Fehlvorstellungen (vgl. Abschnitt 4.2) zu vermeiden.

¹ Die Abbildungen dieses Beitrags zeigen Ausschnitte einer in Entwicklung befindlichen multimedialen Lernumgebung des Kooperationsprojekts EdTechALL. Nähere Informationen finden sich auf der Website (edtechall.at).

4.2 Kenntnis von Fehlvorstellungen in Bezug auf Modelle

Ebenso wichtig wie die Wahl der passenden Vergrößerungsebene ist die Kenntnis über damit verbundene Fehlvorstellungen von Schüler:innen. Insbesondere Betrachtungen auf atomarer Teilchenebene stellen Lehrpersonen in der Primarstufe vor eine Herausforderung, da sich die vorhandenen kindlichen Vorstellungen zum Teilchenmodell als meist fachlich inkorrekt erweisen (Wodzinski 2020; Elbers 2010). Kontinuums- und Teilchenvorstellungen existieren parallel und die Modelle selbst werden eher unreflektiert verwendet (Bäumer et al. 2009; Fischler & Schecker 2018). So besteht eine häufige Fehlvorstellung darin, dass in einem kontinuierlich vorhandenen Stoff diskontinuierliche Teilchen koexistieren können. Damit einher geht häufig auch die Annahme, dass sich zwischen Teilchen von Gemischen Luft oder derselbe Stoff in verdünnter Form befindet (Fischler & Schecker 2018). Diese Vorstellung wird durch Abbildungen bestärkt, in denen Teilchen in einem farblichen Hintergrund eingebettet werden (Fischler & Schecker 2018). Weiters bestehen die Fehlvorstellungen, dass makroskopische Eigenschaften wie die Farbe oder die Volumenausdehnung eines Gegenstandes auf Atom- bzw. Molekülebene übertragen werden (Fischler & Schecker 2018).

An dieser Stelle sei noch mal darauf hingewiesen, dass es sich bei der in diesem Beitrag vorgeschlagenen Modelldarstellung der Emulsion Milch nicht um eine Betrachtung der atomaren Teilchenebene handelt. Die Darstellung der kugelförmigen Fetttröpfchen (vgl. Abbildung 1) ist von dem häufig für Teilchendarstellungen verwendeten Dalton-Modell (Barke, Harsch, Kröger & Marohn 2018) zu unterscheiden. Trotz optischer Ähnlichkeit zeigen die beiden Modelle unterschiedliche Vergrößerungsebenen und folgen anderen Gesetzmäßigkeiten. Im Gegensatz zu Teilchen (Atome, Moleküle usw.) besitzen die Fetttröpfchen eine Farbe, eine konkrete Volumenausdehnung und sind überdies in Magermilch eingebettet, welche in diesem Fall korrekterweise als farbige Fläche zwischen den kugelförmigen Fetttröpfchen dargestellt wird.

Die Lehrperson sollte darüber Bescheid wissen, dass die bei Betrachtungen auf atomarer Teilchenebene relevanten Fehlvorstellungen von Schüler:innen auf einer höheren Vergrößerungsebene (wie die hier angeführte Beschreibung der tausendfachen Vergrößerung einer Öl-in-Wasser-Emulsion, vgl. Abschnitt 4.1) ggf. gar nicht relevant sind, um auf Kinderaussagen fachlich korrekt reagieren zu können und diese nicht zu „unrecht“ als inkorrekt zu bezeichnen.

4.3 Verwendung von korrekten Begrifflichkeiten zur Erläuterung von Modellen

Hand in Hand mit der Frage über die passende Darstellungsform geht die Frage der verwendeten Begrifflichkeiten, mit denen die Lehrperson den Kindern das Modell und seine Bestandteile erklärt. Wie soll also am Beispiel der Emulsion Milch das emulgierte Fett bezeichnet werden? Sind es „Tröpfchen“, „Teilchen“ oder „Kügelchen“?

Vorgeschlagen für die Primarstufe wird der Begriff „Tröpfchen“. Für diesen Begriff spricht eine weitgehende Einstimmigkeit über die Benennung in chemischer Fach- sowie fachdidaktischer Literatur (u. a. Barke et al. 2018; Barke 2006; Tadros 2023; Lauth & Kowalczyk 2016). Die Bestandteile einer Emulsion werden üblicherweise als

zwei normalerweise nicht mischbare Phasen beschrieben, wobei eine Phase feine *Tröpfchen* bildet, die in der anderen Phase verteilt sind (Lauth & Kowalczyk 2016). Die Eindeutigkeit der Bezeichnung trägt zur Entwicklung von aufbaufähigem Chemiewissen für die Primar- und spätere Sekundarstufe bei – jedoch nur in Verbindung mit der korrekten Darstellungsform. Nicht selten finden sich in Lernmaterialien für die Primarstufe vermenschlichte Darstellungen, wie bspw. einander an den Händen haltende, lächelnde Wassertröpfchen, die in diesem Zusammenhang unterschiedliche Problematiken aufwerfen (Wodzinski 2020).

Im Gegensatz zu „Tröpfchen“ handelt es sich bei „Teilchen“ um einen mehrfach belegten Begriff innerhalb der Chemie. Dieser beschreibt meist recht undifferenziert eine „kleinste Einheit“ (Schmidt 2011) und kann je nach Kontext Atome, Ionen, Moleküle usw. meinen. Diese mangelnde Trennschärfe kann im chemischen Anfangsunterricht der Sekundarstufe zu Verständnisschwierigkeiten führen (Schmidt 2011). Um weitere Verwechslungen vorzubeugen, sollte der Begriff „Teilchen“ der atomaren Ebene der Atome, Ionen und Moleküle vorbehalten bleiben (Barke et al. 2018) und nicht zusätzlich für Phänomene anderer Vergrößerungsebenen genutzt werden, wie z. B. die emulgierten Bestandteile einer Emulsion.

Da es sich bei dem vorliegenden Beispiel des Fetts um eine flüssige Phase handelt, wurde auch auf den Begriff „Kugel“ bzw. „Kügelchen“ verzichtet. Dieser Begriff kann implizit gedanklich mit einem massiven Festkörper, z. B. Eisenkügelchen, verbunden werden, dies gilt ebenso für verwandte Begriffe wie „Bausteine“. Der Begriff „Tröpfchen“ weist hingegen korrekterweise auf eine Flüssigkeit hin.

5 Maßnahmen zur Unterstützung der Modellbildung

Werden im Sachunterricht Modelle genutzt, um Inhalte zu erläutern, so sollten insbesondere in der Altersgruppe der Primarstufenschüler:innen unterstützende didaktische Maßnahmen implementiert werden, die das Verständnis dieser Modelle erleichtern und den Transfer zur Lebensrealität der Kinder (vgl. Abschnitt 2) herstellen. So können beispielsweise begleitende *Experimente* oder die *Nutzung außerschulischer Lernorte* eine sinnvolle Ergänzung zur Arbeit mit den Modellen darstellen. Hierbei bieten sich je nach Standortmöglichkeiten sowohl Realexperimente oder virtuelle Simulationsexperimente bzw. reale oder virtuelle außerschulische Lernorte an.

5.1 Modellexperimente

Modellexperimente können Lernende beim Modellierungsprozess unterstützen und dabei helfen, korrekte Vorstellungen zu chemischen Fachinhalten anzubahnen (hier: im Hinblick auf Aufbau, Herstellung und Entmischung einer Emulsion) und auch den Behaltegrad dieser Vorstellungen zu erhöhen. Darüber hinaus sind im Vergleich mit reinen Demonstrationsexperimenten oder Unterricht ohne Experimente positive Effekte auf die Motivation und das Aktivitätslevel der Schüler:innen zu erwarten (Barke et al. 2018).

Im Unterricht ist es möglich, sowohl mit klassisch-analog durchgeführten Realexperimenten als auch mit digital durchgeführten, virtuellen Simulationsexperimenten zu arbeiten. Während das Realexperiment in Bezug auf Haptik, Flexibilität und Authentizität einem Simulationsexperiment überlegen ist, bietet ein Simulationsexperiment die Möglichkeit, Zusatzinformationen, wie beispielsweise ergänzende Modelldarstellungen, direkt in die Simulation zu integrieren (vgl. Abbildungen 3 & 4) (Mukhametov et al. 2023). Das besondere Bildungspotenzial im Hinblick auf die Entwicklung konzeptionellen Verständnisses liegt jedoch nicht im einzelnen Einsatz, sondern in einer Kombination von realen und virtuellen (Simulations-)Experimenten (Wörner, Kuhn & Scheiter 2022), weshalb dies auch für die Vermittlung der Inhalte Zentrifugieren und Homogenisieren von Milch vorgeschlagen wird.

5.1.1 Realexperimente zum Zentrifugieren und Homogenisieren

Im Realexperiment zum Zentrifugieren arbeiten die Schüler:innen mit einer Öl-in-Wasser-Emulsion, die optisch handelsüblicher Milch gleicht und als „künstlich hergestellte Milch“ bezeichnet wird (vgl. Abbildung 2). Das Öl steht stellvertretend für das Milchfett, das Wasser für die restliche, wässrige Magermilch. Die Emulsion wird in einer Tisch- oder Handzentrifuge geschleudert, bis Öl-Phase und Wasser-Phase getrennt vorliegen. Im Realexperiment zum Homogenisieren stellen die Schüler:innen mithilfe einer Sprühflasche eine Öl-in-Wasser-Emulsion her, indem sie ein Öl-Wasser-Gemisch durch den Zerstäuber einer Sprühflasche drücken und dabei den Zerstäubungsprozess in einem Homogenisator nachempfinden (vgl. Abbildung 2). Diese Modellexperimente haben das Ziel, den Schüler:innen die Herstellung und Entmischung einer Emulsion sowie die zugehörige Funktionsweise der jeweiligen Maschinen näherzubringen.

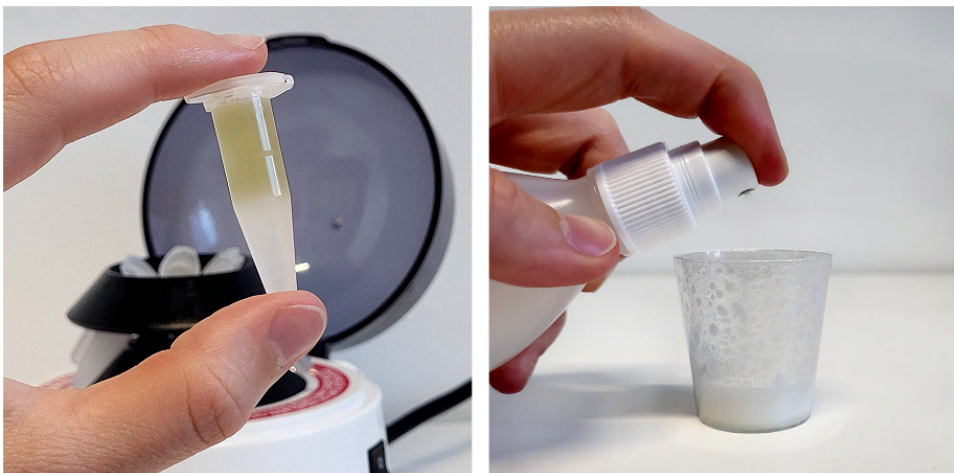


Abbildung 2: Realexperimente zum Zentrifugieren (links) und Homogenisieren (rechts) (eigene Darstellung)

5.1.2 Virtuelle Simulationsexperimente zum Zentrifugieren und Homogenisieren

Innerhalb virtueller Simulationsexperimente können die Schüler:innen die Funktionsweise einer Zentrifuge und eines Homogenisators interaktiv erkunden. Dabei handelt es sich um Simulationen, die einen fokussierten Einblick in Aufbau und Funktion einer Zentrifuge und eines Homogenisators liefern, um bestimmte Teile der virtuellen Maschine zu bedienen (vgl. Abbildungen 3 & 4). In den Simulationsexperimenten ist es den Lernenden möglich, durch Schleudern in der Zentrifuge die Teile der Milch voneinander zu trennen und im Homogenisator mittels einer Düse wieder zu einer stabilen Emulsion zu vermischen.

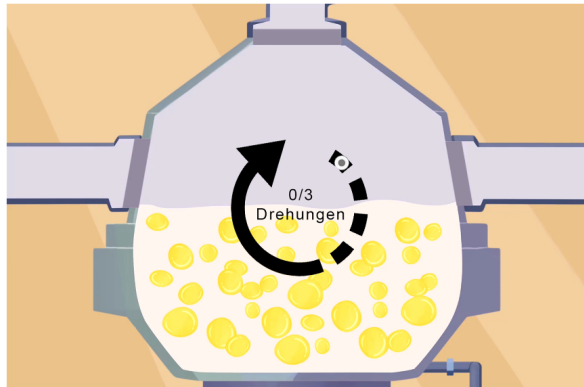


Abbildung 3: Die Darstellung der Zentrifuge fokussiert sich auf die Teile der Maschine, in denen die Milch geschleudert und das Fett von der restlichen Milch getrennt wird. Mittels Touch-Interaktion können die Schüler:innen den Schleuder- und Trennprozess steuern. (eigene Darstellung)

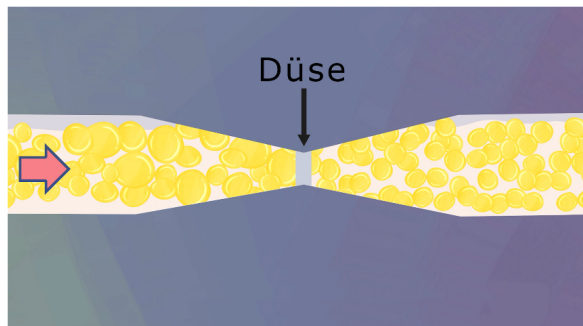


Abbildung 4: Die Simulation des Homogenisators zeigt eine der Düsen, durch die die zu verarbeitende Milch mit hohem Druck gepresst wird. Die Schüler:innen können die Zerstäubung in der Düse steuern und dabei den Zustand der Fett-Tröpfchen in der Milch vor und nach der Düse beobachten. (eigene Darstellung)

Die Darstellung der Maschinen innerhalb der Simulationsexperimente sollte auf wesentliche Bestandteile und die für den Lernprozess relevante, primäre Funktion (Schleudern, Homogenisieren) reduziert werden, um kognitive Belastung – beispielsweise

durch Seductive Details (Plass & Hovey 2021) – gering zu halten. Das hier beschriebene Simulationsexperiment ermöglicht außerdem die parallele Darstellung der Milch unter einem Mikroskop, die in einem analogen Realexperiment bzw. beim Besuch einer Molkerei nicht möglich wäre. Während die Schüler:innen die Milch virtuell zentrifugieren und homogenisieren, können sie mit einem Vergrößerungstool in die Maschine hineinschauen und beobachten, wie sich die Fett-Tröpfchen in der Milch während des Experiments verhalten. So unterstützt das Simulationsexperiment einen Zugang zur Modellvorstellung in Hinblick auf Aufbau, Entstehung und Entmischung einer Emulsion. (Mukhametov et al. 2023; Wörner et al. 2022).

5.2 Außerschulische Lernorte

Außerschulische Lernorte ermöglichen es den Schüler:innen, Lebenswelten zu erschließen, die ihnen in der Schule nicht zugänglich wären (Bakenhus et al. 2022; Brade & Dühlmeier 2022). Durch die zunehmende Weiterentwicklung von Educational Technologies ist es mittlerweile auch möglich, schwer erreichbare außerschulische Lernorte virtuell zu erkunden. Derartige Lernumgebungen haben das Potenzial, neben dem Fachwissenszuwachs auch Neugierde, Motivation und soziale Interaktion zu ermöglichen. Dies können sie aber nur dann, wenn einerseits kognitive Belastungen durch die Wahl des passenden Immersionsgrades möglichst reduziert und ablenkende Details vermieden werden, aber andererseits ein hohes Präsenzerleben und nicht nur Replikation, sondern auch Transfer- und Anwendung von Wissen möglich sind (Mulders et al. 2020; Rieger et al. 2023; Bakenhus et al. 2022).

5.2.1 Virtueller Besuch einer Molkerei

Um zusätzlich zu den Modellexperimenten auch den realen Verarbeitungsprozess der Milch zu zeigen, bietet sich eine virtuelle Tour durch eine Molkerei an (vgl. Abbildung 5). In die virtuelle Lernumgebung sollten nur lernrelevante Bereiche der Molkerei eingebaut werden, in denen die Verarbeitungsprozesse Zentrifugieren und Homogenisieren vorbereitet, durchgeführt und nachbereitet werden. Zur weiteren Reduktion der kognitiven Belastung könnten statt 360°-Videos auch 360°-Standbilder eingesetzt werden, da eine bewegte Aufnahme des Raums dem weiteren Verständnis nicht zuträglich wäre, sondern als Seductive Detail (Plass & Hovey 2021) eine ablenkende Wirkung hätte. Zur Erhöhung des Immersionsgrads wäre beispielsweise ein bewegungsbasierter Mechanismus möglich, mit dem sich die Kinder in der virtuellen Umgebung umsehen können (Rieger et al. 2023). Der Blick durch das Tablet gibt die körpereigenen Bewegungen in der virtuellen Umgebung wieder und erhöht das Präsenzerleben der Lernenden.



Abbildung 5: Beispiel einer virtuellen Tour durch eine Molkerei mit realen Zentrifugen und Homogenisatoren (eigene Darstellung)

6 Zusammenfassung und Fazit

Modellen kommt beim chemischen Lernen eine besondere erklärende und strukturierende Funktion zu. Jedoch ist der Einsatz von Modellen in der Primarstufe aufgrund des wenig vorhandenen Modellverständnisses der Kinder und der hohen Anforderungen an Lehrpersonen mit Herausforderungen verbunden. Daher braucht es passende Begrifflichkeiten sowie fachspezifische, altersgerechte, korrekt elementarisierte Modelldarstellungen je nach gewählter Vergrößerungsebene, deren Zweck und Vermittlungsanspruch mit den Lernenden unter Berücksichtigung möglicher Fehlvorstellungen erarbeitet werden muss. Im vorliegenden Beispiel wird der Begriff *Fett-Tröpfchen* in Verbindung mit einem Modell vorgeschlagen, das den Aufbau einer Emulsion nur so weit vergrößert darstellt, wie für die Vermittlung der Lerninhalte Homogenisieren und Zentrifugieren von Milch unbedingt nötig ist. Tiefergehende Betrachtungen auf atomarer Teilchenebene bieten für diese spezifischen Lerninhalte keinen fachdidaktischen Mehrwert und wären auch in Anbetracht häufig vorhandener, kindlicher Fehlvorstellungen zum Teilchenmodell nicht zielführend.

Für die Arbeit mit Modellen im Sachunterricht bieten sich Modellexperimente oder die Nutzung außerschulischer Lernorte im Zusammenhang mit digitalen Bildungstechnologien an. Virtuelle Simulationsexperimente erlauben es aufgrund ihrer multimedialen Repräsentationsform, Modelldarstellungen bereits direkt in das Experiment einzubinden, wie am vorgestellten Beispiel zum Zentrifugieren und Homogenisieren gezeigt durch die parallele Darstellung der mikroskopischen und mit freiem Auge sichtbaren Ebene. In Kombination mit realen Modellexperimenten und der Einbettung in einen aktivierenden, virtuellen oder realen außerschulischen Lernort unter-

stützt dies die Modellbildung der Lernenden in einem zeitgemäßen, innovativen und multimedialen chemischen Sachunterricht.

Erste Analysen einer Usability-Studie² bei 9- bis 10-jährigen Schüler:innen zeigen, dass die vorgestellten Unterstützungsmaßnahmen zur Modellbildung mit hoher Motivation, Lernfreude und Aufmerksamkeit bearbeitet wurden. Die Mehrheit der Schüler:innen konnte Aufbau und Funktionsweise der Modellexperimente erfolgreich nachvollziehen und eine Verbindung zwischen den Modelldarstellungen der Fett-Tröpfchen in den Simulationen und den Realexperimenten herstellen.

Literatur

- Bakenhus, Silke; Holzapfel, Marisa Alena; Arndt, Nicolas & Brückmann, Maja (2022): Die Erstellung einer Lernumgebung mit immersiver Virtual Reality für das Fach Sachunterricht nach dem M-iVR-L Modell. In: *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47. Jg., 76–93. <https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.04.X>
- Barke, Hans-Dieter (2006): *Chemiedidaktik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Barke, Hans-Dieter; Harsch, Günther; Kröger, Simone & Marohn, Annette (2018): *Chemiedidaktik kompakt*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9>
- Bäumer, Marcus; Dunker, Nina & Müller, Erwin (2009): Atome schon im Sachunterricht? In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 20. Jg., Heft 114, 33–37.
- Böschl, Florian; Gogolin, Sarah; Lange-Schubert, Kim & Hartinger, Andreas (2019): Mixed-Methods-Design als Grundlage für die Entwicklung von Aufgaben zur Erfassung von Modellkompetenz von Grundschulkindern. In: Giest et al. (2019) (Hrsg.): *Methodologien der Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 115–137.
- Brade, Janine & Dühlmeier, Bernd (2022): Lehren und Lernen an außerschulischen Lernorten. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 455–463.
- Elbers, Jenny (2010): *Kinder arbeiten mit Teilchenvorstellungen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht – Zeichnungen als Diagnoseinstrument*. Bachelorarbeit. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Oldenburg.
- Fischler, Helmut & Schecker, Horst (2018): Schülervorstellungen zu Teilchen und Wärme. In: Schecker et al. (2018) (Hrsg.): *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin: Springer Spektrum, 139–161. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_7

2 Die Studie wurde als Teil der Entwicklung der Lernumgebung im Projekt EdTechALL durchgeführt.

- Forbes, Cory T.; Lange-Schubert, Kim; Böschl, Florian & Vo, Tina (2020): Supporting Primary Students' Developing Modeling Competence for Water Systems. In: Upmeier zu Belzen et al. (2020) (Hrsg.): Towards a competence-based view on models and modeling in science education. Cham: Springer, 257–273. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_15
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gogolin, Sarah; Krell, Moritz; Lange-Schubert, Kim; Hartinger, Andreas; Upmeier zu Belzen, Annette & Krüger, Dirk (2017): Erfassung von Modellkompetenz bei Grundschüler/innen. In: Giest et al. (2017) (Hrsg.): Vielperspektivität im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 108–115.
- Haider, Marika (2019): Modellkompetenz im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Haider, Michael & Fölling-Albers, Maria (2020): Auswirkungen von Analogiemodellen auf den Aufbau konzeptuellen Wissens im Sachunterricht der Grundschule – Beispiel Stromkreis. In: Unterrichtswissenschaft, 48. Jg., Heft 3, 469–491. <https://doi.org/10.1007/42010-020-00077-5>
- Huppertz, Thom (2022): Homogenization of Milk: Principles and Purpose. In: (2022a) (Hrsg.): Encyclopedia of Dairy Sciences. Elsevier, 695–697. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00124-0>
- Huppertz, Thom (2022): Separators and Centrifuges. In: (2022b) (Hrsg.): Encyclopedia of Dairy Sciences. Elsevier, 389–395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00132-X>
- Koolman, Jan (2003) (Hrsg.): Kaffee, Käse, Karies. Weinheim: Wiley-VCH.
- Lange-Schubert, Kim; Böschl, Florian & Spreckelsen, Kay (2022): Modelle. In: Kahlert et al. (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 511–517.
- Lange-Schubert, Kim; Böschl, Florian; Vo, Tina & Forbes, Cory T. (2019): Mehr als Matchbox – Modelle und Modellieren in der Grundschule. In: Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie, 30. Jg., 33–37.
- Lauth, Günter Jakob & Kowalczyk, Jürgen (2016): Emulsionen. In: Lauth et al. (2016) (Hrsg.): Einführung in die Physik und Chemie der Grenzflächen und Kolloide. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 421–425. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47018-3_14
- Mortimer, Charles E. & Müller, Ulrich (2015): Chemie. Stuttgart: Thieme.
- Mukhametov, Sergey; Wörner, Salome; Hoyer, Christoph; Becker, Sebastian & Kuhn, Jochen (2023): Unterstützung von Experimenten zu Linsensystemen mit Simulationen, Augmented und Virtual Reality: Ein Praxisbericht. In: Roth et al. (2023) (Hrsg.): Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 2. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 63–76. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66133-8_5
- Mulders, Miriam; Buchner, Josef & Kerres, Michael (2020): A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments. In: International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 15. Jg., Heft 24, 208. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>

- Neureiter, H. & Burchert, A. (2010): Naturwissenschaftsunterricht im Ländervergleich. In: Suchań et al. (2010) (Hrsg.): TIMSS 2007. Graz: Leykam, 181–191.
- Plass, Jan L. & Hovey, Chris (2021): The Emotional Design Principle in Multimedia Learning. In: Mayer et al. (2021) (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge University Press, 324–336. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.034>
- Postelmans, Annelies; Aernouts, Ben; Jordens, Jeroen; van Gerven, Tom & Saeys, Wouter (2020): Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. In: Innovative Food Science & Emerging Technologies, 60. Jg., 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102311>
- Rieger, Marc Bastian; Wallrath, Simeon; Engl, Alexander & Risch, Björn (2023): Formulierung von Gestaltungsprinzipien für schulisch geeignete VR-Lernumgebungen. In: Roth et al. (2023) (Hrsg.): Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 2. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 137–151. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66133-8_10
- Schmidt, Silvia (2011): Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts 'Stoff-Teilchen' für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext. Dissertation. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Schwarz, Christina V.; Ke, Li; Salgado, Michelle & Manz, Eve (2022): Beyond assessing knowledge about models and modeling: Moving toward expansive, meaningful, and equitable modeling practice. In: Journal of Research in Science Teaching, 59. Jg., Heft 6, 1086–1096. <https://doi.org/10.1002/tea.21770>
- Tadros, Tharwat F. (2023): Emulsionen. Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110798593>
- Trier, Ute (2013): „Modelle sind künstlich“. In: Grundschule, 45. Jg., 12–14.
- Upmeier zu Belzen, Annette; Krüger, Dirk & van Driel, Jan (2020) (Hrsg.): Towards a competence-based view on models and modeling in science education. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9>
- Wagenschein, Martin (1977): Rettet die Phänomene! In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 30, 129–137.
- Wodzinski, Rita (2020): Physikalische Fachkonzepte anbahnen – Anschlussfähigkeit verbessern. In: Kircher et al. (2020) (Hrsg.): Physikdidaktik. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 573–602. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_15

Materialien zum Thema „Saures und Basisches im Alltag“ – Unterstützung zur Unterrichtsgestaltung und Weiterentwicklung des Professionswissens von Sachunterrichtslehrer:innen

ANJA LEMBENS, CHRISTIAN NOSKO, SUSANNE JAKLIN-FARCHER UND KATRIN REITER

1 Einleitung

Im Sachunterricht geht es darum, den Lernenden die Entwicklung grundlegender und anschlussfähiger Vorstellungen und Kenntnisse zu ermöglichen, die zu einem sich stetig erweiternden Verstehen der physischen und sozialen Welt führen sollen (Demuth & Rieck 2005). Ziel ist es, dass sich die Lernenden diese Welt sachbezogen erschließen, in ihr orientieren und diese aktiv mitgestalten können (GDSU 2013). Dabei soll, mit Blick auf die naturwissenschaftlichen Anteile des Sachunterrichts, auch eine solide Basis für die Entwicklung einer angemessenen naturwissenschaftlichen Grundbildung gelegt werden. Dies alles soll ausgehend von Phänomenen aus dem Alltag der Lernenden geschehen (BMBWF 2023; GDSU 2013; Möller et al. 2004; Möller & Steffensky 2010; Schaffert 2022; Wodzinski 2006, 2011). Eine besondere Herausforderung bei der Betrachtung von naturwissenschaftlichen Phänomenen – auch aus dem Alltag – ist jedoch, dass diese meist hochkomplex und alles andere als leicht zu erfassen und zu erklären sind. Mit seiner besonderen Breite an Bezugsdisziplinen und den multiplen Zielen, die in den Lehrplänen der verschiedenen Länder und im Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013) festgehalten sind, ist Sachunterricht also ein Fach, das von den Lehrpersonen ein Professionswissen mit Kenntnissen und Kompetenzen in einem extrem weiten Themenspektrum fordert.

In diesem Artikel greifen wir exemplarisch den chemiebezogenen Themenkomplex „Saures und Basisches in unserem Alltag“ heraus und geben einen Einblick in die fachlichen und fachdidaktischen Grundlagen, über die Sachunterrichtslehrende verfügen sollten, um einen fachlich angemessenen, kognitiv aktivierenden und lernförderlichen Unterricht planen, durchführen und reflektieren zu können. Um die Lehrenden hierbei zu unterstützen, wurden im Projekt SuBiP („Säuren und Basen“ in der Primarstufe) Materialien entwickelt, die geeignet sind, zur Vertiefung und Anreicherung des Professionswissens von Sachunterrichtslehrenden beizutragen.

2 Professionswissen von Sachunterrichtslehrenden

Unter dem Terminus Professionswissen werden jenes Wissen und jene Kompetenzen zusammengefasst, die Lehrpersonen benötigen, um lernförderliche Lerngelegenheiten planen, gestalten und reflektieren zu können. Seit Shulman (1986) werden drei große Dimensionen unterschieden: fachliches Wissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen. Das fachdidaktische Wissen kann wiederum in drei Wissensfacetten unterteilt werden: vertieftes fachliches Wissen, Wissen über Instruktionsmethoden und Wissen über Lernendenvorstellungen (Ball et al. 2008). Studien belegen, dass die Qualität des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen zu einem erheblichen Teil die Leistungsvarianz von Lernenden erklärt (Kunter & Voss 2011; Lange et al. 2012). Dies wird darauf zurückgeführt, dass bei Lehrenden „mit hohem fachdidaktischem Wissen ein höheres Maß an kognitiver Aktivierung im Unterricht zu beobachten ist“ (Schaffert 2022: 38).

Um einen kognitiv aktivierenden und lernförderlichen Sachunterricht planen, gestalten und reflektieren zu können, sind also domänenspezifische fachliche und fachdidaktische Kenntnisse notwendig, die unter anderem auch das Wissen um themenspezifische Lernendenvorstellungen und den Umgang damit beinhalten müssen. Das hierfür notwendige themenspezifische Professionswissen ist höchst vielfältig und umfasst: vertieftes fachliches Wissen (Wissen über Konzepte), Wissen über Lernendenvorstellungen, Wissen über Instruktionsstrategien, Wissen über Versuche, Wissen über Modelle, Wissen über Repräsentationen und Wissen über Charakteristika eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses (z. B. Gramzow 2015; Tepner et al. 2012).

Damit stellt der Sachunterricht *„erhebliche Anforderungen an die professionellen Kompetenzen und speziell an den Vernetztheitsgrad des Professionswissens“* der Lehrpersonen (Schaffert 2022: 44). Weder der Erwerb fachlicher und fachdidaktischer Kenntnisse und Kompetenzen, noch deren fruchtbare Anwendung im Unterricht, geschehen en passant und bedürfen daher einer intensiven Auseinandersetzung. Insbesondere mit Blick auf die naturwissenschaftlichen Anteile des Sachunterrichts kann das Studium den angehenden Lehrpersonen allerdings nur ein sehr oberflächliches Wissen mitgeben. Zudem zeigen viele Studien (Dürr 2010; Lange et al. 2015; Möller et al. 2004; Möller et al. 2013; Ohle 2011; Schmidt 2015), dass Sachunterrichtsstudierende ein *„eher geringes Interesse an sowie eine große Distanz speziell zu naturwissenschaftlichen Themen und Disziplinen“* aufweisen (Schaffert 2022: 50). Die GDSU fordert zurecht, dass Sachunterrichtslehrende in jeder Bezugsdisziplin zumindest über basales Wissen verfügen müssen (2013). Es ist wichtig zu betonen, dass es hier nicht um die Anhäufung akademischer Fachwissensbestände geht, sondern um den Erwerb eines belastbaren, flexiblen und tiefen Verstehens zentraler fachlicher Konzepte, deren Zusammenhänge sowie der Basiskonzepte der entsprechenden Bezugsdisziplinen (Bromme 2014). Dieses vertiefte fachliche Wissen ist die Grundlage für die Entwicklung fachdidaktischen Wissens, was wiederum als relevantes Element für die Fähigkeit zur Gestaltung kognitiv aktivierender Lerngelegenheiten gilt (z. B. Riese et al. 2015).

3 Professionswissen und der Umgang mit Lernendenvorstellungen

Lernende kommen mit unterschiedlichsten Erfahrungen, Vorwissen und Vorstellungen in den Sachunterricht. Mit diesen Lernvoraussetzungen gilt es, konstruktiv umzugehen und sie als Ausgangspunkt für Impulse für das Weiterlernen zu nutzen. Um dies leisten zu können, ist es notwendig, dass die Lehrenden angemessene oder (noch) unangemessene Vorstellungen auf der Lernendenseite erkennen und ihre unterrichtlichen Interventionen darauf ausrichten. Dies kann nur gelingen, wenn die Lehrenden sowohl über ein vertieftes fachliches als auch fachdidaktisches Wissen und Kompetenzen verfügen, ansonsten besteht die Gefahr, dass *„durch einen Unterricht, der diesen typischen Fehlvorstellungen nicht gezielt begegnet, diese sogar noch befördert werden“* (Schaffert 2022: 32).

Aufgrund der Tatsache, dass der überwiegende Teil der Sachunterrichtslehrpersonen um chemische, physikalische und technische Themen eher einen Bogen macht (Lange 2010; Lange et al. 2015; Niermann 2016; Plog et al. 2013; Schmidt 2015), fehlt es ihnen oft an vertieftem fachlichem und fachdidaktischem Wissen in diesen Bereichen. In der Folge finden sich bei Sachunterrichtslehrenden, die lediglich geringe fachliche Kenntnisse in einzelnen Bezugsdisziplinen besitzen, häufig dieselben unangemessenen Konzepte wie bei ihren Schüler:innen. Dies ist problematisch, weil dadurch einerseits lernhinderliche Vorstellungen nicht erkannt und entsprechend bearbeitet werden und andererseits möglicherweise solche Konzepte sogar durch den Unterricht erst evoziert werden (Schecker et al. 2018; Wodzinski 2011).

Mit diesen enormen Anforderungen an die professionellen Kompetenzen und den Vernetztheitsgrad des Professionswissens von Sachunterrichtslehrenden dürfen die Lehrenden nicht alleine gelassen werden. Einsiedler hat bereits früh gefordert, dass es beim Erwerb von komplexem konzeptuellem Wissen instruktorischer Unterstützung bedarf (2008). Dies macht die Bedeutung der Verfügbarkeit von fachlich und fachdidaktisch angemessenem Informations- und Unterrichtsmaterial deutlich.

Zum Einlösen dieser Forderung leistet das im Projekt SuBiP („Säuren und Basen“ in der Primarstufe) entwickelte Material – bestehend aus einem Band mit 10 Geschichten, ausführlichen, adressatengerecht aufgearbeiteten fachlichen und fachdidaktischen Informationen für Lehrer:innen und Unterrichtsideen inkl. Aktivitätenblätter für Schüler:innen sowie Fortbildungsangeboten – einen Beitrag. Im Folgenden sollen fachliche und fachdidaktische Herausforderungen des chemischen Themenfeldes „Saures und Basisches im Alltag“ etwas genauer beleuchtet werden.

4 „Saures und Basisches“ in der Primarstufe?

Da kein Medium Unterrichtsprozesse so zentral steuert wie Schulbücher (Gräsel 2010; Spelen & Kröhnert-Othman 2012), haben wir zunächst eine Analyse von deutschen und österreichischen Sachunterrichtsschulbüchern (Nosko et al. 2018) vorgenommen. Hier zeigte sich, dass Phänomene rund um saure und basische Lösungen dort immer wieder vorkommen. Zumeist werden Versuche beschrieben, die jedoch ohne systematischen Zusammenhang oder erkennbare Einbettung in einen lernförderlichen Kontext angeführt werden. Traditionell verwenden Lehrpersonen zur Unterrichtsplanung sowohl das in der Klasse eingeführte Schulbuch als auch weitere Schulbücher (Biehl et al. 1999). Da diese Schulbücher vielfach von Lehrer:innen zur Unterrichtsvorbereitung genutzt werden und damit als heimlicher Lehrplan fungieren (Bernhard 2019), besteht die Gefahr, dass in der Folge konzeptuelle Zusammenhänge für Schüler:innen nicht deutlich werden und wichtige Sinnkonstruktionsprozesse nicht initiiert werden können. *„Das kann so weit gehen, dass er [die Lehrperson] im Unterricht Dinge behandelt, mit denen er [sie] sich selbst noch nicht eingehender beschäftigt und auseinandergesetzt hat“* (Pädagogisches Landesinstitut RLP 1981).

Die Erkenntnisse aus der im Rahmen des Projektes durchgeführten Analyse der Schulbücher wurden reflektiert und durch fachliche und fachdidaktische Überlegungen angereichert. Diese Überlegungen mündeten in der Erstellung einer fachdidaktischen Landkarte (Abbildung 1). Es wurden 23 für den Sachunterricht relevante Aspekte zum Themenfeld ausgearbeitet und zueinander in Beziehung gesetzt. Diese relevanten Aspekte können als „Take-home-messages“ für Schüler:innen aufgefasst werden, die in geeigneten Lerngelegenheiten erarbeitet werden. Die kurzen Sätze wurden in einer möglichst adressatengerechten, einfachen und klaren Sprache verfasst. Innerhalb der 23 relevanten Aspekte wurden vier Big Ideas (Loughran et al. 2006; Mitchell et al. 2016; Deehan & MacDonald 2023) identifiziert, die als zentral angesehen werden. Die vier Big Ideas sind fachlich angemessene, wesentliche Elemente des Themas „Saures und Basisches im Alltag“, welche die Lernenden erfasst haben sollten, um zu einem grundlegenden Verstehen gelangen zu können. Die übrigen 19 Aspekte stehen mit den vier Big Ideas in Zusammenhang und können als Related Ideas (Roseman et al. 2010; Lembens et al. 2019) bezeichnet werden. Die Related Ideas ergeben sich aus den Big Ideas und führen diese weiter bzw. vertiefen sie. Ausgehend vom thematischen Kern *„Es gibt saure, basische und neutrale Lösungen“* wurden Abhängigkeiten und Querverbindungen zwischen den Ideas durch Pfeile verdeutlicht. Die Pfeile signalisieren zudem mögliche Schritte für die Erarbeitung im Unterricht.

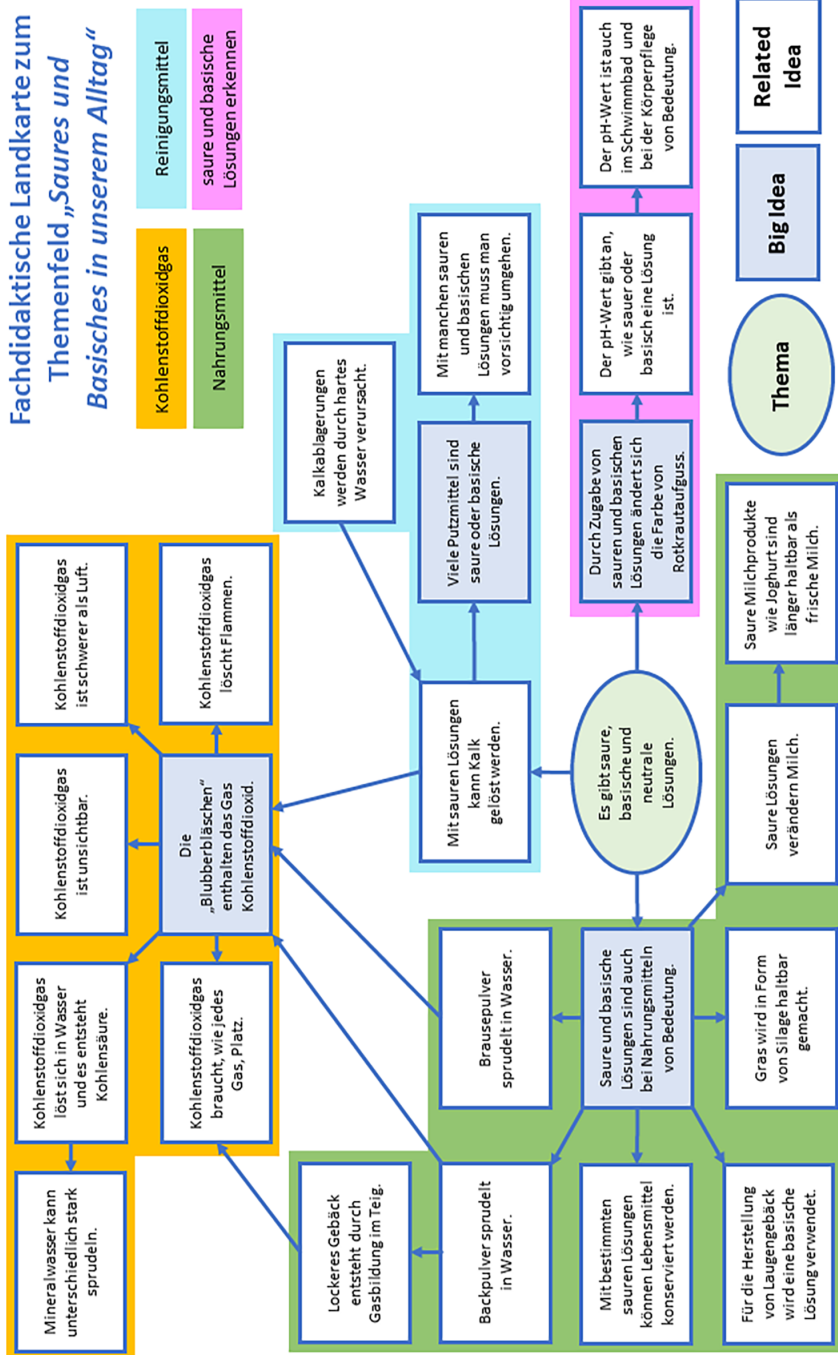


Abbildung 1: Fachdidaktische Landkarte zum Themenfeld „Saures und Basisches in unserem Alltag“ für die Primarstufe

Die fachdidaktische Landkarte kann als Grundlage für eine strukturierte Auseinandersetzung im Sachunterricht herangezogen werden und verdeutlicht sowohl die Komplexität des Themas als auch die Anschlussfähigkeit an den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe I. Zusätzlich verweist sie auf die Vielperspektivität im Sachunterricht, da unterschiedliche Aspekte der Thematik aufgegriffen werden, bei deren Bearbeitung im Unterricht eine Verknüpfung der Kompetenzbereiche ermöglicht wird.

Ausgehend vom zentralen Thema *„Es gibt saure und basische Lösungen“* finden sich in der fachdidaktischen Landkarte rund um die vier Big Ideas vier farblich unterlegte Inhaltsbereiche, die den jeweiligen Anwendungskontext umreißen:

- Kohlenstoffdioxidgas
- Nahrungsmittel
- Reinigungsmittel
- saure und basische Lösungen erkennen

Tabelle 1: Big Ideas und zugehörige Inhaltsbereiche zum Themenfeld „Säures und Basisches im Alltag“

Big Idea	Inhaltsbereich	Beschreibung
Die „Blubberbläschen“ enthalten das Gas Kohlenstoffdioxid	Kohlenstoffdioxidgas	<p>Bläschenbildung in Flüssigkeiten als Hinweis für die Entstehung eines Gases</p> <p>Eigenschaften von Gasen</p> <p>Herstellung von Kohlenstoffdioxidgas</p> <p>Eigenschaften von Kohlenstoffdioxidgas</p> <p>Relevanz von Kohlenstoffdioxidgas im Alltag¹ (Mineralwasser, Getränkesprudler, ...)</p>
Viele Putzmittel sind saure oder basische Lösungen	Reinigungsmittel	<p>Entfernen von Kalkablagerungen mit sauren Lösungen</p> <p>Entfernen von fettigen Verschmutzungen mit basischen Lösungen</p> <p>Sicherheit im Umgang mit Haushaltschemikalien</p> <p>Gefahrenpiktogramme</p>

¹ Anknüpfung an Umweltbildungsthemen möglich

(Fortsetzung Tabelle 1)

Big Idea	Inhaltsbereich	Beschreibung
Saure und basische Lösungen sind auch bei Nahrungsmitteln von Bedeutung	Nahrungsmittel	Haltbarmachen von Nahrungsmitteln <ul style="list-style-type: none">• Sauer eingelegtes Gemüse• Milchsäuregärung• Milchprodukte Herstellen von Gebäck <ul style="list-style-type: none">• Lockeres Gebäck• Laugengebäck Prickelnde Getränke <ul style="list-style-type: none">• Mineralwasser• Brausetablette• Brausepulver
Durch Zugabe von sauren und basischen Lösungen ändert sich die Farbe von Rotkrautaufguss	saure und basische Lösungen erkennen	Rotkrautaufguss als Indikatorlösung <ul style="list-style-type: none">• herstellen• nutzen, um saure, neutrale und basische Lösungen zu identifizieren (pH-Werte im Alltag <ul style="list-style-type: none">• Bedeutung• Körperpflege• Schwimmbad• Aquarium)

Auf Basis der fachdidaktischen Landkarte erfolgte die Entwicklung, Erprobung und Weiterentwicklung von Materialien für die Vorbereitung, Durchführung und Reflexion von Sachunterricht zu diesen chemieassoziierten Inhalten. Das Material „Leo: Saures und Basisches in unserem Alltag“ (Nosko et al. 2020; Jaklin-Farcher et al. 2023) basiert auf den in der fachdidaktischen Landkarte dargestellten relevanten Aspekten (Big Ideas und Related Ideas) des Themenfeldes. Es enthält fachlich, fachdidaktisch und unterrichtspraktisch aufbereitete Grundlageninformationen und bietet Unterrichtsideen und -materialien, um Sachunterrichtslehrende bei der Weiterentwicklung ihres Professionswissens zu unterstützen.

Im Folgenden soll exemplarisch ein vertiefender Blick auf die fachlichen und fachdidaktischen Grundlagen geworfen werden, die notwendig sind, um fachlich angemessene und lernförderliche Lerngelegenheiten zum Inhaltsbereich *Kohlenstoffdioxidgas* planen, umsetzen und reflektieren zu können (Tabelle 1).

5 Der Inhaltsbereich *Kohlenstoffdioxidgas*

Dieser Inhaltsbereich kann zum Beispiel ausgehend vom Phänomen des Sprudeln einer Brausetablette in Wasser erschlossen werden. Es kann geklärt werden, dass die aufsteigenden Bläschen ein Gas enthalten. Grundsätzliche Eigenschaften von gasförmigen Stoffen (Gase wiegen etwas und brauchen Platz) können erkundet werden. Die

für das Sprudeln verantwortlichen Bestandteile der Brausetablette (Natron und eine Säurekomponente) können untersucht werden. Das selbst hergestellte Kohlenstoffdioxidgas kann auf seine besonderen Eigenschaften (farblos, geruchlos, schwerer als Luft, löscht Flammen) hin untersucht werden. Ein Exkurs zur Herstellung von Sodawasser mithilfe von Getränkesprudlern ist ebenfalls möglich.

Um die Vielfalt naturwissenschaftlicher Phänomene anhand weniger, immer wiederkehrender Grundprinzipien zu strukturieren, ist es sinnvoll, sich beim Unterrichten an Basiskonzepten zu orientieren (Pfeifer & Sommer 2018). Diese *„müssen nicht nur in der Grundschule, sondern auch später tragfähig und aussagekräftig sein“* (Demuth & Rieck 2005: 2). Für den auf dem naturwissenschaftlichen Sachunterricht aufbauenden Chemieunterricht haben sich folgende Basiskonzepte bewährt: Stoff-Teilchenkonzept, Struktur-Eigenschaftskonzept, Konzept der chemischen Reaktion, Energiekonzept. Mit Blick auf die Sachunterrichtslehrpläne sind zwei dieser vier Basiskonzepte relevant, um erste Einsichten in naturwissenschaftlich-chemische Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln (Tabelle 2).

Tabelle 2: Relevante chemische Basiskonzepte für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Basiskonzept in der Chemie	Formulierung für den Sachunterricht (in Anlehnung an Demuth & Rieck 2005)	Bezug zu Sachunterrichtslehrplänen (exemplarisch)
Stoff-Teilchenkonzept	Alle Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen. Jeder Stoff hat seine besonderen Eigenschaften.	Die Schülerinnen und Schüler können [...] die Eigenschaften von Stoffen identifizieren und benennen und daraus ableiten, welche Stoffe in Alltag und Technik zu welchem Zweck benutzt werden können. (BMBWF 2023: 6 f) Die Schülerinnen und Schüler [...] untersuchen in Versuchen chemische und physikalische Eigenschaften von Stoffen. (Lehrplan Sachunterricht NRW 2012: 189)
Konzept der chemischen Reaktion	Stoffe beeinflussen sich gegenseitig. Stoffe können sich verändern, aber nicht verschwinden.	Die Schülerinnen und Schüler können [...] erkennen, dass Stoffe sich dauerhaft verändern, miteinander reagieren können und daraus Stoffe mit neuen Eigenschaften entstehen. (BMBWF 2023: 6 f) Die Schülerinnen und Schüler leiten auf Grundlage von Beobachtungen stofflicher Umwandlung Fragestellungen für Versuche und Experimente ab und führen sie durch [...]. (Lehrplan Sachunterricht NRW 2012: 189)

6 Fachliche und fachdidaktische Grundlagen für den Inhaltsbereich *Kohlenstoffdioxid*gas

Das Stoff-Teilchenkonzept:

Als „Stoff“ wird in der Chemie das Material bezeichnet, aus dem ein Körper besteht. Alle Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen), die in ständiger Bewegung sind. Stoffe können in unterschiedlichen Aggregatzuständen vorliegen. Ob ein Stoff fest, flüssig oder gasförmig ist, hängt von den besonderen Eigenschaften des jeweiligen Stoffes ab, nämlich von seinem Schmelz- und Siedepunkt. Stoffe, die einen Siedepunkt unterhalb der Raumtemperatur haben, sind oberhalb dieser Temperatur gasförmig. Kohlenstoffdioxid (CO_2) ist so ein Stoff, er liegt ab einer Temperatur von $-78,5^\circ\text{C}$ als Gas vor. Festes Kohlenstoffdioxid ist als Trockeneis bekannt. Kohlenstoffdioxidgas ist farb- und geruchlos und schwerer als Luft. Es wird zum Löschen von Flammen verwendet, da Kohlenstoffdioxidgas die Verbrennung nicht unterhält. Wird es über Flammen geleitet, dann verdrängt das schwerere Kohlenstoffdioxidgas die leichtere sauerstoffhaltige Luft und die Flammen erlöschen.

Das Konzept der chemischen Reaktion:

Bei einer chemischen Reaktion entstehen aus mindestens zwei Ausgangsstoffen neue Stoffe mit neuen Eigenschaften. Dabei werden die Atome der Ausgangsstoffe neu angeordnet. Es gehen jedoch keine Atome verloren oder werden neu geschaffen. Im Kontext des Inhaltsbereichs „Kohlenstoffdioxidgas“ sind folgende chemische Reaktionen von Bedeutung:

1. Kohlenstoffdioxidmoleküle reagieren mit Wassermolekülen zu Kohlensäuremolekülen – es entsteht eine saure Lösung. Kohlensäuremoleküle sind instabil und zerfallen leicht wieder in Kohlenstoffdioxidmoleküle und Wassermoleküle, das entstehende Kohlenstoffdioxidgas ist in Form von Gasbläschen im Wasser sichtbar. In kaltem Wasser sind Kohlensäuremoleküle stabiler als in warmem Wasser. Daher zischt eine warme Mineralwasserflasche beim Öffnen mehr als eine kalte.
2. Brausetabletten enthalten Natron (= Natriumhydrogencarbonat NaHCO_3) und eine Säurekomponente, z. B. Zitronensäure ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ oder $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COOH})_3$). Beide Stoffe müssen in Wasser gelöst werden, damit die Säureteilchen und die Baseteilchen miteinander reagieren können. Beim Lösen von Natron in Wasser entsteht eine basische Lösung. Beim Lösen von Zitronensäure in Wasser entsteht eine saure Lösung. Werden beide Lösungen zusammengegeben, bilden sich Kohlenstoffdioxidmoleküle durch eine chemische Reaktion zwischen den Säure- und den Baseteilchen. Die Kohlenstoffdioxidmoleküle sammeln sich in der Flüssigkeit und werden als Bläschen sichtbar, die mit dem Stoff Kohlenstoffdioxidgas gefüllt sind.

Sprachliche Klarheit:

Um eine Anschlussfähigkeit an den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe zu gewährleisten und den Lernenden einen späteren Konzeptwechsel zu ersparen, ist es sinnvoll, Fachtermini – wenn sie in der Primarstufe notwendig sind – richtig

zu verwenden. Hier ist zunächst der Terminus „Kohlenstoffdioxid“ zu nennen. Alltagssprachlich und im Laborjargon wird oft von „Kohlendioxid“ gesprochen, was fachlich jedoch nicht korrekt ist, weil es sich bei der fraglichen Verbindung (CO_2) um ein Oxid (Verbindung mit Sauerstoff (O)) des Kohlenstoffs (C) handelt und nicht um ein Oxid der Kohle. Das mag spitzfindig erscheinen, bei konsequenter Anwendung führt eine sprachliche Klarheit jedoch zu einer eindeutigeren Kommunikation und damit zu besserem Verstehen. Ein weiterer Punkt im Kontext des Themenfeldes „Saures und Basisches im Alltag“ sind die Bezeichnungen für Stoffe, die miteinander reagieren und dabei ein wahrnehmbares Phänomen erzeugen. In den entwickelten Materialien sprechen wir konsequent von „sauren oder basischen Lösungen“ und nicht, wie es im Laborjargon und vielen Schulbüchern zu finden ist, von „Säuren und Basen“. Warum ist das wichtig? Um die Phänomene, die wir wahrnehmen (es „blubbert“ oder eine Farbänderung tritt ein), erklären zu können, müssen wir uns auf die Ebene der Teilchen begeben, aus denen alle Stoffe bestehen. Diese Teilchen sind unseren Sinnen, auch mit dem Lichtmikroskop, nicht zugänglich. Aufgrund von Messdaten können wir uns jedoch eine recht gute Vorstellung von der Beschaffenheit der Teilchen und den Vorgängen machen, die bei einer chemischen Reaktion ablaufen. Ein für den schulischen Unterricht in der Sekundarstufe I und II sehr tragfähiges Konzept ist das Säure-Base-Konzept, das von den Chemikern Brønsted und Lowry im Jahr 1923 unabhängig voneinander formuliert wurde (Hofer & Krebs 2022). In diesem Konzept werden die Teilchen, die miteinander reagieren, als Säure bzw. Base bezeichnet.

Für den Sachunterricht ist es sinnvoll, konsequent von sauren und basischen Lösungen zu sprechen, weil wir uns hier mit Phänomenen auf der Stoffebene auseinandersetzen. Wenn in den weiterführenden Schulen die Teilchenebene zur Erklärung der Ursachen für die Phänomene herangezogen wird, muss sprachlich klar zwischen diesen Ebenen unterschieden werden: Stoffebene: saure und basische Lösungen, Teilchenebene: Säure(-teilchen) und Base(-teilchen). Werden in der Primarstufe fachlich und fachdidaktisch unangemessene Bezeichnungen gelernt, müssen die Schüler:innen später einen sehr mühsamen Umlernprozess bewältigen, welcher oft nicht von Erfolg gekrönt ist. Es sollte also bei der Beschreibung der Phänomene immer von sauren und basischen Lösungen gesprochen werden.

Lehrpersonen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht können also maßgeblich dazu beitragen, den Lernenden anschlussfähiges Wissen und Kompetenzen mitzugeben und ihnen einen Konzeptwechsel zu ersparen, indem sie diese sprachlichen Aspekte konsequent im Blick haben.

7 Fazit

Das Materialpaket „Saures und Basisches in unserem Alltag“ wurde mit dem Ziel entwickelt, Sachunterrichtslehrer:innen bei der Erweiterung ihres Professionswissens zu unterstützen, damit sie einen fachlich angemessenen, kognitiv aktivierenden und lernförderlichen Unterricht in diesem Kontext planen, durchführen und reflektieren kön-

nen. Den Schüler:innen wird dadurch die Entwicklung einer anschlussfähigen Grundlage für den Aufbau einer naturwissenschaftlichen Grundbildung ermöglicht. Wichtige Elemente eines angemessenen Professionswissens sind zum einen eine solide fachliche Grundlage und zum anderen die Kompetenz, den Schüler:innen lernförderliche Lerngelegenheiten anzubieten und diese beim Lernen angemessen zu begleiten. Hierzu gehört es, (noch nicht tragfähige) Vorstellungen, die Lernende mit in den Unterricht bringen, zu kennen und zu erkennen sowie die Kompetenz, die Lernenden bei der (Weiter-)Entwicklung in Richtung fachlich angemessener und tragfähiger Vorstellungen zu unterstützen.

Die im Projekt SuBiP entwickelte fachdidaktische Landkarte mit ihren vier Big Ideas und zugehörigen Inhaltsbereichen gibt Sachunterrichtslehrer:innen einen systematischen und strukturierten Überblick über das Themenfeld. In diesem Beitrag wurde anhand des Inhaltsbereiches „Kohlenstoffdioxidgas“ exemplarisch herausgearbeitet, welche hohen fachlichen und fachdidaktischen Ansprüche an die Lehrpersonen herangetragen werden. Es wird schnell klar, dass es kaum möglich ist, alle fachlichen Grundlagen des Sachunterrichts mit seiner besonderen Breite an Bezugsdisziplinen und multiplen Zielen im Studium zu erlernen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll und notwendig, Materialien und Fortbildungen für Sachunterrichtslehrer:innen zu entwickeln, die die Lehrenden beim Aufbau eines belastbaren, flexiblen und vertieften Verstehens zentraler fachlicher Konzepte, deren Zusammenhänge sowie der Basiskonzepte unterstützen.

Literatur

- Ball, Deborah; Thames, Mark & Phelps, Geoffrey (2008): Content Knowledge for Teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389–407. <https://doi.org/10.1177/0022487108324554>
- Bernhard, Roland (2019): Das Schulbuch als Leitmedium des Geschichtsunterrichts in Österreich. Empirische Ergebnisse einer Triangulationsstudie und einige Schlussfolgerungen für die LehrerInnenbildung. *Das Geschichtsschulbuch: Lernen–Lehren–Forschen*.
- Biehl, Jörg; Ohlhaber, Frank & Riquarts, Kurt (1999): Sekundäre Lehrplanbindungen: Vergleichende Untersuchungen zur Entstehung und Verwendung von Lehrplanentscheidungen. Endbericht zum DFG-Projekt. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel. <http://www.lehrplanforschung.ch/wp-content/uploads/2011/11/DFGEndbericht-Gesamt1.pdf> [15.01.2024]
- BMBWF Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2023): Lehrplan Sachunterricht (Volksschule). <https://www.paedagogikpaket.at/component/edocman/242-lehrplan-2/download.html?Itemid=0> [15.01.2024]
- Bromme, Rainer (2014): Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens (1992. Aufl.). Standardwerke aus Psychologie und Pädagogik, Reprints: Bd. 7. Waxmann.

- Deehan, James & MacDonald, Amy (2023): „What’s the Big Idea?\": A qualitative analysis of the big ideas of primary science teachers. *International Journal of Educational Research*, 119, 2023, 102189. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2023.102189>
- Demuth, Reinhard & Rieck, Karen (2005): Schülervorstellungen aufgreifen – grundlegende Ideen entwickeln. SINUS-Transfer Grundschule. IPN, Kiel.
- Dürr, Carina (2010): Kompetenzentwicklung bei Studierenden im Studienteilbereich Sachunterricht. Eine Wirkungsanalyse im naturwissenschaftlichen Lehr-/Lernbereich. Waxmann.
- Einsiedler, Wolfgang (2008): Was braucht die Sachunterrichtsforschung/Sachunterrichtsdidaktik in den nächsten zehn Jahren? Widerstreit – Zeitschrift für den Diskurs zum Sachunterricht und seiner Didaktik. Ausgabe 10.
- Fenn, Monika (2013): Das Schulbuch auf dem Prüfstand. Neue Zulassungsverfahren. In: *Public History Weekly* 1/15, <https://doi.org/10.1515/phw-2013-937>.
- GDSU Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht (Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe). Verlag Julius Klinkhardt.
- Gramzow, Yvonne (2015): Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik – Modellierung und Testkonstruktion. Berlin: Logos Verlag.
- Gräsel, Cornelia (2010): Lehren und Lernen mit Schulbüchern – Beispiele aus der Unterrichtsforschung. Schulbuch konkret. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 137–148.
- Hofer, Elisabeth & Krebs, Rita (2022): Von den „scharfen Wässern“ zu den „harten Säuren“. Ein Streifzug durch die Geschichte der Säure-Base-Modelle. *PlusLucis Zeitschrift des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts*. 3, 2022, 8–11.
- Jaklin-Farcher, Susanne; Reiter, Katrin; Nosko, Christian & Lembens, Anja (2023): Begleitmaterial zu Leo – Saures und Basisches in unserem Alltag. <https://aeccc.univie.ac.at/lehrerinnen/unterrichtsmaterialien/leo-primarstufe/> [15.01.2024]
- Kunter, Mareike & Voss, Tamar (Hrsg.) (2011): Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. <https://doi.org/10.31244/9783830974338>
- Lehrplan Sachunterricht Nordrhein-Westfalen (2012): https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/292/ps_lp_su_einzeldatei_2021_08_02.pdf [15.01.2024]
- Lange, Kim (2010): Zusammenhänge zwischen naturwissenschaftsbezogenem fachspezifischpädagogischem Wissen von Grundschullehrkräften und Fortschritten im Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte bei Grundschülerinnen und -schülern. Universität Münster.
- Lange, Kim; Kleickmann, Thilo; Tröbst, Steffen & Möller, Kornelia (2012): Fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften und multiple Ziele im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(1), 55–75. <https://doi.org/10.1007/s11618-012-0258-z>

- Lange, Kim; Ohle, Annika; Kleickmann, Thilo; Kauertz, Alexander; Möller, Kornelia & Fischer, Hans E. (2015): Zur Bedeutung von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen für Lernfortschritte von Grundschülerinnen und Grundschülern im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 8(1), 23–38.
- Lembens, Anja; Hammerschmid, Susanne; Jaklin-Farcher, Susanne; Nosko, Christian & Reiter, Katrin (2019): Textbooks as source for conceptual confusion in teaching and learning ‚acids and bases‘ in lower secondary school. In: *Chemistry Teacher International*. De Gruyter. 1–11. <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0029>
- Loughran, John; Berry, Amanda & Mulhall, Pam (2006): Understanding and developing science teachers’ pedagogical content knowledge: Sense Publishers. <https://doi.org/10.1163/9789087903657>
- Mitchell, Ian; Keast, Stephen; Panizzon, Debra & Mitchell, Judie (2016): Using ‚big ideas‘ to enhance teaching and student learning. *Teachers and Teaching*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/13540602.2016.1218328>
- Möller, Kornelia; Kleickmann, Thilo & Jonen, Angela (2004): Zur Veränderung des naturwissenschaftsbezogenen fachspezifisch-pädagogischen Wissens von Grundschullehrkräften durch Lehrerfortbildung. In A. Hartinger & M. Fölling-Albers (Hrsg.), *Lehrerkompetenzen für den Sachunterricht*. Klinkhardt.
- Möller, Kornelia; Kleickmann, Thilo & Lange, Kim (2013): Naturwissenschaftliches Lernen im Übergang von der Grundschule zur Sekundarstufe. *nwu Essen*, 10, 57–120.
- Möller, Kornelia & Steffensky, Mirjam (2010): Naturwissenschaftliches Lernen im Unterricht mit 4- bis 8-jährigen Kindern. In M. Leuchter (Hrsg.), *Didaktik für die ersten Lebensjahre. Unterricht mit 4–8-jährigen Kindern* Klett und Balmer, 163–178.
- Niermann, Anne (2016): Professionswissen von Lehrerinnen und Lehrern des Mathematik- und Sachunterrichts. Klinkhardt Forschung.
- Nosko, Christian; Jaklin-Farcher, Susanne; Reiter, Katrin & Lembens, Anja (2020): „Das Gegenteil von sauer ist süß“ – Chemische Aspekte in Sachunterrichtsschulbüchern der Primarstufe. In: *Progress in Science Education*. 1(2), 1–9.
- Nosko, Christian; Jaklin-Farcher, Susanne; Reiter, Katrin & Lembens, Anja (2020): Leo – Saures und Basisches in unserem Alltag. BoD Norderstedt.
- Ohle, Annika (2011): Der Einfluss des physikalischen Fachwissens von Primarstufenlehrkräften auf Unterrichtsgestaltung und Schülerleistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 357–389.
- Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz (1981): Das Schulbuch – Ärgernis oder Hilfe? Kommission „Anwalt des Kindes“ Empfehlung 9. Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz. https://anwalt-des-kindes.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/anwalt-des-kindes.bildung-rp.de/empfehlungen/empf9.pdf [15.01.2024]
- Pfeifer, Peter & Sommer, Katrin (2018): Fachliche Grundlagen des Chemieunterrichts: Die Basiskonzepte der Chemie. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht*. Seelze: Aulis.

- Plog, Anje; Strahl, Alexander & Müller, Rainer (2013): Wissen von Grundschul-Lehrkräften über Schülervorstellungen zu physikalischen Sachunterrichtsthemen. Jena. Frühjahrstagung Didaktik der Physik.
- Riese, Josef; Kulgemeyer, Christoph; Zander, Simon; Borowski, Andreas; Fischer, Hans E.; Gramzow, Yvonne; Reinhold, Peter; Schecker, Horst & Tomczyszyn, Elisabeth (2015): Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. In S. Blömeke & O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Kompetenzen von Studierenden*. Beltz Juventa, 55–79.
- Roseman, Joe E.; Stern, Luli & Koppal, Mary (2010): A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(1), 47–70. <https://doi.org/10.1002/tea.20305>
- Schaffert, Ute (2022): Erwerb Diagnostischer Kompetenz im Sachunterricht. Wissensvernetzung durch Unterstützung bei der Wissensreorganisation. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-39063-1>
- Schecker, Horst; Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin & Duit, Reinders (Hrsg.) (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Spectrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schmidt, Maike (2015): Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften: Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“. *Studien zum Physik- und Chemielernen*: Bd. 178. Logos-Verlag.
- Shulman, Lee (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Spenlen, Klaus & Kröhnert-Othman, Susanne (Hrsg.) (2012): *Integrationsmedium Schulbuch*. V&R unipress Göttingen.
- Tepner, Oliver; Borowski, Andreas; Dollny, Sabrina; Fischer, Hans E.; Jüttner, Melanie; Kirschner, Sophie; Leutner, Detlev; Neuhaus, Birgit; Sandmann, Angela; Sumfleth, Elke; Thillmann, Hubertina & Wirth, Joachim (2012): Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18.
- Wodzinski, Rita (2006): *SINUS-Transfer Grundschule Naturwissenschaften: Modul G 4: Lernschwierigkeiten erkennen – verständnisvolles Lernen fördern*. IPN Leibniz-Institut, Universität Kiel.
- Wodzinski, Rita (2011): *Naturwissenschaftliche Fachkonzepte anbahnen – Anschlussfähigkeit verbessern*. IPN Leibniz-Institut, Universität Kiel.

Naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im Sachunterricht Raum geben

CHRISTIAN NOSKO, SANDRA PUDDU UND ANJA LEMBENS

1 Einleitung

Scientific Literacy umfasst inhaltsbezogenes, prozessbezogenes und epistemologisches Wissen. Ziel ist es, diese bereits in der Primarstufe bei den Schüler:innen anzubahnen. Im Sachunterricht sind daher Lerngelegenheiten nötig, die der Vermittlung von Konzepten dienen, naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen fördern und auch die Besonderheiten dieses Wissens thematisieren. Zur Unterstützung von Lehrpersonen sind Aufgabenformate nötig, die diese Wissensbereiche abdecken und vielfältige Zugänge zu unterschiedlichen Themen bieten.

In diesem Beitrag wird das Projekt „Forschendes Lernen in der Primarstufe“ (FoPs), ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt in Kooperation der Kirchlichen Pädagogischen Hochschule Wien/Niederösterreich, der Pädagogischen Hochschule Wien und dem Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie an der Universität Wien, vorgestellt. Innerhalb dieses Projekts werden, ausgehend von der Sache selbst, unterschiedliche Lerngelegenheiten entwickelt, um naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zu fördern. „Die Suppe“ ist der Titel einer dieser Lerngelegenheiten, zu denen Unterrichts- und Begleitmaterialien erstellt wurden. Suppenpulver ist eine schnelle Möglichkeit, um Suppe herzustellen und lässt sich wohl in fast jedem Haushalt finden. Es ist den meisten Schüler:innen bekannt, und ausgehend vom naturwissenschaftlichen Phänomen der Löslichkeit lassen sich viele Lerngelegenheiten erschließen, die unter anderem chemischen, physikalischen, sozialwissenschaftlichen oder wirtschaftlichen Bezug haben.

Die Materialien im Projekt FoPs bauen auf vier Pfeilern auf, die im Lehrplan für die Primarstufe in Österreich (2023) verankert sind: a) naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen, b) Einsatz von Forschendem Lernen mit unterschiedlichem Grad der Öffnung, c) Ausgehen von der Sache sowie d) sprachliche Förderung. Die einzelnen Teilaspekte werden im folgenden Beitrag theoretisch fundiert und anschließend ein erster Einblick in den Aufbau der entwickelten Materialien gegeben.

2 Die „Sache“

Im Perspektivrahmen Sachunterricht wird der Bildungsanspruch des Faches beschrieben. Der Sachunterricht soll demnach die Schüler:innen dabei unterstützen, „ihre natürliche, kulturelle, soziale und technische Umwelt sachbezogen zu verstehen, sie sich auf dieser Grundlage bildungswirksam zu erschließen und sich darin zu orientieren, mitzuwirken und zu handeln“ (GDSU 2013: 9). Dabei geht der Unterricht von den Erfahrungen aus, die die Schüler:innen aus der vorschulischen Sozialisation mitbringen, und fördert den Aufbau der für den weiteren Bildungs- und Lebensgang erforderlichen zentralen fachlichen Konzepte und Kompetenzen. Diese Tatsache wird in der Literatur zumeist als „doppelte Anschlussaufgabe des Sachunterrichts“ bezeichnet (GDSU 2013: 10). Dadurch wird gleichzeitig auch deutlich, welches Spannungsfeld zwischen den Erfahrungen der Kinder einerseits und dem fachlichen Wissen andererseits besteht, das mitunter einseitig aufgelöst wird (Kahlert 2022: 95). Die Balance zwischen Fachsystematik, Konzepten, Erfahrungen und Vorstellungen ist hier wesentlich.

Was ist aber die Sache des Sachunterrichts? Nach Köhnlein (2022: 41) erscheint der Terminus Sache in der Fachliteratur wesentlich in zwei Bedeutungen: Er bezeichnet im engeren Sinn die Inhalte oder das Gegenstandsfeld des Faches. In diesem Zusammenhang sei stellvertretend auf Kaiser (2016) verwiesen, die sich ausführlich mit den Grundlagen der Inhaltswahl im Sachunterricht auseinandersetzt. Wenn Köhnlein (2022: 39 f.) über die „Sache“ spricht, dann bezeichnet er damit alles, was Anlass für eine Erörterung oder Untersuchung gibt. Damit verweist er nicht nur auf reale Objekte, sondern vielmehr auf „Gegenstände unseres Denkens und Sprechens“. Eine Sache steht auch stets in einem bestimmten Sachzusammenhang, durch den ein Sachverhalt charakterisiert wird. Wissen entsteht demnach aus der Auseinandersetzung mit Sachverhalten. Dies impliziert, dass es im Sachunterricht nie um nur einen Aspekt der Sache gehen darf. Vielmehr gilt es, die sozialen, umweltbezogenen, technischen oder historischen Aspekte einer Sache mit in den Blick zu nehmen.

Darüber hinaus sind in der Wendung „Sache des Sachunterrichts“ auch die fachgemäßen Arbeitsweisen, grundlegende Erkenntnismethoden und die fachspezifischen Bildungsaufgaben eingeschlossen. Wesentlich für den Sachunterricht ist, wie Schüler:innen den Sachen im Unterricht begegnen. Nießeler (2022: 463 f.) beschreibt dies als einen entscheidenden Moment, wenn das Lernsubjekt dabei in Beziehung zu dem Objekt tritt und ein intensiver Kontakt entsteht. Gleichzeitig stehen vielfältige Methoden der Sachbegegnung zur Verfügung, die den weiteren Lernprozess beeinflussen. Dabei nennt er folgende Methoden und kategorisiert sie nach der jeweils intendierten Aufmerksamkeit: Erkunden und Erleben, Beobachten und Betrachten, Befragen, Experimente und Versuche, Laborieren und Explorieren sowie das Sammeln (Nießeler 2022: 464 f.).

Dadurch haben Schüler:innen im Sachunterricht die Chance, sich intensiv mit einer Sache auseinanderzusetzen und sich darauf einzulassen. Das bedeutet aber auch, dass eigene und bisher vertraute Handlungs- und Sichtweisen unter Umständen verlassen und neue aufgenommen werden müssen. Köhnlein (2022: 43) betont dabei, dass

die Auseinandersetzung mit den Sachen im Sachunterricht bildungswirksam werden, wenn es u. a. gelingt, die Schüler:innen in methodisches Denken einzuführen sowie die Entwicklung des sachbezogenen Wissens und Denkens sowie des verständigen Handelns zu fördern. Dies ist Bestandteil der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, die im Folgenden näher behandelt werden.

3 Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen

Zeitgemäße Konzeptionen des Sachunterrichts orientieren sich am Konzept der „Scientific Literacy“, zumeist mit „naturwissenschaftlicher Grundbildung“ übersetzt (Lembens et al. 2009). Als Ziele können das Lernen von naturwissenschaftlichen Inhalten (z. B. Schwimmen und Sinken), die Durchführung von naturwissenschaftlichen Untersuchungen (z. B. Was lässt sich beobachten, wenn ich eine Brausetablette in ein Gefäß mit Wasser gebe?) sowie das Lernen über die Naturwissenschaften (z. B. Jede Untersuchung beginnt mit einer Forschungsfrage) angesehen werden (Abrams et al. 2008). Bezogen auf diese Ziele stehen nach Brauns und Abels (2021: 235) in der Literatur „vor allem das inklusive Gestalten Forschenden Lernens und naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden sowie des Auswertens und Validierens von Daten im Fokus.“ Zahlreiche Autor:innen verwenden unterschiedliche Synonyme für diese naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden (siehe dazu Emden & Baur 2017), in diesem Artikel werden sie als naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen bezeichnet. Im Unterricht tragen sie wesentlich zum Verstehen der Naturwissenschaften bei, indem sie exemplarisch aufzeigen, wie Erkenntnisse in den Naturwissenschaften gewonnen werden. Nach Nerdel (2017: 115) haben sie darüber hinaus eine doppelte Funktion: Einerseits soll das Verstehen wichtiger fachlicher Aspekte gewährleistet werden, andererseits sollen methodische Fähigkeiten erworben werden.

Im Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013) sind die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen in den perspektivenbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen festgehalten. Gemeinsam mit den perspektivenübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (von „erkennen/verstehen“ bis hin zu „umsetzen/handeln“) werden sie als prozedurale Komponente des Sachunterrichts angesehen, während die deklarative Komponente sich auf das Wissen über Inhaltsbereiche bezieht. Die Förderung der Denk- und Arbeitsweisen kann nur in Verknüpfung mit thematischen Aspekten erfolgen (Lange-Schubert et al. 2017: 25).

Als wesentlicher Bestandteil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung finden sie ihren Niederschlag in internationalen Vergleichsstudien wie TIMSS und PISA und sind u. a. im neuen Lehrplan für die Primarstufe in Österreich wie folgt verankert (2023: 1): „Die Schülerinnen und Schüler erleben und erforschen bedeutsame Naturphänomene, entwickeln naturwissenschaftliches Denken und erwerben Methoden naturwissenschaftlichen Arbeitens und Forschens. Diese umfassen vor allem das Experimentieren, forschendes Lernen, Beobachten und Bestimmen sowie das Vermuten, Hinterfragen und Reflektieren, Argumentieren und Schlussfolgern.“

Ein Überblick über die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, deren Verortung im Rahmen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung sowie Überlegungen zu einer lernförderlichen Reflexion im Unterricht, ist Inhalt von Grundlagenwerken (siehe z. B. Nerdel 2017; Gebhard et al. 2017). Bei der Auswahl der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im Rahmen des Projekt FoPs orientieren wir uns an der Darstellung von Steffensky (2017: 16 f.):

- Fragen stellen
- Vermuten
- Beobachten
- Messen
- Untersuchungen planen und durchführen
- Vergleichen, Ordnen, Klassifizieren
- Daten analysieren und interpretieren, Schlussfolgern, Generalisieren
- Argumentieren
- Modelle nutzen
- Dokumentieren

Bereits Schüler:innen der Primarstufe können durch ansprechende Lerngelegenheiten im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts beispielsweise das planmäßige Beobachten des Verhaltens von Tieren oder von Pflanzenwachstum, das Klassifizieren verschiedener Materialien im Klassenraum, das Analysieren der gewonnenen Daten beim Lösen unterschiedlicher Stoffe in Wasser oder das Argumentieren in der Arbeit mit Concept Cartoons (Steininger 2017) üben. Thomas (2022: 260) betont, dass ein planvolles und zielgerichtetes Erarbeiten dieser Arbeitsweisen zum „unhintergehbaren Zielhorizont eines anspruchsvollen Sachunterrichts“ gehört.

4 Forschendes Lernen

Das Kennenlernen naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen legt einen Zugang über Forschendes Lernen nahe. Viele Aspekte des Forschens (Abbildung 1) entsprechen den schon erwähnten naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, welche beim Forschenden Lernen in einem aktiv erfahrbaren Erkenntnisprozess zusammengeführt werden.

Durch Forschendes Lernen wird es ermöglicht, Kompetenzen zu entwickeln, die unter dem Stichwort 21st Century Skills (National Research Council 2012) im Lehrplan der Primarstufe aber auch in den Kompetenzrastern gefordert werden. Diese Skills umfassen eine Frage zu stellen, dieser Frage kreativ und kollaborativ mit geeigneten Methoden nachzugehen, zu beobachten, zu experimentieren, Daten zu erheben, Schlussfolgerungen zu ziehen, um damit die eingangs gestellte Frage zu beantworten. All diese Kompetenzen sind Teile Forschenden Lernens, können aber auch unter bestimmten

Umständen einzeln geübt werden (NGSS Lead States 2013). Je nach Fragestellung können unterschiedliche naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zum Einsatz kommen und gefördert werden.

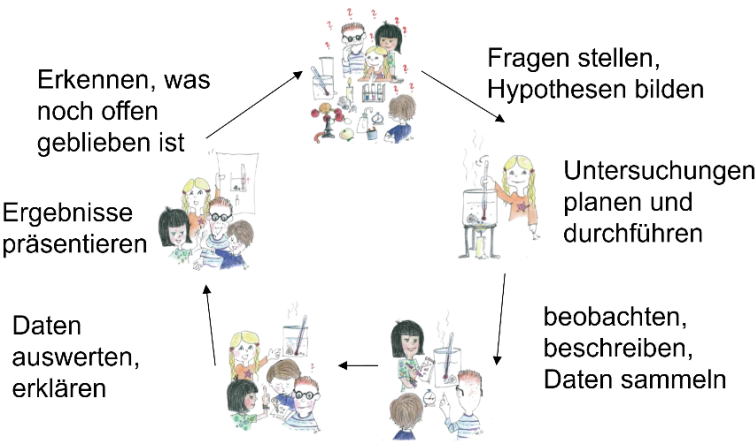


Abbildung 1: Aspekte Forschenden Lernens (Abels, Puddu & Lembens 2014)

Wird Forschendes Lernen im Unterricht durchgeführt, so kann dies mit unterschiedlichen Graden der Offenheit stattfinden (Tabelle 1). Bei Level 0 gibt die Lehrperson die Fragestellung und die Methode vor, mit welcher Daten zur Beantwortung der Frage gesammelt werden sollen. Außerdem ist sie auch für Vorgaben zur Auswertung der Daten und für die Erklärungen zuständig. Dieser Level ist geeignet, um zu demonstrieren, wie geforscht werden kann. Der erste Schritt der Öffnung (Level 1) beinhaltet, dass die Schüler:innen die Daten selbst auswerten, daraus Schlussfolgerungen ziehen und diese auch begründen können.

Tabelle 1: Level Forschenden Lernens (Blanchard et al. 2010)

	Frage	Methode	Auswertung
Level 0	Lehrperson	Lehrperson	Lehrperson
Level 1	Lehrperson	Lehrperson	Schüler:innen
Level 2	Lehrperson	Schüler:innen	Schüler:innen
Level 3	Schüler:innen	Schüler:innen	Schüler:innen

Bei Level 2 können die Schüler:innen zusätzlich selbst überlegen, mit welchen Methoden sie eine von der Lehrperson gestellte Frage beantworten wollen. Offenes Forschendes Lernen auf Level 3 wird z. B. in Lernwerkstätten ermöglicht (Puddu et al. 2012). In Lernwerkstätten sind es die Schüler:innen gewohnt, die Forschungsfrage frei zu wählen, um diese dann selbstständig zu beantworten und somit die Verantwortung für den gesamten Forschungsprozess zu übernehmen, was sehr anspruchsvoll ist. Das Durch-

führen von Forschendem Lernen, besonders auf höheren Levels, braucht Übung. Um etwa passende Methoden auszuwählen und diese einzusetzen, braucht es schon ein tieferes Verstehen von Forschung. Deswegen wird eine langsame und schrittweise Einführung empfohlen, um Schüler:innen nicht zu überfordern (Lederman 2008; Puddu 2021). Vor allem, wenn zusätzlich zu reinen hands-on- auch minds-on-Aktivitäten gewünscht sind. Die Offenheit ist auch von den Zielen abhängig. Wenn z. B. das Erlernen von Filtration das Ziel ist, das genaue Arbeiten nach einer Vorschrift oder ein besonders komplexes Konzept wie z. B. Schwimmen und Sinken im Zentrum steht, dann muss auf niedrigerem Level gearbeitet werden, um die Komplexität zu reduzieren.

Die Materialien im Projekt FoPs wurden auf Level 1 und 2 entwickelt und ermöglichen es, von derselben Forschungsfrage ausgehend, auf unterschiedlichen Levels zu arbeiten.

Als wesentliches Kriterium für erfolgreiches Forschendes Lernen gilt das Scaffolding (Blanchard 2010), das man grob mit Lernbegleitung übersetzen kann. Dabei unterscheidet man Makro- und Mikroscaffolding (Hammond & Gibbons 2005). Während Makroscaffolding alle Maßnahmen umfasst, die im Vorfeld durchgeführt werden können, wie z. B. die Lernstandserhebung, Aufbereitung der Arbeitsmaterialien etc., umfasst Mikroscaffolding die ad-hoc-Betreuung während der Unterrichtssituation (Gabler et al. 2020; Puddu 2017). Vor allem sprachliche Unterstützungsmaßnahmen sind erforderlich, damit Schüler:innen produktiv in der Gruppe kommunizieren und argumentieren können oder auch eine naturwissenschaftlich beantwortbare Frage formulieren (Hofer 2020). Mit den unterschiedlichen sprachlichen Unterstützungsmaßnahmen soll sich der folgende Abschnitt beschäftigen.

5 Sprachliche Unterstützungsmaßnahmen

Bei der Umsetzung vieler naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen ist Sprache in Wort und/oder Schrift unumgänglich. Kinder müssen ihre Gedanken, Fragestellungen und Argumente in Worte fassen können, um sich erfolgreich mit anderen darüber austauschen zu können. Ein Beispiel zum Thema Schwimmen und Sinken soll dies verdeutlichen. Das Begründen benötigt Formulierungen wie „Die Nadel geht unter, weil ...“ oder „Die Nadel ist aus Metall, deshalb ...“ (Gabler et al. 2020: 24). Kausale Konnektoren wie „daher“, „weil“ oder „deswegen“ sollen hier verwendet werden (Gabler et al. 2020: 24). Das fällt vielen Lernenden schwer. Entsprechendes Scaffolding ist daher wichtig, um im Sachunterricht den Übergang zur Bildungssprache sowie Fachsprache durch sprachsensiblen Fachunterricht zu fördern (Leisen 2013; Gabler et al. 2020; Quehl & Trapp 2015) und auch mit Blick auf Schulklassen mit hoher Diversität Teilhabe zu ermöglichen. Dies kann durch unterschiedliche Maßnahmen erfolgen. Makroscaffolding kann auf Wortebene (z. B. Worttankstellen, Glossare), Satzebene (z. B. Satzanfänge) und Textebene (z. B. unterstützt durch Skizzen) durchgeführt werden (Carnevale & Wojnesitz 2014; Puddu 2021). Hier kann unter anderem auf die Methodenswerkzeuge von Leisen (2013) zurückgegriffen werden. Die Kombination von aktivem

Handeln und Sprachförderung scheint erfolgversprechend (Scheuer et al. 2013). Das Auffordern zu Sprachhandlungen im Unterricht z. B. durch das Stellen von offenen Fragen (Furtak 2008), das Führen durch das Forschende Lernen durch aktive sprachliche Begleitung wie z. B. das Reformulieren der Fragestellung in eigenen Worten durch die Schüler:innen, das Aktivieren des Vorwissens, das Widerspiegeln des Herausgefundenen durch die Lehrperson, um weitere Erkenntnisse zu ermöglichen (Puddu 2017; Gabler et al. 2020), stellt eine Möglichkeit des Mikroscaffolding dar. Sowohl das Planen von Makroscaffolding als auch das situative und spontane Mikroscaffolding setzt Fachwissen und fachdidaktisches Wissen voraus (Leuchter & Saalbach 2014).

Primarstufenlehrpersonen sind Generalist:innen. Dass nicht alle chemischen und physikalischen Konzepte auf vertieftem Niveau durchdrungen werden können, ist nachvollziehbar. Durch entsprechend gestaltete Materialien für Lernumgebungen, die den Lehrpersonen zur Verfügung gestellt werden, kann dies ausgeglichen werden (Leuchter & Saalbach 2014). Das Projekt FoPs stellt sich diesem Anspruch. Die im Projekt entwickelten Unterrichts- und Begleitmaterialien, die auf den vier im Beitrag vorgestellten Pfeilern aufbauen, sollen nun im Folgenden näher beschrieben werden.

6 Beschreibung der Materialien

Die Materialien, die im Rahmen des Projekts FoPs gestaltet wurden, behandeln unterschiedliche Themengebiete wie z. B. „Die Suppe“, „Der Schnee“ oder „Mein Klassenraum“. Die Sache ist dabei stets ein konkreter, physisch in der unmittelbaren Lebenswelt der Schüler:innen verfügbarer Gegenstand. Die Auseinandersetzung damit bietet zahlreiche Möglichkeiten, um die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im Unterricht kennenzulernen und anzuwenden. Bei der Auswahl der Themengebiete wurde darauf geachtet, dass eine vielperspektivische Auseinandersetzung möglich ist, wie dies der Lehrplan zum Sachunterricht fordert (2023). Dadurch kann eine Verknüpfung der Kompetenzbereiche (sozialwissenschaftlicher, naturwissenschaftlicher, geografischer, technischer, historischer sowie wirtschaftlicher) im Zuge der Auseinandersetzung mit den Inhalten strukturiert, sinnvoll und anspruchsvoll gelingen.

Zu jedem Themengebiet stehen umfangreiche Materialien für Lehrpersonen und Schüler:innen zur Verfügung. Um die Lehrpersonen in ihrem Unterricht optimal zu unterstützen, finden sich in der Handreichung folgende Elemente:

- Kurzdarstellung des jeweiligen Themengebiets sowie der drei Untersuchungsblätter für Schüler:innen
- Detaillierte Darstellung der einzelnen Untersuchungsblätter mit Beschreibung der zu übenden naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, der Level des Forschenden Lernens sowie der erforderlichen Materialien
- Aufzählung möglicher Anknüpfungspunkte an alle Kompetenzbereiche des Sachunterrichts
- Fachliche Klärung der Inhalte
- Lösungsideen für die Untersuchungsblätter der Schüler:innen.

Zur besseren Orientierung und leichteren Lesbarkeit wurden aussagekräftige Symbole im Text verwendet.

Die Untersuchungsblätter für Schüler:innen sind folgendermaßen differenziert:

- A. Blatt für alle Forscherinnen und Forscher
- B. Blatt für beginnende Forscherinnen und Forscher
- C. Blatt für fortgeschrittene Forscherinnen und Forscher

Im Mittelpunkt von Blatt A steht stets die Auseinandersetzung mit der Sache mit allen Sinnen. Das Suppenpulver, um ein konkretes Beispiel zu nennen, wird mit der Lupe betrachtet, die verschiedenen Strukturen der Bestandteile werden gefühlt, und/oder an dem Pulver wird gerochen. Das Pulver wird von den Schüler:innen gezeichnet, die Beobachtungen dazu werden beschrieben.

Blatt B orientiert sich am Level 1 des Forschenden Lernens: Sowohl Forschungsfragen als auch konkrete Vorschläge zur Durchführung der naturwissenschaftlichen Untersuchungen sind auf dem Blatt vorgegeben und werden von Schüler:innen bearbeitet.

Blatt C orientiert sich am Level 2 des Forschenden Lernens: Forschungsfragen sind formuliert, die Planung und Durchführung der naturwissenschaftlichen Untersuchungen sowie die Interpretation der Beobachtungen oder gesammelten Daten liegen bei den Schüler:innen.

Blatt A ist dabei als grundlegende Auseinandersetzung mit dem Thema konzipiert, Blatt B oder C sind als Weiterführung, je nach Vorwissen der Schüler:innen, gedacht. Hervorzuheben ist, dass hier eine innere Differenzierung stattfindet, da sowohl Blatt B als auch Blatt C von denselben Forschungsfragen ausgehen. Die notwendigen sprachlichen Unterstützungsmaßnahmen, wie weiter oben beschrieben, können nach Bedarf zur optimalen Förderung der Schüler:innen eingesetzt werden.

Aktuelle Informationen zum Projekt FoPs sowie Materialien werden laufend auf der Projektwebseite¹ veröffentlicht.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Für das hier vorgestellte Projekt wurde als methodischer Zugang Design-Based Research gewählt, ein „Ansatz für eine nutzenorientierte Grundlagenforschung“ (Wilhelm & Hopf 2014: 32). Dabei geht es darum, gleichzeitig „gute Lernumgebungen zu entwickeln und eine Theorie des Lernens in diesem Themenbereich zu entwerfen oder weiterzuentwickeln“ (Wilhelm & Hopf 2014: 32 f.). Im Anschluss an die forschungsgeleitete Entwicklung der Unterrichtsmaterialien erfolgte ein erster Einsatz in Schulklassen durch interessierte Lehrpersonen und Masterstudierende des Sachunterrichts. Rückmeldungen der Lehrpersonen sowie Erkenntnisse aus der Analyse der bearbeiteten

¹ <https://aeccc.univie.ac.at/lehrerinnen/unterrichtsmaterialien/fops-primarstufe/>

Untersuchungsblätter fließen in die Überarbeitung und Weiterentwicklung der Materialien ein. Hier wird auch der Frage nachgegangen, wie die Entwicklung und Anwendung von adäquaten naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen bei Schüler:innen gefördert werden kann. Erste Ergebnisse geben Hinweis darauf, dass die Materialien geeignet sind, um das genaue Beobachten und Beschreiben sowie die Eigenständigkeit der Schüler:innen zu fördern.

Im Rahmen des zyklischen Forschungsprozesses aus theoriebasierter Entwicklung, Erprobung und Evaluation ist der Einsatz der überarbeiteten Materialien in weiteren Schulklassen geplant. Darüber hinaus soll die Durchführung einer Akzeptanzbefragung differenziertere Einblicke in die Lernwirksamkeit der Unterrichtsmaterialien geben.

Literatur

- Abels, Simone; Puddu, Sandra & Lembens, Anja. (2014): Wann flockt die Milch im Kaffee? Mit „Mysteries“ zu differenziertem forschenden Lernen im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 25(142), 37–41.
- Abrams, Eleanor; Southerland, Sherry A. & Evans, Celia (2008): Inquiry in the Classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition. In: Eleanor Abrams; Sherry A. Southerland & Peggy Silva. (Hrsg.): *Inquiry in the Classroom: Realities and Opportunities*. Information Age Publishing. xi–xlii.
- Blanchard, Margaret R.; Southerland, Sherry A.; Osborne, Jason W.; Sampson, Victor D.; Annetta, Leonard A. & Granger, Ellen M. (2010): Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94(4), 577–616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Brauns, Sarah & Abels, Simone (2021): Die Anwendung naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden inklusiv gestalten – Naturwissenschaftsdidaktische Theorie und Empirie erweitern mit dem Kategoriensystem inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht (KinU). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN)*, 27(1), 231–249. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00135-0>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) (2023): Lehrplan Sachunterricht (Volksschule). Verfügbar unter: <https://www.paedagogikpaket.at/component/edocman/242-lehrplan-2/download.html?Itemid=0> [24.01.2024].
- Carnevale, Carla & Wojnesitz, Alexandra (2014): Sprachsensibler Fachunterricht in der Sekundarstufe. Grundlagen – Methoden – Praxisbeispiele. ÖSZ.
- Emden, Markus & Baur, Armin (2017): Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren – Entwurf eines integrierten Wirkungs- und Gestaltungsmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0052-1>.
- Furtak, Erin Marie (2008): *The Dilemma of Guidance. An Exploration of Scientific Inquiry Teaching*. VDM Verlag Dr. Müller.

- Gabler, Katrin; Heppt, Birgit; Henschel, Sofie; Hardy, Ilonca; Sontag, Christine; Mannel, Susanne; Hettmannsperger-Lippolt, Rosa & Stanat, Petra (2020): Fachintegrierte Sprachbildung in der Grundschule. Überblick und Beispiele aus dem Sachunterricht. https://doi.org/10.5159/IQB_ProSach_Handreichung_Lehrkraefte_v1.
- Gebhard, Ulrich; Höttecke, Dietmar & Rehm, Markus (2017): Pädagogik der Naturwissenschaften: Ein Studienbuch. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19546-9>
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg.) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht (vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe). Verlag Julius Klinkhardt.
- Hammond, Jennifer & Gibbons, Pauline (2005): Putting scaffolding to work: The contribution of scaffolding in articulating ESL education. *Prospect*, 20(1), 6–30.
- Hofer, Elisabeth (2020): Scaffolding im Rahmen von Inquiry-based Learning. Unterstützung der Lernenden auf ihrem Weg zur Erkenntnisgewinnung. *IMST-Newsletter*, 50, 15–19. https://www.imst.ac.at/wp-content/uploads/2023/01/imst_newsletter_50_final.pdf [28.06.2023].
- Kahlert, Joachim (2022): Der Sachunterricht und seine Didaktik (5. aktualisierte Auflage). Verlag Julius Klinkhardt.
- Kaiser, Astrid (2016): Neue Einführung in die Didaktik des Sachunterrichts (6. unveränderte Auflage). Schneider Verlag Hohengehren.
- Köhnlein, Walter (2022): Sache als didaktische Kategorie. In: Joachim Kahlert; Maria Fölling-Albers; Margarete Götz; Andreas Hartinger; Susanne Miller & Steffen Wittkowske (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. 3. überarbeitete Auflage, Verlag Julius Klinkhardt, S. 39–43.
- Lange-Schubert, Kim; Böschl, Florian & Hartinger, Andreas (2017): Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden – Untersuchungen durchführen und wissenschaftliche Modelle nutzen am Beispiel Aggregatzustände und ihre Übergänge. In: Hartmut Giest (Hrsg.): *Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret*. Verlag Julius Klinkhardt.
- Lederman, Norman G. (2008): What did you do in science today? In: Eleanor Abrams; Sherry A. Southerland & Peggy Silva. (Hrsg.): *Inquiry in the classroom. Realities and Opportunities* Information Age Publishing. 25–35.
- Leisen, Josef (2013): *Handbuch Sprachförderung im Fach: Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis*. Grundlagenwissen, Anregungen und Beispiele für die Unterstützung von sprachschwachen Lernern und Lernern mit Zuwanderungsgeschichte beim Sprechen, Lesen, Schreiben und Üben im Fach: [1]: Grundlagenteil (1. Auflage). Klett Sprachen.
- Lembens, Anja; Weiglhofer, Hubert & Stadler, Helga (2009): PISA 2006 Naturwissenschaft: Das Konzept aus fachdidaktischer Sicht. In Claudia Schreiner & Ursula Schwantner (Hrsg.), *PISA 2006: Österreichischer Expertenbericht zum Naturwissenschaftsschwerpunkt* (S. 32–41). Graz: Leykam Verlag.
- Leuchter, Miriam & Saalbach, Henrik (2014): Verbale Unterstützungsmaßnahmen im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Lernangebots in Kindergarten und Grundschule. *Unterrichtswissenschaft*, 2, 117–131. <https://doi.org/10.3262/UW1402117>

- National Research Council (2012): Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21. Jahrhundert. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13398>.
- Nerdel, Claudia (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule (1. Auflage). Springer Spektrum.
- NGSS Lead States (2013): Next Generation Science Standards: For States, By States. The National Academies Press.
- Nießeler, Andreas (2022): Den Sachen begegnen. In: Joachim Kahlert; Maria Fölling-Albers; Margarete Götz; Andeas Hartinger; Susanne Miller & Steffen Wittkowske (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. 3. überarbeitete Auflage, Verlag Julius Klinkhardt, S. 463–470.
- Puddu, Sandra; Keller, Erika & Lembens, Anja (2012): Potentials of Lernwerkstatt (open-inquiry) for pre-service teachers' professional development. In: Catherine Bruguière; Andrée Tiberghien; Pierre Clément; Dimitris Psillos & Rosa Maria Sperandio (Hrsg.): EBook Proceedings of the ESERA 2011 CONFERENCE. Science Learning and Citizenship. Part 12: Pre-service science teacher education, S. 149–155.
- Puddu, Sandra (2017): Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry (Bd. 247). Logos.
- Puddu, Sandra (2021): Zwei Beispiele für Gelingensbedingungen für Forschendes Lernen im Chemieunterricht. Plus Lucis, 1/2021, 8–11
- Quehl, Thomas & Trapp, Ulrike (2015): Wege zur Bildungssprache im Sachunterricht. Sprachbildung in der Grundschule auf der Basis von Planungsrahmen. Waxmann.
- Scheuer, Rupert; Kleffken, Brigitta & Ahlborn-Gockel, Sabine (2013): Experimentieren als neuer Weg zur Sprachförderung. In: Hild Köster; Frank Hellmich & Volkhard Nordmeier (Hrsg.): Experimentieren. Schneider Verlag Hohengehren.
- Steffensky, Mirjam (2017): Naturwissenschaftliche Bildung in Kindertageseinrichtungen: Eine Expertise der Weiterbildungsinitiative Frühpädagogische Fachkräfte (WiFF). Deutsches Jugendinstitut e.V.
- Steininger, Rosina (2017): Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht: Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit. Logos Verlag. Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 245.
- Thomas, Bernd (2022): Wissenschaftsorientierung als konzeptioneller Anspruch. In: Joachim Kahlert; Maria Fölling-Albers; Margarete Götz; Andeas Hartinger; Susanne Miller & Steffen Wittkowske (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. 3. überarbeitete Auflage, S. 255–261.
- Wilhelm, Thomas & Hopf, Martin (2014): Design-Forschung. In: Dirk Krüger; Ilka Parchmann & Horst Schecker (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Springer Spektrum, S. 31–42. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_3

Phänomenbasierte Zugänge zur Chemie im Sachunterricht der Grundschule

RALF GEISS & SVANTJE SCHUMANN

1 Einleitung

Skepsis bezüglich der Möglichkeiten, schon in der Grundschule chemisches Verständnis aufzubauen, besteht nicht zuletzt in Bezug auf den wesentlichen fachdidaktischen Grundsatz, beim Verständnisaufbau an alltagsweltliche Kontexte anzuknüpfen und Kindern ein Erschließen auf der Ebene der Phänomene bzw. der Wirklichkeit zu ermöglichen (vgl. Schumann 2022). Hier scheinen die Hürden im Fall der Chemie allzu hoch zu sein: Chemie im Alltag ist in der Regel nämlich hochkompliziert, z. B. die menschliche Verdauung oder chemische Reaktionen, die in der Küche stattfinden (Protolyse von Essigsäure in Wasser, Farbänderung von Blaukraut bei Gegenwart von Säuren, Thermolyse von Bratfett, Umwandlung von Zucker in Kohlendioxid durch Hefepilze) (vgl. Geiß & Schumann 2015). Ausgerechnet vergleichsweise "einfache" chemische Reaktionen sind überwiegend als Laborversuche existent – und liegen damit außerhalb der kindlichen Lebenswelt.

Skizziert werden soll im Folgenden, wie ein erfahrungsbasierter Zugang zur Chemie aussehen könnte, der es Kindern ermöglicht, Phänomene bewusst wahrzunehmen und sinnlich zu erkunden. Hier wird auch die unterschiedliche Lagerung von Sachunterricht unter einer naturwissenschaftlichen Perspektive und den sich anschließenden Fächern in den weiterführenden Schulen sichtbar. Denn dort wird häufig so gelehrt, dass den Sich-Bildenden die Systematik der Chemie (meistens beginnend mit der Systematik der chemischen Elemente) kategorienartig, subsumtionslogisch an die Hand gegeben wird. Eine andere Möglichkeit, die sich für die Grundschule anbietet, könnte so aussehen, dass den Sich-Bildenden die Chance gegeben wird, eine Systematik nach und nach selbst zu entwickeln, indem sie Phänomene und Prozesse, die eine Basis für ein Verständnis der Chemie darstellen, erfahren bzw. erleben, beobachten und beschreiben und in einen Dialog dazu eintreten. Mit der Skizzierung soll deutlich werden, welcher Art die Gelingensbedingungen im Sachunterricht sind, die in der Art von Wissenschaftspropädeutik bildungswirksam sind.

2 Die Ebenen Wirklichkeit und Theorie in der Chemie

Naturwissenschaftliche Erkenntnis(-zugänge) lassen sich immer zwei verschiedenen Ebenen zuordnen. Zum einen gibt es die Ebene der Phänomene (Wirklichkeit) und zum anderen die der Ideen (Theorie) (vgl. Geiß & Schumann 2014; Geiß 2017). Auf der Ebene der Wirklichkeit sieht man z. B. eine Kerze herunterbrennen. Auf der Ebene der Theorie kann man diesen Prozess als Beispiel für eine chemische Reaktion darstellen, für die man als Gesamtreaktion notiert, dass Wachs und Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid reagieren.

Es ist wichtig, klar zwischen beiden Ebenen zu unterscheiden. Denn die Phänomene einer Naturwissenschaft ändern sich nie, während die Ideen und Vorstellungen der Menschen bezüglich dieser Phänomene einem ständigen, zeitgeschichtlich bedingten Wandel ausgesetzt sind (vgl. Geiß 2017: 18). Zur Ebene der Phänomene gehört alles, was sich sinnlich wahrnehmen, aber auch messtechnisch wahrnehmen lässt. Beispielsweise kann man in Bezug auf das Element „Eisen“ u. a. Folgendes erfahren: dass Eisen rostet (z. B. Eisennägel), dass manche Menschen Eisen aus medizinischen Gründen zu sich nehmen, weil Eisen wichtig für u. a. die Blutbildung ist. Andere Erfahrungen sind schon nicht mehr so selbstverständlich: dass Eisen in der Natur beispielsweise als Eisenerz vorkommt, darauf wird man eher über das Zeigen durch einen erfahrenen Menschen aufmerksam. Und i. d. R. nur medial erfahrbar ist, dass man Eisenerze reduzieren und dabei Eisen gewinnen kann.

Es scheint, wenn man sich weitere Entwicklungen in der Darstellung insbesondere von Schul- und Lehrbüchern anschaut, momentan eine Tendenz zu geben, dass Naturwissenschaften, auch die Chemie, aktuell überwiegend auf der Ebene von Theorien dargestellt werden und chemisches Wissen oftmals mit Hilfe von mathematischen Berechnungen „untermauert“ wird, ohne dass die Bedeutung der Berechnungen deutlich wird und ohne dass mit den Berechnungen Verständnis entsteht.

Es gibt nun allerdings zahlreiche Hinweise, dass Kinder auf der Primarstufe vor allem dann verstehen können, wenn sie abduktiv und/oder induktiv schließen können, wenn sie ausgehend von Phänomenen, also von der Anschauung und Erfahrung her, Einblicke haben und wenn das Verstehen ohne Mathematisierung auskommt (mit Mathematisierung ist gemeint, Phänomene rechnerisch „anzugehen“, z. B. Auftrieb mit Hilfe von Dichteberechnungen zu „erklären“) (vgl. Geiß & Schumann 2015). Phänomene auf der Primarstufe zu erschließen, erfordert entsprechend dieser Annahmen, dass der Erschließungsprozess ohne Voraussetzungen auskommen muss, d. h. die Erschließung muss quasi nur „mit Bordmitteln“ und „gesundem Menschenverstand“ möglich sein, ohne Kenntnis von z. B. chemischen Modellen und ohne mathematische Fertigkeiten. Verstehen ist auf der Primarstufe auf die Ebene der Wirklichkeit angewiesen und auch beschränkt. Aus Darstellungsgründen können diese Annahmen hier nicht noch einmal ausführlich dargestellt werden, sondern werden in der Art von Prämissen gebraucht. Was bedeuten diese Prämissen in Bezug auf mögliche Zugänge zum Verstehen von Chemie?

3 Zugänge zu Chemie

Das Problem der Lehrbarkeit der Chemie besteht grundsätzlich darin, dass es sehr schwer ist, auf der Ebene, die u. a. auch Kindern gut zugänglich ist und eine wichtige Basis für sie in Bezug auf die mögliche Erkenntnisgewinnung bedeutet, nämlich der Ebene der Wirklichkeit, also des sinnlich Wahrnehmbaren, relativ unmittelbar zu Erkenntnis zu kommen. Denn in der Chemie ist die „Kluft“ zwischen der Ebene der Wirklichkeit und der Ebene der Theorie sehr groß und es ist sehr schwierig, unmittelbar von der Ebene der Wirklichkeit auf eine theoretische Ebene zu schließen.

In anderen Wissenschaftsbereichen ist das anders, dort lassen sich Phänomene teilweise direkt beobachten und lassen sich daraus Schlüsse ziehen. Beispielsweise lässt sich an einem Kirschbaum im Frühjahr beobachten, dass die Spitzenknospe an den Kurztrieben immer anders aussieht als alle drumherum liegenden Knospen – wenn die Knospen aufbrechen, zeigt sich, dass in der Spitzenknospe die Triebverlängerung samt Blättern schlummerte und in den umliegenden Knospen die Blüten angelegt sind. Oder es lässt sich durch vorsichtiges Explorieren herausfinden, ob ein Regenwurm sehen, riechen, hören, schmecken und/oder fühlen kann – und daraus Schlüsse ziehen, also sich z. B. überlegen, was dies für die Anpassung des Regenwurms an seinen Lebensraum aussagt. Ist keine unmittelbare Beobachtung und Schlussziehung möglich, reichen manchmal schon sehr konkrete, anschauliche Vorstellungen, um Sachverhalte zu erschließen. So kann man z. B. in der Geschichtswissenschaft die Charakteristika des Jungsteinzeitalters sehr gut erschließen: ausgehend von archäologischen Funden und Rekonstruktionen wird die Vorstellung untermauert, wie Ackerbau und Viehzucht entstanden.

Die theoretische Ebene verlangt immer, dass man Vorstellungen bildet – aber wichtig ist die Frage, wie abstrakt oder konkret diese Vorstellungen sein müssen, um etwas verstehen zu können. Wenn nur noch mathematisch herleitbare und/oder abstrakte Vorstellungen Erkenntnis bedeuten, dann heißt das, dass viele Kinder, auch der höheren Primarschulklassen, nicht zu einer solchen Vorstellungsbildung in der Lage sind. Nach Wagenschein ist Verstehen bei Kindern begünstigt, wenn der Unterricht möglichst unmathematisch verfährt und unmittelbar an der Phänomenbegegnung anknüpft (Wagenschein 1970a: 30). Unterricht dürfe zudem auch diejenigen Kinder nicht ausschließen, die Wagenschein als die „untheoretischen Bastler“ bezeichnet (Wagenschein 1970b: 157 f.). Zudem setzte sich Wagenschein immer für eine deutliche Stoffbegrenzung ein. Er forderte, sich auf den Physiker Ernst Mach berufend (Mach 1903: 158): „Ich glaube, daß der für eine zweckmäßige Bildung zureichende Lehrstoff, welcher allen Zöglingen einer Vorbereitungsschule gemeinsam geboten werden muß, sehr bescheiden ist.“ Mach selbst führt in Bezug auf Lehrziele im Bereich der Physik aus (Mach 1903: 343 f.), dass es wichtig sei, dass Schüler möglichst auffällige und für das praktische Leben wichtige Naturerscheinungen bewusst aufnehmen, sie klar beschreiben und ihnen nachforschen könnten und dass Schüler einige wenige möglichst zusammenhängende Entdeckungen sozusagen miterlebt und ihre Konsequenzen begriffen hätten, sodass sie einen Einblick in die wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise erhielten.

Es lässt sich also in Bezug auf die Frage, wie und ob Kinder Chemie verstehen können, u. a. fragen, welche Vorstellungen und/oder „Erlebnis-Denk-Brücken“ (Buck 2006: 7) es geben könnte, die das Verstehen von Chemie begünstigen und welche sinnlich wahrnehmbaren Phänomene exemplarisch besonders gut geeignet sein könnten, um das Erringen chemischer Erkenntnis eindrücklich erfahren zu können.

Nun ist es aber so, dass gerade ein phänomenologischer Zugang zur Chemie vor einige besondere Schwierigkeiten gestellt ist. Peter Buck stellt das in seinem Aufsatz „Warum, vielleicht, Chemie schwer zu verstehen ist“ (2006) wie folgt dar, sich auf Volker Scharf und Carl Friedrich von Weizsäcker beziehend: *„Über der Veränderung liegt stets ein Hauch von Unbegreiflichkeit“, so überschrieb der Chemiedidaktiker Volker Scharf – Carl Friedrich von Weizsäcker zitierend – eine Untersuchung, in der es um das Verstehen chemischer Prozesse ging. Scharf hatte ‚Experten‘ (Studierende des Diplom-Chemiker-Studiengangs), ‚Laien‘ (Studierende der Sozialpädagogik) erklären lassen, wie man die Wirkung eines Feuerlöschers bei einem Brand verstehen kann. Alle Erklärungsversuche endeten in einer ‚Kluft des Nicht-verstehen-Könnens‘“*. Damit spielt Buck darauf an, dass in der Chemie die Verwandlung von Stoffen eine zentrale Rolle spielt – und man hier nie sieht, was im Prozess geschieht – man sieht nur das Vor- und das Nachher. Geiß betont ebenfalls, dass Stoffverwandlungen, also chemische Reaktionen, nicht durch direkte Anschauung gedeutet werden könnten: Den Sinneswahrnehmungen sind vor allem die Ausgangs- und Endstoffe zugänglich, nicht jedoch das, was auf dem Weg vom einen zum anderen geschieht. Selbst eine große Zahl an Experimenten und Messungen wird den Verlauf einer chemischen Reaktion nicht offenbaren. Die Ergebnisse chemischer Untersuchungen müssen gedanklich gedeutet werden (Geiß 2017: VII).

Lassen sich dennoch Vorschläge bezüglich möglicher Zugänge entwickeln, die möglichst auf unmittelbaren Erfahrungen von Kindern mit Phänomenen beruhen?

4 Vorschläge für Zugänge

Eine Urfrage der Chemie war die Frage, wie aus einem Stoff ein ganz anderer werden kann, z. B. aus Holz Asche oder aus Zucker Karamell oder aus blankem Eisen rostiges Eisen oder aus frischer Milch saure Milch oder aus Kompost humusreiche Gartenerde oder aus Essen und Trinken Kot und Urin. Und offenbar war eine Urvorstellung der Chemie die, dass es Stoffe gibt, die quasi „Urstoffe“ bzw. „Elemente“ sind, aus denen alle anderen Stoffe zusammengesetzt sind, während die Urstoffe selbst nicht weiter zerlegbar sind.

In Bezug auf eine Anbahnung des Verständnisses von Chemie könnte es, ausgehend von diesen Urfragen und -vorstellungen, Sinn machen, Kindern Erlebnisse zu ermöglichen, bei denen sie Zeuge sind

- wie aus einem Stoff ein ganz anderer wird, weil Verbindungen zerlegt werden (Stoffspaltungen) oder weil aus Elementen Verbindungen entstehen (Stoffvereinigungen),
- dass Stoffe bestimmte Eigenschaften haben,

- dass Naturwissenschaftler:innen verschiedene Verfahren entwickelt haben, um Verbindungen zu zerlegen oder aus Elementen Verbindungen herzustellen.
- dass Naturwissenschaftler:innen aus bestimmten Beobachtungen bestimmte Vorstellungen ableiten.

Dabei sollten die Erlebnisse solcher Art sein, dass die Kinder Zeuge realer Ereignisse sind, die sie mit eigenen Sinnen erfahren haben. Teilweise werden auch für Kinder in solchen Ereignissen Problemstellungen und/oder Prinzipien sichtbar und wird ansatzweise eigenes Erschließen auf der Ebene der Wirklichkeit möglich. Diese Art der Begegnung und Auseinandersetzung mit Phänomenen könnte, so die Annahme, zum Aufbau eines soliden Fundaments bzw. elementarer Grundbausteine beitragen, um darauf (spätere Erkenntnisprozesse) aufbauen zu können.

Im Folgenden werden auf der Basis dieser Annahmen ein paar Vorschläge entwickelt und dann im letzten Schritt kritisch reflektiert.

4.1 Stoffeigenschaften

Exemplarisch werden im Folgenden ein paar Stoffeigenschaften und Vorschläge für die Veranschaulichung bzw. das Erfahren dieser vorgeschlagen.

Wasserlöslichkeit

Wasserlöslichkeit festzustellen bedeutet, auszuprobieren, wie viel Gramm eines Stoffes sich in 100 g Wasser lösen lassen. Eine vollständige (gesättigte) Lösung ist dann erreicht, wenn der Stoff sich absetzt, also nicht mehr „unsichtbar“ im Wasser gelöst werden kann. In einem Versuch kann man z. B. vier Gläser zur Hälfte mit Wasser füllen und in jedes Glas einen anderen Stoff geben: in ein Glas einen Teelöffel Zucker, in ein anderes Glas einen Teelöffel Salz, in das dritte Glas einen Teelöffel Sand und in das vierte Glas einen Teelöffel Öl. Beobachten lässt sich, nach dem Umrühren, Folgendes: Zucker und Salz sind nicht mehr mit bloßem Auge zu erkennen – „sie lösen sich in Wasser“ sagt man, sie sind gut löslich; es entsteht eine Zucker- bzw. eine Salzlösung. Im Fall von Sand, den man in Wasser gibt, spricht man von einer Suspension, also einem heterogenen Gemisch bestehend aus einem festen und einem flüssigen Stoff. Der Sand setzt sich nach einiger Zeit unten ab und ist dort als kleiner Haufen auf dem Boden des Glases zu erkennen. Sand löst sich also nicht in Wasser. Das Absetzen auf dem Glasboden nennt man Sedimentieren. Beim vierten Glas bildet Öl in Wasser kleine Tröpfchen, was mit bloßem Auge zu erkennen ist. Nach dem Umrühren sammelt sich das Öl oberhalb der Wasseroberfläche an und ist als abgetrennte Phase gut zu erkennen. Öl löst sich also nicht in Wasser. Man spricht hier von einer Wasser-Öl-Emulsion (und nicht von einer Lösung), d. h. einem heterogenen Gemisch, in dem die beiden flüssigen Bestandteile Wasser und Öl gut sichtbar wahrgenommen werden können.

Aggregatzustände

Stoffe können in drei Aggregatzuständen (fest, flüssig, gasförmig) auftreten – Erwärmung bzw. Abkühlung bewirkt den Übergang von einem Zustand zum anderen. Die Erkundung folgender Übergänge wird vorgeschlagen:

- a) Schmelzen: Ein Stoff schmilzt, wenn er vom festen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. In der Alltagssprache wird Schmelzen auch Tauen genannt. Als Schmelzpunkt bzw. Schmelztemperatur wird die Temperatur bezeichnet, bei der ein Feststoff zu schmelzen beginnt. Während des Schmelzvorgangs eines Feststoffs ändert sich trotz Wärmezufuhr die Temperatur der Stoffportion nicht. Da Schmelzpunkte nur geringfügig vom Druck abhängen, werden sie meist ohne Druckangabe aufgeführt.

Ein mögliches Experiment ist, dass man ein Trinkglas zur Hälfte mit Eiswürfeln füllt und dann so viel Wasser auffüllt, bis das Glas randvoll ist. Bei Zimmertemperatur lässt man das Glas nun stehen. Beobachten lässt sich, dass die Eiswürfel schmelzen und zu Wasser werden. Ggf. fallen einigen Kindern zusätzliche Dinge auf, z. B., dass die Eiswürfel durchsichtig sind, oder dass die Eiswürfel schmelzen, oder dass das Glas nicht überläuft und der Wasserspiegel am Ende gleich hoch steht wie am Anfang.

- b) Erstarren: Ein Stoff erstarrt, wenn er vom flüssigen in den festen Aggregatzustand übergeht – im Alltag spricht man auch von Frieren.

Als Versuch kann man Wasser in eine Eiswürfelform füllen und dann in den Gefrierschrank stellen. Beobachten lässt sich, wo sich zuerst Eis bildet und wie die Konsistenz dieses Eises beschaffen ist – bis hin zur Feststellung, dass man durchgefrorene Eiswürfel vorliegen hat.

- c) Verdunsten, Verdampfen: Ein Stoff verdunstet bzw. verdampft, wenn er vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht.

Experimentell lässt sich das Verdunsten wie folgt beobachten bzw. erkunden: Mit Hilfe eines Messbechers werden genau drei Deziliter (also 300 Milliliter Wasser) in einen tiefen Teller gegeben und ebenfalls 300 Milliliter Wasser in eine Flasche, die man fest verschließt. Teller und Flasche werden dann aufs Fensterbrett in die Sonne gestellt. Dort lässt man beides ein oder zwei Tage stehen. Dann füllt man das Wasser des Tellers zurück in den Messbecher und misst, wie viel Wasser da ist. Ebenso misst man dann auch die Menge des Wassers in der Flasche nach. Feststellen lässt sich, dass Wasser aus dem Teller verschwunden ist. Auf dieser Basis lassen sich Fragen formulieren und Gespräche führen. Als analoges Beispiel zum Teller kann man Regenpfützen beobachten.

- d) Sieden und Kondensieren: Am Siedepunkt, wenn eine Flüssigkeit nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Inneren verdampft, spricht man von Sieden. In der Umgangssprache nennt man diesen Vorgang Kochen. Die Temperatur, bei der

eine Flüssigkeit auch in ihrem Inneren zu verdampfen beginnt, wird Siedepunkt genannt. Während des Siedevorgangs einer Flüssigkeit ändert sich trotz Wärmezufuhr die Temperatur der Stoffportion nicht. Ein Stoff kondensiert, wenn er vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. Im Alltag nennt man das Kondensieren von gasförmigem Wasser oft Beschlagen.

Experimentell kann man, unter Einhaltung von Sicherheitsmaßnahmen, Wasser in einem Topf zum Sieden bringen und beobachten, wie das Wasser „verschwindet“, sich Wasserdampf bildet und wie Wasser an einem übers siedende Wasser platzierten Topfdeckel kondensiert.

Wärmeleitfähigkeit

Gute Wärmeleiter, z. B. Metalle, heizen sich schnell auf und kühlen schnell ab, schlechte Wärmeleiter, z. B. Holz, heizen sich nur langsam auf, bleiben aber lange warm. Ein mögliches Experiment ist, dass man eine Tasse mit heißem Wasser füllt; die Tasse wird auf einem Stövchen oder Teelichtofen warmgehalten, sodass das Wasser nicht abkühlt, während der Versuch läuft. Nun wird ein Metalllöffel, der Zimmertemperatur besitzt, in die Tasse gestellt – der Löffel taucht ein, der Löffelgriff ragt aus der Tasse heraus. Nach kurzer Zeit lässt sich feststellen, dass das Ende des Löffels, das sich nicht im Wasser befindet, sich erwärmt hat. Das Metall hat die Wärme des Wassers also gut geleitet – Metall ist ein guter Wärmeleiter. Macht man dasselbe mit einem Holzlöffel, stellt man fest: Auch nach langer Wartezeit wird der Holzgriff des Löffels nicht warm. Holz ist ein schlechter Wärmeleiter. Im Dialog kann man u. a. darüber nachdenken, warum man Schöpfkellen aus Metall mit einem Holzgriff versieht.

Verformbarkeit

Wenn ein Stoff sich unter Druck verformt, ist er gut verformbar – zerbricht er, ist er nicht verformbar. Elastische Materialien ändern ihre Form bei Druck – und nehmen, nachdem der Druck aufhört, dann wieder ihre ursprüngliche Gestalt an. Gut verformbar sind z. B. weiche und dünne Metalle. Gummi ist elastisch und nimmt nach der Verformung wieder den ursprünglichen Zustand an. Porzellan ist nicht verformbar und zerbricht.

Härte

Feste Stoffe kann man nach Härte sortieren. Dazu kann man eine Ritzprobe machen. Mit einem Stoff versucht man vorsichtig mit möglichst gleicher Kraft, einen anderen Stoff zu ritzen. Welcher Stoff fägt welchem eine Rille zu? Der härtere Stoff ritzt den weicheren Stoff, ein weicherer Stoff kann niemals einen härteren Stoff ritzen. Mögliche Stoffe, die man zur Verfügung stellen kann, sind z. B. ein Radiergummi, ein Eisenblech, eine Wachsplatte, ein Holzbrett. Man kann aber auch innerhalb einer Stoffgruppe Versuche zur Härte machen, z. B. mit verschiedenen Holzsorten wie Fichtenholz (sehr weich), Lindenholz (weich), Birkenholz (mittelhart), Nussbaum (mittelhart bis hart), Eiche (hart) und Robinie (sehr hart).

Toxizität

Manche Stoffe haben toxische Eigenschaften – sie sind giftig bzw. gefährlich für Menschen und Tiere. Stoffe werden mit Gefahrstoffsymbolen gekennzeichnet sowie mit Kennbuchstaben. So kann dann bereits auf Schäden, die von den Stoffen ausgehen können, geschlossen werden. Es ist möglich, sich einmal bewusst mit diesen Gefahrstoffsymbolen (vgl. Abb. 1) auseinanderzusetzen.



Abbildung 1: Gefahrstoffsymbol „giftig“

Die Bedeutung des abgebildeten Gefahrstoffsymbols „giftig“ ist, dass giftige Stoffe schon in geringen Mengen durch Verschlucken, Einatmen oder Aufnahme durch die Haut zu erheblichen Gesundheitsschäden führen können. Untersuchen lässt sich mit Kindern beispielsweise, welche Stoffe aus ihrem Alltag diese Kennzeichnung haben (z. B. Düngemittel für Pflanzen, Reinigungsmittel) und welche weiteren Gefahrstoffsymbole sie auf Packungen, z. B. im Supermarkt, finden und was diese bedeuten.

Geschmack

Geschmack ist ein komplexer Sinneseindruck. Die Geschmacksempfindung beginnt mit dem Reiz, den die Geschmackssinneszellen, lokalisiert in den Geschmacksknospen der Zunge, empfangen, und dient der „Voreinschätzung“ von Nahrung. Unterschieden werden die Empfindungen „sauer“, „süß“, „bitter“, „salzig“ und „umami“.

Es ist beispielsweise möglich, folgende Stoffe zum Probieren bereitzustellen und sich dann darüber auszutauschen, wie man den Geschmack beschreiben würde, wobei folgendes Resultat erwartbar ist: Zitronensaft schmeckt sauer, Wasser hat keinen Geschmack, Grapefruitsaft schmeckt bitter, Zuckerwasserlösung hat einen süßen Geschmack, Salzwasser dagegen einen salzigen, Sojasauce den Geschmack „umami“.

Probieren lässt sich auch: Verändert sich etwas bei der Geschmackswahrnehmung, wenn man sich beim Schmecken die Nase zuhält?

Geruch

Die olfaktorische Wahrnehmung gilt als der komplexeste chemische Sinn. Die Rezeptionszone des olfaktorischen Systems befindet sich im Innern der Nase. „Meistens spielen intensive Erfahrungen mit dem Geruch an einem bestimmten Ort bzw. mit dem Geruch assoziierte Ereignisse eine Rolle (episodisch-autobiografisches Gedächtnis) für das Erinnerungsvermögen“

Zum einen lässt sich im Erfahren und im Dialog erforschen, mit welchem Ereignis man einen bestimmten Geruch verbindet. Zum anderen kann man versuchen, Gerüche bewusst wahrzunehmen und die Stoffe zu benennen, die diesen Geruch haben (z. B. Essig, Parfüm, Kaffeepulver, Zimt, Orangenschale, Lavendel, Walnussblätter). Oder man kann versuchen, einen neuen Geruch zu lernen und sich einzuprägen und bei Gelegenheit wiederzuentdecken. So kann man sich z. B. von einem Förster den typischen Geruch, der an Fuchsbauten herrscht, zeigen lassen – und anhand dieses Geruchs in anderen Waldstücken dann mit dem Förster weitere Fuchsbauten finden.

Stoffe allgemein umfassend erkunden

Gerade Werkstoffe, mit denen man z. B. beim textilen und technischen Gestalten arbeitet, lassen sich u. a. durch die Beschreibung von Aspekten wie Farbe, Glanz, Form, Härte und Textur bewusst wahrnehmend erkunden und beschreiben.

Sinnvoll erscheint eine Beschreibung, die mit Hilfe von Aussehen und Anfassen/ Ertasten vorgenommen wird, vor allem dort zu sein, wo sie zur Bestimmung und Differenzierung entscheidend beizutragen vermag. So könnte man z. B. Kugeln derselben Größe von unterschiedlichen Stoffen bereitstellen. Feststellen könnte man, dass sich Kugeln aus Glas und Stahl kalt, Holz- und Styroporkugeln hingegen warm anfühlen (Aspekt Wärmeleitfähigkeit), Gummi rau ist, Wolle weich, Holz, Glas und Stahl hart, Holz eine Maserung aufweist, Glas sehr homogen aussieht etc.

Man kann aber auch versuchen, den Charakter der Materie auf andere Arten zu fassen zu bekommen, z. B. indem man versucht, Stoffe zu portionieren (z. B. Mehl, Sägespäne, Ton, Wachs, Knete, Kuchenteig) oder sich Strukturen, die Stoffe bilden, genau anzuschauen (z. B. Maserung von Holz, von Granit). Auch beobachten lässt sich, dass bestimmte Stoffe bestimmte Neigungen haben (vgl. Soentgen 1999: 203 f.), z. B. Kuchenteig, der, als Kugel liegengelassen, flacher wird und „kriecht“ oder, versetzt mit Hefe und zugedeckt mit einem feuchten Handtuch, nach einer Weile „geht“.

4.2 Naturwissenschaftliche Arbeitsverfahren

Exemplarisch werden im Folgenden ein paar Möglichkeiten vorgestellt, wie Kinder Praktiken von Naturwissenschaftler:innen durchführen und damit Erfahrungen sammeln können.

Filtration

Die Partikel, die von einem Gemisch aus einem festen und einem flüssigen Stoff (sog. Suspension) abgetrennt werden sollen, müssen größer sein als die Poren des verwendeten Filters. Um verschiedenen Trennproblemen gerecht zu werden, gibt es Filter bzw. Siebe mit unterschiedlich großen Poren.

Sedimentieren und Dekantieren

Eine 500-ml-Flasche wird mit etwas Sand und reichlich Wasser gefüllt. Nun verschließt man die Flasche und schüttelt kräftig. Anschließend stellt man die Flasche ab und beobachtet. Beobachten lässt sich: Die Sandpartikel sammeln sich am Boden der Flasche

an. Das Absinken der dichten Sandpartikel wird Sedimentieren genannt. Durch vorsichtiges Abgießen des Wassers kann eine teilweise Trennung von Wasser und Sand erzielt werden. Diese Art des Abgießens nennt man Dekantieren.

Extrahieren

Extrahieren in Bezug auf die Teezubereitung im Alltag bedeutet, dass lösliche Stoffe aus getrockneten oder auch frisch gesammelten Teeblättern mithilfe von heißem Wasser herausextrahiert werden. Bestandteile wie Blattreste werden vom Teebeutelpapier in der Art eines Filters zurückgehalten.

Es ist auch möglich, den grünen Farbstoff von Pflanzen mittels Extraktion aus Blättern zu gewinnen. Dabei werden z. B. grüne Spinatblätter zerkleinert und zermörsert, ein wenig Spiritus hinzugegeben, als Lösungsmittel fürs Chlorophyll, und schließlich durch Filtration die festen Blattreste von der grünen Lösung getrennt. Beim Stehenlassen der Lösung verdunstet das Lösungsmittel – zurück bleibt der grüne Farbstoff.

Abwiegen

Immer wieder kommt es im Alltag und auch in der Wissenschaft darauf an, Stoffmengen genau abzuwiegen. Ein Beispiel aus dem Alltag ist das Kuchenbacken. Erfahrung gesammelt werden kann mit dem Umgang mit verschiedenen Waagen und mit der Tara-Funktion bei digitalen Waagen. Auch ein paar kleine Tricks können hilfreich und interessant zu erfahren sein, beispielsweise der Trick, dass man unter den auf der Waage stehenden Becher, in den hinein man etwas abmessen möchte, ein Filterpapier legt, das die Fläche der Waage vollständig bedeckt und das man vor dem Auflegen auf die Waage einmal in der Mitte gefaltet und danach wieder entfaltet hatte. Schüttet man nun beim Wiegen z. B. Pulver daneben, so kann man den Becher kurz anheben und das verschüttete Pulver auf dem Filterpapier hochnehmen und das Pulver mithilfe der vom Knick gebildeten Rinne gezielt wieder in den Becher zurückschütten.

Zum Messen kann sowohl der Umgang mit Waagen als auch mit Messzylindern, Messlöffeln und Pipetten in möglichst sinnstiftenden Kontexten (z. B. Herstellung von Salben, Tees, Speisen) geübt und praktiziert werden.

Mischen und Trennen

Ein Gemisch enthält mindestens zwei verschiedene Stoffe. Gemische können mithilfe von Trennmethode in ihre Einzelbestandteile zerlegt werden. Man unterscheidet zwischen homogenen Gemischen und heterogenen Gemischen. Eine Zuckerlösung (Zucker, in Wasser gelöst) ist beispielsweise ein homogenes Gemisch. Denn die Lösung ist für das Auge nicht als Gemisch erkennbar – nicht einmal mithilfe eines Mikroskops (vgl. Geiß 2017: 350). Eine Öl-Wasser-Emulsion ist ein heterogenes Gemisch. D. h. man kann die Komponenten des Gemischs mit bloßem Auge erkennen.

5 Abschließende Reflexion

5.1 Ziel der Reflexion

Die Vorschläge gründeten auf den Annahmen, dass Kinder der Primarstufe vor allem dann verstehen können, wenn sie abduktiv und/oder induktiv schließen können, wenn sie ausgehend von Phänomenen, also von der Anschauung und Erfahrung her Einblicke haben und Einsichten gewinnen können sowie wenn das Verstehen ohne Mathematisierung auskommt (vgl. Kap. 2).

Die abschließende Reflexion soll nun beleuchten, was die gemachten Vorschläge für das Verständnis der Erwartung nach leisten können und auf welchem Weg Erkenntnis dabei möglich ist.

Vorweg lässt sich allgemein sagen: Verstehen zu unterstützen ist nie auf der Basis „technischer Vorschläge“ möglich. Denn ein Hauptfaktor ist, ob die Interaktion (diejenige zwischen Schülerinnen und Schülern sowie die Schüler-Lehrer-Interaktion) gelingt, ob also eine Verständigung, in der Regel im Dialog, passiert. Dabei spielen viele Faktoren eine wichtige Rolle, u. a. hat hier die Leidenschaft des Lehrers für das Phänomen und für Kinder eine wichtige Wirkung, der adäquate Umgang mit Neugier, Unwissen, Halbwissens-Antworten und Fehlern, die Verantwortungsübernahme aller im Sinne des Verstehens, die Ermöglichung eines angstfreien, empathischen und respektvollen Dialogs (diese Faktoren werden übrigens auch im Wirtschaftsleben als wichtige Basis von Innovationen angesehen (vgl. Edmondson 2023)).

5.2 Reflexion der konkreten Vorschläge

Zunächst erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit den Vorschlägen zur Erkundung von Stoffeigenschaften. Allgemein lässt sich sagen, dass die Vorschläge bewusst so formuliert wurden, dass es nicht unbedingt notwendig ist, zwischen Reinstoffen und Gemischen zu unterscheiden. Sondern mit dem Terminus „Stoff“ bleibt man in der Sphäre des unmittelbar Evidenten. Zu definieren, was ein Reinstoff ist und was ein Gemisch, würde schon wieder ganz viele zu akzeptierende Vorannahmen notwendig machen, die Kinder im Primarschulalter tendenziell vor einen dem Verständnis nicht zuträglichen, sondern eher Verwirrung stiftenden Wust von Fakten bzw. Begriffen stellen würde. Auch wenn es auf der Theorieebene klare Kriterien für die Unterscheidung von Reinstoffen und Gemischen gibt – in der Welt der Kinder gibt es diese nicht. Denn inwieweit ist auf der sinnlich erlebbaren Ebene klar, ob etwas ein Reinstoff ist oder ein Gemisch? Auch in der Chemiewissenschaft zeigt sich, dass es ganz so einfach mit den Reinstoffen nicht ist. Denn ob es sich bei einem Reinstoff um ein Element oder um eine Verbindung handelt – das lässt sich nicht ohne weitere Annahmen sagen.

Zum Vorschlag, Kindern Erfahrungen bezüglich Stoffeigenschaften zu ermöglichen, ist zu sagen, dass bei den meisten Vorschlägen die physikalische Betrachtung im Zentrum steht (z. B. Aggregatzustände, Verformbarkeit, Wärmeleitfähigkeit) oder die biologische Erkundung (z. B. Geruch, Geschmack). Aber gerade diese Zugänge scheinen geeignet zu sein, um eine verlässliche Basis aufzubauen, auf der später chemisches Verständnis wachsen kann. Denn sowohl die dargestellten physikalischen als

auch biologischen Zugänge bedeuten, dass man ganz auf der Ebene der Wirklichkeit unterwegs ist und Phänomene sinnlich erleben kann. So werden Grunderfahrungen gemacht, beispielsweise Unterschiede von hart und weich, flüssig und fest, warm und kalt erlebt. In der Chemie in späteren Schuljahren, wenn es um Stoffumwandlungen geht, können alle diese Erfahrungen einfließen und helfen, Veränderungen besser wahrzunehmen.

Bei den Vorschlägen zum Erfahren von Stoffeigenschaften wurden Stoffeigenschaften, die ein vergleichsweise schwieriges, weil abstraktes Konzept erfordern, nicht berücksichtigt. Dazu zählt u. a. die Eigenschaft „elektrische Leitfähigkeit“. Sie besagt, wie schnell Strom durch verschiedene Materialien fließen kann – beispielsweise sind Metalle besonders gute Leiter, Kohlenstoffverbindungen eher schlechte – man braucht aber hier für das Verstehen bereits das gesamte Konzept des Stromkreislaufs, für das u. a. gilt, dass Vieles daran sehr schwer verständlich und/oder verwirrend ist (bis hin zum Begriff „Stromkreislauf“ selbst – handelt es sich wirklich um einen Kreislauf? Was bildet einen Kreis?). Ebenfalls anspruchsvoll sind die Eigenschaften „Korrosion“, „magnetisch“, „hydrophil“ oder „lipophil“ und „brennbar“. Weggelassen wurde auch „Dichte“ – hier würde ebenfalls ein vergleichsweise schwieriges Konzept verstanden werden müssen. Auch „Masse“ wurde weggelassen und im Fall der Aggregatzustände oder der Wärmeleitfähigkeit das Messen mit Thermometern. Die Überlegung dahinter ist, dass eine Mathematisierung häufig eher vom Phänomen wegführt als zu ihm hin. Fertigt man z. B. eine Temperaturmessreihe an, z. B. im Fall von Experimenten zur Übertragung von Wärme, wird vor lauter Messdurchführungen und -notizen oft nach kurzer Zeit vergessen, weshalb eigentlich gemessen wird. Und auch Beobachtungen werden dann häufig zu Lasten der Messungen vernachlässigt. Um eine Messung begründet durchführen zu können, braucht es mindestens eine Fragestellung, die so ist, dass sie nur mithilfe einer Messung beantwortet werden kann. Tatsächlich könnte also eine Temperaturmessung bei der Fragestellung „Bei wie viel Grad Celsius fängt Wasser an zu kochen?“ durchgeführt werden. Aber auch dann muss man zunächst zentrale Fragen klären, z. B. die Fragen, was ein Thermometer ist, wie es funktioniert und was man damit eigentlich genau misst.

Weiterhin ist zu überlegen: Ist es möglich, dass Kinder einen Stoffbegriff aufbauen, bei dem auch Gase als Stoffe wahrgenommen und ins kindliche „Stoffkonzept“ integriert werden? Die Erfahrung zeigt, dass es schwierig für Kinder in der Primarschule ist, sich Gase vorzustellen. Wenn man Wasser zum Kochen bringt und diesen Vorgang beobachtet, ggf. auch beobachtet, dass Wasserdampf an Fensterscheiben kondensiert, kann man im Gespräch über Vorstellungen sprechen und Fragen nachgehen, z. B. der Frage, wo das Wasser, das im Topf war, geblieben ist, wie das Wasser, das an der Fensterscheibe ist, dorthin gelangt ist. Es sollten aber, wenn es nicht von den Kindern kommt, Erklärungen gegeben werden – als wichtig wird erachtet, dass die Kinder über die Erfahrung verfügen. Dass sie also beobachtet haben, was geschah, als das Wasser kochte und dass sie am Gespräch teilnahmen, in dem sie ihre Beobachtungen und Gedanken miteinander austauschten.

Viele der gemachten Vorschläge im Bereich „Stoffeigenschaften“ entsprechen dem, was Wagenschein einen sog. „Arbeitsunterricht“ (1970a: 454) nennt, in dem er ein wesentliches Element des Exemplarischen sieht. Und viele der Vorschläge fördern auch das, was Wagenschein „produktive Findigkeit“ nennt (1986: 80), wo Kinder also im Zuge der Auseinandersetzung mit Phänomenen produktiv aus sich selbst heraus lernen und selbstständig Gedanken entwickeln können. Es wird bei allen Vorschlägen auch auf „verfremdende Apparaturen“ verzichtet (Wagenschein 1989: 67), die ein Phänomen verdecken könnten. Somit scheinen Grundvoraussetzungen für ein mögliches Verstehen erfüllt zu sein.

Was lässt sich nun in der kritischen Auseinandersetzung mit dem Nachvollzug von Verfahren von Naturwissenschaftler:innen sagen? Die dargestellten Vorschläge in den Tätigkeitsbereichen Filtration, Sedimentieren und Dekantieren, Extrahieren, Abwiegen sowie Mischen und Trennen wurden so ausgewählt, dass es sich um ganz konkrete, sinnlich gut wahrnehmbare Prozesse, die erkennbar eine Wirkung bzw. einen Effekt haben, handelt. Auf Fachbegriffe kann verzichtet werden – wenn die Kinder aber eine Freude und ein Interesse an Fachbegriffen zeigen bzw. im Verlauf der Durchführungen entwickeln, kann man dies auch zum Thema machen und u. a. über die Möglichkeiten, sich gegenseitig gut verständlich zu machen, indem man Begriffe verwendet, die alle gleich definieren, sprechen. Mathematisierung im Fall des Wiegens ist zwar enthalten, aber hier dient es einem ganz konkreten, gut verständlichen und greifbaren Zweck: Es kommt bei Rezepten eben auf das richtige Mischungsverhältnis an, und das lässt sich durch Wiegen herstellen. Bezüglich mancher Verfahren, z. B. dem Pipettieren (Abwiegen und/oder Umfüllen), ist zu sagen, dass i. d. R. bereits dort die Grenzen des Verstehbaren für Kinder der Primarstufe erreicht werden, wo das äußerlich Sichtbare endet und das innerlich Vorstellbare beginnt. D. h. man könnte die Pipette (in der Form eines offenen Röhrchens mit besonderer Formgebung) als solche zusammen mit den Kindern gründlich wahrnehmen und beschreiben. Und dabei feststellen, dass es sich um eine Art Röhre handelt, welche unten eine feine Öffnung hat und sich dann bauchig erweitert. Und könnte dann den Vorgang der Flüssigkeitsaufnahme ebenso gründlich beobachten und beschreiben, z. B. so: „Taucht man die Pipette mit der feinen Öffnung nach unten gerichtet in eine Flüssigkeit, so wird die Flüssigkeit innerhalb der Pipette so hoch steigen, wie die Flüssigkeit auch außerhalb der Pipette im Gefäß steht.“ Und ebenso kann man die Entnahme der Flüssigkeit mit der Pipette beobachten und beschreiben, z. B. so: „Verschließt man nun die obere Öffnung mit dem Daumen und hebt die Pipette aus der Flüssigkeit heraus, so fließt nur ein geringer Teil der enthaltenen Flüssigkeit aus.“ Auch das Hineingeben der Flüssigkeit in ein anderes Gefäß kann beschrieben werden. Auch wenn Fragen, warum das Wasser nicht einfach aus der unteren engen Öffnung komplett ausströmt, nicht gestellt oder beantwortet werden – allein diese Beobachtungen und Beschreibungen zum Verfahren bzw. zur Bedienung als solcher bedeuten schon „Vorstufen des Verstehens“. Und in Anbetracht von Klassen mit Kindern ganz heterogenen Sprachfähigkeiten und oft einer Erstsprach-Vielfalt sind diese Vorstufen schon fordernd genug. In Bezug auf Verfahren wie z. B. Chromatografie zeigt sich, dass sie zu abstrakt für Kinder sind – Kinder können sich keine Vorstel-

lung bilden, was hier geschieht. Und leider gilt auch hier, dass manche „einfache Erklärung“ in Schulbüchern falsch ist. Es sollte aber unbedingt vermieden werden, dass Kinder durch Erklärungen, die fehlerhaft oder zu abstrakt sind, dazu kommen, sich falsche Vorstellungen aufzubauen.

Insgesamt handelt es sich bei den vorgeschlagenen Verfahren nicht um spezifische Verfahren von Chemiker:innen, sondern um Arbeitsverfahren, die allgemein in den Naturwissenschaften sehr verbreitet sind. Auch hier lautet die Annahme, dass diese gut durchführbaren, gut sinnlich wahrnehmbaren Verfahren eine gute Grundlage bilden, um später anspruchsvollere und spezifisch chemische Verfahren besser verstehen zu können. Es geht also um den Aufbau eines soliden Fundaments, damit später Anschlussmöglichkeiten gegeben sind.

6 Fazit

Insgesamt deutet sich an: Verstehen scheint im Fall der Chemie erst relativ spät, bezogen auf die Alters- und Entwicklungsstufe, möglich zu sein, weil auch bei scheinbar „einfachsten“ Phänomenbetrachtungen oder Handlungen bereits eine Vorstellung auf abstrakterer Ebene erforderlich ist. Vielleicht sollte man daher von Vorstufen des Verstehens sprechen und sich auf diese in der Primarschule bewusst konzentrieren. D. h. man könnte beim Anbahnen von Verständnis auf die Ermöglichung von „Begegnung“, „Erfahrung“, „Beobachtung“ und „Beschreibung“ sowie „Dialoge“ darüber abzielen und auch lieber vom „Explorieren“ als vom „Experimentieren“ sprechen und solches anstreben. Ganz im Sinne eines phänomenologisch verstandenen Verstehens, bei dem die Beschreibungen aus subjektiven Erfahrungen entstehen (vgl. Schönbeck 2013). Denn all diese Formen der Erfahrungen haben gemeinsam, dass Kinder dabei im besten Fall verlässliche Protokolle gewinnen, an die sie sich bei späteren Bildungsanlässen zurück-erinnern und auf die sie sich zurückbeziehen können. Tatsächlich schlagen auch andere Autoren vor, Verstehen in bestimmte Stufen einzuteilen, z. B. spricht Wagenschein von sog. Rangstufen des Verstehens (1989), Helmstad (1999) vom Verstehen als Rezeption (z. B. durch Beobachtung), als Akquisition (z. B. durch Erwerb einer Fähigkeit) und als Realisation (eine neue Erkenntnis gewinnen). Buck (1997) unterscheidet zwischen einem vorsprachlichen, auf sinnlichem Erlebnis basierenden Verstehen, einem Verstehen, in dessen Zentrum das In-Worte-Fassen dieses Erlebnisses steht, und einem Verstehen im Sinne eines generalisierend ausgehandelten Verstehens in der Gruppe. Und Rehm (2012: 119 f.) schlägt ein Kompetenzmodell vor, bei dem auf einer ersten Stufe das Phänomen im Fokus des Subjekts steht und die Situation ermöglicht wird, dass ein Phänomen als fragwürdig erkannt wird und eine Widerständigkeit aufscheint. Auf der Stufe der Begegnung mit Phänomen und des Erlebens von Phänomenen stünde im Zentrum das Sich-Wundern und könnte der Wunsch nach Aufklärung ganz naturwüchsig drängend werden. Und gerade dieser Drang nach Aufklärung hat Menschen dazu getrieben, naturwissenschaftliche Erkenntnis zu suchen.

Was momentan zu beobachten ist, ist tendenziell, dass in höheren Klassenstufen viele Schülerinnen und Schüler Chemie nicht verstehen – und konventionelle Theorien und Begriffe einfach unverstanden aufsagen oder unverstanden damit operieren, ggf. dabei durchaus Reaktionsgleichungen korrekt aufstellen und ausgleichen oder stöchiometrische Berechnungen durchführen, jedoch ohne zu begreifen, was das bedeutet, was sie da tun. Wagenschein kommt zu dem Schluss, dass diese Situation des Nicht-Verstehens vor allem dann eintritt, wenn Bildungsprozesse nicht auf „Phänomenen stehen“, nicht auf „Natur-Phänomenen gründen“ und nicht auf diesem „Fundament ihr begriffliches Gebäude errichten“ (Wagenschein 1983: 109 f.). So schwer es auch zu realisieren sein mag: Auch beim Anbahnen eines chemischen Verständnisses müsste, so die Ableitung, versucht werden, so unmittelbar wie irgend möglich an Natur-Phänomenen anzusetzen. Und zwar an solchen, bei denen Fragen sich bilden oder sich Neugier bei den Sich-Bildenden entzünden kann, und wo diesen Fragen manchmal auch so weit nachgegangen werden kann, dass ein gewisses berechtigtes Gefühl entsteht, mehr Klarheit gewonnen zu haben.

Es geht darum, eine Basis zu schaffen, an die Kinder später anschließen können. Wagenschein schreibt: „Verstehen heißt verbinden“ (1995a: 193) und führt dazu aus: „Verstehen heißt: ein anderes Vertrautes finden, das mit dem zusammenhängt, ihm zugrunde liegt. Man kann sagen: Verstehen heißt: einen Fremden bei näherer Betrachtung als einen nur verkleideten alten Bekannten wiedererkennen“ (Wagenschein 1995b: 141). Um im Fremden das Vertraute zu erkennen, braucht es also Bekanntes, Erfahrenes, an das man anknüpfen kann. Beispielsweise Erfahrung mit Verfahren wie Trennen, Mischen, Extrahieren in einfachster Form – denn dann erkennt man später auch in vergleichsweise komplizierten Versuchsaufbauten diese „Urformen“ der Verfahren wieder, oder man erfährt später von weiteren, komplizierteren Verfahren und kann sie der Reihe bereits bekannter Verfahren hinzufügen. Und über Erfahrung mit Phänomen zu verfügen, bedeutet potenziell, dass Kinder anhand von ganz konkreten Fällen wissen, wie Natur sich verhält – und damit beginnen, darüber nachzudenken, warum sie sich so verhält bzw. verhalten muss. Ganz prinzipiell würde eine Anbahnung von Verständnis der Chemie ebenso wie die Anbahnung in allen anderen Wissenschaftsdisziplinen zum Ziel haben, Kinder im Erkennenwollen zu bestärken und ihnen zu ermöglichen, ihr Erkennenkönnen zu erleben.

Literatur

- Buck, Peter (1997): Einwurzelung und Verdichtung. Tema con variazione über zwei Metaphern Wagenscheinscher Didaktik. Verlag Kooperative Dürnau.
- Buck, Peter (2006): Warum, vielleicht, Chemie schwer zu verstehen ist. In: *Erziehungskunst* 1/2006, 3–13.
- Edmondson, Amy (2023): *Right Kind of Wrong: The Science of Failing Well*. Atria Books.

- Geiß, Ralf & Schumann, Svantje (2014): Erschließungsprozesse im Sachunterricht – Ansprüche, Konzepte, Praxis oder: Wie kann Unterricht die Entwicklung eines Forscherhabitus unterstützen? In: *www.widerstreit-sachunterricht.de*. Auch ausschnittsweise publiziert als Geiß, R.; Schumann, S. (2014). Anfangssequenz einer Sachunterrichtsstunde. In *Online Fallarchiv Schulpädagogik*. http://www.fallarchiv.uni-kassel.de/2015/autorin_cat/svantje-schumann/anfangssequenz-einer-sachunterrichtsstunde/ [10.09.2023].
- Geiß, Ralf & Schumann, Svantje (2015): Orientierung als ein Anspruch des Sachunterrichts. Wie kann Sachunterricht in der Grundschule Kindern zu Orientierung verhelfen? *www.widerstreit-sachunterricht.de*, Beiheft Nr. 21, 2015. https://www2.hu-berlin.de/wsu/ebene1/superworte/zumsach/schu_gei.pdf [10.09.2023].
- Geiß, Ralf (2017): Chemie – entdecken und verstehen. Die Verwandlung der Stoffe. Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54708-3>
- Helmstad, Glen (1999): Understandings of understanding. An inquiry concerning experiential conditions for developmental learning. Göteborg Studies in Educational Sciences 134. Göteborg, Schweden: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Kekulé, August (1859): Lehrbuch der Organischen Chemie. Erlangen: Ferdinand Enke.
- Mach, Ernst (1903): Populärwissenschaftliche Vorlesungen. 3. vermehrte und durchgesehene Auflage. Johann Ambrosius Barth Leipzig. <https://www.projekt-gutenberg.org/mach/popwiss/chap002.html> [06.08.2023].
- Rehm, Markus (2012): Verstehen als Kompetenz. Wagenscheins Verstehen lehren in einem Kompetenzmodell. In: N. Kruse, R. Messner & B. Wollring (Hg.): *Martin Wagenschein – Faszination und Aktualität des Genetischen*. 119–138. Hohengehren: Schneider Verlag.
- Schönbeck, Martin (2013): Chemie selber denken – Wie kann ein auf der Grundlage der Wagenscheindidaktik konzipierter Unterricht Schülerinnen und Schülern an der Regelschule zu einem vertieften Verstehen von Chemie verhelfen? Heidelberg. <https://opus.ph-heidelberg.de/frontdoor/index/index/year/2013/docId/40> [20.12.2022].
- Schumann, Svantje (2022): Sammelband „Bildungsprozesse verstehen – Bildungschancen erkennen“. Düren: Shaker Verlag.
- Schumann, Svantje (2023) (Hrsg.): Erschließen und Verstehen. Die Bedeutung der Erschließung für Bildungsprozesse. Band 4 der Reihe „Gespräche zum Sachunterricht“. Münster: Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830997160>
- Soentgen, Jens (1999): Phänomenologische Untersuchungen zum Stoffbegriff. In: *Chimica didactica*. Dürnau: Verlag Kooperative Dürnau. Jg. 25, Heft 3/Nr. 81, 97–221.
- Wagenschein, Martin (1970a): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken. Pädagogische Schriften. Band I. Stuttgart: Klett. 2. Auflage.
- Wagenschein, Martin (1970b): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken. Band II. Stuttgart: Klett.
- Wagenschein, Martin (1983): Erinnerungen für morgen. Eine pädagogische Autobiographie. Weinheim & Basel: Beltz.

- Wagenschein, Martin (1986): Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft. In: Jahrbuch 1985 der Henning-Kaufmann-Stiftung zur Pflege der Reinheit der deutschen Sprache. Marburg: Jonas-Verlag.
- Wagenschein, Martin (1989): Verstehen lehren. Weinheim & Basel: Beltz-Verlag.
- Wagenschein, Martin (1995a): Die pädagogische Dimension der Physik. Aachen: Hahner.
- Wagenschein, Martin (1995b): Naturphänomene sehen und verstehen. Genetische Lehrgänge. Stuttgart: Klett.

Chemische Aspekte in aktuellen Sachunterrichtscurricula in Deutschland, Österreich und der Schweiz

BEATE BLASEIO

Der Blick in zentrale Grundlagenliteratur des Sachunterrichts wie den Perspektivrahmen Sachunterricht der GDSU (2013) und das Handbuch Didaktik des Sachunterrichts (Kahlert et al. 2022) zeigt auf, dass der Bereich Chemie in der Didaktik des Sachunterrichts zum Fach des frühen Sachlernens in der Primarstufe dazugehört: Im Perspektivrahmen Sachunterricht finden sich fünf Treffer mit den Stichwörtern *Chemie* oder *chemisch* und im o. g. Handbuch 85 Fundstellen. Dem Bereich *Chemie* ist im Handbuch zudem ein eigener Beitrag gewidmet (Steffensky 2022). Auch zahlreiche Universitäten bzw. Hochschulen bieten bei der Grundschullehrkräfte-Ausbildung für das Fach Sachunterricht Anteile des Faches *Chemie* an: In einigen Bundesländern ist Chemie als sog. Schwerpunktfach im Sachunterricht wählbar (BW, NI) oder es werden fakultativ oder verbindlich Anteile der Fachwissenschaft und Fachdidaktik Chemie in die Ausbildung integriert (u. a. SH, NW, BE, HH, HB) (Blaseio 2021: 30–35).

Um zu ermitteln, ob und wenn ja, welche chemischen Aspekte beim frühen Sachlernen der Grundschule in den sog. *D-A-CH-Ländern* in den Klassen 1 bis 4 berücksichtigt werden, können die staatlichen Curricula der 15 Sachunterrichtslehrpläne Deutschlands und der deutschsprachige Lehrplan der Schweiz (Lehrplan 21) sowie der neue Sachunterrichtslehrplan Österreichs von 2023 Antworten geben. Durch eine aktuelle Lehrplananalyse kann untersucht werden, welche Präsenz chemische Inhalte in den amtlichen Vorgaben haben und welche thematischen Kontexte im Umfeld *Chemie* in der Unterrichtspraxis des Sachunterrichts an Primarschulen thematisiert werden.

1 Chemie – ein Stiefkind des Sachunterrichts?

Es ist auffallend, dass in der fachdidaktischen Sachunterrichtsliteratur Chemie nur selten eigenständig genannt wird – außer es handelt sich um eine der wenigen spezifischen Publikationen, die sich mit chemischen Aspekten in der Primarstufe beschäftigen: Entweder taucht Chemie in der Aufzählung von Einzelfächern auf, die für das frühe Sachlernen in der Grundschule relevant sind und dann auch als Bezugsfächer des Sachunterrichts bezeichnet werden (z. B. Blaseio 2021: 38–39; Kaiser 2020: 139), oder man findet regelmäßig in der Literatur auch die nicht weiter ausdifferenzierte Kombination Physik/Chemie (z. B. Schwippert et al. 2020; Blaseio 2004; Köhnlein 2012). Hier wird es umgangen, eine nicht immer vorliegende Trennschärfe der Berei-

che Physik und Chemie mit Bezug zum Sachunterricht vorzunehmen. Eine Trennung dieser beiden Disziplinen wird auf der Ebene des Unterrichts für Grundschulkinder als wenig angemessen bewertet, da für die Differenzierung beider Disziplinen ein Teilchenverständnis bei den Grundschulkindern vorausgesetzt werden muss (Hadenfeldt et al. 2018: 104).

In der Literatur finden sich Hinweise, dass der Bereich *Chemie* beim frühen Sachlernen in der Grundschule kaum eine Rolle spielt. Beispielsweise zeigt die Untersuchung von Janssen et al. (2014: 405) eine „Unterrepräsentanz chemischer Inhalte im Sachunterricht“ im Vergleich zu anderen Bezugsfächern des Sachunterrichts: Die Fragebogenuntersuchung von Grundschullehrkräften ergab, dass bei den sechs Bereichen (Biologie, Chemie, Sozialwissenschaften, Erdkunde, Physik und Geschichte) Biologie mit 2,3 Themen pro Schuljahr den ersten Platz und Chemie mit 0,96 Themen pro Schuljahr den letzten Rangplatz belegt. Zugleich wird durch diese Untersuchung aber deutlich, dass Chemie – wenn auch wenig – im Fach des frühen Sachlernens in der Grundschule stattfindet.

2 Chemie in den Lehrplänen des Sachunterrichts?

In der Literatur finden sich einige Aussagen zur Präsenz chemischer Aspekte in den Lehrplänen des Sachfachs der Grundschule. Es wird darauf verwiesen, dass Chemie in den Sachunterrichtscurricula vorhanden ist: So kommt Behrendt (2022: 21) aufgrund einer empirischen Auswertung zu dem Ergebnis, dass die Lehrpläne NW Sachunterricht von 2008 und 2021 chemiebezogene Aspekte formulieren – sowohl in der Schuleingangsphase als auch in den Klassenstufen 3–4. Sie fasst zusammen: „Daher sollte zumindest von einer wiederholten Auseinandersetzung mit chemiebezogenen Unterrichtsgegenständen im Laufe der Grundschulzeit ausgegangen werden.“ (Behrendt 2022: 21).

Auch in einer älteren Untersuchung von Lück & Risch (2007: 84) konnte anhand einer Curriculaanalyse ermittelt werden, dass wenig chemische Inhalte im Sachunterricht berücksichtigt werden und diese Anteile auch geringer ausfallen als physikalische Inhalte. Es gibt weitere bestätigende Hinweise in der Literatur, dass Chemie in den Curricula präsent ist, jedoch lediglich in einem geringen Umfang. So formulieren Kraft & Wöhrmann (2006: 4): „Chemische Themen finden nur wenig Beachtung in den Rahmenlehrplänen und somit auch im Sachunterricht der Grundschule“. Noch deutlicher äußert sich Full (2022: 5), indem er sagt: „In den Lehrplänen der Grundschule kommt das Wort ‚Chemie‘ eigentlich nicht vor.“ Es handelt sich bei beiden Aussagen nicht um Ergebnisse empirischer Untersuchungen, sondern um subjektive Einschätzungen von Expert:innen.

Aktuelle empirische Arbeiten liegen nicht vor, die die Anteile von Physik und Chemie in den Sachlern-Curricula der Primarstufe trennscharf erfassen und auswerten. Zusammenfassend kann jedoch aufgrund der Literaturlauswertung der Forschungsstand formuliert werden, dass chemische Aspekte im Sachfach der Grundschule präsent sind, aber nur in einem (sehr) geringen Umfang.

3 Chemische Themen in den Lehrplänen des Sachunterrichts

In der Literatur sind auch Aussagen zu finden, die sich zu den thematischen Curricula-Schwerpunkten im Bereich Chemie äußern: Landwehr (2012: 2) kommt nach der Durchsicht von Sachunterrichtslehrplänen zu dem Ergebnis: „Die Richtlinien bzw. Curricula fast aller Bundesländer sehen im naturwissenschaftlichen Bereich das Thema der *Umwandlung von Stoffen* (Hervorhebung im Original) vor.“ Ebenso äußern sich Freiheit & Lange (2009: 12) mit Bezug auf die Lehrpläne, dass die Schüler:innen der Grundschule sich im Sachunterricht mit unterschiedlichen Stoffgruppen aus ihrer Lebenswelt auseinandersetzen. So kann festgehalten werden, dass die Themen *Stoffe und ihre Eigenschaften* und *Umwandlung von Stoffen* gemäß den Hinweisen aus der Literatur im Sachunterricht berücksichtigt werden. Das sind zugleich die beiden zentralen Bereiche sowohl der Disziplin der Chemie als auch der chemischen Inhalte des Sachunterrichts (Steffensky 2022: 142).

4 Untersuchung – Chemie in den Sachunterrichtslehrplänen

Da auf keine aktuelle Untersuchung zur Präsenz chemischer Aspekte und zu den thematischen Schwerpunkten in den Lehrplänen des frühen Sachlernens zurückgegriffen werden kann, wird im Rahmen dieses Beitrags eine eigene Untersuchung durchgeführt. Dabei werden 17 Lehrpläne auf die Präsenz deduktiv-induktiv generierter Keywords aus der fachdidaktischen Literatur des Sachunterrichts und des Untersuchungsmaterials (Lehrpläne) hin untersucht. Das heißt, dass das Material nach zahlreichen Wörtern bzw. Wortvarianten aus dem Kontext Chemie im Sachunterricht *gescannt* wird. Dieses ist ein inhaltsanalytisches Verfahren, um Rückmeldung zu bekommen, ob bestimmte Informationen in einem Text vorhanden sind (Mayring 2022). Dieses Vorgehen ist hier besonders geeignet, da es darum geht, ob bestimmte Begriffe in den Lehrplänen verwendet werden. Da alle Lehrpläne digital vorliegen, kann mit der computerunterstützten Wortsuchfunktion gearbeitet werden. Grammatische Sprachvarianten sind eingeschlossen. Zusätzlich wird jeder Wort-Treffer daraufhin untersucht, ob hier tatsächlich eine inhaltliche Aussage zum Untersuchungsgegenstand Chemie getroffen wird oder ob möglicherweise ein anderer Kontext vorliegt. Die für die Untersuchung ausgewählten Key-

words sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Ziel der Untersuchung ist es, zu dokumentieren, über welche Präsenz Chemie in den Lehrplänen des Grundschulsachfaches verfügt und welche konkreten chemischen Themen explizit berücksichtigt werden. Nicht immer sind die ausgewählten Begriffe trennscharf zu anderen Bereichen – vor allem mit der Disziplin der Physik kommt es zu Überschneidungen, z. B. beim Thema Aggregatzustände (siehe oben).

5 Lehrpläne – Frühes Sachlernen in der Grundschule

Herangezogen werden für die Untersuchung die im Juli 2023 gültigen Lehrpläne der 16 Bundesländer. Da Berlin und Brandenburg einen gemeinsamen Sachunterrichtslehrplan haben, werden 15 bundesdeutsche Pläne untersucht. Für die deutschsprachige Schweiz wird der Lehrplan 21 herangezogen (Fach: Natur, Mensch, Gesellschaft (NMG) – ausschließlich Klasse 1 bis 4) und für Österreich der im Januar 2023 neu veröffentlichte Lehrplan Sachunterricht. Die 17 untersuchten Lehrpläne sind in einem eigenen Literaturverzeichnis erfasst. Der innere Aufbau der Curricula ist unterschiedlich, ebenfalls auch der Seitenumfang sowie der Grad der Kompetenzorientierung. Trotz dieser verschiedenen Rahmenbedingungen lassen sich mit der Inhaltsanalyse Aussagen zur Präsenz chemischer Aspekte in den Lehrplänen untersuchen.

6 Ergebnisse – Chemie in den Sachunterrichtslehrplänen

Die Ergebnisse der einfachen inhaltsanalytischen Untersuchung (Begriffe vorhanden/nicht vorhanden) (Mayring 2022) können der Tabelle entnommen werden:

Tabelle 1: Chemische Aspekte in den 17 untersuchten Lehrplänen des Sachunterrichts

Keywords	A	B W	B Y	BB/ BE	C H	H B	H E	H H	M V	N I	N W	R P	S L	S A	S T	S H	T H
a. Chemie, chemisch	X	0	X	0	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
b. Stoff, (Stoff-)Eigenschaften	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	0	X
c. Materie	X	0	0	X	X	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d. Teilchen, Teilchenmodell	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
e. Stoffveränderung bzw. -umwandlung, Reaktion, reagieren	X	0	0	0	X	0	0	0	0	X	X	X	0	0	0	X	0
f. Rost, rosten	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	0	0	0	0	0	0
g. Verbrennung, verbrennen, Verbrennungsprozess	0	X	X	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0

(Fortsetzung Tabelle 1)

Keywords	A	B W	B Y	BB/ BE	C H	H B	H E	H H	M V	N I	N W	R P	S L	S A	S T	S H	T H
h. Lösung, lösen, Löslichkeit, mischen, trennen	0	X	X	X	0	X	0	X	X	0	X	X	X	X	0	X	X
i. Säure, sauer, Lauge, Base, basisch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
j. fest, flüssig, gasförmig (Aggregatzustand), Feststoff, Flüssigkeit, Gas	0	X	0	X	0	X	0	0	X	X	0	X	X	X	0	0	X
k. Kunststoff	0	X	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
Anzahl der Keywords	4	5	4	4	4	5	3	4	5	6	5	7	4	5	1	4	4

Legende: X erwähnt; 0 nicht erwähnt

Die tabellarische Übersicht der Keyword-Treffer zeigt, dass alle untersuchten Lehrpläne des Sachunterrichts chemische Aspekte enthalten. In 15 der 17 Lehrpläne sind zudem 4 oder mehr Keywords aus dem Umfeld der Chemie zu finden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass chemische Kontexte in der Unterrichtspraxis bei mehreren Themen des Sachunterrichts im Verlauf der Grundschulzeit berücksichtigt werden.

a.

In 14 der 17 Lehrpläne kommt entweder der Begriff Chemie oder das Wort chemisch vor. Damit wird deutlich, dass nicht nur chemische Aspekte im Inhaltskanon der Lehrpläne enthalten sind, sondern explizit auch ein Verweis auf das Bezugsfach bzw. die Disziplin Chemie in sehr vielen Curricula enthalten ist. Der Aussage von Full (2022: 5), dass in den Lehrplänen des Sachfachs der Primarstufe das Wort *Chemie* nicht vorkommt, kann also nicht zugestimmt werden. Im Gegenteil: *Chemie* wird in fast allen Sachunterrichts-Lehrplänen explizit genannt.

b.

Besonders relevant und zentral sind die Begriffe Stoff und Stoffeigenschaften für das Lernen chemischer Aspekte im Rahmen des Sachunterrichts (Steffensky 2022: 142). Die Analyse der Lehrpläne ergab, dass in 14 der 17 Lehrpläne auf den Aspekt *Stoff* eingegangen wird. Damit ist das zentrale Konzept in den Lehrplänen des Sachunterrichts sehr präsent und es kann davon ausgegangen werden, dass Stoffe und ihre Eigenschaften auch in der Praxis des Sachfachs an Grundschulen thematisiert werden.

c. und d.

Steffensky (2022: 142) betont, dass das Materiekonzept in der Primarstufe berücksichtigt werden sollte, welches dann später in der Sekundarstufe I weiter ausdifferenziert wird. In vier Lehrplänen wird der fachspezifische Begriff *Materie* explizit genannt.

Allerdings wird das zentrale Teilchenmodell der Chemie nur in dem Lehrplan von RP explizit genannt. Das Teilchenmodell in der Grundschule ist nicht unumstritten: Man findet Hinweise in der Literatur, dass die Thematisierung problematisch sein könnte, wenn man in der Primarstufe das Teilchenmodell für chemische Fragestellungen heranzieht (Steffensky 2022: 143; Klinger 2009: 5).

e., f. und g.

In sechs Lehrplänen werden allgemein *chemische Reaktionen/Stoffumwandlungen* genannt. Acht Lehrpläne greifen explizit den Begriff der Verbrennung auf. In zweien dieser Lehrpläne erfolgt zusätzlich noch ein Hinweis auf die Stoffumwandlung beim Rosten von Gegenständen.

h. und i.

Die Themen Löslichkeit und Herstellen von Lösungen werden in 12 Lehrplänen genannt. Nur im Lehrplan SH wird noch eine Differenzierung in Säuren und Basen vorgenommen. Dieses Thema gehört auch in der Literatur zu den häufig verwendeten chemischen Themen im Sachunterricht (Steffensky 2022: 145).

j.

Mehr als die Hälfte der Lehrpläne (9 von 17) thematisieren die Aggregatzustände (fest, flüssig, gasförmig) bzw. greifen die entsprechenden Begriffe Feststoff, Flüssigkeit oder Gas auf. Hier ist jedoch keine Trennschärfe in der Untersuchung zum Bereich Physik herstellbar, da auch in dieser Disziplin die Aggregatzustände relevant und bedeutsam sind.

k.

Kunststoffe im Kontext von Material/Stoff werden in drei Lehrplänen berücksichtigt. Hier wäre eine verstärkte Berücksichtigung in der Zukunft wünschenswert, da gesellschaftliche Probleme (Plastikmüll in Meeren und Flüssen) es im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung erforderlich machen, dass die nachwachsende Generation mit den Stoffeigenschaften von Kunststoffen vertraut wird. Zudem sind zum Thema *Kunststoffe* zahlreiche Materialien für die Grundschule entwickelt worden, die die Prinzipien und Arbeitsweise des Sachunterrichts mit chemischer Perspektive aufgreifen (u. a. Kraft & Wöhrmann 2006; Landwehr 2012).

Bei der Zusammenschau aller Stoffveränderungen (e., f., g., h. und i.) wird erkennbar, dass 15 der 17 Lehrpläne entsprechende Inhalte im Sachunterricht anbieten. Damit wird ein zentraler Bereich der Chemie – die Veränderung von Stoffen (Steffensky 2022: 142) – in zahlreichen Lehrplänen des Sachunterrichts aufgenommen. Lediglich HE und ST greifen Aspekte der Stoffumwandlung nicht auf, obwohl auch diese beiden Länder den Begriff Chemie in ihren Lehrplänen verwenden (a.).

So kann als Ergebnis der Lehrplananalyse festgehalten werden: Alle untersuchten Lehrpläne des frühen Sachlernens in der Grundschule greifen chemische Aspekte auf.

Sehr viele Lehrpläne benennen dabei Chemie zudem als relevante Bezugsdisziplin des Sachunterrichts. Die konkreten Inhalte beziehen sich auf die elementaren Grundlagen rund um die Themen Stoffeigenschaften und Stoffveränderungen.

7 Diskussion und Ausblick

Berendt (2022: 140) plädiert dafür, dass verbindlichere Vorgaben in den Sachunterrichtslehrplänen zu formulieren sind, damit im Sachfach der Primarstufe der Erwerb chemiebezogener Kompetenzen sichergestellt werden kann. Ihre Untersuchung (Berendt 2022: 77) in NW zeigt, dass am Ende der vierten Grundschulklasse die chemiebezogenen Kompetenzen der Schüler:innen sehr heterogen sind und dass nicht formuliert werden kann, dass bestimmte Kompetenzen sicher erworben wurden. Da die Lehrpläne bereits jetzt verbindlich sind, sehe ich keine Verbesserung darin, dass Angaben noch verbindlicher formuliert werden müssten. Zudem ist zu betonen, dass es sich beim Sachunterricht nicht um Fachunterricht *Chemie* – sondern um chemische Aspekte im Rahmen des Grundschulsachfaches handelt. Leitend für die Auswahl der Inhalte sind kindorientierte Interessen, Inhalte der konkreten kindlichen Lebenswelt und vielperspektivische Ansätze und weniger chemieorientierte Systematiken. Es geht im Sachfach der Grundschule nicht darum, dass die Kinder am Ende der Grundschulzeit über einheitliche Grundlagen verfügen – sondern darum, dass sie einen ersten Zugang zu chemischen Themen im Rahmen ausgewählter Fragestellungen erfahren haben und darüber anhand von spezifischen Phänomenen der Umwelt nachgedacht haben. Eine bedeutsame Frage ist, ob davon ausgegangen werden kann, dass die in den Curricula aufgenommen chemischen Aspekte tatsächlich im Unterricht berücksichtigt werden. Es gibt Hinweise wie den von Janssen et al. (2014: 407), dass „Sachunterrichtslehrkräften Fachkompetenzen zur Unterrichtung von chemischen Inhalten im Sachunterricht fehlen“. Es kann also nicht unbedingt 1:1 davon ausgegangen werden, dass die chemischen Aspekte der Curricula auch tatsächlich in den dokumentierten Fassungen der Lehrpläne unterrichtet werden. Hier ist die Grenze jeder Lehrplanuntersuchung erreicht. Diese Untersuchungen haben aber eine Legitimation dadurch, dass in den Curricula festgehalten ist, was *Fachleute* (hier: Lehrplanverfasser:innen für das Fach Sachunterricht) formulieren, was die nachwachsende Generation im Bereich Chemie in der Grundschule lernen soll. Chemische Aspekte gehören auf jeden Fall zum Sachunterricht dazu; wenn sie auch nicht einen sehr großen Stellenwert im Vergleich zu anderen Themenschwerpunkten im sachbezogenen Grundschulfach einnehmen.

Viele Lehrpläne des Sachfachs der Primarstufe greifen deutlich sichtbar auf das zentrale Konzept der GDSU, den Perspektivrahmen Sachunterricht (2013) zurück. Hier werden chemische Aspekte berücksichtigt, sodass auch bei Neufassungen bzw. Überarbeitungen von Lehrplänen davon ausgegangen werden kann, dass *Chemie* wieder und ggf. umfangreicher bzw. facettenreicher vorhanden sein wird. Ein regelmäßiges Monitoring neuer Lehrpläne könnte hier wichtige Erkenntnisse zu den Entwicklungen der chemischen Aspekte im Sachunterricht liefern.

Literatur

- Behrendt, Alina (2022): Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Verlag. <https://doi.org/10.30819/5498>
- Blaseio, Beate (2021): Vielfalt statt Einheit an den deutschen Universitäten – Eine Bestandsaufnahme der Lehramtsstudiengänge Grundschule mit Sachunterricht. In: GDSU-Journal, 12, S. 26–46.
- Blaseio, Beate (2004): Entwicklungstendenzen der Inhalte des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Freiheit, Babette & Lange, Gabriele (2009): Der Stoffparcours. Eine spielerische Heranführung an den Stoffbegriff. In: Weltwissen Sachunterricht, 4, S. 12–15. Full, Roland (2022): Chemie in der Grundschule? Ein Experiment! Friedberg: Brigg.
- GDSU (2013) (Hrsg.): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hadenfeldt, Jan Christoph; Neumann, Irene; Neumann, Knut & Steffensky, Mirjam (2018): Stoffe, Energie und Bewegungen beschreiben, untersuchen und nutzen – Schülervorstellungen. In: M. Adamina, M. Kübler, K. Kalcsics, S. Bietenhard & E. Engeli (Hrsg.): „Wie ich mir das denke und vorstelle ...“. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 103–120.
- Janssen, Mareike; Spitzer, Philipp & Gröger, Martin (2014): Durch Naturbezug mehr Chemie im Sachunterricht. In: S. Bernholt (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. Kiel: IPN, S. 405–407.
- Kahlert, Joachim; Fölling-Albers, Maria; Götz, Margarete; Hartinger, Andreas; Miller, Susanne & Wittkowske, Steffen (2022) (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 3. überarbeitete Auflage. <https://doi.org/10.36198/9783838588018>
- Kaiser, Astrid (2020): Inklusiver Sachunterricht. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren. Klinger, Udo (2009): Was füllt die Form? Die Welt der Stoffe im Sachunterricht. In: Weltwissen Sachunterricht, 4, S. 4–7.
- Köhnlein, Walter (2012): Sachunterricht und Bildung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kraft, Natalia & Wöhrmann, Holger (2006): Kunststoff – unser täglicher Begleiter. In: Praxis Grundschule, 2, S. 4–26.
- Landwehr, Brunhild (2012): Kunststoffe im Sachunterricht. In: Grundschule Sachunterricht, 56, S. 2–8.
- Lück, Gisela & Risch, Björn (2007): Naturwissenschaftlicher Unterricht im Anfangsunterricht. In: E. Gläser (Hrsg.): Sachunterricht im Anfangsunterricht. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 80–96.
- Mayring, Philipp (2022): Qualitative Inhaltsanalyse. Weinheim, Basel: Beltz. 13., überarbeitete Auflage. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37985-8_43

- Schwippert, Knut; Kasper, Daniel; Köller, Olaf; McElvany, Nele; Selter, Christoph; Steffensky, Mirjam & Wendt, Heike (2020) (Hrsg.): TIMSS 2019 – Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. Münster & New York: Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830993193>
- Steffensky, Mirjam (2022): Chemische Aspekte. In: Kahlert et al. (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Klinkhardt: Bad Heilbrunn, S. 141–145.

Untersuchte Lehrpläne

- A – Österreich. Sachunterricht 2023. [11.07.2023] https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2023_II_1/Anlagen_0001_CE7F0AA2_A925_4A4D_8C3C_355D12BD22D1.pdf
- BW – Baden-Württemberg. Bildungsplan Sachunterricht. 2016. [11.07.2023] https://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/bpExport/3141484/Lde/index.html?_page=0&requestMode=PDF&_finish=Erstellen
- BY – Bayern. Lehrplan plus. Heimat- und Sachunterricht. 2014. [11.07.2023] <https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/107/LehrplanPLUS%20Grundschule%20StMBW%20-%20Mai%202014.7981255.pdf>
- BB/BE – Berlin und Brandenburg. Rahmenlehrplan Sachunterricht. 2015. [11.07.2023] https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Sachunterricht_2015_11_16_web.pdf
- CH – Schweiz. Lehrplan Natur, Mensch und Gesellschaft [11.07.2023] https://be.lehrplan.ch/lehrplan_printout.php?e=1&fb_id=6
- HB – Bremen. Bildungsplan Sachunterricht. 2007. [11.07.2023] https://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/07-08-23_Sachunterricht.pdf
- HE – Hessen. Kerncurriculum Sachunterricht. 2011. [11.07.2023] https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-06/kc_sachunterricht_prst_2011.pdf
- HH – Hamburg. Bildungsplan Sachunterricht. 2011. [11.07.2023] <https://www.hamburg.de/bildungsplaene/2481914/sachunterricht-gs>
- MV – Mecklenburg-Vorpommern. Rahmenplan Sachunterricht. 2020. [11.07.2023] https://www.bildung-mv.de/export/sites/bildungsserver/downloads/unterricht/rahmenplaene_allgemeinbildende_schulen/sachunterricht/RP_GS_SU-Endfassung_1.pdf
- NI – Niedersachsen. Kerncurriculum Sachunterricht. 2017. [11.07.2023] <https://cuvo.nibis.de/index.php?p=download&upload=105>
- NW – Nordrhein-Westfalen. Lehrplan Sachunterricht. 2021. [11.07.2023] https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_PS/ps_lp_sammelband_2021_08_02.pdf

- RP – Rheinland-Pfalz. Teilrahmenplan Sachunterricht. 2006/2015. [11.07.2023] https://lehrplaene.bildung-rp.de/no-cache.html?tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bcontroller%5D=Download&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Baction%5D=forceDownload&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bfileid%5D=rhvhvcDSq6bE2s%2B%2Be2skw%3D%3D
- SL – Saarland. Kernlehrplan Sachunterricht. 2010. [11.07.2023] https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/mbk/Lehrplaene/Lehrplaene_Grundschole/GS_Kernlehrplan_Sachunterricht.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- SN – Sachsen. Lehrplan Sachunterricht. 2004-2009-2019. [11.07.2023] <https://www.schulportal.sachsen.de/lplandb/index.php?lplanid=80&lplansc=2DYw4je6s74vCaxRHqx6&token=33482d758cefaa0b358c54604ef9ea20>
- ST – Sachsen-Anhalt. 2007–2019 [11.07.2023] https://lisa.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MK/LISA/Unterricht/Lehrplaene/GS/Anpassung/lp_gs_sach_01_08_2019.pdf
- SH – Schleswig-Holstein. Fachanforderungen Sachunterricht. 2019. [11.07.2023] <https://fachportal.lernnetz.de/sh/fachanforderungen/sachunterricht.html?file=files/Fachanforderungen%20und%20Leitf%C3%A4den/Primarstufe/Fachanforderungen/Fachanforderungen%20Sachunterricht%20Primarstufe%20%282019%29.pdf&cid=17016>
- TH – Thüringen. Lehrplan Heimat- und Sachkunde. 2015 [11.07.2023] https://www.schulportal-thueringen.de/tip/resources/medien/13947?dateiname=lp_HSK_2015.pdf

Für die bundesdeutschen Lehrpläne wurde die KMK-Datenbank [11.07.2023] herangezogen: <https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/rechtsvorschriften-lehrplaene/uebersicht-lehrplaene.html>

Chemiebezogenes Lernen ist ein zentraler Bestandteil einer ganzheitlichen naturwissenschaftlichen Bildung in der Grundschule. Durch die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen entwickeln Schüler:innen ein fundiertes Verständnis für die Welt. Obwohl der vielperspektivische Sachunterricht ein zentrales Thema in der Fachdidaktik ist, bleiben chemische Inhalte in der Grundschule bislang oft unterrepräsentiert.

Der neue Band der Reihe *Kinder.Sachen.Welten* greift diese Lücke auf und beleuchtet verschiedene Ansätze und Diskurse zum chemiebezogenen Lernen im Sachunterricht. Die Beiträge thematisieren die Integration chemiebezogener Inhalte in den Unterricht – im Spannungsfeld zwischen kindorientiertem Lernen und fachwissenschaftlichen Anforderungen. Der Sammelband bietet praxisnahe Einblicke, zeigt Herausforderungen auf und unterstreicht die Notwendigkeit, den Sachunterricht an gesellschaftliche Entwicklungen und Bildungsanforderungen anzupassen.

Ein Schneider Verlag-Titel bei wbv Publikation



wbv.de