

PFLB

PraxisForschungLehrer*innenBildung

*Zeitschrift für Schul- und
Professionsentwicklung*

**Der *Basiskurs Naturwissenschaften*
am Oberstufen-Kolleg Bielefeld**

**Hrsg. von Matthias Wilde,
Cornelia Stiller & Andreas Stockey**

**Themenheft der Zeitschrift
PraxisForschungLehrer*innenBildung**

Jahrgang 2 | 2020, Heft 2

PFLB
PraxisForschungLehrer*innenBildung
Jahrgang 2 | Heft 2 | 2020

Herausgeber*innen
Martin Heinrich, Gabriele Klewin, Lilian Streblow

Geschäftsführerin
Sylvia Schütze



© Dieses Werk ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).
URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Die Online-Version dieser Publikation ist auf der BieJournals-Seite der Universität Bielefeld dauerhaft frei verfügbar (open access).

© 2020. Das Copyright der Texte liegt bei den jeweiligen Verfasser*innen.

ISSN 2629-5628

Inhalt

<i>Matthias Wilde, Cornelia Stiller & Andreas Stockey</i> Editorial zum Themenheft: Der <i>Basiskurs Naturwissenschaften</i> am Oberstufen-Kolleg Bielefeld	1
<i>Cornelia Stiller, Stefan Hahn, Andreas Stockey & Matthias Wilde</i> Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der <i>Basiskurs Naturwissenschaften</i> . Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise	5
<i>Cornelia Stiller, Andreas Stockey & Matthias Wilde</i> Vom Konzept in den Unterricht: Wie geht es nach der Entwicklung und Erprobung des Kurskonzeptes <i>Basiskurs Naturwissenschaften</i> weiter?	17
<i>Cornelia Stiller, Tobias Allmers, Annette Habigsberg, Andreas Stockey & Matthias Wilde</i> Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie	28
<i>Tobias Allmers & Matthias Wilde</i> Energie und Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels	40
<i>Tobias Allmers, Cornelia Stiller & Matthias Wilde</i> Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden	53
<i>Cornelia Stiller, Gabriele Beyer-Sehlmeyer, Gudrun Friedrich, Andreas Stockey & Tobias Allmers</i> Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze ...	67
<i>Tobias Allmers, Gabriele Beyer-Sehlmeyer, Fabian Schumacher & Matthias Wilde</i> Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen	80
<i>Fabian Schumacher, Gabriele Beyer-Sehlmeyer, Stefanie Henrich, Sabrina Polte, Andreas Stockey & Matthias Wilde</i> Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten	97
<i>Darius Haunhorst, Andreas Stockey (Erstautoren) & Matthias Wilde</i> Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten	107
<i>Cornelia Stiller, Holger Bekel-Kastrup & Andreas Stockey</i> Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung	117

Editorial zum Themenheft: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* am Oberstufen-Kolleg Bielefeld

Matthias Wilde^{1,*}, Cornelia Stiller¹ & Andreas Stockey²

¹ Universität Bielefeld

² Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
matthias.wilde@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* wurde von einer Gruppe aus Lehrenden, Bildungsforscher*innen und Fachdidaktiker*innen als einjähriger Kurs mit vier Wochenstunden in der Eingangsphase der Oberstufe am Oberstufen-Kolleg Bielefeld entwickelt, langjährig erprobt, evaluiert und iterativ weiterentwickelt. Der Kurs ist so angelegt, dass er grundlegende naturwissenschaftliche Denkweisen (vgl. Scientific Literacy) und naturwissenschaftliche Methoden (vgl. Scientific Inquiry) mit einem Fokus auf steigende Selbstständigkeit und Selbstbestimmung der Kollegiat*innen adressiert und nicht in erster Linie auf fachinhaltliche Vollständigkeit abzielt. Im Zentrum des Kurskonzeptes steht der hypothetisch-deduktive Erkenntnisweg, der von den Kollegiat*innen v.a. mithilfe einer Reihe von Schülerexperimenten durchdrungen werden soll. Das vorliegende Themenheft bietet eine Zusammenstellung von konzeptionellen Beiträgen, die Gestaltungsprinzipien und konkrete Umsetzungen für die einzelnen Unterrichtsmodule beschreiben, und Beiträgen, die erste qualitative und quantitative Befunde zur Durchführung und Evaluierung des Kurses sowie erste Rückmeldungen aus Lehrerfortbildungen fokussieren.

Schlagerwörter: Curriculum, Transfer, Scientific Literacy, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung



Das vorliegende Themenheft zum *Basiskurs Naturwissenschaften* beschreibt die Gestaltungsprinzipien und die konkrete Umsetzung eines einjährigen Kurses am Oberstufen-Kolleg Bielefeld mit vier Wochenstunden in der Eingangsphase der Oberstufe. Der Kurs wurde von einer Gruppe aus Lehrenden, Bildungsforscher*innen und Fachdidaktiker*innen entwickelt, langjährig erprobt, evaluiert und iterativ weiterentwickelt. Eine frühe Fassung stammt von Hahn, Stockey und Wilde (2011); eine Prüfung der Wirksamkeit einer Vorläuferform des Kurses findet sich bei Hahn, Stiller, Stockey und Wilde (2013) sowie Hahn et al. (2014). Eine allgemein gefasste, aktualisierte Form des Kurses wird von Stiller, Stockey, Hahn und Wilde (eingereicht) publiziert.

Die Gruppe der am *Basiskurs Naturwissenschaften* teilnehmenden Kollegiat*innen zeichnet sich durch große Heterogenität aus. Bis zu 40 Prozent der am Oberstufen-Kolleg zugelassenen Kollegiat*innen haben keinen Q-Vermerk. Die Teilnehmer*innen am *Basiskurs Naturwissenschaften* sind die Kollegiat*innen, die weder in Physik noch in Chemie oder Biologie einen Studienfachkurs (Leistungskurs) belegen. Es sind also i.d.R. Kollegiat*innen, die obligatorisch noch naturwissenschaftliche Kurse belegen müssen, da sie sich i.d.R. wenig für Naturwissenschaften interessieren, kaum Ambitionen haben, ein naturwissenschaftliches Fach für die Abiturprüfung zu wählen, und nicht selten einige substantielle „Lücken“ in ihrem bisherigen naturwissenschaftlichen Schulwissen aufweisen.

Der Kurs ist so angelegt, dass er *grundlegende naturwissenschaftliche Denkweisen* (vgl. Scientific Literacy) und *naturwissenschaftliche Methoden* (vgl. Scientific Inquiry) adressiert und nicht in erster Linie auf fachinhaltliche Vollständigkeit abzielt (siehe Beitrag: „Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise“, S. 5–16 in diesem Heft). Im Zentrum steht der hypothetisch-deduktive Erkenntnisweg (siehe Beitrag: „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie“, S. 28–39 in diesem Heft), der von den Kollegiat*innen v.a. mithilfe einer Reihe von *Schülerexperimenten* durchdrungen werden soll. Diese Experimente folgen im Kern einer immer gleichen Logik: Auf einen Forschungsanlass hin werden eine Forschungsfrage und eine falsifizierbare Hypothese formuliert. Das Experiment wird geplant, durchgeführt und ausgewertet, bevor es in Bezug auf Hypothese, Forschungsfrage und Forschungsanlass hin interpretiert wird. Wesentlich für den Kurs ist jeweils die Lösung eines naturwissenschaftlichen Problems.

Der Kurs ist darum *fächerübergreifend* angelegt und adressiert zu etwa gleichen Anteilen

- *physikalische* (Beitrag: „Energie und Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels, S. 40–52 in diesem Heft; Beitrag: „Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden“, S. 53–66 in diesem Heft);
- *chemische* (Beitrag: „Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze“, S. 67–79 in diesem Heft; Beitrag: „Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen“, S. 80–96 in diesem Heft);
- und *biologische Themen* (Beitrag: „Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten“, S. 97–106 in diesem Heft; Beitrag: „Die Ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten“, S. 107–116 in diesem Heft; Beitrag: „Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung“, S. 117–128 in diesem Heft).

Ein besonderer Fokus liegt in der Kurskonzeption auf der *steigenden Selbstständigkeit und Selbstbestimmung* der Kollegiat*innen bei der Planung und Durchführung der Experimente. Werden die Experimente zu Beginn des Kurses noch stark von der Lehrperson bestimmt oder im Lehrer-Schüler-Gespräch erarbeitet, so werden im weiteren Verlauf des Schuljahres die Anteile selbstständiger und selbstbestimmter Schüleraktivität immer größer, so dass die Kollegiat*innen am Ende des Kurses die Experimente im Grunde alleine planen und durchführen können. Hand in Hand mit der zunehmenden Selbstständigkeit beim Planen, Durchdenken und Durchführen der Experimente wird auch im Rahmen der mathematisch-statistischen Auswertung und Interpretation der Experimente auf eine immer größere Selbstständigkeit der Kollegiat*innen fokussiert (vgl. Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht).

Das vorliegende Themenheft bietet neben den konzeptionellen Beiträgen erste qualitative und quantitative Befunde, die sich auf die Durchführung und Evaluierung des Kurses beziehen (Beitrag: „Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise“, S. 5–16 in diesem Heft) und auf erste Rückmeldungen aus Lehrerfortbildungen (Beitrag: „Vom Konzept in den Unterricht: Wie geht es nach der Entwicklung und Erprobung des Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* weiter?“, S. 17–27 in diesem Heft). Der *Basiskurs Naturwissenschaften* bietet Lernenden die Möglichkeit, ein grundlegendes Verständnis für naturwissenschaftliches Denken und naturwissenschaftliche Methodik zu erwerben. Das gilt insbesondere für Lernende, die nicht aus sich heraus Interesse an Naturwissenschaften haben, oder auch für Lernende, die in den Naturwissenschaften keine sehr guten Leistungen erbringen. Gerade sie profitieren besonders.

Literatur und Internetquellen

- Hahn, S., Allmers, T., Bekel-Kastrup, H., Beyer-Sehlmeyer, G., Stockey, A., Wilde, M., & Stiller, C. (2014). *Naturwissenschaftsdidaktische Praxisforschung im Spannungsfeld von Theorie, Empirie und institutionellen Bedingungen der Praxis: Die Entwicklung des Basiskurses Naturwissenschaften* (Schriftenreihe Forschungspraxis Praxisforschung) (S. 215–269). Münster: MV-Wissenschaft.
- Hahn, S., Stiller, C., Stockey, A., & Wilde, M. (2013). Experimentierend zur naturwissenschaftlichen Grundbildung – Entwicklung und Evaluation eines kompetenzorientierten Kurses für die Eingangsphase der Oberstufe. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7–15. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2011). Basiskurs „Naturwissenschaften“. Anleitung zur selbstgesteuerten Erarbeitung zentraler Methoden und Basiskonzepte der Naturwissenschaften in der Eingangsphase der Oberstufe. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 64 (1), 47–52.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S. & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Wilde, M., Stiller, C., & Stockey, A. (2020). Editorial zum Themenheft: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* am Oberstufen-Kolleg Bielefeld. *PFLB –PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 1–4. <https://doi.org/10.4119/pflb-3299>

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Danksagung

Das in dem vorliegenden Themenheft beschriebene Kurskonzept sowie die einzelnen Unterrichtseinheiten wurden im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes am Oberstufen-Kolleg Bielefeld über einen Zeitraum von zehn Jahren entwickelt und erprobt. Die nun publizierte Endfassung ist demnach ein Ergebnis eines langwierigen Prozesses, den nicht alle Lehrenden bis zum Ende begleiteten. Nur die Lehrenden, die an der hier vorgestellten Version des Kurses beteiligt waren und an den Texten mitwirkten, wurden als Autor*innen aufgeführt. Dennoch haben auch die Lehrenden, die lediglich einen Teil der Kursentwicklung begleiteten, Anteil an der Entwicklung des *Basiskurses Naturwissenschaften*. Wir bedanken uns herzlich bei Mario Arnone (2010–2012), Ralph Bähr (2010–2012), Reinhard Fischer (2008–2010), Tim Mergekuhl (2010–2012), Arfst Nickelsen (2012–2014) und Martin Wieser (2008–2010) für die konstruktive und kritische sowie produktive Mitarbeit am *Basiskurs Naturwissenschaften*.

Stellvertretend als universitäre Kooperationspartner*innen möchten wir uns ganz besonders bei Andreas Stockey, als federführendem Stellvertreter der beteiligten Lehrenden, bedanken. Er hat als Projektleiter während der ganzen Jahre mit seinen Ideen und seiner Leidenschaft den *Basiskurs Naturwissenschaften* vorangetrieben und war maßgeblich an der Entwicklung des Gesamtkonzeptes und der einzelnen Unterrichtseinheiten beteiligt.

Matthias Wilde & Cornelia Stiller

Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften*

Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise

Cornelia Stiller^{1,*}, Stefan Hahn²,
Andreas Stockey³ & Matthias Wilde¹

¹ Universität Bielefeld

² Institut für Bildungsmonitoring und Qualitätsentwicklung (IfBO), Hamburg

³ Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Mit dem Begriff *Scientific Literacy* wird die Forderung verbunden, Schule solle Schüler*innen naturwissenschaftliches Wissen und jene Kompetenzen vermitteln, durch die sie in die Lage versetzt werden, naturwissenschaftliches Wissen anwenden zu können. In Auseinandersetzung mit Konzepten zur *Scientific Literacy* und empirischen Erkenntnissen aus Fachdidaktiken und Bildungsforschung wurde von einer interdisziplinär zusammengesetzten Gruppe aus Lehrenden, Erziehungswissenschaftler*innen und Fachdidaktiker*innen ein naturwissenschaftliches Curriculum für die Eingangsphase der gymnasialen Oberstufe entwickelt und erprobt. Das Kurskonzept legt dabei den Schwerpunkt auf *Scientific Inquiry* mit dem Experiment als einer methodischen Grundform der Erkenntnisgewinnung. Der Erkenntnisprozess beim Experimentieren wird in einzelne Schritte unterteilt. Durch eine schrittweise Steigerung der Selbststeuerung beim Experimentieren soll es ermöglicht werden, dass der metakognitive Anforderungsgehalt von den Schüler*innen bewältigt werden kann und ihnen sowohl das Erleben von Autonomie als auch von Kompetenz ermöglicht wird. Ein weiterer Fokus im Kurskonzept liegt auf *Data Literacy*, die durch eine stetige Auseinandersetzung und Reflexion der Schüler*innen mit den von ihnen erhobenen Daten im gesamten Forschungsprozess gefördert werden soll. Analog zu den Schritten beim Experimentieren werden die dafür notwendigen mathematischen und statistischen Kompetenzen zunächst lehrerzentriert eingeführt und dann immer weiter in die Hände der Schüler*innen gelegt. Empirische Hinweise deuten darauf hin, dass durch die Kurskonzeption für Schüler*innen lernförderliche Lernumgebungen geschaffen werden können. Im Rahmen dieses Beitrags sollen die Grundlagen des Curriculumskonzeptes des *Basiskurses Naturwissenschaften* vorgestellt werden und so interessierten Lehrenden die Möglichkeit gegeben werden, Anregungen für ihren eigenen Unterricht zu finden.

Schlagwörter: Scientific Literacy, Experimentieren, Curriculum



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

1 Einleitung

Mit dem Begriff *Scientific Literacy* wird die Forderung verbunden, Schule solle Schüler*innen naturwissenschaftliches Wissen und jene Kompetenzen vermitteln, durch die sie in die Lage versetzt werden, naturwissenschaftliches Wissen anwenden zu können (NRC, 1996). Die Bedeutung einer im Sinne der *Scientific Literacy* verstandenen naturwissenschaftlichen Grundbildung wird auch in den Kernlehrplänen der Fächer Biologie, Chemie und Physik deutlich (MSB NRW, 2008a, 2008b, 2008c).

In Auseinandersetzung mit Konzepten zur *Scientific Literacy* und empirischen Erkenntnissen aus Fachdidaktiken und Bildungsforschung wurde von einer interdisziplinär zusammengesetzten Gruppe aus Lehrenden, Erziehungswissenschaftler*innen und Fachdidaktiker*innen ein naturwissenschaftliches Curriculum für die Eingangsphase der gymnasialen Oberstufe entwickelt und erprobt. In regelmäßigen Projektsitzungen wurde der Unterricht gemeinsam geplant und unter der Leitfrage *What works best?* gemeinsam reflektiert. Das Ergebnis dieses Entwicklungsprozesses ist das Curriculumskonzept *Basiskurs Naturwissenschaften*.

Im Rahmen dieses Beitrags sollen die konzeptionellen Grundlagen des *Basiskurses Naturwissenschaften* vorgestellt werden und soll so interessierten Lehrenden die Möglichkeit gegeben werden, Anregungen für ihren eigenen Unterricht zu finden.

2 Ein Kurskonzept zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung

2.1 Theoretische Rahmenbedingungen zum Kurskonzept

Scientific Literacy betont die wissenschaftsorientierte Vermittlung sowohl von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen als auch von Konzepten, die explizit das Verständnis und die Reflexion der Wege betonen, auf denen diese Erkenntnisse gewonnen werden (Bybee, 2002). International werden diese Konzepte als *Scientific Inquiry* und *Nature of Science* bezeichnet (NRC, 1996; DFES & QCA, 1999).

Nature of Science umfasst ein aufgeklärtes Verständnis über das Zustandekommen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und die dem naturwissenschaftlichen Wissen zugrundeliegenden erkenntnistheoretischen Annahmen, d.h., dass Wissen in den Naturwissenschaften als vorläufig und stetig veränderbar zu verstehen ist (Urhahne, Kremer & Mayer, 2008).

Unter dem Begriff *Scientific Inquiry* werden die Durchführung und das Verständnis wissenschaftlicher Untersuchungen zur Lösung eines naturwissenschaftlichen Problems zusammengefasst (NRC, 2000). *Scientific Inquiry* kann mit dem von Klahr (2000) entwickelten SDDS-Modell (*Scientific Discovery as Dual Search-Model*) analog zu einem Problemlöseprozess modelliert werden (Mayer, 2007). Im SDDS-Modell (Klahr, 2000) besteht der Prozess der Erkenntnisgewinnung aus den drei Schritten: Suche im Hypothesenraum, Testen von Hypothesen und Analyse von Evidenzen (Klahr, 2000; Hammann, 2007). Bei der „Suche im Hypothesenraum“ wird auf Grundlage von vorhandenem Wissen (Vorwissen) oder von Beobachtungen eine möglichst universale, präzise und überprüfbare Hypothese entwickelt. Diese wird dann im nächsten Schritt, dem „Testen von Hypothesen“, untersucht, indem ein Experiment entwickelt, eine konkrete Vorhersage der Ergebnisse des geplanten Experiments getroffen und das Experiment durchgeführt sowie die Ergebnisse daraus mit den vorhergesagten Ergebnissen verglichen werden. Aus dieser „Suche im Experimentierraum“ ergeben sich Belege für oder gegen die Hypothese. Diese Belege bilden die Grundlage für den nächsten Schritt, die „Analyse von Evidenzen“, bei der entschieden wird, ob die Hypothese akzeptiert, zurückgewiesen oder weiter geprüft wird.

Das Experimentieren im Unterricht stellt eine Möglichkeit dar, um Schüler*innen ein Verständnis für *Nature of Science* und *Scientific Inquiry* zu ermöglichen. Durch eigenständiges Experimentieren sollen Schüler*innen den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgang nachvollziehen und so zu einem Verständnis der wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise gelangen (Mayer & Ziemek, 2006; Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer & Leutner, 2008). Lehrende teilen diese Zielsetzung des Unterrichts und weisen Schulexperimenten darüber hinaus eine motivations- und interessensförderliche Wirkung zu, um so deren Einsatz im Unterricht zu begründen (Hodson, 1990; Johnstone & Al-Shuali, 2001; Welzel et al., 1998).

Nimmt man *Scientific Literacy* als Bildungsziel ernst, genügt es im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht, Experimente lediglich kochrezeptartig durchzuführen, wie es häufig im Unterricht geschieht (Abrahams & Millar, 2008; Abrahams & Reiss, 2012). Vielmehr müssen Schüler*innen beim Experimentieren die Möglichkeit bekommen, die erkenntnistheoretischen Schritte nachzuvollziehen (Hofstein & Lunetta, 2004; Höttecke & Rieß, 2015). Dies gelingt allerdings kaum, wenn Experimente einfach nach den engen Vorgaben einer Bedienungsanleitung durchgeführt werden, wie Studien zum Experimentieren in der Schule zeigen (Abrahams, 2011; Abrahams & Millar, 2008; Hammann, 2004; Harlen, 1999; Hodson, 1990; Gunstone, 1991). Die Ergebnisse dieser Studien legen den Schluss nahe, dass Schüler*innen beim Experimentieren theoretische Inhalte kaum mit der Praxis verknüpfen können (Abrahams, 2011; Abrahams & Millar, 2008), sie die praktische Durchführung des Experiments als sehr komplex erleben und kaum noch über Kapazitäten zum Durchdenken des Experiments verfügen (Harlen, 1999). In der Konsequenz werden häufig falsche Vorstellungen vom Forschungsprozess vermittelt (Gunstone, 1991; Hammann, 2004), und die experimentelle Tätigkeit wird von Schüler*innen nicht selten als demotivierend erlebt (Harlen, 1999; Hodson, 1990). Demgegenüber kann selbstständiges Experimentieren ebenfalls mit einigen Problemen verbunden sein, da häufig von Lehrenden ungünstige Zielvorgaben festgelegt werden, sodass sich Schüler*innen beim Experimentieren überfordert fühlen, weil das selbstständige Experimentieren zu hohe metakognitive Anforderungen an sie stellt (Wirth et al., 2008). Um das Potential von Schülerexperimenten im Unterricht ausschöpfen zu können, müssen Experimente demnach so in den Unterricht integriert werden, dass der Anforderungsgehalt die Schüler*innen weder unter- noch überfordert. Im Sinne einer *Scientific Literacy* erscheint es demnach naheliegend, den Fokus beim Experimentieren auf den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu legen und die Durchführung und Reflexion einzelner Schritte dieses Prozesses zu unterstützen.

Zur *Scientific Literacy* gehört auch, Schüler*innen dazu zu befähigen, auf Grundlage von wissenschaftlichen Befunden zu argumentieren und auf dieser Grundlage fundierte gesellschaftliche und persönliche Entscheidungen zu treffen (KMK, 2005a, 2005b, 2005c; OECD, 2013). Im alltäglichen Leben sind Schüler*innen, wie auch Erwachsene, mit Informationen konfrontiert, bei denen z.B. in Medien wissenschaftliche Befunde verkürzt dargestellt werden (Till, 2014). Diese Informationen sind allerdings für gesellschaftliche oder persönliche Entscheidungsprozesse von essenzieller Bedeutung. Damit mit derartigen Informationen kompetent und konstruktiv umgegangen werden kann, müssen wissenschaftliche Befunde, aber auch die dahinterliegenden Entstehungsprozesse verstanden werden. In diesem Kontext werden auch Jugendliche mit statistischen Informationen konfrontiert, die ihnen auf verschiedenen Wegen präsentiert werden können, z.B. als geschriebene Texte, im Rahmen von mündlichen Vorträgen oder Diskussionen, in Tabellen oder Graphiken (Gal, 2002). Eine Anforderung an Schüler*innen als mündige Bürger*innen besteht demnach auch darin, dass diese die Planung und die Erhebung statistischer Daten beurteilen und kritisch hinterfragen können (vgl. Eichler & Vogel, 2013, S. 17). Für einen kompetenten, informierten und kritischen Umgang mit Informationen ist ein tieferes Verständnis dafür erforderlich, wie Daten erhoben und präsentiert werden und wie diese ggf. manipuliert werden können (Bowen & Bartley, 2014; Gal, 2002). Das

Planen und Durchführen von Erhebungen durch Schüler*innen kann den Prozess der Aneignung dieser Kompetenzen fördern (vgl. Eichler & Vogel, 2013, S. 17). Kompetenzen, die ein Individuum dazu befähigen, statistische Fakten des alltäglichen Lebens kritisch zu bewerten (Prado & Marzal, 2013; Wolff, Gooch, Montaner, Rashid & Kortuem, 2016), können mit dem Begriff *Data Literacy* beschrieben werden. *Data Literacy* bezieht sich auf den gesamten Forschungsprozess, wie Daten gesammelt und aufbereitet, Erklärungen daraus abgeleitet und Befunde präsentiert werden können (Prado & Marzal, 2013; Wolff et al., 2016). Schüler*innen soll mit diesen Kompetenzen eine kritische Reflexion des Forschungsprozesses ermöglicht werden, weil diese so zu einem Verständnis dafür gelangen können, inwiefern die Auswahl der Analyse und der Visualisierung oder wie eine unsachgemäße Auswahl von Daten Ergebnisse korrekt oder eben verzerrt darstellen können (Wolff et al., 2016). Demnach sollte das Ziel sein, Schüler*innen beim Umgang mit Daten zu befähigen, von der reinen statistischen Ebene zu abstrahieren und die Daten in einem weiteren Kontext zu betrachten (Frank, Walker, Attard & Tygel, 2016).

Bei der Konzeption des *Basiskurses Naturwissenschaften* wurde sowohl auf Experimentieren und *Scientific Inquiry* als auch auf Aspekte von *Data Literacy* fokussiert.

2.2 Kurskonzept *Basiskurs Naturwissenschaften*

Das Konzept des *Basiskurses Naturwissenschaften* wurde von Lehrenden des Oberstufen-Kollegs Bielefeld sowie von Fachdidaktiker*innen und Bildungswissenschaftler*innen als ein kompetenzorientiertes und fächerübergreifendes Unterrichtskonzept für die Eingangsphase der Oberstufe mit einem Schwerpunkt auf selbstgesteuertem Experimentieren entwickelt (Stiller, Stockey, Hahn, & Wilde, eingereicht). Der Kurs ist für ein ganzes Schuljahr geplant und umfasst insgesamt acht Unterrichtseinheiten, die alle in diesem Heft publiziert sind: hypothetisch-deduktiver Erkenntnisgang: Stiller, Allmers, Habigsberg, Stockey & Wilde, S. 28–39 in diesem Heft; Energieerhaltung: Allmers & Wilde, S. 40–52 in diesem Heft; Dichte: Allmers, Stiller & Wilde, S. 53–66 in diesem Heft; Lösungswärme: Stiller, Beyer-Sehlmeyer, Friedrich, Stockey & Allmers, S. 67–79 in diesem Heft; Ladungstransport: Allmers, Beyer-Sehlmeyer, Schumacher & Wilde, S. 80–96 in diesem Heft; Osmose: Schumacher, Beyer-Sehlmeyer, Henrich, Polte, Stockey & Wilde, S. 97–106 in diesem Heft; Keimung: Haunhorst, Stockey & Wilde, S. 107–116 in diesem Heft; Selektion: Stiller, Bekel-Kastrup & Stockey, S. 117–128 in diesem Heft. Durch dieses Kurskonzept soll den Schüler*innen durch eine sukzessive Steigerung der Selbststeuerung beim wissenschaftlichen Arbeiten ein schrittweiser Kompetenzerwerb ermöglicht werden. Dadurch sollen sie zum selbstständigen experimentellen Arbeiten hingeführt werden. Indem sie das Experimentieren selbst durchdenken und nicht kochrezeptartig die einzelnen Schritte im Experimentierprozess abarbeiten, soll den Problemen, die häufig von Schulexperimenten berichtet werden (Abrahams, 2008; Abrahams & Reiss, 2012; Höttecke & Rieß, 2015), entgegengewirkt werden.

Das Kurskonzept legt den Schwerpunkt auf *Scientific Inquiry* mit dem Experiment als einer methodischen Grundform der Erkenntnisgewinnung. Experimentieren als eine Erkenntnismethode von *Scientific Inquiry* bietet Schüler*innen die Möglichkeit, wissenschaftliche Ideen auf Ebene der Phänomene zu erfahren. Allerdings ist es auch wichtig, nicht auf dieser Ebene zu bleiben, sondern den Schüler*innen Gelegenheiten zu bieten, die wissenschaftliche Idee hinter dem Experiment nachzuvollziehen, indem beides eng miteinander verbunden wird (Osborne, 2015). Die Schüler*innen sollten die Möglichkeit haben, sich mit einer wissenschaftlichen Idee aus unterschiedlichen Perspektiven auseinandersetzen zu können, d.h., sie sollten Gelegenheit bekommen, Wissenschaft *hands-on* durchzuführen, darüber zu sprechen, zu schreiben, zu lesen sowie sich wissenschaftlich zu positionieren (Osborne, 2015). Um Experimentieren als erfolgreichen Lernprozess wahrnehmen zu können, müssen sie jedoch aktiv in den gesamten Experimentierprozess eingebunden sein, d.h., von der Entwicklung einer Forschungsfrage bis hin zur Schlussfolgerung aus ihren Erkenntnissen eine aktive Rolle einnehmen (Osborne, 2015).

Notwendig für Lernprozesse in diesem Sinne ist ein gewisser Grad an Anleitung beim Experimentieren (Jong, 2005; Mayer, 2004), z.B. indem das Experimentieren durch instruktionspsychologische Maßnahmen unterstützt wird (Wirth et al., 2008). Im Kurskonzept des Basiskurses wird der Erkenntnisprozess beim Experimentieren in einzelne Schritte gegliedert, die nach einer Einführung durch die Lehrkraft in nachfolgenden Experimenten zunehmend selbstgesteuert von den Schüler*innen ausgeführt werden (vgl. Abb. 1).

Schülereperiment zur jeweiligen Unterrichtseinheit (UE) Methodenbaustein (<i>Zuordnung zu den Schritten nach KLAHR, 2000</i>)	UE1a Kindbettfieber*	UE1b Fadenpendel	UE2 Energieerhaltung	UE3 Dichte	UE4 Lösungswärme	UE5 Ladungstransport	UE6 Zellsaftkonzentration	UE 7 Keimung und Wachstum	UE8 Selektion
Festlegung der grundlegenden Herangehensweise (SiE)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	S
Identifikation und Kontrolle relevanter Variablen (SiE)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	S
Festlegung der abhängigen Variable und des Verfahren des Messung (SiE)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	S	S
Aufstellen und Begründen von Hypothesen (SiH)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	S	S
Festlegung von Abstand und Anzahl der Messintervalle (SiE)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	S	S	S
Formulierung einer präzisen Fragestellung (SiH)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	S	S	S
Formulierung der Schlussfolgerung (AvE)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	S	S	S	S
Festlegung des Untersuchungsspektrum (SiE)	L	L/S	L/S	L/S	L/S	S	S	S	S
Festlegung der unabhängigen Variable (SiE)	L	L/S	L/S	L/S	S	S	S	S	S
Formulierung der Interpretation (AvE)	L	L/S	L/S	L/S	S	S	S	S	S
Festlegung der Anzahl der Stichproben und der Messwiederholungen (SiE)	L	L/S	L/S	S	S	S	S	S	S
Beschreibung der Ergebnisse (AvE)	L	L/S	L/S	S	S	S	S	S	S

Abbildung 1: Darstellung der Kompetenztreppe: SiH = Suche im Hypothesenraum, SiE = Suche im Experimentierraum, AvE = Analyse von Evidenzen. * kein Schülereperiment, L = vom Lehrenden eingeführt/stark angeleitet, L/S = vom Lehrenden und den Schüler*innen gemeinsam erarbeitet, S = von den Schüler*innen selbstständig angewendet (adaptiert nach Stiller, Stockey et al., eingereicht)

Durch eine schrittweise Steigerung der Selbststeuerung beim Experimentieren soll es ermöglicht werden, dass der metakognitive Anforderungsgehalt für die Schüler*innen bewältigbar wird. Des Weiteren können dadurch die verschiedenen Teilkompetenzen der Erkenntnisgewinnung schrittweise erlangt und sinnvoll aufeinander bezogen werden. Durch eine angemessene Forderung der Schüler*innen beim Experimentieren – d.h., die Schüler*innen sollten weder Über- noch Unterforderung erleben – soll eine Unterrichts-umgebung geschaffen werden, die von den Schüler*innen als kompetenzunterstützend wahrgenommen werden kann. Darüber hinaus experimentieren die Schüler*innen im Kurs überwiegend selbstständig, angepasst an ihre bestehenden Kompetenzen, sodass davon auszugehen ist, dass der Unterricht autonomieunterstützend erlebt wird. Das Erleben von Autonomie und Kompetenz wird als psychologische Voraussetzung für motiviertes Handeln angesehen (Deci, Ryan & Williams, 1996; Ryan & Deci, 2017). Es ist daher anzunehmen, dass sich eine autonomie- und kompetenzunterstützende Lernumgebung wie im Konzept des *Basiskurses Naturwissenschaften* positiv auf die Lernmotivation der Schüler*innen auswirkt. Eine kompetenz- und autonomieunterstützende Lehr- und Lernumgebung, in der die Schüler*innen in vielen experimentierenden Tätigkeiten im Sinne des Nachvollziehens des naturwissenschaftlichen Erkenntnisganges involviert sind, soll dazu beitragen, dass den Schüler*innen ein Verständnis der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zugänglich wird. Auch wenn der gewählte Fokus auf das Experimentieren notwendigerweise mit einer Reduktion fachlicher Inhalte einhergehen muss, ist zu erwarten, dass die Schüler*innen aufgrund der motivations- und interessenförderlichen Lernumgebung und der aktiven Rolle im Unterricht dennoch das fachliche Wissen erlangen und verfestigen.

Ein weiterer Fokus im Kurskonzept liegt auf *Data Literacy* (vgl. dazu Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht), die durch eine stetige Auseinandersetzung und Reflexion der Schüler*innen mit den von ihnen erhobenen Daten im gesamten Forschungsprozess gefördert werden soll. Dieses geschieht durch Berücksichtigung der fünf Wissensdimensionen der *Statistical Literacy* nach Gal (2002): (1) *Literacy*-Fähigkeiten, (2) Statistisches Wissen, (3) Mathematisches Wissen, (4) Kontextwissen und (5) Kritische Reflexionsfähigkeit. Diese Wissensdimensionen werden im Verlauf des Kurskonzeptes aufgebaut. Darüber hinaus fokussiert das Kurskonzept im Sinne einer *Data Literacy* neben dem Aufbau mathematischer und/oder statistischer Kompetenzen insbesondere den Aufbau einer Grundvorstellung über Daten und deren Entstehung unter Berücksichtigung des gesamten Forschungsprozesses. Schüler*innen sollen Strategien und Intuitionen entwickeln, mit denen sie ihnen präsentierte Daten angemessen beurteilen können (Sproesser, 2014). Für *Data Literacy* wurde korrespondierend zu der Kompetenztreppe zum Experimentieren eine analoge Kompetenztreppe entwickelt (vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite), die ausgewählte grundlegende Kompetenzen einer *Statistical Literacy* nach Gal (2002) beinhaltet. Dazu zählen mathematische und statistische Kompetenzen sowie Kompetenzen zum Umgang mit Kontextwissen, die zunächst lehrerzentriert eingeführt und dann immer weiter in die Hände der Schüler*innen gelegt werden (vgl. Abb. 2). Kompetenzen bezogen auf *Literacy*-Fähigkeiten und eine kritische Reflexion werden während des Unterrichts implizit jeweils mitgefördert, indem die mathematischen und statistischen Grundfertigkeiten nicht einfach nur eingeübt werden, sondern sich die Schüler*innen reflektiert mit diesen auseinandersetzen und so ein Verständnis für geschriebene, gesprochene oder in Tabellen oder graphischen Abbildungen verpackte Informationen (Gal, 2002) gefördert wird. Die Förderung dieser Kompetenzen bleibt allerdings nicht im Sinne einer *Statistical Literacy* auf Ebene der kritischen Prüfung von statistischen Daten zur Beurteilung der Validität, um damit argumentieren zu können und Entscheidungen zu treffen (Wolff et al., 2016). Vielmehr werden systematisch Anlässe geschaffen, um den gesamten Forschungsprozess vom Sammeln der Daten und deren Aufbereitung über das Ableiten von Erklärungen bis hin zur Präsentation von Daten im Sinne einer *Data Literacy* (Prado & Marzal, 2013; Wolff et al., 2016) zu reflektieren.

Schülerexperiment zur jeweiligen Unterrichtseinheit (UE)	UE1a Kindbettfieber*	UE1b Fadenpendel	UE2 Energieerhaltung	UE3 Dichte	UE4 Lösungswärme	UE5 Ladungstransport	UE6 Zellsaftkonzentration	UE7 Keimung und Wachstum	UE8 Selektion
Data Literacy-Kompetenzen									
Signifikanzprüfung (mit Konfidenzintervallen, t-Test oder r_s -Test)							L	L/S	S
Ermitteln eines funkt. Zusammenhangs (Aufstellen einer lin. Funktionsgleichung, weitere Funktionsklassen zum mathematischen Modell, Korrelation, Regressionsrechnung)						L	L/S	L/S	S
Umgang mit Literaturwerten (Recherche und Diskussion)				L	L	L/S	L/S	S	S
Streuung (Streuungsparameter: Standardabweichung (SD), Standardfehler (SEM); Berechnung u. Fehlerkreuze in Diagrammen, Bedeutung der SD/SEM und statistischer Fehler vs. systematischer Fehler)				L	L/S	L/S	S	S	S
Messungenaugigkeiten (Benennen und Berücksichtigen von Messungenaugigkeiten und Angabe von signifikanten Ziffern)			L	L/S	L/S	S	S	S	S
Beschreiben und Interpretieren von Diagrammen (ausgleichende Kurven)		L	L/S	L/S	S	S	S	S	S
Mittelwerte (Berechnung v. Mittelwerten, Thematisierung v. Ausreißerempfindlichkeit für arithmetisches Mittel und Median)		L	L/S	L/S	S	S	S	S	S
Wertetabelle (Erstellen einer Wertetabelle)		L	L/S	S	S	S	S	S	S
Erstellen von Diagrammen (abhängige und unabhängige Größen; Säulen- vs. Streudiagramme)	L	L/S	L/S	S	S	S	S	S	S

Abbildung 2: Darstellung der Kompetenztreppe zur *Data Literacy* mit den einzelnen Modulen. * kein Schülerexperiment, L = vom Lehrenden eingeführt/stark angeleitet, L/S = vom Lehrenden und den Schüler*innen gemeinsam erarbeitet, S = von den Schüler*innen selbstständig angewendet (adaptiert nach Stiller, Allmers et al., eingereicht).

3 Empirische Hinweise zur Wirksamkeit des Kurskonzeptes

Das Kurskonzept zum *Basiskurs Naturwissenschaften* ist über mehrere Schuljahre in einem multiprofessionellen Team aus Wissenschaftler*innen und Lehrenden entwickelt, erprobt und weiterentwickelt worden. Die Evaluation eines halbjährigen Vorgängerkurses, der auf denselben theoretischen und didaktischen Grundlagen beruht, konnte zeigen, dass insbesondere leistungsschwächere Schüler*innen vom Kurskonzept profitieren und bei dem Niveau der leistungsstärkeren Schüler*innen im Bereich der *Scientific Inquiry* mithalten (Hahn, Stiller, Stockey & Wilde, 2013).

Eine Interviewstudie, in der Schüler*innen mit einem im Kursverlauf gestiegenen naturwissenschaftlichen Interesse und Schüler*innen mit einem im Kursverlauf gesunkenen naturwissenschaftlichen Interesse untersucht wurden, zeigte interessante Befunde betreffend der Wahrnehmung des einjährigen Kurses (Stiller, Kurth, Petersmeyer, Hahn & Wilde, 2013; Stiller, Stockey et al., eingereicht). So wurden von Schüler*innen mit gestiegenem Interesse das praktisch-experimentelle Arbeiten und die größeren Mitbestimmungsmöglichkeiten im Kurs positiv hervorgehoben. Beides sind Aspekte, auf denen im Kurskonzept ein Fokus liegt. Auffällig war allerdings, dass beide Schüler*innengruppen gleiche Aspekte anscheinend subjektiv unterschiedlich wahrnahmen. Möglicherweise war diese Wahrnehmung davon beeinflusst, welchen naturwissenschaftlichen Unterricht die Schüler*innen vorher erlebt haben. Im Gegensatz zu den Schüler*innen mit Interessenanstieg kritisierten Schüler*innen mit Interessenabfall z.B. zu wenig Mitbestimmung im Kurs. Insgesamt deuten die Befunde aus dieser Studie darauf hin, dass es durch das Kurskonzept gelingen kann, wenig interessierte Schüler*innen für Naturwissenschaften mehr zu interessieren.

Die Evaluation des einjährigen Vorgängerkurses (Hahn, Stockey & Wilde, 2011) zeigte, dass die Kurskonzeption sowohl zu positiven Effekten bezüglich der Unterrichtswahrnehmung als auch bezüglich kognitiver und motivationaler Variablen bei den Schüler*innen führt (Hahn et al., 2014). Die Schüler*innen, die nach dem Kurskonzept unterrichtet wurden, gaben an, dass sie mehr in forschende Aktivitäten eingebunden waren als in ihrem bisherigen naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Schüler*innen erhielten demnach durch das Kurskonzept mehr Möglichkeiten, als sie es bisher gewöhnt waren, naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse nachvollziehen zu können. Ebenfalls nahmen sie den Unterricht kompetenz- und autonomieunterstützender wahr, und sie empfanden mehr soziale Eingebundenheit als in ihrem bisherigen naturwissenschaftlichen Unterricht. Demnach wurden entscheidende Aspekte des Unterrichts und der Kurskonzeption von den Schüler*innen positiv wahrgenommen. Auf motivationaler und kognitiver Ebene profitierten die Schüler*innen vom Kurskonzept. Kognitiv verzeichneten Schüler*innen, die nach dem Kurskonzept unterrichtet wurden, eine positive Entwicklung. Sowohl in einem Test zur *Scientific Inquiry* als auch in einem Test zur naturwissenschaftlichen Kompetenz schnitten sie am Ende des Schuljahres besser ab als zu Beginn. Auf motivationaler Ebene wiesen diese Schüler*innen ein höheres Interesse an Naturwissenschaften, ein höheres naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept und eine selbstbestimmtere lernbezogene Motivationsqualität am Ende des Kurses auf als noch zu Beginn.

Literatur und Internetquellen

- Abrahams, I. (2011). *Practical Work in Secondary Science. A Minds-on Approach*. London: Continuum.
- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A Study of the Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*, 30 (14), 1945–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Abrahams, I., & Reiss, M.J. (2012). Practical Work: Its Effectiveness in Primary and Secondary Schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 49 (8), 1035–1055. <https://doi.org/10.1002/tea.21036>
- Allmers, T., Beyer-Sehlmeyer, G., Schumacher, F., & Wilde, M. (2020). Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innen-Bildung*, 2 (2), 80–96. <https://doi.org/10.4119/pflb-3306>
- Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Quantitative Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innen-Bildung*, 2 (2), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>
- Allmers, T., & Wilde, M. (2020). Energie und Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innen-Bildung*, 2 (2), 40–52. <https://doi.org/10.4119/pflb-3303>
- Bowen, M., & Bartley, A. (2014). *The Basics of Data Literacy. Helping Your Students (and You!) Make Sense of Data*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Bybee, R.W. (2002). Scientific Literacy – Mythos oder Realität? In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 21–43). Opladen: Leske + Budrich. https://doi.org/10.1007/978-3-322-80863-9_2
- Deci, E.L., Ryan, R.M., & Williams, G.C. (1996). Need Satisfaction and the Self-Regulation of Learning. *Learning and Individual Differences*, 8 (3), 165–183. [https://doi.org/10.1016/S1041-6080\(96\)90013-8](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(96)90013-8)
- Eichler, A., & Vogel, M. (2013). *Leitidee Daten und Zufall. Von konkreten Beispielen zur Didaktik der Stochastik*. Wiesbaden: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-00118-6>
- Frank, M., Walker, J., Attard, J., & Tygel, A. (2016). Data Literacy – What Is It and How Can We Make It Happen? *The Journal of Community Informatics*, 12 (3), 4–8.
- Gal, I. (2002). Adults' Statistical Literacy. Meanings, Components, Responsibilities. *International Statistical Review*, 70 (1), 1–25. <https://doi.org/10.2307/1403713>
- Gunstone, R.F. (1991). Reconstructing Theory from Practical Experience. In B.E. Woolnough (Hrsg.), *Practical Science. The Role and Reality of Practical Work in School Science* (S. 67–77). Milton Keynes: Open University Press.
- Hahn, S., Allmers, T., Bekel-Kastrup, H., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Habigberg, A., et al. (2014). Naturwissenschaftsdidaktische Praxisforschung im Spannungsfeld von Theorie, Empirie und institutionellen Bedingungen der Praxis: Die Entwicklung des Basiskurses Naturwissenschaften. In G. Klewin, S. Hahn & M. Heinrich (Hrsg.), *Forschung und Entwicklung am Oberstufen-Kolleg. Rückblick – Bestandsaufnahme – Ausblick* (S. 215–269). Münster: Monsenstein & Vannerdat.
- Hahn, S., Stiller, C., Stockey, A., & Wilde, M. (2013). Experimentierend zur naturwissenschaftlichen Grundbildung – Entwicklung und Evaluation eines kompetenzorientierten Kurses für die Eingangsphase der Oberstufe. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7–15.

- Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2011). Basiskurs „Naturwissenschaften“. Anleitung zur selbstgesteuerten Erarbeitung zentraler Methoden und Basiskonzepte der Naturwissenschaften in der Eingangsphase der Oberstufe. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 64 (1), 47–52.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57 (4), 196–203.
- Hammann, M. (2007). Das Scientific Discovery as Dual Search-Modell. In D. Krüger (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 187–196). Berlin et al.: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_17
- Harlen, W. (1999). *Effective Teaching of Science. A Review of Research* (Using Research Series, 21). Edinburgh: Scottish Council for Research in Education.
- Haunhorst, D., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Die Ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>
- Hodson, D. (1990). A Critical Look at Practical Work in School Science. *School Science Review*, 71 (256), 33–40.
- Höttecke, D., & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21 (1), 127–139. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z>
- Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (2004). The Laboratory in Science Education. Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88 (1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Johnstone, A.H., & Al-Shuali, A. (2001). Learning in the Laboratory. Some Thoughts from the Literature. *University Chemistry Education*, 5 (2), 42–50.
- Jong, T. de (2005). The Guided Discovery Principle in Multimedia Learning. In R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 215–228). Cambridge & New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.015>
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science. The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–196). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16
- Mayer, J., & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317, 4–12.

- Mayer, R.E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? *American Psychologist*, 59 (1), 14–19. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.1.14>
- MSB NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW) (2008a). *Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen – Biologie*. Frechen: Ritterbach.
- MSB NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW) (2008b). *Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen – Chemie*. Frechen: Ritterbach.
- MSB NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW) (2008c). *Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen – Physik*. Frechen: Ritterbach.
- NRC (National Research Council) (1996). *National Science Education Standards. Observe, Interact, Change, Learn*. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC (National Research Council) (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- OECD (2013). *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework. Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264190511-en>
- Osborne, J. (2015). Practical Work in Science: Misunderstood and Badly Used? *School Science Review*, 96 (357), 16–24.
- Prado, J., & Marzal, M.Á. (2013). Incorporating Data Literacy into Information Literacy Programs: Core Competencies and Contents. *Libri*, 63 (2), 123–134. <https://doi.org/10.1515/libri-2013-0010>
- Ryan, R.M., & Deci, E.L. (2017). *Self-Determination Theory. Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness*. New York: Guilford Press.
- Schumacher, F., Beyer-Sehlmeyer, G., Henrich, S., Polte, S., Stockey, A. & Wilde, M. (2020). Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 97–106. <https://doi.org/10.4119/pflb-3307>
- Sproesser, U. (2014). Informelles statistisches Schließen anbahnen – Die Sicht von Achtklässlern auf Variabilität. In U. Sproesser, S. Wessolowski & C. Wörn (Hrsg.), *Daten, Zufall und der Rest der Welt. Didaktische Perspektiven zur anwendungsbezogenen Mathematik* (S. 235–246). Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-04669-9>
- Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39. <https://doi.org/10.4119/pflb-3302>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Bekel-Kastrup, H., & Stockey, A. (2020). Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 117–128. <https://doi.org/10.4119/pflb-3309>
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>

- Stiller, C., Kurth, K., Petersmeyer, J., Hahn, S., & Wilde, M. (2013). Interessenentwicklung im Basiskurs Naturwissenschaften. Abstract. *15. Frühjahrsschule der Fachsektion Didaktik der Biologie im vbio* (S. 156).
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Till, C. (2014). Unstatistiken: Statistische Fehlschlüsse in den Medien. In U. Sproesser, S. Wessolowski & C. Wörn (Hrsg.), *Daten, Zufall und der Rest der Welt. Didaktische Perspektiven zur anwendungsbezogenen Mathematik* (S. 259–266). Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04669-9_21
- Urhahne, D., Kremer, K., & Mayer, J. (2008). Welches Verständnis haben Jugendliche von der Natur der Naturwissenschaften? Entwicklung und erste Schritte zur Validierung eines Fragebogens. *Unterrichtswissenschaft*, *36* (1), 71–93.
- Welzel, M., Haller, K., Bandera, M., Hammelev, D., Panagiotis, K., Niedderer, H., et al. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *4* (1), 29–44.
- Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, J., Fischer, H.E., & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, *54* (3), 361–375.
- Wolff, A., Gooch, D., Montaner, J.J.C., Rashid, U., & Kortuem, G. (2016). Creating an Understanding of Data Literacy for a Data-driven Society. *The Journal of Community Informatics*, *12* (3), 9–26.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der Basiskurs Naturwissenschaften. Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – Praxisforschung/Lehrer*innenbildung*, *2* (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Vom Konzept in den Unterricht: Wie geht es nach der Entwicklung und Erprobung des Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* weiter?

Cornelia Stiller^{1,*}, Andreas Stockey² & Matthias Wilde¹

¹ Universität Bielefeld

² Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Im Sinne des Versuchsauftrages des Oberstufen-Kollegs und einer nachhaltigen Entwicklung von Unterrichtskonzepten im Rahmen von Praxisforschung sollte das Kurskonzept *Basiskurs Naturwissenschaften* nicht ausschließlich für das Oberstufen-Kolleg entwickelt und erprobt werden, sondern war mit dem Anspruch verbunden, es auch anderen Schulen zur Verfügung zu stellen. Innovationen an andere Schulen zu transferieren, gilt als schwierig und benötigt viel Zeit, insbesondere, wenn die zu implementierenden Innovationen anderenorts entwickelt wurden. Auch Maßnahmen, die im Rahmen von Praxisforschung entwickelt und erprobt wurden, sind davon nicht ausgenommen. Diese Innovationen sind ebenfalls in einem spezifischen Kontext entstanden, der sich vom Kontext und den Strukturen an anderen Schulen unterscheidet. Gemäß dem aktuellen Forschungsstand wird empfohlen im Rahmen eines Transferprozesses für die Rezipient*innen Gelegenheiten zu schaffen, die ihnen eine „Rekontextualisierung“ bzw. ein „Nacherfinden“ der Innovation ermöglichen. Im Rahmen dieses Beitrags sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie Rahmenbedingungen für einen Transfer des Kurskonzeptes gestaltet sein könnten und wie diese Innovation den Weg an andere Schulen finden kann.

Schlagwörter: Transfer, Innovation, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung



1 Einleitung

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung von Unterrichtskonzepten hat die Forschungsgruppe bereits bei der Entwicklung des Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* (Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft; Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht) den Transfer an andere Schulen antizipiert und mitgedacht. Innovationen in Schulen zu implementieren, gilt als schwierig und benötigt viel Zeit, insbesondere, wenn die zu implementierenden Innovationen andernorts entwickelt wurden (Gräsel, 2010). Mit Praxisforschung kann es gelingen, dem Transferproblem konstruktiv zu begegnen (Koch, 2016; Fichten, 2014). Innovationen aus Praxisforschungsprojekten, deren Entwicklung und Forschungsprozess von Wissenschaftler*innen und Praktiker*innen, wie z.B. Lehrenden, und damit potentiellen Rezipient*innen, gemeinsam durchgeführt werden, gelten sowohl als transferwürdig als auch als transferfähig (Koch, 2016). Allerdings kann insbesondere der externe Transfer durch die Entwicklung einer Maßnahme in einem spezifischen Kontext und der damit verbundenen Notwendigkeit gewisser analoger Strukturen an einer externen Schule erschwert werden (Fichten, 2014). Es müssen für den Transferprozess demnach Gegebenheiten geschaffen werden, die eine „Rekontextualisierung“ (Fend, 2006) und ein „Nacherfinden“ der Innovation (Kussau & Brüsemeister, 2007) ermöglichen.

Im Rahmen dieses Beitrags sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie die Innovation des *Basiskurses Naturwissenschaften* den Weg an andere Schulen finden könnte.

2 Überlegungen für einen gelingenden Transfer des Kurskonzeptes

Im Sinne des Versuchsauftrages des Oberstufen-Kollegs (Hahn, Klewin, Koch, Kuhnen, Palowski & Stiller, 2019) sollte das Kurskonzept *Basiskurs Naturwissenschaften* (Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft; Stiller, Stockey et al., eingereicht) im Sinne der Praxisforschung nicht ausschließlich für das Oberstufen-Kolleg entwickelt und erprobt werden, sondern war mit dem Anspruch verbunden, die daraus gewonnenen Erkenntnisse auch anderen Schulen zur Verfügung zu stellen. Entsprechend stellt das Kurskonzept eine Innovation dar, die transferiert werden soll. Von einer Innovation kann gesprochen werden, wenn ein theoretisch fundiertes Konzept forschungsbasiert erprobt und evaluiert wurde (Koch, 2016; Hahn et al., 2019) und an einen neuen Kontext angepasst und übertragen, also transferiert, wird (Koch, 2016; Hahn et al., 2019). Ziel von Innovationen ist dabei eine Verbesserung der aktuellen Situation in dem von der Innovation fokussierten Bereich (Hasselhorn, Köller & Zimmer, 2014).

Vor den Bemühungen eines Transfers erscheint allerdings zunächst erst einmal eine Auseinandersetzung damit, wie Transferprozesse gefördert werden und unter welchen Bedingungen sie gelingen können, notwendig. Nach Huber (2009) wird ein Transfer von Innovationen unter anderem dadurch erschwert, dass es nicht die eine Methode gibt, mit der Transfer immer sicher gelingt, sondern eine Kombination verschiedener Methoden nützlich ist (Huber, 2009). Dabei sind z.B. Problemzentrierung, Möglichkeiten praktischer Anwendbarkeit, Elemente der Rückmeldung, Reflexionen über die Praxis und die Vermittlung theoretischer Grundlagen zentrale Elemente (Huber, 2009). Ebenso erscheint es wenig vielversprechend, beim Transfer eine Top-down-Strategie zu verfolgen, bei der Lehrenden Materialien zur Verfügung gestellt werden und davon ausgegangen wird, dass diese, wie geplant, umgesetzt werden (Gräsel & Parchmann, 2004). Das Gelingen von Transferprozessen ist an diverse Bedingungen und Voraussetzungen geknüpft. Transfererfolg ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die zum einen auf Seiten der Innovation selbst (z.B. geringe Komplexität, erkennbare Vorteile der Innovation), der Rezipient*innen (z.B. Vorwissen, Motivation, Erwartungen, Kompetenzeinschät-

zungen, Vorwissen) sowie der schulbezogenen Umgebungsfaktoren (z.B. Vorhandensein von Unterstützungsmaßnahmen wie Fortbildungen und Netzwerke, Schulkultur, langfristige Unterstützung und Begleitung, Zeit) (Goldenbaum, 2013; Gräsel, 2010; Lipowsky, 2009) liegen.

Eine einfache Übernahme von Innovationen wird im realen schulischen Transferkontext mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht gelingen, sondern um neue Konzepte an einer Schule zu implementieren, müssen Lehrende die Innovation „nacherfinden“ (Kussau & Brüsemeister, 2007) bzw. „rekontextualisieren“ (Fend, 2006). Dies erfolgt, indem die neuen Konzepte an die spezifischen lokalen Bedingungen angepasst werden. Der Umsetzungsprozess sollte dabei durch eine Evaluation begleitet und unterstützt werden. Guskey (2000) betont fünf kritische Ebenen, die Hinweise auf den Erfolg eines Implementationsprozesses liefern und bei einer Evaluation berücksichtigt werden sollten: (a) Reaktion der Teilnehmer*innen, (b) Lernen der Teilnehmer*innen, (c) Unterstützung und Veränderung der Organisation, (d) die Nutzung neuer Kenntnisse und Fähigkeiten und (e) Lernergebnisse der Schüler*innen.

Auch bei Transferbemühungen von Innovationen, die in Praxisforschungsprojekten entstanden sind, ist nicht garantiert, dass diese erfolgreich in andere Schulen transferiert werden können (Hasselhorn et al., 2014). Demnach ist davon auszugehen, dass auch der Transfer des in einem Praxisforschungsprojekt entwickelten Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* durch Merkmale der Innovation selbst, durch Merkmale der Rezipient*innen und durch schulbezogene Umgebungsfaktoren beeinflusst wird. Zu den Merkmalen der Innovation lassen sich (a) ein *relativer Nutzen* der Innovation für die Rezipient*innen, (b) *Kompatibilität* mit eigenen Werten, Überzeugungen und subjektiven Theorien, (c) *geringe Komplexität*, also dass eine Umsetzung ohne großen Aufwand möglich ist, (d) *Durchführbarkeit* in dem Sinne, dass die Innovation nicht unbedingt ad-hoc eingeführt werden muss und eine Implementation der Innovation auch leicht wieder rückgängig gemacht werden kann, und (e) *Beobachtbarkeit*, also dass für die Rezipient*innen direkt bzw. schnell ein Nutzen der Innovation erkennbar ist, zählen (Gräsel, 2010; Jäger, 2004). Eine geeignete Maßnahme, um potentiellen Rezipient*innen zu ermöglichen, die Eigenschaften einer Innovation adäquat im Hinblick auf deren relativen Nutzen, die Kompatibilität, die Komplexität, die Durchführbarkeit und die Beobachtbarkeit sowie die Passung zu sich und der eigenen Schule einschätzen zu können, ist das Anbieten von Fortbildungen, in denen das Kurskonzept in seinen Grundzügen vorgestellt und über Erprobungen und deren Ergebnisse berichtet wird. Die tatsächlich vorliegenden Hinweise zur Wirksamkeit des Kurskonzeptes (vgl. Kap. 2.3) könnten von potentiellen Rezipient*innen als Indiz für den Nutzen des Kurskonzeptes gewertet werden. Allerdings genügt es nicht, dieses Wissen und die Kurskonzeption im Rahmen einer Fortbildung an potentielle Rezipient*innen weiterzugeben. Eine Fortbildung im klassischen Sinne kann es nicht leisten, potentielle Rezipient*innen in die Lage zu versetzen, diese Innovation an die spezifischen schulischen Rahmenbedingungen anzupassen. Dafür bedarf es für den Prozess der „Rekontextualisierung“ (Fend, 2006) bzw. des „Nacherfindens“ (Kussau & Brüsemeister, 2007) des Kurskonzeptes für die eigene Schule und den eigenen Unterricht einer begleitenden Unterstützung, die im Rahmen einer einmaligen Fortbildung nicht gewährleistet werden kann.

Bevor allerdings ein aufwendiges Transferkonzept entwickelt wird, das dann möglicherweise nicht die Bedürfnisse potentieller Rezipient*innen trifft, wurde zunächst untersucht, wie das Kurskonzept im Rezipientenraum wahrgenommen wird und inwieweit dieses dort auf Bedarf trifft, um davon ausgehend Schlüsse ziehen zu können, wie ein erfolgreicher Transferprozess ermöglicht und begleitet werden kann.

3 Untersuchung zum Transfer des Kurskonzeptes

In einem ersten Schritt wurden Lehrer*innenbefragungen durchgeführt, die darüber Aufschluss geben sollten, welche spezifischen Bedingungen für den Transfer des Kurskonzeptes an potentiellen Regelschulen vorliegen. In den Lehrer*innenbefragungen wurde dabei auf verschiedene potentielle Faktoren, die einen Transfererfolg bestimmen können, fokussiert, um so Möglichkeiten und Erfolgsbedingungen zum Transfer des Kurskonzeptes zu eruieren. In einem zweiten Schritt wurden erste Fortbildungsmaßnahmen für Lehrende zum Kurskonzept, die zum Ziel hatten, Lehrende in einem Rekontextualisierungsprozess zu unterstützen, begleitend evaluiert, um so weitere Rückschlüsse auf Bedürfnisse der potentiellen Rezipient*innen und die mögliche Wirksamkeit der Fortbildungskonzeption ziehen zu können.

3.1 Befragungen von Lehrenden zum Kurskonzept

81 Lehrende für die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik wurden gebeten, einen Fragebogen mit offenen Fragen zur Beurteilung des Kurskonzeptes und der Transfermöglichkeiten zu bearbeiten. Die Befragung wurde im Rahmen von Informationsveranstaltungen und Fortbildungen zum Kurskonzept durchgeführt. Die Fragen fokussierten sich dabei auf mögliche Bedingungsfaktoren für einen gelungenen Transfer. Dazu zählten erkennbare Vorteile des Kurskonzeptes aus der Perspektive der Lehrenden, also die wahrgenommene „Qualität“ des Kurskonzeptes (Goldenbaum, 2013; Gräsel, 2010) sowie unterstützende und hemmende Bedingungen an der eigenen Schule (Goldenbaum, 2013; Gräsel, 2010; Lipowsky, 2009), insbesondere erwartete Probleme bei der Umsetzung des Kurskonzeptes unter schulspezifischen Bedingungen. Die Antworten der Lehrenden wurden kategorisiert.

Die Rückmeldungen zu den Stärken des Kurskonzeptes verdeutlichen, dass die Lehrenden insbesondere die Grundpfeiler des Kurskonzeptes (Kompetenzorientierung, Fächerverbindung, schrittweise Förderung der Selbstständigkeit beim Experimentieren) sowie den im Kurskonzept verankerten Fokus auf wissenschaftliches Arbeiten (Vermittlung und Möglichkeit zum wissenschaftlichen Arbeiten) als Stärken wahrnahmen (vgl. Tab. 1 auf der folgenden Seite). Allerdings wurden die mit diesen Grundpfeilern verbundenen Implikationen für das Kurskonzept kritisch betrachtet (z.B. Vernachlässigung von Fachwissen, zu hohe Anforderungen an Schüler*innen), oder es wurden für sie wichtige Aspekte im Kurskonzept (z.B. Gleichberechtigung zwischen den Fächern, Binnendifferenzierung; vgl. Tab. 1) als zu wenig beachtet eingeschätzt. Darüber hinaus sahen die Lehrenden die größten Schwächen im Kurskonzept in erwarteten Problemen bei einer Implementation an der eigenen Schule (Inkompatibilität mit Lehrplänen/Zentralabitur, inkompatible Bedingungen an eigener Schule, erhöhte Anforderungen an Lehrkräfte) (vgl. Tab. 1). Zusammenfassend scheint demnach das Kurskonzept insgesamt als transferwürdig wahrgenommen zu werden; allerdings bedarf es einiger Adaptionen, damit es den Bedürfnissen und Anforderungen anderer Schulen angepasst werden kann und so potentielle Befürchtungen bei einer Implementation möglichst reduziert werden können.

Tabelle 1: Übersicht über die von den Lehrenden in der Befragung wahrgenommenen Stärken und Schwächen des Kurskonzeptes (eigene Darstellung)

<i>Stärken</i> (n=131)	<i>Schwächen</i> (n=98)
<i>Kurskonzept (87 Nennungen):</i> (schrittweise) Förderung der Selbstständigkeit beim Experimentieren (n=26), Kompetenzorientierung (n=22), Fächerverbindung (n=17), Förderung auch schwächerer Schüler*innen (n=5), Vermittlung von zusammenhängendem Wissen (n=3), Sonstiges (n=2)	<i>Kurskonzept (31 Nennungen):</i> Vernachlässigung des Fachwissens (n=21), zu hohe Anforderungen an Schüler*innen (n=7), Sonstiges (n=10)
<i>Fokus auf wissenschaftliches Arbeiten (30 Nennungen):</i> Vermittlung wissenschaftlicher Arbeitsweisen (n=22), Möglichkeit zum wissenschaftlichen Arbeiten (n=8)	<i>Erwartete Probleme für eine Implementation (44 Nennungen):</i> Inkompatibilität mit Lehrplänen/Zentralabitur (n=21), inkompatible Bedingungen an eigener Schule (n=11), erhöhte Anforderungen an Lehrkräfte (n=10), Sonstiges (n=2)
<i>Weiteres (26 Nennungen):</i> Vorbereitung auf das Studium (n=4), Interessenförderung (n=3), Sonstiges (n=19)	<i>Weiteres (16 Nennungen):</i> z.B. „Fortführung in 12/13?“ „inhaltliche Verknüpfung“

Aus den Antworten auf die Frage, was nach Meinung der Lehrenden, einen Transfer des Kurskonzeptes an ihre Schule behindern könnte, wird deutlich, dass insbesondere die ministerialen Vorgaben (z.B. Lehrplan/Curriculumvorgaben, Zentralabitur) mit dem Kurskonzept nicht zu vereinbaren sind und diese Vorgaben deswegen insbesondere als Hinderungsgrund für eine Implementation des Kurskonzeptes an der eigenen Schule wahrgenommen werden (vgl. Tab. 2 auf der folgenden Seite). Die bei den Schwächen des Kurskonzeptes benannten erwarteten Probleme bei einer Implementation des Kurskonzeptes lassen sich demnach auch an dieser Stelle wiederfinden. Darüber hinaus scheint es noch weitere potentiell hinderliche Faktoren zu geben, die sich auf Rahmenbedingungen in der Schule beziehen (z.B. Widerstand im Kollegium, wenig unterstützende Schulleitung). Das Schulumfeld (offenes Klima, Interesse der Schulleitung, Unterstützungskultur an der Schule) beeinflusst zwar den Transfererfolg (Lipowski, 2009; Nickolaus, Gönnenwein & Petsch, 2010), indem ein nachhaltiger Effekt für eine Schule nur dann gegeben ist, wenn auch ein großer Teil des Kollegiums die Innovation akzeptiert und auch aktiv einsetzt (Jäger, 2004). Diese Bedingungen lassen sich allerdings von außen kaum verändern. Es müssen in der Schule selbst Wege gefunden werden, mit diesen Schwierigkeiten umzugehen. Möglicherweise kann auch nicht unter allen Bedingungen ein Transfer umgesetzt werden. Des Weiteren wurden von den Lehrenden der erwartete Mehraufwand, der mit einer Implementation des Kurskonzeptes verbunden ist (z.B. in Form von einem größeren Zeitaufwand, zusätzlichen Anforderungen, die an die Lehrenden gestellt werden), als problematisch für einen Transfer des Kurskonzeptes an die eigene Schule benannt. Eine angenommene (zusätzliche) Belastung bzw. Unklarheit der Mehrbelastung (Nickolaus et al., 2010) oder begrenzte Zeit- und Verarbeitungsressourcen und nicht hinreichend entwickelte Kompetenzen (Nickolaus, 2014) gelten als Problembereiche für einen Transferprozess. Um einen gelungenen Transfer gewährleisten zu können, sollte mit diesen belastenden Faktoren konstruktiv umgegangen werden,

indem der Transferprozess von den Fortbilder*innen begleitet und gezielt unterstützt wird.

Aus den Antworten der Lehrenden zu der Frage, was am Kurskonzept optimiert werden sollte, um Nutzungsmöglichkeiten im eigenen Unterricht bzw. an der eigenen Schule zu verbessern (vgl. Tab. 2), lassen sich Schlussfolgerungen für die weitere Arbeit am Kurskonzept ziehen. So wird aus den Antworten deutlich, dass Lehrende es als schwierig wahrnehmen, das Kurskonzept an ihrer eigenen Schule umzusetzen. Durch die Veröffentlichung der Unterrichtsmaterialien in diesem Themenheft der Zeitschrift *PraxisForschungLehrer*innenBildung* sollen Lehrenden Unterrichtsmaterialien und Planungen für einzelne fachliche Unterrichtseinheiten zur Verfügung gestellt werden, die dann adaptiert und für den eigenen Unterricht genutzt werden können. Lehrende bekommen so die Möglichkeit, Unterrichtsmaterial an ihre eigenen Bedürfnisse bzw. die ihrer Schüler*innen sowie an die Bedarfe der Schule und andere curriculare Verpflichtungen anzupassen. Binnendifferenzierung ist im Kurskonzept zwar mitgedacht worden, aber es sind bisher keine konkreten Unterrichtsmaterialien in verschiedenen differenzierten Varianten entwickelt worden. In einem Projekt am Oberstufenkolleg Bielefeld („Bielefelder Binnendifferenzierung in den MINT-Fächern – BiBi Mint“; https://www.weos-bielefeld.de/?page_id=4300) werden aktuell binnendifferenzierende Unterrichtsmaterialien u.a. auch zu einzelnen Unterrichtseinheiten aus dem Kurs entwickelt. Das Anbieten von Fortbildungen wurde als Möglichkeit benannt, um den Einsatz des Kurskonzeptes zu verbessern. Es wurden bereits einige Fortbildungen angeboten, die es ermöglichen sollen, die Grundpfeiler des Kurskonzeptes an die fachlichen und schulischen Rahmenbedingungen noch stärker anzupassen.

Tabelle 2: Übersicht über die von den Lehrenden in der Befragung genannten transferbehindernden Faktoren und Vorschläge zur Verbesserung, um die Transferierbarkeit zu erhöhen (eigene Darstellung)

<i>transferbehindernde Faktoren</i> (n=102)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Rahmenbedingungen des Kultusministeriums (44 Nennungen):</i> Lehrplan/Curriculumvorgaben (n=27), Zentralabitur (n=9), getrennte Fächer (n=4), Sonstiges (n=4) • <i>Schulische Rahmenbedingungen (23 Nennungen):</i> Widerstand im Kollegium (n=13), wenig Unterstützung durch Schulleitung (n=4), Schülerschaft (n=3), weitere organisationale Bedingungen (n=3) • <i>Weiteres (35 Nennungen):</i> (zusätzlich) hohe Anforderungen an Lehrende (n=13), Zeitproblem (n=9), Raumproblem (n=4), Sonstiges (n=9)
<i>Hinweise zur Verbesserung der Innovation</i> (n=35)	<ul style="list-style-type: none"> • Passung zu Kernlehrplänen erhöhen (n=11) • Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien (n=12) • Fachbezogene Bausteine statt Fächerübergreif (n=4) ⇒ Veröffentlichung von fachlichen Materialien des Basiskurses inkl. Unterrichtsmaterialien • Mehr Binnendifferenzierung (n=5) ⇒ Entwicklung von gestuften Lernhilfen • Anbieten von Fortbildungsmöglichkeiten (n=3) ⇒ Entwicklung und Erprobung eines Fortbildungskonzeptes

3.2 Evaluation des Fortbildungskonzepts „NaWi-Kompass“

Die Implementation neuer Konzepte erfordert eine Einpassung bzw. Rekontextualisierung von diesen in den lokalen Kontext der jeweiligen Schule (Fend, 2006). Bisherige Bemühungen um Transfer des Kurskonzeptes in die Regelschule zeigen, dass ein Bedarf an Fortbildungen besteht, der diesen Prozess der Rekontextualisierung stärker berücksichtigt und begleitet (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, 2014; Stiller, Stockey & Wilde, 2016). Während der Implementation einer Innovation an der eigenen Schule sind Lehrende damit konfrontiert, die Perspektiven verschiedener Ebenen miteinander zu verbinden (vgl. Abb. 1), was durch die Fortbildung ermöglicht werden soll. Das Ziel der Fortbildung war es dabei, diese verschiedenen Perspektiven zu kombinieren und ein passgenaues Kurskonzept zu entwickeln, das auf die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Schule, des Faches, des spezifischen Kurses und der/des Lehrenden zugeschnitten ist. Diese Anforderungen an eine Rekontextualisierung implizieren, das Rollenverständnis der an der Fortbildung Beteiligten umzudenken. Teilnehmende einer Fortbildung dieser Art agieren nicht nur als passive Rezipient*innen, sondern sie werden zu „Nacherfinder*innen“ des *Basiskurses Naturwissenschaften*. Sie entwickeln auf Grundlage der Leitlinien des Kurskonzeptes eine an die lokalen Bedingungen ihrer Schule und ihres Unterrichts angepasste Version des Kurses. Die Referent*innen bzw. Fortbilder*innen übernehmen die Rolle von assistierenden Moderator*innen und erfahrenen, kollegialen Berater*innen. Dadurch wird es für die Teilnehmenden möglich, sich mit dem Arbeitsergebnis und damit dem entstandenen Kurskonzept als einem Produkt der eigenen Arbeit zu identifizieren, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Implementierung des Konzeptes im Rezeptionsraum erhöht wird.

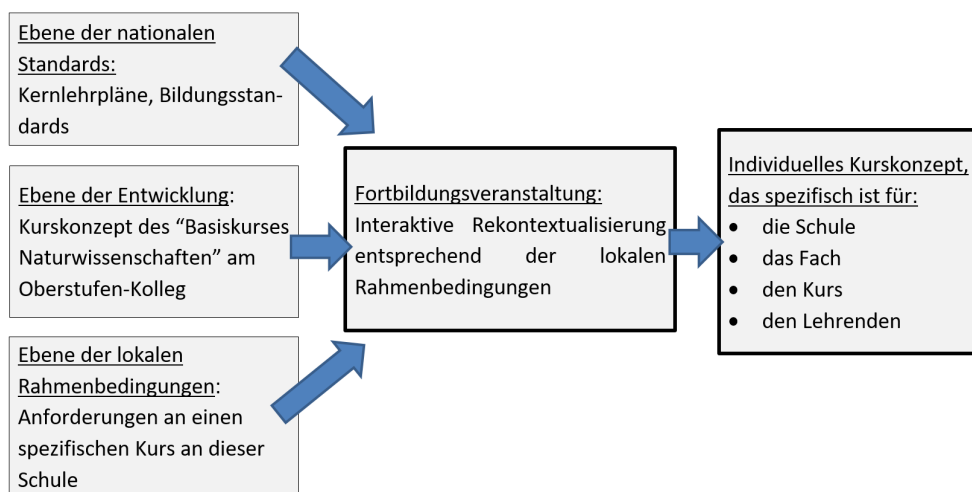


Abbildung 1: Fortbildung als Rekontextualisierungsstrategie (eigene Darstellung)

Der Rekontextualisierungsprozess erfolgt in fünf Schritten (vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite): (1) Festlegung der naturwissenschaftlichen Basiskonzepte und Methoden, (2) Auswählen von zu den Inhalten passenden Schüler*innenexperimenten, (3) Ausgestaltung der Unterrichtssequenz mit Bezug zur Kompetenztreppe (Verknüpfung von Inhalten, Experimenten mit spezifischen methodischen Elementen und graduelle Steigerung des selbstgesteuerten Arbeitens), (4) Überlegungen zur Entscheidungstabelle zu den Experimenten und (5) Zusammenstellung und Entwicklung von passendem Unterrichtsmaterial. Diese fünf Schritte können nicht alle im Rahmen einer Fortbildung vollzogen werden, sondern müssen individuell an den einzelnen Schulen fortgeführt werden, wobei die Möglichkeit zur Beratung durch begleitende weitere „Fortbildungstermine“ besteht. Die Fortbildung selbst umfasst zwei Teile. Im ersten Teil liegt der Fokus darauf, den Teilnehmenden das Kurskonzept vorzustellen und ihnen die Möglichkeit zu geben,

einzelne Schüler*innenexperimente (Planung, Durchführung, Analyse) selbst auszuprobieren. Im zweiten Teil werden dann zunächst die Prinzipien der Fortbildung vorgestellt, bevor im Anschluss daran die Teilnehmenden in einem Workshop in kleinen Gruppen erste Ideen erarbeiten, wie das Kurskonzept an die lokalen Bedürfnisse und Anforderungen der Teilnehmer*innen adaptiert werden kann.

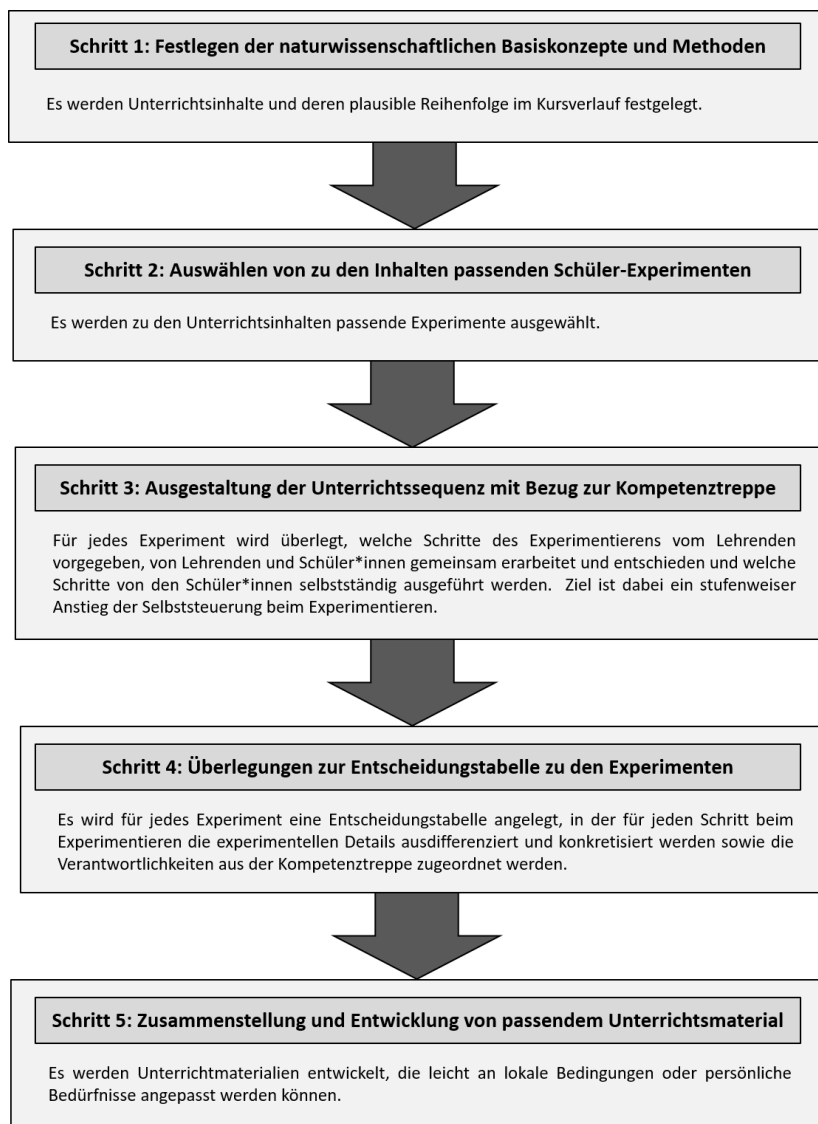


Abbildung 2: Schritte im Rekontextualisierungsprozess (übersetzt und verändert nach Stiller et al., 2016, Abb. 5)

Die Fortbildung wurde nach diesem Konzept mit 44 Lehrenden der Naturwissenschaften (Physik-, Chemie- und Biologielehrende) aus drei Schulen durchgeführt. Die drei Fortbildungen fanden dabei in den drei Schulen statt, wobei nur Lehrende der jeweiligen Schule teilnahmen. Die Lehrenden wiesen im Mittel 10.40 Jahre ($SD=10.20$ Jahre, Min.: 0 Jahre, Max.: 42 Jahre) Lehrerfahrung im Schuldienst auf. Die befragten Lehrenden unterrichteten überwiegend in der gymnasialen Oberstufe, wobei 23 von ihnen aktuell Unterricht in der Einführungsphase gaben. Zur Evaluierung wurde ein Fragebogen eingesetzt, der die Erwartungen der Teilnehmenden und die Erfüllung dieser Erwartungen abfragt. Die Evaluierung bleibt demnach in diesem ersten Schritt auf Ebene der Reaktionen der Teilnehmenden. Die weiteren von Guskey (2000) beschriebenen Ebenen wurden und können in diesem ersten Stadium der Fortbildung nicht evaluiert werden. Die

Teilnehmenden gaben vor der Fortbildung auf einer Skala von „0“ (gar nicht wichtig) bis „4“ (sehr wichtig) an, wie wichtig ihnen bestimmte Aspekte sind. Nach der Fortbildung wurden sie gebeten, einen weiteren Fragebogen auszufüllen, in dem sie beurteilen sollten, inwieweit ihre Erwartungen bezogen auf diese Aspekte ihrer Meinung nach erfüllt wurden (Antwortskala von „0“ = gar nicht erfüllt bis „4“ = voll und ganz erfüllt). Die Ergebnisse (vgl. Abb. 3) deuten darauf hin, dass die meisten der Erwartungen an die Fortbildung erfüllt werden konnten. Die Teilnehmenden fühlten sich ausreichend über Möglichkeiten eines kompetenzorientierten, naturwissenschaftlichen Unterrichtes informiert; die Unterstützung bei der konkreten Weiterentwicklung von Kursen der eigenen Schule wurden soweit erfüllt, und Möglichkeiten zum Austausch mit den Kolleg*innen der eigenen Schule waren gegeben. Aspekte, auf die die Fortbildung nicht direkt abzielt, wurden durch die Fortbildung nicht im von den Lehrenden erwarteten Maße erfüllt („Informationen für die Übernahme einzelner Module aus einem bestehenden Kurskonzept“). Ein Ziel der Fortbildung war es, Unterstützung anzubieten, um auf Grundlage des Kurskonzeptes eigene Kurse (weiter) zu entwickeln und gerade nicht einzelne Module vollständig zu übernehmen. Dennoch scheint auch dieser Aspekt für Teilnehmende von Fortbildungen relevant zu sein. Obwohl ein Austausch mit schulfremden Kolleg*innen anscheinend von den Teilnehmenden durchaus gewünscht gewesen wäre, konnte diese Möglichkeit in den Fortbildungen leider nicht gegeben werden, da diese direkt an den Schulen mit dem dort befindlichen Kollegium stattfanden. Für die weitere Planung von Fortbildungen scheint der Bedarf eines Austauschs auch mit schulfremden Kolleg*innen durchaus vorhanden zu sein, den man deswegen berücksichtigen sollte. Dieses könnte z.B. durch den Aufbau eines Netzwerkes realisiert werden.

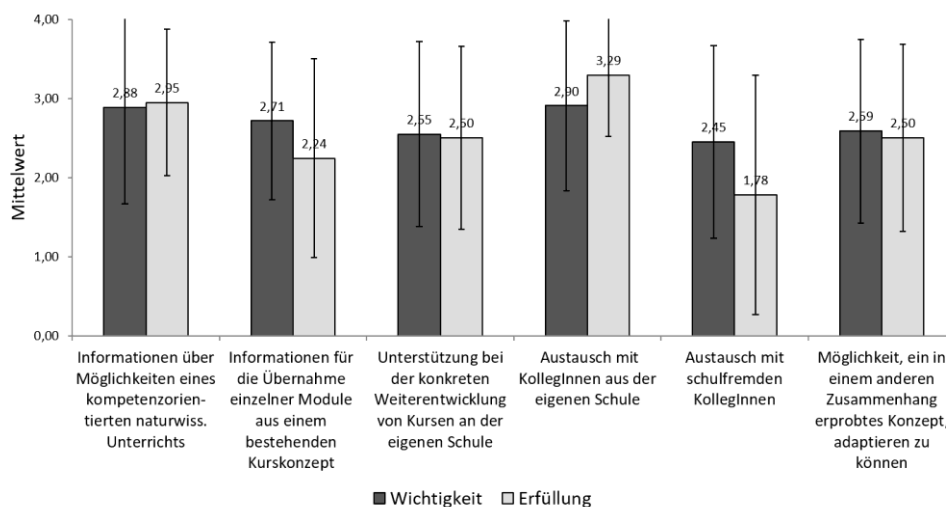


Abbildung 3: Ergebnisse zu den Erwartungen und der Bewertung verschiedener Aspekte der Fortbildung (eigene Darstellung)

Zusammenfassend scheint dieses Konzept für eine Lehrerfortbildung gelingende Rahmenbedingungen zu schaffen, um den Transfer des Kurskonzeptes zu ermöglichen, sollte allerdings durch weitere Maßnahmen unterstützt werden. Eine dieser Maßnahmen besteht darin, die gesamte Unterrichtskonzeption zur Verfügung zu stellen. Das ist die Intention, die der hier vorliegenden Publikation des Kurskonzeptes in einem Themenheft zugrunde liegt.

Literatur und Internetquellen

- Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 53–66.
- Allmers, T., & Wilde, M. (2020). Energie und Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 40–52.
- Fend, H. (2006). *Neue Theorie der Schule. Einführung in das Verstehen von Bildungssystemen*. Wiesbaden: VS | GWV Fachverlage GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90169-5>
- Fichten, W. (2014). Spurensuche: Hat Praxisforschung systemische Wirkungen? *TriOS – Forum für schulnahe Forschung, Schulentwicklung und Evaluation*, 9 (1), 55–73.
- Goldenbaum, A. (2013). Implementation von Schulinnovationen. In M. Rürup & I. Bormann (Hrsg.), *Innovationen im Bildungswesen. Analytische Zugänge und empirische Befunde* (Educational Governance, Bd. 21) (S. 149–172). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-19701-2_7
- Gräsel, C. (2010). Stichwort: Transfer und Transferforschung im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 13 (1), 7–20. <https://doi.org/10.1007/s11618-010-0109-8>
- Gräsel, C., & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung – oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32 (3), 196–214.
- Guskey, T.R. (2000). *Evaluating Professional Development*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Hahn, S., Klewin, G., Koch, B., Kuhnen, S.U., Palowski, M., & Stiller, C. (2019). Über Praxisforschung zum Transfer? In C. Schreiner, C. Wiesner, S. Breit, P. Dobbelsstein, M. Heinrich & U. Steffens (Hrsg.), *Praxistransfer Schul- und Unterrichtsentwicklung* (S. 141–152). Münster & New York: Waxmann.
- Hasselhorn, N., Köller, O., & Zimmer, K. (2014). Implementation wirksamer Handlungskonzepte im Bildungsbereich als Forschungsaufgabe. *Psychologische Rundschau*, 63 (3), 140–149. <https://doi.org/10.1026/0033-3042/a000216>
- Huber, S.G. (2009). Wirksamkeit von Fort- und Weiterbildung. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Lehrprofessionalität. Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 451–463). Weinheim: Beltz.
- Jäger, M. (2004). *Transfer in Schulentwicklungsprojekten*. Wiesbaden: VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-83388-4>
- Koch, B. (2016). Bedingungen des Transfers von pädagogischen Innovationen. Wie Curricula transferwürdig und -fähig werden können. In M. Hallitzky, A. Rachkočkine, B. Koch-Priewe, J.C. Störtländer & M. Trautmann (Hrsg.), *Vergleichende Didaktik und Curriculumforschung. Nationale und internationale Perspektiven* (S. 274–283). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kussau, J., & Brüsemeister, T. (2007). *Governance, Schule und Politik. Zwischen Antagonismus und Kooperation* (Educational Governance, Bd. 2). Wiesbaden: VS | GWV Fachverlage GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90497-9>
- Lipowsky, F. (2009). Unterrichtsentwicklung durch Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen für Lehrpersonen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27 (3), 346–360.
- Nickolaus, R. (2014). Transfer von Bildungskonzepten, Modellversuchen und Bildungsprogrammen – relevante Bedingungen, Herausforderungen und Ansätze. *TriOS – Forum für schulnahe Forschung, Schulentwicklung und Evaluation*, 9 (1), 5–16.
- Nickolaus, R., Gönnerwein, A., & Petsch, C. (2010). Die Transferproblematik im Kontext von Modellversuchen und Modellversuchsprogrammen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 13 (1), 39–58. <https://doi.org/10.1007/s11618-010-0112-0>

- Schumacher, F., Beyer-Sehlmeyer, G., Henrich, S., Polte, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 97–106.
- Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Bekel-Kastrup, H., & Stockey, A. (2020). Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 117–128.
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 67–79.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (2014). Essentials of Science-Development, Evaluation and Transfer into School Practice of a Competence Orientated Science Course. In C.P. Constantinou, N. Papadouris & A. Hadjigeorgiou (Hrsg.), *Science Education Research for Evidence-based Teaching and Coherence in Learning*. Proceedings of the ESERA 2013 Conference (Strand, 1–16). Nicosia: European Science Education Research Association.
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Stockey, A., & Wilde, M. (2016). Implementation of New Teaching Concepts by Teacher Training as a Process of Recontextualization. In J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselka, A. Uitto & K. Hahl (Hrsg.), *Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future*. Electronic Proceedings of the 11th ESERA 2015 Conference (S. 1512–1522). Helsinki: University of Helsinki.

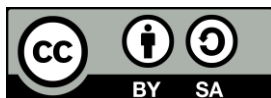
Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Stiller, C., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Vom Konzept in den Unterricht: Wie geht es nach der Entwicklung und Erprobung des Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* weiter? *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 17–27. <https://doi.org/10.4119/pflb-3301>

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie

Cornelia Stiller^{1,*}, Tobias Allmers^{2,*}, Annette Habigsberg^{3,*},
Andreas Stockey^{3,*} & Matthias Wilde^{1,*}

¹ Universität Bielefeld

² Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

³ Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Diese Unterrichtseinheit beinhaltet eine Einführung in die Grundprinzipien des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Die Vertiefung der Inhalte erfolgt an einem historischen Beispiel und in einem Experiment zum Fadenpendel, bei dem die Schritte des Experimentierens erarbeitet und angewendet werden sollen und so der hypothetisch-deduktive Erkenntnisgang vertieft werden soll. Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse bietet eine direkte Anschlussmöglichkeit für das Thema „Energie und Arbeit“ einer potentiellen nächsten Unterrichtseinheit.

Schlagwörter: Erkenntnisgewinnung, Experimentieren, Unterrichtskonzept



1 Einleitung

Von der Kultusministerkonferenz wurde der Bereich der Erkenntnisgewinnung als einer der Kompetenzbereiche für den naturwissenschaftlichen Unterricht definiert; sie legt damit einen Fokus auf den Erwerb dieser Kompetenzen im Unterricht (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). In den Kernlehrplänen für Biologie, Chemie, und Physik für die Sekundarstufe II wird diese Kompetenz als „übergreifende fachliche Kompetenz einer vertieften biologisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung“ betont und die Förderung dieser Kompetenz als grundlegend angesehen (z.B. MSW NRW, 2013). Der Weg der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften erfolgt über grundlegende Methoden der Naturwissenschaften (Beobachten, Vergleichen, Experimentieren), die der Logik des hypothetisch-deduktiven Vorgehens folgen. Empirische Untersuchungen im Sinne eines hypothetisch-deduktiven Vorgehens leisten einen wesentlichen Beitrag zum Erkenntnisprozess der Lernenden (Mayer, 2013) und stehen deswegen im Mittelpunkt des Kurskonzeptes. Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung folgt klaren Grundsätzen, deren Grundprinzipien am Anfang des Kurses in einer Unterrichtseinheit eingeführt und im Verlauf des *Basiskurses Naturwissenschaften* weiter vertieft werden.

2 Grundprinzipien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung

2.1 Grundprinzipien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung – Wie aus einer Hypothese eine Theorie wird

Ziel naturwissenschaftlicher Forschung ist es, für beobachtete Phänomene eine Erklärung zu finden. Diese Zusammenhänge müssen in einem Erkenntnisprozess erst erkannt werden und münden dann in einer Theorie. Theorien sind abstrakte Gedankenkonstrukte, die Zusammenhänge beschreiben und wissenschaftlich begründete Aussagen zur Erklärung bestimmter Phänomene beinhalten (Krüger & Vogt, 2007; Wirtz & Schulz, 2012). Um dabei zu objektiven, reproduzierbaren Aussagen zu gelangen, ist es notwendig, dass diese Aussagen wiederholt und in unabhängiger Weise von verschiedenen Personen getroffen werden können (Bayrhuber, Kull & Linder, 2005). Der wissenschaftliche Erkenntnisprozess, der zu einer Theorie führt, besteht aus einzelnen Schritten, die der Logik entlehnt sind. Relevant sind dabei Prozesse des induktiven und deduktiven Schlussfolgerns. Als Induktion wird ein Schluss bezeichnet, wenn auf Grundlage vieler reproduzierbarer Einzelbeobachtungen allgemeine Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden (Schneider, 1978). Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass sich etwas, das sich bei vielen beobachtbaren Ereignissen als wahr erweist, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei einem Ereignis mit vergleichbaren Umständen beobachtet werden kann. Demnach wird „von Einzelfällen auf allgemeingültige Zusammenhänge geschlossen“ (Schneider, 1978, S. 34). Induktive Schlüsse sind nur gültig, wenn diese aufgrund einer großen Anzahl von Beobachtungen erfolgt sind, die Beobachtungen unter vielfältigen Bedingungen stattgefunden haben und keine der Beobachtungen der allgemeinen Gesetzmäßigkeit widerspricht (Chalmers, 2001). Beispiele für einen induktiven Schluss sind „Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.“ und „Bei allen Reaktionen gibt es eine Hin- und Rückreaktion.“ Die Deduktion dagegen beschreibt das „Schließen vom Allgemeinen, von der übergeordneten Gesetzmäßigkeit“ auf den Einzelfall (Schneider, 1978, S. 34). Die Aussage, dass eine Feder im Vakuum mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ herunterfällt, abgeleitet aus der Aussage, dass alle Gegenstände im Vakuum mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ herunterfallen, wäre ein Beispiel für einen deduktiven Schluss aus der Physik. Deduktive Schlüsse sind wahrheitsgarantierend, d.h., wenn die Verallgemeinerungen wahr sind, dann ist auch der Schluss wahr. Im Gegensatz

dazu ist die Wahrheit eines induktiven Schlusses bei wahren Einzelbeobachtungen lediglich wahrscheinlich. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein induktiver Schluss wahr ist, ist umso höher, je mehr Einzelbeobachtungen vorliegen. Da allerdings nur eine begrenzte Anzahl von bestimmten Beobachtungen möglich ist, ist nicht ausgeschlossen, dass es Fälle gibt, die nicht mit der „allgemeingültigen Aussage“ beschrieben werden können. Dennoch aber werden durch Induktion aus einer begrenzten Anzahl von Beobachtungen allgemeingültige Aussagen aufgestellt (Induktionsproblem; Popper & Hansen, 2010).

Idealerweise besteht der empirische Prozess der Erkenntnisgewinnung aus einer „Abfolge von intuitiven, induktiven und deduktiven Denkweisen und enthält Hypothese und Experiment als notwendige Bestandteile“ (Pfeifer, Lutz & Bader, 2002, S. 94) (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite). Gegenstand von naturwissenschaftlichen Untersuchungen sind immer Beobachtungen (Falkenhausen, 1989), die intersubjektiv und nachprüfbar (objektiv) sein müssen. Ausschließlich subjektiv wahrnehmbare Phänomene, wie z.B. die Erscheinung des verstorbenen Großvaters oder andere dezidiert subjektive Wahrnehmungen, sind nicht widerlegbar und demzufolge nicht Gegenstand von Naturwissenschaften. Die an Einzelbeobachtungen gewonnene Erfahrung kann durch Induktion auf einen „übergeordneten, nicht beobachtbaren Tatsachenbereich“ ausgedehnt werden, so dass eine Erklärung, die allen Einzelbeobachtungen zugrunde liegt, abgeleitet werden kann (Schneider, 1978, S. 29). Diese übergeordnete Gesetzmäßigkeit stellt die zu prüfende Hypothese dar. Häufig spielen bei der Entwicklung einer Hypothese noch weitere Aspekte, wie z.B. bestehendes Vorwissen, eine Rolle. Eine Hypothese muss nicht zwangsläufig die Folge eines induktiven Schlusses sein, sondern kann auch durch intuitive, kreative Überlegungen entstehen (Pfeifer et al., 2002; Schneider, 1978). Hypothesen sind eine vorläufige Vermutung, wie man bestimmte Beobachtungen erklären könnte (Seiffert, 1973). Die entwickelten Hypothesen werden „in einem hypothetisch-deduktiven Schritt auf ihre Gültigkeit [hin] untersucht“ (Pfeifer et al., 2002, S. 94). Von den Hypothesen werden mit einem deduktiven Schluss konkrete Vorhersagen (empirisch prüfbare Hypothesen) abgeleitet. Falls die Hypothese zutreffend ist, müssten sich aus dieser Logik heraus diese Vorhersagen zum Experiment bestätigen. Um einen Erkenntnisprozess vollziehen zu können, ist eine unumgängliche Bedingung für Hypothesen, dass diese überprüfbar und prinzipiell widerlegbar sind. D.h., es muss möglich sein, dass ein Ergebnis einer Überprüfung der Hypothese ist, dass diese Hypothese nicht bestätigt, also falsifiziert, wird (Campbell & Reece, 2009; Pfeifer et al., 2002). So lässt sich z.B. die Aussage „Federn fallen im Vakuum immer mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$.“ testen, da es prinzipiell nicht ausgeschlossen ist, dass diese Hypothese nicht zutreffend ist. Es ist möglich, eine Alternativhypothese, nämlich „Federn fallen im Vakuum nicht mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ “ zu formulieren. Wenn man mit einem Experiment zeigen würde, dass es auch Federn gibt, die nicht mit dieser Beschleunigung im Vakuum fallen, wäre die Hypothese widerlegt. Die Aussage „Federn können im Vakuum mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ fallen.“ ist hingegen immer wahr, egal, wie das Experiment ausfällt. Diese Aussage wird sowohl durch ein exaktes Fallen mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ bestätigt als auch durch größeres oder kleineres beschleunigtes Fallen. Darüber hinaus ist es nicht möglich, einen logisch sinnvollen Satz zu formulieren, der die Gegenhypothese darstellt. Mit einem Experiment werden Bedingungen geschaffen, unter denen ein bestimmter Sachverhalt beobachtet werden kann (Schneider, 1978). Es muss ein Experiment geplant werden, mit dem sich die Hypothese falsifizieren oder bestätigen lässt. Dabei ist es wichtig, einige grundlegende Aspekte bei der Planung zu beachten (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht). Die tatsächlichen Ergebnisse aus dem Experiment werden dann mit den vorhergesagten Ergebnissen verglichen. Für den Fall, dass Vorhersage und tatsächliches Ergebnis nicht übereinstimmen, wurde die Hypothese falsifiziert. Bereits eine einzige, objektive Aussage, die sich nicht mit der Hypothese vereinbaren lässt, führt dazu, dass die Hypothese abgelehnt werden

muss (Bayrhuber et al., 2005; Falkenhausen, 1989). Die Hypothese wird daraufhin überarbeitet und es wird nach einer alternativen Erklärung für das Problem bzw. die Fragestellung gesucht. Dazu müssen die bekannten Sachverhalte neu geordnet und der Erkenntnisprozess muss überdacht werden (Schneider, 1978, S. 35). Stimmen Vorhersage und tatsächliches Ergebnis überein, kann die Hypothese als bestätigt angesehen werden (Schneider, 1978). Jeder weitere Befund, der die Hypothese stützt, führt dazu, dass die Hypothese immer wahrscheinlicher wird. Wichtig ist, dass eine Hypothese nie endgültig bewiesen oder verifiziert werden kann (Falkenhausen, 1989), weil es nicht realistisch ist, dass alle theoretisch möglichen Experimente, die die Hypothese widerlegen könnten, tatsächlich durchgeführt werden können. Durch jede Bestätigung der Hypothese steigt lediglich die Wahrscheinlichkeit, dass die Hypothese zutreffend ist (Bayrhuber et al., 2005). Idealerweise sollten zwei oder mehr mögliche, alternative Hypothesen formuliert werden und geeignete Experimente durchgeführt werden, um so alternative Vorstellungen auszuschließen, wodurch sich den realen Gegebenheiten schrittweise immer weiter angenähert werden kann (Bayrhuber et al., 2005; Campbell & Reece, 2009). Aus Hypothesen entstehen Theorien, wenn es gelungen ist, eine Hypothese mehrfach an deduktiven Folgerungen durch entsprechende Experimente zu bestätigen bzw. zu verbessern und objektive Aussagen in diese Hypothese widerspruchsfrei eingefügt werden können (Bayrhuber et al., 2005). Dieser letzte Schritt, in dem aus vielfach wiederholten Einzelbeobachtungen, die empirisch durch Experimentieren gewonnen wurden, auf eine allgemeine Tatsache geschlossen wird, entspricht einem induktiven Schluss. Zusammenfassend sind demnach Theorien als „durch Induktion und Deduktion mehrfach bestätigte und verfeinerte Hypothesen mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit“ zu verstehen (Pfeifer et al., 2002, S. 96).

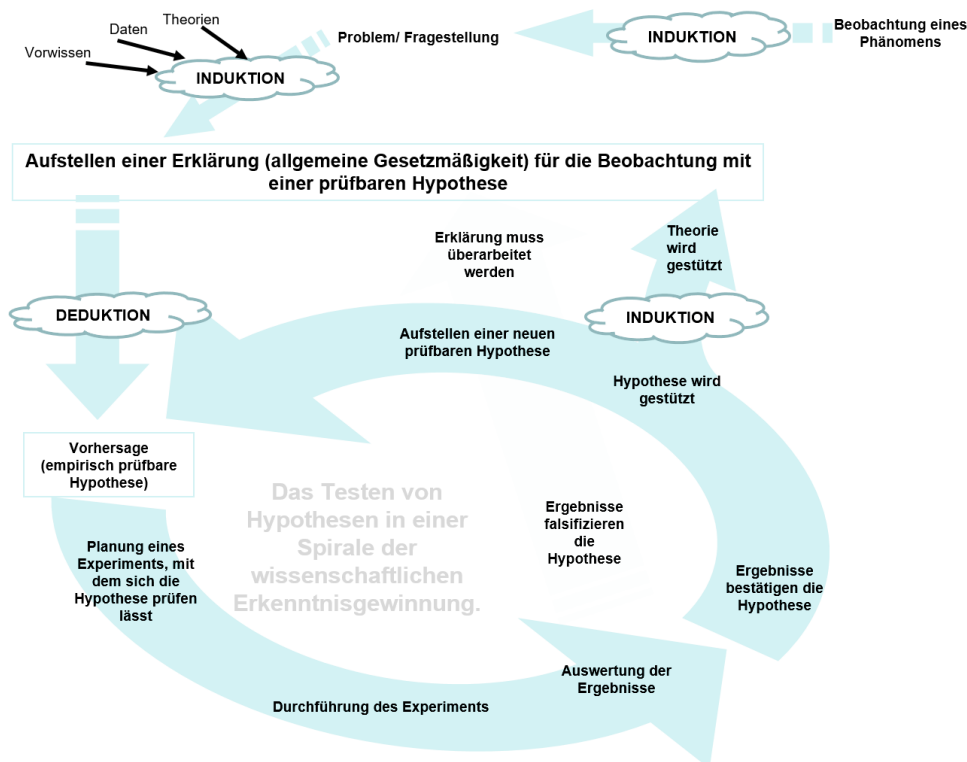


Abbildung 1: Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung: Von der Beobachtung zur Theorie (eigene Darstellung)

2.2 Der wissenschaftliche Erkenntnisprozess am Beispiel des Kindbettfiebers

Die Förderung eines Verständnisses für wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen ist seit vielen Jahren ein Schwerpunkt im naturwissenschaftlichen Unterricht (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). Dabei steht insbesondere der hypothetisch-deduktive Erkenntnisgang im Vordergrund (Mayer, 2013). Ein Verständnis der Arbeitsweise von Wissenschaftler*innen und wie diese zu ihren Erkenntnissen kommen, kann Schüler*innen dabei unterstützen, begründete Entscheidungen im realen Leben zu treffen. Die Verwendung realer Fallbeispiele aus der Wissenschaftsgeschichte gibt Schüler*innen die Gelegenheit, den Weg der Erkenntnisgewinnung nachzuvollziehen (Werner & Kremer, 2010). An dem historischen Fall der Entdeckung der Ursache des Kindbettfiebers lässt sich der wissenschaftliche Erkenntnisprozess gut verdeutlichen (Ströker, Hahn, Neugebauer & Püllen, 1981).

Der Artikel von Noakes, Borresen, Hew-Butler, Lambert und Jordaan (2008) gibt einen guten Überblick über das Thema. Kindbettfieber ist eine oft tödlich verlaufende bakterielle Infektion, die sich Frauen während der Geburt bei mangelnder Hygiene zuziehen können. Bis zur Entdeckung der Ursachen von Infektionskrankheiten ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gab es keine befriedigenden Erklärungen für dieses Phänomen. Im Wiener Gebärhaus, der zu dieser Zeit größten Geburtsklinik weltweit, arbeitete der Arzt Ignaz Semmelweis. Am Anfang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses steht eine Beobachtung bzw. ein Problem, aus dem sich eine Fragestellung ableiten lässt. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde beobachtet, dass in einer Wiener Geburtsklinik die Sterblichkeit an Kindbettfieber in der Abteilung für Ärzte fast doppelt so hoch war wie in der Abteilung für Hebammen. Daraus ergibt sich die Fragestellung, wodurch diese hohe Sterblichkeit in der Abteilung für Ärzte im Vergleich zu der Abteilung für Hebammen bedingt war. Die Beobachtung, dass der Weg des Priesters durch die Abteilung der Ärzte an den gebärenden Frauen vorbei führte, brachte die beteiligten Personen zu der Vermutung, dass die Frauen den vorbeilaufenden Priester mit ihrem möglichen Tod in Zusammenhang brachten und erschrecken. Daraus ergibt sich die Hypothese: „Der vorbeilaufende Priester führt zu einer höheren Sterblichkeit der Frauen.“ Ein hierauf bezogenes Experiment dient der empirischen Überprüfung der Hypothese und muss so konzipiert sein, dass diese Hypothese eindeutig zu stützen oder zu falsifizieren ist. Bei der Planung des Experiments ist zu beachten, dass alle zu beeinflussenden Variablen bis auf die zu untersuchende konstant zu halten sind. Es sollte mehrfach durchgeführt werden, um den Einfluss von Abweichungen möglichst gering zu halten. Die Daten sind zu protokollieren und bezüglich der Hypothese auszuwerten. Im vorliegenden Beispiel wurde eine Untersuchung durchgeführt, bei der der Priester gebeten wurde, fortan einen anderen Weg zu nehmen, der nicht durch die Geburtsabteilung der Ärzte führte. Das Ergebnis dieses Experiments war, dass sich die Sterblichkeit in der Abteilung der Ärzte nicht veränderte. Die höhere Sterblichkeit der Frauen auf der gynäkologischen Station der Ärzte konnte damit nicht mit dem Weg des Priesters erklärt werden. Die Hypothese wurde falsifiziert, und es musste nach einer alternativen Erklärung gesucht werden. Nachdem einige weitere Hypothesen getestet worden waren, beobachtete Semmelweis, dass die Ärzte, nicht allerdings die Hebammen, häufig in den frühen Morgenstunden Sektionen an kürzlich Verstorbenen vornahm, bevor sie die Frauen auf der gynäkologischen Station untersuchten. Aufgrund dieser Beobachtung vermutete Semmelweis, dass Leichensubstanz die Infektionen bei den Frauen verursacht. Außerdem vermutete er, dass diese Leichensubstanz durch das Waschen der Hände mit Chlorkalk unschädlich gemacht werden kann. Aus diesen beiden Vermutungen schlussfolgernd stellte er folgende Hypothese auf: „Durch das Waschen der Hände mit Chlorkalk kann die Leichensubstanz unschädlich gemacht werden.“ Er überprüfte die Hypothese, indem er in der Klinik eine neue Maßnahme verhängte. Es wurde angeordnet, dass sich die Ärzte mit Chlorkalk die Hände waschen sollten, bevor sie die Frauen untersuchten. Als Folge dieser Maßnahme fiel die

Sterberate auf ein vergleichbares Niveau wie in der Hebammenklinik ab. Die Hypothese wurde demnach gestützt.

Die Darstellung historischer Beispiele alleine genügt allerdings nicht, um bei Schüler*innen eine Auseinandersetzung mit der Erkenntnisgewinnung im Sinne von *Nature of Science* anzuregen, sondern es muss explizit zu einer Diskussion und Auseinandersetzung mit den zugrundeliegenden Prinzipien angeregt werden (McComas, 2008).

3 Unterricht und methodische Aspekte

In dieser Unterrichtseinheit (vgl. Abb. 2) bekommen die Schüler*innen einen ersten Einblick in die Grundprinzipien des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Insbesondere werden sie in das hypothetisch-deduktive Verfahren eingeführt. Dazu soll den Schüler*innen ein erstes Grundverständnis des Vorgehens beim hypothetisch-deduktiven Verfahren über das Experiment vermittelt werden. Zunächst werden dabei die einzelnen Schritte beim Experimentieren und wie diese zusammenwirken vom Lehrenden erläutert (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Dabei wird auch auf die Kriterien eingegangen, welche Aspekte bei der Planung von Experimenten zu berücksichtigen sind. Die weitere Vertiefung der Inhalte erfolgt an einem theoretischen Beispiel (Kindbettfieber), mit dem die Schüler*innen ihr Wissen anwenden können. In einem ersten Experiment aus der Physik (Fadenpendel) sollen die Schritte des Experimentierens praktisch „ausprobiert“ (Stiller, Stockey et al., eingereicht) und so ein Verständnis für den hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgang weiter vertieft werden. Die Schüler*innen werden in die Erstellung einer Datentabelle, die Berechnung von Mittelwerten, das Festlegen von Ausgleichsgeraden und die Erstellung und Beschreibung von Diagrammen eingeführt (Stiller, Allmers, Stockey, & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft). Das Pendelexperiment bzw. direkt die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse stellen eine sinnvolle Anschlussmöglichkeit für das Thema der nächsten Unterrichtseinheit „Energie und Arbeit“ dar.

Die Unterrichtseinheit „Einführung in das hypothetisch-deduktive Verfahren“ ist für ca. drei bis vier Doppelstunden konzipiert. Es wechseln sich theoretische Inputphasen, in denen die Schüler*innen den hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgang kennenlernen, und praktische Arbeitsphasen, in denen sie diesen selbst nachvollziehen können, ab.

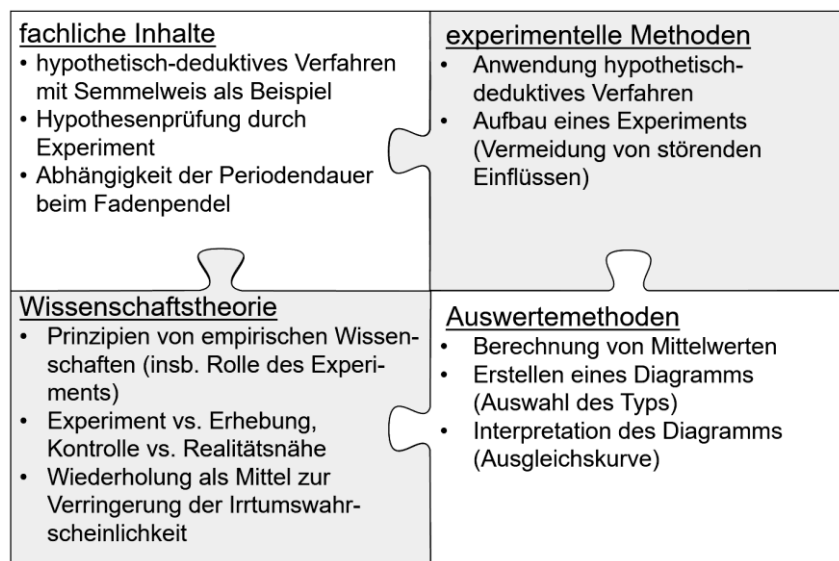


Abbildung 2: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte für die Unterrichtseinheit „Einführung in das hypothetisch-deduktive Verfahren“ (eigene Darstellung)

3.1 Einführung in das hypothetisch-deduktive Vorgehen

Der historische Fall von Semmelweis stellt ein interessantes Beispiel für das hypothetisch-deduktive Verfahren dar. In einem Arbeitsblatt (vgl. Online-Supplement, Material 1) werden die Schüler*innen über den gegebenen Sachverhalt informiert, und sie bekommen die Möglichkeit, das hypothetisch-deduktive Vorgehen anhand eines realen Falles nachzuvollziehen. Weiterhin verdeutlicht dieser Fall, dass in der Realität die Überprüfung einer Fragestellung nicht immer im ersten Anlauf geklärt werden kann. Die Auseinandersetzung mit diesem Thema und eine Diskussion darüber können zu einem aufgeklärten Wissenschaftsverständnis anregen. Die auf dem Arbeitsblatt enthaltenen Aufgaben lassen sich in Einzelarbeit oder in Gruppenarbeit bearbeiten, sollten aber in jedem Fall mit dem Kurs besprochen werden. Mit Hilfe des Textes „Kindbettfieber“ und einer Diskussion der Aufgabe 1 kann ein Tafelbild erarbeitet werden, in dem das im Text beschriebene Problem aufgegriffen wird, eine Fragestellung und Hypothese formuliert werden und die Überprüfung diskutiert wird. Sinnvoll erscheint es, zunächst verschiedene Hypothesen, die sich als falsch erwiesen (also falsifiziert wurden), aufzugreifen, um somit einen mehrfachen „Durchlauf“ des hypothetisch-deduktiven Verfahrens zu simulieren. Im Unterrichtsgespräch sollte unbedingt die Unterscheidung der Begrifflichkeiten „Theorie“ und „Hypothese“ deutlich gemacht werden, da beide im alltäglichen Sprachgebrauch häufig synonym verwendet werden. Dazu werden die Schüler*innen z.B. gebeten, auszuführen, was sie eigentlich meinen, wenn sie sagen „Ich hab da eine Theorie zu.“ Anschließend sollten diese Aussagen dann im Zusammenhang mit der Verwendung der Begriffe im wissenschaftlichen Kontext besprochen werden. Mit der Bearbeitung der Aufgabe 2 werden grundlegende Bedingungen angesprochen, die bei der Planung von Experimenten zu berücksichtigen sind (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Aufgabe 3 kann genutzt werden, um induktiv aus dem spezifischen Beispiel von Semmelweis und dem Kindbettfieber ein allgemeines Vorgehen beim hypothetisch-deduktiven Verfahren abzuleiten. Darüber hinaus werden am Beispiel von Semmelweis neben dem Experimentieren, das den Schüler*innen bereits aus ihrem bisherigen naturwissenschaftlichen Unterricht bekannt ist, weitere Möglichkeiten der Hypothesentestung erarbeitet (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Dabei werden auch Aspekte der Realitätsnähe vs. Kontrolle im Rahmen von Gütekriterien für eine angemessene Hypothesenprüfung thematisiert (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Der bzw. die Lehrer*in unterstützt die Entstehung eines Tafelbildes, in dem er oder sie die Wortmeldungen der Schüler*innen strukturiert und an die Tafel schreibt (vgl. Abb. 3 auf der folgenden Seite).

Als weitere Vertiefung zum wissenschaftlichen Arbeiten, insbesondere im Bereich der *Data Literacy*, gibt die Lehrperson eine Einführung in das Erstellen von Graphiken, d.h., welche verschiedenen Arten (z.B. Säulendiagramm, X-Y-Graph) es gibt, welche Art von Daten damit jeweils dargestellt werden kann und wie gute Diagramme erstellt werden können. Die weitere Vertiefung bzw. konkrete Anwendung des Wissens erfolgt mithilfe eines Arbeitsblattes (vgl. Online-Supplement, Material 5), in dem der Fall Semmelweis mit weiteren ergänzenden Daten behandelt wird. Den Schüler*innen werden Datentabellen geboten, die diese unter Berücksichtigung der Kriterien für das Erstellen von Diagrammen (Stiller, Allmers et al., eingereicht) in graphische Abbildungen umwandeln sollen. Dann werden die Schüler*innen von der Lehrperson aufgefordert, für die Daten eine geeignete Darstellung auszuwählen und eine Graphik zu erstellen, die dann im Plenum besprochen werden kann. Die Schüler*innen erhalten so die Gelegenheit, den richtigen Umgang mit Tabellen und Abbildungen zu schulen.

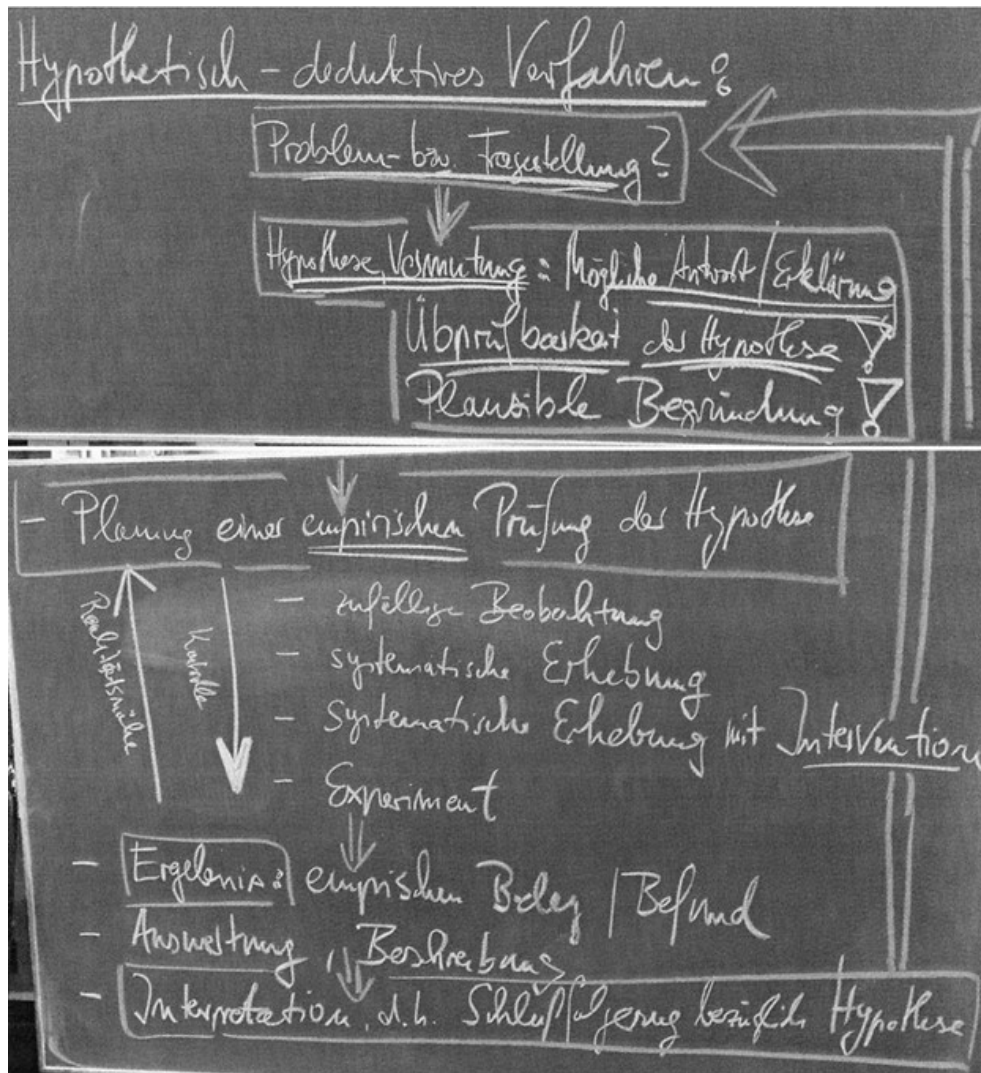


Abbildung 3: Beispiel eines Tafelbildes zum empirischen Prozess der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften (eigene Darstellung Andreas Stockey)

3.2 Vertiefung des hypothetisch-deduktiven Vorgehens am Beispiel des Pendelexperimentes

Im experimentellen Teil dieser Unterrichtseinheit haben die Schüler*innen die Gelegenheit, das hypothetisch-deduktive Vorgehen in einem Pendelexperiment zu erproben. Das Pendelexperiment eignet sich als Einstieg in das experimentelle Vorgehen bei einem hypothetisch-deduktiven Erkenntnisprozess, weil das Thema für Schüler*innen leicht zugänglich ist, sie ohne Schwierigkeiten verschiedene Hypothesen generieren können und die dahinterstehenden physikalischen inhaltlichen Aspekte auch mathematisch leicht zugänglich sind.

Anhand eines konkreten Falls werden die Schüler*innen angeregt, die Forschungsfrage zu untersuchen, von welchen Faktoren die Periodendauer eines Fadenpendels abhängig ist. Dazu wird den Schüler*innen eine Situation geschildert. Ein Zirkus soll ein neues, größeres Zirkuszelt bekommen. Die Artist*innen des Zirkus sind allerdings etwas besorgt, dass die Trapeze in dem neuen Zirkuszelt anders schwingen und sie ihre bisherigen Kunststücke nicht mehr wie gewohnt durchführen können. In einem Unterrichtsgespräch wird aus diesem Problem die allgemeine Forschungsfrage, wovon die Perio-

pendendauer eines Fadenpendels abhängig ist, abgeleitet. Außerdem werden die Schüler*innen aufgefordert, mögliche Parameter zu nennen, die für die Periodendauer eine Rolle spielen können. Das können z.B. die Pendellänge, der Auslenkungswinkel, die Masse des Pendelkörpers, die Beschaffenheit des Pendelkörpers, die Oberflächenbeschaffenheit des Pendelkörpers, die Dichte des Pendelkörpers oder die Erdbeschleunigung sein. Im Unterrichtsgespräch wird dann diskutiert, welche der Parameter im Rahmen eines Schulexperiments sinnvoll untersucht werden können. Die Erdbeschleunigung, zum Beispiel, wäre ein Parameter, der im Unterricht nicht untersucht werden kann, da dieser im Schulkontext nicht beeinflussbar ist. Daraus werden dann Hypothesen abgeleitet, von denen jede Gruppe jeweils eine Hypothese untersucht. Wichtig ist, im Verlaufe des Unterrichtsgesprächs zu thematisieren, welche Kriterien erfüllt sein müssen, damit eine Hypothese sinnvoll untersucht werden kann (Stiller, Stockey et al., eingereicht). In Gruppenarbeit, in Rücksprache mit den Lehrenden und mit Feedback der Schüler*innen untereinander werden dann die Experimentierpläne erarbeitet. Dazu kann den Schüler*innen zur Unterstützung ein Arbeitsblatt mit einer Checkliste zur Planung eines Experiments (vgl. Online-Supplement, Material 2) angeboten werden (als Overheadfolie oder als Infoblatt), oder es kann auf die Besprechung der Aufgabe 2 des Materials 1 verwiesen werden. Bereits in diesem Schritt wird mit den Schüler*innen gemeinsam besprochen, wie eine Rohdatentabelle gestaltet sein muss, damit diese effektiv zum Dokumentieren der Daten genutzt werden kann. Insbesondere ist darauf zu achten, dass angemessene Intervalle für die unabhängige Variable gewählt werden und dass die Tabelle übersichtlich und klar gegliedert ist (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Bevor das Experiment von den Schüler*innen durchgeführt wird, kann ein Arbeitsblatt (vgl. Online-Supplement, Material 3) zur Verfügung gestellt werden, mit dem Schüler*innen zur Reflexion ihres experimentellen Vorgehens angeleitet werden. Nach selbstständiger Durchführung der Experimente werden die Schüler*innen in die Berechnung von Mittelwerten eingeführt und berechnen diese für ihre Daten. Anschließend können die Ergebnisse visualisiert werden. Die Schüler*innen erhalten so nochmals Gelegenheit, sich mit der angemessenen Erstellung und Verwendung von Diagrammen zu beschäftigen. Die Graphiken der Gruppen werden dann gesammelt (vgl. Abb. 4 auf der folgenden Seite), und es wird gemeinsam eine Beantwortung der Fragestellung diskutiert. Bei der Auswertung der Daten geht die Lehrperson auf das Einzeichnen von Ausgleichskurven ein und zeigt den Schüler*innen an einem Beispiel, wie diese nach Augenmaß eingezeichnet werden können. Im Folgenden wird darauf eingegangen, wie die Graphiken zu interpretieren sind. Für das Beispiel in Abbildung 4 ergibt sich auf den ersten Blick, dass die Periodendauer nicht von der Masse des Pendels und des Auslenkungswinkels abhängt, sondern lediglich von der Länge des Pendels. Es sollte aber unbedingt darauf eingegangen werden, dass auch in der Graphik zum Auslenkungswinkel eine Abhängigkeit zu erahnen ist. Allerdings ist die Abhängigkeit der Periodendauer vom Auslenkungswinkel für kleinere Auslenkungswinkel nur schwer zu bestimmen, da der Effekt viel kleiner als für die Fadenlänge ist, und deswegen vernachlässigbar, sodass die Periodendauer in der Näherung nur von der Pendellänge und der Erdbeschleunigung abhängt. Für größere Auslenkungswinkel ließe sich eine Zunahme der Periodendauer erwarten. Der Lehrende nimmt an diesem Punkt dann wieder Bezug auf das Fallbeispiel und erläutert mit den Schüler*innen die Konsequenzen für die Zirkusmitarbeiter*innen. Diese müssen sich mit dem neuen Zirkuszelt keine Sorgen machen, wenn sie die gleiche Länge des Trapezes wählen wie beim alten Zirkuszelt.

Anhand der Diskussion der verschiedenen Ansätze zur Durchführung eines Experiments und der Auswertung der Ergebnisse kann mit den Schüler*innen das Vorgehen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess nachvollzogen werden.

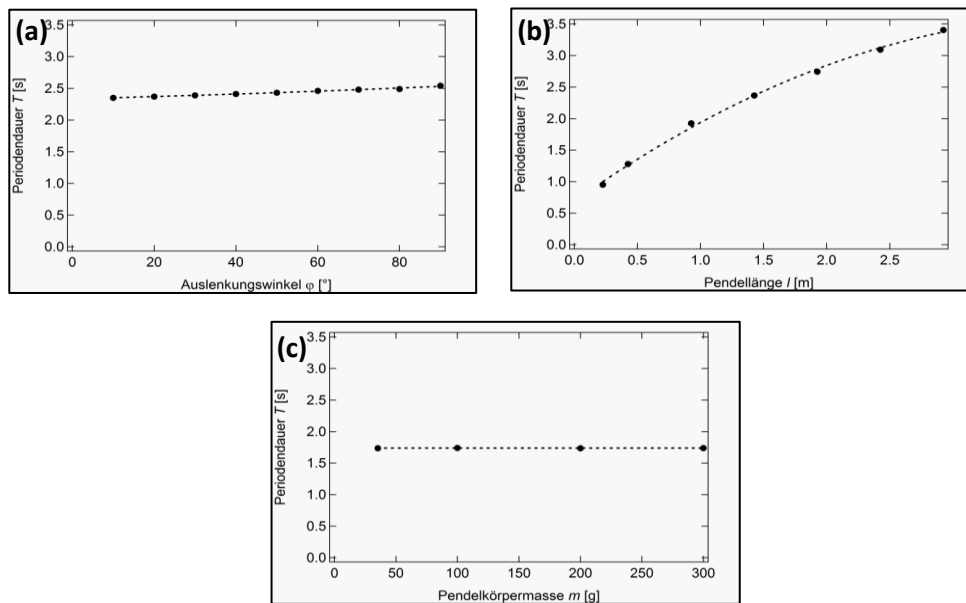


Abbildung 4: Beispiel für die Darstellung der Experimentierergebnisse von vier Gruppen: (a) Periodendauer in Abhängigkeit vom Auslenkungswinkel; (b) Periodendauer in Abhängigkeit von der Pendellänge; (c) Periodendauer in Abhängigkeit von der Pendelkörpermasse. Dargestellt sind jeweils die Datenpunkte und die ausgleichende Kurve. (eigene Darstellung)

Um das Vorgehen bei der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung zu wiederholen und weiter zu vertiefen, eignet sich zum Abschluss der Unterrichtseinheit ein Arbeitsblatt mit einer Abbildung zum hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgang (vgl. Online-Supplement, Material 4), in dem der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Schema dargestellt wird. Mithilfe des Arbeitsblattes können auch die aus den logischen Schlüssen resultierenden Einschränkungen thematisiert werden, z.B. welche Probleme der hypothetisch-deduktive Erkenntnisgang beinhaltet (Induktionsproblem, Sicherheit von Wissen etc.).

4 Anregungen zur Reflexion

Diese Kurseinheit ermöglicht Schüler*innen, ein Grundverständnis für das hypothetisch-deduktive Vorgehen in den Naturwissenschaften zu entwickeln. In den folgenden Kurseinheiten kann dieses Grundverständnis weiter vertieft und um spezifische Aspekte erweitert werden. Im Sinne einer *Scientific Literacy* kann bereits an dieser Stelle des Curriculums eine kritische Auseinandersetzung mit der Hypothesenprüfung, wie sie z.B. in populären Wissenschaftssendungen im Fernsehen häufig vermittelt wird, erfolgen. Die Schüler*innen sollten durch das Grundverständnis für eine hypothetisch-deduktive Erkenntnisgewinnung in der Lage sein, die kritischen Aspekte zu entdecken, zu reflektieren und aus einer neuen Perspektive zu bewerten.

Literatur und Internetquellen

- Bayrhuber, H., Kull, U., & Linder, H. (Hrsg.). (2005). *Linder-Biologie. Lehrbuch für die Oberstufe*. Braunschweig: Schroedel.
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2009). *Biologie*. München et al.: Pearson Studium.
- Chalmers, A.F. (2001). *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-10879-6>

- Falkenhausen, E.V. (1989). *Unterrichtspraxis zum wissenschaftspropädeutischen Biologieunterricht*. Köln: Aulis Deubner.
- KMK (Sekretariat der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- Krüger, D., & Vogt, H. (2007). Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 1–7). Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3>
- Mayer, J. (2013). Erkenntnisse mit naturwissenschaftlichen Methoden gewinnen. In H. Gropengießer, U. Harms, U. Kattmann, D. Eschenhagen, S. Bögeholz & R. Bühs (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik* (S. 56–61). Hallbergmoos: Aulis.
- McComas, W.F. (2008). Seeking Historical Examples to Illustrate Key Aspects of the Nature of Science. *Science & Education*, 17 (2–3), 249–263. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- MSW NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen) (2013). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Ministerium.
- Noakes, T.D., Borresen, J., Hew-Butler, T., Lambert, M.I., & Jordaan, E. (2008). Semelweis and the Aetiology of Puerperal Sepsis 160 Years on: an Historical Review. *Epidemiology and Infection*, 136 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1017/S0950268807008746>
- Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H.J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Popper, K.R., & Hansen, T.E. (Hrsg.). (2010). *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie. Aufgrund von Manuskripten aus den Jahren 1930–1933*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Schneider, H. (1978). *Hypothese, Experiment, Theorie. Zum Selbstverständnis der Naturwissenschaft*. Berlin: de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110843330>
- Seiffert, H. (1973). *Einführung in die Wissenschaftstheorie I: Sprachanalyse – Deduktion – Induktion in Natur- und Sozialwissenschaften*. München: C.H. Beck.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.

- Ströker, E., Hahn, R., Neugebauer, H.G., & Püllen, K. (1981). *Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften. Grundzüge ihrer Sachproblematik und Modelle für den Unterricht*. Freiburg i.Br.: Alber.
- Werner, M., & Kremer, K. (2010). Ein Experiment ist das, was der Lehrer macht. Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. In D. Krüger (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 9* (S. 135–149). Neumünster & Kassel: Univ.-Druckerei.
- Wirtz, M., & Schulz, A. (2012). Modelbasierter Einsatz von Experimenten. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & P. Altenburger (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 58–74). Münster: Waxmann.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

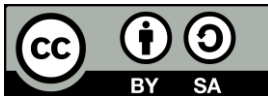
Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39. <https://doi.org/10.4119/pflb-3302>

Online-Supplement:

Materialien zur Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Energie und Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels

Tobias Allmers^{1,*} & Matthias Wilde²

¹ Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

² Universität Bielefeld

* Kontakt: Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne,
Klosterstr. 1, 49740 Haselünne
tobias.allmers@kgsuhaseluenne.de

Zusammenfassung: In diesem Beitrag werden die Bedeutung von Energie, Arbeit und Energieerhaltung behandelt und die empirische Überprüfung des Energieerhaltungssatzes am Beispiel eines Fadenpendels vorgestellt. Neben der Einführung von experimentellen Arbeitstechniken zur Bestimmung der potentiellen und kinetischen Energie werden die Berücksichtigung von Messgenauigkeit und die Angabe von signifikanten Ziffern vorgenommen. Im Kontext dieses Themenheftes der Zeitschrift *PraxisForschungLehrer*innenBildung* sind der Begriff „Energie“ und das Konzept der Energieerhaltung für die Interpretation experimenteller Daten aus den anschließenden Experimenten notwendig.

Schlagwörter: Experimentieren, Scientific Inquiry, Fadenpendel, Energieerhaltung, Unterrichtskonzept



1 Einleitung

Energie ist eine abstrakte Größe, die sich einer direkten Messung entzieht. Bemerkbar macht sich Energie, wenn Prozesse ablaufen, die dann unter einem Austausch von Energie vonstattengehen. Die Energie tritt dabei in unterschiedlichen Erscheinungsformen auf, z.B. als innere Energie, elektrische Energie oder mechanische Energie. Ob ein Prozess ablaufen kann oder nicht, ist vom Energiegehalt eines Systems abhängig, da Energie eine Erhaltungsgröße ist. Sie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur von einer Erscheinungsform in eine andere umgewandelt werden. Da noch nie eine Verletzung des Energieerhaltungssatzes beobachtet wurde (Feynman, 2011), wird der Energieerhaltungssatz in den Naturwissenschaften auch als Postulat aufgefasst, wodurch er die Grundlage für das Verständnis physikalischer und chemischer Prozesse liefert (Feynman, 1996). Der Energieerhaltungssatz ist zu einer zentralen Erkenntnis in der Physik geworden.

In diesem Beitrag wird zu der Unterrichtseinheit „Energie und Arbeit“ ein Schülerexperiment vorgestellt, das die Energieumwandlung von potentieller Energie in kinetische Energie unter Berücksichtigung der Energieerhaltung betrachtet. Durch die Durchführung, Auswertung und Interpretation des Experiments werden die fachliche und überfachliche Bedeutung von Energie und Arbeit sowie der Austausch der Energie mit der Umgebung erfahrbar gemacht (KMK, 2004).

2 Grundbegriffe

Energie und Arbeit sind grundlegende Begriffe in der Physik zur Beschreibung von Vorgängen. Nachfolgend werden die für die Durchführung des unterrichtspraktischen Vorhabens notwendigen Begriffe vorgestellt.

2.1 Arbeit und Energie

Für die Beschleunigung eines Körpers ist eine Kraft notwendig. Kraft F und Beschleunigung a sind proportional zueinander. Zusammen mit der Masse m des Körpers gilt $F = m \cdot a$ (Smith, 2008). Die Kraft hat die Einheit $[F] = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = 1 \text{ Newton} = 1 \text{ N}$. Verschiebt man einen Körper um eine Strecke s , so leistet die Kraft F entlang des Weges s die Arbeit $W = F \cdot s$. Die Einheit der Arbeit ist $[W] = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$ (Kuhn, 2003, S. 52f.).

Wird Arbeit an einem System geleistet, erhöht sich die Energie des Systems und damit auch seine Arbeitsfähigkeit. Es kommt damit zu einem Energietransfer von einem System in das andere. Abbildung 1 auf der folgenden Seite zeigt den allgemeinen Fall, bei dem System B Arbeit am System A leistet. Die Energie des Systems A nimmt um den Betrag der geleisteten Arbeit zu, während die Energie von System B abnimmt. Die von System B geleistete Arbeit W_B wird nach einer Konvention mit einem negativen Vorzeichen versehen. Die an dem System A verrichtete Arbeit W_A ist ihrerseits positiv, da die Energie des Systems A zunimmt (Kuhn, 2003).

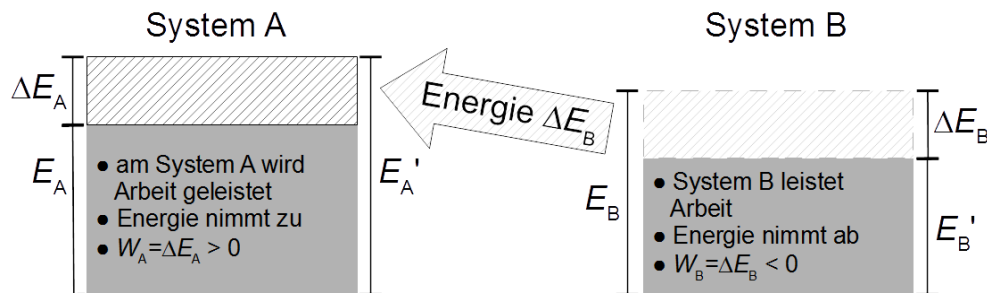


Abbildung 1: Energietransfer von System B zu System A. System B leistet die Arbeit W_B an System A. Die Energie von System B nimmt um ΔE_B ab, während die Energie von System A um den gleichen Betrag zunimmt. (eigene Darstellung)

Wird beispielsweise ein Körper im Schwerfeld der Erde angehoben, dann erhöht sich die Arbeitsfähigkeit des Systems, welches aus dem massebehafteten Körper und dem Schwerfeld besteht. Die beim Anheben des Körpers geleistete Hubarbeit ist im System Erde-Körper in Form von potentieller Energie (Lageenergie) gespeichert. Die Arbeitsfähigkeit des Systems erhöht sich um die ihm zugeführte Energie. Wird der Körper anschließend losgelassen, leistet das System Beschleunigungsarbeit. Die potentielle Energie wird in kinetische Energie umgewandelt. Unmittelbar vor dem Aufprall auf den Boden ist seine kinetische Energie am größten. Ein Energieübertrag auf ein anderes System findet beispielsweise statt, wenn dieser Körper beim Absinken auf den Boden einen anderen Körper eine Strecke zieht oder über eine Umlenkrolle anhebt.

In dem gewählten Beispiel gilt es zusätzlich zu beachten, dass beim Aufprall des Körpers auf den Boden die kinetische Energie in thermische Energie umgewandelt wird (Demtröder, 1998; Haber-Schaim, Dodge, Gardner & Shore, 1991). Es kommt dadurch zu einem Energieübertrag auf die Umgebung. Ist hingegen der Körper als Fadenpendel aufgehängt, so wird die potentielle Energie periodisch in kinetische Energie und zurück in potentielle Energie umgewandelt. Allerdings kommt es auch hier aufgrund von Reibung zu einem Energieübertrag durch Wärme auf die Umgebung. Die thermische Energie steht dem System zur Umwandlung von potentieller in kinetische Energie nicht mehr zur Verfügung, wodurch letztendlich die Pendelbewegung zum Erliegen kommt (Haber-Schaim et al., 1991).

2.2 Energieformen

Energie ist eine abstrakte Größe, da man einem Objekt nicht ansehen kann, ob es eine größere Energie als ein anderes Objekt hat. Auch ist Energie nicht mit einem Objekt verbunden, sondern bezieht sich auf die Arbeitsfähigkeit eines Systems. Die Änderung des energetischen Zustands eines Systems beschreibt die Veränderung von dessen Arbeitsfähigkeit. Damit ist Energie eine (abstrakte) Rechengröße.

Energie kann verschiedene Formen annehmen und zwischen diesen umgewandelt werden. Für das Experiment ist das Verständnis der mechanischen Energieformen (potentielle und kinetische Energie) und der thermischen Energie notwendig.

2.2.1 Potentielle Energie

Wird an einem Körper mit der Masse m im Schwerfeld der Erde mit der Fallbeschleunigung g Hubarbeit $W_{\text{hub}} = m \cdot g \cdot h$ geleistet, dann erhöht sich das Arbeitsvermögen des Systems aufgrund der Vergrößerung der Höhe h . Das Arbeitsvermögen, das ein System aufgrund seiner Lage besitzt, wird als potentielle Energie bezeichnet. Der Nullpunkt der potentiellen Energie ist frei wählbar (Grehn & Krause, 2007). Es kommt also nur auf die Höhendifferenz Δh an. Die Änderung der potentiellen Energie eines Körpers beträgt

demnach $\Delta E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h$. Gemäß dem Energieübertrag nach Abbildung 1 gilt: $E_{\text{pot}} = W_{\text{hub}}$ (Kuhn, 2003, S. 55).

2.2.2 Kinetische Energie

Wirkt eine gleichbleibende Kraft F auf einen Körper mit der Masse m entlang des Weges s , dann wird dieser mit $a = F/m$ gleichmäßig beschleunigt. Die geleistete Arbeit $W_{\text{besch}} = F \cdot s$ ist die Beschleunigungsarbeit. Das Arbeitsvermögen, das der Körper nun aufgrund seiner Geschwindigkeit hat, ist $E_{\text{kin}} = F \cdot s$. Mit $F = m \cdot a$ gilt $E_{\text{kin}} = m \cdot a \cdot s$.

In Abhängigkeit von der Zeit t gilt für den zurückgelegten Weg $s = 1/2 at^2$ (Grehn & Krause, 2007, S. 20). Damit folgt für die kinetische Energie $E_{\text{kin}} = ma(1/2)at^2$ bzw. $E_{\text{kin}} = 1/2 m(at)^2$. Für die Geschwindigkeit v gilt $v = a \cdot t$. Es ergibt sich damit für die kinetische Energie $E_{\text{kin}} = 1/2 mv^2$. Die Änderung der kinetischen Energie ist entsprechend $\Delta E_{\text{kin}} = 1/2 m(\Delta v)^2$. Für diese gilt $\Delta E_{\text{kin}} = W_{\text{besch}}$ (Kuhn, 2003, S. 56).

2.2.3 Thermische Energie durch Reibung

Wärme ist thermische Energie, die sich mikroskopisch betrachtet durch die (ungeordnete) Bewegung von Teilchen und durch Abstrahlung von Wärmestrahlung bemerkbar macht (Grehn & Krause, 2007). Energieumwandlung von mechanischer in thermische Energie steigt mit zunehmender Reibung, z.B. aufgrund einer raueren Oberfläche, größeren Geschwindigkeit in gasförmigen oder flüssigen Medien oder aufgrund eines längeren Weges, auf dem ein Körper der Reibung ausgesetzt ist (Grehn & Krause, 2007). Bei der Umwandlung von mechanischer Energie in thermische Energie kommt es zu einer Energieentwertung. Im Allgemeinen steht Wärme nicht mehr als Energie für mechanische Prozesse zur Verfügung (Schlichting, 2000). Mechanische Prozesse ohne kontinuierliche Energiezufuhr kommen daher unter Einwirkung von Reibung zum Erliegen (Haber-Schaim et al., 1991). Ist die Reibung hingegen vernachlässigbar, so ist auch der „Energieverlust“ vernachlässigbar klein, und es kommt praktisch nur zu einer Umwandlung zwischen potentieller und kinetischer Energie.

2.3 Energieerhaltung und ihre Anwendung

Bei der obigen Thematisierung des Energietransfers wurde deutlich, dass die an einem System geleistete Arbeit zu einer Speicherung der Energie des Systems führt. Die Summe aller beteiligten Energien, die Gesamtenergie, ändert sich nie. „Fehlt“ Energie, so kann das daran liegen, dass der Energieaustausch mit der Umgebung nicht berücksichtigt wurde oder ein Prozess nicht vollständig verstanden ist (Feynman, 2011).

Der Energieerhaltungssatz ist für das Verständnis einer Vielzahl von Vorgängen in Technik und Physik notwendig. Nachfolgend wird dies an je einem für das unterrichtspraktische Vorhaben relevanten Beispiel illustriert.

2.3.1 Schiefe Ebene

Flaschenzüge, Hebel und schiefe Ebenen sind einfache Werkzeuge zum Heben von Lasten. Mit ihnen lässt sich die aufzuwendende Kraft reduzieren (Bader & Dorn, 1991). Der Kraftaufwand, mit dem ein Körper mit der Masse m eine schiefe Ebene hinaufgezogen wird, reduziert sich in Abhängigkeit des Anstellwinkels φ der Ebene auf $F = m \cdot g \cdot \sin(\varphi)$ (vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite). Für die Länge des Weges gilt $s = h \cdot \sin(\varphi)^{-1}$. Daraus folgt, dass die Arbeit (bei fehlender Reibung) konstant bleibt und gemäß der Definition der Hubarbeit nur von der Höhe h abhängt. Eine technisch relevante Anwendung könnte daher sein, den Anstellwinkel einer schiefen Ebene für eine gegebene Kraft zu berechnen.

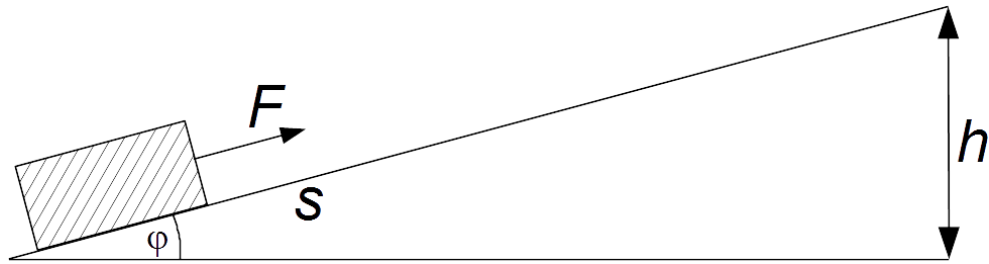


Abbildung 2: Ein Körper wird entlang einer schiefen Ebene mit der Kraft F entlang des Weges s auf die Höhe h gezogen. (eigene Darstellung)

2.3.2 Fadenpendel

Mit einem Fadenpendel wird in der Physik ein schwerer und kleiner Pendelkörper bezeichnet, der an einem leichten Faden möglichst reibungsfrei aufgehängt ist. Hiermit kann die periodische Umwandlung von potentieller in kinetische Energie betrachtet werden. Das Pendel wird dazu aus seiner Ruhelage (tiefster Punkt der Bahn in Abb. 3) ausgelenkt, indem Hubarbeit an dem System geleistet wird. Nach Loslassen des Pendels wird dieses entlang des Kreisbogens in Richtung Ruhelage beschleunigt. Die potentielle Energie wird in kinetische Energie umgewandelt. Aufgrund der Trägheit des Pendelkörpers überschießt dieser die Ruhelage. Das Pendel steigt unter Umwandlung von kinetischer Energie in potentielle Energie entlang der Bahn auf und erreicht auf der anderen Seite der Ruhelage fast die gleiche Höhe wie zuvor bei der Auslenkung. Die genaue Höhe ist davon abhängig, wie viel mechanische Energie in thermische Energie umgewandelt wurde. Verantwortlich für die Schwingung des Pendels ist die periodische Umwandlung von potentieller und kinetischer Energie.

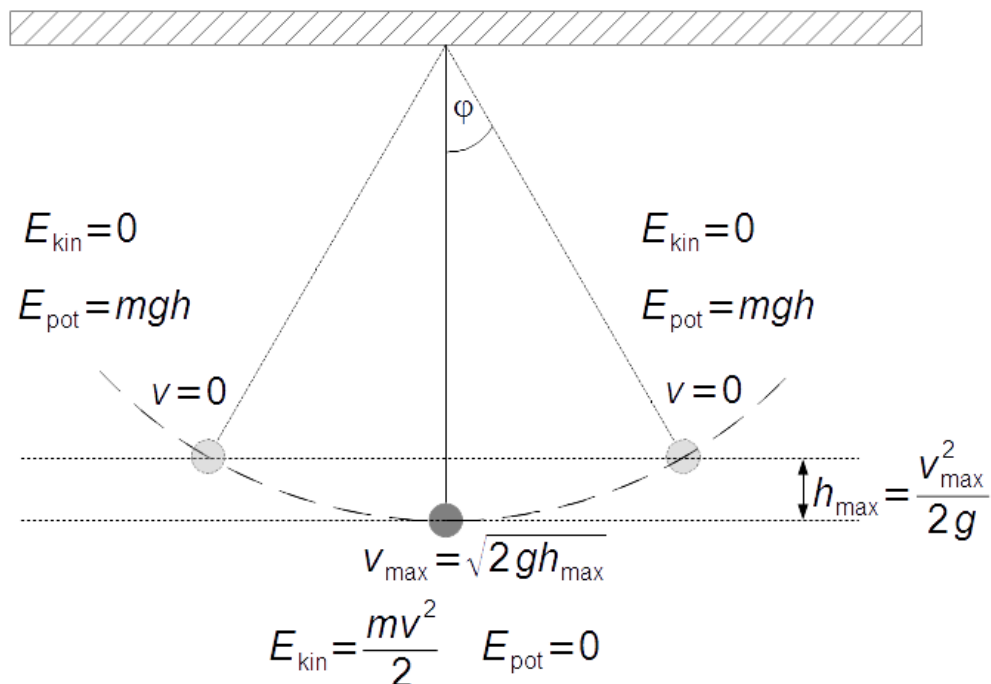


Abbildung 3: Energieumwandlung beim Fadenpendel. Vor dem Loslassen beträgt die kinetische Energie $E_{\text{kin}}=0$. Die potentielle Energie E_{pot} ist maximal. Nach dem Loslassen beschleunigt der Pendelkörper, und die potentielle Energie sinkt, während die kinetische Energie steigt. Beim Durchgang durch den tiefsten Punkt ist die kinetische Energie maximal und die potentielle Energie $E_{\text{pot}}=0$. (eigene Darstellung)

Mithilfe des Energieerhaltungssatzes lässt sich bei vernachlässigbarer Reibung durch einen einfachen energetischen Ansatz die Geschwindigkeit an jedem Punkt der Bahn berechnen. Hierfür wird der Teil der potentiellen Energie betrachtet, der bereits in kinetische Energie gewandelt wurde. Der Pendelkörper erreicht beispielsweise seine maximale Geschwindigkeit v_{\max} , wenn dieser durch die Ruhelage geht. v_{\max} ergibt sich aus der ursprünglichen potentiellen Energie, gegeben durch die maximale Höhe h_{\max} . Bei vollständiger Umwandlung gilt $E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$. Hieraus folgt unmittelbar $1/2 mv_{\max}^2 = mgh_{\max}$ bzw. $v_{\max} = \sqrt{2gh_{\max}}$.

Umgekehrt kann auch die maximale Höhe berechnet werden, die das Pendel auf der anderen Seite der Ruhelage aufgrund seiner maximalen Geschwindigkeit erreichen wird. Für diese gilt unter dem gleichen Ansatz wie oben $h_{\max} = v_{\max}^2 \cdot 2g$ (Kuhn, 2003, S. 56 und S. 59). Ist wie in einem realen System Reibung vorhanden, so kann der Anteil der entwerteten mechanischen Energie aus der Verringerung der maximalen Höhe bestimmt werden.

Das Beispiel der Energieumwandlung beim Fadenpendel illustriert das prinzipielle Vorgehen zur Berechnung von Größen durch Anwendung des Energieerhaltungssatzes, wie es für eine Vielzahl von physikalischen Problemen verwendet wird.

3 Das Schülerexperiment und methodische Aspekte

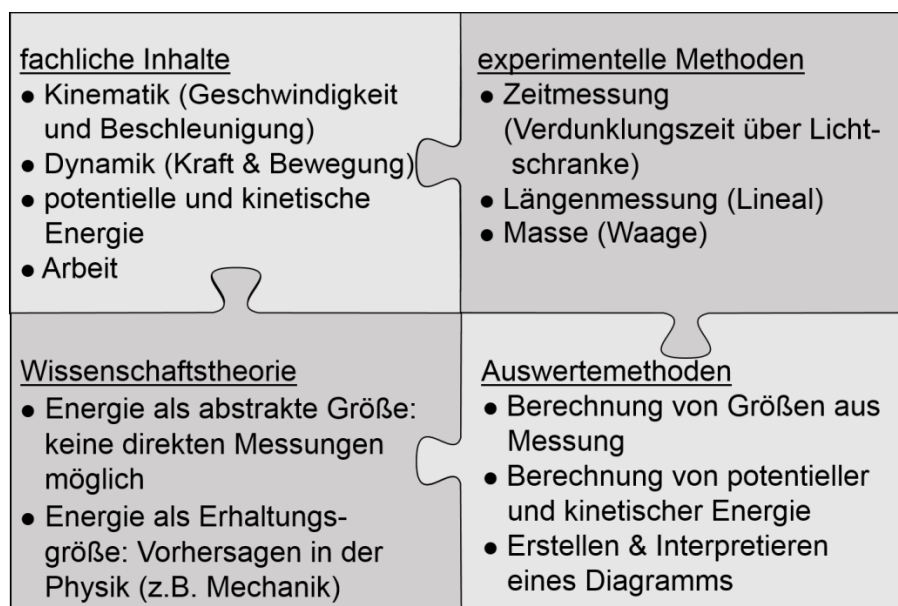


Abbildung 4: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte und Kompetenzen (eigene Darstellung)

3.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Die Unterrichtseinheit (vgl. Abb. 4) ist in ihrer Grundkonzeption auf vier Doppelstunden ausgelegt. Es wechseln sich dabei Erarbeitungsphasen im Plenum und praktische Arbeitsphasen ab. In den Erarbeitungsphasen wird neben Planung und Durchführung des Experiments zur Überprüfung der Energieerhaltung die fachgerechte Berücksichtigung und Angabe von Messgenauigkeiten durch signifikante Ziffern besprochen. In Ergänzung zu den bereits erworbenen Kenntnissen bei der Erstellung von Diagrammen wird das Einzeichnen von ausgleichenden Kurven und das Beschreiben sowie Interpretieren von Diagrammen thematisiert und durch die Betrachtung der im Experiment erhobenen

Daten zur Anwendung gebracht (Näheres zu den einzelnen Kompetenzen zur Auswertung und ihrer Einbindung in ein Gesamtkonzept findet sich bei Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht).

Der Einstieg in die Unterrichtseinheit geschieht über die Erarbeitung wesentlicher Merkmale von Energie und deren unterschiedlichen Erscheinungsformen sowie des Begriffs der Arbeit. Energie soll dabei als die Arbeitsfähigkeit eines Systems verstanden werden, die sich durch Arbeit an diesem System erhöhen lässt. Dies lässt sich durch einen Vorversuch verdeutlichen, bei dem ein Körper einmal entlang einer schiefen Ebene hinaufgezogen und einmal senkrecht um die gleiche Höhe angehoben wird. In beiden Fällen ist die aufzuwendende Arbeit gleich und im System gespeichert.

Die erhöhte Arbeitsfähigkeit des Systems wird deutlich, wenn der Gegenstand losgelassen wird und das System Beschleunigungsarbeit leistet. Aus dem Vorversuch ergibt sich das Verständnis, dass Energie gespeichert werden kann, was die Energie als Erhaltungsgröße plausibel macht. Relevante Energieformen sind hier die potentielle und kinetische Energie sowie die thermische Energie, die durch Reibung aus der kinetischen Energie entsteht.

In einem geleiteten Unterrichtsgespräch lässt sich eine geeignete Hypothese für das Schülerexperiment erarbeiten, wie z.B.: „Die potentielle Energie wird in kinetische Energie umgewandelt.“ Die experimentelle Überprüfung findet über die Energieumwandlung am Fadenpendel statt. Die unumgängliche Umwandlung von kinetischer Energie in Wärme aufgrund von Reibung macht eine Vertiefung der Hypothese notwendig. Die potentielle Energie kann nicht vollständig in kinetische Energie umgewandelt werden, da die abgegebene thermische Energie dem System nicht mehr als mechanische Energie zur Verfügung steht. Damit eine Überprüfung des Energieerhaltungssatzes trotz auftretender Reibung möglich ist, wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Abgabe von Wärme mit kleinerem Höhenunterschied (und damit mit geringerer potentieller Energie) abnimmt.

Für das unterrichtspraktische Vorhaben gilt es zu beachten, dass die Schüler*innen unterschiedliche Vorerfahrungen mit den zur Bestimmung der kinetischen Energie notwendigen Messgeräten (Messschieber und Waage) haben und hier entsprechend angeleitet werden müssen (Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft; Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht). Vor der Durchführung der Messungen ist die Einführung in den Umgang mit Lichtschranken zur Zeitmessung zusammen mit einer angemessenen Übungsphase sinnvoll, um die kognitive Belastung aus nicht zwingend aufgabenbezogener Beanspruchung gering zu halten (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998).

3.2 Methodische Einbindung

Entsprechend der Kompetenztreppen für das naturwissenschaftliche Arbeiten (Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft; Stiller, Allmers et al., eingereicht) finden alle Entscheidungen zu dem experimentellen Vorgehen in einer Schüler*innen-Lehrer*innen-Interaktion statt (vgl. Online-Supplement, Material 1). Die getroffenen Entscheidungen werden in einer entsprechenden Experimentieranleitung festgehalten (vgl. Online-Supplement, Material 2), die allen Schüler*innen als Grundlage für die Durchführung der Experimente dient.

Die im Experiment in Partnerarbeit erhobenen Daten werden entsprechend eines Arbeitsblatts als Hilfestellung innerhalb dieser Kleingruppe ausgewertet (vgl. Online-Supplement, Material 3). Das Arbeitsblatt wird durch die Lehrkraft zur Verfügung gestellt. Für das Erstellen von Liniendiagrammen ist noch mit einer deutlichen Betreuung durch die Lehrenden zu rechnen. Neben dem Erstellen von Diagrammen findet ein Kompetenzaufbau im Umgang mit Diagrammen durch das Auffinden und Einzeichnen von Ausgleichsgeraden und durch die Beschreibung von Diagrammen statt. Für die Überprüfung der Hypothese ist die korrekte Interpretation der Ergebnisse notwendig, damit die

auftretende Umwandlung der mechanischen Energie in thermische Energie richtig im Kontext der Energieerhaltung eingeordnet werden kann.

Die Werte der gesuchten Energiebeiträge sind nur durch die Messung von verschiedenen Größen über die Anwendung von Definitionsgleichungen zugänglich. Dies motiviert die Thematisierung von absoluten Messgenauigkeiten und die sachgerechte Angabe von Ergebnissen aus Rechnungen durch die Berücksichtigung von signifikanten Ziffern (Stiller, Allmers et al., eingereicht). In diesem Zusammenhang wird ebenfalls thematisiert, welche Messgröße in ihrer Genauigkeit verbessert werden muss, damit sich die Genauigkeit der aus mehreren Messergebnissen zusammengesetzten Größe steigert. Für kommende empirische Untersuchungen kann so eine verbesserte Auswahl von geeigneten Messgeräten vorgenommen werden.

3.3 Durchführung und Auswertung

3.3.1 Vorversuch zur Hypothesenbildung

Für den Vorversuch wird ein schwerer Gegenstand mit leichtgängigen Rollen um eine bestimmte Höhe h angehoben. Das Anheben geschieht einmal entlang einer schiefen Ebene mit unterschiedlichen Steigungen und einmal lotrecht nach oben. In beiden Fällen wird die Kraft zum Ziehen bzw. Anheben des Wagens mithilfe eines Kraftmessers bestimmt (vgl. Abb. 5). Im Falle des Ziehens muss die Kraftmessung vorgenommen werden, wenn der Wagen bereits in Bewegung ist, da sonst eine zu große Kraft F aufgrund der Haftreibung gemessen werden würde (die kleinere Rollreibung ist durch die leichtgängigen Rollen gegeben und ist unter günstigen Umständen innerhalb der Genauigkeit der Kraftmessung zu vernachlässigen). Der zurückgelegte Weg s bis zum Erreichen der Höhe h wird mit einem Lineal gemessen. Die aufgewendete Arbeit wird über $W_{\text{hub}} = F \cdot s$ berechnet.

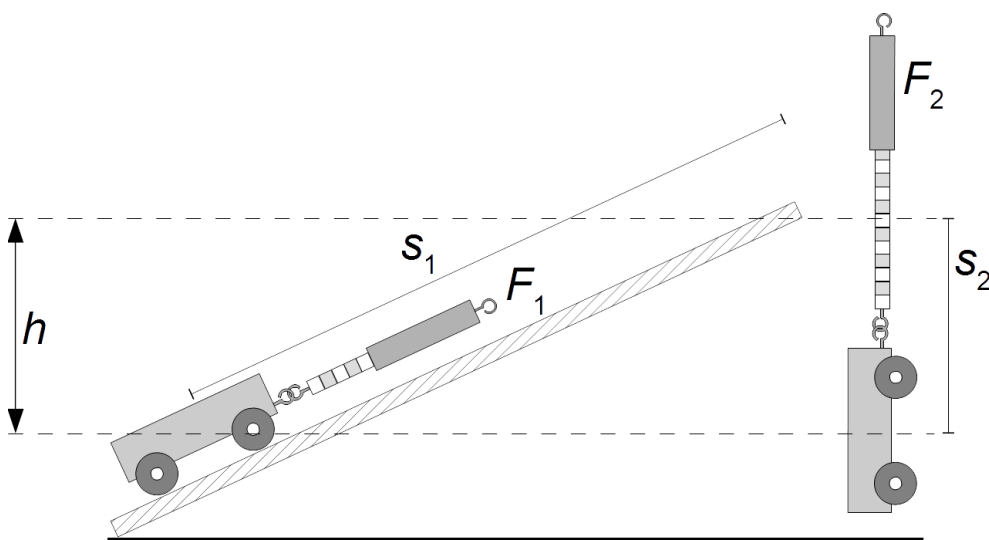


Abbildung 5: Ein Wagen wird auf zwei verschiedene Weisen um die gleiche Höhe h angehoben: i) entlang einer schiefen Ebene und ii) lotrecht nach oben. Im ersten Fall greift eine Kraft F_1 entlang des Weges s_1 an. Im zweiten Fall greift eine größere Kraft F_2 entlang des kürzeren Weges s_2 an. (eigene Darstellung)

3.3.2 Experiment zur Überprüfung der Energieerhaltung

Durch den Vorversuch wird deutlich, dass die Hubarbeit in Form von potentieller Energie gespeichert wurde. In diesem Experiment soll der Energieerhaltungssatz überprüft werden, indem die potentielle Energie eines Systems in kinetische Energie umgewandelt wird.

Eine geeignete Hypothese für das Experiment unter Berücksichtigung von Reibung ist: „Die potentielle Energie wird bei vernachlässigbaren Verlusten durch Reibung vollständig in kinetische Energie umgewandelt. Reibungsverluste führen zu einem Verlust an kinetischer Energie.“

Eine Realisierung des Versuchs findet mithilfe eines Fadenpendels statt, das an einem Stativ befestigt wird (vgl. Abb. 6). Die potentielle Energie wird über die Auslenkung des Fadenpendels eingestellt. Ein Scherentisch dient als Möglichkeit, die hierfür notwendige Höhendifferenz Δh zuverlässig und reproduzierbar einzustellen (zur Definition von Δh siehe Abb. 7 auf der folgenden Seite). Mithilfe einer Lichtschranke wird die Verdunklungsdauer beim Durchgang des Pendelkörpers am tiefsten Punkt der Bahn gemessen. Über den Durchmesser des zylindrischen Körpers kann so seine Geschwindigkeit für die verschiedenen Auslenkungen bestimmt werden. Mit der bekannten Masse des Pendelkörpers lassen sich die jeweiligen potentiellen und kinetischen Energien berechnen. Mit größer werdender Auslenkung ist zu erwarten, dass mehr kinetische Energie in Wärme umgewandelt wird (vgl. Kap. 2.2).

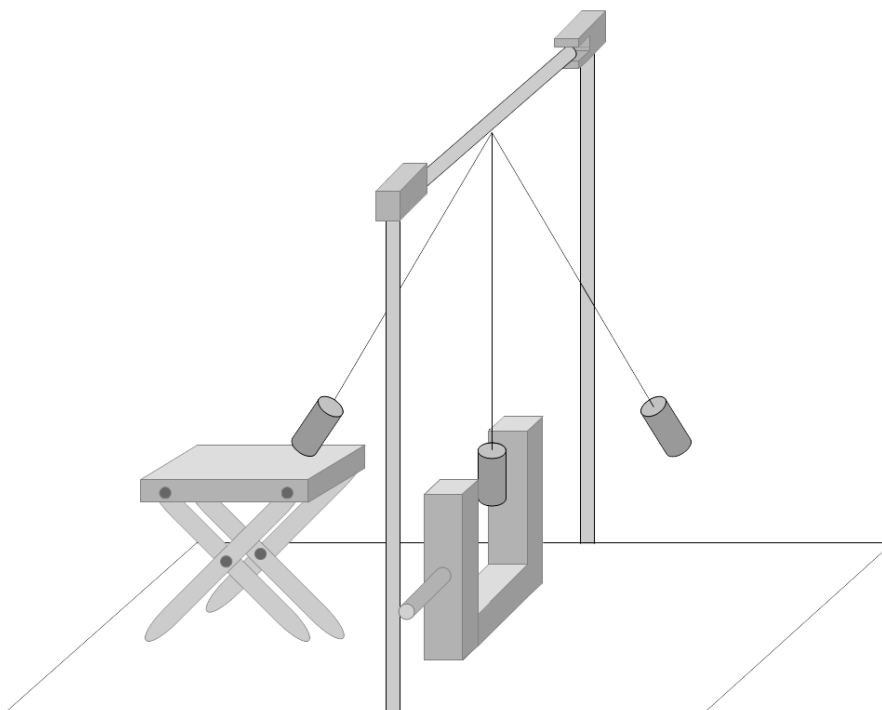


Abbildung 6: Experimentelle Realisierung zur Bestimmung der Geschwindigkeit eines zylindrischen Pendelkörpers über die Verdunklungsdauer, gemessen mit einer Gabellichtschranke (Versorgung der Lichtschranke ist nicht gezeigt). (eigene Darstellung)

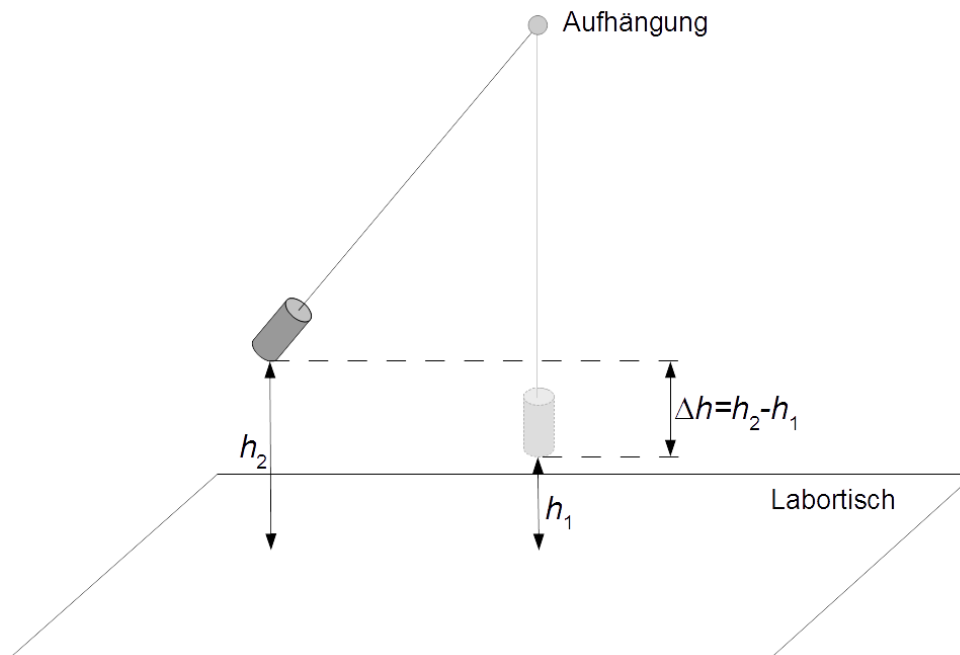


Abbildung 7: Zur Definition der Höhe Δh . Die Höhe Δh ergibt sich aus der Differenz der Höhe des ausgelenkten Pendelkörpers und der Höhe in seiner Ruhelage. Die Höhen werden jeweils von der Oberseite des Tisches bis zur Unterseite des Pendelkörpers gemessen. (eigene Darstellung)

3.4 Mögliche Ergebnisse und ihre Dokumentation

3.4.1 Ergebnisse und Diskussionen zum Vorversuch

Um einen Wagen mit der Masse $m = 1,20 \text{ kg}$ auf einer schiefen Ebene mit dem Winkel von beispielsweise 25° relativ zur Horizontalen um eine Höhe von $\Delta h = 0,5 \text{ m}$ hinaufzuziehen, wird eine Kraft von $F = 5,0 \text{ N}$ benötigt. Für einen zurückgelegten Weg von $s = 1,18 \text{ m}$ ergibt sich eine Hubarbeit von $W_{\text{hub}} = 5,9 \text{ J}$. Für andere Anstellwinkel ergibt sich stets die gleiche Hubarbeit (vgl. Tab. 1). Die gleiche Arbeit muss auch geleistet werden, wenn der Wagen mit einer Kraft von $F = 11,8 \text{ N}$ lotrecht um die gleiche Höhendifferenz nach oben gehoben wird.

Tabelle 1: Ergebnisse aus dem Vorversuch zu den Messungen an der schiefen Ebene (eigene Berechnung)

Anstellwinkel φ ($^\circ$)	Kraft entlang Ebene (N)	Weg entlang Ebene (m)	Arbeit (J)
25	5,0	1,18	5,9
45	8,4	0,70	5,9
65	10,7	0,55	5,9

Die Ergebnisse aus dem Vorversuch zeigen, dass keine Arbeit „gespart“ werden kann, da die Reduktion der Kraft mit einer Verlängerung des Weges einhergeht. Das Produkt aus Kraft und Weg bleibt gleich. Aufgrund der hier vernachlässigbaren geringen Rollreibung spielt es für die Hubarbeit keine Rolle, auf welchem Weg ein Körper um eine bestimmte Höhe angehoben wurde. Die gleiche Arbeit führt zur gleichen potentiellen Energie. Dadurch wird plausibel, dass die aufgewendete Arbeit vollständig in der potentiellen Energie gespeichert wird und damit erhalten bleibt.

3.4.2 Ergebnisse und Diskussionen zum Experiment

Die Messdaten aus dem Pendelaufbau erlauben die Berechnung des Mittelwerts \bar{t} zu der Verdunklungsdauer t der jeweiligen Auslenkung. Zusammen mit der Masse (hier $m = 243,98$ g) und dem Durchmesser (hier $d = 35,00$ mm) des zylindrischen Pendelkörpers können die potentielle und kinetische Energie berechnet werden. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Zeitmessung und Bestimmung des Höhenunterschieds liefern zwei signifikante Ziffern. Somit sind die kinetische und potentielle Energie auf zwei signifikante Ziffern anzugeben (Stiller, Allmers et al., eingereicht).

Tabelle 2: Ergebnisse aus dem Schülerexperiment zur Energieerhaltung am Fadenpendel (eigene Berechnung)

Höhendifferenz h (mm)	Verdunklungsdauer \bar{t} (ms)	Geschwindigkeit v (m/s)	potentielle Energie E_{pot} (J)	kinetische Energie E_{kin} (J)
44	39	0,90	0,11	0,10
63	34	1,0	0,15	0,13
83	29	1,2	0,20	0,18
103	26	1,3	0,25	0,22
123	23	1,5	0,29	0,28
143	22	1,6	0,34	0,31
163	20	1,8	0,39	0,37
183	19	1,8	0,44	0,41

Abbildung 8 zeigt die Abhängigkeit der kinetischen Energie von der potentiellen Energie. Die durchgezogene Linie stellt die Ausgleichsgerade dar. Ihre Lage wurde über den Datenschwerpunkt und über den Koordinatenursprung festgelegt. Der Durchgang durch den Koordinatenursprung ergibt sich aus dem Sachzusammenhang, da ein nicht ausgeleitetes Pendel auch nicht schwingt. Die unterbrochene Gerade stellt den zu erwartenden theoretischen Verlauf bei vollständiger Umwandlung von potentieller in kinetische Energie dar.

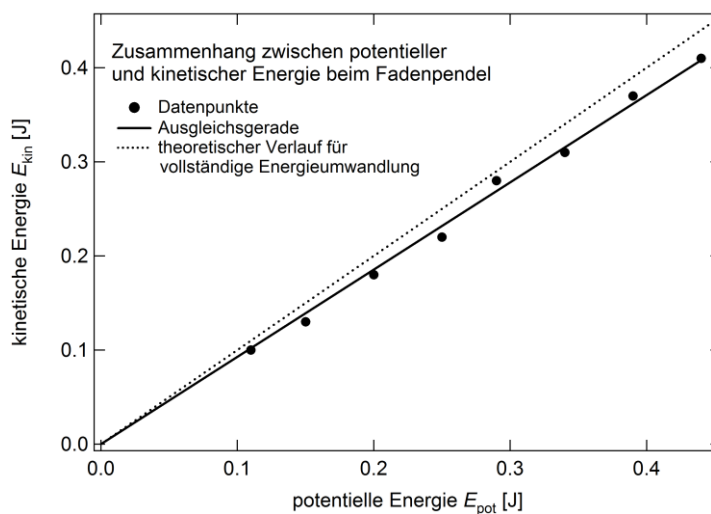


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen potentieller und kinetischer Energie (eigene Darstellung)

Im Vergleich zu dem theoretischen Verlauf ist die kinetische Energie immer geringer als die potentielle Energie. Mit größer werdender potentieller Energie nimmt dabei die Abweichung vom Erwartungswert zu. Dies lässt sich durch die Energieentwertung von mechanischer in thermische Energie durch Reibung verstehen. Diese Verluste an mechanischer Energie nehmen mit größerer Auslenkung zu, da sich zum einen der Weg des Fadens an der Aufhängung verlängert und zum anderen die Geschwindigkeit des Pendelkörpers erhöht, wodurch in beiden Fällen die Reibung zunimmt. Die Abweichung der kinetischen Energie vom Erwartungswert für den Durchgang mit der größten Höhendifferenz (und damit mit der größten Reibung) beträgt 0,03 J, was einer relativen Abweichung von etwa sieben Prozent vom Erwartungswert entspricht.

Aus den Ergebnissen des Experiments kann geschlossen werden, dass nur ein geringer Teil der potentiellen Energie nicht in kinetische Energie umgewandelt wird. Durch die Extrapolation der Ausgleichsgeraden durch den Koordinatenursprung zeigt sich, dass dieser Anteil mit geringer werdender Reibung ebenfalls verschwindet. Es kann daher gefolgert werden, dass die potentielle Energie, die nicht in kinetische umgewandelt wurde, zur Erwärmung der Umgebung geführt hat. Die Hypothese „Die potentielle Energie wird bei vernachlässigbaren Verlusten durch Reibung vollständig in kinetische Energie umgewandelt. Reibungsverluste führen zu einem Verlust an kinetischer Energie“ kann daher angenommen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde in die Begriffe „Arbeit“ und „Energie“ sowie in die Erhaltung der Energie eingeführt. Über die Reflexion der Durchführung und Auswertung des Experiments wird die Energie als eine abstrakte Größe erfahrbar gemacht, die sich durch das Ablaufen eines Prozesses bemerkbar und quantifizierbar macht. Eine empirische Überprüfung des Energieerhaltungssatzes wird am Beispiel des Fadenpendels vorgestellt. Ferner wurde der Erhaltungssatz angewendet, um die vollständige Umwandlung von potentieller in kinetische Energie zu modellieren. Störende Einflüsse durch Reibung konnten identifiziert und bis zu einem gewissen Grad minimiert werden. Das Konzept von der Energieerhaltung und die Umwandlung von einer Energieform in eine andere Energieform sind für die Deutung verschiedener experimenteller Befunde notwendig, sodass an die in diesem unterrichtspraktischen Beitrag erworbenen Kompetenzen angeknüpft werden kann (Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft; Stiller, Allmers et al., eingereicht).

Literatur und Internetquellen

- Bader, F., & Dorn, F. (1991). *Dorn-Bader, Physik Mittelstufe*. Hannover: Schroedel.
- Demtröder, W (1998). *Experimentalphysik 1*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08598-1>
- Feynman, R. (1996). *Vom Wesen physikalischer Gesetze*. München: Piper.
- Feynman, R. (2011). *The Feynman Lectures on Physics, Bd. I*. New York: Basic Books.
- Grehn, J., & Krause, J. (Hrsg.). (2007). *Metzler Physik*. Braunschweig: Schroedel.
- Haber-Schaim, U., Dodge, J.H., Gardner, R., & Shore, E.A. (1991). *PSSC Physics*. Dubuque, IA: Kendall/Hunt Publishing Company.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. Beschluss vom 16.12.2004. Zugriff am 06.05.2019. Verfügbar unter: http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf.
- Kuhn, W. (Hrsg.). (2003). *Kuhn Physik, Bd. 2*. Braunschweig: Westermann.

- Schlichting, H. (2000). Energieentwertung – ein qualitativer Zugang zur Irreversibilität. *Praxis der Naturwissenschaften/Physik*, 49 (2), 2–6.
- Smith, G. (2008). Newton's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. In E.N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2008 Edition). Zugriff am 01.02.2020. Verfügbar unter: <https://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/newton-principia/>.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., & Paas, F.G.W.C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Allmers, T., & Wilde, M. (2020). Energie und Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 40–52. <https://doi.org/10.4119/pflb-3303>

Online-Supplement:

Materialien für das Experiment: Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden

Tobias Allmers^{1,*}, Cornelia Stiller² & Matthias Wilde²

¹ Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

² Universität Bielefeld

* Kontakt: Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne,
Klosterstr. 1, 49740 Haselünne
tobias.allmers@kgsuhaseluenne.de

Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen über dessen konzentrationsabhängige Eigenschaften (Masse des Rückstands & Dichte der Lösungen) vorgestellt. Die Durchführung des Experiments erlaubt die Vertiefung von erkenntnistheoretischen Aspekten, Kriterien des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der Qualitätsmerkmale naturwissenschaftlichen Arbeitens. Darüber hinaus wird das Arbeiten mit Modellvorstellungen thematisiert, das in einer sich anschließenden Unterrichtseinheit weiter vertieft werden kann.

Schlagwörter: Experimentieren, Scientific Inquiry, Konzentrationsbestimmung, Modellvorstellungen, Unterrichtskonzept



1 Einleitung

Die Kenntnis der prozentualen Zusammensetzung von Kochsalzlösungen ist für verschiedene Bereiche relevant, da beispielsweise unterschiedliche Konzentrationen unterschiedliche physiologische Wirkungen auf pflanzliche und tierische Zellen haben können. Eine Veränderung der Konzentration von Kochsalzlösungen in Böden kann so zu einer Veränderung der Population von Pflanzen führen (Haunhorst, Stockey & Wilde, S. 107–116 in diesem Heft). Ferner werden physiologische Abläufe durch die Kochsalzkonzentration in Körperflüssigkeiten von Tieren und Menschen beeinflusst (Schumacher, Beyer-Sehlmeyer, Henrich, Polte, Stockey & Wilde, S. 97–106 in diesem Heft).

Um die Konzentration von Stoffen zu bestimmen, können deren konzentrationsabhängige Eigenschaften herangezogen werden. Für Kochsalzlösungen bieten sich unter anderem osmotischer Druck oder elektrische Leitfähigkeit an sowie die in diesem Beitrag vorgestellte Bestimmung der Konzentration über die Dichte bzw. über die Masse des Rückstands nach Eindampfen der Kochsalzlösung. Die Bestimmung der Konzentrationen gelingt nur, wenn die eingesetzten Verfahren objektive und reproduzierbare Ergebnisse liefern. Durch den Vergleich der hier eingesetzten Unterscheidungsmöglichkeiten nach dem Erheben eigener empirischer Daten kann zum einen das prinzipielle Vorgehen bei der Konzentrationsbestimmung erfahrbar gemacht werden, und zum anderen können Qualitätsmerkmale wissenschaftlichen Arbeitens thematisiert werden.

2 Unterscheidung von Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentrationen

2.1 Qualitätsmerkmale naturwissenschaftlicher Untersuchungen

Naturwissenschaftliche Untersuchungen müssen objektiv und reproduzierbar sein (Demtröder, 1998). Ferner muss das Ergebnis der Untersuchung auch geeignet sein, um die gestellte Fragestellung beantworten zu können, d.h., die Genauigkeit der Methode muss zur gestellten Frage passen. Bei der naheliegenden Unterscheidung von Kochsalzlösungen durch Schmecken ist eine quantitative Bestimmung der Konzentration ausgeschlossen. Eine qualitative Einordnung ist zwar möglich; allerdings wird diese durch einen möglichen Reihenfolgeeffekt beim Schmecken erschwert und ist damit anfällig für das Auftreten von unterschiedlichen Ergebnissen bei Wiederholungen. Die Kriterien für wissenschaftliche Untersuchungen können demzufolge durch Schmecken nicht erfüllt werden. Zum Erlangen von objektiven und quantitativen Resultaten müssen Messverfahren verwendet werden, die vom messenden Subjekt unabhängig sind, unter identischen Bedingungen das gleiche Resultat liefern und somit eine Reproduzierbarkeit von Messergebnissen gewährleisten. Aufgrund von zufälligen Messabweichungen dürfen dabei einzelne Messwerte vom Mittelwert der vorangegangenen Messungen gemäß der Normalverteilung abweichen (Gränicher, 1994). Liegt ein Messwert allerdings außerhalb eines bestimmten Konfidenzintervalls, so muss dieser als Ausreißer betrachtet werden. Für ein Konfidenzintervall von 95 Prozent entspricht dies einem Abstand vom etwa Doppelten der Standardabweichung der Grundgesamtheit: $\mu \pm 1,96 \sigma$. Eine aussagekräftige Messmethode liefert Messwerte, deren Verteilung schmal ist und damit eine geringe Standardabweichung aufweist.

Für die Standardabweichung von Stichproben ist die Berechnung des Vertrauensintervalls aufgrund von notwendigen Korrekturen in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs aufwendiger (Cloodt, 2018). Im Rahmen des unterrichtspraktischen Vorhabens wird auf diesen Umstand hingewiesen, für die konkrete Berechnung allerdings die Grundgesamtheit unterstellt und damit in der oben beschriebenen Weise vorgegangen.

2.2 Bestimmungsmethoden der Konzentration

Eine Methode zur Feststellung der Konzentration von Kochsalzlösungen stellt das Eindampfen der Lösung dar, um die Stoffmenge des zuvor gelösten Stoffes zu bestimmen. Diese Vorgehensweise bietet sich an, da die Angabe von Konzentrationen häufig über den Massenanteil einer Substanz an der Gesamtmasse des Gemisches erfolgt. Für Kochsalzlösungen bezieht man die Masse des gelösten Kochsalzes $m(\text{NaCl})$ auf die Masse der Lösung $m(\text{Lösung})$ (Mortimer, 1996). Für den prozentualen Massenanteil w gilt:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{Lösung})} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Nach Gleichung (1) lässt sich die Konzentration berechnen, sofern die Massen $m(\text{NaCl})$ und $m(\text{Lösung})$ bekannt sind. $m(\text{Lösung})$ ist unmittelbar durch eine Wägung zugänglich. $m(\text{NaCl})$ kann nach dem Eindampfen über die Masse des Rückstands bestimmt werden. Nach Gleichung (1) nimmt die Konzentration mit $m(\text{NaCl})$ linear zu, was eine eindeutige Zuordnung der Konzentration über die Masse des Rückstands innerhalb des Löslichkeitsbereichs ermöglicht.

Eine weitere Methode der Konzentrationsbestimmung kann über die Dichte ρ erfolgen. ρ ist definiert als das Verhältnis der Masse m des Stoffes zu seinem Volumen V . Es gilt:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Die Dichte von Wasser beträgt bei 20,0° C $\rho(\text{Wasser}) = 998,23 \text{ kg/m}^3$ (Latscha, Klein & Mutz, 2011; Wagner & Pruß, 1995). Von Kochsalz beträgt die Dichte bei der gleichen Temperatur $\rho(\text{NaCl}) = 2170 \text{ kg/m}^3$ (Seinacht, 2017). Die Zunahme der Dichte von Kochsalzlösungen ist allerdings nicht über eine simple Rechnung zugänglich (Schmidt, 1890). Das Salz geht in Lösung über, indem die Wassermoleküle Kraft auf die im Kristallgitter gebundenen Ionen ausüben und unter Aufwendung von Arbeit aus der Gitterstruktur herausgelöst werden. Die entfernten Ionen werden ihrerseits von Wassermolekülen umgeben (Stiller, Beyer-Sehlmeyer, Friedrich, Stockey & Allmers, S. 67–79 in diesem Heft). Hierdurch stehen sich die beteiligten Wassermoleküle räumlich näher (Acker et al., 2017). Die Abhängigkeit der Dichte von der Konzentration ist über entsprechende Messungen mit Lösungen bekannter Konzentrationen zugänglich. Sie steigt bis zum Überschreiten der Löslichkeit linear mit der Konzentration an (Nikolskij, 1964). Bei bekannter Temperatur der Lösung erlaubt damit die Dichte einen Rückschluss auf die Konzentration der Lösung.

2.3 Vergleich der Bestimmungsmethoden

Beide genannten Methoden eignen sich zur quantitativen Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen, und für beide Methoden sind die benötigten Größen durch objektive Messungen zugänglich. Die prinzipielle Vorgehensweise unterscheidet sich zwischen den Methoden allerdings deutlich, wodurch ein breiter Zugang für die Einführung in naturwissenschaftliche Charakterisierungsmethoden möglich wird. Während die erste Methode eine direkte Bestimmung der Konzentration über die Gleichung (1) zulässt, birgt sie auch das Risiko, dass beim Verdampfen des Lösungsmittels das vorher gelöste Kochsalz mitgerissen wird, was einen systematischen Fehler zur Folge hätte. Zusätzlich steht die Probe nach dem Eindampfen nicht für weitere potentielle Untersuchungen zur Verfügung.

Die zweite Methode erfordert zur Bestimmung unbekannter Konzentrationen die Erstellung einer Kalibrierkurve. Dies ist zwar aufwendig und es muss auch darauf geachtet

werden, dass die zu charakterisierende Probe die gleiche Temperatur hat, wie die Lösungen zur Erstellung der Kalibrierkurve hatten. Allerdings bleibt die Probe auch nach der Charakterisierung für eventuell weitere Untersuchungen erhalten. Die Bestimmung der Konzentration über die Kalibrierkurve benötigt keine theoretische Grundlage für deren Berechnung oder ein Verständnis der zu vergleichen Größen. Damit ist das Arbeiten mit Kalibrierkurven ein allgemeiner und anwendungsorientierter Ansatz, der sich in dem weiteren unterrichtspraktischen Vorgehen leicht vertiefen lässt (z.B. Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft; Allmers, Beyer-Sehlmeyer, Schuhmacher, & Wilde, S. 80–96 in diesem Heft).

3 Das Schülereperiment und methodische Aspekte

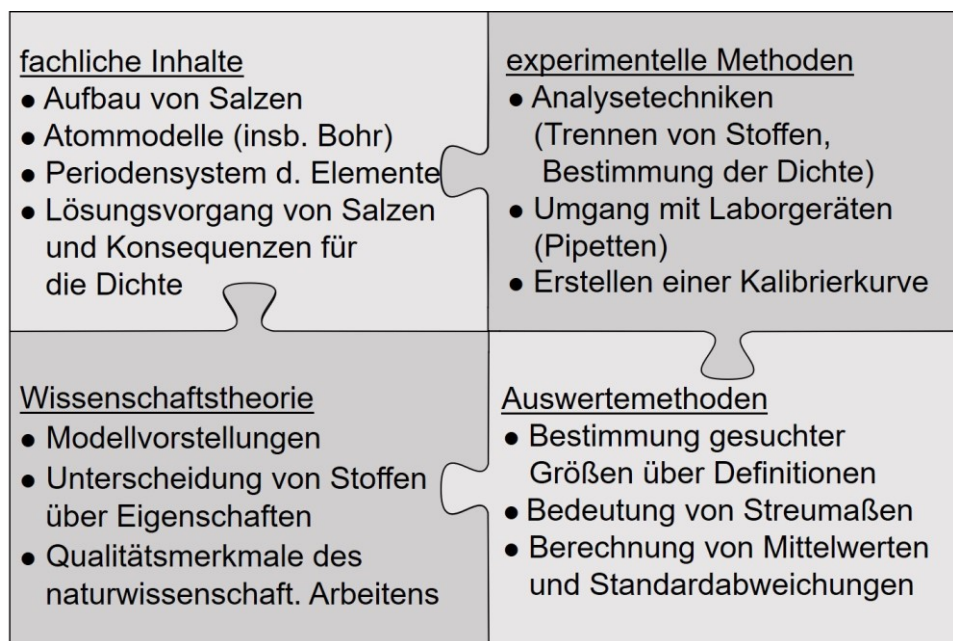


Abbildung 1: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte und Kompetenzen (eigene Darstellung)

3.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Für die Unterrichtseinheit (vgl. Abb. 1) ergibt sich in ihrer Grundkonzeption ein Zeitaufwand von sieben Doppelstunden. Neben der Planung und Durchführung eines Experiments zur Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen werden statistische Hilfsmittel zur Auswertung von Daten erlernt und durch die Auswertung der erhobenen Daten zur Anwendung gebracht. Wissenschaftstheoretische Aspekte ergeben sich aus der Reflexion der Qualitätsmerkmale zu den durchgeführten Untersuchungsmethoden zum Abschluss der Unterrichtseinheit.

Der Einstieg in die Unterrichtseinheit stellt die Diskussion über unterschiedliche Charakterisierungsmethoden von Proben dar. Hierzu werden in einem Vorversuch Kochsalzlösungen in Lebensmittelqualität von den Schüler*innen in Partnerarbeit durch Schmecken untersucht. Ziel ist dabei die Aufdeckung von Schwierigkeiten, die sich bei der qualitativen und quantitativen Abschätzung der Kochsalzkonzentration ergeben. In einem sich anschließenden Unterrichtsgespräch sollen die Notwendigkeit für Untersuchungsmethoden, die objektive und reproduzierbare Ergebnisse liefern, und erste Alternativvorschläge zur Unterscheidung von Kochsalzlösungen anhand von Anwendbarkeit

und Genauigkeit diskutiert werden. Im Vorfeld ist es notwendig, den Begriff der Konzentration und die Berechnung des prozentualen Massenanteils nach Gleichung (1) zu erörtern.

Neben der Bestimmung der Konzentration über die Rückstandsmasse und über die Dichte werden noch andere Methoden von den Schüler*innen genannt, die zwar im Prinzip auch richtig sind, aber zu einem späteren Zeitpunkt Anwendung finden können (z.B. elektrische Leitfähigkeit) oder einen zu großen apparativen Aufwand bedeuten (z.B. exakte Bestimmung des Siedepunkts oder Gefrierpunkts).

Für das zu planende Experiment kann durch ein geleitetes Unterrichtsgespräch die Fragestellung „Wie gelingt eine objektive und verlässliche Unterscheidung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration?“ herausgearbeitet werden. Für die Merkmale Masse des Rückstands und Dichte der Lösung bieten sich die Hypothesen „Eine objektive und verlässliche Unterscheidung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration gelingt über die Masse des Rückstands“ bzw. „[...] über die Dichte der Lösung“ an. Die notwendige Voraussetzung für die eindeutige Unterscheidung ist durch die lineare Abhängigkeit gegeben und für die Schüler*innen naheliegend, wodurch eine entsprechende Begründung der Hypothesen möglich ist. In empirischen Untersuchungen bestimmen die Schüler*innen die Zuverlässigkeit der entsprechenden Methoden zur Konzentrationsbestimmung, indem sie Kochsalzlösungen mit bekannter Konzentration charakterisieren. Nach Auswertung und nach Auffinden des Zusammenhangs zwischen Konzentration und Dichte wird durch die Lehrkraft eine Fragestellung zur Zuordnung von Salzwasserproben aus einem Gewässer aufgeworfen. Die Schüler*innen führen zu zweit beide Methoden zur Konzentrationsbestimmung der unbekanntes Kochsalzlösungen durch. Dadurch wird es möglich, die Methoden hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu vergleichen.

Um für beide Methoden möglichst genaue Resultate zu erzielen, muss zunächst der Umgang mit den Laborgeräten geübt werden (vgl. Online-Supplement, Material 3). Speziell der Einsatz einer Vollpipette zur möglichst genauen Bestimmung von Flüssigkeitsvolumina sollte im Vorfeld der eigentlichen Messungen geübt werden. Neben einer Reduzierung von Fehlerquellen kann dadurch zusätzlich eine kognitive Entlastung bei der Durchführung des Experiments erreicht werden (*cognitive load theory*; Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998).

3.2 Methodische Einbindung

Gemäß der Kompetenztreppe (Stiller, Stockey et al., eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft) finden im Rahmen des Kurskonzeptes die meisten Entscheidungen zum experimentellen Vorgehen in einer Schüler*innen-Lehrer*innen-Interaktion statt (vgl. Online-Supplement, Material 1). Die Festlegung des Stichprobenumfangs liegt, wie die spätere Erhebung und Beschreibung der Ergebnisse, größtenteils in der Hand der Schüler*innen. Aufgrund der angestrebten Auswertung mit Bestimmung des Mittelwerts und Berechnung des zugehörigen Standardfehlers (Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht) für die Daten der gesamten Lerngruppe werden durch die Schüler*innen zusammen mit der Lehrkraft die erforderlichen Vereinheitlichungen in einer gemeinsamen Experimentieranleitung erreicht (für ein Beispiel zur Experimentieranleitung siehe Online-Supplement, Material 4 und 6). Die im Experiment durch die Partnerarbeit erhobenen Daten werden für weitere Auswertungen der gesamten Lerngruppe, z.B. durch das Aushängen der erstellten Wertetabelle, zugänglich gemacht.

Durch die Auswertung im vorangegangenen Experiment ist den Schüler*innen die sachgerechte Angabe von empirischen Daten durch signifikante Stellen bekannt (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Hier erfolgt die eigenständige Vertiefung dieser Kenntnisse. Für die korrekte Auswertung der Daten werden die Schüler*innen mit einem Arbeitsblatt (vgl. Online-Supplement, Material 5 und 7) unterstützt. Die Berechnung des Standardfehlers wird in dieser Unterrichtseinheit eingeführt, geübt und anhand der erhobenen

Daten gemeinsam mit den Schüler*innen durchgeführt. Die Mittelwerte werden mit dem dazugehörigen Standardfehler mittels Fehlerbalken in die entsprechenden Diagramme eingetragen, und der Verlauf der Datenpunkte wird durch Ausgleichsgerade modelliert. Für die Beurteilung der Qualität der Messergebnisse in Abhängigkeit von der eingesetzten Methode ist die Nutzung von Literaturwerten bezüglich der Dichten von Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentrationen bei der entsprechenden Temperatur notwendig. Zu diesem Zeitpunkt steht die eigenständige Recherche von Literaturwerten im Kurs noch nicht im Fokus (Stiller, Allmers et al., eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft). Die Daten werden den Schüler*innen entsprechend zur Verfügung gestellt. Um die Salzwasserproben unbekannter Konzentration den analogen Gewässern zuzuordnen zu können, wird den Schüler*innen eine entsprechende Auswahl an Gewässern zur Verfügung gestellt (vgl. Online-Supplement, Material 8).

3.3 Durchführung und Auswertung

Die Durchführung der praktischen Arbeitsphasen der Unterrichtseinheit beinhaltet eine subjektive und zwei objektive Methoden zur Charakterisierung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration. Um den Vergleich der Methoden zu ermöglichen, werden für die Durchführung jeweils die gleichen bekannten bzw. unbekannt Konzentrationen verwendet (für Beispiele siehe Abb. 2 und 3). Um die Methoden in einen naturwissenschaftlichen Anwendungsbezug einzubinden, orientieren sich die Proben unbekannter Konzentration an Salzkonzentrationen von Meeren und Binnenseen.

Infobox 1:	Kochsalzlösungen bekannter Konzentrationen (gegeben in prozentualem Massenanteil)
<u>Hinweis:</u>	Die Konzentrationen der Kalibrierlösungen decken idealerweise den Bereich der Lösungen unbekannter Konzentration ab. Hier werden die folgenden Konzentrationen verwendet: 0,0 % / 4,0 % / 8,0 % / 12,0 % / 16,0 % / 20,0 % / 24,0 %

Abbildung 2: Infobox für Kochsalzlösungen bekannter Konzentrationen (eigene Darstellung)

Infobox 2:	Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration. Die Angaben in Klammern beziehen sich auf den prozentualen Massenanteil der tatsächlich angesetzten Kochsalzlösung.
<u>Hinweis:</u>	Für die Einschätzung der Aussagekraft zur Unterscheidung von Kochsalzproben sind zwei Konzentrationen so zu wählen, dass diese eng beieinanderliegen (hier: Nordsee und Mittelmeer).
<u>Meere:</u>	Gotlandsee (Ostsee) (0,8 %), Nordsee (3,4 %) und Mittelmeer (3,6 %)
<u>Binnensee:</u>	Kaspisches Meer (West-Asien) (1,3 %), Qarun-See (Ägypten) (10,6 %), Urmiassee (Iran) (18,0 %) und Totes Meer (21,9 %)

Abbildung 3: Infobox für Kochsalzlösungen unbekannter Konzentrationen (eigene Darstellung)

3.3.1 Vorversuch zur Bestimmung der Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit der Methoden

In einem Vorversuch wird zunächst durch eine subjektive Methode der Versuch einer Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen unternommen (für Ziele und Materialien siehe Abb. 4). Hierfür werden in Partnerarbeit durch Schmecken die Konzentrationen *qualitativ* bestimmt, indem i) eine Rangfolge (von „schwach salzig schmeckend“ zu „stark salzig schmeckend“) erstellt wird und ii) durch Abschätzen der Konzentration die Proben (wie z.B. Probe B „dreimal so salzig“ wie Probe C) in einen relativen Bezug gebracht werden (vgl. Online-Supplement, Material 2). Als Proben kommen dafür die gleichen Konzentrationen wie für die späteren Kalibrierlösungen (siehe Abb. 4) zum Einsatz. Auf diese Weise kann von den Schüler*innen die Zuverlässigkeit dieser subjektiven Methode bewertet werden. Um die Zuverlässigkeit der *quantitativen* Ermittlung der Konzentration einschätzen zu können, werden zunächst Messungen an Lösungen mit bekannter Konzentration durchgeführt (siehe auch Abb. 5 auf der folgenden Seite). Zur Bestimmung der Masse der Kochsalzlösung muss zunächst die Masse des Becherglases bekannt sein. Nach Zugabe eines definierten Volumens (hier 50,00 mL) an zu untersuchender Lösung wird die Masse des Becherglases mit Inhalt erneut bestimmt. Anschließend wird das Lösungsmittel verdampft, um die Masse des zuvor gelösten Kochsalzes über eine erneute Wägung des Becherglases zu ermitteln. Zentral für die Auswertung der beiden objektiven Methoden sind zwei Diagramme: i) die Masse des Rückstands und ii) die Dichte der Kochsalzlösung, jeweils in Abhängigkeit von der eingesetzten Konzentration (für typische Ergebnisse siehe Abb. 7 und 8 auf S. 62).

Infobox 3:	Vorversuch zur subjektiven Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen
<u>Ziel:</u>	Verdeutlichung der Notwendigkeit objektiver Unterscheidungsmerkmale für Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentrationen
<u>Geräte:</u>	lebensmittelechte Trinkgefäße, Trinkhalme (als Pipette) zur Entnahme eines geringen Volumens für eine Geschmacksprobe
<u>Chemikalien:</u>	7 Kochsalzlösungen mit für die Schüler*innen zunächst unbekanntem Konzentrationen (hier im Bereich von 0,0 bis 24,0 %), hergestellt mit Leitungswasser und Kochsalz in Speisemittelqualität. Hier werden die folgenden Konzentrationen verwendet: 0,0 % / 4,0 % / 8,0 % / 12,0 % / 16,0 % / 20,0 % / 24,0 %

Abbildung 4: Infobox für den Vorversuch zur subjektiven Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen (eigene Darstellung)

Für den Verlauf der Datenpunkte im Diagramm „Konzentration–Rückstandsmasse“ kann die Ausgleichsgerade durch den Datenschwerpunkt und durch den Koordinatensprung festgelegt werden (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Im Diagramm „Konzentration–Dichte“ der Lösung ist die Ausgleichsgerade durch den Datenschwerpunkt und den Literaturwert für das reine Lösungsmittelwasser als weiterem vertrauenswürdigen Punkt eindeutig festgelegt.

Zur Beurteilung der Qualität der Messergebnisse werden die zu erwartenden Werte für die Masse des Rückstands mit in das Diagramm „Konzentration–Rückstandsmasse“ eingetragen. Der Erwartungswert für die Rückstandsmasse kann prinzipiell über eine Rechnung aus den Literaturwerten der Dichte bestimmt werden. Im Sinne einer Entlastung von

diesen Rechnungen empfiehlt sich die Beurteilung der Qualität der Messung durch das Auftragen der bestimmten Konzentrationen in Abhängigkeit von den eingesetzten Konzentrationen, die in diesem Sinne als fehlerfrei betrachtet werden. Für die Beurteilung der Qualität der erhobenen Werte für die Dichte kann auf Literaturwerte zurückgegriffen werden, die in das Diagramm „Konzentration–Dichte“ mit eingetragen werden.

Infobox 4:	Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen bekannter Konzentration
<u>Ziele:</u>	Überprüfung der Verlässlichkeit der objektiven Methoden durch Einsatz von Kochsalzlösungen bekannter Konzentrationen Bestimmung der Dichte in Abhängigkeit von der Konzentration zur Erstellung einer Kalibrierkurve
<u>Geräte:</u>	100 mL Bechergläser, 50,00 mL Vollpipetten mit Peleusball (alternativ Standzylinder), Waage (Genauigkeit von 0,01 g bei der Verwendung von Vollpipetten bzw. 0,1 g bei der Verwendung von Standzylindern), Trockenschrank (alternativ Stellplätze auf Heizkörper)
<u>Chemikalien:</u>	7 Kochsalzlösungen bekannter Konzentration (hier im Bereich von 0,0 bis 24,0 %)

Abbildung 5: Infobox für die Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen bekannter Konzentration (eigene Darstellung)

3.3.2 Bestimmung von unbekanntem Konzentrationen mithilfe von objektiven Methoden

Zur Bestimmung der Konzentration werden die Proben wie zuvor charakterisiert. Aus der Rückstandsmasse wird die Konzentration der Salzlösung berechnet. Die Dichte wird mithilfe der Kalibrierkurve zugeordnet (vgl. Abb. 6).

Infobox 5:	Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration
<u>Ziele:</u>	Überprüfung der Aussagekraft der objektiven Methoden durch Einsatz von Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration Arbeiten mit Kalibrierkurven
<u>Geräte:</u>	100 mL Bechergläser, 50,00 mL Vollpipetten mit Peleusball (alternativ Standzylinder), Waage (Genauigkeit von 0,01 g bei der Verwendung von Vollpipetten bzw. 0,1 g bei der Verwendung von Standzylindern), Trockenschrank (alternativ Stellplätze auf Heizkörpern)
<u>Chemikalien:</u>	7 Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration (hier im Bereich von 0,8 bis 21,9 %) – gleiche Konzentrationen wie im Vorversuch (Infobox 3)

Abbildung 6: Infobox für die Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration (eigene Darstellung)

3.4 Mögliche Ergebnisse und ihre Dokumentation

3.4.1 Vorexperimente zur Bestimmung der Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit der Methoden

Beim Vergleich der eingesetzten Konzentrationen mit der von den Schüler*innen durch Schmecken aufgestellten Rangfolge wird in der Regel deutlich, dass eine Diskrepanz zwischen beiden besteht. Eine relative Einschätzung der Salzkonzentration durch Geschmacksproben scheint demnach keine adäquate Methode zu sein, die objektive und zuverlässige Daten liefert.

Für die Auswertung der beiden objektiven Methoden werden die Mittelwerte und Standardfehler der Masse von 50,00 mL Lösung und der Masse des Rückstands für jede eingesetzte Kochsalzkonzentration berechnet. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (1) der prozentuale Massenanteil und aus der Masse der Lösung und dem bekannten Volumen nach Gleichung (2) die Dichte der eingesetzten Kochsalzlösung (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der Messungen an Proben mit bekannter Kochsalzkonzentration. Gegeben sind die Mittelwerte mit Standardfehler (eigene Berechnung)

Probe	Masse der Lösung (g)	Masse des Rückstands (g)	Konzentration (prozentualer Massenanteil)	Dichte (g/cm ³)
0,0 %	49,82 ± 0,00	-0,03 ± 0,01	-0,05 ± 0,01	0,9964 ± 0,0002
4,0 %	51,17 ± 0,03	2,12 ± 0,00	4,14 ± 0,01	1,024 ± 0,0008
8,0 %	52,75 ± 0,01	4,36 ± 0,02	8,26 ± 0,04	1,055 ± 0,0003
12,0 %	54,13 ± 0,04	6,59 ± 0,03	12,18 ± 0,05	1,083 ± 0,0008
16,0 %	55,70 ± 0,01	9,03 ± 0,02	16,21 ± 0,02	1,114 ± 0,0003
20,0 %	57,28 ± 0,01	11,56 ± 0,01	20,19 ± 0,02	1,146 ± 0,0002
24,0 %	58,82 ± 0,01	14,20 ± 0,02	24,14 ± 0,03	1,177 ± 0,0002

In Abbildung 7 auf der folgenden Seite sind die Mittelwerte für die Masse des Rückstands mit Standardfehler auf der linken Hochachse gegen die eingesetzten Konzentrationen aufgetragen (geschlossene Symbole). Der Verlauf der Datenpunkte lässt sich in guter Übereinstimmung durch eine Ausgleichsgerade modellieren (gestrichelte Linie).

Der Erwartungswert für die Masse der Rückstände ist im Diagramm durch eine durchgezogene Linie gekennzeichnet. Es zeigt sich, dass die Daten in Übereinstimmung mit dem Erwartungswert sind. Da die geringfügigen Abweichungen nach unten und nach oben auftreten, kann ein systematischer Fehler ausgeschlossen werden. In Ergänzung ist auf der rechten Hochachse die Konzentration aufgetragen, die sich aus dem bestimmten Rückstand berechnen lässt (offene Punkte). Auch hier ist die Lage der Punkte durch den Mittelwert für die bestimmten Konzentrationen mit dazugehörigen Standardfehlern gegeben. Die gepunktete Linie gibt den Verlauf der Erwartungswerte für die Konzentration wieder. Die bestimmten Konzentrationen sind in Übereinstimmung mit dem Erwartungswert.

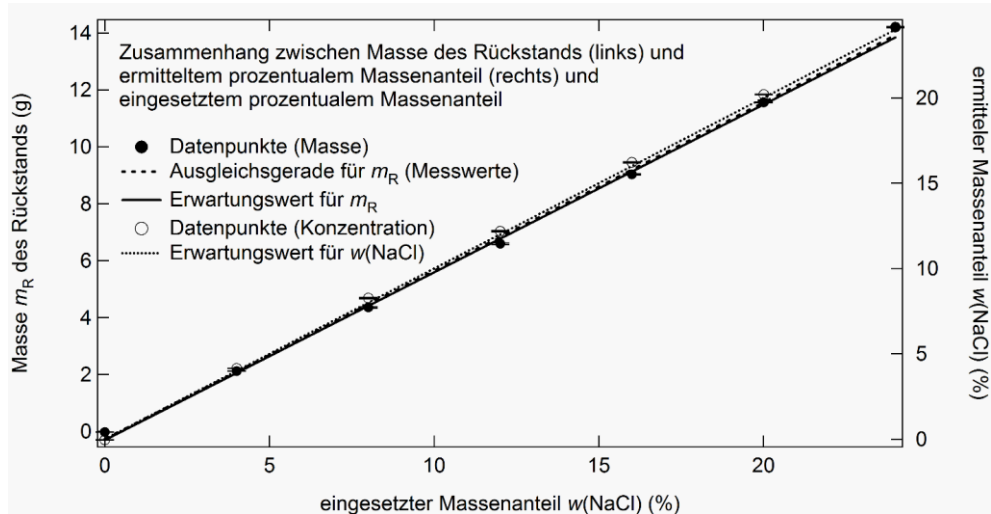


Abbildung 7: Diagramm zur Überprüfung der Qualität der Konzentrationsbestimmung über die Ermittlung der Rückstandsmasse. Die Messwerte für die Masse (geschlossene Punkte und linke Hochachse) sind in guter Übereinstimmung mit dem Erwartungswert. Entsprechendes gilt für den ermittelten Massenanteil (offene Punkte und rechte Hochachse mit der gepunkteten Gerade für den Erwartungswert des Massenanteils). (eigene Darstellung)

Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang der Dichte mit der eingesetzten Konzentration. Die Mittelwerte für die Dichte sind durch Punkte und der Standardfehler durch die Fehlerbalken dargestellt. Die unterbrochene Linie ist die Ausgleichsgerade für die gemessenen Werte. Die durchgezogene Linie stellt die Ausgleichsgerade für die Literaturwerte (Nikolskij, 1964) dar. Die gemessenen Werte sind mit diesen in guter Übereinstimmung.

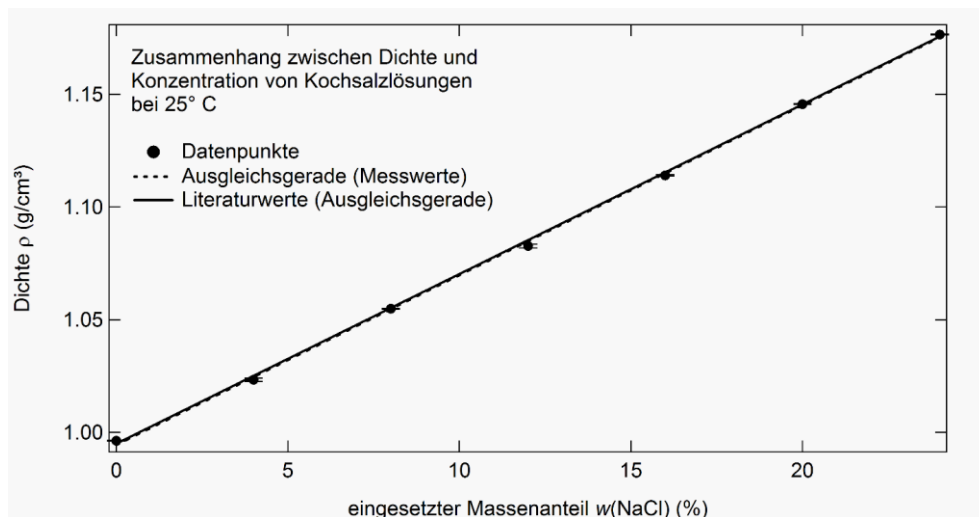


Abbildung 8: Diagramm zur Beurteilung der Qualität der Konzentrationsbestimmung über die Dichte einer Kochsalzlösung. Die Messwerte (geschlossene Punkte) sind in Übereinstimmung mit den Werten nach Nikolskij (1964) (durchgezogene Linie). (eigene Darstellung)

Zusammenfassend zeigt sich, dass die objektive Unterscheidung von Kochsalzlösungen mit unterschiedlicher Konzentration über konzentrationsabhängige Eigenschaften wie die Masse des gelösten Salzes und die Dichte gelingt. Beide Eigenschaften hängen linear von der Konzentration ab und liefern damit eindeutige Ergebnisse. Ein Vergleich mit der

eingesetzten Konzentration und mit Literaturwerten zeigt, dass die hier durchgeführten Messungen in guter Übereinstimmung sind. Die Streuung der Daten bezogen auf den Mittelwert ist klein. Beide Methoden zur Bestimmung der Konzentration der Kochsalzlösung sind damit verlässlich. Die aufgestellten Hypothesen „Eine objektive und verlässliche Unterscheidung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration gelingt über die Bestimmung des Rückstands“ bzw. „[...] über die Dichte der Lösung“ können damit angenommen werden.

3.4.2 Ergebnisse zur Untersuchung der unbekannt Konzentrationen

Die Konzentration der Proben, deren Salzkonzentrationen verschiedenen Meeren und Binnenseen nachempfunden wurden, wird aus den Mittelwerten und Standardfehlern der Rückstandsmassen und Dichten der Proben bestimmt. Es zeigt sich, dass die berechneten Konzentrationen in guter Übereinstimmung mit den Konzentrationen der eingesetzten Kochsalzlösungen sind (vgl. Tab. 2 auf der folgenden Seite). Zur Bestimmung der Konzentration über die Dichte ist die Verwendung einer Kalibrierkurve erforderlich, wie sie sich aus der Auftragung, die in Abbildung 8 gezeigt wird, ergibt. Zum Auffinden der Konzentration wird der Punkt auf der Ausgleichsgerade gesucht, der als eine Koordinate den Mittelwert der ermittelten Dichte enthält (vgl. Abb. 9). Die zugehörige Konzentration lässt sich anhand einer Linie durch diesen Punkt parallel zu der Hochachse bestimmen. Die Unsicherheit der Konzentrationsbestimmung lässt sich erfassen, indem der zuvor durch den Mittelwert bestimmte Punkt so weit parallel zur Rechtsachse verschoben wird, dass die Fehlerbalken gerade noch die Ausgleichsgerade in einem Punkt berühren. Dadurch gelingt die Bestimmung der minimalen und maximalen Konzentration, die mit dem Standardfehler der Dichte gerade noch verträglich sind.

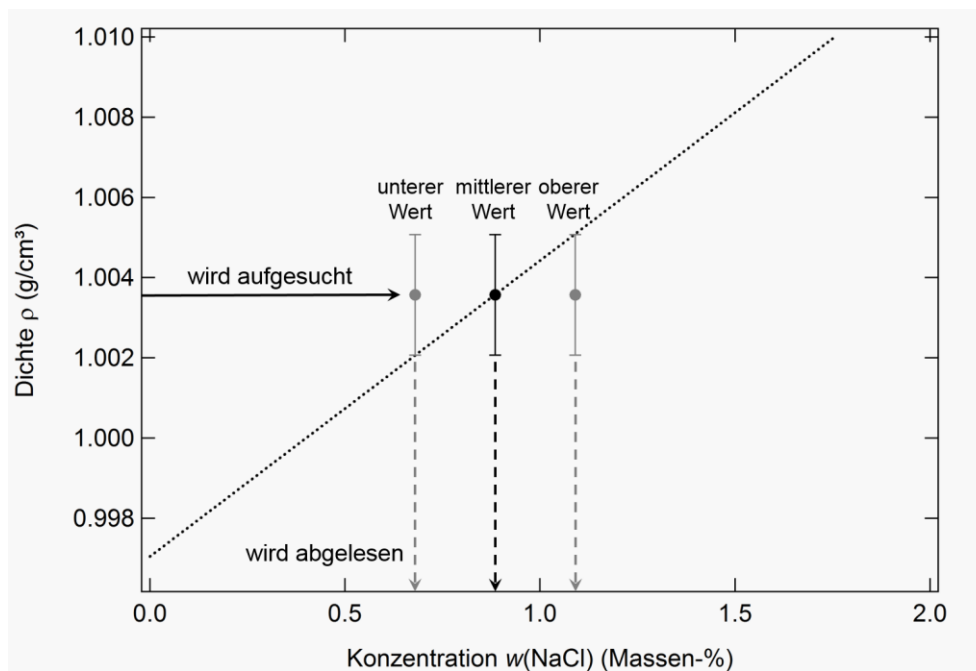


Abbildung 9: Illustration zum Auffinden der Konzentration zu einer gegebenen Dichte unter Berücksichtigung der Fehlerbalken. Gezeigt wird ein fiktiver Messwert mit großem Standardfehler. (eigene Darstellung)

Die Bestimmung der Konzentration über die Masse des Rückstands liefert Werte, die eine geringere Streuung aufweisen als die Bestimmung über die Dichte. Zusätzlich sind

diese Werte auch größtenteils in besserer Übereinstimmung mit den tatsächlichen Werten. Die Abweichungen nach oben wie nach unten zeigen, dass augenscheinlich kein systematischer Fehler vorliegt.

In beiden Fällen ist die Aussagekraft hinsichtlich der Zuordnung der Konzentrationen zu einem möglichen Gewässer gegeben (vgl. hierzu auch Online-Supplement, Material 8). So gelingt beispielsweise die sichere Unterscheidung zwischen den nachempfundenen Nordseewasserproben und Mittelmeerwasserproben, da die jeweiligen Abstände zu den bestimmten Mittelwerten in beiden Fällen deutlich größer sind als die jeweiligen Standardfehler für die Konzentrationen.

Tabelle 2: Vergleich der Methoden zur Konzentrationsbestimmung

Probe	prozentualer Massenanteil (in %) ermittelt über die Massen der Lösungen und der Rückstände	prozentualer Massenanteil (in %) ermittelt über die Dichte	Zuordnung zu den Gewässern (Angabe in Klammern gibt den eingesetzten prozentualen Massenanteil an)
Probe A	0,79 ± 0,004	0,88 ± 0,03	Ostsee (0,8 %)
Probe B	1,31 ± 0,004	1,30 ± 0,03	Kaspisches Meer (1,3 %)
Probe C	3,48 ± 0,01	3,35 ± 0,04	Nordsee (3,4 %)
Probe D	3,62 ± 0,01	3,56 ± 0,03	Mittelmeer (3,6 %)
Probe E	10,67 ± 0,02	10,50 ± 0,03	Qarun-See (10,6 %)
Probe F	18,13 ± 0,02	18,40 ± 0,09	Urmiasee (18,0 %)
Probe G	22,04 ± 0,02	22,43 ± 0,04	Totes Meer (21,9 %)

4 Anregungen zur Reflexion und Ausblick

Um die zentralen Qualitätsmerkmale „Objektivität“, „Zuverlässigkeit“ und „Aussagekraft“ für naturwissenschaftliche Untersuchungen erfahrbar zu machen, werden Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration durch verschiedene Methoden charakterisiert. Durch einen Vorversuch wird den Schüler*innen bewusst, dass subjektive Untersuchungsmethoden keine zuverlässigen Daten liefern. Die eingesetzten objektiven Untersuchungsmethoden liefern hingegen zuverlässige Messwerte, die sich durch statistische Verfahren hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit überprüfen lassen. Die Aussagekraft der objektiven Methoden wird durch die Unterscheidung von Kochsalzlösungen mit ähnlicher Konzentration geprüft.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Methoden sind zum einen um die Anwendung von weiteren objektiven Merkmalen zur Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen (Allmers et al., S. 67–79 in diesem Heft) und zum anderen durch die Betrachtung der Signifikanz bzw. Irrtumswahrscheinlichkeit erweiterbar (Stiller, Allmers et al., eingereicht).

Neben empirischen Daten mit hoher Qualität sind auch Modelle für naturwissenschaftliches Arbeiten entscheidend. Dies wird in diesem Beitrag durch die Modellvorstellung beim Lösen von Salzen in Wasser illustriert. Für eine tiefere Betrachtung zum Aufbau von Salzen und ihrem Lösen in Wasser wird auf Stiller, Beyer-Sehlmeyer et al. (S. 67–79 in diesem Heft) verwiesen.

Literatur und Internetquellen

- Acker, A., Bremer, H., Dannecker, W., Däßler, H.-G., Dreier, C.-S., Engelhardt, U.H., et al. (1998). *Lexikon der Chemie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Allmers, T., Beyer-Sehlmeyer, G., Schumacher, F., & Wilde, M. (2020). Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 80–96. <https://doi.org/10.4119/pflb-3306>
- Cloudt T. (2018). *Der Vertrauensbereich für den Mittelwert*. Zugriff am 03.02.2020. Verfügbar unter: https://www.cloudt.de/pdf_archiv/1vertrau.pdf.
- Demtröder, W. (1998). *Experimentalphysik I*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08598-1>
- Gränicher, H. (1994). *Messung beendet – was nun?* Stuttgart: Teubner.
- Haunhorst, D., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Die Ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>
- Latscha, H.P., Klein, H.A., & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie. Springer-Lehrbuch*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17523-7>
- Mortimer, C.E. (1996). *Chemie* (6. Ausgabe). Stuttgart: Thieme.
- Nikolskij, B.P. (Hrsg.). (1964). *Spravochnik khimika* [A Chemist Handbook], Bd. III. Moscow & Leningrad: Khimiya.
- Schmidt, G.C. (1890). Über die Volumenänderung beim Lösen von Salzen in Wasser. *Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften*, 11, 35–36. <https://doi.org/10.1007/BF01540716>
- Schumacher, F., Beyer-Sehlmeyer, G., Henrich, S., Polte, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 97–106. <https://doi.org/10.4119/pflb-3307>
- Seilnacht, T. (2017). *Natriumchlorid NaCl*. Zugriff am 05.05.2019 Verfügbar unter: http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_nacl.htm.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung. Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (2020). Vom Konzept in den Unterricht: Wie geht es nach der Entwicklung und Erprobung des Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* weiter? *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 17–27. <https://doi.org/10.4119/pflb-3301>

- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., & Paas, F.G.W.C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Wagner, W., & Pruß, A. (1995). The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 31, 387. <https://doi.org/10.1063/1.1461829>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (1), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>

Online-Supplement:

Materialien zur Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze

Cornelia Stiller^{1,*}, Gabriele Beyer-Sehlmeyer²,
Gudrun Friedrich³, Andreas Stockey³ & Tobias Allmers⁴

¹ Universität Bielefeld

² Marienschule der Ursulinen, Bielefeld

³ Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

⁴ Kreisgymnasium St. Ursula, Haselünne

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Im folgenden Beitrag wird ein Schülerexperiment zur experimentellen Bestimmung der Temperaturänderung beim Lösen von Salzen vorgestellt. Im Rahmen des Gesamtkonzeptes des Kurses haben sich die Schüler*innen davor mit der Dichte von Salzlösungen beschäftigt. Der für diese Unterrichtseinheit wichtige Energiebegriff wurde bereits in der Unterrichtseinheit zur Energieerhaltung am Beispiel des Fadenpendels eingeführt und wird hier in einem anderen Kontext aufgegriffen. Anhand des Experiments werden die energetischen Vorgänge beim Lösen eines Salzes erarbeitet.

Schlagwörter: Experimentieren, Unterrichtskonzept, Osmose, Lösungsenthalpie, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Nach Verletzungen oder Muskelkater kommen je nach Anwendungsbereich häufig *Sofort-Wärme-* oder *Sofort-Kältekompressen* zum Einsatz. Einige dieser Kompressen werden als Notfallpacks verkauft und sind nur einmal nutzbar. Kompressen dieser Art enthalten Salze und eine Flüssigkeit, die sich in voneinander getrennten Kammern befinden. Wird die Trennung beider Kammern, z.B. durch Knicken, aufgehoben, löst sich das Salz in der Flüssigkeit und das Kissen kühlt sich ab oder erwärmt sich, je nach verwendetem Salz. In Kältekissen ist z.B. Ammoniumnitrat enthalten, in Wärmekissen z.B. Magnesiumsulfat. Diesen Wärme- und Kältekompressen sind Schüler*innen im Alltag sicherlich schon häufig begegnet, und vielleicht haben sich einige Schüler*innen auch die Frage gestellt, was eigentlich beim Lösen eines Salzes passiert und warum der Lösungsvorgang bei einem Salz zur Abkühlung und bei einem anderen zur Erwärmung führt. Betrachtet man das Phänomen auf molekularer Ebene und unter dem Aspekt der chemischen Prozesse, die dabei ablaufen, dann lässt sich mit dem Energiebegriff eine Erklärung dafür finden.

2 Chemische Prozesse beim Lösen eines Salzes

In Salzen sind Kationen (positiv geladene Ionen, in der Regel Metallionen) und Anionen (negativ geladene Nichtmetallionen) in Salzgittern angeordnet (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite). Zwischen den Kationen und Anionen wirken elektrostatische Anziehungskräfte, die in alle Richtungen wirksam sind. Salze haben eine bestimmte Gitterstruktur, bei der jedes Ion eine bestimmte Anzahl von Nachbarionen hat, sodass eine regelmäßige, dreidimensionale Anordnung, das Kristallgitter, entsteht (vgl. Abb. 1; Otter & Stephenson, 2008). Wenn sich Anionen und Kationen zu einem Kristallgitter anordnen, wird Energie frei, die als Gitterenergie bezeichnet wird (z.B. Otter & Stephenson, 2008). Folglich müssen beim Lösen eines Salzes die Ionenbindungen der entgegengesetzt geladenen Ionen unter Energieaufwand aufgebrochen werden, d.h., es muss der Energiebetrag, der beim Bilden eines Salzkristalls frei wird (Gitterenergie), aufgebracht werden (vgl. Abb. 1). Die Anziehung zwischen Ionen ist abhängig vom Radius des Ions und dessen Ladung. Damit sind Ionenradien und Ladungen auch die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Betrag der Gitterenergie. Je größer die elektrische Ladung der Ionen und je geringer der Ionenradius ist, desto größer ist die Gitterenergie (Otter & Stephenson, 2008).

Die Energiebeträge, die beim Lösen eines Salzes zum Aufbrechen der Ionenbindungen notwendig sind, werden zum einen dem Wasser und zum anderen der Energie, die bei der Bindung der Wassermoleküle an die Anionen und Kationen frei wird, entnommen. Die am Rand des Salzgitters gelegenen Anionen und Kationen werden von den bipolaren Wassermolekülen angezogen, und bei der Bindung dieser an die Wassermoleküle wird Energie frei. Diese wird genutzt, um das Ion ganz aus dem Kristallgitter herauszulösen, sodass dieses von Wassermolekülen umgeben vorliegt (vgl. Abb. 1). Die negativ geladenen Anionen werden von Wassermolekülen mit der positiven partiellen Ladung umgeben und die positiv geladenen Kationen von Wassermolekülen mit der negativen partiellen Ladung. Die bei diesem Vorgang freigesetzte Energie wird als Hydratationsenergie bezeichnet und setzt sich aus der freiwerdenden Energie bei der Hydratisierung der Ionen und der vernachlässigbaren aufzuwendenden Energie zum Aufbrechen der Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Wassermolekülen zusammen (vgl. Abb. 1). In der Summe ist die Hydratationsenergie immer negativ, d.h., bei der Hydratisierung wird Energie frei. Die Hydratationsenergie beschreibt die Stärke der Anziehung zwischen Wassermolekülen und Ionen und entspricht der Änderung der Energie, die zur Bildung von Ionen in Lösungen aus gasförmigen Ionen aufgewendet werden muss (Otter & Stephenson, 2008). Der Betrag der Hydratationsenergie wird zum einen von der Konzentration der Salzlösung bestimmt und zum anderen vom Ionenradius und der Ladung

der Ionen (Otter & Stephenson, 2008). Wie auch schon bei der Gitterenergie, ist der Betrag höher, je kleiner der Ionenradius und je größer die Ladung ist.

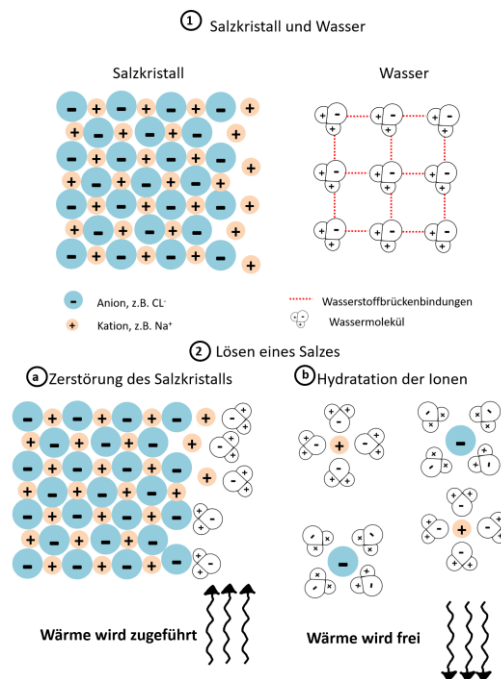


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Lösungsvorgangs eines Salzes in Wasser (eigene Darstellung)

Die Energiebilanz bei der Lösung eines Salzes ist in Abbildung 2 auf der folgenden Seite dargestellt. Die von der Umgebung aufgenommene oder an die Umgebung abgegebene Energie wird als Enthalpieänderung bezeichnet (Altmayer, 2012). Die Enthalpieänderung ergibt sich für das Lösen von Salzen aus der Summe der aufgewendeten Energie (Gitterenergie, positives Vorzeichen) und der freigesetzten Energie (Hydratationsenergie, negatives Vorzeichen). Ist der Gesamtprozess endotherm, d.h., ist der Betrag der Gitterenthalpie größer als der der Hydratationsenthalpie, wird Energie benötigt, sodass sich die Lösung insgesamt abkühlt (vgl. Abb. 2a). Für den umgekehrten, einen exothermen Lösungsvorgang, bei dem der Betrag der Gitterenthalpie kleiner ist als der der Hydratationsenthalpie und Energie demnach frei wird, ist eine Erwärmung der Lösung zu beobachten (vgl. Abb. 2b). Lösungswärmen werden experimentell bestimmt und erlauben so unter Berücksichtigung der Gitterenthalpien, die eine relativ sichere theoretische Basis haben, eine reale Abschätzung der Hydratationsenthalpien (Dickerson & Geis, 2008). Zur Bestimmung der Lösungswärme (ΔH_{sol}) bestimmt man die Temperaturänderung beim Lösen einer bestimmten Menge eines Salzes und berechnet daraus die Lösungswärme (vgl. Formel 1).

$$\Delta H_{sol} = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{1}$$

c = spezifische Wärmekapazität des Wassers

$$c_{H_2O} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

m = Masse des Lösungsmittels, $[m] = 1 \text{ kg}$

ΔT = Temperaturdifferenz ($T_2 - T_1$); $[T] = 1 \text{ K}$

Die Gesamtenergie eines Lösungsvorgangs setzt sich zusammen aus der aufzuwendenden Gitterenthalpie (ΔH_{git}) und der entstehenden Hydratationsenthalpie (ΔH_{hyd}), sodass sich aus der berechneten Lösungswärme nach Formel 1 und dem Wert der Gitterenthalpie aus entsprechenden Tabellen Rückschlüsse auf die Hydratationsenergie ziehen lassen (vgl. Formel 2).

$$\Delta H_{\text{sol}} = \Delta H_{\text{git}} + \Delta H_{\text{hyd}} \tag{2}$$

$$\Delta H_{\text{hyd}} = \Delta H_{\text{sol}} - \Delta H_{\text{git}}$$

H_{git} = Gitterenthalpie

H_{hyd} = Hydratationsenthalpie

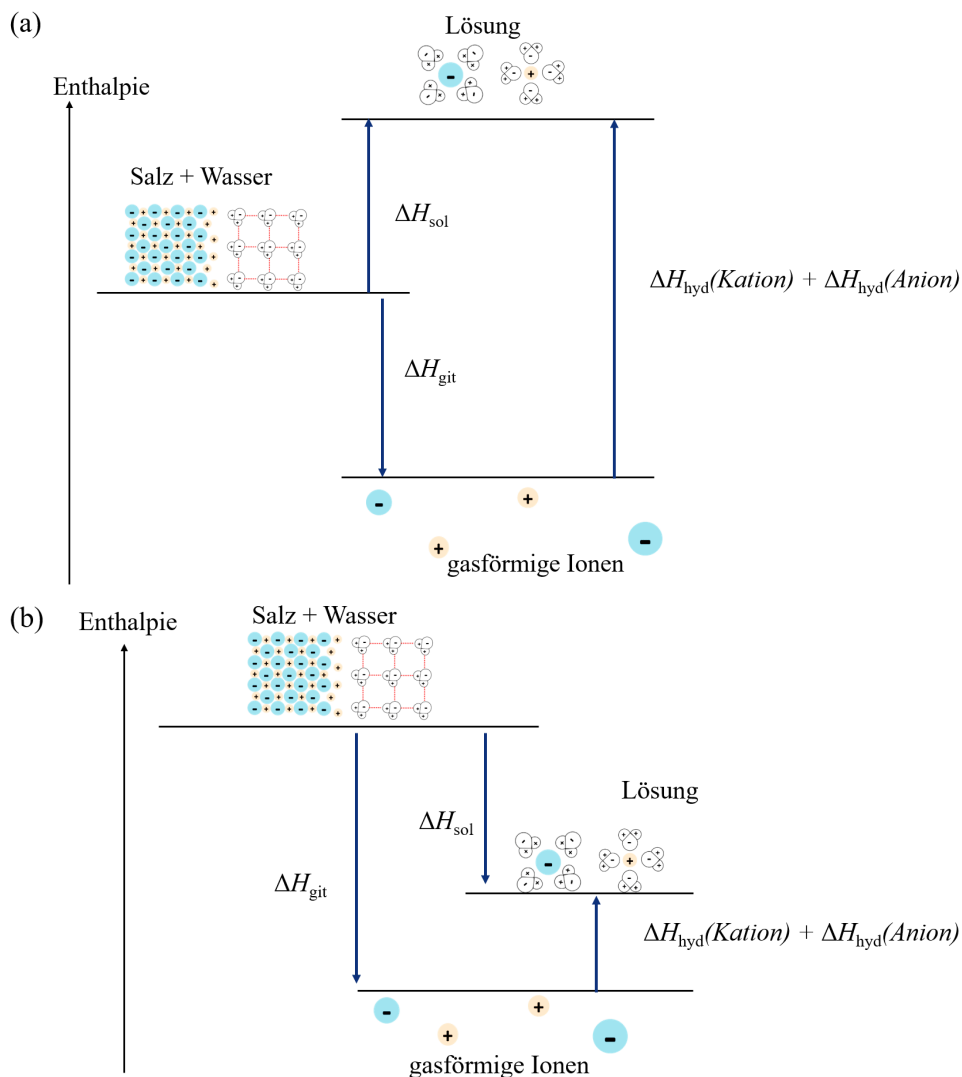


Abbildung 2: Enthalpiediagramme für (a) einen zu lösenden Stoff mit negativem ΔH_{sol} (beim Lösen wird Energie freigesetzt) und (b) einen zu lösenden Stoff mit positivem ΔH_{sol} (benötigt zum Lösen Energie aus der Umgebung) (eigene Darstellung)

3 Modelle im chemischen Unterricht

Das Teilchenkonzept gehört im naturwissenschaftlichen Unterricht zu den Schlüsselkonzepten. Sowohl in chemischen (z.B. Aggregatzustände, Aufbau von Molekülen) als auch in biologischen (z.B. Osmose) und physikalischen (z.B. elektrische Leitung) Kontexten wird das Teilchenmodell zur Erklärung von Phänomenen herangezogen (Eilks, Möllering, Leerhoff & Ralle, 2001). Allerdings erweist sich dieses im Rahmen des schulischen Chemieunterrichts häufig als schwierig, da in der Regel ein einfacher Teilchenbegriff (Modell der Kugel) üblich ist und der Begriff des Teilchens variabel für diverse Teilchenarten verwendet wird (Barke, 2006). Diese Problematik sollten Lehrende im Unterricht berücksichtigen und sowohl die Ziele und Vorteile als auch die Grenzen von Modellen thematisieren.

Modelle leisten in den Naturwissenschaften einen wesentlichen Beitrag im Erkenntnisprozess (Krell & Krüger, 2010; KMK, 2005a, 2005b, 2005c; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Sie können einerseits genutzt werden, um naturwissenschaftliches Wissen zu generieren, sowie andererseits, um naturwissenschaftliche Inhalte darzustellen und zu veranschaulichen (Krell & Krüger, 2010; Mikelskis-Seifert, Thiele & Wünsch, 2005; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Gerade im Unterricht zu Strukturen von Teilchen ist die Verwendung von Modellen unumgänglich, um diese Inhalte den Schüler*innen zu veranschaulichen und so verständlich zu machen. Der allgemeine Modellbegriff nach Stachowiak zeichnet sich durch drei wesentliche Merkmale aus: *Abbildungs-*, *Verkürzungs-* und *Subjektivierungsmerkmal* (Barke, 2006; Barke, Harsch, Marohn, & Krees, 2015). Demnach repräsentieren Modelle Originale, wobei sie allerdings nur bestimmte Eigenschaften, die für den „Zweck“ des Modells relevant sind, beinhalten und in Abhängigkeit der Personen, die das Modell betrachten, interpretiert werden. Beim Einsatz von naturwissenschaftlichen Modellen in der Schule wird zunächst mit Anschauungsmodellen gearbeitet, aus denen die Schüler*innen dann erste Denkmodelle entwickeln, die allerdings noch irrelevante Elemente enthalten und mit den Anschauungsmodellen in Konflikt stehen können, und die dann im weiteren Unterricht weiter abstrahiert werden (Barke, 2006; Barke et al., 2015). Dieser Übergang von einem Anschauungsmodell in ein auch für weitere Fragestellungen anwendbares Denkmodell ist für Schüler*innen ein schwieriger Prozess (Barke, 2006). Um Modelle im Unterricht zur Erkenntnisgewinnung nutzen zu können, ist es erforderlich, im Unterricht den richtigen Umgang damit einzuführen (Mikelskis-Seifert et al., 2005), um so häufig auftretende Fehlvorstellungen, wie z.B. Übertragung makroskopischer Eigenschaften von Körpern (Farbe u.ä.) der alltäglichen Umwelt auf die Mikrowelt, nicht zu unterstützen (Mikelskis-Seifert & Fischler, 2003). Ist z.B. im Unterricht die Struktur eines Kochsalzkristalls Thema, dann sollte zunächst auf die Verwendung von Bindungsmodellen oder Modellen zum Aufbau einzelner Atome verzichtet werden, da diese abstrakte Denkkonstrukte darstellen, die zunächst ein Grundverständnis der chemischen Struktur von Stoffen erfordern (Barke et al., 2015). Zunächst kann mit Kugelpackungsmodellen gearbeitet werden, bei denen durch eine Anregung von Diskussion im Unterricht die irrelevanten Elemente herausgearbeitet werden können (z.B. Material und Farben der Kugeln, Lücken). Anschließend kann das abstrakte Raumgittermodell eingeführt, diskutiert und mit dem Kugelpackungsmodell verglichen werden, sodass bei den Schüler*innen eine Modellvorstellung von Anordnungen und Größenverhältnissen entstehen kann (Barke, 2006; Barke et al., 2015). Bei Teilchenmodellen kann dieses insbesondere erfolgen, indem in Diskussionen Modelleigenschaften und der wissenschaftliche Modellierungsprozess thematisiert werden und der Vergleich zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt gemeinsam mit den Schüler*innen erarbeitet wird (Mikelskis-Seifert & Fischler, 2003).

4 Das Schülerexperiment und methodische Aspekte

4.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Die Unterrichtseinheit „Wärme und Energie“ (vgl. Abb. 3) umfasst ca. acht bis zehn Unterrichtsstunden.

<u>fachliche Inhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> • Lösen von Salzen • Umsatz von Energie/ Energieerhaltung • Lösungswärme • Entwicklung von Atommodellen 	<u>experimentelle Methoden</u> <ul style="list-style-type: none"> • Umgang mit dem Messzylinder • genaues Ablesen von Masse und Temperatur
<u>Wissenschaftstheorie</u> <ul style="list-style-type: none"> • Modelle in den Naturwissenschaften • Nature of Science 	<u>Auswertemethoden</u> <ul style="list-style-type: none"> • Umgang mit Literaturwerten • Arbeiten mit Diagrammen (z.B. Eichkurven) • Ermitteln eines funktionalen Zusammenhangs

Abbildung 3: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte für die Unterrichtseinheit „Wärme und Energie“ (eigene Darstellung)

Bevor in das tatsächliche Thema der Unterrichtseinheit eingestiegen wird, wird je nach Wissensstand der Schüler*innen im Anschluss an die Unterrichtseinheit „Struktur der Materie“ die Entwicklung der Vorstellung zu den Atommodellen thematisiert (z.B. Allmers, Stiller & Wilde, S. 53–66 in diesem Heft). Die Schüler*innen haben an dieser Stelle bereits das *Bohrsche Atommodell* kennengelernt. In dieser Unterrichtseinheit sollen weitere, den Schüler*innen aus der Sekundarstufe I bekannte Atommodelle, wiederholt und weiter vertieft werden. Insbesondere steht hierbei im Fokus, den Schüler*innen den Erkenntnisgewinn aus Modellen verständlich zu machen und die Veränderlichkeit von naturwissenschaftlichem Wissen ins Bewusstsein zu rücken. Dabei sollte im Besonderen betont werden, dass bestimmte Modelle nur für die Daten gelten können, aus denen sie gewonnen wurden. Kommen neue Daten durch neue, ausgereifere Experimente hinzu, wird ein neues Modell entwickelt, das das alte miteinschließt (Bentzinger & Meyer, 1994). Dazu erhalten die Schüler*innen den Arbeitsauftrag, sich im Internet oder in Büchern über die Atommodelle von Demokrit, Dalton, Thompson und Rutherford zu informieren, das *Bohrsche Atommodell* zu wiederholen und ein Poster zu erstellen, das die Entwicklung der Atommodelle darstellt (vgl. Online-Supplement, Material 1). Anschließend kann der Aufbau von Atomen zur weiteren Vertiefung detailliert erarbeitet werden (z.B. mithilfe eines Gruppenpuzzles; Gruppenpuzzle Atombau, o.D.).

In der vorangegangenen Unterrichtseinheit haben die Schüler*innen bereits mit Salzen bzw. deren Lösungen gearbeitet und wissen, wie Salze aufgebaut sind. Als Einstieg in die energetischen Lösungsvorgänge beim Lösen eines Salzes wird ein Bezug zu den physikalischen Inhalten aus der zweiten Unterrichtseinheit hergestellt, indem der Lehrende am Prozess des Lösens eines Salzes die physikalischen Grundbegriffe wiederholt. Für das Lösen eines Salzes muss Arbeit verrichtet werden, da die Gitter aufgebrochen werden müssen. Mit dieser Aktivierung von Vorwissen kann anschließend der Begriff der Gitterenergie für die Schüler*innen eingeführt werden. In der Regel sollten die Schüler*innen daraus den Schluss ziehen können, dass zum Aufbrechen der Gitter Energie

aufgebracht werden muss, die der Wärmeenergie entnommen werden kann. Das Ergebnis dieses diskursiven Unterrichtsgesprächs wäre die Hypothese: „Wenn man ein Salz löst, kühlt sich die Lösung ab.“ Im Folgenden wird an die Alltagsvorstellungen der Schüler*innen angeknüpft, und diese werden gebeten, zu der erarbeiteten Hypothese Stellung zu beziehen. Häufig äußern die Schüler*innen dabei Bedenken zur Richtigkeit der Hypothese, da sie ihren Alltagsvorstellungen widerspricht (z.B. wird häufig keine Abkühlung von heißem Wasser bei Hinzugabe von Salz beobachtet). Bei der Gelegenheit kann vom Lehrenden thematisiert werden, inwieweit diese alltäglichen Beobachtungen genutzt werden können, um Hypothesen zu überprüfen bzw. welche besseren Alternativen es dafür gibt (z.B. Temperaturmessen beim Lösen eines Salzes). In einem Demonstrationsexperiment löst die Lehrperson zunächst in einem Becherglas mit einem Thermometer Natriumchlorid und Lithiumchlorid in Wasser. Die Schüler*innen beobachten, dass es beim Lösen von Natriumchlorid zu einem leichten Temperaturabfall und beim Lösen von Lithiumchlorid zu einem Temperaturanstieg kommt. Diese phänomenologische Beobachtung wird als Anlass genommen, um erste Ideen für eine Fragestellung, Hypothesen und deren Überprüfung zu entwickeln. Zur weiteren Unterstützung dieses Prozesses kann eine Aufgabe zum Kühlkissen (vgl. Online-Supplement, Material 2) eingesetzt werden. Die Ideen werden dann im Plenum diskutiert. Dabei wird zunächst auf die Entwicklung einer gemeinsamen Fragestellung fokussiert. Als Ergebnis des gelenkten Unterrichtsgesprächs ergibt sich als Fragestellung die Frage nach der Veränderung der Temperatur, wenn ein bestimmtes Salz in Wasser gelöst wird, und wovon diese Temperaturänderung abhängig ist. Anknüpfend an die Ideen aus der vorherigen Gruppenarbeit erfolgt in einer weiteren Unterrichtsstunde die Erarbeitung des Untersuchungsplans zum Experiment, entweder im Lehrer*innen-Schüler*innen-Gespräch oder in Gruppenarbeit. Bei beiden Varianten werden die Leitfragen (vgl. Online-Supplement, Material 3) für die Schüler*innen an die Wand projiziert und dann entweder im Plenum im Rahmen einer Diskussion beantwortet, oder es werden in Gruppen von drei bis vier Schüler*innen Vorschläge gesammelt, wie die Fragestellung untersucht werden kann. Bei der Gruppenarbeit werden die Ergebnisse im Plenum vorgestellt und diskutiert. Als Ergebnis der Gruppenarbeit bzw. des Unterrichtsgesprächs ergibt sich dann ein gemeinsames, allgemeines Untersuchungsdesign, das den Schüler*innen als Versuchsanleitung zur Verfügung gestellt wird (vgl. Online-Supplement, Material 4) und das dann in den jeweiligen Experimentiergruppen weiter spezifiziert und ausdifferenziert werden kann, bevor die Schüler*innen mit der Durchführung des Experiments starten (ca. 1–2 Unterrichtsstunden). Als Salze werden für das Schülerexperiment Lithium-, Natrium-, und Kaliumchlorid zur Verfügung gestellt. Das jeweilige Kation des Salzes befindet sich in der ersten Gruppe des Periodensystems der Elemente, sodass bei der Auswertung der Daten die Abhängigkeit der Temperaturänderung auf die Größe der Kationen und die Konzentration der Salzlösung zurückgeführt werden kann. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Temperaturänderung, die Ladung der Ionen, kann ausgeschlossen werden, da diese bei allen drei Ionen gleich ist. Als Abschluss der Unterrichtseinheit werden in ca. zwei bis drei Unterrichtsstunden die Daten ausgewertet und interpretiert.

4.2 Methodische Einbindung

Auch für dieses Experiment müssen von den Lehrenden gemeinsam mit den Schüler*innen bzw. selbstständig von den Schüler*innen Entscheidungen getroffen werden (vgl. Online-Supplement, Material 6). Die Fragestellung und die Hypothesen in diesem Experiment werden durch eine Lehrer*innen-Schüler*innen-Interaktion gemeinsam erarbeitet. Zu Beginn der Experimentierstunde erhalten die Schüler*innen die zuvor gemeinsam erarbeitete Versuchsanleitung (vgl. Online-Supplement, Material 4), in der bereits auf wesentliche Vorgehensweisen und einen angemessenen Umgang mit den Materialien hingewiesen wird. Bevor die Schüler*innen mit dem Experimentieren beginnen, müssen

diese sich überlegen, wie sie die Rohdaten notieren wollen. Dieser Schritt beim Experimentieren ist den Schüler*innen zwar bereits durch die vorhergehenden Experimente bekannt (vgl. Stiller, Allmers, Habigsberg, Stockey & Wilde, S. 28–39 in diesem Heft; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft); der bzw. die Lehrende sollte aber dennoch gegebenenfalls einschreiten und durch Nachfragen oder kleinere Hinweise die Schüler*innen an das Vorbereiten einer angemessenen Wertetabelle erinnern. In dieser sollte jeweils eine Spalte für die Masse, für die Temperatur zu Beginn und für die Temperatur nach dem Lösen des Salzes enthalten sein. Außerdem sollte aus der Tabelle deutlich hervorgehen, für welches Salz die Daten aufgenommen wurden. Ebenfalls können bereits Überlegungen zur Auswertung der Rohdaten mit in die Planung der Wertetabelle einbezogen werden und so z.B. auch Spalten für die Berechnung der Temperaturdifferenz und der Mittelwerte mit eingeplant werden. In diesem Zusammenhang müssen sich die Schüler*innen auch überlegen, wie viele Messwiederholungen zur Bearbeitung ihrer Fragestellung sinnvoll sind. Beim Experimentieren in der Schule sind in der Regel vier bis sechs Messungen pro Masse beim Lösen des Salzes ausreichend und von den Schüler*innen innerhalb der Experimentierzeit von 90 Minuten zu bewältigen. Auch diese „Entscheidung“ ist den Schüler*innen durchaus zuzutrauen, da sie diesen Schritt auch im vorangegangenen Experiment alleine ausgeführt haben, sollte aber dennoch bei Bedarf begleitet werden, indem z.B. von dem bzw. der Lehrenden darauf geachtet wird, dass eine ausreichende Anzahl an Wiederholungen eingeplant wird.

Im Bereich der *Data Literacy* sollten die Schüler*innen bereits alleine in der Lage sein, die Mittelwerte zu berechnen, ein passendes Diagramm aus den Daten zu erstellen, eine Ausgleichsgerade einzuzichnen und das Diagramm zu beschreiben (Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht; Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn et al., S. 5–16 in diesem Heft). Daher benötigen sie dabei keine bzw. nur wenig Unterstützung oder Anleitung. In den vorherigen Experimenten haben sie bereits den Umgang mit Messungenauigkeiten, den Umgang mit signifikanten Ziffern und die Berechnung und Bedeutung statistischer Kennwerte (z.B. Standardfehler) kennengelernt. Diese Themen werden gemeinsam mit den Schüler*innen am Ende der Durchführung im Kontext des Experiments thematisiert, sodass diese in der Lage sind, dieses selbstständig für ihre Daten umzusetzen. Wenn alle Schüler*innen das Experiment durchgeführt haben, werden zunächst die Ergebnisse der einzelnen Gruppen zusammengetragen. Der Fokus liegt hierbei zunächst auf der Richtung der Temperaturänderung. Daran anknüpfend können die weiteren energetischen Prozesse beim Lösen von Salzen thematisiert werden. Dazu wird zunächst am Beispiel eines Magnetmodells die Hydratationsenergie erläutert, indem zwei Magnete die gegensätzlich geladenen Ionen symbolisieren. Die Schüler*innen „erfahren“ dabei, dass Energie aufgewendet werden muss, um zwei Magnete zu trennen. Dahingegen wird Energie frei, wenn zwei Magnete sich „verbinden“. Analog zu diesem Modell werden dann die Vorgänge bei der Bildung eines Salzes sowie dem Lösen dargestellt und die Zusammenhänge erläutert (Begriffe: Gitterenergie, Hydratationsenergie, Lösungswärme, Formeln). Bei der Berechnung der Lösungswärmen muss das Vorzeichen berücksichtigt werden. Dazu muss die Konvention zu den Begriffen „exotherm“ (Temperaturerhöhung und damit Energiefreisetzung, negatives Vorzeichen) und „endotherm“ (Temperaturerniedrigung und damit Energiezufuhr, positives Vorzeichen) gemeinsam mit den Schüler*innen thematisiert werden (vgl. Online-Supplement, Material 5). Entsprechend dieser Konvention müssen die Schüler*innen das Vorzeichen nach Berechnung des Energiebetrages festlegen.

Weiterhin ist es wichtig, dass die Lösungsenthalpien der einzelnen Lösungsvorgänge vergleichbar sind und deswegen die Lösungswärme in kJ/mol angegeben werden muss. Die Menge des eingesetzten Salzes wurde allerdings in g gewogen, d.h., es muss noch in mol umgerechnet werden. In der Regel genügt es dabei, die Problematik zu thematisieren, indem mit der gesamten Kursgruppe Stoffmenge, ihre Einheit und die Formel (vgl. Formel 3 auf der folgenden Seite) für die Umrechnung von g in mol wiederholt

werden. Die Umrechnung einer Masse m [g] in eine Stoffmenge n [mol] sollte dann in einem Beispiel (Abb. 4) vertieft werden, bevor die Schüler*innen dieses für ihre eigenen Daten anwenden. Die bei der Reaktion entstandene Lösungswärme muss auf ein Mol bezogen werden, indem die entstandene Lösungswärme [kJ/g] durch die entsprechende Stoffmenge dividiert wird. Die berechneten Lösungswärmen sollen mit Angaben aus einschlägiger Literatur (z.B. Haynes & Lide, 2013; Lautenschläger, Schröter & Wanninger, 2005) verglichen werden. In diesem Zusammenhang sollte den Schüler*innen erläutert werden, wie sie vorgehen können, wenn sie Literaturwerte suchen, und wie sie mit den Werten angemessen umgehen (vgl. Stiller, Allmers et al., eingereicht). Entsprechende Tabellen (z.B. Haynes & Lide, 2013; Lautenschläger et al., 2005) werden den Schüler*innen zur Verfügung gestellt. Weiterhin werden bei der Auswertung der Ergebnisse auch die Begriffe der statistischen und systematischen Fehlerbetrachtung (vgl. Stiller, Allmers et al., eingereicht) thematisiert. Dazu werden zunächst die beiden aus der vorherigen Unterrichtseinheit bekannten Begrifflichkeiten wiederholt. Im Plenum werden anschließend die verschiedenen Unsicherheiten, die bei der Datenaufnahme und -interpretation aufgetreten sein könnten, gesammelt und den Begrifflichkeiten zugeordnet.

$$n = \frac{m}{M} \tag{3}$$

n = Stoffmenge, [n] = 1 mol

m = Masse des Lösungsmittels, [m] = 1 kg

M = molare Masse; [M] = 1 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$

Umrechnen der Masse m [g] in Stoffmenge n [mol]	
Aufgabe: Berechne die Stoffmenge von 20 g Calciumchlorid.	
Schritte	Beispiel
1. Summenformel für den Stoff	CaCl ₂
2. Atommassen aus dem Periodensystem suchen	
3. Berechnen der molaren Masse M	$M_{\text{CaCl}_2} = M_{\text{Ca}} + 2 \cdot M_{\text{Cl}}$ $= 40,08 \text{ g/mol} + 2 \cdot 35,45 \text{ g/mol}$ $= 110,98 \text{ g/mol}$
4. Berechnen der Stoffmenge n	$n = \frac{m}{M} = \frac{20,00\text{g}}{110,98\text{g/mol}} = 0,18 \text{ mol}$

Abbildung 4: Mögliches Tafelbild für die Wiederholung der Umrechnung von Masse m [g] in Stoffmenge nL [mol] (eigene Darstellung)

4.3 Durchführung und Auswertung

- *Materialien:* Messzylinder, Weithalskolben oder Bechergläser (Fassungsvermögen > 100 mL), Magnetrührer und Magnetrührstäbchen, Waage, Spatel, Thermometer
- *Chemikalien:* LiCl (Lithiumchlorid), NaCl (Natriumchlorid), und KCl (Kaliumchlorid)

Durchführung: Die Experimentiergruppen lösen zunächst die verschiedenen Mengen des jeweiligen Salzes in je 100,0 ml Wasser unter ständigem Rühren durch den Magnetrührer. Jeweils vor dem Lösen und nach dem Lösen wird die Temperatur der Lösung abgelesen und in der vorbereiteten Wertetabelle notiert. Aus den Rohdaten können dann die Temperaturdifferenz für jede Messung berechnet und für jedes Salz der Mittelwert und die Standardabweichung der Temperaturänderung bestimmt werden. Die Temperaturdifferenzen werden dann anschließend in einem Diagramm in Abhängigkeit von der Masse des gelösten Salzes eingetragen (mit Hilfe eines Computerprogramms oder auf Millimeterpapier) und die Lösungswärme berechnet. Anschließend werden die Ergebnisse in Bezug auf die Fragestellung diskutiert.

4.4 Mögliche Ergebnisse und ihre Interpretation

Aus Abbildung 5 wird deutlich, dass zwischen der Menge des gelösten Salzes und der Temperaturänderung eine lineare Abhängigkeit besteht. Je mehr eines Salzes gelöst wird, desto endo- bzw. exothermer ist der gesamte Lösungsvorgang.

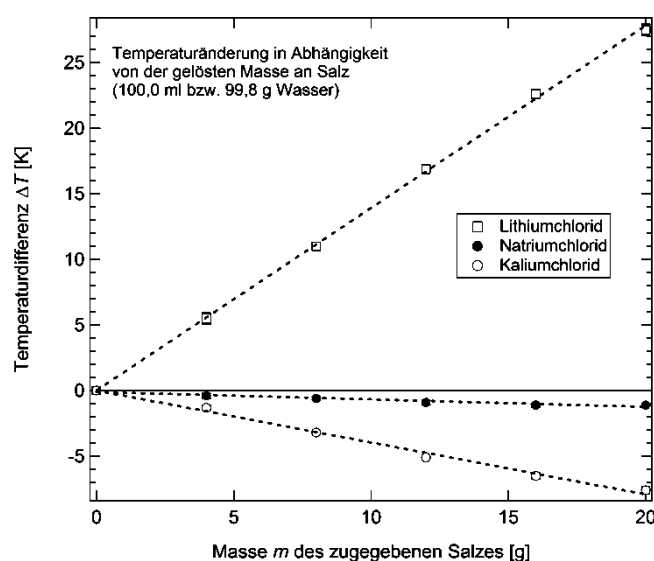


Abbildung 5: Ergebnisse aus dem Schülerexperiment. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler für die Temperaturänderung bei den drei verwendeten Salzen. (eigene Darstellung)

Beim Lösen von Lithiumchlorid ist die Temperaturänderung positiv, d.h., beim Lösungsvorgang wird Energie frei. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei Natrium- und Kaliumchlorid eine negative Temperaturänderung, d.h., beim Lösen muss Energie zugeführt werden. Das Lösen von Lithiumchlorid ist demnach ein exothermer Vorgang, während das Lösen von Natrium- und Kaliumchlorid endotherm ist. Für die verschiedenen Salze und deren Konzentrationen ergeben sich verschiedene Lösungswärmen (vgl. Tab. 1 auf der folgenden Seite).

Tabelle 1: Ergebnisse zu den Lösungswärmen aus experimentellen Daten (eigene Berechnung)

Salz	m [g]	n [mol]	ΔT [K]	Lösungswärme pro Masse des Salzes m_{Salz}	Lösungswärme pro mol [kJ/mol]
Lithiumchlorid	4,0	0,094	$5,5 \pm 0,4$	-580 ± 43	$-24 \pm 1,8$
	8,0	0,19	$11,0 \pm 0,3$	-580 ± 16	$-24 \pm 0,7$
	12,0	0,283	$16,9 \pm 0,3$	-590 ± 12	$-25 \pm 0,5$
	16,0	0,377	$22,6 \pm 0,3$	-590 ± 9	$-25 \pm 0,4$
	20,0	0,472	$27,5 \pm 0,4$	-580 ± 9	$-24 \pm 0,4$
Natriumchlorid	4,0	0,068	$-0,4 \pm 0,2$	41 ± 20	$2,4 \pm 1,2$
	8,0	0,14	$-0,6 \pm 0,1$	$31 \pm 5,9$	$1,8 \pm 0,35$
	12,0	0,205	$-0,9 \pm 0,2$	$31 \pm 6,6$	$1,8 \pm 0,38$
	16,0	0,274	$-1,1 \pm 0,2$	$29 \pm 4,0$	$1,7 \pm 0,23$
	20,0	0,342	$-1,1 \pm 0,1$	$23 \pm 1,6$	$1,3 \pm 0,09$
Kaliumchlorid	4,0	0,053	$-1,3 \pm 0,2$	330 ± 20	$23 \pm 1,5$
	8,0	0,11	$-3,2 \pm 0,1$	$270 \pm 5,9$	$20 \pm 0,44$
	12,0	0,161	$-5,1 \pm 0,1$	$230 \pm 2,6$	$17 \pm 0,20$
	16,0	0,215	$-6,5 \pm 0,2$	$200 \pm 5,9$	$15 \pm 0,44$
	20,0	0,268	$-7,6 \pm 0,3$	$160 \pm 5,5$	$12 \pm 0,41$

Vergleicht man die experimentell bestimmten, gemittelten Lösungswärmen mit den Standardlösungsenthalpien aus der Literatur (vgl. Tab. 2), wird deutlich, dass die experimentell bestimmten Werte von diesen abweichen. Die Beträge der ermittelten Werte sind kleiner als die Literaturwerte, was auf den Wärmeaustausch mit der Umgebung zurückzuführen ist. Das Ergebnis für NaCl weicht deutlich vom Literaturwert ab. Hier ist zusätzlich ein Wärmeeintrag durch Reibung des Magnetrührers zu vermuten. Dieser ansonsten kleine Energieeintrag kann bei den kleinen Temperaturänderungen durch das Lösen des Kochsalzes zu der hier beobachteten Abweichung führen.

Tabelle 2: Literaturwerte für Lösungswärmen (eigene Darstellung)

Salz	Lösungsenthalpie aus den experimentellen Ergebnissen [kJ/mol] (SEM)	Standardlösungsenthalpien [kJ/mol]	
		aus: Lautenschläger, Schröter & Wanninger, 2005	aus: Haynes & Lide, 2013
Lithiumchlorid	-25 (0,2)	-	-37,0
Natriumchlorid	1,4 (0,08)	5,4	3,88
Kaliumchlorid	16 (0,15)	20,0	17,2

5 Anregungen zur Reflexion

Zum Abschluss der Unterrichtseinheit kann noch einmal der Modellbegriff aufgegriffen und am Beispiel der hier verwendeten Atommodelle diskutiert werden. In diesem Zusammenhang können mit den Schüler*innen die drei Merkmale von Modellen (Abbildungs-, Verkürzungs-, und Subjektivierungsmerkmal) erarbeitet und sie dadurch unter Rückbezug auf den Einstieg in diese Unterrichtseinheit („Entwicklung der Atommodelle“) auch für den daraus resultierenden angemessenen Umgang mit Modellen sensibilisiert werden. Eine weitere Vertiefung des Themas „Lösungsenthalpie“ wäre die Erarbeitung des Themas „Salze als Speichermedien“ als eine mögliche technische Anwendung. Dazu gibt es bereits mit dem Projekt „Thermische Batterie“ der Leuphana Universität Lüneburg (Thermische Batterie, o.D.) erste Ansätze, wie die thermochemischen Reaktionen beim Lösungsvorgang von Salzen zur Wärmespeicherung genutzt werden können.

Literatur und Internetquellen

- Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Quantitative Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>
- Altmayer, W. (2012). *Salter's Chemie – Chemical Ideas. Schülerband. Theoretische Grundlagen*. Braunschweig: Schroedel.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-29460-0>
- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A., & Krees, S. (2015). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43396-6>
- Bentzinger, R., & Meyer, M. (1994). Modelle für das Unsichtbare. Vom Nutzen von Atommodellen. *Praxis der Naturwissenschaften. Chemie*, 43 (7), 24–29.
- Dickerson, R.E., & Geis, I. (2008). *Chemie – eine lebendige und anschauliche Einführung* (2. Nachdruck). Weinheim et al.: Wiley-VCH.
- Eilks, I., Möllering, J., Leerhoff, G., & Ralle, B. (2001). Teilchenmodell oder Teilchenkonzept? Oder: Rastertunnelmikroskopie im Anfangsunterricht. *CHEMKON*, 8 (2), 81–85. <https://doi.org/10.1002/ckon.20010080205>
- Gruppenpuzzle Atombau* (o.D.). Zugriff am 15.03.2019. Verfügbar unter: <http://www.msina.de/gruppenpuzzleatom.doc>.
- Haynes, W.M., & Lide, D.R. (Hrsg.). (2013). *CRC Handbook of Chemistry and Physics. A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Jahrgangsstufe 10*. Beschluss vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Jahrgangsstufe 10*. Beschluss vom 16.12.2004. München: Luchterhand in Wolters Kluwer Deutschland.

- Krell, M., & Krüger, D. (2010). Diagnose von Modellkompetenz. Deduktive Konstruktion und Selektion von geschlossenen Items. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 9, 23–38.
- Lautenschläger, K.-H., Schröter, W., & Wanninger, A. (2005). *Taschenbuch der Chemie*. Frankfurt a.M.: Deutsch.
- Mikelskis-Seifert, S., & Fischler, H. (2003). Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen – Empirische Untersuchung zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 89–103.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M., & Wünscher, T. (2005). Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 4 (1), 30–46.
- Otter, C., & Stephenson, K. (2008). *Chemical Ideas. AS A2*. Oxford: Heinemann.
- Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39. <https://doi.org/10.4119/pflb-3302>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Thermische Batterie* (o.D.). Zugriff am 15.03.2019. Verfügbar unter: <http://www.leuphana.de/partner/regional/nachhaltige-energie/thermische-batterie.html>.
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

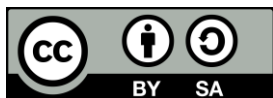
Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>

Online-Supplement:

Materialien für ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen

Tobias Allmers^{1,*}, Gabriele Beyer-Sehlmeyer²,
Fabian Schumacher³ & Matthias Wilde³

¹ Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

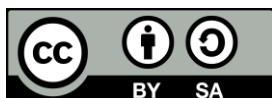
² Marienschule der Ursulinen, Bielefeld

³ Universität Bielefeld

* Kontakt: Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne,
Klosterstr. 1, 49740 Haselünne
tobias.allmers@kgsuhaseluenne.de

Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird ein Schülerexperiment zur Bestimmung des Leitwerts von Kochsalzlösungen beschrieben. Die Abhängigkeit des Leitwerts von der Konzentration und der Temperatur wird untersucht und mithilfe von Modellannahmen gedeutet. Während der Auswertung wird in das Auffinden von Ausgleichsgeraden durch Regressionsrechnung eingeführt. Die Stärke des linearen Zusammenhangs wird über eine Korrelationsrechnung kontrolliert. In einer Anwendung werden ferner Konzentrationen von Kochsalzlösungen über die Messung des Leitwerts unter Rückgriff auf eine Kalibrierkurve bestimmt und die Qualität der Methode zur Konzentrationsbestimmung reflektiert.

Schlagwörter: Experimentieren, Ionenwanderung, Unterrichtskonzept, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Die Fähigkeit einer Lösung, elektrischen Strom zu leiten, wird durch die elektrische Leitfähigkeit charakterisiert. Der Strom wird durch die in Elektrolyten vorliegenden Ionen transportiert, deren Anzahl und Beweglichkeit in der Summe zur Leitfähigkeit beitragen. Der Leitfähigkeitswert von Wasser gibt so Auskunft über mögliche Verunreinigungen bzw. über im Wasser gelöste Ionen. Folgerichtig finden Leitfähigkeitsmessungen häufig Verwendung in der Wasseranalyse für technische Anwendung und zur Kontrolle von Umweltveränderungen (Miller, Bradford & Peters, 1988). In diesem Beitrag wird zur Unterrichtseinheit „Ladungstransport“ ein Schülerexperiment zur systematischen Untersuchung der Leitfähigkeit von Kochsalzlösungen in Abhängigkeit von der Konzentration bzw. Temperatur der Lösung vorgestellt. Messungen an Proben bekannter Konzentrationen liefern eine Kalibrierkurve, die zur Bestimmung von unbekanntem Konzentrationen verwendet wird. Durch die Durchführung, Auswertung und Interpretation des Experiments wird die fachliche Bedeutung von grundlegenden Begriffen und Konzepten im Kontext von elektrischen Strömen vermittelt, und durch die eigenständige Datenaufnahme werden die für elektrolytische Vorgänge typischen Größenordnungen erfahrbar gemacht (KMK, 2004). Ferner ist die korrekte Interpretation und Deutung der experimentellen Ergebnisse nur unter Einbezug von Modellen möglich, wodurch tiefgehende Einblicke in den Umgang mit naturwissenschaftlichen Modellen möglich werden und zum Aufbau entsprechender Kompetenzen beigetragen werden kann.

2 Grundbegriffe und -konzepte

Im Folgenden werden die für die Versuchsdurchführung und Interpretation der Ergebnisse notwendigen Begriffe und Konzepte aus dem Bereich der Elektrizitätslehre und der Elektrochemie vorgestellt und die Einflüsse auf die Leitfähigkeit von Kochsalzlösungen diskutiert.

2.1 Grundgrößen des elektrischen Stromkreises

Die Charakterisierung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit erfolgt durch Messung des Stromflusses durch die Lösung bei einer bestimmten angelegten Spannung. Dies macht den Aufbau einer elektrischen Schaltung wie in Abbildung 1 notwendig. In der Schaltung ist eine Spannungsquelle eingezeichnet, deren Spannung mit einem Voltmeter parallel zu dieser gemessen wird. Ein in Reihe geschaltetes Amperemeter misst die Stromstärke. Elektroden tauchen in die zu untersuchende Salzlösung ein, welche in einen geeigneten Behälter (z.B. in einen elektrolytischen Trog) gefüllt wird.

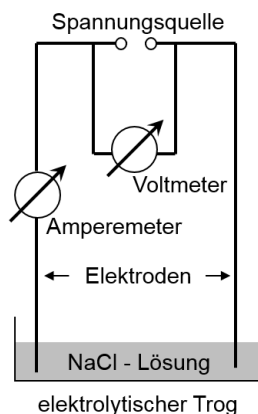


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus zur Bestimmung der Leitfähigkeit einer Kochsalzlösung (eigene Darstellung)

Die angelegte Spannung U ist ein Maß dafür, wie stark eine Spannungsquelle die Elektronen durch den Stromkreis treibt. Sie wird in Volt (V) gemessen.

Die Stärke des Flusses wird über die elektrische Stromstärke I ausgedrückt und in Ampere (A) gemessen. Eine Anzahl von $6,24 \cdot 10^{18}$ durch einen Leiterabschnitt geflossenen Elektronen pro Sekunde entspricht einer Stromstärke eines Amperes (Grehn & Krause, 2007).

Jeder Leiter setzt dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegen, der durch die angelegte Spannung überwunden werden muss. Der elektrische Widerstand R ergibt sich über die Definitionsgleichung $R=U/I$ und hat die Einheit $[R]=1 \text{ V/A}=1 \Omega$ (Ohm). Der Widerstand eines Leiters ist proportional zu seiner Länge l und umgekehrt proportional zu seiner Querschnittsfläche A . Zusammen mit dem Proportionalitätsfaktor ρ gilt die Gleichung (1).

$$R = \rho \cdot l/A \quad (1)$$

ρ ist dabei der spezifische Widerstand mit der Einheit $[\rho] = \Omega \cdot \text{m}$ (Kuhn, 2002). Der Widerstand R hängt damit von der Geometrie des Leiters und der materialabhängigen Konstante ρ ab. ρ ist abhängig von der Beweglichkeit der Ladungsträger und ihrer Anzahl im Material bezogen auf das Volumen. Vergrößert sich der elektrische Widerstand, so sinkt gemäß des *Ohm'schen Gesetzes* $I = 1/R \cdot U$ die elektrische Stromstärke bei einer konstanten Spannung (Kuhn, 2002).

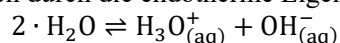
Der Kehrwert des Widerstands ist die Proportionalitätskonstante im *Ohmschen Gesetz*. Ihm kommt daher eine besondere Rolle zu und er wird als elektrischer Leitwert G bezeichnet. Über $I = G \cdot U$ gilt damit $G=I/U$ mit der Einheit $[G]=1 \text{ A/V}=1 \Omega^{-1}=1 \text{ S}$ (Siemens) (Kuhn, 2002). Ein Leiter mit einem kleinen Widerstand leitet den elektrischen Strom gut; er hat einen großen Leitwert. Vergrößert sich der elektrische Leitwert, so fließt ein größerer Strom durch den Leiter bei einer gegebenen Spannung. Über $G = 1/R = \sigma \cdot A/l$ hängt der Leitwert ebenfalls von der Geometrie des Leiters und einer Konstanten $\sigma=1/\rho$ ab, die als elektrische Leitfähigkeit bezeichnet wird (Grehn & Krause, 2007).

Für eine hohe Anzahl an freien Ladungsträgern pro Volumen und bei einer guten Beweglichkeit ist die Leitfähigkeit groß. In Metallen ist die Dichte der Ladungsträger durch die Anzahl der Metallatome pro Volumen und durch die Anzahl seiner Valenzelektronen gegeben, von denen ein bestimmter Anteil zur Ladung beiträgt (Halliday, 2009). Die Beweglichkeit der Elektronen ist durch die Gitterschwingungen der ansonsten ortsfesten Metallrümpfe eingeschränkt (Kuhn, 2002). Typische Werte für die Leitfähigkeit von Metallen liegen bei Raumtemperatur zwischen 10^6 und 10^8 S/m (Mortimer, 1996). Mit zunehmender Temperatur nehmen die Gitterschwingungen zu. Folglich steigt der elektrische Widerstand an.

In stromdurchflossenen Elektrolyten gilt ein anderer Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur, wie im nachfolgenden Abschnitt ausgeführt wird.

2.2 Stromfluss in Elektrolyten

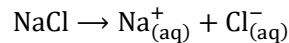
Wie bei Metallen müssen für das Fließen eines Stroms in Elektrolyten freie Ladungsträger vorhanden sein. Das Lösungsmittel Wasser ist nur schwach elektrisch leitend, da nur eine geringe Anzahl an Ionen durch die endotherme Eigendissoziation von Wasser



existiert. Die entstehenden H_3O^+ -Ionen und OH^- -Ionen sind in Wasser gelöst und somit von einer Hydrathülle umgeben (aquatisiert). Bei einer Temperatur von 25°C beträgt das Produkt der Konzentrationen beider Ionensorten $K_w=10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ (Ionenprodukt des Wassers), womit das Gleichgewicht deutlich auf der Seite der Edukte liegt (Mortimer, 1996). Im reinem Wasser sind gleichviele H_3O^+ - wie OH^- -Ionen vorhanden, also $c(\text{H}_3\text{O}^+)$

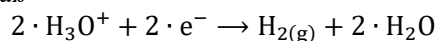
$= c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{ mol/L}$. Aufgrund dieser geringen Konzentration an freien Ladungsträgern liegt nur eine geringe Leitfähigkeit von reinem Wasser von $\sigma = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ S/m}$ vor (Lenntech, 2017).

Kristallines Salz zeigt keine Leitfähigkeit. Die Ionen bilden ein Kristallgitter aus und sind damit ortsfest. Gelöst in Wasser dissoziieren Salze und liefern Ionen, die nun frei beweglich sind. Je nach Art des Salzes ist diese Dissoziation vollständig oder unvollständig, d.h., nicht alle eingebrachten Ionen werden frei beweglich. NaCl zerfällt in Wasser vollständig gemäß



in Na^+ - und Cl^- -Ionen (Stiller, Beyer-Sehlmeyer, Friedrich, Stockey & Allmers, S. 67–79 in diesem Heft). Die Anzahl der freien Ladungsträger steigt in Abhängigkeit von der gelösten Salzmenge an. Bereits kleinste Mengen an Salzen lassen die Leitfähigkeit deutlich ansteigen. Für Trinkwasser zeigt sich beispielsweise bereits ein Leitfähigkeitswert von $5 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-2} \text{ S/m}$ (Lenntech, 2017).

Durch das Anlegen einer Spannung kommt es zum Fließen der positiv geladenen Ionen zum Minuspol der Spannungsquelle (Kathode) und zum Fließen der negativ geladenen Ionen zum Pluspol der Spannungsquelle (Anode). Erreichen die Ionen die jeweiligen Elektroden, werden diese entladen, wodurch der Stromkreis geschlossen wird. Durch die Aufnahme bzw. Abgabe von Elektronen laufen chemische Reaktionen ab. Im Falle einer Kochsalzlösung ergibt sich die in Abbildung 2 illustrierte Situation. Die Na^+ -Ionen und H_3O^+ -Ionen wandern zur Kathode. Hier nehmen die H_3O^+ -Ionen jeweils ein Elektron auf, wodurch diese gemäß



zu H_2 -Gas reduziert werden. Ein Entladen der Na^+ -Ionen findet hingegen nicht statt, da diese Reaktion relativ zur Entladung der H_3O^+ -Ionen ein negatives Redoxpotential hat und daher benachteiligt ist (Holleman & Wiberg, 2007).

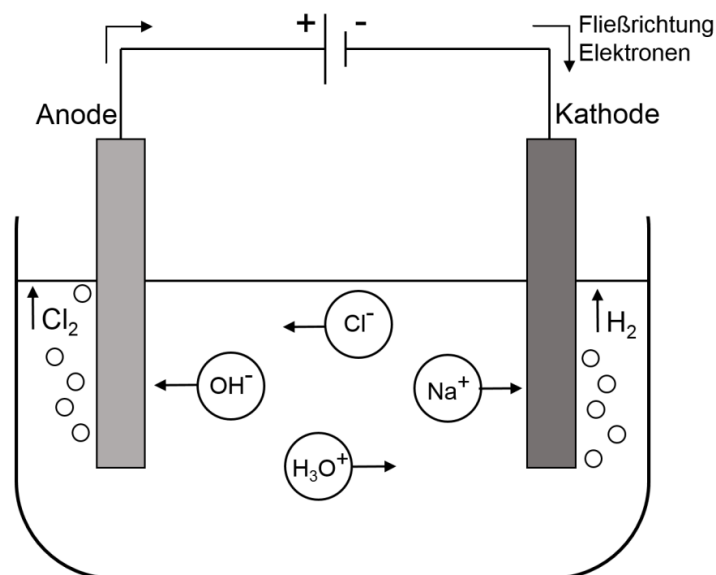


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Ladungstransports in einer NaCl-Lösung. An der Anode und Kathode steigen Chlorgas bzw. Wasserstoffgas auf. (eigene Darstellung)

Zur Anode wandern die negativ geladenen Cl^- - und OH^- -Ionen. Die OH^- -Ionen verbleiben an der Anode als geladene Ionen, während die Cl^- -Ionen aufgrund ihres negativeren Redoxpotentials durch Abgabe ihres überzähligen Elektrons gemäß $2 \cdot \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \cdot \text{e}^-$ zu Cl_2 -Gas oxidiert werden.

Insgesamt läuft damit die Gesamtreaktion $2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot \text{Na}^+ + 2 \cdot \text{Cl}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \cdot \text{Na}^+ + 2 \cdot \text{OH}^-$ ab (Mortimer, 1996, S. 353). Einblick in die ablaufenden chemischen Reaktionen liefert die Beobachtung der Gasbildung an beiden Elektroden. Verbunden mit der Bildung von Wasserstoffgas ist die Verringerung der H_3O^+ -Ionenkonzentration in der Lösung. Die Konzentration der OH^- -Ionen nimmt aufgrund der Eigendissoziation des Wassers unter Berücksichtigung des Ionenprodukts in dem Maße zu, wie die H_3O^+ -Konzentration abnimmt. Folgerichtig wird die Lösung alkalisch. Durch einen geeigneten Indikator kann der Anstieg im pH-Wert festgestellt werden, wodurch sich ein weiterer Hinweis auf die ablaufende Reaktion ergibt.

2.3 Einflüsse auf die Leitfähigkeit

Nach Kapitel 2.1 ist der Leitwert für eine gegebene Spannung proportional zur Stromstärke. Damit ist der Leitwert groß, wenn i) viele Ionen vorhanden sind, ii) die Ionen eine große Ladung tragen oder iii) die Geschwindigkeit der Ionen groß ist. Im Folgenden werden die genannten Abhängigkeiten in der für das Verständnis des Schülerexperiments notwendigen Detailtiefe in den Blick genommen.

i) Die Leitfähigkeit von wässrigen Lösungen steigt mit der Anzahl des gelösten Salzes an, da die Anzahl der freien Ladungsträger zunimmt. Allerdings steigt die spezifische Leitfähigkeit nur bis zu einem bestimmten Wert linear mit der Konzentration, um dann weniger stark zu steigen oder sogar abzufallen. Abbildung 3 zeigt dieses Verhalten für die Salze KCl, NaCl und LiCl.

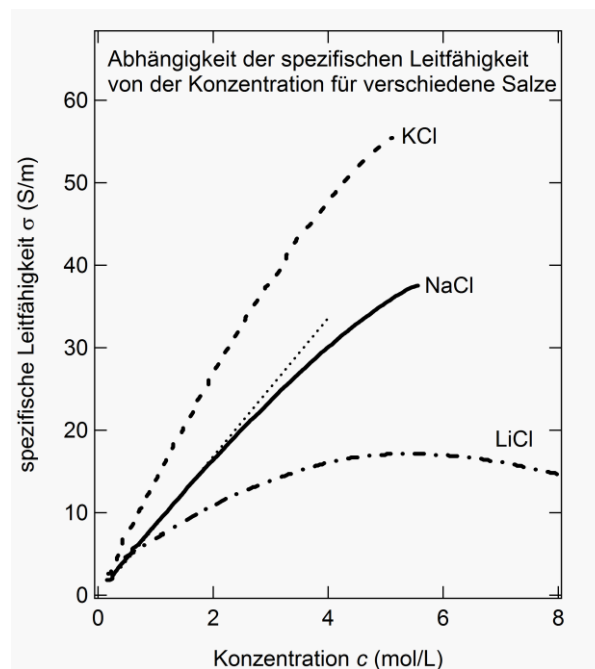


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen der spezifischen Leitfähigkeit verschiedener Salze und ihrer Konzentration (KCl, NaCl: Gauglitz & Löbert, 2017; LiCl: Kameyama, 1963). Die gepunktete Gerade zeigt die Annäherung an ein lineares Verhalten für NaCl-Lösungen für geringe Konzentration. (eigene Darstellung)

Der geringer werdende Anstieg in der Leitfähigkeit bzw. dessen Rückgang kann verstanden werden, wenn die Wechselwirkung der Ionen untereinander betrachtet wird, die auch auf der gegenseitigen Anziehung, vermittelt durch die Ladung, beruht (Mittag & Pfriender, 2017). Ist die Konzentration hinreichend niedrig, kann näherungsweise ein linearer

Zusammenhang zwischen der spezifischen Leitfähigkeit und der Konzentration angenommen werden. Für die Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung ist dies bis zu einer Konzentration von 1,6 mol/L erfüllt (vgl. gepunktete Gerade in Abb. 3 auf der vorherigen Seite als lineare Näherung).

ii) Die Leitfähigkeit steigt für eine gegebene Konzentration für Ionensorten, die eine größere Ladungsmenge (d.h. ein größeres ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung) transportieren. Diese Abhängigkeit spielt für das vorliegende unterrichtspraktische Vorhaben keine Rolle, da nur NaCl-Lösungen in den Blick genommen werden. Eine Übersicht der molaren Leitfähigkeiten unterschiedlicher Ionen findet sich z.B. bei Petermann, Friedrich & Oetken (2010).

iii) Ist die Geschwindigkeit der Ladungsträger groß, so fließt eine große Ladungsmenge innerhalb einer bestimmten Zeit. Die maximale Geschwindigkeit der Ionen ergibt sich aus dem Gleichgewicht der beschleunigenden Kraft im elektrischen Feld und der abbremsenden Reibungskraft innerhalb des Mediums. Innerhalb eines elektrischen Feldes der Stärke E wirkt eine beschleunigende Kraft $F_{el} = q \cdot E$ auf die Ladungsträger mit der Ladung q (Grehn & Krause, 2007). Die Ladung q ist dabei ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung e , also gilt: $q = e \cdot Z$. Mit steigender Geschwindigkeit v nimmt die Reibungskraft gemäß $F_R = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$ zu. Die Reibungskraft wird aufgrund der angenommenen Kugelform der gelösten Ionen mit dem Radius r und der wirbelfreien Bewegung der Ionen in der Lösung durch das *Stokessche Reibungsgesetz* beschrieben (Eichler, 2011; Demtröder, 1998). η ist dabei die Viskosität des betrachteten Mediums. Halten sich Reibungskraft und elektrische Kraft die Waage, so findet keine weitere Beschleunigung der Ionen statt. Nach Umformen von $F_{el} = F_R$ gilt für die maximale Geschwindigkeit die Gleichung (2).

$$v_{\max} = \frac{Z \cdot e \cdot E}{6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta} \quad (2)$$

Bezieht man die maximale Geschwindigkeit auf das Feld, so ergibt sich die elektrische Beweglichkeit u der Ionen (Atkins & de Paula, 2006). Es gilt die Gleichung (3).

$$u = \frac{Z \cdot e}{6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta} \quad (3)$$

u ist proportional zur Ladung des Ions und umgekehrt proportional zur Viskosität. Die Viskosität sinkt mit steigender Temperatur deutlich ab (Eichler, 2011). Entsprechend steigt die Beweglichkeit der Ionen an. Die Beweglichkeit ist ferner umgekehrt proportional zum Radius des gelösten Ions, d.h. inklusive der Hydrathülle. Die Größe der Hydrathülle richtet sich nach Größe und Ladung der Ionen. Aufgrund der *Coulomb-Wechselwirkung* ist ein kleineres oder stärker geladenes Ion von einer größeren Hydrathülle umgeben. Eine größere Hydrathülle senkt die Beweglichkeit des Ladungsträgers. Dies erklärt die Abnahme der molaren Leitfähigkeit von Na^+ -Ionen auf $50,1 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ im Vergleich zu K^+ -Ionen ($73,5 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) bzw. die Abnahme auf $38,7 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ für Li^+ (z.B. Petermann et al., 2010).

3 Das Schülerexperiment und methodische Aspekte

<u>fachliche Inhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> • grundlegende Größen in Stromkreisen, insbesondere Leitfähigkeit und Leitwert • Strom als Ladungstransport, insbesondere in Elektrolyten • Kräfte in elektrischen Feldern • Reibung 	<u>experimentelle Methoden</u> <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau einfacher elektrischer Stromkreise • Messung von elektrischen Grundgrößen • Bestimmung des Leitwerts von Kochsalzlösungen
<u>Wissenschaftstheorie</u> <ul style="list-style-type: none"> • Idealisieren und modellieren von realen Vorgängen • Vergleich von empirischen Ergebnissen mit Modellannahmen 	<u>Auswertemethoden</u> <ul style="list-style-type: none"> • lineare Regressions- und Korrelationsrechnung • Bestimmung von Konzentrationen aus Messung des Leitwerts

Abbildung 4: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte sowie Kompetenzen (eigene Darstellung)

3.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Die Unterrichtseinheit (vgl. Abb. 4) ist auf fünf Doppelstunden ausgelegt. In den Erarbeitungsphasen werden neben Planung und Durchführung eines Experiments zur Bestimmung der Leitfähigkeit von Kochsalzlösungen Hilfsmittel zum Aufstellen einer Regressionsgeraden erlernt und durch die Auswertung der erhobenen Daten zur Anwendung gebracht. Durch die Einführung der Korrelationsrechnung kann ferner quantitativ angegeben werden, wie sicher der festgestellte lineare Zusammenhang zwischen der unabhängigen und der abhängigen Größe ist (Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht).

Die wissenschaftstheoretischen Aspekte werden insbesondere dadurch deutlich, dass die Schüler*innen Phänomene beschreiben und auf andere physikalische Zusammenhänge zurückführen. Hierfür ist es notwendig, die Realität durch Modelle zu idealisieren. Einfache Annahmen stoßen dabei auf Grenzen, die entsprechend thematisiert werden müssen. Für die Konzentrationsabhängigkeit des Leitwerts bedeutet dies, dass durch die Wahl des Untersuchungsspektrums eine lineare Abhängigkeit nahegelegt werden könnte. In der Modellvorstellung werden dann Wechselwirkungen zwischen den Ionen nicht beachtet. Ein Einbeziehen von Literaturwerten zum Aufzeigen der Grenzen des Modells wird dadurch notwendig. Für die Temperaturabhängigkeit des Leitwerts ergeben sich die Grenzen des Modells bei hohen Temperaturen aufgrund des Übergangs des Wassers in die Gasphase.

Der Einstieg in die Unterrichtseinheit stellt die Identifizierung der Ladungsträger in Elektrolyten dar. Hierfür wird in einem Vorversuch die elektrische Leitfähigkeit von destilliertem Wasser, kristallinem Kochsalz und von Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration qualitativ über die Stärke des Leuchtens einer Glühlampe charakterisiert. Durch weitere Voruntersuchungen sollen die Schüler*innen befähigt werden, geeignete Hypothesen für das Schülerexperiment aufzustellen und wichtige Randbedingungen für das Schülerexperiment zu erkennen.

Der Übergang vom Vorversuch zum Experiment wird dadurch motiviert, dass naturwissenschaftliches Arbeiten unabhängig von subjektiven Eindrücken (hier: Helligkeit der Lampe) sein muss (Allmers, Stiller & Wilde, S. 53–66 in diesem Heft). Dies macht

die Erfassung von objektiven Größen notwendig, die das Vermögen einer Substanz wiedergeben, den elektrischen Strom zu leiten. Eine geeignete Größe zur Charakterisierung ist bei gleichbleibender Geometrie des Experiments der im Unterrichtsgespräch eingeführte Leitwert. Für ein tiefergehendes Verständnis in der Auswertung und Durchführung des Experiments werden wesentliche Begriffe und Konzepte zu Grundlagen aus der Elektrizitätslehre wiederholt. Ferner werden die notwendigen Kompetenzen zur Messung von Spannung und Strom aufgebaut. Das prinzipielle Bestimmen von Größen aus Definitionsgleichungen unter Berücksichtigung von signifikanten Ziffern wird an dieser Stelle als bekannt vorausgesetzt (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Für die Einschätzung der Zuverlässigkeit und Aussagekraft der Methode bedarf es der Berechnung der Standardabweichung und des Standardfehlers der empirischen Daten. Die Berechnung ist den Schüler*innen ebenfalls bekannt (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Anhand des Leitwerts werden ferner Kochsalzkonzentrationen von unbekanntem Proben bestimmt. Dies geschieht über einen Vergleich von Leitwerten bekannter Konzentrationen über eine Kalibrierkurve. Eine Zuordnung der ermittelten Konzentration zu möglichen Gewässern geschieht mithilfe einer Auswahl dieser, die den Schüler*innen hierfür zur Verfügung gestellt wird.

Für eine Binnendifferenzierung kann im Rahmen dieser Zuordnung die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, dass die bestimmten Mittelwerte der Konzentration tatsächlich unterschiedlich und nicht nur aufgrund von statistischen Schwankungen beim Messprozess entstanden sind (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Hierfür werden für die charakterisierten Proben die Normalverteilungen aus den Mittelwerten und Standardfehlern als mathematische Modelle erzeugt und anschließend der Anteil der Fläche der Überlappung der Verteilungen in Bezug zur Gesamtfläche betrachtet. Je kleiner diese Überlappung ist, desto sicherer ist der Unterschied in den Mittelwerten aufgrund der betrachteten Konzentrationen. Die Abschätzung soll im Rahmen des hier vorgestellten Experiments nur qualitativ vorgenommen und als Maß für die Wahrscheinlichkeit verstanden werden, mit der die beobachteten Unterschiede aufgrund der Streuung der Messwerte entstanden sind.

Für die Konzentrationsangabe wird die gelöste Stoffmenge in Mol pro Liter Lösung angegeben. Auf diese Weise ist ein Zugang über die Teilchenzahl und damit über die Anzahl der Ladungsträger in wässriger Lösung direkt möglich.

3.2 Methodische Einbindung

Entsprechend der Kompetenztreppe für das naturwissenschaftliche Arbeiten finden die meisten Entscheidungen zu dem experimentellen Vorgehen in einer Schüler*innen-Lehrer*innen-Interaktion statt (für eine Übersicht siehe Online-Supplement, Material 1) (Stiller, Stockey, Hahn, & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft). Die Eigenständigkeit der Schüler*innen bei der Planung des Experiments wird gefördert, indem diese die Anzahl der Messwiederholungen festlegen. Das Untersuchungsspektrum soll ebenfalls weitestgehend von den Schüler*innen festgelegt werden, doch sind hier Einschränkungen aufgrund der verwendeten Spannungsquellen zu beachten. Ferner ist die Zuordnung von unbekanntem Konzentrationen über den Leitwert deutlich einfacher, wenn der Zusammenhang zwischen Konzentration und Leitwert linear ist (vgl. Abb. 3 auf S. 84).

Aufgrund der angestrebten Auswertung mit Bestimmung der jeweiligen Mittelwerte und des zugehörigen Standardfehlers für die Daten der gesamten Lerngruppe werden zusammen mit der Lehrkraft die erforderlichen Vereinheitlichungen für die Datenaufnahme besprochen. Idealerweise erfolgt die Verschriftlichung der Absprachen in einer gemeinsamen Experimentieranleitung (für ein Beispiel siehe Online-Supplement, Material 3). Die im Experiment erhobenen Daten werden dabei selbsttätig von den Schüler*innen durch Aushängen der erstellten Wertetabelle der gesamten Lerngruppe zugänglich gemacht.

Die Autonomie der Schüler*innen wird weiter gefördert, indem die Darstellung, Analyse und Interpretation der Daten eigenständig mit einer möglichen Hilfestellung (vgl.

Online-Supplement, Material 4) durchgeführt werden soll. Die Formulierung der Schlussfolgerung durch Prüfung der Hypothesen wird ebenfalls von den Schüler*innen vorgenommen.

3.3 Durchführung und Auswertung

3.3.1 Vorversuch zur Hypothesenbildung

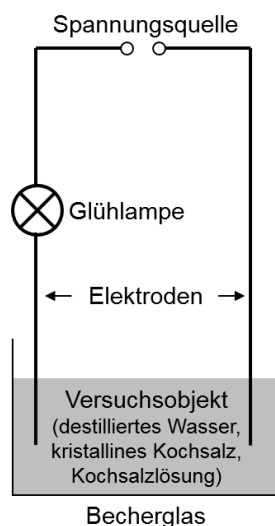


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Aufbaus zur Überprüfung der Leitfähigkeit unterschiedlicher Stoffe (eigene Darstellung)

Der Vorversuch besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil wird in einem Demonstrationsversuch die Leitfähigkeit von i) destilliertem Wasser, ii) kristallinem Kochsalz und iii) einer Kochsalzlösung überprüft, indem die Helligkeit einer Glühlampe betrachtet wird, wenn der Stromkreis durch die oben genannten Versuchssubjekte geschlossen bzw. nicht geschlossen wird (schematische Darstellung in Abb. 5). Die zu überprüfenden Objekte werden hierfür in Bechergläser gefüllt und über Elektroden kontaktiert (vgl. Abb. 6). Zur Überprüfung von Kochsalzlösung auf ihre Fähigkeit den elektrischen Strom zu leiten, wird die Konzentration durch weiteres Lösen von Kochsalz erhöht.

Infobox 1:	Vorversuch – Teil 1: Demonstrationsversuch
Ziele:	Erkenntnis, dass freie Ladungsträger für die Stromleitung notwendig sind und ihre Konzentration durch das Lösen von Kochsalz gesteigert wird
Geräte:	Spannungsquelle (0 bis 15 V), Glühlampe, Büschelstecker, drei Bechergläser (150 mL)
Chemikalien:	destilliertes Wasser, Kochsalz

Abbildung 6: Infobox für den ersten Teil des Vorversuchs „Demonstrationsversuch“ (eigene Darstellung)

In einem zweiten Teil werden in weiteren Vorversuchen durch die Schüler*innen Parameter untersucht, die einen Einfluss auf die Helligkeit der Glühlampe und damit auf den Stromfluss haben (Abb. 7 auf der folgenden Seite). Die Ergebnisse werden qualitativ festgehalten und nach Möglichkeit gedeutet (vgl. Online-Supplement, Material 2). Zu den Parametern zählen der Abstand der Elektroden zueinander und deren benetzte Fläche sowie die Größe der angelegten elektrischen Spannung und die Temperatur der Lösung.

Die qualitative Abstandsänderung wird durch Annähern bzw. Entfernen der Elektroden realisiert. Eine qualitative Veränderung der benetzten Fläche der Elektroden wird durch unterschiedliche Eintauchtiefen erreicht. Die Änderung der Spannung erfolgt über eine variable Spannungsquelle. Die Änderung der Temperatur erfolgt über das Erwärmen des feuerfesten Becherglases auf einer Kochplatte. Eine Temperaturkontrolle erfolgt über ein Thermometer.

Infobox 2:	Vorversuch – Teil 2: Schülerexperiment
Ziele:	Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Fähigkeit einer Kochsalzlösung Strom zu leiten
Geräte:	Spannungsquelle (0 bis 15 V, variabel einstellbar), Glühlampe, Büschelstecker, Becherglas (150 mL), Heizplatte, Thermometer
Chemikalien:	Kochsalzlösung (0,35 mol/L)

Abbildung 7: Infobox für den zweiten Teil des Vorversuchs „Schülerexperiment“ (eigene Darstellung)

3.3.2 Schülerexperiment

In dem eigentlichen Experiment soll bei gleicher Geometrie des Aufbaus (Eintauchtiefe und Abstand der Elektroden) der Einfluss der Konzentration und der Temperatur auf die Leitfähigkeit von Kochsalzlösungen quantitativ charakterisiert werden, indem die Konzentration bzw. die Temperatur separat voneinander systematisch variiert werden. Durch die Überlegungen zu den Vorversuchen sind die Schüler*innen befähigt, geeignete Hypothesen für die Experimente aufzustellen. Diese sind sinngemäß „Bei einer Erhöhung der Salzkonzentration erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen in dem Maße, wie sich die Konzentration der Lösung erhöht“ bzw. „Bei einer Erhöhung der Temperatur der Lösung erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen“.

Als Maß für die Leitfähigkeit wird der Leitwert G der Kochsalzlösung bestimmt, indem eine Spannung an die Elektroden angelegt wird und der jeweils gemessene Stromfluss durch die Kochsalzlösung auf die Größe der angelegten Spannung bezogen wird. Die angelegte Spannung soll dabei möglichst konstant sein, wird aber mitgemessen. Im Allgemeinen tritt zwar bei einer gleichzeitigen Messung von Spannung und Stromstärke ein Messfehler auf. Dieser ist aber wegen des sehr großen Innenwiderstands des Voltmeters relativ zum Widerstand der zu untersuchenden Kochsalzlösung und des geringen Innenwiderstands des Amperemeters vernachlässigbar klein.

Für den Vergleich der Leitwerte muss eine identische Geometrie im Versuchsaufbau unter Beachtung der weiteren Randbedingungen (angelegte Spannung von 5,0 V und Proben bei Raumtemperatur) realisiert werden. Hierfür werden identische Elektroden in elektrolytische Tröge (kleine Glaswannen) eingebracht, die spezielle Vertiefungen zur Aufnahme der Elektroden haben und dadurch ein unabsichtliches Verrutschen der Elektroden verhindern. Durch die Zugabe eines definierten Volumens an Kochsalzlösung (hier $1,00 \cdot 10^2$ mL) ist die Eintauchtiefe der Elektroden in die Lösungen reproduzierbar.

Als Elektrodenmaterial wird das chemisch resistente Graphit verwendet. Die Kontaktierung der Elektroden findet über Krokodilklemmen statt. Um den schädlichen Einfluss von Chlorgas zu minimieren, kann anstelle einer Gleichspannungsquelle auch Wechselspannung verwendet werden oder unter einem Abzug gearbeitet werden. Die Produktion des Gases lässt sich weiter minimieren, indem die Dauer des Stromflusses auf die Dauer der Messung begrenzt wird. Nach der von den Schüler*innen festgelegten Anzahl an Wiederholungen der Messungen wird die Lösung in den Ausguss entsorgt und durch die nächste Konzentration ersetzt.

Die systematische Untersuchung des Leitwerts in Abhängigkeit von der Konzentration erlaubt die Erstellung einer Kalibrierkurve zur Bestimmung von unbekanntem Konzentrationen.

Für einen anwendungsorientierten Ansatz sind die zu bestimmenden Kochsalzlösungen dem Salzgehalt von bestimmten Gewässern (vgl. Online-Supplement, Material 5) nachempfunden. Damit bei der Bestimmung der Konzentration der Bereich der linearen Abhängigkeit des Leitwerts von der Konzentration nicht verlassen wird, werden die Konzentrationen durch Verdünnung mit destilliertem Wasser auf ein Zehntel reduziert. Für die Bestimmung des Leitwerts in Abhängigkeit von der Temperatur der Lösung wird eine für die Leistung der Spannungsquelle geeignete Konzentration ausgewählt und in ausreichender Menge für die gesamte Lerngruppe erhitzt und ein definiertes Volumen möglichst zügig auf die bereitgestellten elektrolytischen Tröge verteilt. Während die Lösung in den elektrolytischen Trögen abkühlt, bestimmen die Schüler*innen die für die Berechnung des Leitwerts notwendigen Daten für die festgelegten Temperaturen.

3.4 Mögliche Ergebnisse und ihre Dokumentation

3.4.1 Ergebnisse und Diskussion zum Vorversuch

Im ersten Teil des Vorversuchs zeigt sich durch das Nicht-Aufleuchten der Glühlampe, dass NaCl in fester Form den elektrischen Strom nicht leitet. Gleiches gilt für destilliertes Wasser. Wird allerdings NaCl in Wasser gelöst, so kann ein Stromfluss durch das Aufleuchten der Glühlampe nachgewiesen werden. Die Leuchtstärke erhöht sich zudem, wenn mehr Kochsalz im Wasser gelöst wird. In einem geleiteten Unterrichtsgespräch werden über die Auswertung der Beobachtungen freie Ladungsträger als notwendige Bedingung für einen Stromfluss identifiziert. Mit steigender Anzahl an Ladungsträgern steigt die Fähigkeit zur Stromleitung.

Während durch den vorangegangenen Unterricht Kenntnisse über den Aufbau von Salzen und das Auflösen von Kochsalz in Natrium- und Chloridionen bei den Schüler*innen als bekannt vorausgesetzt werden können (Stiller, Beyer-Sehlmeyer et al., S. 67–79 in diesem Heft), müssen die Eigendissoziation von Wasser und die daraus resultierende schwache Leitfähigkeit, vermittelt durch die H_3O^+ - und OH^- -Ionen, eingeführt werden. Ein experimenteller Nachweis dieser äußerst geringen Leitfähigkeit ist im Rahmen des hier vorgestellten Demonstrationsversuchs (vgl. Abb. 5 auf S. 88) nicht möglich, wohl aber durch den Aufbau im späteren Schülerexperiment (vgl. Abb. 1 auf S. 81).

Im Vorexperiment beobachten die Schüler*innen, dass eine Vergrößerung der angelegten Spannung ebenfalls zu einer Vergrößerung des Stromflusses führt, was auf die Vergrößerung des elektrischen Feldes und schließlich auf eine größere Geschwindigkeit der Ladungsträger zurückzuführen ist (vgl. Gleichung (2) auf S. 85). Durch die Verringerung des Abstands der beiden Elektroden sowie die Vergrößerung der von den Elektroden benetzten Fläche vergrößert sich ebenfalls die Leuchtstärke der Glühlampe, da sich der elektrische Widerstand aufgrund des größeren Leiterquerschnitts A und der kürzeren Länge l verringert (vgl. Gleichung (1) auf S. 82). Beim Erwärmen der Kochsalzlösung zeigt sich, dass die Helligkeit der Glühlampe mit der Temperatur zunimmt, was auf die erhöhte Beweglichkeit der Ionen aufgrund einer geringeren Viskosität η der Flüssigkeit zurückzuführen ist (vgl. Gleichung (3) auf S. 85).

3.4.2 Ergebnisse und Diskussion zur Abhängigkeit des Leitwerts von der Konzentration

Durch den Einsatz von Lösungen mit gleichen Konzentrationen können die Daten für die Leitwerte der einzelnen Gruppen gesammelt und durch die Bildung von Mittelwerten und Standardfehlern zusammengefasst werden. Tabelle 1 auf der folgenden Seite gibt die Ergebnisse für die Konzentrationsabhängigkeit wieder.

Tabelle 1: Ergebnisse der Bestimmung der Leitwerte für unterschiedliche Konzentrationen. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte mit dazugehörigen Standardfehlern (eigene Berechnung).

Temperatur der Lösung $T= 25\text{ °C}$	
Konzentration c (mol/L)	Leitwert G (mS)
0,00	$0,28 \pm 0,05$
0,03	$3,15 \pm 0,34$
0,09	$6,90 \pm 0,66$
0,17	$12,24 \pm 1,43$
0,26	$15,83 \pm 2,11$
0,35	$24,32 \pm 2,37$
0,52	$32,45 \pm 2,23$
0,71	$46,18 \pm 2,41$

Die Abhängigkeit von der Konzentration wird in Abbildung 8 dargestellt. Die Punkte kennzeichnen den Mittelwert der Leitwerte. Die Standardfehler der Mittelwerte sind durch die jeweiligen Fehlerbalken gegeben. Der Verlauf der Datenpunkte lässt sich in guter Übereinstimmung durch eine Ausgleichsgerade modellieren (gestrichelte Linie). Der lineare Anstieg des Leitwerts mit der Konzentration der Kochsalzlösung innerhalb des betrachteten Bereichs stimmt mit der Literatur überein (vgl. Abb. 3 auf S. 84). Die Lage der Ausgleichsgeraden wird über eine Regressionsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 637), ohne die Konfidenzintervalle der Mittelwerte zu berücksichtigen.

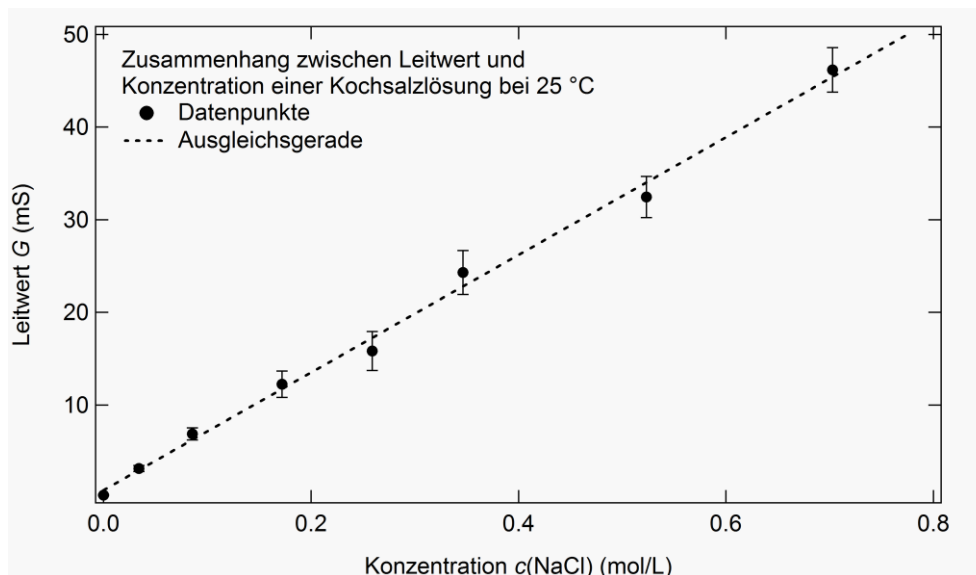


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen dem Leitwert einer Kochsalzlösung und ihrer Konzentration. Der Verlauf der Daten kann durch eine Ausgleichsgerade beschrieben werden. Die Verwendung einer linearen Funktion ist im niederkonzentrierten Bereich gerechtfertigt. (eigene Darstellung)

Für den Zusammenhang zwischen Leitwert G in mS und Konzentration c in mol/L ergibt sich die Funktionsvorschrift $G(c) = 63,46\text{ mS} \cdot \text{L/mol} \cdot c + 0,83\text{ mS}$. Der gefundene

lineare Zusammenhang wird durch den linearen Korrelationskoeffizienten von 0,998 bestätigt. Die Hypothese „Bei einer Erhöhung der Salzkonzentration erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen in dem Maße, wie sich die Konzentration der Lösung erhöht“ kann damit angenommen werden. Hier sollte allerdings der Gültigkeitsbereich des linearen Zusammenhangs hinsichtlich der Konzentration angegeben werden (vgl. Kap. 3.1 und Abb. 3 auf S. 84).

Mithilfe des Diagramms in Abbildung 8 auf der vorherigen Seite lassen sich die Konzentrationen der unbekanntenen Kochsalzlösungen über die gemessenen Leitwerte bestimmen. Hierfür wird der Punkt auf der Ausgleichsgerade gesucht, der als eine Koordinate den Mittelwert des ermittelten Leitwerts enthält. Die zugehörige Konzentration lässt sich anhand einer Linie durch diesen Punkt parallel zur Hochachse bestimmen. Auf ähnliche Weise lässt sich die Unsicherheit der Konzentrationsbestimmung bestimmen (vgl. Online-Supplement, Material 4).

Neben der graphischen Bestimmung der Konzentrationen kann diese auch über die Funktionsvorschrift der Regressionsgeraden vorgenommen werden, was sich beispielsweise im Rahmen einer Binnendifferenzierung einsetzen lässt.

Die Ergebnisse aus den Messungen mit zugehöriger Konzentrationsbestimmung und Zuordnung zu den Gewässern unter Beachtung der Verdünnung um Faktor zehn finden sich in Tabelle 2. Prinzipiell ist eine Zuordnung der Gewässer nach dem Mittelwert des Leitwerts für eine gegebene Auswahl möglich (vgl. Online-Supplement, Material 5). Die Unsicherheit für die ermittelten Konzentrationen ist hier allerdings so groß, dass die Zuordnung nicht eindeutig ist. So ist die Differenz zwischen den Mittelwerten von Probe A und Probe B mit 0,07 mol/L sehr viel kleiner als die dazugehörigen Standardfehler (vgl. Tab. 2). Damit können die Unterschiede auch aufgrund von statistischen Schwankungen entstanden sein. Abbildung 9 auf der folgenden Seite veranschaulicht dies. Gezeigt sind Normalverteilungen, die aufgrund der Kennwerte Mittelwert und Standardfehler für die Proben A, B und C erzeugt wurden. Die Verteilung für Probe A liegt fast vollständig in der Verteilung von Probe B. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass es sich *nicht* um zwei verschiedene Proben handelt, sehr hoch.

Für die Probe C gilt, dass die Überlappung zwischen den Verteilungen für Probe C und A zwar geringer ist, doch immer noch so groß, dass die Unterschiede in den Mittelwerten signifikant verschieden voneinander sind (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Somit ist über den Leitwert für die hier durchgeführten Experimente keine eindeutige Identifizierung von Proben möglich.

Tabelle 2: Ergebnisse der Bestimmung der Leitwerte für die unbekanntenen Proben und der daraus resultierenden Konzentration der Kochsalzlösung mit Zuordnung zu den Gewässern. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte mit dazugehörigen Standardfehlern (eigene Berechnung).

Probe	Leitwert G (mS)	Konzentration c (mol/L)	Konzentration c der unverdünnten Probe (mol/L)	Zuordnung zu den Gewässern (mol/L)
A	$26,1 \pm 4,9$	$0,398 \pm 0,077$	$3,98 \pm 0,77$	Urmiasee (3,49)
B	$26,7 \pm 5,4$	$0,408 \pm 0,085$	$4,08 \pm 0,85$	Totes Meer (4,36)
C	$19,4 \pm 3,1$	$0,293 \pm 0,049$	$2,92 \pm 0,49$	Großer Salzsee (2,68)

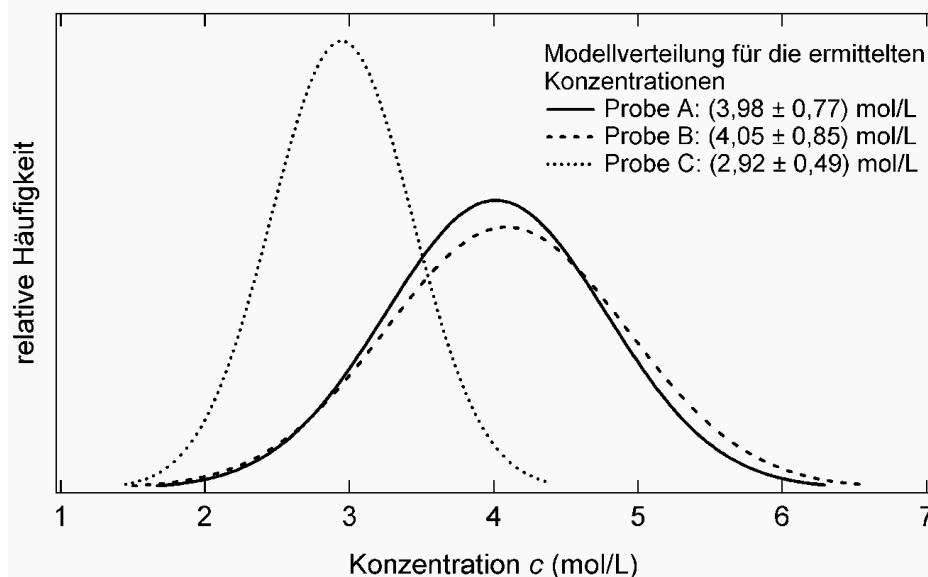


Abbildung 9: Modellverteilungen für die Resultate in der Konzentrationsbestimmung der Proben A, B und C. Der Verlauf der Kurve folgt einer Normalverteilung, die aufgrund der bestimmten Mittelwerte und des dazugehörigen Standardfehlers erzeugt wurde. (eigene Darstellung)

3.4.3 Ergebnisse und Diskussion zur Abhängigkeit des Leitwerts von der Temperatur

Die ermittelten Leitwerte einer Kochsalzlösung mit einer Konzentration von 0,35 mol/L in Abhängigkeit von der Temperatur sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Ergebnisse der Bestimmung der Leitwerte für unterschiedliche Temperaturen. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte mit dazugehörigen Standardfehlern (eigene Berechnung).

Konzentration der Lösung $c = 0,35 \text{ mol/L}$	
Temperatur T (°C)	Leitwert G (mS)
25	$25,2 \pm 3,9$
40	$35,1 \pm 0,6$
45	$41,7 \pm 6,5$
50	$45,9 \pm 7,4$
55	$48,2 \pm 7,3$
60	$51,7 \pm 7,4$
65	$56,1 \pm 1,5$
70	$60,1 \pm 1,2$

Abbildung 10 auf der folgenden Seite zeigt das Ergebnis in einem Diagramm. Auf der linken Hochachse ist der Leitwert aufgetragen. Die Punkte kennzeichnen die Mittelwerte der erhobenen Leitwerte. Der Standardfehler der Mittelwerte ist gegeben durch die Fehlerbalken. Auf der rechten Hochachse ist die inverse Viskosität in Abhängigkeit von

der Temperatur des Lösungsmittels Wasser aufgetragen (durchgezogene Linie nach VDI, 1997). Das von der inversen Viskosität gezeigte exponentielle Verhalten für Wasser zeigt sich ferner auch für Kochsalzlösungen (Tanaka, 1962; Phillips, Igbene, Fair, Ozbek & Tavana, 1981). Die erhobenen Leitwerte der Kochsalzlösung folgen dem Verlauf der inversen Viskosität von Wasser in Übereinstimmung mit anderen temperaturabhängigen Messungen der Leitfähigkeit (Phillips et al., 1981). Die Zunahme des Leitwerts mit der Temperatur kann auf den Anstieg der Beweglichkeit der Ionen zurückgeführt werden, da diese nach Gleichung (3) (vgl. S. 85) proportional zu $1/\eta$ ist. Dies ist auch eine Bestätigung der in Abschnitt 2.3 gemachten Modellannahmen, insbesondere für die Verwendung des *Stokesschen Reibungsgesetzes*. Die Hypothese „Bei einer Erhöhung der Temperatur der Lösung erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen“ kann damit angenommen werden.

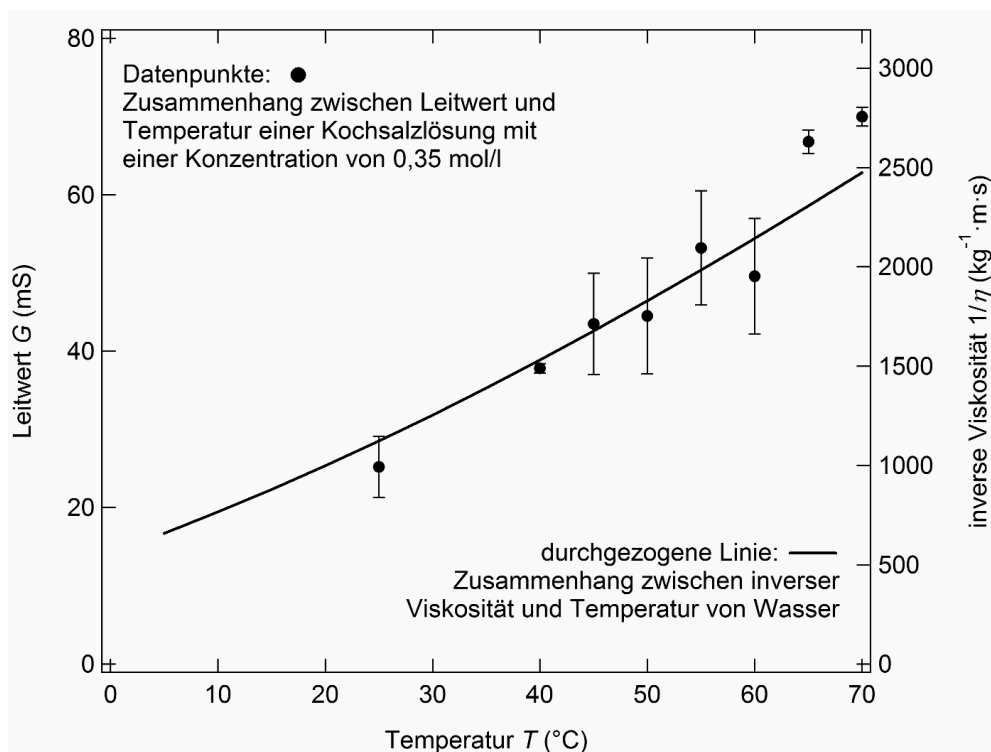


Abbildung 10: Linke Hochachse: Zusammenhang zwischen dem Leitwert einer Kochsalzlösung mit der Konzentration von 0,35 mol/L und der Temperatur der Lösung; rechte Hochachse: Zusammenhang zwischen der inversen Viskosität von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur (VDI, 1997) (eigene Darstellung)

4 Anregungen zur Reflexion und Ausblick

Durch das in diesem Beitrag vorgestellte Experiment können grundlegende Konzepte und Begriffe für einfache Stromkreise eingeführt und durch die Erhebung und Auswertung empirischer Daten gefestigt werden. Der Stromfluss durch eine Kochsalzlösung wird dabei auf den Ladungstransport durch Ionen zurückgeführt. Die Abhängigkeit der Leitfähigkeit bzw. des Leitwerts von Elektrolyten kann identifiziert und über systematische Messungen sowie Auswertungen quantifiziert werden. Mithilfe der linearen Regressions- und Korrelationsrechnung gelingt das Aufstellen eines mathematischen Modells für die Abhängigkeit des Leitwerts von der eingesetzten Konzentration (ver-

dünnter) Kochsalzlösungen. Weitere statistische Verfahren werden eingesetzt, um qualitative Abschätzungen für die Verlässlichkeit der Identifizierung von Proben unbekannter Konzentration über den Einsatz einer Kalibrierkurve vorzunehmen. Eine Vertiefung hinsichtlich eines quantitativen Verfahrens zur Überprüfung auf Signifikanzen ist hier denkbar. Die für den Stromfluss durch eine Kochsalzlösung aufgestellten Modellvorstellungen können durch die Beobachtung der Reaktionsprodukte überprüft werden. Weitere Zusammenhänge des Ladungstransportes können hier durch die Mathematisierung der Abhängigkeit des Leitwerts von der Temperatur identifiziert bzw. die Modellvorstellung bestätigt werden.

Das vorgestellte Experiment kann durch die Auswahl weiterer Salze (z.B. LiCl und KCl) erweitert werden, um durch die unterschiedlich großen Hydrathüllen der Alkalimetalle einen weiteren Parameter zur Verfügung zu haben, der experimentell zugänglich ist und damit eine erweiterte Prüfung der Modellvorstellungen zulässt.

Eine abschließende Reflexion über das Zusammenspiel von empirischen Daten und naturwissenschaftlichen Modellen mit ihren Idealisierungen und Grenzen der Anwendbarkeit lässt tiefere Einblicke in das naturwissenschaftliche Arbeiten und die Wissensgenerierung von naturwissenschaftlichen Zusammenhängen zu.

Literatur und Internetquellen

- Allmers, T., Stiller, C. & Wilde, M (2020). Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>
- Atkins, W., & de Paula, J. (2006). *Physikalische Chemie* (4. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Demtröder, W. (1998). *Experimentalphysik 1*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08598-1>
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Eichler, J. (2011). *Physik* (4., aktual. u. überarb. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner / Springer Fachmedien.
- Gauglitz, G., & Löbert, H. (2017). *Leitfähigkeit*. Zugriff am 22.08.2017. Verfügbar unter: <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/echemie/leitfaehigkeit/leitfaehigkeit.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/echemie/leitfaehigkeit/kohlrausch.vscml.html>.
- Grehn, J., & Krause, J. (Hrsg.). (2007). *Metzler Physik*. Braunschweig: Schroedel.
- Halliday, D. (2009). *Halliday Physik* (2. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Holleman, A.F., & Wiberg, E. (2007). *Lehrbuch der anorganischen Chemie* (102. Aufl.). Berlin: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110177701>
- Kameyama, N. (1963). *Theory and Applications of Electrochemistry*. Tokyo: Maruzen Publishing.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. Beschluss vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- Kuhn, W. (Hrsg.). (2002). *Kuhn Physik, Bd. 1*. Braunschweig: Westermann.
- Lenntech (2017). *Elektrische Leitfähigkeit des Wassers*. Zugriff am 22.08.2017. Verfügbar unter: <http://www.lenntech.de/anwendungen/reinstwasser/leitfaehigkeitsmessung/leitfaehigkeit.htm>.
- Miller, R.L., Bradford, W.L., & Peters, N.E. (1988). Specific Conductance: Theoretical Considerations and Application to Analytical Quality Control. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper*, (2311), 1–16.

- Mittag, J., & Pfriendler, M. (2017). *Hinweise für Lehrer*. Zugriff am: 01.09.2017. Verfügbar unter: http://www.wissenschaft-schulen.de/sixcms/media.php/1308/NATW_Coating_Lehrerhinweise.pdf.
- Mortimer, C.E. (1996). *Chemie* (6. Ausgabe). Stuttgart: Thieme.
- Petermann, K., Friedrich, J., & Oetken, M. (2010). Leitfähigkeits- und Fällungstitionen. Ein Simulationsmodell. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 63 (2), 94–101.
- Phillips, S.L., Igbene, A., Fair, J.A., Ozbek, H., & Tavana, M. (1981). *A Technical Data-book for Geothermal Energy Utilization*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://doi.org/10.2172/6301274>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Tanaka, M. (1962). Viscosities of Concentrated Aqueous Solutions of Sodium Chloride, Sodium Bromide, and Sodium Nitrate. *Nippo Kagaku Zasshi*, 83, 639–645. https://doi.org/10.1246/nikkashi1948.83.6_639
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1997). *VDI-WÄRMEATLAS. Recherchieren – Berechnen – Konstruieren* (8. Aufl.). Berlin & Heidelberg: Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-10745-4>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

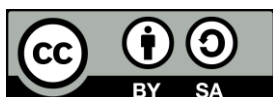
Allmers, T., Beyer-Sehlmeyer, G., Schumacher, F., & Wilde, M. (2020). Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 80–96. <https://doi.org/10.4119/pflb-3306>

Online-Supplement:

Materialien für ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten

Fabian Schumacher^{1,*}, Gabriele Beyer-Sehlmeyer²,
Stefanie Henrich³, Sabrina Polte¹,
Andreas Stockey³ & Matthias Wilde¹

¹ Universität Bielefeld

² Marienschule der Ursulinen, Bielefeld

³ Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie/Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
fshumacher@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Salze sind für Lebewesen lebenswichtig. In hohen Konzentrationen wirken sie aber u.U. toxisch. In vorhergehenden Unterrichtseinheiten haben sich die Schüler*innen bereits mit dem Aufbau und der Struktur von tierischen und pflanzlichen Zellen beschäftigt. In der vorliegenden Einheit wird den Schüler*innen die Gelegenheit gegeben, die Wirkung von Salzen auf Zellen zu verstehen. Eine Messung der Gewichtsveränderung, verursacht durch osmotische Vorgänge in den Zellen, ermöglicht die Bestimmung und den Vergleich der Zellsaft-Konzentration von Gemüsearten.

Schlagwörter: Experimentieren, Osmose, Unterrichtskonzept, Mathematisierung, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Aus der Werbung sind den meisten Schüler*innen isotonische Getränke bekannt. Vielleicht haben sie auch schon beobachtet, wie Kirschen oder Tomaten nach einem Sommerregen platzen. In Filmen sieht man gelegentlich, dass verletzten Personen noch am Ort des Unfalls ein Tropf mit physiologischer Kochsalzlösung gegeben wird. Diese Beispiele verdeutlichen die Alltagsrelevanz von Vorgängen wie Diffusion und Osmose. Trotz vieler Berührungspunkte mit dem Phänomen weichen die Alltagsvorstellungen von Schüler*innen oft erheblich von fachlichen Konzepten ab (Hamdorf & Graf, 2011; Hammann & Asshoff, 2014). Grundlegende Vorgänge der Teilchenbewegungen in Zellen sind vielen Schüler*innen nicht bekannt. Beispielsweise ist für viele nicht verständlich, dass sich die gelösten Teilchen in Zellen zufällig bewegen und nur durch den Zusammenprall mit anderen Teilchen oder einem Hindernis, z.B. der Gefäßwand, die Richtung ändern (Friedler, Amir & Tamir, 1987). Viele Schüler*innen besitzen die fachlich nicht korrekte Vorstellung, dass nach einem Konzentrationsausgleich zwischen Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen die Bewegung der Teilchen zum Erliegen kommt (Meir, Perry, Stal, Maruca & Klopfer, 2005). In der Unterrichtspraxis zeigt sich vielfach, dass sie zwar imstande sind, einen osmotischen Sachverhalt graphisch korrekt darzustellen, ihn jedoch fachlich nicht richtig erklären können.

Der vorliegende Beitrag soll einen Vorschlag zur Vermittlung einer fachlich angemessenen Vorstellung zur Osmose und zur Diffusion liefern und gleichzeitig das, in den Naturwissenschaften vertretene, hypothetisch-deduktive Vorgehen beim Experimentieren weiter vertiefen. Darüber hinaus kann das hier behandelte Experiment die Notwendigkeit einer statistischen Auswertung verdeutlichen. Das Arbeiten mit lebendem Zellmaterial ist durch teils erhebliche individuelle Unterschiede und u.U. eine starke Streuung von Messwerten gekennzeichnet. Dies verweist auf eine Eigenschaft lebender Zellen und veranschaulicht ein Grundproblem experimentellen Arbeitens mit biologischen Systemen. Hier gibt es zwischen Individuen einer Art oftmals erhebliche Variabilität innerhalb eines Merkmals. Dies durch den Einsatz statistischer Verfahren einer wissenschaftlichen Bearbeitung zugänglich machen zu können, ist eine der wesentlichen Einsichten, die sich durch den vorliegenden Unterrichtsvorschlag einstellen können.

2 Grundbegriffe

Für die Durchführung des Experiments und die Strukturierung der Unterrichtseinheit sind folgende Fachinhalte relevant.

2.1 Biomembranen

Bei der Entwicklung erster Vorstufen von Zellen (Protobionten) im Meer mussten sich diese von der äußeren Umgebung mit einer relativ hohen Salzkonzentration (ca. 0,6 mol/L) abgrenzen (Campbell & Reece, 2015). Die Entwicklung dieser Abgrenzung, und der damit verbundene Aufbau eines eigenen inneren Milieus für Stoffwechselprozesse war ein entscheidender Schritt in der Evolution von Zellen. Gegen den Einstrom externer Substanzen gab es nun eine Barriere, welche eine selektive und von der Zelle steuerbare Aufnahme und Abgabe von Stoffen ermöglichte. Diese Membran grenzt Zellen nicht nur nach außen ab; auch innerhalb einer Zelle sind die meisten Zellorganellen durch Biomembranen abgegrenzt und bilden damit eigene Reaktionsräume (Kompartimente). Innerhalb eines Kompartiments sind Stoffwechselleistungen mit relativ geringer Enzymausstattung effizient zu erbringen, und gleichzeitig sind andere Reaktionsräume vor der Wirkung dort störender Substanzen geschützt (Alberts, Johnson, Lewis, Raff, Roberts & Walter, 2011). Neben der gegenseitigen Abgrenzung von Zellorganellen und

der Steuerung von Stoffaufnahme und -abgabe sind Biomembranen an weiteren Prozessen beteiligt, z.B. an der intrazellulären Speicherung, an der Errichtung von elektrochemischen Potentialen und Konzentrationsgradienten sowie an der Kommunikation und Kooperation zwischen Zellen (Ude & Koch, 2002).

Zum Verständnis osmotischer Vorgänge ist die Kenntnis des grundlegenden molekularen Aufbaus von Biomembranen wichtig. Schüler*innen ist i.d.R. aus ihrer Alltagserfahrung geläufig, dass Öl und Wasser nicht mischbar sind und sich zwischen diesen beiden Flüssigkeiten eine sichtbare Grenze ausbildet. Dieses Prinzip lässt sich auch bei biologischen Membranen finden. Membranen bestehen aus einer Phospholipid-Doppelschicht mit einem hydrophilen „Kopf“ und einem lipophilen „Schwanz“. In der Doppelmembran ragen die hydrophilen Köpfe nach außen und die hydrophoben Schwänze nach innen. Der Aufbau einer Zellmembran kann Schüler*innen durch das erwähnte Beispiel einer schwimmenden Ölschicht auf Wasser verständlich gemacht werden. Eine Phospholipid-Doppelmembran trennt, analog zu einem Ölfilm, zwischen zwei wässrigen Kompartimenten, ist aber zusätzlich nach außen hydrophil. So können Schüler*innen verstehen, wie eine Membran aus einer Phospholipid-Doppelschicht eine Barriere für Wasser und darin gelöste (polare) Stoffe darstellt.

Neben den Phospholipiden gibt es noch als weitere Membranlipide Cholesterin und verschiedene Glykolipide (Alberts et al., 2011). Die Menge an eingelagertem Cholesterin beeinflusst dabei v.a. die Fluidität der Membran bei äußeren Temperaturschwankungen (Campbell & Reece, 2015). Membranen haben normalerweise eine flüssige Konsistenz. Besondere Funktionen wie Transport, Kommunikation und Energieübertragung werden durch spezifische Proteine vermittelt, die in die Membran eingelagert sind (vgl. *Flüssig-Mosaik-Modell*; Fritsche, 2016, S. 83).

2.2 Diffusion und Osmose

Im Cytoplasma („dem Inneren der Zelle“) gelöste Stoffe gelangen innerhalb der Zelle durch Diffusion von einem Ort zum anderen. Diese Bewegung ist zufällig. Ihre Geschwindigkeit ist abhängig von der Temperatur des Cytosols („Zellflüssigkeit“). Dieses Phänomen lässt sich gut veranschaulichen, indem man einen Teebeutel mittig in ein Glas mit heißem Wasser und einen weiteren in ein Glas mit kaltem Wasser hängt. Im heißen Wasser verteilt sich der Farbstoff deutlich schneller. Die Wassermoleküle bewegen sich dabei ungerichtet und zufällig. Nach einiger Zeit ist der Farbstoff in beiden Gläsern gleichmäßig verteilt und der Prozess kommt scheinbar zum Erliegen. Für die Bewegung der Teilchen ist die Brownsche Molekularbewegung verantwortlich. Die Energie für diesen Prozess stammt aus der Wärme der Lösung. Bestehen Konzentrationsunterschiede in einem Gefäß, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein gelöstes Teilchen aus dem Bereich höherer Konzentration in den Bereich mit niedriger Konzentration gelangt als umgekehrt. Unter anderem die dynamischen Elemente dieses Prozesses sind für Schüler*innen nicht leicht zu verstehen.

Hammann und Asshoff (2014, S. 106) erläutern diese höhere Wahrscheinlichkeit an einem Beispiel:

„Am Ort hoher Konzentration sind in einer Volumeneinheit gedachte 5000 Teilchen eines Stoffes vorhanden, am Ort niedrigerer Konzentration lediglich 50. Die Wahrscheinlichkeit, dass eines der 5000 Teilchen aus dem höher konzentrierten Bereich in die Bereiche niedrigerer Konzentration gelangt, ist 100 Mal größer [...] [als umgekehrt].“

Im Zustand eines Konzentrationsausgleichs wandern gleich viele Teilchen in alle Richtungen. Könnte man einzelne Teilchen markieren und deren Bewegung genau verfolgen, so würde man deren ungerichtete und zufällige Bewegung auch im Zustand des Konzentrationsausgleichs beobachten können. Als unterrichtliche Veranschaulichung dieses Phänomens bietet sich ein Schulversuch an. Unter einem Mikroskop lassen sich die in der Milch enthaltenen, beweglichen Fetttröpfchen beobachten.

Das Prinzip der Osmose lässt sich an einem problemorientierten und alltagsrelevanten Beispiel erklären. Legt man Salatblätter in Leitungswasser, bleiben sie knackig und frisch; legt man sie in ein Dressing, werden sie schnell „schlapp“ und unansehnlich (Barnekow, 2010). In beiden Fällen unterscheidet sich die Konzentration polarer Stoffe, wie z.B. Ionen oder Zuckermoleküle, in den Salatblattzellen von der Konzentration im umgebenden Medium. Zur Erklärung des geschilderten Phänomens ist in erster Linie entscheidend, dass inneres und äußeres Milieu der Salatblattzellen durch eine Cytoplasmamembran getrennt sind. Diese Membran ist selektiv permeabel, d.h., für manche Stoffe ist sie durchlässig, für manche aber nicht. In der Regel sind Membranen für das Lösungsmittel Wasser gut durchlässig bzw. permeabel, für polare Stoffe, wie z.B. Ionen oder Zuckermoleküle, sind sie jedoch undurchlässig (impermeabel). Einen solchen einseitig gerichteten Diffusionsvorgang durch eine semipermeable Membran nennt man *Osmose*. Osmose findet immer dann statt, wenn zwischen innerem und äußerem Milieu ein Konzentrationsgradient gelöster, membranimpermeabler Stoffe herrscht (Campbell & Reece, 2015). Sind im Außenmedium, im Vergleich zum Inneren der Zelle, mehr gelöste Stoffe vorhanden, wird die Lösung als *hyperton* beschrieben. Ist das Verhältnis der gelösten Stoffe umgekehrt, ist die Lösung *hypoton*. Bei einem Konzentrationsausgleich wird die Lösung als *isoton* beschrieben. Diese Zustände sind Bestandteil des Konzepts der *Tonizität*. Tonizität beschreibt „die Fähigkeit einer Lösung [...] einer Zelle Wasser zu entziehen oder hinzuzufügen, also das Zellvolumen zu verändern“ (Campbell & Reece, 2015, S. 173). Ist eine Lösung isoton mit der Zelle, besitzen sie den gleichen osmotischen Druck, und es findet kein in eine Richtung weisender Wassertransport statt.

Im Falle des Salatblattes in Leitungswasser können Ionen und andere osmotisch wirksame Substanzen in den Salatblattzellen nicht durch die Cytoplasmamembran diffundieren, die Wassermoleküle hingegen schon. Außen befinden sich mehr Wassermoleküle als innen (hypotone Lösung). Diesem Konzentrationsgradienten folgend strömen Wassermoleküle in das Innere der Zellen. Dieser Prozess könnte so weit gehen, dass die Zellen platzen. Bei den Zellen des Salatblattes passiert dies jedoch nicht, da sie zusätzlich von einer Zellwand umgeben sind.

Bei dem zweiten Anwendungsbeispiel, einem Salatblatt in Salatdressing, ist die Situation grundlegend anders. Im Salatdressing befinden sich mehr osmotisch aktive Substanzen als im Zellinneren der Salatblätter (hypertone Lösung). Dem Konzentrationsgradienten folgend diffundieren also mehr Wassermoleküle aus den Salatblattzellen ins Außenmedium als aus dem Außenmedium in die Salatblattzellen. Das Salatblatt verliert an Turgeszenz und sieht schlapp aus. Pflanzen unter optimalen Wasserbedingungen sind turgeszent und können so ihren eigenen Innendruck (Turgor) aufrechterhalten. Dieser beschriebene Vorgang wird Plasmolyse genannt und ist bis zu einem gewissen Grad umkehrbar. Sind die Zellen zu lange in einem hypertonen Medium, löst sich die Plasmamembran von der Zellwand ab. Der Verlust von Turgeszenz lässt sich ebenso bei einer verwelkten Pflanze zeigen (Campbell & Reece, 2015). Um diesen Vorgang auf zellulärer Ebene verstehen zu können, ist ein Verständnis des Aufbaus von Pflanzenzellen wichtig.

Die meisten Pflanzen enthalten eine oder mehrere Vakuolen. Sie spielen eine wichtige Rolle beim Wasserhaushalt der Zellen und füllen bis zu 90 Prozent des Zellvolumens aus (Lüttge & Kluge, 2012). Gleichzeitig dienen sie als Speicherorganell. Der Zellsaft in den Vakuolen enthält eine hohe Konzentration unterschiedlicher gelöster Stoffe und weist damit einen hohen osmotischen Wert auf. Pflanzenzellen können, trotz großer Ionenkonzentrationsunterschiede, durch regulierbare Zellsaftkonzentrationen einen konstanten hydrostatischen Druck (Turgordruck) in ihrer unmittelbaren Umgebung aufrechterhalten (Lüttge & Kluge, 2012).

2.3 Anwendungen in der Medizin

Die beschriebenen Auswirkungen osmotischer Effekte finden auch Anwendung in der Medizin. Die zugeführten Lösungen bei einer Injektion müssen isotonisch mit dem Blut sein, d.h., sie müssen den gleichen osmotischen Druck haben. Die hier verabreichten physiologischen Kochsalzlösungen enthalten 0,95 g Salz auf 100 mL Wasser (ca. 0,154 mol/L). Dies entspricht der Menge an gelösten impermeablen Stoffen im Zellinneren der roten Blutkörperchen. Bei hypoton verabreichten Infusionen würden die roten Blutkörperchen des Empfängers lysieren bzw. platzen. Hypertone Infusionen würden zu einem Schrumpfen der Blutzellen führen (Campbell & Reece, 2015).

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für das Prinzip der Osmose ist die blutreinigende Funktion der künstlichen Niere, Dialyse genannt (Müller, Frings & Möhrlen, 2015). Wer unter einer Niereninsuffizienz leidet und somit die Abbauprodukte des Körpers nicht mehr über den Harn ausscheiden kann, benötigt technische Hilfe. Das Patientenblut gelangt aus dem Körper durch einen Dialysator, der eine semipermeable Membran besitzt. Diese Membran ist permeabel für Wasser sowie niedermolekulare Bestandteile. Für Eiweiße und Blutzellen ist sie impermeabel. Außerhalb der Membran befindet sich eine spezielle Dialyselösung, welche so eingestellt ist, dass die niedermolekularen schädlichen Bestandteile des Blutes durch die semipermeable Membran aus dem Blut in das Dialysat gelangen.

3 Das Schülerexperiment

3.1 Didaktisch-methodische Einbindung

Die Unterrichtseinheit „Austausch mit der Umwelt“ umfasst ca. acht bis zehn Unterrichtsstunden. In Anlehnung an die Kompetenztreppe (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft) kann je nach Erfahrungen der Schüler*innen beim Experimentieren die Versuchsanleitung in dem Grad der Öffnung variieren. Die Festlegung der grundlegenden Herangehensweise an das Experiment, inklusive der zu kontrollierenden Variablen, findet im Plenum mit der Lehrkraft und den Schüler*innen statt. Nach dem Kurskonzept können die Schüler*innen bereits eine präzise Fragestellung selbstständig formulieren und als Grundlage für die Planung des Experiments nutzen. Die Formulierung der aus dem Unterrichtsgespräch entstandenen Hypothesen (z.B. „Die untersuchten Gemüsearten haben unterschiedliche Zellsaftkonzentrationen“) sowie die Festlegung der abhängigen Variablen des Experiments finden mit Unterstützung der Lehrkraft statt. Die Durchführung des Experiments sowie die Festlegung der unabhängigen Variablen erfolgt selbstständig durch die Schüler*innen. Die Festlegung des Untersuchungsspektrums erfolgt weitgehend selbstständig. Die Lehrkraft gibt hierbei eine Ausgangskonzentration der NaCl-Lösung vor, und die Schüler*innen erarbeiten sich die einzelnen Lösungsansätze mittels einer Verdünnungsreihe (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite und Online-Supplement, Material 1).

Die durch vorangegangene Experimente des Kurskonzepts erworbenen Data-Literacy-Kompetenzen (Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft) befähigen die Schüler*innen, eine eigene Wertetabelle zu erstellen, Mittelwerte und Fehlermaße der Versuche zu berechnen und diese inklusive einer Ausgleichskurve in ein Diagramm einzuzeichnen.

Die Signifikanzprüfung wird in dieser Unterrichtsreihe durch die Lehrkraft neu eingeführt. Die Hypothese, dass die Zellsaftkonzentrationen unterschiedlich sind, soll geprüft werden. Orientiert an Halpern (2000) kann eine visuelle Abschätzung des signifikanten Unterschieds unter Berücksichtigung der Konfidenzintervalle der beiden Arten vorgenommen werden. Für die exakten Zellsaftkonzentrationen liegen keine Messwerte vor, da diese erst im Verlauf des Versuchs durch die Schüler*innen grafisch bestimmt werden und die Fehlermaße somit fehlen (vgl. Kap. 3.3). Ein Vergleich der beiden Arten

ist jedoch über den Unterschied der relativen Massenänderung für jeden einzelnen Messzeitpunkt möglich. Hierfür wird mittels der Standardabweichung der Standardfehler berechnet (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Im nächsten Schritt muss das Konfidenzintervall des jeweiligen Mittelwertes berechnet werden. Das Konfidenzintervall ergibt sich aus der Multiplikation des Standardfehlers mit zwei. Die Mittelwerte der jeweiligen Messpunkte werden für das obere Limit des 95-prozentigen Konfidenzintervalls mit dem Standardfehler summiert. Für das untere Limit des 95-prozentigen Konfidenzintervalls wird vom Mittelwert der Standardfehler subtrahiert. Die Mittelwerte der Messpunkte inklusive der Konfidenzintervalle werden für beide Arten in ein gemeinsames Diagramm eingezeichnet (Halpern, 2000; vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite).

Eine Abschätzung der signifikanten Unterschiede beider Arten kann grafisch vorgenommen werden. Liegen keine Mittelwerte einer Art in dem Konfidenzintervall der anderen Art, ist der Unterschied signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent.

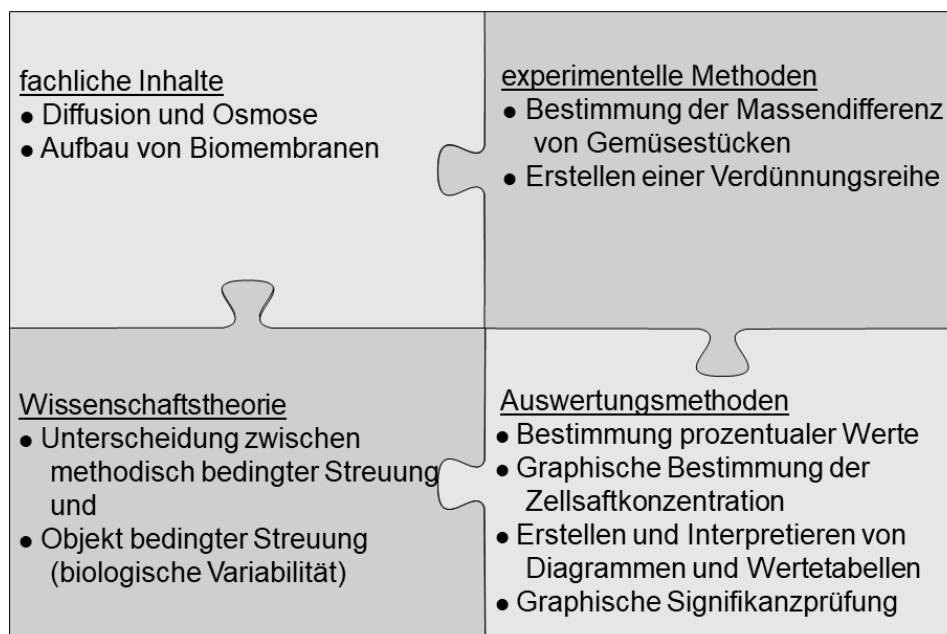


Abbildung 1: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte der Unterrichtseinheit „Austausch mit der Umwelt“ (eigene Darstellung)

3.2 Durchführung des Schülerexperiments

- **Materialien:** Kartoffel, Kohlrabi, Messer, Bechergläser (Fassungsvermögen > 100 mL), Löffel, Messzylinder, Waagen, Pipetten und Reagenzgläser.
- **Chemikalien:** NaCl (Natriumchlorid) und destilliertes Wasser.

Durchführung: Die Schüler*innen schneiden die Kartoffel und den Kohlrabi in kleine Stückchen. Bei der Vorbereitung der Gemüsestückchen ist darauf zu achten, dass sie geschält sind und mindestens ein Gramm wiegen. Mögliches anhaftendes Wasser ist vorher abzutupfen, um das Ergebnis nicht im Vorhinein zu beeinflussen. Die so vorbereiteten Gemüsestücke werden von den Schüler*innen gewogen, und die Gewichte werden in eine eigens erstellte Wertetabelle übertragen. Anschließend stellt die Lehrkraft eine Ausgangslösung mit einer NaCl-Konzentration von 0,7 mol/L zur Verfügung. Von dieser Lösung ausgehend erstellen die Schüler*innen mithilfe einer Verdünnungsreihe ihre zuvor festgelegten Lösungsansätze (in diesem Versuch wurde eine Verdünnungsreihe mit den Konzentrationen 0,7; 0,5; 0,3; 0,2 und 0,1 mol/L erstellt). Jede der erstellten Konzentrationen wird pro Gemüseart viermal angefertigt, mit Gemüsestückchen gefüllt und

im Kühlschrank für vier Tage aufbewahrt. Nach den vier Tagen werden die Gemüsestückchen erneut gewogen. Die beiden ermittelten Gewichte werden in der Wertetabelle als relative Massenänderung eingetragen. Hierzu müssen die Schüler*innen die prozentuale Massenänderung des Endgewichts im Vergleich zum Ausgangsgewicht berechnen.

3.3 Ergebnisse und ihre Dokumentation

Abbildung 2 verdeutlicht, dass zwischen der prozentualen Massenänderung und der NaCl-Konzentration kein linearer Zusammenhang beschrieben werden kann. Dies gilt für beide Gemüsearten. Aufgrund der Komplexität osmotischer Prozesse lässt sich dieses Phänomen geeigneter durch eine vereinfachte Ausgleichskurve beschreiben. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse für den Kohlrabi besprochen. Mit Rückbezug auf die Tonizität lässt sich für den Kohlrabi in diesem Experiment formulieren: Zwischen einem Wert von 0,1 mol/L bis ca. 0,37 mol/L ist die Lösung im Verhältnis zum Zellsaft des Kohlrabis hypoton. Die Masse nimmt relativ zum Ausgangsgewicht zu. Bei einer Konzentration von 0,37 mol/L ist die Lösung isoton. Ab einem Schwellenwert von 0,37 mol/L (Grenzplasmolyse) kann die Lösung als hyperton beschrieben werden. Ab dieser Konzentration beginnt in den Kohlrabizellen der Vorgang der Plasmolyse. Hierbei verringert sich die Masse relativ zum Ausgangsgewicht. Bei dem Kohlrabi tritt näherungsweise ab einer NaCl-Konzentration von 0,5 mol/L eine „Abflachung“ der Kurve ein. Diese Abflachung ist als Sättigung zu beschreiben. Bei dieser NaCl-Konzentration ist die maximale Entwässerung der Gemüsestückchenzellen erreicht. Dieser individuelle Punkt tritt, je nach Art, bei einer unterschiedlichen Lösungskonzentration ein. Um den arttypischen Unterschied dieses Phänomens zu verdeutlichen, bietet sich eine zusammengeführte Grafik beider Arten an (vgl. Abb. 2).

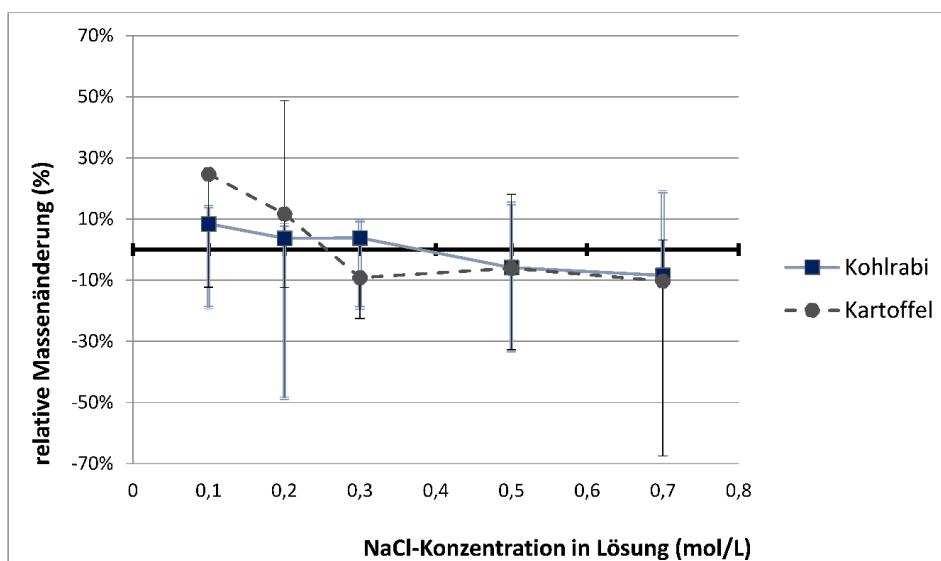


Abbildung 2: Relative Massenänderung der beiden Arten Kartoffel und Kohlrabi unter Einfluss unterschiedlicher Lösungen mit NaCl-Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,7 mol/L. Abgetragen sind die Mittelwerte ($n=6$) sowie die Konfidenzintervalle der jeweiligen Arten. (eigene Darstellung)

Die Zellsaftkonzentrationen der Gemüsearten Kohlrabi und Kartoffel lassen sich näherungsweise im Schnittpunkt der jeweiligen Kurven mit der NaCl-Konzentration, aufgetragen auf der X-Achse, ablesen (Brennicke & Schopfer, 2010). Der Wert der NaCl-

Konzentration im Schnittpunkt der Ausgleichskurve mit der X-Achse entspricht dem jeweiligen osmotischen Druck der Gemüsezellen (Kohlrabi ca. 0,37 mol/L und Kartoffel ca. 0,25 mol/L).

Die Signifikanzprüfung wird exemplarisch für die Messwerte bei einer NaCl-Konzentration von 0,1 mol/L beschrieben. In Abbildung 2 auf der vorherigen Seite ist zu erkennen, dass der Mittelwert der relativen Massenänderung des Kohlrabis im Konfidenzintervall der Kartoffel liegt. Somit ist dieser Unterschied als nicht signifikant zu werten (Halpern, 2000). Die Unterschiedshypothese wird bei einer Konzentration von 0,1 mol/L nicht bestätigt. Bei der Auswertung des Experiments muss dieses Vorgehen für alle Messwerte durchgeführt werden, um die Hypothese abschließend bewerten zu können.

Anhand dieser Ergebnisse lassen sich einige interessante Punkte aufzeigen. Die Unterschiede der Messwerte erscheinen rein deskriptiv sehr groß. Es bedarf jedoch immer der Angabe statistischer Kennwerte, um tatsächliche signifikante Unterschiede identifizieren zu können. Ebenso lässt sich für biologische Systeme zeigen, dass die Streuung der Messwerte einer Art nicht nur Auswirkung von Messfehlern oder zufällig ist, sondern durch artindividuelle Schwankungen bedingt. Der statistische Kennwert „Standardabweichung“ lässt sich mit dem vorliegenden Experiment anschaulich vermitteln.

4 Anregungen zur Reflexion und Ausblick

Den Abschluss dieser Unterrichtseinheit kann eine Reflexion der Ergebnisse des Experiments bilden. Nach der Auswertung des Experiments zeigen sich artspezifische (nicht signifikante) Unterschiede der Zellsaftkonzentrationen der untersuchten Gemüsearten. Im Unterrichtsgespräch lässt sich die Frage aufwerfen, wie die fehlenden signifikanten Unterschiede in den Zellsaftkonzentrationen erklärbar sind. Hierbei lassen sich neben biologischen Erklärungen auch statistische Limitationen des Experiments anführen. Die geringe Anzahl der Versuchsdurchführungen und das näherungsweise durchgeführte statistische Verfahren sollten im Plenum diskutiert werden.

Mit Rückbezug auf die im Kurs zu erlernenden Data-Literacy-Kompetenzen (Stiller, Allmers et al., eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft) muss in der Auswertung erwähnt werden, dass die gewonnenen Ergebnisse lediglich für diesen Versuch gelten. Ziel eines jeden Versuchs ist es, reproduzierbare Ergebnisse zu generieren. Dies ist jedoch nur unter gleichbleibenden Bedingungen möglich.

Ein Exkurs über die Anpassungsleistungen einzelner Pflanzenarten an unterschiedlich salzreichen Standorten ist möglich. Stehen jahreszeitlich Zuckerrüben als Anschauungsobjekt zur Verfügung, ermöglichen sie einen anschaulichen Übergang zum Thema „Hoher Zuckergehalt im Zellsaft“ als Anpassung an aride Salzstandorte. Zuckerrüben speichern als Anpassungsleistung an aride Salzstandorte bspw. Zucker und unterscheiden sich somit von den untersuchten Arten Kartoffel und Kohlrabi. Einige salztolerante Arten (Halophyten), die eine Anpassung an salzreiche Standorte entwickelt haben, besitzen die Fähigkeit, eine gewisse Osmoregulation durch die Anreicherung von zum Beispiel Zucker-Molekülen zu erzielen, wodurch der Wasserhaushalt im Cytoplasma im Gleichgewicht gehalten werden kann. Hierbei handelt es sich um eine von mehreren verschiedenen physiologischen Strategien, um an salzreichen Standorten überleben zu können (vgl. Larcher, 2001).

Eine weitere Vertiefung der artspezifischen Zellsaftkonzentration und der damit verbundenen Anpassung an unterschiedlich salzhaltige Lebensräume ist der Vergleich von Wasserorganismen. Betrachtet man die Anpassung von Tieren an salzhaltiges Wasser, findet man unterschiedliche Strategien: Reptilien und Vögel des Meeres haben spezielle Salzdrüsen, durch die sie das mit der Nahrung aufgenommene Salz wieder abgeben können. Lachse und Aale können Salzwasser über spezielle Zellen in ihren Kiemen „entsalzen“ (Müller et al., 2015). Diese Beispiele geben Anregungen, um eine vertikale und horizontale Vernetzung der Unterrichtsinhalte zu ermöglichen.

Literatur und Internetquellen

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2011). *Molekularbiologie der Zelle* (5. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Barnekow, D. (2010). Wie kommt die Flüssigkeit in den Salat? *Unterricht Biologie*, 355, 46–47.
- Brennicke, A., & Schopfer, P. (2010). *Pflanzenphysiologie* (7. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2352-8>
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2015). *Biologie* (10., aktual. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Friedler, Y., Amir, R., & Tamir, P. (1987). High School Students' Difficulties in Understanding Osmosis. *International Journal of Science Education*, 9 (5), 541–551. <https://doi.org/10.1080/0950069870090504>
- Fritsche, O. (2016). *Biologie für Einsteiger* (2., neu bearb. Aufl.). Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46278-2>
- Halpern, A.E. (2000). Toward Scientific Literacy for Nonscience Majors. How To Approximate a t-Test by Graphical Means. *The American Biology Teacher*, 62 (4), 276–281. <https://doi.org/10.2307/4450895>
- Hamdorf, E., & Graf, D. (2011). Fehlvorstellungen zu Diffusion und Osmose. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 64 (5), 298–303.
- Hammann, M., & Asshoff, R. (2014). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Ursachen für Lernschwierigkeiten*. Seelze: Klett Kallmeyer.
- Larcher, W. (2001). *Ökophysiologie der Pflanzen: Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt* (6., neubearb. Aufl.). Stuttgart: UTB für Wissenschaft, Verlag Eugen Ulmer.
- Lüttge, U., & Kluge, M. (2012). *Botanik. Die einführende Biologie der Pflanzen* (6., aktual. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Meir, E., Perry, J., Stal, D., Maruca, S., & Klopfer, E. (2005). How Effective Are Simulated Molecular-Level Experiments for Teaching Diffusion and Osmosis? *Cell Biology Education*, 4, 235–248. <https://doi.org/10.1187/cbe.04-09-0049>
- Müller, W.A., Frings, S., & Möhrlein, F. (2015). *Tier- und Humanphysiologie. Eine Einführung* (5. Aufl.). Berlin & Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43942-5>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Ude, J., & Koch, M. (2002). *Die Zelle. Atlas der Ultrastruktur* (3. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Schumacher, F., Beyer-Sehlmeyer, G., Henrich, S., Polte, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 97–106. <https://doi.org/10.4119/pflb-3307>

Online-Supplement:

Materialien für ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten

Darius Haunhorst^{1,*}, Andreas Stockey² (Erstautoren)
& Matthias Wilde¹

¹ Universität Bielefeld

² Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie/Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
darius.haunhorst@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird ein Experiment zur Bestimmung der NaCl-Toleranz von Getreidearten vorgestellt. Die zuvor erworbenen Kenntnisse zur osmotischen Wirkung von NaCl werden vorausgesetzt. Das Experiment ist Kernelement einer Einheit zur Einführung von fundamentaler und realer Nische. Durch die Thematisierung von interspezifischer Konkurrenz, wie z.B. über die exemplarische Bearbeitung des historischen Hohenheimer Grundwasserversuchs (Ellenberg, 1952), wird zum darauffolgenden Schwerpunkt „Selektion und Evolution“ übergeleitet.

Schlagwörter: Experimentieren, Unterrichtskonzept, naturwissenschaftlicher Unterricht, ökologische Nische, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Der Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen ist in Zeiten des Klimawandels, der Biodiversitätskrise und einer stark steigenden Weltbevölkerung eine zentrale Aufgabe unserer Zeit. Die schulische Umweltbildung soll Schüler*innen unterstützen, ein Umweltbewusstsein zu entwickeln, und Möglichkeiten umweltbewussten Verhaltens aufzeigen (Killermann, Hering & Starosta, 2016). Der Naturwissenschaftsunterricht nimmt hierbei eine zentrale Stellung ein. Insbesondere durch die Vermittlung von komplexen Wechselwirkungen vieler Faktoren innerhalb von Ökosystemen und deren Vernetzung lernen die Schüler*innen, in Systemen zu denken (Killermann et al., 2016). Nur durch das Verständnis dieser Wechselwirkungen ist es Schüler*innen möglich, Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Umwelt zu analysieren und wissenschaftliche Studien in Bezug auf Umwelteinflüsse menschlichen Handelns, beispielsweise des Klimawandels, zu interpretieren (Killermann et al., 2016). Im Kontext von ökologischen Unterrichtseinheiten kann außerdem reales Naturerleben ermöglicht werden (Killermann et al., 2016). Im Anschluss an diese Unterrichtseinheit kann z.B. die ökologische Nische einer Art im Freiland untersucht werden. Dadurch wird ein affektiver Zugang zur Natur im persönlichen Lebensumfeld der Schüler*innen geschaffen (Killermann et al., 2016). Diese emotionalen und kognitiven Zugänge zur Umweltbildung sind Aspekte eines ganzheitlichen Konzepts, welches das Umwelthandeln der Schüler*innen beeinflussen sollte (Killermann et al., 2016). Allerdings liegen wenig gesicherte Erkenntnisse über den tatsächlichen Einfluss der schulischen Umweltbildung auf das spätere Umweltverhalten vor, weshalb der schulische Einfluss nicht überinterpretiert werden darf (Killermann et al., 2016). Das Konzept der ökologischen Nische in dieser Unterrichtseinheit stellt einen ersten Zugang zur Komplexität von Ökosystemen dar, auf dem spätere Unterrichtseinheiten aufbauen können.

2 Das Konzept der ökologischen Nische

Arbeiten zum Hintergrund des Konzepts der ökologischen Nische – der Unterscheidung von physiologischem und ökologischem Optimum – wurden von Ellenberg (1952) und Hutchinson (1957) unabhängig voneinander durchgeführt (Wake, Hadly & Ackerly, 2009).

2.1 Die physiologische Betrachtungsebene

Das physiologische Spektrum von Hutchinson (1957: fundamentale Nische) betrachtet nach Ellenberg (1952) die artspezifischen Reaktionsnormen von Individuen gegenüber abiotischen Faktoren (Begon, Howarth & Townsend, 2017). Diese unterschiedlichen Reaktionsnormen sind genetisch vorgegeben (Begon et al., 2017). Ein Pinguin lebt z.B. dauerhaft bei anderen Temperaturen als ein Mensch. Er besitzt ein anderes physiologisches Spektrum bezüglich des Faktors „Temperatur“. Für jeden abiotischen Faktor ergibt sich eine artspezifische Optimumskurve (Begon et al., 2017). Die Verbreitung eines Organismus ist nur innerhalb dieses Toleranzbereiches möglich. Manche Lebewesen besitzen ein sehr enges Optimum bezüglich eines Umweltfaktors, während andere Arten ein deutlich weiteres Optimum gegenüber diesem Faktor aufweisen können (Campbell & Reece, 2016). Vom Optimum abweichende Werte bedeuten eine Verschlechterung der Lebensbedingungen, bis Extremwerte erreicht werden, jenseits derer aktives Leben nicht mehr möglich ist (Begon et al., 2017). Die Standortansprüche können sich im Laufe der Lebensgeschichte des Individuums ändern. Das Keimlingsstadium vieler Pflanzen besitzt einen engeren Toleranzbereich als die adulten Pflanzen. Die Keimlinge mediterrana-

ner Bäume, wie z.B. die der Esskastanie (*Castanea sativa*), überstehen oft keinen mitteleuropäischen Winter, während dieser den adulten Bäumen nicht zusetzt (Hetzel & Jägel, 2013).

2.2 Die ökologische Betrachtungsebene

Das ökologische Spektrum von Hutchinson (1957: reale Nische) bezeichnet nach Ellenberg (1952) das Spektrum, in dem eine Art tatsächlich vorkommt (Smith & Smith, 2009). Das ökologische Spektrum ist deutlich enger als das physiologische Spektrum und wird durch interspezifische Konkurrenz zu anderen Arten bestimmt (Smith & Smith, 2009). Ellenberg (1952) konstruierte den Hohenheimer Grundwasserversuch und konnte so in einem Freiland-Experiment als Erster die reale Nische experimentell abbilden. Jeweils eine der drei von ihm untersuchten Grasarten kommt in der Natur an einem feuchten, mittelfeuchten und trockenen Standort vor (Smith & Smith, 2009). In einer Betonwanne mit konstantem Bodenfeuchtegradienten (von feucht bis trocken) zeigten alle drei Arten in Monokultur bei einem mittelhohen Grundwasserspiegel ihr physiologisches Optimum (Smith & Smith, 2009). In Mischkultur ergab sich die Aufteilung, wie sie auch in der Natur beobachtet werden kann (Smith & Smith, 2009). Dies ist ein Beleg dafür, dass die Grasart im mittleren Feuchtigkeitsbereich am konkurrenzstärksten gegenüber den beiden anderen Arten ist und diese entsprechend in einen weniger präferierten Bereich verdrängt (Smith & Smith, 2009). Diese Situation kann sich in einer anderen Region mit anderen Mitkonkurrenten anders darstellen (Smith & Smith, 2009).

2.3 Die ökologische Nische

Das Konzept der ökologischen Nische wurde von Hutchinson (1957) geprägt. Bei der ökologischen Nische handelt es sich um einen abstrakten „Raum“, der durch alle Toleranzen und Bedürfnisse eines Lebewesens geprägt wird (Begon et al., 2017). Dieser Raum ist nicht mit dem Ort, an dem das Lebewesen lebt, seinem Habitat, gleichzusetzen (Begon et al., 2017). Nach Hutchinson (1957) kann die Nische in eine fundamentale (entspricht dem physiologischem Spektrum) und eine reale (entspricht dem ökologischem Spektrum) Nische differenziert werden (Campbell & Reece, 2016). Zwei Arten mit der gleichen ökologischen Nische können nach dem Konkurrenzausschlussprinzip nicht dauerhaft in einem Lebensraum vorkommen (Campbell & Reece, 2016). Zwei koexistierende Arten müssen sich daher in mindestens einem Aspekt ihrer ökologischen Nische unterscheiden, da sonst eine Art die andere verdrängen würde (Campbell & Reece, 2016). Damit ist das Konzept der ökologischen Nische zentral für evolutionäre Prozesse. Valentine (1969, zit. nach Wake et al., 2009) versteht Evolution als ökologischen Prozess und die ökologische Nische als das wichtigste Element der Evolution.

3 Das Dosis-Wirkungs-Experiment

Dosis-Wirkungs-Experimente spielen in der angewandten Ökologie und den Umweltwissenschaften, z.B. der toxikologischen Forschung und der Bestimmung von Optimumskurven, eine große Rolle (Fent, 2013; Vohr, 2012). In einem Dosis-Wirkungs-Experiment werden die kontinuierliche Erhöhung der Konzentration einer Substanz (z.B. der NaCl-Gehalt im Boden) und die daraus resultierende Wirkung (z.B. das Wachstum einer Pflanzenart) untersucht und graphisch gegeneinander aufgetragen (Vohr, 2012). Grundsätzlich ist zwischen zwei Typen von Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu unterscheiden (Fent, 2013).

Stoffe mit einer einfachen Dosis-Wirkungs-Beziehung sind typische Umweltchemikalien (z.B. Schwermetalle; Fent, 2013). Diese haben auf die meisten Pflanzen ab einem artspezifischen Schwellenwert eine ausschließlich toxische Wirkung (Fent, 2013). Unterhalb des Schwellenwertes tritt kein statistisch signifikanter Effekt auf. Oberhalb des

Schwellenwertes treten messbare konzentrationsabhängige negative Wirkungen auf, welche von reversiblen Beeinträchtigungen bis zum Tod des Organismus reichen (Fent, 2013).

Die Gruppe der essentiellen Substanzen umfasst alle lebensnotwendigen bzw. wachstumsfördernden Stoffe, die sowohl bei Unter- als auch bei Überversorgung negative Wirkungen hervorrufen (Fent, 2013). Typische Beispiele sind Nährsalze wie Nitrat. Zwar ist Nitrat eines der wichtigsten Düngemittel, aber zu hohe Stickstoffkonzentrationen in Pflanzen können zur Bildung weicherer Blätter führen. Diese Blätter sind dann anfälliger gegenüber Insektenfraß und Infektionen (Umweltbundesamt, 2011). Sehr hohe Nitratkonzentrationen bewirken außerdem die Verdrängung von Arten aus ihren Lebensräumen und verringern so die biologische Vielfalt (Umweltbundesamt, 2011). Trägt man in einem Diagramm die Konzentration von Nitrat im Boden (Dosis) gegen die Vitalität der beobachteten Pflanzenart (Wirkung) auf, erhält man den Verlauf einer typischen Optimumskurve (Stockey, 2010). Ähnliches gilt für den Faktor NaCl in diesem Experiment. Sowohl bei Na⁺-Ionen als auch Cl⁻-Ionen handelt es sich in sehr geringen Konzentrationen um wachstumsfördernde bzw. lebensnotwendige Ionen im Elektrolythaushalt der Pflanze (Blank, 2009). In realen Zusammenhängen tritt Salz allerdings nahezu ausschließlich als Problemstoff in versalzten Böden neben Straßen oder auf landwirtschaftlichen Anbauflächen auf (Qadir et al., 2014; Qadir, 2016). Zum Vergleich der Salztoleranz verschiedener Arten kann der EC50-Wert bestimmt werden (Fent, 2013). Der EC50-Wert gibt die NaCl-Konzentration im Boden an, bei der der betrachtete Vitalitätsparameter (z.B. die Keimungsrate) unter 50 Prozent fällt (Schmuck, 2012). Je höher dieser Wert liegt, desto salztoleranter ist der betrachtete Organismus.

4 Das Schülerexperiment und methodische Aspekte

4.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Die Unterrichtseinheit „Die ökologische Nische“ (vgl. Abb. 1) wird in ca. acht bis zehn Unterrichtsstunden (à 45 min) unterrichtet.

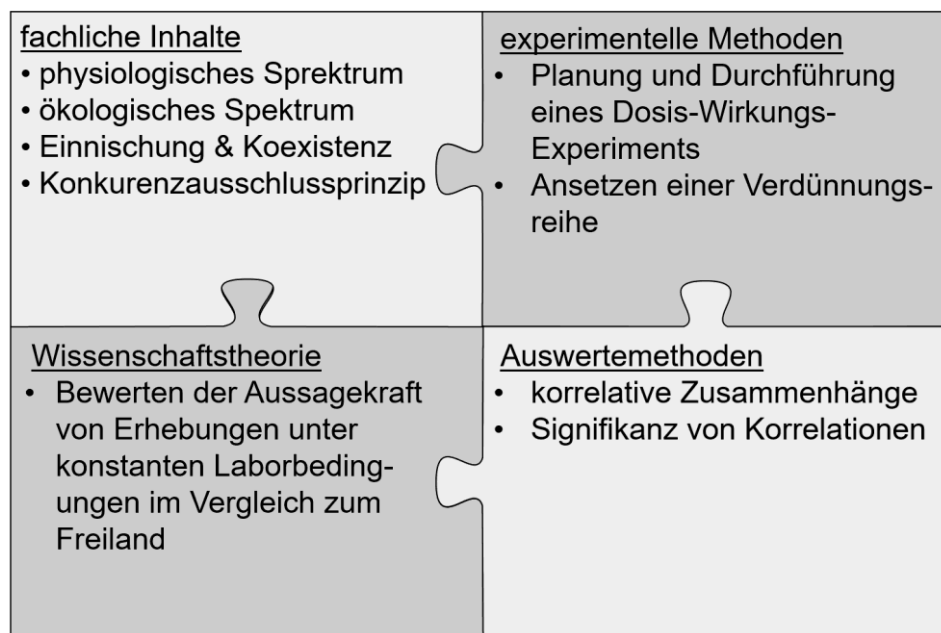


Abbildung 1: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte der Unterrichtseinheit „Die ökologische Nische“ (eigene Darstellung)

Die Schüler*innen kennen aus der vorherigen Unterrichtseinheit „Osmotische Wirkung von Kochsalz“ die Grundprinzipien der Osmose und die Wirkungen von Salzlösungen auf einzelne Zellen bzw. Zellverbände. Ziel dieser Unterrichtseinheit ist es, diese physiologischen Kenntnisse in einen ökologischen Kontext zu stellen und auf die Keimung und das Wachstum von Pflanzen auszuweiten.

Im Einstieg werden die Schüler*innen zunächst für den Faktor Salz als Standortfaktor von Pflanzen in der Landwirtschaft sensibilisiert. 20 Prozent der weltweit bewässerten landwirtschaftlichen Anbauflächen gelten mittlerweile als versalzen (Qadir, 2016). Die Fläche steigt täglich um 2.000 ha an, und als Hauptgründe für die Versalzung von Anbauflächen gelten unzureichende Bewässerungs- und Drainagesysteme (Qadir, 2016). Hält dieser Trend an, ist mittel- bis langfristig – insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Weltbevölkerung – mit erheblichen Problemen für die Welternährung zu rechnen. Neben anderen Maßnahmen, der Versalzung der Anbauflächen entgegenzuwirken, wird auch der Anbau von tendenziell salztoleranter Kulturpflanzen diskutiert (Qadir et al., 2014; Qadir, 2016). Im Einstieg setzen sich die Schüler*innen mit dem Problem der Bodenversalzung auseinander und entwickeln die Fragestellung, welche Arten von Getreidepflanzen sich am besten auf Böden mit einem höheren Salzgehalt anbauen lassen und welchen Salzgehalt ein Boden für die entsprechende Getreideart maximal aufweisen darf. Als Grundlage für die Auseinandersetzung kann auf diverse populärwissenschaftliche Quellen zur Bodenversalzung zurückgegriffen werden (z.B. Deutschlandfunk, 2014; Spiegel Online, 2014).

Die Schüler*innen entwickeln anschließend in Partnerarbeit selbstständig ein Experiment zur Keimung und zum Wachstum von Getreidepflanzen bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen. Dazu erhalten sie eine Materialliste. Außerdem liegt im Klassenraum eine Liste mit Leitfragen aus, die die Schüler*innen in den vorangegangenen Experimenten als Hilfestellung genutzt haben und sich an der Infobox 1 „Kriterien für eine methodisch präzise Planung und Durchführung der Experimente“ (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft) orientiert. Die Liste kann bei Bedarf von den Gruppen genutzt werden. Nachdem die ausgearbeiteten Versuchsplanungen im gegenseitigen Austausch überprüft wurden, werden die einzelnen Planungen noch einmal im Plenum der Kursgruppe diskutiert und ein abgestimmtes experimentelles Design für die gesamte Gruppe festgelegt. Die Ergebnisse der einzelnen Zweiergruppen können so verglichen werden und sich gegenseitig inhaltlich ergänzen. Durch die Diskussion ist gewährleistet, dass grundlegende Fehlannahmen in der Versuchsplanung erkannt werden.

In der folgenden Stunde setzen die Schüler*innen das Experiment jeweils zu zweit an. Hierbei sollte beachtet werden, dass die Keimlinge ab dem dritten oder vierten Tag aufgrund ihrer Größe den Schalendeckel hochdrücken. Durch die geöffneten Deckel verdunstet das Wasser. Die Schalen müssen daher regelmäßig ab diesem Zeitpunkt mit identischen Mengen von destilliertem Wasser nachgewässert werden. Die Versuchsansätze werden für mindestens eine Woche an einem hellen Ort im Klassenzimmer aufbewahrt und während dieser Zeit nicht bewegt. Die folgende Stunde kann genutzt werden, um die Auswertung des Experimentes zu besprechen. Bezüglich der Datenauswertung sind die Einführung der Rang-Korrelation und die Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten als ergänzende Signifikanzprüfung von Bedeutung (vgl. Stiller, Allmers, Stockey, & Wilde, eingereicht). Bei der Ernte erfassen die Schüler*innen sowohl qualitative Daten (Keimungsrate) als auch quantitative Daten (Biomasse und/oder Länge der Keimlinge). Für Ernte, graphische Darstellung, Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen sowie die Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten sind drei Unterrichtsstunden vorgesehen. Anschließend werden die Ergebnisse der Gruppen gemeinsam besprochen und verglichen. Für die Getreidesorten zeichnen sich unterschiedliche physiologische Spektren bezüglich des Faktors Salz ab. Anhand

des EC50-Wertes können die Schüler*innen diskutieren, welche Arten sich am ehesten für den Anbau auf leicht salzbelasteten Flächen anbieten.

4.2 Methodische Einbindung

In dieser Unterrichtseinheit müssen von den Lehrenden und den Schüler*innen einige gemeinsame Entscheidungen getroffen werden. Ein Großteil der Entscheidungen wird jedoch von den Schüler*innen eigenständig getroffen (vgl. Online-Supplement, Material 1).

Aufgrund der fortgeschrittenen Selbststeuerung im Experimentierprozess formulieren die Schüler*innen selbstständig die Fragestellung und die Hypothesen. Die Hypothesen sollten eine „Je mehr (...)“- oder „Je weniger (...)“-Aussage enthalten, um sie mittels Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten überprüfen zu können.

Außerdem planen die Schüler*innen die konkrete experimentelle Durchführung selbstständig. Im Vorfeld erläutert die Lehrkraft das grundsätzliche Prinzip eines Dosis-Wirkungs-Experimentes und überträgt den Schüler*innen die Aufgabe, ein solches Experiment zu planen. Hierzu erhalten die Schüler*innen zu zweit eine Liste mit Experimentiermaterial. In der Planungsphase sollen die Schüler*innen selbstständig die abhängige und die unabhängige Variable benennen, in einem vorgegebenen Rahmen die zu untersuchenden Intervalle und die Zahl der Messwiederholungen festlegen sowie relevante Randbedingungen erörtern. Die ausgearbeiteten gruppenspezifischen Experimentierplanungen werden anschließend verglichen. Bevor die Schüler*innen mit dem eigentlichen Experimentieren beginnen, wird im Plenum ein verbindliches experimentelles Design für alle Gruppen diskutiert und festgelegt.

In Bezug zur *Data Literacy* können die Schüler*innen eigenständig Mittelwerte und Standardabweichungen berechnen und diese graphisch darstellen. Erstmals werden die Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten und die Signifikanzprüfung einer Korrelation anhand eines Beispiels mit der Lerngruppe erarbeitet (vgl. Berechnungsbeispiel, Online-Supplement, Material 2).

Nach Durchführung des Experimentes können die Gruppen bis zu drei Auswertungen durchführen. Alle Schüler*innen bestimmen zunächst die prozentualen Keimungsraten. Darüber hinaus können die Biomasse der Keimlinge sowie die Keimblattlänge gemessen werden. Die Biomasse ist bei einer ausreichenden Zahl an Waagen einfacher zu ermitteln. Die Messung der Keimblattlänge ermöglicht jedoch erfahrungsgemäß eine genauere Auswertung. Bei beiden Messungen wird der herausgewachsene Keimling von der Samenschale abgetrennt und nur der Keimling als Grundlage verwendet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen werden von den Schüler*innen jeweils aufgetragen, und anhand der Diagramme wird der EC50-Wert bestimmt. Außerdem berechnen die Schüler*innen den Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten und überprüfen, ob eine signifikante Korrelation vorliegt (vgl. Online-Supplement, Material 2). Auf Grundlage der errechneten Parameter treffen die Schüler*innen zum Schluss eine Aussage, ob ihre ursprünglich aufgestellte Hypothese anzunehmen oder abzulehnen ist.

4.3 Durchführung und Auswertung

- *Materialien* (für 2 Schüler*innen): 30 Petrischalen mit Deckel, 30 Wattepad, Messzylinder, Lineal, Schere, Waage, Trichter, 300 Getreidesamen (z.B. Roggen, Weizen, Hafer, Gerste)
- *Chemikalien*: NaCl, destilliertes Wasser

Durchführung: Die Experimentiergruppen stellen zunächst ausgehend von einer 0,4 mol/L NaCl-Lösung (vgl. Meerwasser ca. 0,6 mol/L) durch eine Verdünnungsreihe die im Kurs abgesprochenen NaCl-Konzentrationen her. Jede Gruppe untersucht eine Getreideart. Um genauere Auswertungskurven zu erhalten, kann die Überprüfung einer Getreideart mehreren Gruppen übertragen werden, sodass im Diagramm eine vielfache Menge an

Messpunkten abgebildet wird. Insgesamt überprüft jede Gruppe sechs verschiedene NaCl-Konzentrationen mit je fünf Wiederholungen. Die Unterschalen der Petrischalen werden jeweils mit einem Wattepad ausgelegt. Die Beschriftung erfolgt auf Papier mit Bleistift und wird in die Schale gelegt, damit ein Vertauschen ausgeschlossen ist. Auf jedem Wattepad mit Beschriftung werden zehn Samen einer Getreidesorte ausgelegt und dieses mit 15 mL der jeweiligen NaCl-Lösung getränkt. Die Petrischalen werden verschlossen und an einen hellen Ort gestellt. Ab dem dritten oder vierten Tag müssen die Schalen täglich nach Bedarf und einheitlich mit destilliertem Wasser nachgegossen werden. Wenn die Keimlinge groß geworden sind, werden die Deckel entfernt. Nach frühestens sieben Tagen werden die Anzahl der gekeimten Samen bestimmt und die Länge jedes Keimlings ausgemessen. Außerdem wird für jede Schale die durchschnittliche Biomasse der Keimlinge bestimmt, indem die oberirdischen Teile abgetrennt, gewogen und durch ihre Anzahl geteilt werden. Aus den erhaltenen Ergebnissen werden die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten berechnet.

4.4 Ergebnisse und Interpretation

Aus Abbildung 2 sowie aus Abbildung 3 auf der folgenden Seite wird deutlich, dass höhere NaCl-Konzentrationen die Keimungsrate von Roggen und Weizen senken. Allerdings reagiert Weizen deutlich empfindlicher, sodass eine NaCl-Konzentration von 0,2 mol/L ausreicht, um die Keimung der Weizensamen vollständig zu verhindern. Die Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten können einen Wertebereich von „+1“ (ideale positive Korrelation) bis „-1“ (ideale negative Korrelation) annehmen (Engel, 1997). Ab einem Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten von „0,362“ bzw. „-0,362“ kann mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit von einer signifikant positiven bzw. signifikant negativen Korrelation gesprochen werden (Engel, 1997).

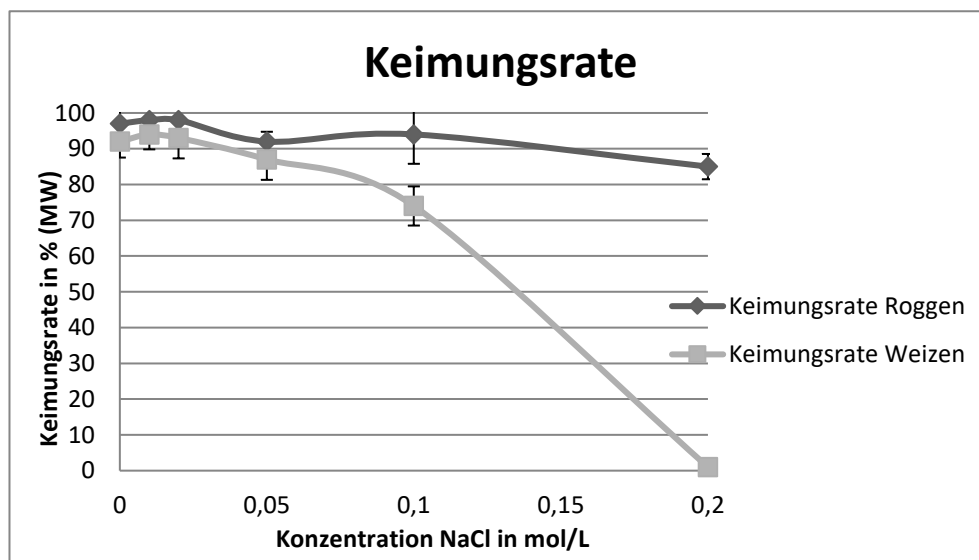


Abbildung 2: Ergebnisse aus dem Schülerexperiment. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen für die Keimungsrate in Abhängigkeit von der Salzkonzentration. (eigene Darstellung)

Sowohl für die Keimungsrate von Roggen ($r = -0.592$) als auch für die Keimungsrate von Weizen ($r = -0.856$) ergibt sich demnach eine signifikante Korrelation zwischen zunehmender NaCl-Konzentration und abnehmender Keimungsrate. Auf einen Ver-

gleich der EC50-Werte muss in diesem Beispiel verzichtet werden, da für die Keimungsrate von Roggen kein EC50-Wert innerhalb des untersuchten Konzentrationspektrums bestimmt werden kann.

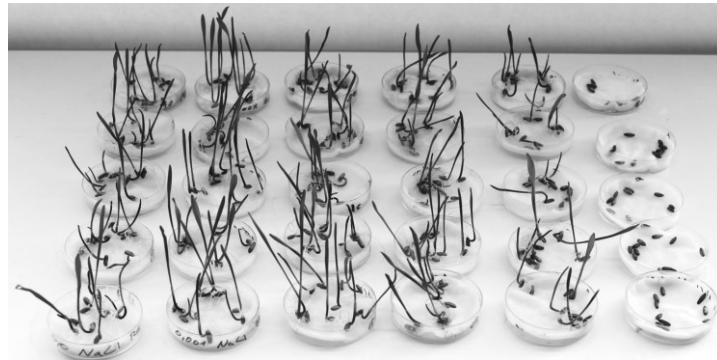


Abbildung 3: Ergebnisse einer Schülergruppe. Die Reihen der Petrischalen sind nach steigender Salzkonzentration von links nach rechts sortiert. (eigenes Bildmaterial)

Aus Abbildung 4 ist die Auswirkung steigender NaCl-Konzentrationen auf die Keimblattlänge zu entnehmen. Es zeigt sich, dass NaCl auf den Wuchs der Keimlinge eine deutlich größere Auswirkung als auf die Keimung an sich hat. Zwar keimen bei einer NaCl-Konzentration von 0,2 mol/L noch 85 Prozent der Roggensamen, aber aus den gekeimten Samen wachsen keine Keimlinge mehr heran. Ein Vergleich der EC50-Werte (Roggen: 0,02 mol/L; Weizen: 0,01 mol/L) bestätigt, dass Weizen empfindlicher auf den Faktor „NaCl“ reagiert. Auf die Bestimmung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten kann in diesem Fall verzichtet werden, da bereits für die Keimungsrate ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden konnte und die Berechnung anhand der Blattlänge für die Schüler*innen mit deutlich mehr Aufwand verbunden wäre.

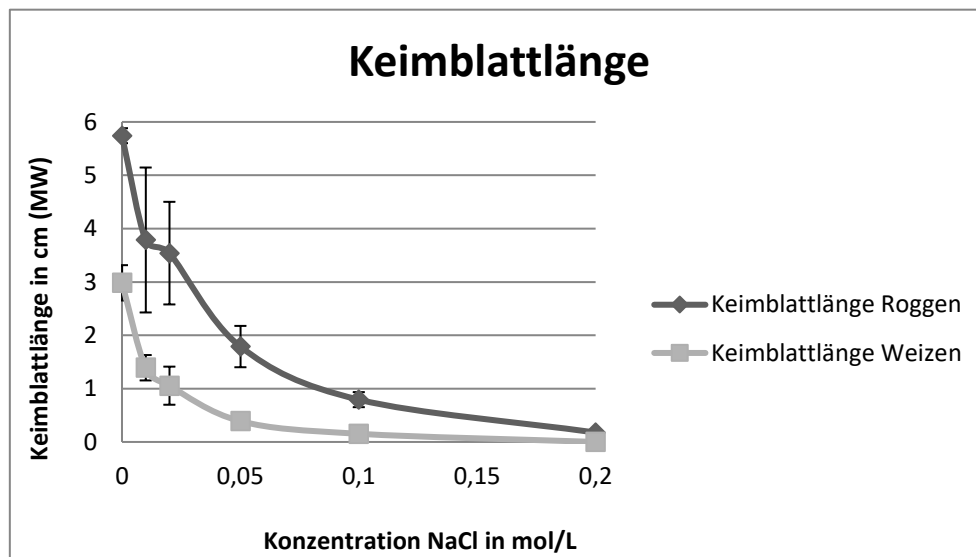


Abbildung 4: Ergebnisse aus dem Schülerexperiment. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen für die Keimblattlänge in Abhängigkeit von der Salzkonzentration. (eigene Darstellung)

5 Anregungen zur Reflexion

Zum Abschluss der Unterrichtsreihe wird das Thema „Bodenversalzung“ erneut aufgegriffen. Anhand der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Gruppen können die Schüler*innen diskutieren, welche Getreidesorte die größte Salztoleranz aufweist. Neben NaCl kann das Experiment ebenso mit anderen Nährsalzen oder Schwermetallsalzen durchgeführt werden (Stockey & Wilde, 2013). Hier bietet es sich an, die Ergebnisse stärker für eine Diskussion in Richtung ihrer ökotoxikologischen Bedeutung sowie des ethisch-moralischen und sozio-ökonomischen Hintergrundes der Festlegung von Grenzwerten zu nutzen (Stockey, 2010).

Als Anschluss an das Experiment zum physiologischen Optimum wird das ökologische Optimum anhand des Hohenheimer Grundwasserversuches eingeführt. Der nun ins Zentrum gerückte Aspekt der Konkurrenz ermöglicht es, mit den Schüler*innen ein fundiertes Bild des Konzeptes der ökologischen Nische zu entwickeln. Außerdem bietet die Betrachtung von Konkurrenz die Grundlage und den Übergang zur nächsten Unterrichtseinheit „Selektion und Evolution“.

Literatur und Internetquellen

- Begon, M., Howarth, R.W., & Townsend, C.R. (2017). *Ökologie. Lehrbuch* (3. Aufl.). Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49906-1>
- Blank, O.-H. (2009). *Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden? – Studien zur Aufnahme und Verlagerung von Chlorid durch verschiedene Johannisbeerarten*. Hrsg. vom Institut für Pflanzenernährung. Zugriff am 24.04.2019. Verfügbar unter: https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2009/376/pdf/Final_Dr.Blank.pdf.
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2016). *Biologie* (10., aktual. Aufl.). Hallbergmoos: Pearson Deutschland.
- Deutschlandfunk (2014). *2000 Hektar werden pro Tag unbrauchbar. Manzoor Qadir im Gespräch mit Monika Seynsche*. Zugriff am 24.04.2019. Verfügbar unter: http://www.deutschlandfunk.de/bodenversalzung-2000-hektar-werden-pro-tag-unbrauchbar.676.de.html?dram:article_id=303262.
- Ellenberg, H. (1952). Physiologisches und ökologisches Verhalten derselben Pflanzenarten. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 65, 350–361. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1953.tb00671.x>
- Engel, J. (1997). *Signifikante Schule der schlichten Statistik. Studienhandbuch Biologie*. Fürth: Filander.
- Fent, K. (2013). *Ökotoxikologie: Umweltchemie, Toxikologie, Ökologie* (4., vollständig überarb. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme.
- Hetzel, I., & Jagel, A. (2013). *Castanea sativa – Esskastanie, Edelkastanie (Fagaceae)*. *Jahrbuch Bochumer Botanischer Verein*, 4, 156–162.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415–427. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Killermann, W., Hering, P., & Starosta, B. (2016). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik* (16., aktual. Aufl.). Augsburg: Auer.
- Qadir, M. (2016). Reversing Salt-Induced Land Degradation Requires Integrated Measures. *Water Economics and Policy*, 2 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1142/S2382624X16710016>
- Qadir, M., Quill rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel P., & Noble, A.D. (2014). Economics of Salt-Induced Land Degradation and Restoration. *Natural Resources Forum*, 38, 282–295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
- Schmuck, R. (2012). Ökotoxikologie. In H.-W. Vohr (Hrsg.), *Toxikologie* (S. 275–296). Weinheim: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527635528.ch11>

- Smith, T.M., & Smith, R.L. (2009). *Ökologie* (6. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Spiegel Online (2014). *Versalzung macht immer mehr Böden unfruchtbar*. Zugriff am 08.04.2019. Verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/versalzung-taeglich-2000-hektar-ackerland-werden-unfruchtbar-a-999817.html>.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A. & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stockey, A. (2010). Vom Sein zum Sollen: Zur Grenzwertfestlegung in Toxikologie und Umweltschutz – Sekundarstufe II. *Ethik und Unterricht*, 3, 39–45.
- Stockey, A., & Wilde, M. (2013). Viel hilft viel – oder? In P. Schmiemann & J. Mayer (Hrsg.), *Experimentieren Sie! Biologieunterricht mit Aha-Effekt: Selbstständiges, kompetenzorientiertes Erarbeiten von Lehrplaninhalten* (S. 32–34). Berlin: Cornelsen.
- Umweltbundesamt (2011). *Stickstoff – Zuviel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren*. Zugriff am 24.04.2019. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4058.pdf>.
- Vohr, H.-W. (2012). Toxikodynamik. In H.-W. Vohr (Hrsg.), *Toxikologie* (S. 75–93). Weinheim: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527635528.ch4>
- Wake, D.B., Hadly, E.A., & Ackerly, D.D. (2009). Biogeography, Changing Climates, and Niche Evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (2), 19631–19636. <https://doi.org/10.1073/pnas.0911097106>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Haunhorst, D., Stockey, A. (Erstautoren), & Wilde, M. (2020). Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>

Online-Supplement:

Materialien für ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung

Cornelia Stiller^{1,*}, Holger Bekel-Kastrup² & Andreas Stockey²

¹ Universität Bielefeld

² Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: In dieser Unterrichtseinheit wird am Beispiel des Birken-spanners das Phänomen der gerichteten Selektion erarbeitet und mit einem Selektions-Simulations-Experiment veranschaulicht. Dabei erfolgt eine Verknüpfung der genetischen (Vererbbarkeit und Variabilität von Merkmalen), ökologischen (Räuber-Beute-Beziehung und negative Rückkoppelung in Ökosystemen) und evolutiven (Selektion und Anpassung) Aspekte des Phänomens. Auf der methodischen Ebene ermöglicht dieses Simulationsexperiment die Anwendung aller in den vorherigen Experimenten erlernten Kompetenzen.

Schlagwörter: Experimentieren, Unterrichtskonzept, Evolution, Simulationsexperimente, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Evolution sollte ein essentieller Bestandteil des Biologieunterrichts sein (Graf, 2009; Sommer, 2011; Wallin, 2011). In Lehrplänen für die Eingangsphase (MSW NRW, 2013) wird auf ein Verständnis von evolutionären Zusammenhängen im Biologieunterricht ein Schwerpunkt gelegt. Kaum eine andere Theorie eignet sich so gut wie die Evolutionstheorie, biologischen Inhalten einen gemeinsamen übergeordneten Rahmen zu geben, und ermöglicht erst so ein grundlegendes Verständnis der Biologie (Kattmann, 1995; Sommer, 2011; Wallin, 2011) und eine gesellschaftliche Teilhabe (Kattmann, 1995) im Sinne einer wissenschaftspropädeutischen Grundeinstellung (Graf, 2009). Für das Welt- und Selbstverständnis des Menschen ist die Evolutionstheorie von zentraler Bedeutung (Harlen, 2010), sodass sie in einem Curriculum, das eine naturwissenschaftliche Grundbildung anstrebt, nicht fehlen sollte.

2 Evolutionstheorie im Unterricht

Die Evolutionstheorie, als eine der bedeutendsten biologischen Theorien, befasst sich mit der evolutiven Entwicklung von Arten. Charles Darwin dokumentierte nach jahrzehntelanger Auswertung, dass eine große Variationsbreite innerhalb einer Art vorliegt und mehr Nachkommen produziert werden, als überleben und sich fortpflanzen können. Das Überleben einzelner Individuen ist nicht ausschließlich zufällig, sondern hängt grundlegend von den ererbten Merkmalen ab (Campbell & Reece, 2009). Dabei haben Individuen, die vorteilhafte ererbte Merkmale besitzen, eine höhere Wahrscheinlichkeit, sich erfolgreich fortzupflanzen, als Individuen, die diese für die jeweiligen Umweltbedingungen vorteilhaften Merkmale nicht aufweisen. Darwin erkannte die Verbindung zwischen der natürlichen Selektion und der Fähigkeit von Organismen, eine Überproduktion an Nachkommen zu erzeugen (Campbell & Reece, 2009). Es gibt demnach einen Wettbewerb um Ressourcen, bei dem diejenigen erfolgreich sind, die am besten an die jeweiligen Umweltbedingungen angepasst sind, wodurch es allmählich über viele Generationen durch Selektion zu einer veränderten Zusammensetzung von Populationen und damit langfristig zu evolutiver Veränderung von Arten kommt (Munk, 2000). Darüber hinaus stellen Unterschiede im Fortpflanzungserfolg eine hinreichende Voraussetzung für eine Selektion dar, die langfristig über viele Generationen zu einem absoluten Wandel in der Populationszusammensetzung führt. Darwins Evolutionstheorie wurde durch weitere Forschung gefestigt und spezifiziert. Mit dem Neodarwinismus wurden Mutation und Rekombination als Ursache für Variation erkannt (Munk, 2000). Der synthetischen Evolutionstheorie liegt die Annahme zugrunde, dass die Variationsbreite innerhalb von Populationen eine Anpassung an die jeweilige Umwelt darstellt (Munk, 2000). Evolution kann demnach als ein Zusammenwirken von Variation, Überproduktion und Selektion in einer sich ändernden Umwelt gesehen werden, in dessen Folge über einen langen Zeitraum eine Anpassung von Lebewesen an die Umwelt resultiert (Bayrhuber, Kull & Linder, 2005; Erdmann, 2010).

2.1 Grundbegriffe der Evolutionstheorie

Aus evolutiver Perspektive wird ein populationsgenetischer bzw. biologischer Artbegriff zugrunde gelegt (Bayrhuber et al., 2005; Campbell & Reece, 2009), der eine Population als die Gesamtheit aller Individuen einer Art beschreibt, die zur gleichen Zeit leben und eine Fortpflanzungsgemeinschaft darstellen (Bayrhuber, et al., 2005; Erdmann, 2010). Eine Art ist dadurch gekennzeichnet, dass deren Individuen sich ausschließlich miteinander fortpflanzen können und darüber hinaus durch Fortpflanzungsschranken von Populationen anderer Arten getrennt sind (Zrzavý, Burda, Storch, Begall & Mihulka, 2013).

Nur wenn in einer Population verschiedene Ausprägungen eines Merkmals vorhanden sind (Variation), ist Evolution möglich. Jedes Individuum einer Population hat einen spezifischen Genotyp, der sich in bestimmten sichtbaren Merkmalen und Eigenschaften des Individuums über den Phänotyp zeigt, z.B. charakteristische morphologische Merkmale wie Aussehen und Körpergröße (Campbell & Reece, 2009). Zu phänotypischen Unterschieden zählen nicht nur morphologische, anatomische oder verhaltensbiologische Unterschiede, sondern auch Unterschiede in Merkmalen auf molekularem Niveau, wie z.B. in der Blutgruppe (Campbell & Reece, 2009). Für die Vererbung relevant sind phänotypische Merkmale, die einen genetischen Hintergrund haben. Genetische Variation entsteht im Wesentlichen durch Rekombination und Mutation. Dabei beruht der größte Teil der genetischen Variabilität bei Arten, die sich sexuell fortpflanzen, auf der individuellen Neukombination von Allelen (Rekombination), bei der so nach dem Zufallsprinzip „individuen-spezifische neue Genotypen“ entstehen (Campbell & Reece, 2009, S. 632). Im Gegensatz dazu sind Mutationen selten auftretende, zufällige Veränderungen von DNA-Abschnitten, die spontan oder durch Mutagene wie z.B. Röntgenstrahlen entstehen können (Campbell & Reece, 2009; Erdmann, 2010). Für evolutive Prozesse direkt relevant sind Mutationen, die in den Keimzellen stattfinden, während somatische Mutationen in der Evolution nicht direkt wirksam werden, da diese nicht an die folgende Generation weitergegeben werden können, sondern nur indirekt über eine reduzierte Fortpflanzungsrate wirksam werden können. Verschiedene Varianten eines Merkmals führen dazu, dass es zwischen einzelnen Individuen Unterschiede gibt, wie gut sie jeweils an die bestehenden Umweltbedingungen angepasst sind und damit auch wie gut sie sich fortpflanzen und überleben können. Dieses führt dazu, dass die Allelfrequenz für die vorteilhaften Merkmale in den nächsten Generationen zunimmt.

Als Selektionsfaktoren können biotische (z.B. innerartliche und zwischenartliche Konkurrenz) und abiotische (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) Umweltfaktoren wirksam werden. Die gerichtete Selektion ist eine Form der Selektion (Campbell & Reece, 2009; Erdmann, 2010). Ursache für eine gerichtete Selektion sind häufig Umweltveränderungen oder die Besiedlung eines neuen Lebensraumes, die dazu führen, dass die Individuen einen Vorteil haben, die vom Durchschnitt abweichen und dadurch unter den veränderten Umweltbedingungen einen Vorteil aufweisen. Als Folge davon haben diese Individuen eine höhere Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeit, und es kommt zu einer Häufigkeitsveränderung des Merkmals innerhalb der Population, die langfristig zu evolutionem Wandel führt. Ein Beispiel für eine gerichtete Selektion stellen die körnerfressenden Finken auf den Galapagos-Inseln dar (Erdmann, 2010). Aufgrund einer Dürre im Jahre 1977 und des damit verbundenen geänderten Nahrungsangebots zeigte sich innerhalb einer Generation eine messbare Veränderung des Phänotyps. Im Vergleich zu den Generationen davor wiesen im Mittel die Finken dickere Schnäbel auf, mit denen sie in der Lage waren, auch größere und härtere Pflanzensamen zu knacken.

2.2 Industriemelanismus

Anhand des Phänomens des Industriemelanismus lassen sich Variation und Selektion im Unterricht gut illustrieren. In der Mitte des 19. Jahrhunderts konnte an zahlreichen Nachtfalterarten im Zuge der Industrialisierung und damit zusammenhängend einer Zunahme der Luftverschmutzung ein Wechsel in der Verbreitung von hellen zu dunklen Färbungen beobachtet werden (Kutschera, 2006). Dieses Phänomen wurde als „Industriemelanismus“ bezeichnet und beschreibt eine „rasche genetisch verankerte Anpassung einer Tierart an veränderte Umweltbedingungen unter Wechsel der Körperpigmentierung“ (Kutschera, 2006, S. 214ff.). Durch die Industrialisierung zu Beginn des 19. Jahrhunderts und die damit einhergehende Luftverschmutzung kam es zu einem Rückgang des Flechtenbewuchses an den Bäumen, während Rußablagerungen zunahm (Lunau, 2002). Dieses führte dazu, dass helle Nachtfalter auf den mittlerweile durch Ruß ge-

schwärzten Bäumen für ihre Fressfeinde nicht mehr so gut getarnt waren wie die dunkleren Varianten derselben Art. Die hellen Morphen hatten demnach einen Selektionsnachteil, und in den Folgegenerationen nahm der Anteil an hellen Morphen ab und der der dunkleren Morphen zu. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist aufgrund der abnehmenden Schadstoffbelastung wieder eine Zunahme der helleren Varianten zu beobachten (Lunau, 2002). Dieses Phänomen des Industriemelanismus gilt als klassisches Beispiel für „Evolution in Aktion“ (Lunau, 2002), bei der die Entstehung neuer Merkmale zwar keine Rolle spielt, aber verdeutlicht werden kann, wie sich die Häufigkeit zweier Morphen durch drastisch veränderte Umweltbedingungen ändern kann (Lunau, 2002). Damit können zwei der wesentlich wirksamen Evolutionsprinzipien, Variation und Selektion, an einem Beispiel verdeutlicht werden.

Konkret lässt sich der Industriemelanismus an den Untersuchungen am Birkenspanner (*Biston bitularia*) von Kettlewell Ende der 1950er-Jahre (Majerus, 1998) illustrieren (Erdmann, 2010; Kutschera, 2006; Lunau, 2002). *Biston bitularia* kommt in zwei Morphen vor: in der hellen Variante als *Biston bitularia typica* und in der dunklen als *Biston bitularia carbonaria* (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite). Die Individuen sind nachtaktiv, und tagsüber findet man sie regungslos an Baumstämmen. Birkenspanner sind Nahrung für viele verschiedene Vogelarten. Kettlewell setzte im Jahre 1955 markierte Individuen beider Varianten zu gleichen Anteilen in Wäldern von Industriegebieten in der Nähe von Birmingham und in einem ländlichen Gebiet bei Dorset aus und fing diese wieder ein (Majerus, 2009). Je nach Aussetzungsgebiet unterschieden sich die Wiederfangquoten der hellen und dunklen Falter (vgl. Tab. 1). In dem ländlichen Gebiet um Dorset konnten mehr helle als dunkle Falter wiedergefangen werden, während es in den industriellen Gebieten um Birmingham umgekehrt war. Die Befunde der Untersuchung deuten darauf hin, dass diejenigen Falter eine höhere Überlebenschance hatten, die sich durch eine höhere Übereinstimmung zwischen Falteraussehen und Untergrund erfolgreicher vor Fressfeinden verbergen konnten. Das waren in den ländlichen Gebieten die hellen Falter, die auf den hellen Rinden der Bäume vor ihren Fressfeinden besser getarnt waren, und in den Industriegebieten die dunklen Falter, die auf den dort vorkommenden verrotteten Rinden besser an die Umgebung angepasst und dadurch besser vor ihren Fressfeinden geschützt waren.

Tabelle 1: Wiederfangquoten in den Experimenten von Kettlewell (Daten übernommen aus Majerus, 2009, S. 65)

Aussetzungsgebiet	Wiederfangquote	
	<i>Biston bitularia typica</i>	<i>Biston bitularia carbonaria</i>
Birmingham (Industriegebiet)	25,0 %	52,3 %
Dorset (ländlich)	12,5 %	6,3 %

Die Experimente von Kettlewell und insbesondere die vereinfachte Darstellung in klassischen Schulbüchern haben sich in den letzten Jahren häufig Kritik unterziehen müssen und wurden deshalb als für den Unterricht weniger geeignet eingeschätzt (Majerus, 2009; Rudge, 2000). Majerus (2009) kommt dennoch zu dem Schluss, dass das Beispiel des Industriemelanismus beim Birkenspanner geeignet ist, um im Rahmen des Unterrichts zum Thema Evolution behandelt zu werden, da es für Schüler*innen einfach zu verstehen und nachzuvollziehen ist. Dadurch stellt es eine gute Möglichkeit dar, um Schüler*innen in das Konzept der natürlichen Selektion einzuführen (Rudge, 2000). Darüber hinaus eignet es sich hervorragend, gerade durch die Probleme, die mit dem Experiment von Kettlewell verbunden sind (vgl. z.B. Majerus, 2009, S. 116ff.; Rudge, 2000), um das wissenschaftliche Vorgehen in den Naturwissenschaften nachvollziehbar darzustellen

und zu einem Verständnis der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung beizutragen (Majerus, 2009; Rudge, 2000).

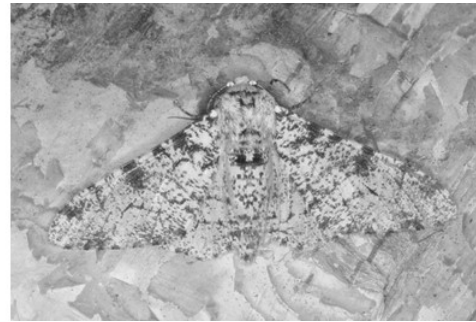


Abb. 1: (a) *Biston bitularia carbonaria*
© Norbert Grotjohann

(b) *Biston bitularia typical*

3 Das Schülereperiment und methodische Aspekte

Im Schulunterricht ist es häufig nicht möglich, bestimmte Experimente durchzuführen. Die Gründe dafür liegen in einem bei manchen Experimenten unverhältnismäßig hohen zeitlichen und apparativen Aufwand, weil an den Schulen die nötigen Voraussetzungen nicht gegeben sind, oder daran, dass Beobachtungen bzw. Experimente, z.B. aus dem Bereich der Genetik oder der Evolution, in der Regel gar nicht vorgenommen werden können (Arnold, 2000a; Treitz, 2000; Urhahne & Harms, 2006). Simulationsexperimente dahingegen stellen eine gute Möglichkeit dar, um Schüler*innen alle einzelnen Schritte der Erkenntnisgewinnung durchführen zu lassen, auch bei Experimenten, die in einer Realsituation zu teuer, zeitaufwändig, gefährlich, komplex oder langfristig sind oder bei denen die Vorgänge nicht direkt zugänglich gemacht werden können.

3.1 Experiment-Simulation zum Birkenspanner

Mit dem letzten Experiment im Kurs soll der Zielpunkt des Kurses erreicht werden, indem die Planung, Durchführung, und Dokumentation eines Experimentes vollständig selbstgesteuert erfolgen. Das beinhaltet die Formulierung einer individuellen Fragestellung und einer begründeten Hypothese, die Entwicklung und Durchführung des zur Fragestellung passenden experimentellen Designs sowie eine selbstgesteuerte Datenerhebung und Auswertung durch die Schüler*innen. Evolutionäre Phänomene im realen Unterrichtsexperiment durchzuführen, ist allerdings in der Regel nicht möglich. Um das Phänomen des Industriemelanismus für die Schüler*innen begreifbar zu machen und ihnen die Möglichkeit zu geben, die evolutionär wirksamen Selektionsmechanismen nachzuvollziehen, eignet sich eine Simulation über viele Generationen. Es gibt verschiedene Computersimulationen, die im Internet frei zugänglich sind (z.B. Lichtner, o.D.).

Computersimulationen ermöglichen die Nachbildung von Prozessen oder natürlichen Systemen mit deren bestimmenden Parametern und erlauben den Lernenden so ein gefahrloses Experimentieren und Simulieren in einer artifiziellen Lernumgebung (Urhahne & Harms, 2006). Damit können komplexe naturwissenschaftliche Zusammenhänge veranschaulicht werden, die im Unterricht sonst nicht darstellbar sind (z.B. evolutionsbiologische Mechanismen, neurophysiologische Prozesse, atomarer Teilchenzerfall) (Rottländer, 2000). Durch Manipulation eines Modells, also durch Änderung bzw. Einstellung verschiedener Parameter, haben Schüler*innen die Möglichkeit, wissenschaftliche Erkenntnisprozesse mit vergleichbar wenig Aufwand nachzuvollziehen (Reimann, 2001; Rottländer, 2000). Computersimulationen lassen sich demnach im Unterricht zwar prinzipiell einsetzen, damit Schüler*innen forschend und hypothesengeleitet naturwissenschaftliche Prinzipien und Konzepte „entdecken“ können (Ciesla, 1993; Rottländer,

2000; Urhahne & Harms, 2006). Aufgrund der didaktischen Ausrichtung im Kurs erschien allerdings der Einsatz von Computersimulationen weniger angemessen, da die Setzungen durch das Programm die gewünschten Freiheitsgrade für die Schüler*innen zu stark einschränken und die Unterrichtsziele damit nur teilweise umsetzbar sind. Computersimulationen verleiten Schüler*innen leicht dazu, ziellos verschiedene Parameter zu variieren, ohne tatsächlich vorher aufgestellte Hypothesen zu prüfen (Reimann, 2001). Außerdem sind Schüler*innen beim Arbeiten mit Computersimulationen an die im jeweiligen Programm implementierten Vorgaben und Rahmenbedingungen gebunden (Arnold, 2000b), sodass eine wirklich selbstständige Planung eines Experiments nicht möglich ist. Häufig ist auch die tabellarische und graphische Darstellung der Ergebnisse im Programm implementiert (Ciesla, 1993) und verhindert so, dass Schüler*innen selbstständig überlegen müssen, welche Form der Rohdatentabelle oder Ergebnisdarstellung angemessen ist. Dies alles sind aber ganz wesentliche Elemente, auf deren Förderung im Kurs ein großer Schwerpunkt liegt und die gerade zum Abschluss des Kurses von den Schüler*innen selbstständig geplant und ausgeführt werden sollen (Stiller, Stockey, Hahn, & Wilde, eingereicht; Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft). Der Einsatz einer realen Experiment-Simulation eröffnet den Schüler*innen dahingegen Gestaltungsmöglichkeiten, da relevante Entscheidungen von den Schüler*innen selbstständig getroffen werden können. In einer realen selbstgestalteten Experimentiersimulation können sie selbst eine Fragestellung entwickeln, Hypothesen aufstellen, festlegen, welche Parameter, in welchen Intervallen variiert werden sollen, und entscheiden, in welcher Form die Daten aufgenommen und die Ergebnisse dargestellt werden (Stiller, Stockey et al., eingereicht).

3.2 Planung der Unterrichtseinheit

Die Unterrichtseinheit „Selektion und Evolution“ (vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite) ist für ca. zehn bis zwölf Unterrichtsstunden geplant. Zunächst wird der evolutionsbiologische Hintergrund des Phänomens „Industrie-Melanismus beim Birkenspanner“ als historischer Beleg für Darwins Evolutionstheorie mithilfe von klassischen Lehrbuchtexten, Schülerreferaten und einem Film (z.B. Planet Schule, o.D.) in vier bis sechs Unterrichtsstunden erarbeitet. In diesem theoretischen Teil werden die Grundprinzipien der Evolutionstheorie (Variation, Selektion, Adaptation), das Phänomen des Industriemelanismus und die Untersuchung von Kettlewell in den 1950er-Jahren (vgl. Online-Supplement, Material 1) thematisiert. Danach werden im Rahmen von zwei Unterrichtsstunden verschiedene methodische Grundformen naturwissenschaftlich-empirischen Arbeitens (Zufallsbeobachtung, systematische Erhebung im Freiland, Experiment im Labor, Modellentwicklung, Prozess-Simulation, Simulations-Experiment) thematisiert und deren Einsatzmöglichkeiten verglichen. Dieser Einschub dient dazu, grundlegende Aspekte aus der Einführung in dem Kurs wieder aufzugreifen (Stiller, Allmers, Habigsberg, Stockey & Wilde, S. 28–39 in diesem Heft) und mit den Schüler*innen auch andere methodische Grundformen des hypothetisch-deduktiven Vorgehens der Erkenntnisgewinnung zu vertiefen, die Abhängigkeit von der Zielsetzung und den gegebenen Möglichkeiten zu verdeutlichen und die Schüler*innen mit den Prinzipien von Simulationsexperimenten vertraut zu machen. Um die Schüler*innen grundsätzlich an die Methode eines Simulationsexperiments heranzuführen, wird zunächst ein Vorversuch (das „Wahrnehmungs-Simulations-Experiment“; vgl. Online-Supplement, Material 2) mit der gesamten Kursgruppe gemeinsam durchgeführt. Dieser führt zum einen praktisch in die Durchführung einer Simulation ein, und die Schüler*innen werden für mögliche Fehlerquellen sensibilisiert. Zum anderen können die Schüler*innen mit diesem Vorversuch die Abhängigkeit der Fangquote von der Sichtbarkeit der Beute nachstellen und so ein Verständnis dafür entwickeln, wie Tarnung funktioniert. Die Schüler*innen werden durch diese Vorexperimente auf die selbstständige Planung und Durchführung des Simulationsexperiments zur Räuber-Beute-Beziehung vorbereitet.

In einem anschließenden Simulationsexperiment (zwei Unterrichtsstunden) wird dann in Einzelarbeit oder in Zweiergruppen die Bedeutung unterschiedlicher Parameter für den Tarnungs-Effekt in unterschiedlichen individuellen, selbstständig ausgestalteten Untersuchungsansätzen bearbeitet. Die Untersuchung der Wirkung dieses Phänomens über viele Generationen (d.h. durch Selektion verursachte evolutive Entwicklung als Anpassung an eine sich verändernde Umwelt in einer Räuber-Beute-Beziehung) wird in einem dritten Ansatz nachgestellt und in einer Simulation experimentell überprüft. Dieses Vorgehen hat auch den Vorteil, dass die Schüler*innen eine gewisse Routine im Umgang mit den Materialien und dem Vorgehen entwickeln können. Anschließend bietet sich eine Unterrichtseinheit zu evolutiven Weltbildern an, um erkenntnistheoretische Aspekte weiter zu vertiefen.

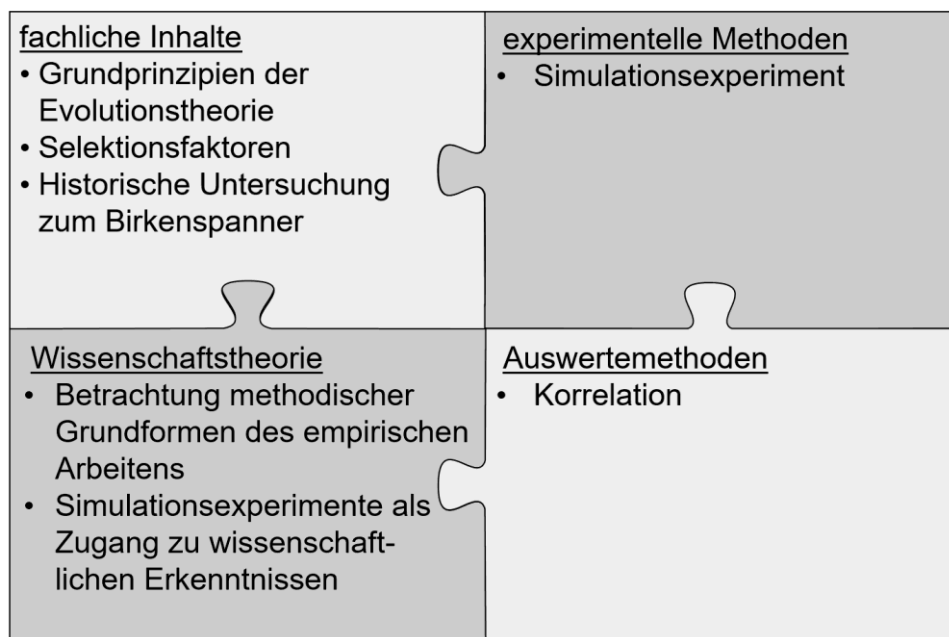


Abbildung 2: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte für die Unterrichtseinheit „Evolution und Selektion“ (eigene Darstellung)

3.3 Methodische Einbindung

Durch die Vorexperimente wurden die Schüler*innen auf die selbstständige Planung und Durchführung des Simulationsexperiments zur Räuber-Beute-Beziehung vorbereitend unterstützt. Das Simulationsexperiment zur Räuber-Beute-Beziehung bietet nun die Gelegenheit, dass die Schüler*innen ihr erworbenes Wissen zum Vorgehen beim Experimentieren selbstständig in allen Schritten der experimentellen Planung und Umsetzung einsetzen können. Die Schüler*innen entscheiden in diesem Experiment erstmalig selbstständig, welche Variablen sie kontrollieren, und sie legen ebenso erstmalig selbstständig fest, welche spezifische Fragestellung sie im Rahmen der übergeordneten Frage untersuchen und wie sie das Simulationsexperiment durchführen werden (vgl. Stiller, Stockey et al., eingereicht; Stiller, Hahn et al., S. 5–16 in diesem Heft). In den Experimenten der vorhergehenden Unterrichtseinheiten formulierten die Schüler*innen lediglich eine präzise Fragestellung. In dem Simulationsexperiment zur Räuber-Beute-Beziehung überlegen sie selbstständig, welche konkrete Fragestellung sie in ihrem Simulationsexperiment untersuchen wollen. Dieses Simulationsexperiment ermöglicht so eine maximale Selbststeuerung, da die Simulation durch vielfältige Ausgestaltungsmöglichkeiten die freie Gestaltung der experimentellen Rahmenbedingungen ermöglicht. Dieses Vorgehen bedeutet auch, dass eine große Variationsbreite an Fragestellungen und

Experimentierdesigns vorliegt, mit der die Lehrenden konstruktiv umgehen müssen und was von ihnen ein hohes Ausmaß an Flexibilität erfordert. Auch wenn die Schüler*innen prinzipiell in der Lage sein sollten, alle Schritte des hypothetisch-deduktiven Verfahrens alleine durchzuführen, so bleiben die Lehrenden Ansprechpartner*innen und Berater*innen für eventuell auftretende Schwierigkeiten. Die Lehrenden unterstützen dabei den Erkenntnisprozess der Schüler*innen bei Problemen, indem sie z.B. Leitfragen einsetzen, die es ermöglichen, die Schüler*innen in ihrem Erkenntnisprozess zu begleiten, ohne dabei konkrete Vorgaben zu machen. Auch die Aspekte der *Data Literacy* werden von den Schüler*innen größtenteils selbstständig vollzogen (vgl. Stiller, Allmers et al., eingereicht). Die Schüler*innen legen sich selbst eine Wertetabelle an, berechnen aus den Rohdaten angemessene Maße der zentralen Tendenz, erstellen und beschreiben Diagramme aus ihren Daten und überlegen, wie ein möglicher funktioneller Zusammenhang aussehen kann. Lediglich die Signifikanzprüfung, die erst im vorangegangenen Keimungsexperiment erstmalig eingeführt wurde, bedarf zusätzlicher Unterstützung durch die Lehrperson. Die Lehrperson nimmt allerdings auch hier eine beratende Rolle ein und versucht, in den einzelnen Experimentiergruppen mit den Schüler*innen gemeinsam zu erarbeiten, welche Signifikanzprüfung für die vorhandenen Daten eine geeignete Methode darstellt. Die Signifikanzprüfung selbst wird von den Schüler*innen selbstständig mit den eigenen Daten und anhand der aus dem vorangegangenen Experiment bekannten Vorgehensweise durchgeführt (vgl. Online-Supplement, Material 4).

3.4 Durchführung und Auswertung

Die Schüler*innen bekommen die Aufgabe, ein Simulationsexperiment zu entwickeln, mit dem die durch Selektion verursachte evolutive Entwicklung als Anpassung an eine sich verändernde Umwelt in einer Räuber-Beute-Beziehung nachgestellt und experimentell überprüft werden kann. Dazu erhalten sie von den Lehrenden eine Liste mit zur Verfügung stehenden Materialien: (a) vielfältig variiertes Papier (verschiedene Graustufen, Schwarz/Weiß-Muster, Schwarz/Weiß-Schattierungen, Schwarz/Weiß-Birkenrinden-Muster) als Material für den Hintergrund (Umwelt) und die Papier-Schmetterlinge (Beute), (b) buntes Papier für Blätter und Blüten, (c) Schmetterlings-Locher (in verschiedenen Größen), (d) Blüten- und Blatt-Locher (in verschiedenen Größen), (e) Mitschüler*innen, Freunde und Bekannte der SuS als Räuber, (f) Haftmittel für die „Räuberfang-Finger“, z.B. Vaseline, Fettsalbe, Wasser usw., (g) eine Stoppuhr zum Messen der Dauer der Fangperiode, z.B. Handy-Telefon, (h) Klebeband zum Zusammenkleben der Hintergrund-DIN-A4-Blätter und (i) Scheren (vgl. Online-Supplement, Material 3). Anschließend sollen dann in Kleingruppen mögliche Aspekte, die eine relevante Rolle in dem Evolutionsprozess spielen können, unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Vorexperiment, erarbeitet und diese dann im Plenum diskutiert werden. Das Ergebnis der Diskussion könnte dann eine Liste wie in Tabelle 2 auf der folgenden Seite sein.

Anschließend beginnt die Arbeit in den Experimentiergruppen. Die Gruppen entwickeln ein Untersuchungsdesign zu einer von ihnen festgelegten Fragestellung. Anschließend stellen sich jeweils zwei bis drei Experimentiergruppen ihr Untersuchungsdesign gegenseitig vor. Durch das Feedback der anderen Schüler*innen haben die Experimentiergruppen noch einmal Gelegenheit, mögliche Fehlplanungen zu korrigieren oder Aspekte, die nicht berücksichtigt wurden, aufzunehmen. Anschließend wird das Experiment durchgeführt und von den Schüler*innen selbstständig ausgewertet. Während des gesamten Experimentierens stehen die Lehrenden den Schüler*innen als Berater*innen zur Verfügung. Die Lehrenden können dabei den Erkenntnisprozess der Schüler*innen bei Problemen z.B. durch Leitfragen unterstützen, ohne dabei den Schüler*innen ein Untersuchungsdesign oder die Auswertungsschritte vorzugeben. Ein mögliches Untersuchungsdesign ist in Abbildung 3 auf der folgenden Seite dargestellt.

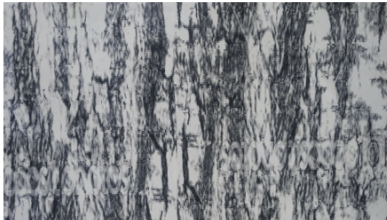
Tabelle 2: Mögliche Merkmalsbereiche und deren Ausprägungen, die im Experiment untersucht werden können (eigene Darstellung)


Merkmalsbereich	Ausprägungen
Beute-Merkmale (Individuen)	Größe, Farbe
Beute-Merkmale (Population)	Variabilität, quantitative Zusammensetzung der Ausgangspopulation, Populationsdichte, Populationswachstum (ohne?, Faktor?)
Hintergrund (Umweltmerkmale)	Farbe, Struktur, Irritation durch weitere Objekte (z.B. Blätter, Blüten)
Räuber-Merkmale	Trainings-Effekt, Sehfähigkeit, Suchdauer, Rot-Grün-Farbblindheit
Regeln für die Beute-Fang-Periode	Maximale Fangdauer, Anzahl der zu fangenden Objekte, wie soll gefangen werden (z.B. mit Fingern ohne Hilfsmittel, mit Klebefinger (Fettsalbe), mit Pinzette)?

Fragestellung: Wie ändert sich die Anzahl verschiedener Farbvarianten über mehrere Generationen?

Hypothese: Je ähnlicher eine Farbvariante dem Untergrund ist, desto größer wird ihr Anteil an der Gesamtpopulation nach mehreren Generationen.

Untersuchungsdesign:





Farbvariante 3 (schwarz-weiß)

Farbvariante 3 (grau)

Farbvariante 3 (weiß)

Durchführung: Von jeder Farbvariante werden 7 Schmetterlinge zufällig auf dem Hintergrund verteilt. Der „Räuber“ hat 15s Zeit so viele Schmetterlinge zu fangen, d.h. vom Untergrund zu entfernen, wie er in der Zeit schafft. Die übrig gebliebenen Schmetterlinge werden gezählt und die Anzahl notiert. Vor Beginn der nächsten Fangperiode wird jeder Schmetterling verdoppelt und dann wieder auf dem Untergrund zufällig verteilt. Nach der 8. Fangperiode wird abgebrochen. Dieser ganze Vorgang wird fünf Mal wiederholt.

Abbildung 3: Exemplarisches Untersuchungsdesign (eigene Darstellung)

3.5 Mögliche Ergebnisse und ihre Dokumentation

Im Folgenden soll exemplarisch an einer Fragestellung und einem Untersuchungsdesign (vgl. Abb. 3) dargestellt werden, wie Ergebnisse und deren Dokumentation aussehen könnten. Aus Abbildung 4 auf der folgenden Seite ist deutlich ersichtlich, dass die Anzahl der weißen und der schwarz-weißen Farbvariante über die Generationen deutlich zunimmt, während die Anzahl der grauen Farbvariante abnimmt. Um dieses zu verdeutlichen, lässt sich eine *Spearman-Rangkorrelation* berechnen, die die Schüler*innen bereits aus dem Keimungsexperiment kennen (vgl. Haunhorst, Stockey & Wilde, S. 107–116 in diesem Heft). Es zeigt sich eine signifikante positive Korrelation zwischen Generation und Anzahl der „überlebenden“ Schmetterlinge bei den schwarz-weißen ($r_s = 0,831$) und den weißen Faltern ($r_s = 0,828$) und eine signifikant negative Korrelation bei der grauen Farbvariante ($r_s = -0,866$). Die weiße und die schwarz-weiße Farbvariante

haben eine höhere Ähnlichkeit mit dem Hintergrund als die graue Farbvariante. Die aufgestellte Hypothese „Je ähnlicher eine Farbvariante dem Untergrund ist, desto größer wird ihr Anteil an der Gesamtpopulation nach mehreren Generationen“ konnte demnach durch dieses Simulationsexperiment bestätigt werden.

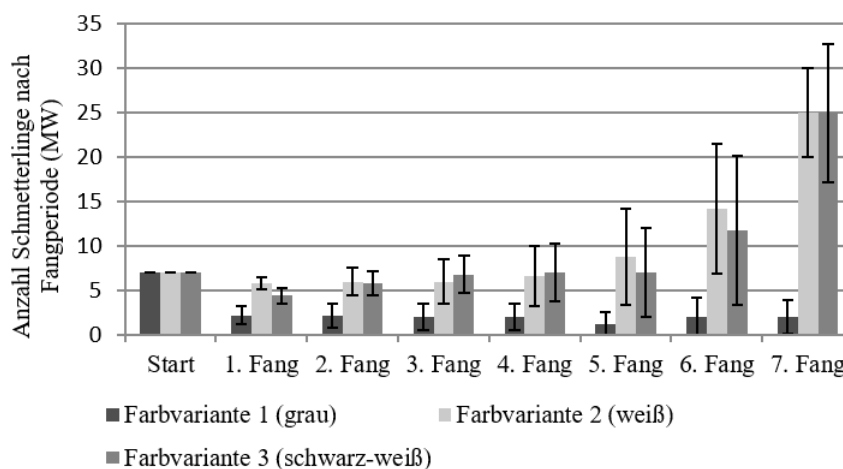


Abbildung 4: Ergebnisse aus dem Experiment. Dargestellt sind die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Balken) der Anzahl der nicht gefangenen Schmetterlinge (eigene Berechnung)

Durch das Experiment lassen sich die grundlegenden Evolutionsfaktoren Variation, Adaptation und Selektion verständlich und nachvollziehbar zeigen. Von den Faltern gab es verschiedene Farbvarianten (Variation). Die einzelnen Individuen mit den verschiedenen Farbvarianten unterschieden sich darin, wie gut sie an die bestehenden Umweltbedingungen angepasst sind. Falter, die eine ähnliche Färbung wie der Untergrund aufwiesen, konnten vom Räuber weniger schnell entdeckt und gefangen werden als Falter, die sich deutlich vom Untergrund unterschieden, sodass Falter mit ähnlicher Färbung einen deutlichen „Überlebensvorteil“ in der nächsten Fangrunde hatten. Sie sind also an die Umweltbedingungen besser angepasst (Adaptation). Die Überlebens- und damit auch die Fortpflanzungswahrscheinlichkeit von Faltern mit einer ähnlichen Färbung sind damit höher als die der Falter, die sich deutlich vom Untergrund unterscheiden (Selektion). Dadurch kommt es zu einer Häufigkeitsveränderung des Merkmals innerhalb der Population, die langfristig zu einem evolutiven Wandel führen würde. Mit diesem Simulationsexperiment lassen sich demnach die Befunde aus der Studie von Kettlewell nachstellen und darüber hinaus die daraus gezogenen Schlussfolgerungen, dass dem ein evolutiver Prozess zugrunde liegt, bekräftigen.

Bei diesem Experiment handelt es sich um ein Simulationsexperiment, d.h., bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es keine reale Situation war, sondern ein evolutiver Prozess nachgestellt wurde. Die Ergebnisse aus dem Simulationsexperiment können durch Faktoren beeinflusst worden sein, die in dieser Form so nicht auf die evolutiven Prozesse wirken würden. So ist z.B. nicht auszuschließen, dass der „Räuber“, der ja ebenfalls die Hypothesen kannte, unbewusst im Sinne der Hypothesen agiert und durch die Wiederholungen Übung im Erkennen der Falter gewonnen hat.

4 Anregungen zur Reflexion

Mit den Schüler*innen gemeinsam kann im Rahmen dieses Experiments der Modellbegriff, der im Rahmen des Dichte- und Lösungswärmeexperimentes (vgl. Allmers, Stiller & Wilde, S. 53–66 in diesem Heft; Stiller, Beyer-Sehlmeyer, Friedrich, Stockey & Allmers, S. 67–79 in diesem Heft) zur vereinfachten Darstellung von naturwissenschaftli-

chem Wissen eingeführt und diskutiert wurde, um die Nutzung von Modellen zur Erkenntnisgewinnung erweitert werden. Auch an dieser Stelle ist es empfehlenswert, den Umgang mit Modellen für den Erkenntnisprozess zu thematisieren und mögliche Stärken und Schwächen dieser Herangehensweise mit den Schüler*innen zu erörtern.

Literatur und Internetquellen

- Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>
- Arnold, G. (2000a). Mendel-Genetik in der Sekundarstufe II. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, 49 (7), 1–9.
- Arnold, G. (2000b). Neues Lernen? Didaktische und methodische Überlegungen. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, 49 (1), 4–9.
- Bayrhuber, H., Kull, U., & Linder, H. (Hrsg.). (2005). *Linder-Biologie. Lehrbuch für die Oberstufe*. Braunschweig: Schroedel.
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2009). *Biologie*. München: Pearson Studium.
- Ciesla, E. (1993). Der Computereinsatz im Physikunterricht unter didaktischer Sicht. *Physik in der Schule*, 31 (7–8), 243–248.
- Erdmann, U. (Hrsg.). (2010). *Evolution*. Braunschweig: Schroedel.
- Graf, D. (2009). Evolution – das Rückgrat der Biologie. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62 (1: Evolution), 3–4.
- Harlen, W. (Hrsg.). (2010). *Principles and Big Ideas of Science Education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.
- Haunhorst, D., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>
- Kattmann, U. (1995). Konzeption eines naturgeschichtlichen Biologieunterrichts: Wie Evolution Sinn macht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1, 29–45.
- Kutschera, U. (2006). *Evolutionsbiologie*. Stuttgart: Ulmer.
- Lichtner, H.-D. (o.D.). *Lernspiel „Selektionsprozesse beim Birkenspanner“*. Zugriff am 15.3.2019. Verfügbar unter: http://lernarchiv.bildung.hessen.de/sek/biologie/allgemeine_biologie/evolution/evolutionstheorie/evofaktoren/index.html/panel_lrt/?id=9999.
- Lunau, K. (2002). *Warnen, Tarnen, Täuschen. Mimikry und andere Überlebensstrategien in der Natur*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Majerus, M.E.N. (1998). *Melanism. Evolution in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Majerus, M.E.N. (2009). Industrial Melanism in the Peppered Moth, *Biston betularia*: An Excellent Teaching Example of Darwinian Evolution in Action. *Evolution: Education and Outreach*, 2 (1), 63–74. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0107-y>
- MSW NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen) (2013). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: MSW.
- Munk, K. (Hrsg.). (2000). *Grundstudium Biologie: Biochemie, Zellbiologie, Ökologie, Evolution*. Heidelberg & Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Planet Schule. Schulfernsehen multimedial (o.D.). *Film „Darwins Erben“*. Zugriff am 15.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?film=8249>.
- Reimann, P. (2001). Lernen in der Virtualität. Aktuelle Erkenntnisse der Lernpsychologie. *DIE – Zeitschrift für Erwachsenenbildung*, 8, 28–29.
- Rottländer, E. (2000). „Neue“ Medien im Biologieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, 49 (1), 1–4.

- Rudge, D.W. (2000). Does Being Wrong Make Kettlewell Wrong for Science Teaching? *Journal of Biological Education*, 35 (1), 5–11. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655728>
- Sommer, R.J. (2011). Zum Wissenschaftsverständnis der modernen Evolutionsbiologie. In D. Graf (Hrsg.), *Evolutionstheorie – Akzeptanz und Vermittlung im europäischen Vergleich* (S. 91–98). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02228-9_7
- Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39. <https://doi.org/10.4119/pflb-3302>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Treitz, N. (2000). Kann die Simulation etwas, was das Experiment nicht kann? *Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 49 (6), 2–4.
- Urhahne, D., & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulation. *Unterrichtswissenschaft*, 34 (4), 358–377.
- Wallin, A. (2011). Zu einer inhaltsorientierten Theorie des Lernens und Lehrens der biologischen Evolution. In D. Graf (Hrsg.), *Evolutionstheorie – Akzeptanz und Vermittlung im europäischen Vergleich* (S. 119–139). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02228-9_9
- Zrzavý, J., Burda, H., Storch, D., Begall, S., & Mihulka, S. (2013). *Evolution. Ein Lese-Lehrbuch*. Berlin & Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39696-0>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Stiller, C., Bekel-Kastrup, H., & Stockey, A. (2020). Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innen-Bildung*, 2 (2), 117–128. <https://doi.org/10.4119/pflb-3309>

Online-Supplement:

Materialien für ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>