

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Chemie und Pharmazie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Konzeption, Erprobung und Evaluation
einer Blended Learning-Fortbildung für
MINT-Lehrkräfte zu Experimento | 10+ mit
digitalen und analogen Inhalten**

LISA MARIA KNIE

aus

Schwabmünchen, Deutschland

2022

Erklärung

Diese Dissertation wurde im Sinne von § 7 der Promotionsordnung vom 28. November 2011 von Herrn Prof. Dr. Stefan Schwarzer betreut.

Eidesstattliche Versicherung

Diese Dissertation wurde eigenständig und ohne unerlaubte Hilfe erarbeitet.

München, 03.08.2022

.....

Lisa Knie

Dissertation eingereicht am	14.06.2022
1. Gutachter:	Prof. Dr. Stefan Schwarzer
2. Gutachter:	Prof. Dr. Timm Wilke
Mündliche Prüfung am	25.07.2022

*„Ein hübsches Experiment ist an sich wertvoller als
zwanzig in der Gedankenretorte erbrütete Formeln.“*

ALBERT EINSTEIN

Danksagung

Während meiner Zeit als Doktorandin hatte ich das große Privileg, mit vielen verschiedenen Personen und Charakteren zusammenzuarbeiten zu dürfen. Daher wird es mir sicherlich nicht gelingen, all denjenigen zu danken, die in irgendeiner Weise zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben – ich möchte es aber an dieser Stelle dennoch versuchen:

Zuallererst möchte ich mich natürlich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Stefan Schwarzer bedanken. Er hat mich überhaupt erst auf das Projekt aufmerksam gemacht und stand mir stets mit Rat und Tat zur Seite. Vielen Dank, Stefan, für diese tolle Möglichkeit, die zahlreichen neuen Perspektiven und deine hilfreiche und zuvorkommende Betreuung.

Mein besonderer Dank gilt daneben Prof. Dr. Timm Wilke, der sich bereit erklärt hat, das Zweitgutachten für diese Arbeit anzufertigen.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. Bernhard Standl, der mir beim Thema Computational Thinking ein wertvoller Gesprächspartner war.

Ein ganz herzliches Dankeschön geht selbstverständlich an die Siemens Stiftung und die Menschen dahinter. Nur selten trifft man gleichzeitig auf so viele nette, engagierte Personen. Die enge und produktive Kooperation war mir eine Freude, ganz besonders mit meinen lieben Projektpartnerinnen Uschi Gentili und Sarah Sommer. Auch die Zusammenarbeit mit dem Experimento | 8+ Team, vor allem Prof. Dr. Birgitta Kopp, und den erfahrenen *Experimento*-Multiplikatorinnen und Multiplikatoren, insbesondere Dr. Lutz Stäudel und Dieter Arnold hat mich inspiriert.

Darüber hinaus durfte ich während meiner Promotionszeit mit zahlreichen weiteren Partnerinnen und Partnern zusammenarbeiten: Da sind zum Beispiel die Unterrichtsmitschau der LMU, die Lehrerfortbildungszentren der GDCh in Nürnberg und Karlsruhe mit Hella Rieß und Dr. Kirstin Brezesinski und natürlich alle Orbits und Lokandos. Danke für eure tolle Arbeit und Unterstützung!

Neben vielen externen Beteiligten hatte ich das große Glück, Teil zweier wunderbarer Arbeitsgruppen in München und Tübingen sein zu dürfen. Danke an euch, meine lieben Kolleginnen und Kollegen, für eure Ideen, eure organisatorische Unterstützung und euer stets offenes Ohr. Besonders möchte ich mich hier bei meinen Mit-Doktorierenden Michi (wer ist dieser Dr. Mertens/Martens?) und Dr. Dominik Diekemper (Triple-D aka Didchem) bedanken. Es tat gut, euch als Mitstreiter zu haben. Danke auch an meine studentischen Hilfskräfte, vor allem Laura Pohl, die mir durch (un-)glückliche Umstände fast die ganze Zeit zur Seite stand.

Außerdem möchte ich den Studierenden, die ich bei der Anfertigung ihrer Abschlussarbeiten in München und Tübingen begleiten durfte, Danke sagen. Eure Ideen waren sehr bereichernd für mich. Bestimmt erkennt die Eine oder der Andere etwas von sich in dieser Arbeit wieder. Tatjana Lamparter aus der Physikdidaktik danke ich für ihre Hilfe bei den ersten Schritten mit dem Arduino.

Ein ganz großer Dank gilt allen engagierten Lehrkräften, die sich an meinem Projekt beteiligt haben. Dies betrifft natürlich in erster Linie die drei Lehrkräfte, die sich dazu bereit erklärt haben, ihren Unterricht durch das Team der Unterrichtsmitschau filmen zu lassen. Außerdem danke ich Allen, die trotz Homeschooling, Wechselunterricht, Teil-Lockdown, 2G+ usw. usw. an „meinen“ Fortbildungen und den Befragungen teilgenommen haben. Ohne Sie und euch wäre diese Arbeit überhaupt nicht möglich gewesen.

Von ganzem Herzen möchte ich auch Danke sagen an all diejenigen, die mich außerhalb der Tore der Universität immer unterstützt haben: Meiner Familie, besonders meinen Eltern, die mir mein Studium überhaupt erst ermöglicht haben, meinen Freundinnen und Freunden, vor allem meinen lieben „Chemie-Mädels“ Alina Müller, Claudia Irmer und insbesondere Katharina Käser sowie meinem guten Freund Tobias Knoll, die Teile dieser Arbeit Korrektur gelesen haben. Und natürlich, und Allen voran, dem fleißigsten Leser, meinem „Mann“ Flo. Danke für einfach Alles.

Zusammenfassung

Lehrkräftefortbildungen werden als wichtige Stellschraube zur Verbesserung von Unterrichtsqualität angesehen. Die vorliegende Forschungsarbeit stellt die Konzeption, Durchführung und Evaluation einer Blended Learning-Fortbildung für MINT-Lehrkräfte zu Experimento | 10+ mit digitalen und analogen Inhalten vor. Bei *Experimento* handelt es sich um das Bildungsprogramm der Siemens Stiftung, mit welchem sich diese für die Förderung des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts einsetzt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Fortbildungskonzept zu Experimento | 10+, dem Programmteil für Lehrkräfte weiterführender Schulen, grundlegend überarbeitet, weiterentwickelt und hinsichtlich seiner Wirksamkeit sowie inhaltlichen Passung untersucht. Bereits vor der Weiterentwicklung von *Experimento* lag der Schwerpunkt auf verschiedenen Schülerexperimenten zu „Energie“, „Umwelt“ und „Gesundheit“, die sich unter anderem besonders für den Chemieunterricht eignen. Die praktische Erprobung der Versuche stellt einen wichtigen Teil der Lehrkräftefortbildung dar. Darüber hinaus wurde die zweitägige Präsenzfortbildung im Zuge der Überarbeitung mit neuartigen digitalen Online-Selbstlern-Modulen angereichert. So ist die Lehrkräftefortbildung nun in einem zeitgemäßen Blended Learning-Format konzipiert, bei dem sich digitale Phasen mit laborpraktischen Erprobungsphasen in Präsenz abwechseln. Dadurch werden die Vorteile des Präsenzlernens mit denen des selbstgesteuerten digitalen Lernens verbunden. Die Online-Module umfassen drei innovative Themen: Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. Besonders das Thema Computational Thinking ist bislang nur wenigen naturwissenschaftlichen Lehrkräften im Detail bekannt. Es handelt sich dabei um eine Problemlösekompetenz, die in der digitalen Welt vermehrt an Bedeutung gewinnt. Damit nutzt die Fortbildung nicht nur in der Konzeption die Möglichkeiten der Digitalität, sondern berücksichtigt diese auch inhaltlich.

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung der interaktiven Online-Module und deren inhaltliche sowie mediendidaktische Ausgestaltung. Sie umfassen unter anderem theoretische Hintergründe, Unterrichtsmaterialien und interaktive Übungen zu den angebotenen Themen. Daneben wurden speziell hierfür Videos von authentischen Unterrichtssituationen angefertigt, welche unter anderem als Good-Practice-Beispiele dienen.

Die Lehrkräfte wählen im Vorfeld der Fortbildung zwei der drei Module in einer Mehrheitsentscheidung aus. Diese werden jeweils in Vorbereitung auf die beiden Präsenzphasen absolviert. In den Präsenzveranstaltungen diskutieren die Lehrkräfte dann die selbstständig digital erarbeiteten Inhalte und verknüpfen sie mit den Experimenten aus Experimento | 10+. Für das Modul zu Computational Thinking ist darüber hinaus ein neues

Experiment zur pH-Messung unter Verwendung des Mikrocontrollers Arduino entwickelt worden, welches in der Online-Anwendung theoretisch vorgestellt und anschließend in Präsenz von den Lehrkräften praktisch erprobt wird.

Das Aufzeigen von Bezügen zwischen Computational Thinking und naturwissenschaftlichen sowie insbesondere chemiedidaktischen Kontexten stellt somit ein zentrales Anliegen sowohl des entsprechenden Online-Moduls als auch der vorliegenden Arbeit dar. Außerdem werden in der Forschungsarbeit grundlegende Merkmale wirksamer Lehrkräftefortbildungen sowie Gelingensbedingungen für stimmige Blended Learning-Konzepte dargelegt. Daraus resultierten konkrete Abwägungen beim Konzeptionsprozess der Fortbildung. Auch auf die zuletzt nochmals deutlicher offenbar gewordene Anforderung zum Erwerb digitaler Medienkompetenzen bei Lehrkräften wird eingegangen. Der Beitrag von Experimento | 10+ hierzu wird ebenfalls beleuchtet.

Mittels der dazugehörigen wissenschaftlichen Begleitforschung wird evaluiert, wie die Fortbildung von den teilnehmenden Lehrkräften wahrgenommen wird (Akzeptanz), wie sich die Einstellungen der Lehrkräfte durch die Fortbildung verändern (z. B. hinsichtlich digitaler Medien oder Schülerexperimenten), inwieweit es Veränderungen im Wissen der Teilnehmenden gibt (z. B. über Computational Thinking) und ob eine nachhaltige Umsetzung der Fortbildungsinhalte im Unterricht erfolgt. Die Evaluation zeigt in der Tat eine hohe Zufriedenheit mit der gesamten Blended Learning-Fortbildung. Insgesamt weist die Lehrkräftefortbildung hauptsächlich kurzfristige Wirkungen auf. In Teilen konnte sie aber auch zu langfristigen Verbesserungen hinsichtlich der Einstellungen (z. B. in Hinblick auf Schülerexperimente), des selbstberichteten Wissens (über Wertebildung und Computational Thinking) und der Kompetenzen (v. a. Medienkompetenzen) der Lehrkräfte beitragen.

Summary

In-service teacher training programmes are seen as an important factor for improving the quality of teaching. This thesis deals with the conceptualisation, implementation, and evaluation of a blended learning teacher training programme for STEM teachers on Experimento | 10+ with digital and analogue content. *Experimento* is the Siemens Stiftung's international education programme. The aim of *Experimento* is to foster high-quality science and technology education. By means of the presented thesis, the concept of Experimento | 10+, the programme's part for secondary education, was fundamentally revised and further developed. Moreover, it was examined in terms of its impact as well as its fit with the expectations of the teachers. Even before the further development, classroom experiments on the topics of energy, the environment, and health, which are highly suitable for chemistry lessons, were a key element of *Experimento*. Therefore, the practical testing of the experiments is an important part of the teacher training programme. During the revision process, the two-day face-to-face course was augmented by newly designed digital online self-learning modules. Thus, the teacher training is now offered in a blended learning format, consisting of alternating digital phases, and face-to-face phases in which the teachers can perform the specified experiments. Through this, the advantages of self-regulated digital learning as well as face-to-face learning can be used. The online modules cover three innovative topics: Values education in science classrooms, inclusion and language-sensitive teaching as well as Computational Thinking. The term Computational Thinking is still unfamiliar to most science teachers although this problem-solving technique has increasingly gained in importance in the discussions about competences that are required to deal with complex problems in a digital world. Thus, the teacher training programme refers to digitality not only in terms of conceptualisation but also takes this aspect in account by its content.

A central goal of this thesis was to develop the interactive online modules. These were designed from the ground up in terms of content and media didactics. They comprise of theoretical background, teaching materials, and interactive applications. In addition, school lesson videos of authentic teaching situations were produced specifically for this project. These serve as examples for good teaching practice.

In the run-up of the training programme, the teachers choose two of the three offered online modules. A majority decision determines which modules are dealt with in depth during the training. These modules must be completed in preparation for the two face-to-face sessions, during which the teachers discuss the topics, that they have worked out digitally. The acquired knowledge is linked with the experiments from Experimento | 10+. Furthermore, a new experiment on measuring pH values with an Arduino microcontroller has been developed for

the module on Computational Thinking. This is presented theoretically in the online module and subsequently tested practically by the teachers during the associated face-to-face session.

Thus, a central concern of both the corresponding online module and this thesis is to point out interconnections between Computational Thinking and the science contexts, especially regarding chemistry education. Furthermore, this thesis presents basic characteristics of effective in-service teacher training programmes as well as conditions for coherent blended learning concepts. This results in specific considerations regarding the conceptual process of the training programme. The need for teachers to acquire digital media competencies, which has recently become more apparent, is also addressed and the contribution of Experimento | 10+ is discussed.

For the in-service teacher training programme for professional development an accompanying questionnaire survey was conducted. This research evaluates how the training is perceived by the participating teachers (acceptance), how the attitudes of the teachers change because of the training (e. g., about digital media or classroom experiments), to what extent there are changes in the knowledge of the participants (e. g., about Computational Thinking) and whether the teachers implement the content of this programme into the classroom sustainably. The evaluation, in fact, revealed a high level of satisfaction with the entire blended learning teacher training. Overall, the programme mainly has short-term effects, but nevertheless it could also contribute to long-term improvements in the attitudes (e. g., about classroom experiments), the self-reported knowledge (concerning values education and Computational Thinking), and competences (especially media competences) of the teachers.

Publikationsverzeichnis

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden folgende Artikel und Tagungsbeiträge bereits veröffentlicht:

Veröffentlichungen (Peer-Review):

Knie, L., Standl, B., Schwarzer, S. (2022). First Experiences of Integrating Computational Thinking into a Blended Learning In-Service Training Program for STEM Teachers. *Computer Applications in Engineering Education*, 1–17.

DOI: 10.1002/cae.22529

Knie, L., Schwarzer, S. (2022). Computational Thinking als Teil einer MINT-Lehrkräftefortbildung im Blended-Learning-Format. *CHEMKON* Sonderausgabe, Tagungsband zur 37. Fortbildungs- und Vortragstagung der FGCU (im Druck).

DOI: 10.1002/ckon.202100083

Knie, L., Schwarzer, S. (2021). Konzeption einer Blended-Learning-Lehrkräftefortbildung mit digitalen und analogen Inhalten im Rahmen von Experimento | 10+. *CHEMKON* (online first).

DOI: 10.1002/ckon.202100044

Weitere Veröffentlichungen:

Knie, L., Sommer, S., Schwarzer, S. (2022). Konzeption und Evaluation einer Blended-Learning-Fortbildung zu Experimento | 10+. In: Unsicherheit als Element von naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021. Habig, S., van Vorst, H. (Hrsg.), 644–647.

Knie, L., Schwarzer, S. (2021). Experimento | 10+. Handreichung für Lehrkräfte. Nach Anmeldung auf dem Medienportal der Siemens Stiftung online verfügbar unter <https://medienportal.siemens-stiftung.org/download/105235> (letzter Zugriff am 04.06.2022), 5–28.

Knie, L., Schwarzer, S. (2021). Experimento | 10+. Handreichung für Multiplikatorinnen und Multiplikatoren, 1–15.

Poster:

Knie, L., Sommer, S., Schwarzer, S. (2021). Konzeption und Evaluation einer Blended-Learning-Fortbildung zu Experimento | 10+. 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP), 13.–16. September 2021, online.

Knie, L., Gentili, U., Schwarzer, S. (2019). Weiterentwicklung einer Lehrerfortbildung zu einem Blended-Learning-Format mit analogen und digitalen Inhalten im Rahmen von Experimento | 10+. 36. Fortbildungs- und Vortragstagung der FGCU im Rahmen des Wissenschaftsforums der GDCh, 15.–18. September 2019, Aachen.

Vorträge:

Knie, L., Sommer, S., Schwarzer, S. (2021). Blended-Learning-Formate für Lehrkräfte weiterführender Schulen: Interaktive Online-Angebote zu Inklusion und Computational Thinking im MINT-Unterricht. 6. Konferenz Bildung Digitalisierung, 10.–12. November 2021, online.

Knie, L., Sommer, S., Schwarzer, S. (2021). Konzeption einer Online-Anwendung für eine MINT-Lehrkräftefortbildung im Blended-Learning-Format. 37. Fortbildungs- und Vortragstagung der FGCU, 23.–25. September 2021, online.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	IV
Zusammenfassung	VI
Summary	VIII
Publikationsverzeichnis	X
Inhaltsverzeichnis	XII
1 Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung der Arbeit	2
1.2 Strukturierung dieser Dissertation	3
2 Lehrkräftefortbildung in Deutschland.....	5
2.1 Phasen der Lehrkräftebildung in Deutschland	5
2.2 Fortbildungen für Lehrkräfte der MINT-Fächer	7
2.3 Theoretische und empirische Befunde zu Lehrkräftefortbildungen	9
3 Theoretische Grundlegung der Fortbildungsinhalte	18
3.1 Das Experiment als Besonderheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts	18
3.2 Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht	20
3.3 Naturwissenschaftlicher Unterricht und Wertebildung.....	27
3.4 Inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht.....	31
3.4.1 Inklusion.....	31
3.4.2 Binnendifferenzierung	33
3.4.3 Sprachsensibler Fachunterricht.....	37
3.5 Computational Thinking und naturwissenschaftlicher Unterricht.....	40
3.5.1 Definition von Computational Thinking	40
3.5.2 Computational Thinking als Teil der schulischen Bildung	44
3.5.3 Computational Thinking im naturwissenschaftlichen Unterricht	47
4 Ausgangssituation des Projekts	52
4.1 Zielsetzungen der Siemens Stiftung	52
4.2 <i>Experimento</i> als internationales MINT-Bildungsprogramm	52
4.3 Forderungen nach digitalen Medienkompetenzen von Lehrkräften.....	54

4.3.1	Digitale Medienkompetenz	57
4.3.2	Relevante Rahmenmodelle	59
4.4	Konzept des Blended Learning	64
5	Konzeption der Lehrkräftefortbildung	69
5.1	Umsetzung des Blended Learning-Formats	70
5.2	Gestaltung der digitalen Phasen der Lehrkräftefortbildung	73
5.2.1	Mediendidaktische Gestaltung der digitalen Phasen	74
5.2.2	Inhalte und Ziele der digitalen Phasen	78
5.2.2.1	Wertebildung	79
5.2.2.2	Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht.....	82
5.2.2.3	Computational Thinking.....	84
5.2.3	Formative Evaluation.....	92
5.3	Gestaltung der Präsenzphasen der Lehrkräftefortbildung.....	94
5.3.1	Ablauf der Präsenzveranstaltungen.....	94
5.3.2	Angebotene Schülerexperimente	98
5.4	<i>Experimento</i> und Forschendes Lernen.....	103
5.5	Adressierung digitaler Medienkompetenzen in <i>Experimento</i> 10+.....	105
5.6	Realisierung des Fortbildungskonzepts	108
5.6.1	Durchführung in der Praxis.....	108
5.6.2	Überarbeitungsschleife.....	109
6	Evaluation der Lehrkräftefortbildung.....	111
6.1	Forschungsfragen und Hypothesen.....	111
6.2	Konzeption der Begleitforschung.....	113
6.2.1	Fragebogenerhebung.....	113
6.2.1.1	Erhebungsmethoden und -design	114
6.2.1.2	Entwicklung der Erhebungsinstrumente	115
6.2.1.3	Auswertungsmethoden.....	123
6.2.2	Erfassung des Nutzungsverhaltens	124
6.2.3	Beschreibung der Stichprobe	125
6.3	Ergebnisse der Evaluationsforschung	126
6.3.1	Ergebnisse zu Forschungsfrage 1: Zufriedenheit mit der Fortbildung	126
6.3.2	Ergebnisse zu Forschungsfrage 2: Einsatz im Unterricht	135
6.3.3	Ergebnisse zu Forschungsfrage 3: Digitale Medienkompetenz	139

6.3.4	Ergebnisse zu Forschungsfrage 4: Wirkungen der Online-Module	142
6.3.4.1	Ergebnisse zu Modul 1 (Wertebildung).....	143
6.3.4.2	Ergebnisse zu Modul 2 (Inklusion und SFU).....	145
6.3.4.3	Ergebnisse zu Modul 3 (Computational Thinking)	148
6.3.5	Ergebnisse zu Forschungsfrage 5: Fortbildungsmotivation.....	150
6.3.6	Weitere Ergebnisse	151
6.4	Interpretation der Ergebnisse	152
6.4.1	Diskussion der Zufriedenheit mit der Fortbildung.....	152
6.4.2	Diskussion zum Einsatz der Experimente im Unterricht.....	156
6.4.3	Diskussion zur Förderung digitaler Medienkompetenzen	160
6.4.4	Diskussion zur Wirkung der Online-Module.....	162
6.4.5	Diskussion zur Fortbildungsmotivation	167
6.5	Zusammenfassende Diskussion und Limitationen der Ergebnisse	168
7	Fazit und Ausblick.....	172
	Literaturverzeichnis	175
	Abkürzungsverzeichnis.....	200
	Abbildungsverzeichnis.....	202
	Tabellenverzeichnis.....	206
	Anhang.....	207
	Anhang 1: Fragebogen zur Evaluation der Online-Anwendung von Experimento 10+...208	
	Anhang 2: Prä-Fragebogen.....	209
	Anhang 3: Post-Fragebogen	226
	Anhang 4: Follow-Up-Fragebogen	234
	Anhang 5: Anleitung für Lehrkräfte zur Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino.....	238
	Anhang 6: Anleitung für Schülerinnen und Schüler zur Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino	248

1 Einleitung

Aus den sich ständig ändernden gesellschaftlichen und schulischen Rahmenbedingungen erwächst für Lehrkräfte die Notwendigkeit, ihre professionellen Kompetenzen über das gesamte Berufsleben hinweg weiterzuentwickeln [1]. Als wichtige Maßnahme sowohl zur Erhaltung und Vertiefung bestehender als auch zum Erwerb neuer Kompetenzen gelten Lehrkräftefortbildungen. Die kontinuierliche Notwendigkeit zur Professionalisierung von Lehrkräften, zum Beispiel im Bereich der digitalen Kompetenzen, wurde nicht zuletzt durch die COVID-19-Pandemie noch einmal vor Augen geführt [2]. Zwar bestand bereits zuvor die Dringlichkeit, Lehrkräfte im Rahmen von Fortbildungen zur Nutzung von digitalen Medien im Unterricht zu befähigen, wie beispielsweise das Strategiepapier der Kultusministerkonferenz (KMK) „Bildung in der digitalen Welt“ [3] deutlich macht, durch die Pandemie wurde diese Relevanz jedoch nochmals hervorgehoben [4].

Dennoch wurde die Bedeutsamkeit von Fortbildungen¹ lange Zeit gering geschätzt [5]. Noch 2004 konstatierte LIPOWSKY, es handle sich bei Lehrkräftefortbildungen um einen „weitgehend weißen Fleck auf der Forschungslandkarte“ [6]. Inzwischen ist das Thema zwar zunehmend in den Fokus der Forschung und Bildungspolitik gerückt, zahlreiche Fragen bleiben aber weiterhin offen oder wurden bislang nur unzureichend beantwortet. Dies führt zu der Forderung nach einer gezielten Begleitforschung bei der Durchführung von Lehrkräftefortbildungen [7]. So gilt beispielsweise die Übertragung von Fortbildungsinhalten in die Unterrichtspraxis als anspruchsvoller Prozess [5]. Nicht immer gelingt es, auch tatsächlich das Handeln der Lehrkräfte zu verändern [8]. Die Bedingungen, unter denen ein solcher Transfer gelingen kann, sind Gegenstand der aktuellen Forschung. Dabei spielen neben den Merkmalen des Fortbildungsangebots auch die unterschiedlichen Persönlichkeitsmerkmale der teilnehmenden Lehrkräfte eine wichtige Rolle [9].

Neben der Forschungslage zu Lehrkräftefortbildungen ist ebenso die Struktur der Angebote heterogen. Ergänzend zu zahlreichen staatlichen Institutionen bieten auch private Akteure, wie Vereine oder Stiftungen, Fortbildungen an [10]. Ein Beispiel hierfür stellt die Siemens Stiftung dar. Sie hat sich bereits seit dem Jahre 2012 [11] zum Ziel gesetzt, mit den Lehrkräftefortbildungen zu ihrem internationalen Bildungsprogramm *Experimento* auch in Deutschland einen interessanten, hochwertigen und zukunftsorientierten Unterricht in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) zu fördern [12].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Fortbildung zu Experimento | 10+, dem Programmteil von *Experimento*, der insbesondere Lehrkräfte adressiert, die an

¹ Mit „Fortbildung“ ist im Folgenden stets „Lehrkräftefortbildung“ gemeint.

weiterführenden Schulen Schülerinnen und Schüler im Alter von 10–18 Jahren unterrichten [12], grundlegend umgestaltet und in ein Blended Learning-Format mit digitalen und analogen Inhalten überführt [13], um das Programm an veränderte schulische und gesellschaftliche Bedingungen, wie das Leben in einer Kultur der Digitalität, anzupassen.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Zentrales Ziel der vorliegenden Arbeit ist es also, die erfolgte Weiterentwicklung und den damit verbundenen Konzeptionsprozess der Experimento | 10+ Lehrkräftefortbildung umfassend darzustellen. Dabei werden Erkenntnisse der Fortbildungsforschung allgemein sowie insbesondere mit Bezug auf die naturwissenschaftlichen Fächer ebenso berücksichtigt wie geltende Rahmenpapiere und Kompetenzrahmen zur digitalen Medienbildung. Im Zuge der Weiterentwicklung wurden nicht nur bestehende Unterlagen überarbeitet, sondern die Fortbildung vor allem in ein zeitgemäßes Format überführt. Anstatt einer reinen Präsenzveranstaltung werden nun aufeinander abgestimmte digitale und analoge Inhalte in einem *Blended Learning-Format* offeriert. Dabei wurde das Fortbildungskonzept auch inhaltlich aktualisiert. Die Themen *Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht* sowie *Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht* spielen nun eine wichtigere Rolle als vormals in der Lehrkräftefortbildung zu Experimento | 10+. Hinzu kommt ein völlig neuer inhaltlicher Schwerpunkt: *Computational Thinking* als Problemlösekompetenz in einer digitalisierten Welt. Während für die Präsenzphasen der Lehrkräftefortbildung zu großen Teilen auf bereits vielfach erprobte Schülerexperimente der Siemens Stiftung zurückgegriffen werden konnte, wurden die Online-Phasen in Gänze neu entwickelt. Hierzu ist eigens für diesen Zweck eine Online-Anwendung aufgesetzt worden, welche in interaktiver Weise die Inhalte digital vermittelt. Dazu wurden auch Unterrichtsmitschnitte und Erklärvideos für die teilnehmenden Lehrkräfte angefertigt. Neben der Entwicklung der Inhalte für die digitalen Phasen lag ein zusätzlicher Schwerpunkt der Konzeptionsarbeit auf der Zusammenführung der zahlreichen analogen und digitalen Inhalte in ein stimmiges Fortbildungskonzept in Form von Blended Learning. In der Fortbildung sollen schließlich nicht nur Schülerexperimente erprobt und das Forschende Lernen thematisiert werden, sondern auch digitale Unterrichtsmaterialien sinnvoll zum Einsatz kommen, sowie die Inhalte der Online-Phasen zielführend mit dem Präsenzlernen verknüpft werden.

Das wesentliche Ziel der neu aufgesetzten Fortbildung ist weiterhin die Stärkung der MINT-Fächer, indem Lehrkräfte dazu befähigt werden, einen lebensnahen Unterricht zu gestalten, der das Interesse und die Freude an den Naturwissenschaften weckt oder aufrechterhält. Um dies zu erreichen, soll das selbstständige Experimentieren durch die Schülerinnen und Schüler gefördert werden. Darüber hinaus ist es ein zentrales Anliegen der Siemens Stiftung, wertorientierte Haltungen und Einstellungen im MINT-Unterricht zu fördern. Daher nimmt in

der neu entwickelten Lehrkräftefortbildung auch die Wertebildung eine wichtige Rolle ein. Zudem ist es ein bedeutsames Ansinnen der Siemens Stiftung, dass sich *alle* Schülerinnen und Schüler aktiv in den naturwissenschaftlichen Unterricht einbringen können. Deswegen sollen die Lehrkräfte ebenso dazu befähigt werden, ihren Unterricht inklusiv und sprachsensibel zu gestalten [14]. Zusätzlich wurde das Thema Computational Thinking als neuer Inhalt für die Fortbildung gewählt, da diese Problemlösefähigkeit in der Debatte um Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler für ein Leben in der Kultur der Digitalität benötigen, zunehmend in den Fokus gerückt ist [15].

Übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens ist somit die inhaltliche und methodisch-didaktische Neukonzeption der Lehrkräftefortbildung, deren ausführliche Erprobung in der Praxis sowie die damit verbundene notwendige Evaluierung und wissenschaftliche Begleitforschung.

Im Zuge der Evaluation soll neben der Akzeptanz von und der Zufriedenheit mit der Fortbildung vor allem das Maß der intendierten Zielerreichung des Angebots untersucht werden. Daher ist von besonderem Interesse, ob und in welchem Ausmaß die teilnehmenden Lehrkräfte nach Besuch der Fortbildung die erarbeiteten Inhalte, wie zum Beispiel die Schülerexperimente, in ihrem Unterricht einsetzen. Auch der Umfang des in den Online-Modulen erworbenen (Handlungs-)Wissens in Bezug auf die Themen Wertebildung, Inklusion und Computational Thinking soll untersucht werden. Ebenso wird geprüft, ob und inwiefern die Lehrkräftefortbildung es vermag, einen Beitrag zur Weiterentwicklung digitaler Medienkompetenzen der Teilnehmenden zu leisten. Zusätzlich wird die Fortbildungsmotivation der Lehrkräfte erfasst, um daraus Rückschlüsse auf Wirkbedingungen von Fortbildungen ziehen zu können.

1.2 Strukturierung dieser Dissertation

Um die vorgestellte Fortbildung innerhalb der Lehrkräftebildung in Deutschland besser verorten und entsprechende Fragestellungen ableiten zu können, wird in der vorliegenden Arbeit zunächst ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand zu Lehrkräftefortbildungen gegeben (Kapitel 2). Anschließend erfolgt in Kapitel 3 eine theoretische Einordnung und Fundierung der Inhalte, die in der Fortbildung eine wesentliche Rolle spielen. Diese umfassen sowohl das (Schüler-)Experiment und das didaktische Prinzip des Forschenden Lernens als auch insbesondere die in den Online-Phasen thematisierten Aspekte Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. Im darauffolgenden Kapitel 4 wird die Ausgangssituation des Projekts ausführlich beleuchtet. Die Rahmenbedingungen und politischen Implikationen, unter denen die Überarbeitung angestoßen wurde, werden dargestellt. In Kapitel 5 wird der wesentliche

Teil der Arbeit, die Neukonzeption der Lehrkräftefortbildung zu Experimento | 10+ im Blended Learning-Format, detailliert geschildert. Dabei werden die partiell auf Bestehendem aufbauenden, jedoch zum größten Teil neuartigen Inhalte der digitalen und analogen Phasen sowie deren methodisch-didaktische Umsetzung vorgestellt. Dies umfasst auch einen Überblick über die erfolgte praktische Erprobung des neuen Lehrkräftefortbildungskonzepts. Das 6. Kapitel widmet sich ausführlich der Evaluation der Fortbildung. Forschungsfragen und Hypothesen werden aufgezeigt, das Untersuchungsdesign und die entsprechenden Instrumente vorgestellt. Die Ergebnisse der statistischen Datenauswertung werden dargelegt und anschließend diskutiert und eingeordnet. Im 7. und letzten Kapitel wird ein Fazit aus den dargestellten Ergebnissen gezogen sowie ein Ausblick gegeben.

2 Lehrkräftefortbildung in Deutschland

Lehrkräfte und der von ihnen gestaltete Unterricht haben einen großen Einfluss auf die Leistungen ihrer Schülerinnen und Schüler. Allein durch den Zugewinn an Berufserfahrung ist jedoch nicht zu erwarten, dass sich das Handeln der Lehrkräfte über das Berufsleben hinweg in ausreichendem Maße weiterentwickelt. Daher ist die Lehrkräftebildung eine wichtige Stellschraube, wenn es darum geht, die Bildungsqualität zu verbessern. Dies zeigt auch eine Meta-Analyse von HATTIE (2009), wonach Lehrkräftefortbildungen einen mittleren bis starken Effekt ($d = 0,62$) auf die Leistung von Lernenden haben [1,8,16]. Jedoch ist die Übertragung „von Fortbildungsinhalten in die Unterrichtspraxis [...] ein komplexer und anspruchsvoller Prozess“ [5]. Es sollen durch Lehrkräftefortbildungen bestenfalls nicht nur kurzfristige Effekte erzielt werden, sondern die nachhaltige Wirksamkeit der Maßnahmen sichergestellt sein. Nachhaltig bedeutet in diesem Zusammenhang die dauerhafte Anwendung der Inhalte, also ein erfolgreicher Transfer des Gelernten in den Unterrichtsalltag [17]. Damit dieser gelingen kann, müssen entsprechend des Forschungsstandes bei Lehrkräftefortbildungen eine Vielzahl von Merkmalen auf Angebots- und Nachfrageseite berücksichtigt werden. Im Folgenden wird daher zunächst ein kurzer Überblick über die Lehrkräftebildung in Deutschland allgemein und die Lehrkräftefortbildung (in den MINT-Fächern) im Besonderen gegeben, bevor näher auf theoretische und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrkräftefortbildungen eingegangen wird.

2.1 Phasen der Lehrkräftebildung in Deutschland

Die Lehrkräfteausbildung in Deutschland ist in zwei Phasen gegliedert. Die erste Phase umfasst das Lehramtsstudium an einer Universität oder pädagogischen Hochschule, die zweite das Referendariat, auch Vorbereitungsdienst genannt, an den Studienseminaren [18]. Daran schließt sich das Berufsleben an. Auch in diesem findet, beispielsweise in Form von Fortbildungen, Lehrkräftebildung statt. Damit gilt die Phase des beruflichen Lernens als dritte und längste Phase der Lehrkräftebildung [10] (siehe Abbildung 1).

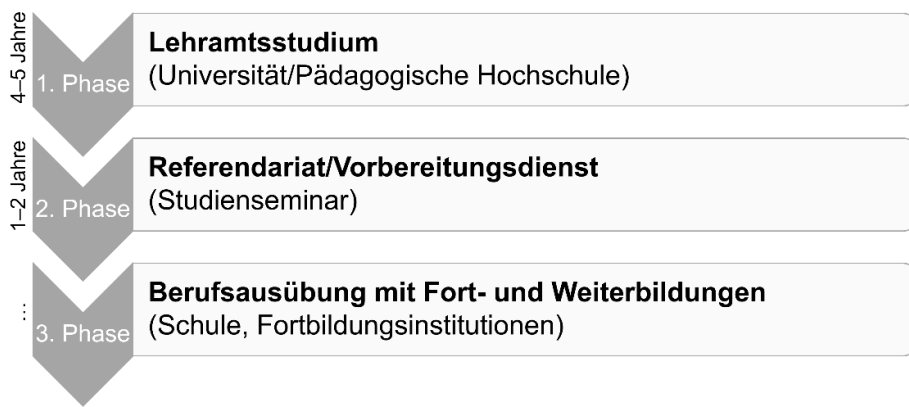


Abbildung 1: Phasen der Lehrkräftebildung in Deutschland (eigene Darstellung)

Jeder der drei Phasen kommt eine bestimmte Funktion zu. Während des Lehramtsstudiums werden fachwissenschaftliche und fachdidaktische Kenntnisse in mindestens zwei Fächern erworben. Zusätzlich werden pädagogisch-psychologische Theorien gelehrt. Hinzu kommen je nach Bundesland unterschiedlich stark ausgeprägte schulpraktische Anteile [19]. In den meisten Bundesländern sind zur besseren Verzahnung der ersten und zweiten Phase inzwischen Praxisteile aus dem Vorbereitungsdienst bereits in das Studium integriert worden. Daraus resultierend verkürzt sich dann die Dauer des Referendariats [20]. Seit dem Bologna-Prozess wird die erste Phase der Lehrkräftebildung in vielen Bundesländern noch einmal in Bachelor- und Masterstudium unterteilt [19]. Nach Abschluss des Studiums mit dem *Master of Education* oder dem *Ersten Staatsexamen* erfolgt der Eintritt in den Vorbereitungsdienst. Dieser dauert in Deutschland zwischen zwölf und 24 Monaten und schließt mit dem *Zweiten Staatsexamen* ab. Während des Referendariats findet eine weitere pädagogische und fachdidaktische, vor allem aber schulpraktische Ausbildung statt. Sie schließt anfänglich Hospitationen und letztlich in zunehmendem Maße eigenverantwortlich durchgeführten Unterricht ein [20]. Die dritte Phase der Lehrkräftebildung schließlich umfasst das beständige Weiterlernen im Beruf. Sie wird im Vergleich zu den ersten beiden Phasen, trotz ihrer unisono betonten Bedeutsamkeit, in der öffentlichen Diskussion eher vernachlässigt [21]. Grundsätzlich sind alle Lehrkräfte in Deutschland per Gesetz dazu verpflichtet, regelmäßig Fortbildungsmöglichkeiten wahrzunehmen [22]. Allerdings können die Angebote je nach Interessenslage selbst ausgewählt werden. Außerdem ist es nicht vorgeschrieben, institutionalisierte Fortbildungen zu besuchen, sondern es können ebenso andere Lerngelegenheiten, wie zum Beispiel die Lektüre von Fachliteratur, herangezogen werden. Auch die Entscheidung, gar keine Fortbildung zu betreiben, zieht nicht unbedingt negative Konsequenzen nach sich [10], da in den meisten Bundesländern, mit Ausnahme von Bayern, Bremen und Hamburg der Umfang der Fortbildungsverpflichtungen überhaupt nicht quantifiziert wird. Zusätzlich herrscht nicht in allen Bundesländern eine Dokumentationspflicht der absolvierten Fortbildungen [22]. Hinzu kommt, dass für Lehrkräftefortbildungen keine festen Zeiten innerhalb der regulären Arbeitszeiten vorgesehen sind, sondern vielmehr sogar

die Genehmigung der Schulleitung zur Teilnahme an einer Fortbildung erforderlich ist [10]. Dennoch geben regelmäßig rund 80 % der Lehrkräfte aus der Mathematik und den Naturwissenschaften an, in den letzten zwei Schuljahren an mindestens einer Fortbildung teilgenommen zu haben [23]. Allerdings gibt es auch einen relativ stabilen Anteil an Lehrkräften, der offenbar gar nicht an Fortbildungen teilnimmt. Zudem unterscheidet sich das Fortbildungsverhalten beispielsweise nach Berufserfahrung und Schulform [24]. So interessieren sich zum Beispiel Gymnasiallehrkräfte vergleichsweise stärker für fachliche Inhalte als für methodische [24,25]. Dieser Effekt weist auf die *Neigungshypothese* hin, wonach Lehrkräfte eher diejenigen Fortbildungen besuchen, mit deren Inhalten sie sowieso schon eng vertraut sind. Außerdem zeigt sich – zumindest in einer Untersuchung mit Lehrkräften für die Fächer Deutsch und Englisch – dass gerade diejenigen, die eine geringe Berufserfahrung und Selbstwirksamkeit aufweisen, am seltensten Fortbildungen besuchen [24]. Dies wirft die Frage auf, inwiefern durch den weitgehend freiwilligen Charakter des Fortbildungsbesuchs die professionellen Kompetenzen der Lehrkräfte in Deutschland sichergestellt werden können.

Das Angebot an Fortbildungsformaten ist vielfältig. So wird beispielsweise zwischen angebots- und bedarfsorientierten Lehrkräftefortbildungen unterschieden. Auch zwischen schulexternen und schulinternen Fortbildungen wird differenziert [10]. Daneben kann eine Unterscheidung zwischen einer *Fortbildung* und einer *Weiterbildung* vorgenommen werden. Die Lehrkräftefortbildung dient hauptsächlich der Vertiefung und Aktualisierung bereits erworbener Kompetenzen. Bei der Weiterbildung hingegen werden bestehende Qualifikationen durch zusätzliche Abschlüsse erweitert, mit dem Ziel, neue Aufgaben zu übernehmen [23]. Oftmals schließt jedoch der Begriff der Lehrkräftefortbildung sowohl die Fort- als auch die Weiterbildung ein [4,5,26].

2.2 Fortbildungen für Lehrkräfte der MINT-Fächer

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme des Deutschen Vereins zur Förderung der Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung (DVLfB) wird unter anderem der MINT-Bereich als ein Schwerpunkt unter den verfügbaren Fortbildungsthemen ausgewiesen. Mithin als Resultat der unterdurchschnittlichen Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler in internationalen Schulvergleichsstudien engagieren sich zahlreiche Stiftungen und Verbände mit Lehrkräftefortbildungen für den MINT-Unterricht, wie zum Beispiel die Siemens Stiftung mit ihrem Programm *Experimento*, die Telekom-Stiftung mit dem Deutschen Zentrum für Lehrerbildung Mathematik (DZLM) oder der MNU, der Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts mit seinen Tagungs- und Fortbildungsangeboten [10,21]. Auch die Deutsche Physikalische Gesellschaft bietet Fortbildungen für Physiklehrkräfte aus ganz Deutschland in ihrem Zentrum in Bad Honnef an [27]. Eine Besonderheit für Chemielehrkräfte bietet das

umfangreiche Angebot der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) [28]. Hier gibt es nicht einen einzelnen Standort für Fortbildungen, sondern es werden gemeinsam von der GDCh, der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh und dem Fonds der Chemischen Industrie gleich mehrere Lehrerfortbildungszentren betrieben. Diese sind stets an verschiedene Hochschulen angegliedert. Stand 2022 gibt es bundesweit sieben Zentren in den Städten

- Dortmund,
- Erlangen/Nürnberg,
- Frankfurt am Main,
- Karlsruhe,
- Leipzig/Jena,
- NordWest (Bremen/Osnabrück)
- und Rostock.

Angeboten werden Fortbildungen zu verschiedenen Themenschwerpunkten: Nachhaltigkeit im Chemieunterricht; Chemie und Life Science; moderne Materialien und Werkstoffe; Lehr- und Lernkonzepte im Chemieunterricht; Bildungsstandards/Curricula; chemische Konzepte – gestern, heute, morgen; naturwissenschaftliche Früherziehung; Sicherheit im Chemieunterricht; Digitalisierung in der Chemie – Industrie und Unterricht [29]. Die Themenschwerpunkte werden von der GDCh-Kommission für Lehrerfortbildung entsprechend aktueller Anforderungen erarbeitet. Das Angebot umfasst Kurse für Lehrkräfte der Chemie aller Schulstufen und -arten sowie für Sachunterrichtslehrkräfte an den Grundschulen. Dabei kooperieren die Lehrerfortbildungszentren auch mit Unternehmen der chemischen Industrie und laden aus dieser Branche Referierende ein [29]. Üblicherweise werden die Fortbildungen als ganz-, halb- oder mehrtägige, vornehmlich laborpraktische Veranstaltungen, angeboten. Die Schulungen der GDCh finden nicht zwingend direkt an den Lehrerfortbildungszentren statt, sondern können beispielsweise auch vor Ort an Schulen durchgeführt werden [30]. Als Konsequenz aus der Corona-Pandemie sind einige Lehrkräftefortbildungen der GDCh zudem in Online-Formate überführt worden [31]. Blended Learning-Veranstaltungen mit einer Kombination aus Online- und Präsenzphasen sind hingegen in den Fortbildungen für Chemielehrkräfte noch nicht populär, wenngleich beispielsweise bereits 2006 von ALJANAZRAH & BADER [32] ein solches hybrides Konzept vorgeschlagen wurde. In der von ihnen konzipierten Fortbildung werden theoretische Inhalte vorab in einem E-Learning-Modul erarbeitet, um den Teilnehmenden eine flexible Zeiteinteilung zu ermöglichen. Da es Chemielehrkräften jedoch auch sehr wichtig ist, Schüler- und Demonstrationsexperimente selbstständig erproben zu können, folgte anschließend ein „Labortag“, der sich ausschließlich des experimentellen Anteils der Fortbildung widmete. Zudem bestehen auch für die

Chemielehrkräfte-Ausbildung bereits einige Beispiele für Blended Learning-Kurse (siehe z. B. [33,34]).

2.3 Theoretische und empirische Befunde zu Lehrkräftefortbildungen

Obwohl durchweg als wichtiger Baustein der beruflichen Professionalisierung von Lehrkräften angesehen, bestanden bis vor Kurzem noch grundlegende Zweifel daran, ob Fortbildungen überhaupt die intendierten Wirkungen erzielen können. Inzwischen wird die Wirksamkeit optimistischer gesehen. Allerdings sind für einen tatsächlichen Fortbildungserfolg bestimmte Merkmale der Maßnahmen ausschlaggebend [5,6]. LIPOWSKY & RZEJAK haben aus zahlreichen nationalen und internationalen Studien die Eigenschaften extrahiert, über welche Fortbildungsangebote verfügen sollten, um eine positive Wirkung zu entfalten. Demnach weisen wirksame Lehrkräftefortbildung folgende Merkmale auf [1,8,35]:

- Angemessene Dauer: One-Shot-Veranstaltungen, also Fortbildungen, die lediglich einmalig stattfinden, sind nur selten wirksam. Eine längere Fortbildungsdauer dagegen ist zwar eine notwendige, aber noch keine hinreichende Bedingung für die Wirksamkeit. Zusätzlich kommt es darauf an, wie viel Zeit den Lehrkräften im Schulalltag zur Verfügung steht, Fortbildungsinhalte in den Unterricht einzuarbeiten.
- Fokus auf die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler: Die Lehrkräfte sollen durch Fortbildungen dazu befähigt werden, sich in die „Lernwelt“ [35] ihrer Schülerinnen und Schüler hineinzusetzen. Dies gelingt, indem die jeweilige Veranstaltung einen hohen fachlichen und fachdidaktischen Schwerpunkt aufweist sowie fachbezogene diagnostische Fähigkeiten der Lehrkräfte schult. Dadurch können Lernschwierigkeiten antizipiert und alternative Vorstellungen identifiziert werden.
- Wirkungen des eigenen Handelns erleben: Wichtig für den Erfolg einer Fortbildung ist, dass Lehrkräfte die daraus resultierenden Veränderungen in ihrem unterrichtlichen Handeln sowie die dadurch veränderten Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler auch wahrnehmen können (Selbstwirksamkeit).
- Verschränkung von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen: In Lehrkräftefortbildungen sollte nicht nur neues Wissen erlernt werden, sondern auch Gelegenheit dazu bestehen, dieses im Unterricht zu erproben und anschließend darüber zu reflektieren. Daher ist eine Verschränkung von Wissenserwerb, Umsetzung des veränderten Handelns im Unterricht sowie Feedback und Reflexion sinnvoll. Außerdem sind solche Fortbildungen erfolgsversprechend, welche „close to the job“ [1] sind und deren Inhalte daher unmittelbar in den Unterrichtsalltag einfließen können.
- Orientierung an den Merkmalen des lernwirksamen Unterrichts: Inhalt von Lehrkräftefortbildungen sollte nicht sein, zu erlernen, wie bestimmte Methoden im Unterricht eingesetzt werden, sondern vielmehr muss das Augenmerk auf die

Tiefenstruktur des Unterrichts gelenkt werden. Dementsprechend sollten Fortbildungen an empirischen Befunden zu Merkmalen guten Unterrichts anknüpfen und vor allem auf die Verstehensprozesse der Lernenden ausgerichtet sein.

- Feedback: Hilfreich ist zudem, wenn Lehrkräfte im Rahmen der Fortbildung eine Rückmeldung zu ihrem eigenen unterrichtlichen Handeln erhalten. Dies kann beispielsweise in Form eines Coachings oder anhand von Leistungsdaten der Schülerinnen und Schüler erfolgen.
- Professionelle Lerngemeinschaften: Auch das Lernen in sogenannten professionellen Lerngemeinschaften ohne externe Expertise kann eine hohe Wirksamkeit aufweisen. Allerdings handelt es sich nicht bei jeder Kooperation zwischen Lehrkräften gleich um eine professionelle Lerngemeinschaft. Nach LOUIS, KRUSE und MARKS (1996) [zit. nach 35] müssen dazu folgende Merkmale erfüllt sein: geteilte Normen und Werte; Fokussierung auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler; reflexiver Dialog; Deprivatisierung des Unterrichts; intensive Zusammenarbeit. Fortbildungen sollten dementsprechend eine langfristige und tiefgreifende kollegiale Kollaboration ermöglichen und stärken, um ihre Wirksamkeit entfalten zu können.

Die dargestellten Merkmale haben nicht nur für Präsenzfortbildungen ihre Gültigkeit, sondern scheinen beispielsweise auch bei Blended Learning-Formaten wichtige Kriterien für die Wirksamkeit zu sein [4]. Allerdings dürften die wenigsten in jedwedem Format tatsächlich angebotenen Fortbildungen die genannten Qualitätsmerkmale vollumfänglich erfüllen.

In einem 2021 erschienenen Praxisleitfaden ordnen LIPOWSKY & RZEJAK [4] die Qualitätsmerkmale zusätzlich nach inhaltlichen und methodisch-didaktischen Gesichtspunkten. Mit dem bisherigen Forschungsstand besteht eine hohe Übereinstimmung, allerdings sind einzelne Kriterien, wie zum Beispiel die Notwendigkeit der inhaltlichen

Bedeutsamkeit oder die Bedeutung einer Förderung des selbstständigen Lernens auf Schülerinnen- und Schülerseite ergänzt und näher ausdifferenziert worden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Merkmale wirksamer Lehrkräftefortbildungen nach LIPOWSKY & RZEJAK 2021 [4]

Inhaltliche Ausrichtung von Fortbildungen	1. Orientierung am Stand der Unterrichtsforschung
	2. Selbstgesteuertes Lernen von Schülerinnen und Schülern
	3. Fokussierung auf zentrale unterrichtliche Anforderungen
	4. Inhaltliche Fokussierung
	5. Förderung des Wirksamkeitserlebens
Methodisch-didaktische Gestaltung von Fortbildungen	6. Stärkung der kollegialen Zusammenarbeit
	7. Verknüpfung von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen
	8. Feedback und Coaching
	9. Angemessene Fortbildungsdauer
	10. Bedeutsame Inhalte und Aktivitäten

Selbstredend hat sich nicht nur die deutschsprachige Literatur in den letzten Jahren eingehend mit den Merkmalen wirksamer Fortbildungsangebote auseinandergesetzt. Für den US-amerikanischen Raum hat beispielsweise DESIMONE [36,37] fünf Schlüsselemente für effektive Lehrkräftefortbildungen identifiziert:

- *Content Focus*: Fortbildungen sollten sich auf fachliche Inhalte konzentrieren, und darauf, wie die Schülerinnen und Schüler diese am besten erlernen (Fachdidaktik).
- „*Active Learning*“ anstatt einer passiven Rezipientenhaltung während der Fortbildung.
- *Coherence*: Die Inhalte sollten auf die Bedürfnisse der Lehrkräfte und des Bildungswesens abgestimmt sein.
- *Sustained Duration*: Fortbildungen sollten eine gewisse Mindestdauer aufweisen.
- *Collective Participation*: Lehrkräfte sollten eine interaktive Lerngemeinschaft bilden.

Dabei lässt sich eine große Überschneidung mit den bereits genannten Qualitätsmerkmalen erkennen. Allerdings gibt es keine einzelne, allumfassende Theorie zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen [38]. So scheinen beispielsweise Fortbildungen, die sich ausschließlich auf fachinhaltliche Belange konzentrieren, einen geringeren Effekt auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler aufzuweisen [38]. Auch hinsichtlich der Qualitätsmerkmale selbst stellt sich die Frage, welche Fortbildungsqualität hiermit genau umrissen wird. Die bisher aufgegriffenen Merkmale beziehen sich vor allem auf die inhaltliche und methodisch-didaktische Gestaltung von Fortbildungen, während der Lehr-Lern-Prozess an sich, den Lehrkräfte während solcher Maßnahmen durchlaufen, erst seit Kurzem im Sinne einer Prozessqualität näher untersucht wird [2].

Grundlegende Annahme aller Überlegungen ist jedoch, dass durch eine wirksam gestaltete Lehrkräftefortbildung am Ende ein positiver Einfluss auf die Schülerinnen und Schüler erreicht wird. DESIMONE [37] postuliert in ihrem Rahmenkonzept (siehe Abbildung 2) den Ablauf

folgender Schritte: Eine Lehrkraft nimmt an einer wirksamen Fortbildung teil. Dadurch verändern sich das Wissen und die Überzeugungen. Im nächsten Schritt bedient sich die Lehrkraft ihres veränderten Wissens, um den Unterricht entsprechend anzupassen. Schlussendlich fördern diese Veränderungen dann wiederum das Lernen der Schülerinnen und Schüler [37].

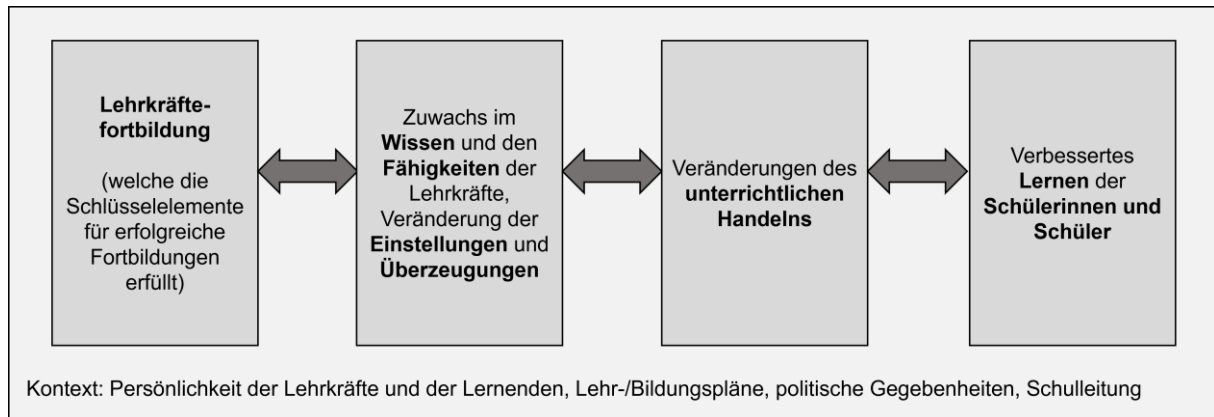


Abbildung 2: Rahmenkonzept zur Untersuchung der Effekte von Lehrkräftefortbildungen nach DESIMONE [37] (eigene Darstellung)

Generell kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass jede Fortbildung auch einen Effekt auf Schülerenebene nach sich zieht. Vielmehr wurde, wie bereits angedeutet, lange Zeit daran gezweifelt, ob Lehrkräftefortbildungen überhaupt Auswirkungen auf die Entwicklung von Schülerinnen und Schülern haben [5]. Fortbildungserfolg sollte daher auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden [8]. Grundlegend hierfür ist das prominente Modell von KIRKPATRICK, das nicht nur zur Evaluation von Lehrkräftefortbildungen, sondern auch in anderen Bereichen der Fort- und Weiterbildung eingesetzt wird [6]. Demnach können die Wirkungen von Trainings auf vier Levels evaluiert werden: *Reaction* (Level 1), *Learning* (Level 2), *Behavior* (Level 3) und *Results* (Level 4) [39]. Konkret auf Lehrkräftefortbildungen bezogen [8] umfasst das erste Level bzw. die erste Ebene somit die Zufriedenheit der Teilnehmenden und die Akzeptanz des Angebots. Die zweite Ebene bezieht sich auf Veränderungen hinsichtlich des Wissens der Lehrkräfte, während die dritte Ebene nun das tatsächliche unterrichtspraktische Handeln nach Besuch der Fortbildung beleuchtet.

Schließlich betrachtet die vierte Ebene die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler infolge des Fortbildungsbesuchs ihrer Lehrkraft (siehe Abbildung 3).

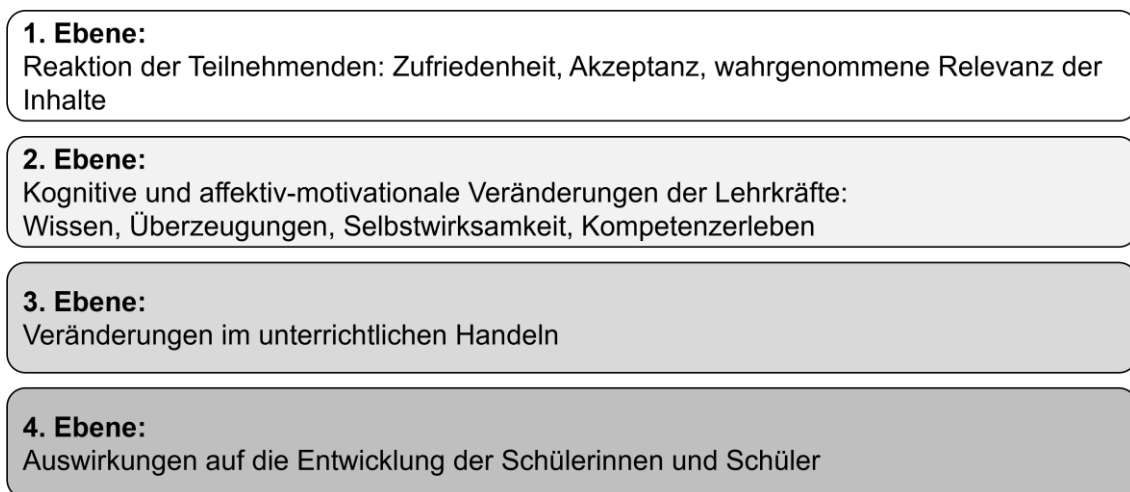


Abbildung 3: Ebenen der Wirksamkeit von Lehrkräftefortbildungen (eigene Darstellung nach [8])

Häufig wird die Evaluation von Lehrkräftefortbildungen jedoch lediglich auf die erste Ebene reduziert [35]. Dabei ist unklar, inwiefern bei einer hohen Zufriedenheit mit der Veranstaltung bereits vom Fortbildungserfolg gesprochen werden kann. Verschiedene Studien aus der Trainingsforschung sehen keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit und nachhaltigen Veränderungen auf den anderen Ebenen (vgl. [8,35]). Möglicherweise resultiert aus einer wirksamen Fortbildung, die tatsächlich auch das Wissen und Handeln der teilnehmenden Lehrkräfte voran bringt, sogar kurzfristig eine geringere Akzeptanz, da sie als sehr fordernd und anstrengend wahrgenommen wird [8]. Dennoch stellt ein gewisses Grundmaß an Zufriedenheit sicherlich eine notwendige, wenn auch nicht ausreichende Bedingung dar, sich überhaupt mit den Inhalten der Fortbildung vertieft auseinanderzusetzen [5].

Die zweite Ebene nimmt nun den Lernerfolg der Lehrkräfte in den Blick. Durch einen Fortbildungsbesuch können kognitive wie auch affektiv-motivationale Eigenschaften verändert werden. Dies umfasst sowohl Aspekte wie Kompetenzerleben, Selbstwirksamkeit und Überzeugungen als auch das fachliche, fachdidaktische, pädagogisch-psychologische und diagnostische Wissen der Lehrkräfte [5,8]. Solche Veränderungen werden meist mittels Vor- und Nachbefragungen erfasst [6].

Auf Ebene drei soll festgestellt werden, ob sich der Fortbildungsbesuch auch im unterrichtlichen Handeln der Lehrkräfte niederschlägt. Im Gegensatz zur Annahme von KIRKPATRICK, dass es sich bei den Ebenen um eine lineare Abfolge der Bewertungsmöglichkeiten handelt [39], muss nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass verändertes Wissen (Ebene 2) die Voraussetzung für ein verändertes Handeln der

Lehrkraft ist. Vielmehr ist die umgekehrte Variante ebenfalls denkbar: Das veränderte Verhalten einer Lehrperson nach einem gezielten Training führt zur Erkenntnis, dass dieses Handeln erfolgreicher ist. Dadurch wird wiederum eine Veränderung der Überzeugungen hervorgerufen. Insgesamt ist der Zugang zur dritten Ebene, der Ebene des unterrichtlichen Handelns, jedoch methodisch anspruchsvoll. Um den Wandel des beobachtbaren Handelns zugänglich zu machen, können entweder Videos zur Rate gezogen werden oder es werden von der vierten Ebene, also von Meinungsäußerungen seitens der Schülerinnen und Schüler, Rückschlüsse auf die dritte Ebene gezogen. Um Veränderungen im Handeln der Lehrkräfte erzielen zu können, ist es wichtig, innerhalb von Fortbildungen Möglichkeiten zu schaffen, Inhalte praktisch zu erproben [5].

Schlussendlich ist es das Ziel von Fortbildungen, einen positiven Einfluss auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler zu nehmen. Inwiefern das gelingt, wird auf der vierten Ebene betrachtet. Es besteht eine gewisse Einigkeit darin, dass sich Lehrkräftefortbildung positiv auf die Leistung der Lernenden auswirken können. Ob es auch Effekte auf deren affektiv-motivationale Merkmale gibt, ist dagegen noch wenig untersucht [8].

Der Erfolg einer wirksamen Fortbildung sollte sich bestenfalls auf allen Ebenen einstellen. Neben der bereits dargelegten inhaltlichen und methodisch-didaktischen Gestaltung von Fortbildungen nehmen auch strukturelle Merkmale Einfluss auf deren Wirksamkeit. So spielen beispielsweise der jeweilige schulische Kontext, die Expertise der Fortbildnerinnen und Fortbildner und individuelle Merkmale der teilnehmenden Lehrkräfte eine wichtige Rolle [8]. Diese Gesichtspunkte können in Form eines Angebot-Nutzungs-Modells, wie es bereits aus der Unterrichtsforschung bekannt ist, zusammengefasst werden (siehe Abbildung 4).

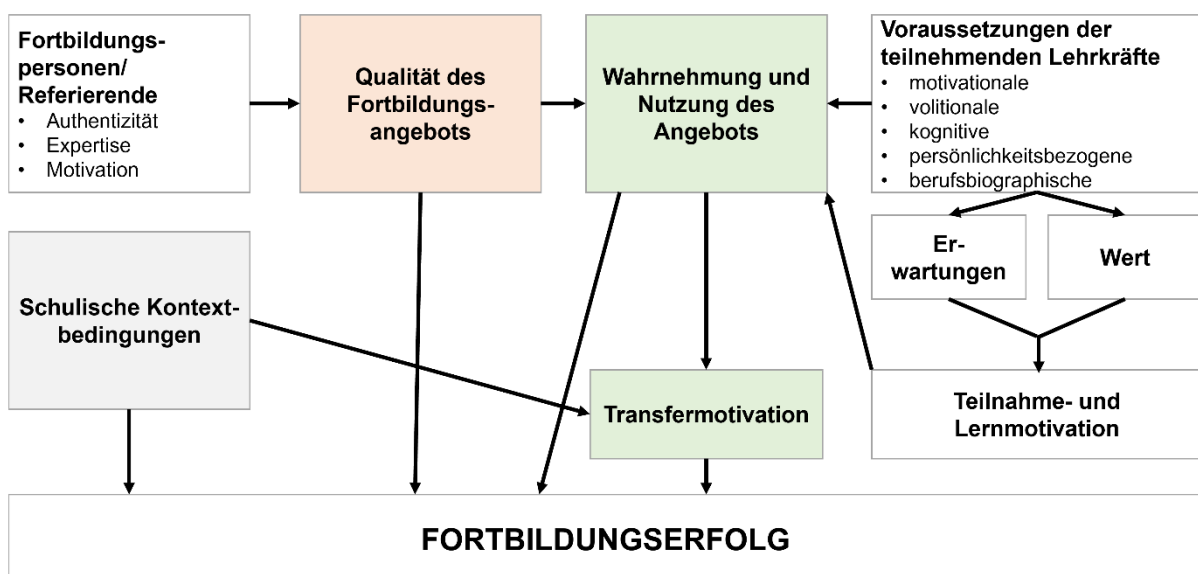


Abbildung 4: Vereinfachtes Angebots-Nutzungsmodell von Lehrkräftefortbildungen (eigene Darstellung nach [1,40])

Im Mittelpunkt steht dabei einerseits die Qualität des Fortbildungsangebots, andererseits aber auch die Wahrnehmung und Nutzung des Angebots durch die Lehrkräfte [1]. Wie das Fortbildungsangebot von der einzelnen Lehrperson genutzt wird, ist wiederum von deren individuellen Merkmalen, also beispielsweise deren kognitiven, affektiven oder berufsbiographischen Eigenschaften abhängig [26]. So können Fortbildungserfolge sehr unterschiedlich ausfallen, obwohl ein- und dieselbe Veranstaltung besucht wurde [36]. Eine zentrale Rolle dürfte der Motivation der Lehrkräfte zukommen. Dabei stellt sich nicht nur die Frage, wie *hoch*, sondern auch *welcher Art* die Fortbildungsmotivation ist. Grundsätzlich wird bei der Art der Motivation nach DECI & RYAN [zit. nach 9] zunächst zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterschieden. Bei der intrinsischen Motivation wird die Handlung selbst als positiv wahrgenommen. Extrinsisch motivierte Handlungen beruhen dagegen auf den zu erwartenden Konsequenzen außerhalb der Handlung, zum Beispiel eine Belohnung oder die Vermeidung von Strafe [9]. Bei der Fortbildungsmotivation ist ebenfalls von verschiedenen Facetten auszugehen. Basierend auf der sogenannten Education Participation Scale (E.P.S.), einer Skala, die in der Erwachsenenbildung im angloamerikanischen Raum häufig verwendet wird, haben RZEJAK ET AL. [9] ein Instrument zur Diagnose der Lehrkräftefortbildungsmotivation entwickelt. Sie gehen von vier Motivationsfacetten aus:

- Soziale Interaktion
- Externale Erwartungsanpassung
- Karriereorientierung
- Entwicklungsorientierung

Es handelt sich dabei um die Untersuchung der Fortbildungsmotivation im Sinne einer Fortbildung*wahl*motivation, also der Motivation, die im Vorfeld ausschlaggebend für die Teilnahme an einer Lehrkräftefortbildung ist. Während „externale Erwartungsanpassung“ und „Karriereorientierung“ eher als extrinsisch motiviert angesehen werden, können die Motive „soziale Interaktion“ und „Entwicklungsorientierung“ je nach genaueren Absichten intrinsisch oder extrinsisch angelegt sein. Wenn eine Lehrkraft beispielsweise aus sich heraus die lebenslange Professionalisierung als wichtiges Ziel ansieht, ist eher von einer intrinsischen Motivation auszugehen. Falls die neuen Erkenntnisse dagegen eher als Mittel zum Zweck im Umgang mit Problemen des Unterrichtsalltags dienen sollen, spielt auch die extrinsische Motivation eine Rolle [9].

Neben Motiven, die Lehrpersonen zu Fortbildungsbesuchen anregen, wie beispielsweise eben der Wunsch nach Professionalisierung, ist jedoch genauso von Interesse, welche subjektiven Beweggründe aber auch äußere Barrieren Lehrkräfte davon abhalten können, an Fortbildungsangeboten teilzunehmen. FLORIAN [41] stellt hier drei wesentliche Hürden fest:

1. Veranstaltungsbedingte Hürden, z. B. mangelnde Attraktivität des Angebots, lange Anfahrtswege, ungünstiger Zeitpunkt,
2. Schulorganisatorische Gründe wie eine hohe allgemeine Arbeitsbelastung, fehlende Freistellung, Unterrichtsausfall und
3. Private Gründe, v. a. Doppelbelastung Beruf und Familie.

Die Ergebnisse eines Literaturreviews von KRILLE [42] gehen in eine sehr ähnliche Richtung. Sie nennt als wesentliche Gründe ebenfalls schulorganisatorische und private Hürden: Hohe generelle Arbeitsbelastung der Lehrkräfte; Bedenken wegen Unterrichtsausfalls; ungünstiges Timing des Veranstaltungszeitpunktes; familiäre Verpflichtungen (vor allem für Frauen); Schwierigkeiten, Vertretungsunterricht zu organisieren. Hinzu kommen Merkmale der Angebotsseite wie falsches Thema; schlechte Qualität; überbuchte Kurse; hohe Kosten; lange Anfahrtswege. RICHTER, RICHTER & MARX [43] identifizierten in einer Studie fünf voneinander abgrenzbare Faktoren, welche Teilnahmehürden für die Lehrkräfte darstellen können:

- Disengagement
- Qualitätsmangel von Fortbildungen
- Familiäre Verpflichtungen
- Finanzielle Kosten
- Unvereinbarkeit der Arbeitszeit

Ähnliche Hinderungsgründe wurden auch bei Befragungen speziell von Chemielehrkräften gefunden [25]. Hier wurden als wichtigste Gründe für die Nicht-Teilnahme an Fortbildungen ein mangelnder Schulbezug, unattraktive Angebote sowie die Entfernung zum Veranstaltungsort genannt.

Um im Allgemeinen die Wirksamkeit von Fortbildungen zu verbessern, gilt es also nicht nur, anhand der beschriebenen Qualitätsmerkmale das Fortbildungsangebot erfolgsversprechend zu gestalten. Selbst wenn eine hohe Akzeptanz einer Fortbildung noch lange keine Garantie für deren Wirksamkeit bietet, geht es auch darum, organisatorische Hürden zu überwinden und inhaltlich eine attraktivere Wahrnehmung durch die *Nutzenden* zu schaffen [44]. Generell erfahren solche Lehrkräftefortbildungen eine hohe Akzeptanz, die „close to the job“ sind, was in den überarbeiteten Qualitätsmerkmalen von LIPOWSKY & RZEJAK [4] nun auch verstärkt betont wird. Zusätzlich werden von den Lehrkräften konkrete Materialien, Gelegenheiten zum Austausch mit Kolleginnen und Kollegen sowie Partizipationsmöglichkeiten gewünscht. Die Fortbildungen sollen in angenehmer Atmosphäre mit kompetenten Fortbildnerinnen und Fortbildnern stattfinden und auch Feedback vorsehen [5,35]. Um Lehrkräftefortbildungen speziell im Unterrichtsfach Chemie attraktiv zu gestalten, wird auch hier der Frage nachgegangen, welche Veranstaltungen besonders den Wünschen der Teilnehmenden entsprechen [44]. Der Befund von NEU & MELLE aus dem Jahre 1998 [45], dass fast alle

Chemielehrkräfte Fortbildungen bevorzugen, die sowohl Vorträge als auch Praktika umfassen, dürfte auch heute noch als gültig angesehen werden. Nach einer Analyse von DAUS ET AL. [25] wünschen sich Chemielehrkräfte solche Fortbildungen, in denen sie schulrelevante Experimente kennenlernen können, Materialien für den Unterricht erhalten und neue Unterrichtsmethoden sowie fachliche Kenntnisse erlernen. Zudem wird auch hier der Aspekt der Kommunikation mit Kolleginnen und Kollegen als wichtig erachtet [46]. Bei der Konzeption von neuen Lehrkräftefortbildungen sollten demnach im Rahmen der Möglichkeiten neben den genannten Qualitätsmerkmalen auch die Bedürfnisse der Zielgruppe berücksichtigt werden.

3 Theoretische Grundlegung der Fortbildungsinhalte

Zu den Merkmalen eines guten Chemieunterrichts gehört nicht nur die verständliche, gut strukturierte Erarbeitung der fachlichen Inhalte – am besten in Verbindung mit Experimenten – sondern es wird eine Vielzahl an weiteren Eigenschaften gefordert. Dazu zählen beispielsweise die Förderung eines aktiven, selbstgesteuerten Lernens sowie eine Individualisierung und Differenzierung [47]. Des Weiteren ist der naturwissenschaftliche Unterricht Teil des allgemeinen Bildungs- und Erziehungsauftrags der Schule, wonach die Schülerinnen und Schüler in adäquater Weise zur Mitgestaltung von und Teilhabe an der jetzigen und zukünftigen Gesellschaft vorbereitet werden sollen [3]. Einige Aspekte, die mit diesen Forderungen einher gehen, spielen auch in der im Rahmen der vorliegenden Arbeit konzipierten Lehrkräftefortbildung eine wichtige Rolle. Daher werden diese im Folgenden vorgestellt und vor dem Hintergrund einschlägiger Fachliteratur näher beleuchtet.

3.1 Das Experiment als Besonderheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Experimente dienen ohne Frage als zentrales Instrument der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Unter einem Experiment versteht man dabei einen „planmäßig ausgelöste[n] und durchgeführte[n] Vorgang zum Zweck der Beobachtung“ [48]. Neben der Biologie und der Physik zeichnet sich ganz besonders die Chemie durch ihren experimentellen Charakter aus. Wegen der großen Bedeutung des Experiments in der Wissenschaft Chemie spielt dieses auch im Chemieunterricht eine essenzielle Rolle. Schließlich ist es ein maßgebliches Ziel, die Schülerinnen und Schüler mit typischen Arbeitsweisen der Fachdisziplin Chemie vertraut zu machen [49]. Während allerdings ein Forschungsexperiment in der Wissenschaft zur Erkenntnis*gewinnung* dient, liegt der Fokus des Experiments im Unterricht auf der Erkenntnis*vermittlung*. Daher können Experimente aus der Forschung und im Unterricht nicht gleichgesetzt werden [50]. Zwar dient unter Schülerinnen und Schülern das Schulexperiment ebenfalls zur Gewinnung neuer Erkenntnisse, jedoch ist der Lehrkraft in aller Regel das Ergebnis bereits im Vorfeld bekannt [51]. Ein Versuch² vermittelt im Unterricht also einerseits neue Fachinhalte, andererseits spiegelt er eine typische Arbeitsweise der Wissenschaft Chemie im Unterricht wider. Eine zusätzliche didaktische Legitimation erhalten Experimente beispielsweise auch durch die Ermöglichung von unmittelbar zugänglichen Primärerfahrungen in einer zunehmend medial geprägten Welt [49,54]. Bei der

² Gelegentlich wird für den schulischen Kontext eine Unterscheidung zwischen den Begrifflichkeiten „Versuch“ und „Experiment“, vorgeschlagen (z. B. [52]), um das eher ergebnisoffene *Experimentieren* von dem bloßen Abarbeiten von *Versuchsvorschriften* abzugrenzen. Andere Autoren sind dagegen der Meinung, dass sich die begriffliche Trennung nicht durchgesetzt hat (z. B. [53]). Daher werden in der vorliegenden Arbeit die beiden Begriffe synonym verwendet.

Ausführungsform von Versuchen wird im schulischen Kontext zwischen Schülerexperimenten und Demonstrationsexperimenten, die von der Lehrkraft durchgeführt werden, unterschieden. Daneben gibt es Mischformen, wie das Schülerdemonstrationsexperiment [55]. Insbesondere mit Schülerexperimenten sind aus didaktischer Sicht hohe Erwartungen verbunden, wengleich durchaus kontrovers diskutiert wird, ob sie auch wirklich zu einem höheren Wissenszuwachs führen [56]. Da Schülerexperimente häufig in Gruppenarbeit durchgeführt werden, erfüllen sie jedenfalls eine wichtige soziale und kommunikative Funktion. Darüber hinaus bieten sie den Lernenden die Möglichkeit, in einem meist von kognitiven Lernzielen dominierten Schulunterricht auch psychomotorische Fähigkeiten und Fertigkeiten zu schulen und anzuwenden. Vor allem aber sollen Schülerexperimente die Selbsttätigkeit der Lernenden ermöglichen und zu einer Förderung des Interesses und der Motivation sowie zu positiven Einstellungen hinsichtlich des Chemieunterrichts führen [56]. Dies ist besonders vor dem Hintergrund relevant, dass im Laufe der Schulzeit zum einen das Interesse an Schule generell sinkt und sich zum anderen die Fachinteressen zunehmend ausdifferenzieren [57]. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf den naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Chemie zählt neben der Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern (MERZYN, 2008 [zit. nach 58]). Zusätzlich nimmt das Interesse am Chemieunterricht im Laufe der Schulzeit weiter ab, insbesondere bei Mädchen [58]. Schülerexperimente sollen also dazu beitragen, das bestehende Interesse aufrecht zu erhalten oder wieder neu zu wecken. Damit dies gelingen kann, müssen sie über das bloße Abarbeiten von „Rezepten“ hinaus gehen sowie methodisch und didaktisch zielführend und sinnvoll eingebettet werden. Hierbei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen, zum Beispiel eine Anknüpfung an das entsprechende Vorwissen der Schülerinnen und Schüler, die Angemessenheit an die Altersstufe [59], aber auch praktische Gesichtspunkte wie eine robuste Handhabung mit geringer Fehleranfälligkeit und die Einhaltung von Sicherheitsbestimmungen [56]. Im Zusammenhang mit Sicherheitsaspekten werden beispielsweise Versuche im Microscale-Ansatz als Schülerexperimente vorgeschlagen. Diese bieten eine hohe Sicherheit bei der Handhabung durch Lernende, da sie mit deutlich geringeren Mengen an Chemikalien arbeiten und häufig bruchsichere Kunststoffgeräte, wie zum Beispiel Spritzen, nutzen [60,61]. Allerdings muss sicherlich kritisch hinterfragt werden, inwiefern solche Experimente von Schülerinnen und Schülern als authentisch für die Wissenschaft Chemie wahrgenommen werden.

Generell müssen bei der Durchführung von Experimenten im Chemieunterricht verschiedene Bestimmungen zum sicheren Arbeiten eingehalten werden. In Deutschland wird der Umgang mit Gefahrstoffen durch das Chemikaliengesetz und die darin enthaltene Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) sowie die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geregelt. Die Gefahrstoffverordnung spricht explizit auch Schulen an. Darin wird unter anderem die Durchführung und Dokumentation einer Gefährdungsbeurteilung inklusive

Substitutionsprüfung, die Erstellung eines Gefahrstoffverzeichnisses sowie die Bereitstellung geeigneter technischer und persönlicher Schutzausrüstung gefordert [62]. Zusätzlich fallen Schülerinnen und Schüler in die Zuständigkeit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Daher gibt die DGUV eine Liste mit Stoffen heraus, die im Unterricht eingesetzt werden dürfen [62]. Diese Regeln werden von der KMK in der Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) [63] gebündelt. Gemäß der aktuellen RiSU von 2019 ist die Anfertigung einer Gefährdungsbeurteilung bei der Durchführung von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht rechtlich vorgeschrieben. Dies gilt auch bei der Verwendung von „Alltagschemikalien“, wie zum Beispiel Backpulver. Da die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen mit hohem Arbeitsaufwand verbunden ist, gibt es durchaus Befürchtungen, dass Lehrkräfte allgemein auf Experimente verzichten könnten [64] oder sich zumindest nur auf solche beschränken, für die es bereits vorgefertigte Gefährdungsbeurteilungen gibt. Daher wurde das Online-Portal DEGINTU (DGUV-Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht) ins Leben gerufen [64]. Auf DEGINTU [65] werden für Lehrkräfte kostenlos rechtskonforme Gefährdungsbeurteilungen für zahlreiche Schulversuche bereitgestellt, um die Hürden für den Einsatz von Experimenten im Chemieunterricht möglichst gering zu halten. Aus dieser Sicht erscheint die sich momentan noch im Aufbau befindliche Plattform einen vielversprechenden Beitrag zur Gestaltung eines experimentellen (Chemie-)Unterrichts zu leisten.

3.2 Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Das Experiment ist Teil eines Erkenntnisgewinnungsprozesses, der auch weitere naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen umfasst [66]. In den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife im Fach Chemie wird die Kenntnis dieser Denk- und Arbeitsweisen explizit gefordert [67] und auch in den Standards für den Mittleren Schulabschluss [68] ist die Erkenntnisgewinnungskompetenz als zentrales Ziel des Chemieunterrichts fest verankert. Eine Möglichkeit, diese im Unterricht zu fördern ist das sogenannte Forschende Lernen (engl. inquiry-based learning). Darunter wird grundsätzlich ein Lehr- und Lernkonzept verstanden, bei dem Schülerinnen und Schüler Methoden anwenden, welche denen ähneln, die professionelle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verwenden, um neue Erkenntnisse zu generieren [69]. Darüber hinaus besteht keine einheitliche Meinung, was Forschendes Lernen exakt bedeutet und welche naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen es umfasst [69–71]. Das eigenständige Experimentieren durch die Schülerinnen und Schüler wird allerdings meist als zentral und „typisch“ für das Forschende Lernen angesehen. Darüber hinaus können auch noch weitere Erkenntnisprozesse vorkommen, die nicht nur in den Naturwissenschaften eine Rolle spielen, wie zum Beispiel das Recherchieren [71].

Grundsätzlich geht das Forschende Lernen davon aus, dass Schülerinnen und Schüler mehr oder weniger selbstständig bestimmten Fragen und Problemen nachgehen [72]. Die Lernenden sollen neue Zusammenhänge entdecken, dabei formulieren sie Hypothesen und überprüfen diese, indem sie selbst Experimente durchführen. Beim Forschenden Lernen handelt es sich also um einen Problemlösungsprozess, bei dem die Schülerinnen und Schüler für sie subjektiv neues Wissen über Fachinhalte erwerben [69]. Gleichzeitig sollen sie auch lernen, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. In einem weiteren Schritt sollen sie die Art und Weise, wie sie diese Untersuchungen durchgeführt haben, durchdenken, um so ein Verständnis über den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu entwickeln [50,70,73]. Indem die Schülerinnen und Schüler explizit auf einer Metaebene über den Erkenntnisgewinnungsprozess reflektieren, erlangen sie wichtige Einsichten in die *Nature of Science*, also ein Verständnis über die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen. Damit leistet das Forschende Lernen auch einen Beitrag zur Ausbildung einer *Scientific Literacy*, einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, mit derer die Schülerinnen und Schüler ihr Leben lang an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen hinsichtlich naturwissenschaftlicher Fragestellungen teilhaben können [69,74].

In aller Regel wird das Forschende Lernen als Abfolge von bestimmten Schritten oder Phasen beschrieben, die einen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess abbilden sollen [69,71,75]. Allerdings besteht keine Einigkeit darüber, aus welchen Phasen das Forschende Lernen genau besteht [69,72]. Man kann jedoch festhalten, dass erst einmal eine grobe Gliederung in drei Prozesse gegeben ist: Eine Phase vor der Durchführung eines Experiments, dann die Durchführung selbst und daran anschließend eine Phase zur Auswertung, Deutung und Reflexion der Ergebnisse [50,72]. Diese Phasen können noch näher ausdifferenziert werden. Aufgrund der uneinheitlichen Konzeptionalisierung haben MARTIUS, DELVENNE & SCHLÜTER [71] vorrangig in der deutschsprachigen Literatur eine Recherche durchgeführt, um die wesentlichen Phasen des Forschenden Lernens zu identifizieren. Sie stellen dabei fest, dass die Phasen Benennung des Problems/der Forschungsfrage – (Lösungs-)Planung – Durchführung & Dokumentation – (Ergebnis-)Auswertung am häufigsten in der Literatur zu finden sind. Darüber hinaus erachten sie auch das Aufstellen von Hypothesen als zentral für das Forschende Lernen. Eine ausführliche Recherche in der englischsprachigen Literatur haben PEDASTE ET AL. [69] vorgelegt. Sie identifizieren fünf zentrale Phasen: Orientation – Conceptualization – Investigation – Conclusion – Discussion. Manche dieser Phasen sind nochmals untergliedert, zum Beispiel die Konzeptionalisierungsphase (Conceptualization) in „Fragen stellen“ und „Hypothesen generieren“. Sie beschreiben auch, dass das Forschende Lernen trotz unterschiedlicher Quellen häufig ähnlich strukturiert ist und lediglich eine andere Terminologie für die Schritte gewählt wurde. Darüber hinaus sind die Phasen des Forschenden Lernens häufig in Form

eines Forschungszyklus (inquiry cycle) angeordnet. Auch SOMMER & PFEIFER [75] betonen, dass der Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, bestehend aus den Phasen Frage – Hypothese – Planung – Durchführung – Beobachtung – Auswertung zu einem zyklischen Prozess werden kann, wenn man abschließend zur Fragestellung zurückkehrt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn sich neue Fragen anschließen, die ursprüngliche Forschungsfrage nicht beantwortet wurde oder sich die aufgestellte Hypothese nicht bewahrheitet hat und dadurch der Erkenntnisprozess von Neuem durchlaufen werden muss. Ein wichtiges Modell zur Strukturierung des Forschenden Lernens ist somit der Forschungszyklus [70]. In der Literatur werden wiederum verschiedene Forschungszyklen mit unterschiedlichen Phasen beschrieben. ANTON & NEBER nehmen zunächst erneut eine Dreiteilung vor, und zwar in die präexperimentelle Phase, die experimentelle Phase und die postexperimentelle Phase [76]. Darauf basierend sind verschiedene Forschungszyklen näher ausdifferenziert worden (z. B. [77,78]). Darüber hinaus sind weitere Forschungszyklen in der Literatur zu finden, die sich im Ablauf stets ähneln, sich aber in der Zahl und Benennung der Phasen durchaus unterscheiden. Beispiele hierfür sind in Abbildung 5 gezeigt.

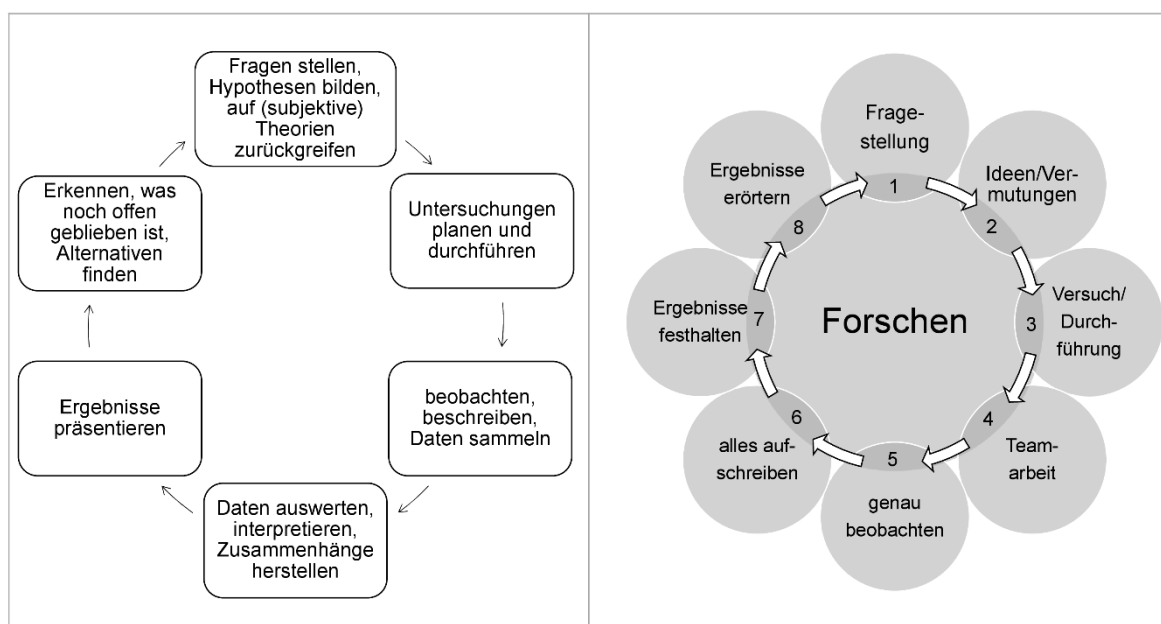


Abbildung 5: Links: Der Forschungszyklus nach ABELS, LAUTNER & LEMBENS [73], Rechts: Der „Forschungskreislauf“ nach MARQUARDT-MAU [79] (jeweils eigene Darstellung)

Ein Forschungszyklus soll somit den Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung abbilden. In der Regel werden die Schritte nacheinander in linearer Abfolge durchlaufen. Mögliche Irr- und Umwege, wie sie im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess mehr Regel als Ausnahme sind, und auch in der Praxis beim Forschenden Lernen im Unterricht auftreten, werden erst einmal nicht berücksichtigt [70,72]. Tatsächlich ist der Forschungszyklus eine didaktisch reduzierte, idealtypische Darstellung [71] und bildet nicht

alle in der naturwissenschaftlichen Forschung ablaufenden Prozesse ab. Dies ist in der Hinsicht problematisch, dass durch solche Darstellungsweisen bei den Schülerinnen und Schülern die Vorstellung hervorgerufen werden kann, es gebe *die* eine wissenschaftliche Methode [70]. In den Naturwissenschaften existiert jedoch kein einheitliches, allgemeingültiges Vorgehen zur Erkenntnisgewinnung [50,66]. Gleichzeitig ist es weder das Ziel noch vermag es das Forschende Lernen, tatsächlich ablaufende Prozesse aus der naturwissenschaftlichen Forschung eins zu eins abzubilden. Dies ist allein aus schulorganisatorischen Gründen nicht möglich und würde darüber hinaus zu einer Überforderung der Schülerinnen und Schüler führen. Somit bezieht sich das Forschende Lernen zwar auf den Erkenntnisgewinnungsprozess in der naturwissenschaftlichen Forschung, kann aber nicht mit diesem gleichgesetzt werden [50].

Eine weitere (definitorische) Herausforderung hinsichtlich des Forschenden Lernens besteht im Grad der Offenheit, mit dem dieses Unterrichtskonzept umgesetzt wird. Häufig wird Forschendes Lernen als ein möglichst offener, aktiver und selbstgesteuerter Lernprozess beschrieben, bei dem die Lehrkraft lediglich als Lernbegleitung fungiert und sich zugunsten eines schülerorientierten, eigenständigen Arbeitens zurücknimmt [69–71]. Allerdings kann das Forschende Lernen sowohl sehr offen als auch stärker strukturiert angeboten werden und somit ein unterschiedliches Maß an Unterstützung durch die Lehrkraft aufweisen [51,73]. Damit können nach BLANCHARD ET AL. [80] vier verschiedene Stufen der Offenheit beim Forschenden Lernen unterschieden werden (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Stufen des Forschenden Lernens nach BLANCHARD ET AL. [80] (eigene Darstellung, übersetzt in Anlehnung an [81])

	Fragestellung	Methodenwahl	Interpretation
Level 0: bestätigend (verification)	Festgelegt durch Lehrkraft	Festgelegt durch Lehrkraft	Festgelegt durch Lehrkraft
Level 1: strukturiert (structured)	Festgelegt durch Lehrkraft	Festgelegt durch Lehrkraft	Steht den Lernenden offen
Level 2: begleitet (guided)	Festgelegt durch Lehrkraft	Steht den Lernenden offen	Steht den Lernenden offen
Level 3: offen (open)	Steht den Lernenden offen	Steht den Lernenden offen	Steht den Lernenden offen

In Zusammenhang mit dem Grad der Offenheit wird auch die Wirksamkeit des Forschenden Lernens kontrovers diskutiert. So begreifen beispielsweise KIRSCHNER, SWELLER & CLARK [82] dieses als eine konstruktivistische, völlig offene Lernumgebung. Demgemäß zeigen sie auf, dass das Forschende Lernen bei den Schülerinnen und Schülern zu einer kognitiven Überlastung (cognitive overload) führt und insbesondere schwächere Lernende mit geringem Vorwissen benachteiligt. Sie plädieren stattdessen für eine direkte Instruktion durch die Lehrkraft, welche die zentralen Fachinhalte strukturiert aufbereitet. Eine selbstgesteuerte Erarbeitung des Wissens unter Verwendung von Methoden, die auch Expertinnen und

Experten in der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplin anwenden, sehen sie bei Schülerinnen und Schülern als nicht effektiv und ineffizient sowie bisweilen sogar als schädlich an [82]. Auch HMELO-SILVER, DUNCAN & CHINN [83] stimmen dem zu, dass es kaum empirische Hinweise darauf gibt, dass völlig offene Ansätze das Lernen entsprechend fördern. Allerdings sind sie der Meinung, KIRSCHNER, SWELLER & CLARK [82] gingen von falschen Voraussetzungen aus, da sie das Forschende Lernen fälschlicherweise mit anderen konstruktivistischen und sehr offenen Herangehensweisen gleichsetzen. Vielmehr sei das Forschende Lernen nach HMELO-SILVER, DUNCAN & CHINN [83] zwar durchaus ein schülerzentrierter Unterricht, der aber dennoch von einer Lehrperson gesteuert wird. Die Steuerung erfolgt beispielsweise dadurch, dass die Lehrkraft die Schülerinnen und Schüler begleitet und unterstützt sowie den Lernprozess im Sinne des *Scaffolding* strukturiert, also den Lernenden ein „Gerüst“ bietet [70,83]. Diese Strukturierung ist zentral, um die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler entsprechend zu reduzieren [83]. Außerdem betonen HMELO-SILVER, DUNCAN & CHINN [83] die Wichtigkeit dessen, dass Lernende nicht nur Kenntnisse über Fachinhalte erwerben, sondern auch über die disziplinspezifischen Arbeitsweisen und Nature of Science [83]. Die Frage ist also weniger, *ob* Forschendes Lernen wirksam ist, sondern vielmehr unter welchen Bedingungen und welche Ziele damit erreicht werden sollen [70,83].

Ganz grundsätzlich gilt somit nicht die Devise „je offener, desto besser“. Je nach Voraussetzungen und Vorwissen der Lerngruppe bildet Level 3 („open inquiry“) nicht zwingend den Idealfall des Forschenden Lernens ab. Vielmehr sollten die Schülerinnen und Schüler schrittweise an höhere Öffnungsgrade herangeführt werden [71]. Dabei entspricht Level 0 zwar annähernd dem Abarbeiten von „Versuchs-Rezepten“, allerdings ist entscheidend, dass auch hier eine Forschungsfrage zu Grunde liegt [56,70], um als Teil des Forschenden Lernens gelten zu können.

Beim Forschenden Lernen ist es somit eine bedeutsame Aufgabe der Lehrkraft, das richtige Gleichgewicht zwischen Offenheit und Instruktion in Bezug auf die eigene Lerngruppe zu finden [72]. Eine wichtige Strukturierungsmöglichkeit beim Forschenden Lernen liegt in der expliziten Verwendung von entsprechenden Phasenmodellen wie dem bereits erläuterten Forschungszyklus [70]. Daneben gibt es weitere Ansätze zur Strukturierung des Forschenden Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht. Eine Herangehensweise aus dem englischsprachigen Raum ist das 5E-Modell von BYBEE [70,73,84]. Es besteht aus fünf Phasen: Engage – Explore – Explain – Extend/Elaborate – Evaluate. Dabei liegt die fünfte Phase quer zu den anderen vier (siehe Tabelle 3):

Tabelle 3: Das 5E Modell von BYBEE (eigene Darstellung nach [70,84])

Engage: Den Lernenden wird eine problembasierte Fragestellung vorgestellt, die ihre Neugier wecken soll.	Evaluate: Die Lernenden reflektieren einerseits selbst über ihren Lernfortschritt, andererseits werden sie auch von der Lehrkraft beurteilt.
Explore: Basierend auf dem in der ersten Phase vorgestellten Problem werden Untersuchungen geplant und durchgeführt.	
Explain: Die Ergebnisse der Untersuchungen werden erklärt und eingeordnet.	
Extend/Elaborate: Durch zusätzliche Übungen wird das Verständnis weiter vertieft.	

Das Forschende Lernen kann somit auch als Unterrichtsansatz zur Gestaltung von Unterricht dienen [72]. Das wohl bekannteste Verfahren für den Chemieunterricht stellt dabei das seit vielen Jahren etablierte forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren nach SCHMIDKUNZ & LINDEMANN (1992) dar [85]. Auch dieses bildet mit seiner Phasierung einen idealtypischen Ablauf der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ab [55]. Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren besitzt daher eine enge Verwandtschaft mit dem Forschenden Lernen, die Definition ist jedoch deutlich enger gefasst [72,75]. „Forschend“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Lernenden möglichst eigenständig, unter Rückgriff auf ihr vorhandenes Vorwissen und unter Einbezug von Experimenten, Erkenntnisse gewinnen. „Entwickelnd“ bedeutet, dass dieser Lernprozess von der Lehrkraft unterstützt und begleitet wird [55,85]. Die Schülerinnen und Schüler müssen also nicht alle Lösungsschritte selbstständig erreichen, sollen aber dennoch sehr eigenständig arbeiten [52]. Beim forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren handelt es sich um eine Problemlösestrategie, die in genau fünf Denkschritte gegliedert ist: Problemgewinnung – Überlegungen zur Problemlösung – Durchführung eines Problemlösevorschlages – Abstraktion der gewonnenen Erkenntnisse – Wissenssicherung [85]. Diese Denkstufen sind wiederum jeweils in drei Denkphasen unterteilt (siehe Tabelle 4):

Tabelle 4: Denkstufen und -phasen des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens (eigene Darstellung nach [55,85])

Problemgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> • Problemgrund • Problemerkfassung • Problemformulierung
Überlegungen zur Problemlösung	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des Problems • Vorschläge zur Problemlösung • Entscheidung für einen Lösevorschlagn
Durchführung eines Problemlösevorschlages	<ul style="list-style-type: none"> • Planung des Lösevorschlages • Praktische (experimentelle) Durchführung des Lösevorschlages • Diskussion der Ergebnisse
Abstraktion der gewonnenen Erkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Ikonische Abstraktion • Verbale Abstraktion • Symbolhafte Abstraktion
Wissenssicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsbeispiele • Wiederholung • Lernzielkontrolle

Dabei müssen nicht zwingend alle Phasen durchlaufen werden. Je nach Vorgehensweise können einzelne Phasen auch entfallen oder mehrfach vorkommen. Außerdem kennt das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren wie auch das Forschende Lernen allgemein zwei „Wege“: Wenn das Vorwissen der Lernenden bereits so hoch ist, dass es sich beim durchgeführten Versuch eher um ein Bestätigungsexperiment handelt, spricht man von einer deduktiven Herangehensweise. Beim induktiven Weg dagegen ist es umgekehrt: Hier wird aus einzelnen Experimenten ein neuer Zusammenhang erschlossen [55,85]. Bei der Planung einer Unterrichtseinheit nach dem forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren ist es für die Lehrkraft eine besondere Herausforderung, mögliche Lösevorschlüge der Schülerinnen und Schüler vorauszuahnen und dementsprechend Experimentiermaterial bereit zu halten [55].

Die Charakteristika des Forschenden Lernens lassen sich also nach MARTIUS, DELVENNE & SCHLÜTER [71] folgendermaßen zusammenfassen:

- Das Forschende Lernen ist eine auf die Lernenden zentrierte Methode, die sich durch eine stufenweise Offenheit auszeichnet.
- Die Phasen des Forschenden Lernens entsprechen einer vereinfachten, idealisierten Darstellung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses.
- Den Ausgangspunkt des Forschenden Lernens bildet eine Forschungsfrage, oftmals im Sinne einer Problemorientierung.
- Beim Forschenden Lernen kommen fachspezifische Denk- und Arbeitsweisen zum Einsatz, eine besondere Wichtigkeit besitzt das Experimentieren.
- Der Erkenntnisgewinn beim Forschenden Lernen besteht in für die Schülerinnen und Schüler subjektiv Neuem.

Darüber hinaus wird das Anknüpfen an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler als Gelingensbedingung des Forschenden Lernens angesehen. Im Sinne einer sozialen und kommunikativen Funktion wird empfohlen, das Forschende Lernen in Gruppenarbeit umzusetzen. Außerdem kann Forschendes Lernen sicherlich nicht in einer Unterrichtsstunde erarbeitet werden, sondern bedarf mehrfacher Einübung durch die Schülerinnen und Schüler [71].

3.3 Naturwissenschaftlicher Unterricht und Wertebildung

Neben dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung spielt gemäß den Bildungsstandards auch der Kompetenzbereich Bewertung eine wichtige Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht. In den Standards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss heißt es hierzu: Zum Bereich Bewertung gehören „[d]ie Kenntnis und Reflexion der Beziehungen zwischen Naturwissenschaft, Technik, Individuum und Gesellschaft“ [68] und weiter: „Bei der Betrachtung gesellschaftsrelevanter Themen aus unterschiedlichen Perspektiven erkennen die Lernenden, dass Problemlösungen von Wertentscheidungen [Herf. d. Verf.] abhängig sind“ [68]. Es geht also im Chemieunterricht nicht nur darum, die Anwendung von Fachwissen und -methoden zu vermitteln, sondern die Schülerinnen und Schüler auch dazu zu befähigen, auf persönlicher und gesellschaftlicher Ebene über naturwissenschaftliche Inhalte zu reflektieren und diese zu bewerten. Damit sind bereits erste Hinweise gegeben, dass zu den Aufgaben von Schule auch die Wertebildung gehört und dass diese nicht nur beispielsweise den Religions- oder Ethikunterricht, sondern ebenso die naturwissenschaftlichen Fächer betrifft. Schließlich ist die Wertebildung in den Schulgesetzen des Bundes und der Länder fest verankert und als übergreifender Bildungsauftrag für alle Schulformen und alle Schulfächer bindend [86,87]. Obwohl Schule nur einer von vielen Faktoren ist, der im Laufe des Lebens zur Wertebildung beiträgt, wird ihr neben der primären Wertesozialisation in der Familie ein hoher Stellenwert zugeschrieben, da sich Werte bereits früh im Leben eines Menschen bilden und das Kindes- und Jugendalter somit eine entscheidende Phase hinsichtlich der Wertebildung darstellt [87–89]. Damit und durch den festgeschriebenen Erziehungsauftrag der Schule sind Lehrkräfte also dazu angehalten, schulische Wertebildung zu betreiben. Allerdings sind sich viele Lehrkräfte unsicher, welche Möglichkeiten es zur Wertebildung im Unterricht gibt, da das Thema Werte kein verpflichtender Bestandteil der Lehramtsausbildung ist und nur selten Fortbildungen hierzu angeboten werden [86]. Die Unsicherheit mag auch damit zusammenhängen, dass es keinen allgemeingültigen Konsens darüber gibt, was „Werte“ überhaupt sind und welche in der Vielzahl der Werte denn nun die „richtigen“ sind. Je nach Fachdisziplin (Philosophie, Soziologie, Erziehungswissenschaften, ...) gibt es ein durchaus unterschiedliches Verständnis des Begriffs „Wert“ [90]. Aus erziehungswissenschaftlicher Sicht hält SCHUBARTH fest, dass ein Konsens darüber besteht, dass Werte „Vorstellungen von

persönlich wie gesellschaftlich Wünschenswertem sind, die das menschliche Handeln beeinflussen und ihm Orientierung geben“ [88]. Auch NIEDERMEIER fasst zusammen, dass „Werte als Orientierungs- und Beurteilungsmaßstab für das Handeln von Individuen dienen“ [91]. MENZEL sieht Werte als „fundamentale, leitende Prinzipien im Leben eines Menschen“ [87]. Es lässt sich also zusammenfassen: Werte geben Orientierung und leiten das menschliche Handeln. Diese beiden Aspekte finden sich auch in der Definition von HORN (2002) wieder:

„Werte sind bewusste oder unbewusste Orientierungsstandards und Leitvorstellungen, von denen sich Individuen und Gruppen bei ihrer Handlungswahl leiten lassen“ [zit. nach 92].

Für die Schule ist neben dem Begriff der Werte an sich besonders die „Wertebildung“ wichtig. Darunter versteht man den „individuellen Prozess der Herausbildung, Entwicklung und Aneignung von Werten“ [92] im Laufe der Persönlichkeitsentwicklung eines Menschen [88]. Es wird bewusst der Begriff „Wertebildung“ anstatt „Wertevermittlung“ gewählt, denn anders als Fachwissen können Werte nicht einfach vermittelt werden. Vielmehr muss für eine gelingende Wertebildung eine aktive, reflektierte Auseinandersetzung mit Werten erfolgen [88]. Grundlegendes Ziel von Wertebildung ist der Erwerb einer Wertekompetenz. Diese ist besonders vor dem Hintergrund bedeutsam, dass die Schülerinnen und Schüler in einer Zeit des Wertewandels und des Wertpluralismus mit einer Vielzahl an Werten, die mitunter miteinander konkurrieren, aufwachsen [86]. Sie sollen dazu befähigt werden, sich in dieser pluralen Gesellschaft zurechtzufinden und „den Wertpluralismus auf der Basis allgemeingültiger Werte des friedlichen Zusammenlebens von Menschen anzuerkennen“ [86]. Die Schule leistet dazu sowohl direkt als auch indirekt einen wichtigen Beitrag. So dient allein die Institution Schule an sich als wichtiger Erfahrungsraum von Werten [86] und trägt beispielsweise durch das Klassenklima, die Vorbildfunktion von Lehrkräften oder das Erleben von Partizipation und Demokratie durch die Schülerinnen und Schüler zur indirekten Wertebildung bei [88]. Ein besonderes Potenzial zur indirekten Wertebildung im Chemieunterricht ergibt sich beispielsweise aus der Möglichkeit, Schülerexperimente kooperativ in Gruppenarbeit durchführen zu lassen. Dabei ergeben sich gruppenspezifische Prozesse, die zur Förderung von Werten wie Rücksichtnahme und sozialem Verhalten beitragen sollen. Auch der dabei zu erlernende umweltbewusste Umgang mit Chemikalien trägt zur Förderung des Umweltbewusstseins und damit zur Wertebildung bei [55].

Daneben gibt es auch direkte Formen zur gezielten Werteerziehung, wie zum Beispiel soziale Projekte oder Dilemmata-Ansätze [86]. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass erworbenes Wissen über Werte zwangsläufig auch zu wertebezogenen Einstellungen führt und dass diese Einstellungen dann in wertorientierten Handlungen resultieren [88].

Ein vielversprechender pädagogischer Ansatz zur Wertebildung, unter anderem im MINT-Unterricht, ist das *Service Learning*. Service Learning oder auch Lernen durch Engagement verbindet gemeinnütziges Engagement (Service) von Schülerinnen und Schülern mit fachlichem Lernen (Learning) im Unterricht [86,88]. Die Lernenden setzen hierbei ihr im Unterricht erworbenes Wissen zum sozialen Nutzen für die Gemeinschaft um. Damit soll einerseits das Fachwissen vertieft werden und gleichzeitig durch die Reflexion der Tätigkeiten eine Sensibilisierung für soziale Fragen und Werte stattfinden [93]. Ein Beispiel für Service Learning ist folgendes Szenario: Im Fach Naturwissenschaft und Technik (NwT) setzen sich die Schülerinnen und Schüler projektartig in Form von Experimenten mit verschiedenen naturwissenschaftlichen Inhalten auseinander *und* führen im örtlichen Kindergarten Experimentierstunden zur Förderung der naturwissenschaftlichen Bildung bei Vorschulkindern durch [94].

Eine Möglichkeit, Werte dagegen verhältnismäßig schnell und einfach in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren, besteht in der Verwendung von *Impulsen* [92,95]. Impulse können sowohl verbal als auch nonverbal erfolgen und sollen die Schülerinnen und Schüler zum Nachdenken anregen. Sie dienen als Anlass für Diskussionsmöglichkeiten, in denen Lernende dazu ermuntert werden, ihre Meinungen und Ansichten zu äußern und über fachliche, persönliche, soziale und gesellschaftliche Implikationen zu reflektieren [92]. Eine weitere Möglichkeit zur Wertebildung im Unterricht besteht, wie bereits in KOHLBERGS Stufenmodell zur Moralentwicklung beschrieben, in der Verwendung von *Dilemmageschichten* [86,92]. Dilemmata sind Situationen, in denen man sich zwischen zwei moralisch widersprüchlichen Alternativen, die beide unangenehme Konsequenzen nach sich ziehen, entscheiden muss [95]. Damit kann ebenfalls ein Bewusstsein für wertebezogene Konflikte geschaffen werden [92]. In Verbindung mit Dilemmata können beispielsweise im Chemieunterricht Rollenspiele zur Förderung des Kompetenzbereichs Bewertung eingesetzt werden [54].

Trotz des festgeschriebenen Erziehungsauftrags und dem wichtigen Beitrag der Schule zur Wertebildung gibt es unter Lehrkräften auch Vorbehalte dem gegenüber, da manchmal die Meinung geäußert wird, dass in der Schule eine möglichst wertfreie Vermittlung fachwissenschaftlicher Inhalte stattfinden soll. Allerdings darf die vorgeschriebene politische Neutralität von Schule nicht mit einem Verzicht auf Wertebildung gleichgesetzt werden [86]. Zum einen können auch wissenschaftliche Erkenntnisse nie vollkommen wertfrei sein [52] und zum anderen besitzen Werte nicht nur eine wichtige individuelle, sondern auch eine sozial-gesellschaftliche Funktion. Auf sozial-gesellschaftlicher Ebene trägt schließlich die Reproduktion von Werten dazu bei, die Strukturen des Sozialsystems aufrecht zu erhalten [86,92], oder anders gesagt: „Werte sind das Fundament einer jeden sozialen Gemeinschaft“

[87]. Mit Fachwissen allein werden die Schülerinnen und Schüler daher nicht in der Lage sein, Entscheidungen im gesellschaftlichen Zusammenleben zu fällen [96].

Selbst wenn also die Bedeutung der Wertebildung für den naturwissenschaftlichen Unterricht auf den ersten Blick vielleicht eher weniger augenfällig ist [87], nimmt sie nicht nur im Zusammenhang mit dem Kompetenzbereich Bewertung, sondern auch gerade vor dem Hintergrund der Scientific Literacy eine wichtige Rolle ein. Diese umfasst nämlich nicht nur das Fachwissen, sondern gemäß der OECD (Organisation wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) auch die Fähigkeit, „Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“ [zit. nach 74]. Damit bezieht die Scientific Literacy persönliche und gesellschaftliche Bewertungs- und Entscheidungsprozesse hinsichtlich naturwissenschaftlicher Methoden und Fragestellungen ein [92]. Dies spiegelt sich auch in den naturwissenschaftlichen Lehr- und Bildungsplänen in Deutschland wider. Obwohl sich die konkreten Fachinhalte zwischen den Bundesländern durchaus unterscheiden, ist die Sicherstellung einer Scientific Literacy bzw. naturwissenschaftlichen Grundbildung ein gemeinsames übergeordnetes Ziel [52]. Im Fachprofil für Chemie des bayerischen LehrplanPLUS heißt es beispielsweise:

„Die [...] erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten sind wichtige Grundlagen für das Verständnis von Naturvorgängen und technischen Prozessen. [...] Sie ermöglichen es den Schülerinnen und Schülern bei der Auseinandersetzung mit gesellschaftlich relevanten Themen, die chemische Fragestellungen beinhalten, sich aktiv und konstruktiv an gesellschaftlichen Diskussionen zu beteiligen, und bestärken sie, die Welt auch in Zukunft sinn-, verantwortungsvoll und nachhaltig mitzugestalten“ [97].

In anderen Bundesländern finden sich ähnliche Zielsetzungen. Im Bildungsplan des Landes Baden-Württemberg beispielsweise wird in den Leitgedanken zum Kompetenzerwerb im Fach Chemie die naturwissenschaftliche Grundbildung zuvorderst explizit erwähnt:

„Kinder und Jugendliche erwerben während ihrer Schulzeit eine naturwissenschaftliche Grundbildung, die das Fundament für eine lebenslange Auseinandersetzung mit den Naturwissenschaften und ihren gesellschaftlichen, technischen und ethisch-moralischen Auswirkungen darstellt“ [98].

Auch anhand der zitierten Lehr- und Bildungspläne wird also deutlich: Entscheidungen in den Naturwissenschaften berühren nicht nur die Wissenschaft selbst, sondern haben weitreichende Auswirkungen auf die Gesellschaft und die Umwelt.

In Anbetracht dessen, dass Schülerinnen und Schüler in einer zunehmend technologisierten und digitalisierten Welt zurechtkommen müssen, stellt die Wertebildung ebenfalls einen wichtigen Baustein zur verantwortungsvollen Mitgestaltung dar [92,95]. Es zeigt sich somit: Wertebildung und naturwissenschaftlicher Unterricht ist kein Widerspruch. Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollten Werte unbedingt gefördert werden, um die Schülerinnen und Schüler dazu zu befähigen, naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen aus unterschiedlichen Sichtweisen und Perspektiven kritisch zu betrachten und entsprechend bewerten zu können. Gleichzeitig wird es den Schülerinnen und Schülern so ermöglicht, aktiv Entscheidungen hinsichtlich naturwissenschaftlicher Problemstellungen treffen zu können und damit ihre gesellschaftliche Teilhabe als mündige Bürgerinnen und Bürger wahrzunehmen [87,92].

3.4 Inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht

Schülerinnen und Schüler unterscheiden sich – angefangen beim Geschlecht – hinsichtlich einer Vielzahl an Merkmalen, zum Beispiel Interesse, Begabung, Motivation, Vorwissen, Sprache, kognitive Lernvoraussetzungen, soziale und kulturelle Herkunft und vieles mehr [99,100]. Damit wird deutlich, dass eine Lehrkraft beim Unterrichten keinesfalls mit einer einheitlichen Lerngruppe zu rechnen hat. Vielmehr ist der Unterrichtsalltag, auch in den naturwissenschaftlichen Fächern, von einer zunehmend heterogenen Schülerschaft geprägt. Die Herausforderung besteht darin, jede einzelne Schülerin, jeden einzelnen Schüler entsprechend ihren Fähigkeiten im Unterricht zu fördern. Dies ist nicht nur aus einer pädagogischen Maxime heraus wünschenswert, sondern im Sinne einer inklusiven Bildung auch gesetzlich verankert [101]. Im Folgenden wird zunächst die Bedeutung von Inklusion und den damit einhergehenden Prinzipien der Individualisierung und Differenzierung [102] für den (Chemie-)Unterricht dargelegt. Anschließend wird kurz gesondert auf den Bereich der sprachlichen Heterogenität und dem damit verbundenen sprachsensiblen Fachunterricht eingegangen.

3.4.1 Inklusion

In der bildungspolitischen Debatte wird dem Thema Inklusion einhellig eine hohe Bedeutung zugeschrieben. Allerdings kann eine klare Abgrenzung, was unter „Inklusion“ verstanden wird, nicht ohne Weiteres getroffen werden, da keine allgemeingültige Definition des Begriffs existiert [103]. Historisch betrachtet stellt die Salamanca-Erklärung der UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation – Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur) aus dem Jahr 1994 einen wichtigen Meilenstein für die Entwicklung des Inklusionsbegriffs dar. Bereits darin wird gefordert, die Teilhabe aller Kinder und Jugendlichen, mit ihren jeweils individuellen Fähigkeiten und

Lernbedürfnissen, an Bildung sicherzustellen sowie Schulen in der Weise zu gestalten, dass sie ein gemeinsames Lernen aller Schülerinnen und Schüler ermöglichen [100]. Die UN-Behindertenrechtskonvention, welche noch einmal in sämtlichen Lebensbereichen die Rechte von Menschen mit Behinderung stärkt, wurde im Jahre 2006 verabschiedet. In Artikel 24 des Übereinkommens ist ausdrücklich das Recht auf ein inklusives Bildungssystem verankert, um Menschen mit Behinderung eine gleichberechtigte Teilhabe zu ermöglichen [100,104]. Deutschland hat die UN-Behindertenrechtskonvention ratifiziert. Mit dem Inkrafttreten der Konvention im Jahre 2009 gilt also auch in der Bundesrepublik die Zielvorgabe eines inklusiven Bildungssystems [100,105].

Um sich dem Begriff „Inklusion“ weiter anzunähern, kann dieser in Abgrenzung zu anderen Qualitätsstufen der Anerkennungsformen von Menschen mit Behinderung [103] betrachtet werden (siehe auch Abbildung 6):

- Extinktion: Menschen mit Behinderung erfahren keinerlei Rechte, sie sollen vielmehr ausgelöscht werden (Beispiel: Zeit des Nationalsozialismus in Deutschland).
- Exklusion: Menschen sind aufgrund bestimmter Merkmale (z. B. geistige Behinderung) nicht berechtigt, an Bildung teilzunehmen.
- Separation/Segregation: Kinder und Jugendliche mit bestimmten Eigenschaften werden gesondert von anderen unterrichtet.
- Integration: Zusammenfügen zuvor getrennter Gruppen: Es findet nun zwar organisatorisch gemeinsames Lernen statt, aber die unterschiedlichen Gruppen existieren weiterhin nebeneinander.
- Inklusion: Jeder Mensch ist unterschiedlich. Die Bedürfnisse jedes Einzelnen werden im gemeinsamen Unterricht berücksichtigt [100,103].

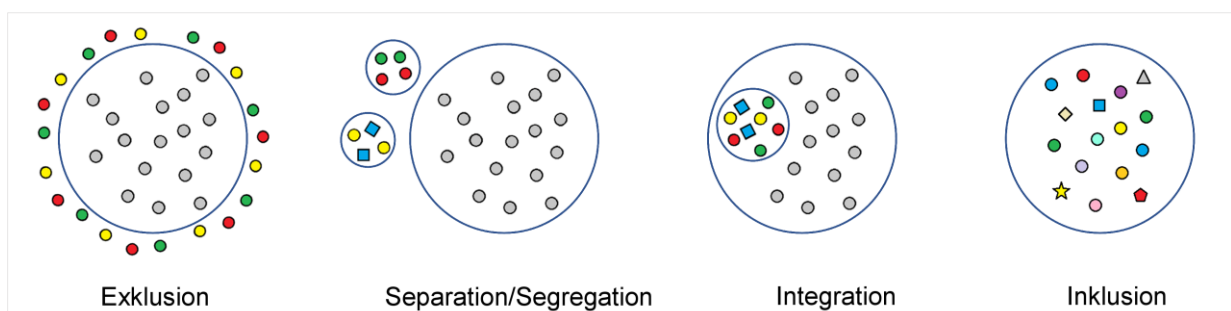


Abbildung 6: Abstufung von der Exklusion zur Inklusion (eigene Darstellung nach [106] © Siemens Stiftung/Eberhard Karls Universität Tübingen, Didaktik der Chemie)

Die Abgrenzung der beiden Begrifflichkeiten „Inklusion“ und „Integration“ ist jedoch nicht immer ganz eindeutig. Obwohl bei der Salamanca-Erklärung und auch bei der UN-Behindertenrechtskonvention in der englischsprachigen Originalversion der Terminus

„inclusion“ zu finden ist, wird dieser im Deutschen nämlich als „Integration“ wiedergegeben [103].

Weiterhin wird nach einem engen und weiten Begriffsverständnis von Inklusion unterschieden. Im engen Begriffsverständnis heißt Inklusion: Gemeinsamer Unterricht von Schülerinnen und Schülern *mit* Behinderung (z. B. Körperbehinderung, Sehbehinderung, geistige Behinderung) und *ohne* Behinderung. In einem weiteren Begriffsverständnis meint Inklusion dagegen die Teilhabe am Unterricht durch *alle* Kinder und Jugendlichen mit ihren vielen unterschiedlichen Eigenschaften [100]. Dies umfasst zwar auch, dass Lernende sich hinsichtlich des Merkmals Behinderung unterscheiden können [99], geht jedoch weit darüber hinaus. Dem Inklusionsverständnis von SAALFRANK & ZIERER [100] beispielsweise liegt ein weiter Inklusionsbegriff zu Grunde. Demnach weist Inklusion eine enge Verbindung zum Umgang mit Heterogenität und damit einhergehend entsprechenden Differenzierungsmaßnahmen im Unterricht auf. Unter Differenzierung versteht SAALFRANK

„alle Maßnahmen [...], die zur Förderung von Schülerinnen und Schülern [...] aufgrund unterschiedlicher Neigungen, Begabungen, Interessen, Schwächen und Stärken [...] ergriffen werden, was zu einer Individualisierung des Unterrichts beiträgt“ [107].

Davon abzugrenzen ist die äußere Differenzierung, welche schulorganisatorische Maßnahmen, wie zum Beispiel die Gliederung in verschiedene Schularten umfasst und somit außerhalb der jeweiligen konkreten Unterrichtsstunde liegt [100,107]. Die im Folgenden betrachtete innere Differenzierung oder auch Binnendifferenzierung adressiert dagegen die Heterogenität innerhalb einer Lerngruppe [52]. Mit Hilfe verschiedener Maßnahmen der inneren Differenzierung kann eine Lehrkraft zur Umsetzung eines inklusiveren Unterrichts beitragen.

3.4.2 Binnendifferenzierung

Bei der Gestaltung von Differenzierungsmaßnahmen in der Unterrichtspraxis stellt sich die Frage, *wonach* differenziert wird, *was* differenziert wird *wie* diese Differenzierung erfolgen soll [108,109]. Dabei orientieren sich die unterschiedlichen Differenzierungsmaßnahmen stets an den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler [100]. So kann die Differenzierung beispielsweise nach Lerntempo, Lernleistung oder Interesse stattfinden [109]. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, *was* differenziert wird und *wie* diese Differenzierung umgesetzt wird. Differenzierungsmaßnahmen beziehen sich zum Beispiel auf die Lernziele, die Inhalte, die verwendeten Methoden und die Medien. Den Schülerinnen und Schülern können entsprechend beispielsweise themendifferenzierte Aufgabenstellungen angeboten werden oder es findet eine Wahl aus verschiedenen Sozialformen statt [100].

Eine häufig eingesetzte Differenzierungsmaßnahme ist die Verwendung von Tipp- oder Hilfekarten. Diese kommen hauptsächlich in solchen Unterrichtssituationen zum Tragen, in denen die Schülerinnen und Schüler selbstständig arbeiten [109]. Durch die Hilfekärtchen sollen die Lernenden dazu befähigt werden, eine Aufgabe trotz vorhandener Wissenslücken zu lösen [110]. Bei der Gestaltung der Tipp- und Hilfekarten sollte die Lehrkraft am Vorwissen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen sowie potenzielle Lernschwierigkeiten kennen, um diesen mit Hilfe der Kärtchen entsprechend begegnen zu können [109]. Eine besondere Art der Hilfekarten sind die sogenannten gestuften Hilfen oder auch Aufgaben mit abgestuften Lernhilfen [111]. Diese wurden ursprünglich von LEISEN für den naturwissenschaftlichen Unterricht entworfen und von STÄUDEL und Kollegen weiterentwickelt [112]. Die gestuften Hilfen weisen einen sequenziellen Aufbau mit mehreren aufeinanderfolgenden Hilfskärtchen auf. Diese enthalten entweder einen inhaltlichen oder einen lernstrategischen Impuls. Inhaltliche Hilfen geben direkte Hinweise auf die Lösung der Aufgabe oder sind entsprechend als leitende Frage formuliert. Lernstrategische Hilfen dienen zur Unterstützung des Problemlöseprozesses. Die Hilfen bestehen stets aus einer Handlungsaufforderung respektive Frage und einer dazugehörigen Teillösung. Die letzte Teillösung enthält die Gesamtlösung der Aufgabe und kann von den Schülerinnen und Schülern als Musterlösung genutzt werden [111,112]. Die Aufgaben sollen so konzipiert sein, dass sie durchaus komplex sind, aber leistungstärkere Lernende dennoch im Stande sind, diese auch ohne Verwendung der Hilfen zu lösen und lediglich die letzte Teillösung zur Selbstkontrolle heranziehen müssen [113,114]. Einer der Vorteile der Verwendung von gestuften Hilfen für die Schülerinnen und Schüler ist, dass sie sich nicht vor der Lehrkraft und der Klasse als unwissend offenbaren müssen, sondern selbstgesteuert die Hilfen zur Rate ziehen können. Damit berücksichtigen die gestuften Hilfen die Trennung von Lern- und Prüfungssituationen [112]. Es steht den Lernenden frei, je nach Fähigkeiten und Ehrgeiz, selbst zu entscheiden, in welchem Ausmaß und zu welchem Zeitpunkt sie die gestuften Hilfen nutzen möchten [115]. Dadurch können sie den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe selbst mitbestimmen und es wird ein Lernen im eigenen Lerntempo ermöglicht [113]. Somit handelt es sich bei gestuften Hilfen um eine selbstdifferenzierende Lernumgebung [113], bei der sowohl eine Differenzierung nach *Lerntempo* als auch *Lernleistung* stattfindet [109].

Um ein vorzeitiges Durchblättern der gestuften Hilfen zu minimieren, können diese beispielsweise speziell gefaltet [111] oder am Pult platziert werden. Umgekehrt muss die Verwendung der Hilfen mit den Schülerinnen und Schülern auch eingeübt werden, damit diese überhaupt von ihnen richtig genutzt werden [52]. Im Lernprozess erfüllen die gestuften Hilfen verschiedene Funktionen: Die erste Hilfe umfasst meist eine *Paraphrasierung* (z. B. „Erklärt euch gegenseitig die Aufgabe nochmal in eigenen Worten“). Daneben dienen die gestuften Hilfen zur *Aktivierung von Vorwissen* und zur *Elaboration von Unterzielen*. Eine wichtige

lernstrategische Hilfe ist die *Fokussierung* (z. B. „Seht euch nochmal die Informationen in der Aufgabenstellung an“) und die *Visualisierung* (z. B. „Fertigt eine beschriftete Skizze an“). Schlussendlich dienen die Hilfen der *Verifikation* (Musterlösung als Teil der letzten Hilfe) [112].

In der Regel werden die gestuften Hilfen in Papierform angeboten, sie können aber auch digital, zum Beispiel mit Hilfe von QR-Codes eingebunden werden [114]. Darüber hinaus bieten QR-Codes zahlreiche weitere Möglichkeiten, Arbeitsblätter gezielt mit digitalen Hintergrundinformationen (z. B. Bilder, Animationen) anzureichern. Generell weisen digitale Medien ein hohes didaktisches Potenzial auch für den inklusiven Unterricht auf. Nach SCHULZ können sie an einer inklusiven Schule zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden. Im Hinblick auf Differenzierung und Individualisierung spielen digitale Medien beispielsweise eine wichtige Rolle, wenn den Schülerinnen und Schülern in Form von adaptiven Lernprogrammen passgenaue Inhalte zur Verfügung gestellt werden. Digitale Medien können darüber hinaus auch eine assistive Funktion einnehmen, indem beispielsweise Bildschirmhalte für sehbehinderte Lernende vorgelesen werden [116]. Für den Chemieunterricht spielt die Partizipation am Unterricht durch digitale Medien auch in der Hinsicht eine wichtige Rolle, dass besonders Simulationen und Animationen den Zugang zur submikroskopischen Teilchenebene erleichtern können [102].

Inklusion bedeutet jedoch nicht nur, Schülerinnen und Schüler mit bestimmten Schwächen zu unterstützen, sondern ein inklusiver Unterricht umfasst auch die Förderung von besonders begabten Lernenden [100]. Das Unterrichten in inklusiven Settings beinhaltet somit eine hohe Leistungsheterogenität. Als Lehrkraft ist es daher wichtig, die individuellen Leistungsvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler zu kennen. Ein Ansatz des differenzierten Unterrichts ist beispielsweise, im Sinne einer qualitativen Differenzierung zur Berücksichtigung unterschiedlicher *Leistungsfähigkeit*, Arbeitsmaterialien mit verschiedenen Anforderungsniveaus zu erstellen, um den sich unterscheidenden Voraussetzungen der Lernenden gerecht zu werden. Eine Differenzierung nach Anforderungsniveaus gelingt unter anderem über die Wahl der Operatoren (z. B. nennen vs. erörtern), die Länge und den sprachlichen Schwierigkeitsgrad der verwendeten Texte oder die Komplexität der genutzten Abbildungen [52].

Eng verbunden mit der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit der Lernenden ist das *Lerntempo*. Häufig lernen leistungsfähigere Schülerinnen und Schüler auch schneller und sind dementsprechend früher mit der Bearbeitung von Aufgaben fertig als ihre Mitlernenden. Im Sinne einer quantitativen Differenzierung wird diesen schnelleren Schülerinnen und Schülern dann oft neben dem *Fundamentum*, also dem für alle verbindlich zu erlernenden Unterrichtsgegenstand, auch ein *Additum* angeboten, das den Unterrichtsinhalt weiter vertieft [100]. Dies ist eine gute Möglichkeit, um die schnelleren Lernenden in der Zwischenzeit

sinnvoll zu beschäftigen und ihnen weiterführende Inhalte zu vermitteln. Allerdings ist unbedingt darauf zu achten, die Zusatzaufgaben ansprechend und motivierend zu gestalten, sodass diese nicht als „Strafe“ empfunden werden [52]. Außerdem besteht hier die Herausforderung, dass sich bereits bestehende Leistungsunterschiede weiter vertiefen, da die leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler Gelegenheit haben, sich zusätzlich mit den Inhalten zu beschäftigen und ihr Verständnis weiter zu vertiefen, während den leistungsschwächeren Lernenden in dem Moment diese Möglichkeit nicht offensteht [100].

Es lässt sich also festhalten, dass Differenzierung sich an den unterschiedlichen Merkmalen der Schülerinnen und Schüler [100] orientiert und auf verschiedene Weisen erfolgen kann. Dabei sind bereits mehrere Ansätze genannt worden, wie zum Beispiel die Differenzierung nach dem Interesse, dem Lerntempo sowie der Lernleistung mit dem damit verbundenen Anforderungsniveau. Darüber hinaus finden sich immer wieder Vorschläge, auch den unterschiedlichen „Lernstilen“ bzw. „Lerntypen“ durch Differenzierung mittels verschiedener Medien Rechnung zu tragen (siehe z. B. [117]). So sollen den Schülerinnen und Schülern in Abhängigkeit davon, ob sie z. B. der „auditive“, der „visuelle“ oder der „haptische“ Typ sind, entsprechende Lernmaterialien zur Verfügung gestellt werden. Allerdings konnte in empirischen Studien die Existenz verschiedener Lernstile nicht nachgewiesen werden, sodass es sich hierbei eher um einen pädagogischen „Mythos“ handeln dürfte [100,118].

Häufig erscheint es vor allem in den Naturwissenschaften schwierig, einen inklusiven Unterricht zu gestalten. Dabei bietet gerade der Chemieunterricht ein besonderes Potenzial für das gemeinsame Lernen „mit allen Sinnen“ [99]. Schließlich kommen in Chemie im Gegensatz zu anderen Unterrichtsfächern nicht nur textbasierte Methoden zum Einsatz, sondern auch chemische Experimente [99]. Besonders Schülerexperimente ermöglichen es, dass sich die einzelnen Schülerinnen und Schüler mit ihren individuellen kognitiven, sozialen und motorischen Stärken in den gemeinsamen Lernprozess einbringen [102]. In diesem Zusammenhang wird besonders das Forschende Lernen als geeigneter Ansatz zur Unterrichtsgestaltung im Umgang mit Heterogenität angesehen [119]. Es ermöglicht den Schülerinnen und Schülern Selbsttätigkeit und bietet Handlungsorientierung sowie Anschaulichkeit [99]. Wichtig ist hierbei die entsprechende Lernbegleitung durch die Lehrkraft. Um das Forschende Lernen inklusiv zu gestalten, ist zwar einerseits ein hoher Grad der Offenheit notwendig, andererseits müssen vor allem schwächere Lernende mittels Hilfekarten, gestuften Hilfen [115,120] Visualisierungen und Strukturierungen unterstützt werden [119]. Grundvoraussetzung für die Durchführung von Schülerexperimenten ist weiterhin, dass die Schülerinnen und Schüler über ausreichende Fähigkeiten aber auch Verhaltensweisen verfügen, sodass das sichere Arbeiten gewährleistet ist [99]. Um den Chemieunterricht inklusiver zu gestalten, kann darüber hinaus ein stärkerer Fokus auf die phänomenologische Ebene dienlich sein, bevor auf eine Abstraktionsebene übergegangen wird [99,102].

Der Umgang mit Heterogenität und die Gestaltung eines inklusiven Unterrichts wird von Lehrkräften aller Fächer vielfach als „Herausforderung“ und „schwierig“ beschrieben [52]. Dies mag auch daran liegen, dass eine einzelne Lehrkraft wenig bewirken kann, sondern vielmehr eine ganzheitliche, bildungspolitisch gestützte Schulentwicklung in Deutschland stattfinden muss [119]. Allerdings stellen gerade eine positive Grundhaltung gegenüber Heterogenität und die Wertschätzung der Unterschiedlichkeit der Lernenden wichtige Voraussetzungen für einen gelingenden differenzierten Chemieunterricht dar. Das Vorhandensein heterogener Lerngruppen sollte zumindest als „normal“ oder gar als Chance begriffen werden [109]. Daher gibt es zum Teil auch Bestrebungen, eher den Begriff der „Diversität“ anstatt der „Heterogenität“ zu etablieren, um die positive Bedeutung der Vielfalt hervorzuheben [52].

3.4.3 Sprachsensibler Fachunterricht

Neben den bereits genannten Heterogenitätsdimensionen unterscheiden sich Schülerinnen und Schüler auch hinsichtlich ihrer Sprache. Dies ist besonders vor dem Hintergrund bedeutsam, dass die Sprache, sei es in schriftlicher oder in mündlicher Form, eine zentrale Vermittlerrolle in jedwedem Lernprozess einnimmt [121]. Damit ist auch das Erlernen von naturwissenschaftlichen Fachinhalten meist an Sprache gebunden [122]. Im deutschen Schulsystem sind besonders Lernende, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, mit besonderen Herausforderungen konfrontiert [121]. Da die Sprache zentral für das Verstehen und Erklären von naturwissenschaftlichen Konzepten ist, können bei Kindern und Jugendlichen, die über eingeschränkte sprachliche Fähigkeiten verfügen, entsprechend Verständnisprobleme im Fach Chemie resultieren [121,123]. Tatsächlich sind Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund in Deutschland Teil des schulischen Alltags [124], sodass deren Bedürfnisse entsprechend berücksichtigt werden müssen. Doch auch für Lernende ohne Migrationshintergrund stellt der Erwerb der chemischen Fachsprache eine Herausforderung dar. Obwohl sie Teil der deutschen Sprache ist, muss die Fachsprache doch erst erlernt werden. Hierbei lassen sich durchaus Parallelen mit dem Fremdspracherwerb ziehen [122]. Während beim Erlernen einer Fremdsprache allerdings neue Begriffe für bereits bekannte Phänomene erworben werden, beinhaltet der Chemieunterricht als zusätzliche Schwierigkeit, dass nicht nur bislang unbekannte „Vokabeln“ auftreten, sondern die Lernenden auch ein Verständnis über die neuen Phänomene und die dahinterliegenden Konzepte entwickeln müssen [121,123].

Die Schülerinnen und Schüler bringen in den Unterricht zunächst ihre Alltagssprache mit. Ausgehend von dieser werden naturwissenschaftliche Inhalte erarbeitet. Dabei bedienen sich Lehrkräfte nicht sofort der Fachsprache, sondern es kommt vielmehr eine Lehr-Lern-Sprache zum Einsatz, mit Hilfe derer neue Konzepte vermittelt werden und durch die dann allmählich eine Verschiebung der Begrifflichkeiten weg von der Alltagssprache hin zur Fachsprache

erfolgen soll [122]. Die Fachsprache stellt eine spezielle Ausprägung der Bildungssprache dar. Sie nutzt nicht nur spezifische Fachbegriffe, sondern weist auch bestimmte grammatikalische Eigenheiten auf, wie die Verwendung von Nominalisierungen oder Passivkonstruktionen [125]. Ebenso sind für die Naturwissenschaften typische Argumentationsmuster mit der Fachsprache verbunden. Darüber hinaus umfasst die „Sprache der Chemie“ weitere Besonderheiten, wie zum Beispiel die spezielle Symbolsprache mit ihren Elementsymbolen, chemischen Formeln und Reaktionsgleichungen [123,126].

Durch die Komplexität der Fachsprache mit ihren für die Schülerinnen und Schüler neuen Formeln, neuen Ideen und komplizierten Sprachmustern kann es zu einer hohen kognitiven Belastung der Lernenden bis zum cognitive overload kommen [127]. Dies führt nach Erkenntnissen von BROWN ET AL. dazu, dass das Arbeitsgedächtnis gleichsam „ausgebremst“ wird [127]. Eine zu komplexe Fachsprache schränkt also die Fähigkeit ein, die wissenschaftlichen Inhalte zu verstehen. Dieser kognitiven Belastung kann durch die Verwendung von einfacherer Sprache gegengesteuert werden. Das heißt nicht, dass in der Schule darauf verzichtet werden sollte, die Fachsprache zu lehren. Allerdings sollte bei den Lehrkräften ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass das Erlernen der Fachinhalte nicht durch eine unnötig komplizierte Sprache zu erschwert werden darf [127]. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die Zahl der im Unterricht verwendeten Fachbegriffe das Maß der notwendigen Begrifflichkeiten übertrifft, weil manche Fachbegriffe lediglich einmal eingeführt werden, im weiteren Verlauf aber nicht mehr gebraucht werden [128]. Daher sollte stets kritisch reflektiert werden, ob die Einführung des jeweiligen Fachbegriffs auch wirklich notwendig ist [123].

Das Erlernen der korrekten Fachsprache ist also bei den Schülerinnen und Schülern häufig mit Schwierigkeiten verbunden. Tatsächlich sind sich aber viele naturwissenschaftliche Lehrkräfte diesem Problem gar nicht bewusst und sehen sich entweder nicht in der Verantwortung oder in der Lage dazu, im naturwissenschaftlichen Unterricht die Sprachfähigkeiten der Lernenden zu fördern [121,126]. Dabei ist der Fachsprachenerwerb im (Chemie-)Unterricht mit dem Kompetenzbereich Kommunikation [68] fest verankert und auch im Sinne der Scientific Literacy von besonderer Bedeutung. Schließlich sollen die Schülerinnen und Schüler entsprechende sprachliche Fähigkeiten entwickeln, um effektiv an öffentlichen Diskussionen über naturwissenschaftliche, technologische, soziale und ökologische Themen partizipieren zu können [121].

Somit ist es eine wichtige Aufgabe der Naturwissenschafts-Didaktiken, sprachförderliches Unterrichtsmaterial für heterogene Klassen zu entwickeln und die Lehrkräfte im zielgerichteten Einsatz dieser fortzubilden [121,126].

Eine Möglichkeit zur Sprachförderung im naturwissenschaftlichen Unterricht ist der sogenannte sprachensible Fachunterricht (SFU). Zentrales Ziel des SFU ist es, die Sprachbildung in Zusammenspiel mit dem Fachwissen zu fördern. Der SFU geht nach LEISEN [129] von zwei Grundsätzen aus:

1. Sprachlernen ist untrennbar mit dem Fachlernen verbunden.
2. Fachliches Lernen darf nicht durch (vermeidbare) sprachliche Schwierigkeiten erschwert werden [129].

Um mit den Sprachproblemen im Fachunterricht umgehen zu können, werden zunächst die zentralen Schwierigkeiten identifiziert. Diese betreffen zum Beispiel den Wortschatz, die Verbalisierung und Kommunikation von Fachinhalten oder Probleme im Zusammenhang mit Lese-, Schreib- und Sprachkompetenzen [129]. Darauf aufbauend können dann entsprechende Maßnahmen zur Förderung von Sprache ergriffen werden. Abgeleitet aus dem Kompetenzbereich Kommunikation [54] hat LEISEN vier sprachliche Kompetenzbereiche identifiziert: Wissen sprachlich darstellen, Wissenserwerb sprachlich begleiten, Wissen mit anderen sprachlich verhandeln sowie Text- und Sprachkompetenz ausbauen [130]. Diese Kompetenzbereiche enthalten wiederum zwölf die Sprache betreffende Standardsituationen im Fachunterricht (z. B. etwas beschreiben, eine Hypothese äußern, etwas erklären, einen Fachtext lesen, ...) [130]. Zur Bewältigung von Problemen, die in diesen sprachlichen Standardsituationen im Fachunterricht auftreten können, sind beispielsweise Methodenwerkzeuge ein geeignetes Mittel. Sie können in vielfältigen Unterrichtssituationen zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen eingesetzt werden [130]. Bei der Sprachförderung dienen sie als kleinschrittige Methoden [54] dazu, kommunikative Situationen im Unterricht zu erzeugen, zu unterstützen und zu bewältigen [129]. LEISEN hat eine Reihe solcher Methodenwerkzeuge für den naturwissenschaftlichen Unterricht zusammengestellt [130]. Ein Beispiel ist etwa die „Wortliste“, welche wichtige Wörter und Fachbegriffe enthält. Dabei sollten die Fachwörter bestenfalls mit dem entsprechenden Artikel und der dazugehörigen Pluralendung zur Verfügung gestellt werden, um ihre Anwendung zu erleichtern [125,130]. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Beispiele für Methodenwerkzeuge, von denen hier exemplarisch Lückentexte, Mind-Maps, Bildergeschichten oder das Wortgeländer erwähnt werden sollen. Beim Wortgeländer handelt es sich um ein Gerüst aus ungeordnet vorgegebenen Wörtern, mit Hilfe derer beispielsweise eine fachlich und fachsprachlich korrekte Versuchsbeschreibung konstruiert werden kann [130]. Auch in gestufte Hilfen sind sprachliche Unterstützungsmaßnahmen implementierbar [120].

Neben der Verwendung von Methodenwerkzeugen gibt es noch weitere Möglichkeiten zur Sprachförderung im Unterricht. So können gezielt Sprech- und Schreibanlässe geschaffen

werden, um die Schülerinnen und Schüler in fachlich authentische, aber bewältigbare Sprachsituationen [130] zu bringen. Nur durch das tatsächliche Anwenden von Sprache entwickeln sich schließlich entsprechende Kompetenzen Stück für Stück weiter [125,129].

Eine im Chemieunterricht häufig auftretende Form der sprachlichen Verschriftlichung ist die Dokumentation von Experimenten in einem Versuchsprotokoll. Allerdings haben Schülerinnen und Schüler gerade damit oft Probleme [131]. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diesem Problem zu begegnen und bei der Dokumentation von Experimenten zu differenzieren. So können hier ebenso Methodenwerkzeuge wie das Wortgeländer oder Wortlisten als Lernhilfen bei der Verschriftlichung dienen [54,109]. Darüber hinaus sind auch alternative Dokumentationsmöglichkeiten denkbar, die zum Teil von der Schriftform losgelöst sind. So haben GROß & REINERS beispielsweise die drei Dokumentationsformen Video, Gesprächsprotokoll und Foto-Story erfolgreich für den Chemieunterricht erprobt [131].

3.5 Computational Thinking und naturwissenschaftlicher Unterricht

Die Digitalisierung nimmt zunehmend Einfluss auf alle Bereiche des Lebens und ist auch Teil der schulischen Realität [3]. Damit die Schülerinnen und Schüler erfolgreich an der digitalen Gesellschaft partizipieren können, müssen sie entsprechende Fähigkeiten besitzen, die über die bloße Nutzung von digitalen Medien hinaus gehen [132]. Vor diesem Hintergrund haben zuletzt vermehrt Kompetenzen in Zusammenhang mit Computational Thinking an Aufmerksamkeit erfahren [15]. Computational Thinking (CT) kann ganz allgemein als eine Denk- und Herangehensweise zur Problemlösung in der modernen und technologisierten Welt beschrieben werden [133] und wird als Schlüsselkompetenz für das 21. Jahrhundert angesehen [134,135]. Im Folgenden findet daher zunächst eine definitorische Annäherung an CT statt und anschließend wird die Bedeutung für die schulische Bildung, insbesondere in den naturwissenschaftlichen Fächern, aufgezeigt.

3.5.1 Definition von Computational Thinking

Die Idee des Computational Thinking (zu Deutsch häufig „informatisches Denken“) ist nicht völlig neu. Zunächst einmal verfügen alle Menschen in gewisser Weise und Ausprägung bereits über diese Art zu denken. Jedoch ist eine präzisere Anwendung der Denkweise erlernbar [136]. Erste Ansätze zur Förderung von CT gehen bereits in die 1950er Jahre auf GEORGE POLYA zurück. Dieser hat zwar den Begriff noch nicht explizit benannt, doch bereits damals Strategien zur systematischen Lösung von mathematischen Problemen im Unterricht beschrieben, die dem heutigen Verständnis von CT ähneln [137,138]. Erstmals eingeführt wurde die Bezeichnung „Computational Thinking“ dann im Jahre 1980 durch SEYMOUR PAPERT [139]. In der Auseinandersetzung mit Computern durch die von ihm entwickelte Programmiersprache LOGO sollten Schülerinnen und Schüler zu neuen Denkprozessen

befähigt werden [140]. Der aktuellen Diskussion liegt ein weiterentwickeltes Begriffsverständnis zu Grunde, welches auf einem von JEANETTE WING 2006 veröffentlichten Artikel mit dem Titel „Computational Thinking“ basiert [141]. Demnach beinhaltet CT, wie es die Begrifflichkeit nahelegt, zwar Problemlösefähigkeiten, die auf Prinzipien der Informatik (engl. computer science) beruhen, allerdings fordert WING, dass nicht nur Informatikerinnen und Informatiker, sondern auch alle Schülerinnen und Schüler darüber verfügen sollten. Was CT genau ist, bleibt jedoch in diesem Artikel noch eher vage. In der Literatur (z. B. [137,140,142]) wird häufig auf eine spätere Definition von WING aus dem Jahr 2010 Bezug genommen. Diese lautet wie folgt:

„Computational Thinking is the thought process involved in formulating problems and their solutions so that the solutions are represented in a form that can be effectively carried out by an information-processing agent“ [143].

Demnach handelt es sich also um einen Denkprozess, bei dem die Problemlösungen derart gestaltet sind, dass sie von einer informationsverarbeitenden Instanz ausgeführt werden können. Diese Instanz kann sowohl ein Mensch, ein Computer oder eine Kombination aus beidem sein [143]. Das führt direkt zur nächsten Diskussion im Zusammenhang mit CT: die Rolle von Coding und Programmierung. Im Prinzip gibt es zwei Positionen: Die eine Seite sieht CT vor allem als Überbegriff für das Erlernen von Programmierkonzepten wie beispielsweise Variablen, bedingte Anweisungen oder Wiederholungsschleifen (siehe z. B. [144]). Die andere Seite legt einen stärkeren Fokus auf den Aspekt des Problemlösungsprozesses [137], sodass die Nutzung eines Computers für CT nicht unbedingt notwendig ist. Vielmehr gibt es sogar verschiedene *unplugged* Ansätze, sprich Aktivitäten mit „gezogenem“ Stecker, die ganz ohne Computer auskommen und dazu geeignet sind, bereits in der Primarstufe Kompetenzen im Bereich CT zu vermitteln [136,145]. Ein Beispiel hierfür ist eine Art Rollenspiel, bei dem die Lehrkraft wie ein Roboter von den Schülerinnen und Schülern dazu „programmiert“ werden soll eine Tätigkeit im Klassenzimmer auszuführen, beispielsweise das Öffnen eines Fensters. Dabei befolgt die Lehrkraft nur präzise gegebene Befehle. Auf Anweisungen wie „Laufen Sie los“, würde die Lehrkraft lediglich mit ziellosem Umherlaufen reagieren. Dadurch werden, obwohl kein Computer genutzt wird, dennoch Grundprinzipien von Programmierung deutlich: Befehle müssen genau und eindeutig formuliert sein, die Anweisungen müssen in der richtigen Reihenfolge gegeben werden und kompliziertere Vorgänge müssen in kleinere Teilschritte zerlegt werden [145].

Insgesamt lässt sich festhalten, dass es einen breiten Konsens darüber gibt, dass Programmieren zwar ein Teil von CT ist, aber nicht notwendigerweise der wichtigste davon. Dennoch stellt das Programmieren eine bedeutsame Herangehensweise dar, um Fähigkeiten aus dem Bereich CT zu entwickeln und zu fördern. Daher werden zur Schulung von CT auch

sehr häufig Programmieraktivitäten angewendet [135,146,147]. Allerdings darf CT keineswegs mit dem Erlernen einer bestimmten Programmiersprache gleichgesetzt werden, sondern der Fokus liegt auf Problemlöseprozessen jenseits des reinen Codings [137,148]. Andererseits fällt es Schülerinnen und Schülern sicherlich leichter, bei Bedarf etwas zu programmieren, wenn sie über entsprechende CT-Kompetenzen verfügen. „Computational Thinking“ heißt also nicht, so zu „denken wie ein Computer“ [136], sondern vielmehr so zu denken wie jemand, der beim Programmieren eines Computers mit einer bestimmten Problemstellung konfrontiert wird und diese erfolgreich bewältigt [149]. Die Art so zu denken hat das große Potenzial auch auf andere Problemstellungen angewendet zu werden [140].

Zusammenfassend kann Computational Thinking also als eine kognitive Problemlösekompetenz beschrieben werden, die sich informatischer Prinzipien bedient, jedoch nicht zwingend auf die Nutzung von Computern angewiesen ist und sich auch auf andere komplexe Problemstellungen außerhalb der Informatik übertragen lässt [146,150].

Dennoch existiert bis dato noch keine einheitliche und allgemeingültige Definition von CT [135,140]. So halten beispielsweise REPENNING und Kollegen fest: „*There are now almost as many definitions of CT as there are academic papers on this topic*“ [142]. Einigkeit besteht jedoch darüber, dass CT verschiedene Teilkompetenzen oder auch Denkschritte umfasst. Allerdings gilt auch hier wieder: Es gibt keine allgemeingültige Meinung darüber, welche Denkschritte das genau sind. YADAV, HONG & STEPHENSON [134] leiten aus WINGS ausschlaggebender Publikation [141] drei besonders zentrale Elemente ab: Algorithmen, Abstraktion und Automatisierung (die drei A's). Die BBC (British Broadcasting Corporation) wiederum stellt auf ihrer Plattform für Schülerinnen und Schüler vier Schlüsselemente von CT heraus: *Decomposition*, *Pattern Recognition*, *Abstraction* und *Algorithms* [151]. Diese vier Denkschritte werden auch in verschiedenen anderen Konzeptualisierungen von CT genannt [147]. *Decomposition* meint dabei die Zerlegung eines großen Problems in kleinere handhabbarere Teilprobleme. Dies ist insbesondere dann eine sinnvolle Herangehensweise, wenn das ursprüngliche Problem zu komplex ist, um es auf einmal zu lösen [151,152]. *Pattern Recognition*, zu Deutsch „Mustererkennung“ ist ebenfalls eine wichtige Teilkompetenz in Zusammenhang mit CT. Hier sollen Ähnlichkeiten zwischen und innerhalb von Problemen identifiziert und Trends und Regelmäßigkeiten erkannt werden [148,151], um das vorliegende Problem leichter lösen zu können. Als besonders wichtig wird der Schritt *Abstraction* erachtet [153]. Abstraktion meint, die wichtigen Informationen hervorzuheben und unwichtige Details zu ignorieren [151,153]. Es geht also darum, das Problem auf das Wesentliche zu reduzieren und damit die zu Grunde liegenden allgemeinen Prinzipien herauszustellen [148,154]. Das vierte und letzte hier genannte Element ist *Algorithms*. Algorithmen spielen sowohl bei CT als auch in der Informatik eine zentrale Rolle. Man versteht unter einem Algorithmus nach DENNING (2009) eine geordnete und präzise Abfolge von Schritten, um ein Problem zu lösen.

Falls sich das Problem dazu eignet, können Algorithmen auch am Computer umgesetzt werden, um den Prozess zu automatisieren [zit. nach 155]. Dementsprechend müssen Algorithmen nicht zwingend in einer Programmiersprache verfasst werden, sondern algorithmische Handlungsabläufe finden sich auch im Alltag wieder, beispielsweise beim Kuchenbacken nach Rezept, beim Zähneputzen oder bei der Schritt-für-Schritt-Durchführung von Experimenten nach Anleitung [155].

Auch STANDL sieht Algorithmen als wichtiges Element von CT an [137]. Daneben identifiziert er ähnliche Denkschritte wie die bereits zuvor genannten als wesentlich. Er versteht CT vor allem als Problemlöseprozess, der auch auf Alltagssituationen übertragen werden kann [137]. Dabei kommen die Schritte *Understanding*, *Decomposing*, *Abstracting*, *Designing an Algorithm*, *Evaluating* und *Generalizing* zum Tragen [156]. Neben den bereits dargestellten Elementen der Zerlegung, der Abstraktion und der Algorithmen, werden hier dem Problemlöseprozess also noch die Schritte *ein Problem als Ganzes verstehen* und *Prüfen und Übertragen der Lösung* hinzugefügt.

Anhand der exemplarisch ausgewählten Konzeptionalisierungen wird deutlich: Es gibt zwar eine Schnittmenge der als wichtig erachteten Schlüsselemente von CT, doch bereits in den vorgestellten Herangehensweisen sind unterschiedliche Schwerpunktlegungen festzustellen. Verschiedene Autorinnen und Autoren identifizieren also je nach Zielsetzung auch ganz unterschiedliche Schlüsselemente von CT. In verschiedenen Literaturreviews wurde daher versucht, sich einen Überblick über die maßgeblichen Denkschritte zu verschaffen und die Kernelemente von CT herauszustellen. Eine gute Übersicht mit vielen für CT relevanten Denkschritten bietet beispielsweise eine Studie von HSU, CHANG & HUNG [148] (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Denkschritte von Computational Thinking [148]

Denkschritt	Erklärung
Abstraction	Relevante Informationen identifizieren und extrahieren, um grundlegende Ideen herauszustellen.
Algorithm Design	Eine schrittweise Abfolge von Vorschriften erstellen, um ein Problem zu lösen oder eine Aufgabe auszuführen.
Automation	Ausführung wiederholender Tätigkeiten durch eine Maschine.
Data Analysis	Muster in erhobenen Daten erkennen.
Data Collection	Informationen sammeln.
Data Representation	Darstellung von Daten, z. B. in Graphen oder Tabellen.
Decomposition	Ein Problem in kleinere Teile zerlegen.
Parallelization	Gleichzeitiges Durchführen von kleineren Aufgaben, um das übergeordnete Ziel effizient zu erreichen.
Pattern Generalization	Aus Daten übertragbare Modelle, Regeln oder Prinzipien ableiten.
Pattern Recognition	Trends, Muster und Regelmäßigkeiten erkennen.
Simulation	Ein Modell entwickeln, das Probleme aus der Wirklichkeit nachbildet.
Transformation	Umwandlung von gesammelten Informationen.
Conditional logic	Nach assoziierten Mustern zwischen verschiedenen Ereignissen suchen.
Connection to other fields	Beziehungen zwischen Informationen herstellen.
Visualization	Inhalte visuell darstellen.
Debug & error detection	Eigene Fehler finden und beheben.
Efficiency & performance	Die Effizienz der Lösung prüfen, um sich an die perfekte Lösung anzunähern.
Modeling	Probleme durch Modelle darstellen.
Problem solving	Problemlösung als finaler Schritt des Denkprozesses.

3.5.2 Computational Thinking als Teil der schulischen Bildung

Trotz ihrer Ausführlichkeit bildet die in Tabelle 5 dargestellte Übersicht bei Weitem noch nicht alle Denkschritte und Elemente ab, die von unterschiedlicher Seite mit CT in Verbindung gebracht werden. Die Unschärfe in der Definition hinsichtlich der Kompetenz CT selbst und auch der darin enthaltenen Teilschritte erschwert maßgeblich die Zugänglichkeit und Verständlichkeit der Idee und damit auch deren Umsetzung in der Unterrichtspraxis [155]. VOOGT und Kollegen schlagen deswegen vor, sich anstatt auf die Unterschiede mehr auf die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Herangehensweisen zu konzentrieren, um auf diese Weise leichter ableiten zu können, was CT ist und wie es in der Schule eingesetzt werden kann [135,157]. Schließlich wird immer wieder betont, wie wichtig CT für das zukünftige Leben der Schülerinnen und Schüler ist. Dies unterstreichen auch verschiedene Bildungsreformen, wie zum Beispiel die *Next Generation Science Standards* aus den USA, welche CT als eine von mehreren Schlüsselkompetenzen aufführen [134,146]. Tatsächlich hat es im letzten Jahrzehnt international einige Initiativen zur Verankerung von CT in der Schulbildung gegeben. So haben beispielsweise die beiden US-amerikanischen Organisationen ISTE (International Society for Technology in Education) und CSTA (Computer Science Teachers Association)

2011 gemeinsam eine Arbeitsdefinition herausgegeben, mit der sie einen konzeptionellen Rahmen vorlegen, der eine leichtere Einbettung von CT entlang der gesamten Bildungskette vom Kindergarten bis zum Ende der Sekundarstufe ermöglichen soll. Nach dieser Definition ist CT ein Problemlöseprozess, der folgende Charakteristika umfasst (jedoch nicht auf diese beschränkt ist) [158]:

- Formulierung von Problemen in der Weise, dass ermöglicht wird, einen Computer oder andere Hilfsmittel für ihre Lösung heranzuziehen.
- Logisches Organisieren und Analysieren von Daten.
- Automatisieren von Lösungen durch algorithmisches Denken (als eine Reihe von geordneten Schritten).
- Identifizieren, Analysieren und Implementieren von möglichen Lösungen mit dem Ziel, die effizienteste und effektivste Kombination an Schritten und Ressourcen zu erreichen.
- Generalisieren und Übertragen dieses Problemlösungsprozesses auf eine Vielzahl weiterer Anwendungsmöglichkeiten.

Der Ansatz von ISTE & CSTA ist dabei so ausgelegt, dass CT in bereits bestehende Schulfächer integrierbar ist und mit den schon vorhandenen Inhalten verknüpft werden kann, was nach YADAV, HONG & STEPHENSON eine besonders geeignete Herangehensweise für die Implementierung von CT in den Unterricht darstellt [134]. CT ist auch in mehreren europäischen Ländern bereits curricular verankert. In Deutschland ist dies allerdings noch nicht der Fall [159]. Mit der KMK-Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ [3] ergeben sich dennoch mehrere Anknüpfungspunkte für CT. So wird als Teil von „Problemlösen und Handeln“ explizit die Kompetenz, „Algorithmen [zu] erkennen und [zu] formulieren“ [3] gefordert. Der Begriff „Computational Thinking“ selbst wird jedoch nicht genannt. Der Medienkompetenzrahmen des Landes Nordrhein-Westfalen thematisiert im Kompetenzbereich „Problemlösen und Modellieren“ darüber hinaus explizit weitere Kompetenzen, die mit CT abgebildet werden, zum Beispiel „Problemlösestrategien entwickeln und dazu eine strukturierte, algorithmische Sequenz planen“ [160]. Außerdem hat Deutschland im Jahre 2018 im Rahmen der ICILS (International Computer and Information Literacy Study) an dem erstmals angebotenen Zusatzmodul zu CT teilgenommen. CT wird hier definiert, als die

„Fähigkeit einer Person, Aspekte realweltlicher Probleme zu identifizieren, die für eine informatische Modellierung geeignet sind, algorithmische Lösungen für diese (Teil-)Probleme zu bewerten und selbst so zu entwickeln, dass diese Lösungen mit einem Computer operationalisiert werden können“ [161].

Damit sind viele der bereits genannten definitorischen Ansätze enthalten, wobei bei der ICILS ausdrücklich der Einsatz von Computern beschrieben ist. Zur Erfassung von Kompetenzen aus dem Bereich CT bei den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern wurden im Rahmen dieser Studie entsprechende computergestützte Tests entwickelt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass das Kompetenzniveau im Bereich CT bei den Achtklässlerinnen und Achtklässlern in Deutschland signifikant unter dem internationalen Durchschnitt liegt. Dies verdeutlicht, dass im deutschen Bildungswesen der Bedarf besteht, CT stärker zu fördern [162]. Hierfür müssen demnach auch die Lehrkräfte entsprechend qualifiziert werden. Da CT, wie eingangs erwähnt, vor dem Hintergrund der zunehmenden Digitalisierung eine bedeutsame Rolle zugeschrieben wird, ist dies besonders relevant. Die Schülerinnen und Schüler sollen schließlich im Laufe ihres Schullebens nicht nur digitale Medien konsumieren, sondern auch lernen, diese in einer kompetenten, kreativen und kritischen Weise zu nutzen [132]. Darüber hinaus kann CT helfen, ein besseres Verständnis für algorithmische Abläufe in digitalen Tools zu schaffen. Mit diesen gehen die Schülerinnen und Schüler tagtäglich um. Beispiele sind die Nutzung von Navigationsgeräten oder die Konfrontation mit Sortieralgorithmen bei einer Suchmaschinenabfrage. Zudem wird die Wichtigkeit von Algorithmen noch weiter zunehmen, auch im späteren Berufsleben [132,159]. Daher soll CT den Schülerinnen und Schülern schlussendlich eine „aktive, reflektierte, kreative und erfolgreiche Teilhabe an der Gesellschaft“ [159] ermöglichen.

Nach EICKELMANN [15] gibt es drei verschiedene Herangehensweisen, CT in die Schulbildung zu integrieren:

1. CT wird als Schlüsselkompetenz für eine reflektierte Nutzung von digitalen Technologien angesehen. Damit wäre es möglich, CT als eigenständiges Fach zu unterrichten.
2. CT weist eine enge Verwandtschaft mit der Informatik auf. Daher bietet vor allem der Informatikunterricht die Möglichkeit, durch Programmierübungen einen Zugang zu CT zu schaffen.
3. Wird CT als eine fächerübergreifende (Problemlöse-)Kompetenz angesehen, kann es in allen Schulfächern adressiert werden. Dabei wird es je nach Disziplin unterschiedliche Sichtweisen und Schwerpunktlegungen geben (vgl. auch [163]).

Für den MINT-Unterricht insgesamt sind alle drei Konzepte von Bedeutung. Im Informatikunterricht kann CT über das konkrete Programmieren gefördert werden. Die Förderung von CT als Schlüsselkompetenz für die Teilhabe an einer digitalisierten Gesellschaft müsste, entsprechend der Medienbildung, integraler Bestandteil [3] aller Schulfächer sein. Zusätzlich bieten die unterschiedlichen Schulfächer ihre jeweils eigenen Zugänge zu CT. Schließlich wird Computational Thinking meist explizit als eine

fächerübergreifende Problemlösekompetenz beschrieben, die auf unterschiedliche Disziplinen, interdisziplinäre Fragestellungen und Probleme des täglichen Lebens angewendet werden kann [148,155]. BARR & STEPHENSON bieten eine Übersicht mit Ideen, wie Schlüsselemente von CT in verschiedene Fächer, zum Beispiel in die MINT-Fächer, aber auch in den Sprach- oder Sozialkunde-Unterricht, integriert werden können [154]. Zudem gibt es sogar den Vorschlag, CT im Musikunterricht zu thematisieren [164].

3.5.3 Computational Thinking im naturwissenschaftlichen Unterricht

Prinzipiell kann CT als fächerübergreifende Problemlösekompetenz somit in allen Schulfächern umgesetzt werden. Allerdings scheinen vor allem die naturwissenschaftlichen Fächer einen geeigneten Kontext zu bieten [147,165], da sich die jeweiligen zentralen Denk- und Arbeitsweisen ähneln [166]. Der Einsatz von Computational Thinking in den naturwissenschaftlichen Fächern kann Beides fördern: Der naturwissenschaftliche Unterricht macht CT besser zugänglich, indem er Lerngelegenheiten für die Anwendung von CT-Kompetenzen bereitstellt und die Nutzung der Schlüsselemente im naturwissenschaftlichen Kontext ermöglicht. Gleichzeitig kann aber wiederum die Anwendung der Denkschritte der Problemlösekompetenz CT zu einem besseren Verständnis naturwissenschaftlicher Inhalte beitragen [140,147,165,167,168]. Ein zentrales Beispiel hierfür ist der Einsatz computerbasierter Simulationen [132] zur Modellierung realweltlicher Phänomene im naturwissenschaftlichen Unterricht. Damit die Schülerinnen und Schüler selbst eine Simulation, z. B. von Vorgängen auf der submikroskopischen Teilchenebene, erstellen können, müssen sie zunächst die zu Grunde liegende Theorie völlig durchdrungen und verstanden haben, bevor sie sich überlegen, wie diese in eine abstraktere Repräsentation überführbar ist [169]. Dies führt zu einer intensiven Auseinandersetzung mit den Lerninhalten. Ebenso trägt die Veranschaulichung in den erstellten Simulationen wiederum zu einem besseren Verständnis der naturwissenschaftlichen Inhalte bei. Gleichzeitig wenden die Schülerinnen und Schüler bei der Entwicklung der Simulationen zahlreiche Schlüsselemente von CT praktisch an. Eine zentrale Rolle bei der Erstellung derartiger Modelle spielt beispielsweise die Abstraktion [154].

Es existieren bereits verschiedene Beispiele der Nutzung von Synergien zwischen CT und dem naturwissenschaftlichen Unterricht durch die Erstellung von Simulationen naturwissenschaftlicher Phänomene, wie zum Beispiel eine Simulation des Sonnensystems [157], der idealen Gasgesetze [170] oder eines Ökosystems im Rahmen der speziell dafür entwickelten Lernumgebung CTSiM (Computational Thinking in Simulation and Modeling) [171]. Die Methoden „Modellierung und Simulationen“ sind auch eine der vier Herangehensweisen, die WEINTROP und Kollegen [165] vorschlagen, wenn es darum geht, CT in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. Ausgehend von der Tatsache, dass

zwar eine hohe Wichtigkeit von CT für die MINT-Fächer postuliert wird, es allerdings noch keine klare Definition von CT – besonders für die Anwendung in naturwissenschaftlichen Kontexten – gibt, haben WEINTROP ET AL. eine umfassende Systematik erarbeitet, mit Hilfe derer deutlicher werden soll, auf welche Weise Computational Thinking explizit in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht integriert werden kann. Neben *Modeling and Simulations* sind demnach auch *Data Practices*, *Computational Problem Solving Practices* und *System Thinking Practices* Kategorien, in denen naturwissenschaftlicher Unterricht und CT zusammen gedacht werden können und der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht einen bedeutungsvollen Kontext für den Einsatz von CT bietet [165]. Darüber hinaus weisen sie darauf hin, dass die Nutzung von Computern einen immensen Einfluss auf die naturwissenschaftliche Forschung nimmt und zum Beispiel in der Bioinformatik [165] oder bei der Durchführung chemischer Analysen eine wesentliche Bedeutung hat. Zudem spielen virtuelle Experimente und auch Simulationen, wie Klimamodelle oder Flugsimulationen, in der naturwissenschaftlich-technischen Forschung eine zentrale Rolle. Dies alles ist erst durch Computertechnik ermöglicht worden. Man kann also feststellen, dass die Computertechnologie die Arbeitsweisen in der naturwissenschaftlichen Forschung grundlegend verändert hat [163]. Um den Schülerinnen und Schülern ein authentisches, modernes Bild der Naturwissenschaften zu vermitteln und sie auch in angemessener Weise auf ihre zukünftige Arbeitswelt vorzubereiten, ist es daher sinnvoll, Naturwissenschaften und CT zusammenzubringen [165].

WEINTROP und Kollegen weisen darüber hinaus darauf hin, dass viele Lehrkräfte bereits Elemente von CT in ihrem Unterricht einsetzen, ohne sich jedoch ausdrücklich des zu Grunde liegenden Konzepts bewusst zu sein [165]. Eine explizite Vermittlung von CT ist daher hilfreich, um die bereits bestehenden Handlungsansätze zu unterstützen und zu intensivieren. Beispielsweise kann schon die zielgerichtete Nutzung von „fertigen“ interaktiven webbasierten Simulationen mit veränderlichen Parametern auf Plattformen wie PhET (Physics Education Technology) [172] der University of Colorado Boulder in Ansätzen zur Förderung von CT beitragen [165]. Als Teil von *Data Practices* betonen WEINTROP ET AL. zudem die Wichtigkeit des Umgangs mit Daten sowohl für CT als auch im naturwissenschaftlichen Unterricht. Durch die Verfügbarkeit digitaler Messwerverfassungssysteme spielen Arbeitsweisen wie Daten sammeln, Daten analysieren und Daten visualisieren eine wichtige Rolle im (Chemie-) Unterricht ebenso wie bei CT. Auch BARR & STEPHENSON sehen die Datensammlung, Datenanalyse und Datenrepräsentation als Schlüsselemente von CT an [154]. In diesem Zusammenhang offenbart sich ein besonders hohes Lernpotenzial, wenn anstatt kommerzieller Systeme zur Messwerverfassung Mikrocontroller, wie zum Beispiel Arduino oder Raspberry Pi, verwendet werden. An Mikrocontroller können verschiedene Sensoren angeschlossen werden, die dann entsprechende Messwerte liefern. Der Einsatz von

Mikrocontrollern im naturwissenschaftlichen Unterricht ist bereits mehrfach beschrieben worden, vor allem für das Fach Physik (siehe z. B. [173]). Auch für die Chemie gibt es verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel zur Messung der CO₂-Konzentration [174], des pH-Wertes [175–178] und zahlreicher weiterer Parameter [179]. Neben dem Umgang mit den erhaltenen Messdaten liefert der Einsatz von Mikrocontrollern im naturwissenschaftlichen Unterricht weitere Ansatzpunkte für CT. Damit Mikrocontroller die Daten der angeschlossenen Sensoren verarbeiten können, müssen sie entsprechend programmiert werden. Eigene Programmierkenntnisse sind dabei nicht unbedingt erforderlich, weil häufig auf bereits verfügbare Programmtexte (bei Arduino „Sketche“ genannt) zurückgegriffen werden kann. Allerdings ist es hilfreich, die verwendeten Programme nachvollziehen und gegebenenfalls anpassen zu können [178]. Durch ein erstes Verständnis davon, wie das Programm funktioniert, wird ebenfalls CT gefördert. Darüber hinaus steht die Option offen, dass die Schülerinnen und Schüler den Mikrocontroller selbst programmierend weiterentwickeln und somit CT auch durch Programmierübungen weiter vertiefen. Zudem trägt die Verwendung von Mikrocontrollern dazu bei, die „Black Box“ von Messwerterfassungssystemen zu öffnen. So können Schülerinnen und Schüler erkennen, dass pH-Sensoren beispielsweise zunächst einmal lediglich Spannungswerte erfassen, die dann von einem Programmcode in pH-Werte umgerechnet werden [132,178]. Damit erwerben sie gleichzeitig Kenntnisse über die generelle Funktionsweise von Informatiksystemen mit Bezug zu den Naturwissenschaften [166].

In einem Literaturreview sind OGEGBO & RAMNARAIN [180] der Frage nachgegangen, welche Tools am häufigsten zur Förderung von Computational Thinking im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden. Hierbei wird ebenfalls der Arduino erwähnt. Darüber hinaus nennen sie auch Datenverarbeitungstools, wie zum Beispiel Tabellenkalkulationsprogramme als eine Möglichkeit, CT und naturwissenschaftlichen Unterricht zu verbinden. Tabellenkalkulationsprogramme können im Chemieunterricht dazu dienen, gewonnene Messdaten aufzubereiten, oder, wie von MATSUMOTO & CAO [181] vorgeschlagen, chemische Reaktionen zu simulieren und modellieren. Eine weitaus häufigere Möglichkeit allerdings, die bei der Erstellung von Simulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht zum Tragen kommt, ist die Verwendung von blockbasierter Programmiersprache [178], wie zum Beispiel in der webbasierten Anwendung „Scratch“ [182]. Hier sind einzelne Programmierbefehle in graphischen Blöcken zusammengefasst, die ähnlich wie ein Puzzle per Drag & Drop zusammengefügt werden können [157]. Blockbasierte Programmiersprachen werden oft als Einstieg in das „echte“ Programmieren angesehen. Da keine spezielle Syntax erlernt werden muss, liegt der Fokus auf Problemlöseprozessen jenseits einer bestimmten Programmiersprache. Tatsächlich werden blockbasierte Programmiersprachen von

Schülerinnen und Schülern als einfacher wahrgenommen und sind damit eine geeignete Option, an erste tatsächliche Programmieraktivitäten herangeführt zu werden [183].

Eine weitere Möglichkeit, die als eine Art Vorstufe „echter“ Programmierung angesehen werden kann, ist die Nutzung von Flussdiagrammen. Diese stellen mit ihrer graphischen Veranschaulichung einen Mittelweg zwischen der Beschreibung eines Algorithmus in Alltagssprache und in einer Programmiersprache dar [184] und werden auch in der Informatik angewendet. In Flussdiagrammen werden Algorithmen und andere Schritt-für-Schritt Abfolgen so aufbereitet, dass sie unter anderem als Ausgangspunkt für die Erstellung eines Programmcodes nutzbar sind [185]. Ein allgemein gehaltenes Beispiel für ein Flussdiagramm ist in Abbildung 7 gezeigt.

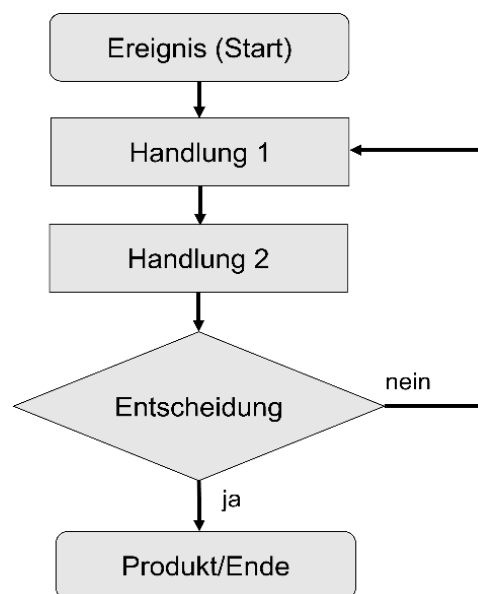


Abbildung 7: Beispiel für die graphische Gestaltung eines Flussdiagramms (eigene Darstellung)

Im naturwissenschaftlichen Unterricht sind Flussdiagramm beispielsweise dazu verwendbar, Versuchsanleitungen, bei denen es sich ja ebenfalls um eine Art Algorithmus handelt, graphisch abzubilden [186]. Indem sie als symbolische Abbildung komplexe Handlungsabläufe vereinfachend darstellen, können Flussdiagramme damit auch zur Gestaltung eines sprachsensiblen Fachunterrichts beitragen [130]. Umgekehrt kann das algorithmische Denken der Schülerinnen und Schüler geschult werden, wenn sie selbstständig komplexe Versuchsanleitungen strukturieren und in ein Flussdiagramm „übersetzen“.

Für den Chemieunterricht ist es wichtig, die verwendeten Chemikalien und die durchzuführenden Handlungen im Flussdiagramm visuell voneinander abzugrenzen, zum Beispiel durch die Verwendung unterschiedlicher Formen [186].

Neben den bereits genannten Aktivitäten bietet es sich auch und gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht an, die Problemlösekompetenz CT mit ihren Denkschritten

explizit als Methode einzuführen, zumal zwischen Computational Thinking und dem Konzept des Forschenden Lernens einige Ähnlichkeiten erkannt werden können [178,187,188]. So handelt es sich bei beiden Herangehensweisen um Problemlösestrategien [85,137], denen häufig eine zyklische Grundstruktur zugeschrieben wird und bei denen in der Regel verschiedene Denkschritte nacheinander durchlaufen werden, beginnend mit dem Erkennen eines Problems. Sowohl bei CT als auch beim Forschenden Lernen kann es darüber hinaus notwendig sein, zu einem früheren Denkschritt zurückzukehren, beispielsweise wenn sich die Hypothese beim Forschenden Lernen nicht bestätigt oder der im Rahmen von CT entworfene Algorithmus nicht zum Ziel führt [13]. Damit kann auch das Forschende Lernen selbst und insbesondere das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren mit seinen genau definierten Denkstufen als eine Art Algorithmus angesehen werden [85]. Es darf an dieser Stelle jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass die Gefahr besteht, so die Vorstellung von *der einen* wissenschaftlichen Methode weiter zu begünstigen [66,70].

4 Ausgangssituation des Projekts

Im Folgenden werden nun die Ausgangssituation des Projektes sowie die sich daraus ergebenden Implikationen für die Überarbeitung von Experimento | 10+ näher beleuchtet. Die beschriebene Fortbildung stellt einen Teil des Bildungsprogramms *Experimento* der Siemens Stiftung dar. Daher ist wichtig, nachzuvollziehen, was die Zielsetzungen der Siemens Stiftung allgemein und von *Experimento* im Besonderen sind. Zudem werden aktuelle Entwicklungen im Bereich der digitalen Medienkompetenz von Lehrkräften geschildert. Dies ist insofern von Bedeutung, um zu verstehen, unter welchen bildungspolitischen Rahmenbedingungen die Neukonzeption erfolgt ist. Außerdem werden die Eigenschaften und Vorteile von Blended Learning-Formaten näher beleuchtet, da Experimento | 10+ nun als Blended Learning-Fortbildung Lehrkräften deutschlandweit angeboten wird.

4.1 Zielsetzungen der Siemens Stiftung

Die Siemens Stiftung wurde 2008 von der Siemens AG gegründet, um das gesellschaftliche Engagement des Konzerns auszuweiten [189]. Sie hat ihren Hauptsitz in München und agiert als vom Unternehmensgeschäft unabhängige und gemeinnützige Stiftung [190,191]. Die Siemens Stiftung setzt sich international für eine nachhaltige gesellschaftliche Entwicklung ein. Dazu gehören nach Auffassung der Stiftung die Verständigung über Kultur, eine gesicherte Grundversorgung sowie eine hochwertige Bildung, besonders im MINT-Bereich. Dies spiegelt sich auch in den drei Arbeitsgebieten der Stiftung, namentlich *Kultur*, *Entwicklungskooperation* und *Bildung*, wider [191]. Die Siemens Stiftung ist sowohl operativ als auch als Partnerin von internationalen und nationalen Projekten tätig. Ziel ist es, Programme und Lösungsansätze für gesellschaftliche Herausforderungen zu entwickeln und umzusetzen [189,191]. Die Stiftung agiert nicht nur in Afrika und Lateinamerika und damit in Regionen des globalen Südens, sondern auch in Europa. Hier sieht sie zum Beispiel hinsichtlich der Förderung der naturwissenschaftlich-technischen Bildung von Kindern und Jugendlichen Handlungsbedarf [189,191]. In Deutschland konzentriert sich die Siemens Stiftung daher insbesondere auf die Verbesserung der MINT-Bildung. Die Schülerinnen und Schüler sollen adäquat auf das Leben in einer technisierten Welt vorbereitet werden, um sich an Problemlösungen von globalen Herausforderungen beteiligen zu können [189].

4.2 *Experimento* als internationales MINT-Bildungsprogramm

Die Umsetzung des Engagements der Siemens Stiftung für eine bessere MINT-Bildung erfolgt in Deutschland unter anderem durch das Bildungsprogramm *Experimento*. Übergeordnetes Ziel von *Experimento* ist es, Freude und Interesse an den Naturwissenschaften zu wecken bzw. aufrecht zu erhalten sowie ein vertieftes naturwissenschaftliches Verständnis zu

schaffen. Da vor allem im Kindesalter ein hohes Neugierverhalten gegenüber Experimenten besteht [55], sollen diese Ziele hauptsächlich durch das selbstständige Experimentieren rund um die Themengebiete Energie, Umwelt und Gesundheit in Form des Forschenden Lernens erreicht werden. Durch den Bezug zu aktuellen, globalen Herausforderungen sollen Kinder und Jugendliche zudem wertorientierte Haltungen und Einstellungen entwickeln [12,192].

Das Programm erstreckt sich entlang der gesamten Bildungskette vom Kindergarten bis hin zu den weiterführenden Schulen. Dazu wendet sich *Experimento* mit Fortbildungen zunächst an pädagogische Fachkräfte und Lehrkräfte; über diese werden wiederum die Kinder und Jugendlichen erreicht. Um den unterschiedlichen Altersgruppen gerecht zu werden, besteht *Experimento* aus verschiedenen Angeboten: Experimento | 4+ für Kindergarten-Kinder im Alter von vier bis sieben Jahren, Experimento | 8+ für Grundschülerinnen und -schüler zwischen acht und zwölf Jahren und schließlich Experimento | 10+ für Schülerinnen und Schüler der weiterführenden Schulen im Alter von zehn bis 18 Jahren. Für Experimento | 10+ sind dementsprechend alle Lehrkräfte der weiterführenden Schulen, die in den MINT-Fächern, vor allem Chemie, Biologie und Physik, unterrichten, die Zielgruppe. Weil es sich um ein internationales Ansinnen handelt, findet *Experimento* nicht nur hierzulande Anwendung, sondern wird, unter Anpassung an die regionalen Gegebenheiten, wie viele weitere Projekte der Siemens Stiftung, auch in Lateinamerika und Afrika angeboten [12].

In Deutschland konnten nach Schätzungen der Siemens Stiftung seit den ersten *Experimento*-Fortbildungen bereits rund 87.500 Schülerinnen und Schüler sowie Kindergartenkinder erreicht werden [193]. Zur Verbreitung des Programms wurden deutschlandweit mehrere „*Experimento*-Zentren“ ins Leben gerufen [11]. Dabei handelt es sich um Schulen, mit denen die Siemens Stiftung kooperiert, um die Lehrkräftefortbildungen anbieten zu können. Die Veranstaltungen selbst werden dann von speziell geschulten, erfahrenen Lehrkräften, den sogenannten Multiplikatorinnen und Multiplikatoren, durchgeführt. Künftig soll *Experimento* auch an weiteren Fortbildungsinstitutionen angeboten werden [11]. Herzstück von *Experimento* sind die hierfür speziell entwickelten lehrplanrelevanten Experimente zu den Themengebieten Energie, Umwelt und Gesundheit. Es handelt sich um mit einfachen Mitteln gestaltete Schülerexperimente, welche sich hauptsächlich Haushaltschemikalien bedienen und zum Teil mit Alltagsgegenständen durchgeführt werden können. Für Experimento | 10+ stehen 18 Schülerversuche mit insgesamt 54 Teilexperimenten zur Verfügung. Die dazugehörigen Versuchsanleitungen werden jeweils in einem Handbuchordner, welcher den Fortbildungsteilnehmerinnen und -teilnehmern ausgehändigt wird, zusammengefasst [194]. Zusätzlich sind alle Experimentieranleitungen für Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte digital in bearbeitbarer Form auf dem Medienportal der Siemens Stiftung (<https://medienportal.siemens-stiftung.org>) verfügbar. Dort werden auch noch weitere Unterrichtsmaterialien für den MINT-Unterricht bereitgehalten, wie zum Beispiel interaktive

Anwendungen, Videos, Arbeitsblätter oder Bilder. Bei allen angebotenen Medien handelt es sich um sogenannte Open Educational Resources (OER), sprich „offene“ Bildungsressourcen, welche Lehrkräfte unter Einhaltung geringfügiger Bedingungen (z. B. Nennung der Urheberschaft) frei nutzen, bearbeiten und weiterverbreiten dürfen [195].

Die bisherigen Experimento | 10+ Fortbildungen wurden als Präsenzveranstaltungen mit einer Gesamtdauer von zwei vollen Tagen angeboten. Der Schwerpunkt lag vor allem auf der praktischen Durchführung der Schülerexperimente durch die teilnehmenden Lehrkräfte. Dabei widmete sich der erste Fortbildungstag dem Themengebiet Energie, der zweite der Umwelt und Gesundheit. Zusätzlich wurden die Methodenaspekte *Lernen an Stationen*, *Methodenwerkzeuge*, *Aufgaben* und *Kooperative Lernformen* zur Integration der besprochenen Experimente in den Unterricht intensiv besprochen und erprobt [196].

4.3 Forderungen nach digitalen Medienkompetenzen von Lehrkräften

Eine wichtige zu berücksichtigende aktuelle Entwicklung stellt die fortschreitende Digitalisierung und Mediatisierung aller Lebensbereiche und die damit einhergehende grundlegende Veränderung von Lehr- und Lernprozessen dar, wodurch auch die Schule mit verschiedenen neuen Chancen und Herausforderungen konfrontiert wird [3]. So betont beispielsweise das 2016 veröffentlichte Strategiepapier „Bildung in der digitalen Wissensgesellschaft“ [197] des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) die besondere Verantwortung des Bildungssystems, und speziell der MINT-Fächer, Heranwachsende zu einem kompetenten Umgang mit digitalen Medien zu befähigen. Durch den Erwerb einer digitalen Medienkompetenz sollen die Schülerinnen und Schüler unter anderem auf künftige Anforderungen einer digital geprägten Arbeitswelt vorbereitet werden [197].

Spätestens durch das im selben Jahr erschienene Strategiepapier der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ [3] wird klargestellt, dass es zu den zentralen Aufgaben aller Schulfächer gehört, die Schülerinnen und Schüler in angemessener Weise auf das Leben in einer digital geprägten Gesellschaft vorzubereiten. Das Strategiepapier formuliert hierzu sechs übergeordnete Kompetenzbereiche, welche die in der digitalen Welt erforderlichen Kompetenzen abbilden sollen [3]:

1. Suchen, Verarbeiten und Aufbewahren
2. Kommunizieren und Kooperieren
3. Produzieren und Präsentieren
4. Schützen und sicher Agieren
5. Problemlösen und Handeln
6. Analysieren und Reflektieren

Die sechs Kompetenzbereiche sind nochmals in verschiedene Teilbereiche und darin enthaltene konkrete Kompetenzerwartungen unterteilt. Durch den Erwerb der im Strategiepapier aufgeführten Kompetenzen sollen die Schülerinnen und Schüler zu einer aktiven und selbstbestimmten Teilhabe an der Gesellschaft [3] in einer Kultur der Digitalität befähigt werden. Der Begriff der Digitalität beinhaltet dabei mehr als nur die rein technologische Perspektive des Prozesses der Digitalisierung. Vielmehr sind damit einhergehende gesellschaftliche Veränderungen ebenso eingeschlossen [198]. Der Terminus der Digitalität wird auch explizit in dem im Dezember 2021 erschienenen Papier „Lehren und Lernen in einer digitalen Welt“ der Kultusministerkonferenz benannt. Bei diesem Papier handelt es sich um eine Ergänzung zur ursprünglich 2016 veröffentlichten Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ der KMK [199]. In dem Ergänzungspapier werden aktualisierte prioritäre Maßnahmen für das Lehren und Lernen in einer Kultur der Digitalität ausgeführt [199].

Durch das Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ wurde somit seinerzeit die Grundlage für die schulische Vermittlung einer umfassenden Medienkompetenz in allen Bundesländern gelegt [160]. Manche Bundesländer haben in enger Anlehnung an diese Strategie eigene Kompetenzrahmen zur Medienbildung an Schulen entwickelt, zum Beispiel Bayern [200] oder Nordrhein-Westfalen [160]. Besonders Nordrhein-Westfalen legt mit dem „Medienkompetenzrahmen NRW“ einen umfassenden Rahmen zur Medienbildung entlang der Bildungskette dar. Ziel ist es, den Schülerinnen und Schülern einen sicheren, kreativen und verantwortungsbewussten Umgang mit digitalen Medien zu ermöglichen und ihnen darüber hinaus eine informatische Grundbildung zukommen zu lassen [160]. Dazu umfasst das Rahmenmodell ebenfalls sechs Kompetenzbereiche, die zum Teil eine hohe Überschneidung mit denen der KMK aufweisen [160]:

1. Bedienen und Anwenden
2. Informieren und Recherchieren
3. Kommunizieren und Kooperieren
4. Produzieren und Präsentieren
5. Analysieren und Reflektieren
6. Problemlösen und Modellieren

Außerdem soll der Medienkompetenzrahmen NRW auch Basis für die dortige Lehrkräfteausbildung und -fortbildung sein [160], denn: Damit Lehrkräfte den Schülerinnen und Schülern die geforderten Kompetenzen vermitteln können und es vermögen digitale Medien zielgerichtet und lernförderlich im Unterricht einzusetzen, müssen sie zunächst einmal selbst über eine digitale Medienkompetenz verfügen [3].

Allerdings zeigen sowohl die PISA-Studie 2015 [201] als auch die ICILS 2018 [162], dass Lehrkräfte in Deutschland vergleichsweise selten digitale Medien im Unterricht einsetzen.

Allein die Häufigkeit des Medieneinsatzes sagt zwar noch nichts über dessen Qualität aus, doch dass die Nutzung von digitalen Medien überhaupt erst einmal erfolgt, ist Voraussetzung für die Entfaltung möglicher Potenziale [202]. Dabei ist der Anteil der Lehrkräfte, der digitalen Medien gegenüber positiv eingestellt ist, im Vergleich zur ICILS 2013 durchaus gestiegen [202]. In der Bitkom-Studie von 2019 gab zudem knapp mehr als die Hälfte der Lehrkräfte an, dass sie gerne öfter digitale Medien im Unterricht einsetzen würde [203]. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund relevant, dass eine positive Einstellung gegenüber digitalen Medien sowie eine hohe medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung neben dem Wissen über die Nutzung Grundvoraussetzungen für die erfolgreiche Integration digitaler Medien in den Unterricht sind [204]. Unter der allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung versteht man nach SCHWARZER & JERUSALEM das „Vertrauen in die eigene Kompetenz, auch schwierige Handlungen in Gang zu setzen und zu Ende führen zu können“ [205]. Es lassen sich dabei verschiedene bereichsspezifische Konzepte identifizieren [205], wie die erwähnte *medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung*.

Häufig stehen dem Medieneinsatz an deutschen Schulen allerdings schon allein technische oder infrastrukturelle Hürden entgegen, beispielsweise ein Mangel an Endgeräten [203]. Dies zeigt auch die Bitkom-Schüler-Studie zur Digitalisierung der Bildung 2020, in der mehr als die Hälfte der befragten Schülerinnen und Schüler angab, die schlechte technische Ausstattung sei eines der dinglichsten Probleme ihrer Schule [206]. Mit dem DigitalPakt Schule versucht die Bundesregierung nun, in diesem Bereich nachzubessern [207].

Problematisch ist weiterhin, dass im Rahmen der ICILS 2018 nur knapp ein Viertel der deutschen Lehrkräfte angab, während ihres Studiums den Umgang mit digitalen Medien erlernt zu haben. Damit liegt Deutschland signifikant unter dem Mittelwert aller teilnehmenden Länder [161]. Es besteht also nicht nur Nachholbedarf in der technischen Ausstattung, sondern insbesondere ein hoher Bedarf an Aus- und Fortbildungsmaßnahmen, die dem Erwerb zentraler digitaler Medienkompetenzen seitens der Lehrkräfte dienen. Mit der *Qualitäts Offensive Lehrerbildung* wollte die Bundesregierung zunächst einmal hauptsächlich die Vermittlung medienpädagogischer Kompetenzen in der ersten Phase der Lehrkräftebildung stärker fördern [197]. Darüber hinaus besteht ein großer Bedarf an Fortbildungen für bereits im Dienst befindliche Lehrkräfte. Dieser Bedarf wird auch nochmals dadurch unterstrichen, dass der Bereich der digitalen Medien als sehr schnelllebig gilt und die steten Veränderungen somit ein sich kontinuierlich anpassendes Fortbildungsangebot erforderlich machen [3,199].

4.3.1 Digitale Medienkompetenz

Lehrkräfte müssen also angesichts des Lebens in der Digitalität über digitale Medienkompetenzen verfügen und dazu in der Lage sein, digitale Medien didaktisch sinnvoll in den Unterricht zu integrieren. In der Literatur werden inzwischen zahlreiche Praxisbeispiele für den Einsatz von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht präsentiert (siehe z. B. [208,209]). Es wird jedoch selten definiert, was genau mit „digitalen Medien“ gemeint ist. Dies beginnt schon damit, dass, wenn von einem „Medium“ die Rede ist, darunter durchaus unterschiedliche Dinge verstanden werden können. So werden mitunter technische Geräte wie Smartphones oder Computer als „Medium“ betitelt, während in anderen Fällen konkrete Medieninhalte gemeint sind, also beispielsweise bestimmte Webseiten oder Apps. Eine allseits akzeptierte Mediendefinition gibt es nicht [210]. Einigkeit besteht allerdings darüber, dass Medien stets eine Funktion als „Mittler“ (lat. medium – Mitte) zukommt [211]. PETKO [210] definiert „Medien“ daher wie folgt:

„Medien sind Werkzeuge zur Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Übermittlung von Informationen“.

Geht es konkret um „digitale Medien“, so sind damit häufig implizit oder explizit sowohl die Software, die Hardware als auch digitale Inhalte, wie zum Beispiel Videodateien, gemeint [212]. Digitale Medien beziehen sich also auf elektronische Geräte, die die Verwendung digitaler Programme ermöglichen [213].

Eng verbunden mit dem Begriff der Medien ist die Medienkompetenz. Die digitale Medienkompetenz umfasst die Fähigkeit zur fachkundigen und verantwortungsvollen Nutzung digitaler Medien und das Lernen mit digitalen Medien [197]. Medienkompetenz darf keinesfalls nur auf Fertigkeiten im Umgang mit digitalen (oder analogen) Medien reduziert werden – die Bildung in der digitalen Welt geht schließlich über das reine Bedienen von digitaler Technik hinaus [214]. Dennoch ist weiterhin das technische Können zur Anwendung von digitalen Medien Voraussetzung dafür, dass eine vertiefte Auseinandersetzung mit weiteren Teilbereichen der Medienkompetenz stattfinden kann [215].

Die oft ebenfalls verwendete Begrifflichkeit der „digitalen Kompetenz“ wird beispielsweise von KERRES [214,216] durchaus kritisch gesehen. Er argumentiert, dass es ja auch keine „analoge Kompetenz“ gebe. Darüber hinaus sollte die digitale Medienkompetenz nicht als eine zusätzlich hinzugekommene Anforderung angesehen werden. Vielmehr durchdringt die Digitalisierung bereits all unsere Lebensbereiche, sodass digitale Medienkompetenzen zwangsläufig zum Tragen kommen *müssen*. Daher schlägt KERRES vor, statt von „digitalen Kompetenzen“ besser von „Bildung in einer durch digitale Technik geprägte Welt“ [216] zu sprechen – ähnlich wie es die Kultusministerkonferenz bereits tut [3]. Trotz dieser Einwände ist der Begriff der „digitalen Kompetenz“ weiterhin verbreitet (siehe z. B. [197,212,217]).

Allen Forderungen nach dem Einsatz digitaler Medien im Unterricht liegt neben dem Ziel, den Schülerinnen und Schülern eine aktive Teilhabe an der digital geprägten Gesellschaft zu ermöglichen, die Annahme zu Grunde, dass die Mediennutzung zu einer Verbesserung des schulischen Lernens beiträgt [218]. Verschiedene Metaanalysen, inklusive der HATTIE-Studie von 2009, zeigen auf, dass digitale Medien zwar in der Regel positive Effekte auf die Lernleistung der Schülerinnen und Schüler haben, diese jedoch nur mittelmäßig bis gering ausfallen [218,219]. Auch positive motivationale Effekte durch die Integration digitaler Medien bestehen nur kurzzeitig [219]. Dennoch lässt sich aus empirischer Sicht festhalten, dass digitale Medien im schlimmsten Fall „unschädlich“ für den Lernprozess sind und unter bestimmten Bedingungen meist sogar einen Nutzen aufweisen [218]. Ein Beispiel hierfür ist, digitale Medien bestenfalls ergänzend zu klassischen zu verwenden, anstatt diese vollständig zu ersetzen [213]. Der Einsatz digitaler Medien sollte also einen didaktischen Mehrwert aufweisen. Zusätzlich hängt die Lernleistung beim Lernen mit digitalen Medien von zahlreichen Faktoren ab, wie zum Beispiel von der Art der Software, den Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler und der Expertise der jeweiligen Lehrkraft [218,219].

Es wird somit erneut deutlich, wie wichtig es ist, dass Lehrkräfte über digitale Medienkompetenzen verfügen. Ein populäres Modell, welches das Wissen, das Lehrkräfte für den Umgang mit digitalen Medien im Unterricht benötigen, näher spezifiziert, ist das TPACK-Modell von KOEHLER & MISHRA [220]. Dieses stützt sich auf einem Ansatz von SHULMAN aus dem Jahre 1986 [221], in welchem er das Modell des *Pedagogical Content Knowledge* (PCK), also des fachdidaktischen Wissens, als Schnittmenge von pädagogischem Wissen (*Pedagogical Knowledge*; PK) und fachlichem Wissen (*Content Knowledge*; CK) präsentiert. KOEHLER & MISHRA haben dieses Modell um den Inhaltsbereich des technologiebezogenen Wissens (*Technological Knowledge*; TK) ergänzt [217]. Damit entstehen neue Schnittmengenbereiche (siehe Abbildung 8): *Technological Content Knowledge* (TCK), *Technological Pedagogical Knowledge* (TPK) und schlussendlich auch TPACK (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*) [220], das technologisch-pädagogische Inhaltswissen [198].

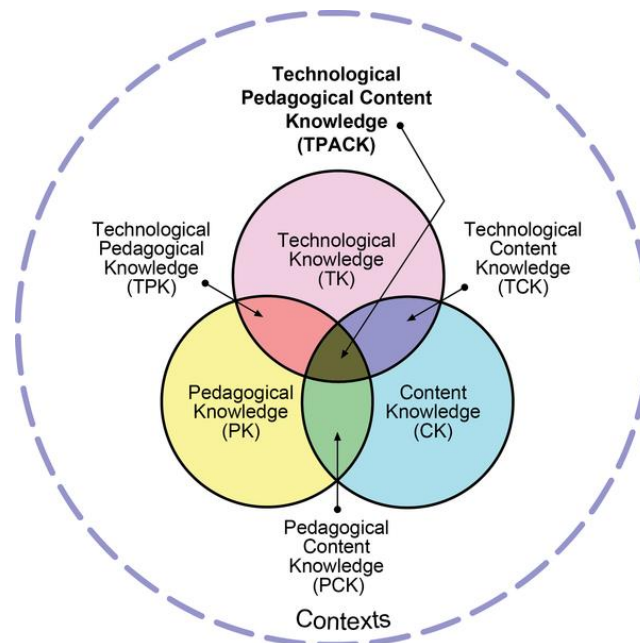


Abbildung 8: Das TPACK-Modell nach KOEHLER & MISHRA
(Abbildung lizenziert unter CC0)

In einem neueren Ansatz schlagen HUWER und Kollegen [198] vor, das TPACK-Modell nochmals zu modifizieren. Sie argumentieren, dass der digitale Wandel eine gesamtgesellschaftliche Transformation darstelle und daher eine rein technologische Perspektive, wie mit dem *Technological Knowledge* beschrieben, zu kurz greift. Stattdessen sollte TK durch *Digitalitätsbezogenes Wissen* (DK) ersetzt werden. DK umfasst dabei alle Aspekte des TK, geht jedoch darüber hinaus. Somit könnten dann auch die durch die Digitalisierung veränderten gesellschaftlichen und kulturellen Prozesse in diesem Modell berücksichtigt werden [198]. Statt von TPACK sprechen HUWER ET AL. deswegen nun vom DPaCK-Modell, welches demnach das *Digitalitätsbezogene Pädagogische und Inhaltliche Wissen* abbildet [198].

4.3.2 Relevante Rahmenmodelle

Mit Hilfe von TPACK und DPaCK soll das notwendige Professionswissen von Lehrkräften zum Unterrichten mit digitalen Medien beschrieben werden [198]. Allerdings werden hierbei noch keine konkreten Kompetenzerwartungen an Lehrkräfte formuliert [217]. In den letzten Jahren sind daher verschiedene Rahmenmodelle vorgestellt worden, die zum Teil auf TPACK basieren, jedoch die medienbezogenen Kompetenzanforderungen an Lehrkräfte weiter konkretisieren und operationalisieren sollen [217,222].

Ein Beispiel hierfür ist das Rahmenmodell medienbezogener *Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt* der Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern [223]. Demnach zählen zu den Kernkompetenzen von

Lehrkräften sowohl die eigene Medienkompetenz als auch medienerzieherische und mediendidaktische Kompetenzen, wobei die beiden letztgenannten als *Lehrkompetenzen* bezeichnet werden. Die Forschungsgruppe versteht Kompetenzen als Problemlösefähigkeiten und legt das Augenmerk darauf, welche konkreten Probleme durch die im Modell vorgestellten Kompetenzen lösbar sein sollen. Damit wird eine gute Anwendbarkeit des Modells in der Praxis intendiert. Im Modell wird neben der medienerzieherischen und mediendidaktischen auch die informatische Perspektive berücksichtigt. Durch den informatikdidaktischen Blickwinkel soll ein vertieftes Verständnis digitaler Phänomene ermöglicht werden. In diesem Zusammenhang wird explizit der Begriff des Computational Thinking aufgegriffen [223]. Bei der Ausdifferenzierung der Kernkompetenzen für das Unterrichten in einer digitalen Welt geht die Forschungsgruppe zunächst einmal davon aus, dass Lehrkräfte in mindestens demselben Maße über die Medienkompetenzen verfügen müssen, welche auch von den Schülerinnen und Schülern gefordert werden. Hinsichtlich der Konzeptualisierung der benötigten Medienkompetenzen auf Schülerinnen- und Schülerseite orientiert sich das Modell eng an den Kompetenzerwartungen, die von der KMK in ihrem Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ [3] formuliert wurden [223]. Es handelt sich dabei um die *Zielkompetenzen*, die durch den Unterricht erreicht werden sollen. Mittels der Lehrkompetenzen der Lehrkräfte wird die Förderung dieser Zielkompetenzen beabsichtigt [223]. Die Lehrkompetenzen werden nochmals in eine *Wissens-* und eine *Handlungskomponente* unterschieden, wobei die Wissenskomponente mehrere medienbezogene Kenntnisbereiche umfasst, die aus dem TPACK-Modell stammen [223]. Aus dieser theoretischen Rahmung leitet die Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern dann 19 konkrete *fachspezifische und fachübergreifende medienbezogene Lehrkompetenzen* ab. Diese sind in folgenden Handlungsbereichen anzusiedeln [223]:

- Planung und Entwicklung sowie Weiterentwicklung digitaler Unterrichtsszenarien
- Realisierung von Unterricht mit digitalen Medien
- Evaluation der Effekte digitaler Medien auf den Unterrichtserfolg
- Reflexion und Kommunikation der eigenen digitalen Unterrichtsszenarien sowie Austausch im Rahmen der kollegialen Zusammenarbeit (Sharing)

Ein weiteres Rahmenmodell, das die „digitale Kompetenz“ Lehrender näher beschreibt und definiert ist der Gemeinsame *Europäische Rahmen für die Digitale Kompetenz von Lehrenden (DigCompEdu)* [212]. Die Europäische Union hatte mit dem *European Digital Competence Framework (DigComp)* [224] bereits zuvor einen Rahmen für die digitale Kompetenz aller Bürgerinnen und Bürger vorgelegt, welcher unter anderem gemeinsam mit dem Modell der computer- und informationsbezogenen Kompetenzen aus ICILS 2013 auch die Grundlage für das Kompetenzmodell des KMK-Strategiepapiers „Bildung in der digitalen Welt“ [3] darstellt.

Inzwischen wurde der allgemeinere DigComp mit dem DigCompEdu für Lehrende aller Bildungsstufen, also Schulen, Hochschulen und Erwachsenenbildung, spezifiziert. Darin wird erneut die bedeutsame Rolle der Lehrkräfte betont: Obwohl die Kinder und Jugendlichen heutzutage in einer digitalisierten Welt aufwachsen, verfügen sie nicht unmittelbar über die entsprechenden Kompetenzen, um digitale Medien bewusst und effektiv einsetzen zu können [212]. Daher sind Lehrkräfte dazu verpflichtet, den Schülerinnen und Schülern zu einer adäquaten digitalen Kompetenz zu verhelfen. Damit dies gelingen kann, geht auch der DigCompEdu davon aus, dass die Lehrkräfte erst einmal selbst über eben jene verfügen müssen [212]. Dazu umfasst der Kompetenzrahmen des DigCompEdu 22 Kompetenzen, die in folgende sechs Kompetenzbereiche gegliedert sind:

1. Berufliches Engagement
2. Digitale Ressourcen
3. Lehren und Lernen
4. Evaluation
5. Lernerorientierung
6. Förderung der digitalen Kompetenz der Lernenden

Bereich 1 nimmt dabei die beruflichen Kompetenzen von Lehrenden in den Blick, Bereich 6 die Kompetenzen von Lernenden. Bereich 2–5 umfassen die pädagogischen und didaktischen Kompetenzen von Lehrenden und bilden damit den Kern des Kompetenzrahmens [212,225]. Die einzelnen Kompetenzen werden analog zum Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen für Sprachen auf sechs Kompetenzstufen beschrieben. Dies erstrecken sich von der Stufe A1 (Einsteigerinnen und Einsteiger) bis C2 (Vorreiterinnen und Vorreiter) [225]. Passend zum DigCompEdu wurde ein Selbsteinschätzungstool erarbeitet, das es den Lehrenden ermöglicht, ihre Stärken und Schwächen beim Einsatz digitaler Medien zu reflektieren [224]. Aktuell (Stand August 22) ist das sogenannte DigCompEdu CheckIn Tool zwar nicht verfügbar, die beinhalteten Fragen zur Selbsteinschätzung können aber weiterhin abgerufen werden [226]. Auch das Ergänzungspapier „Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ der KMK [199] nimmt engen Bezug auf den DigCompEdu, indem darin gefordert wird, dass jedes Bundesland, ausgehend vom DigCompEdu, einen landesspezifischen Kompetenzrahmen entwickeln soll. Beispielsweise für Bayern ist dies mit dem DigCompEdu Bavaria bereits geschehen [227].

Sowohl beim Rahmenmodell der Forschungsgruppe Digitaler Campus Bayern als auch beim DigCompEdu handelt es sich um fächerübergreifende Modelle, die sich nicht konkret auf spezifische Medienkompetenzen für die naturwissenschaftlichen Fächer beziehen [217]. Allerdings unterscheidet sich die Nutzung digitaler Medien je nach Unterrichtsfach. In den MINT-Fächern können im Vergleich zu anderen Fächern besondere Potenziale von digitalen

Medien genutzt werden, indem beispielsweise Messwerte digital erfasst, Experimente digital dokumentiert oder digitale Simulationen und Animationen eingesetzt werden [228]. Des Weiteren ist es mit fachunspezifischen Kompetenzrahmen nicht möglich, das gesamte TPACK-Modell abzubilden, da der Bereich des fachlichen Wissens (CK) inklusive seiner Schnittmengen nicht adressiert werden kann [228]. Daher haben GHOMI ET AL. [228] einige Items des DigCompEdu-Selbsteinschätzungsinstruments für den MINT-Unterricht fachlich konkretisiert, beispielsweise durch die Ergänzung MINT-spezifischer Beispiele.

Ein weiterer Rahmen, der das Ziel hat, fachspezifische digitale Kompetenzen für die Naturwissenschaften zu beschreiben, ist *DiKoLAN (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden der Naturwissenschaften)*. Dieser Orientierungsrahmen ist demnach hauptsächlich für die erste Phase der Lehrkräftebildung konzipiert [217]. Er umfasst sieben Kompetenzbereiche (siehe Abbildung 9), welche sich an zentralen naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen orientieren. Hinzu kommen noch technische Basiskompetenzen zum Bedienen von digitaler Technik und die rechtlichen Rahmenbedingungen beim unterrichtlichen Einsatz von digitalen Medien, welche jedoch nicht weiter ausgeführt werden. Die sieben Kompetenzbereiche werden in allgemeinere Kompetenzen, die prinzipiell in jedem Fach erforderlich sind, und fachspezifischere Kompetenzen, die in enger Beziehung mit den Naturwissenschaften stehen, unterteilt [229].



Abbildung 9: DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften [230] © 2020 Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. <https://dikolan.de/>. Abbildung lizenziert unter CC BY-SA 4.0.

Zusätzlich wird in DiKoLAN auch das TPACK/DPaCK-Modell mit einbezogen. Für jeden der sieben Kompetenzbereiche werden nämlich konkrete Kompetenzerwartungen in den

Bereichen TPACK, TPK, TCK und TK auf drei Anforderungsniveaus formuliert [217,229]. Neben TPACK ist eine hohe Anschlussfähigkeit an weitere Rahmenmodelle gegeben: Durch DiKoLAN werden die Kompetenzbereiche 1–5 des DigCompEdu adressiert. Kompetenzbereich 6 des DigCompEdu ist zwar nicht in DiKoLAN enthalten, die Kompetenzen auf Lernendenseite werden aber durch das Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ [3] der KMK abgedeckt [229].

Einen etwas anderen Schwerpunkt in der Debatte darüber, welche Kompetenzen für eine digitale Bildung erforderlich sind [132], setzt die *Dagstuhl-Erklärung „Bildung in der digital vernetzten Welt“* der Gesellschaft für Informatik [231]. Hierbei handelt es sich um ein eher allgemeines Modell ohne konkrete Kompetenzerwartungen. Es werden jedoch drei Perspektiven herausgestellt, die bei der digitalen Bildung beachtet werden müssen: der technologische, der gesellschaftlich-kulturelle und der anwendungsbezogene Blickwinkel sowie die jeweiligen Zusammenhänge der drei Perspektiven untereinander (siehe Abbildung 10). Die Betrachtung dieser drei Blickwinkel wird auch explizit von der KMK in ihrem Ergänzungspapier „Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ [199] gefordert.

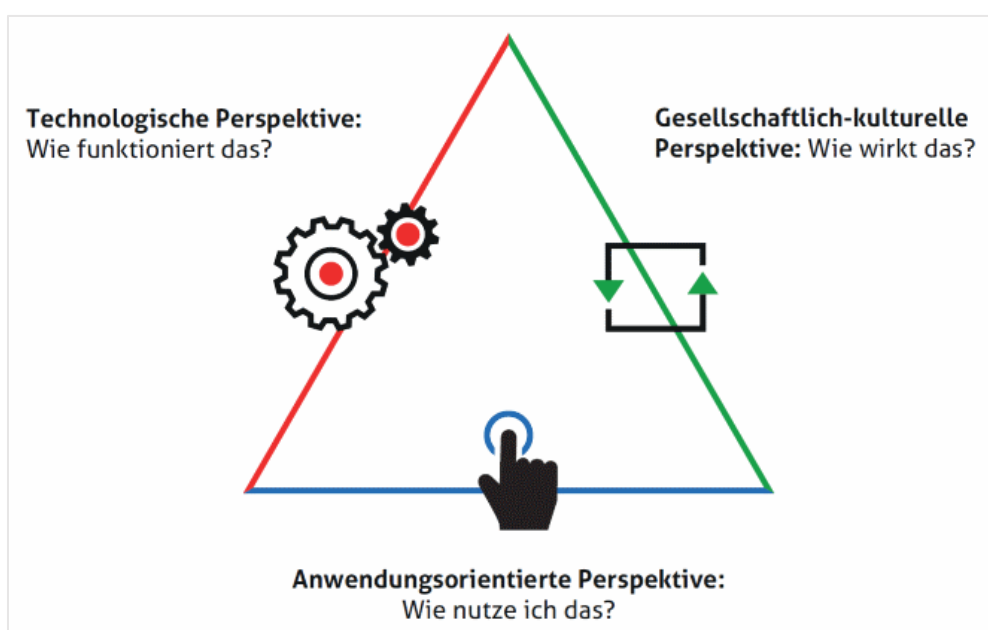


Abbildung 10: Das Dagstuhl-Dreieck der Gesellschaft für Informatik [231], © Beat Döbeli Honegger und Renate Salzmann 2018. Abbildung lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.

In der Dagstuhl-Erklärung wird besonders betont, dass in der heutigen Gesellschaft das Verständnis grundlegender Konzepte der digital vernetzten Welt unerlässlich ist [231]. Mit der technologischen Perspektive (*Wie funktioniert das?*) des Dagstuhl-Dreiecks wird die Funktionsweise digitaler Technologien somit explizit auch aus einer informatischen Sichtweise heraus betrachtet [132], was wiederum einen Anknüpfungspunkt für die bereits ausführlich dargelegte Kompetenz des Computational Thinking darstellt. Es wird deutlich: Im Unterricht geht es nicht nur darum, *mit* Medien zu lernen, sondern auch *über* Medien [3], wobei beim

Lehren und Lernen *über* Medien informatische Grundkenntnisse eine wichtige Rolle spielen [132]. Zwar gehen die für das Leben in der digitalen Welt erforderlichen Kompetenzen weit über informatische Grundkenntnisse hinaus [3], aber doch sind diese darin eingeschlossen. Auch das Strategiepapier „Bildung in der digitalen Wissensgesellschaft“ des BMBF fordert, dass in einer digitalen Medienkompetenz ein technisches Grundverständnis, welches Grundkenntnisse über die Funktionsweise digitaler Medien umfasst, enthalten sein muss [197]. Schließlich sollten Lehrkräfte dazu in der Lage sein, Chancen und Risiken der Digitalisierung, beispielsweise in den Handlungsfeldern *Künstliche Intelligenz* oder *Big Data* mit ihren Schülerinnen und Schülern zu diskutieren [199]. Unter Big Data versteht man die algorithmische Auswertung großer Datenmengen, mit Hilfe derer dann unter anderem personalisierte Werbung geschaltet werden kann [222]. Damit die Lernenden nachvollziehen können, welche Nutzungsdaten erhoben werden, wie diese weiterverarbeitet werden, und welche Konsequenzen daraus resultieren, sind informatische Grundkenntnisse unerlässlich [132].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kultur der Digitalität einen großen Einfluss auf die schulische Bildung und das Leben der Schülerinnen und Schüler ausübt. Lehrkräfte müssen über eine digitale Medienkompetenz verfügen, damit sie digitale Medien lernförderlich in den Unterricht zu integrieren und auch den Lernenden eine entsprechende Medienkompetenz vermitteln können. Um dies sicherzustellen, wird der Lehrkräftefortbildung eine entscheidende Rolle zugesprochen. Daher sollte auch bei der Konzeption neuer Fortbildungsangebote, die nicht per se den Umgang mit spezifischen digitalen Anwendungen einüben, stets die digitale Lebenswirklichkeit berücksichtigt werden. Diesem Aspekt soll daher in Experimento | 10+ im Zuge der Neukonzeption verstärkt Rechnung getragen werden.

4.4 Konzept des Blended Learning

Die Bitkom-Studie von 2019 [203] hat unter anderem erhoben, welche Fortbildungsformate unter den Lehrkräften besonders beliebt sind. Dabei wurden Blended Learning-Angebote mit 34 % knapp vor Präsenz-Blockseminaren am häufigsten als präferierte Form der Fortbildung angegeben [203]. Ähnliche Ergebnisse zeigt eine bereits 2008 durchgeführte Befragung von über 400 Lehrkräften durch FLORIAN [41], bei der zwar 45 % der Lehrkräfte für eine „klassische“ Präsenzveranstaltung votierten, allerdings fast genauso viele (43 %) angaben, Blended Learning als Form der Lehrkräftefortbildung zu favorisieren. Nur 8 % bevorzugten Online-Formate.

Blended Learning bedeutet wörtlich übersetzt zunächst einmal so viel wie „gemischtes Lernen“ (engl. to blend – mischen) [232]. „Gemischt“ werden können dabei ganz unterschiedliche Dinge, zum Beispiel verschiedene didaktische Arrangements, Methoden und Medien, aber

auch virtuelle und physische Räume [210,232]. Eine einheitliche Definition von Blended Learning besteht daher nicht [210,233]. Meist wird unter „Blended Learning“, zu Deutsch auch „hybrides Lernarrangement“ jedoch ein ganz bestimmtes Lehr-Lern-Konzept verstanden: Die sinnvolle Kombination von computergestützten Lernphasen und Präsenzveranstaltungen [13,234]. Hierbei wechseln sich Präsenzphasen und Online-Lernphasen in der Regel ab und nehmen aufeinander Bezug [210,233]. Blended Learning kombiniert also E-Learning mit face-to-face-Elementen [214] und wendet dabei verschiedene Methoden an [211]. Durch das Zusammenspiel erhofft man sich, die Vorteile beider Lehr-Lern-Formen nutzbar zu machen [233,234]. Nachdem es technisch möglich geworden war rein virtuelles E-Learning anzubieten, waren mit dieser Form des Lernens zunächst zahlreiche Hoffnungen verbunden, zum Beispiel eine höhere Flexibilität und Lerneffektivität. Allerdings konnten die Erwartungen nicht vollumfänglich erfüllt werden. Zudem verursacht E-Learning durch die Pflege der Online-Lernumgebungen hohe personelle und finanzielle Kosten [233]. Digitales Lernen sollte daher andere Lernformen nicht per se ersetzen. Die Vorteile hiervon kommen vielmehr vor allem dann zur Geltung, wenn mediengestützte Formate mit klassischen kombiniert werden [214]. So hat die Idee des Blended Learning an Bedeutung gewonnen, um die Vorzüge des selbstgesteuerten E-Learnings mit den sozialen, praktischen und kommunikativen Aspekten des gemeinsamen Präsenzlernens zu verbinden [232,233]. Durch online-gestützte Lernphasen können die Inhalte effektiv und flexibel erarbeitet werden. In den Präsenzphasen wird dann ein Erfahrungsaustausch [214] ermöglicht. KERRES & DE WITT (2003) konnten zeigen, dass durch die Verbindung von konventionellen und mediengestützten Lernformen einige Vorteile erzielt werden können. Beispielsweise steigt die Motivation der Teilnehmenden im Vergleich zum reinen E-Learning und auch die Abbruchquote ist geringer [zit. nach 214].

Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Umsetzung von Blended Learning. Eine davon ist die *Vorbereitungsvariante* [232]. Dabei werden bereits im Vorfeld einer Präsenzsitzung Online-Selbstlern-Angebote zur Verfügung gestellt, zum Beispiel in Form eines Web-Based-Trainings. Bezogen auf Lehrkräftefortbildungen kann die Erarbeitung erster Inhalte vorab dazu beitragen, das Vorwissen der teilnehmenden Lehrkräfte auf ein einheitliches Niveau zu bringen sowie bereits vorhandenes Wissen zu reaktivieren. Des Weiteren werden die Lehrkräfte durch die vorgeschaltete Online-Phase dazu angeregt, erste eigene Ideen mit in die Präsenzveranstaltung zu bringen [232]. In der Präsenzphase selbst kann dann eine umso vertiefere Auseinandersetzung mit den Lerninhalten stattfinden. Außerdem wird das Präsenzlernen dadurch inhaltlich entzerrt [235]. Eine andere Herangehensweise ist die *Nachbereitungsvariante*. Hier erhalten die Teilnehmenden im Nachgang der Präsenzveranstaltung beispielsweise geeignete Transferaufgaben, um die Inhalte durch Übung zu festigen [232]. Bei der *Rahmungs- und Wechselvariante* folgen mehrere Online- und Präsenzphasen aufeinander, sodass die jeweiligen Präsenzsitzungen durch eine virtuelle Vor-

und Nachbereitung gerahmt sind [232]. Neben weiteren Möglichkeiten existiert auch die *arbeitsintegrierte Variante*. Dabei werden unter Nutzung von Laptops, Tablets oder Smartphones mediale Aktivitäten direkt in die Präsenzsituation einbezogen. Eine räumliche und zeitliche Trennung von analogen und digitalen Aktivitäten ist hier nicht mehr erforderlich [232]. Wie genau „Blended Learning“ also aussieht, lässt sich allein aus dem Begriff nicht ableiten; es ist eine Vielzahl an Lernumgebungen denkbar [211]. Dabei ist zu beachten, dass die bloße Kombination von Online- und Präsenzlernen noch kein didaktisch sinnvolles Arrangement darstellen muss. Vielmehr ist darauf zu achten, dass die verschiedenen Lernorte und -aktivitäten sinnvoll zusammenwirken und entsprechend verknüpft sind [214]. Um diese Abstimmung zu erreichen, muss Blended Learning daher sorgfältig geplant werden [211]. Wird beispielsweise ein Online-Element zu einer Präsenzveranstaltung hinzugefügt, dann darf dies kein bloßes „Add-on“ zu den bisherigen Lerninhalten sein, sondern das gesamte Lernangebot muss neu arrangiert werden [214].

Blended Learning-Ansätze sind auch für den Schulunterricht ein praktikables Konzept [236]. Eine Form des Blended Learning, die häufig im Schulkontext genannt wird, ist der sogenannte „Flipped Classroom“, also „umgedrehter“ Unterricht [237], welcher ungefähr der oben beschriebenen Vorbereitungsvariante entspricht. Flipped Classroom, oder im deutschen Sprachraum auch als „Inverted Classroom“ bezeichnet [238], kombiniert demnach ebenfalls Online- und Präsenzelemente [214]. Dabei werden die geläufigen Phasen „Stoff erarbeiten“ und „Festigen durch Übungen“ vertauscht [237]. Die Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich also bereits vorab, beispielsweise zu Hause, eigenständig mit den Unterrichtsinhalten. Dies geschieht meist in Form von Lernvideos oder interaktiven Materialien, welche über das Internet bereitgestellt werden. Während der Unterrichtsstunde selbst werden diese Inhalte dann eingeübt und diskutiert. Dabei steht die Lehrkraft den Lernenden unterstützend zur Seite [237]. Der Vorteil der vorgeschalteten Erarbeitungsphase liegt darin, dass die Schülerinnen und Schüler oder allgemein die lernenden Personen sehr flexibel in der örtlichen und zeitlichen Ausrichtung des Lernprozesses sind. Sie können in dem für sie angemessenen Lerntempo vorgehen, dabei auch Unterbrechungen einlegen, Inhalte erneut bearbeiten oder zusätzliche Informationen recherchieren [214,237].

Ein besonders großes Potenzial scheint Blended Learning für die Erwachsenenbildung zu bieten. Verschiedene Metaanalysen weisen darauf hin, dass durch die Kombination von konventionellem und computergestütztem Lernen die besten Effekte und deutliche Vorteile in der Weiterbildung erzielt werden können [210,214]. Auch GANZ & REINMANN kommen zu dem Schluss, dass „die Mischung aus online-gestütztem Lernen einerseits und Präsenz-Elementen andererseits [...] ein gangbarer und sinnvoller Weg auch in der Lehrerfortbildung [ist]“ [239]. Zudem fordert die KMK in ihrem Papier „Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ [199], dass hybride Formate der Lehrkräftebildung ausgebaut werden sollen.

Besonders Fortbildungsangebote, die zum Ziel haben, dass Lehrkräfte „medienkompetenter“ werden, sollten auch selbst mit digitalen Medien arbeiten. Dies lässt sich durch Blended Learning-Angebote gut erreichen [240]. Mit Blended Learning besteht die Möglichkeit, digitalen Medien nicht nur inhaltlich Rechnung zu tragen, sondern dies auch in die methodische Konzeption einzubeziehen [239]. Auch LIPOWSKY & RZEJAK [4] bekräftigen, dass Fortbildungen, die beabsichtigen, Lehrkräfte zu einem wirksamen digital gestützten Unterricht zu befähigen, dies auch in der Art der Fortbildungsdurchführung berücksichtigen sollten. Dazu sind neben Online- vor allem Blended Learning-Formate mit digital gestützten Angeboten das Mittel der Wahl. Darüber hinaus bieten Fortbildungen in einem Flipped Classroom-Format auch hinsichtlich einer angemessenen Fortbildungsdauer einige Vorteile. So können die Lehrkräfte während der asynchronen digitalen Phase Inhalte flexibel erarbeiten und diese dann anschließend gemeinsam mit anderen Teilnehmenden diskutieren, reflektieren und praktisch anwenden [4].

Für die erfolgreiche Teilnahme an Blended Learning-Fortbildungen ist eine gewisse Grundkompetenz im Umgang mit digitalen Medien Voraussetzung [233]. Allerdings lassen sich durch Blended Learning-Formate wiederum Kompetenzen beispielsweise in den Bereichen *Bedienen und Anwenden digitaler Medien* oder *Suchen und Verarbeiten von Informationen mit Hilfe digitaler Medien*, wie sie von der Forschungsgruppe Digitaler Campus Bayern in Anlehnung an die KMK gefordert werden [223], schulen. Darüber hinaus kann in der Fortbildung auch die Methode des Blended Learning selbst zum Inhalt werden [232], was die Lehrkräfte möglicherweise dazu ermuntert, derartige Arrangements auch mit ihren Schülerinnen und Schülern umzusetzen.

Aus den genannten Gründen, dabei insbesondere

1. den vielversprechenden Potenzialen von Blended Learning-Formaten für die Erwachsenenbildung,
2. der Möglichkeit zur Flexibilisierung von Lernprozessen durch E-Learning-Anteile sowie
3. dem Ruf nach mehr Blended Learning-Angeboten in der Lehrkräftebildung und
4. dem Anspruch, bei der Gestaltung von Lehrkräftefortbildungen dem digitalen Wandel nicht nur inhaltlich, sondern auch konzeptionell Rechnung zu tragen

wurde entschieden, die Experimento | 10+ Fortbildung im Zuge der Neukonzeption als Blended Learning-Format zu gestalten. Darüber hinaus bietet dieses Format an sich zumindest indirekt das Potenzial, die allseits geforderten digitalen Medienkompetenzen von Lehrkräften zu adressieren.

Das Blended Learning-Konzept dürfte speziell für den Bereich der Fortbildung von Chemielehrkräften ein relatives Novum darstellen, da bisher kaum Angebote in diesem Format

vorliegen. In der Literatur findet sich neben der bereits erwähnten Fortbildung mit E-Learning und Labortag von ALJANAZRAH & BADER [32] noch ein weiterer Vorschlag für eine Blended Learning-Fortbildung für Chemielehrkräfte. Dieser stammt aus derselben Arbeitsgruppe, nun von WEIß & BADER [215]. Die von ihnen 2010 vorgestellte Lehrkräftefortbildung besteht aus zwei Präsenzphasen und einer dazwischenliegenden Online-Phase. Seitdem scheint es aber bis dato in dieser Richtung keine wesentlichen weiteren Vorstöße mehr gegeben zu haben.

5 Konzeption der Lehrkräftefortbildung

Wie einleitend bereits dargestellt, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Fortbildung zu Experimento | 10+ grundlegend umgestaltet und in ein Blended Learning-Format mit Online- und Präsenzphasen überführt. Die Neukonzeption der Fortbildung beruht im Wesentlichen auf folgenden Gründen:

1. Die bereits seit einem Jahrzehnt bestehende Lehrkräftefortbildung sollte inhaltlich aktualisiert werden, um derzeitige Anforderungen an die schulische Bildung besser abbilden zu können. Da den meisten Lehrkräften die Methoden, auf die in der Fortbildung neben dem Experimentieren bisher ein Schwerpunkt gelegt wurde, also Stationenlernen, Aufgaben, Methodenwerkzeuge und kooperatives Lernen, zumindest grundsätzlich geläufig sein dürften, wurde dieser Inhaltsbereich zugunsten neuer Aspekte abgeschwächt. Es sei aber darauf hingewiesen, dass die genannten Methoden nicht völlig aus der Fortbildung entfernt wurden, sondern nur nicht mehr so umfassend thematisiert werden, um Raum für aktuelle Themen des Bildungswesens zu gewinnen.
2. Ein weiterer Grund für die Neukonzeption liegt in den tiefgreifenden Veränderungen des schulischen Lehrens und Lernens durch die Digitalität. Mit der Überarbeitung soll die Fortbildung Experimento | 10+ diese neuen Anforderungen zumindest in Ansätzen adressieren, um einen Beitrag dazu zu leisten, die Lehrkräfte zum Unterrichten in der digitalen Welt zu befähigen. Wie die bereits vorgestellten Rahmenpapiere und -modelle (siehe Kapitel 4.3) verdeutlichen, wird dies schließlich auch von bildungspolitischer Seite gefordert.
3. Eng verbunden mit dem vorherigen Punkt ist der Wunsch nach einem zeitgemäßen Format der Fortbildung. Unter Nutzung der Potenziale der Digitalisierung wurde das Angebot in ein Blended Learning-Konzept überführt. Die bisherigen Präsenzzeiten wurden etwas reduziert, um stattdessen flexibel bearbeitbare digitale Lernmodule anbieten zu können. Der wesentliche Kern von Experimento | 10+, die praktische Erprobung von Schülerexperimenten zu Energie, Umwelt und Gesundheit, wurde indessen bewusst als Präsenzveranstaltung beibehalten.

Im Folgenden wird nun die Neukonzeption der Blended Learning-Fortbildung detailliert dargelegt. Dazu wird zunächst ein Überblick über die Art und Weise der Ausgestaltung des Blended Learning-Formats gegeben, bevor anschließend die Online-Module sowie der Ablauf der Präsenzphasen eingehend beschrieben werden. Die bereits geschilderten grundlegenden empirischen und theoretischen Befunde zur Gestaltung von möglichst lernwirksamen Lehrkräftefortbildungen im Allgemeinen und insbesondere für die naturwissenschaftlichen Fächer werden dabei – im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten – stets berücksichtigt.

5.1 Umsetzung des Blended Learning-Formats

Die Fortbildung zu Experimento | 10+ im Blended Learning-Format besteht in der neu konzipierten Form nun aus digitalen und analogen Phasen, die sich miteinander abwechseln.

Da die praktischen Inhalte weiterhin an zwei, etwas verkürzten, Präsenztagen vermittelt werden, war im Vorfeld des Konzeptionsprozesses konkret abzuwägen, ob die beiden Fortbildungstage künftig direkt aufeinander folgen, oder durch eine mehrwöchige Pause mit ersten Gelegenheiten zum Erproben der Inhalte in der Unterrichtspraxis unterbrochen werden sollen. In der bisherigen Umsetzungsform von Experimento | 10+ war zwar grundsätzlich angedacht, dass sich die Fortbildungsreihe über eine längere Zeit erstreckt [196]. Manche Multiplikatorinnen und Multiplikatoren haben Experimento | 10+ aber dennoch gebündelt an zwei aufeinanderfolgenden Tagen angeboten. Für diese Variante sprechen einige ganz praktische Gründe: So ist beispielsweise nur eine einmalige Anfahrt der Teilnehmenden erforderlich und für die Fortbildnerinnen und Fortbildner ist der organisatorische Aufwand bei einer zusammenhängenden Veranstaltung geringer. Außerdem besteht bei einer zeitlich verteilten Lehrkräftefortbildung die Gefahr des zwischenzeitlichen Drop-Outs einiger Teilnehmender. Als Grund für die kompakte Gestaltung wurde von den *Experimento*-Multiplikatorinnen und Multiplikatoren darüber hinaus der Aspekt genannt, dass solche Angebote von den Schulleitungen erfahrungsgemäß leichter genehmigt würden und verteilte Fortbildungen eher unüblich seien. Weiterhin ermöglichen zwei aufeinanderfolgende Präsenztage mit einer gemeinsamen Abendgestaltung und Übernachtung aller Teilnehmenden in einem Hotel o. Ä. einen weitaus intensiveren kollegialen Austausch zwischen den Lehrkräften. Dieser wird nicht nur allgemein gewünscht, sondern auch als wichtige Determinante des Fortbildungserfolgs erachtet [4,35]. Umgekehrt ist mit der Schaffung von Übernachtungsmöglichkeiten ein höherer Organisationsaufwand verbunden.

Entscheidender aber als die vorgebrachten, zum Teil sehr pragmatischen Argumente, sind allerdings lerntheoretische Abwägungen. So lässt sich im Gegensatz zu zwei aufeinanderfolgenden Präsenztagen bei einer dazwischenliegenden Pause die von LIPOWSKY & RZEJAK [8] geforderte Verschränkung von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen leichter realisieren, weil die Lehrkräfte nach dem Input einer ersten Online- sowie Präsenzphase in der Zwischenzeit die Gelegenheit haben, bereits erste Experimente sowie weitere Inhalte aus *Experimento* im Unterricht zu erproben und im Anschluss am zweiten Präsenztage darüber zu reflektieren. Zusätzlich kann durch ein verteiltes Blended Learning-Arrangement vermieden werden, dass den Teilnehmenden in einer geblockten Präsenzveranstaltung zu viel Inhalt vermittelt wird, auf den anschließend kein Bezug mehr genommen werden kann [13]. Durch das Format mit dazwischenliegender Pause findet hingegen ein verteiltes Lernen statt, welches nach Ergebnissen der Lehr-/Lernforschung eine hohe Wirksamkeit aufweist (siehe

HATTIE, 2009 [zit. nach 241]). Mit einem verhältnismäßig ausgedehnten Fortbildungsformat kann Experimento | 10+ darüber hinaus auch eher dem Anspruch gerecht werden, Lehrkräftefortbildungen nicht als One-Shot-Veranstaltungen anzubieten [35]. Daher wurde sich bei der neu konzipierten Fortbildung schlussendlich bewusst dafür entschieden, zwischen die beiden Präsenzveranstaltungen eine Pause von mindestens vier Schulwochen einzubauen.

Im Sinne des Flipped Classroom [237] oder auch der Vorbereitungsvariante [232] findet dabei bereits vor der ersten Präsenzveranstaltung eine digitale Vermittlungsphase in Form von Online-Selbstlern-Modulen statt. Um die selbstgesteuerte Erarbeitungsphase zu ermöglichen, wird den Lehrkräften ungefähr eineinhalb bis zwei Wochen vor der ersten Präsenzveranstaltung der Zugang zur Online-Anwendung erläutert. Das Absolvieren der Module ist im Anschluss zeitlich und örtlich flexibel. Sie können jederzeit unterbrochen und zu einem späteren Zeitpunkt weiterbearbeitet werden. Die Online-Module sollen ein gemeinsam geteiltes Vorwissen und eine Diskussionsgrundlage schaffen [169]. Außerdem regen sie dazu an, bereits Ideen zur konkreten Umsetzung von *Experimento* zu generieren, indem die Teilnehmenden am Ende des jeweiligen Online-Moduls dazu aufgefordert werden, erste Gedanken für die praktische Umsetzung der behandelten Inhalte in Zusammenspiel mit den Versuchen aus Experimento | 10+ zu sammeln.

In der Präsenzphase werden die Inhalte des jeweiligen Online-Moduls wieder aufgegriffen, diskutiert, reflektiert und bei der Erprobung der Versuche aus Experimento | 10+ praktisch angewendet sowie vertieft [13]. Durch die vorherige digitale Vermittlung zentraler theoretischer Grundlagen wird die Präsenzveranstaltung inhaltlich entzerrt. Dadurch sollen ausreichend Gelegenheiten zur praktischen Durchführung der Experimente zur Verfügung stehen.

In der Pause zwischen den beiden Präsenztagen können die Lehrkräfte bereits erste Inhalte aus Experimento | 10+ in ihrem Unterricht einsetzen. Zudem haben sie so die Gelegenheit, das zweite interaktive Online-Modul in Vorbereitung auf die nächste Präsenzveranstaltung zu absolvieren. So lässt sich auch eine alternierende Abfolge von analogen und digitalen Phasen, welche im weitesten Sinne der Wechselvariante von Blended Learning entspricht [232], gut realisieren.

In der zweiten Präsenzphase ist wiederum eine Diskussion und Reflexion über die Inhalte des Online-Moduls vorgesehen. Zusätzlich können sich die Lehrkräfte im Sinne der Reflexionsphase untereinander über die bereits im Unterricht mit *Experimento* gemachten praktischen Erfahrungen austauschen. Darüber hinaus findet auch am zweiten Präsenztage wieder eine intensive laborpraktische Erprobung der Schülerexperimente durch die Lehrkräfte statt. Während der Durchführung werden erneut die Inhalte des vorgeschalteten Online-Moduls berücksichtigt.

Nach erfolgreichem Absolvieren der gesamten Veranstaltung (siehe Abbildung 11) erhalten die Teilnehmenden die Möglichkeit, einmalig kostenlos Experimentiermaterial für Experimento | 10+ in einem Online-Shop zu bestellen. Dadurch soll die Übertragbarkeit der Schülerexperimente in die Unterrichtspraxis weiter erleichtert werden.

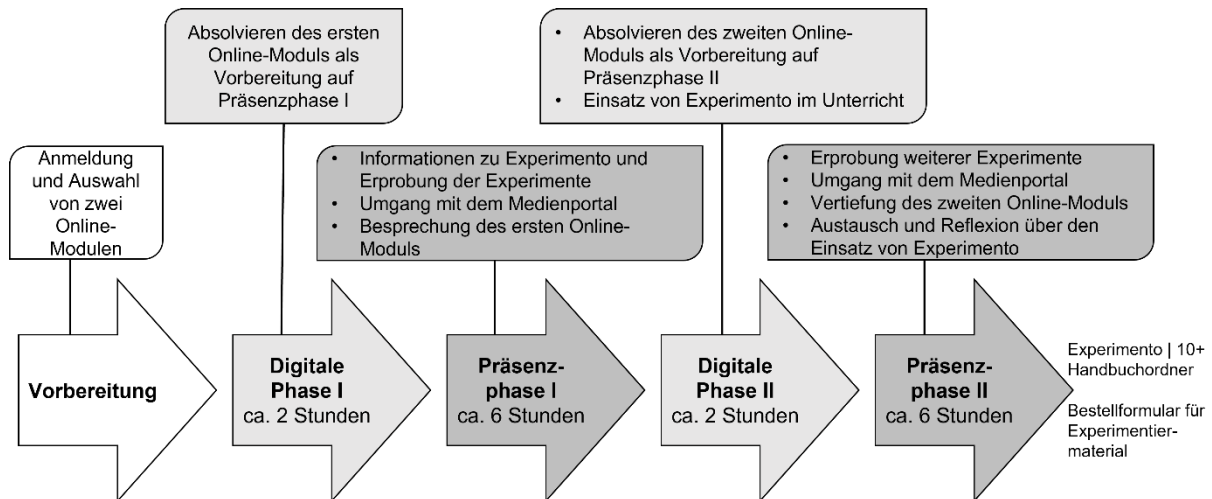


Abbildung 11: Ablauf der Blended Learning-Fortbildung (eigene Darstellung nach [14])

Insgesamt werden für die digitalen Phasen drei fakultative Elemente angeboten. Diese sind insofern fakultativ, als dass im Zuge der Fortbildung von den drei verfügbaren Online-Modulen nur zwei durch die teilnehmenden Lehrkräfte bearbeitet werden müssen [242]. Wie aus Abbildung 11 hervorgeht, geben die Lehrkräfte bei der Anmeldung an, welche zwei der drei angebotenen Elemente sie bevorzugen. Zur Wahl stehen, wie bereits angesprochen, Wertebildung, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. In einer Mehrheitsentscheidung wird dann festgelegt, welche beiden Online-Module von allen Teilnehmenden zu bearbeiten sind. Damit soll sichergestellt werden, dass sich die inhaltliche Ausrichtung der Fortbildung an den Bedürfnissen der Lehrkräfte orientiert. Allerdings steht es allen Teilnehmenden frei, das dritte Online-Modul, welches nicht explizit während der Fortbildung thematisiert wird, zusätzlich in Selbstarbeit zu absolvieren, da der Zugriff auf die fakultativen Elemente nicht beschränkt ist [13]. Die Reihenfolge der zu bearbeitenden Module ist prinzipiell beliebig wählbar, allerdings wird empfohlen, mit „Wertebildung“ oder „Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht“ zu starten, da hier Hintergründe zum didaktischen Prinzip des Forschenden Lernens, an dem sich *Experimento* orientiert, vertiefter behandelt werden als bei CT.

Sowohl in den interaktiven Online-Modulen als auch während der Präsenzveranstaltungen wird immer wieder auf das Medienportal und die darin enthaltenen digitalen Unterrichtsmaterialien für die MINT-Fächer verwiesen. In diesem Sinne kann hinsichtlich des gewählten Blended Learning-Formats für die Präsenzphasen auch von einer

arbeitsintegrierten Variante [232] gesprochen werden, da die Lehrkräfte während der Veranstaltung stets zusätzlich digitale Inhalte aus dem Medienportal einbeziehen sollen.

Insgesamt ergibt sich die Vernetzung zwischen digitalen und analogen Phasen dadurch, dass die Lehrkräfte die digital selbstgesteuert erarbeiteten Themen mit den Experimenten verknüpfen und die Inhalte der Online-Module während den Präsenzveranstaltungen praktisch anwenden [178]. Außerdem dürfte die Fortbildung durch die derartige Gestaltung vielen Wünschen auf Nutzenden-Seite gerecht werden. Durch das Blended Learning-Format steht auch ohne gemeinsame Übernachtung ausreichend Zeit zum Austausch unter Kolleginnen und Kollegen zur Verfügung. Mit den analogen und digitalen Versuchsbeschreibungen zu *Experimento* erhalten die Lehrkräfte darüber hinaus konkrete Unterrichtsmaterialien [35]. Des Weiteren berücksichtigt die Fortbildung die häufig von Chemielehrkräften geäußerten Erwartungen nach schulrelevanten Experimenten und der Mitnahme von neuen Materialien für den Unterricht [25], insbesondere, da die Teilnehmenden von der Siemens Stiftung kostenlose Experimentiermaterialien erhalten.

5.2 Gestaltung der digitalen Phasen der Lehrkräftefortbildung

Die neu konzipierten digitalen Module sind in einer speziell hierfür aufgesetzten Online-Anwendung auf dem Medienportal der Siemens Stiftung verankert. Um Zugriff auf diese zu erhalten, ist aus datenschutzrechtlichen Gründen eine Registrierung erforderlich.

Wie in Abbildung 12 gezeigt, befinden sich auf der Startseite der Online-Anwendung fünf inhaltliche Kacheln. Davon ist besonders die Kachel oben in der Mitte relevant: Hier gelangt man zum „Herzstück“ der Online-Anwendung, den Modulen zu Wertebildung, Inklusion und sprachsensiblen Fachunterricht sowie Computational Thinking. Darüber hinaus ist noch die Kachel „Methoden und Materialien“ von besonderem Interesse, da dort die Unterrichtsmaterialien, die in den einzelnen Online-Modulen vorgestellt oder verwendet werden, nochmals gebündelt sind. Außerdem findet sich hier eine Zusammenfassung der Methoden Stationenlernen, Aufgaben, Methodenwerkzeuge und kooperative Lernformen, sodass für die Lehrkräfte, die damit noch nicht vertraut sind, weiterhin entsprechende Hintergrundinformationen zur Verfügung stehen.



Abbildung 12: Startseite der Online-Anwendung (Screenshot von <https://medienportal.siemensstiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus>), © Siemens Stiftung

Im Folgenden wird die mediendidaktische und inhaltliche Gestaltung der Online-Lernmodule näher betrachtet.

5.2.1 Mediendidaktische Gestaltung der digitalen Phasen

Die technische Umsetzung der digitalen Phasen erfolgte mittels einer Software zur Erstellung von Web-Based-Trainings der Firma *Lokando*. Diese ermöglicht eine attraktive Benutzungsoberfläche und das Einbinden verschiedener interaktiver Elemente.

So wurden die Inhalte der Online-Module zum Beispiel mit Wendekarten, interaktiven Aufzählungen oder Slidern aufbereitet (Beispiele siehe Abbildung 13). Auch interaktive Übungsaufgaben und weitere Aufgabenstellungen zur Vertiefung der Inhalte wurden eingebunden, beispielsweise mit Single- und Multiple-Choice-Aufgaben, Zuordnungsübungen (Drag & Drop) oder Lückentexten (Beispiele siehe Abbildung 14).



Abbildung 13: Beispiele für interaktive Wendekarten (oben links), eine interaktive Aufzählung (oben rechts) und einen Slider (unten), Screenshots von <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus>, © Siemens Stiftung/Eberhard Karls Universität Tübingen, Didaktik der Chemie

Werte in Experimento | 10+

Werte haben auch in Experimento eine große Bedeutung. Aus einer Vielzahl von Werten wurde speziell für Experimento | 10+ eine Auswahl von zehn Werten getroffen, die hierfür als zentral erachtet werden. Je nach Thematik des Experiments kommen einzelne Werte unterschiedlich zum Einsatz. Nachfolgend werden diese erläutert.

Ziehen Sie die Satzkarten in die entsprechenden Felder.

Offenheit	unterschiedliche Meinungen anerkennen	<input checked="" type="checkbox"/>
Eigenaktivität		<input type="checkbox"/>
Verantwortungsübernahme	Zukunftsorientierte Entwicklung durch Erhalt von Umwelt und Lebensqualität	<input checked="" type="checkbox"/>
Teamorientierung	effektiv und erfolgreich zusammenarbeiten	<input checked="" type="checkbox"/>
Toleranz		<input type="checkbox"/>
Zuverlässigkeit		<input type="checkbox"/>
Solidarität	Zusammenhalt und gegenseitige Unterstützung in der Gesellschaft	<input checked="" type="checkbox"/>
Umweltbewusstsein	die Umwelt schonen und umweltbewusst handeln	<input checked="" type="checkbox"/>
Nachhaltigkeit		<input type="checkbox"/>
Gesundheitsbewusstsein	den Körper kennen und für seine Gesundheit sorgen	<input checked="" type="checkbox"/>

Rufen Sie sich die Unterrichtseinheit nochmal ins Gedächtnis. Wählen Sie bitte die Schritte des Forschungskreises aus, die hier thematisiert wurden.

- Ideen und Vermutungen sammeln
- Experimentieren
- Auswerten und Reflektieren
- Problem/Phänomen erkennen
- Wertebezug herstellen
- Beobachten und Dokumentieren
- Forschungsfrage formulieren
- Weiterforschen
- Technikbezug herstellen

Hinweis: Es können mehrere Antworten richtig sein.

Eine andere Möglichkeit im Umgang mit unterschiedlicher ist die Differenzierung nach Anforderungsniveaus. Bei unterschiedlichen Lerntempi kommt häufig eine Differenzierung zum Einsatz.

Eine weitere Heterogenitätsdimension ist die Sprache. Mit inklusivem Unterricht ist deshalb der sogenannte Fachunterricht eng verbunden. Dabei werden unter anderem zur Sprachförderung eingesetzt.

Prüfen

Abbildung 14: Beispiele für die interaktiven Übungen Drag & Drop (oben links), Multiple-Choice-Aufgabe (oben rechts) und Lückentext (unten), Screenshots von <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus>, © Siemens Stiftung/Eberhard Karls Universität Tübingen, Didaktik der Chemie

Generell wurde bei der Gestaltung der Online-Module darauf geachtet, möglichst kurze, prägnante Texte zu formulieren und diese mit Bildern oder interaktiven Elementen anzureichern. Darüber hinaus wurde das Medium Video einbezogen. Dazu wurden für das Modul „Inklusion und sprachsensibler Unterricht“ ein Videointerview mit zwei engagierten Lehrkräften zum Thema Inklusion im MINT-Unterricht und für das Modul „Computational Thinking“ mehrere Erklärvideos erstellt.

Die Erklärvideos dienen der Veranschaulichung der Problemlösekompetenz CT für die teilnehmenden Lehrkräfte. Weil der Zugriff auf die Online-Anwendung aber – nach einmaliger Registrierung – nicht beschränkt ist, können die Erklärvideos ebenso im Schulunterricht eingesetzt werden, wenn CT dort explizit thematisiert werden soll [178]. Die Erklärvideos im Online-Modul zu CT sind im Stil animierter Whiteboard-Videos gehalten (siehe Abbildung 15) und wurden mit Hilfe der Software *Doodly* erstellt. Die Videos wurden Untertitelt und zusätzlich mit separat eingesprochenen erklärenden Texten hinterlegt.



Abbildung 15: Ausschnitt aus einem Erklärvideo zu Computational Thinking (Screenshot von <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/3.2.3-videobeispiel-zu-problem-verstehen>), © Siemens Stiftung, Urheberin: Lisa Knie

In allen drei Modulen, vor allem bei Wertebildung und Inklusion, kommen darüber hinaus eigens angefertigte Unterrichtsvideos zum Einsatz. Bei der Erstellung dieser hat, ebenso wie bei dem bereits erwähnten Videointerview, eine enge Zusammenarbeit mit der *Unterrichtsmitschau* der Ludwig-Maximilians-Universität stattgefunden. Die gezeigten Unterrichtsmitschnitte bedingen auch die erforderliche Registrierung auf dem Medienportal, da so zum Schutz der Persönlichkeitsrechte abgefragt werden kann, ob die interessierte Person im Bildungsbereich tätig ist und damit ein pädagogisch begründetes Interesse an den Videos aufweist. Die präsentierten Unterrichtseinheiten wurden zunächst in enger Abstimmung mit den jeweiligen Lehrkräften erarbeitet und anschließend durch die

Unterrichtsmitschau videographiert. Laut LIPOWSKY zeigt sich, dass sich für die Reflexion des eigenen oder fremden Unterrichts einzelne Videoausschnitte vor dem Hintergrund einer konkreten Fragestellung besser eignen, als die Nutzung von Videos ganzer Unterrichtsstunden [6]. Daher wurden prägnante Szenen ausgewählt, diese zur Sicherstellung der Barrierefreiheit aufwendig untertitelt und in die Online-Anwendung eingebettet. Dabei wurden den Videoclips stets (Reflexions-)Aufgaben zur Aufmerksamkeitslenkung [13] vorangestellt (Beispiel siehe Abbildung 16).



Abbildung 16: Ausschnitt aus einer im Rahmen von Experimento | 10+ videographierten Unterrichtseinheit (Screenshot von <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/1.3.8-videobeispiel-zur-impulsaussage>), © Siemens Stiftung/Ludwig-Maximilians-Universität München

Generell können Unterrichtsmitschnitte verschiedene Funktionen einnehmen. Werden modellhafte Unterrichtsstunden videographiert, dienen diese als Best-Practice-Beispiele und vermitteln im Sinne des *Lernens am Modell* den Lehrkräften neue Unterrichtsideen. Eine andere Variante ist die Videographie alltäglicher Unterrichtssituationen. Dies dient insbesondere der Schulung der Wahrnehmung, Interpretation und Reflexion von Unterricht. Eine dritte Möglichkeit ist das Zeigen von kritischen Unterrichtssituationen, was die Lehrkräfte zur Entwicklung alternativer Handlungsstrategien ermuntert. Darüber hinaus kommen Unterrichtsvideos als Forschungsinstrument im Zuge von Videostudien zum Einsatz [7,243,244].

In Experimento | 10+ wurde darauf Wert gelegt, Videos authentischer und realitätsnaher Unterrichtssituationen zu zeigen, um den Lehrkräften exemplarisch die Umsetzbarkeit der Inhalte in der alltäglichen Unterrichtspraxis zu veranschaulichen. Damit dienen die verwendeten Unterrichtsvideos in erster Linie als Good-Practice-Beispiele, bieten zum Teil aber auch Diskussionsanlässe, die die teilnehmenden Lehrkräfte dazu anregen, über

alternative didaktische Handlungsmöglichkeiten nachzudenken [244] und aus der Analyse der Unterrichtsvideos Optimierungsvorschläge sowie Folgerungen für das eigene Handeln abzuleiten [245,246]. Außerdem soll durch die Verwendung der Unterrichtsvideos der Theorie-Praxis-Bezug der Fortbildung gestärkt werden [244]. Weiterhin wird damit dem von MANDL & KOPP geforderten Prinzip der Authentizität und des Anwendungsbezugs bei der Gestaltung digitaler Lernumgebungen in Blended Learning-Szenarien entsprochen [233]. Ein hoher Schulbezug der Fortbildungsinhalte wird schließlich von den Lehrkräften als sehr wichtig erachtet [25]. Auch LIPOWSKY schreibt Unterrichtsvideos ein großes Potenzial für die Lehrkräftebildung zu, da diese eine anregende und authentische Lerngelegenheit darstellen [6] und, weil sie wiederholt abgespielt werden können, im Vergleich zu direkten Unterrichtsbeobachtungen nicht so „flüchtig“ sind [6,245].

5.2.2 Inhalte und Ziele der digitalen Phasen

Im Zuge der Überarbeitung der Experimento | 10+ Fortbildung hat neben der Überführung in ein zeitgemäßes Format auch eine inhaltliche Aktualisierung stattgefunden. Die aktuellen Themen des Bildungswesens Wertebildung, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking sind nun Teil der Lehrkräftefortbildung. Der Aspekt der „Wertebildung“ wurde zunächst aufgrund der Zielsetzung der Siemens Stiftung, den Schülerinnen und Schülern eine naturwissenschaftlich-technische und *werteorientierte* Bildung zu vermitteln [192], berücksichtigt. Darüber hinaus ist die Wertebildung bisher nur selten Thema in Fortbildungen [86], obwohl sie, wie in Kapitel 3.3 dargestellt, eine hohe Bedeutung für die Schule allgemein und für den naturwissenschaftlichen Unterricht im Besonderen aufweist. Diesem Mangel soll mit Experimento | 10+ Abhilfe geschaffen werden. Ziel des Moduls ist es, die Lehrkräfte dazu zu motivieren, Aspekte der Wertebildung künftig stärker in ihren naturwissenschaftlichen Unterricht einfließen zu lassen. Auch die Gestaltung eines inklusiven MINT-Unterrichts ist für die Siemens Stiftung schon seit längerer Zeit ein wichtiges Anliegen [247]. Mit dem neu gestalteten Online-Modul wird ein didaktischer Rahmen geschaffen, der die Teilnehmenden dazu ermuntern soll, verstärkt verschiedene praxisnahe und pragmatische Methoden zur Binnendifferenzierung einzusetzen (siehe Kapitel 3.4.2 und 3.4.3). Dies soll dazu beitragen, den naturwissenschaftlichen Unterricht inklusiver zu gestalten und als Lehrkraft besser mit der alltäglichen Leistungsheterogenität und auch der sprachlichen Heterogenität unter den Schülerinnen und Schülern umgehen zu können. Das Thema „Computational Thinking“ hingegen ist im Zuge der Überarbeitung gänzlich neu hinzugekommen. Mit diesem Modul soll dem Aspekt Rechnung getragen werden, dass die Problemlösekompetenz CT, wie in Kapitel 3.5 ausführlich dargestellt, vor dem Hintergrund des Lebens in der Digitalität zuletzt stark an Bedeutung gewonnen hat. Im Rahmen der Fortbildung

erhalten die Lehrkräfte daher eine theoretische Einführung zu CT sowie erste Ideen für die Umsetzung im Unterricht.

Insgesamt sind alle Online-Module so gestaltet, dass sie sowohl einführende theoretische Inhalte als auch konkrete Unterrichtsmaterialien umfassen. Dazu wurden beispielsweise digitale Arbeitsblätter aus dem Medienportal direkt in die Module eingebunden. Im Folgenden werden die konkreten Inhalte der neu gestalteten Online-Module näher vorgestellt.

5.2.2.1 Wertebildung

Da eine Vielzahl an Werten existiert, wurden für Experimento | 10+ auf Grundlage eines Konzeptpapiers von MANDL ET AL. [92] zehn spezifische Werte ausgewählt (siehe Tabelle 6). Diese Werte werden im Leitfaden „Naturwissenschaften, Technik und Werte“ [248] für Experimento | 10+, der auf dem genannten Konzeptpapier beruht, wie folgt beschrieben:

Tabelle 6: Werte in Experimento | 10+ [249]

Offenheit	Aufgeschlossen sein gegenüber Neuem.
Eigenaktivität	Selbst aktiv werden.
Verantwortungsübernahme	Konsequenzen für eigene Entscheidungen und eigenes Handeln übernehmen.
Teamorientierung	Effektiv und erfolgreich zusammenarbeiten.
Toleranz	Unterschiedliche Meinungen anerkennen.
Zuverlässigkeit	Verbindliche Vereinbarungen einhalten.
Solidarität	Zusammenhalt und gegenseitige Unterstützung in der Gesellschaft verstehen.
Umweltbewusstsein	Die Umwelt schonen und umweltbewusst handeln.
Nachhaltigkeit	Zukunftsorientierte Entwicklung durch Erhalt von Umwelt und Lebensqualität.
Gesundheitsbewusstsein	Seinen Körper kennen und für seine Gesundhaltung sorgen.

Die genannten Werte werden in *Experimento* in *lernprozessbezogene* und *gegenstandsbezogene* Werte eingeteilt. Lernprozessbezogene Werte werden beispielsweise während des gemeinsamen Experimentierens in Gruppen angesprochen und spielen eine grundlegende Rolle im Umgang miteinander [248]. Sie sind unabhängig vom Inhalt und können prinzipiell in jeder Unterrichtsstunde gefördert werden. Die gegenstandsbezogenen Werte hingegen beziehen sich auf die inhaltliche Ebene von *Experimento*, also die darin behandelten Themengebiete Energie, Umwelt und Gesundheit. Manche Werte beziehen sich sowohl auf den Lernprozess als auch den Gegenstand [248] (siehe Abbildung 17).



Abbildung 17: Lernprozessbezogene (links) und gegenstandsbezogene (rechts) Werte in Experimento | 10+ sowie deren Schnittmenge (eigene Darstellung nach [248])

Auch im sogenannten *Forschungskreis* der Siemens Stiftung wird der Wertebildung eine wichtige Rolle zugeschrieben. Beim Forschungskreis handelt es sich, ähnlich wie bei anderen in der Literatur beschriebenen Forschungszyklen (siehe Kapitel 3.2), um eine zyklische Darstellungsweise des Forschenden Lernens im Sinne des Weges der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Neben den literaturbekannten Schritten umfasst der Forschungskreis der Siemens Stiftung noch weitere Phasen. Insgesamt beinhaltet der Forschungskreis neun Schritte (siehe Abbildung 18).

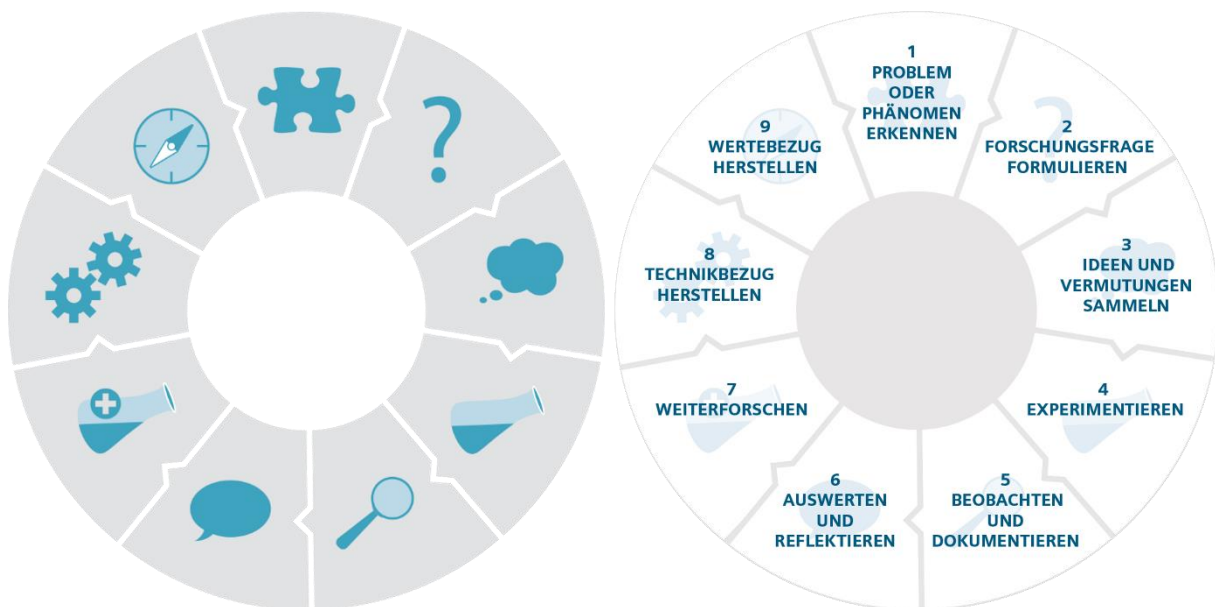


Abbildung 18: Der Forschungskreis der Siemens Stiftung, © Siemens Stiftung

Die Wertebildung nimmt demnach in *Experimento* allgemein und auch beim damit verbundenen Forschenden Lernen entsprechend dem Forschungskreis eine wichtige Rolle ein.

Das Modul „Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht“ startet mit einer theoretischen Einführung, die – ausgehend vom Wertebegriff nach HORN (siehe Kapitel 3.3) – die Bedeutung von Werten für die schulische Bildung allgemein und den naturwissenschaftlichen Unterricht insbesondere darlegt. Daran anschließend werden die lernprozessbezogenen und gegenstandsbezogenen Werte, auf die sich Experimento | 10+ fokussiert, erläutert. Auch der Forschungskreis mit dem darin enthaltenen Wertebezug wird vorgestellt. Nach der theoretischen Einführung folgt ein konkretes Unterrichtsbeispiel, in dem Elemente des Forschenden Lernens, wie zum Beispiel das Formulieren einer Forschungsfrage, verwirklicht werden und gleichzeitig die Wertebildung eine bedeutende Rolle einnimmt. Durch die gezeigte Unterrichtseinheit sollen Lehrkräfte praxisorientierte Ansätze zur Integration von Wertebildung in den MINT-Unterricht [13] kennenlernen.

Bei dem Unterrichtsbeispiel handelt es sich um eine Unterrichtseinheit mit dem übergeordneten Thema „Gesunde Ernährung“, welche im Jahre 2019 in der 5. Jahrgangsstufe eines bayerischen Gymnasiums durchgeführt worden ist und aus zwei Teilen besteht: In einer ersten Unterrichts-Doppelstunde untersuchen die Schülerinnen und Schüler verschiedene Lebensmittel selbstständig auf ihren Stärkegehalt. Die Lernenden arbeiten dabei in Partnerarbeit zusammen, während die Lehrkraft als Lernbegleitung eine unterstützende und beratende Rolle einnimmt [13]. In der zweiten Unterrichtsstunde geht es dagegen explizit um eine gesunde, ausgewogene und gleichzeitig (umwelt-)bewusste Ernährung.

Der erste Teil der Unterrichtseinheit fokussiert sich insbesondere auf die lernprozessbezogenen Werte [13]. So thematisiert die Lehrerin beispielsweise bereits vor Beginn des Experimentierens den Wert *Verantwortungsübernahme* (verantwortungsvoll mit den Materialien umgehen) [248], indem sie gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet, warum von den verwendeten Lebensmitteln nur kleine Mengen für das Experimentieren verwendet werden sollen. Auch der Wert *Teamorientierung* wird explizit angesprochen, als die Lehrerin die Lernenden am Ende der Unterrichtsstunde danach fragt, was denn heute beim Experimentieren besonders gut gelaufen ist [13]. Die Schülerinnen und Schüler reflektieren so über die Zusammenarbeit in der Zweiergruppe, indem sie benennen, was gut funktioniert hat und was gegebenenfalls noch verbessert werden kann. In der darauffolgenden Stunde werden ebenfalls lernprozessbezogene Werte wie *Toleranz* adressiert, der Fokus liegt jedoch auf den gegenstandsbezogenen Werten rund um das Thema gesunde Ernährung. Mit Hilfe von Impulsen (siehe Kapitel 3.3) löst die Lehrerin eine Diskussion einerseits über das *Gesundheitsbewusstsein* (sich gesund ernähren), andererseits über Werte wie *Nachhaltigkeit* (die Auswirkungen des eigenen Konsums berücksichtigen) und *Umweltbewusstsein* (ökologische Folgen kennen) aus, indem neben dem Gesundheitsaspekt auch die Nahrungsmittelproduktion thematisiert wird [13,248]. Abschließend formuliert die

Lehrerin eine „Forschungshausaufgabe“ für ihre Schülerinnen und Schüler, mit der diese dazu angeregt werden sollen, die adressierten Werte auch auf der Handlungsebene zu realisieren.

Neben dem vorrangigen Ziel, zu veranschaulichen, wie die Experimente aus Experimento | 10+ mit Wertebildung verknüpft werden können, stellt das Modul „Wertebildung“ auch einen Bezug zum Leben in der Digitalität her. Dazu wird ein weiteres, dieses Mal fächerübergreifendes, Unterrichtsbeispiel präsentiert, welches die Chancen und Risiken von Big Data (siehe Kapitel 4.3.2) diskutiert. Diese Unterrichtseinheit wurde Anfang 2020 in der 10. Jahrgangsstufe einer bayerischen Haupt- bzw. Mittelschule durchgeführt. Hier geht es hauptsächlich um Wertefragen, die mit der Erfassung, Speicherung und Weitergabe von Nutzungsdaten bei der Verwendung digitaler Anwendungen verbunden sind. In diesem Zusammenhang werden vor allem die Werte *Eigenaktivität* (eigenaktiv auf den Datenschutz im Internet achten) und *Verantwortungsübernahme* (verantwortungsvoll mit Daten umgehen) thematisiert. Als Beispiele für die Auswirkungen der Verarbeitung von Big Data erarbeiten die Schülerinnen und Schüler in selbstgesteuerter Form die Aspekte *personalisierte Online-Werbung* und *Meinungsbeeinflussung im datenbasierten Wahlkampf*. Dazu wird auch auf die Nutzung von Dilemmageschichten (siehe Kapitel 3.3) verwiesen.

In einem Ausblick macht das Modul die Lehrkräfte zusätzlich auf das Thema Service Learning aufmerksam. Zu diesem pädagogischen Ansatz der Wertebildung im MINT-Unterricht steht ein gesondertes Web-Based-Training der Siemens Stiftung zur Verfügung.

5.2.2.2 Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht

Das Modul „Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht“ beginnt ebenfalls mit einer kurzen theoretischen Einführung. Diese umfasst eine definitorische Annäherung an den Inklusionsbegriff durch Betrachtung der historischen Entwicklung und Abgrenzung zu anderen Qualitätsstufen von Anerkennungsformen (siehe Kapitel 3.4.1). In diesem Zusammenhang ist es wichtig festzuhalten, dass in *Experimento* „Inklusion“ in einem eher weiten Begriffsverständnis [100] gesehen wird, das in direktem Zusammenhang mit Heterogenität steht. Demnach wird in Experimento | 10+ Inklusion wie folgt verstanden:

„Alle Kinder sind voraussetzungslos Teil einer unteilbaren, heterogenen Gruppe und jede Schülerin, jeder Schüler soll aktiv als vollwertiges Mitglied am Unterrichtsgeschehen teilhaben können“ [250].

Im Online-Modul liegt der Fokus dabei weniger auf dem Merkmal „Behinderung“ als vielmehr auf der alltäglichen Heterogenität, der Lehrkräfte im Klassenzimmer begegnen. Für Lehrende stellt es eine große Herausforderung dar, alle Schülerinnen und Schüler entsprechend ihren individuellen Fähigkeiten zu fördern. Als geeigneter Ansatz für die inklusive

Unterrichtsgestaltung wird in diesem Zusammenhang das Forschende Lernen genannt, da bei einer entsprechend offenen Gestaltung Selbstbestimmung und Teilhabe für alle Schülerinnen und Schüler ermöglicht wird [119]. Daher wird auch im Modul „Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht“ auf den Forschungskreis der Siemens Stiftung verwiesen. Des Weiteren hält die Stiftung verschiedene Unterrichtsmaterialien bereit, die eine inklusivere Gestaltung des naturwissenschaftlichen Unterrichts ermöglichen sollen. Unter Bezugnahme auf diese Materialien werden im Online-Modul verschiedene konkrete praxisnahe Maßnahmen zur inneren Differenzierung vorgestellt. Diese sind nach den Möglichkeiten, wie Differenzierung umgesetzt werden kann, gegliedert (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: In Experimento | 10+ thematisierte Differenzierungsmaßnahmen

Differenzierung durch ...	
Lernhilfen	<ul style="list-style-type: none"> • Lernhilfen durch Tipp- und Hilfekärtchen • Lernhilfen mittels digitaler Inhalte, z. B. eingebunden durch QR-Codes • Aufgaben mit gestuften Hilfen
sprachensible Gestaltung des Unterrichts	<ul style="list-style-type: none"> • Methodenwerkzeuge • Alternative Dokumentationsformen
unterschiedliche Schwierigkeitsgrade	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsblätter mit unterschiedlichen Anforderungsniveaus • Spezielle Anleitungen für die Haupt- und Mittelschule
Berücksichtigung von unterschiedlichen Lerntempi	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Differenzierung • Methodische Ansätze, wie z. B. das Lerntempo-Duett

Viele der aufgeführten Differenzierungsmaßnahmen werden durch Unterrichtsvideos, welche die praktische Anwendung demonstrieren, illustriert. Die Videoclips sind im Rahmen einer Unterrichtseinheit zu „Eigenschaften von Seifenlösungen“ in der 11. Jahrgangsstufe eines bayerischen Gymnasiums Anfang des Jahres 2020 entstanden. Hier bearbeiten die Schülerinnen und Schüler in Form des Stationenlernens Experimente zum Dispergiervermögen von Seifenlösungen sowie zu den Eigenschaften von klassischen und modernen Tensiden. Ein besonderer Fokus der Unterrichtseinheit und des Online-Moduls insgesamt liegt auf der Verwendung von gestuften Hilfen. Auf dem Medienportal sind bereits zahlreiche Hilfen in „klassischer“ und digitaler Form [114] vorhanden. Auf diese wird im Online-Modul entsprechend verwiesen. Zusätzlich sind speziell für die gezeigte Unterrichtseinheit gestufte Hilfen entwickelt worden [251,252], um deren Nutzung im Unterricht durch Videoclips besser veranschaulichen zu können. Darüber hinaus sind im Rahmen des Projektes weitere gestufte Hilfen entstanden (siehe Abbildung 19), auf die in der Fortbildung hingewiesen werden kann.

<p>Hilfe 1</p> <p>Was sollt ihr tun?</p> <p>Formuliert die Aufgabe nochmal mit eigenen Worten und erklärt euch gegenseitig die Aufgabenstellung.</p>	<p>Antwort 1</p> <p>Bei dem Experiment handelt es sich um eine Verseifung. Wir sollen beschreiben, was wir bei dem Experiment beobachten konnten. Diese Beobachtung sollen wir erklären. Dafür sollen wir auch die Reaktionsgleichung aus der Aufgabenstellung benutzen.</p>
<p>Hilfe 2</p> <p>Was habt ihr bei dem Experiment genau gemacht und beobachtet?</p> <p>Geht die einzelnen Schritte nochmal gemeinsam durch.</p>	<p>Antwort 2</p> <p>Wir haben Natriumcarbonat (Na_2CO_3) in Wasser gelöst. Dann haben wir ein paar Tropfen Öl zu der Lösung gegeben. Wir haben diese Lösung erhitzt, bis wir eine Schaumbildung beobachtet haben.</p>

Abbildung 19: Ausschnitt aus den gestuften Hilfen zum Thema „Verseifung von Speiseöl“ als Beispiel für gestufte Hilfen in Experimento | 10+ [253], © Siemens Stiftung, Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.

Da in Experimento | 10+ neben der Lernleistung und dem Lerntempo die Sprache als wichtige Heterogenitätsdimension begriffen wird, liegt ein weiterer Schwerpunkt des Online-Moduls auf dem sprachsensiblen Fachunterricht. Für alle Experimente aus Experimento | 10+ sind sprachsensibel gestaltete Experimentieranleitungen und Arbeitsblätter vorhanden, die sich insbesondere Methodenwerkzeuge von LEISEN [130] zu Nutze machen. Für den Umgang mit der Heterogenitätsdimension *Leistung* sind außerdem Arbeitsblätter mit unterschiedlichen Anforderungsniveaus verfügbar. Weiterhin wird auf spezielle Experimentieranleitungen für die Haupt- und Mittelschulen, die ebenfalls auf dem Medienportal zu finden sind, verwiesen. Darüber hinaus ist es aufgrund der Lizenzierung als OER sowohl technisch möglich als auch ausdrücklich erlaubt, alle Arbeitsblätter auf die individuellen Bedürfnisse der jeweiligen Lernenden-Gruppe anzupassen.

5.2.2.3 Computational Thinking

Bei „Computational Thinking“ findet im Vergleich zu den anderen beiden Online-Modulen eine umfassendere theoretische Einführung statt, da diese Problemlösekompetenz zwar vor dem Hintergrund des Lebens in einer Kultur der Digitalität zunehmend an Bedeutung gewinnt, im Detail aber vielen Lehrkräften der naturwissenschaftlichen Fächer noch unbekannt ist [157]. Ziel des Moduls ist es daher, die Lehrkräfte allgemein in das Thema CT einzuführen und erste Ideen für die Umsetzung im Unterricht vorzustellen [13]. Dazu gibt das Online-Modul zu CT ebenfalls einen kurzen historischen Abriss über die Begriffsentwicklung. Anschließend wird die Relevanz von CT für den MINT-Unterricht aufgezeigt. So wird beispielsweise ein Bezug zu den Kompetenzen in der digitalen Welt der KMK [3] hergestellt. Außerdem verweist das Modul

indirekt auf das Dagstuhl-Dreieck [231], da betont wird, dass die Schülerinnen und Schüler digitale Technik nicht nur konsumieren sollen, sondern auch für einen reflektierten Umgang mit dieser befähigt werden müssen und darüber hinaus ein grundlegendes technisches Verständnis der Funktionsweise benötigen.

Auch im Online-Modul wird die in Kapitel 3.5.1 dargelegte Schwierigkeit angesprochen, eine einheitliche Definition von CT zu finden. Exemplarisch werden die Definitionen von WING [143] und aus der ICILS [161] aufgeführt. Die Bedeutung des Programmierens für CT wird ebenfalls andiskutiert. Für Experimento | 10+ kann festgehalten werden, dass das Erlernen einer bestimmten Programmiersprache ausdrücklich nicht das Ziel ist [13]. Aus den zahlreichen bestehenden Ansätzen und Definitionen im Zusammenhang mit CT wurde für *Experimento* daher folgende Konkretisierung herausgearbeitet:

Computational Thinking ist eine Problemlösekompetenz, die sich zwar informatischer Konzepte, Vorgehensweisen und Methoden bedient, jedoch auf verschiedenste, insbesondere naturwissenschaftliche, Kontexte angewendet werden kann (vgl. Kapitel 3.5.1).

Ein wichtiges Anliegen des Moduls zu CT ist es, stets Querbezüge zwischen CT und dem naturwissenschaftlichen Unterricht aufzuzeigen. So werden auch im Online-Modul Analogien zwischen CT und dem Forschenden Lernen in Form des Forschungskreises der Siemens Stiftung betont (siehe Kapitel 3.5.3). Diese sind in Abbildung 20 nochmals veranschaulicht.

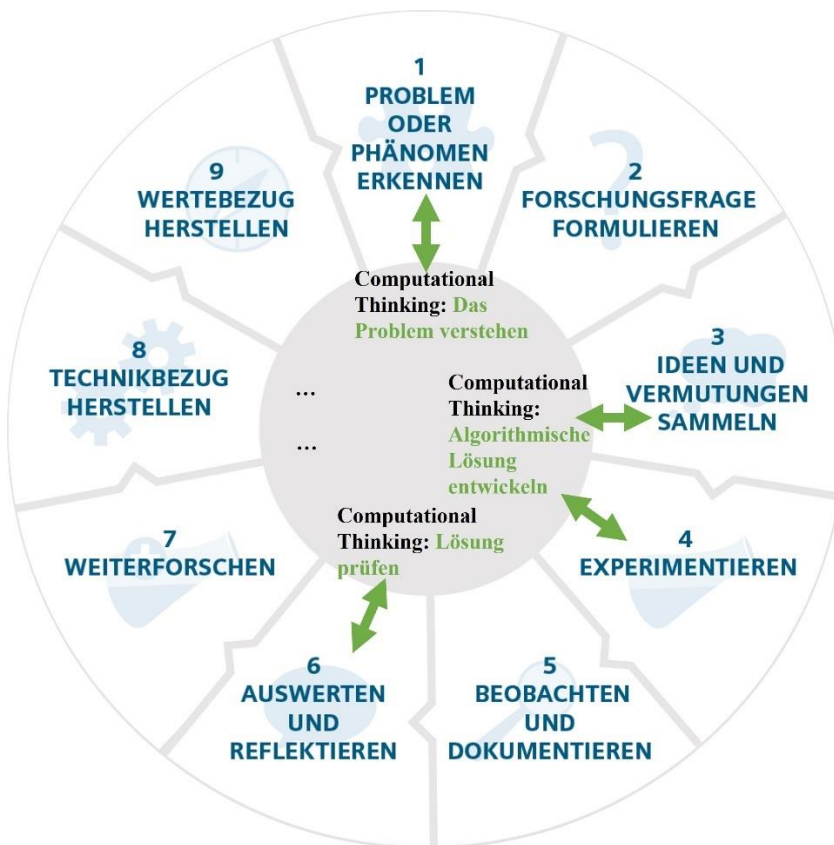


Abbildung 20: Der Forschungskreis der Siemens Stiftung und CT; ausgewählte inhaltliche Verbindungen sind beispielhaft durch die grünen Pfeile dargestellt [178], © Siemens Stiftung; verändert.

Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Denkschritten, die von unterschiedlicher Seite als wesentlich für CT angesehen werden, war bei der Erstellung des Online-Moduls eine didaktische Reduktion erforderlich. Dazu mussten die entscheidenden Elemente identifiziert und ausgewählt werden. Die Fortbildung betrachtet nun die Schritte *Problem verstehen*, *Abstrahieren*, *Zerlegen*, *Algorithmen entwerfen* und *Prüfen und Übertragen* im Detail. Diese entsprechen den von STANDL [137,156] postulierten Denkschritten. Die dort genannten Elemente sind auch in anderen Publikationen immer wieder zu finden. Außerdem versteht STANDL [137] CT dezidiert als Problemlöseprozess, was sich mit den inhaltlichen Zielen des Online-Moduls deckt. Es geht also bei CT in *Experimento* darum, ein komplexes Problem zu verstehen, es auf die wesentlichen Teile zu abstrahieren und in kleinere Teilprobleme zu zerlegen. Teil von CT ist in diesem Zusammenhang auch, eine algorithmische Lösung für das Problem zu beschreiben und diese Lösung zu prüfen, um sie ggf. auf andere – ähnliche – Kontexte übertragen zu können [14].

Die genannten Denkschritte werden anschließend mit Hilfe der bereits erwähnten Erklärvideos konkretisiert. Dabei werden alltags- und unterrichtsnahe Beispiele für die Schlüsselemente von CT erläutert und Bezüge zwischen CT und dem naturwissenschaftlichen Unterricht herausgearbeitet, zum Beispiel hinsichtlich des Modelleinsatzes im naturwissenschaftlichen

Unterricht und beim informatischen Modellieren [154]: In beiden Fällen können im Sinne der Abstraktion unwichtige Details weggelassen werden [13].

Nach der theoretischen Einführung in den Begriff des CT und der Erläuterung der dazugehörigen Denkschritte widmet sich das darauffolgende Kapitel des Moduls dem Thema „Algorithmen“, um dessen bedeutsame Rolle bei CT [155] abzubilden. In Experimento | 10+ sind Algorithmen definiert als

„[...] eine schrittweise Abfolge von eindeutigen Handlungsvorschriften, die helfen ein bestimmtes Problem zu lösen“ [254].

Das Modul betont, dass Algorithmen nicht zwingend in einer Programmiersprache verfasst sein müssen, sondern auch im täglichen Leben relevant sind. Dazu werden einige Beispiele, wie das Backen nach Rezept, dargestellt. Auch erfolgt ein Hinweis darauf, dass in den zahlreichen digitalen Tools, die im Alltag zum Einsatz kommen, Algorithmen verwendet werden. Daher ist an dieser Stelle ein Querbezug zum Thema „Big Data“ aus dem Modul zur Wertebildung zu finden.

Als Beispiele für die Erarbeitung der Eigenschaften von Algorithmen im Unterricht stellt das Online-Modul zwei Möglichkeiten vor:

1. Unplugged Aktivitäten, wie das „Programmieren“ eines „Lehrer-Bots“ [siehe 145]
2. Blockbasierte Programmiersprache

Zur Einführung in die blockbasierte Programmierung wurde eine speziell hierfür aufgesetzte Programmierübung in das Online-Modul integriert, bei der eine Figur zu einem bestimmten Zielpunkt navigiert werden soll (siehe Abbildung 21). Dies verdeutlicht grundsätzliche Prinzipien von Programmierung, wie zum Beispiel die Nutzung von Wiederholungsschleifen [185].

Abbildung 21: Interaktive Programmierübung in Experimento | 10+ (Screenshot von <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/3.3.5-aufgabenstellung?level=2>), © Siemens Stiftung, unter Verwendung von Programmbibliotheken von code.org, 2015; Avatargestaltung: Spleen Advertising GmbH, Hintergrundgrafik: Monika Klimke.

Das sich anschließende Kapitel widmet sich ausführlich der Visualisierung von Algorithmen in Form von Flussdiagrammen sowie deren Potenzial für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. So erstellen die Lehrkräfte beispielsweise in einer interaktiven Übung aus einer als Fließtext gestalteten Experimentieranleitung einen Arbeitsplan zur Durchführung eines Experiments zur Mülltrennung in Form eines Flussdiagramms. Dadurch sollen sie dazu angeregt werden, einen solchen Wechsel der Darstellungsformen auch in den Unterricht zu integrieren und damit einen Beitrag zur Schulung des systematischen, algorithmischen Denkens bei den Schülerinnen und Schülern zu leisten.

Ein besonderer Schwerpunkt des Moduls liegt auf der Beschreibung der Nutzung des Mikrocontrollers Arduino zur digitalen Messwertfassung. Die digitale Messwertfassung gewinnt im Kontext der Digitalisierung im Unterricht weiter an Bedeutung und eignet sich insbesondere bei der Verwendung von Mikrocontrollern zur Verbindung von naturwissenschaftlichem Unterricht und CT [132]. In einem eigenen Kapitel wird daher ein neu konzipiertes Experiment zum Einsatz eines Selbstbau-pH-Meters unter Verwendung eines Arduinos vorgestellt [178].

Für die im Rahmen des Projektes entwickelte pH-Wert-Messung mit Hilfe des Mikrocontrollers Arduino werden nur wenige Bauteile benötigt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Benötigte Materialien für das Selbstbau-pH-Meter

Bauteil	Anzahl
Arduino Uno	1
LC-Display mit I ² C-Anschluss	1
pH-Sensor PH-4502C	1
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
Steckbrett (Breadboard)	1
Schraubenzieher	1
USB-Kabel (A/B)	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2

Als Mikrocontroller wird der Arduino Uno verwendet. Um die Kommunikation zwischen dem Arduino und einer handelsüblichen pH-Elektrode zu ermöglichen, ist ein spezielles pH-Sensor-Modul erforderlich, welches einen BNC-Anschluss besitzt. Es existieren verschiedene Typen solcher Module. Hier wurde das Modell PH-4502C eingesetzt [178]. Zusätzlich kann ein passendes Display verbaut werden, um das Ablesen der Messwerte später zu erleichtern. Bestenfalls wird ein Display mit einem I²C-Bus verwendet, da dieses nicht so viele Kabelverbindungen benötigt wie ein herkömmliches Display für den Arduino [178]. Um sämtliche Bauteile mittels Jumper-Kabeln verbinden zu können, sollte allerdings bei der Nutzung eines Displays ein Steckbrett (Breadboard) verwendet werden [178]. Zudem ist es hilfreich, alle Bauteile in einem Gehäuse zu verstauen. Der genaue Aufbau des Experiments kann Abbildung 22 entnommen werden.

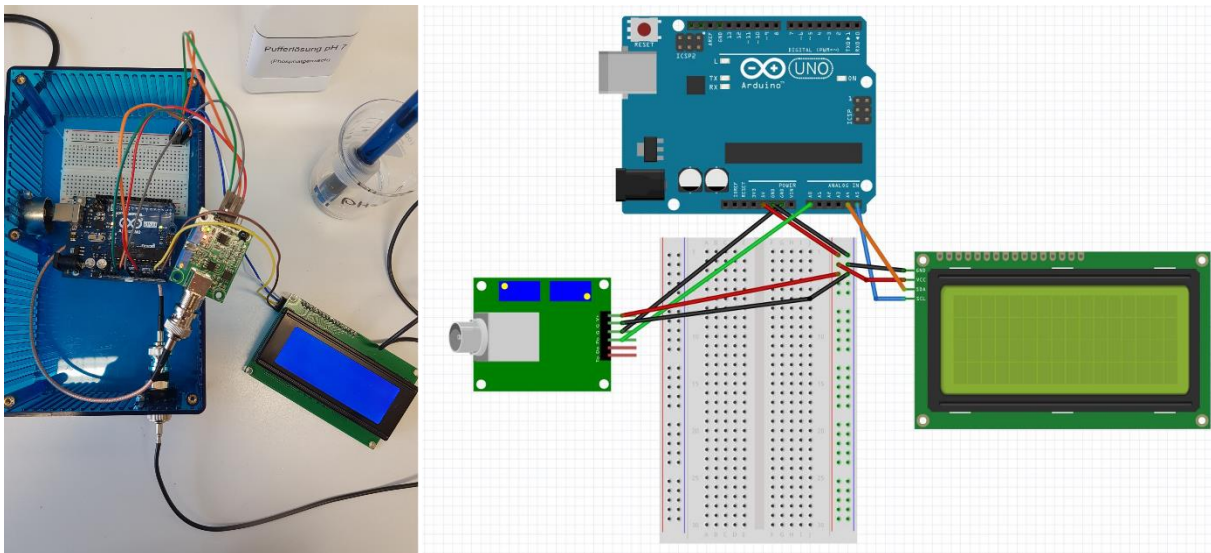


Abbildung 22: Versuchsaufbau des Selbstbau-pH-Meters mit Display (links: realer Aufbau, rechts: schematische Zeichnung, erstellt mit der Open-Source-Software Fritzing)

Die Steuerung des Selbstbau-pH-Meters übernimmt der Arduino Uno. Dazu muss dieser zunächst mittels eines passenden USB-Kabels mit einem PC verbunden werden, auf dem die dazugehörige Open-Source-Software Arduino IDE installiert ist. Dadurch wird einerseits die

Stromversorgung sichergestellt, andererseits können so die benötigten Programmcodes auf den Arduino geladen werden [178]. Bevor das Selbstbau-pH-Meter zur Messung eingesetzt werden kann, muss es zunächst kalibriert werden. Dies erfolgt in zwei Schritten [178]:

1. Das Kalibrierprogramm, welches eigens hierfür aufgesetzt wurde und über das Medienportal heruntergeladen werden kann, wird auf den Arduino gespielt. Nun wird das pH-Sensor-Modul mit einer beliebigen pH-Elektrode, die den passenden Anschluss aufweist, verbunden. In diesem Fall wurde eine Elektrode der Firma *Pasco* verwendet, jedoch liefern günstigere pH-Elektroden aus dem Aquaristikbedarf ebenfalls akzeptable Messwerte [176]. Die pH-Elektrode wird in eine Pufferlösung mit $\text{pH} = 7,0$ getaucht. Der Arduino gibt nun den dazugehörigen Spannungswert aus. Dieser muss anschließend händisch verändert und auf 2,50 V eingestellt werden [178]. Dazu dreht man mit einem kleinen Schraubenzieher so lange an dem Potentiometer (blaues Kästchen), das auf der Modulplatine näher am BNC-Anschluss liegt, bis der gewünschte Wert angezeigt wird. Dies liegt darin begründet, dass der hier verwendete analoge Eingang des Arduino Spannungswerte im Bereich von null bis fünf Volt abdeckt. Damit das gesamte Spektrum der pH-Werte darstellbar ist, sollten die „Mitten“ der beiden Skalen deckungsgleich sein [178].
2. Nach der manuellen Kalibrierung erfolgt ein weiterer Kalibrierungsschritt. Hintergrund ist, dass die gelieferten Spannungswerte noch in die entsprechenden pH-Werte umgerechnet werden müssen [178]. Die Umrechnung geschieht mit Hilfe einer linearen Geradengleichung, da angenommen werden kann, dass sich die pH-Elektroden in den üblichen pH-Bereichen annähernd linear verhalten. Um die Steigung der Geradengleichung zu berechnen, muss neben dem ersten definierten Wertepaar ($\text{pH} = 7,0$; $U = 2,50 \text{ V}$) mindestens ein weiterer Messwert bei einem festgelegten pH-Wert bestimmt werden [178]. Der hieraus berechnete Wert für die Steigung wird dann in einen weiteren Programmcode, der schlussendlich für die pH-Wert-Messung selbst genutzt wird, eingefügt [178]. Auch dieser Programmtext wurde speziell für das vorgestellte Selbstbau-pH-Meter entworfen und ist ebenso wie detaillierte Anleitungen für Lehrkräfte und Schülerinnen und Schüler über das Medienportal der Siemens Stiftung abrufbar [255]. Die Anleitungen sind außerdem im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Nach der erfolgreichen Kalibrierung wird das Programm zur pH-Wert-Bestimmung auf den Arduino gespielt und somit das Programm, das zuvor nur die Spannungswerte ausgegeben hat, überschrieben [178]. Anschließend können die pH-Werte verschiedener (Haushalts-) Chemikalien bestimmt werden. Die Ergebnisse sind am PC oder direkt über das separate Display ablesbar. Zur Stromversorgung kann bei Verwendung eines Displays auch eine

Powerbank genutzt werden, sodass die Verbindung zum PC nicht mehr benötigt wird. Das zuletzt hochgeladene Programm bleibt auf dem Arduino gespeichert [178].

Bei der Testung des Selbstbau-pH-Meters ergaben sich verlässliche Messwerte mit hinreichender Genauigkeit. Bei Pufferlösungen mit feststehendem pH-Wert wurde eine maximale Abweichung des gemessenen pH-Wertes um 0,2 Einheiten festgestellt. Beim Vergleich mit einem kommerziellen pH-Meter betrug die höchste Abweichung 0,5 Einheiten [178].

Die Verwendung des Arduinos zur pH-Messung hält im Zusammenhang mit CT vielfältige didaktische Potenziale bereit, welche den Lehrkräften im Online-Modul aufgezeigt werden. So wird der Umgang mit Messdaten eingeübt, was sowohl für den Chemieunterricht als auch für CT mit den Elementen Daten sammeln, Daten analysieren und Daten repräsentieren [154] von Bedeutung ist. Außerdem wird ein erstes Verständnis von Programmiersprachen generiert, indem die Schülerinnen und Schüler die verwendeten Sketche in Ansätzen nachvollziehen sowie an einzelnen Stellen modifizieren können. Dabei wird ihnen klar, dass die erhaltenen Spannungswerte erst einmal in pH-Werte umgerechnet werden müssen. Tatsächlich beruhen Messinstrumente häufig auf der Umrechnung von erhaltenen Spannungswerten [132]. So erlangen die Lernenden generell Einblick in die Funktionsweise von in den Naturwissenschaften verwendeten Informatiksystemen [166]. Weiterhin können die Schülerinnen und Schüler das Messwerverfassungssystem Arduino optional durch eigene Programmierung weiterentwickeln. Durch Programmieraktivität wird ebenfalls CT gefördert. Ein Beispiel für eine solche Aktivität ist die Erstellung einer „Getränkeerkennung“ [256]. Dabei werden zunächst die pH-Werte verschiedener Haushaltschemikalien, beispielsweise Getränke, erfasst. Anschließend soll der Arduino so programmiert werden, dass anhand des gemessenen pH-Wertes festgestellt werden kann, um welches Getränk es sich handelt. Dies ist zum Beispiel bei gleichfarbigen Flüssigkeiten mit unterschiedlichem pH-Wert interessant [178]. Gleichzeitig werden dabei die von STANDL [137,156] vorgeschlagenen Schritte zur Problemlösung mittels CT durchlaufen [178]. So müssen beispielsweise im Sinne des „Abstrahierens“ Ausreißer ausgeschlossen werden und im Zuge von „Problem zerlegen“ die zu erkennenden Getränke festgelegt und die dazugehörigen pH-Wert-Bereiche identifiziert werden. Anschließend können die Überlegungen direkt in der Programmiersoftware oder beispielsweise anhand eines Flussdiagramms umgesetzt werden. Die entworfene Lösung kann von einer Testperson mittels eines unbekanntes Getränks überprüft werden. Besonders wenn die pH-Messung tatsächlich programmierend weiterentwickelt werden soll, bietet sich an dieser Stelle sicherlich eine Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen aus der Informatik an.

Im letzten Kapitel des Online-Moduls wird folglich noch einmal auf den fächerübergreifenden Charakter von CT eingegangen. Dazu wird auf verschiedene Tools verwiesen, die zur Förderung von CT dienen können. Zum einen seien hier die interaktiven Simulationen der Plattform PhET (<https://phet.colorado.edu/>) genannt, die zum Teil auch über das Medienportal auffindbar sind. Zum anderen wird auf die blockbasierte Programmierumgebung Scratch (<https://scratch.mit.edu/>) aufmerksam gemacht, die sich ebenso für das Anstoßen einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit mit Informatik-Kolleginnen und Kollegen eignet. Perspektivisch könnte im Online-Modul in diesem Zusammenhang auf eine bereits detailliert ausgearbeitete Unterrichtseinheit zur Simulation der Aggregatzustände von Wasser im Chemieunterricht verwiesen werden [257]. Auch hier geht es darum, Synergien von CT und des naturwissenschaftlichen Kontexts zu nutzen. Die Schülerinnen und Schüler erstellen in Scratch eine Simulation der Aggregatzustände von Wasser. Dabei werden Kompetenzen im Bereich CT geschult. Gleichzeitig müssen sie auch über ein Verständnis des entsprechenden Fachwissens verfügen, um dieses in die Simulation einbringen zu können. Im selben Zuge, in dem die Schülerinnen und Schüler die Simulation mittels der blockbasierten Programmiersprache erstellen, soll darüber hinaus durch die intensive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand ihr Verständnis der fachlichen Inhalte weiter vertieft werden. Ein beispielhaftes Ergebnis für eine solche selbst gestaltete Simulation ist in Abbildung 23 gezeigt.

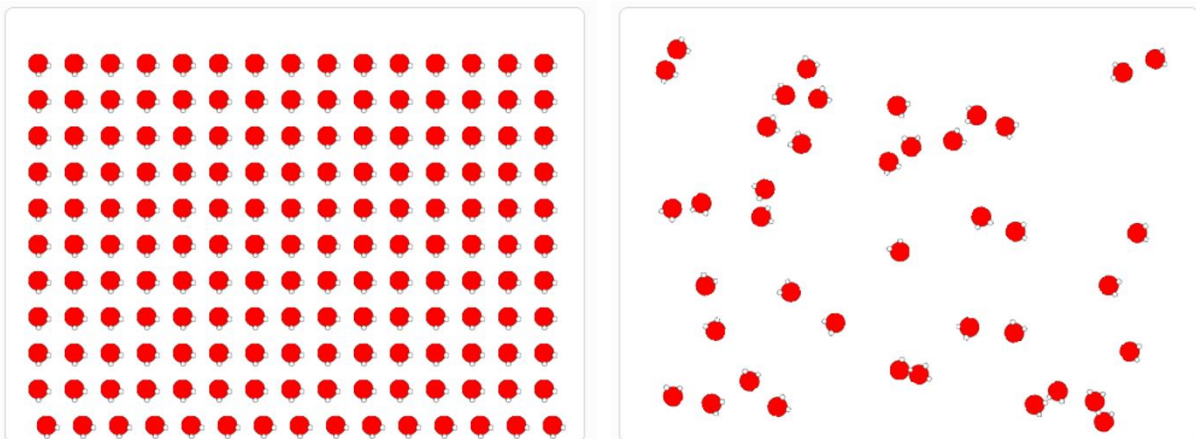


Abbildung 23: Beispielhafter Ausschnitt aus einer mit Scratch erstellten Simulation der Aggregatzustände von Wasser [257] (Screenshots von <https://scratch.mit.edu/projects/631152655>), © Scratch, lizenziert unter CC BY-SA 2.0.

5.2.3 Formative Evaluation

Zur Überprüfung der inhaltlichen Verständlichkeit und der *Usability* wurde projektbegleitend eine formative Evaluation der Online-Module durchgeführt. Unter Usability oder auch Benutzungsfreundlichkeit, Gebrauchstauglichkeit versteht man nach DIN EN ISO 9241-11

„das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ [zit. nach 235].

Die Untersuchung der Usability spielt häufig bei der Erstellung neuer Software oder Webseiten eine wichtige Rolle. Im Sinne der *Cognitive Load Theory* von SWELLER (1999) ist eine gute Usability von Online-Lernumgebungen eine entscheidende Voraussetzung für erfolgreiches Lernen. Wenn eine Lernumgebung eine geringe Usability aufweist, kann dies dazu führen, dass bereits ein Großteil der kognitiven Ressourcen einer Person gebunden sind und der Lernprozess dadurch behindert wird [zit. nach 235,258]. Zur Überprüfung der Usability kommt häufig die Methode des *Lauten Denkens*, auch *think aloud* genannt, zum Einsatz. Hier bearbeiten ausgewählte Testpersonen aus der interessierenden Zielgruppe zum Beispiel eine Webseite. Dabei werden sie dazu aufgefordert, alles zu verbalisieren, was ihnen durch den Kopf geht, also beispielsweise besonders positive oder negative Eindrücke sowie Unverständliches und Optimierungsbedürftiges [259]. Über die Zahl der Personen, die notwendig sind, um die wichtigsten Usability-Probleme zu erkennen, wird in der Literatur zum Teil kontrovers diskutiert [vgl. 260]. Oftmals wird die Faustregel genannt, dass fünf Nutzende bereits ungefähr 80 % der Usability-Probleme aufdecken können [260]. Das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis sei nach NIELSEN & LANDAUER (1993) sogar bei lediglich drei Testpersonen gegeben [zit. nach 260].

Im Rahmen von Experimento | 10+ wurde die Online-Anwendung nach ihrer Fertigstellung daher parallel zur ersten Erprobung der gesamten Fortbildungsreihe durch drei Lehramtsstudierende der Fächer Chemie und Biologie evaluiert. Diese bildeten die Zielgruppe der Experimento | 10+ Fortbildung zwar nicht exakt ab, kamen ihr aber zumindest nahe. Aufgrund der COVID-19-Pandemie fand die Evaluierung größtenteils über ein Videokonferenztool statt. Dabei sollten sich die Studierenden in die Online-Anwendung von Experimento | 10+ einloggen und anschließend ihren Bildschirm teilen, sodass die Bearbeitungsschritte der Testpersonen nachvollzogen werden konnten. Pro Person waren drei Sitzungen vorgesehen, wobei in jeder Sitzung ein Online-Modul absolviert wurde. Während der Bearbeitung der Online-Module wurden die Studierenden in Anlehnung an die Methode des Lauten Denkens dazu ermuntert, alle Gedanken, die ihnen in den Kopf kommen, laut zu äußern. Die getätigten Bemerkungen zu den einzelnen Kapiteln der jeweiligen Online-Module wurden notiert und anschließend gebündelt. Ausgehend von den Anmerkungen der Lehramtsstudierenden konnten Optimierungsmöglichkeiten und Überarbeitungsmaßnahmen abgeleitet werden. Diese umfassten auf technischer Seite beispielsweise die Korrektur fehlgeleiteter Links oder die Einstellung, dass die verwendeten Videos erst starten, wenn die Nutzenden dies wünschen, anstatt direkt beim Aufruf der Seite. Zusätzlich konnte durch die Beobachtung der Bearbeitung der Online-Module durch die Lehramtsstudierenden eine

Anpassung des Schwierigkeitsgrades einzelner interaktiver Übungen vorgenommen werden. Ebenso wurde der Wunsch nach mehr interaktiven Übungen in „textlastigen“ Teilen der Online-Anwendung ausgemacht. Auch bei den Erklärvideos ergab sich ein leichter Überarbeitungsbedarf, da diese als etwas zu „hektisch“ wahrgenommen wurden.

Zusätzlich wurde nach Abschluss jedes Moduls ein Interview mit den Lehramtsstudierenden durchgeführt. Dieses umfasste die Dimensionen Akzeptanz, Benutzungsfreundlichkeit, Wissensvermittlung sowie didaktische und mediale Aufbereitung und orientierte sich eng an einem von KOPP & MANDL erstellten unveröffentlichten Fragebogen zur Evaluation von Experimento | 8+ (siehe Anhang 1). Die Antworten der interviewten Personen wurden ebenfalls stichpunktartig notiert und gebündelt. Insgesamt gefiel den Studierenden die Bearbeitung der Online-Module sehr gut. Besonders die Unterrichtsvideos und die interaktiven Übungen wurden als motivierend wahrgenommen. Die Bedienung der Online-Anwendung wurde einhellig als einfach, intuitiv und selbsterklärend beschrieben. Außerdem wurde das ansprechende Design der Online-Anwendung gelobt, sodass insgesamt von einer hohen Usability ausgegangen werden kann.

5.3 Gestaltung der Präsenzphasen der Lehrkräftefortbildung

Bei der Überführung einer Präsenzveranstaltung in ein Blended Learning-Format dürfen nicht bloß digitale Phasen hinzugefügt werden, sondern das gesamte Lernangebot muss neu arrangiert werden [214]. Außerdem nehmen im vorliegenden Fall die Präsenzphasen trotz der neu gestalteten Online-Module weiterhin eine wichtige Rolle im Fortbildungskonzept ein [13]. Daher wird im Folgenden auch der Ablauf und der Inhalt der Präsenzphasen näher erläutert.

5.3.1 Ablauf der Präsenzveranstaltungen

Die neu konzipierte Fortbildung zu Experimento | 10+ umfasst – wie bisher – zwei Präsenztage, die durch einen hohen Experimentieranteil gekennzeichnet sind. Ein typischer Ablauf der Präsenzphasen kann Tabelle 9 und Tabelle 10 entnommen werden.

Tabelle 9: Programm der Präsenzphasen der neu konzipierten Experimento | 10+ Lehrkräftefortbildung – Tag 1

Tag 1		
9:00–9:30	Uhr	Begrüßung und Kennenlernen
9:30–10:30	Uhr	Vorstellung von Experimento <ul style="list-style-type: none"> • Internationales Bildungsprogramm <i>Experimento</i> • Einführung in das Medienportal • Reflexion des Online-Moduls • Handbuchordner zu Experimento 10+
10:30–10:45	Uhr	Kaffeepause; Stöbern im Handbuchordner
10:45–12:00	Uhr	Erprobung der Experimente, Teil I <ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Experimente • Stationenlernen
12:00–13:00	Uhr	Mittagspause; Zeit zum Austausch
13:00–14:15	Uhr	Erprobung der Experimente, Teil II
14:15–15:00	Uhr	Umgang mit dem Medienportal; flexible Kaffeepause
15:00–15:30	Uhr	Reflexion

Tabelle 10: Programm der Präsenzphasen der neu konzipierten Experimento | 10+ Lehrkräftefortbildung – Tag 2

Tag 2		
9:00–10:00	Uhr	Begrüßung und Reflexion über den Einsatz von <i>Experimento</i> in der eigenen Schulpraxis sowie das Online-Modul
10:00–10:15	Uhr	Kaffeepause
10:15–11:30	Uhr	Erprobung der Experimente, Teil I
11:30–12:30	Uhr	Mittagspause; Zeit zum Austausch
12:30–13:45	Uhr	Erprobung der Experimente, Teil II
13:45–14:30	Uhr	Umgang mit dem Medienportal; flexible Kaffeepause
14:30–15:30	Uhr	Gesamtreflexion und Evaluation

Der erste Präsenztag startet nach einer kurzen Vorstellungsrunde mit einem Impulsvortrag, in welchem ein Überblick über das Bildungsprogramm *Experimento* sowie insbesondere über die Ziele und allgemein die Inhalte von Experimento | 10+ gegeben wird. Zusätzlich werden die wichtigsten Funktionen des Medienportals (z. B. Mediensuche) demonstriert. Anschließend folgt eine kurze Wiederholung der Inhalte des vorgeschalteten Online-Moduls sowie eine gemeinsame, methodisch angeleitete Reflexion. Fragen, die während der Bearbeitung aufgekommen sind, können beantwortet und konkrete Schlussfolgerungen für den Einsatz im Unterricht diskutiert werden. Anschließend wird den Lehrkräften der Aufbau des Handbuchordners zu Experimento | 10+, in dem sämtliche Versuchsanleitungen enthalten sind, erläutert, sodass sie nach einer kurzen Sicherheitseinweisung (und anschließender Pause) direkt mit der Erprobung der Experimente aus den Themengebieten Energie, Umwelt und Gesundheit starten können – schließlich liegt das Hauptaugenmerk der Präsenzveranstaltung auf dem Experimentieren. An jedem Präsenztag wird mindestens ein Experiment aus jedem Themengebiet durchgeführt, anstatt dies – wie zuvor – thematisch auf verschiedene Tage aufzuteilen. Nach einer ersten Experimentierphase folgt eine etwa einstündige gemeinsame Mittagspause, um dem informellen Austausch der Lehrkräfte Raum zu geben. Nach der Mittagspause werden weitere Experimente erprobt. Dazu wurden jeweils

im Vorfeld der Fortbildung verschiedene Experimentierstationen aufgebaut, die die Lehrkräfte dann im Sinne eines Stationenlernens durchlaufen. Meist arbeiten die Teilnehmenden in Zweiergruppen zusammen (siehe Abbildung 24).



Abbildung 24: Zwei Lehrkräfte führen während einer Fortbildung unter Corona-Bedingungen in Zweierarbeit ein Experiment zum Thema „Energie“ durch (eigene Aufnahme)

Die Lehrkräfte können sich während der Experimentierphasen ihre Zeit flexibel einteilen und die Stationen in beliebiger Reihenfolge bearbeiten. An allen Stationen findet sich ein „Stationenkärtchen“ mit entsprechenden Arbeitsaufträgen, sämtliches benötigtes Experimentiermaterial sowie gegebenenfalls Tischvorlagen. Zusätzlich können an den einzelnen Stationen auch Tablets zur Verfügung gestellt werden, um es den Lehrkräften zu ermöglichen, direkt auf zum Experiment gehörige digitale Unterrichtsmaterialien auf dem Medienportal zuzugreifen. Wichtig ist, dass die Lehrkräfte die Versuche nicht bloß „ausprobieren“, sondern während des Experimentierens immer wieder Bezüge zu den Inhalten der Online-Module sowie zur täglichen Unterrichtspraxis herstellen. So sollen die Lehrkräfte beispielsweise bereits im Laufe des Fortbildungsbesuchs die Schülerexperimente in den Lehrplan ihrer jeweiligen Schulart einordnen und Lösungsvorschläge für potenziell in der Praxis auftretende Schwierigkeiten erarbeiten, um die Versuche später unmittelbar im Unterricht umsetzen zu können. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Verknüpfung der Schülerexperimente mit den in den Online-Modulen thematisierten Inhalten. Dazu gehört der Forschungskreis – insbesondere aber die Themen Wertebildung, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. Die Lehrkräfte sollen die Schülerexperimente durch die „Brille“ des jeweils zuvor erarbeiteten Online-Moduls betrachten. Für Wertebildung kann dies bedeuten, dass sie sich überlegen, welche gegenstandsbezogenen Werte anhand des jeweiligen Experiments thematisiert werden können und wie, beispielsweise durch die Wahl der Sozialform, auch lernprozessbezogene Werte angesprochen werden. Beim Thema Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht geht es vor allem darum, für die verschiedenen Experimente Differenzierungsmaßnahmen zu erarbeiten. Hierzu stehen zahlreiche Materialien aus dem Medienportal zur Verfügung. Auch

zwischen CT und den Schülerexperimenten aus *Experimento* sollen Bezüge hergestellt werden. Besonders offensichtlich sind diese, wenn die Lehrkräfte in der Präsenzveranstaltung die pH-Wert-Messung mit dem Arduino selbst durchführen. Aber auch bei anderen Experimenten werden Verbindungen offenbar, zum Beispiel wenn Lehrkräfte bei einem Versuch zum Händewaschen algorithmische Elemente herausarbeiten oder bei der Zitronenbatterie im Sinne des „Zerlegens“ die Funktionen der einzelnen Bestandteile nachvollziehen.

Darüber hinaus nimmt die Arbeit mit dem Medienportal in der neu konzipierten Fortbildung einen größeren Raum ein. Gegen Ende der ersten Präsenzveranstaltung setzen sich die Lehrkräfte, geleitet durch Arbeitsaufträge, selbstständig mit dem Medienportal auseinander, indem sie beispielsweise passende interaktive Medien zu den durchgeführten Experimenten identifizieren oder bereits erste Anpassungen an den OER-Versuchsanleitungen für Schülerinnen und Schüler vornehmen. So können die Experimente, abgestimmt auf die jeweilige Lerngruppe, unmittelbar im eigenen Unterricht eingesetzt werden – eine Tatsache, die von Lehrkräften in Befragungen immer wieder gewünscht wird [vgl. 25,35]. Für diesen Aspekt der Fortbildung werden die Teilnehmenden dazu gebeten, ihr eigenes digitales Endgerät mitzubringen (BYOD – Bring your own device). Voraussetzung dafür ist, dass ein W-Lan-Zugang für die Teilnehmenden zur Verfügung steht. Vorteil ist jedoch, dass die Lehrkräfte mit ihrem eigenen Gerät am besten vertraut sind und keine kognitiven Ressourcen durch Einarbeitung in ein neues Endgerät gebunden werden. Darüber hinaus sind die modifizierten Anleitungen direkt auf dem eigenen digitalen Arbeitsgerät der Lehrkraft gespeichert.

Zum Abschluss des ersten Präsenztages findet eine Reflexion über die durchgeführten Experimente sowie die dabei hergestellten Bezüge zu den Online-Modulen statt. Zusätzlich werden die Lehrkräfte explizit darauf hingewiesen, dass sie sich *Experimento*-Materialien ausleihen können, um in der Zwischenzeit bis zur zweiten Präsenzveranstaltung bereits erste Schülerexperimente in ihrem Unterricht durchzuführen.

Der zweite Präsenztag ist ähnlich aufgebaut wie der erste, lediglich die Vorstellungsrunde und der Impulsvortrag entfallen. Stattdessen kann direkt mit der Reflexion über den Einsatz von *Experimento* im Unterricht gestartet werden. An diese schließt sich ein Austausch über das zweite Online-Modul an. Dann liegt, wie auch bei der ersten Präsenzveranstaltung, das Hauptaugenmerk auf der laborpraktischen Tätigkeit unter Bezugnahme auf das gewählte Online-Modul. Auch hier ist gegen Ende der Veranstaltung eine Arbeitsphase zum Umgang mit dem Medienportal vorgesehen, bevor die Gesamtreflexion der Veranstaltung erfolgt. In diesem Zuge wurden die Lehrkräfte gebeten, einen onlinebasierten Fragebogen zur Evaluation der Fortbildung auszufüllen. Schließlich erhalten sie die förmliche Teilnahmebestätigung zur Vorlage bei ihren Dienstherren sowie einen Experimentierkasten,

der Materialien zur Durchführung der Versuche aus Experimento | 10+ enthält. Während der Überarbeitungsphase wurde der *Experimento*-Kasten, auf Veranlassung der Siemens Stiftung, durch ein Formblatt ersetzt, mit welchem die Lehrkräfte dazu berechtigt sind, bis zu einem gewissen Betrag eigenständig kostenlos Experimentiermaterial in einem Online-Shop zu bestellen. Zudem erhält jede Lehrkraft weiterhin ein gedrucktes Exemplar des Handbuchordners zu Experimento | 10+.

Ziel der Präsenzveranstaltung ist also das eigenständige Erproben der Schülerexperimente aus Experimento | 10+ unter Verknüpfung mit und Anwendung von Inhalten aus den Online-Modulen. Zusätzlich sollen die Lehrkräfte mit dem Medienportal vertraut gemacht werden.

Tatsächlich war die Zeit Durchführung der Präsenzfortbildung von der COVID-19-Pandemie geprägt. Durch eine Verringerung der Teilnehmenden-Zahl und zeitweise Einschränkungen im informellen Teil, wie dem Wegfall eines gemeinsamen Mittagessens, konnten die Veranstaltungen dennoch nahezu wie geplant stattfinden. Außerdem wurde pandemiebedingt entschieden, dass die Lehrkräfte die Experimentierstationen in der kleinstmöglichen Form der Gruppenarbeit, in Dyaden, bearbeiten. Dies hat sich bewährt und wird voraussichtlich auch in künftigen Veranstaltungen so umgesetzt werden, weil dadurch einerseits eine hohe Eigenaktivität beim Experimentieren, andererseits aber auch der kollegiale Austausch sichergestellt sind.

5.3.2 Angebotene Schülerexperimente

Für den laborpraktischen Teil der Fortbildung konnte nahezu vollständig auf die bereits existierenden Versuchsanleitungen aus dem Handbuchordner für Experimento | 10+ zurückgegriffen werden. Es standen 18 Experimente mit insgesamt 54 Teilversuchen zu den Themengebieten Energie, Umwelt und Gesundheit zur Verfügung, die sich prinzipiell alle für die Umsetzung in der Lehrkräftefortbildung eignen. Eine Übersicht über die bestehenden Experimente ist in Tabelle 11 bis Tabelle 13 gezeigt.

Tabelle 11: Experimente zum Themengebiet „Energie“ in Experimento | 10+ [194]

A Energie	
A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen – Wir bauen eine Farbstoffzelle	<ul style="list-style-type: none"> • Bau einer Farbstoffsolarzelle • Leistung der Grätzelzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken • Größere Spannungen durch mehrere Grätzelzellen
A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzschnmelze	<ul style="list-style-type: none"> • Wasser als Wärmespeicher – Nicht nur der Tee wird kalt • Wasser als effektiver Wärmespeicher – Wasser kann länger warm bleiben, wenn ... • Wärme für kalte Finger – Ist das Wärmekissen ein Wärmespeicher? • Wie das Wärmekissen Wärme speichert – Ein Salz, mal fest, mal flüssig
A3 Zitronen- und andere Batterien – Strom aus chemischer Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Wie gut funktioniert die „Obst- und Gemüsebatterie“? • Die „Zitronen-Batterie“: Was erfüllt welchen Zweck? • Die „Zitronen-Batterie“ ohne Zitrone • Eine Batterie, die belastbar ist • Ein Kupferüberzug ganz von selbst? • Eine professionelle Zink-Kupfer-Batterie
A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme	<ul style="list-style-type: none"> • Warum friert man in nasser Kleidung? • Wie kühlt ein nasses Wattepad?
A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung	<ul style="list-style-type: none"> • Erste Erkundungen mit der Solarzelle • Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung bei unterschiedlichem Abstand zur Lampe • Was passiert, wenn man Solarzellen in Reihe oder parallel schaltet? • Stromstärke und Spannung bei der Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen • Wie verhalten sich Solarzellen in Reihen- oder Parallelschaltung bei Abschattung? • Optimierung der Leistung von Solarzellen

Tabelle 12: Experimente zum Themengebiet „Umwelt“ in Experimento | 10+ [194]

B Umwelt	
B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern	-
B2 Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung	<ul style="list-style-type: none"> • Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im offenen Becher • Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im geschlossenen Becher • Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im geschlossenen Becher mit schwarzem Absorber • Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im geschlossenen Becher mit Alu-Absorber
B3 Wie funktioniert die Mülltrennung? – Stofftrennung nach Dichte und Magnetismus	<ul style="list-style-type: none"> • Trennung eines Feststoffgemenges aus Sand und Eisen • Können wir eine Sand-Kunststoff-Wasser-Salz-Mischung trennen? • Prinzip der Trennung von Aluminium von anderen Nicht-Eisen-Metallen
B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden zur Wasserreinigung	<ul style="list-style-type: none"> • Grobe Reinigung des verschmutzten Wassers mit Quarzsand, Aktivkohle und Filterpapier • Feinreinigung von Wasser mit Membranfilter • Feinreinigung von Wasser mit Hohlfasermembranfilter
B5 Wir bauen ein thermisches Sonnenkraftwerk – Mit Brennglas und Spiegel	<ul style="list-style-type: none"> • Entzünden eines Papierstreifens mit der Lupe als Brennglas • Wir erwärmen Wasser mit der Sonne
B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff und Brennstoffzelle	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts • Elektrische Energie aus Wasserkraft • Elektrische Energie aus Windenergie • Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt
B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff) • Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren • Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkiodid-Zelle (Redox-Flow)

Tabelle 13: Experimente zum Themengebiet „Gesundheit“ in *Experimento* | 10+ [194]

C Gesundheit	
C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette	<ul style="list-style-type: none"> • Zucker lässt sich verbrennen • Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff A (Wasser) • Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff B (Kohlenstoffdioxid)
C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker	<ul style="list-style-type: none"> • Kartoffeln enthalten Stärke • Hydrolyse von Stärke
C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl	<ul style="list-style-type: none"> • Wir emulgieren Öl • Verseifung von Speiseöl
C4 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung des pH-Wertes mit pH-Messstäbchen • Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit einem Arduino (<i>neu</i>)
C5 Welche Aufgaben hat die Haut? – Die Haut als Sinnesorgan	<ul style="list-style-type: none"> • Wie reagiert die Haut auf Berührung? • Wie nimmt die Haut Kälte und Wärme wahr? • Wie unterscheidet die Haut Temperatur?
C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?	<ul style="list-style-type: none"> • Was passiert beim Händewaschen? • Der pH-Wert der Haut

Alle Experimente sind im Vorfeld ausführlich im Labor erprobt worden. Da es in der Fortbildung nicht zielführend wäre, jedes einzelne Experiment durchzuführen, fand eine Auswahl aus den vorhandenen Versuchen statt. Dabei war zu berücksichtigen, dass mit *Experimento* alle naturwissenschaftlichen Fächer angesprochen werden sollen. Entsprechend ist die Auswahl der Experimente für jeden Fortbildungstag so gestaltet, dass für Biologie-, Physik- und Chemielehrkräfte passende Themen adressiert werden. Zusätzlich sollten die gewählten Experimente robust in der Handhabung und wenig fehleranfällig sein. Dies trifft grundsätzlich auf alle Versuche aus *Experimento* | 10+ zu. Das Experiment zum Thema „Wir verbrennen Zucker“ ist jedoch im Rahmen der Überarbeitung noch etwas optimiert worden, um ein zuverlässiges Ablauf der Reaktion sicherzustellen [261]. Darüber hinaus sollten zu allen vorgestellten Experimenten passende interaktive Medien auf dem Medienportal verfügbar sein. Bei der Auswahl von zugehörigen Experimenten zum Thema Inklusion wurde insbesondere darauf geachtet, dass entsprechende inklusive und sprachensible Arbeitsblätter vorhanden sind. Auch bei den anderen fakultativen Elementen sind

entsprechende Anknüpfungspunkte berücksichtigt. Beim Thema Wertebildung sind die Experimente so gewählt worden, dass besonders die Möglichkeit zur Verbindung mit den gegenstandsbezogenen Werten besteht. Bei CT wurde mit der pH-Messung mit dem Arduino ein gänzlich neues Experiment eingeführt. Zusätzlich lassen sich in den ausgewählten Experimenten stets Elemente von CT wiederfinden, zum Beispiel Algorithmen oder das Zerlegen eines größeren Problems in einzelne Teilprobleme. Die Trennungsversuche, wie B3 „Wie funktioniert die Mülltrennung?“ oder B4 „Wir gewinnen Trinkwasser“ eignen sich darüber hinaus besonders für die praktische Anwendung von Flussdiagrammen.

Bei allen Experimenten aus Experimento | 10+ handelt es sich um einfache Versuche, die als Microscale- oder low-cost-Experimente konzipiert sind (Beispiele siehe Abbildung 25). Sie dienen als Schülerexperimente mit geringem Gefährdungspotenzial zur Umsetzung in Gruppenarbeit. Abgesehen von chemischen Stoffen wie Kupfersulfat oder Lugolscher Lösung werden hauptsächlich Haushaltschemikalien wie Zitronensäure, Soda (Na_2CO_3) oder Spiritus (Ethanol) verwendet. Da auch für derartige Experimente Gefährdungsbeurteilungen angefertigt werden müssen, wurden für sämtliche Versuche aus Experimento | 10+ Gefährdungsbeurteilungen ausgearbeitet und den Lehrkräften über DEGIN TU zur Verfügung gestellt, um die Hürden für den Einsatz im Unterricht möglichst gering zu halten. Durch die vorhandenen Gefährdungsbeurteilungen auf DEGIN TU und die Anleitungen für Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte im Handbuchordner zu Experimento | 10+ können die Inhalte unmittelbar in den Unterrichtsalltag einfließen, was dem Wunsch nach Fortbildungen, welche „close to the job“ [1] sind, entspricht. Die Versuchsanleitungen zu Experimento | 10+ beschreiben detailliert alle notwendigen Materialien und Arbeitsschritte (Beispiel siehe Abbildung 26).

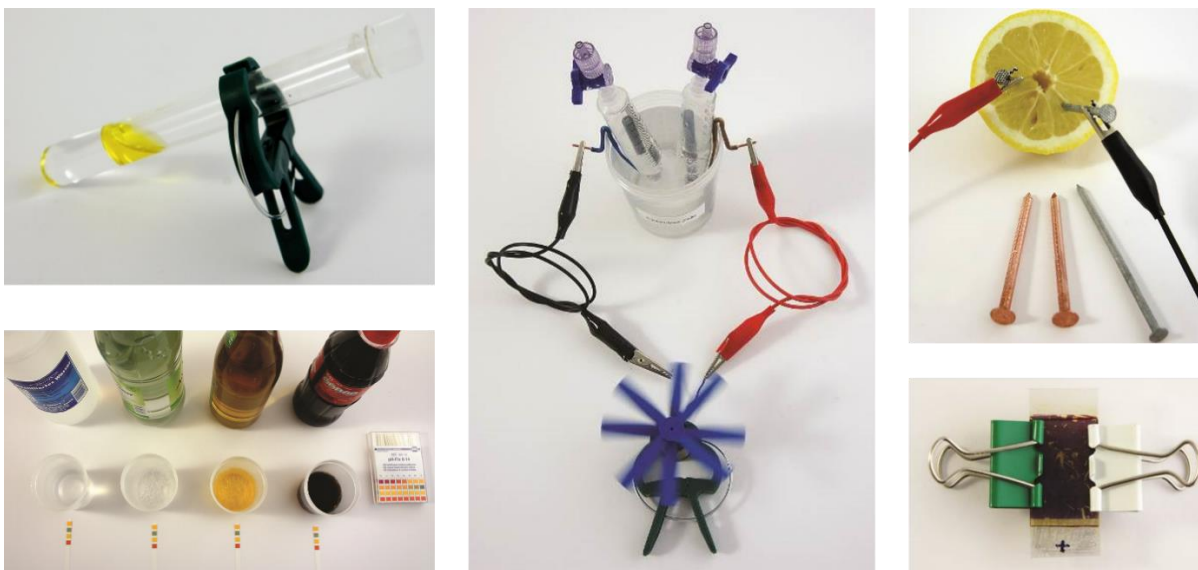


Abbildung 25: Beispielhafte Abbildungen zu Experimenten aus Experimento | 10+ [194] © Siemens Stiftung 2021, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.

3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Gummibänder	2
Isolierende Unterlage, z. B. Wellpappe, Styropor	1
Wärmekissen (mit Salzschnmelze)	1

3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

3.3 Versuchsdurchführung

- Schau dir das Wärmekissen genau an. Beschreibe insbesondere seinen Inhalt.
- Falte das Wärmekissen und halte das Ganze mit den Gummibändern zusammen.
- Stecke nun den Temperaturfühler des Thermometers so dazwischen, dass er insbesondere an der Spitze festen Kontakt zum Wärmekissen hat.
- Knicke das Metallplättchen, das sich im Innern des Beutels befindet, vorsichtig entgegen seiner Wölbung, gerade so stark, dass du ein Knacken hören oder fühlen kannst.
Beobachte die sofortige Veränderung!
- Lege das Kissen mit dem Thermometer auf eine isolierende Unterlage.
- Lies die Temperatur ab und wiederhole dies nach ein paar Minuten.

Man kann den Versuch wiederholen, allerdings muss das Wärmekissen dazu regeneriert werden. Dazu legt es die Lehrkraft in kochendes Wasser und belässt es so lange darin, bis der Inhalt wieder flüssig geworden ist. Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur kann das Kissen wieder eingesetzt werden.



Abbildung 26: Ausschnitt aus einer Experimentieranleitung für Schülerinnen und Schüler aus *Experimento* | 10+ [194], © Siemens Stiftung 2021, Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.


Im Rahmen der praktischen Erprobung der neu konzipierten Fortbildung wurden darüber hinaus manche Experimente noch mit eigenen zusätzlichen Ideen versehen, beispielsweise wurde das oben gezeigte Experiment (Abbildung 26) zur besseren Visualisierung des Energieumsatzes noch mit einer Wärmebildkamera erweitert [262].


5.4 *Experimento* und Forschendes Lernen

Bei *Experimento* liegt der Fokus gemäß der Siemens Stiftung auf dem „selbstständige[n] Experimentieren, Erforschen und Begreifen von Naturphänomenen und technischen Entwicklungen“ [12]. Das Bildungsprogramm basiert demnach, wie bereits dargelegt, auf dem Prinzip des Forschenden Lernens [12]. In diesem Zusammenhang hat die Stiftung mit dem Forschungskreis (siehe Kapitel 5.2.2.1) eine eigene Darstellung vorgelegt, die den Weg der

naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung im Sinne des Forschenden Lernens abbilden soll. Dieser umfasst neun Phasen: 1. Problem oder Phänomen Erkennen, 2. Forschungsfrage Formulieren, 3. Ideen und Vermutungen Sammeln, 4. Experimentieren, 5. Beobachten und Dokumentieren, 6. Auswerten und Reflektieren, 7. Weiterforschen, 8. Technikbezug Herstellen und 9. Wertebezug Herstellen. Damit steht der Forschungskreis der Siemens Stiftung in Einklang mit den in der Literatur beschriebenen Modellen zur Strukturierung des Forschenden Lernens in Form eines Forschungszyklus (siehe Kapitel 3.2), wird allerdings noch durch weitere Phasen ergänzt (Weiterforschen, Technikbezug Herstellen, Wertebezug Herstellen). Die im Forschungskreis vorgeschlagenen Phasen werden in linearer Abfolge durchlaufen, „mögliche Irr- und Umwege“ [70] sind prinzipiell nicht vorgesehen. Während im Handbuchordner zu Experimento | 8+ der Forschungskreis als Teil der Versuchsanleitungen fest etabliert ist (Beispiel siehe Abbildung 27), ist dies bei Experimento | 10+ nicht der Fall.

B6.1 Die Energie der Sonne als Wärme nutzen (1)

 Heute ist der erste richtig warme Tag des Jahres und die Sonne scheint sehr intensiv. Leider hast du dich zu warm angezogen. Du hast auch noch ausgerechnet deine schwarze Jacke an. Diese wird besonders heiß.

 **Warum wird dir noch wärmer, wenn du in der Sonne schwarze Kleidung trägst?**


 **Schreibe deine Ideen und Vermutungen auf:**

Abbildung 27: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Experimentieranleitung für Schülerinnen und Schüler zu Experimento | 8+ [263] © Siemens Stiftung 2021. Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.

Für beide Programmteile gilt allerdings, dass die Experimentieranleitungen sehr geschlossen gehalten sind, sodass von einem geringen Grad der Offenheit des Forschenden Lernens nach BLANCHARD ET AL. [80] ausgegangen werden kann. In Abhängigkeit davon, wie offen die Ergebnisinterpretation der durchgeführten Experimente im individuellen Fall von der Lehrkraft gestaltet wird, ist demnach bei *Experimento* Level 0 (verification) oder Level 1 (structured) anzunehmen. Gar vom forschend-entdeckenden Lernen zu sprechen wäre zu weit gegriffen, da die Schülerinnen und Schüler in diesem Fall mit komplexen, offenen und zunächst unübersichtlichen Problemstellungen konfrontiert wären und diese selbst lösen müssten [58]. Dies ist in *Experimento* nicht der Fall – was nicht per se negativ zu bewerten ist, schließlich gehen mit einem hohen Grad der Offenheit auch Nachteile einher (vgl. Kapitel 3.2). Damit die Schülerexperimente in *Experimento* aber als Teil des Forschenden Lernens angesehen werden können, muss diesen zumindest eine Forschungsfrage zu Grunde liegen [70]. Für

Experimento | 8+ ist das durch den Einbezug des Forschungskreises inklusive einer vorformulierten Forschungsfrage gegeben. Damit auch in Experimento | 10+ die Elemente des Forschenden Lernens stärker zum Tragen kommen, wurde im Zuge der Überarbeitung entschieden, den Forschungskreis hier ebenfalls als wichtigen Bestandteil einzuführen. Dazu wird dieser zunächst in den digitalen Phasen erläutert. Während der Präsenzveranstaltungen wird der Forschungskreis wieder aufgegriffen und gemeinsam überlegt, wie die durchgeführten Experimente so gestaltet werden können, dass Elemente des Forschungskreises bzw. des Forschenden Lernens allgemein besser berücksichtigt sind und das Experimentieren weniger wie ein rezeptartiges Abarbeiten der Versuchsvorschriften arrangiert ist. Auf die Umgestaltung aller Experimentieranleitungen analog zu Experimento | 8+ wurde allerdings verzichtet, um den Lehrkräften weiterhin methodisch-didaktische Freiheiten zu gewähren [194].

5.5 Adressierung digitaler Medienkompetenzen in Experimento | 10+

Die Erprobung und Anwendung von einzelnen digitalen Tools ist nicht das ausdrückliche Ziel der neu konzipierten Experimento | 10+ Fortbildung. Dennoch sollte die Digitalität in der Konzeption berücksichtigt werden. Die Fortbildung soll zumindest indirekt einen Beitrag dazu leisten, dass Lehrkräfte selbst über die erforderlichen Kompetenzen für die Teilhabe an der digitalen Welt verfügen, diese ihren Schülerinnen und Schülern vermitteln und einen lernförderlichen Unterricht mit digitalen Medien gestalten können. In Experimento | 10+ gibt es mehrere Anknüpfungspunkte für die Adressierung digitaler Medienkompetenzen. So werden bereits durch das Blended Learning-Format die Vorteile der Digitalisierung für die Konzeption der Fortbildung genutzt. Im Umgang mit der Online-Anwendung setzen sich die Lehrkräfte zwangsläufig selbstgesteuert mit digital aufbereiteten Inhalten auseinander. Dies soll, wie bereits angedeutet, Kompetenzen wie das *Bedienen und Anwenden digitaler Medien* und das *Suchen und Verarbeiten von Informationen mithilfe digitaler Medien* anregen [264], welche als Zielkompetenzen von der Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern [223] in Anlehnung an das Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ [3] der KMK beschrieben sind.

Auch inhaltlich nehmen die Online-Module Bezug zur Digitalisierung. Im Modul „Wertebildung“ wird explizit das Thema „Big Data“ erörtert. Damit sollen die Lehrkräfte dazu befähigt werden – wie ebenfalls in den Zielkompetenzen der Forschungsgruppe durch den Kompetenzbereich *Analysieren, Reflektieren und Diskutieren* [223] beschrieben – mit ihren Schülerinnen und Schülern über die Chancen und Risiken der Digitalisierung für das Individuum und die Gesellschaft zu diskutieren und die damit verbundenen Wertvorstellungen zu analysieren [223]. In den dazugehörigen medienbezogenen Lehrkompetenzen für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt wird ebenfalls gefordert, dass Lehrkräfte „Lehr-Lern-Arrangements planen

und vorbereiten [können], die es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, über die eigenen Erfahrungen mit digitalen Medien und deren Potenziale und Gefahren für sich selbst und andere zu reflektieren“ [223]. Gleichzeitig bietet Big Data auch Anknüpfungspunkte für die u. a. im Dagstuhl-Dreieck [231] beschriebene technologische Perspektive der Digitalisierung, indem die Lehrkräfte für algorithmische Vorgänge bei der Datenverarbeitung sensibilisiert werden. Im Modul „Computational Thinking“ werden diese algorithmischen Prozesse in digitalen Tools sowie die informatisch-technologische Perspektive nochmals vertieft. Schließlich sollen die Schülerinnen und Schüler, im Sinne der von der Forschungsgruppe formulierten Zielkompetenz *Erwerben und Anwenden von Wissen über digitale Medien*, über Kenntnisse im Hinblick auf digitale Medien und deren informatische Grundlagen verfügen [223]. Zudem gilt CT als wichtige Problemlösefähigkeit zur Partizipation an der digitalisierten Gesellschaft (siehe Kapitel 3.5). Bezüge zwischen CT und dem Strategiepapier der KMK [3] sowie dem Medienkompetenzrahmen NRW [160] in den Kompetenzbereichen *Problemlösen und Handeln* bzw. *Problemlösen und Modellieren* verdeutlichen den Beitrag von CT zur digitalen Medienkompetenz weiter. Im Zuge des Moduls zu CT wird darüber hinaus auf mehrere digitale Anwendungen verwiesen, zum Beispiel Simulationen und Animationen auf PhET oder die Nutzung von Scratch. Außerdem erhält mit der Einführung des dazugehörigen Experiments zur pH-Messung mit dem Mikrocontroller Arduino auch die digitale Messwerterfassung Einzug in Experimento | 10+. Somit erfolgt eine Integration digitaler Medien in das (chemische) Experiment [262]. Dies ist auch für die bereits erwähnte Wärmebildkamera der Fall. Darüber hinaus werden im Rahmen von Experimento | 10+ weitere Experimente mit digitalen Medien ergänzt. Dies können beispielsweise dazugehörige Animationen oder Videos sein, die zur Veranschaulichung der submikroskopischen Teilchenebene dienen. Auch weitere digitale Unterrichtsmaterialien aus dem Medienportal können die Versuche anreichern. Generell spielt das Medienportal in der neu konzipierten Fortbildung eine wichtige Rolle, da auf dessen verstärkter Nutzung ein besonderer Fokus liegt. Die Lehrkräfte lernen nicht nur zu den Experimenten passende interaktive Medien kennen, sondern passen auch die jeweiligen digitalen Arbeitsblätter, Versuchsanleitungen etc. an ihren eigenen Unterricht an. Durch das Modifizieren, Anwenden und Einsetzen von digitalen Unterrichtsmaterialien aus dem Medienportal sollen ebenfalls digitale Kompetenzen adressiert werden [242] und die Lehrkräfte Ideen erhalten, wie sie mit Hilfe dieser Medien ihren MINT-Unterricht ansprechend gestalten können. Außerdem sind (medien-)rechtliche Aspekte Teil einer digitalen Medienkompetenz [199,217,223]. Dies wird in der Fortbildung dadurch berücksichtigt, dass das von der Siemens Stiftung verwendete OER-Lizenzmodell erläutert und mit praktischen Hinweisen für die Anwendung solcher offenen Medien im Unterrichtsalltag versehen wird. Somit werden in Experimento | 10+ mehrere der von der Forschungsgruppe

Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern aufgeführten 19 medienbezogenen Kernkompetenzen angesprochen, unter anderem die Folgenden [223]:

- Lehrkräfte können den Einsatz digitaler Medien im Unterricht gemäß ihrem didaktischen Mehr- bzw. Eigenwert [...] selbstständig und in Kooperation mit anderen Lehrkräften planen (Bereich Planung und Entwicklung).
- Lehrkräfte [...] sind in der Lage, qualitativ hochwertige Angebote zu identifizieren und didaktisch sinnvoll in ihre Unterrichtsplanung einzubinden (Bereich Planung und Entwicklung).
- Lehrkräfte kennen medienrechtliche [...] Konzepte und berücksichtigen diese in der Unterrichtsplanung (Bereich Planung und Entwicklung).
- Lehrkräfte können digitale Unterrichtsszenarien, die andere entwickelt haben, recherchieren und diese im Hinblick auf die Passung zu den eigenen Unterrichtszielen beurteilen sowie für den eigenen Unterricht adaptieren (Bereich *Sharing*).

Außerdem wird das *Produzieren und Präsentieren* aus den Zielkompetenzen sowie den KMK-Kompetenzen angesprochen, da hier explizit die Einhaltung rechtlicher Rahmenbedingungen, wie des Urheberrechts, genannt ist [3,223].

Die Möglichkeit zur Anpassung der digitalen Unterrichtsmaterialien auf die Bedürfnisse der jeweiligen Lerngruppe ist besonders vor dem Hintergrund des Moduls „Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht“ relevant. Damit lassen sich auch hier Bezüge zu den medienbezogenen Kernkompetenzen herstellen. Zusätzlich wird gefordert, dass Lehrkräfte „Schülerinnen und Schüler gemäß dem festgestellten Förderbedarf beim [...] Lernen mit digitalen Medien durch gezielte und differenzierte Maßnahmen unterstützen“ sollen [223]. Dies ist durch die vorgestellten Differenzierungsmaßnahmen gegeben, vor allem, da auch hier digitale Medien eingebunden werden, beispielsweise durch QR-Codes. Des Weiteren können die Lehrkräfte während der Präsenzveranstaltungen dazu ermuntert werden, die im Inklusions-Modul vorgestellten alternativen Dokumentationsformen, wie die Protokollierung mittels Fotos oder Videos, mit dem Handy oder bestenfalls Tablet selbst auszuprobieren. Damit würden ebenfalls Kompetenzen im Bereich *Produzieren und Präsentieren mit digitalen Medien* [223] gestärkt. Außerdem können – je nach Erfahrungen und Vorlieben der jeweiligen Multiplikatorinnen und Multiplikatoren – weitere kleinere digitale Tools oder Programme in die Fortbildung einfließen, zum Beispiel indem in der Reflexionsphase ein „Stimmungsbild“ mit Hilfe einer digitalen Wortwolke erstellt wird.

5.6 Realisierung des Fortbildungskonzepts

Nach erfolgter Konzeptionsphase wurde die Lehrkräftefortbildung auch in der Praxis angeboten und durchgeführt. Das in diesem Zuge erhaltene Feedback der Lehrkräfte wurde stets aufgegriffen und die Fortbildung entsprechend optimiert. Insbesondere in einer Überarbeitungsschleife sind einige Anpassungen erfolgt (siehe Abbildung 28). Im Folgenden werden daher die Durchführung von Experimento | 10+ in der Praxis sowie die vorgenommenen Änderungen beschrieben.

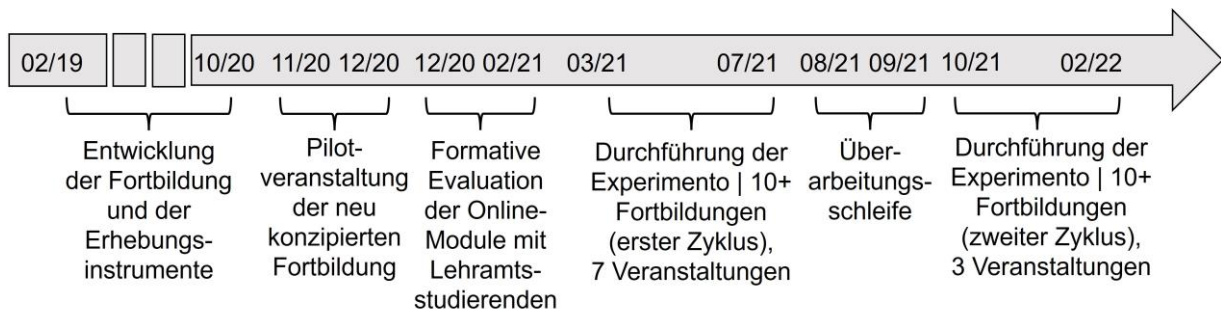


Abbildung 28: Überblick über den Verlauf der Konzeption und Erprobung der Experimento | 10+ Fortbildung (eigene Darstellung)

5.6.1 Durchführung in der Praxis

Eine erste Pilotierungsveranstaltung von Experimento | 10+ fand im November/Dezember 2020 an der Eberhard Karls Universität in Tübingen statt. Aufgrund der Corona-Hygienevorschriften konnten insgesamt lediglich sieben Lehrkräfte teilnehmen. Durch die aus der COVID-19-Pandemie resultierenden Maßnahmen und Vorschriften wurde auch die weitere Erprobungsphase beeinträchtigt. Alle Fortbildungen mussten unter Einhaltung von Hygienekonzepten sowie, im Vergleich zu den ursprünglichen Planungen, meist mit einer reduzierten Zahl an Teilnehmenden stattfinden. Bisweilen mussten bereits geplante Veranstaltungen aufgrund des örtlichen Infektionsgeschehens, von oft kurzfristig neu erlassenen Bestimmungen sowie Bedenken am Veranstaltungsort, abgesagt oder verschoben werden. Auch die Akquise der Teilnehmenden gestaltete sich schwierig, sodass einige der geplanten Fortbildungen aufgrund zu geringer Anmeldezahlen storniert werden mussten. Oftmals waren die Schulleitungen zurückhaltend mit der Freistellung für den Besuch einer zweitägigen Lehrkräftefortbildung, um weiteren Unterrichtsausfall abzuwenden. Dennoch wurde die Fortbildung insgesamt elf Mal an verschiedenen Schulen und Universitäten, hauptsächlich in Süddeutschland, vollständig durchgeführt (siehe Abbildung 29). Dabei wurde von verschiedenen Institutionen organisatorische Unterstützung geleistet, vor allem von den Lehrerfortbildungszentren der GDCh an der Universität Erlangen-Nürnberg und an der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe, dem *Experimento*-Zentrum in Osnabrück sowie dem Kompetenzzentrum für Lehrerfortbildung Osnabrück. Somit konnte die Fortbildung auf

verschiedenen Anmeldeportalen für Lehrkräftefortbildungen, wie zum Beispiel FIBS (Fortbildung in bayerischen Schulen), verankert werden. Zusätzlich wurden die Lehrkräfte über bestehende E-Mail-Verteiler angesprochen. Nachdem aufgrund der anhaltenden pandemischen Lage beschlossen wurde, Experimento | 10+ auch als schulinterne Lehrkräftefortbildung (SchiLf) für die naturwissenschaftlichen Fachschaften einer Schule anzubieten, konnten einige Fachreferenten der Ministerialbeauftragten für das Gymnasium in Bayern dafür gewonnen werden, das Angebot zu verbreiten. Durch die schulinternen Fortbildungen sollte vermieden werden, dass mehrere Lehrkräfte aus unterschiedlichen Schulen an einem zentralen Ort zusammenkommen und so möglicherweise verstärkt zum Infektionsgeschehen beitragen. Insgesamt haben rund einhundert Lehrkräfte aus verschiedenen weiterführenden Schularten erfolgreich an beiden Veranstaltungstagen der Experimento | 10+ Fortbildung teilgenommen.

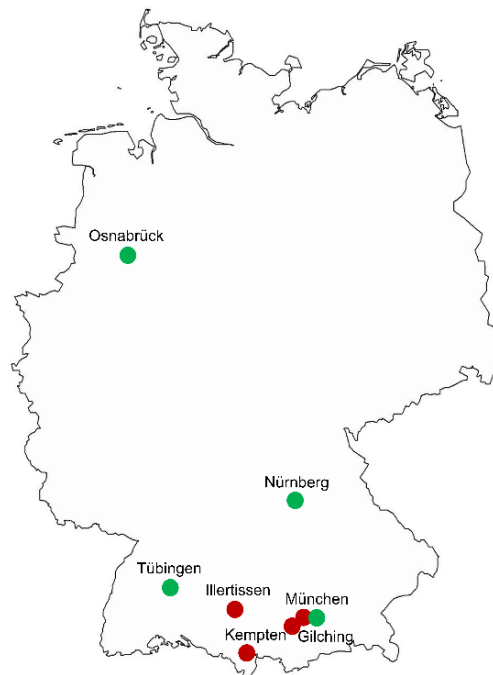


Abbildung 29: Veranstaltungsorte der Fortbildungen (SchiLf in Rot dargestellt, Fortbildungen mit Teilnehmenden aus unterschiedlichen Schulen in Grün), eigene Darstellung.

5.6.2 Überarbeitungsschleife

Bei der Weiterentwicklung von Experimento | 10+ handelt es sich um einen iterativen Prozess. Nach dem ersten Zyklus der Durchführung der neu gestalteten Lehrkräftefortbildung im Schuljahr 2020/2021 war eine Überarbeitungsschleife mit besonderem Fokus auf die Online-Module vorgesehen. Die Weiterentwicklung und Veränderung der Fortbildung basiert auf den Rückmeldungen der teilnehmenden Lehrkräfte und ist im weitesten Sinne an der Partizipativen Aktionsforschung orientiert [204]. So wurden beispielsweise nach Feedback der Lehrkräfte einzelne Formulierungen in den Online-Modulen verändert, um eine bessere Verständlichkeit

sicherzustellen. Insbesondere die Unterscheidung zwischen lernprozessbezogenen und gegenstandsbezogenen Werten wurde noch deutlicher hervorgehoben. Zusätzlich wurden im Zuge der Überarbeitungsschleife weitere interaktive Aufgabenstellungen bei Big Data, Inklusion und CT eingefügt. Dies war bereits von den Lehramtsstudierenden im Zuge der formativen Evaluation gewünscht worden, wurde jedoch bis zur geplanten Überarbeitungsschleife zurückgestellt. Die größte, die Online-Module betreffende Änderung, ist die Anpassung der Aufgabenstellung am Ende des jeweiligen Moduls. Im ersten Zyklus der Erprobung der Experimento | 10+ Fortbildung war hier vorgesehen, dass die Lehrkräfte eine Unterrichtsstunde in Form eines Artikulationsschemas skizzieren. Diese sollte ein Experiment aus Experimento | 10+ sowie vom Online-Modul thematisierte Inhalte enthalten. Von den Lehrkräften wurde allerdings der hohe Zeitbedarf hierfür bemängelt. In der Praxis zeigte sich, dass nur die wenigsten Lehrkräfte diese Aufgabe mit voller Ernsthaftigkeit bearbeitet hatten und dass in den Präsenzphasen nicht genügend Gelegenheiten zur Verfügung standen, die skizzierten Unterrichtsentwürfe ausreichend zu würdigen. Daher wurde die Aufgabenstellung deutlich abgemildert. Die Lehrkräfte sollen nun lediglich stichpunktartig Ideen für die Umsetzung im Unterricht generieren. Damit bleibt die so intendierte Verbindung zwischen digitalen und analogen Fortbildungsbestandteilen bestehen, wird aber eher den Wünschen der Teilnehmenden gerecht und berücksichtigt die hohe generelle Arbeitsbelastung von Lehrkräften.

Für die Präsenzphasen hat sich gezeigt, dass die Reflexion über die Online-Module methodisch angeleitet werden muss und sich die Lehrkräfte hierfür in der Regel eine Gruppenarbeit wünschen. Dies war aufgrund der pandemiebedingten Vorschriften zunächst nicht möglich, wurde aber im Zuge der Überarbeitungsschleife im Sommer 2021 dann stärker berücksichtigt. Auch die Zusammenhänge zwischen den Online-Modulen und den Experimenten waren anfangs teilweise nicht deutlich genug, sodass diese nach der ersten Pilotierung stärker betont und verbalisiert wurden. Zusätzlich wurden die bestehenden Experimentieranleitungen aus dem Handbuchordner zu Experimento | 10+ im Laufe der Überarbeitungsschleife gemäß den gesammelten Anmerkungen der Lehrkräfte leicht angepasst und aktualisiert. Die Arbeitsaufträge zum Umgang mit dem Medienportal während der Präsenzphasen wurden zudem konkretisiert, um auch gegen Ende der jeweiligen Veranstaltung durch zielführende Aufträge die Motivation der Lehrkräfte aufrecht zu erhalten. Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass keine substanziellen Veränderungen an der überarbeiteten Fortbildungskonzeption vorgenommen wurden. Daher ist für die damit verbundene Evaluation der Lehrkräftefortbildung keine Notwendigkeit gegeben, zwischen den verschiedenen Zyklen der Durchführung zu unterscheiden.

6 Evaluation der Lehrkräftefortbildung

Im Zuge der Weiterentwicklung der Experimento | 10+ Fortbildung wurde diese auch einer Evaluation unterzogen. Hierbei sollte nicht nur das Ausmaß der Zielerreichung des neuen Fortbildungsangebots untersucht, sondern ebenfalls dem Desiderat einer gezielten wissenschaftlichen Begleitforschung von Lehrkräftefortbildungen Rechnung getragen werden. Die vorliegende empirische Untersuchung ist in den Teilbereich der Evaluationsforschung einzuordnen [265]. Die Evaluationsforschung stellt einen meist anwendungsbezogenen Teilbereich der empirischen Sozialforschung dar, bei dem eine wissenschaftlich fundierte Bewertung verschiedener Evaluationsgegenstände, insbesondere von Interventionsmaßnahmen, vorgenommen wird [265]. Im hier beschriebenen Fall handelt es sich um die wissenschaftliche Evaluation der theoriebasiert entwickelten Interventionsmaßnahme Lehrkräftefortbildung. Bei der Evaluationsforschung wird allgemein untersucht, welche Wirkungen und Folgen durch eine bestimmte Maßnahme erzielt werden und welche Hinweise auf Verbesserungen es gibt. Dabei werden verschiedene Bewertungskriterien berücksichtigt, zum Beispiel die Akzeptanz und die Nachhaltigkeit der Intervention [265].

Im Folgenden wird die wissenschaftliche Begleitforschung und Evaluation von Experimento | 10+ näher vorgestellt. Dazu werden zunächst leitende Forschungsfragen und Hypothesen erläutert. Davon ausgehend wird das Forschungsdesign mit den Erhebungs- und Auswertungsmethoden detailliert dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Evaluationsforschung beschrieben und diskutiert. Daraus folgen entsprechende Optimierungsvorschläge und Empfehlungen für die pädagogische Praxis.

6.1 Forschungsfragen und Hypothesen

Abgeleitet aus den Zielsetzungen der Experimento | 10+ Fortbildung, den bestehenden Befunden zu Lehrkräftefortbildungen, den bildungspolitischen Rahmenbedingungen sowie den Charakteristika der Evaluationsforschung ergeben sich folgende Forschungsfragen:

(1) Wie beurteilen die fortgebildeten Lehrkräfte die überarbeitete Experimento | 10+ Fortbildung?

Ein wichtiger Anhaltspunkt für den Erfolg einer neu gestalteten Fortbildung ist die Akzeptanz der Maßnahme und die Passung auf die Bedürfnisse der teilnehmenden Lehrkräfte. Daher wird im Rahmen der Evaluation untersucht, inwieweit die Lehrkräfte mit dem Fortbildungsangebot zufrieden sind. Es werden die Fortbildung insgesamt, die Online-Anwendung, die Präsenzphasen und das Blended Learning-Konzept betrachtet. Auch wird abgefragt, inwiefern die Absicht besteht, *Experimento* künftig im Unterricht einzusetzen.

Grundlegendes Ziel der Fortbildung ist schließlich, die Lehrkräfte durch den nachhaltigen Transfer der Inhalte aus Experimento | 10+ in die Schulpraxis bei der Gestaltung eines hochwertigen MINT-Unterrichts zu unterstützen [14]. Daraus ergibt sich unmittelbar die zweite Forschungsfrage:

(2) In welcher Art und welchem Umfang setzen die Lehrkräfte nach Besuch der Fortbildung Experimento | 10+ die Inhalte, insbesondere die Experimente, in ihrem Unterricht ein?

Dabei werden folgende Hypothesen aufgestellt:

- H1: Die Lehrkräfte entwickeln durch die Fortbildung eine positivere Einstellung zum Einsatz von Schülerexperimenten.
- H2: Die Lehrkräfte setzen nach dem Besuch der Fortbildung häufiger als zuvor Schülerexperimente in ihrem Unterricht ein.
- H3: Die Lehrkräfte setzen nach der Fortbildung häufiger Elemente des Forschenden Lernens im Unterricht um.
- H4: Die Lehrkräfte implementieren die erhaltenen Materialien dauerhaft in ihre Unterrichtspraxis.

Wie in Kapitel 4.3 und 5.5 erläutert, soll im Zuge der neu gestalteten Fortbildung zu Experimento | 10+ auch die digitale Medienkompetenz der Lehrkräfte angesprochen werden. In diesem Zusammenhang sind besonders die Einstellungen zu digitalen Medien und die medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung von Interesse [204]. Da die beabsichtigte Förderung der digitalen Medienkompetenz hauptsächlich auf der vertieften Nutzung des Medienportals, dem Blended Learning-Format sowie den digitalisierungsbezogenen Inhalten der Online-Module fußt, stellt sich folgende Frage:

(3) Inwiefern ist die Fortbildung dazu geeignet, die digitale Medienkompetenz der Teilnehmenden zu steigern?

Damit verbunden sind folgende Hypothesen:

- H1: Die Fortbildung trägt zur Steigerung der medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung bei den Teilnehmenden bei.
- H2: Die Fortbildung führt zu einer positiveren Einstellung gegenüber digitalen Medien im Unterricht allgemein sowie insbesondere im naturwissenschaftlichen Unterricht.
- H3: Durch die Fortbildung werden bestimmte Medienkompetenzen gefördert.

Von besonderem Interesse bei der Evaluation sind die Nachfrage nach den Online-Modulen und deren Wirkung. Dies soll anhand folgender Forschungsfrage untersucht werden:

(4) Inwieweit beeinflusst das Absolvieren des jeweiligen Online-Moduls die Einstellungen sowie das dazugehörige (Handlungs-)Wissen der Lehrkräfte?

Dabei wird von folgenden Hypothesen ausgegangen:

- H1: Die Lehrkräfte schreiben dem jeweiligen Thema nach Absolvieren des Online-Moduls eine hohe Bedeutung für die Schulpraxis zu.
- H2: Die Lehrkräfte wissen nach dem Besuch der Fortbildung, wie sie die Inhalte der Online-Module in ihren Unterricht integrieren können.
- H3: Die Lehrkräfte integrieren die Inhalte der Online-Module nach dem Besuch der Fortbildung in ihren Unterricht.

Im Angebots-Nutzungsmodell von Fortbildungen wird auf der Nutzungs-Seite insbesondere der Fortbildungsmotivation von Lehrkräften eine hohe Bedeutung zugeschrieben [9]. Dabei unterscheidet sich neben der Ausprägung auch die Art der Motivation unter den Lehrkräften. Es ist also davon auszugehen, dass in Abhängigkeit von der Fortbildungsmotivation die Umsetzung der vorgestellten Inhalte in der Unterrichtspraxis in unterschiedlichem Ausmaß erfolgen wird. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage und Hypothese:

(5) Aus welcher Motivation heraus nehmen Lehrkräfte an Fortbildungen teil?

H1: Je nach Art der Fortbildungswahlmotivation setzen Lehrkräfte die Fortbildungsinhalte in unterschiedlichem Maße im Unterricht ein.

Darüber hinaus werden mit dieser Forschungsfrage (FF) weitere Rückschlüsse auf die generelle Fortbildungsmotivation von Lehrkräften gezogen (vgl. Kapitel 2.3).

6.2 Konzeption der Begleitforschung

Die Evaluation der Lehrkräftefortbildung fand hauptsächlich in Form einer Fragebogenerhebung statt. Zusätzlich wurden bestimmte Nutzungsaktivitäten in der Online-Anwendung technisch erfasst. Im Folgenden wird zunächst näher auf die Fragebogenstudie eingegangen. Dazu werden das Erhebungsdesign und die Entwicklung der Erhebungsinstrumente detailliert vorgestellt. Anschließend folgt eine kurze Darstellung der Vorgehensweise zur technischen Erfassung des Nutzungsverhaltens sowie abschließend eine Beschreibung der gewonnenen Stichprobe.

6.2.1 Fragebogenerhebung

Das Hauptaugenmerk der wissenschaftlichen Evaluation lag auf der begleitenden Fragebogenerhebung. Hierfür wurden die teilnehmenden Lehrkräfte an allen Fortbildungsstandorten gebeten, an der Fragebogenstudie teilzunehmen. Die Freiwilligkeit der

Teilnahme wurde stets aufgezeigt. Zudem wurde gemäß Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) darauf hingewiesen, dass die Lehrkräfte die Löschung oder Berichtigung der verarbeiteten Daten verlangen können.

6.2.1.1 Erhebungsmethoden und -design

Die Fortbildung wurde in einem Prä-Post-Follow-Up-Design mittels webbasierter Fragebögen evaluiert. Die Online-Fragebögen waren mit Hilfe eines entsprechenden Plug-Ins auf der Webseite der Siemens Stiftung verankert. Die Lehrkräfte wurden zu den drei Messzeitpunkten jeweils gebeten, eine Selbsteinschätzung zu verschiedenen Items abzugeben [242]. (Wissens-)Tests wurden nicht durchgeführt, um eine hohe Bereitschaft zur Teilnahme an der Befragung zu generieren.

Die erste Fragebogenerhebung (T0) fand noch vor dem Absolvieren des ersten Online-Moduls statt. Dazu wurde den Lehrkräften vorab der Link zum onlinebasierten Fragebogen per E-Mail zugesendet. Die zweite Befragung (T1) schloss sich unmittelbar an das Ende der zweiten Präsenzveranstaltung an. Nach Möglichkeit füllten noch vor Ort alle Lehrkräfte den Fragebogen digital aus. Dies sollte zu einer hohen Durchführungsobjektivität und einer geringen Drop-Out-Rate bei der Befragung führen. Der Link zum dritten Fragebogen (T2) wurde dann etwa drei Monate nach erfolgtem Treatment versendet (siehe Abbildung 30).

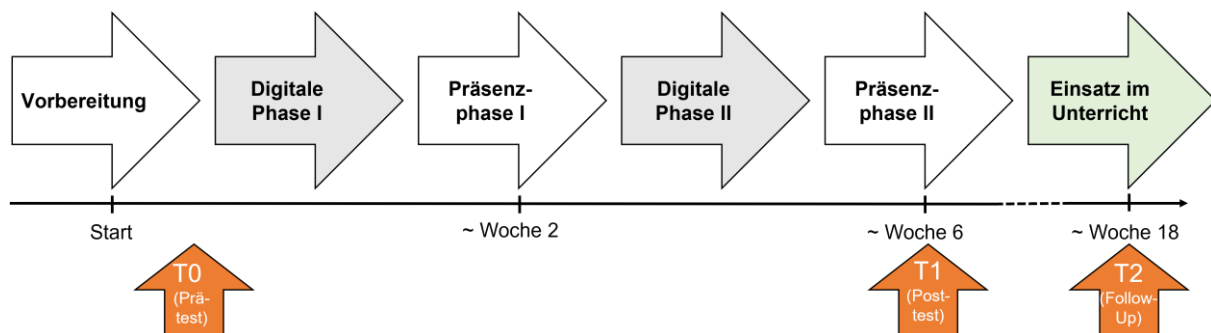


Abbildung 30: Messzeitpunkte der Begleitforschung im Fortbildungsverlauf (eigene Darstellung)

Um die Aussagekraft der Studie sicherzustellen, war zunächst eine Wartekontrollgruppe, die dann erst später an der Fortbildung teilnimmt, vorgesehen. Aufgrund der pandemischen Lage waren jedoch vergleichsweise geringe Anmeldezahlen zu erwarten, sodass die Idee verworfen werden musste. Stattdessen wurden die teilnehmenden Lehrkräfte gebeten, Kolleginnen und Kollegen an ihrer Schule dazu zu gewinnen, an der Befragung für die Kontrollgruppe teilzunehmen. Im Verlauf der Studie zeigte sich allerdings, dass bei der Kontrollgruppe ein hoher Drop-Out zu beobachten war und lediglich zwei Lehrkräfte an allen drei Befragungszeitpunkten partizipierten. Daher muss der geplante Vergleich mit einer Kontrollgruppe weitgehend entfallen. Eine Ausnahme bildet die vierte Forschungsfrage: Da jeweils nur zwei der drei angebotenen Online-Module von den Lehrkräften ausgewählt werden

müssen, können die Gruppen im Sinne einer Interventionsgruppe, die das gewählte Thema später bearbeitet hatte und einer Kontrollgruppe, die sich nicht mit dem Modul beschäftigte, miteinander verglichen werden.

Die Zuweisung von Lehrkräften zu den Veranstaltungen war nicht randomisiert, sondern die interessierten Personen meldeten sich selbst für die Lehrkräftefortbildung an. Damit handelt es sich um ein quasi-experimentelles Untersuchungsdesign mit Messwiederholung (*within-subjects design*) [265]. Als Evaluationsmodell [266] wurde das Vier-Ebenen-Modell nach KIRKPATRICK [39] bzw. der auf Lehrkräftefortbildungen adaptierte Ansatz von LIPOWSKY & RZEJAK [8] verwendet. Die Erfassung der Zufriedenheit mit der Fortbildung (erste Ebene) erfolgt mit dem Post-Fragebogen. Die Veränderungen im Wissen, den wahrgenommenen Kompetenzen und den Einstellungen der Lehrkräfte (zweite Ebene) wurden, wie üblich, durch die Vor- und Nachbefragung mit Einstellungsskalen und Selbsteinschätzungen des Lernfortschritts erfasst [6,266]. Insbesondere die dritte aber auch die vierte Ebene des Evaluationsmodells sind methodisch nur schwer zugänglich [5,266]. Daher konzentrierte sich die wissenschaftliche Begleitforschung im vorliegenden Fall vor allem auf die erste und zweite Ebene. Um zumindest einen Einblick in die tatsächliche Umsetzung im Unterricht (dritte Ebene) und die Ebene der Lernenden (vierte Ebene) zu erhalten, wurden die teilnehmenden Lehrkräfte in der Fragebogenerhebung diesbezüglich ebenfalls um ihre subjektive Einschätzung gebeten. Videostudien, die – wie von LIPOWSKY [5] vorgeschlagen – konkretere Aussagen ermöglichen würden, waren im Rahmen des Projekts nicht vorgesehen.

Zur Prüfung der Nachhaltigkeit der Maßnahme wurde eine Follow-Up-Befragung durchgeführt [266]. In diesem Zuge wurde auch erfasst, ob und in welchem Umfang die Lehrkräfte die Inhalte von *Experimento* zwischenzeitlich im Unterricht eingesetzt haben [13]. Um die jeweils zusammengehörenden Prä-, Post- und Follow-Up-Fragebögen einer Person anonym zusammenführen zu können, wurden die Lehrkräfte gebeten, nach bestimmten Regeln einen pseudonymisierten Identifikationscode zu erstellen. Ein Rückschluss auf eine einzelne Person anhand des Pseudonyms ist nicht möglich.

6.2.1.2 Entwicklung der Erhebungsinstrumente

Bei der durchgeführten Evaluation handelt es sich um ein überwiegend quantitatives Vorgehen, da die elektronischen Fragebögen mit Ausnahme weniger offener Antwortformate vornehmlich aus ratingskalierten Items in Form einer Likert-Skala bestanden. Bei den Selbstberichtsskalen wurde darauf geachtet, möglichst durchgängig ein fünfstufiges Antwortformat zu verwenden, da es sich hierbei laut DÖRING & BORTZ [265] um die übliche Abstufung handelt und ein häufiger Wechsel des Antwortformats vermieden werden sollte, um

die kognitive Belastung der Befragungspersonen möglichst gering zu halten. Zwar besteht bei einer ungeradzahligen Skala die Gefahr, dass Unentschlossene stets die mittlere Antwortkategorie wählen [267], dennoch sollen dadurch Verzerrungen vermieden werden, weil im Gegensatz zu geradzahligen Skalen keine Entscheidung erzwungen wird [268]. Die hier verwendeten Likert-Skalen umfassten daher beispielsweise die Antwortmöglichkeiten *trifft nicht zu* (1) – *trifft eher nicht zu* (2) – *teils teils* (3) – *trifft eher zu* (4) – *trifft zu* (5) oder *stimme nicht zu* (1) – *stimme eher nicht zu* (2) – *teils teils* (3) – *stimme eher zu* (4) – *stimme zu* (5). Bei der Abfrage von Häufigkeiten wurde ebenfalls eine fünfstufige Skala gewählt, unter anderem mit den Abstufungen *nie* (1) – *selten* (2) – *gelegentlich* (3) – *oft* (4) – *immer* (5) [269]. Inhaltlich zusammengehörige Items wurden, wie von DÖRING & BORTZ [265] empfohlen, im Fragebogen in zusammenhängende Blöcke gegliedert.

Um die Reliabilität der Fragebögen zu steigern, wurden die meisten Konstrukte mit einer Skala aus mehreren Items erfasst. In einzelnen Fällen, zum Beispiel bei der Frage nach den generellen Kenntnissen der Lehrkräfte zu einem Thema oder bei der Erfassung von personen- und berufsbezogenen sowie soziodemographischen Daten wurden Einzelitems verwendet. Bei der Konstruktion des Fragebogens wurde, wenn möglich, auf bereits erprobte Skalen und Items aus der Literatur zurückgegriffen, um ein möglichst reliables und valides Messinstrument zu generieren. Einige Items konnten direkt übernommen werden, andere wurden noch auf die bestehenden Erfordernisse angepasst. Teilweise wurden Skalen gekürzt, um eine angemessene Bearbeitungsdauer des Fragebogens sicherzustellen. Sofern kein passendes Messinstrument für ein zuvor definiertes Konstrukt vorhanden war, wurden eigene Items formuliert. Eine Übersicht über die in den jeweiligen Fragebögen erfassten Merkmale mit dazugehöriger Literaturangabe, dem gewählten Antwortformat und Beispielitems ist in Tabelle 14 gezeigt. Die vollständigen Inhalte der Fragebögen sind im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Tabelle 14: In den Fragebögen erfasste Merkmale

Erfasstes Merkmal	Bezugsquelle	Art der Erfassung	Beispielitem	Messzeitpunkt
Allgemeine Angaben	Eigener Entwurf	Unterschiedlich	Ihr Alter: ____ Jahre Haben Sie Lehramt studiert?	T0
Erwartungen an die Fortbildung und Erfüllung dieser	Eigener Entwurf	Unterschiedlich	Welche Erwartungen haben Sie an die Fortbildung zu Experimento 10+? Inwieweit wurden Ihre Erwartungen an die Fortbildung erfüllt?	T0, T1

Subjektiver Lernzuwachs	orientiert sich z. T. am bisherigem Feedback-Bogen der Siemens Stiftung	Einzelitems	Ich konnte mein Fachwissen in der Präsenzfortbildung erweitern.	T1
Einschätzung über das Lernen der Schülerinnen und Schüler	Eigener Entwurf	Einzelitems	Wenn ich <i>Experimento</i> in meinem Unterricht einsetze, dann habe ich das Gefühl, dass meine Schülerinnen und Schüler solidarisch und teamorientiert zusammenarbeiten.	T2
Zufriedenheit mit der Präsenzfortbildung	orientiert am bisherigen Feedback-Bogen der Siemens Stiftung	Rating-skaliert	In der Präsenzfortbildung wird der Praxis genug Zeit gewidmet.	T1
Zufriedenheit mit der Online-Anwendung	nach BÜRG & MANDL [270], KOPP & MANDL (unveröffentlicht)	Rating-skaliert	Ich konnte mich in der Lernumgebung gut orientieren.	T1
Bearbeitungsdauer	Eigener Entwurf	Unterschiedlich	Wie viel Zeit (in Stunden) haben Sie für den Online-Teil der Fortbildung aufgewendet? Wie beurteilen Sie die Dauer der Online-Phase?	T1
Inhaltliche Zufriedenheit mit den Online-Modulen	Eigener Entwurf	Unterschiedlich	Die Inhalte des Moduls sind praxisrelevant. Was hat Ihnen an dem Modul besonders gut gefallen?	T1
Zufriedenheit mit dem Blended Learning-Setting	PETER ET AL. [271]	Rating-skaliert	Die Lerninhalte in Online-Modulen bereitzustellen, statt sie ausschließlich in der Präsenzveranstaltung zu vermitteln erscheint mir sinnvoll.	T1

Einstellungen zu Schülerexperimenten	BARTH [272,273]	Rating-skaliert	Durch Schülerexperimente werden fachliche Inhalte besser vermittelt.	T0, T1, T2
Häufigkeit des Einsatzes von Experimenten	Eigener Entwurf	Einzelitems	Wie oft führen Sie Experimente in Ihrem Unterricht durch? → Schülerexperimente	T0, T1, T2
Art des Einsatzes von Experimenten (Ausführungsform)	Eigener Entwurf	Einzelitems	Wenn ich Experimente in meinem Unterricht einsetze, dann führen die Schülerinnen und Schüler das Experiment in Partnerarbeit durch.	T0, T1, T2
Einsatz von Elementen des Forschenden Lernens	LANKES & HASLBECK [274]	Rating-skaliert	... entwickeln die Schülerinnen und Schüler selbstständig eine Forschungsfrage.	T0, T1, T2
Einsatz von <i>Experimento</i> im Unterricht	Eigener Entwurf	Unterschiedlich	Haben Sie <i>Experimento</i> zwischen den beiden Präsenzveranstaltungen bereits in Ihrem Unterricht eingesetzt? Kreuzen Sie bitte an, welche Experimente Sie bereits im Unterricht eingesetzt haben.	T1, T2
Medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung	nach KRAUSE & EILKS [204,275], JERUSALEM & SCHWARZER [276], MARTENS [277]	Rating-skaliert	Ich befürchte, dass ich mich überfordert fühle, wenn ich digitale Medien im Unterricht einsetzen soll.	T0, T1, T2
Medienkompetenz nach DigCompEdu	DigCompEdu Check-In [226], GHOMI ET AL. [228]	Einfachantwort	Ich überlege sorgfältig wie, wann und warum ich digitale Medien in meinem MINT-Fach einsetze, um sicherzustellen, dass sie didaktisch sinnvoll genutzt werden.	T0, T1, T2
Einstellungen zu digitalen Medien	KRAUSE & EILKS [204,275]	Rating-skaliert	Digitale Medien sind eine große Hilfe für effektiveres Lernen.	T0, T1, T2
Häufigkeit der Nutzung digitaler Medien	Eigener Entwurf	Einzelitems	Wie oft nutzen Sie digitale Medien im Unterricht?	T0

Spezifische Medienkompetenzen	z.T. umformulierte Kompetenz-erwartungen aus KMK [3]	Rating-skaliert	Ich kann eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems planen und verwenden.	T0, T1, T2
Interesse an den angebotenen Modulen	Eigener Entwurf	Einzelitems	Wie hoch ist Ihr Interesse an den während der Fortbildung angebotenen Elementen? → Computational Thinking	T0, T1, T2
Kenntnisse über die Inhalte der Module	Eigener Entwurf	Einzelitems	Wie schätzen Sie selbst Ihre Kenntnisse über folgende Themen ein? → Kenntnisse über Methoden zum Umgang mit Heterogenität	T0, T1, T2
Kenntnisse über die Umsetzung der Inhalte im Unterricht	Eigener Entwurf	Einzelitems	Ich weiß, wie ich Wertebildung in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren kann.	T0, T1, T2
Einschätzung der Wichtigkeit der angebotenen Module	Eigener Entwurf	Rating-skaliert	Ich finde für Computational Thinking sind die Informatik-Kolleginnen und Kollegen zuständig.	T0, T1, T2
Einsatz der Modul-Inhalte im Unterricht	Items zu CT aus ICILS [278]	Rating-skaliert	Ich fördere die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, Flussdiagramme anzufertigen, um verschiedene Teile eines Prozesses darzustellen.	T0, T1, T2
Lehrkräftefortbildungsmotivation	RZEJAK ET AL. [9]	Rating-skaliert	... ich Kontakte zu Kolleginnen und Kollegen an anderen Schulen pflegen kann.	T0

Um mögliche Probleme der Befragten hinsichtlich der sprachlichen Verständlichkeit des Fragebogens und der Eindeutigkeit der Items zu identifizieren, fand eine Präpilotierung statt [279]. Hierbei wurden die Lehrkräfte gebeten, in einem freien Antwortfeld alles aufzuschreiben, was ihnen in irgendeiner Weise unverständlich oder missverständlich erschien, oder gegebenenfalls Fehler im Fragebogen anzumerken. Da die Anzahl der Teilnehmenden an der ersten Pilotierungsveranstaltung der Experimento | 10+ Fortbildung coronabedingt gering ausfiel, wurde die Antwortbox bis zur Überarbeitungsschleife beibehalten.

Nach einer ersten Auswertung der freien Antwortfelder wurden beispielsweise die verwendeten Antwortlabels noch weiter vereinheitlicht. Außerdem wurde aus der Skala zur

Erfassung des Einsatzes von Forschendem Lernen das Item „In meinem naturwissenschaftlichen Unterricht ... thematisiere ich explizit den Forschungskreis/ Forschungszyklus“ gestrichen, da sich gezeigt hat, dass den meisten Lehrkräften diese Termini im Vorfeld der Fortbildung unbekannt waren. Explizit gewünscht wurde dahingegen eine Definition, was bei der Beantwortung des Fragebogens unter „digitalen Medien“ verstanden werden soll. Dies wurde im Rahmen der Überarbeitungsschleife entsprechend ergänzt.

Zur Überprüfung der Reliabilität bzw. der internen Konsistenz des Fragebogens wurden nach Abschluss des ersten Fortbildungszyklus für die jeweiligen Skalen zunächst die Cronbachs- α -Werte für den ersten Messzeitpunkt (für die Zufriedenheitsbefragung für den zweiten Messzeitpunkt) bestimmt (siehe Tabelle 15). Üblicherweise gilt dabei ein Cronbachs α von 0,7 als unterer Schwellenwert für die Annahme einer konsistenten Skala [267,280]. Zusätzlich wurde eine quantitative Itemanalyse vorgenommen. Dabei wurden kritische Items identifiziert, um diese gegebenenfalls verbesserungswürdigen Aussagen entsprechend optimieren zu können. Dazu wurden die Itemschwierigkeit, die Itemvarianz und die Trennschärfe untersucht:

- Itemschwierigkeit: Ein Item muss dazu geeignet sein, interindividuelle Unterschiede abzubilden. Wird ein Item beispielsweise durchgängig abgelehnt, können damit keine Merkmalsdifferenzen zwischen Personen identifiziert werden [268]. Die Itemschwierigkeit berechnet sich aus der Summe der Werte aller Versuchspersonen für ein Item geteilt durch das Produkt aus der Zahl der Probandinnen und Probanden und dem höchstmöglich erreichbaren Punktwert für das Item [281]. Die Itemschwierigkeit sollte bestenfalls im mittleren Bereich liegen. Liegt sie unter 0,2 oder über 0,8 sollte das Item ggf. verworfen werden [281].
- Itemvarianz: Items mit hoher Itemvarianz und mittlerer Itemschwierigkeit sind am besten zur Unterscheidung von Probandinnen und Probanden geeignet [268].
- Trennschärfe: Die Trennschärfe ist die korrigierte Item-Skala-Korrelation. Sie sollte zwischen 0,3 und 0,85 liegen [281].

Zusätzlich wurde für einige Skalen mit mindestens drei Items eine Faktorenanalyse zur Überprüfung der Konstruktvalidität durchgeführt [267,268]. Die einzelnen Veränderungen, die im Zuge der Fragebogenrevision vorgenommen wurden, sind im Anhang dokumentiert. Insgesamt handelt es sich dabei um eher kleinere Überarbeitungen, sodass alle Stichproben zu einer Studie zusammengefasst werden konnten. Nach Abschluss der Hauptuntersuchung wurden erneut die Cronbachs- α -Werte zur Bestimmung der internen Konsistenz berechnet (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Interne Konsistenz der verwendeten Skalen

FF	Skala (Anzahl Items)	Cronbachs α			
		Pilot	T0	T1	T2
Zufriedenheit mit der Präsenzfortbildung					
1	Allgemeine Bedingungen (3)	0,531	/	0,522	/
1	Referierende (6)	0,673	/	0,632	/
1	Inhalte allgemein (7)	0,633	/	0,639	/
Zufriedenheit mit der Online-Anwendung					
1	Nutzungsfreundlichkeit (7)	0,830	/	0,819	/
1	Inhaltliche Verständlichkeit (6 bzw. 5)	0,600	/	0,850	/
1	Aufbereitung und Wirkung der Unterrichtsvideos (5)	0,857	/	0,848	/
Zufriedenheit mit dem Blended Learning-Setting					
1	Akzeptanz der Online-Lehre (2)	0,784	/	0,782	/
1	Akzeptanz der Präsenzlehre (5)	0,726	/	0,633	/
Inhaltliche Zufriedenheit mit den Online-Modulen					
1	Zufriedenheit mit dem Modul Wertebildung (6)	0,850	/	0,842	/
1	Zufriedenheit mit dem Modul Inklusion und SFU (6)	0,662	/	0,701	/
1	Zufriedenheit mit dem Modul CT (6)	0,843	/	0,876	/
Einstellungen zu Schülerexperimenten					
2	Persönliche Einstellungen (4)	0,211	0,562	0,605	0,623
2	Äußere Umstände (4)		0,543	0,622	0,735
Einsatz von Forschendem Lernen					
2	Forschendes Lernen (5)	0,821	0,792	0,763	0,747
Medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung					
3	Medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung (8 bzw. 7)	0,826	0,845	0,870	0,835
Digitale Kompetenz					
3	Digitale Kompetenz (6)	0,627	0,613	0,761	0,730
Einstellungen zu digitalen Medien					
3	Einstellungen zu digitalen Medien im Unterricht im Allgemeinen (4 bzw. 3)	0,657	0,718	0,733	0,516
3	Einstellungen zu digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (4 bzw. 3)	0,473	0,689	0,540	0,600

Experimento-spezifische Medienkompetenzen					
3	Spezifische Medienkompetenzen (6)	0,833	0,831	0,852	0,847
3/4	Kompetenzen im Bereich CT (2)		0,919	0,850	0,925
Einschätzung der Wichtigkeit der angebotenen Themen in Experimento 10+					
4	Wertebildung in der Schule allgemein und im naturwissenschaftlichen Unterricht (4)	0,686	0,767	0,742	0,798
		0,783			
4	Inklusion/Differenzierung im Unterricht (4)	0,335	0,471	0,632	0,555
4	Computational Thinking (3)	0,679	0,751	0,713	0,756
Einsatz der fakultativen Elemente im Unterricht					
4	Einsatz von Wertebildung (3 bzw. 2)	0,612	0,714	0,706	0,730
4	Einsatz von inklusiven Elementen (4)	0,727	0,672	0,720	0,722
4	Einsatz von CT (4 bzw. 3)	0,797	0,777	0,696	0,855
Lehrkräftefortbildungsmotivation					
5	Soziale Interaktion (2)	0,803	0,799	/	/
5	Externale Erwartungsanpassung (2)	0,700	0,588	/	/
5	Karriereorientierung (2)	0,865	0,870	/	/
5	Entwicklungsorientierung (2 bzw. 3)	0,646	0,352	/	/

In den meisten Fällen ergaben sich akzeptable bis sehr gute Cronbachs- α -Werte. Ausnahmen bilden unter anderem die Zufriedenheit mit der Präsenzfortbildung und die Akzeptanz der Präsenzlehre. Für die Auswertung von Zufriedenheitsbefragungen bietet sich jedoch grundsätzlich eine deskriptive Vorgehensweise an. Kritischer sind die nicht hinreichenden Werte bei den Einstellungen zu Schülerexperimenten, digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie Inklusion und Differenzierung zu bewerten. Auch die interne Konsistenz der Skala zur Messung der digitalen Kompetenz nach DigCompEdu [226] ist für den Prätest nicht ganz zufriedenstellend. Die verwendete Skala stammt jedoch aus einem sorgfältig konzipierten Selbsteinschätzungs-Tool [226] und wurde darüber hinaus im Vergleich zum Original-Instrument gekürzt, sodass die Reliabilität als ausreichend angenommen wird, zumal die Werte für T1 und T2 vielversprechender sind. Zum Teil niedrige Werte für Cronbachs α zeigten sich trotz literaturbasierter Entwicklung in den Subskalen zur Lehrkräftefortbildungsmotivation. Besonders die Skala „Entwicklungsorientierung“ des Konstrukts der Fortbildungsmotivation ist auffällig. Während der Fragebogenversion wurde hier noch ein weiteres Item aus den von RZEJAK ET AL. [9] vorgeschlagenen Formulierungen hinzugefügt. Dies führte nicht, wie erwartet, zur Steigerung der Reliabilität, sondern im

Gegenteil: Wie Tabelle 15 zeigt, hat Cronbachs α dadurch deutlich abgenommen. Allerdings weisen RZEJAK ET AL. [9] selbst darauf hin, dass bei der Entwicklungsorientierung als Fortbildungsmotivation das „konkrete [...] Entwicklungsziel divergieren kann“ [9], abhängig davon, ob die Lehrkräfte eher der Wunsch nach innovativen Ansätzen antreibt oder sie lediglich praktische „Handlungsrezepte“ [9] für den Schulalltag erwarten. Daher sollten die Items hier getrennt betrachtet werden.

Sofern die Cronbachs- α -Werte hinreichend groß waren, wurden die einzelnen Item-Werte zu einem Skalenwert zusammengefasst. Die Skalenmittelwerte für eine Testperson wurden dabei nur berechnet, wenn mindestens 75 % der enthaltenen Items beantwortet worden waren.

6.2.1.3 Auswertungsmethoden

Die Auswertung der durch die Fragebogenerhebung erfassten Daten erfolgte mit Hilfe der Statistiksoftware IBM SPSS (Version 28). Zur Bestimmung der Wirkungen der Fortbildung wurde zum Vorher-Nachher-Vergleich ein t -Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Um verschiedene Untergruppen miteinander zu vergleichen, zum Beispiel Lehrkräfte, die ein bestimmtes Online-Modul absolviert hatten mit Lehrkräften, die dieses nicht bearbeitet haben, wurde der t -Test für unabhängige Stichproben verwendet. Für den Mittelwertvergleich von mehr als zwei Testzeitpunkten wurde die Varianzanalyse ANOVA (engl. Analysis of Variance) mit Messwiederholung durchgeführt. Voraussetzung für die Nutzung solcher parametrischer Tests sind die gegebene Normalverteilung und Varianzhomogenität. Außerdem müssen die Daten intervallskaliert vorliegen. Likert-Skalen wird üblicherweise Intervallskalenniveau zugeschrieben [265]. Damit Rating-Skalen als metrische Daten interpretiert werden können, müssen sie die von den Probandinnen und Probanden als annähernd äquidistant wahrgenommen werden. Für die meisten der verwendeten fünfstufigen Likert-Skalen mit den gewählten Abstufungsformulierungen ist dies zu erwarten [279,281].

Waren die Voraussetzungen nicht erfüllt, wurde für den Vorher-Nachher-Vergleich der Wilcoxon-Test und für den Vergleich über alle drei Messzeitpunkte hinweg der Friedmann-Test genutzt. Entsprechend wurde bei unabhängigen Stichproben der Mann-Whitney- U -Test herangezogen. Für den Vergleich von mehr als zwei verschiedenen Gruppen wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Das Signifikanzniveau aller statistischen Analysen ist auf $p < 0,05$ festgelegt worden.

Um festzustellen, inwiefern die gefundenen statistisch signifikanten Mittelwertdifferenzen auch praktisch bedeutsam sind [282], wurde die Effektstärke d nach Cohen oder der Korrelationskoeffizient r nach Pearson bestimmt. Dabei gelten Cohens d -Werte um 0,20 als kleiner Effekt, um 0,50 als mittlerer und um 0,80 als großer Effekt [265]. Bei r gelten Werte um

0,10 als geringer, um 0,30 als moderater oder mittlerer und bereits um 0,50 als starker Effekt [283].

Zur Bestimmung von Korrelationen zwischen zwei Variablen wurde der Rangkorrelationskoeffizient ρ nach Spearman verwendet, oder, wenn die Voraussetzungen entsprechend erfüllt waren, wiederum der Korrelationskoeffizient r nach Pearson.

6.2.2 Erfassung des Nutzungsverhaltens

Zusätzlich zu der in den Fragebögen gegebenen Selbstauskunft der Lehrkräfte über die jeweilige Bearbeitungsdauer der Online-Module wurde das Nutzungsverhalten der Online-Anwendung in ausgewählten Bereichen technisch nachverfolgt. Anhand der bei der Anmeldung angegebenen E-Mail-Adressen wurden Nutzungsgruppen auf dem Medienportal angelegt. So konnte nachvollzogen werden, ob sich auch tatsächlich alle Teilnehmenden einer Fortbildungsveranstaltung auf dem Medienportal registriert und auf die Online-Module zugegriffen hatten. Problematisch war hierbei jedoch, dass manche Lehrkräfte in der Zwischenzeit bis zur Bearbeitung des zweiten Online-Moduls ihr Passwort für das Medienportal vergessen hatten und, anstatt ein neues Passwort anzufordern, einen gänzlich neuen Account auf dem Medienportal mit einer unbekanntem E-Mail-Adresse erstellten, welche nicht erfasst war. Dies schränkt die Aussagekraft der erhaltenen Daten ein, da die Zahl der User insbesondere für das als zweites zu bearbeitende Online-Modul dadurch unterschätzt wurde. Das Tracking der Nutzungsaktivitäten selbst erfolgte in anonymisierter Form, sodass im Einzelnen nicht nachvollzogen werden konnte, ob sich eine bestimmte Lehrkraft überhaupt mit den Online-Modulen beschäftigt und welche Lehrkraft sich wie intensiv damit auseinandergesetzt hatte.

Durch das anonymisierte Tracking konnten schlussendlich folgende Daten gewonnen werden:

- Anzahl der User pro Modul – mit der erwähnten Unsicherheit
- Bearbeitungsstand der einzelnen User (anonym)
- Über alle User einer Veranstaltung gemittelter Bearbeitungsstand (Lernfortschritt) des jeweiligen Online-Moduls

Da die Erfassung der Nutzungsaktivitäten nicht personalisiert ist, konnte auch die genaue Verweildauer einer einzelnen Person in der Online-Anwendung technisch nicht bestimmt werden. Aus der verbrachten Gesamtzeit aller Besucherinnen und Besucher in dem jeweiligen Online-Modul unter Berücksichtigung des Trackingverlusts (z. B. durch Ablehnen von Cookies) und der Anzahl der Nutzenden konnte jedoch eine ungefähre durchschnittliche Bearbeitungsdauer pro Modul errechnet werden. Der Trackingverlust ergab sich aus der

Differenz der durch die Software des Medienportals exakt erfassten Seitenaufrufe und den durch eine Webanalytik-Software registrierten Klickzahlen.

Des Weiteren wurde für die einzelnen Seiten der Online-Anwendung überblicksweise

- die Zahl der Seitenaufrufe insgesamt,
- die von den Usern durchschnittlich verbrachte Zeit auf der jeweiligen Seite und
- die Ausstiegsrate, also die Zahl der Personen, die die Online-Anwendung an entsprechender Stelle verlassen haben,

erfasst. Eine überdurchschnittlich hohe Verweildauer oder Ausstiegsrate weist möglicherweise auf Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der einzelnen Seite hin.

6.2.3 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt haben $N = 104$ Lehrkräfte an der Fortbildung inklusive Befragung teilgenommen. Dabei kann $n = 82$ Personen ein entsprechender Posttest zugeordnet werden. An der Follow-Up-Erhebung haben noch $n = 57$ Personen teilgenommen, wobei die Follow-Up-Fragebögen der letzten Kohorte in der vorliegenden Arbeit aufgrund der pandemiebedingten zeitlichen Verzögerungen nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

Keine der Lehrkräfte gab an, bereits zuvor an einer *Experimento*-Fortbildung teilgenommen zu haben. Das Alter der angemeldeten Personen lag zwischen 26 und 62 Jahren ($M = 44,86$; $SD = 10,23$). Ein großer Teil (42 %) der Lehrkräfte war 50 Jahre und älter. Jünger als 30 Jahre waren hingegen nur 7 % der angemeldeten Personen. Dies steht in Einklang mit den 2019 von der OECD erhobenen Daten zur Altersstruktur von Lehrkräften in Deutschland. Demnach sind 43 % der Lehrkräfte im Sekundarbereich I genau 50 Jahre oder älter, wohingegen lediglich 6 % jünger als 30 Jahre sind [284]. Im Durchschnitt waren die angemeldeten Lehrkräfte inklusive des Vorbereitungsdienstes bereits seit 15,2 Jahren ($SD = 8,80$) an der Schule tätig, wobei die Unterrichtserfahrung eine breite Spanne zwischen 1,5 und 34 Jahren umfasste. In der zweiten Erhebungsphase wurde zusätzlich die wöchentliche Stundenverpflichtung der angemeldeten Lehrkräfte erfragt. Diese lag im Mittel bei 20 Unterrichtsstunden ($M = 19,92$; $SD = 6,69$), was etwas weniger ist als das übliche Vollzeitdeputat.

Der Anteil der männlichen Probanden war mit 42 % geringer als der Frauenanteil (56 %). Eine Person identifizierte sich weder als männlich noch als weiblich. Eine weitere Person machte keine Angaben zu ihrer geschlechtlichen Identität. Damit ähneln die Zahlen stark denen aus dem Bildungstrend des IQB (Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen) von 2018, wonach etwa 57 % der Lehrkräfte in den naturwissenschaftlichen Fächern weiblich sind [285].

Die Fortbildungsteilnehmenden stammten überwiegend aus Bayern (73 %) sowie aus Baden-Württemberg (19 %) und Niedersachsen (8 %). Da sich Experimento | 10+ an Lehrkräfte aller weiterführenden Schulen in Deutschland wendet, sind verschiedenste Schularten in der Stichprobe vertreten, wobei die überwiegende Mehrheit der Lehrkräfte (79 %) am Gymnasium unterrichtete. An der Mittelschule unterrichteten 6 % der Lehrkräfte, an der Oberschule 5 %, an der Hauptschule 4 % und an der Realschule 3 %. Jeweils eine Person unterrichtete an der beruflichen Schule, der Gemeinschaftsschule sowie der Gesamtschule.

Die angegebenen Unterrichtsfächer sind sehr vielfältig, da die Fortbildung einerseits Lehrkräfte aller naturwissenschaftlicher Fächer anspricht, andererseits unterrichteten Lehrkräfte der Haupt-, Mittel- und bisweilen ebenso der Oberschulen oftmals eine Vielzahl an Domänen, auch jenseits des naturwissenschaftlichen Bereichs. Am häufigsten wurden die Fächer Chemie (69-mal) und Biologie (51-mal) genannt. Von den angemeldeten Personen verfügten fast 16 % nicht über ein Lehramtsstudium. Dies steht ebenfalls in Einklang mit dem IQB Bildungstrend von 2018, wonach in den Fächern Chemie und Physik zwischen 15 % und 17 % der Lehrkräfte Quereinsteigende sind [285].

6.3 Ergebnisse der Evaluationsforschung

Im Folgenden werden die im Rahmen der Begleitforschung erlangten Ergebnisse zu den in Kapitel 6.1 erläuterten Forschungsfragen vorgestellt. Alle Ergebnisse beruhen im Wesentlichen auf der Fragebogenstudie. An einigen Stellen erfolgt ein Abgleich mit zusätzlichen Nutzungsdaten.

6.3.1 Ergebnisse zu Forschungsfrage 1: Zufriedenheit mit der Fortbildung

Im Zuge der ersten Forschungsfrage wurde die Zufriedenheit der Lehrkräfte mit der Fortbildung an sich, den Präsenzphasen, der Online-Anwendung und dem Blended Learning-Konzept betrachtet (FF 1: Wie beurteilen die fortgebildeten Lehrkräfte die überarbeitete Experimento | 10+ Fortbildung?).

Bezüglich der allgemeinen Voraussetzungen der Fortbildung kann festgehalten werden, dass die Lehrkräfte fast ausnahmslos mit der Atmosphäre, den Rahmenbedingungen und der Organisation der Fortbildung (sehr) zufrieden waren (siehe Abbildung 31).

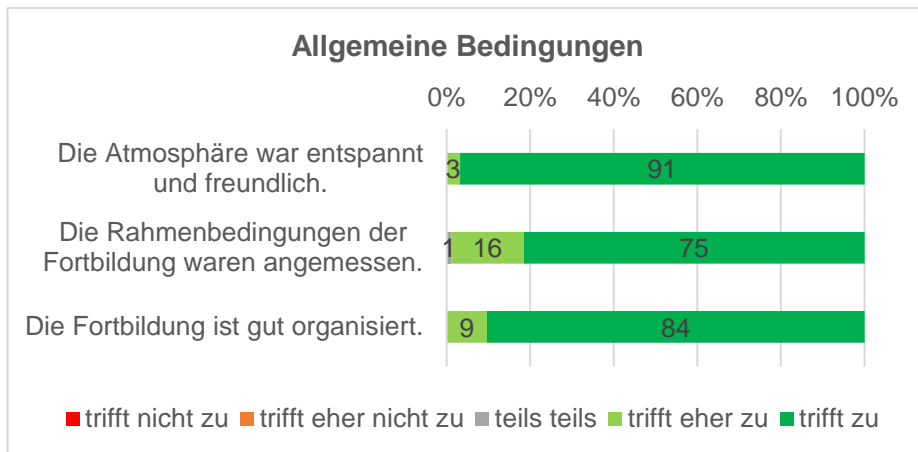


Abbildung 31: Zufriedenheit mit den allgemeinen Bedingungen der Fortbildung (Angaben im Diagramm in absoluten Zahlen, Balkenlänge spiegelt prozentualen Anteil wider)

Auch in Bezug auf die allgemeine inhaltliche Gestaltung der Fortbildung ist eine hohe Zufriedenheit festzustellen. Die Verständlichkeit und die Strukturierung der Inhalte wurden von keiner der Lehrkräfte per se negativ bewertet. Dasselbe gilt für die Schulungsunterlagen. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass alle Lehrkräfte die Inhalte der Präsenzveranstaltungen als mindestens teilweise praxisrelevant einschätzten. Ebenfalls waren sich die Teilnehmenden einig, dass in der Fortbildung der Praxis genug Zeit gewidmet wurde. Wenige (5 %) der Lehrkräfte hätten sich für die Theorie noch mehr Zeit gewünscht (siehe Abbildung 32).

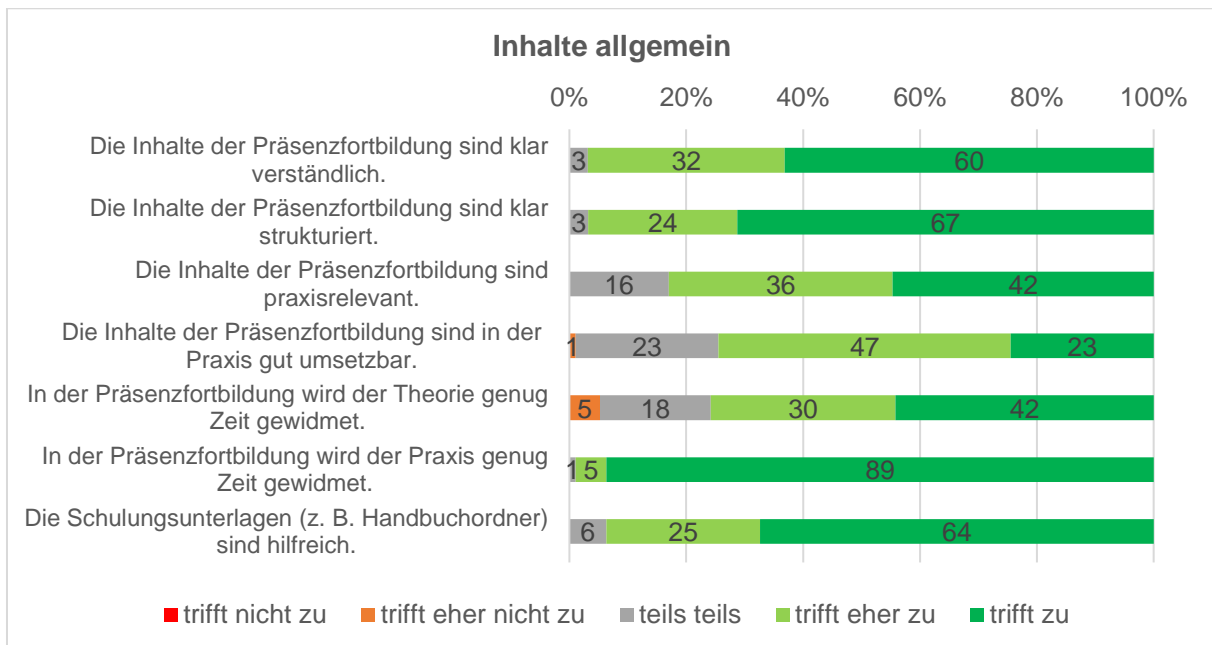


Abbildung 32: Zufriedenheit mit den Inhalten der Fortbildung allgemein

Auch die Experimente aus Experimento | 10+ und das Medienportal wurden fast durchweg positiv bewertet (siehe Abbildung 33).

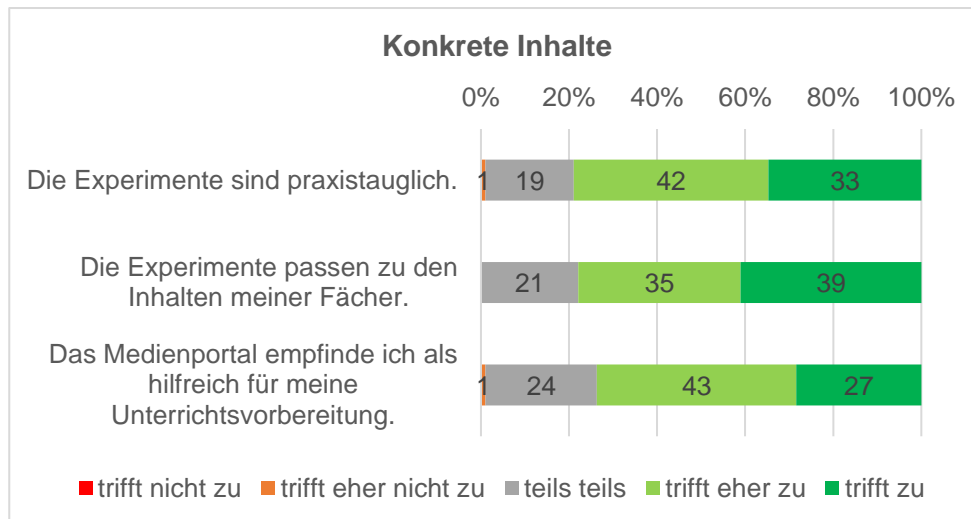


Abbildung 33: Zufriedenheit mit ausgewählten Inhalten aus Experimento | 10+

Da für die digitalen Phasen der Blended Learning-Fortbildung die dazugehörige Online-Anwendung völlig neu aufgesetzt wurde, ist die Beurteilung dieser durch die Lehrkräfte von besonderem Interesse. Dazu wurden die teilnehmenden Personen im Fragebogen zunächst um eine Einschätzung der Usability bzw. Nutzungsfreundlichkeit (vgl. Kapitel 5.2.3) gebeten. Die Online-Anwendung wurde dabei fast durchgängig als intuitiv bedienbar und benutzungsfreundlich charakterisiert. Nur 2 % der Teilnehmenden empfanden die Bedienung als eher verwirrend [169]. Insgesamt hat fast allen Lehrkräften (94 %) die Bearbeitung der digitalen Lerneinheit zumindest teilweise gefallen. Ungefähr zwei Drittel der Teilnehmenden (62 %) würden ihren Kolleginnen und Kollegen die Online-Anwendung weiterempfehlen (siehe Abbildung 34). Daher lässt sich eine hohe Zufriedenheit mit der Nutzungsfreundlichkeit konstatieren ($M = 4,37$; $SD = 0,53$), wobei die Lehrkräfte aus Baden-Württemberg im Vergleich am zufriedensten waren.

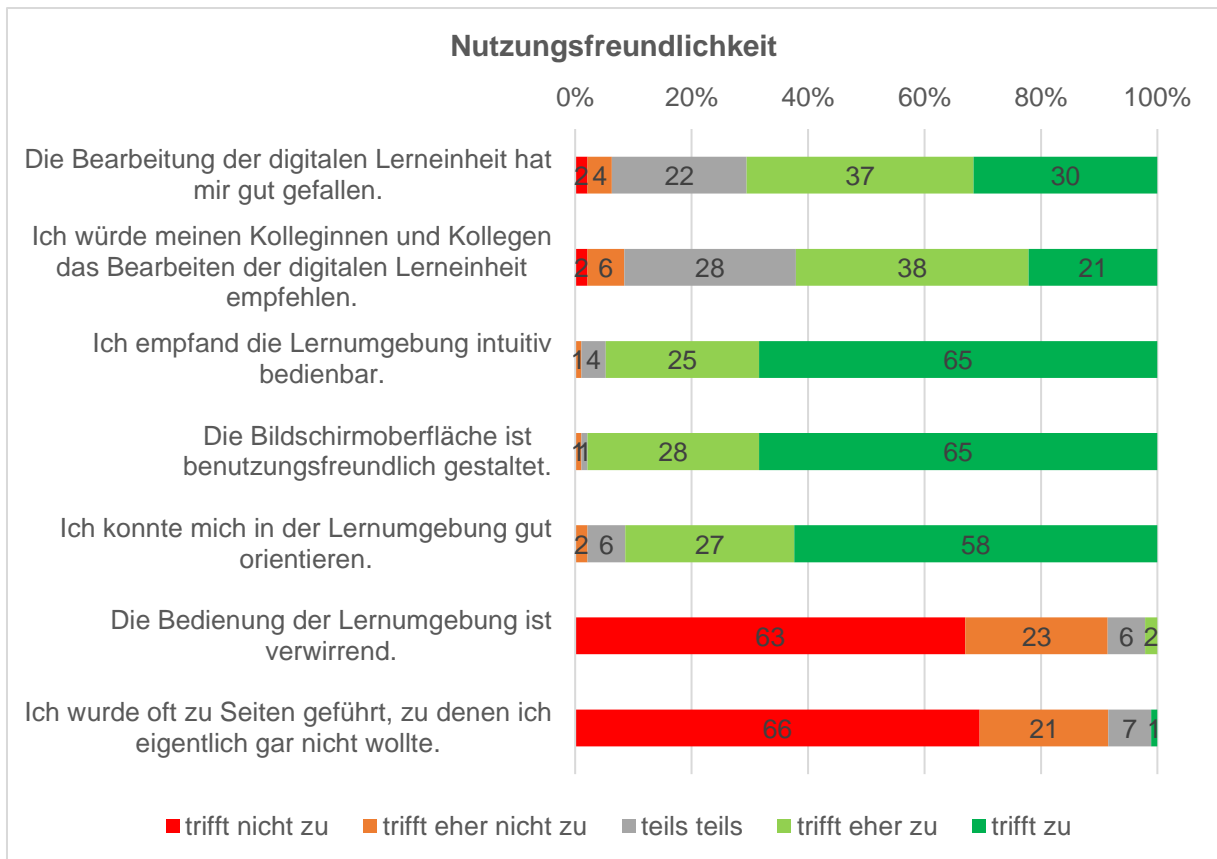


Abbildung 34: Beurteilung der Nutzungsfreundlichkeit der Online-Anwendung durch die teilnehmenden Lehrkräfte

Die durch die technische Nachverfolgung gewonnenen Daten geben ebenfalls Hinweise auf eine hohe Nutzungsfreundlichkeit. Die erfasste Zeit, die die User auf den einzelnen Kapitel-Seiten verbracht haben, sowie die Ausstiegsrate zeigen keine wesentlichen Auffälligkeiten. Erwartungsgemäß haben die User das Medienportal tendenziell am Ende des jeweiligen Moduls verlassen und durchschnittlich mehr Zeit für Seiten mit Videos oder interaktiven Übungen verwendet.

Um eine angenehme Bearbeitbarkeit der Online-Module sicherzustellen, ist neben der hohen Usability die generelle inhaltliche Verständlichkeit von Bedeutung. Diese wurde von nahezu allen Lehrkräften als positiv angesehen ($M = 4,50$; $SD = 0,52$). Nur jeweils eine Person konnte keinerlei roten Faden oder Struktur in den Online-Modulen erkennen (siehe Abbildung 35).

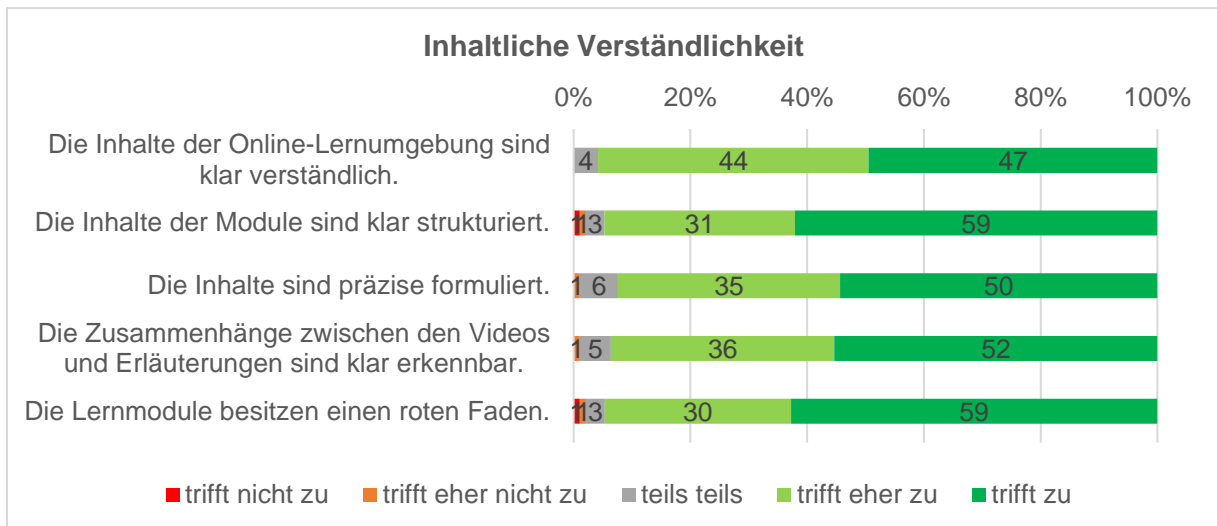


Abbildung 35: Beurteilung der inhaltlichen Verständlichkeit der Online-Module durch die teilnehmenden Lehrkräfte

Im speziellen Fall der Online-Anwendung für die Experimento | 10+ Fortbildung ist außerdem die Zufriedenheit mit der Aufbereitung und Wirkung der erstellten Unterrichtsvideos von Interesse. Die überwiegende Mehrheit der teilnehmenden Lehrkräfte empfand die Unterrichtsvideos als passende Ergänzung zum jeweiligen Themengebiet und beurteilte die Veranschaulichung durch die Videoclips als praxisnah. Etwas kritischer ist die Authentizität der Unterrichtsvideos zu beurteilen, da von 15 Lehrkräften (16 %) die dargestellten Situationen als (eher) nicht authentisch wahrgenommen wurden (siehe Abbildung 36). Im Mittel beurteilten die Lehrkräfte die Items, welche auf die Unterrichtsvideos bezogen waren, mit „trifft eher zu“ ($M= 4,02$; $SD= 0,73$).

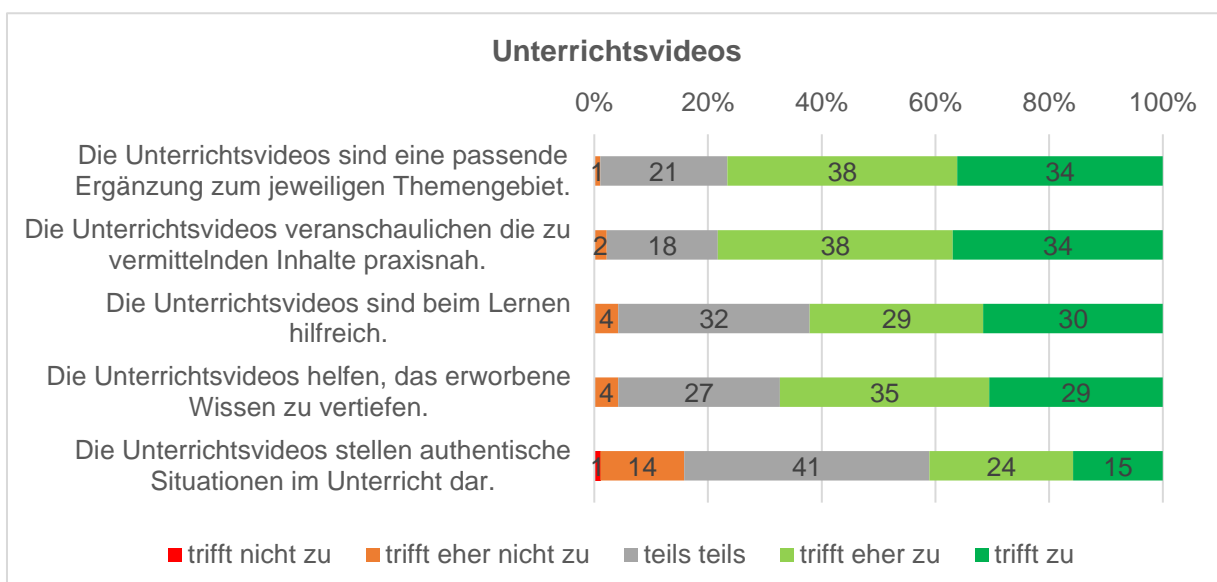


Abbildung 36: Beurteilung der Aufbereitung und Wirkung der Unterrichtsvideos durch die teilnehmenden Lehrkräfte

Auch die den Videos vorgeschalteten Aufgabenstellungen wurden von 80 % der teilnehmenden Lehrkräfte als hilfreich oder eher hilfreich angesehen, um die Aufmerksamkeit entsprechend fokussieren zu können. Es zeigt sich, dass die Personen, die ursprünglich nicht

Lehramt studiert hatten, signifikant zufriedener mit den Unterrichtsvideos waren (mit einem mittleren Effekt), als diejenigen, die über ein Lehramtsstudium verfügten: $U = 232,00$; $Z = -2,67$; $p < 0,01$; $r = 0,30$. Allerdings ist die Gruppengröße der beiden Vergleichsgruppen sehr unterschiedlich, da $n = 13$ Personen partizipierten, die kein Lehramt studiert hatten und $n = 67$ mit Lehramtsstudium.

Von denjenigen Lehrkräften, die die Post-Befragung absolviert haben, scheinen sich laut Fragebogen-Daten mit Ausnahme von vier Personen (4 %) alle Teilnehmenden zumindest grundsätzlich mit der Online-Anwendung beschäftigt zu haben. Die Daten des Trackings bestätigen dies. Im Schnitt haben die Personen, die an den digitalen Phasen teilgenommen haben, laut eigenen Angaben im Fragebogen, 3 Stunden und 27 Minuten darin verbracht ($M = 3,45$; $SD = 1,64$). Dabei existiert in der Bearbeitungsdauer eine große Spannweite zwischen insgesamt einer halben Stunde und elf Stunden. Manche Lehrkräfte haben offenbar nur einen kurzen Blick in die Online-Module geworfen, da die minimale Bearbeitungsdauer für alle drei Themen, wovon, wie erläutert, jeweils zwei bearbeitet werden mussten, dementsprechend mit einer Viertelstunde angegeben wurde.

Für das Modul zur Wertebildung wurden von den Lehrkräften, die sich grundsätzlich damit beschäftigt haben – laut Selbstbericht – im Schnitt fast zwei Stunden ($M = 1,89$; $SD = 0,91$) aufgebracht. Maximaler Zeitaufwand waren 6 Stunden. Die aufgewendete Zeit für das Inklusions-Modul wurde mit 1 Stunde und 43 Minuten ($SD = 0,81$) etwas geringer angegeben. Hier lag die maximale selbstberichtete Bearbeitungsdauer bei vier Stunden. Mit im Schnitt 1 Stunde und 24 Minuten ($SD = 0,80$) fiel die Bearbeitungsdauer des Moduls zu CT am kürzesten aus. Eine Lehrkraft berichtete, sich fünf Stunden damit auseinandergesetzt zu haben, was die längste angegebene Bearbeitungsdauer darstellt. Aus dem Tracking errechnete sich eine verbrachte Durchschnittszeit im Modul zur Wertebildung von 2,7 Stunden, für Inklusion von 1,7 Stunden und für CT von 2,6 Stunden. Diese Daten dürften aber mit einer hohen Unsicherheit behaftet sein. Eine exakte durchschnittliche Bearbeitungsdauer pro Modul kann somit nicht ausgewiesen werden, da es sich bei den in den Fragebögen dargelegten Selbstberichten ebenfalls nur um Schätzungen handelt. Es ist aber anzumerken, dass sich die von den Lehrkräften angegebene durchschnittliche Gesamtbearbeitungsdauer vom ersten zum zweiten Fortbildungszyklus um ungefähr eine dreiviertel Stunde (44 Minuten) verringert hat.

Bezüglich der angemessenen Dauer der Online-Phase waren die Teilnehmenden jedenfalls zweigeteilt: Während 47 % der Lehrkräfte die Dauer als viel zu lang oder zu lang empfanden, war sie für 52 % optimal. Für eine Person waren die digitalen Phasen zu kurz. Die Dauer der gesamten Blended Learning-Fortbildung wurde dahingegen von 82 % der Lehrkräfte als optimal empfunden.

Neben der Usability und der prinzipiellen Verständlichkeit ist insbesondere die inhaltliche Bewertung der Online-Module durch die Lehrkräfte relevant. Dazu wurden die Teilnehmenden in Abhängigkeit davon, ob sie das jeweilige Thema bereits bearbeitet hatten, um ihre Einschätzung gebeten. Für alle drei Module lässt sich festhalten, dass mindestens zwei Drittel der Lehrkräfte die Inhalte als praxisrelevant empfanden. Auch die tatsächliche Umsetzung in der Praxis wurde von mindestens der Hälfte als gut machbar erachtet. Am kritischsten fiel in diesem Fall die Bewertung beim Modul zur Inklusion aus, da hier rund 11 % der Lehrkräfte die praktische Umsetzbarkeit eher nicht gegeben sahen. Die Aussagen „Die Inhalte interessieren mich persönlich nicht“ und „Ich kann den Nutzen der Inhalte nicht erkennen“ erfuhren gleichermaßen für alle Module eine hohe Ablehnung. Beim Modul Wertebildung konnten 7 % der Lehrkräfte den Nutzen nicht oder eher nicht erkennen, beim Modul Inklusion 5 % und bei CT 8 %, sodass diese Einschätzung für alle drei Module ähnlich gering ausfällt. Dahingegen stimmten für das Modul Wertebildung 88 % der Lehrkräfte zumindest teilweise zu, dass die Inhalte auf ihre Bedürfnisse abgestimmt sind. Bei Inklusion waren es sogar 94 % und bei CT 92 % (siehe Abbildung 37).

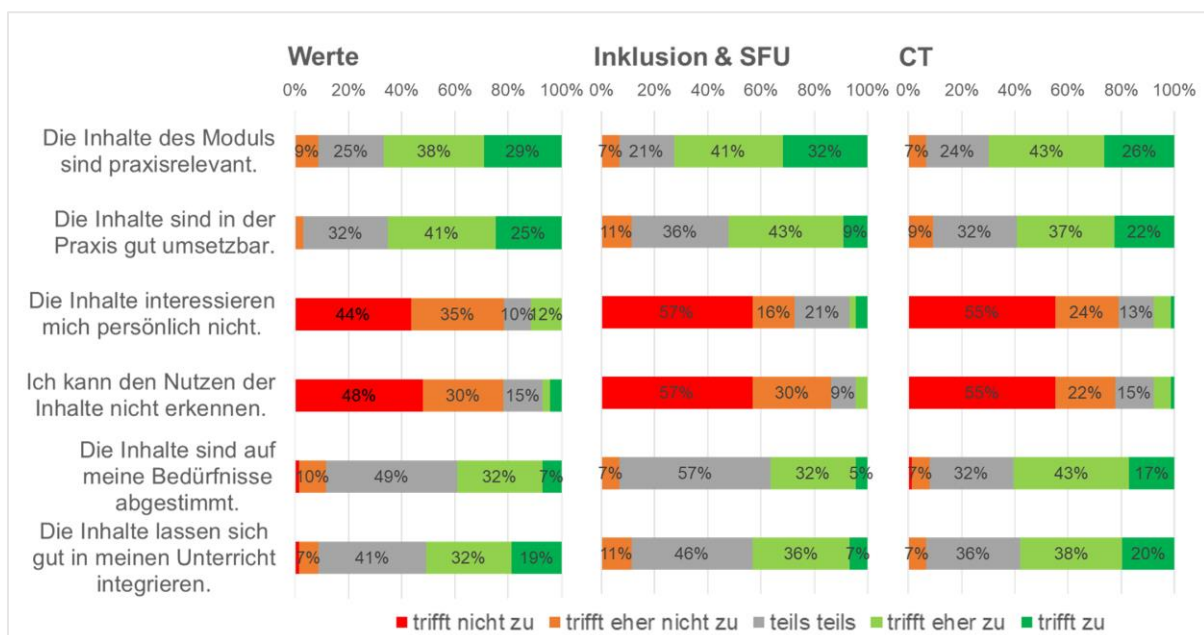


Abbildung 37: Inhaltliche Zufriedenheit mit den Online-Modulen

Beim Modul Wertebildung korrelierte die Zufriedenheit relativ stark mit dem zuvor geäußerten Interesse an Wertebildung: $\rho = 0,48$; $p < 0,01$. Generell hat den Lehrkräften am Modul Wertebildung besonders das „*Bewusstmachen der Notwendigkeit, solche Inhalte im Unterricht anzusprechen*“ gefallen. Auch die „*Veranschaulichung durch Videos*“ wird mehrfach positiv erwähnt. Eine andere Lehrkraft merkt dagegen an: „*Online Modul fast zu lang, hierbei vor allem die Videos*“.

Beim Modul Inklusion wurden vor allem die Beispiele für die Differenzierung, die sprachsensiblen Gestaltungsmöglichkeiten und ebenfalls die Videosequenzen lobend erwähnt. Gefehlt hat den Lehrkräften noch die konkretere Arbeit an Praxisbeispielen in der Präsenzphase. Die weiteren Wünsche divergieren: Während eine Person sich noch mehr Material für die Oberstufe gewünscht hat, bemängelte eine andere Lehrkraft, dass die im Online-Modul vorgestellten Inklusions-Materialien für ihre Schulform zu schwierig seien.

Beim Modul zu CT wurde insbesondere der Einsatz von Flussdiagrammen als besonders interessant herausgehoben. Auch der Bezug zur Informatik und das vorgestellte schrittweise Vorgehen zur Problemlösung hat den Lehrkräften gut gefallen. Dahingegen hätten sich die Teilnehmenden noch „*mehr praxisrelevante Beispiele*“ gewünscht, wie sie CT im Unterricht umsetzen können. Auch war der „*Bezug des Computational Thinkings [sic] zu manchen Versuchen nicht ganz klar*“.

Insgesamt wurde das Modul CT dennoch am besten bewertet ($M_{CT} = 3,92$; $SD_{CT} = 0,73$). Die Module zu Wertebildung und Inklusion liegen fast gleichauf ($M_{Werte} = 3,82$; $SD_{Werte} = 0,70$; $M_{Inklusion} = 3,80$; $SD_{Inklusion} = 0,55$). Ein subjektiv empfundener Lernzuwachs der Teilnehmenden konnte durch die Online-Module im Gesamten nur teilweise erreicht werden. So stimmten 43 % der Lehrkräfte ganz oder teilweise zu, sehr viel Neues gelernt zu haben, während 38 % für „teils teils“ votierten und fast ein Fünftel (19 %) sogar angab, in den Online-Modulen eher nichts Neues gelernt zu haben.

Da die Fortbildung in ein gänzlich neues Format überführt wurde, wird auch die Zufriedenheit mit dem Blended Learning-Konzept an sich betrachtet. Diese kann generell als hoch angesehen werden: Ein kleiner Anteil von 12 % der Lehrkräfte (elf Personen) findet, dass es besser gewesen wäre, auf die Online-Module zu verzichten und stattdessen alle Lerninhalte in den Präsenzveranstaltungen zu vermitteln. Umgekehrt empfindet lediglich 1 % die Präsenzveranstaltung teils als unnötig und meint, die Online-Module hätten ausgereicht. Für das Kennenlernen der Experimente sehen 97 % der Teilnehmenden die Präsenzveranstaltung als unerlässlich an. Darüber hinaus empfanden fast alle Lehrkräfte (95 %) die Diskussionen in der Präsenzphase als sinnvolle Ergänzung zu den Online-Modulen; nahezu ebenso viele (91 %) gaben an, dass durch den Besuch der Präsenzveranstaltungen ihr Verständnis der Lehrinhalte gefestigt wurde und 88 % der Teilnehmenden stimmten zu, dass die Verknüpfung zwischen den Online- und Präsenzphasen gut gelungen ist – was ein wichtiges Kriterium für eine stimmige Blended Learning-Veranstaltung darstellt. Lediglich 6 % der Lehrkräfte war nicht klar, wie die Online- und Präsenzphasen miteinander zusammenhängen (siehe Abbildung 38) [169]. Außerdem kann sich über die Hälfte (53 %) der Teilnehmenden vorstellen, Blended Learning auch als Lernarrangement in der Schule umzusetzen.

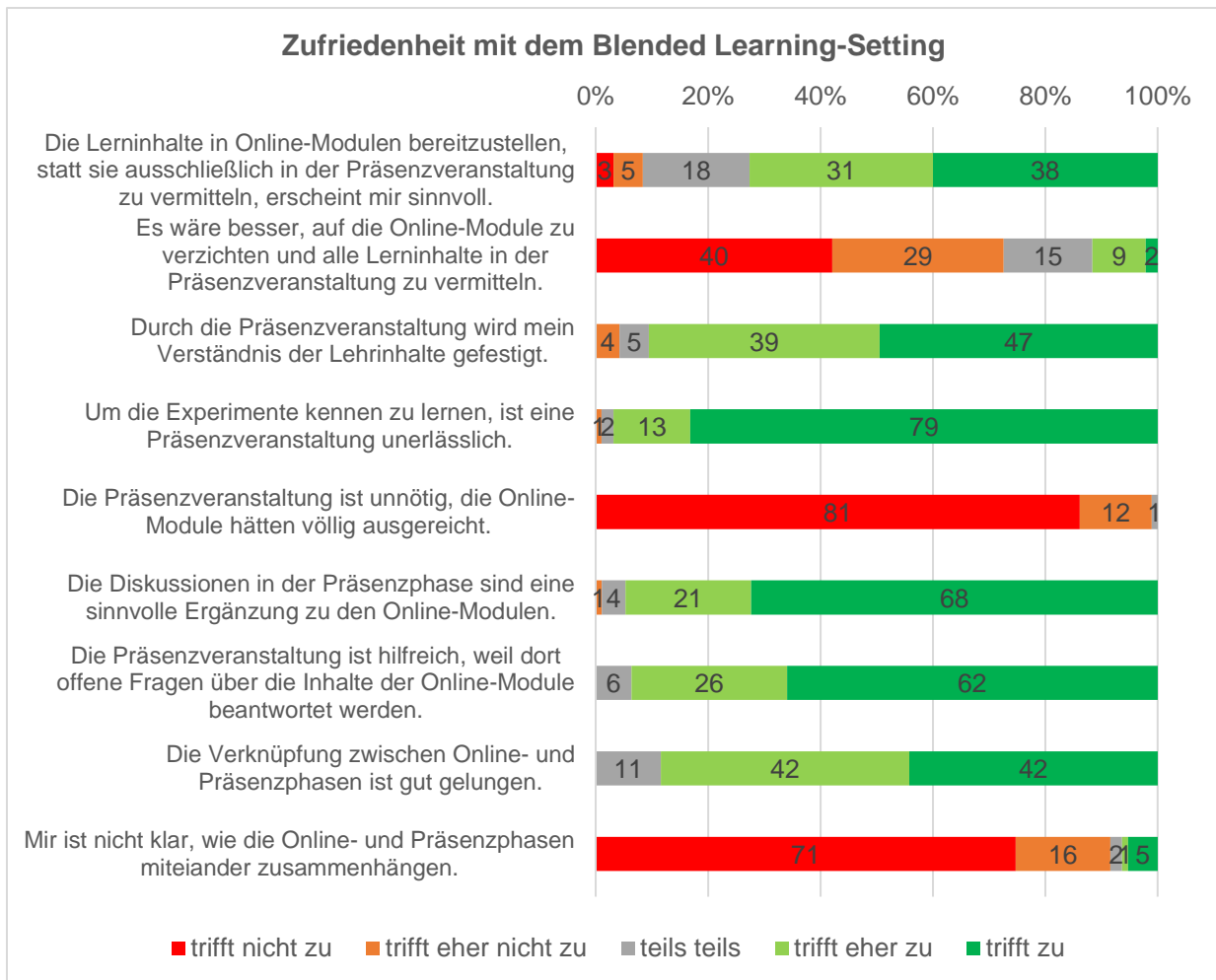


Abbildung 38: Zufriedenheit mit dem Blended Learning-Setting

Im Vorfeld der Fortbildung hatten die angemeldeten Lehrkräfte als Erwartungen häufig unspezifische Wünsche, wie „neue Impulse“ oder „neue Ideen und Anregungen“ geäußert. Konkretere Erwartungen bezogen sich beispielsweise auf „praxisorientierte Experimente“, „direkte Anwendbarkeit in der Praxis“ und „Material[,] welches den Arbeitsalltag erleichtert“. Auch hinsichtlich der Inhalte der Online-Module wurden Erwartungen vorgebracht, wie zum Beispiel folgende: „Differenzierung im Chemieunterricht“, „Wertebildung und Inklusion im alltäglichen Unterricht mehr einfügen“ und „Weiterbildung zur Umsetzung eines modernen, ‚wertvollen‘ [...] Unterrichts“. In Bezug auf CT wurden kaum Erwartungen geäußert. Eine Lehrkraft hat es folgendermaßen beschrieben: „Ich weiß nicht genau, was mich erwartet. [...] Den Begriff ‚Computational Thinking‘ habe ich in einem anderen Zusammenhang gehört, habe mir keine weiteren Gedanken darüber gemacht“. Insgesamt wurden schließlich für rund zwei Drittel (67 %) der Teilnehmenden die Erwartungen an die Experimento | 10+ Fortbildung ziemlich erfüllt, für fast ein Viertel (23 %) sogar völlig. Alle bis auf eine Lehrkraft geben an, dass sie vorhaben, *Experimento* künftig in ihrem Unterricht einzusetzen. Ebenso würden fast alle (97 %) Teilnehmenden die Fortbildung ihren Kolleginnen und Kollegen weiterempfehlen, was einen guten Indikator für die Gesamtzufriedenheit darstellen dürfte.

Auf die Frage hin, was sich die Teilnehmenden von der Fortbildung noch gewünscht hätten, wurden folgende Aspekte mehrmalig genannt:

- Weniger Aufwand zu Hause
- Mehr „neue“ Experimente
- Ausarbeitung von Best-Practice- und Anwendungs-Beispielen
- Genauere Vorschläge für die Integration in den Lehrplan

Im Gesamten fiel das Fazit der Lehrkräfte positiv aus. Mehrfach wurde betont, dass die Veranstaltung „*insgesamt gut gelungen*“ und „*praxisnah*“ sei sowie „*gute Anregungen*“ gibt. Zudem wurden besonders die Gelegenheiten zum Austausch mit den Kolleginnen und Kollegen von den Teilnehmenden als wertvoll erachtet.

6.3.2 Ergebnisse zu Forschungsfrage 2: Einsatz im Unterricht

Die grundsätzliche Absicht von Lehrkräftefortbildungen ist, das unterrichtliche Handeln der Lehrkräfte und damit das Lernen der Schülerinnen und Schüler zu verbessern [vgl. 37]. Beim Programm *Experimento* soll diese Verbesserung vordergründig insofern erreicht werden, als dass Lehrkräfte dazu befähigt werden, einen Unterricht zu gestalten, in welchem die Schülerinnen und Schüler mittels Schülerexperimenten selbstständig experimentieren und forschen können [12]. Im Zuge von FF 2 (In welcher Art und in welchem Umfang setzen die Lehrkräfte nach Besuch der Experimento | 10+ Fortbildung die Inhalte, insbesondere die Experimente, in ihrem Unterricht ein?) wird zunächst betrachtet, inwiefern der Besuch der Fortbildung die Einstellungen der Teilnehmenden gegenüber Schülerexperimenten beeinflusst.

Es zeigt sich, dass die persönlichen Einstellungen der Lehrkräfte zu Schülerexperimenten nach dem Besuch der Veranstaltung signifikant positiver waren (mit einem kleinen bis mittleren Effekt) als zuvor: $t(81) = -3,56$; $p < 0,001$; $d = 0,39$. Beim Vergleich über alle drei Messzeitpunkte hinweg ist dieser signifikante Unterschied zwischen Prä- und Post-Befragung ebenfalls festzustellen (siehe Abbildung 39). Für das Follow-Up konnten indessen statistisch keine verbesserten Einstellungen mehr nachgewiesen werden, wenngleich der Skalenmittelwert ($M = 4,51$) immer noch tendenziell höher ist als im Prätest ($M = 4,42$).

Darüber hinaus gaben die Lehrkräfte eine persönliche Einschätzung zu den äußeren Umständen ab, die den Einsatz von Schülerexperimenten erschweren können. Dazu zählen der große Aufwand zur Vor- und Nachbereitung, die Fülle des Lernstoffs, möglicherweise fehlendes Material sowie hohe Klassenstärken. Unmittelbar nach dem Fortbildungsbesuch konnte keine signifikant veränderte Wahrnehmung gefunden werden. Anders sieht es bei der Betrachtung über alle drei Messzeitpunkte hinweg aus. Hier zeigt sich, dass zum Zeitpunkt T2

die äußeren Hinderungsgründe in Bezug auf Schülerexperimente als signifikant weniger bedeutsam wahrgenommen wurden als zum Messzeitpunkt T0 (siehe Abbildung 39). Aufgrund der teilweise kritischen Cronbachs- α -Werte der Skalen „Persönliche Einstellungen“ und „Äußere Umstände“ sind die aufgeführten Ergebnisse mit Vorsicht zu betrachten. Die deskriptiven Daten weisen allerdings auf dieselbe Tendenz hin.

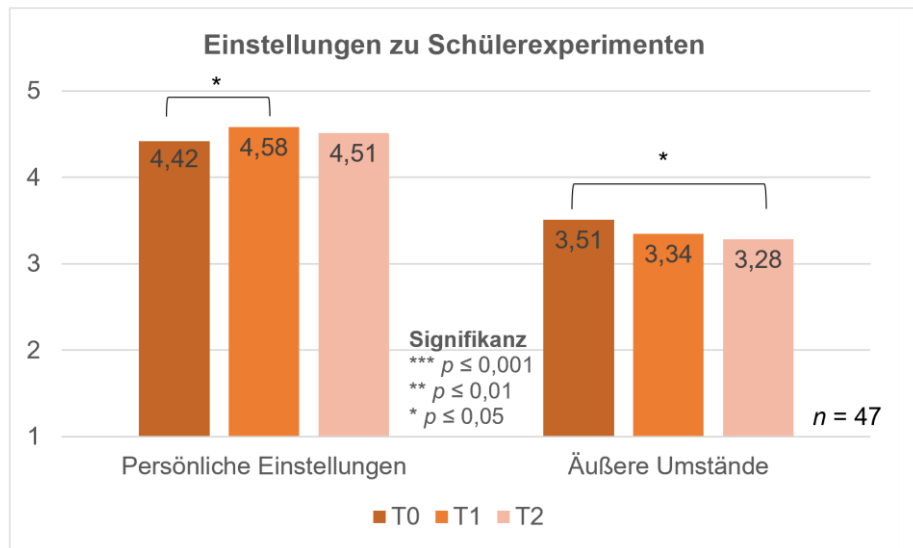


Abbildung 39: Einstellungen zu Schülerexperimenten im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

In der Tat zeigt sich weiterhin für alle drei Messzeitpunkte, dass positive persönliche Einstellungen gegenüber Schülerexperimenten mit dem im Selbstbericht durch die Lehrkräfte angegebenen tatsächlichen Einsatz von Schülerexperimenten im Unterricht korrelierten (z. B. T0: $\rho = 0,34$; $p < 0,01$). Ein negativer Zusammenhang ergibt sich zwischen der entsprechenden Wahrnehmung der erwähnten erschwerenden äußeren Umstände, wie zum Beispiel dem Aufwand oder der Klassenstärke, und dem selbstberichteten Einsatz von Schülerexperimenten (für T0: $\rho = -0,27$; $p < 0,01$).

Nach Absolvieren der Fortbildung gaben die Lehrkräfte an, nun auch tatsächlich öfter Schülerexperimente in ihrem Unterricht einzusetzen: $Z = -2,21$; $p < 0,05$; $r = 0,25$. Es ist eine geringe bis mittlere Effektstärke zu berichten. Dasselbe gilt auch für Demonstrationsexperimente, deren Förderung allerdings nicht das ausdrückliche Ziel der Experimento | 10+ Fortbildung war: $Z = -2,00$; $p < 0,05$; $r = 0,22$. Während über alle drei Messzeitpunkte hinweg keine Steigerung des Einsatzes von Schülerexperimenten festzustellen ist, zeigt sich für die Demonstrationsexperimente eine signifikante Zunahme: $\text{Chi}^2(2) = 7,06$; $p < 0,05$.

An der Ausprägung der Ausführungsform der Experimente, also ob diese, wenn sie eingesetzt werden, als Demonstrationsexperiment, Schülerdemonstrationsexperiment oder Schülerexperiment in Gruppen- oder Partnerarbeit umgesetzt werden, hat sich nach der

Fortbildung im Vergleich zu vorher nichts verändert. Eine Ausnahme bildete der Einsatz von Schülerdemonstrationsexperimenten. Hier ist nach der Veranstaltung kurzzeitig eine signifikante Zunahme mit einem kleinen Effekt zu beobachten: $t(79) = -2,45$; $p < 0,01$; $d = 0,27$. Im Follow-Up ist dies allerdings nicht mehr festzustellen.

Die selbst eingeschätzten Kenntnisse über die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung (*Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse über die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung ein?*) waren unter den Lehrkräften bereits vor dem Besuch der Veranstaltung sehr hoch ($M = 4,10$; $SD = 0,74$) und konnten nicht weiter gesteigert werden. Dahingegen zeigt sich im Vorher-Nachher-Vergleich, dass die Teilnehmenden signifikant höhere Kenntnisse über das Konzept des Forschenden Lernens mit einem großen Effekt berichteten: $t(81) = -7,53$; $p < 0,001$; $d = 0,83$. Auch beim Vergleich über alle drei Messzeitpunkte hinweg ist zu beobachten, dass die Kenntnisse in T1 und T2 gegenüber T0 signifikant höher sind: $F(1,80; 82,79) = 21,16$; $p < 0,001$ (siehe Abbildung 40).

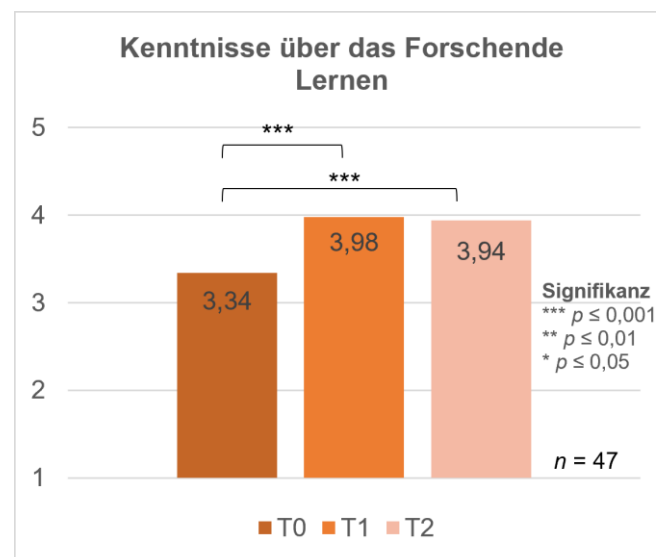


Abbildung 40: Selbstberichtete Kenntnisse über das Konzept des Forschenden Lernens im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

Entsprechend berichteten die Lehrkräfte im Vorher-Nachher-Vergleich auch tatsächlich, dass sie signifikant häufiger Elemente des Forschenden Lernens in ihren Unterricht einbinden: $t(80) = -3,12$; $p \leq 0,001$; $d = 0,35$. Über alle drei Messzeitpunkte hinweg ist dies allerdings nicht festzustellen.

Zudem wird untersucht, inwiefern ein nachhaltiger Transfer von Experimento | 10+ in den Unterricht erfolgt ist. In der Post-Erhebung gaben zwölf von 95 Lehrkräften an, *Experimento* bereits eingesetzt zu haben. Zum Messzeitpunkt T2 waren es dann immerhin bereits 15 (von 57). Sieben dieser 15 Lehrkräfte hatten *Experimento* | 10+ bereits zwischen den Präsenzveranstaltungen eingesetzt. Damit haben im Umkehrschluss fast drei Viertel (74 %) ...

der Lehrkräfte, die an der Follow-Up-Befragung teilgenommen haben, *Experimento* noch nicht im Unterricht umgesetzt. Hierfür wurden verschiedene Gründe angegeben (siehe Abbildung 41).

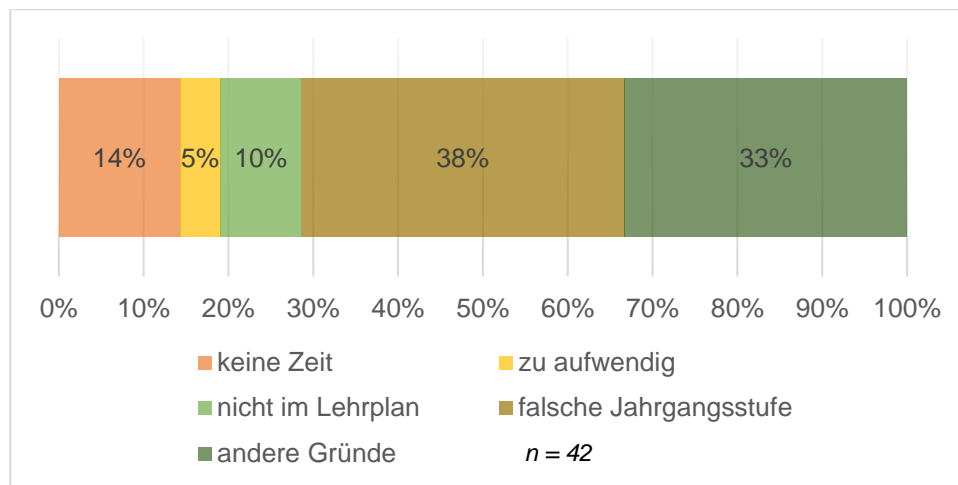


Abbildung 41: Von den Lehrkräften angegebene Gründe, die gegen den Einsatz von *Experimento* | 10+ gesprochen haben (Mehrfachnennungen möglich)

Mit 16 Nennungen wurde die *falsche Jahrgangsstufe* als häufigster Grund angegeben. Daneben spielten *andere Gründe*, insbesondere pandemiebedingte Einschränkungen (sieben von zwölf Nennungen) eine Rolle. So war zum Beispiel zeitweise kein Präsenzunterricht möglich oder nach Aufhebung der Schulschließungen kein Experimentalunterricht für Schülerinnen und Schüler erlaubt. Fehlendes Material stellte dagegen für keine der befragten Personen einen Hinderungsgrund dar. Zwei Lehrkräfte empfanden die Experimente als zu aufwendig.

Die Lehrkräfte, die *Experimento* | 10+ bereits umgesetzt hatten, taten dies hauptsächlich in der achten Jahrgangsstufe (sechs Nennungen). In der fünften und zwölften Jahrgangsstufe wurde *Experimento* je einmal eingesetzt, in der elften zwei Mal, in der zehnten drei und in der neunten fünf Mal. Zwei Drittel der Lehrkräfte haben beim Einsatz von *Experimento* auch Medien aus dem Medienportal verwendet.

Aus dem Themengebiet Energie wurden insgesamt fünf Mal Experimente in die Unterrichtspraxis implementiert, davon je zwei Mal das Experiment A3 („Zitronenbatterie“) und A5 (Solarzellen) sowie einmal A1 (Farbstoffzelle). Zum Themengebiet Umwelt wurden sieben Mal Versuche durchgeführt, davon je einmal B3 (Mülltrennung) und B4 (Wasserreinigung), zwei Mal B6 (Erneuerbare Energien) und drei Mal B2 (Treibhauseffekt). Am häufigsten kamen Experimente aus dem Gebiet Gesundheit zum Einsatz: C2 (Kohlenhydrate), C3 (Verseifung) und C4 (pH-Wert) jeweils drei Mal und C1 (Zuckerverbrennung) zwei Mal (für eine ausführliche Liste der Experimente siehe Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13). In den meisten Fällen

verwendeten die Lehrkräfte, wenn sie Versuche aus Experimento | 10+ einsetzen, die Anleitungen zusammen mit den dazugehörigen Materialien.

6.3.3 Ergebnisse zu Forschungsfrage 3: Digitale Medienkompetenz

Mit FF 3 wird untersucht, inwiefern die Fortbildung dazu geeignet ist, die digitale Medienkompetenz und, in Zusammenhang damit, die medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung sowie die Einstellungen gegenüber digitalen Medien bei den Teilnehmenden zu verbessern.

Zunächst einmal muss festgehalten werden, dass die Lehrkräftefortbildung es laut vorliegenden Daten nicht vermag, einen Beitrag mit einem statistisch signifikanten Effekt zur medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung zu leisten, auch wenn aus den dazugehörigen Skalenmittelwerten eine tendenzielle Zunahme ableitbar ist (siehe Abbildung 42).

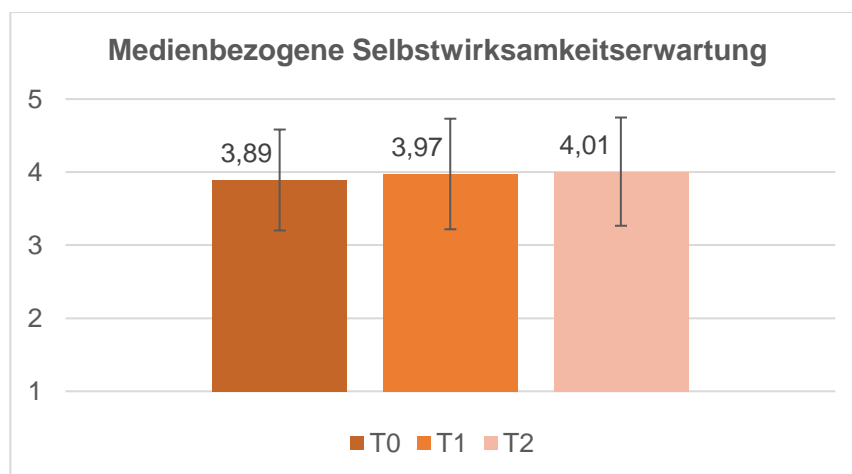


Abbildung 42: Medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

Anzumerken ist, dass die medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung der männlichen Teilnehmenden signifikant höher war als die der weiblichen: $U = 979,00$; $Z = -2,01$; $p < 0,05$; $r = 0,20$.

Die Einstellungen zu digitalen Medien im Unterricht im Allgemeinen haben sich im Gegensatz zur Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-Post-Vergleich signifikant erhöht [242]: $t(78) = -3,69$; $p < 0,001$; $d = 0,42$. Zum Follow-Up hin fällt jedoch der Skalenmittelwert wieder signifikant ab (siehe Abbildung 43). Ähnliches gilt auch für die Einstellungen zu digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Während im Vorher-Nachher-Vergleich eine Zunahme zu berichten ist ($t(77) = -2,87$; $p < 0,01$; $d = 0,33$), trifft dies für die Follow-Up-Erhebung nicht mehr zu (siehe Abbildung 43). Für die kurzzeitige Zunahme der Einstellungs-Werte ist jedoch in beiden Fällen eine mittlere Effektstärke zu konstatieren. Die Interpretation der Tests, welche

die Einstellungen zu digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht betreffen, sollte allerdings mit Vorsicht betrachtet werden, da die Cronbachs- α -Werte aufgrund der Kürzung der literaturbasierten Skala hier nicht ganz zufriedenstellend waren.

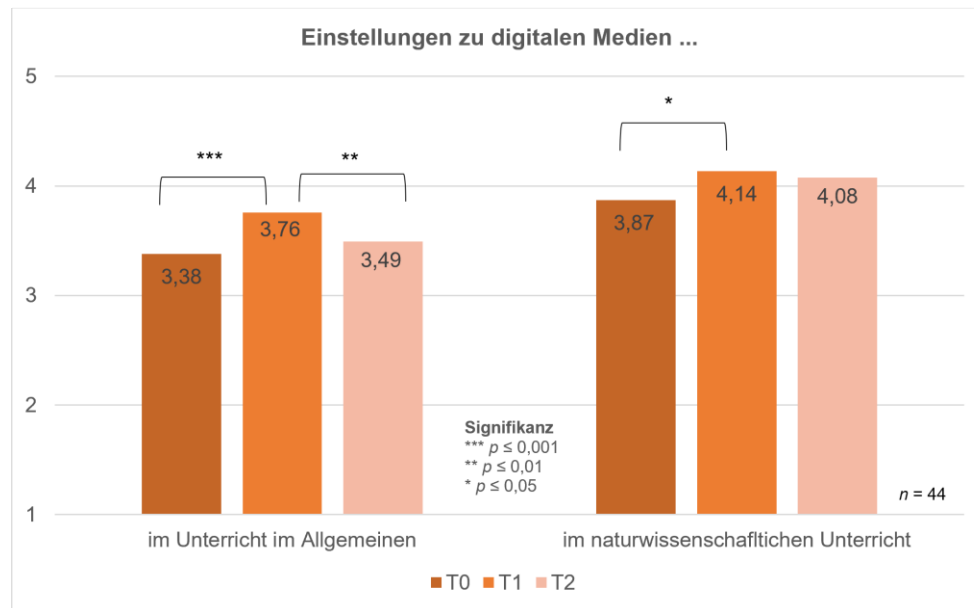


Abbildung 43: Einstellungen zu digitalen Medien im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

Geht es nun um die Medienkompetenz selbst, werden zwei verschiedene Aspekte betrachtet. Zum einen wurde überlegt, welche konkreten Medienkompetenzen die Experimento | 10+ Fortbildung zu fördern beabsichtigt, wie zum Beispiel das Finden, Herunterladen, Verändern und Teilen von Open Educational Resources (OER). Zum anderen wurde untersucht, inwieweit die Lehrkräftefortbildung auch einen Beitrag zu allgemein beschriebenen Kompetenzmodellen (siehe Kapitel 4.3.2) leisten kann. Aufgrund des bereits zur Verfügung stehenden Selbsteinschätzungs-Tools [226], wurde hierzu der DigCompEdu herangezogen. In diesem Fall wurde, in Analogie zum DigCompEdu, aus den Items ein Summenscore gebildet, um die Entwicklung der Lehrkräfte abzubilden. Im Prä-Post-Vergleich zeigt sich eine statistisch signifikante Zunahme der erreichten Punktzahl mit einem mittleren Effekt ($t(78) = -3,83$; $p < 0,001$; $d = 0,43$) von im Mittel 11,27 auf durchschnittlich 12,47 von 24 möglichen Punkten. Beim Vergleich über alle drei Messzeitpunkte hinweg ist dieser signifikante Vorher-Nachher-Unterschied ebenfalls festzustellen. Für das Follow-Up konnte statistisch jedoch kein im Vergleich zum Prätest verbesserter Summenscore nachgewiesen werden. Allerdings lassen die Zahlen erkennen, dass zum Zeitpunkt T2 tendenziell immer noch von einer deutlich höheren Punktzahl auszugehen ist (siehe Abbildung 44).

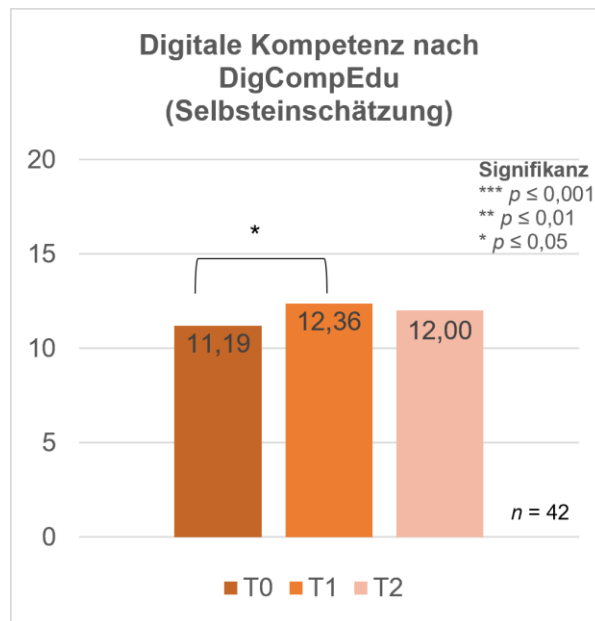


Abbildung 44: Digitale Kompetenz in Anlehnung an den DigCompEdu [226] im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

Auch in der Selbstwahrnehmung gaben fast zwei Drittel (63 %) der Lehrkräfte an, durch die Fortbildung ihre Medienkompetenz, zumindest teilweise, gesteigert zu haben. Entsprechend ist für die spezifischen Medienkompetenzen ebenfalls eine statistisch signifikante Zunahme von T0 zu T1 mit einem mittleren Effekt zu beobachten: $t(77) = -5,07$; $p < 0,001$, $d = 0,57$. Diese Zunahme ist auch über alle drei Messzeitpunkte hinweg im Vergleich zum Prä-Fragebogen statistisch höchst signifikant: $F(1,81; 77,77) = 20,12$; $p < 0,001$ (siehe Abbildung 45).

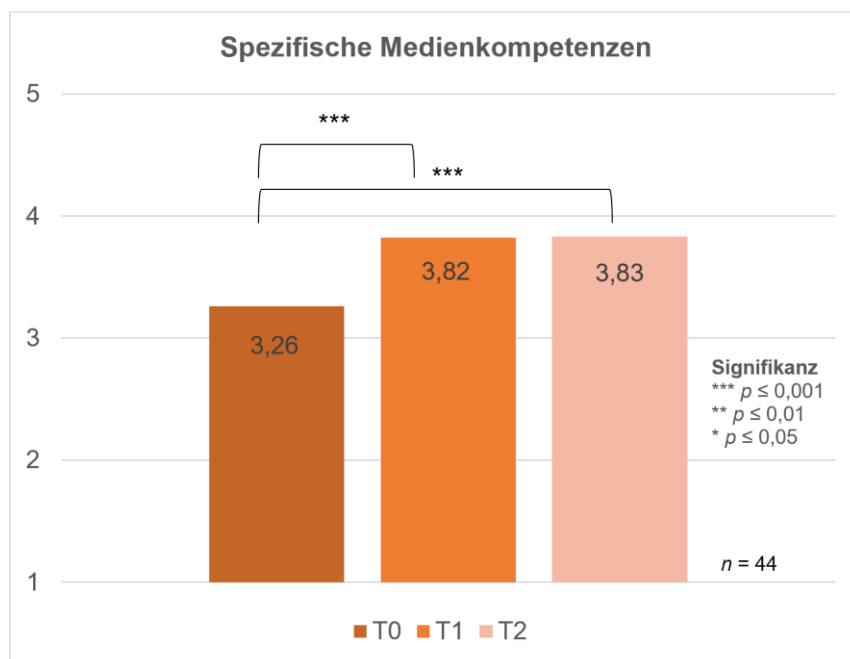


Abbildung 45: Spezifische Medienkompetenzen im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

Dazu passt, dass die Selbsteinschätzung der Lehrkräfte in Bezug auf die Kenntnisse im Bereich OER im Prä-Post-Vergleich statistisch signifikant zugenommen hat. Es ist ein großer Effekt zu berichten: $t(81) = -8,13; p < 0,001; d = 0,90$. Tatsächlich zeigt auch der Vergleich über alle drei Messzeitpunkte hinweg, dass die Kenntnisse in der Post- sowie in der Follow-Up-Befragung signifikant höher sind als beim Prä-Fragebogen: $F(2; 92) = 25,31; p < 0,001$.

Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass 87 % der Lehrkräfte jeden Tag, mitunter sogar mehrmals täglich, in ihrer Freizeit digitale Medien nutzen. In der Schule sind dies nur 55 %. Sechs Lehrkräfte (6 %) gaben sogar an, nur „sehr selten“ und damit weniger als ein Mal pro Woche digitale Medien im Unterricht zu nutzen. Dabei ist anzumerken, dass die Häufigkeit des digitalen Medieneinsatzes im Unterricht schwach bis mittel mit der in T0 berichteten medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung ($\rho = 0,28; p < 0,01$) und den Kompetenzen gemäß DigCompEdu ($\rho = 0,27; p < 0,01$) zusammenhing.

Die Frage nach der Einschätzung der Lehrkräfte in Bezug auf die Qualität der digitalen Ausstattung ihrer Schule erscheint dagegen für weitere Rückschlüsse ungeeignet. So divergierte die Bewertung dieser innerhalb einer SchiLf beispielsweise zwischen „schlecht“ und „sehr gut“ und ist damit als sehr subjektiv zu beurteilen.

6.3.4 Ergebnisse zu Forschungsfrage 4: Wirkungen der Online-Module

Da es sich bei den Online-Modulen von Experimento | 10+ um fakultative Elemente handelt, findet im Vorfeld eine Auswahl aus diesen statt. Tatsächlich zeigen die Daten zur Bearbeitungsdauer, dass die meisten Lehrkräfte, von denen sowohl für den Prä- als auch den Post-Fragebogen entsprechende Auskünfte vorliegen, auch genau die für den jeweiligen Fortbildungsort festgelegten Module bearbeitet haben. Etwa 17 % haben zusätzlich in Selbstarbeit ein weiteres Modul absolviert. Sechs der Lehrkräfte haben ein per Mehrheitsentscheidung bestimmtes Modul nicht bearbeitet, vier davon aber dafür ein anderes. Um einen adäquaten Vergleich im Sinne einer Interventions- und einer Kontrollgruppe zu ermöglichen, wurden in diesem Fall gegebenenfalls die Lehrkräfte, die angaben, das von der Gruppe gewählte Modul nicht bearbeitet zu haben, von den weiteren Analysen, die die vierte Forschungsfrage betrafen, ausgeschlossen.

In Bezug auf das Wahlverhalten ist zunächst einmal festzuhalten, dass das Modul zu CT die größte Beliebtheit aufwies. In neun von elf vollständig durchgeführten Experimento | 10+ Fortbildungen wurde dieses Thema behandelt. Das Modul zu Inklusion & SFU wurde hingegen nur in sechs Veranstaltungen vertieft thematisiert, Wertebildung in sieben. Dementsprechend haben sich laut eigenen Angaben auch 80 Personen von den Lehrkräften, die an der Post-Befragung teilgenommen haben, mindestens 15 Minuten lang mit dem CT Modul beschäftigt.

Gemäß Tracking waren 75 Lehrkräfte registriert. Da CT jedoch jeweils als zweites Modul thematisiert wurde, sind diese Zahlen mit der erwähnten Unsicherheit behaftet (siehe Kapitel 6.2.2). Mit dem Modul zur Wertebildung hatten sich laut Tracking 76 Lehrkräfte beschäftigt, im Fragebogen gaben es 72 Personen an. Auch bei Inklusion ist eine gewisse Diskrepanz festzustellen, da 51 Personen auf dem Medienportal entsprechend registriert waren, aber nur 43 im Fragebogen angaben, sich damit beschäftigt zu haben. Allerdings nahmen nicht alle Lehrkräfte, die die Fortbildung besucht hatten, an der Post-Befragung teil. Die Zahl der Aufrufe der einzelnen Kapitelseiten auf dem Medienportal lag bei Betrachtung der registrierten User im Rahmen des Erwartbaren.

Die Zufriedenheit mit den Online-Modulen im Sinne der ersten Ebene des Evaluationsmodells wurde bereits in FF 1 betrachtet (Kapitel 6.3.1). Mittels FF 4 wird nun untersucht, inwieweit das Absolvieren der unterschiedlichen Online-Module die Einstellungen, das selbstberichtete (Handlungs-)Wissen der Lehrkräfte über das jeweilige Thema (Ebene 2) sowie dessen tatsächliche Umsetzung im Unterricht beeinflusst (in Bezug auf Ebene 3). Im Folgenden wird zuerst das Modul zur Wertebildung näher betrachtet, anschließend Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie zuletzt Computational Thinking.

6.3.4.1 Ergebnisse zu Modul 1 (Wertebildung)

Zunächst einmal wurde untersucht, inwiefern sich das Absolvieren des Online-Moduls zur Wertebildung und die anschließende Vertiefung dieses Themas in der Präsenzveranstaltung auf die Einstellungen der Lehrkräfte auswirkt. Dazu wurde eine Einschätzung der Lehrkräfte zur Wichtigkeit von Wertebildung in der Schule allgemein und auch im naturwissenschaftlichen Unterricht erfragt. Vor der Intervention existierte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Interventions- bzw. Treatmentgruppe, also der Gruppe, die das Modul später in der Fortbildung thematisiert hat und der Kontrollgruppe, die sich nicht mit Wertebildung beschäftigte. Somit ist von ähnlichen Grundvoraussetzungen auszugehen. Sowohl die Interventionsgruppe ($M = 3,92$; $SD = 0,35$) als auch die Kontrollgruppe ($M = 3,94$; $SD = 0,28$) wiesen bereits zum Zeitpunkt T0 durchaus positiv ausgeprägte Einstellungen gegenüber Wertebildung auf. Daher konnte die Fortbildung keinen statistisch signifikanten Beitrag zur weiteren Verbesserung der Einstellungen leisten. Dementsprechend ist auch zum Zeitpunkt T1 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festzustellen. Die Einstellungen beider Gruppen sind weiterhin als positiv zu beschreiben: Treatmentgruppe: $M = 3,91$; $SD = 0,35$; Kontrollgruppe: $M = 3,89$; $SD = 0,36$. Der Skalenmittelwert der Kontrollgruppe nahm allerdings im Laufe der Zeit statistisch signifikant ab: $\text{Chi}^2(2) = 7,00$; $p < 0,05$. Dementsprechend wies die Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T2 statistisch signifikant positivere Einstellungen gegenüber Wertebildung mit einem moderaten Effekt auf: $U = 222,00$; $Z = -2,57$; $p \leq 0,01$; $r = 0,34$.

Die Einstellungen der Lehrkräfte betreffend, wurde neben der Einschätzung der Wichtigkeit auch das Interesse an Wertebildung bei den Teilnehmenden abgefragt. Hier bestanden anfangs ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Interventionsgruppe ($M = 3,97$; $SD = 0,90$) und Kontrollgruppe ($M = 3,65$; $SD = 0,76$). Insgesamt war das Interesse, insbesondere bei der Interventionsgruppe, gegenüber Wertebildung hoch. Durch das Absolvieren der Fortbildung mit dem Schwerpunkt „Werte“ konnte dieses zwar nicht in signifikantem Maße gesteigert werden, allerdings wies die Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe bei der Post-Befragung nun ein statistisch signifikant höheres Interesse auf: $U = 623,00$; $Z = -2,18$; $p < 0,05$. Es zeigt sich ein kleiner Effekt: $r = 0,23$. Dieser Unterschied bestand mit einem mittleren Effekt auch zum Zeitpunkt T2: $U = 243,00$; $Z = -2,30$; $p < 0,05$; $r = 0,31$.

Neben möglichen Veränderungen in den Einstellungen wurde untersucht, inwiefern es zu einem Wissenszuwachs im Bereich Wertebildung bei den Lehrkräften kommt (*Wie schätzen Sie selbst Ihre Kenntnisse über Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht ein?*). Im Vorwissen unterschieden sich die beiden Gruppen nicht. Für die Interventionsgruppe zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine höchst signifikante Zunahme der selbstberichteten Kenntnisse über Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht mit einem großen Effekt: $t(54) = -6,33$; $p < 0,001$; $d = 0,85$. Auch über alle drei Messzeitpunkte hinweg blieb diese Zunahme bestehen: $\chi^2(2) = 21,97$; $p < 0,001$. Für die Kontrollgruppe hingegen ist kein statistisch signifikanter Anstieg der Kenntnisse festzustellen. Dementsprechend berichtete die Interventionsgruppe sowohl für T1 ($U = 466,00$; $Z = -3,81$; $p < 0,001$; $r = 0,40$) als auch T2 ($U = 156,00$; $Z = -3,88$; $p < 0,001$; $r = 0,52$) signifikant höhere Kenntnisse über Wertebildung als die Kontrollgruppe (vgl. Abbildung 46).

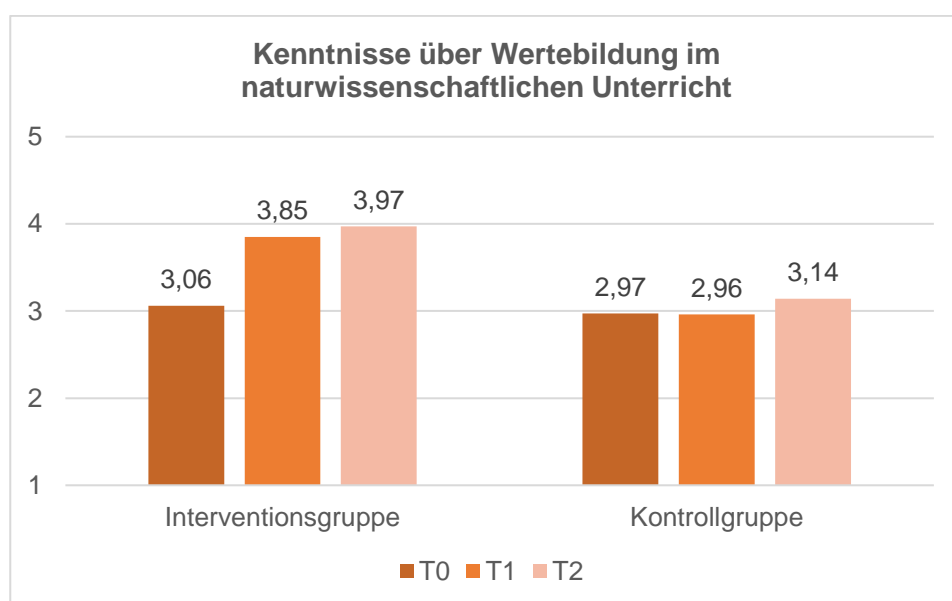


Abbildung 46: Kenntnisse über Wertebildung der Interventions- und der Kontrollgruppe im Vergleich

Zusätzlich zu den allgemeinen Kenntnissen wurden die Lehrkräfte um eine Selbsteinschätzung der Kenntnisse über die Umsetzung von Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht gebeten (*Ich weiß, wie ich Wertebildung in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren kann.*) [242]. Im Vorwissen gab es dabei keine bedeutsamen Unterschiede. Für die Treatmentgruppe zeigt sich erneut von T0 zu T1 eine signifikante Zunahme der selbstberichteten Kenntnisse: $t(53) = -7,99$; $p < 0,001$. Diese Zunahme ist auch nach drei Monaten noch zu beobachten: $\chi^2(2) = 25,38$; $p < 0,001$. In der Tat ist auch für die Kontrollgruppe eine Zunahme des Wissens im Vorher-Nachher-Vergleich zu berichten: $Z = -2,36$; $p < 0,05$. Es handelt sich hierbei ebenfalls um einen dauerhaften Zuwachs: $\chi^2(2) = 12,96$; $p < 0,01$. Dennoch wies die Interventionsgruppe sowohl in der Post- ($U = 425,00$; $Z = -4,19$; $p < 0,001$) als auch in der Follow-Up-Befragung ($U = 146,50$; $Z = -4,02$; $p < 0,001$) signifikant höhere Kenntnisse auf als die Kontrollgruppe.

Um einen ersten Einblick in die dritte Ebene des Evaluationsmodells zu erlangen, wurden die Lehrkräfte um ihre Einschätzung der tatsächlichen Umsetzung von Wertebildung im Unterricht gebeten. Aufgrund der COVID-19-Pandemie wurde sich hier auf die gegenstandsbezogenen Werte berufen, da die Förderung von lernprozessbezogenen Werten durch mangelnde soziale Interaktionsmöglichkeiten deutlich erschwert war und sich dementsprechend keine vergleichbaren Ergebnisse erzielen ließen. In der Umsetzung von Wertebildung bestand anfangs zwischen den Bundesländern ein statistisch signifikanter Unterschied: $H(2) = 7,09$; $p < 0,05$. In Bayern setzten die Lehrkräfte tendenziell häufiger und in Baden-Württemberg signifikant häufiger Wertebildung im Unterricht um, als in Niedersachsen.

Zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe bestand hingegen vor dem Besuch der Fortbildung nahezu kein Unterschied im Einsatz von Wertebildung im Unterricht. Im Prä-Post-Vergleich gab die Treatmentgruppe an, signifikant häufiger Wertebildung im Unterricht zu fokussieren: $t(52) = -3,36$; $p < 0,001$; $d = 0,46$. Es lässt sich ein mittlerer Effekt feststellen. Auch über alle drei Messzeitpunkte hinweg hatte der statistisch signifikante Zuwachs Bestand: $\chi^2(2) = 8,73$; $p < 0,05$. Bei der Kontrollgruppe kam es zwar zu keinem Anstieg, dennoch unterschieden sich die beiden Gruppen in der Post-Befragung nicht. Auch für das Follow-Up gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen zu berichten.

6.3.4.2 Ergebnisse zu Modul 2 (Inklusion und SFU)

Bei der Untersuchung der Wirkungen des Online-Moduls zu Inklusion und sprachsensiblen Fachunterricht und der anschließenden Vertiefung in Präsenz wurde ähnlich vorgegangen wie beim Modul zur Wertebildung. Zunächst wurden die Einstellungen zu Inklusion bzw. der in der Fortbildung fokussierten inneren Differenzierung abgefragt. Anfangs hielten beide Gruppen,

also die, die das Modul zu Inklusion & SFU später bearbeitete (Interventions- bzw. Treatmentgruppe) und die, die es nicht bearbeitet hat (Kontrollgruppe), Differenzierung für ähnlich wichtig ($M = 3,92$; $SD = 0,54$). Für die Interventionsgruppe ist von T0 zu T1 eine signifikante Zunahme der eingeschätzten Wichtigkeit von Differenzierung mit einem mittleren Effekt festzustellen: $t(34) = -2,38$; $p < 0,05$; $d = 0,40$. Über alle drei Messzeitpunkte hinweg war dies jedoch nicht zu beobachten.

Für die Kontrollgruppe zeigte sich allerdings dasselbe. Hier findet sich ebenfalls eine signifikante Zunahme mit mittlerem Effekt im Vorher-Nachher-Vergleich ($t(41) = -2,32$; $p < 0,05$; $d = 0,36$) und keine signifikanten Effekte über T0, T1 und T2 hinweg. Dementsprechend unterschieden sich die beiden Gruppen in der Post- und Follow-Up-Befragung nicht in statistisch signifikantem Maße. Da die Skala zu den Einstellungen gegenüber Inklusion und Differenzierung im Unterricht einen teilweise nicht ganz zufriedenstellenden Cronbachs- α -Wert aufwies, sind die dazugehörigen Ergebnisse nicht vollständig verlässlich.

Beim Modul zu Inklusion & SFU wurde ebenfalls das Interesse näher betrachtet. Im Vorfeld der Fortbildung war dieses in beiden Gruppen ähnlich ausgeprägt. Für die Interventionsgruppe zeigt sich im Vorher-Nachher-Vergleich in der Tendenz eine Interessenssteigerung von $M_{Prä} = 3,55$; $SD = 0,95$ zu $M_{Post} = 3,74$; $SD = 0,72$. Diese ist dennoch auf dem gewählten Signifikanzniveau von $p < 0,05$ nicht signifikant. Auch bei Einbezug der Follow-Up-Befragung ist kein signifikanter Zuwachs zu beobachten. Für die Kontrollgruppe sind insgesamt keine signifikanten Interessenssteigerungen zu finden. Demnach zeigt sich für die Post-Befragung ein signifikant höheres Interesse bei der Interventionsgruppe: $U = 680,50$; $Z = -2,15$; $p < 0,05$; $r = 0,23$. Im Follow-Up ist dies nicht mehr festzustellen.

Neben den Einstellungen wurde ebenso untersucht, wie die Lehrkräfte ihre Kenntnisse zum Thema beschreiben. Beim allgemeinen Vorwissen (*Kenntnisse über Methoden zum Umgang mit Heterogenität*) und beim Vorwissen bezüglich der Umsetzung im Klassenzimmer (*Ich kenne zahlreiche Möglichkeiten, meinen Unterricht inklusiv und sprachsensibel zu gestalten.*) ist zwischen den beiden Gruppen zu Beginn kein signifikanter Unterschied festzustellen. Für die Interventionsgruppe kann im Prä-Post-Vergleich ein signifikanter Zuwachs des selbstberichteten Wissens um Methoden zum Umgang mit Heterogenität mit einem mittleren Effekt beobachtet werden: $Z = -2,28$; $p < 0,05$; $r = 0,38$. Dieser Wissenszuwachs blieb bis zur Follow-Up-Befragung bestehen: $\chi^2(2) = 7,43$; $p < 0,05$. Obwohl sich für die Kontrollgruppe im Vorher-Nachher- sowie im Prä-Post-Follow-Up-Vergleich kein signifikanter Zuwachs zeigt, ist für beide Zeitpunkte zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe kein statistisch signifikanter Unterschied festzustellen.

Allerdings nahmen auch die Kenntnisse zur inklusiven und sprachsensiblen Gestaltung des Unterrichts für die Treatmentgruppe sowohl im Vorher-Nachher-Vergleich mit einem großen Effekt ($Z = -3,94$; $p < 0,001$; $r = 0,67$) als auch dauerhaft statistisch signifikant zu: $\text{Chi}^2(2) = 17,22$; $p < 0,001$. Für die Kontrollgruppe war ebenfalls kurzzeitig ein signifikanter Zuwachs des Wissens über die inklusive und sprachensible Gestaltung des Unterrichts zu berichten: $Z = -2,38$; $p < 0,05$. Ansonsten ist für die Kontrollgruppe kein relevanter Wissenszuwachs festzustellen. Daher wies die Interventionsgruppe sowohl in der Post- ($t(85) = -2,43$; $p < 0,01$, $d = 0,52$) als auch in der Follow-Up-Befragung ($U = 208,50$; $Z = -2,38$; $p < 0,05$, $r = 0,33$) statistisch signifikant höhere selbstberichtete Kenntnisse mit jeweils einem mittleren Effekt über Möglichkeiten zur inklusiven Gestaltung des Unterrichts auf (vgl. Abbildung 47).

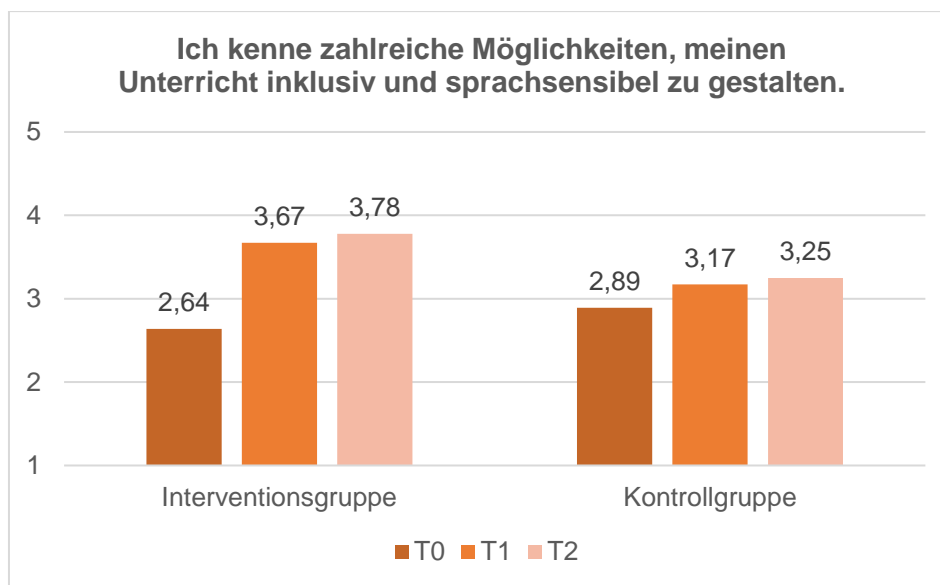


Abbildung 47: Kenntnisse zur inklusiven und sprachsensiblen Gestaltung der Interventions- und der Kontrollgruppe im Vergleich

Bezüglich des unterrichtlichen Einsatzes von inklusiven Elementen zum Zeitpunkt T0 gaben die Lehrkräfte aus Kontroll- und Interventionsgruppe an, dies ungefähr gleich häufig zu tun. Tatsächlich berichtete die Treatmentgruppe im Vorher-Nachher-Vergleich, signifikant häufiger (mit einem moderaten Effekt) inklusive Elemente in ihrem Unterricht einzusetzen: $Z = -1,75$; $p < 0,05$; $r = 0,30$. Allerdings war dieser Zuwachs nicht dauerhaft. Die Kontrollgruppe dagegen berichtete zwar im Prä-Post-Vergleich keinen vermehrten Einsatz, jedoch setzten diese Lehrkräfte zum Zeitpunkt des Follow-Up signifikant häufiger inklusive Elemente in ihrem Unterricht ein als zu T0: $\text{Chi}^2(2) = 12,26$; $p < 0,01$. Beide Gruppen setzten also ebenso wie zum Zeitpunkt T0 auch zu T1 und T2 ähnlich häufig inklusive Elemente in ihrem Unterricht ein.

Insgesamt konnte zum Beispiel für T1 gezeigt werden, dass sowohl die Einstellungen gegenüber Inklusion ($p = 0,29$; $p < 0,01$) als auch die Kenntnisse über Heterogenität allgemein ($p = 0,29$; $p < 0,01$) sowie über konkrete Methoden zur inklusiven und sprachsensiblen

Gestaltung des Unterrichts ($\rho = 0,32$; $p < 0,01$) mit dem selbstberichteten tatsächlichen Einsatz von inklusiven Elementen korrelierten.

6.3.4.3 Ergebnisse zu Modul 3 (Computational Thinking)

Beim Modul zu Computational Thinking sollten ebenfalls zunächst die Einstellungen der Lehrkräfte zu diesem Thema abgefragt werden. Allerdings wurde bereits zuvor vermutet, dass CT unter den naturwissenschaftlichen Lehrkräften noch nicht weit verbreitet ist. Tatsächlich gaben nur 28 % der Lehrkräfte an, dass ihnen der Begriff „Computational Thinking“ bekannt sei [169]. Dementsprechend konnten lediglich $n = 29$ Teilnehmende grundsätzlich zu ihren Einstellungen zu CT befragt werden. Schließlich wäre es nicht sinnvoll, eine Einschätzung zu einem per se unbekanntem Aspekt abzugeben [169]. Für die Personen aus dieser Stichprobe, die sich im Rahmen der Fortbildung mit dem Modul zu CT beschäftigt hatten, zeigte sich, dass im Vergleich von T0 zu T1 eine signifikant gesteigerte Einschätzung der Wichtigkeit mit einem großen Effekt berichtet wurde: $Z = -3,00$; $p < 0,01$; $r = 0,69$. Diese Steigerung blieb allerdings nicht über alle drei Messzeitpunkte hinweg aufrechterhalten.

Beim grundsätzlichen Interesse an CT konnten alle Probandinnen und Probanden berücksichtigt werden. Tatsächlich war das Interesse an CT bei beiden Gruppen, also in der Kontrollgruppe, bei der das Thema während der Fortbildung nicht behandelt wurde, und in der Interventionsgruppe, die sich später damit digital und analog auseinandergesetzt hatte, anfangs ähnlich hoch. Insgesamt gaben 64 % der Lehrkräfte zum Zeitpunkt T0 an, ein hohes oder sehr hohes Interesse an CT zu haben ($M = 3,75$; $SD = 0,89$). Im Laufe der Intervention wurde das Interesse weder signifikant gesteigert, noch ist es über die Zeit signifikant abgesunken. Für die Kontrollgruppe galt dasselbe. Dementsprechend unterschied sich das Interesse zwischen den Gruppen an den verschiedenen Messzeitpunkten ebenfalls nicht [169].

Auch für CT wurden die allgemeinen Kenntnisse zum Thema abgefragt. Diese können für beide Gruppen vor der Intervention als eher niedrig beschrieben werden ($M = 2,10$; $SD = 0,92$). Immerhin gaben 70 % der Lehrkräfte an, nur geringe oder sehr geringe Kenntnisse über CT zu besitzen. Auffällig ist, dass männliche Lehrkräfte ($M = 2,41$; $SD = 0,90$) zum Zeitpunkt T0 signifikant höhere Kenntnisse über CT berichteten, als ihre weiblichen ($M = 1,86$; $SD = 0,87$) Kolleginnen: $t(100) = 3,11$; $p < 0,01$; $d = 0,62$. Zum Zeitpunkt T1 und T2 waren diese Unterschiede nicht mehr festzustellen.

Im Vergleich zu vor und nach der Intervention berichtete die Treatmentgruppe einen signifikanten Wissenszuwachs hinsichtlich CT: $t(67) = -9,33$; $p < 0,001$. Dieser konnte auch bis zum Follow-Up aufrecht erhalten werden: $F(1,75; 68,20) = 50,64$; $p < 0,001$ (siehe Abbildung 48).

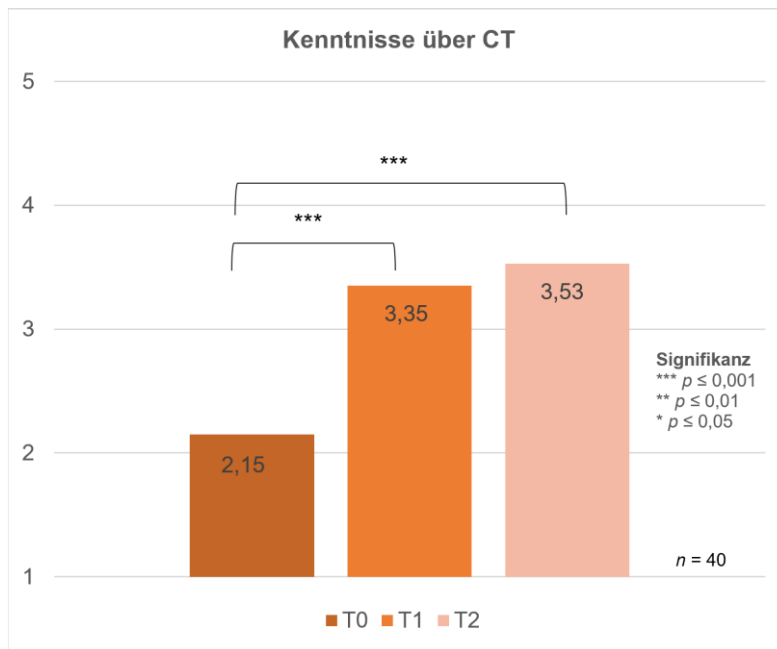


Abbildung 48: Selbstberichtete Kenntnisse der Treatmentgruppe über CT im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich

Für die Kontrollgruppe ist hingegen im Vorher-Nachher-Vergleich kein Wissenszuwachs zu verzeichnen. Dementsprechend zeigten sich für die Treatmentgruppe zu Messzeitpunkt T1 signifikant höhere Kenntnisse als für die Vergleichsgruppe: $U = 294,00$; $Z = -3,40$; $p < 0,001$. Auf einen Vergleich mit der Kontrollgruppe über alle drei Messzeitpunkte hinweg wurde aufgrund der geringen Stichprobengröße dieser ($n = 6$) verzichtet.

Neben den allgemeinen Kenntnissen ging es auch darum, ob die Lehrkräfte eine Idee haben, wie sie CT im Unterricht fördern können. Auch hier wiesen beide Gruppen zu Beginn nur relativ geringe Kenntnisse auf: Interventionsgruppe: $M = 2,20$; $SD = 0,95$; Kontrollgruppe: $M = 1,65$; $SD = 0,93$. Jedoch bestand bereits zum Zeitpunkt T0 ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen: $U = 465,50$; $Z = -2,38$; $p < 0,05$. Darüber hinaus berichteten auch hier die männlichen Probanden anfangs von vergleichsweise höheren Kenntnissen: $t(100) = 2,51$; $p < 0,05$; $d = 0,50$. Insgesamt wussten zum Zeitpunkt T0 fast drei Viertel (71 %) der Teilnehmenden nicht oder eher nicht, wie sie CT bei ihren Schülerinnen und Schülern fördern können. Bei der Interventionsgruppe zeigte sich im Vorher-Nachher-Vergleich ein signifikanter Zuwachs der Kenntnisse: $t(66) = -12,14$; $p < 0,001$. Dieser blieb auch bis zum Follow-Up aufrechterhalten: $F(2; 78) = 45,97$; $p < 0,001$. Tatsächlich berichtete auch die Kontrollgruppe einen statistisch signifikanten Wissenszuwachs im Prä-Post-Vergleich: $Z = 2,11$; $p < 0,05$ [169]. Dieser ist über alle drei Messzeitpunkte hinweg nicht mehr zu finden. Die Aussagekraft ist aufgrund der geringen Stichprobengröße ($n = 6$) aber fraglich. Der statistisch signifikante Unterschied zwischen den beiden Gruppen, der zu Anfang gefunden wurde, blieb auch zum Zeitpunkt T1 bestehen bzw. trat noch deutlicher zu Tage: $U = 230,00$; $Z = -3,98$; $p < 0,001$. Dasselbe galt für T2: $U = 105,00$; $Z = -2,76$; $p < 0,01$.

Um eine spezifischere Aussage über die selbstberichteten Kenntnisse der Lehrkräfte über CT treffen zu können, wurden die Teilnehmenden zusätzlich zu bestimmten Kompetenzen im Bereich CT befragt (z. B. „Ich kann eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems planen und verwenden.“). Hier unterschieden sich die beiden Gruppen im Vorfeld der Intervention nicht und hatten dementsprechend ähnliche Voraussetzungen [169]. Bei der Interventionsgruppe kam es im Vorher-Nachher-Vergleich zu einer signifikanten Zunahme der selbstberichteten Kompetenz: $t(64) = -9,96$; $p < 0,001$. Diese war über alle drei Messzeitpunkte hinweg beständig: $F(2; 72) = 26,00$; $p < 0,001$. Auch bei der Kontrollgruppe kam es zu einem Kompetenzzuwachs im Prä-Post-Vergleich: $Z = -2,06$; $p < 0,05$. Dementsprechend unterschieden sich die Interventions- und Kontrollgruppe in T1 nicht, in T2 dagegen zeigte die Treatmentgruppe signifikant höhere Kompetenzen: $U = 132,50$; $Z = -1,90$; $p < 0,05$.

Für Rückschlüsse auf den tatsächlichen Einsatz von CT im Unterricht wurde ebenfalls die Selbsteinschätzung der Lehrkräfte herangezogen. Hier zeigt sich, dass die Gruppe, die das Modul zu CT später in der Fortbildung behandelte, bereits zum Zeitpunkt T0 signifikant häufiger CT im Unterricht zu fördern schien als die Kontrollgruppe: $U = 381,50$; $Z = -2,96$; $p < 0,01$. Im Vorher-Nachher-Vergleich lässt sich sowohl für die Interventions- als auch die Kontrollgruppe keine signifikante Veränderung feststellen [169]. Interessanterweise zeigte sich jedoch für die Treatmentgruppe zum Follow-Up hin ein signifikant gesteigerter Einsatz von mit CT assoziierten Fähigkeiten im Unterricht: $F(2; 76) = 5,25$; $p < 0,01$. Für die Kontrollgruppe ($n = 6$) ist dies nicht zu berichten. Dementsprechend existierte auch bei der Post-Befragung kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, während zum Zeitpunkt T2 die Interventionsgruppe signifikant häufiger CT-Praktiken im Unterricht umsetzte: $U = 108,50$; $Z = -2,50$; $p < 0,05$.

Für CT konnte darüber hinaus beispielsweise für T1 gezeigt werden, dass die allgemeinen ($\rho = 0,37$; $p < 0,01$) und unterrichtsspezifischen Kenntnisse ($\rho = 0,41$; $p < 0,01$) sowie die Einschätzung der Wichtigkeit von CT ($\rho = 0,29$; $p < 0,05$) positiv mit dessen Einsatz im Unterricht korrelierten.

6.3.5 Ergebnisse zu Forschungsfrage 5: Fortbildungsmotivation

Mit FF 5 wird der Frage nachgegangen, aus welcher Motivation heraus Lehrkräfte an Fortbildungen teilnehmen. Dabei wurde das Auftreten der vier von RZEJAK ET AL. [9] beschriebenen Motivationsfacetten in der Stichprobe untersucht. Es zeigt sich, dass die dem Faktor Entwicklungsorientierung zugerechneten Aspekte mit Abstand die höchsten Zustimmungswerte erfuhren. So gaben 89 % der Lehrkräfte an, an Fortbildungen teilzunehmen, weil sie sich für methodisch-didaktische Innovationen interessieren ($M = 4,55$;

$SD = 0,71$). Anleitungen zur Lösung von Problemen im Schulalltag erwarten 77 % ($M = 4,05$; $SD = 0,99$). Auf Rang zwei der Art der Fortbildungsmotivation steht der Faktor „Soziale Interaktion“ ($M = 3,26$; $SD = 1,03$). Die Karriereorientierung ($M = 1,56$; $SD = 0,85$) und insbesondere die externale Erwartungsanpassung ($M = 1,48$; $SD = 0,74$) schienen dagegen eine deutlich geringere Rolle für die Motivation zur Teilnahme zu spielen. Allerdings bestanden statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der externalen Erwartungsanpassung zwischen den Bundesländern: $H(2) = 16,93$; $p < 0,001$. Insbesondere besteht der signifikante Unterschied zwischen bayerischen ($M = 1,63$; $SD = 0,80$) und baden-württembergischen ($M = 1,00$; $SD = 0,00$) Lehrkräften. Bei den bayerischen Teilnehmenden stimmten 24 % dem zumindest teilweise zu, dass sie teilgenommen haben, weil sie dazu verpflichtet sind, während von den baden-württembergischen Kolleginnen und Kollegen niemand diesen Grund nannte. Insgesamt bewegte sich die Zustimmung zur gesamten Skala auf niedrigem Niveau.

Es zeigt sich darüber hinaus eine mittlere negative Korrelation zwischen dem Alter und der Karriereorientierung: $r = -0,32$; $p < 0,01$. Außerdem fällt auf, dass das Interesse der weiblichen Lehrkräfte an methodisch-didaktischen Innovationen im Vergleich zu den männlichen signifikant höher ausfiel. Dabei ist ein mittlerer Effekt zu finden: $U = 858,00$; $Z = -3,37$; $p < 0,001$; $r = 0,33$. Zudem korrelierte das Interesse an methodisch-didaktischen Innovationen positiv mit der Zufriedenheit der Lehrkräfte, zumindest für das Online-Modul zur Wertebildung: $r = 0,43$; $p < 0,01$.

6.3.6 Weitere Ergebnisse

Alle bislang geschilderten Ergebnisse bezogen sich direkt auf die Personen, die an der Fortbildung teilgenommen hatten. Um jedoch auch die vierte Ebene des Evaluationsmodells – und damit die Ebene der Lernenden – in Ansätzen in der Begleitforschung zu berücksichtigen, wurden die Lehrkräfte in der Follow-Up-Befragung um ihre subjektive Einschätzung über das Lernen der Schülerinnen und Schüler gebeten. Da lediglich $n = 15$ Lehrkräfte an dieser Umfrage partizipierten, sind die Ergebnisse nur begrenzt aussagekräftig. Tatsächlich empfanden es 87 % der Lehrkräfte so, dass die Lernenden motiviert bei der Sache waren und auch in ihrem Forschungsdrang bestärkt wurden (siehe Abbildung 49). Dass die Schülerinnen und Schüler eher kein Interesse an den Inhalten zeigten, wurde nur von einer Lehrkraft so wahrgenommen. Zudem stimmten alle Lehrkräfte dem zumindest teilweise zu, dass die Lernenden durch *Experimento* individuelle Erfolgserlebnisse erzielen können, was ein wichtiges Ziel des Bildungsprogramms darstellt [247]. Auch eine solidarische und teamorientierte Zusammenarbeit im Sinne der lernprozessbezogenen Werte ist nach Aussage der Lehrkräfte grundsätzlich möglich. Zudem schienen, nach Einschätzung der Lehrpersonen,

fast alle Schülerinnen und Schüler Freude am Experimentieren mit Experimento | 10+ gehabt zu haben.

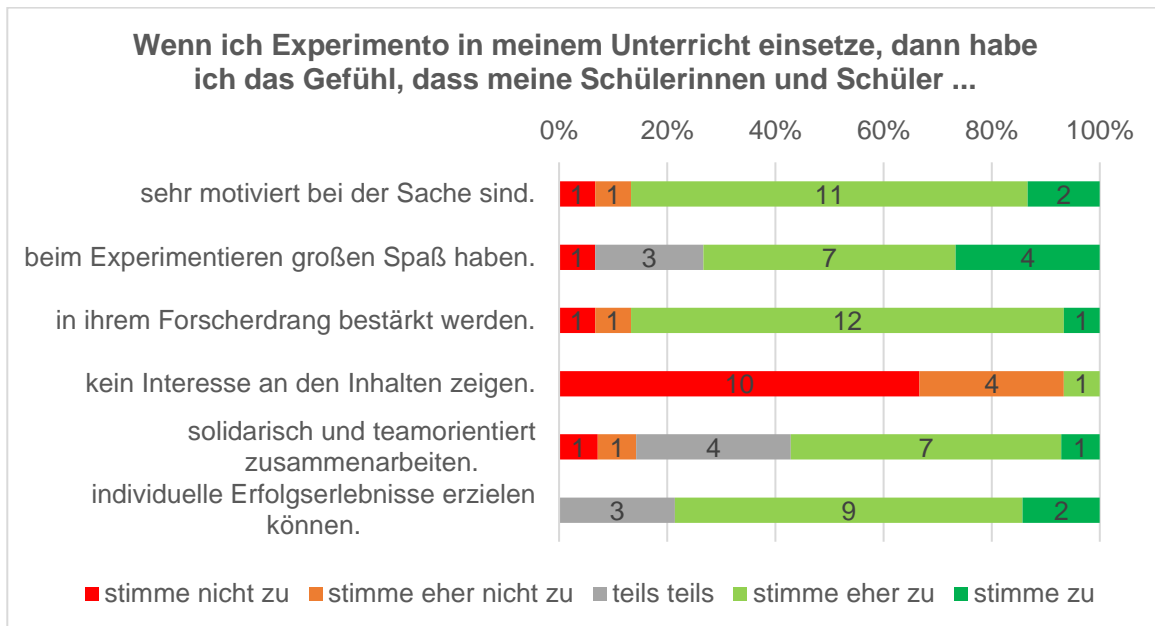


Abbildung 49: Experimento | 10+ auf Ebene der Schülerinnen und Schüler

Ein weiteres Ergebnis bezieht sich auf den allgemeinen subjektiv empfundenen Lernzuwachs infolge der Fortbildung – nun wieder in Bezug auf die Lehrkräfte selbst. Dieser wurde in der Post-Befragung näher betrachtet. In einer Selbsteinschätzung gaben 60 % der Teilnehmenden an, dass sie ihr Fachwissen steigern konnten. Ungefähr drei Viertel (74 %) der Lehrkräfte konnten ihr Methodenwissen erweitern. Alles in Allem fühlten sich die meisten Lehrkräfte (81 %) nach Absolvieren der Fortbildung gut darauf vorbereitet, Experimento | 10+ in ihrem Unterricht einzusetzen.

6.4 Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden werden nun aus den vorgelegten empirischen Daten Schlussfolgerungen hinsichtlich der intendierten Zielerreichung der vorgestellten Lehrkräftefortbildung Experimento | 10+ abgeleitet. Dazu werden die Ergebnisse zusammengefasst und vor dem Hintergrund entsprechender Literatur interpretiert. Schlussendlich sollen so die in Kapitel 6.1 aufgeworfenen Forschungsfragen und Hypothesen beantwortet werden.

6.4.1 Diskussion der Zufriedenheit mit der Fortbildung

Mit FF 1 wurde im Sinne der ersten Ebene des Evaluationsmodells der Frage nach der Zufriedenheit mit der neu konzipierten Experimento | 10+ Fortbildung nachgegangen. Es zeigte sich eine überaus hohe Zufriedenheit mit den Rahmenbedingungen der Fortbildung,

beispielsweise der Atmosphäre, was bereits eine erste Determinante für die Akzeptanz von Lehrkräftefortbildungen darstellt [5]. Mit den Experimenten und den Inhalten der Präsenzphasen waren die Teilnehmenden ebenfalls sehr zufrieden. Dies bezieht auch die oftmals kritisch betrachtete Dimension der Praxisrelevanz mit ein. Die Inhalte der Online-Module wurden von den Teilnehmenden ebenso als überwiegend praxisrelevant wahrgenommen. Damit ist ein zentrales Kriterium positiver evaluierter Fortbildungsangebote erfüllt [4].

In Bezug auf die Präsenzphasen waren sich die Lehrkräfte einig, dass in der Experimento | 10+ Fortbildung der praktischen Erprobung genug Zeit gewidmet wurde. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund bedeutsam, dass im Vorfeld der Neugestaltung einige erfahrene *Experimento*-Multiplikatorinnen und Multiplikatoren Bedenken geäußert hatten, dass durch das Blended Learning dem Experimentieren nicht mehr ausreichend Raum gegeben wird. Die Daten der Befragung zeigen jedoch, dass dies von den Teilnehmenden nicht so empfunden wurde; im Gegenteil: Manche Teilnehmende hätten sich sogar noch etwas mehr Zeit für die Theorie gewünscht. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass durch das Arrangement der Blended Learning-Fortbildung ein gutes Verhältnis zwischen Theorie und Praxis hergestellt werden konnte. Dementsprechend bieten solche Konzepte die Möglichkeit, sowohl theoretische Inhalte zu berücksichtigen als auch die praktische Durchführung von Experimenten zu ermöglichen. Damit besitzt dieses bisher im Rahmen von Fortbildungen für Chemielehrkräfte bisher wenig genutzt Format weiteres Potenzial für die Zukunft.

Um die Lehrkräfte dazu zu motivieren, die digitalen Phasen der Fortbildung erfolgreich in Selbstarbeit zu absolvieren, sollten die Online-Module möglichst ansprechend gestaltet und attraktiv zu bedienen sein. Tatsächlich wurde das von den meisten Lehrkräften auch so empfunden. Genau wie die Evaluierung mit den Lehramtsstudierenden im Vorfeld gezeigt hatte, wurde von den Teilnehmenden der Fortbildung die Usability der neu gestalteten Online-Anwendung ebenfalls positiv bewertet. Auch die technisch erfassten Nutzungsdaten geben keinen Hinweis auf mögliche Probleme. Neben der positiven Wahrnehmung durch die Teilnehmenden ist dies insofern von Bedeutung, als dass eine hohe Usability eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Lernprozesse darstellt [258]. Lediglich zwei Lehrkräfte gaben an, dass ihnen das Bearbeiten der Online-Anwendung überhaupt nicht gefallen hätte. Dies darf zwar nicht vernachlässigt werden, ist aber angesichts der Zahl der Teilnehmenden nicht ausschlaggebend für die Bewertung der Gesamtzufriedenheit. Insgesamt ist die Gestaltung der Online-Anwendung somit als gelungen anzusehen.

Auch die inhaltliche Aufbereitung und Verständlichkeit der Online-Module wurde überaus positiv evaluiert. Darüber hinaus sahen die Teilnehmenden mit überwiegender Mehrheit für alle drei Module zumindest grundsätzlich eine Passung auf die eigenen Bedürfnisse gegeben.

Dies betrifft auch das für viele der naturwissenschaftlichen Lehrkräfte neue Thema Computational Thinking. Damit lässt sich festhalten, dass nicht nur postuliert wird – beispielsweise von WEINTROP ET AL. [165] – der naturwissenschaftliche Unterricht stelle einen sinnvollen Kontext für die Anwendung von CT dar. Vielmehr empfinden die Lehrkräfte das auch selbst so [169]. Dies wird dadurch untermauert, dass die Teilnehmenden mit dem Modul zu CT im Schnitt am zufriedensten waren. Der Lernzuwachs durch die Online-Module insgesamt ist dagegen eher zurückhaltend zu bewerten. Viele Lehrkräfte betonten während der Fortbildung, dass ihnen, abgesehen von CT, Inhalte bereits bekannt waren, aber in der Art und Weise wie sie in Experimento | 10+ gebündelt wurden, als gute „Auffrischung“ dienten.

Einen wichtigen Teil der digitalen Phasen stellen darüber hinaus die Unterrichtsvideos dar. Diese wurden im Mittel auch eher positiv bewertet sowie von einigen Lehrkräften nochmals in den offenen Antwortfeldern lobend hervorgehoben. Teilweise wurden die Clips jedoch entgegen den ursprünglichen Zielen bei der Konzeption der Online-Module als nicht ganz authentisch wahrgenommen und darüber hinaus von manchen Teilnehmenden als relativ lang bemängelt. Insgesamt wurde die Dauer der Online-Phasen von fast der Hälfte der Lehrkräfte als zu lang empfunden. Eng damit verbunden war der geäußerte Wunsch nach weniger Vorbereitungsaufwand im Vorfeld der Fortbildung. Es lässt sich also festhalten, dass die Bearbeitungszeit der Online-Module eher zu umfangreich ist. Zwar zeigen die selbstberichteten Daten, dass sich die Bearbeitungsdauer im Mittel im zeitlichen Rahmen der ursprünglich vorgesehenen Dauer von zwei Stunden bewegte, dennoch scheint sich dies bei den Lehrkräften nicht problemlos in den Berufsalltag integrieren zu lassen. So erwähnt beispielsweise auch KRILLE [42], dass der hohe Workload von Lehrkräften häufig eine Barriere für die Teilnahme an Fortbildungen darstellt. Die Verkürzung der verknüpfenden Aufgabe am Ende der Online-Module stellte einen wichtigen Schritt zur besseren Umsetzbarkeit im Schulalltag dar, da so die Bearbeitungszeit deutlich reduziert werden konnte. Für die zukünftige Konzeption ähnlicher Blended Learning-Fortbildungen sollte besonders auf eine angemessene Bearbeitungsdauer der digitalen Phasen geachtet werden. Die Gesamtdauer der zweitägigen Blended Learning-Fortbildung wurde nämlich wiederum von den meisten Lehrkräften als adäquat eingestuft.

Da eine exakte Kontrolle dessen, ob eine einzelne Person das jeweilige vorgeschaltete Online-Modul auch tatsächlich absolviert hat, weder technisch so einfach umsetzbar noch intendiert war, wurden im Vorfeld von Multiplikatorinnen und Multiplikatoren Befürchtungen geäußert, dass manche Lehrkräfte unter Umständen gar nicht an den digitalen Phasen partizipieren werden. Die vorliegenden Daten zeigen jedoch, dass sich fast alle Lehrkräfte auch tatsächlich mit den Online-Modulen beschäftigt hatten; Ausnahmen liegen im einstelligen Bereich. Allerdings gab es große Unterschiede darin, wie intensiv sich die Teilnehmenden mit den Inhalten der Online-Module auseinandersetzten, sodass für die Präsenzveranstaltungen, wie

ursprünglich durch die vorgeschalteten digitalen Inhalte beabsichtigt [232], nicht zwingend von einem gemeinsam geteilten Vorwissen ausgegangen werden kann. Daher ist bei derartigen Blended Learning-Fortbildungen eine kurze Wiederholung der Inhalte der digitalen Phasen in den Präsenzveranstaltungen einzuplanen.

Generell erfuhr das zugrundeliegende Blended Learning-Konzept eine hohe Akzeptanz. Für die meisten Teilnehmenden erschien es sinnvoll, digitale und analoge Phasen miteinander zu kombinieren. Lieber auf die Online-Module verzichtet hätten nur wenige Lehrkräfte. Reines E-Learning wäre dagegen keine Option gewesen, was den Vorsprung in der Beliebtheit von Blended Learning vor reinem E-Learning weiter unterstreicht [vgl. 41,203]. Gerade vor dem Hintergrund, dass die Fortbildungen in einer Phase stattgefunden haben, in der pandemiebedingt nur wenige Präsenzveranstaltungen angeboten wurden, dürfte das Bedürfnis nach kollegialem Austausch besonders hoch gewesen sein [169]. Dieser Austausch war in Experimento | 10+ gegeben und wurde im Fragebogen von den Lehrkräften auch mehrfach positiv hervorgehoben. Schließlich zeigen DAUS ET AL. [25] und LIPOWSKY & RZEJAK [35] ebenfalls auf, dass die Kommunikation mit den Kolleginnen und Kollegen als wichtiges Element eines attraktiven Fortbildungsangebots angesehen wird.

Ein zentrales Kriterium gelungener Blended Learning-Konzepte im Speziellen stellt die stimmige Verknüpfung von digitalen und analogen Phasen dar [214]. Diese wurde von den Lehrkräften ebenfalls als gut gelungen beschrieben. Einzelnen Personen war noch nicht vollständig klar, wie die Online- und Präsenzphasen miteinander zusammenhängen. Vor diesem Hintergrund sollte in der Fortbildung verstärkt darauf geachtet werden, die Bezüge zwischen den Experimenten und den Online-Modulen, dabei insbesondere Computational Thinking, deutlich herauszuarbeiten. Außerdem können künftig ebenfalls für CT sowie für Inklusion in den Präsenzveranstaltungen noch konkretere Best-Practice-Beispiele zur Anwendung der Inhalte aus den Online-Modulen vorgestellt werden, um die Verknüpfung weiter zu intensivieren.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft den Lehrplanbezug. Da es sich bei *Experimento* um ein deutschlandweites Programm handelt, liegt es zukünftig in der Verantwortung der Multiplikatorinnen und Multiplikatoren, diesen für die Lehrkräfte deutlicher herauszuarbeiten. Auch der Wunsch nach noch mehr „neuen“ Experimenten wurde mehrfach geäußert. Allerdings ist das bloße Ausprobieren neuer Experimente kein zielführender Ansatz, da diese ebenfalls methodisch und didaktisch entsprechend eingebettet werden müssten. Zudem war die Überarbeitung der Experimente kein wesentlicher Teil der vorliegenden Arbeit. Hier zeigt sich also weiteres Entwicklungspotenzial für die Zukunft.

Alles in Allem ist die Zufriedenheit mit der neu gestalteten Fortbildung als groß einzustufen, was sich auch in der sehr hohen Weiterempfehlungsrate niederschlägt. Dies ist für eine neu

ins Leben gerufene Fortbildung mit neuartigem Konzept und Inhalten sicherlich als Erfolg zu werten [169]. Wie von LIPOWSKY & RZEJAK [8,35] dargestellt, lässt sich allerdings aus der breiten Akzeptanz einer Fortbildungsmaßnahme nicht unmittelbar ihr Erfolg auf den anderen Ebenen ableiten. Auch im vorliegenden Fall konnte aus der Zufriedenheit mit den verschiedenen Aspekten der Lehrkräftefortbildung kein Rückschluss auf den tatsächlichen späteren Einsatz von Experimento | 10+ im Unterricht gezogen werden. Dennoch sollte in der Evaluationsforschung die Zufriedenheit nicht vernachlässigt werden. Es kann schließlich davon ausgegangen werden, dass „ein Minimum an Akzeptanz eine notwendige, wenngleich eben keine hinreichende Voraussetzung für einen erfolgreichen Lern- und Transferprozess darstellt“ [5]. Außerdem sollten auch die Wünsche und Erwartungen von Lehrkräften bei der Gestaltung von Fortbildungsveranstaltungen berücksichtigt werden [44]. Im vorliegenden Fall wurde als Erwartung insbesondere die Praxisorientierung vorgebracht. Dies bekräftigt die bestehende Erkenntnis, dass sich die Lehrkräfte konkrete Materialien, schulrelevante Experimente und Inhalte „close to the job“ wünschen [5,25]. Für Experimento | 10+ gab dahingehend eine große Mehrheit der Lehrkräfte an, dass ihre Erwartungen auch entsprechend erfüllt wurden. Somit ist eine hohe Praxisrelevanz zu konstatieren.

6.4.2 Diskussion zum Einsatz der Experimente im Unterricht

Grundlegendes Ziel von *Experimento* ist es, durch den Einsatz von Schülerexperimenten in Form des Forschenden Lernens das Interesse und die Freude der Lernenden an den Naturwissenschaften zu stärken [12]. Daher sollen die Lehrkräfte dazu ermuntert werden, häufiger Schülerexperimente in ihrem Unterricht einzusetzen. Grundsätzlich dürften dabei im Sinne der zweiten Ebene des Evaluationsmodells [39] positive Einstellungen gegenüber Schülerexperimenten bereits eine gute Ausgangslage für den tatsächlichen Einsatz dieser im Unterricht darstellen. Für die vorliegende Stichprobe zeigt sich zumindest ein mäßiger Zusammenhang zwischen den Einstellungen gegenüber Schülerexperimenten und der Häufigkeit des Einsatzes im Unterricht. Über die Richtung des Zusammenhangs wird damit jedoch noch nichts weiter ausgesagt: Es wäre genauso gut möglich, dass die Lehrkräfte erst durch den häufigeren Einbezug von Schülerexperimenten eine positivere Einstellung gegenüber diesen entwickeln.

Tatsächlich verfügten die Lehrkräfte, die an der Experimento | 10+ Fortbildung teilgenommen haben, anfangs bereits über sehr positive Einstellungen gegenüber Schülerexperimenten. Dies wird auch im Vergleich mit einer von BARTH & PFEIFER durchgeführten Erhebung deutlich [273], wobei hier allerdings Hauptschul-Lehrkräfte befragt wurden, während an der Experimento | 10+ Fortbildung überwiegend Gymnasiallehrkräfte teilgenommen haben, die meist über mehr Erfahrungen in diesem Bereich verfügen. Darüber hinaus war der Besuch der

Fortbildung, wie bei Maßnahmen während der dritten Phase der Lehrkräftebildung üblich, nicht verpflichtend, sodass sich – entsprechend der Neigungshypothese [24] – möglicherweise vor allem diejenigen Lehrkräfte zu der Fortbildung angemeldet haben, die Schülerexperimenten gegenüber sowieso schon aufgeschlossen gegenüberstanden.

Dennoch wurden infolge der Fortbildung die persönlichen Einstellungen der Lehrkräfte gegenüber Schülerexperimenten kurzfristig weiter verbessert. Tendenziell zeigt sich auch eine anhaltende Verbesserung, statistisch konnten langfristige Effekte nicht abgesichert werden. Anders sieht es bei der Einschätzung von hinderlichen äußeren Umständen, wie der hohen Klassenstärke oder dem Aufwand zur Vor- und Nachbereitung aus. Diese wurden drei Monate nach der Teilnahme an der Fortbildung als wesentlich weniger bedeutsam wahrgenommen. Damit erschien den Lehrkräften der Einsatz von Schülerexperimenten einfacher als zuvor. Ein ursächlicher Zusammenhang mit *Experimento* ist zwar anzunehmen, kann wegen der fehlenden Kontrollgruppe jedoch nicht unmittelbar abgeleitet werden.

Somit lässt sich die erste, mit dem Einsatz von Schülerexperimenten verbundene, Hypothese zumindest teilweise bejahen: Im Nachgang der Fortbildung zeigten die Lehrkräfte kurzfristig positivere persönliche Einstellungen gegenüber Schülerexperimenten und langfristig eine weniger negative Wahrnehmung hinderlicher äußerer Umstände in Bezug auf Schülerexperimente. Durch *Experimento* konnten den Lehrkräften also die Potenziale hiervon verdeutlicht werden.

Im Sinne der dazugehörigen zweiten Hypothese wurde untersucht, ob die Lehrkräfte nach dem Besuch der Fortbildung häufiger als zuvor Schülerexperimente in ihrem Unterricht einsetzen. In der Tat berichteten die Teilnehmenden im Vorher-Nachher-Vergleich, sowohl häufiger Schülerexperimente als auch Demonstrationsexperimente im Unterricht umgesetzt zu haben. In Hinblick auf die Demonstrationsexperimente handelt es sich sogar um eine dauerhafte Zunahme. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass es nicht das prioritäre Ziel von *Experimento* ist, die Verwendung von Demonstrationsexperimenten zu steigern. Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass sich hierbei nur ein kleiner Effekt der Intervention zeigt. Dennoch lässt sich vermuten, dass der beobachtete Effekt nicht unbedingt ursächlich mit der Fortbildung zusammenhängt, sondern, dass sich im Verlauf der Studie die äußeren Rahmenbedingungen für den Einsatz von Experimenten generell gebessert haben. Bereits aus den von den Lehrkräften angegebenen Gründen, warum sie *Experimento* möglicherweise bisher noch nicht im Unterricht verwendet haben, geht hervor, dass im Befragungszeitraum wegen der COVID-19-Pandemie teilweise sogar Fernunterricht vorgeschrieben war oder der Einsatz von Experimenten pandemiebedingt anderweitig erschwert wurde. So waren die Lehrkräfte beispielsweise aufgrund der Pflicht zum Tragen einer Mund-Nase-Bedeckung zum Teil dazu angehalten, auf Versuche mit Feuer

(Bunsenbrenner, Teelichter) wegen der daraus resultierenden Brandgefahr einer Atemschutzmaske zu verzichten.

Es ist also festzuhalten, dass in Zusammenhang mit dem Besuch der *Experimento* | 10+ Fortbildung eine mindestens kurzfristige Steigerung der Häufigkeit des Einsatzes von Experimenten im Unterricht beobachtet werden konnte. Für die Demonstrationsexperimente scheint sogar eine dauerhafte Steigerung vorzuliegen, allerdings ist die ursächliche Wirkung von *Experimento* kritisch zu betrachten. In unmittelbarem Zusammenhang mit der Fortbildung setzten die Lehrkräfte auch häufiger Schülerexperimente ein. Insgesamt konnten die mit dem Einsatz von Schülerexperimenten verbundenen Gewohnheiten aber nicht nachhaltig beeinflusst werden. Dies gilt auch für die Ausführungsform von Experimenten im Unterricht. Die einzige Veränderung ist der im Vergleich kurzfristig verstärkte Einsatz von Schülerdemonstrationsexperimenten, wobei dies nach wie vor die seltenste Art der Umsetzung darstellte und sich nach drei Monaten wieder dem Ausgangswert angleich. Möglicherweise stellten Schülerdemonstrationsexperimente in einer Zeit, in der – pandemiebedingt – Gruppenarbeiten erschwert waren, eine kurzfristige Möglichkeit zur Aktivierung von Schülerinnen und Schülern dar.

Gemäß den Zielen von *Experimento* | 10+ soll aber nicht nur der Einsatz von Schülerexperimenten an sich gefördert werden, sondern in Verbindung damit insbesondere das Forschende Lernen. Es konnte ein großer Effekt im Wissenszuwachs über das Forschende Lernen bei den Lehrkräften erzielt werden, der auch drei Monate nach Beendigung der Fortbildung noch anhielt. Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass es sich hierbei um die Selbsteinschätzung der Teilnehmenden handelte und die Kenntnisse über das Forschende Lernen nicht mittels eines Tests erfasst wurden. Außerdem beruhten die Aussagen auf lediglich einem Item, was fehleranfälliger ist als die Verwendung einer ganzen Skala [286]. Tatsächlich setzten die Lehrkräfte laut Selbstbericht jedoch kurzfristig auch vermehrt Elemente des Forschenden Lernens in ihrem Unterricht um. Ein langfristiger Effekt war nicht beobachtbar. Damit konnte zwar ein nachhaltiger Wissenszuwachs über das Forschende Lernen generiert werden, dieser schlug sich aber in der unterrichtlichen Praxis nicht im selben Maße nieder. Generell scheint es schwierig zu sein, mit einem einmaligen Fortbildungsbesuch einen nachhaltigen Transfer der Inhalte in den Unterricht sicherzustellen [5]. Die mit der zweiten Forschungsfrage verbundene dritte Hypothese, dass nach Absolvieren der Fortbildung häufiger Elemente des Forschenden Lernens im Unterricht umgesetzt werden, trifft somit nur teilweise zu.

Auch in Hinblick auf die konkreten im Rahmen von *Experimento* zur Verfügung gestellten Experimente fand nur bedingt ein erfolgreicher Transfer in die Unterrichtspraxis statt, obwohl nahezu alle Teilnehmenden angaben, *Experimento* | 10+ künftig in ihrem Unterricht einzusetzen

zu wollen. Soweit die Daten vorliegen, haben tatsächlich 20 der teilnehmenden Lehrkräfte die Versuche aus *Experimento* im Laufe der Zeit in ihren Unterricht integriert. Zwölf Personen taten dies schon zwischen den beiden Präsenzveranstaltungen. Damit nutzten nur wenige Lehrkräfte die Möglichkeit, Experimento | 10+ bereits zwischen den beiden Präsenztagen einzusetzen, wie es in der Fortbildungskonzeption vorgesehen war. Allerdings muss auch hier berücksichtigt werden, dass zeitweise die Umsetzung von Schülerexperimenten im Unterricht – pandemiebedingt – gar nicht oder nur eingeschränkt möglich war. Jedoch zeigte sich, dass auch im zweiten Fortbildungszyklus kaum Lehrkräfte Experimentiermaterial für den zwischenzeitlichen Einsatz im Unterricht entliehen haben, obwohl hier die Durchführung von Schülerexperimenten einfacher möglich gewesen wäre. Damit muss festgehalten werden, dass diese gebotene Möglichkeit von den Teilnehmenden nicht in gewünschtem Maße wahrgenommen wurde. Sicherlich ist es beispielsweise aufgrund von Lehrplanvorgaben nicht für jede Lehrkraft möglich, *Experimento* unmittelbar in den Unterricht einfließen zu lassen, dennoch blieb die Nutzung des Experimentiermaterials zwischen den beiden Präsenztagen hinter den Erwartungen zurück, sodass die gewünschte Verknüpfung von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen nicht in zufriedenstellendem Maße erfüllt wird [8].

Die Lehrkräfte, die Experimento | 10+ gar nicht im Unterricht eingesetzt haben, also auch nicht drei Monate nach Ende der Fortbildung, begründeten dies hauptsächlich mit der falschen Jahrgangsstufe. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass die Lehrkräfte, die *Experimento* bereits umgesetzt haben, dies in allen Jahrgangsstufen, abgesehen von der sechsten und siebten Klasse, taten. Am häufigsten wurde Experimento | 10+ in der Mittelstufe eingesetzt. Generell waren Experimente zum Themengebiet „Gesundheit“ am beliebtesten. Bei einer Analyse von Experimento | 8+ zeigte sich dagegen, dass in Deutschland das am häufigsten genutzte Themengebiet das zu „Energie“ war [287]. Damit ist in dieser Hinsicht ein Unterschied zwischen Grundschulen und weiteführenden Schulen festzumachen. Insgesamt implementierte nur ein Teil der Lehrkräfte bis ungefähr drei Monate nach Ende der Fortbildung die erhaltenen Materialien in die Unterrichtspraxis. Blickt man auf die geäußerten Absichten der Teilnehmenden, werden künftig sicherlich noch einige weitere Lehrkräfte *Experimento* im Unterricht einsetzen. Frühere Befragungen der Siemens Stiftung zeigten allerdings, dass die meisten Lehrkräfte, wenn sie Experimento | 10+ im Unterricht eingesetzt haben, dies innerhalb der ersten drei Monate nach dem Fortbildungsbesuch vollzogen. Entsprechend wurde im vorliegenden Fall auch der Befragungszeitraum gewählt. Damit gibt es hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses der Fortbildung noch Steigerungspotenzial. Allerdings muss auch der entsprechende Unterrichtsalltag der Lehrkräfte bedacht werden. Möglicherweise führt die gegen Ende der Erprobung neu geschaffene Möglichkeit, Experimentiermaterial bedarfsgerecht zu bestellen, anstatt einen vorgefertigten Experimentierkasten zu erhalten, künftig zu einem vermehrten Einsatz von Experimento | 10+ im Unterricht. Das ist aber noch

näher zu untersuchen, da diesbezüglich aus den vorliegenden Daten bislang keine aussagekräftigen Rückschlüsse abgeleitet werden konnten.

Ganz allgemein muss festgehalten werden, dass sich die Rahmenbedingungen zwischen den einzelnen durchgeführten Fortbildungsveranstaltungen stark unterschieden. So waren im Sommer 2021 zum Teil nahezu alle pandemiebedingten Einschränkungen aufgehoben, während zum Zeitpunkt der ersten Erprobungen im Winter 2020 und Frühjahr 2021 noch strikte Bestimmungen, bis hin zu Schulschließungen herrschten. Daher sind die vorgestellten Ergebnisse unter besonderen Umständen entstanden und möglicherweise weniger vergleichbar als ähnliche Daten, die vor Beginn der Pandemie erhoben worden sind.

In Bezugnahme auf die Forschungshypothesen lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Die Lehrkräfte entwickelten über den Befragungszeitraum hinweg positivere Einstellungen zu den Umständen des Einsatzes von Schülerexperimenten.
- Die Teilnehmenden setzten kurzfristig vermehrt Schülerexperimente sowie Elemente des Forschenden Lernens in ihrem Unterricht ein.
- Manche Lehrkräfte transferierten die erhaltenen Materialien in ihren Unterrichtsalltag.
- Alle diesbezüglichen Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie als vorläufig betrachtet werden.

6.4.3 Diskussion zur Förderung digitaler Medienkompetenzen

Angesichts der vorgebrachten Forderungen zur Steigerung digitaler Medienkompetenzen von Lehrkräften sollen auch in Experimento | 10+ digitale Kompetenzen adressiert werden. Dies geschieht vor allem durch das Blended Learning-Format, die digitalisierungsbezogenen Inhalte der Online-Module und die vertiefte Nutzung des Medienportals.

Zunächst einmal ist davon auszugehen, dass die Einstellungen und die medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung einer Lehrkraft den Einsatz digitaler Medien im Unterricht maßgeblich beeinflussen [204]. Besonders der Zusammenhang des Selbstwirksamkeitsempfindens mit der Mediennutzung konnte vielfach nachgewiesen werden [vgl. 288]. Auch in der hier betrachteten Befragung korrelierte die medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung mit der Häufigkeit des digitalen Medieneinsatzes im Unterricht.

Im Zuge von *Experimento* sollte die medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte daher gestärkt werden. Tatsächlich zeigte sich ein tendenzieller Zuwachs der medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung über den Befragungszeitraum hinweg. Dieser konnte jedoch statistisch nicht belegt werden. Geht man allerdings davon aus, dass der Besuch der Experimento | 10+ Fortbildung einen schwachen Effekt ($d = 0,20$) auf die

medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung der Teilnehmenden ausübt, zeigt eine Teststärkenanalyse in G*Power [289] mit den üblicherweise verwendeten Parametern ($\alpha = 0,05$; $1 - \beta = 0,80$) [265], dass erst ab einer Stichprobengröße von 156 Personen statistisch signifikante Effekte zu erwarten wären. Tatsächlich lagen aber nur 82 zusammengehörige Paarungen für Prä- und Post-Befragung vor. Daher ist nicht auszuschließen, dass bei vergrößertem Stichprobenumfang doch noch aussagekräftige Ergebnisse für den erwarteten Effekt statistisch abgesichert werden können. Weil Experimento | 10+ als deutschlandweites Programm künftig durch die Multiplikatorinnen und Multiplikatoren fortgeführt wird, ist es möglich, eine entsprechende Datenbasis zu generieren.

Was sich allerdings in Zusammenhang mit der medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung festhalten lässt, ist, dass diese bei den männlichen Teilnehmenden deutlich höher war als bei den weiblichen. Dies steht in Einklang mit Befunden anderer Studien [z. B. 275,290]. Die Hypothese, dass die Fortbildung zu einer Steigerung der medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung bei den Teilnehmenden beiträgt, muss dennoch vorläufig abgelehnt werden.

Daneben wurden die Einstellungen zu digitalen Medien im Unterricht im Allgemeinen und im naturwissenschaftlichen Unterricht im Speziellen betrachtet [242]. In beiden Fällen schien die Fortbildung einen mittleren Effekt auszuüben. Tatsächlich glichen sich im Laufe des Befragungszeitraums die Einstellungen zu digitalen Medien im Allgemeinen wieder dem Ausgangsniveau an. Für die Einstellungen zu digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht ist ebenfalls ein kurzfristiger Anstieg zu beobachten, der tendenziell auch aufrechterhalten wird. Damit ist festzuhalten, dass es im Befragungszeitraum tatsächlich zu positiveren Einstellungen gegenüber digitalen Medien gekommen ist. Ob dieser Zuwachs ursächlich mit Experimento | 10+ zusammenhängt, ist nicht feststellbar. Da es sich jedoch um eine eher kurzzeitige Steigerung in unmittelbarem zeitlichem Zusammenhang mit der Teilnahme an der Blended Learning-Fortbildung handelt, ist davon auszugehen.

Für die Medienkompetenzen nach DigCompEdu [226] gilt Ähnliches: Die Fortbildung konnte mit einem mittleren Effekt kurzzeitig zu einer Steigerung der digitalen Kompetenzen der teilnehmenden Lehrkräfte beitragen. Dieser Zuwachs wurde in der Tendenz auch beibehalten. Damit lässt sich grundsätzlich festhalten, dass es die Fortbildung vermag, durch ihre Konzeption und ihre Inhalte einen Beitrag zur geforderten Steigerung der digitalen Medienkompetenzen von Lehrkräften zu leisten. Dies zeigt sich insbesondere bei den spezifischen Medienkompetenzen, die durch Experimento | 10+ explizit gefördert werden sollen, wie zum Beispiel der Umgang mit OER oder digitalen Medien im chemischen Experiment. Hier war ein höchst signifikanter Zuwachs zu beobachten, der dauerhaft erhalten blieb. Entsprechend berichteten die Lehrkräfte, dass sie ihr Wissen über OER und damit über

medienrechtliche Aspekte nachhaltig steigern konnten. Dies steht auch in Einklang mit dem Anliegen der KMK, Lehrkräfte auf die Potenziale der Verwendung von OER aufmerksam zu machen [3].

Neben dem Zusammenhang mit der medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung zeigte sich im vorliegenden Fall erwartungsgemäß auch eine Korrelation der digitalen Kompetenzen mit dem tatsächlichen Medieneinsatz im Unterricht. In der Tat scheint es sich bei den Lehrkräften, die an der Experimento | 10+ Fortbildung teilgenommen haben, um vergleichsweise medienaffine Personen zu handeln, da über die Hälfte der Teilnehmenden angab, jeden Tag digitale Medien im Unterricht einzusetzen. In der ICILS von 2018 waren es hingegen nur 23 % [162]. Es lässt sich vermuten, dass dieser Anstieg auch mit den durch die COVID-19-Pandemie hervorgerufenen Veränderungen zusammenhängen könnte, da hierdurch die Auseinandersetzung mit digitalen Medien an Schulen gleichsam erzwungen worden ist [291].

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Aus den vorliegenden Daten kann ein Beitrag zur Steigerung der medienbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung durch den Besuch der Experimento | 10+ Fortbildung bislang nicht abgeleitet werden.
- In Zusammenhang mit der Fortbildung kommt es zu einer mindestens kurzzeitig verbesserten Einstellung gegenüber digitalen Medien im Unterricht im Allgemeinen und auch im naturwissenschaftlichen Unterricht.
- In engem zeitlichem Zusammenhang mit dem Absolvieren der Fortbildung ist eine zum Teil dauerhafte Steigerung definierter Medienkompetenzen festzustellen, wozu demgemäß Experimento | 10+ einen Beitrag geleistet haben dürfte.

6.4.4 Diskussion zur Wirkung der Online-Module

Zunächst einmal ist es erwähnenswert, dass sich das Thema CT unter den angebotenen Themen – vermutlich gerade aufgrund seines hohen Neuigkeitswertes – der größten Beliebtheit bei den teilnehmenden Lehrkräften erfreute. Hinsichtlich der konkreten Wirkungen der Inhalte der Online-Module wurde zunächst betrachtet, inwiefern sich diese auf die Einstellungen der Lehrkräfte auswirken. Beim Thema Wertebildung wiesen die Teilnehmenden bereits zu Anfang eine sehr positive Wahrnehmung auf. Diese konnte auch durch das Absolvieren der Fortbildung nicht mehr weiter gesteigert werden. Aus den Äußerungen der Lehrkräfte, die in den Fortbildungsveranstaltungen getätigt wurden, lässt sich sinngemäß der Tenor ableiten, dass die meisten Teilnehmenden der Meinung waren, die geforderten Inhalte „sowieso schon“ in ihrem Unterricht einzusetzen, jedoch die nochmals explizite

Bewusstmachung als gut und hilfreich empfanden. Bei der Kontrollgruppe kam es allerdings drei Monate nach der Fortbildung zu einem Abfall der Einschätzung der Wichtigkeit von Wertebildung. Möglicherweise wurden alle Lehrkräfte, auch die der Kontrollgruppe, durch die bestehende Wahlmöglichkeit bei den Online-Modulen auf das Thema Wertebildung aufmerksam und empfanden es in der Folge als wichtig. Bei der Kontrollgruppe ist die Wertebildung dann allerdings wieder aus dem Fokus gerückt.

Bei Inklusion dagegen wurde die Einschätzung der Wichtigkeit des Themas durch die Lehrkräfte tatsächlich kurzfristig positiv beeinflusst. Da dies jedoch nicht nur für die Interventions-, sondern auch die Kontrollgruppe galt, ist kein Zusammenhang mit der Fortbildung ableitbar. Möglicherweise spielt hier der Testübungseffekt [265] eine Rolle, da die Lehrkräfte allein durch das Ausfüllen der Fragebögen immer wieder mit dem entsprechenden Thema konfrontiert waren und ihnen dieses dadurch ins Gedächtnis gerufen wurde.

Die wahrgenommene Relevanz der Inhalte der Lehrkräftefortbildung ist insofern von großer Bedeutung, als dass es Hinweise darauf gibt, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Einschätzung der Wichtigkeit, dem Wissenszuwachs und dem veränderten Handeln im Unterricht besteht [vgl. 8]. Für die vorliegende Befragung konnte in Übereinstimmung mit diesen Erkenntnissen gezeigt werden, dass beispielsweise die Einstellungen gegenüber Inklusion sowie die Kenntnisse der Lehrkräfte über eben jenes Thema mit dem selbstberichteten tatsächlichen Einsatz von inklusiven Elementen im Unterricht zusammenhängen. Dasselbe gilt für CT: Auch hier bestand ein Zusammenhang zwischen der Einschätzung der Wichtigkeit von CT durch die Lehrkräfte sowie den selbstberichteten Kenntnissen über CT mit der Häufigkeit der Förderung dieser Kompetenz im Unterricht.

Obwohl oftmals betont wird, dass es sich bei CT um eine Schlüsselkompetenz des 21. Jahrhunderts handelt [134,135], zeigt sich immer wieder, dass viele Lehrkräfte unsicher sind, was CT überhaupt ist und wie es in ihrem (naturwissenschaftlichen) Unterricht gefördert werden kann [157]. Das war auch in der vorliegenden Befragung der Fall, da der Terminus vielen Lehrkräften (72 %) zu Beginn noch gänzlich unbekannt war. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als dass CT in Deutschland noch nicht fest in den Curricula verankert ist und selbst wenn Teilkompetenzen von CT im Unterricht vermittelt werden sollen, diese nicht explizit als solche benannt sind [159]. Allein der geringe Bekanntheitsgrad von CT zeigt, dass das Thema in der Lehrkräftebildung in Deutschland auch von schulpolitischer Seite her noch deutlich stärker fokussiert werden muss [169]. Aber auch von Personen, denen CT bereits ein Begriff war, wurde das Thema anschließend an den Besuch der Fortbildung kurzzeitig sogar nochmals als wichtiger eingeschätzt als zuvor, was ein auf die Förderung von CT ausgerichtetes Handeln in der Lehrkräftebildung erfolgsversprechend erscheinen lässt.

Damit ist im Sinne der ersten zur Forschungsfrage 4 gehörigen Forschungshypothese festzuhalten, dass die Lehrkräfte tatsächlich allen drei Themen eine große Bedeutung zuschrieben – dies allerdings bereits vor der Fortbildung. Durch das Absolvieren von Experimento | 10+ konnte die Einschätzung der Wichtigkeit, wenn überhaupt, nur kurzfristig beeinflusst werden. Für das Modul zur Wertebildung gibt es allerdings einen Hinweis darauf, dass der Fortbildungsbesuch zu einem längerfristigen Bewusstsein über das Thema geführt hat.

Das *Interesse* an den angebotenen fakultativen Inhalten war ebenfalls hoch. Weil es sich nicht um eine randomisierte Studie handelte, sondern die Lehrkräfte sich selbst je nach Interesse für die Fortbildung anmelden konnten [169], ist dies nicht verwunderlich. Bei der Wertebildung zeigte sich, dass die Interventionsgruppe nach Besuch der Fortbildung sogar ein dauerhaft größeres Interesse aufwies als die Kontrollgruppe. Auch beim Thema Inklusion berichtete die Treatmentgruppe im Vergleich mit der Kontrollgruppe kurzzeitig ein höheres Interesse. Bei CT dagegen steigerte es sich nicht weiter. Insgesamt konnte also das Interesse an den jeweiligen Themen trotz Vermittlung neuer Kenntnisse, und damit Befriedigung der ersten Neugier in dem Bereich, aufrechterhalten [169] oder sogar gesteigert werden.

Neben der Einschätzung der Wichtigkeit und des Interesses wurde untersucht, inwiefern die Lehrkräfte entsprechende Kenntnisse über die Themen allgemein und deren Umsetzung im Unterricht besitzen. Für Wertebildung ist festzuhalten, dass die allgemeinen Kenntnisse nach der Fortbildung durch die Interventionsgruppe dauerhaft höher eingeschätzt wurden als durch die Kontrollgruppe. Aufgrund des möglichen Vergleichs mit der Kontrollgruppe sind die Veränderungen mit hoher Sicherheit auf die Lehrkräftefortbildung zurückzuführen. Damit kann an dieser Stelle von einem deutlichen Erfolg der Fortbildung gesprochen werden. Mit Experimento | 10+ wird also nicht nur dem Mangel an Fortbildungsangeboten zum Thema Wertebildung begegnet [86], sondern auch tatsächlich ein Beitrag zur Steigerung der Kenntnisse über dieses Thema geleistet. Bezüglich des Wissens über die Umsetzung von Wertebildung im Unterricht berichtete zwar auch die Kontrollgruppe einen Zuwachs, allerdings war dieses durchgängig niedriger als in der Treatmentgruppe. Beim Thema Inklusion nahmen die Kenntnisse zum Umgang mit Heterogenität und über den Einsatz von inklusivem und sprachsensiblen Material während des Befragungszeitraums ebenfalls deutlich zu. Da jedoch auch für die Kontrollgruppe ein Wissenszuwachs festgestellt wurde, und damit teilweise kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand, kann hier kein eindeutiger Effekt des Programms abgeleitet werden. Die Zunahme der Kenntnisse in der Kontrollgruppe sind unter Umständen mitunter darauf zurückzuführen, dass manche Lehrkräfte das Inklusions-Modul in Selbstarbeit bearbeitet hatten, obwohl es für die jeweilige Veranstaltung nicht verpflichtend war.

Beim Thema CT waren die Kenntnisse der Lehrkräfte zunächst gering, wobei männliche Lehrer im Schnitt über ein höheres Wissen verfügten als Lehrerinnen. Diese Unterschiede konnten allerdings im Laufe der Intervention nivelliert werden. Für CT ist darüber hinaus festzustellen, dass die Lehrkräfte der Interventionsgruppe durch das Absolvieren des Online-Moduls und der anschließenden Vertiefung in der Präsenzphase einen deutlichen Wissenszuwachs erlangten. Damit weist die Interventionsgruppe einen konsistenten Wissensvorsprung vor der Vergleichsgruppe auf, der mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Besuch der Fortbildung zurückzuführen ist. Auch hier ist auf Ebene 2 des Evaluationsmodells [35] deshalb vom Fortbildungserfolg zu sprechen. Bezüglich der Kenntnisse zur Umsetzung von CT bestanden bereits im Vorfeld von Experimento | 10+ Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Diese blieben jedoch über den gesamten Befragungszeitraum bestehen bzw. vertieften sich eher noch weiter [169]. Somit scheint das Vertrauen der Treatmentgruppe, CT bei den Schülerinnen und Schülern fördern zu können, nachhaltig angestiegen zu sein.

Beim Modul zu CT wurden die Lehrkräfte darüber hinaus noch zu ihren selbst wahrgenommenen Kompetenzen in diesem Bereich befragt. Dabei zeigte sich, dass es bei beiden Gruppen zu einem Kompetenzanstieg kam. Dieser war nur für die Interventionsgruppe nachhaltig. Der beobachtete Anstieg der Kompetenzen der Kontrollgruppe ist möglicherweise auch hier darauf zurückzuführen, dass einige Lehrkräfte das Modul CT zusätzlich in Selbstarbeit absolviert haben, obwohl es in der Fortbildung selbst nicht Thema war. Dennoch lässt sich festhalten, dass das Bearbeiten des Online-Moduls zu CT in Verbindung mit der vertiefenden Anwendung in der Präsenzphase einen wesentlichen Unterschied in den Kompetenzen ausmachte, da nur dafür dauerhafte Effekte festzustellen waren [169]. Einschränkend muss jedoch hinzugefügt werden, dass es sich hierbei lediglich um die Selbsteinschätzung der Lehrkräfte handelte. Ein Kompetenztest zu CT wurde nicht verwendet, obwohl Beispiele hierfür durchaus existieren [292,293]. Allerdings erfüllen diese nicht die im vorliegenden Fall gewählte Schwerpunktlegung auf das Zusammenspiel zwischen CT und dem naturwissenschaftlichen Kontext. Darüber hinaus sollte die Motivation der Lehrkräfte nicht durch wiederholtes Testen unterminiert werden [169]. Gemäß des Selbstberichts der Lehrkräfte konnten also durch die Fortbildung bestimmte Kompetenzen, entsprechend der Forderungen der KMK [3], im Bereich CT langfristig gesteigert werden.

Schlussendlich ist es das ausschlaggebende Ziel der neu gestalteten Online-Module, dass die Lehrkräfte nach Absolvieren dieser (inklusive der Vertiefung in der Präsenzfortbildung), die Inhalte auch entsprechend in ihrem Unterricht umsetzen. Zwar ist im Bereich Wertebildung ein dauerhafter Anstieg der Implementation in den Unterricht festzustellen, allerdings ist dieser nicht so wesentlich, dass ein entscheidender Vorteil gegenüber der Kontrollgruppe erzielt werden konnte. Auch beim Thema Inklusion zeigte sich erneut, dass es schwierig ist, durch einen Fortbildungsbesuch auch tatsächlich Veränderungen im Handeln der Lehrkräfte

hervorzurufen [5], da beide, die Interventions- und die Kontrollgruppe, durchgängig ähnlich häufig inklusive Elemente in ihrem naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt haben. Beim Thema CT sieht es zunächst ebenfalls so aus, als hätte die Fortbildung wenig Einfluss auf den tatsächlichen Einsatz derartiger Ansätze im Unterricht, weil die Lehrkräfte in der Post-Befragung keine vermehrte Umsetzung von CT berichteten. Allerdings wurde das Modul zu CT in den Fortbildungen stets als zweites Thema vertieft behandelt. Die Befragung fand unmittelbar am Ende des zweiten Fortbildungstages statt. So hätten die Lehrkräfte zwar prinzipiell in der Zwischenzeit der ersten und der zweiten Präsenzveranstaltung bereits genügend Zeit und Gelegenheiten gehabt, CT in den Unterricht zu implementieren, dies ist aber anscheinend nicht passiert [169]. Erst nach drei Monaten zeigte sich dann, dass die Interventionsgruppe berichtete, im Vergleich vermehrt CT in ihren Unterricht zu integrieren. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das Absolvieren des Online-Moduls allein keinen Einfluss auf das unterrichtliche Handeln der Lehrkräfte nimmt. Erst in Kombination mit der Anwendung und Vertiefung in den Präsenzphasen scheinen sich dessen Wirkungen zu entfalten [169]. Durch die Fortbildung wird also ein Beitrag dazu geleistet, dass Lehrkräfte CT bei ihren Schülerinnen und Schülern verstärkt fördern. Dies ist gerade vor dem Hintergrund entscheidend, dass Lernende in Deutschland bei der ICILS 2018 im Kompetenzbereich CT unterdurchschnittliche Ergebnisse erzielten [162] und darüber hinaus vielen Lehrkräften der in der Bildungsdiskussion verhältnismäßig neue Begriff noch gänzlich unbekannt ist. Dementsprechend ist nicht nur die Lehrkräfteausbildung gefordert, sondern es werden vor allem wirksame Fortbildungen im Bereich CT benötigt, wozu die vorgestellte Experimento | 10+ Lehrkräftefortbildung folglich gezählt werden darf.

Für alle Ergebnisse, die die dritte Ebene des Evaluationsmodells betreffen, ist jedoch festzuhalten, dass diese Erkenntnisse ebenfalls auf dem Selbstbericht der Lehrkräfte beruhen.

Auch hier lässt sich mit Bezug auf die Forschungshypothesen wieder eine kurze Zusammenfassung darstellen:

- Die Lehrkräfte schreiben den jeweiligen Themen tatsächlich eine hohe Bedeutung zu. Diese Zuschreibung bestand bereits vor Absolvieren der Fortbildung und konnte durch diese aufrechterhalten bzw. teilweise auch gesteigert werden.
- Das Handlungswissen zur Integration der Inhalte aus den Online-Modulen in den Unterricht konnte durch die Teilnahme an Experimento | 10+ vor allem für die Aspekte Wertebildung und CT gesteigert werden. Für das Modul zu Inklusion & SFU ist dies etwas zurückhaltender zu beurteilen.
- Es zeigte sich auch im vorliegenden Fall, dass es schwierig ist, durch eine einmalige Lehrkräftefortbildung tatsächlich Veränderungen im unterrichtlichen Handeln der

Teilnehmenden hervorzurufen. Zumindest für Kompetenzen aus dem Bereich CT scheint dies gemäß Selbstbericht der Lehrkräfte dennoch gelungen zu sein.

6.4.5 Diskussion zur Fortbildungsmotivation

Bei der Fortbildungswahlmotivation [9] lässt sich feststellen, dass in der vorliegenden Stichprobe der Faktor Entwicklungsorientierung und dabei insbesondere der Wunsch nach methodisch-didaktischen Innovationen die höchste Zustimmung erfuhr. Demnach waren die Lehrkräfte eher intrinsisch zur Teilnahme an der Fortbildung motiviert. Dies ließ sich bereits aus den gegebenen äußeren Umständen vermuten, da sich während der COVID-19-Pandemie mit ihren Erschwernissen im Bildungssystem sicherlich hauptsächlich besonders engagierte Lehrkräfte für Präsenzfortbildungen angemeldet haben. Die extrinsisch motivierte Facette der Karriereorientierung scheint demgemäß bei den meisten Lehrkräften keinen ausschlaggebenden Grund für die Teilnahme an einer Fortbildung darzustellen. Dabei war die Karriereorientierung umso geringer ausgeprägt, je älter die betreffende Person war. Die externale Erwartungsanpassung, welche ebenfalls extrinsisch motiviert ist [9], spielte die am wenigsten entscheidende Rolle bei der Fortbildungsmotivation. Ähnliche Befunde konnten auch bei anderen Lehrkräftefortbildungen festgestellt werden [28]. Bei allen Angaben die Fortbildungsmotivation betreffend sollte allerdings der Einfluss der sozialen Erwünschtheit bedacht werden [265]. Jedoch zeigt sich hier der Fakt, dass für baden-württembergische Lehrkräfte die externale Erwartungsanpassung als Art der Fortbildungsmotivation überhaupt keine Rolle spielte, während bayerische Lehrkräfte dem zwar auch nicht in hohem Maße, aber doch häufiger eher zustimmten. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als dass in Bayern die Fortbildungsverpflichtung – im Gegensatz zu Baden-Württemberg – nicht nur dienstrechtlich existiert, sondern auch quantifiziert wird [22]. Tatsächlich scheinen rechtliche Vorgaben nur einen bedingten Einfluss auf das Fortbildungsverhalten der Lehrkräfte zu haben [10]. Dies wird durch die vorliegenden Daten untermauert, weil die Verpflichtung zur Fortbildung nur für die wenigsten bayerischen Lehrkräfte einen ausschlaggebenden Grund für die Teilnahme darstellte.

Obwohl von RZEJAK ET AL. [9] bereits dargelegt werden konnte, dass aus der Art der Motivation zur Teilnahme an einer Fortbildung eine Vorhersage ableitbar ist, wie relevant die Fortbildungsinhalte von den Lehrkräften bewertet werden und wie groß in Folge der selbstberichtete Lernerfolg ist [1], war es im vorliegenden Fall nicht möglich, aus der Teilnahmemotivation beispielsweise einen Zusammenhang mit dem späteren Einsatz von Experimento | 10+ im Unterricht abzuleiten.

6.5 Zusammenfassende Diskussion und Limitationen der Ergebnisse

Es stellt sich nun die Frage, inwiefern die neu konzipierte Experimento | 10+ Fortbildung als erfolgreiche Lehrkräftefortbildung eingeordnet werden kann. Für die erste Ebene des Evaluationsmodells [8,39] lässt sich festhalten, dass die Zufriedenheit mit der Fortbildung insgesamt, insbesondere mit den Präsenzteilen aber auch mit den Online-Modulen hoch war. Der Umfang von digitalen Phasen einer Blended Learning-Lehrkräftefortbildung sollte den bisher angesetzten zeitlichen Rahmen nicht weiter überschreiten. Insgesamt war aber auch die Akzeptanz des neuartigen Blended Learning-Formats hoch.

Die zweite Ebene betrifft die Einstellungen und Kenntnisse der Lehrkräfte. Im Hinblick auf die Einstellungen waren einige Veränderungen messbar. So konnte die Fortbildung beispielsweise zum Teil zur Verbesserung der Einstellungen zu Schülerexperimenten beitragen, aber auch die Einstellungen gegenüber digitalen Medien kurzzeitig beeinflussen. Die Bedeutsamkeit der Inhalte der Online-Module wurde bereits zuvor als hoch eingeschätzt und konnte durch die Fortbildung mindestens aufrechterhalten werden. Das Interesse an den angebotenen Themen war ebenfalls groß – auch und besonders für den neuartigen Inhalt Computational Thinking. Darüber hinaus haben die teilnehmenden Lehrkräfte ihre Kenntnisse in mehreren Bereichen ausgebaut: Das Wissen über das Forschende Lernen konnte langfristig erhöht werden und besonders Kenntnisse über Wertebildung und CT waren nach Absolvieren der Fortbildung im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich höher. Damit leistet Experimento | 10+ einen Beitrag dazu, die Lehrkräfte in die ihnen zuvor weitestgehend unbekannte Kompetenz des CT einzuführen und ein entsprechendes Bewusstsein hierfür zu schaffen. Außerdem konnte durch die Fortbildung ein teilweise sogar langfristiger Beitrag zur Steigerung der digitalen Medienkompetenzen der Lehrkräfte erreicht werden.

Auf der dritten Ebene ist festzustellen, dass die Fortbildung, gemäß Selbstbericht der Lehrkräfte, einen kurzzeitigen Einfluss auf die Häufigkeit und Ausführungsform von Experimenten im Unterricht ausübte, ein langfristiger Effekt bleibt jedoch fraglich. Auch das Forschende Lernen konnte kurzzeitig intensiviert werden. Insgesamt ist der Umfang des Einsatzes von Versuchen aus *Experimento* zwischen den Präsenzphasen und nach Ende der Fortbildung noch ausbaufähig. Es ist aber immerhin festzustellen, dass die Lehrkräfte Fähigkeiten aus dem Bereich CT scheinbar langfristig vermehrt im naturwissenschaftlichen Unterricht fördern.

Nach Wahrnehmung der Lehrkräfte wirkt sich Experimento | 10+ darüber hinaus positiv auf die Schülerinnen und Schüler (vierte Ebene) aus.

Insgesamt ist festzuhalten, dass, wie in der Literatur [z. B. 5,294] beschrieben, die Sicherstellung nachhaltiger Wirkungen von Lehrkräftefortbildungen nicht einfach zu realisieren ist. Hinzu kommt, dass in der im Rahmen der vorliegenden Arbeit beschriebenen Fortbildung nicht

alle Merkmale wirksamer Lehrkräftefortbildungen [1,8,35] umfassend berücksichtigt werden konnten, was den Transfer der Inhalte in die Unterrichtspraxis weiter erschwert. Auch wenn sich Experimento | 10+ beispielsweise immerhin über einen längeren Zeitraum erstreckt als die meisten Fortbildungsangebote, handelt es sich dennoch um eine einmalige Veranstaltung. Größere Wirkungen lassen sich von Fortbildungsmaßnahmen erhoffen, die sich über einen gewissen Zeitraum erstrecken und somit eher nachhaltig Einfluss auf das Handeln der Lehrkräfte nehmen können [37]. Dennoch war es von Interesse, die langfristigen Auswirkungen der Fortbildungsmaßnahme durch eine Follow-Up-Erhebung zu untersuchen [169], da diese Perspektive bei der Evaluation derartiger Interventionsmaßnahmen mitunter fehlt [157,295].

Außerdem konnten Erkenntnisse über die Fortbildungsmotivation der Teilnehmenden gewonnen werden. Die ausschlaggebende Motivation für die Teilnahme an Experimento | 10+ war die Entwicklungsorientierung der Lehrkräfte. Die externale Erwartungsanpassung spielte kaum eine Rolle, war aber im Vergleich in Bayern noch am deutlichsten ausgeprägt, was sich durch die Quantifizierung [22] der zu erbringenden Fortbildungsleistungen erklären lässt.

Die umgekehrte Frage, nämlich, was Lehrkräfte daran hindert, an Fortbildungen teilzunehmen, ist bisher nur wenig untersucht [43]. Daher wäre dieser Aspekt auch in Zusammenhang mit Experimento | 10+ von Interesse gewesen, um weitere Rückschlüsse auf die Gestaltung eines attraktiven Fortbildungsangebotes ziehen zu können. Jedoch ist es nicht sinnvoll, diejenigen Lehrkräfte, die sich ja eben für die Teilnahme an der konkreten Fortbildung entschieden hatten, in Bezug auf Motive zur Nicht-Teilnahme zu befragen. Um aussagekräftige Rückschlüsse ziehen zu können, würde sich hier vielmehr der Vergleich mit einer Kontrollgruppe anbieten, die aus Personen besteht, welche sich nicht für die Experimento | 10+ Fortbildung angemeldet haben. Da jedoch keine Kontrollgruppe herangezogen werden konnte, kann die Frage nach Gründen der Nicht-Teilnahme mittels der vorliegenden Befragung nicht näher beleuchtet werden.

Die erlangten Erkenntnisse sind somit, wie bereits angedeutet, einigen Limitationen unterworfen. Die wohl größte Limitation hinsichtlich der Aussagekraft der Ergebnisse ist durch die fehlende Kontrollgruppe gegeben, da dies entsprechend auch die Validität einschränkt [296]. Für eine zukünftige Evaluation von Lehrkräftefortbildungen wie Experimento | 10+ sollte demnach unbedingt eine (Warte-)Kontrollgruppe akquiriert werden. Bei den fakultativen Elementen war eine Aufteilung in Interventions- und Kontrollgruppe zum Teil möglich. Weil die Module allerdings nach Interesse der Lehrkräfte bestimmt wurden, war beispielsweise die Kontrollgruppe beim Modul zu CT sehr klein, was die Aussagekraft der Ergebnisse ebenfalls einschränkt. Darüber hinaus ließ sich, nicht zuletzt aufgrund der beschränkten technischen Tracking-Möglichkeiten, nicht mit Sicherheit feststellen, ob alle Lehrkräfte auch tatsächlich die

veranschlagten Module in ausreichendem Maße bearbeitet hatten. Da der Zugang zur Online-Anwendung nicht limitiert war, ist auch der umgekehrte Fall denkbar. Zwar deutet das Absolvieren des dritten Moduls auf eine hohe Zufriedenheit und Motivation der Lehrkräfte hin, dies kann aber die Ergebnisse der Evaluation verzerren.

Außerdem beruhen sämtliche Ergebnisse auf dem Selbstbericht der Lehrkräfte, auch die zur tatsächlichen Umsetzung im Unterricht. (Wissens-)Tests wurde nicht verwendet. Manche Rückschlüsse stützen sich auf Einzelitems, die im Vergleich zu Skalen einer höheren Fehleranfälligkeit unterworfen sind [286]. Zukünftig kann vermehrt auf kürzlich publizierte validierte Instrumente zurückgegriffen werden, wie zum Beispiel auf eine Skala zur Messung der Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich des Unterrichtens von CT durch sich im Dienst befindliche Lehrkräfte [297]. Damit lässt sich auch ein positiver Einfluss auf die Reliabilität der verwendeten Skalen erhoffen.

Des Weiteren sollte sich künftig die Evaluation derartiger Fortbildungsangebote nicht nur auf die erste und zweite Ebene des Evaluationsmodells fokussieren, sondern auch die Wirksamkeit auf den weiteren Ebenen näher untersuchen. Dazu empfiehlt es sich, für die Betrachtung der Wirksamkeit auf der Ebene des Unterrichts einen *Multi-Informant-Multi-Method-Ansatz* [266] heranzuziehen, bei dem mehrere Beteiligte mit mehreren Erhebungsmethoden einbezogen werden.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit die gewonnenen Ergebnisse generalisierbar sind [169]. Trotz des langen Erhebungszeitraums konnte nur eine verhältnismäßig kleine Stichprobe gewonnen werden. Dies ist hauptsächlich durch die COVID-19-Pandemie begründet, infolge derer Lehrkräftefortbildungen mit Präsenzanteilen zeitweise gar nicht oder nur mit geringerer Zahl an Teilnehmenden durchgeführt werden konnten. Außerdem haben sich die Lehrkräfte selbst zu der Fortbildung angemeldet. Daher handelte es sich bei den Teilnehmenden höchstwahrscheinlich um Personen, die grundsätzlich an den Themen interessiert waren und es lässt sich, wie bereits erläutert, gerade vor dem Hintergrund der pandemiebedingten Erschwernisse vermuten, dass vor allem besonders engagierte Lehrkräfte an der Fortbildung mit ihren Präsenzphasen teilgenommen haben. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse ist auch dadurch eingeschränkt, dass sich die Fortbildungen geographisch auf Deutschland, insbesondere Süddeutschland, fokussierten [169]. Da es sich bei Experimento | 10+ um ein deutschlandweites, bzw. in Modifikationen sogar um ein internationales Bildungsprogramm handelt, sind hier noch Potenziale für die Generierung weiterer Forschungsdaten anhand einer größeren Stichprobe und damit verbunden einer breiten Evaluation gegeben. Somit sollte *Experimento* auch künftig forschend begleitet werden.

Durch die COVID-19-Pandemie resultierten weitere Limitationen hinsichtlich der Verallgemeinerbarkeit. Diese betreffen unter anderem die Betrachtung des unterrichtlichen Einsatzes, zum Beispiel von Schülerexperimenten oder bestimmten methodischen Ansätzen, beispielsweise zur Wertebildung, da zeitweise schlichtweg kein Präsenzunterricht stattgefunden hat.

Dennoch lassen sich aus den gewonnenen Erkenntnissen einige Empfehlungen für die pädagogische Praxis ableiten. So sollten bei derartigen Blended Learning-Fortbildungen die Online-Phasen möglichst an den von ihnen häufig als herausfordernd beschriebenen Arbeitsalltag der Lehrkräfte angepasst werden und in den Präsenzphasen eine kurze Wiederholung für zentrale Inhalte eingeplant sein. Um die Verknüpfung zwischen digitalen und analogen Phasen, speziell bei der Experimento | 10+ Fortbildung, weiter zu intensivieren, müssen die Zusammenhänge zwischen Online- und Präsenzteilen deutlich verbalisiert werden. Eine weitere Möglichkeit bietet die gemeinsame Diskussion von Best-Practice-Beispielen zu den Inhalten der Online-Module während der Präsenzphasen. Ein anderer Optimierungsvorschlag betrifft den Lehrplanbezug. Hier sollten die verantwortlichen Multiplikatorinnen und Multiplikatoren Bezüge zu den jeweiligen länderspezifischen Lehr- und Bildungsplänen entsprechend herausarbeiten und den Teilnehmenden zur Verfügung stellen, anstatt dass die Lehrkräfte sich diese selbst erarbeiten. Künftig könnten auch die experimentellen Inhalte noch aktualisiert werden, um einen höheren Neuigkeitswert zu bieten und Anknüpfungspunkte beispielsweise an aktuelle Fachforschung [28,262] aufzuzeigen.

7 Fazit und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Konzeption, Erprobung und Evaluation einer Blended Learning-Fortbildung für MINT-Lehrkräfte zu Experimento | 10+ mit digitalen und analogen Inhalten ausführlich beschrieben. In der zweitägigen Lehrkräftefortbildung beschäftigen sich die Teilnehmenden jeweils vorab mit einem Online-Modul. Die Inhalte dieser digitalen Phasen werden dann in den Präsenzphasen mit den Schülerexperimenten aus Experimento | 10+, welche die Lehrkräfte dort erproben, vernetzt. Außerdem kann die Fortbildung einen Beitrag zur Stärkung der digitalen Medienkompetenzen der Lehrkräfte leisten.

Das Bestreben der vorliegenden Forschungsarbeit war zunächst die erfolgreiche Neukonzeption der Fortbildung in einem Blended Learning-Format und dabei insbesondere die inhaltliche und didaktische Gestaltung der dazugehörigen Online-Anwendung. Tatsächlich konnte eine attraktive Online-Lernumgebung mit zahlreichen interaktiven Elementen gänzlich neu geschaffen werden, bei der als Besonderheit auch Unterrichtsvideos von authentischen schulischen Situationen gezeigt werden. Die ansprechende Gestaltung der Online-Anwendung wurde durch die Evaluation mit Lehramtsstudierenden sowie die Teilnehmenden der Experimento | 10+ Fortbildung bestätigt. Inhaltlich umfasst die Anwendung drei Online-Module mit innovativen und höchst relevanten Themen: Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. Ebenso wurde das Blended Learning-Format erfolgreich etabliert, indem die Lehrkräftefortbildung nicht nur neu entworfen, sondern auch in zwei Zyklen praktisch durchgeführt wurde. Dabei erreichte das Angebot über einhundert Lehrkräfte aus verschiedenen Schularten und Bundesländern.

Um die Lehrkräftefortbildung in ein stimmiges Blended Learning-Konzept zu überführen, wurden schwerpunktmäßig nicht nur die Online-Module aufgesetzt, sondern auch die Präsenzphasen neugestaltet. Dabei ist unter anderem ein neues Experiment in Experimento | 10+ aufgenommen worden, welches einen engen Bezug zum Online-Modul über CT aufweist. Der Versuch, bei dem pH-Werte von Alltagschemikalien mit dem Mikrocontroller Arduino bestimmt werden, wird in der Online-Anwendung vorgestellt und in Präsenz praktisch erprobt. Weiteres Entwicklungspotenzial für das Online-Modul zu CT besteht in der Aufnahme von detaillierteren Hinweisen zum Einsatz von Simulationen naturwissenschaftlicher Phänomene, wie zum Beispiel der Aggregatzustände oder der Gasgesetze, welche von den Schülerinnen und Schülern selbst erstellt werden und damit zur gemeinsamen Förderung von CT und naturwissenschaftlicher Fachinhalte beitragen. Da das Modul zu CT bislang die geringste Bearbeitungszeit aufwies, ist dies machbar, obwohl die

erhobenen Daten zeigen, dass die Bearbeitungsdauer der Online-Module nicht wesentlich länger sein sollte als bisher.

Mit der im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit vorgestellten Fortbildung konnten also zahlreiche neue Aspekte verwirklicht werden: Zunächst einmal handelt es sich mit dem Blended Learning-Konzept um ein Format, dessen Potenziale im Zuge von (Chemie)-Lehrkräftefortbildungen bisher nur wenig genutzt wurden. Inhaltlich sind mit Wertebildung und Inklusion wichtige Themen des Bildungswesens implementiert worden. Mit dem Bezug zu CT wird darüber hinaus eine zukunftssträchtige Kompetenz vorgestellt, die in Deutschland bislang vergleichsweise wenig Beachtung erfahren hat, angesichts des Lebens in einer Kultur der Digitalität aber weiterhin an Bedeutung gewinnen wird.

Darüber hinaus konnte die mit solchen Vorhaben verbundene erforderliche Begleitforschung erfolgreich durchgeführt werden. Aus dieser lässt sich ableiten, dass die Zufriedenheit der Lehrkräfte mit der neu konzipierten Experimento | 10+ Fortbildung hoch war. Die Einstellungen und Kenntnisse der Lehrkräfte hinsichtlich der mit der Fortbildung assoziierten Inhalte konnten zumeist mindestens kurzzeitig positiv beeinflusst werden. Im Hinblick auf das Wissen über das Forschende Lernen, Wertebildung und CT sowie bestimmte Medienkompetenzen wurden sogar langfristige Wirkungen erzielt. Auf einen tatsächlichen Einfluss des neu aufgesetzten Fortbildungsprogramms auf das unterrichtliche Handeln der Lehrkräfte gibt es nur eingeschränkte Hinweise. Besonders für die Kompetenz des CT scheint die vorliegende Arbeit jedoch vielversprechende Ansatzpunkte zu liefern. Außerdem setzten mindestens 20 der teilnehmenden Lehrkräfte im Befragungszeitraum von jeweils drei Monaten Schülerversuche aus Experimento | 10+ in ihrem Unterricht ein. Mit den gewonnenen Erkenntnissen, besonders zur Fortbildungsmotivation, leistet die vorgelegte wissenschaftliche Begleitforschung darüber hinaus einen weiteren Beitrag zum Forschungsfeld der Lehrkräftefortbildungen, welches im Allgemeinen von vielen offenen Fragen und einem hohen Forschungsbedarf gekennzeichnet ist.

Künftig wird das neu entwickelte Fortbildungsangebot von hierfür geschulten Multiplikatorinnen und Multiplikatoren unter Federführung der Siemens Stiftung weiterhin angeboten. Damit steht auch in Zukunft eine Fortbildung zur Verfügung, die bei den Lehrkräften unter anderem ein nachhaltiges Bewusstsein über den Einsatz von Schülerexperimenten, über das Forschende Lernen sowie Computational Thinking schaffen kann. Außerdem wurden Resultate aus der Konzeption und Evaluation der neu entworfenen Fortbildung bereits national und international publiziert, sodass diese einem breiten Publikum, unter anderem entsprechend interessierten Lehrkräften, zugänglich sind.

Anknüpfend an die vorliegenden Evaluationsergebnisse ergeben sich weiterführende Fragestellungen für die (chemie-)didaktische Forschung. Insbesondere ist es von Interesse, das Ausmaß und die Art und Weise des durch die Fortbildung möglicherweise veränderten unterrichtlichen Handelns, zum Beispiel zur Förderung von Kompetenzen aus dem Bereich CT, anhand vertiefender Studien auch tatsächlich nachvollziehen zu können. Schließlich ist noch offen, wie die Lehrkräfte genau im Unterricht verfahren, um diese Kompetenz zu fördern. Dabei können beispielsweise qualitative Videostudien nähere Einblicke in das Vorgehen der Lehrkräfte liefern. Dies würde entsprechend auch einen Beitrag dazu leisten, der Forderung nach einer umfassenden Beforschung der Wirkungen von Lehrkräftefortbildungen weiter gerecht zu werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Lipowsky, F., Rzejak, D. (2017). Fortbildungen für Lehrkräfte wirksam gestalten – erfolgsversprechende Wege und Konzepte aus Sicht der empirischen Bildungsforschung. *Bildung und Erziehung* **70/4**, 379–399.
- [2] Rzejak, D., Gröschner, A., Lipowsky, F., Richter, D., Finger, L., Klöden, R. (2021). Konstruktion eines Instruments zur Erfassung der Prozessqualität von Fortbildungen für Lehrkräfte. In: *Wie viel Wissenschaft braucht die Lehrerfortbildung – Arbeitsbündnisse im analogen und virtuellen Raum. Online-QLB-Tagung an der Universität Regensburg 2021.* Maurer, C., Rincke, K., Holzäpfel, L., Lipowsky, F. (Hrsg.), 60–63.
- [3] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2017). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*, Berlin, Bonn.
- [4] Lipowsky, F., Rzejak, D. (2021). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten. Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden.* Bertelsmann Stiftung.
- [5] Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf – Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildung. In: *Lehrerinnen und Lehrer lernen. Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung.* Müller, F. H. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, München, Berlin, 51–58.
- [6] Lipowsky, F. (2004). Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? Befunde der Forschung und mögliche Konsequenzen für die Praxis. *Die Deutsche Schule* **96/4**, 462–479.
- [7] Lipowsky, F., Rzejak, D. (2019). Forschungsüberblick zu Merkmalen wirksamer Lehrerfortbildungen. In: *Lehrkräftefortbildung in Deutschland. Bestandsaufnahme und Orientierung*, 1. Aufl. Daschner, P., Hanisch, R. (Hrsg.). Beltz Juventa, Weinheim, 135–145.
- [8] Lipowsky, F., Rzejak, D. (2014). Das Lernen der Schülerinnen und Schüler im Blick – Lehrerfortbildungen erfolgreich gestalten. In: *Qualitätsentwicklung von Schule und Unterricht.* Kubina, C. (Hrsg.). Link, Köln, 30–42.
- [9] Rzejak, D., Küsting, J., Lipowsky, F., Fischer, E., Dezhgahi, U., Reichardt, A. (2014). Facetten der Lehrerfortbildungsmotivation – eine faktorenanalytische Betrachtung. *Journal für Bildungsforschung Online* **6/1**, 139–159.
- [10] Richter, E., Richter, D. (2020). Fort- und Weiterbildung von Lehrpersonen. In: *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung.* Cramer, C., König, J., Rothland, M., Blömeke, S. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 345–353.
- [11] Siemens Stiftung. Experimento in Deutschland. Das MINT-Bildungsprogramm Experimento in Deutschland. <https://www.siemens->

- stiftung.org/projekte/experimento/experimento-in-deutschland/ (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [12] Siemens Stiftung. Experimento. Internationales MINT-Bildungsprogramm.
<https://www.siemens-stiftung.org/projekte/experimento/> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [13] Knie, L., Schwarzer, S. (2021). Konzeption einer Blended-Learning-Lehrkräftefortbildung mit digitalen und analogen Inhalten im Rahmen von Experimento | 10+. CHEMKON **28**.
- [14] Knie, L., Schwarzer, S. (2021). Experimento | 10+. Handreichung für Lehrkräfte. Siemens Stiftung.
- [15] Eickelmann, B. (2019). Measuring Secondary School Students' Competence in Computational Thinking in ICILS 2018 – Challenges, Concepts, and Potential Implications for School Systems Around the World. In: Computational Thinking Education. Kong, S.-C., Abelson, H. (Hrsg.). Springer Open, Singapur, 53–64.
- [16] Daschner, P. (2019). Die wichtigsten Ergebnisse. In: Lehrkräftefortbildung in Deutschland. Bestandsaufnahme und Orientierung, 1. Aufl. Daschner, P., Hanisch, R. (Hrsg.). Beltz Juventa, Weinheim, 12–17.
- [17] Musil, K. (2017). Lehrerfortbildungsformate und Nachhaltigkeit. Pädagogische Horizonte 1/1, 63-82.
- [18] Hollenstein, L., Brühwiler, C., Biedermann, H. (2020). Lehrerinnen- und Lehrerbildung an Universitäten und Pädagogischen Hochschulen. In: Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Cramer, C., König, J., Rothland, M., Blömeke, S. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 323–331.
- [19] Cortina, K. S., Thames, M. H. (2013). Teacher Education in Germany. In: Cognitive Activation in the Mathematics Classroom and Professional Competence of Teachers. Results from the COACTIV Project. Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., Neubrand, M. (Hrsg.). Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht, London, 49–62.
- [20] Anderson-Park, E., Abs, H. J. (2020). Lehrerinnen- und Lehrerbildung im Vorbereitungsdienst. In: Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Cramer, C., König, J., Rothland, M., Blömeke, S. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 332–338.
- [21] Daschner, P., Hanisch, R. (Hrsg.) (2019). Lehrkräftefortbildung in Deutschland. Bestandsaufnahme und Orientierung, 1. Aufl. Beltz Juventa, Weinheim.
- [22] Grothus, I. (2019). Auftrag und Stellenwert der Lehrerfortbildung. In: Lehrkräftefortbildung in Deutschland. Bestandsaufnahme und Orientierung, 1. Aufl. Daschner, P., Hanisch, R. (Hrsg.). Beltz Juventa, Weinheim, 20–24.
- [23] Richter, D. (2016). Lehrerinnen und Lehrer lernen: Fort- und Weiterbildung im Lehrerberuf. In: Beruf Lehrer/Lehrerin, 1. Aufl. Rothland, M. (Hrsg.). Waxmann, Stuttgart, 245–260.

- [24] Richter, D., Engelbert, M., Weirich, S., Pant, H. A. (2013). Differentielle Teilnahme an Lehrerfortbildungen und deren Zusammenhang mit professionsbezogenen Merkmalen von Lehrkräften. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* **27/3**, 193–207.
- [25] Daus, J., Pietzner, V., Höner, K., Scheuer, R., Melle, I., Neu, C., Schmidt, S., Bader, H. J. (2004). Untersuchung des Fortbildungsverhaltens und der Fortbildungswünsche von Chemielehrerinnen und Chemielehrern. *CHEMKON* **11/2**, 79–85.
- [26] Rzejak, D., Lipowsky, F. (2020). Fort- und Weiterbildung im Beruf. In: *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung*. Cramer, C., König, J., Rothland, M., Blömeke, S. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 644–651.
- [27] Deutsche Physikalische Gesellschaft. DGP-Lehrerfortbildungen. <https://www.dpg-physik.de/ueber-uns/physikzentrum-bad-honnef/dpg-lehrerfortbildungen> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [28] Diekemper, D. (2021). Didaktische Rekonstruktion aktueller Fachforschung zu modernen Materialien sowie Durchführung und Evaluation eines Lehrkräftefortbildungskonzepts zum Thema Nachhaltigkeit. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- [29] Wolff, J. (2022). Fortbildung für Chemielehrkräfte. GDCh-Lehrerfortbildungszentren. <https://www.gdch.de/ausbildung-karriere/schule-studium-aus-und-fortbildung/lehrerinnen/lehrerfortbildung.html> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [30] Engelmann, P., Wilke, T., Schwarzer, S., Tepner, O. (2020). Trendbericht Chemiedidaktik. *Nachrichten aus der Chemie* **68/12**, 8–16.
- [31] Lühken, A. (2020). Chemie unterrichten und lernen in der Corona-Zeit – Neue Wege finden! *CHEMKON* **27/5**, 207.
- [32] Aljanazrah, A. M., Bader, H. J. (2006). Chemielehrerfortbildung durch E-Learning und Labortag. Entwicklung, Erprobung und erste Erfahrungen. *CHEMKON* **13/2**, 69–75.
- [33] Scheffler, F. (2017). Konzeption und Charakterisierung von Blended-Learning in der universitären Experimentalausbildung von Chemielehrkräften des Gymnasiums. Druck Manufaktur, Stendal.
- [34] Friedrich-Alexander-Universität, Julius-Maximilians-Universität, Virtuelle Hochschule Bayern (2019). Modelle im Chemieunterricht (Demoversion). <https://www.studon.fau.de/crs2487462.html> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [35] Lipowsky, F., Rzejak, D. (2012). Lehrerinnen und Lehrer als Lerner – Wann gelingt der Rollentausch? Merkmale und Wirkungen wirksamer Lehrerfortbildungen. In: *Reform der Lehrerbildung in Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Bosse, D., Criblez, L., Hascher, T. (Hrsg.). Prolog-Verlag, Immenhausen.
- [36] Desimone, L. M., Garet, M. S. (2015). Best Practices in Teachers' Professional Development in the United States. *Psychology, Society, & Education* **7/3**, 252–263.

- [37] Desimone, L. M. (2009). Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher* **38**/3, 181–199.
- [38] Kennedy, M. M. (2016). How Does Professional Development Improve Teaching? *Review of Educational Research* **86**/4, 945–980.
- [39] Kirkpatrick, D. L., Kirkpatrick, J. D. (2006). Evaluating training programs. The four levels, 3. Aufl. Berrett-Koehler, San Francisco.
- [40] Lipowsky, F. (2014). Theoretische Perspektiven und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfort und -weiterbildung. In: *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf*, 2. Aufl. Terhart, E., Bennewitz, E., Rothland, M. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 511–541.
- [41] Florian, A. (2008). Blended Learning in der Lehrerfortbildung. Evaluation eines onlinegestützten, teambasierten und arbeitsbegleitenden Lehrerfortbildungsangebots im deutschsprachigen Raum. Inaugural-Dissertation. Universität Augsburg.
- [42] Krille, C. (2020). *Teachers' Participation in Professional Development*. Springer International Publishing, Cham.
- [43] Richter, E., Richter, D., Marx, A. (2018). Was hindert Lehrkräfte an Fortbildungen teilzunehmen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* **21**/5, 1021–1043.
- [44] Ropohl, M., Schönau, K., Parchmann, I. (2016). Welche Wünsche und Erwartungen haben Lehrkräfte an aktuelle Forschung als Gegenstand von Fortbildungsveranstaltungen? *CHEMKON* **23**/1, 25–33.
- [45] Neu, C., Melle, I. (1998). Die Fortbildung von Chemielehrerinnen und -lehrern. Gegenwärtige Situation und Möglichkeiten zur Veränderung. *CHEMKON* **5**/4, 181–186.
- [46] Ansorge-Grein, K., Patzke, B., Bader, H. J. (2009). Qualitätsentwicklung in der Lehrerfortbildung. *CHEMKON* **16**/3, 119–124.
- [47] Merzyn, G. (2013). Guter Chemieunterricht. Die Sicht von Schülern, Lehrern, Wissenschaftlern. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* **62**/1, 37–42.
- [48] Pfeifer, P. (1992). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 1. Aufl. Oldenbourg, München.
- [49] Bader, H. J., Lühken, A. (2019). Legitimation des Experiments für den Chemieunterricht. In: *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 461–462.
- [50] Schumacher, A. (2017). Forschendes Lernen im Chemieunterricht. In: *Chemie vermitteln*. Reiners, C. S. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 177–185.
- [51] Ropohl, M., Emden, M. (2017). Zwischen Neu-Entdecken und Nach-Entdecken. Experimentieren als naturwissenschaftliche Arbeitsweise im Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **28**/158, 2–7.

- [52] Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., La Noto Diega, R. (2019). Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- [53] Höttecke, D. (2013). Forschend-entdeckenden Unterricht authentisch gestalten – ein Problemaufriss. In: Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012. Bernholt, S. (Hrsg.). IPN, Kiel, 32–45.
- [54] Reiners, C. S., Saborowski, J. (2017). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In: Chemie vermitteln. Reiners, C. S. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 91–146.
- [55] Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A., Krees, S. (2015). Chemiedidaktik kompakt, 2. Aufl. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- [56] Bader, H. J., Lühken, A., Sommer, K. (2019). Schülerexperimente im Chemieunterricht. In: Konkrete Fachdidaktik Chemie, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 479–494.
- [57] Wild, E., Hofer, M., Pekrun, R. (2006). Psychologie des Lernens. In: Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch, 5. Aufl. Krapp, A., Weidmann, B. (Hrsg.). Beltz Verlagsgruppe, Weinheim, Basel, 203–268.
- [58] Gebhard, U., Höttecke, D., Rehm, M. (2017). Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch. Springer VS, Wiesbaden.
- [59] Bader, H. J., Lühken, A. (2019). Anforderungen an ein Schulexperiment. In: Konkrete Fachdidaktik Chemie, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 464–467.
- [60] Obendrauf, V. (1996). Experimente mit Gasen im Minimaßstab. Chemie in unserer Zeit **30/3**, 118–125.
- [61] Stephani, R. (2019). Besondere apparative Möglichkeiten für Schülerexperimente. In: Konkrete Fachdidaktik Chemie, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 494–499.
- [62] Schaffer, S., Abke, J. (2016). Sicherheit im Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie **27/156**, 2–6.
- [63] Kultusministerkonferenz (2019). Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU).
- [64] Lüke, D., Friedrich, J. (2019). DEGINTU – ein kostenloses Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). CHEMKON **26/4**, 146–152.
- [65] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. DEGINTU – Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung. <https://degintu.dguv.de/login> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [66] Duit, R., Gropengießer, H., Stäudel, L. (2007). Naturwissenschaftliches Arbeiten. Eine Einführung. In: Naturwissenschaftliches Arbeiten. Unterricht und Material 5–10, 2. Aufl.

- Duit, R., Gropengießer, H., Stäudel, L. (Hrsg.). Eberhard Friedrich Verlag GmbH, Seelze-Velber, 4–8.
- [67] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2020). Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife.
- [68] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2004). Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss.
- [69] Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. de, Riesen, S. A. van, Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review* **14**, 47–61.
- [70] Hofer, E., Puddu, S. (2020). Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht – Begrifflichkeiten, Ausprägungen, Zielsetzungen. *transfer Forschung ↔ Schule* **6**, 57–71.
- [71] Martius, T., Delvenne, L., Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern? *MNU Journal* **69/4**, 220–228.
- [72] Ropohl, M., Rönnebeck, S., Scheuermann, H. (2015). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht. Das Konzept des forschenden Lernens. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* **64/6**, 5–8.
- [73] Abels, S., Lautner, G., Lembens, A. (2014). Mit „Mysteries“ zum Forschenden Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule* **29/3**, 20–21.
- [74] Reiners, C. S., Saborowski, J. (2017). Wissensvermittlung durch Transformation. In: *Chemie vermitteln*. Reiners, C. S. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 33–90.
- [75] Sommer, K., Pfeifer, P. (2019). Ziele des Chemieunterrichts und Chemiedidaktische Leitlinien. In: *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 139–174.
- [76] Gall, D., Vökl, A.-K., Anton, M. A. (2012). Wissenschaftspropädeutik im Chemieunterricht. Wie beginnt das naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten? *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* **61/5**, 46–49.
- [77] Forster, M., Hock, K., Schwarzer, S. (2017). Dünnschichtchromatographie von GeloMyrtol® forte. Vermittlung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen an einem alltagsorientierten Beispiel. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **28/159**, 26–30.
- [78] Eichinger, A., Lang, V., Kay, C. W. M., Seibert, J. (2021). Ansatz zur methodischen Förderung des Forschenden Lernens beim Experimentieren. In: *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021. Habig, S., van Vorst, H. (Hrsg.), 656–659.

- [79] Marquardt-Mau, B. (2011). Der Forschungskreislauf: Was bedeutet forschen im Sachunterricht? In: Wie gute naturwissenschaftliche Bildung an Grundschulen gelingt. Deutsche Telekom-Stiftung (Hrsg.). Deutsche Kinder- und Jugendstiftung, Berlin, 32–37.
- [80] Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education* **94**/4, 577–616.
- [81] Lembens, A., Abels, S. (2015). Mysteries als Einstieg ins Forschende Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule* **30**/1b, 3–5.
- [82] Kirschner, P. A., Sweller, J., Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist* **41**/2, 75–86.
- [83] Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist* **42**/2, 99–107.
- [84] Bybee, R. W. (2019). Using the BSCS 5E Instructional Model to Introduce STEM Disciplines. *Science and Children* **56**/6, 8–12.
- [85] Sommer, K. (2019). Unterrichtskonzeptionen und Unterrichtsverfahren. In: Konkrete Fachdidaktik Chemie, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 262–301.
- [86] Schubarth, W. (2019). Wertebildung in der Schule. In: Werte und Wertebildung aus interdisziplinärer Perspektive. Verwiebe, R. (Hrsg.). Springer Fachmedien, Wiesbaden, 79–96.
- [87] Menzel, S. (2013). Werte-Bildung im naturwissenschaftlichen Unterricht: kein Widerspruch. In: Wie sich Werte bilden. Fachübergreifende und fachspezifische Wertebildung, 1. Aufl. Blasberg-Kuhnke, M., Gläser, E., Mokrosch, R., Müller-Using, S., Naurath, E. (Hrsg.). V&R Unipress, Göttingen, 125–139.
- [88] Schubarth, W. (2010). Die „Rückkehr der Werte“. Die neue Wertedebatte und die Chancen der Wertebildung. In: Wertebildung in Jugendarbeit, Schule und Kommune, 1. Aufl. Schubarth, W., Speck, K., Berg, H. L. von (Hrsg.). VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 21–42.
- [89] Schubarth, W., Gruhne, C., Zylla, B. (2017). Werte machen Schule, 1. Aufl. W. Kohlhammer, Stuttgart.
- [90] Verwiebe, R. (2019). Werte und Wertebildung – einleitende Bemerkungen und empirischer Kontext. In: Werte und Wertebildung aus interdisziplinärer Perspektive. Verwiebe, R. (Hrsg.). Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1–24.

- [91] Niedermeier, S. (2014). Wertebildung in Unternehmen. Theoretische Grundlagen und Implementation. Inaugural-Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- [92] Mandl, H., Kopp, B., Niedermeier, S., Meixner, M. (2015). Konzept „Naturwissenschaften, Technik und Werte“.
- [93] Reinders, H., Bünner, L., Heeg, M., Hillesheim, S., Sayegh, H. (2017). Service Learning in den MINT-Fächern. Ergebnisse einer wissenschaftlichen Begleitstudie bei Schulen in Bayern und Sachsen-Anhalt. Schriftenreihe Empirische Bildungsforschung 35.
- [94] Seifert, A., Zentner, S., Nagy, F. (2019). Praxisbuch Service-Learning. „Lernen durch Engagement“ an Schulen, 2. Aufl. Beltz, Weinheim, Basel.
- [95] Kopp, B., Mandl, H., Wallner, K. (2017). Impulses and Dilemma Stories for Values Education in STEM Context in Elementary Schools. *Journal of Modern Education Review* 7/2, 91–105.
- [96] Standop, J. (2016). Werte in der Schule, 2. Aufl. Beltz, Weinheim.
- [97] Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. Chemie. Selbstverständnis des Faches Chemie und sein Beitrag zur Bildung. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachprofil/gymnasium/chemie> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [98] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (2016). Bildungsplan des Gymnasiums. Chemie. http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_CH.pdf (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [99] Reiners, C. S., Adesokan, A. (2019). Inklusion im Chemieunterricht. In: *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 722–736.
- [100] Saalfrank, W.-T., Zierer, K. (2017). *Inklusion*. Ferdinand Schöningh, Paderborn.
- [101] Reiners, C. S., Adesokan, A. (2017). Inklusion im Chemieunterricht. In: *Chemie vermitteln*. Reiners, C. S. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 167–177.
- [102] Abels, S., Stinken-Rösner, L. (2022). Inklusion als Phänomen in Chemie- und Physikdidaktik – Gemeinsamkeiten und Unterschiede. In: *Schulische Inklusion als Phänomen – Phänomene schulischer Inklusion*. Braksiek, M., Golus, K., Gröben, B., Heinrich, M., Schildhauer, P., Streblow, L. (Hrsg.). Springer VS, Wiesbaden, 273–292.
- [103] Grosche, M. (2015). Was ist Inklusion? Ein Diskussions- und Positionsartikel zur Definition von Inklusion aus Sicht der empirischen Bildungsforschung. In: *Inklusion von Schülerinnen und Schülern mit sonderpädagogischem Förderbedarf in Schulleistungserhebungen*. Kuhl, P., Stanat, P., Lütje-Klose, B., Gresch, C., Pant, H. A., Prenzel, M. (Hrsg.). Springer VS, Wiesbaden, 17–39.

- [104] Wrase, M. (2015). Die Implementation des Rechts auf inklusive Schulbildung nach der UN-Behindertenrechtskonvention und ihre Evaluation aus rechtlicher Perspektive. In: Inklusion von Schülerinnen und Schülern mit sonderpädagogischem Förderbedarf in Schulleistungserhebungen. Kuhl, P., Stanat, P., Lütje-Klose, B., Gresch, C., Pant, H. A., Prenzel, M. (Hrsg.). Springer VS, Wiesbaden, 41–74.
- [105] Heimlich, U. (2020). Einleitung: Inklusion als Leitbild – Vielfalt der Wege. In: Studienbuch Inklusion. Ein Wegweiser für die Lehrerbildung. Heimlich, U., Kiel, E. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 245–247.
- [106] Siemens Stiftung. Aufgabenstellung. <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/2.1.3-aufgabenstellung?course=3&page=2.1.3#> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [107] Saalfrank, W.-T. (2012). Differenzierung. In: Unterricht sehen, analysieren, gestalten, 2. Aufl. Kiel, E. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 65–95.
- [108] Labudde, P. (2019). Der Heterogenität begegnen. In: Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.–9. Schuljahr, 3. Aufl. Labudde, P., Metzger, S. (Hrsg.). Haupt Verlag, Bern, 213–226.
- [109] Groß, K. (2017). Individuelle Förderung im Chemieunterricht. In: Chemie vermitteln. Reiners, C. S. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 148–167.
- [110] Wambach, H., Wambach-Laicher, J. (2019). Unterrichtssteuerung und Verlaufsplan. In: Konkrete Fachdidaktik Chemie, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 372–398.
- [111] Stäudel, L., Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F. (2007). Komplexität erhalten – auch in heterogenen Lerngruppen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. CHEMKON **14/3**, 115–122.
- [112] Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L., Wodzinsik, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In: Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten. Kasseler Forschergruppe Empirische Bildungsforschung (Hrsg.). Kassel University Press, Kassel, 27–42.
- [113] Stäudel, L. (2009). Aufgaben mit gestuften Hilfen. Eine selbstdifferenzierende Lernumgebung am Beispiel von Osmose und Verbrennung. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie **20/111/112**, 72–77.
- [114] Stäudel, L. (2020). QR-Codes öffnen Lernwelten. Aufgaben mit gestuften Hilfen zum Download. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie **31/177/178**.
- [115] Affeldt, F., Markic, S., Eilks, I. (2019). Über die Nutzung abgestufter Lernhilfen beim forschenden Lernen. Chemie & Schule **34/4**, 17–21.
- [116] Schulz, L. (2021). Diklusive Schulentwicklung. MedienPädagogik **41**, 32–54.

- [117] Kestler, F. (2020). Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts, 3. Aufl. Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [118] Nett, U. E., Götz, T. (2019). Selbstreguliertes Lernen. In: Psychologie für den Lehrberuf. Urhahne, D., Dresel, M., Fischer, F. (Hrsg.). Springer, Berlin, 67–84.
- [119] Abels, S., Koliander, B. (2017). Forschendes Lernen als Beispiel eines inklusiven Ansatzes für den Fachunterricht. In: Vielfalt als Chance. Vom Kern der Sache. Schörkhuber, B., Rabl, M., Svehla, H. (Hrsg.). Lit Verlag, Wien, 53–60.
- [120] Affeldt, F., Markic, S., Eilks, I. (2019). Students' use of graded learning aids for inquiry learning. *Chemistry in Action!* 114, 28–33.
- [121] Markic, S. (2015). Chemistry Teacher's Attitudes and Needs When Dealing with Linguistic Heterogeneity in the Classroom. In: *Affective Dimensions in Chemistry Education*. Kahveci, M., Orgill, M. (Hrsg.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Dodrecht, London, 279–296.
- [122] Strippel, C., Bohrmann-Linde, C. (2019). Sprache im Chemieunterricht. In: *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 239–248.
- [123] Markic, S., Broggy, J., Childs, P. (2013). How to deal with linguistic issues in chemistry classes. In: *Teaching Chemistry – A Studybook. A Practical Guide and Textbook for Student Teachers, Teacher Trainees and Teachers*. Eilks, I., Hofstein, A. (Hrsg.). Sense Publishers, Rotterdam, Boston, Taipei, 127–152.
- [124] Markic, S., Bruns, H. (2013). Stoffe erkunden. Materialien zum Umgang mit sprachlicher Heterogenität. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 24/135, 20–25.
- [125] Pietsch, A. (2017). Muss ich in Chemie auch noch Deutsch unterrichten? *Chemie & Schule* 32/2, 10–17.
- [126] Markic, S., Childs, P. E. (2016). Language and the teaching and learning of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice* 17/3, 434–438.
- [127] Brown, B. A., Donovan, B., Wild, A. (2019). Language and cognitive interference: How using complex scientific language limits cognitive performance. *Science Education* 103/4, 750–769.
- [128] Bohrmann-Linde, C., Strippel, C. (2019). Sprachliche Interaktionen und sprachsensibler Chemieunterricht. In: *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 2. Aufl. Sommer, K., Wambach-Laichner, J., Pfeifer, P. (Hrsg.). Aulis, Seelze, 709–722.
- [129] Leisen, J. (2015). Fachlernen und Sprachlernen! Bringt zusammen, was zusammen gehört! *MNU Journal* 68/3, 132–137.
- [130] Leisen, J. (2013). *Handbuch Sprachförderung im Fach. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis*. Ernst Klett Sprachen, Stuttgart.

- [131] Groß, K., Reiners, C. S. (2012). Experimente alternativ dokumentieren. *CHEMKON* **19/1**, 13–20.
- [132] Barkmin, M., Bergner, N., Bröll, L., Huwer, J., Seegerer, S. (2021). Informatik für alle?! – Informatische Bildung als Baustein in der Lehrkräftebildung. In: *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung*. Beißwenger, M., Bulizek, B., Gryl, I., Schacht, F. (Hrsg.). Universitätsverlag Rhein-Ruhr, Duisburg, 99–120.
- [133] Labusch, A., Eickelmann, B., Vennemann, M. (2019). Computational Thinking Processes and Their Congruence with Problem-Solving and Information Processing. In: *Computational Thinking Education*. Kong, S.-C., Abelson, H. (Hrsg.). Springer Open, Singapur, 65–78.
- [134] Yadav, A., Hong, H., Stephenson, C. (2016). Computational Thinking for All: Pedagogical Approaches to Embedding 21st Century Problem Solving in K-12 Classrooms. *TechTrends* **60/6**, 565–568.
- [135] Voogt, J., Fisser, P., Good, J., Mishra, P., Yadav, A. (2015). Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies* **20/4**, 715–728.
- [136] Curzon, P., McOwan, P. W. (2018). *Computational Thinking. Die Welt des algorithmischen Denkens – in Spielen, Zaubertricks und Rätseln*. Springer, Berlin.
- [137] Standl, B. (2017). Solving Everyday Challenges in a Computational Way of Thinking. In: *Informatics in Schools: Focus on Learning Programming*. Dagienė, V., Hellas, A. (Hrsg.). Springer International Publishing, Cham, 180–191.
- [138] Polya, G. (1957). *How to solve it*, 2. Aufl. Penguin Books Ltd, London.
- [139] Papert, S. (1980). *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, New York.
- [140] Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R., Zhai, X. (2020). Assessing computational thinking: A systematic review of empirical studies. *Computers & Education* **148**, 1–22.
- [141] Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM* **49/3**, 33–35.
- [142] Repenning, A., Grover, R., Gutierrez, K., Repenning, N., Webb, D. C., Koh, K. H., Nickerson, H., Miller, S. B., Brand, C., Horses, I. H. M., Basawapatna, A., Gluck, F. (2015). Scalable Game Design. *ACM Transactions on Computing Education* **15/2**, 1–31.
- [143] Wing, J. M. (2010). Computational Thinking: What and Why? The Link.
- [144] Brennan, K., Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. *Proceedings of the 2012 annual meeting of the American Educational Research Association*, Vancouver, Canada, 1–25.
- [145] Geldreich, K., Hubwieser, P. (2020). Implementierung einer Unterrichtssequenz zu Algorithmen und Programmierung in der Grundschule. Eine qualitative Interviewstudie

- mit Grundschullehrkräften. In: Digitale Bildung im Grundschulalter. Grundsatzfragen zum Primat des Pädagogischen. Thumel, M., Kammerl, R., Irion, T. (Hrsg.). kopaed, München, 375–397.
- [146] Yadav, A., Gretter, S., Good, J., McLean, T. (2017). Computational Thinking in Teacher Education. In: Emerging Research, Practice, and Policy on Computational Thinking. Rich, P. J., Hodges, C. B. (Hrsg.). Springer International Publishing, Cham, 205–220.
- [147] Wang, C., Shen, J., Chao, J. (2021). Integrating Computational Thinking in STEM Education: A Literature Review. *International Journal of Science and Mathematics Education*.
- [148] Hsu, T.-C., Chang, S.-C., Hung, Y.-T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers & Education* **126**, 296–310.
- [149] Grover, S., Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher* **42**/1, 38–43.
- [150] Ching, Y.-H., Hsu, Y.-C., Baldwin, S. (2018). Developing Computational Thinking with Educational Technologies for Young Learners. *TechTrends* **62**/6, 563–573.
- [151] BBC. Introduction to computational thinking.
<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zp92mp3/revision/1> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [152] Rijke, W. J., Bollen, L., Eysink, T. H. S., Tolboom, J. L. J. (2018). Computational Thinking in Primary School: An Examination of Abstraction and Decomposition in Different Age Groups. *Informatics in Education* **17**/1, 77–92.
- [153] Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* **366**/1881, 3717–3725.
- [154] Barr, V., Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K–12. What is Involved and What is the Role of the Computer Science Education Community? *ACM Inroads* **2**/1, 48–54.
- [155] Yadav, A., Stephenson, C., Hong, H. (2017). Computational thinking for teacher education. *Communications of the ACM* **60**/4, 55–62.
- [156] Standl, B. (2016). Uniting Computational Thinking Problem Solving Strategies with MIT App Inventor. *ISSEP 2016*, 60–63.
- [157] Adler, R. F., Kim, H. (2018). Enhancing future K–8 teachers' computational thinking skills through modeling and simulations. *Education and Information Technologies* **23**/4, 1501–1514.
- [158] ISTE & CSTA (2011). Operational Definition of Computational Thinking for K–12 Education. <https://cdn.iste.org/www->

root/Computational_Thinking_Operational_Definition_ISTE.pdf (letzter Zugriff am 28.5.2022).

- [159] Senkbeil, M., Eickelmann, B., Vahrenhold, J., Goldhammer, F., Gerick, J., Labusch, A. (2019). Das Konstrukt der computer- und informationsbezogenen Kompetenzen und das Konstrukt der Kompetenzen im Bereich „Computational Thinking“ in ICILS 2018. In: ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Vahrenhold, J. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 79–112.
- [160] Medienberatung NRW (2018). Medienkompetenzrahmen NRW, Münster, Düsseldorf.
- [161] Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Vahrenhold, J. (2019). Anlage, Forschungsdesign und Durchführung der Studie ICILS 2018. In: ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Vahrenhold, J. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 33–78.
- [162] Eickelmann, B., Bos, W., Labusch, A. (2019). Die Studie ICILS 2018 im Überblick – Zentrale Ergebnisse und mögliche Entwicklungsperspektiven. In: ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Vahrenhold, J. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 7–32.
- [163] Denning, P. J., Tedre, M. (2021). Computational Thinking: A Disciplinary Perspective. *Informatics in Education* **20/3**, 361–390.
- [164] Bell, J., Bell, T. (2018). Integrating Computational Thinking with a Music Education Context. *Informatics in Education* **17/2**, 151–166.
- [165] Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., Wilensky, U. (2016). Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms. *Journal of Science Education and Technology* **25/1**, 127–147.
- [166] Banerji, A., Thyssen, C., Pampel, B., Huwer, J. (2021). Naturwissenschaftsunterricht und Informatik – bringt zusammen, was zusammen gehört?! *CHEMKON* **28/6**, 263–265.
- [167] Basu, S., Biswas, G., Sengupta, P., Dickes, A., Kinnebrew, J. S., Clark, D. (2016). Identifying middle school students' challenges in computational thinking-based science learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning* **11/1**, 13.

- [168] Jona, K., Wilensky, U., Trouille, L., Horn, M., Orton, K., Weintrop, D., Beheshti, E. (2014). Embedding computational thinking in science, technology, engineering, and math (CT-STEM). Future directions in computer science education summit meeting, Orlando, FL.
- [169] Knie, L., Standl, B., Schwarzer, S. (2022). First Experiences of Integrating Computational Thinking into a Blended Learning In-Service Training Program for STEM Teachers. *Computer Applications in Engineering Education*, 1–17.
- [170] Aslan, U., LaGrassa, N., Horn, M., Wilensky, U. (2020). Putting the Taxonomy into Practice: Investigating Students' Learning of Chemistry with Integrated Computational Thinking Activities. Annual Meeting of the American Education Research Association (AERA).
- [171] Basu, S., Kinnebrew, J. S., Dickes, A., Farris, A. V., Sengupta, P., Winger, J., Biswas, G. (2012). A science learning environment using a computational thinking approach. 20th International Conference on Computers in Education, ICCE 2012, Singapore, 722–729.
- [172] University of Colorado. PhET interactive Simulations. Simulationen. <https://phet.colorado.edu/de/simulations/browse> (letzter Zugriff am 26.5.2022).
- [173] Girwidz, R., Watzka, B. (2018). Arduino, Raspberry Pi & Co. Alltagsphysik und Messtechnik verstehen mit digitalen Werkzeugen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* **29**/167.
- [174] Pino, H., Pastor, V., Grimalt-Álvaro, C., López, V. (2019). Measuring CO₂ with an Arduino: Creating a Low-Cost, Pocket-Sized Device with Flexible Applications That Yields Benefits for Students and Schools. *Journal of Chemical Education* **96**/2, 377–381.
- [175] Nehring, A., Walkowiak, M. (2016). Ein pH-Meter für den Chemieunterricht selbst anfertigen und programmieren. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* **65**/2, 39–42.
- [176] Falk, A., Pusch, A. (2021). pH-Messung mit dem Arduino. Auslesen einer potentiometrischen pH-Sonde. *MNU Journal* **74**/6, 491–494.
- [177] Kubínová, Š., Šlégr, J. (2015). ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory. *Journal of Chemical Education* **92**/10, 1751–1753.
- [178] Knie, L., Schwarzer, S. (2022). Computational Thinking als Teil einer MINT-Lehrkräftefortbildung im Blended-Learning-Format. (im Druck). *CHEMKON* **29**.
- [179] Wejner, M., Wilke, T. (2019). Low Cost – High Tech: The Digital Measurement System LabPi. *CHEMKON* **26**/7, 294–300.
- [180] Ogegbo, A. A., Ramnarain, U. (2021). A systematic review of computational thinking in science classrooms. *Studies in Science Education*, 1–28.

- [181] Matsumoto, P. S., Cao, J. (2017). The Development of Computational Thinking in a High School Chemistry Course. *Journal of Chemical Education* **94/9**, 1217–1224.
- [182] Scratch. Erstelle Geschichten, Spiele und Animationen. Teile sie mit anderen auf der ganzen Welt. <https://scratch.mit.edu/> (letzter Zugriff am 21.5.2022).
- [183] Weintrop, D., Wilensky, U. (2015). To block or not to block, that is the question. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children*. Bers, M. U., Reville, G. (Hrsg.). ACM, New York, 199–208.
- [184] Kraska, T. (2021). Digitalisierung und informatisches Denken im naturwissenschaftlichen Unterricht der Unterstufe am Beispiel der Papierchromatographie. *CHEMKON* **28/7**, 299–304.
- [185] Hromkovič, J. (2008). *Lehrbuch Informatik*, 1. Aufl. Vieweg + Teubner, Wiesbaden.
- [186] Sommer, K., Venke, S. (2020). Eine Versuchsanleitung visualisieren. Das Flussdiagramm als Veranschaulichungs- und Entscheidungshilfe. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **31/176**, 32–36.
- [187] Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambruch, S., Korb, J. T. (2014). Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education. *ACM Transactions on Computing Education* **14/1**, 1–16.
- [188] Hoppe, H. U., Werneburg, S. (2019). Computational Thinking – More Than a Variant of Scientific Inquiry! In: *Computational Thinking Education*. Kong, S.-C., Abelson, H. (Hrsg.). Springer Open, Singapur, 13–30.
- [189] Weyrich, C. (2010). Gemeinsam stark – über das Zusammenspiel von Unternehmensstiftungen, Unternehmen und gemeinnützigen Organisationen am Beispiel der Siemens Stiftung. In: *Partnerschaften von NGOs und Unternehmen. Chancen und Herausforderungen*, 1. Aufl. Klein, S., Siegmund, K. (Hrsg.). VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 193–205.
- [190] Siemens Stiftung. Stifterin. Werte schaffen, von denen die Gesellschaft profitiert. <https://www.siemens-stiftung.org/stiftung/stifterin/> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [191] Siemens Stiftung. Die Siemens Stiftung im Überblick. <https://www.siemens-stiftung.org/stiftung/> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [192] Siemens Stiftung. Bildung für verantwortungsvolle Mitgestaltung. Naturwissenschaften und Technik lehren, lernen, leben. <https://www.siemens-stiftung.org/wp-content/uploads/import/Dokumente/publikationen/Broschuere-Bildung-Siemens-Stiftung.pdf> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [193] Siemens Stiftung (2021). Experimento Übersicht nach Ländern. Vertraulich.
- [194] Apell, B., Arnold, D., Frie, G., Stäudel, L., Mauch, U., Nerdel, C., Rathgeber, A., Wodzinski, R. (2021). Experimento | 10+. Experimentieranleitungen. Siemens Stiftung.

- [195] Weitzmann, J. H., Spielkamp, M. Wissenswertes über OER.
<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/oer> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [196] Arnold, D., Stäudel, L. (2016). Experimento | 10+. Handreichung für Multiplikatoren. Unveröffentlicht, 3. Aufl.
- [197] Bundesministerium für Bildung und Forschung (2016). Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft. Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Berlin.
- [198] Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S., Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. MNU Journal **72/5**, 358–364.
- [199] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2021). Lehren und Lernen in der digitalen Welt. Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“, Berlin, Bonn.
- [200] mebis-Redaktion (2020). Kompetenzrahmen zur Medienbildung an bayerischen Schulen. <https://www.mebis.bayern.de/p/23407> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [201] Sälzer, C., Reiss, K. (2016). PISA 2015 – die aktuelle Studie. In: PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation. Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E., Köller, O. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 13–44.
- [202] Drossel, K., Eickelmann, B., Schaumburg, H., Labusch, A. (2019). Nutzung digitaler Medien und Prädiktoren aus der Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer im internationalen Vergleich. In: ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Vahrenhold, J. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 205–240.
- [203] Bitkom Research (2019). Smart School – Auf dem Weg zur digitalen Schule.
- [204] Krause, M., Eilks, I. (2015). Lernen über digitale Medien in der Chemielehrerbildung. CHEMKON **22/4**, 173–178.
- [205] Schwarzer, R., Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In: Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen. Beiheft. Jerusalem, M., Hopf, D. (Hrsg.). Beltz, Weinheim, 28–53.
- [206] Bitkom Research (2020). Schüler-Studie zur Digitalisierung der Bildung.
- [207] Bundesministerium für Bildung und Forschung. Was ist der DigitalPakt Schule?
<https://www.digitalpaktschule.de/de/was-ist-der-digitalpakt-schule-1701.html> (letzter Zugriff am 28.5.2022).

- [208] Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., Thyssen, C. (Hrsg.) (2020). Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Joachim Herz Stiftung.
- [209] Maxton-Küchenmeister, J., Meßinger-Koppelt, J. (Hrsg.) (2014). Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Joachim Herz Stiftung Verlag, Hamburg.
- [210] Petko, D. (2020). Einführung in die Mediendidaktik, 2. Aufl. Beltz, Weinheim, Basel.
- [211] Reinmann, G. (2008). Blended Learning in der Lehrerbildung, 3. Aufl. Pabst, Lengerich.
- [212] Redecker, C. (2019). Europäischer Rahmen für die digitale Kompetenz Lehrender. DigCompEdu. Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission.
- [213] Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., Reiss, K. (2017). Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Waxmann, Münster.
- [214] Kerres, M. (2018). Mediendidaktik, 5. Aufl. De Gruyter, Berlin, Boston.
- [215] Weiß, S., Bader, H. J. (2010). Wodurch erwerben Lehrkräfte Medienkompetenz? Auf der Suche nach geeigneten Fortbildungsmodellen. In: Medienkompetenz und Web 2.0, 1. Aufl. Herzig, B., Meister, D. M., Moser, H., Niesyto, H. (Hrsg.). VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 329–346.
- [216] Kerres, M. (2017). Digitalisierung als Herausforderung für die Medienpädagogik: „Bildung in einer digital geprägten Welt“. In: Pädagogischer Mehrwert? Fischer, C. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 85–104.
- [217] Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., Kotzebue, L. von (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In: Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., Thyssen, C. (Hrsg.). Joachim Herz Stiftung, 14–43.
- [218] Schaumburg, H. (2018). Empirische Befunde zur Wirksamkeit unterschiedlicher Konzepte des digital unterstützten Lernens. In: Digitalisierung in der schulischen Bildung. Chancen und Herausforderungen. McElvany, N., Schwabe, F., Bos, W., Holtappels, H. G. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 27–40.
- [219] Herzig, B. (2014). Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? Bertelsmann Stiftung, Gütersloh.
- [220] Koehler, M. J., Mishra, P. (2009). What is Technological Pedagogical Content Knowledge. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education* 9/1, 60–70.
- [221] Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher* 15/2, 4–14.

- [222] Herzig, B., Martin, A. (2018). Lehrerbildung in der digitalen Welt. Konzeptionelle und empirische Aspekte. In: Digitalisierung und Bildung. Ladel, S., Knopf, J., Weinberger, A. (Hrsg.). Springer VS, Wiesbaden, 89–113.
- [223] Schultz-Pernice, F., Kotzebue, L. von, Franke, U., Ascherl, C., Hirner, C., Neuhaus, B., Ballis, A., Hauck-Thum, U., Aufleger, M., Romeike, R., Frederking, V., Krommer, A., Haider, M., Schworm, S., Kuhbandner, C., Fischer, F. (2017). Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern: Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt. *merz – medien + erziehung, Zeitschrift für Medienpädagogik* **61**/4, 65–74.
- [224] Ghomi, M., Redecker, C. (2019). Digital Competence of Educators (DigCompEdu): Development and Evaluation of a Self-assessment Instrument for Teachers' Digital Competence. In: Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Education. SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 541–548.
- [225] Europäische Union (2017). Digitale Kompetenz Lehrender. Joint Research Centre.
- [226] Europäische Union (2022). DigCompEdu Check-In.
<https://ec.europa.eu/eusurvey/pdf/pubsurvey/132740?lang=EN&unique=> (letzter Zugriff am 27.5.2022).
- [227] mebis-Redaktion (2021). DigCompEdu Bavaria – Digitale und medienbezogene Lehrkompetenzen. <https://www.mebis.bayern.de/p/71502> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [228] Ghomi, M., Dictus, C., Pinkwart, N., Tiemann, R. (2020). DigCompEduMINT: Digitale Kompetenz von MINT-Lehrkräften. *k:ON – Kölner Online Journal für Lehrer*innenbildung* **1**/1, 1–22.
- [229] Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J., Becker, S. (2021). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In: Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung. Beißwenger, M., Bulizek, B., Gryl, I., Schacht, F. (Hrsg.). Universitätsverlag Rhein-Ruhr, Duisburg, 77–98.
- [230] Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Kotzebue, L. von (2020). DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. <https://dikolan.de/> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [231] Gesellschaft für Informatik e.V. (2016). Dagstuhl-Erklärung. Bildung in der digital vernetzten Welt, Berlin.
- [232] Reinmann, G. (2011). Blended Learning in der Lehrerausbildung. Didaktische Grundlagen am Beispiel der Lehrkompetenzförderung. *BAK-Vierteljahresschrift SEMINAR*, 7–16.

- [233] Mandl, H., Kopp, B. (2006). Blended Learning: Forschungsfragen und Perspektiven. (Forschungsbericht Nr. 182). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Department Psychologie, Institut für Pädagogische Psychologie.
- [234] Tenorth, H.-E., Tippelt, R. (2007). Beltz Lexikon Pädagogik. Beltz, Weinheim.
- [235] Bachmaier, R. (2011). Fortbildung Online. Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines tutoriell betreuten Online-Selbstlernangebots für Lehrkräfte. Inaugural-Dissertation. Universität Regensburg.
- [236] Petko, D. (2010). Lernplattformen, E-Learning und Blended Learning in Schulen. In: Lernplattformen in Schulen. Ansätze für E-Learning und Blended Learning in Präsenzklassen, 1. Aufl. Petko, D. (Hrsg.). VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 9–28.
- [237] Schäfer, A. M. (2012). Das Inverted Classroom Model. In: Das Inverted Classroom Model. Begleitband zur ersten deutschen ICM-Konferenz. Handke, J., Sperl, A. (Hrsg.). Oldenbourg, München, 3–12.
- [238] Finkenberg, F. (2018). Flipped Classroom im Physikunterricht. Dissertation zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- [239] Ganz, A., Reinmann, G. (2007). Blended Learning in der Lehrerfortbildung – Evaluation einer Fortbildungsinitiative zum Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht. Unterrichtswissenschaft **35/2**, 169–191.
- [240] Reinmann, G., Florian, A., Häuptle, E., Metscher, J. (2009). Wissenschaftliche Begleitung von Blended Learning in der Lehrerfortbildung. Konzept, Methodik, Ergebnisse, Erfahrungen und Empfehlungen am Beispiel „Intel® Lehren – Aufbaukurs Online“. Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat, Münster.
- [241] Köller, O. (2012). What works best in school? Hatties Befunde zu Effekten von Schul- und Unterrichtsvariablen auf Schulleistungen. Psychologie in Erziehung und Unterricht **59/1**, 72–78.
- [242] Knie, L., Sommer, S., Schwarzer, S. (2021). Konzeption und Evaluation einer Blended-Learning-Fortbildung zu Experimento | 10+. In: Unsicherheit als Element von naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021. Habig, S., van Vorst, H. (Hrsg.), 644–647.
- [243] Petko, D., Prasse, D., Reusser, K. (2014). Online-Plattformen für die Arbeit mit Unterrichtsvideos: Eine Übersicht. Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung **32/2**, 247–261.
- [244] Sonnleitner, M., Prock, S., Rank, A., Kirchhoff, P. (2018). Einleitung. In: Video- und Audiografie von Unterricht in der LehrerInnenbildung. Planung und Durchführung aus methodologischer, technisch-organisatorischer, ethisch-datenschutzrechtlicher und

- inhaltlicher Perspektive. Sonnleitner, M., Prock, S., Rank, A., Kirchhoff, P. (Hrsg.). Verlag Barbara Budrich, Opladen, Toronto, 9–17.
- [245] Krammer, K. (2020). Videos in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In: Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Cramer, C., König, J., Rothland, M., Blömeke, S. (Hrsg.). Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 691–699.
- [246] Krammer, K. (2014). Fallbasiertes Lernen mit Unterrichtsvideos in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung **32/2**, 164–175.
- [247] Siemens Stiftung. Inklusiver MINT-Unterricht. Experimentiereinheiten, die alle Lernenden fördern. <https://www.siemens-stiftung.org/projekte/inklusiver-mint-unterricht/> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [248] Behrendt, H. C., Hansen-Behrendt, S. (2021). Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte. Methoden zur Implementierung des Werteaspekts in den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht mit Experimento | 10+. Siemens Stiftung.
- [249] Siemens Stiftung. Werte in Experimento | 10+. <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/1.1.3-werte-in-experimento-10?course=3&page=1.1.3#> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [250] Siemens Stiftung. Inklusion in Experimento | 10+. <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/2.1.7-inklusion-in-experimento-10> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [251] Johannes, F., Knie, L. (2022). Vertiefende Unterrichtseinheit zu Eigenschaften von Tensiden – Station 1: Gestufte Hilfen (digital). <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/experimento-10-c6-haut-und-hygiene-103768> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [252] Johannes, F., Knie, L. (2022). Vertiefende Unterrichtseinheit zu Eigenschaften von Tensiden – Station 1: Gestufte Hilfen (zum Druck). <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/vertiefende-unterrichtseinheit-zu-eigenschaften-von-tensiden-station-1-gestufte-hilfen-zum-druck-113096> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [253] Hambeck, M., Knie, L., Schwarzer, S., Stäudel, L. (2022). C3 Inklusion: Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? –Teilexperiment 2: Verseifung von Speiseöl (gestufte Hilfen). <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/c3-inklusion-wie-zerlegt-die-menschliche-verdauung-fette-teilexperiment-2-verseifung-von-speiseoel-gestufte-hilfen-113570> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [254] Siemens Stiftung. Bedeutung von Algorithmen. <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/3.3.1-bedeutung-von-algorithmen?course=3&page=3.3.1> (letzter Zugriff am 28.5.2022).

- [255] Siemens Stiftung. Experimento | 10+ Methoden und Materialien.
<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/methoden-und-materialien> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [256] Conatex. pH von Getränken.
https://www.conatex.com/media/experiments/VADE/VADE_Chemie_pH_Saefte.pdf
 (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [257] Wörz, F. (2022). Entwurf einer Unterrichtsstunde zur Simulation der Aggregatzustände von Wasser. Ein Beispiel für Computational Thinking im Chemieunterricht. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Eberhard Karls Universität, Tübingen.
- [258] Neff, S., Engl, A., Kauertz, A., Risch, B. (2021). Implementation digitaler Innovationen in der Lehrer*innenbildung am Beispiel des Projekts Open MINT Labs. In: Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung. Beißwenger, M., Bulizek, B., Gryl, I., Schacht, F. (Hrsg.). Universitätsverlag Rhein-Ruhr, Duisburg, 447–458.
- [259] Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In: Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie, 1. Aufl. Mey, G., Mruck, K. (Hrsg.). VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 476–490.
- [260] Lazar, J., Feng, J. H., Hochheiser, H. (2017). Research methods in human-computer interaction, 2. Aufl. Morgan Kaufmann Publishers, Cambridge.
- [261] Henes, L. (2021). Umsetzung von Forschendem Lernen in Form eines Forschungskreises anhand des Experiments Zuckerverbrennung. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Eberhard Karls Universität, Tübingen.
- [262] Martens, M. A., Schwarzer, S. (2022). Digitale Medien im Chemieunterricht: Aufbau professioneller Handlungskompetenzen von Lehramtsstudierenden im Kontext eines Schülerlabors. CHEMKON **29**.
- [263] Siemens Stiftung (2021). Experimento | 8+. Experimentieranleitungen.
- [264] Kopp, B., Mandl, H. (2018). Experimento | 8+ digital-analog: Planung, Konzeption, Realisierung und Evaluation eines Blended Learning Fortbildungskurses für Lehrkräfte in Experimento | 8+. Unveröffentlichter Projektantrag. Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- [265] Döring, N., Bortz, J. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [266] Lüftenegger, M., Schober, B., Spiel, C. (2019). Evaluation und Qualitätssicherung. In: Psychologie für den Lehrberuf. Urhahne, D., Dresel, M., Fischer, F. (Hrsg.). Springer, Berlin, 517–532.

- [267] Schlemmer, D. (2011). Gestaltung von Blended Learning unter emotionalen Gesichtspunkten – WebQuest ein geeigneter Ansatz? Ein Beitrag zum E-Learning-Einsatz in der Lehrerbildung, 1. Aufl. Kovač, Hamburg.
- [268] Thurm, D. (2020). Digitale Werkzeuge im Mathematikunterricht integrieren. Zur Rolle von Lehrerüberzeugungen und der Wirksamkeit von Fortbildungen. Springer Spektrum, Wiesbaden.
- [269] Guski, R., Wichmann, U., Rohrmann, B., Finke, H.-O. (1978). Konstruktion und Anwendung eines Fragebogens zur sozialwissenschaftlichen Untersuchung der Auswirkungen von Umweltlärm. In: Zeitschrift für Sozialpsychologie, Band 9, Heft 1, 1978. Feger, H., Graumann, C. F., Holzkamp, K., Irle, M. (Hrsg.). De Gruyter, Berlin, Boston, 50–65.
- [270] Bürg, O., Mandl, H. (2005). Evaluation eines innovativen E-Learning-Schulungskonzepts in der betrieblichen Weiterbildung eines Pharmaunternehmens. (Praxisbericht Nr. 32). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Department Psychologie, Institut für Pädagogische Psychologie.
- [271] Peter, J., Lechner, N., Mayer, A.-K., Krampen, G. (2015). IEBL – Inventar zur Evaluation von Blended Learning. Leibniz Institut für Psychologische Information und Dokumentation, Elektronisches Testarchiv.
- [272] Barth, U. (2005). Chemischer Experimentalunterricht in der Fächergruppe Physik/Chemie/Biologie: Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Fortbildungskonzepts für Lehrkräfte an der bayerischen Hauptschule. Inaugural-Dissertation. Friedrich-Alexander-Universität, Nürnberg.
- [273] Barth, U., Pfeifer, P. (2009). Lehrerfortbildung im Bereich Chemie – eine Chance für die Unterrichtsentwicklung an der Hauptschule. CHEMKON 16/2, 67–73.
- [274] Lankes, E.-M., Haslbeck, H. (2021). Leitfaden zur Evaluation des Bildungsprogramms Experimento. Siemens Stiftung.
- [275] Krause, M., Pietzner, V., Eilks, I. (2015). Einstellungen und Selbstkonzept von angehenden Lehrkräften zur Nutzung von digitalen Medien im Chemieunterricht. In: Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014. Bernholt, S. (Hrsg.). IPN, Kiel, 681–683.
- [276] Schwarzer, R., Jerusalem, M. (1999). Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen. <http://userpage.fu-berlin.de/%7Ehealth/germscal.htm> (letzter Zugriff am 28.5.2022).
- [277] Martens, M. A. (2022). Didaktische Erschließung von Schülerexperimentierstationen zum Themenfeld moderne Materialien und Konzeption eines universitären Seminars zur

Förderung digitaler Kompetenzen im chemischen Experiment bei Lehramtsstudierenden im Rahmen eines Lehr-Lern-Labor-Settings. Dissertation (angenommen). Ludwig-Maximilians-Universität, München.

- [278] Eickelmann, B., Vahrenhold, J., Labusch, A. (2019). Der Kompetenzbereich „Computational Thinking“: erste Ergebnisse des Zusatzmoduls für Deutschland im internationalen Vergleich. In: ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Vahrenhold, J. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 367–398.
- [279] Busker, M. (2014). Entwicklung eines Fragebogens zur Untersuchung des Fachinteresses. In: Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 269–282.
- [280] Schecker, H. (2014). Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs α . Online-Zusatzmaterial. In: Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- [281] Neuhaus, B., Braun, E. (2007). Testkonstruktion und Testanalyse – praktische Tipps für empirisch arbeitende Didaktiker und Schulpraktiker. In: Kompetenzentwicklung und Assessment. Bayerhuber, H., Elster, D., Krüger, D., Vollmer, H. J. (Hrsg.). StudienVerlag, Innsbruck, Wien, Bozen, 135–159.
- [282] Lücken, M. (2007). „Hat mein neu entwickeltes Unterrichtskonzept den erwünschten Erfolg?“ – Ein Einblick in den Umgang mit statistischen Prüfverfahren in der empirischen Unterrichtsforschung. In: Kompetenzentwicklung und Assessment. Bayerhuber, H., Elster, D., Krüger, D., Vollmer, H. J. (Hrsg.). StudienVerlag, Innsbruck, Wien, Bozen, 109–133.
- [283] Cohen, J. (1977). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Academic Press, New York, San Francisco, London.
- [284] Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021). Internationale Bildungsindikatoren im Ländervergleich, Wiesbaden.
- [285] Richter, D., Becker, B., Hoffmann, L., Busse, J., Stanat, P. (2019). Aspekte der Aus- und Fortbildung von Lehrkräften im Fach Mathematik und in den naturwissenschaftlichen Fächern. In: IQB-Bildungstrend 2018. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich, 1. Aufl. Stanat, P., Schiplowski, S., Mahler, N., Weirich, S., Henschel, S. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 385–410.

- [286] Riese, J., Reinhold, P. (2014). Entwicklung eines Leistungstests für fachdidaktisches Wissen. In: Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 257–268.
- [287] Siemens Stiftung (2021). Bericht zur Evaluation des Bildungsprogramms Experimento | 8+. Ergebnisse, Empfehlungen und Umsetzung der Empfehlungen.
- [288] Waffner, B. (2020). Unterrichtspraktiken, Erfahrungen und Einstellungen von Lehrpersonen zu digitalen Medien in der Schule. In: Bildung im digitalen Wandel. Die Bedeutung für das pädagogische Personal und für die Aus- und Fortbildung. Wilmers, A., Anda, C., Keller, C., Rittberger, M. (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 57–102.
- [289] Faul, F., Erdenfelder, E., Lang, A.-G., Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* **39**/2, 175–191.
- [290] Gebhardt, E., Thomson, S., Ainley, J., Hillman, K. (2019). Gender Differences in Computer and Information Literacy. An In-depth Analysis of Data from ICILS. Springer Open; IEA, Cham.
- [291] Huber, S. G., Günther, P. S., Schneider, N., Helm, C., Schwander, M., Schneider, J. A., Pruitt, J. (2020). COVID-19 und aktuelle Herausforderungen in Schule und Bildung. Waxmann, Münster, New York.
- [292] Román-González, M., Pérez-González, J.-C., Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test. *Computers in Human Behavior* **72**, 678–691.
- [293] Ertugrul-Akyol, B. (2019). Development of Computational Thinking Scale: Validity and Reliability Study. *International Journal of Educational Methodology* **5**/3, 421–432.
- [294] Fischer, S. (2017). Zur Nachhaltigkeit von Lehrerweiterbildung in der Schweiz. *Zeitschrift für Weiterbildungsforschung* **40**/3, 241–259.
- [295] Kaya, E., Yesilyurt, E., Newley, A., Deniz, H. (2019). Examining the Impact of a Computational Thinking Intervention on Pre-service Elementary Science Teachers' Computational Thinking Teaching Efficacy Beliefs, Interest and Confidence. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* **38**/4, 385–392.
- [296] Rehm, M., Bölsterli, K. (2014). Entwicklung von Unterrichtsvignetten. In: Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 213–226.
- [297] Boulden, D. C., Rachmatullah, A., Oliver, K. M., Wiebe, E. (2021). Measuring in-service teacher self-efficacy for teaching computational thinking: development and validation of the T-STEM CT. *Education and Information Technologies* **26**/4, 4663–4689.

[298] Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E., Pekrun, R. (Hrsg.) (2009). PISA-2006-Skalenhandbuch. Waxmann, Münster, New York, München, Berlin.

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
BBC	British Broadcasting Corporation
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CSTA	Computer Science Teachers Association
CT	Computational Thinking
CK	Content Knowledge
CTSiM	Computational Thinking in Simulation and Modeling
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DigComp	European Digital Competence Framework
DigCompEdu	Europäischer Rahmen für die Digitale Kompetenz von Lehrenden
DiKoLAN	Digitale Kompetenzen für Lehramtsstudierende der Naturwissenschaften
DK	Digitalitätsbezogenes Wissen
DPaCK	Digitalitätsbezogenes Pädagogisches und Inhaltliches Wissen
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
DVLfB	Deutscher Verein zur Förderung der Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung
DZLM	Deutsches Zentrum für Lehrerbildung Mathematik
E.P.S.	Education Participation Scale
FF	Forschungsfrage
GDCh	Gesellschaft Deutscher Chemiker
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
FGCU	Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh
FIBS	Fortbildung in bayerischen Schulen
ICILS	International Computer and Information Literacy Study
ISTE	International Society for Technology in Education
IQB	Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen

KMK	Kultusministerkonferenz
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
MNU	Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts
NwT	Naturwissenschaft und Technik
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OER	Open Educational Resources
PCK	Pedagogical Content Knowledge
PK	Pedagogical Knowledge
PhET	Physics Education Technology
RiSU	Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht
SchiLf	Schulinterne Lehrkräftefortbildung
SFU	Sprachsensibler Fachunterricht
STEM	Science, Technology, Engineering, and Mathematics
TCK	Technological Content Knowledge
TK	Technological Knowledge
TPK	Technological Pedagogical Knowledge
TPACK	Technological, Pedagogical, and Content Knowledge
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasen der Lehrkräftebildung in Deutschland (eigene Darstellung)	6
Abbildung 2: Rahmenkonzept zur Untersuchung der Effekte von Lehrkräftefortbildungen nach DESIMONE [37] (eigene Darstellung)	12
Abbildung 3: Ebenen der Wirksamkeit von Lehrkräftefortbildungen (eigene Darstellung nach [8])	13
Abbildung 4: Vereinfachtes Angebots-Nutzungsmodell von Lehrkräftefortbildungen (eigene Darstellung nach [1,40])	14
Abbildung 5: Links: Der Forschungszyklus nach ABELS, LAUTNER & LEMBENS [73], Rechts: Der „Forschungskreislauf“ nach MARQUARDT-MAU [79] (jeweils eigene Darstellung)	22
Abbildung 6: Abstufung von der Exklusion zur Inklusion (eigene Darstellung nach [106] © Siemens Stiftung/Eberhard Karls Universität Tübingen, Didaktik der Chemie)	32
Abbildung 7: Beispiel für die graphische Gestaltung eines Flussdiagramms (eigene Darstellung)	50
Abbildung 8: Das TPACK-Modell nach KOEHLER & MISHRA (Abbildung lizenziert unter CC0)	59
Abbildung 9: DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften [230] © 2020 Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. https://dikolan.de/ . Abbildung lizenziert unter CC BY-SA 4.0.	62
Abbildung 10: Das Dagstuhl-Dreieck der Gesellschaft für Informatik [231], © Beat Döbeli Honegger und Renate Salzmann 2018. Abbildung lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international	63
Abbildung 11: Ablauf der Blended Learning-Fortbildung (eigene Darstellung nach [14])	72
Abbildung 12: Startseite der Online-Anwendung (Screenshot von https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus), © Siemens Stiftung	74
Abbildung 13: Beispiele für interaktive Wendekarten (oben links), eine interaktive Aufzählung (oben rechts) und einen Slider (unten), Screenshots von https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus , © Siemens Stiftung/Eberhard Karls Universität Tübingen, Didaktik der Chemie	75

Abbildung 14: Beispiele für die interaktiven Übungen Drag & Drop (oben links), Multiple-Choice-Aufgabe (oben rechts) und Lückentext (unten), Screenshots von https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus , © Siemens Stiftung/Eberhard Karls Universität Tübingen, Didaktik der Chemie.....	75
Abbildung 15: Ausschnitt aus einem Erklärvideo zu Computational Thinking (Screenshot von https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/3.2.3-videobeispiel-zu-problem-verstehen), © Siemens Stiftung, Urheberin: Lisa Knie.....	76
Abbildung 16: Ausschnitt aus einer im Rahmen von Experimento 10+ videographierten Unterrichtseinheit (Screenshot von https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/1.3.8-videobeispiel-zur-impulsaussage), © Siemens Stiftung/Ludwig-Maximilians-Universität München.....	77
Abbildung 17: Lernprozessbezogene (links) und gegenstandsbezogene (rechts) Werte in Experimento 10+ sowie deren Schnittmenge (eigene Darstellung nach [248]).....	80
Abbildung 18: Der Forschungskreis der Siemens Stiftung, © Siemens Stiftung.....	80
Abbildung 19: Ausschnitt aus den gestuften Hilfen zum Thema „Verseifung von Speiseöl“ als Beispiel für gestufte Hilfen in Experimento 10+ [253], © Siemens Stiftung, Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.....	84
Abbildung 20: Der Forschungskreis der Siemens Stiftung und CT; ausgewählte inhaltliche Verbindungen sind beispielhaft durch die grünen Pfeile dargestellt [178], © Siemens Stiftung; verändert.	86
Abbildung 21: Interaktive Programmierübung in Experimento 10+ (Screenshot von https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/3.3.5-aufgabenstellung?level=2), © Siemens Stiftung, unter Verwendung von Programmbibliotheken von code.org, 2015; Avatargestaltung: Spleen Advertising GmbH, Hintergrundgrafik: Monika Klimke.....	88
Abbildung 22: Versuchsaufbau des Selbstbau-pH-Meters mit Display (links: realer Aufbau, rechts: schematische Zeichnung, erstellt mit der Open-Source-Software Fritzing)	89
Abbildung 23: Beispielhafter Ausschnitt aus einer mit Scratch erstellten Simulation der Aggregatzustände von Wasser [257] (Screenshots von https://scratch.mit.edu/projects/631152655/), © Scratch, lizenziert unter CC BY-SA 2.0.	92

Abbildung 24: Zwei Lehrkräfte führen während einer Fortbildung unter Corona-Bedingungen in Zweierarbeit ein Experiment zum Thema „Energie“ durch (eigene Aufnahme).....	96
Abbildung 25: Beispielhafte Abbildungen zu Experimenten aus Experimento 10+ [194] © Siemens Stiftung 2021, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.	102
Abbildung 26: Ausschnitt aus einer Experimentieranleitung für Schülerinnen und Schüler aus Experimento 10+ [194], © Siemens Stiftung 2021, Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.....	103
Abbildung 27: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Experimentieranleitung für Schülerinnen und Schüler zu Experimento 8+ [263] © Siemens Stiftung 2021. Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international.	104
Abbildung 28: Überblick über den Verlauf der Konzeption und Erprobung der Experimento 10+ Fortbildung (eigene Darstellung).....	108
Abbildung 29: Veranstaltungsorte der Fortbildungen (SchiLf in Rot dargestellt, Fortbildungen mit Teilnehmenden aus unterschiedlichen Schulen in Grün), eigene Darstellung.....	109
Abbildung 30: Messzeitpunkte der Begleitforschung im Fortbildungsverlauf (eigene Darstellung).....	114
Abbildung 31: Zufriedenheit mit den allgemeinen Bedingungen der Fortbildung (Angaben im Diagramm in absoluten Zahlen, Balkenlänge spiegelt prozentualen Anteil wider)	127
Abbildung 32: Zufriedenheit mit den Inhalten der Fortbildung allgemein.....	127
Abbildung 33: Zufriedenheit mit ausgewählten Inhalten aus Experimento 10+	128
Abbildung 34: Beurteilung der Nutzungsfreundlichkeit der Online-Anwendung durch die teilnehmenden Lehrkräfte.....	129
Abbildung 35: Beurteilung der inhaltlichen Verständlichkeit der Online-Module durch die teilnehmenden Lehrkräfte.....	130
Abbildung 36: Beurteilung der Aufbereitung und Wirkung der Unterrichtsvideos durch die teilnehmenden Lehrkräfte.....	130
Abbildung 37: Inhaltliche Zufriedenheit mit den Online-Modulen	132
Abbildung 38: Zufriedenheit mit dem Blended Learning-Setting	134
Abbildung 39: Einstellungen zu Schülerexperimenten im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich	136

Abbildung 40: Selbstberichtete Kenntnisse über das Konzept des Forschenden Lernens im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich.....	137
Abbildung 41: Von den Lehrkräften angegebene Gründe, die gegen den Einsatz von Experimento 10+ gesprochen haben (Mehrfachnennungen möglich)	138
Abbildung 42: Medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich	139
Abbildung 43: Einstellungen zu digitalen Medien im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich.....	140
Abbildung 44: Digitale Kompetenz in Anlehnung an den DigCompEdu [226] im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich.....	141
Abbildung 45: Spezifische Medienkompetenzen im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich	141
Abbildung 46: Kenntnisse über Wertebildung der Interventions- und der Kontrollgruppe im Vergleich	144
Abbildung 47: Kenntnisse zur inklusiven und sprachsensiblen Gestaltung der Interventions- und der Kontrollgruppe im Vergleich	147
Abbildung 48: Selbstberichtete Kenntnisse der Treatmentgruppe über CT im Prä-, Post-, Follow-Up-Vergleich	149
Abbildung 49: Experimento 10+ auf Ebene der Schülerinnen und Schüler	152

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Merkmale wirksamer Lehrkräftefortbildungen nach LIPOWSKY & RZEJAK 2021 [4].....	11
Tabelle 2: Stufen des Forschenden Lernens nach BLANCHARD ET AL. [80] (eigene Darstellung, übersetzt in Anlehnung an [81])	23
Tabelle 3: Das 5E Modell von BYBEE (eigene Darstellung nach [70,84]).....	25
Tabelle 4: Denkstufen und -phasen des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens (eigene Darstellung nach [55,85]).....	26
Tabelle 5: Denkschritte von Computational Thinking [148]	44
Tabelle 6: Werte in Experimento 10+ [249].....	79
Tabelle 7: In Experimento 10+ thematisierte Differenzierungsmaßnahmen	83
Tabelle 8: Benötigte Materialien für das Selbstbau-pH-Meter	89
Tabelle 9: Programm der Präsenzphasen der neu konzipierten Experimento 10+ Lehrkräftefortbildung – Tag 1.....	95
Tabelle 10: Programm der Präsenzphasen der neu konzipierten Experimento 10+ Lehrkräftefortbildung – Tag 2.....	95
Tabelle 11: Experimente zum Themengebiet „Energie“ in Experimento 10+ [194].....	99
Tabelle 12: Experimente zum Themengebiet „Umwelt“ in Experimento 10+ [194]	100
Tabelle 13: Experimente zum Themengebiet „Gesundheit“ in Experimento 10+ [194]	101
Tabelle 14: In den Fragebögen erfasste Merkmale.....	116
Tabelle 15: Interne Konsistenz der verwendeten Skalen	121

Anhang

Inhalt:

1. Fragebogen zur Evaluation der Online-Anwendung von Experimento | 10+
2. Prä-Fragebogen (Abschrift der elektronischen Version)
3. Post-Fragebogen (Abschrift der elektronischen Version)
4. Follow-Up-Fragebogen (Abschrift der elektronischen Version)
5. Anleitung für Lehrkräfte zur Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino
6. Anleitung für Schülerinnen und Schüler zur Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

Anhang 1: Fragebogen zur Evaluation der Online-Anwendung von Experimento | 10+

Fragebogen zur Evaluation Experimento | 10+

1. Dimension: Akzeptanz

- a. Wie hat dir die Bearbeitung der Module gefallen? (sehr gut, weniger?)
- b. Wie gefällt dir die digitale Lerneinheit?
- c. Inwieweit beeinflusste die Didaktik die Motivation, weiter zu lernen?
- d. Welche Teile waren spannend, welche weniger spannend?
- e. Würdest du diese Art der Fortbildung weiterempfehlen?
- f. Würdest du Experimento im Unterricht einsetzen?

2. Dimension: Benutzungsfreundlichkeit

- a. Wie hast du die Bedienung der digitalen Lernumgebung empfunden? (leicht, mittel)
- b. Wie hat dir die Lernumgebung gefallen, u. a. Farbgebung, die Anordnung der Navigationsleiste, die grafische Aufbereitung, die Buttons etc.?
- c. Konntest du dich intuitiv zurechtfinden?
- d. Welche Verbesserungsvorschläge hast du?

3. Dimension: Wissensvermittlung

- a. Waren die Inhalte verständlich?
- b. An was kannst du dich noch erinnern?
- c. Konntest du dein Fachwissen zum Thema Forschendes Lernen/Forschungskreis vertiefen/erweitern?
- d. Konntest du dein Fachwissen zum Thema Wertebildung/*Inklusion/Umgang mit Heterogenität/SFU/Computational Thinking* vertiefen/erweitern?
- e. Ist der Zusammenhang zwischen Experimento und Wertebildung/*Inklusion/Computational Thinking* klar geworden?
- f. Gibt es Inhalte, die zu lang oder überflüssig sind oder welche, die fehlen?
- g. Waren die Aufgaben vor den Videos und am Ende der Kapitel hilfreich?
- h. Wenn ja, inwiefern?

4. Dimension: Didaktische und mediale Aufbereitung

- a. War die inhaltliche Struktur der Module und Kapitel klar?
- b. Halfen die interaktiven Elemente, die Motivation zu lernen aufrecht zu erhalten?
- c. Halfen die Videos, den Zusammenhang zwischen Lerninhalten und Unterricht, zu verdeutlichen?
- d. Ist dir bei der didaktischen/mediale Aufbereitung etwas besonders aufgefallen? (besonders gut oder schlecht?)
- e. Welche medialen Elemente sollten verändert werden?
- f. Gibt es etwas, das wir tun können, um die Lerneinheit attraktiver zu gestalten?

Welche Verbesserungsvorschläge gibt es?

Gibt es sonst noch Anmerkungen?

Erstellt von Prof. Dr. Birgitta Kopp und Prof. Dr. Heinz Mandl.

Vorgenommene Änderungen sind *kursiv* gedruckt.

Anhang 2: Prä-Fragebogen

³Liebe Lehrkräfte,

bevor Sie mit der Online-Phase der Fortbildung Experimento | 10+ starten, möchte ich Sie bitten, den folgenden Fragebogen zu beantworten. Dies wird voraussichtlich etwa **30 Minuten** in Anspruch nehmen.

Der Fragebogen wird im Rahmen meines von der Siemens Stiftung geförderten Promotionsprojektes bei Prof. Dr. Stefan Schwarzer wissenschaftlich ausgewertet. Unser Ziel ist es, diese **Fortbildung weiter zu verbessern** und auf **Ihre Bedürfnisse anzupassen**. Dazu möchten wir Sie vorab zu Ihren Einstellungen und Erfahrungen befragen.

Bitte unterstützen Sie mich, indem Sie die Fragen ehrlich, sorgfältig und vollständig beantworten. Für das Gelingen meiner Promotion und die Weiterentwicklung der Fortbildung bin ich auf Ihre Rückmeldung angewiesen!

Ich danke Ihnen vielmals für Ihre Mithilfe! Wenn Sie an allen drei Befragungszeitpunkten mitwirken, wartet am Ende ein kleines **Dankeschön** auf Sie.

Herzliche Grüße

Lisa Knie und Prof. Dr. Stefan Schwarzer

Datenschutzhinweis: Die nachfolgende Erhebung Ihrer Daten erfolgt pseudonymisiert. Für die Auswertung der Fragebögen ist es wichtig, erkennen zu können, welche Fragebögen von derselben Person ausgefüllt wurden. Dazu werden die Antworten und Ergebnisse unter einem von Ihnen selbst erstellten Code gespeichert. Ein Rückschluss von dem Code auf Ihre Person findet nicht statt. Ihre Angaben im Fragebogen werden vertraulich behandelt. Außer den von Ihnen angegebenen Daten werden keine weiteren Daten erhoben. Sie können jederzeit die Löschung, Berichtigung oder Einschränkung der Verarbeitung der unter einem bestimmten Code eingegebenen Daten verlangen. In diesen Fällen wenden Sie sich bitte an den zuständigen Datenschutzbeauftragten (didaktik@cup.lmu.de).

Weitere Informationen finden Sie in den **Datenschutzhinweisen** der Siemens Stiftung.

³ Hinweis: Es handelt sich bei allen Fragebögen um die Abschrift der elektronischen Version.

Ihr persönlicher Code

Die Erhebung Ihrer Daten erfolgt vollständig anonymisiert, d. h. an keiner Stelle wird Ihr Name erfragt. Dennoch ist es wichtig, dass die Fragen bei der Auswertung einem Fragebogen eindeutig zugeordnet werden können. Dazu werden die Antworten und Ergebnisse unter einem von Ihnen selbst erstellten Code gespeichert.

Bitte gehen Sie für die Erstellung Ihres persönlichen Codes nach dem folgenden

Schema vor:

- 1) Zweiter Buchstabe des Vornamens des Vaters
- 2) Dritter Buchstabe des Vornamens der Mutter
- 3) Erster Buchstabe des Vornamens der Großmutter väterlicherseits
- 4) Erster Buchstabe des eigenen Geburtsorts
- 5) Eigener Geburtsmonat, z. B. 03 für März oder 11 für November

Allgemeine Angaben

Bitte machen Sie zunächst einige Angaben zu Ihrer Person:

Ihr Alter: _____ Jahre

Ihr Geschlecht: männlich weiblich divers

In welchem Bundesland sind Sie tätig?

An welcher Schulart unterrichten Sie?

Wie lange sind Sie (inkl. Referendariat) im Schuldienst tätig? _____ Jahre

Momentane Stundenverpflichtung⁴: _____

Welche Fächer unterrichten Sie? _____

Haben Sie Lehramt studiert? ja nein, sondern _____

Haben Sie schon einmal an einer Experimento-Fortbildung teilgenommen?
 nein ja, und zwar _____

Erwartungen an die Fortbildung

Wie hoch ist Ihr Interesse an den während der Fortbildung angebotenen Elementen?

sehr gering – gering – moderat – hoch – sehr hoch

- Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht
- Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht
- Computational Thinking

Welche zwei der folgenden Elemente werden bei Ihrer Fortbildung tatsächlich behandelt?

- Wertebildung
- Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht
- Computational Thinking

Welche Erwartungen haben Sie an die Fortbildung zu Experimento | 10+?

⁴ Dieses Item wurde im Zuge der Fragebogenrevision hinzugefügt.

1. Lehrerfortbildungsmotivation⁵

nach RZEJAK ET AL. [9]

Nr.	Grundsätzlich nehme ich an Fortbildungen teil, weil ... <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
Skala: Soziale Interaktion	
1.01	ich Kontakte zu Kolleginnen und Kollegen an anderen Schulen pflegen kann.
1.02	ich den kollegialen Austausch suche.
Skala: Externale Erwartungsanpassung	
1.03	ich im Kollegium nicht unangenehm auffallen will.
1.04	ich dazu verpflichtet bin.
Skala: Karriereorientierung	
1.05	ich meine Aufstiegschancen erhöhen kann.
1.06	ich auf eine höhere Gehaltsstufe kommen möchte.
Skala: Entwicklungsorientierung	
1.07	ich dort Anleitungen zur Lösung von Problemen im Schulalltag erwarte.
1.08	ich mich für methodisch-didaktische Innovationen interessiere.
1.09	<i>ich meinen Unterricht nach dem neuesten pädagogischen und didaktischen Forschungsstand ausrichten will.⁶</i>

⁵ Die Abschrift der Online-Fragebögen wurde jeweils um die Skalendokumentation ergänzt.

⁶ Dieses Item wurde im Zuge der Fragebogenrevision hinzugefügt, da die Skala „Entwicklungsorientierung“ ein geringes Cronbachs α aufwies. Allerdings trug dies nicht – wie erwartet – zur Steigerung der Reliabilität bei, sodass das Item bei den Auswertungen nicht berücksichtigt wurde.

2. Motive zur Nicht-Teilnahme⁷

nach RICHTER, RICHTER & MARX [43]; ergänzt durch eigene sowie von KRILLE [42] und BACHMAIER [235] genannte Aspekte

Nr.	Wenn ich mich in letzter Zeit dagegen entschieden habe, an Fortbildungen teilzunehmen, dann lag das daran, dass ... <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu⁸</i>
Skala: Disengagement	
2.01	die angebotenen Fortbildungen für mich uninteressant sind.
2.02	mich eine gewisse Bequemlichkeit von der Teilnahme abgehalten hat.
Skala: Qualitätsmangel	
2.03	die Fortbildungen von schlechter Qualität sind.
2.04	die Fortbildungen nicht auf die Bedürfnisse von Lehrkräften abgestimmt sind.
Skala: Familie	
2.05	die Teilnahme an Fortbildungen die Zeit mit meiner Familie einschränkt.
2.06	die Doppelbelastung Beruf und Familie sowieso schon so groß ist.
Kosten	
2.07	die anfallenden Kosten nicht von der Schulleitung erstattet werden.
Skala: Arbeit	
2.08	ich keinen Unterricht für Fortbildungen ausfallen lassen möchte.
2.09	die verfügbaren Angebote sich nicht mit meinen Arbeitszeiten vereinbaren lassen.
2.10	meine Schulleitung selten eine Freistellung für Fortbildungen ermöglicht.
Sonstiges	
2.11	die Fortbildung aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie entfallen ist.
2.12	Weitere Gründe

⁷ Die Abfrage der Motive zur Nicht-Teilnahme wird in den Auswertungen nicht weiter berücksichtigt, da keine entsprechende Kontrollgruppe vorhanden war, die sich nicht für die Teilnahme an der Experimento | 10+ Fortbildung entschieden hatte und anhand derer sich somit aussagekräftige Rückschlüsse hinsichtlich der möglichen Hinderungsgründe bezüglich des Fortbildungsbesuchs hätten ziehen lassen können.

⁸ In erster Version, wie bei RICHTER, RICHTER & MARX (2018) noch: *gar nicht einflussreich – eher nicht einflussreich – teils teils – eher einflussreich – sehr einflussreich*

Allgemeiner Wissenszuwachs

Wie schätzen Sie selbst Ihre Kenntnisse über folgende Themen ein?

sehr gering – gering – moderat – hoch – sehr hoch

- Kenntnisse über OER (Open Educational Resources)
- Kenntnisse über das Konzept des forschenden Lernens
- Kenntnisse über die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung
- Kenntnisse über Computational Thinking
- Kenntnisse über Methoden zum Umgang mit Heterogenität
- Kenntnisse über Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht

Inwiefern stimmen Sie folgenden Aussagen zu?

stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu

- Ich weiß, wie ich Wertebildung in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren kann.
- Ich kenne zahlreiche Möglichkeiten, meinen Unterricht inklusiv und sprachsensibel zu gestalten.
- Ich weiß, wie ich Computational Thinking bei meinen Schülerinnen und Schülern fördern kann.

3. Einstellungen zu (Schüler-)Experimenten

nach BARTH [272,273]

Nr.	Beurteilen Sie bitte die folgenden Aussagen zu Schülerexperimenten <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
Skala: Persönliche Einstellungen⁹	
3.2	Durch Schülerexperimente werden fachliche Inhalte besser vermittelt.
3.3	Der Unterricht macht Schülerinnen und Schülern mehr Spaß, wenn sie selbst experimentieren können.
3.5	Bei der Durchführung von Schülerexperimenten fühle ich mich überfordert. * ¹⁰
3.8	Schülerexperimente bieten keine Vorteile gegenüber Demonstrationsexperimenten. *
Skala: Äußere Umstände	
3.1	Der Aufwand zur Vor- bzw. Nachbereitung von Schülerexperimenten ist viel zu hoch.
3.4	Durch die Fülle des Lernstoffs bleibt zu wenig Zeit für Schülerexperimente.
3.6	Wenn ich die passenden Experimentiermaterialien hätte, würde ich gerne öfter Schülerexperimente durchführen.
3.7	Für die Durchführung von Schülerexperimenten sind die Klassenstärken zu hoch.

Wie oft führen Sie Experimente in Ihrem Unterricht durch?

fast nie – mindestens einmal im Halbjahr – mindestens einmal im Monat – mindestens einmal pro Woche – in fast jeder Stunde

- Schülerexperimente
- Demonstrationsexperimente

Wählen Sie bitte die Aussagen¹¹, die Ihre derzeitige Praxis am besten widerspiegeln.

Wenn ich Experimente in meinem Unterricht einsetze, dann ...

nie – selten – gelegentlich – oft – immer

- führe ich sie selbst vor (Demonstrationsexperiment).
- führt ein Schüler/eine Schülerin das Experiment vor (Schülerdemonstrationsexperiment).
- führen die Schülerinnen und Schüler das Experiment in Gruppen durch.
- führen die Schülerinnen und Schüler das Experiment in Partnerarbeit durch.

⁹ Die beiden Subskalen wurden im Nachgang eingefügt, da die Gesamtskala ein unzureichendes Cronbachs α aufwies. Eine explorative Faktorenanalyse (Maximum Likelihood) deutet auf zwei Faktoren hin. Die Benennung der beiden Faktoren erfolgte anhand inhaltlicher Überlegungen.

¹⁰ Mit * gekennzeichnete Items wurden für weitere statistische Berechnungen umgepolt.

¹¹ In der ersten Version des Fragebogens noch: „Wählen Sie bitte die Aussage ...“ (Singular). Zur besseren Verständlichkeit geändert.

4. Einsatz von Forschendem Lernen

nach LANKES & HASLBECK [274]

Nr.	In meinem naturwissenschaftlichen Unterricht ... <i>nie – selten – gelegentlich – oft – immer</i>
4.1	entwickeln die Schülerinnen und Schüler selbstständig eine Forschungsfrage.
4.2	stellen die Schülerinnen und Schüler eigene Hypothesen und Vermutungen auf.
4.3	planen die Schülerinnen und Schüler die Schritte eines Experiments selbstständig.
4.4	dürfen die Schülerinnen und Schüler frei experimentieren und ausprobieren.
4.5	interpretieren die Schülerinnen und Schüler die Ergebnisse eines Experiments selbstständig.
4.6	<i>thematisiere ich explizit den Forschungskreis/Forschungszyklus.¹²</i>

¹² Dieses Item wurde nach Auswertung der offenen Antwortfelder aufgrund von Verständnisschwierigkeiten entfernt.

5. Medienbezogene Selbstwirksamkeitserwartung

nach KRAUSE & EILKS [204,275], SCHWARZER & JERUSALEM [276] und MARTENS [277]

Nr.	Schätzen Sie Ihre Kompetenz im Umgang mit digitalen Medien ein: <i>stimmt nicht – stimmt eher nicht – teils teils – stimmt eher – stimmt genau</i>
5.1	Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele im Unterricht mit Hilfe digitaler Medien zu verwirklichen.
5.2	Wenn Probleme beim Einsatz digitaler Medien auftauchen, finde ich schnell eine Lösung.
5.3	Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, mich auf neue Anwendungen von digitalen Medien einzustellen.
5.4	Auch wenn beim Umgang mit digitalen Medien etwas Überraschendes passiert, werde ich schon zurechtkommen.
5.5	Ich befürchte, dass ich mich überfordert fühle, wenn ich digitale Medien im Unterricht einsetzen soll. *
5.6	<i>Ich glaube, dass ich meinen Unterricht mit digitalen Medien abwechslungsreicher gestalten kann.¹³</i>
5.7	Der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht ist für mich so selbstverständlich, dass ich darüber kaum noch nachdenke.
5.8	Ich kann mir kaum vorstellen, digitale Medien didaktisch gewinnbringend im Unterricht einzusetzen. *

¹³ Dieses Item wurde in der zweiten Fragebogen-Version entfernt, da es eine zu geringe Trennschärfe und eine zu hohe Itemschwierigkeit aufwies. Die Faktorenanalyse bestätigt, dass bei Entfernen des Items – wie erwartet – nur noch ein Faktor (statt zwei) mit einer erklärten Gesamtvarianz von 46 % bestehen bleibt.

6. Medienkompetenz

nach DigCompEdu Check-In [226], mit Anpassungen wie von GHOMI ET AL. [228] vorgeschlagen

Nr.	<i>Wählen Sie bitte die Aussage, die Ihre derzeitige Praxis am besten widerspiegelt.</i>
Kompetenzbereich Digitale Ressourcen	
6.1	<p>Ich nutze verschiedene Internetseiten und Suchstrategien, um verschiedene digitale Ressourcen für meinen MINT-Fachunterricht zu finden und auszuwählen:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Ich nutze nur selten das Internet, um digitale Ressourcen für den Unterricht zu finden.○ Ich benutze Suchmaschinen und Bildungsplattformen, um relevante digitale Ressourcen (z. B. fachspezifische digitale Anwendungen, digitale Arbeitsblätter, Lern-/Erklärvideos, Animationen, Simulationen, Messprogramme, virtuelle Versuche/Experimente) zu finden.○ Ich bewerte und wähle digitale Ressourcen (z. B. fachspezifische digitale Anwendungen, usw.) aufgrund ihrer Eignung für meinen Unterricht (unter Berücksichtigung von Lernzielen, Kontext, Lerngruppe, didaktisches Konzept, IT-Infrastruktur der Schule) aus.○ Ich vergleiche digitale Ressourcen (z. B. fachspezifische digitale Anwendungen, usw.) anhand einer Reihe relevanter Kriterien, z. B. Zuverlässigkeit, Qualität, Passform, Design, Interaktivität, Attraktivität, Datenschutz, Urheberrecht.○ Ich reflektiere den Einsatz digitaler Ressourcen (z. B. fachspezifische digitale Anwendungen usw.) in meinem Unterricht berate Kolleginnen und Kollegen zu geeigneten Ressourcen und Suchstrategien.
6.2	<p>Ich erstelle meine eigenen digitalen Ressourcen und modifiziere bestehende, um sie für meinen MINT-Fachunterricht anzupassen:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Ich erstelle keine eigenen digitalen Ressourcen.○ Ich erstelle für mein MINT-Fach digitale Arbeitsblätter mit einem Computer, aber dann drucke ich sie aus.○ Ich erstelle für mein MINT-Fach einfache Texte, Tabellen und Präsentationen mit Office-Anwendungen, aber nicht viel mehr.○ Ich erstelle verschiedene Arten von digitalen Ressourcen (z. B. digitale Präsentationen, digitale Arbeitsblätter, digitale Messwerttabellen, digitale Diagramme, Lernvideos, Animationen) für mein MINT-Fach.○ Ich erstelle und modifiziere komplexe, interaktive digitale Ressourcen (z. B. interaktive Arbeitsblätter, Simulationen, (Lern-)Programme,

	Applikationen, interaktive Lernvideos, virtuelle Labore) unter Berücksichtigung von Urheberrechten für mein MINT-Fach.
Kompetenzbereich Lehren & Lernen	
6.3	<p>Ich überlege sorgfältig, wie, wann und warum ich digitale Medien in meinem MINT-Fach einsetze, um sicherzustellen, dass sie didaktisch sinnvoll genutzt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Ich verwende digitale Medien nicht oder nur selten im Unterricht. ○ Ich verwende die verfügbare Ausstattung mit den elementaren Funktionen, z. B. digitale Whiteboards oder Beamer. ○ Ich verwende eine Vielzahl von digitalen Ressourcen (z. B. digitale Präsentationen, digitale Arbeitsblätter, digitale Messwerttabellen, digitale Diagramme, Erklärvideos, Animationen) und fachspezifische digitale Geräte (z. B. digitale Messinstrumente) in meinem MINT-Unterricht. ○ Ich nutze systematisch bestimmte digitale Ressourcen (z. B. digitale Präsentationen usw.) und fachspezifische digitale Geräte (z. B. digitale Mesinstrumente), um meinen MINT-Unterricht zu verbessern. ○ Ich setze digitale Medien (digitale Ressourcen und Geräte) ein, um innovative didaktische Strategien und Methoden (z. B. Flipped Classroom, virtuelles Labor zum Experimentieren, digitale Datenerfassung und -auswertung) zu testen, dabei auch stets zu evaluieren und bei Bedarf flexibel anzupassen.
6.4	<p>Wenn die Schülerinnen und Schüler im MINT-Unterricht in Gruppen arbeiten, nutzen sie digitale Medien, um Erkenntnisse zu erwerben und zu dokumentieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Nicht zutreffend: Meine Schülerinnen und Schüler arbeiten nicht in Gruppen. ○ Nicht zutreffend: Es ist mir nicht möglich, digitale Medien in Gruppenarbeiten zu integrieren. ○ Ich ermutige Schülerinnen und Schüler in Gruppenarbeiten online nach Informationen zu recherchieren oder ihre Ergebnisse in einem digitalen Format zu präsentieren. ○ Ich erwarte, dass meine Schülerinnen und Schüler für die Gruppenarbeit das Internet nutzen, um Informationen zu recherchieren und ihre Ergebnisse in einem digitalen Format zu präsentieren. ○ Meine Schülerinnen und Schüler nutzen eine Online-Lernumgebung für ihre Zusammenarbeit in Gruppen.

Kompetenzbereich Lernorientierung	
6.5	<p>Ich nutze digitale Medien im MINT-Unterricht, um meinen Schülerinnen und Schülern individualisierte Lernmöglichkeiten zu bieten,</p> <p>z. B. gebe ich Schülerinnen und Schülern unterschiedliche digitale Arbeitsaufträge, um auf individuelle Lernbedürfnisse, Präferenzen und Interessen einzugehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ In meinem Arbeitsumfeld müssen alle Lernenden die gleichen Aufgaben lösen und Arbeiten verfassen, unabhängig von ihrem Niveau. ○ Ich mache individuelle Empfehlungen für zusätzliche Lernressourcen. ○ Ich biete optionale digitale Aktivitäten für diejenigen an, die fortgeschritten sind oder Wiederholungsbedarf haben. ○ Ich biete entsprechend der jeweiligen Lernbedürfnisse und Interessen individuell unterschiedliche Aufgaben an. ○ Ich passe meinen Unterricht systematisch an, um individuellen Lernbedürfnissen, Präferenzen und Interessen Rechnung zu tragen.
Kompetenzbereich Förderung digitaler Kompetenz der Schülerinnen und Schüler	
6.6	<p>Ich vermittele meinen Schülerinnen und Schülern im MINT-Unterricht, wie man digitale Medien sicher und verantwortungsbewusst einsetzt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Das ist in meinem Fachgebiet oder Arbeitsumfeld nicht möglich. ○ Ich informiere sie, dass sie vorsichtig sein müssen, wenn sie persönliche Informationen online weitergeben. ○ Ich erkläre die Grundregeln für sicheres und verantwortungsvolles Handeln in Online-Umgebungen. ○ Wir diskutieren und vereinbaren Verhaltensregeln. ○ Ich überprüfe, ob die Schülerinnen und Schüler die bestehenden gemeinsam vereinbarten Regeln systematisch anwenden.

7. Experimento-spezifische Kompetenzen

z. T. umformulierte Kompetenzerwartungen aus „Bildung in der digitalen Welt“ [3]

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu</i>
Spezifische Medienkompetenzen	
7.1	Ich kann digitale Medien einsetzen, um das Lernen effektiver und förderlicher zu gestalten und komplexe Sachverhalte zu veranschaulichen.
7.2	Ich kann digitale Medien bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten einsetzen, z. B. zur Messwerterfassung oder zur Vertiefung des Verständnisses.
7.3	Ich kann Open Educational Resources finden, herunterladen, verändern und teilen.
7.4	Ich kann Open Educational Resources rechtssicher verwenden.
7.7	Ich kann digitale Inhalte in verschiedenen Formaten bearbeiten, zusammenführen, präsentieren oder teilen, z. B. Unterrichtsmaterialien.
7.8	Ich kenne eine Vielzahl digitaler Werkzeuge.
Kompetenzen im Bereich Computational Thinking¹⁴	
7.5	Ich kann algorithmische Strukturen (z. B. Programmiercode) in genutzten digitalen Tools grundsätzlich nachvollziehen.
7.6	Ich kann eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems planen und verwenden.

¹⁴ Subskala wurde im Nachhinein hinzugefügt, da die Faktorenanalyse zeigt, dass das Konstrukt aus zwei Skalen besteht.

8. Einstellungen zu digitalen Medien

nach KRAUSE & EILKS [204,275]

Hinweis¹⁵ für die Beantwortung der nachfolgenden Fragen: Denken Sie bei „digitalen Medien“ vor allem an digitale Unterrichtsmaterialien wie Animationen oder digitale Arbeitsblätter unter Verwendung der dafür notwendigen technischen Geräte wie z. B. Tablets.

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu</i>
Skala: Einstellungen zu digitalen Medien im Unterricht im Allgemeinen	
8.1	Digitale Medien sind eine große Hilfe für effektiveres Lernen.
8.2	Digitale Medien sollten mit Vorsicht eingesetzt werden, da sie häufig nicht förderlich für den Lernprozess sind. *
8.3	Die Bedeutung von digitalen Medien für das Lernen wird überschätzt. *
8.4	<i>Digitale Medien können helfen, den Unterricht attraktiver zu gestalten.¹⁶</i>
Skala: Einstellungen zu digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht	
8.5	Digitale Medien haben viel Potenzial, das Lernen wichtiger Aspekte der Naturwissenschaften zu unterstützen.
8.6	In den Naturwissenschaften sind schon Experimente üblich. Wenn dann auch noch digitale Medien eingesetzt werden, wird dies zu aufwendig. *
8.7	Es gibt Inhalte in den Naturwissenschaften, die man mit kaum einem anderen Medium so gut darstellen kann, wie mit digitalen Medien.
8.8	<i>Ich befürchte, dass durch digitale Medien das Experimentieren im Unterricht zurückgedrängt wird. *¹⁷</i>

¹⁵ Dieser Hinweis wurde im Zuge der Fragebogenrevision eingefügt.

¹⁶ Dieses Item wurde in der zweiten Fragebogen-Version entfernt, da es in der Itemanalyse unzureichende Kennwerte aufwies.

¹⁷ Dieses Item wurde in der zweiten Fragebogen-Version entfernt, um die Reliabilität der Skala zu steigern.

Häufigkeit der Nutzung digitaler Medien

Wählen Sie bitte die Aussagen¹⁸, die Ihre derzeitige Praxis am besten widerspiegeln.

- Wie oft nutzen Sie digitale Medien in Ihrer Freizeit?
- Wie oft nutzen Sie digitale Medien im Unterricht?

*sehr selten – mindestens einmal pro Woche – mindestens 3 Tage pro Woche – jeden Tag –
mehrmals täglich¹⁹*

Wie bewerten Sie die digitale Ausstattung Ihrer Schule?²⁰

sehr schlecht – schlecht – weder gut noch schlecht – gut – sehr gut

¹⁸ In der ersten Version des Fragebogens noch: „Wählen Sie bitte die Aussage ...“ (Singular). Zur besseren Verständlichkeit geändert.

¹⁹ In der ersten Fragebogen-Version noch: *nie – sehr selten – mindestens einmal pro Woche – mindestens 3 Tage pro Woche – jeden Tag*

²⁰ Dieses Item wurde im Zuge der Fragebogenrevision hinzugefügt.

9. Einschätzung der Wichtigkeit der angebotenen Elemente in Experimento | 10+

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu</i>
Skala: Wertebildung in der Schule allgemein und im naturwissenschaftlichen Unterricht²¹	
9.1	Ich halte Wertebildung in der Schule für wichtig.
9.3	Ich denke es ist meine Aufgabe als Lehrkraft, meinen Schülerinnen und Schülern bestimmte Werte zu vermitteln.
9.2	Ich halte Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht für wichtig.
9.4	Wertebildung spielt für mich im naturwissenschaftlichen Unterricht eine untergeordnete Rolle. *
Skala: Inklusion/Differenzierung im Unterricht	
9.5	Ich halte Individualisierung und Differenzierung im Unterricht für wichtig.
9.6	Im naturwissenschaftlichen Unterricht sind Individualisierung und Differenzierung nicht so wichtig wie in anderen Fächern. *
9.7	Wenn man einige <i>Differenzierungsmethoden</i> kennt, dann kann man gut mit Heterogenität im Klassenzimmer umgehen. ²²
9.8	Ich denke es ist meine Aufgabe als Lehrkraft, möglichst gut auf die individuellen <i>Lernvoraussetzungen</i> Bedürfnisse meiner Schülerinnen und Schüler einzugehen. ²³
<i>Ist Ihnen der Begriff „Computational Thinking“ bekannt?</i>	
Skala: Computational Thinking	
9.9	Computational Thinking sollte einen höheren Stellenwert im naturwissenschaftlichen Unterricht einnehmen.
9.10	Das Konzept des Computational Thinking halte ich für überflüssig. *
9.11	<i>Computational Thinking zählt neben Lesen, Schreiben und Rechnen zu einer wichtigen Fähigkeit in der digitalen Welt.</i> ²⁴
9.12	Ich finde für Computational Thinking sind die Informatik-Kolleginnen und Kollegen zuständig. *

²¹ Wurde ursprünglich als zweigeteilte Skala begriffen, eine Faktorenanalyse zeigte jedoch, dass es sich um nur einen Faktor handelt.

²² Dieses Item wurde im Zuge der Fragebogenrevision leicht umformuliert, um die Reliabilität der Skala zu steigern.

²³ Dieses Item wurde im Zuge der Fragebogenrevision leicht umformuliert, um die Reliabilität der Skala zu steigern.

²⁴ Dieses Item wurde in der zweiten Fragebogen-Version aufgrund der geringen Trennschärfe entfernt. Eine Hauptkomponentenanalyse ergibt bei Weglassen dieses Items einen Faktor mit einer erklärten Gesamtvarianz von 72 %.

10. Einsatz der fakultativen Elemente im Unterricht

Fragestellung und angebotene Antwortoptionen orientieren sich an [298].

Items zu Computational Thinking sind dem ICILS-Berichtsband [278] entnommen.

Nr.	Wie oft kamen in den letzten drei Monaten die folgenden Aktivitäten in Ihrem naturwissenschaftlichen Unterricht vor? <i>nie oder fast nie²⁵ – in manchen Stunden – in den meisten Stunden – in allen Stunden</i>
Skala: Einsatz von Wertebildung	
10.1	Bei naturwissenschaftlichen Fragestellungen fokussiere ich besonders den Bewertungsaspekt.
10.2	Bei Gruppenarbeiten thematisiere ich explizit Werte wie Teamorientierung oder Zuverlässigkeit. ²⁶
10.3	Ich ermuntere meine Schülerinnen und Schüler zur Diskussion über Wertefragen im naturwissenschaftlichen Kontext.
Skala: Einsatz von inklusiven Elementen	
10.4	Ich setze Hilfestellungen, wie zum Beispiel gestufte Hilfen oder interaktive Medien ein.
10.5	Ich verwende sprachsensibles Unterrichtsmaterial.
10.6	Ich nutze Aufgabenstellungen mit unterschiedlichem Anforderungsniveau.
10.7	Ich nehme besondere Rücksicht auf die unterschiedlichen Lerntempi.
Skala: Einsatz von Computational Thinking	
10.8	Ich fördere die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, Aufgaben durch die systematische Anordnung der notwendigen Bearbeitungsschritte zu planen.
10.9	Ich fördere die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, Messwerte zur Überprüfung und Überarbeitung von Problemlösungen zu nutzen.
10.10	Ich fördere die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, einen komplexen Prozess in kleinere Teile herunterzubrechen.
10.11	Ich fördere die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, Flussdiagramme anzufertigen, um verschiedene Teile eines Prozesses darzustellen.

²⁵ In der ersten Fragebogen-Version wurden „nie“ und „fast nie“ noch als getrennte Antwortoptionen angeboten.

²⁶ Dieses Item wurde bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt, da bedingt durch die pandemische Situation Gruppenarbeiten und damit die Förderung von lernprozessbezogenen Werten nur sehr eingeschränkt möglich waren. Auch die geringe Trennschärfe weist darauf hin, dass die Reliabilität der Skala bei Weglassen dieses Items gesteigert werden kann.

Anhang 3: Post-Fragebogen

Liebe Lehrkräfte,

wir hoffen natürlich, dass Ihnen die Fortbildung zu Experimento | 10+ gefallen hat. Am meisten freuen wir uns aber über Ihr **ehrliches Feedback!** Füllen Sie dazu bitte den folgenden Fragebogen aus. Dies wird voraussichtlich etwa **30 Minuten** in Anspruch nehmen.

Der Fragebogen wird im Rahmen meines von der Siemens Stiftung geförderten Promotionsprojektes bei Prof. Dr. Stefan Schwarzer wissenschaftlich ausgewertet. Unser Ziel ist es, diese **Fortbildung weiter zu verbessern** und auf **Ihre Bedürfnisse anzupassen**.

Bitte unterstützen Sie mich, indem Sie die Fragen ehrlich, sorgfältig und vollständig beantworten.

Für das Gelingen meiner Promotion und die Weiterentwicklung der Fortbildung bin ich auf Ihre Rückmeldung angewiesen!

Ich danke Ihnen vielmals für Ihre Mithilfe und wünsche dann viel Spaß beim Einsatz von Experimento in Ihrem Unterricht! Und nicht vergessen: Wenn Sie an allen drei Befragungszeitpunkten mitwirken, wartet am Ende ein kleines **Dankeschön** auf Sie.

Herzliche Grüße

Lisa Knie und Prof. Dr. Stefan Schwarzer

Datenschutzhinweis: Die nachfolgende Erhebung Ihrer Daten erfolgt pseudonymisiert. Für die Auswertung der Fragebögen ist es wichtig, erkennen zu können, welche Fragebögen von derselben Person ausgefüllt wurden. Dazu werden die Antworten und Ergebnisse unter einem von Ihnen selbst erstellten Code gespeichert. Ein Rückschluss von dem Code auf Ihre Person findet nicht statt. Ihre Angaben im Fragebogen werden vertraulich behandelt. Außer den von Ihnen angegebenen Daten werden keine weiteren Daten erhoben. Sie können jederzeit die Löschung, Berichtigung oder Einschränkung der Verarbeitung der unter einem bestimmten Code eingegebenen Daten verlangen. In diesen Fällen wenden Sie sich bitte an den zuständigen Datenschutzbeauftragten (didaktik@cup.lmu.de).

Weitere Informationen finden Sie in den **Datenschutzhinweisen** der Siemens Stiftung.

Ihr persönlicher Code

Die Erhebung Ihrer Daten erfolgt vollständig anonymisiert, d. h. an keiner Stelle wird Ihr Name erfragt. Dennoch ist es wichtig, dass die Fragen bei der Auswertung einem Fragebogen eindeutig zugeordnet werden können. Dazu werden die Antworten und Ergebnisse unter einem von Ihnen selbst erstellten Code gespeichert.

Bitte gehen Sie für die Erstellung Ihres persönlichen Codes nach dem folgenden Schema vor:

- 1) Zweiter Buchstabe des Vornamens des Vaters
- 2) Dritter Buchstabe des Vornamens der Mutter
- 3) Erster Buchstabe des Vornamens der Großmutter väterlicherseits
- 4) Erster Buchstabe des eigenen Geburtsorts
- 5) Eigener Geburtsmonat, z. B. 03 für März oder 11 für November

1. Zufriedenheit mit der Präsenzfortbildung²⁷

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
Skala: Allgemeine Bedingungen	
1.01	Die Atmosphäre war entspannt und freundlich.
1.02	Die Rahmenbedingungen der Fortbildungen waren angemessen.
1.03	Die Fortbildung ist gut organisiert.
Skala: Referierende	
1.04	Die Referierende ist fachlich kompetent.
1.05	Die Referierende war gut vorbereitet.
1.06	Die Referierende kann die Inhalte gut vermitteln.
1.07	Die Referierende gestaltet die Fortbildung abwechslungsreich.
1.08	Die Referierende geht auf Fragen und Bedürfnisse ein.
1.09	Die Referierende unterstützt bei den praktischen Übungen.
Skala: Inhalte allgemein	
1.10	Die Inhalte der Präsenzfortbildung sind klar verständlich.
1.11	Die Inhalte der Präsenzfortbildung sind klar strukturiert.
1.12	Die Inhalte der Präsenzfortbildung sind praxisrelevant.
1.13	Die Inhalte der Präsenzfortbildung sind in der Praxis gut umsetzbar.
1.14	In der Präsenzfortbildung wird der Theorie genug Zeit gewidmet.
1.15	In der Präsenzfortbildung wird der Praxis genug Zeit gewidmet.
1.16	Die Schulungsunterlagen (z. B. Handbuchordner) sind hilfreich.
Konkrete Inhalte	
1.17	Die Experimente sind praxistauglich.
1.18	Die Experimente passen zu den Inhalten meiner Fächer.
1.19	Das Medienportal empfinde ich als hilfreich für meine Unterrichtsvorbereitung.

²⁷ Orientiert sich an dem zuvor für *Experimento* eingesetzten Feedbackbogen der Siemens Stiftung (unveröffentlicht).

2. Zufriedenheit mit der Online-Anwendung

nach BÜRG & MANDL [270] und KOPP & MANDL (unveröffentlicht)

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
Skala: Nutzungsfreundlichkeit	
2.01	Die Bearbeitung der digitalen Lerneinheit hat mir gut gefallen.
2.02	Ich würde meinen Kolleginnen und Kollegen das Bearbeiten der digitalen Lerneinheit empfehlen.
2.03	Ich empfand die Lernumgebung intuitiv bedienbar.
2.04	Die Bildschirmoberfläche ist benutzungsfreundlich gestaltet.
2.05	Ich konnte mich in der Lernumgebung gut orientieren.
2.06	Die Bedienung ist der Lernumgebung ist verwirrend. *
2.07	Ich wurde oft zu Seiten geführt, zu denen ich eigentlich gar nicht wollte. *
Skala: Inhaltliche Verständlichkeit	
2.08	Die Inhalte der Online-Lernumgebung sind klar verständlich.
2.09	Die Inhalte der Module sind klar strukturiert.
2.10	Die Inhalte sind präzise formuliert.
2.12	Die Zusammenhänge zwischen den Videos und Erläuterungen sind klar erkennbar.
2.13	Die Lernmodule besitzen einen roten Faden.
Skala: Aufbereitung und Wirkung der Unterrichtsvideos	
2.14	Die Unterrichtsvideos sind eine passende Ergänzung zum jeweiligen Themengebiet.
2.15	Die Unterrichtsvideos veranschaulichen die zu vermittelnden Inhalte praxisnah.
2.16	Die Unterrichtsvideos sind beim Lernen hilfreich.
2.17	Die Unterrichtsvideos helfen, das erworbene Wissen zu vertiefen.
2.18	Die Unterrichtsvideos stellen authentische Situationen im Unterricht dar.
Aufgabenstellungen	
2.19	Die Aufgabenstellungen sind hilfreich, um die Inhalte zu vertiefen.
2.20	Die Aufgabenstellungen vor dem Betrachten der Videos helfen mir, meine Aufmerksamkeit auf die darin genannten Aspekte zu fokussieren.
Dauer	
2.11	Die Inhalte sind zu lang. ²⁸

²⁸ Dieses Item wurde separat betrachtet, da es nicht mit der zuvor zugeordneten Skala „Inhaltliche Verständlichkeit“ korreliert sowie laut Faktorenanalyse nicht auf diese Skala lädt, was sich inhaltlich auch bestätigt.

Wie viel Zeit (in Stunden) haben Sie für den Online-Teil der Fortbildung aufgewendet? _____

Davon für das Modul Wertebildung: _____

Davon für das Modul Inklusion & sprachsensibler Fachunterricht: _____

Davon für das Modul Computational Thinking: _____

Wie beurteilen Sie die Dauer der Online-Phase?

viel zu lang – zu lang – optimal – zu kurz – viel zu kurz

Wie beurteilen Sie die Dauer der gesamten Fortbildung?

viel zu lang – zu lang – optimal – zu kurz – viel zu kurz

3. Zufriedenheit mit den fakultativen Elementen

Haben Sie das Modul „Wertebildung“ bereits absolviert? ja nein

Haben Sie das Modul „Inklusion“ bereits absolviert? ja nein

Haben Sie das Modul „Computational Thinking“ bereits absolviert? ja nein

In Abhängigkeit davon, ob das Modul bereits absolviert wurde, folgen diese Items:

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
3.01	Die Inhalte des Moduls sind praxisrelevant.
3.02	Die Inhalte sind in der Praxis gut umsetzbar.
3.03	Die Inhalte interessieren mich persönlich nicht. *
3.04	Ich kann den Nutzen der Inhalte nicht erkennen. *
3.05	Die Inhalte sind auf meine Bedürfnisse abgestimmt.
3.06	Die Inhalte lassen sich gut in meinen Unterricht integrieren.

Was hat Ihnen an diesem Modul besonders gut gefallen? _____

Was hat Ihnen nicht so gut gefallen? Was könnte man besser machen? _____

4. Zufriedenheit mit dem Blended Learning-Setting

nach PETER ET AL. [271]

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
Skala: Akzeptanz der Online-Lehre	
4.01	Die Lerninhalte in Online-Modulen bereitzustellen, statt sie ausschließlich in der Präsenzveranstaltung zu vermitteln, erscheint mir sinnvoll.
4.02	Es wäre besser, auf die Online-Module zu verzichten und alle Lerninhalte in der Präsenzveranstaltung zu vermitteln. *
Skala: Akzeptanz der Präsenzlehre	
4.03	Durch die Präsenzveranstaltung wird mein Verständnis der Lehrinhalte gefestigt.
4.04	Um die Experimente kennen zu lernen, ist eine Präsenzveranstaltung unerlässlich.
4.05	Die Präsenzveranstaltung ist unnötig, die Online-Module hätten völlig ausgereicht. *
4.06	Die Diskussionen in der Präsenzphase sind eine sinnvolle Ergänzung zu den Online-Modulen.
4.07	Die Präsenzveranstaltung ist hilfreich, weil dort offene Fragen über die Inhalte der Online-Module beantwortet werden.
Einsatz mit Schülerinnen und Schülern	
4.08	Ich kann mir gut vorstellen, ein solches Lernarrangement mit Online- und Präsenzanteilen auch im Unterricht mit den Schülerinnen und Schülern umzusetzen.
Verknüpfung	
4.09	Die Verknüpfung zwischen Online- und Präsenzphasen ist gut gelungen.
4.10	Mir ist nicht klar, wie die Online- und Präsenzphasen miteinander zusammenhängen.

Einsatz von *Experimento*

Haben Sie *Experimento* zwischen den beiden Präsenzveranstaltungen bereits in Ihrem Unterricht eingesetzt? ja nein

Werden Sie *Experimento* künftig einsetzen? ja nein

Erfüllung der Erwartungen

- Inwieweit wurden Ihre Erwartungen an die Fortbildung erfüllt?
- Inwieweit haben Sie Ihre persönlichen Ziele für die Fortbildung erreicht?

gar nicht – kaum – etwas – ziemlich – völlig

Würden Sie die *Experimento*-Fortbildung Ihren Kolleginnen und Kollegen weiterempfehlen?

ja nein → warum nicht? _____

Was hätten Sie sich für die Fortbildung noch gewünscht? _____

Ihr persönliches Fazit: _____

5. Subjektiver Lernzuwachs

Nr.	Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? <i>trifft nicht zu – trifft eher nicht zu – teils teils – trifft eher zu – trifft zu</i>
5.01	Ich konnte mein Fachwissen in der Präsenzfortbildung erweitern.
5.02	Ich konnte mein Methodenwissen in der Präsenzfortbildung erweitern.
5.03	Ich fühle mich nach Allem gut vorbereitet, um Experimento künftig einzusetzen.
5.04	Ich habe in den Online-Modulen sehr viel Neues gelernt.
5.05	Ich konnte durch die Fortbildung meine Medienkompetenz steigern.

Wie schätzen Sie selbst Ihre Kenntnisse über folgende Themen ein?

sehr gering – gering – moderat – hoch – sehr hoch

- Kenntnisse über OER (Open Educational Resources)
- Kenntnisse über das Konzept des forschenden Lernens
- Kenntnisse über die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung
- Kenntnisse über Computational Thinking
- Kenntnisse über Methoden zum Umgang mit Heterogenität
- Kenntnisse über Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht

Inwiefern stimmen Sie folgenden Aussagen zu?

stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu

- Ich weiß, wie ich Wertebildung in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren kann.
- Ich kenne zahlreiche Möglichkeiten, meinen Unterricht inklusiv und sprachsensibel zu gestalten.
- Ich weiß, wie ich Computational Thinking bei meinen Schülerinnen und Schülern fördern kann.

...

Weiter wie im Prä-Fragebogen.

Anhang 4: Follow-Up-Fragebogen

Liebe Lehrkräfte,

seit Ihrer Teilnahme an der Fortbildung zu Experimento | 10+ ist nun schon einige Zeit verstrichen. Wir möchten gerne wissen, wie es Ihnen seitdem ergangen ist und freuen uns sehr auf Ihr ehrliches Feedback! Füllen Sie dazu bitte den folgenden Fragebogen aus. Dies wird voraussichtlich etwa **30 Minuten** in Anspruch nehmen. **Als kleines Dankeschön wartet am Ende ein Gutschein auf Sie.**

Der Fragebogen wird im Rahmen meines von der Siemens Stiftung geförderten Promotionsprojektes bei Prof. Dr. Stefan Schwarzer wissenschaftlich ausgewertet. Unser Ziel ist es, diese Fortbildung weiter **zu verbessern** und auf **Ihre Bedürfnisse anzupassen**.

Bitte unterstützen Sie mich, indem Sie die Fragen ehrlich, sorgfältig und vollständig beantworten. Für das Gelingen meiner Promotion und die Weiterentwicklung der Fortbildung bin ich auf Ihre Rückmeldung angewiesen!

Ich danke Ihnen vielmals für Ihre Mithilfe und wünsche dann viel Spaß beim Einsatz von Experimento in Ihrem Unterricht!

Herzliche Grüße

Lisa Knie und Prof. Dr. Stefan Schwarzer

Datenschutzhinweis: Die nachfolgende Erhebung Ihrer Daten erfolgt pseudonymisiert. Für die Auswertung der Fragebögen ist es wichtig, erkennen zu können, welche Fragebögen von derselben Person ausgefüllt wurden. Dazu werden die Antworten und Ergebnisse unter einem von Ihnen selbst erstellten Code gespeichert. Ein Rückschluss von dem Code auf Ihre Person findet nicht statt. Ihre Angaben im Fragebogen werden vertraulich behandelt. Außer den von Ihnen angegebenen Daten werden keine weiteren Daten erhoben. Sie können jederzeit die Löschung, Berichtigung oder Einschränkung der Verarbeitung der unter einem bestimmten Code eingegebenen Daten verlangen. In diesen Fällen wenden Sie sich bitte an den zuständigen Datenschutzbeauftragten (didaktik@cup.lmu.de).

Weitere Informationen finden Sie in den **Datenschutzhinweisen** der Siemens Stiftung. Hinweis: Ihre E-Mail-Adresse wird zum Zweck des Nachweises der Teilnahme an der Befragung aufbewahrt und kann nicht mit dem individuellen Antwortverhalten in Verbindung gebracht werden.

Ihr persönlicher Code

Die Erhebung Ihrer Daten erfolgt vollständig anonymisiert, d. h. an keiner Stelle wird Ihr Name erfragt. Dennoch ist es wichtig, dass die Fragen bei der Auswertung einem Fragebogen eindeutig zugeordnet werden können. Dazu werden die Antworten und Ergebnisse unter einem von Ihnen selbst erstellten Code gespeichert.

Bitte gehen Sie hier Ihren im ersten Fragebogen erstellten Code erneut ein. Zur Erinnerung hier nochmal das festgelegte Schema für die Erstellung:

- 1) Zweiter Buchstabe des Vornamens des Vaters
- 2) Dritter Buchstabe des Vornamens der Mutter
- 3) Erster Buchstabe des Vornamens der Großmutter väterlicherseits
- 4) Erster Buchstabe des eigenen Geburtsorts
- 5) Eigener Geburtsmonat, z. B. 03 für März oder 11 für November

Einsatz von *Experimento*²⁹

Haben Sie *Experimento* bereits in Ihrem Unterricht eingesetzt? ja nein

Falls Nein:

Nicht eingesetzt, weil ...

- keine Zeit
- zu aufwendig
- nicht im Lehrplan
- fehlendes Material
- falsche Jahrgangsstufe
- anderes, und zwar: _____

Falls Ja:

In welchen Jahrgangsstufen haben Sie *Experimento* | 10+ eingesetzt?

5 6 7 8 9 10 11 12 13

- Wie oft haben Sie seit der Fortbildung Experimentieranleitungen aus dem *Experimento* | 10+ Handbuchordner eingesetzt?
- Wie oft haben Sie seit der Fortbildung Medien aus dem Medienportal verwendet?
- Wie oft haben Sie weitere Inhalte aus *Experimento* in Ihrem Unterricht thematisiert (z. B. Wertebildung, sprachsensibler Fachunterricht, Forschendes Lernen, Computational Thinking, Blended Learning, ...)

noch gar nicht – 1-5 mal – 5-10 mal – 11-20 mal – öfter als 20 mal

Welche Jahrgangsstufen werden Ihrer Meinung nach mit *Experimento* | 10+ besonders angesprochen?

5/6 7/8 9/10 11/12/13

²⁹ Orientiert sich an dem zuvor für die Evaluierung von *Experimento* eingesetzten Fragebogen der Siemens Stiftung (unveröffentlicht).

Kreuzen Sie bitte an, welche Experimente Sie bereits im Unterricht eingesetzt haben:

Energie:

- A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen – Wir bauen eine Farbstoffzelle
- A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzschmelze
- A3 Zitronen- und andere Batterien – Strom aus chemischer Energie
- A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme
- A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung

Umwelt:

- B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern
- B2 Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung
- B3 Wie funktioniert die Mülltrennung? – Stofftrennung nach Dichte und Magnetismus
- B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden der Wasserreinigung
- B5 Wir bauen ein thermisches Sonnenkraftwerk – Mit Brennglas und Spiegel
- B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff und Brennstoffzelle
- B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie

Gesundheit:

- C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette
- C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker
- C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl
- C4 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?
- C5 Welche Aufgaben hat die Haut? – Die Haut als Sinnesorgan
- C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?

Wie setzen Sie Experimente in Ihrem Unterricht ein?

nie – selten – gelegentlich – oft – immer

- Anleitungen zusammen mit den dazugehörigen Materialien
- Anleitungen zusammen mit anderen Materialien
- Materialien zusammen mit anderen Anleitungen
- Anleitungen zur Vorbereitung anderer Unterrichtseinheiten
- Ergänzend digitale Medien aus dem Medienportal

Wenn ich Experimento in meinem Unterricht einsetze, dann habe ich das Gefühl, dass meine Schülerinnen und Schüler ...

stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu

- sehr motiviert bei der Sache sind.
- beim Experimentieren großen Spaß haben.
- in ihrem Forscherdrang bestärkt werden.
- kein Interesse an den Inhalten zeigen.
- solidarisch und teamorientiert zusammenarbeiten.
- individuelle Erfolgserlebnisse erzielen können.

Wie schätzen Sie selbst Ihre Kenntnisse über folgende Themen ein?

sehr gering – gering – moderat – hoch – sehr hoch

- Kenntnisse über OER (Open Educational Resources)
- Kenntnisse über das Konzept des forschenden Lernens
- Kenntnisse über die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung
- Kenntnisse über Computational Thinking
- Kenntnisse über Methoden zum Umgang mit Heterogenität
- Kenntnisse über Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht

Inwiefern stimmen Sie folgenden Aussagen zu?

stimme nicht zu – stimme eher nicht zu – teils teils – stimme eher zu – stimme zu

- Ich weiß, wie ich Wertebildung in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren kann.
- Ich kenne zahlreiche Möglichkeiten, meinen Unterricht inklusiv und sprachsensibel zu gestalten.
- Ich weiß, wie ich Computational Thinking bei meinen Schülerinnen und Schülern fördern kann.

Welche der angebotenen Module haben Sie bereits absolviert?

- Wertebildung
- Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht
- Computational Thinking

...

Weiter wie im Prä-Fragebogen

Anhang 5: Anleitung für Lehrkräfte zur Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

Die Anleitung wurde von Lisa Knie für die Siemens Stiftung erstellt.

C4.2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes (Lehreranleitung)

(<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/experimento-10-c4-ph-wert-von-getraenken-105602>), © Siemens Stiftung, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international (Lizenztext siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>)

C4.2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

pH-Werte können nicht nur mit Messstäbchen, sondern auch digital gemessen werden. Besonders, wenn Sie sich mit dem Modul Computational Thinking in der Online-Anwendung für Lehrkräfte zu Experimento | 10+ beschäftigt haben, können Sie, wie nachfolgend beschrieben, beispielsweise pH-Werte auch mit dem sogenannten Arduino erfassen.

1 Was ist Arduino?

Bei Arduino handelt es sich um einen Mikrocontroller, eine Art Mini-Computer. Dieser besteht aus der Hardware, dem Arduino-Board und einer dazugehörigen Software, der Arduino IDE, mit welcher der Arduino programmiert werden kann. Es gibt viele verschiedene Arduino-Boards. Wird von „dem“ Arduino gesprochen, so ist meist – wie auch hier – der Arduino Uno gemeint.

Mit Hilfe der Software kann der Arduino zum Beispiel dazu programmiert werden, eine LED zum Blinken zu bringen. Es ist zusätzlich möglich, diverse Sensoren anzuschließen, deren Werte mit Hilfe des Arduinos ausgelesen werden können. Dadurch ist Arduino auch als Messwerterfassungssystem im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht einsetzbar. Der Vorteil ist, dass es sich bei Arduino um ein Open-Source-Projekt handelt, das darüber hinaus verhältnismäßig kostengünstig ist.

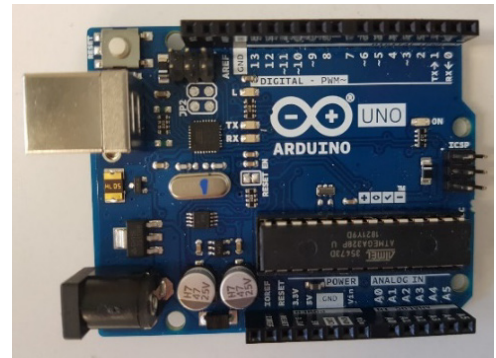


Abb. 1: Arduino Uno

Aufbau des Arduino Uno

In dieser Abbildung sind die wichtigsten Bauteile des Arduinos benannt:

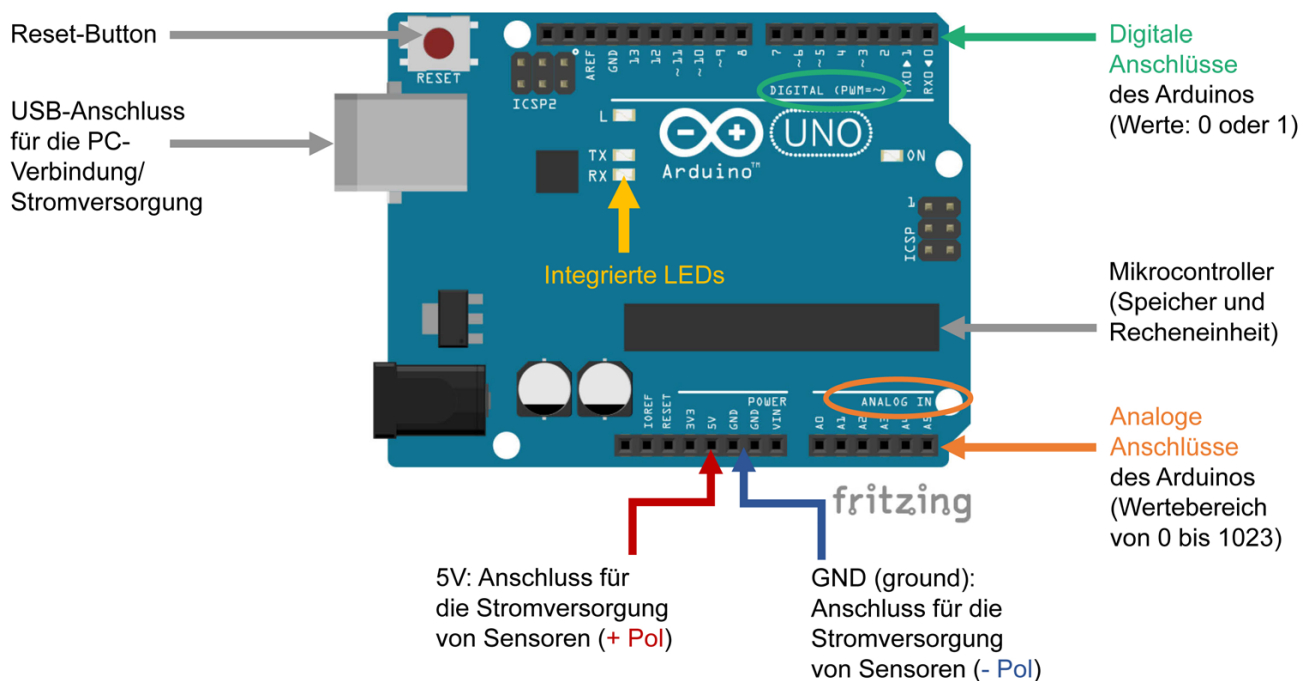



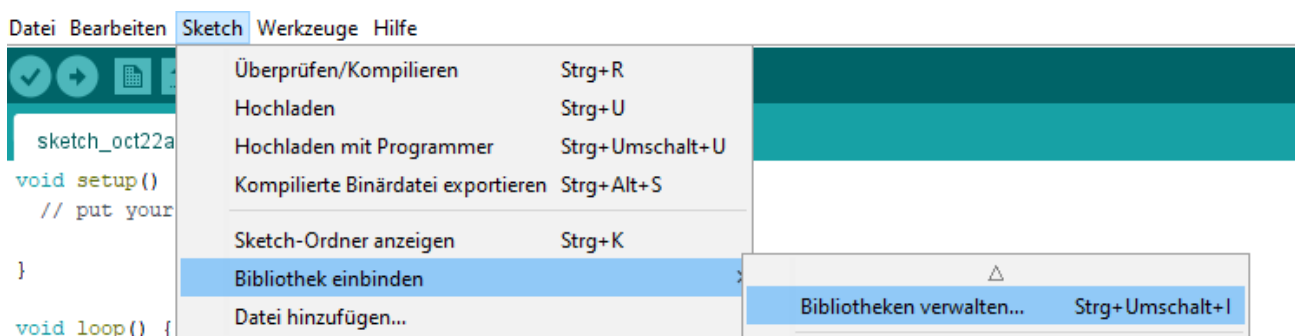
Abb. 2: Aufbau des Arduino Uno, erstellt mit Fritzing (<https://fritzing.org/>)

Hinweis: Für eine bessere Lesbarkeit können Sie auch die Zoom-Funktion in den digitalen PDF-Dokumenten (Anleitungen für Lehrkräfte und Schülerinnen und Schüler) nutzen. Alle Abbildungen zum Arduino können stark vergrößert werden, ohne zu verpixeln. Alternativ können Sie den Arduino auch „in Echt“ mit einer kleinen Lupe näher betrachten.

2 Erste Schritte mit dem Arduino

Um Arduino nutzen zu können, benötigen Sie das Arduino-Board und die dazugehörige Software Arduino IDE. Um die Programmierumgebung auf Ihren Rechner zu laden, können Sie dieser Anleitung folgen:

1. Gehen Sie auf die Website von Arduino: www.arduino.cc. Wählen Sie dann im Reiter „Software“ die passende Software für Ihr System aus und laden Sie diese herunter. Anschließend können Sie die Software nach Anleitung auf Ihrem Rechner installieren. Die Software ist kostenlos und steht unter einer freien Lizenz.
2. Laden Sie nun die passenden Programmcodes (Sketche) aus dem Medienportal herunter. Sie finden diese in der Online-Anwendung unter „Methoden und Materialien“ (Medienportal der Siemens Stiftung → Reiter „Fortbildungen“ → Zur Fortbildung Experimento | 10+ → Zur Online-Anwendung → Methoden und Materialien → C++-Quellcodes für Arduino). Öffnen Sie den gewünschten Programmcode mit Hilfe der Arduino IDE.
3. Schließen Sie den Arduino mit Hilfe des USB-Kabels an Ihrem Rechner an.
4. Sie können die Sketche nun mit dem  Pfeil links oben auf den Arduino hochladen. Falls der Port (Anschluss) nicht automatisch erkannt wird, klicken Sie auf Werkzeuge → Port.
5. Falls Sie ein externes Display anschließen möchten, wählen Sie die Datei „pH_Sketch_mitDisplay“. Außerdem müssen Sie noch die passende Bibliothek einbinden. Bibliotheken erweitern die Funktionen der Arduino Software. Dazu klicken Sie in der Arduino IDE auf Sketch → Bibliothek einbinden → Bibliotheken verwalten. Dort wählen Sie beim Thema „Display“ aus.
6. Suchen Sie nun nach „LiquidCrystal_I2C“ (exakte Bezeichnung genauso in das Suchfeld eintippen!). Möglicherweise müssen Sie etwas scrollen bis Sie die passende Bibliothek gefunden haben. Sie stammt von Marco Schwartz. Installieren Sie diese Bibliothek.



2.1 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Arduino	1
Becher, 100 ml	nach Bedarf
Verschiedene Getränke/Haushaltschemikalien, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfelsaft, Cola, Tee, Natronlösung	nach Belieben
Laptop mit Arduino IDE	1
LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss	1
Papiertücher o.Ä. zum Händeabwischen	nach Bedarf
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
ggf. Powerbank	bei Bedarf
Pufferlösung mit pH = 7,0	einige ml
Schraubendreher (nicht magnetisch)	1
Steckbrett	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2
wasserlöslicher Folienstift zum Beschriften	1

2.2 Benötigte Materialien für eine pH-Wert-Messung

Für eine pH-Wert-Messung mit dem Arduino benötigen Sie zunächst natürlich ein Arduino Uno-Board, erhältlich im Elektronik-Versandhandel (z. B. Conrad) ab ca. 23 €.

Im Elektronik-Versandhandel finden Sie auch die benötigten Verbindungskabel (ca. 5 € pro 10er-Packung) und – falls gewünscht – das LCD-Display (Liquid Crystal Display) mit eingebautem sog. I2C-Anschluss (ca. 15 €) sowie das Steckbrett (ca. 3 €).

Als pH-Elektrode können Sie jede beliebige pH-Elektrode mit einem BNC-Anschluss (siehe Abb. 3) nutzen.

Ausreichende Genauigkeit bieten auch günstige Modelle. Den hier verwendeten pH-Sensor PH-4520C gibt es zum Beispiel über Amazon zu kaufen (ab ca. 10 €).



Abb. 3: BNC-Anschluss

3 Kalibrierung des pH-Sensors

3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Arduino	1
Becher, 100 ml	1
Laptop mit Arduino IDE	1
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
Schraubendreher (nicht magnetisch)	1
Verbindungskabel (female – male)	4

Chemikalien	Anzahl
Pufferlösung mit pH = 7,0	einige ml

3.2 Anleitung zur Kalibrierung

Bei der pH-Messung wird ein analoger Eingang des Arduinos verwendet. Im Gegensatz zum digitalen Eingang, der nur zwei Werte kennt („an“ oder „aus“), können analoge Eingänge Spannungswerte von 0-5 V verarbeiten. Dies geschieht mit einer Auflösung von 1024 Schritten, also mit Werten von 0 bis 1023.

Um nun das gesamte Spektrum der pH-Werte abdecken zu können, muss der verwendete Sensor erst kalibriert werden. Da der Arduino keine negativen Spannungen auslesen kann, muss pH = 7 als „Mitte“ der pH-Skala auch genau auf die Mitte des Spannungsbereichs, also auf 2,5 V, gesetzt werden. Dazu wird der pH-Sensor gemäß Abbildung am Arduino angeschlossen:

Arduino	pH-Sensor
5 V	V+
GND	G
GND	G
A0	P0

Die weiteren Pins (Anschlüsse) am pH-Sensor werden nicht benötigt. Am pH-Sensor wird eine beliebige pH-Elektrode mit BNC-Anschluss angebracht, der Arduino wird per USB-Kabel mit einem Computer verbunden.

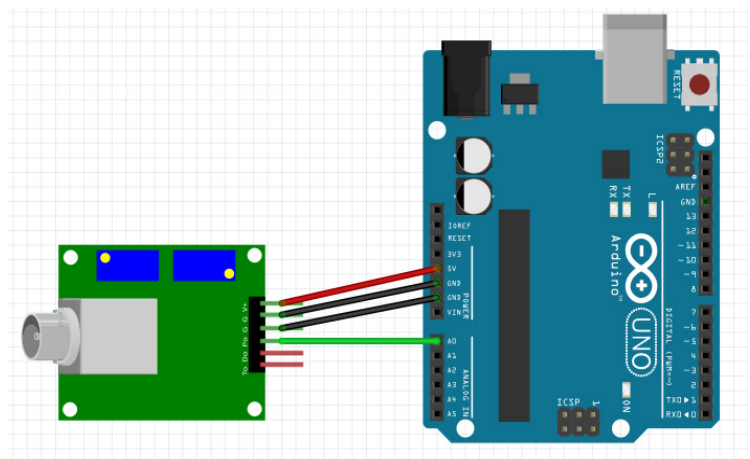


Abb. 4: Anschließen des pH-Sensors (erstellt mit Fritzing).

Nun wird die pH-Elektrode in eine Pufferlösung mit pH = 7,0 gegeben. Zu guter Letzt wird der Sketch „Kalibrierung“ (Datei → Öffnen → ...) auf den Arduino geladen (in der IDE links oben auf den Pfeil klicken):


```

void setup()                // Diese Funktion wird am Anfang einmal ausgeführt.
{
  Serial.begin(9600);       // Initialisierung der Kommunikation zum Arduino, 9600 bits pro Sekunde.
}

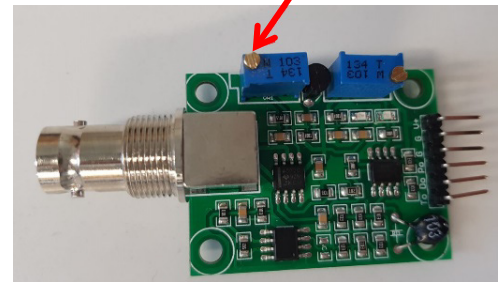
void loop()                 // Die Funktion wird durchgehend immer wieder ausgeführt.
{
  int sensorWert = analogRead(A0); // Der Sensor-Wert an Pin A0 soll ausgelesen werden.
  float spannung = sensorWert * (5.0 / 1024.0); // Die analogen Werte (von 0 - 1023) werden in Spannungswerte (von 0 - 5 V) konvertiert.
  Serial.println(spannung);      // Der Spannungswert wird am seriellen Monitor ausgegeben.
  delay(1000);                 // Kurze Wartezeit.
}

```

Auf dem seriellen Monitor (Werkzeuge → Serieller Monitor) können jetzt die Spannungswerte abgelesen werden.

Um den Sensor zu kalibrieren, muss das Potentiometer (blaues „Kästchen“), das näher am BNC-Anschluss liegt, reguliert werden. Dazu wird mit einem kleinen Schraubenzieher so lange am Potentiometer gedreht, bis bei pH = 7 ein Spannungswert von 2,50 V angezeigt wird.

Abb. 5: Schraube, die am pH-Sensor gedreht werden muss.



Hinweis: Der dargestellte Programmcode geht davon aus, dass der volle Umfang der möglichen Spannungswerte genutzt werden kann. Tatsächlich ist die am Arduino anliegende Spannung oft niedriger als 5 V, wenn dieser per USB an einem PC angeschlossen ist. Möglicherweise kann daher der Wert von 2,50 V nicht exakt erreicht werden, sondern die Werte bleiben stets größer. Sollte dies der Fall sein, dann drehen Sie so lange am Potentiometer, bis kein niedrigerer Wert mehr eingestellt werden kann.

4 Vorbereitungen zur pH-Wert-Messung

4.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Laptop mit Arduino IDE	1
Arduino	1
Becher, 100 ml	nach Bedarf
pH-Sensor (PH-4502C)	1
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2
LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss	1
Steckbrett	1
ggf. Powerbank	1
Wasser	nach Bedarf
wasserlöslicher Folienstift zum Beschriften	1

Chemikalien	Anzahl
Pufferlösung mit pH = 7,0	einige ml
Pufferlösung mit pH = 4,0	einige ml
Pufferlösung mit pH = 10,0	einige ml
Zu testende Getränke o.Ä. (z. B. Leitungswasser, Mineralwasser mit Kohlensäure, Apfelsaft, Cola, Tee, Natronlösung)	nach Belieben

4.2 Hintergrund

Bei einer pH-Wert Messung werden Referenzelektroden eingesetzt, die je nach pH-Wert unterschiedliche Spannungswerte ausgeben.

Der pH-Wert wird demnach nicht direkt gemessen, sondern muss aus der erhaltenen Spannung berechnet werden. pH-Elektroden verhalten sich im Bereich zwischen 0-14 annähernd linear. Um also die Spannungswerte in pH-Werte umzurechnen, wird eine lineare Gleichung in der Form $y = mx + b$ benötigt (Geradengleichung). Für die Berechnung der Steigung m der Geraden sind die dazugehörigen Spannungswerte zu mindestens zwei pH-Werten nötig.

Das erste Wertepaar ist durch die Kalibrierung schon bekannt: pH = 7; U = 2,5 V

Nun wird die Spannung (zum Beispiel) bei pH = 4 gemessen.

m errechnet sich nun folgendermaßen:

$$m = \frac{\Delta \text{Spannung}}{\Delta \text{pH-Wert}} = \frac{\text{Spannung (pH=7)} - \text{Spannung (pH=4)}}{7 - 4}$$

Bei pH = 4 wurde beispielsweise eine Spannung von 3,0 V gemessen =>

$$m = \frac{2,5 - 3,0}{7-4} = -0,167$$

Zur Steigerung der Genauigkeit kann eine Zweipunkt-Kalibrierung vorgenommen werden, indem zusätzlich die Spannung bei pH = 10 gemessen und entsprechend der Mittelwert von m errechnet wird.

Das Verständnis davon, wie m zu Stande kommt, ist wichtig, um nachzuvollziehen, wie die Spannungswerte im Programmiercode („Sketch“) in pH-Werte umgerechnet werden:

`phWert = (7 + ((2.5 - spannung) / 0.167));`

Hier findet sich der soeben berechnete Wert wieder. Diesen können Sie entsprechend Ihrer eigenen Messwerte anpassen.

Die genaue Umstellung der Formeln regt zu einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit mit den Mathematik-Kolleginnen und Kollegen an.

4.3 Exkurs

$$m = \frac{\Delta \text{Spannung}}{\Delta \text{pH}} = -0,167$$

$$-0,167 = \frac{2,5 - \text{Spannung}}{7 - \text{pH}}$$

$$0,167 = \frac{\text{Spannung} - 2,5}{\text{pH} - 7}$$

$$\text{pH} - 7 = \frac{\text{Spannung} - 2,5}{0,167}$$

$$\text{pHWert} = (7 + ((2.5 - \text{spannung}) / 0.167));$$

Die Variable **b** wird zunächst vernachlässigt, kann aber manuell auf einen beliebigen Wert gesetzt werden, falls sich systematische Abweichungen ergeben.

Hinweis: Sollten Sie während der Kalibrierung den Wert von 2,50 V nicht erreicht haben, dann ändern Sie die 2,5 im Programmiercode entsprechend Ihres Wertes ab, zum Beispiel:

2.56

$$\text{pHWert} = (7 + ((\del{2.5} - \text{spannung}) / 0.167));$$

So erhalten Sie weiterhin hinreichend genaue Messwerte.

4.4 Anleitung

Laden Sie den passenden Programmcode auf den Arduino. Passen Sie gegebenenfalls den Wert für **m** an. Messen Sie die pH-Werte verschiedener Lösungen. Warten Sie dabei mindestens 30 Sekunden, bis sich der Messwert kaum noch verändert. Spülen Sie die pH-Elektrode nach jeder Nutzung kurz mit Wasser ab.

5 Anschließen eines Displays

5.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Arduino	1
Laptop mit Arduino IDE	1
LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
ggf. Powerbank	1
Steckbrett	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2

5.2 Anleitung

Im Schulalltag ist es oftmals unpraktisch, den seriellen Monitor an einem Laptop zu nutzen. Daher bietet es sich an, ein Display zu integrieren. Es empfiehlt sich, ein LCD-Display mit einem sogenannten I2C-Anschluss (Inter-Integrated Circuit) zu nutzen. Durch den eingebauten I2C-Anschluss sind wesentlich weniger Verkabelungen notwendig als bei einem normalen LCD-Display für Arduino.

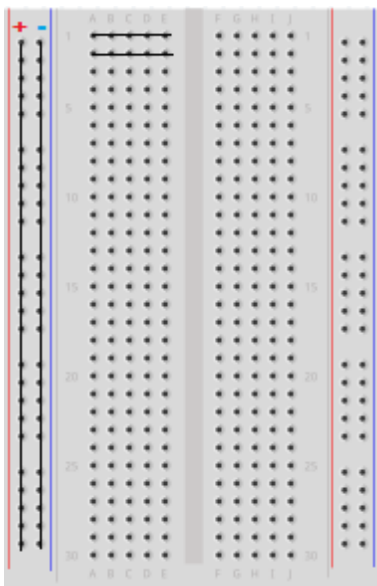


Abb. 6: Steckbrett
(erstellt mit Fritzing).

Wenn ein Display integriert wird, können nicht mehr alle Kabel direkt am Arduino angeschlossen werden, sondern es muss ein Steckbrett dazwischengeschaltet werden. Nur so können das Display und der Sensor gleichzeitig mit Strom versorgt werden (5 V und GND-Anschluss).

Die Steckplatine ist in zwei Hälften unterteilt. Jeweils am Rand befinden sich die Anschlüsse für die Stromversorgung. Diese sind in der Vertikalen leitend miteinander verbunden. Im mittleren Bereich sind die Reihen jeweils entlang der Horizontalen leitend miteinander verbunden (siehe Abb. 6).

Dementsprechend können die Bauteile nun folgendermaßen verbunden werden:

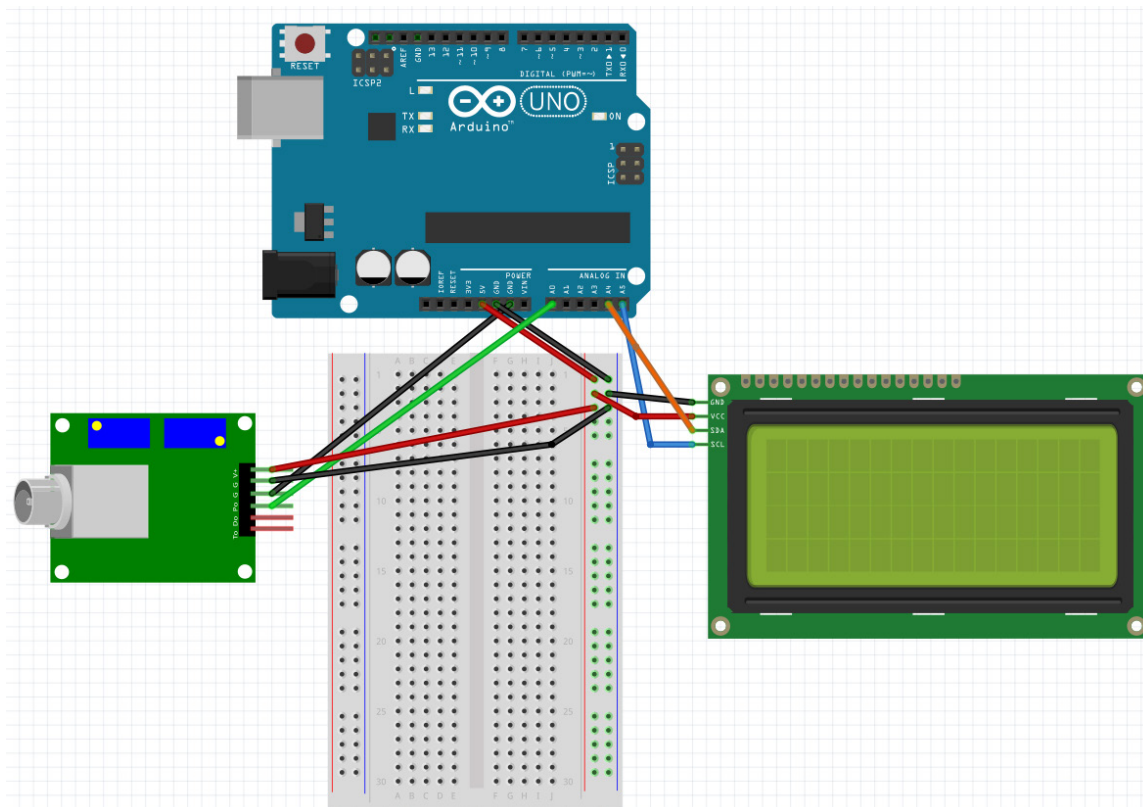


Abb. 7: Anschließen des Displays und des pH-Sensors mit Hilfe eines Steckbretts (erstellt mit Fritzing).

pH-Sensor	Arduino	
V+	5 V	Via Steckbrett
G	GND	Via Steckbrett
G	GND	Direkt
P0	A0	Direkt

Display	Arduino	
GND	GND	Via Steckbrett
VCC	5 V	Via Steckbrett
SDA	A4	Direkt
SCL	A5	Direkt

Nicht vergessen, das Steckbrett mit dem Arduino zu verbinden!

5.3 Code

Um ein Display verwenden zu können, muss die Bibliothek „LiquidCrystal_I2C“ in die Arduino IDE heruntergeladen und entsprechend eingebunden werden (siehe allgemeine Anleitung). Die zusätzlichen Programmzeilen, die dazu benötigt werden, um mit dem Display zu kommunizieren, sind bereits im zur Verfügung gestellten Sketch (z.B. „pH_Sketch_mitDisplay“) enthalten.

Wenn als Stromversorgung eine Powerbank genutzt wird, kann die pH-Messung nach Hochladen des passenden Sketches auch ohne Verwendung eines Laptops durchgeführt werden.

Wichtig: Beim Wechsel der Spannungsquelle des Arduinos und/oder beim Hinzufügen eines Displays kann es notwendig sein, den pH-Sensor erneut kurz zu kalibrieren (Potentiometer so lange drehen, bis eine Spannung von 2,50 V angezeigt wird, wenn die pH-Elektrode in eine Lösung mit pH = 7 taucht).

Anhang 6: Anleitung für Schülerinnen und Schüler zur Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

Die Anleitung wurde von Lisa Knie für die Siemens Stiftung erstellt.

C4.2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes (Schüleranleitung)

(<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/experimento-10-c4-ph-wert-von-getraenken-105602>), © Siemens Stiftung, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international (Lizenztext siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>)

C4.2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Arduino	1
Becher, 100 ml	nach Bedarf
wasserlöslicher Foliestift zum Beschriften	1
verschiedene Getränke/Haushaltschemikalien, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfelsaft, Cola, Tee, Natronlösung	nach Belieben
Laptop mit Arduino IDE	1
LCD-Display	1
Papiertücher o. Ä. zum Händeabwischen	nach Bedarf
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
ggf. Powerbank	bei Bedarf
Pufferlösung mit pH = 7,0	1
Schraubendreher (nicht magnetisch)	1
Steckbrett	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2
Wasser	nach Bedarf

2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Die Getränke sind nicht zum Verzehr geeignet.

3 Versuchsdurchführung

Falls der Arduino noch nicht mit dem pH-Sensor verbunden ist, erkundige dich bei deiner Lehrkraft nach dem Aufbau. Solltest du den Arduino selbst mit dem pH-Sensor verbunden haben, muss du den Sensor zuerst kalibrieren:


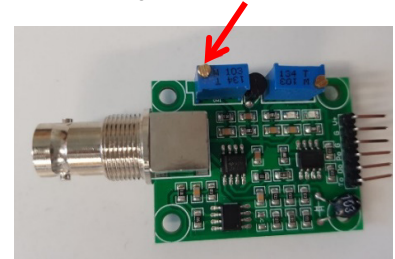
- Als erstes verbindest du den Arduino per USB mit dem Laptop.
- Öffne auf dem Laptop die Arduino IDE.
- Suche in der IDE den Kalibrier-Sketch (= Programmcode) unter *Datei* → *Öffnen*.
- Lade den Sketch mit dem Pfeil  links oben auf das Arduino-Board.
- Stelle die pH-Elektrode in eine Pufferlösung mit pH = 7,0
- Öffne den seriellen Monitor in der Arduino IDE (*Werkzeuge* → *Serieller Monitor*).
- Dort kannst du nun die Spannung ablesen, die der Arduino ausgibt.



Abb. 1: pH-Elektrode in der Pufferlösung.


- Drehe mit einem kleinen Schraubenzieher so lange an der Schraube an dem blauen Kästchen, das näher an der pH-Elektrode ist, bis eine Spannung von 2,50 V angezeigt wird. Begründung: Der Arduino kann Spannungen von 0-5 V auslesen. Damit keine negativen Werte für die Spannung auftreten, muss pH = 7 genau auf die Mitte des Spannungsbereichs, also auf 2,5 V, gesetzt werden. Sollte der Wert nicht bis auf 2,5 V sinken, nimm den kleinstmöglichen und sage deiner Lehrkraft Bescheid.

Abb. 2: Schraube, die am pH-Sensor gedreht werden muss.



pH-Wert-Messung

Wenn der Sensor kalibriert ist, kannst du mit der pH-Wert-Messung starten:

- Als erstes verbindest du den Arduino per USB mit dem Laptop.
- Öffne auf dem Laptop die Arduino IDE.
- Suche in der IDE den richtigen Sketch (= Programcode). Deine Lehrkraft kann dir sagen, welchen du benötigst.
- Lade den Sketch mit dem Pfeil  links oben auf das Arduino-Board.
- Nun kannst du verschiedene Getränke oder andere Haushaltschemikalien testen.
- Beschrifte jeden Becher in der Reihenfolge der Getränke, die du messen wirst.
- Notiere, zu welcher Nummer welches Getränk gehört
- Tauche die pH-Elektrode in das Getränk. Warte **mind. 30 Sekunden**, bis sich der Messwert kaum noch verändert.
- Notiere dir den pH-Wert. Spüle die pH-Elektrode nach jeder Nutzung kurz mit Wasser ab.
- Entleere nach dem Experiment die Becher nach Anweisung der Lehrkraft, spüle sie mit Wasser aus und wische die Nummerierung ab.

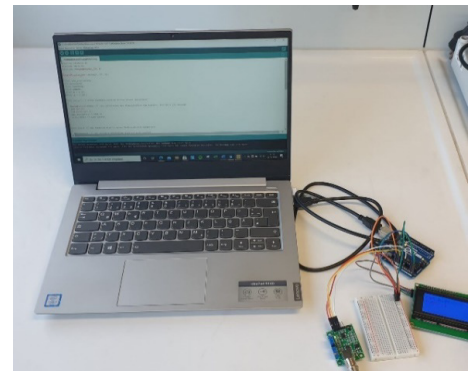


Abb. 3: Versuchsaufbau.



Abb. 4: Becher beschriften.

4 Beobachtung

Notiere die pH-Werte der verschiedenen Getränke.

5 Auswertung

- a) Vergleiche deine Messwerte mit denen deiner Mitschülerinnen und -schüler.
- b) Betrachte den Programmiercode, den du zur Messung der pH-Werte verwendet hast. Versuche nachzuvollziehen, was der Programmiercode „tut“ und wie die gemessenen pH-Werte zu Stande kommen.
- c) Ergänze den Programmcode um eine automatische „Getränkeerkennung“. Dieses Programm soll anhand des gemessenen pH-Wertes erkennen, um welches Getränk es sich handelt. So kannst du verschiedene ähnlich aussehende Getränke schnell unterscheiden.
 - a. Was musst du im Hinblick auf die Messwerte beachten?
 - b. Welche Daten benötigst du? Welche kannst du weglassen?
 - c. Wie kannst du das Gesamtproblem in kleinere Teilprobleme zerlegen?
 - d. Setze deine Überlegungen in einem Programmcode um. Was fällt dir dabei auf?
 - e. Teste deine Lösung anhand eines dir unbekanntes Getränks.