

**Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie.
Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer
Experimentier- und Protokollierprozesse**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität zu Köln

vorgelegt von

Petra Olschewski

aus Mechernich

Köln 2024

Begutachtende:

Prof. Dr. Kirsten Schlüter

Prof. Dr. Thorid Rabe

Tag der mündlichen Prüfung:

03.06.2024

Danksagung

Diese Arbeit konnte nur durch die Unterstützung zahlreicher Menschen realisiert werden, bei denen ich mich im Folgenden von Herzen bedanken möchte.

Zunächst möchte ich mich aufrichtig bei Professorin Kirsten Schlüter bedanken, die mich über den gesamten Weg voller Vertrauen, Zuversicht und Offenheit für meine Ideen begleitet und unterstützt hat. Der regelmäßige Austausch und die Beratung haben diese Arbeit in der Form erst möglich gemacht.

Mein weiterer Dank gilt meiner Zweitbetreuerin Professorin Petra Herzmann, die mir den Zugang zur qualitativ-rekonstruktiven Forschung eröffnete und mir stets eine vertrauensvolle und bestärkende Ansprechpartnerin war.

Außerdem bedanke ich mich herzlich bei Professorin Thorid Rabe für ihre Bereitschaft, das Zweitgutachten zu erstellen, ihr Interesse an meiner Arbeit und den inspirierenden Austausch im Rahmen der GDSP-Schwerpunkttagung „Naturwissenschaftsdidaktik und Dokumentarische Methode“.

Ich danke Professorin Katharina Groß dafür, dass sie den Vorsitz der Prüfungskommission im Rahmen der Disputation übernimmt sowie Dr. Helena Aptyka für ihre Bereitschaft, als Beisitzende zu fungieren.

Ein aufrichtiger Dank gilt den Studierenden, die sich zur Teilnahme an der Studie bereit erklärt haben. Ohne sie wäre die Realisierung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Ich danke meinen aktuellen und ehemaligen Kolleg*innen am Institut für Biologiedidaktik, die mich auf diesem Weg begleitet und sowohl fachlich und emotional unterstützt haben. Insbesondere die Treffen im Rahmen des Doktorandenkolloquiums führten immer zu wertvollen Diskussionen und Anregungen. Außerdem möchte ich mich von Herzen bei Andrea Germund bedanken, die bei Fragen jeglicher Art Rat wusste und immer ein offenes Ohr hatte. Ich danke weiterhin den studentischen Hilfskräften, die mir bei der technischen Umsetzung der Arbeit geholfen haben.

Neben dem Doktorandenkolloquium am Institut für Biologiedidaktik war auch das Forschungskolloquium unter der Leitung von Professorin Petra Herzmann und Professor Matthias Proske ein wichtiger Ort, um mein Forschungsvorhaben zur Diskussion zu stellen. Dieser interdisziplinäre Austausch war wichtig für mich, weshalb ich mich aufrichtig für die Möglichkeit zur Teilnahme bedanken möchte.

Ein essentieller Teil für die Arbeit mit der Dokumentarischen Methode ist der Austausch in Interpretationsgruppen. Ich hatte großes Glück, mich in den unterschiedlichsten Runden (oft interdisziplinär) austauschen zu können. Daher geht ein besonderer Dank an Dr. Larissa Fühner und Sina Gómez Thews. Die intensive Zusammenarbeit mit euch war für diese Arbeit unglaublich wichtig und es hat geholfen, dass wir den Herausforderungen bei der Arbeit mit der Dokumentarischen Methode gemeinsam begegnen konnten. Ich danke allen Teilnehmenden der „AG DM“ der Universität Münster, allen voran Jens Steinwachs, für die regelmäßigen Treffen und die wichtigen Impulse beim gemeinsamen Interpretieren. Außerdem gilt ein weiterer Dank Michael Ehlscheid und allen Teilnehmenden der „Interpretationswerkstatt Dokumentarische Methode“ an der Universität zu Köln. Ich bin froh, dass wir diese gemeinsam ins Leben gerufen haben.

Ich danke der Graduiertenschule für LehrerInnenbildung der Universität zu Köln, die in der gesamten Promotionszeit durch zahlreiche Fortbildungs- und Unterstützungsangebote eine wichtige Anlaufstelle für mich war.

Ein aufrichtiger Dank geht an meine Freunde. Ich danke besonders Alina, Lara und Elaine für unsere Freundschaft seit der Grundschulzeit und für die emotionale Unterstützung in allen Lebenslagen.

Ich danke aus tiefstem Herzen meiner *gesamten* Familie. Allen voran geht der Dank an meine Eltern, Monika und Raimund Olschewski, dafür, dass ihr mir in allem, was ich mir vorgenommen habe – sei es das Studium oder die Promotion – immer unterstützend zur Seite gestanden habt. Dank euch konnte ich immer frei danach gehen, was mich interessiert und mich dabei komplett ohne Druck entfalten. Euch beide und meine Schwestern, Sarah und Steffi, hinter mir zu wissen, macht mir im Leben generell alles so leicht.

Meinem Partner Julian und auch seiner Familie danke ich für die anhaltende Unterstützung. Danke, dass ich mich immer auf dich verlassen kann und, dass du es auch in stressigen Zeiten schaffst, mich zum Lachen zu bringen.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
TABELLENVERZEICHNIS	VI
1 EINLEITUNG	1
2 THEORETISCHER RAHMEN	4
2.1 FORSCHENDES LERNEN	4
2.1.1 FORSCHENDES LERNEN UND WISSENSCHAFTSMETHODISCHE KOMPETENZEN	5
2.1.2 WEITERE CHARAKTERISTIKA FORSCHENDEN LERNENS	10
2.1.3 FORSCHENDES LERNEN IN DER LEHRAMTSAUSBILDUNG.....	12
2.2 EXPERIMENTIEREN	14
2.2.1 EXPERIMENTIEREN IM RAHMEN VON FORSCHENDEM LERNEN.....	15
2.2.2 MESSEN VON EXPERIMENTIERKOMPETENZEN.....	17
2.2.3 EXPERIMENTIEREN BEI SCHÜLER*INNEN	18
2.2.4 EXPERIMENTIEREN BEI STUDIERENDEN	20
2.3 PROTOKOLLIEREN	24
2.3.1 CHARAKTERISTIKA DES VERSUCHSPROTOKOLLS.....	24
2.3.2 EMPIRISCHE BEFUNDE ZUM PROTOKOLLIEREN.....	26
2.4 PROBLEMSTELLUNG UND ERKENNTNISINTERESSE	32
2.5 THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER DOKUMENTARISCHEN METHODE	34
2.5.1 DOKUMENTARISCHE FORSCHUNG IN DER (NATURWISSENSCHAFTS-)DIDAKTIK.....	38
2.5.2 EMPIRISCHE STUDIEN IN DER (NATURWISSENSCHAFTS-)DIDAKTIK	40
3 MATERIAL UND METHODEN	45

3.1	STUDIENDESIGN	45
3.1.1	AUFGABENSTELLUNG UND EXPERIMENTIERSETTING	46
3.2	AUSWERTUNGSMETHODE	49
3.2.1	TRANSKRIPT	49
3.2.2	FORMULIERENDE INTERPRETATION	52
3.2.3	REFLEKTIERENDE INTERPRETATION	53
4	ERGEBNISSE	57
4.1	TEILPUBLIKATION 1: ZUSAMMENFASSUNG	57
4.2	TEILPUBLIKATION 2: ZUSAMMENFASSUNG	59
5	GESAMTDISKUSSION	61
5.1	DISKUSSION DER ERGEBNISSE IM HINBLICK AUF DIE THEORIE	61
5.1.1	AUFGABENERLEDIGUNG	62
5.1.2	UNSICHERHEIT	64
5.1.3	EXPERIMENTIEREN NACH FESTEM (HYPOTHESENBASIERTEM) ABLAUFPLAN	65
5.1.4	EXPERIMENTIEREN ALS UMGANG MIT MATERIAL	68
5.1.5	INTERAKTION BEIM GEMEINSAMEN EXPERIMENTIEREN UND PROTOKOLLIEREN	69
5.1.6	PROTOKOLLIEREN – ZWISCHEN REPRÄSENTATION UND PRAGMATISMUS	70
5.2	MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER DOKUMENTARISCHEN METHODE	73
5.3	LIMITATIONEN DER ARBEIT UND ANREGUNGEN FÜR WEITERE STUDIEN	74
5.4	IMPLIKATIONEN FÜR DIE PRAXIS	76
5.5	FAZIT	79
	LITERATURVERZEICHNIS	80
	ZUSAMMENFASSUNG	96

SUMMARY	98
ERKLÄRUNG ZUR DISSERTATION.....	100
ERKLÄRUNG ZUR VERFÜGBARKEIT VON PRIMÄRDATEN	102
ANHANG	103

Abkürzungsverzeichnis

ADI-Model	Argument-Driven-Inquiry-Instructional Model
NOS	Nature of Science
NOSI	Nature of Scientific Inquiry
SWH	Science Writing Heuristic

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: RAHMENKONZEPT WISSENSCHAFTSMETHODISCHER KOMPETENZEN	7
ABBILDUNG 2: STRUKTURMODELL ZUM WISSENSCHAFTLICHEN DENKEN.....	8
ABBILDUNG 3: PHASEN DER ERKENNTNISGEWINNUNG	9
ABBILDUNG 4: EXPERIMENTIERSETTING MIT SICHT AUF DIE ZWEI KAMERAS.....	45
ABBILDUNG 5: PROTOKOLLBOGEN INKL. AUFGABE	47
ABBILDUNG 6: TISCH MIT DEN BEREITGESTELLTEN EXPERIMENTIERMATERIALIEN.....	48

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ÖFFNUNGSGRADE BEIM FORSCHENDEN LERNEN.....	11
TABELLE 2: TRANSKRIPTAUSSCHNITT INKL. FOTOGRAMM.....	51
TABELLE 3: AUSZUG AUS DER FORMULIERENDEN INTERPRETATION	52
TABELLE 4: AUSZUG AUS DER REFLEKTIERENDEN INTERPRETATION	54
TABELLE 5: INKLUDIERENDE INTERAKTIONSMODI	55
TABELLE 6: EXKLUDIERENDE INTERAKTIONSMODI	56
TABELLE 7: ERGEBNISÜBERSICHT BEIM EXPERIMENTIEREN	58
TABELLE 8: ERGEBNISÜBERSICHT BEIM PROTOKOLLIEREN	60

1 Einleitung

Aufgrund der Vielzahl an Informationen, der wir heutzutage ausgesetzt sind und die es einzuordnen gilt, wird ein Wandel von der reinen Wissensvermittlung hin zur Befähigung des selbstständigen Denkens und lebenslangen Lernens erforderlich (Binkley et al., 2012; Häkkinen et al., 2017). Traditionelle Lehrformen, in denen die Vermittlung von Faktenwissen vorherrschend war, werden vermehrt ersetzt durch Lehrformate, in denen die Lernenden als aktiv Handelnde und nicht als passive Rezipienten verstanden werden (Constantinou, Tsivitanidou & Rybska, 2018; Martius, Delvenne & Schlüter, 2016; Zhang, 2016). Insbesondere im Bereich der Naturwissenschaften und ihrer Didaktik gilt es, wissenschaftliche Erkenntnisse nicht als gesetzte Tatsachen zu vermitteln, sondern den Lernenden den Weg ihrer Genese verständlich zu machen (Abd-El-Khalick et al., 2004; Driver, Leach, Millar & Scott, 1996; Hazelkorn et al., 2015; NRC, 2012; Osborne, 2013; Schwartz, Lederman & Crawford, 2004). Zur naturwissenschaftlichen Grundbildung (*Scientific Literacy*) gehört dazu, dass Lernende ein Verständnis über die Natur der Naturwissenschaften sowie deren Erkenntniswege entwickeln (Bybee, 2006). Diese Forderungen sind dementsprechend sowohl national als auch international für die schulische und hochschulische Ausbildung in den jeweiligen Steuerungsdokumenten verankert (DfE, 2014; KMK, 2005, 2019; NRC, 1996).

In der Biologiedidaktik ist in diesem Kontext die Lehr-/Lernform des *Forschenden Lernens* etabliert, welche – über Fachwissen hinaus – naturwissenschaftliche Arbeitstechniken, Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und ein Verständnis von der Naturwissenschaft als Disziplin vermitteln soll (Kremer, Möller, Arnold & Mayer, 2019; Mayer, 2007; Schlüter, 2019). Dies soll erreicht werden, indem Lernende selbst den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess durchlaufen und sich eigenständig mit einer wissenschaftlichen Problemstellung auseinandersetzen (Anderson, 2002; Martius et al., 2016; Mayer, 2007, 2022). Forschendes Lernen findet in der Regel in Gruppenarbeit statt, was als unterstützend für die Lernenden angenommen wird (Bruckermann, Arnold, Kremer & Schlüter, 2017a; Furtak, Seidel, Iverson & Briggs, 2012; Mayer & Ziemek, 2006; Messner, 2009). Das Experimentieren – als eine von mehreren Erkenntnismethoden in der Biologie – wird im Rahmen von Forschendem Lernen (auch ‚forschendes Experimentieren‘) in der vorliegenden Arbeit untersucht (Kremer et al., 2019; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar & Duschl, 2003; Wellnitz & Mayer, 2013).

Bisherige empirische Studien fokussieren insbesondere die Wirksamkeit des Lernformats (Kremer et al., 2019). Dabei stehen die Modellierung und Messung von Experimentierkompetenzen und die Analyse von Defiziten der Lernenden im Vordergrund (KMK, 2005; Kranz, Baur & Möller, 2022; Nehring, Stiller, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2016). Davon ausgehend liegt ein Schwerpunkt auf der Entwicklung von Instruktionsansätzen und Unterstützungsmöglichkeiten (*Scaffolds*) beim Forschenden Lernen, um diesen Schwierigkeiten zu begegnen und eine Kompetenzförderung zu erreichen (Arnold, Kremer & Mayer, 2016; Bruckermann, Aschermann, Bresges & Schlüter, 2017b). Solche Untersuchungen beziehen sich bislang besonders auf Schüler*innen, für (Lehramts-)Studierende liegen deutlich weniger Befunde vor (Kambach, 2018). Diese Gruppe stärker in den Fokus zu nehmen, erscheint jedoch ratsam zu sein, da für (Lehramts-)Studierende festgestellt werden konnte, dass auch sie Schwierigkeiten beim forschenden Experimentieren haben (u. a. Hilfert-Rüppell et al., 2013; Kranz et al., 2022). Aufgrund ihrer Rolle als spätere Vermittler*innen im eigenen Unterricht ist es umso wichtiger, bereits bei ihnen anzusetzen (Capps & Crawford, 2013; Schlüter, 2019; Welter, Emmerichs-Knapp & Krell, 2023).

Zwar gibt es Studien, die Prozesse beim Experimentieren im Rahmen von Forschendem Lernen in den Blick nehmen, allerdings beziehen auch diese sich insbesondere auf die Aufdeckung von Fehlern, die im Experimentierprozess von den Lernenden gemacht werden (Baur, 2018) oder aber auf die Analyse von formalen Aspekten wie der Abfolge der Phasen des Forschungsprozesses (Arndt, 2016; Kambach, 2018; Sonnenschein, Koenen & Tiemann, 2019). Inwiefern Lernende diesen Prozess als bedeutungsvolle Praxis und mit einem Verständnis für Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung vollziehen, bleibt dabei jedoch außen vor (Berland et al., 2016; Rönnebeck, Bernholt & Ropohl, 2016).

In der vorliegenden Arbeit wird daher untersucht, *wie* Lehramtsstudierende der Biologie Experimentier- und Protokollierprozesse im Rahmen Forschenden Lernens (gemeinsam) ausgestalten. Fernab einer präskriptiven, evaluierenden Sicht sollen die Prozesse als soziale Praxis in den Blick genommen werden, um Zugriff auf die Bedeutungszuschreibungen und Relevanzsetzungen der Studierenden selbst zu erhalten (Reckwitz, 2003). So soll über die sichtbaren Abläufe hinaus untersucht werden, was die Studierenden unbewusst auf einer Tiefenebene in ihren Handlungen leitet. Die Interaktion zwischen den Gruppenmitgliedern ist Teil dieser sozialen Praxis und wird in die Analysen integriert. Durch die

praxeologische Perspektive auf die stattfindenden Prozesse kann anschließend geprüft werden, inwiefern diese den Erwartungen an eine solche Situation Forschenden Lernens entsprechen (Reckwitz, 2003). In der vorliegenden Arbeit wird insbesondere die Planungsphase beim Experimentieren fokussiert, da diese als entscheidend für den gesamten nachfolgenden Prozess und als besonders anspruchsvoll für die Lernenden gilt (Arnold, Kremer & Mayer, 2014; Fradd, Lee, Sutman & Saxton, 2001; Kastaun & Meier, 2022; Wolowski, 2021). Neben den Experimentierprozessen sind auch die Protokollierprozesse als weitere Handlungspraktik Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit, da für das Protokollieren eine unterstützende Funktion im Kontext forschenden Experimentierens angenommen wird (Brede, 2020; Hoehn & Lewandowski, 2020b; Müllner, Bachler & Möller, 2022). Um Zugang zur Tiefendimension der Prozesse zu erhalten, wird in der Arbeit eine rekonstruktive Analyseverfahren, die Dokumentarische Methode, gewählt (Asbrand & Martens, 2018; Bohnsack, 2013a, 2014).

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund der Arbeit dargelegt (Kap. 2), wobei zunächst das Forschende Lernen als rahmendes Lernkonzept vorgestellt wird (Kap. 2.1) und daran anschließend die beiden für die vorliegende Dissertation relevanten Handlungspraktiken Experimentieren (Kap. 2.2) und Protokollieren (Kap. 2.3) theoretisch und empirisch eingeordnet werden. Davon ausgehend wird die Problemstellung und das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit dargestellt (Kap. 2.4). Daran anschließend wird die Wahl der Dokumentarischen Methode theoretisch begründet und im Kontext der (Naturwissenschafts-)Didaktik eingeführt (Kap. 2.5). Im darauffolgenden Kapitel werden das Studiendesign (Kap. 3.1) und das methodische Auswertungsverfahren dargelegt (Kap. 3.2). Anschließend werden die beiden Teilpublikationen mit den entsprechenden Ergebnissen kurz zusammengefasst (Kap. 4), wobei die vollständigen Publikationen im Anhang zur Verfügung gestellt sind. Zuletzt folgt eine Gesamtdiskussion (Kap. 5), in der die Ergebnisse mit Bezug zum Forschungsstand eingeordnet (Kap. 5.1), die Möglichkeiten und Grenzen der Dokumentarischen Methode diskutiert (Kap. 5.2) und die Limitationen sowie die Implikationen der vorliegenden Arbeit ausgeführt werden (Kap. 5.3 und 5.4). Abgeschlossen wird mit einem Fazit (Kap. 5.5).

2 Theoretischer Rahmen

2.1 Forschendes Lernen

Da der Begriff ‚Forschendes Lernen‘ (bzw. *Inquiry* oder *Inquiry-based Learning* in der englischsprachigen Literatur) vielfältig ausgelegt werden kann, soll zu Beginn präzisiert werden, was in dieser Arbeit darunter verstanden wird und worauf der Fokus im Folgenden liegt.

Zunächst muss im Kontext von Forschendem Lernen in der Lehramtsausbildung unterschieden werden zwischen dem hochschuldidaktischen und dem naturwissenschaftsdi-daktischem Konzept Forschenden Lernens. Ersteres ist dabei auf die Professionalisierung angehender Lehrer*innen im Hinblick auf ihre pädagogische Praxis ausgerichtet und hat insbesondere im Rahmen des im Lehramtsstudium etablierten Praxissemesters eine besondere Relevanz für die Ausbildung einer forschenden Haltung (Brinkmann, 2020; Feindt, Fichten, Klewin, Weyland & Winkel, 2020; Klewin & Koch, 2017; Wildt, 2005). Diese allgemeine hochschuldidaktische Form Forschenden Lernens ist nicht Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit, allerdings werden an verschiedenen Stellen in der Arbeit Bezüge hergestellt. Dennoch betrifft das Erkenntnisinteresse der vorliegen-den Arbeit Forschendes Lernen in der Naturwissenschafts- bzw. Biologiedidaktik. Das heißt, dass naturwissenschaftliche Inhalte, Arbeitsmethoden und Erkenntniswege im Zentrum des Konzeptes stehen und nicht etwa die allgemeindidaktische bzw. erziehungswissenschaftliche Professionalisierung. Wenngleich viele Charakteristika des Forschenden Lernens in den verschiedenen Zusammenhängen sehr ähnlich sind (u. a. eigenständiges Durchlaufen des Forschungszyklus, Förderung einer forschenden Haltung) (Huber & Reinmann, 2019), ist es doch entscheidend, diese Abgrenzung am Anfang vorzunehmen.¹

Auch innerhalb der Naturwissenschafts- bzw. Biologiedidaktik gilt es weiterhin zu differenzieren, was unter Forschendem Lernen zu verstehen ist. So unterscheidet Anderson (2002) zwischen drei verschiedenen Perspektiven, die im Rahmen von Forschendem Lernen gemeint sein können: (1) *Scientific Inquiry*, (2) *Inquiry Learning* und (3) *Inquiry Teaching*. Ersteres hat keinen didaktischen Bezug, sondern bezieht sich auf die Vorgehensweisen in den Naturwissenschaften allgemein. Unter *Inquiry Learning* wird

¹ Diese Notwendigkeit der Differenzierung und Begriffsbestimmung ist besonders durch den interdisziplinären Austausch mit Personen außerhalb der Naturwissenschaftsdidaktik zum Vorschein gekommen.

Forschendes Lernen als aktive *Lernmethode* gefasst, bei der die Lernenden selbst wissenschaftliche Untersuchungen durchführen (Emden, 2021). *Inquiry Teaching* wiederum setzt den Fokus auf Forschendes Lernen als *Lehrmethode*, wobei die Art und Weise des Lehrens nicht festgeschrieben ist, aber in jedem Fall eine veränderte Rolle der Lehrperson impliziert, die anstatt einer wissensvermittelnden eine unterstützende Funktion inne haben soll (Anderson, 2002; Constantinou et al., 2018).

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht das *Inquiry Learning*, da die Experimentierprozesse von Lernenden im Rahmen Forschenden Lernens untersucht werden. Auch wenn die Untersuchungsgruppe Lehramtsstudierende der Biologie und damit angehende Lehrpersonen umfasst, geht es nicht darum, ihr späteres Unterrichten zu erforschen, sondern sie stehen als Lerner*innen im Fokus dieser Studie. Die Relevanz ihrer Rolle als spätere Multiplikator*innen im Unterricht an der Schule gilt es dabei selbstverständlich mit zu berücksichtigen (Bruckermann, Ochsen & Mahler, 2018; Schlüter, 2019; Welter et al., 2023) (s. Kap. 2.1.3).

Die unterschiedliche Bedeutung von *Inquiry* je nach Kontext verdeutlicht auch, dass Forschen in Lernkontexten (*Inquiry Learning*) nicht identisch ist mit Forschung in der Wissenschaft (*Scientific Inquiry*), aber daran angelehnt sein soll (Hodson, 1996; Hofstein & Lunetta, 2004). So heißt es bei Hofstein und Lunetta (2004):

Inquiry refers to diverse ways in which scientists study the natural world, propose ideas, and explain and justify assertions based upon evidence derived from scientific work. It also refers to more authentic ways in which learners can investigate the natural world, propose ideas, and explain and justify assertions based upon evidence and, in the process, sense the spirit of science. (S. 30)

Im Folgenden sollen daher die wissenschaftsmethodischen Kompetenzen, die mit dem Forschenden Lernen gefördert werden sollen, sowie die Charakteristika Forschenden Lernens in der Biologiedidaktik ausgeführt werden. Anschließend wird dann auf Forschendes Lernen im Kontext der Lehramtsausbildung eingegangen.

2.1.1 Forschendes Lernen und wissenschaftsmethodische Kompetenzen

Die Ursprünge des Forschenden Lernens können zurückgeführt werden auf den Beginn des 20. Jahrhunderts und die Forderungen unter anderen von John Dewey, durch

eigenständige und aktive Prozesse zu Wissen und Erkenntnis zu gelangen (Constantinou et al., 2018; Martius et al., 2016; Zhang, 2016). Auch in den Arbeiten Jean Piagets zur kognitiven Entwicklung wird postuliert, dass Erkenntnisgewinn durch eigene Erfahrungen und die Einbindung von neuem Wissen an bereits vorhandene Wissensstrukturen erst möglich wird (Zhang, 2016). Diese konstruktivistischen Ansätze bilden den Ausgangspunkt für die Entstehung von Lernformen wie dem Forschenden Lernen, die eine Abkehr von traditionellen wissensvermittelnden Lernformen darstellen (Abd-El-Khalick et al., 2004; Bruckermann et al., 2017a; Driver, Asoko, Leach, Scott & Mortimer, 1994; KMK, 2005, 2019; NRC, 1996).

Forschendes Lernen gilt als eine Lernform, bei der neben fachwissenschaftlichen Inhalten auch wissenschaftliche Arbeitstechniken (*Practical Work*) sowie Prinzipien wissenschaftlicher Untersuchungen (*Scientific Inquiry*) und Wissen über die Charakteristika der Naturwissenschaften (*Nature of Science, NOS*) vermittelt werden können (Arnold et al., 2016; Bruckermann, 2016; Hodson, 2014; Mayer, 2007; Mayer & Ziemek, 2006; OECD, 2019).² Diese Standards der Erkenntnisgewinnung sind im Rahmenmodell wissenschaftsmethodischer Kompetenzen (s. Abb. 1) von Mayer (2007) verankert, welches in der Biologiedidaktik integraler Bestandteil und Bezugspunkt bei Untersuchungen im Kontext der Erkenntnisgewinnungskompetenz ist.

Diese Standards sind im Modell mit drei verschiedenen Kompetenzkonstrukten verknüpft: den manuellen Fähigkeiten (*Practical Skills*), dem wissenschaftlichen Denken (*Scientific Reasoning*) und dem Wissenschaftsverständnis (*Epistemological Views*). Die verschiedenen Standards der Erkenntnisgewinnung und die Kompetenzkonstrukte sind dabei nicht strikt voneinander getrennt, sondern stehen in Bezug zueinander (Mayer, 2007).

² Hodson (2014) ergänzt außerdem die Adressierung von *Socio-Scientific Issues*, womit die Reflexion von naturwissenschaftlichen Aspekten im Hinblick auf gesellschaftliche Herausforderungen gemeint ist. Dieser Aspekt ist jedoch nicht Teil der vorliegenden Arbeit.

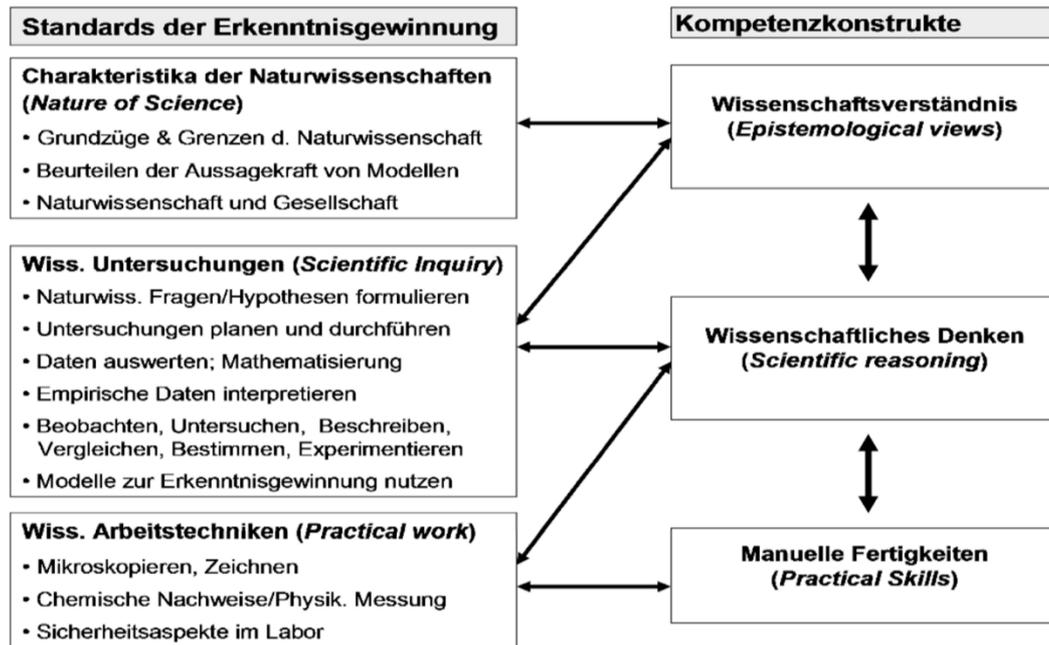


Abbildung 1: Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen
(nach Mayer, 2007, S. 178)

Forschendes Lernen ist gekennzeichnet dadurch, dass die Lernenden selbst den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg durchlaufen, wodurch die verschiedenen Facetten der Erkenntnisgewinnungskompetenz gefördert werden sollen (Kremer et al., 2019; Mayer, 2007; Mayer & Ziemek, 2006). Insbesondere das wissenschaftliche Denken ist eng verknüpft mit der Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen (Mayer, 2007). Wissenschaftliches Denken ist die Fähigkeit, wissenschaftliche Untersuchungen durchführen zu können sowie die kritische Reflexion solcher Untersuchungen zu beherrschen (Arnold et al., 2016). Nach Mayer (2007) kann der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Problemlöseprozess verstanden werden, bei dem die folgenden Prozeduren durchlaufen werden (vgl. auch Mayer, 2007; Mayer, Grube & Möller, 2008): „Fragen entwickeln“, „Hypothesen aufstellen“, „Untersuchungen planen“ und „Daten auswerten“. Die Teilkompetenz „Durchführung einer Untersuchung“ wurde später von Meier (2016) ergänzt. In seinem „Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken“ (s. Abb. 2) ist die Güte des Problemlöseprozesse neben dem Durchlaufen der einzelnen Prozeduren außerdem abhängig von Personenvariablen, wie kognitiven Fähigkeiten und deklarativem Wissen (Mayer, 2007). Letzteres setzt sich zusammen aus Konzept- und Methodenwissen (Mayer, 2007).

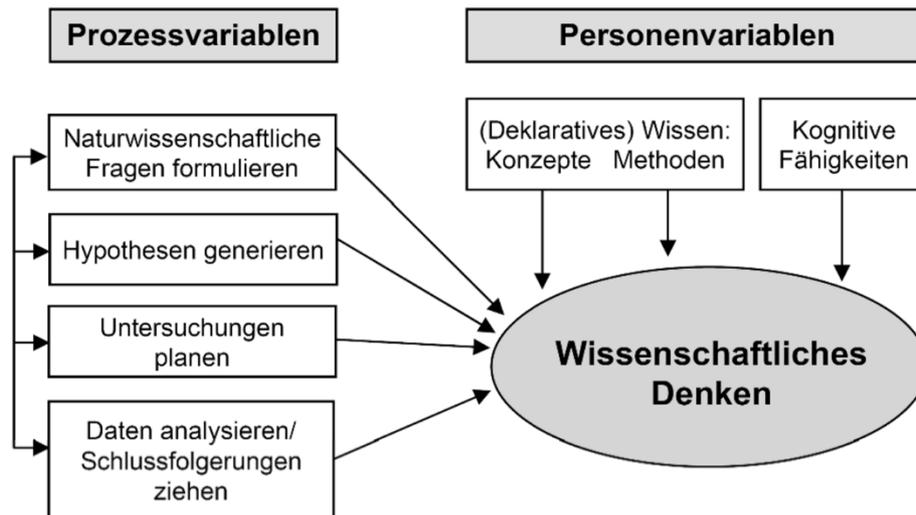


Abbildung 2: Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken
(nach Mayer, 2007, S. 181)

Angelehnt daran ist der Lernprozess beim Forschenden Lernen dem idealtypischen Verlauf eines hypothetisch-deduktiven Forschungsprozesses nachempfunden, bei dem die Lernenden die einzelnen Teilprozeduren vollziehen sollen (Anderson, 2002; Kremer et al., 2019; Martius et al., 2016). Das eigenständige Durchlaufen der verschiedenen Prozeduren soll insbesondere das wissenschaftliche Denken im Sinne eines Problemlöseprozesses fördern (Arnold et al., 2016; Hilfert-Rüppell, Meier, Horn & Höner, 2021; Mayer, 2007). In dem Zusammenhang wird auch von einer Phasierung des Forschungsprozesses gesprochen (s. Abb. 3), wobei die Anzahl und Bezeichnungen der einzelnen Phasen je nach Studie variieren (Anderson, 2002; Martius et al., 2016; Meier & Mayer, 2012; Nerdel, 2017; Pedaste et al., 2015). Allen gemein ist jedoch in der Regel eine Dreiteilung in Planung, Durchführung und Auswertung (Emden & Baur, 2017; Klahr & Dunbar, 1988; Martius et al., 2016).

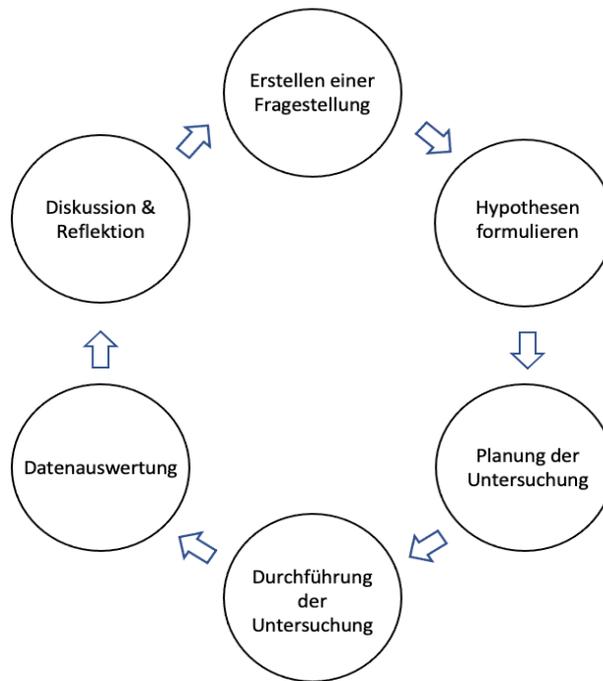


Abbildung 3: Phasen der Erkenntnisgewinnung

Neben dem wissenschaftlichen Denken werden im Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen zwei weitere kognitionspsychologische Kompetenzkonstrukte genannt, die für die Erkenntnisgewinnung relevant sind: die manuellen Fähigkeiten (*Practical Skills*) und das Wissenschaftsverständnis (*Epistemological Views*) (Mayer, 2007). Die manuellen Fähigkeiten betreffen die praktischen Arbeitsweisen bzw. wissenschaftlichen Arbeitstechniken (*Practical Work*) z. B. mit Geräten im Labor. Das Wissenschaftsverständnis umfasst das Verständnis der Naturwissenschaft als Disziplin mit ihren spezifischen Charakteristika (*NOS*).

Die epistemologische Ebene gilt beim Forschenden Lernen als entscheidend dafür, dass die Lernenden die Phasen nicht nur routiniert durchlaufen, sondern sich auch ihrer Bedeutung bewusst sind (Krell, Vorholzer & Nehring, 2022; Osborne, 2013). Arnold et al. (2016) beziehen sich in dem Zusammenhang auf das von Mayer (2007) als relevant erachtete Methodenwissen, welches definiert wird als „das Wissen über bzw. Verständnis für naturwissenschaftliche Methoden, deren Grenzen und Möglichkeiten sowie über Zweck und Funktion einzelner Aspekte wissenschaftlichen Arbeitens“ (S. 3). Darunter fallen Fragen wie „Warum braucht man eine Hypothese?“ oder „Warum sollte die unabhängige Variable variiert werden?“ (Arnold et al., 2016, S. 3). Es beinhaltet also das „Denken hinter dem Handeln“ („Wissen, warum“, *Procedural Understanding*) (Arnold et al., 2016; Gott & Duggan, 1995). Das Methodenwissen gilt als eng verknüpft mit *NOS*

(Arnold et al., 2016). Zusätzlich wird in einigen Arbeiten auch das Konstrukt der *Nature of Scientific Inquiry (NOSI)* angeführt, welches sich im Gegensatz zu *NOS* spezifischer auf den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess bezieht (Arnold et al., 2016; Nehring, 2020; Schwartz, Lederman & Abd-el-Khalick, 2012). Gleichzeitig handelt es sich auch hierbei um keine klare Abgrenzung der beiden Konstrukte (Schwartz et al., 2012; Schwartz, Lederman & Lederman, 2008). Aspekte von *NOSI* sind beispielsweise ein Verständnis davon, dass es nicht „die eine“ wissenschaftliche Methode gibt, dass das Vorgehen im Forschungsprozess Einfluss auf die Ergebnisse nimmt oder, dass das gleiche Vorgehen verschiedener Wissenschaftler*innen nicht zwangsläufig zum gleichen Ergebnis führt (Capps, Crawford & Constatas, 2012; Lederman et al., 2021; Schwartz et al., 2008). Das *NOS*-Verständnis bezieht sich eher auf Charakteristika des naturwissenschaftlichen Wissens, z. B. dessen Vorläufigkeit oder kreative und subjektive Facetten (Kampourakis, 2016; Mahler, Bock & Bruckermann, 2021; Schwartz et al., 2004).

2.1.2 Weitere Charakteristika Forschenden Lernens

Das Forschende Lernen ist durch verschiedene wesentliche Merkmale gekennzeichnet, wobei die *Phasierung* (s. Kap. 2.1.1) beim Durchlaufen des Erkenntnisgewinnungsprozesses ein zentrales Charakteristikum darstellt (Emden & Baur, 2017; Martius et al., 2016).

Indem die Lernenden selbst den Erkenntnisprozess durchlaufen, ist es außerdem eine Lernform, die durch die *Eigenständigkeit der Lernenden* gekennzeichnet ist (Martius et al., 2016). Die selbstständige Arbeit der Lernenden bedeutet gleichzeitig eine veränderte Rolle der Lehrperson, die das Forschende Lernen zurückhaltend begleiten und Hilfestellungen leisten soll, anstatt eine aktive, anleitende Funktion einzunehmen (Arnold et al., 2016; Martius et al., 2016; Mayer & Ziemek, 2006). Je nach Verteilung der Verantwortlichkeiten auf Lernenden- bzw. Lehrendenseite, werden *unterschiedliche Offenheitsgrade* unterschieden (Martius et al., 2016; Zion & Mendelovici, 2012). Dabei gilt: je offener das Lernsetting, desto eigenständiger aktiv sind die Lernenden (Fradd et al., 2001; Martius et al., 2016). Dies wird anhand der Instruktion gesteuert und es können die folgenden unterschiedlich offenen Ansätze unterschieden werden (s. Tab. 1): bestätigende, strukturierte, angeleitete und offene Formen Forschenden Lernens (Banchi & Bell, 2008; Zion & Mendelovici, 2012). Während bei bestätigenden Formen Forschenden Lernens alle Schritte, d. h. die zu untersuchende Fragestellung, die Durchführungsweise und auch das

zu erwartende Ergebnis den Lernenden vorgegeben wird; nehmen diese Vorgaben in den strukturierten und angeleiteten Formen sukzessive ab. Bei ganz offenen Formen Forschenden Lernens gehen die Lernenden ohne jegliche Vorgaben vor, was den höchsten Grad an Eigenständigkeit erfordert (Banchi & Bell, 2008).

Tabelle 1: Öffnungsgrade beim Forschenden Lernen
(in Anlehnung an Banchi und Bell, 2008, S. 27)

Ansatz/Öffnungsgrad	Fragestellung	Durchführung	Ergebnis
Bestätigend	✓	✓	✓
Strukturiert	✓	✓	
Angeleitet	✓		
Offen			

Dabei finden sich in der Literatur unterschiedliche Bewertungen, was den Offenheitsgrad der Instruktion beim Forschenden Lernen betrifft. So argumentieren Kirschner, Sweller und Clark (2006) unter Bezug auf die *Cognitive Load Theory* (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998) gegen den Einsatz ganz offener Formen Forschenden Lernens. Diese würden aufgrund der hohen Belastung des Arbeitsgedächtnisses bei den Lernenden zu Überforderung führen und daher zu komplex und wenig lernwirksam sein. Um dieser Art der Überforderung entgegenzuwirken, können beispielsweise Lernunterstützungen eingesetzt werden (Arnold et al., 2016; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). Dabei gilt es jedoch, die Offenheit des Formats nicht so weit zu reduzieren, dass dessen konstruktivistischer Lernansatz nicht mehr greifen kann (Hmelo-Silver et al., 2007). Die Offenheit muss nicht ausschließlich über die Phasen gesteuert werden, sondern kann auch davon abhängig sein, ob z. B. der Fachinhalt vorgegeben wird, es einen oder mehrere Lösungswege gibt oder Strategien und Methoden vorgegeben werden (Martius et al., 2016).

Die Lernenden sollen beim Forschenden Lernen außerdem anhand einer *Frage an die Natur* etwas für sie *subjektiv Neues* lernen und das Lernen soll *problemorientiert* angelegt sein (Martius et al., 2016; Mayer & Ziemek, 2006; Pedaste et al., 2015). Den Lernenden soll dabei ermöglicht werden, *an bereits vorhandenes Vorwissen anknüpfen* zu können, was insbesondere wichtig für die (deduktive) Hypothesengenerierung ist (Martius et al.,

2016). Außerdem soll inhaltlich an die *Erfahrungswelt der Lernenden* und an für sie *authentische* Problemstellungen angeknüpft werden, damit eine von Neugier geprägte Haltung entstehen kann (Bruckermann et al., 2017a; Martius et al., 2016; Mayer & Ziemek, 2006).

Weiterhin gilt das Forschende Lernen auch als *kollaborative bzw. kooperative Form des Lernens* (Arnold et al., 2016; Martius et al., 2016; Mayer & Ziemek, 2006). In der vorliegenden Arbeit wird bewusst der Begriff der ‚Kollaboration‘ anstatt der ‚Kooperation‘ verwendet, die im Kontext Forschenden Lernens teilweise synonym verwendet werden. Während Kooperation jedoch eine arbeitsteilige Zusammenarbeit meint und durch bestimmte Merkmale (u. a. Aufgabenverteilung, positive Interdependenz, individuelle Verantwortlichkeit) charakterisiert ist, arbeiten die Lernenden bei der Kollaboration durchgängig gemeinsam (Janssen, Kirschner, Erkens, Kirschner & Paas, 2010). Forschendes Lernen findet also in der Regel in Gruppenarbeit statt, bei der die Zusammenarbeit der Lernenden als unterstützend und lernförderlich angenommen wird (Bruckermann et al., 2017a; Hofstein & Lunetta, 2004; Mayer & Ziemek, 2006; Puntambekar & Hübscher, 2005). Dabei soll innerhalb der Gruppe eine gemeinsame Problemlösung stattfinden (Furtak et al., 2012). Die kollaborative Arbeit stellt weiterhin eine Anlehnung an die Forschungsrealität von Wissenschaftler*innen dar, in der ebenfalls in Teams gearbeitet wird (Furtak et al., 2012; Martius et al., 2016).

2.1.3 Forschendes Lernen in der Lehramtsausbildung

Forschendes Lernen ist nicht nur im schulischen Kontext relevant, sondern auch für die universitäre Ausbildung angehender Biologielehrkräfte wird der Erwerb wissenschaftsmethodischer Kompetenzen gefordert, was über den Einsatz Forschenden Lernens erreicht werden soll (KMK, 2019; Schlüter, 2019). Die hochschulische Ausbildung gilt als entscheidend, um den Studierenden Erfahrungen mit Forschendem Lernen zu ermöglichen und bei ihnen dadurch ein Verständnis für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung zu entwickeln (Capps et al., 2012; Mahler et al., 2021). Die Förderung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen in der Lehramtsausbildung gilt zusätzlich als besonders relevant für die Vorbereitung der angehenden Lehrkräfte auf ihre spätere Schulpraxis (Capps & Crawford, 2013; Hilfert-Rüppell et al., 2021; Kite, Park, McCance & Seung, 2021; Schlüter, 2019). Denn das, was Lehramtsstudierende während ihres Studiums lernen, bestimmt maßgeblich die Gestaltung ihres späteren Unterrichts und damit auch das

Lernen ihrer zukünftigen Schüler*innen (Höttecke & Rieß, 2007; Welter et al., 2023). Das Etablieren naturwissenschaftlicher Untersuchungen im Rahmen Forschenden Lernens in der Lehramtsausbildung ist also nicht nur relevant für das Lernen der Studierenden selbst, sondern soll auch den späteren Einsatz Forschenden Lernens in ihrem eigenen Unterricht fördern (Bruckermann et al., 2017a; KMK, 2005; Windschitl, 2004).

Dass im Rahmen der Lehrkräfteausbildung noch Handlungsbedarf vorliegt, wird daran deutlich, dass Forschendes Lernen im Unterricht bislang nur selten umgesetzt wird (Capps & Crawford, 2013), was neben umweltbezogenen Ursachen (z. B. Mangel an verfügbaren Ressourcen) auch auf einstellungsbezogene (z. B. Festhalten an wissensvermittelnden Lehrformen) sowie fähigkeitsbezogene (z. B. fehlende Fähigkeit, wissenschaftliche Untersuchungen zu planen) Defizite bei den angehenden Lehrkräften zurückgeführt werden kann (Anderson, 2002; Roehrig & Luft, 2004; Schlüter, 2019). Kite et al. (2021) befragten in den USA mittels eines offenen Erhebungsinstruments 128 Lehrkräfte aus dem naturwissenschaftlichen Bereich zu ihrem epistemischen Verständnis von wissenschaftlichen Untersuchungen und stellten fest, dass diese ein eher oberflächliches und starres Verständnis aufwiesen. Dies drückte sich u. a. darin aus, dass sie wissenschaftliche Untersuchungen streng an einen linearen Forschungsweg gebunden sahen, der stets mit einer Frage zu beginnen habe sowie mit einer konkreten Schlussfolgerung abzuschließen sei. Dies deckt sich mit Befunden von Höttecke und Rieß (2007), die bei Lehramtsstudierenden der Physik u. a. ein Verständnis eines vorwiegend regelgeleiteten, unkreativen Forschungsprozesses in den Naturwissenschaften feststellten. Park, Kite, Suh, Jung und Rachmatullah (2022) stellten – an Kite et al. (2021) anschließend – die Bedeutung von epistemischen Orientierungen der Lehrenden für deren epistemisches Verständnis sowie die Umsetzung naturwissenschaftlicher Untersuchungen im Unterricht heraus. Das Konzept der ‚epistemischen Orientierungen‘ wird definiert als Ausrichtung des Denkens, die die Handlungen in Bezug auf Wissen und Wissensentwicklung leitet und eng mit den persönlichen epistemologischen Überzeugungen verbunden ist. Im Gegensatz zu epistemologischen Überzeugungen sind die epistemischen Orientierungen allerdings stärker auf das Lehren und Instruieren in Lernkontexten ausgerichtet (Park et al., 2022). Die Autor*innen betonen einerseits die Relevanz der Überzeugungen der Lehrkräfte, ihren Schüler*innen eigenständige Wissensaneignung zu ermöglichen. Andererseits müssen die Lehrkräfte auch die epistemischen Grundlagen naturwissenschaftlicher Untersuchungen durchdringen (Park et al., 2022). Denn erst dann sei es möglich, dass auch ihre Schüler*innen die Bedeutung wissenschaftlicher Untersuchungen und die Verbindung

zwischen den einzelnen Forschungsschritten begriffen (Park et al., 2022). In einer Studie von Capps, Shemwell und Young (2016) wurden 149 Lehrkräfte zu ihrem Wissen und Einsatz von Forschendem Lernen befragt. Trotz eher mangelhaften Wissens zu Forschendem Lernen schätzten die Befragten ihren Einsatz des Lernformats jedoch eher als häufig ein. Die Autor*innen schließen daraus, dass Lehrkräfte oftmals davon überzeugt sind, Forschendes Lernen im Unterricht einzusetzen, obwohl es sich tatsächlich gar nicht darum handelt. Auch darin zeigen sich Fehlvorstellungen und ein Handlungsbedarf, den Fokus noch mehr auf angehende Lehrpersonen zu legen.

2.2 Experimentieren

Häufig werden Forschendes Lernen und Experimentieren synonym verwendet (Emden, 2021). Daher soll zunächst die Differenzierung zwischen dem Forschenden Lernen als didaktisches Prinzip und dem Experimentieren als eine von mehreren anwendbaren Erkenntnismethoden der Biologie deutlich gemacht werden (Baur & Emden, 2021). Der dem idealisierten Forschungszyklus entsprechende Lernweg beim Forschenden Lernen kann zwar die Methode des Experimentierens umfassen, allerdings sind je nach Forschungsfrage auch die in der Biologie anwendbaren Erkenntnismethoden des Beobachtens oder Vergleichens im Kontext Forschenden Lernens umsetzbar (Emden, 2021; Wellnitz & Mayer, 2013).³ Diese weiteren Erkenntnismethoden sollen kurz zur Verdeutlichung erläutert werden, bevor sich der in dieser Arbeit relevanten Methode des Experimentierens zugewandt wird.

Beim Beobachten werden bestimmte korrelative oder funktionale Merkmalszusammenhänge von statischen oder dynamischen Systemen beschrieben (z. B. Blüte – Bestäubung), ohne dabei aktiv einzugreifen und Variablen zu verändern (Wellnitz & Mayer, 2013). Das Beobachten bezieht sich in Abhängigkeit des Erkenntnisinteresses auf beobachtungsrelevante Aspekte und beinhaltet daher auch immer eine Selektion (Wellnitz & Mayer, 2013). Aussagen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen können durch Beobachtungen nicht getroffen werden (Wellnitz & Mayer, 2013). Beim Vergleichen werden bestimmte biologische Systeme (z. B. Organismen) kriteriengeleitet auf

³ Andere Autor*innen verweisen auf das Modellieren als weitere Erkenntnismethode (u. a. Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2019).

Gemeinsamkeiten und Unterschiede geprüft (Wellnitz & Mayer, 2013). Dadurch können Ordnungssysteme ermittelt werden, die Rückschlüsse auf z. B. phylogenetische Verwandtschaftsverhältnisse oder ökologisch bedingte Ähnlichkeiten zulassen (Wellnitz & Mayer, 2013).

Im Folgenden soll das Experimentieren als für die naturwissenschaftliche Grundbildung besonders zentrale (Hilfert-Rüppell et al., 2013; Kremer et al., 2019; Osborne et al., 2003) und in dieser Arbeit relevante Erkenntnismethode zunächst ausführlicher beschrieben werden sowie anschließend auf exemplarische empirische Studienergebnisse eingegangen werden.

2.2.1 Experimentieren im Rahmen von Forschendem Lernen

Die Definition des Experiments in der vorliegenden Arbeit bezieht sich auf ein enges Verständnis im Sinne des kontrollierten Experiments (Schwichow & Nehring, 2018; Wellnitz & Mayer, 2013).⁴ Das Experiment unterscheidet sich von den anderen Erkenntnismethoden dadurch, dass ein bewusster Eingriff in die Prozesse von der experimentierenden Person vorgenommen wird und sie die Bedingungen der Experimentierumgebung kontrolliert (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Kranz et al., 2022). Das Experimentieren dient dazu, kausale Zusammenhänge zwischen Variablen aufzudecken, um so Erklärungen für naturwissenschaftliche Phänomene zu erhalten (Gyllenpalm & Wickman, 2011; Wellnitz & Mayer, 2013). Dabei wird die unabhängige Variable (= Einflussgröße) bewusst verändert, um deren Wirkung auf die abhängige Variable (= Messgröße) zu ermitteln. Andere Einflüsse gilt es auszuschließen, was dadurch erreicht wird, dass die sogenannten Kontrollvariablen (Störgrößen) konstant gehalten bzw. kontrolliert werden. Unter diesen kontrollierten Bedingungen kann dann eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen unabhängiger und abhängiger Variable geschlussfolgert werden (Wellnitz & Mayer, 2013). Man spricht in dem Zusammenhang auch von der ‚Variablenkontrollstrategie‘ bzw. von ‚fair testing‘ (Kremer et al., 2019). Es ist auch deshalb wichtig, die Definition von Experimenten herauszustellen, da oftmals jegliche praktische Arbeit im Labor als Experimentieren bezeichnet wird (Martius et al., 2016). Außerdem wurde in einer

⁴ Während in der Biologiedidaktik fast ausschließlich Experimentieren unter diesem Verständnis untersucht wird, bezieht sich beispielsweise die Physikdidaktik auf viele unterschiedliche Arten von Experimenten (Höttecke & Rieß, 2015)

Befragung von Lehramtsstudierenden der Naturwissenschaften deutlich, dass diese das Experiment als eine Unterrichtsmethode definierten, die Laboraktivitäten umfasst, anstatt dass sie das Experiment als naturwissenschaftliche Forschungsmethode begriffen (Gyllenpalm & Wickman, 2011).

In didaktischen Settings wurden und werden noch immer Experimente häufig mittels Schritt-für-Schritt-Anleitungen durchgeführt, was auch als ‚Kochbuchmethode‘ (*Cookbook Style*) bezeichnet wird, da die Lernenden einer rezeptartigen Abfolge an Handlungsschritten folgen, die sie dann an das gewünschte Ziel bringt (Brownell & Kloser, 2015; Bruckermann, 2016; Hilfert-Rüppell et al., 2013). Oft ist den Lernenden das Endergebnis im Voraus bereits bekannt, sodass es sich nur noch um eine Bestätigung dessen durch stark strukturiertes Experimentieren handelt (*Confirmation Inquiry*) (Emden & Baur, 2017; Terkowsky et al., 2020). Diese Art der Implementation von Experimenten vernachlässigt aber die weitreichenden Ziele, die innerhalb der naturwissenschaftlichen Grundbildung umgesetzt werden sollen und über eine reine Vermittlung des Fachwissens hinausgehen (Hilfert-Rüppell et al., 2013). Damit neben der Vermittlung fachinhaltlicher Aspekte auch ein Verständnis von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und ein Verständnis für die Natur der Naturwissenschaft bei den Lernenden entstehen kann, wird daher empfohlen, das Experimentieren in den Rahmen des Forschenden Lernens einzubetten (Kremer et al., 2019).

Emden und Baur (2017) verwenden in dem Zusammenhang das Konzept des ‚entdeckenden Experimentierens‘, was mit dem Experimentieren im Rahmen des Forschenden Lernens gleichgesetzt werden kann. Das ‚entdeckende Experimentieren‘ zeichnet sich nach den Autoren durch folgende Charakteristika aus: (1) die aktive Ausführung des Experiments durch die Lernenden, (2) die Phasierung des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses, (3) die Reflexion der wissenschaftslogischen Zusammenhänge, (4) den Gewinn neuer Erkenntnis für die Lernenden und (5) die Eigenverantwortlichkeit der Lernenden.

Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf dieses Verständnis von forschendem Experimentieren, welches in den Rahmen Forschenden Lernens eingebunden ist. Die nachfolgenden Kapitel beziehen sich auf Studien, die das Experimentieren als Erkenntnismethode unter diesem Gesichtspunkt untersuchen. Die Begriffe ‚Experimentierkompetenz‘ bzw. ‚Kompetenzen wissenschaftlichen Denkens‘ werden daher nachfolgend synonym verwendet.

2.2.2 Messen von Experimentierkompetenzen

Durch die in den Bildungsstandards etablierten Kompetenzbereiche, liegt ein besonderer Fokus fachdidaktischer Untersuchungen darauf, Kompetenzen zu konzeptualisieren und mittels verschiedener Testverfahren zu messen (KMK, 2005; Nehring et al., 2016). Dabei wird in der Regel an den Kompetenzbegriff nach Weinert (2001) angeschlossen, wonach es sich bei Kompetenzen um verfügbare oder erlernbare Fähigkeiten und Fertigkeiten von Individuen handelt, die sowohl kognitive, aber auch motivationale, volitionale und soziale Facetten beinhalten. Viele Studien untersuchen die Experimentierkompetenz von Lernenden mit Bezug auf die einzelnen Teilkompetenzen des wissenschaftlichen Denkens und die Schwierigkeiten, die die Lerner*innen beim Experimentieren haben (Baur, 2018; Bruckermann, 2016; Kremer et al., 2019). Das Aufdecken von Schwierigkeiten beim Experimentieren wird dann genutzt, um gezielt daran ansetzende Lernförderung und Instruktionsansätze zu entwickeln (Kranz et al., 2022).

Zur Messung der Experimentierkompetenz werden verschiedene Methoden eingesetzt (Gut-Glanzmann, 2012; Hammann, Phan & Bayrhuber, 2008). Nach Schreiber, Theyßen und Schecker (2009) können schriftliche Wissenstests (Paper-Pencil-Tests), Computersimulationen sowie Realexperimente (Performance Assessments) zur Messung genutzt werden. Baur (2015) ergänzt den Einsatz von Interviews als weiteres Verfahren. Schriftliche Tests eignen sich aufgrund ihrer Testökonomie für große Stichproben, beschränken sich aber auf die kognitiven Aspekte beim Experimentieren, während handlungsbezogene Aspekte nicht gemessen werden können (Hammann et al., 2008; Kambach, 2018). Die Paper-Pencil-Tests können z. B. aus Multiple-Choice-Aufgaben oder der schriftlichen Bearbeitung von Gedankenexperimenten bestehen (Baur, 2015). Dem gegenüber stehen Performance Assessments, die die Durchführung eines Experiments beinhalten, d. h. bei denen die Proband*innen unter Verwendung verschiedener Experimentiermaterialien praktisch arbeiten (Meier & Mayer, 2012; Shavelson & Ruiz-Primo, 2005). Dabei sind neben den kognitiven Aspekten auch manuelle Fähigkeiten relevant (Kambach, 2018). Untersuchungen zeigen, dass schriftliche Testverfahren nur wenig mit Performance Assessments korrelieren, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass jeweils verschiedene Kompetenzaspekte relevant sind (Gut-Glanzmann, 2012; Kambach, 2018). Computerbasierte Simulationen von Experimenten korrelieren zwar stärker als schriftliche Tests mit Realexperimenten und können anstelle dieser eingesetzt werden, wenn die notwendigen Ressourcen für die Umsetzung von Realexperimenten nicht vorhanden sind

(Kambach, 2018). Die Komplexität bei solchen Simulationen ist jedoch geringer und die manuellen Fähigkeiten werden dabei vernachlässigt, sodass Realexperimente bzw. Performance Assessments aufgrund ihrer Authentizität dennoch zu bevorzugen sind (Baur, 2018; Fichten, 2010; Gut-Glanzmann, 2012; Shavelson, Ruiz-Primo & Wiley, 1999).

2.2.3 Experimentieren bei Schüler*innen

Ein Großteil der bisherigen empirischen Studien fokussiert die Untersuchung von experimentellen Kompetenzen und Vorgehensweisen von Schüler*innen und dabei besonders die Sekundarstufe I (Arnold, Kremer & Mayer, 2013; Hammann et al., 2008; Wolowski, 2021).

So gibt Baur (2018) – basierend auf verschiedenen bereits vorliegenden Arbeiten zum Experimentieren bei Schüler*innen – eine Übersicht über häufig auftretende Fehler beim Experimentieren, die als ‚Problempunkte‘ bezeichnet werden. Die Ergebnisse wurden mit verschiedenen Testverfahren (schriftliche Tests, Simulationstests, Realexperimente) erhoben und werden anhand der einzelnen Teilkompetenzen von Mayer (2007) dargestellt (Baur, 2018). Problempunkte treten in allen Phasen des Experimentierprozesses auf und beziehen sich u. a. darauf, dass inhaltliche anstatt experimentell prüfbare Forschungsfragen formuliert werden; keine Hypothesen aufgestellt oder so formuliert werden, dass diese am Ende bestätigt werden können; das Erreichen eines Effekts als Ziel des Experiments angestrebt wird; Probleme bei der Variablenkontrollstrategie auftreten oder irritierende Daten ignoriert werden (Baur, 2018). Baur (2018) konnte viele der in der Literatur bekannten Problempunkte in seiner Arbeit bestätigen, indem er Videographien von Schüler*innen beim Experimentieren zu zwei unterschiedlichen Inhalten mittels eines deduktiven Kategoriensystems auswertete. Außerdem zeigte sich, dass einige Schüler*innen Hypothesen erst während oder am Ende des Experimentierprozesses aufstellen und in einer Hypothese mehrere Variablen miteinander kombinieren. Es trat jedoch auch der Fall auf, dass die zentrale Variable im Experiment gar keine Berücksichtigung fand (Baur, 2018).

Arnold et al. (2013) konzipierten für die Jahrgangsstufe 12 einen schriftlichen Test mit offenem Antwortformat, um die Kompetenzen der Lernenden zu messen. Die Antworten der Schüler*innen wurden mit einem Kodierschema ausgewertet, welches verschiedene Niveaustufen beinhaltet und so qualitative Unterschiede in den Antworten der

Schüler*innen berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Großteil der Schüler*innen bei der Planung in der Lage ist, die unabhängige Variable zu variieren und die abhängige Variable zu messen. Die Niveaueausprägung fällt aber eher niedrig aus und Störvariablen werden nur in einem Viertel der Fälle berücksichtigt. Die Autor*innen stellen die Bedeutung ihres Messinstruments insbesondere für die Individualdiagnostik und die Ableitung spezifischer Fördermaßnahmen heraus, betonen jedoch auch als Einschränkung, dass die Durchführung des Experiments bei dem Test außen vor bleibt.

In daran anschließenden qualitativen Videoanalysen von Experimentierprozessen bei Schüler*innen der Klassenstufen 10 und 12 wurden diese Ergebnisse bestätigt und Herausforderungen bei den reflektierenden Anforderungen und fehlendes prozedurales Wissen und Verständnis beim Experimentieren festgestellt (Arnold et al., 2014; Voelzke, Arnold & Kremer, 2013). Die Autor*innen schlussfolgern daraus, dass das prozedurale Wissen und Verständnis stärker gefördert werden müssen, indem expliziert wird, *was* zu tun ist, *wie* es umzusetzen ist und *warum* es getan wird (Arnold et al., 2014).

Meier (2016) untersuchte Experimentierprozesse von Schüler*innen der Sekundarstufe I in Kleingruppen und deckte verschiedene Typen von Handlungsverläufen auf, die als (1) prozessorientiert, (2) explorativ und (3) prozessüberlappend beschrieben werden. Diese wurden anhand verschiedener Merkmalsausprägungen abgeleitet, die sich auf die Abfolge der einzelnen Experimentierphasen (z. B. Abgrenzung von Planung und Durchführung vs. Überlappung der beiden Phasen), den Zeitpunkt der Hypothesengenerierung (zu Beginn aufgestellt vs. nach praktischer Durchführung aufgestellt) und das Theorie-Praxis-Verhältnis (vorrangig Planung vs. praktische Durchführung) beziehen. Dabei ist das prozessorientierte Vorgehen (Typ 1) durch ein systematisches, hypothesenprüfendes Vorgehen charakterisiert, bei dem das Theorie-Praxis-Verhältnis ausgeglichen ist. Das explorative Vorgehen (Typ 2) kennzeichnet sich hingegen durch ein unsystematisches Vorgehen, bei dem das Aufstellen der Hypothese nicht zu Beginn geschieht und die praktische Durchführung im Gegensatz zu theoretischen Überlegungen überwiegt. Das prozessüberlappende Vorgehen kann als ‚Zwischenform‘ der Typen 1 und 2 verstanden werden.

Den Schwierigkeiten der Schüler*innen wird u. a. mit dem Einsatz verschiedener Unterstützungsmethoden entgegengewirkt (z. B. Anpassung des Öffnungsgrads der zu bearbeitenden Aufgabe oder Einsatz von *Scaffolds*) (Arnold et al., 2016; Constantinou et al., 2018; Hmelo-Silver et al., 2007).

2.2.4 Experimentieren bei Studierenden

Mit Bezug auf die für diese Arbeit relevante Untersuchungsgruppe von Lehramtsstudierenden der Biologie, sollen im Folgenden solche Befunde weiter ausgeführt werden, die (Lehramts-)Studierende betreffen. Zum Experimentieren von Studierenden liegen bislang deutlich weniger Befunde vor als zum Experimentieren von Schüler*innen (Sonnenschein et al., 2019).

In ihrem Review zeigen Kranz et al. (2022), dass viele Schwierigkeiten beim Experimentieren nicht nur Schüler*innen betreffen, sondern auch bei Studierenden festgestellt wurden. Die Ergebnisse des umfangreichen Reviews wurden anhand der konzeptuellen, prozeduralen und epistemischen Domäne eingeordnet (Furtak et al., 2012). Im Folgenden werden ausschließlich die Ergebnisse dargestellt, die sich auf Studierende beziehen.⁵ Die Autor*innen fassen unter konzeptuellen Defiziten das fehlende Wissen der Lernenden über wissenschaftliche Konzepte, die den Phasen im Forschungsprozess zugrunde liegen oder Fehlkonzepte hinsichtlich des Experiments bzw. Experimentierens (Kranz et al., 2022). Festgestellte Fehler in diesem Bereich sind „Unwissen darüber, was eine Hypothese ist“, „fehlende Variablenkontrolle“, „fehlender Kontrollansatz“ und „Vertauschen von Beobachtung und Interpretation der Daten“. Schwierigkeiten, die die prozedurale Domäne betreffen, drücken sich in Fehlern bei der Durchführung einer wissenschaftlichen Untersuchung und fehlenden prozeduralen Fähigkeiten aus. Allerdings liegen für diese Domäne nur wenige Belege in der Literatur vor, besonders für Studierende (Kranz et al., 2022). Es konnte allerdings festgestellt werden, dass Studierende mehrmals den gleichen Versuch wiederholen, ohne dabei das Ziel von Messwiederholungen zu verfolgen. Defizite in der epistemischen Domäne bedeuten, dass den Lernenden Prinzipien des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses nicht klar sind (Kranz et al., 2022). Dies drückt sich darin aus, dass keine Messwiederholungen vorgenommen werden und keine Verbindung zwischen Hypothesen und Ergebnissen hergestellt wird. Die Autor*innen stellen außerdem heraus, dass die Studierenden oftmals von bestimmten subjektiven Vorstellungen und Annahmen geleitet werden, anstatt dass sie evidenzbasiert vorgehen, was sich beispielsweise darin ausdrückt, dass sie ausschließlich für sie plausible Hypothesen aufstellen oder auf ein erwünschtes Ergebnis des Experiments hinarbeiten (Kranz

⁵ Nur 19 der 66 Studien im Review beziehen sich auf Studierende, was ebenfalls die Ungleichverteilung der untersuchten Gruppen (Schüler*innen vs. Studierende) verdeutlicht.

et al., 2022). Aufgrund der zahlreichen Herausforderungen appellieren die Autor*innen für die Entwicklung von Unterstützungsangeboten.

Defizite bei den Teilkompetenzen „Hypothesen generieren“ und „Untersuchung planen“ konnten bei Lehramtsstudierenden während der Planung eines biologischen Experiments zum Thema „Keimung“ festgestellt werden (Hilfert-Rüppell et al., 2013). In der Studie wurden Paper-Pencil-Tests eingesetzt, in denen die Studierenden das Experiment schriftlich planen sollten. Die meisten der Studierenden formulierten keine Hypothese und in ihrer Planung nahmen sie häufig eine Veränderung von mehreren Variablen gleichzeitig vor. Zusätzlich zu den Defiziten beim wissenschaftlichen Denken konnte auch fehlendes Vorwissen zum Fachinhalt festgestellt werden.

Wolowski (2021) zeigte in einer auf schriftlichen Tests basierenden Längsschnittstudie, dass Lehramtsstudierende am Anfang ihres Studiums vergleichbare Kompetenzausprägungen des wissenschaftlichen Denkens aufweisen wie Schüler*innen. Durch eine an das Forschende Lernen angelehnte Intervention konnten deutliche Steigerungen in den Bereichen „Forschungsfrage formulieren“ und „Auswertung einer Untersuchung“ festgestellt werden. Das Formulieren von Hypothesen und die Planung einer Untersuchung konnten durch die Intervention jedoch nur geringfügig verbessert werden, was die Autorin auf einen höheren Anspruch dieser beiden Anforderungen zurückführt.

Schwierigkeiten bei der Planung eines Experiments und der Hypothesengenerierung stellen ebenfalls García-Carmona, Criado und Cruz-Guzmán (2017) bei angehenden Grundschullehrkräften fest. Die Kompetenzen wurden in dieser Studie mittels eines offenen Fragebogens ermittelt, der qualitativ ausgewertet wurde. Viele der Studierenden stellten Hypothesen basierend auf Alltagsvorstellungen auf, anstatt dass sie diese fachlich und theoretisch begründeten. Auch in dieser Arbeit wird deutlich, dass die Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bzw. forschenden Experimentierens bei Studierenden – vergleichbar mit den Befunden bei Schüler*innen – gefördert werden müssen.

Mahler et al. (2021) untersuchten mittels schriftlichen Tests die Entwicklung von Kompetenzen des wissenschaftlichen Denkens sowie Vorstellungen zu *NOS* bei Lehramtsstudierenden der Biologie. Sie untersuchten dabei außerdem die Beziehung zwischen den beiden Aspekten. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass beide Aspekte sich über das Studium hinweg weiterentwickeln, dennoch weisen die Studierenden am Ende ihres Studiums keine fundierten *NOS*-Vorstellungen auf. Hinsichtlich der Beziehung

zwischen den Kompetenzen des wissenschaftlichen Denkens und den *NOS*-Vorstellungen zeigt sich ein uneinheitliches Bild: so führt beispielsweise ein tieferes Verständnis von der Vorläufigkeit wissenschaftlicher Erkenntnis zu besser ausgeprägten Kompetenzen wissenschaftlichen Denkens. Bei anderen *NOS*-Vorstellungen zeigen sich solche positiven Beziehungen zu Kompetenzen wissenschaftlichen Denkens jedoch nicht. Die Autor*innen vermuten, dass nicht alle *NOS*-Vorstellungen gleich stark mit Kompetenzen, die bei der Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen relevant sind, in Beziehung stehen. Es zeigte sich außerdem, dass zu einem späteren Zeitpunkt im Studium höhere Kompetenzausprägungen im wissenschaftlichen Denken zu naiveren Vorstellungen von *NOS* in Bezug auf wissenschaftliche Methoden führen. Die Autor*innen erklären das (zunächst kontraintuitiv erscheinende) Ergebnis damit, dass sich die Studierenden im Umgang mit einer Erkenntnismethode, meist mit dem Experimentieren, dann besonders gut auskennen und diese als überlegen und als „die eine“ wissenschaftliche Methode ansehen.

Hartmann, Upmeyer zu Belzen, Krüger und Pant (2015) entwickelten einen Multiple-Choice-Test zur Messung der wissenschaftlichen Kompetenzen von (Lehramts-)Studierenden. Es konnte festgestellt werden, dass das wissenschaftliche Denken nach abgeschlossenem Studium stärker ausgeprägt ist als während des Studiums. Außerdem zeigte sich, dass Studierende mit einer Kombination aus zwei verschiedenen Naturwissenschaften bessere Kompetenzausprägungen aufwiesen als solche, die nur eine Naturwissenschaft studierten. Das wissenschaftliche Denken von Lehramtsstudierenden und Studierenden einer Naturwissenschaft (als Fachwissenschaft) unterscheidet sich insofern, dass während ihres Studiums die Studierenden einer Naturwissenschaft bessere Testergebnisse erzielen als die Lehramtsstudierenden. Ein Vergleich der Hochschulabsolvent*innen jedoch zeigt, dass Lehramtsabsolvent*innen höhere Ausprägungen zeigen als Fachwissenschaftler*innen nach Abschluss des Studiums. Die Autor*innen begründen die Ergebnisse zu den Unterschieden zwischen Lehramtsausbildung und fachwissenschaftlichem Studium damit, dass Lehramtsstudierende insbesondere am Ende des Studiums Module belegen, in denen eine explizite Vermittlung von wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung stattfindet. Diese explizite Vermittlung von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung sehen sie als besonders gewinnbringend an und wird auch in der Literatur zur Förderung von wissenschaftlichem Denken angeführt (Hodson, 2014; Kite et al., 2021). Andererseits gibt es in Bezug auf die epistemologische Dimension, also in Bezug auf das Wissenschaftsverständnis, empirische Befunde und theoretische Überlegungen, die weniger stark eine explizite Vermittlung fordern. So wird von Abd-El-Khalick et al. (2004)

angemerkt: „NOS, I believe, cannot be taught directly, rather it is learned, like language, by being part of a culture” (S. 412). Dies deutet sich auch in der Studie von Park et al. (2022) an, in der Seiteneinsteiger*innen im Lehramt ein angemesseneres Wissenschaftsverständnis aufweisen als reguläre Lehrkräfte. Die Autor*innen vermuten, dass die möglicherweise authentischeren Forschungserfahrungen der Seiteneinsteiger*innen in ihrem naturwissenschaftlichen Studium das adäquatere Verständnis erklären könnten.

Bislang liegen wenige Untersuchungen zu studentischen Experimentierprozessen vor. Häufig untersuchen diese die formale Abfolge und die Vernetzung der Phasen im Erkenntnisprozess (vgl. Meier, 2016). So stellt Arndt (2016) bei Experimentierprozessen von Lehramtsstudierenden der Chemie verschiedene Prozessmuster heraus. Insbesondere häufig stattfindende Wechsel zwischen den einzelnen Phasen (z. B. von der Durchführung zurück zur Planungsphase) konnten als förderlich für intensive Überlegungen im Experimentierprozess festgestellt werden (Arndt, 2016). Bei Experimentierprozessen von Lehramtsstudierenden der Biologie zeigte sich dieser Zusammenhang ebenfalls (Kambach, 2018). Außerdem wurde festgestellt, dass Schwierigkeiten während der Durchführung dazu führen, dass Prozesse nochmal von den Studierenden verändert werden (Kambach, 2018). Ein Bezug zwischen Auswertung und den eingangs formulierten Hypothesen wird jedoch kaum vorgenommen, was hinsichtlich des Erkenntnisgewinnungsprozesses als kritisch zu bewerten ist (Kambach, 2018). Teilweise werden auch keine Hypothesen aufgestellt und die Ergebnisse werden nicht ausgewertet. Stattdessen werden die beobachteten Ergebnisse oft als Ende des Experimentierprozesses aufgefasst (Kambach, 2018).

Sonnenschein et al. (2019) untersuchten naturwissenschaftliche Arbeitsprozesse von (Lehramts-)Studierenden der Chemie. Dabei nahmen sie im Gegensatz zu den anderen Studien nicht nur die Erkenntnismethode des Experimentierens in den Blick, sondern integrierten auch das Vergleichen und Beobachten als weitere Methoden in die Analysen. Es zeigte sich, dass eine eigens vorgenommene Kombination aus Beobachtung und anschließendem Experiment zu erfolgreichen wissenschaftlichen Problemlöseprozessen führte. Allerdings wird auch in dieser Studie deutlich, dass die Studierenden Probleme mit dem hypothetisch-deduktiven Vorgehen haben und beispielsweise so vorgehen, dass sie ihre Hypothesen in jedem Fall bestätigen können, was als *Fear of Rejection* bezeichnet wird und bereits aus Untersuchungen zum Vorgehen von Schüler*innen beim Experimentieren bekannt ist (Kranz et al., 2022).

2.3 Protokollieren

Während das Experimentieren im Bereich der Naturwissenschaftsdidaktik bereits häufig und vielseitig beforscht wurde, ist das Protokollieren bislang seltener Untersuchungsgegenstand geworden. Dabei ist das Protokollieren eng mit dem Experimentieren – auch im Rahmen von Forschendem Lernen – verknüpft und eine Handlungspraxis, die auch deshalb in der vorliegenden Arbeit in den Blick genommen wird (Brede, 2020; Hoehn & Lewandowski, 2020b; Müllner et al., 2022). Im Folgenden sollen zunächst die Charakteristika und Funktionen eines (Versuchs-)Protokolls⁶ ausgeführt werden. Im Anschluss daran werden empirische Befunde vorgestellt.

2.3.1 Charakteristika des Versuchsprotokolls

Die Textsorte ‚Versuchsprotokoll‘ wird in den Naturwissenschaften und auch in der Naturwissenschaftsdidaktik im Rahmen von Laborarbeiten genutzt, um ein Experiment möglichst präzise und kurz zu dokumentieren (Bayrak, 2020; Krabbe, 2015; Müllner et al., 2022). Das Vorgehen soll dabei so festgehalten werden, dass das Experiment durch andere nachvollziehbar und replizierbar ist (Haagen-Schützenhöfer, 2018; Müllner & Möller, 2019). Das Protokoll zeichnet sich formal durch den Gebrauch von Bildungs- und Fachsprache aus und durch die Verwendung bestimmter sprachlicher Mittel wie z. B. die Verwendung von Passivkonstruktionen, unpersönlichen Formulierungen und des Tempus Präsens (Müllner & Möller, 2019). Eine besondere Herausforderung beim Protokollieren liegt auch darin, dass „nicht-sprachliche Ereignisse“ wie das experimentelle Vorgehen oder gemachte Beobachtungen verschriftlicht werden müssen (Brede, 2020). Die Verwendung von Bildungs- und Fachsprache wird als Voraussetzung dafür angesehen, die nicht-sprachlichen Ereignisse in der erforderlichen Präzision darstellen zu können (Müllner et al., 2022).

Die normative Grundstruktur eines Protokolls ist unterteilt in die einzelnen Schritte des Erkenntnisgewinnungsprozesses und enthält in der Regel die Abschnitte „Fragestellung“, „Hypothesen“, „Durchführung“, „Datenauswertung“ und „Diskussion der Ergebnisse“ (Engl, 2017; Müllner & Möller, 2019). Je nach Quelle gibt es kleinere Abweichungen in

⁶ Die Begriffe ‚Versuchsprotokoll‘ und ‚Protokoll‘ werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

Bezeichnung und Gliederungsgrad. So sind beispielsweise die von Krabbe (2015) benannten Abschnitte eines Versuchsprotokolls:

- Fragestellung
- Vermutung
- Versuchsaufbau
- Durchführung
- Beobachtung
- Erklärung und Ergebnis
- Fehlerquellen

Er stellt ebenfalls den Bezug der Protokollstruktur zu den Phasen des Erkenntnisgewinnungsprozesses bzw. zu den Teilkompetenzen der Experimentierkompetenz heraus. Die verschiedenen Abschnitte des Protokolls erfordern unterschiedliche Diskursfunktionen bzw. Sprachhandlungen wie *beschreiben*, *erklären* und *argumentieren* (Müllner & Möller, 2019). Während das Beschreiben als deskriptive Sprachhandlung gilt, sind das Erklären und Argumentieren durch ein höheres kognitives Niveau gekennzeichnet (Brede, 2020; Müllner & Möller, 2019). Beschreibende Sprachhandlungen sind erforderlich in den Abschnitten zur Versuchsdurchführung und Ergebnisdarstellung, während erklärende und argumentative Anforderungen bei der Hypothesengenerierung und der Datenauswertung gestellt werden (Müllner & Möller, 2019).

In der Didaktik geht die Funktion des Protokollierens im Vergleich zur Wissenschaft über die Dokumentation des Experiments hinaus, da das Protokoll hier auch als pädagogisches Instrument eingesetzt wird (Parkinson, 2017). Es kann einerseits darum gehen, das Protokoll als lernförderliches Mittel zu nutzen (*Writing to Learn*), andererseits kann auch das Verfassen von Protokollen unter Berücksichtigung bestimmter sprachlicher und formeller Charakteristika eingeübt werden (*Learning to Write*) (Keys, 2000; Keys, Hand, Prain & Collins, 1999; Parkinson, 2019; Sampson, Enderle, Grooms & Witte, 2013). Hinsichtlich der lernförderlichen Wirkung kann auf das sogenannte *Knowledge-transforming Model* von Bereiter und Scardamalia (1987) Bezug genommen werden, welches das Schreiben als reflektierende Handlung begreift, bei der eine Interaktion zwischen dem *Content Problem Space* und dem *Discourse Problem Space* besteht. Diese Interaktion bezieht sich darauf, dass beim Schreiben bzw. Protokollieren zunächst inhaltliche Überlegungen mit Bezug auf Fachwissen und Daten stattfinden und anschließend die schriftliche Formulierung vorgenommen wird. Während der Verschriftlichung kann den Lernenden beispielsweise eine inhaltliche Irritation bewusstwerden, die eine erneute Suche im *Content*

Problem Space erforderlich macht, sodass Inhaltliches erneut reflektiert wird. Dies wird als *Return Trip* bezeichnet (Bereiter & Scardamalia, 1987; Keys, 2000). Das Protokollieren kann also ein tieferes Durchdringen der Inhalte und ein differenzierteres Verständnis der Zusammenhänge ermöglichen (Bayrak, 2020). Über allgemeine lernförderliche Aspekte des Protokollierens hinaus, wird es auch als förderlich für den Nachvollzug des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses angesehen (Bruckermann, 2016; Engl, 2017; Keys et al., 1999; Krabbe, 2015; Müllner & Möller, 2019). Dafür ist es nach Krabbe (2015) entscheidend, dass die im Protokoll vorhandene lineare Abfolge an Schritten in einen funktionalen Zusammenhang gebracht wird. Weitere Ziele und Funktionen des Versuchsprotokolls darüber hinaus werden in den nachfolgenden empirischen Befunden dargestellt (s. Kap 2.3.2).

Trotz der lernförderlichen Wirkung des Protokollierens, ist die Tätigkeit eher unbeliebt bei Lernenden, was sich in Motivationslosigkeit und Defiziten beim Verfassen von Protokollen ausdrücken kann (Curry, Spencer, Pesout & Pigford, 2020; Engl, 2017). Die Verschriftlichung in Form eines Protokolls stellt außerdem eine weitere Herausforderung für die Lernenden dar, die zusätzlich zur kognitiven Durchdringung und praktischen Durchführung des Experiments zu bewältigen ist (Bayrak, 2020).

2.3.2 Empirische Befunde zum Protokollieren

Im Folgenden werden empirische Befunde dargestellt, die sich sowohl auf die Untersuchungsgruppe von Schüler*innen als auch auf Studierende beziehen. Diese beleuchten unterschiedliche Untersuchungsfelder wie die Evaluation der von Lernenden erstellten Protokolle, Instruktions- und Unterstützungsformen für das Protokollieren und Protokollieren im Zusammenhang mit naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung.

Müllner et al. (2022) analysierten im Biologieunterricht Versuchsprotokolle von Schüler*innen der zehnten Klasse hinsichtlich der einzelnen Teilprozeduren beim Experimentieren und in Bezug auf sprachliche Aspekte. Die Analyse erfolgte mittels qualitativer Inhaltsanalyse und 17 Protokolle wurden untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass in vielen Fällen keine Hypothese im Protokoll enthalten ist, obwohl die Hypothesengenerierung als Anforderung an die Schüler*innen gestellt wurde. In den Protokollen, in denen eine Hypothese aufgeschrieben wurde, fehlt jedoch meist die zugrunde liegende Begründung für diese. Etwa ein Viertel der Protokolle weist keine Diskussion oder unpräzise

Schlussfolgerungen auf. Dabei werden beispielsweise persönliche Erfahrungen oder Bewertungen des Experiments aufgeführt. Die Durchführung hingegen ist ein prominenter Teil des Protokolls und wird von fast allen Schüler*innen festgehalten. Es wird vermutet, dass die Schüler*innen das Anfertigen eines Versuchsprotokolls mit dem Festhalten der Durchführung gleichsetzen (Müllner et al., 2022). Obwohl die Durchführung in den meisten Protokollen vorhanden ist, stellen die Autor*innen jedoch fest, dass diese nur unpräzise formuliert wird und offenbar Defizite im Fachvokabular bei den Schüler*innen bestehen.

Brede (2020) analysierte Versuchsprotokolle von Achtklässler*innen (u. a. unter Berücksichtigung muttersprachlicher Voraussetzungen) mit Fokus auf die Abschnitte „Beobachtung“ und „Datenauswertung“. Zunächst wird von der Autorin herausgestellt, dass für die Formulierung von Beobachtungen präzise sprachliche *Beschreibungen* notwendig sind, während die Auswertung von Daten durch das *Erklären* gekennzeichnet ist. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass nicht rein sprachliche Anforderungen herausfordernd sind, sondern insbesondere bei der Datenauswertung inhaltliche Defizite vorliegen. Die darin vorzunehmenden Erklärungen erfordern ein Verständnis der dem Experiment zugrunde liegenden Konzepte, die über die reine Beobachtung hinausgehen (Brede, 2020). Dieses inhaltliche Verständnis sieht die Autorin als bedeutsamer an als die Kenntnis der Fachbegriffe, da diese ihrer Meinung nach durch Paraphrasierungen ersetzt werden können.

Im Bereich der universitären Ausbildung untersuchte Bayrak (2020) für die Gruppe von Lehramtsstudierenden der Chemie, welche Schwierigkeiten sie beim Protokollieren aufweisen und entwickelte anhand dessen ein Schreibförderinstrument, welches sowohl das Protokollieren der Studierenden selbst als auch das Protokollieren-Lehren in ihrer späteren Rolle als Lehrer*innen unterstützen soll. Es konnte festgestellt werden, dass auch Studierende beim Protokollieren inhaltliche Fehler machen und Probleme mit der korrekten Verwendung von Begriffen und der Anwendung einer dem Erkenntnisweg logisch folgenden Struktur haben (Bayrak, 2020). Anhand dieser empirischen Befunde wurde unter Einbezug von Überarbeitungsdialogen und Fragebögen ein Förderinstrument entwickelt („Protokoll-Checker“), welches eine Reduzierung von Fehlern erreichen konnte und die angehenden Lehrer*innen bei der späteren Anleitung von Protokollierprozessen von Schüler*innen unterstützen soll. Die Studie versteht sich dabei als „explorative Entwicklungsarbeit“ und umfasst noch keine quantitative Wirkungsanalyse.

Auch Deiner, Newsome und Samaroo (2012) entwickelten ein Unterstützungsformat für Studierende der Chemie, welches das Protokollieren verbessern konnte. Ihre Förderung bestand darin, das Protokoll in die einzelnen Schritte aufzuteilen und jeweils mit Fragen anzuleiten.

Keys et al. (1999) untersuchten das Protokollieren von Schüler*innen der achten Klasse mit Fokus auf dabei stattfindende wissenschaftliche Denk- und Reflexionsprozesse. Unter Einsatz des sogenannten *Science Writing Heuristic (SWH)* sollten die Lernenden zum Nachdenken über die Laboraktivität und somit zu einem bedeutungsvollen Protokollierprozess angehalten werden. Dies erfolgt anhand bestimmter Fragen, die die Schüler*innen dabei unterstützen sollen, u. a. genau zu dokumentieren, was sie beobachten konnten oder welche Schlussfolgerungen sie anhand der gewonnenen Daten ziehen können. Neben den schriftlichen Protokollen wurden auch Aushandlungsprozesse zwischen den Lernenden und Interviews in die Analyse einbezogen. Die Ergebnisse der analysierten Protokolle zeigen, dass die Schüler*innen unter Einsatz des *SWH* sinnvolle Verknüpfungen zwischen den durchgeführten Versuchen und Beobachtungen herstellten und daraus logische Schlussfolgerungen ziehen konnten. Außerdem konnten die Schüler*innen ihre gewonnenen Daten besser in Beziehung mit den zuvor aufgestellten Hypothesen setzen (Keys et al., 1999).

Unter Bezugnahme auf das *Knowledge-transforming Model* von Bereiter und Scardamalia (1987) untersuchte Keys (2000) in einer anschließenden Studie die schriftlichen Protokolle von Schüler*innen im Hinblick auf dabei stattfindende Denkprozesse. Es wurde untersucht, wie die beiden im Modell beschriebenen Problemräume (*Content Problem Space* und *Discourse Problem Space*) beim Protokollieren von den Schreibenden durchlaufen werden. Zusätzlich wurden Protokolle des Lauten Denkens in die Analyse integriert. Die Ergebnisse zeigen, dass unterschiedliche Denkprozesse beim Schreiben stattfinden (Keys, 2000). So schreiben einige der Schüler*innen ihre Gedanken direkt in das Protokoll, ohne dass es innerhalb der beiden Problemräume zu erneuten Reflexionsprozessen kommt. Bei den meisten Schüler*innen konnte jedoch ein *Return Trip* vom *Discourse Problem Space* zurück zum *Content Problem Space* festgestellt werden. Dabei tritt während des Protokollierprozesses eine Irritation bei den Schüler*innen auf, die sie zurück zu inhaltlichen Überlegungen führt. Nur wenige Schüler*innen nehmen die gesamte inhaltliche Durchdringung und Planung vor Beginn des Protokollierens vor. Bei

dieser Vorgehensweise finden keine Unterbrechungen und *Return Trips* mehr während des Schreibens statt (Keys, 2000).

Ein anderes Unterstützungsformat für bedeutungsvolle Protokollierprozesse mit Schwerpunkt auf argumentative Elemente beim Protokollieren ist das von Sampson et al. (2013) eingesetzte *Argument-Driven-Inquiry-Instructional Model (ADI-Model)*, welches die (argumentative) Protokollierfähigkeit und das Verständnis wissenschaftlicher Inhalte von Schüler*innen der Mittelstufe fördern soll. Das *ADI-Model* ist gekennzeichnet durch verschiedene Schritte, die die Schüler*innen kollaborativ durch den Protokollierprozess leiten. Dabei steht das von den Schüler*innen aufzustellende „Argument“ im Fokus, welches aus einer Behauptung, der Evidenz und der Argumentation besteht. Die Evidenz bezieht sich auf die in einer Untersuchung gewonnenen Daten, die mit der eingangs von den Schüler*innen aufgestellten Behauptung in Beziehung gesetzt werden sollen und diese entweder stützen oder widerlegen können (Sampson et al., 2013; Sampson, Grooms & Walker, 2011). Die Autor*innen stellten fest, dass der Einsatz dieses Instruktionsmodells über ein Jahr hinweg die (argumentative) Protokollierfähigkeit und das Verständnis wissenschaftlicher Inhalte der Schüler*innen verbessern konnte. Je häufiger solche Lernmöglichkeiten über die Zeit eingesetzt wurden, desto stärker verbesserte sich die Protokollierfähigkeit der Schüler*innen (Sampson et al., 2013).

Beide Ansätze zur Unterstützung des Protokollierens (*SWH* und *ADI-Model*) bieten eine Möglichkeit, das Protokollieren weg von einer reinen Abarbeitung von Schritten hin zu einem Nachvollzug wissenschaftlichen Arbeitens und Denkens zu entwickeln. Das Protokollieren soll in diesen Rahmen als wissenschaftliche Arbeit, anstatt als Schul- bzw. Lernaufgabe vermittelt werden (Sampson et al., 2013). Es gilt dann außerdem als wissensgenerierende anstatt als wissensvermittelnde Aktivität (Bereiter & Scardamalia, 1987; Sampson et al., 2013; Sampson et al., 2011). Sampson et al. (2013) bezeichnen diese Art der Einbettung des Protokollierens als *Writing to learn by Learning to Write*. Das Protokollieren geht dabei über rein formelle Aspekte des *Learning-to-Write*-Ansatzes hinaus. Gleichzeitig wird der *Writing-to-Learn*-Ansatz erweitert, da das Verständnis der Schüler*innen über Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und wissenschaftlichen Argumentierens durch das Protokollieren gefördert werden soll (Sampson et al., 2013).

Eine Online-Befragung von Chemielehrer*innen zeigt, dass für sie folgende Aspekte besonders wichtig sind beim Protokollieren im Unterricht: das Festhalten der gemachten

Beobachtungen, die Interpretation dieser Beobachtungen, die Trennung zwischen Beobachtung und Interpretation, die Interpretation von Daten und die korrekte Verwendung von Fachbegriffen (Holschemacher & Bolte, 2021).

Hoehn und Lewandowski (2020b) stellten basierend auf einer Literaturrecherche und auf Interviews mit Lehrpersonen 15 verschiedene Ziele heraus, die mit dem Einsatz des Protokollierens im Rahmen von Laborpraktika im Physikstudium verbunden sein können. Diese Ziele können den übergeordneten Kategorien „Kommunikation“, „Schreiben, um zu lernen (*Writing to Learn*)“, „Schreiben als Professionalisierung“, „Kurslogistik“ und „sozio-emotionale Aspekte“ zugeordnet werden. Dabei ist ein Ziel nicht zwingend nur einer Kategorie zuzuordnen, sondern kann auch verschiedenen Kategorien zugeteilt werden (Hoehn & Lewandowski, 2020b). Wird das Protokollieren mit dem Ziel der „Kommunikation“ eingesetzt, so wird das Protokoll mehr als fertiges *Produkt* verstanden, in dem das Wissen und die durchgeführten Aktivitäten festgehalten werden sollen. Die Lernenden sollen also vor allem dazu befähigt werden, ihre Arbeit verständlich zu kommunizieren (Hoehn & Lewandowski, 2020a; Hoehn & Lewandowski, 2020b). Wenn das Schreiben hingegen dem Lernen dienen soll (*Writing to Learn*), steht der *Prozess* des Protokollierens im Vordergrund. Das Protokollieren mit dem Ziel der „Professionalisierung“ einzusetzen, fokussiert die Bedeutung des Protokollierens als Teil wissenschaftlicher Praxis, die mit bestimmten Normen verbunden ist. „Kurslogistische“ Ziele hängen damit zusammen, dass das Protokoll beispielsweise zu Bewertungszwecken genutzt wird. Hierbei stehen also Ziele im Vordergrund, die mit dem Ablauf im institutionalisierten Lehr-/Lernkontext zusammenhängen. Die „sozio-emotionalen“ Ziele betreffen die emotionale Erfahrungswelt der Lernenden; beispielsweise deren Ausbildung einer eigenen wissenschaftlichen Identität, die durch Protokollierprozesse angeregt werden kann (Hoehn & Lewandowski, 2020a; Hoehn & Lewandowski, 2020b). Für eine ausführliche Übersicht über die 15 verschiedenen Ziele sei auf die Publikation von Hoehn und Lewandowski (2020b) verwiesen. An dieser Stelle herauszustellen ist das Ziel der Vermittlung der Natur der Naturwissenschaften (*NOS*). Dieses Ziel fällt in alle Kategorien mit Ausnahme der kurslogistischen Ziele und wird von den Autor*innen als besonders bedeutsam im Rahmen von Protokollierprozessen in universitären Laborpraktika bewertet (Hoehn & Lewandowski, 2020b).

In der Arbeit von Haagen-Schützenhöfer (2018) konnte Schüler*innen der *NOS*-Aspekt beim Protokollieren mittels eines Instruktionsansatzes, der die Bedeutung der

Replizierbarkeit von Experimenten betont, besser vermittelt werden als durch striktere, auf Fachwissen ausgerichtete Instruktionen. Anhand der Protokolle und anschließender reflektierender Gruppendiskussionen konnte das Verständnis für wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung unter Berücksichtigung dieses Aspektes bei den Schüler*innen gefördert werden.

Trotz der Bedeutung der Förderung wissenschaftlichen Denkens und eines Verständnisses von *NOS/NOSI* beim Protokollieren stellten Hill, Gouvea und Hammer (2018) fest, dass Lehrende die Protokolle von Studierenden im Biologiestudium besonders anhand formaler und stilistischer Aspekte bewerten. Die Autor*innen stellen kritisch fest, dass der Bewertungsfokus der Lehrenden sich auch auf die Studierenden auswirkt, die wiederum vermehrt auf solche formalen Aspekte beim Anfertigen ihrer Protokolle achten. Das wissenschaftliche Denken und Reflektieren geraten dadurch eher in den Hintergrund. Die Autor*innen plädieren für einen Wechsel der Schwerpunktsetzung – sowohl auf Seiten der Studierenden, aber besonders auch bei den Lehrenden –, damit bedeutungsvolleres Protokollieren im Hinblick auf wissenschaftliches Denken und Reflektieren stattfindet (Hill et al., 2018). Im fachwissenschaftlichen Biologiestudium wurde außerdem festgestellt, dass das Anfertigen von Protokollen im Rahmen von Laborpraktika von Lehrenden und Studierenden als pädagogische Aufgabe anstelle einer wissenschaftlichen Tätigkeit verstanden wird (Kalaskas, 2013).

Prozessbezogene Studien liegen zum Protokollieren bislang kaum vor. Dieses Desiderat greift Engl (2017) in ihrer Untersuchung von kollaborativen Experimentier- und Protokollierprozessen von Sechstklässler*innen auf. Hinsichtlich der Zusammenarbeit konnten Unterschiede zwischen dem Experimentieren und Protokollieren festgestellt werden. Während beim Experimentieren meistens gemeinsam gearbeitet wurde, fand das Protokollieren in der Regel in Einzelarbeit statt. Dies muss nicht mit der jeweiligen Handlungspraktik an sich zu tun haben, sondern wird von der Autorin auch darauf zurückgeführt, dass beim Experimentieren ein Versuchsaufbau vorgenommen wurde, während alle Schüler*innen ein eigenes „Forschungsheft“ zum Protokollieren zur Verfügung hatten. Darüber hinaus unterschied sich das Protokollieren der Schüler*innen insofern, dass einige das Protokoll eher als Gedächtnisstütze für sich selbst nutzten und nur wenige Aspekte notierten, während andere ein ausführliches und vollständiges Protokoll anfertigten (Engl, 2017).

Bei den von Kambach (2018) untersuchten studentischen Experimentierprozessen (s. Kap. 2.2.4) wurden den Teilnehmenden zwar Schreibutensilien bereitgestellt, allerdings war das Anfertigen eines Protokolls nicht obligatorisch. Die Ergebnisse zeigen, dass viele der Studierenden kein Protokoll anfertigten, sondern eher stichpunktartig für sich selbst Notizen festhielten. Die Autorin vermutet, dass den Studierenden der Zweck eines ausführlichen Protokolls nicht bewusst ist und auch die Adressat*innen eines solchen Protokolls für die Lernenden unklar bleiben. Dies wird in Beziehung gesetzt mit den Informationen, die in der zu bearbeitenden Aufgabe gegeben bzw. nicht gegeben werden. Wenn beispielsweise über Sinn und Zweck des Protokollierens in der Aufgabenstellung informiert worden wäre, hätten eventuell mehrere Studierende ein (ausführliches) Protokoll angefertigt (Kambach, 2018).

Für eine weitere prozessbezogene Studie zum Protokollieren im universitären Kontext sei auf Kapitel 2.5.2 verwiesen, in der Protokollierprozesse mit der Dokumentarischen Methode analysiert wurden.

2.4 Problemstellung und Erkenntnisinteresse

Ein Großteil der bisherigen Studien nimmt forschendes Experimentieren und Protokollieren aus einer für die Fachdidaktik typischen präskriptiven Perspektive in den Blick. Beim Protokollieren werden insbesondere die von den Lernenden erstellten Versuchsprotokolle evaluiert, während beim Experimentieren v. a. die kognitiven Kompetenzen der Lernenden hinsichtlich der einzelnen Teilprozeduren des wissenschaftlichen Denkens gemessen werden (KMK, 2005; Nehring et al., 2016). Anhand dieser Evaluationen können Schwierigkeiten aufgedeckt und entsprechende Fördermaßnahmen und Unterstützungsmöglichkeiten entwickelt werden (Kranz et al., 2022). Auch in prozessbezogenen Studien wird ein evaluierender Blick angelegt („Performance Assessment“) (Schreiber et al., 2009). Rönnebeck et al. (2016) stellen fest, dass das Verständnis der Lernenden in Bezug auf die einzelnen Teilprozeduren in Untersuchungen forschenden Experimentierens häufig außen vor bleibt: „...students’ perspectives on the function of generating hypotheses and the influence of their perception on the whole inquiry process are barely addressed“ (Rönnebeck et al., 2016, S. 171). In eine ähnliche Richtung gehen Berland et al. (2016), die für die Untersuchung forschenden Experimentierens als bedeutungsvolle Praxis plädieren. Dabei sollen epistemologische Perspektiven in die Beforschung der Experimentierpraxis einbezogen werden (*Epistemologies in Practice*).

An dieses Desiderat anschließend sollen in der vorliegenden Arbeit kollaborative Experimentier- und Protokollierprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie im Rahmen Forschenden Lernens mittels eines praxistheoretischen Zugangs in den Blick genommen werden (Herzmann & Proske, 2020; Reckwitz, 2003). Für das Experimentieren wird dabei insbesondere die Planungsphase fokussiert, da diese aus fachdidaktischer Sicht entscheidend für den gesamten nachfolgenden Experimentierprozess ist, gleichzeitig aber auch als besonders anspruchsvoll für die Lernenden gilt (Arnold et al., 2014; Fradd et al., 2001; Kastaun & Meier, 2022; Wolowski, 2021). Das Erkenntnisinteresse ist dabei (zunächst) nicht, zu evaluieren, ob und wie adäquat die Studierenden den normativen Erwartungen entsprechend vorgehen. Untersucht werden soll vielmehr, wie die Studierenden das Experimentieren und Protokollieren im Rahmen Forschenden Lernens (gemeinsam) ausgestalten und welches Verständnis sich darin über forschendes Experimentieren und Protokollieren ausdrückt. Erst am Ende soll dann in Beziehung gesetzt und diskutiert werden, inwiefern die Vorgehensweisen der Studierenden mit den an das forschende Experimentieren und Protokollieren gestellten normativen Erwartungen übereinstimmen (Martens, Asbrand, Buchborn & Menthe, 2022). Durchlaufen sie tatsächlich einen bedeutungsvollen Experimentierprozess, bei dem sich eine forschende Haltung und ein Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung offenbart (vgl. Berland et al., 2016; Bruckermann, 2016; Bruckermann et al., 2017a; Huber & Reinmann, 2019; Kite et al., 2021; Park et al., 2022; Rönnebeck et al., 2016)? Wird das Protokollieren so in den Prozess eingebunden, dass es unterstützend zu einem bedeutungsvollen Experimentierprozess beiträgt (Engl, 2017; Keys et al., 1999; Müllner & Möller, 2019)? Oder eröffnen sich andere Relevanzsetzungen der Studierenden, die fernab des normativen Erwartungshorizonts liegen? Das Erkenntnisinteresse geht also über die Sichtebeine der stattfindenden Prozesse hinaus. Der Fokus liegt nicht darauf, ob beispielsweise die von den Studierenden generierten Hypothesen fachlich adäquat sind, sondern ob sie die Hypothesengenerierung als bedeutungsvollen Teil des Experimentierprozesses einbinden (Berland et al., 2016). Die Annahme dahinter ist auch, dass nur, weil es auf der reinen Sichtebeine so scheint als durchliefen die Studierenden einen bedeutungsvollen Experimentier- und Protokollierprozess, sich dies nicht auf einer Tiefenstruktur der Prozesse bestätigen muss (s. Kap. 2.5).

Aufgrund der angenommenen unterstützenden Funktion der Arbeit in Gruppen beim Forschenden Lernen (Bruckermann et al., 2017a; Hofstein & Lunetta, 2004; Mayer & Ziemek, 2006), soll außerdem in der vorliegenden Arbeit die Interaktion als essentieller

Teil der sozialen Praxis in die Analyse einbezogen werden. Während die Arbeit in Gruppen in anderen didaktischen Arbeiten oft als ‚Störfaktor‘ in Bezug auf angestrebte Individualdiagnostiken bewertet wird (Baur, 2018; Meier, 2016), ist sie in dieser Arbeit also Teil des Erkenntnisinteresses. Die Aushandlungsprozesse zwischen den Gruppenmitgliedern sollen dahingehend untersucht werden, ob sich darin geteilte Verständnisse zeigen und gemeinsame Bedeutungsaushandlungen stattfinden (Bonnet, 2004; Furtak et al., 2012).

In dieser Arbeit werden Lehramtsstudierende der Biologie als Untersuchungsgruppe in den Blick genommen, weil sie als Multiplikator*innen in ihrem späteren Unterricht forschendes Experimentieren und begleitende Protokollierprozesse anleiten werden und somit das Verständnis ihrer Schüler*innen prägen (Bruckermann et al., 2018; Schlüter, 2019; Welter et al., 2023).

Das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit macht einen methodischen Zugang erforderlich, mittels dessen die Prozesse auf einer Tiefenebene analysiert werden können. Ein geeignetes Analyseverfahren stellt die Dokumentarische Methode dar, die als rekonstruktive Analysemethode Zugang zu den Tiefenstrukturen der Prozesse unter Integration der Interaktion ermöglicht (Asbrand & Martens, 2018; Bonnet, 2009). Im Folgenden werden daher die theoretischen Grundlagen der Dokumentarischen Methode sowie deren Anwendung im Bereich (naturwissenschafts-)didaktischer Forschung ausgeführt. Im Methodenteil wird dann der Auswertungsprozess mit den beiden für die Dokumentarische Methode relevanten Interpretationsschritten beschrieben.

2.5 Theoretische Grundlagen der Dokumentarischen Methode

Die Dokumentarische Methode als forschungspraktisches, rekonstruktives Analyseverfahren in der empirischen Sozialforschung wurde in den 1980er Jahren von Ralf Bohnsack für die Analyse von Gruppendiskussionen ausgearbeitet (Bohnsack, 2013a). Dabei geht die Dokumentarische Methode vor allem auf die Wissenssoziologie Karl Mannheims zurück, ist aber auch beeinflusst von der Ethnomethodologie Harold Garfinkels sowie der Habitus Theorie von Pierre Bourdieu (Bohnsack, 1999, 2013a, 2020a). Mittlerweile wird die Dokumentarische Methode nicht mehr nur für Gruppendiskussionsverfahren genutzt, sondern auch Interviews, Beobachtungsprotokolle und audiovisuelle

Daten wie Videos können mittels angepasster Analyseschritte der Dokumentarischen Methode ausgewertet werden (Bohnsack, 2020b; Nohl, 2017; Rabe, Abels & Menthe, 2023).

Ziel der Analyse mit der Dokumentarischen Methode ist es, die Handlungspraxis der Beforschten zu rekonstruieren (Bohnsack, 2013a). Es wird eine sinnverstehende Analyseperspektive angelegt, die sich von anderen deduktiv vorgehenden qualitativen Verfahren grundlegend unterscheidet, da das Datenmaterial nicht theoriegeleitet kategorisiert wird (Rabe et al., 2023). Stattdessen wird das in die Handlungspraxis eingelassene Wissen, welches ebendiese Praxis strukturiert, rekonstruiert (Bohnsack, 2013a). Dieser Zugang zur Praxis ist für die Dokumentarische Methode besonders relevant und Bohnsack spricht daher auch von der „Praxeologischen Wissenssoziologie“ (Bohnsack, 2020a). Zentral ist die auf die Wissenssoziologie zurückgehende Unterscheidung zwischen *kommunikativem* und *konjunktivem* Wissen, wobei es sich bei ersterem um explizite und bei zweitem um implizite Wissensbestände handelt (Bohnsack, 2013a, 2014). Das kommunikative Wissen befindet sich auf einer expliziten Sinnenebene und ist reflexiv-sprachlich zugänglich (Bohnsack, 2013a, 2014). Es handelt sich um ein allgemein gesellschaftlich geteiltes Wissen, welches auch als ein Wissen um Normen, Regeln und Rollenbeziehungen angesehen werden kann. Es umfasst das, *was* gesagt bzw. getan wird (Rabe et al., 2023). In Bezug auf dieses explizite, kommunikative Wissen wird von den sogenannten *Orientierungsschemata* gesprochen (Bohnsack, 2013b).

Das konjunktive Wissen hingegen ist Resultat von zuvor gemachten Erfahrungen und ist den Akteur*innen in der Regel nicht reflexiv verfügbar (Bohnsack, 2014). Es ist allerdings in deren Handlungen eingelassen und strukturiert diese (Asbrand & Martens, 2018). Man spricht im Zusammenhang mit dem konjunktiven Wissen, welches die Handlungen leitet, auch von *Orientierungsrahmen* bzw. *handlungsleitenden Orientierungen* (Bohnsack, 2013a, 2014; Jahr & Nagel, 2018). Basierend auf gemeinsamen konjunktiven Erfahrungsräumen, die die Beforschten miteinander teilen, entsteht ein geteiltes konjunktives Wissen (Bohnsack, 2013a). Dies kann beispielsweise der Erfahrungsraum innerhalb einer Familie sein, der von den Mitgliedern dieser Familie geteilt wird und ein unbewusstes gegenseitiges Verstehen ermöglicht, welches Menschen außerhalb der Familie nicht unmittelbar verstehen können (Bohnsack, 2013a). Ein solcher Erfahrungsraum kann sich im schulischen Kontext aber auch auf einen bestimmten Biologiekurs beziehen, in dem die Schüler*innen in ihrer Schullaufbahn geteilte Erfahrungen zum Unterrichtsfach „Biologie“ gemacht haben, welches ihr Verständnis auf impliziter Ebene bestimmt (Asbrand

& Hackbarth, 2018; Asbrand & Martens, 2018). Allerdings muss es sich nicht zwingend um real geteilte Erfahrungsräume handeln (wie im Beispiel zuvor von Schüler*innen, die genau denselben Biologiekurs besuchen), sondern es können auch strukturell gleiche Erfahrungen sein. So machen Schüler*innen unterschiedlicher Schulen die gleichen Erfahrungen in ihrer Rolle als Lernende innerhalb der Institution Schule und können so auch einen Erfahrungsraum miteinander teilen (Asbrand & Martens, 2018).

Orientierungsrahmen sind eng verknüpft mit dem Begriff des Habitus von Pierre Bourdieu und beides wird teilweise auch synonym verwendet. In Anlehnung an Nohl (2013b) wird in dieser Arbeit aber zwischen beidem insofern unterschieden, als dass der Habitus als übergreifender gefasst wird und aus den sozialen Verhältnissen insgesamt resultiert, während die Orientierungsrahmen sich auf einzelne thematische Dimensionen, z. B. den Biologieunterricht, beziehen.

Im Zusammenhang von kommunikativem und konjunktivem Wissen wird der Wechsel der AnalyseEinstellung vom *Was* zum *Wie* relevant, der durch die Analyse mit der Dokumentarischen Methode erfolgt (Bohnsack, 2013b).⁷ Ein methodisch kontrolliertes Fremdverstehen wird ermöglicht und die Relevanzsetzungen, Strukturen und impliziten Handlungsmuster der Akteur*innen können aufgedeckt werden (Asbrand & Martens, 2018; Bohnsack, 2014). Es gelingt also, über die wörtlichen Sinngehalte hinaus zu den handlungsleitenden Orientierungen der Beforschten vorzudringen. Es geht jedoch nicht darum, die Motive oder die Intention der Akteur*innen zu ergründen, sondern den *modus operandi* ihrer Handlungen zu rekonstruieren (Bohnsack, 2014). Das, was die Handlungen der Beforschten implizit leitet und für sie nicht reflexiv zugänglich ist, kann durch Interpretation von außen offengelegt und expliziert werden (Nohl, 2017). Dabei wird auch der Diskurs- bzw. Interaktionsverlauf innerhalb der Handlungen mitberücksichtigt, um zu prüfen, ob die Beforschten tatsächlich einen gemeinsamen Orientierungsrahmen teilen (Asbrand & Martens, 2018).⁸

⁷ Die beiden dazu benötigten Interpretationsschritte der Dokumentarischen Methode – die Formulierende Interpretation und die Reflektierende Interpretation – werden im Methodenteil im Zusammenhang mit dem Auswertungsprozess in dieser Arbeit dargestellt (s. Kap. 3.2).

⁸ Die Interaktionsanalyse wird im Methodenteil als Teil der Reflektierenden Interpretation weiter ausgeführt (s. Kap. 3.2.3).

Hinsichtlich der Rekonstruktion expliziter und impliziter Wissensbestände in den Handlungen der Akteur*innen, können das kommunikative und das konjunktive Wissen in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden (Asbrand & Martens, 2018). Das gleichzeitige Vorhandensein beider Wissensarten in der Alltagskommunikation bzw. im Alltagshandeln bezeichnet Bohnsack als „Doppelstruktur“ (Bohnsack, 2020a). Das Orientierungsschema auf Ebene des kommunikativen Wissens und der Orientierungsrahmen auf Ebene des konjunktiven Wissens bilden zusammen das sogenannte *Orientierungsmuster*, welches beide Wissens Ebenen im Verhältnis zueinander betrachtet (Asbrand & Martens, 2018). Orientierungsschema und Orientierungsrahmen können entweder miteinander übereinstimmen oder aber in einem Spannungsverhältnis zueinanderstehen, d. h. es gibt eine Diskrepanz zwischen dem, was explizit geäußert oder getan wird und den impliziten handlungsleitenden Orientierungen (Asbrand & Martens, 2018). In der Unterrichtsforschung gibt es u. a. Beispiele, in denen eine Lehrperson explorative, offene Lernstrategien auf expliziter Ebene zwar äußert und in den Aufgabenstellungen vorgibt, sich aber implizit in Diskrepanz dazu eine handlungsleitende Orientierung an erwarteten eindeutigen Ergebnissen zeigt (Fühner, 2023).

Bei der Rekonstruktion des *modus operandi* der Handlungspraxis muss die sogenannte *genetische AnalyseEinstellung* eingenommen werden (Asbrand & Martens, 2018). Dieser AnalyseEinstellung folgend nehmen die Forscher*innen keine (Be-)Wertung dessen vor, was sich im Handeln der Beforschten offenbart, sondern es gilt, die Logik der Handlungspraxis bzw. den sogenannten *Dokumentsinn* unvoreingenommen und wertfrei zu rekonstruieren (Bohnsack, 2014). Von den Forschenden wird im Analyseprozess auch eine Reflexion ihrer eigenen Standortgebundenheit verlangt, um zu verhindern, dass eigene spezifische Vorannahmen in die Analyse einfließen (Bohnsack, 2014). Diese sollen nicht an das Datenmaterial herangetragen, sondern kontrolliert und (vorerst) ausgeschlossen werden (Bohnsack, 2014). Stattdessen sollen Vergleiche innerhalb des Materials vorgenommen werden. Das komparative Vorgehen unter Verwendung empirischer Vergleichshorizonte ist daher bei der Auswertung mit der Dokumentarischen Methode essentiell (Bohnsack, 2014). Diese Vergleiche finden sowohl innerhalb eines Falles als auch zwischen verschiedenen Fällen statt (Asbrand & Martens, 2018). Durch Vergleiche innerhalb eines Falles kann geprüft werden, ob die handlungsleitenden Orientierungen sich homolog an verschiedenen Stellen immer wieder rekonstruieren lassen und damit für den Fall charakteristisch sind (Asbrand & Martens, 2018). Durch den Vergleich verschiedener Fälle werden Gemeinsamkeiten und Kontraste zwischen diesen, in Bezug auf

verschiedene Themen oder Handlungen, sichtbar (Asbrand & Martens, 2018; Bohnsack, 2013b; Nentwig-Gesemann, 2013). Bohnsack (2013b) bezeichnet das als „Prinzip des Kontrasts in der Gemeinsamkeit“. Orientierungen, die allen Fällen gemeinsam sind, werden auch als Basisorientierungen bezeichnet (vgl. Steinwachs & Martens, 2023). Gleichzeitig führt der fallübergreifende Vergleich dazu, dass vom Einzelfall abstrahiert und eine Typenbildung vorgenommen werden kann. Eine Typenbildung, die auf den rekonstruierten Orientierungsrahmen bzw. dem *modus operandi* der Handlungen basiert, wird als *sinn genetische Typenbildung* bezeichnet (Bohnsack, 2013b). Daran anschließend kann eine *soziogenetische Typenbildung* erfolgen, die als umfassender zu bewerten ist und sich darauf bezieht, wie die Entstehung der rekonstruierten Orientierungsrahmen zu erklären ist, indem auf den Erfahrungsraum der Beforschten Bezug genommen wird (Bohnsack, 2013b). Dies können gruppen-, milieu-, generations-, geschlechts- oder bildungsmilieuspezifische konjunktive Erfahrungsräume sein (Asbrand & Martens, 2018). Zuletzt sei auf die von Nohl (2013b) als Alternative zur soziogenetischen Typenbildung vorgeschlagene *relationale Typenbildung* verwiesen. Diese sieht vor, die rekonstruierten Orientierungsrahmen nicht mit bestimmten gruppen- oder milieuspezifischen konjunktiven Erfahrungsräumen in Verbindung zu bringen und zu erklären, sondern die Orientierungsrahmen miteinander in Beziehung zu setzen und dadurch zu plausibilisieren (Nohl, 2013a, 2013b).

Anschließend an die grundlagentheoretischen Ausführungen zur Dokumentarischen Methode und ihrer Erkenntnislogik soll nachfolgend dargestellt werden, wie sich diese in der (Naturwissenschafts-)Didaktik zu Analysezwecken anbietet und welchen Mehrwert die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode als ergänzende Perspektive für didaktische Untersuchungen bietet. Außerdem soll ein kurzer Überblick über andere empirische Studien gegeben werden, die die Dokumentarische Methode innerhalb der (Naturwissenschafts-)Didaktik bislang angewandt haben.

2.5.1 Dokumentarische Forschung in der (Naturwissenschafts-)Didaktik

Die Dokumentarische Methode mit ihrer spezifischen Perspektive kann ergänzend zu anderen in der Fachdidaktik üblicherweise eingesetzten Methoden neue Blickwinkel auf Lehr-/Lernprozesse eröffnen (Rabe et al., 2023). Der Zugang zu impliziten Wissensbeständen kann hier eine wichtige zusätzliche Ebene offenlegen. Während z. B. kognitive Kompetenzmessungen mittels Wissenstests auf expliziter Ebene Fachwissen erheben,

kann mit der Dokumentarischen Methode auch auf einer Tiefenebene handlungsleitendes Wissen rekonstruiert werden. Auch über qualitativ-deduktive Auswertungsverfahren, die kategoriengeleitet Prozesse untersuchen, geht die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode hinaus (Rabe et al., 2023). Erst durch den Zugriff auf die impliziten handlungsleitenden Orientierungen können außerdem ggf. Diskrepanzen zu dem, was sich auf expliziter Ebene zeigt, festgestellt werden. So kann anhand qualitativ-deduktiver Verfahren festgestellt werden, dass bestimmte normative fachliche Aspekte von den Beforschten explizit adressiert werden. Trotz der expliziten Bezugnahme muss das aber nicht bedeuten, dass diese fachlichen Bezüge und Implikationen auch handlungsleitend sind (s. Kap. 2.5).

Insbesondere die bei der Dokumentarischen Methode einzunehmende genetische Analyseinstellung, mittels derer bewertungsfrei der *modus operandi* der Handlungen offen gelegt wird, unterscheidet sich von der häufig normativen und evaluierenden Perspektive in der Fachdidaktik (Rabe et al., 2023). Dadurch wird der Blick auf das Datenmaterial geweitet und es wird möglich, über explizite Wissensbestände hinaus (z. B. Hypothesengenerierung, Variablenkontrollstrategie, Messwiederholungen im Kontext von Experimenten), zu erfassen, wie die Handlungspraxis hergestellt wird (Asbrand & Martens, 2018). Im Fall der vorliegenden Arbeit kann eine Situation Forschenden Lernens (vorerst) fernab der normativen Annahmen analysiert werden, um so Erkenntnisse darüber zu erlangen, wie eine solche Lernsituation von den Studierenden überhaupt hergestellt wird und was für sie in der Praxis handlungsleitend ist. Dies ist ein grundlegend anderes Erkenntnisziel als bei oft im Fokus fachdidaktischer Untersuchungen stehenden Kompetenzmessungen und Evaluationen.

In diesem Zusammenhang gilt es jedoch auch zu reflektieren, inwiefern die Dokumentarische Methode mit ihrem Ursprung aus der sozialwissenschaftlichen Forschung und dem Zugang zu generellen und nicht zwingend fachbezogenen impliziten Wissensbeständen für fachdidaktische Fragestellungen genutzt werden kann (Martens et al., 2022). Dass die Herstellung des fachlichen und fachdidaktischen Bezugs nicht trivial ist, offenbart sich im Auswertungsprozess mit der Dokumentarischen Methode, da die Distanzierung von fachdidaktischen normativen Erwartungen und Geltungskriterien auch dazu führt, dass Besonderheiten in der Handlungspraxis auffallen, die ggf. fernab fachbezogener Fragen liegen (Martens et al., 2022). So können sich handlungsleitende Orientierungen beispielsweise auch auf peer-bezogene Aspekte beziehen, die für sich allein genommen noch

keinen Bezug zu fachdidaktischen oder fachspezifischen Fragen nehmen. Daher betonen auch Martens et al. (2022) den Einsatz der Dokumentarischen Methode stets im Hinblick auf das eigene Forschungsinteresse zu prüfen.⁹ Weiterhin betonen die Autor*innen sich die „Aspekthaftigkeit der Erkenntnis“ bewusst zu machen, was bedeutet, dass bestimmte Aspekte mit der Dokumentarischen Methode in den Blick genommen werden können, während andere fachdidaktische Forschungsfragen durch andere methodische Zugänge erfassbar sind.¹⁰ In diesem Zusammenhang finden Anpassungen der Dokumentarischen Methode innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktik statt, mit dem Ziel, die Methode für fachdidaktische Fragestellungen zu adaptieren (Plotz, Koliander & Abels, 2022; Rabe et al., 2023). So verbinden beispielsweise Bub und Rabe (2023) Orientierungen auf verschiedenen Ebenen und differenzieren zwischen ‚grundlegenden Orientierungen‘ und ‚fachbezogenen Orientierungen‘. Während erstere sich auf fachunspezifische Kontexte beziehen (z. B. eigenes generelles Gestaltungspotential) sind letztere spezifisch für den Erfahrungsraum Physikunterricht (z. B. Physikunterricht als Zugang zum Weltverstehen).

2.5.2 Empirische Studien in der (Naturwissenschafts-)Didaktik

Mit Blick auf empirische Studien im Bereich der Naturwissenschaftsdidaktiken kann festgestellt werden, dass Analyseansätze mit der Dokumentarischen Methode bislang in überschaubarer Anzahl vorliegen. Allerdings nehmen solche Forschungszugänge zu und gewinnen derzeit an Bedeutung. So wurde beispielsweise 2023 in der Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN) ein Themenheft mit einem Beitrag zur Ausschärfung der Dokumentarischen Methode für die Naturwissenschaftsdidaktik und verschiedenen empirischen Studien publiziert (u. a. Bub & Rabe, 2023; Koliander, Plotz & Abels, 2023; Olschewski, Herzmann & Schlüter, 2023; Rabe et al., 2023; Steinwachs & Martens, 2023). Zu unterscheiden sind solche Studien, die mittels Interviews oder Gruppendiskussionen – anhand des *Sprechens über* eine bestimmte Handlungspraxis – die Rekonstruktion handlungsleitender Orientierungen ermöglichen; auf der anderen Seite stehen solche

⁹ Unter dem Gesichtspunkt wird in dieser Arbeit zunächst das Erkenntnisinteresse – ausgehend vom fachdidaktischen Forschungsstand zum Experimentieren, Protokollieren und Forschenden Lernen – abgeleitet, welches dann wiederum logisch dazu führt, dass in diesem Fall ein rekonstruktiver Analyseansatz notwendig wird.

¹⁰ Für diese anderen methodischen Zugänge gilt die „Aspekthaftigkeit der Erkenntnis“ wiederum auch.

Arbeiten, die anhand von Videographien die *Handlungspraxis selbst* in den Blick nehmen (Jahr, 2022; Rabe et al., 2023). In der Sprache der Dokumentarischen Methode wird ersteres als Ebene der *proponierten Performanz* bezeichnet, während die Handlungspraxis selbst Zugang zur *performativen Performanz*, d. h. zur Performanz im Vollzug, ermöglicht (Jahr, 2022). Untersucht werden beispielsweise Orientierungen von (angehenden) Biologielehrkräften in Bezug auf anthropomorphe und teleologische Schülervorstellungen im Evolutionsunterricht (Steinwachs & Martens, 2023) oder von Physiklehrkräften hinsichtlich der Trias Physik-Technik-Verantwortung (Bub & Rabe, 2023), die auf Grundlage von Gruppendiskussionen bzw. Interviews rekonstruiert wurden. Mit Schüler*innen wurden u. a. Interviews geführt, um deren Orientierungen beim Bewerten im BNE-Kontext zu rekonstruieren (Sander, 2017). Für eine umfassendere Übersicht über Studien basierend auf Interviews bzw. Gruppendiskussionen sei an dieser Stelle auf den Beitrag von Rabe et al. (2023) verwiesen, die einen Überblick über die damit bearbeiteten Forschungsfelder geben. Im Folgenden werden hingegen solche Arbeiten weiter ausgeführt, die anhand von Videographien die Handlungspraxis selbst dokumentarisch in den Blick nehmen, da dies auch das Vorgehen der vorliegenden Arbeit ist.

Naturwissenschaftsdidaktische dokumentarische Studien, die die performative Performanz untersuchen, sind fast ausschließlich im Kontext Schule und Unterricht angesiedelt und fokussieren demnach die Handlungspraxis von Schüler*innen und Lehrer*innen (Martens et al., 2022). So untersuchten Gresch und Martens (2019), wie teleologische Erklärungsmuster auf Ebene des impliziten Wissens im Evolutionsunterricht in der Interaktion zwischen Lehrpersonen und Schüler*innen emergieren. In ihrer Studie stellen die Autoren die Relevanz des impliziten Wissens von Lehrer*innen heraus, da sich dieses wiederum auf das Lernen und die Verstehensprozesse ihrer Schüler*innen auswirkt. Dabei weisen sie über das Themenfeld Evolution hinaus und bewerten u. a. das *NOS*-Verständnis der Lehrer*innen als besonders relevant. Neben Unterrichtsgesprächen wird auch experimentelles Handeln von Schüler*innen dokumentarisch untersucht. So analysierte Bonnet (2004) experimentelle Gruppenarbeiten von Schüler*innen im Kontext bilingualen Chemieunterrichts. Anhand seiner Ergebnisse stellt er insbesondere die Bedeutung der Interaktion zwischen den Gruppenmitgliedern für die Performanz der Gruppenarbeiten heraus. Indem die Gruppenmitglieder in der Interaktion aufeinander Bezug nehmen, können gemeinsame ‚Bedeutungsaushandlungen‘ stattfinden (Bonnet, 2004). Dabei ist zum einen Voraussetzung, dass Bedeutungen – im Sinne von Vorstellungen, Ideen, Annahmen – der einzelnen Personen innerhalb der Gruppe einer ‚Viabilitätsprüfung‘

unterzogen werden. Das bedeutet, dass die Vorschläge der einzelnen Personen hinterfragt werden und eine gemeinsame Klärung stattfindet. Neben der ‚Viabilitätsprüfung‘ ist nach Bonnet (2004) auch die ‚Emergenz‘ ein weiterer wichtiger Aspekt in Interaktionen. Die Emergenz geht über die einzelnen Vorschläge und Ideen hinaus und bezieht sich darauf, dass in der Interaktion neue Sinnstrukturen entstehen können. Außerdem unterscheidet er zwischen der fachlichen Ebene (*Academic Task Structure*) und der sozialen Ebene (*Social Participation Structure*), die es beide in Gruppenarbeiten zu berücksichtigen gilt (Bonnet, 2004; Erickson, 1982).

Diese Unterscheidung nutzen auch Abels, Koliander und Plotz (2020) in ihrer Untersuchung von inklusivem Chemieunterricht. Die Autor*innen stellen in ihrer videobasierten Fallstudie eine Diskrepanz zwischen handlungsleitenden Orientierungen der Lehrperson in Bezug auf fachinhaltliche Aspekte und soziale Aspekte des Unterrichts fest: Wenn es um die Vermittlung fachinhaltlicher Aspekte geht, ist die Lehrperson an einer enggefassten, auf Richtigkeit fokussierten Vermittlung der Inhalte fokussiert. Hingegen gibt es auf sozialer Ebene Passagen im Unterricht, in denen das Streben nach Partizipation aller Schüler*innen als handlungsleitende Orientierung der Lehrkraft rekonstruiert werden konnte. In diesen an Partizipation ausgerichteten Unterrichtspassagen wird die fachinhaltliche Ebene dann aber wiederum ausgeklammert. Der fachbezogene inklusive Unterricht gelingt hier also nicht (Abels et al., 2020). Im Kontext inklusiven Unterrichts untersuchten Fühner (2023) im Bereich der Physikdidaktik und Hoffmann, Menthe und Gómez Thews (2023) in der Chemiedidaktik Experimentierprozesse von Schüler*innen. In beiden Arbeiten können Orientierungen an Aufgabenerledigung auf Seiten der Schüler*innen rekonstruiert werden. Dies ist eine Orientierung, die in vielen Studien dokumentarischer Unterrichtsforschung generell rekonstruiert wird und auf den Erfahrungshintergrund und die Sozialisation als Schüler*in an einer Schule zurückgeführt werden kann (Asbrand & Martens, 2018). Dies schließt an den „Schülerjob“ nach Breidenstein (2006) an, bei dem die Schüler*innen den an sie gestellten Erwartungen entsprechen und einer an Output orientierten Logik folgen. Über die Basistypik „Aufgabenerledigung“ hinaus stellte Fühner (2023) außerdem eine handlungsleitende Orientierung an den bereitgestellten Experimentiermaterialien fest, die einen starken Aufforderungscharakter für die Schüler*innen haben. Sie bezeichnet dies auch als „materialbasierte Aufgabenerledigung“, die sie als für den Fachunterricht spezifisch einordnet. In den weiteren Rekonstruktionsergebnissen werden einerseits Orientierungen hinsichtlich des *gemeinsamen* Experimentierens herausgestellt, die sich in Miteinander, Konkurrenz oder Instruktion differenzieren

lassen; andererseits können hinsichtlich des *fachlichen* Experimentierens präparierende, explorierende und resignierende Handlungsmuster festgestellt werden. In der Arbeit wird für einen Blick auf diese implizite Diversität plädiert, die den normativen Vorgaben und Differenzkonstruktionen entgegensteht und stärker fachbezogen ist (Fühner, 2023). Hoffmann et al. (2023) stellen beim Experimentieren im inklusiven Chemieunterricht zweier sechster Klassen u. a. fest, dass das Experimentieren als routinierte, zu erledigende Aufgabe behandelt wird, bei der die Schüler*innen demonstrieren, dass sie den von ihnen erwarteten Experimentierpraktiken nachgehen. Hingegen zeigt sich kein bedeutungsvolles Experimentieren, bei dem es um Erkenntnisgewinnung geht. Dies drückt sich zusätzlich darin aus und wird dadurch befördert, dass auch die Lehrkraft eine Orientierung an Irrelevanz der von den Schüler*innen erbrachten Ergebnissen zeigt, die eben nicht als bedeutsam für deren Erkenntnisgewinn einbezogen werden (Hoffmann et al., 2023).

Die Arbeiten zu den Experimentierprozessen zeigen, dass Spezifika durch das Fach, das Setting und den Umgang mit Materialität hinzukommen, die es methodisch in die dokumentarische Analyse zu integrieren gilt (Fühner & Heinicke, 2022). Diesbezüglich wird in der Dokumentarischen Unterrichtsforschung von der „Mitwirkung der Dinge am Unterrichtsgeschehen“ gesprochen (Asbrand, Martens & Petersen, 2013, S. 172). Angenommen wird – unter Bezugnahme auf die Akteur-Netzwerk-Theorie Latours –, dass Akteur*innen und Dinge miteinander *assoziiieren* („Mensch-Ding-Assoziationen“), wodurch neue Handlungsmöglichkeiten entstehen können (Asbrand et al., 2013). Neben dem Umgang mit den Dingen ist auch die Interaktion der Akteur*innen auf verbaler und nonverbaler Ebene Teil von Experimentierprozessen. Durch die Datengrundlage, die in diesen Arbeiten auf Videographien basiert, wird der Auswertungsprozess also noch komplexer im Vergleich zu den ursprünglich durchgeführten Interviews oder Gruppendiskussionen (Asbrand & Martens, 2018). Außerdem steht meist eine von den Schüler*innen zu bearbeitende Aufgabe am Anfang des Experimentierprozesses, die es als Eingangsimpuls in die Auswertung einzubeziehen gilt (Bonnet, 2004; Fühner, 2023).

Die oben vorgestellten Arbeiten sind alle im schulischen Kontext zu verorten. Dokumentarische Zugänge zu Handlungspraktiken von Studierenden in der Naturwissenschaftsdidaktik liegen bislang kaum vor. Die einzige mir bekannte Arbeit stammt aus der Physik, in der Bauer (2023) Experimentierprozesse von Studierenden mit denen von Expert*innen (Masterand, Doktorand*innen, Postdoc) vergleicht. Dabei konnten Unterschiede zwischen den Gruppen insofern festgestellt werden, dass die Expert*innen differenzierter

vorgehen und während des Experimentierens auf verschiedene Wissensressourcen – technische, physikalische, fachmethodische – zurückgreifen. Ihr Vorgehen vernetzen und reflektieren sie stärker in Bezug auf den gesamten Experimentierprozess. Die Studierenden hingegen richten ihr Handeln im Hinblick auf die Erzeugung eines Ergebnisses aus, beziehen dabei weniger verschiedene Wissensressourcen ein und nehmen die resultierenden Messwerte nicht kritisch in den Blick. Im Umgang mit Herausforderungen während des Experimentierens sind die Expert*innen in der Lage, diese systematisch in den Blick zu nehmen und flexibel darauf zu reagieren; während die Studierenden Schwierigkeiten nicht systematisch lösen, diese eher ignorieren und den Prozess fortsetzen. Die adäquateren Strategien der Expert*innen führt die Autorin auf deren größeren Erfahrungsschatz mit verschiedenen Problemen beim Experimentieren zurück. Als beispielhafte Strategie wird die Prüfung der Plausibilität von erzeugten Messwerten anhand eines Abgleichs mit erfahrungsbasierten Größenordnungen angeführt. Insbesondere die Erfahrung mit entdeckenden Vorgehensweisen, die die Expert*innen im Laufe ihrer Forschungsarbeit machen, sieht die Autorin als relevant an (Bauer, 2023).

Eine weitere Arbeit aus dem Kontext Hochschule soll an dieser Stelle angeführt werden, auch wenn diese Studie nicht im naturwissenschaftlichen Bereich zu verorten ist. Stattdessen handelt es sich bei der Arbeit von Heinzl, Krasemann und Sirtl (2019) um eine Untersuchung kollaborativer Protokollierprozesse von Studierenden des Grundschullehramts im Rahmen eines Seminars „Lernen am Fall im Praxissemester“. Die von den Studierenden zu erstellenden Protokolle sind keine Versuchsprotokolle, wie sie im Rahmen von Experimenten angefertigt werden, sondern Verlaufsprotokolle, in denen die in den Gruppen stattfindenden Diskussionen festgehalten werden sollen. Die Rolle des/der Protokollant*in wird vorab innerhalb der Gruppe an eine Person vergeben. Heinzl et al. (2019) stellten anhand rekonstruktiver Analysen der Protokollierprozesse fest, dass das Protokoll von den Studierenden als „Arbeits- und Leistungsnachweis“ im Rahmen des universitären Kontexts und nicht als Mittel zum vertieften Nachvollzug der in den Gruppen verhandelten Inhalte verstanden wird. Das Protokollieren wird als zusätzliche Belastung gerahmt, die zwar in allen Gruppen umgesetzt wird, allerdings im Modus einer „verordneten Notwendigkeit“, die sie in der Situation zu erfüllen haben (Heinzl et al., 2019). Die Autor*innen vergleichen diese Haltung mit Breidensteins (2006) „Schülerjob“ und bringen den Begriff des „Studierendenjobs“ ein. Die Studierenden wissen um die an sie gestellten Erwartungen, erfüllen diese pragmatisch und routiniert, ohne dass ein tiefergehendes Verständnis von der Sinnhaftigkeit ihres Tuns vorliegt (Heinzl et al., 2019).

3 Material und Methoden

Im Folgenden wird zunächst das Design der Studie dargelegt sowie die von den Studierenden zu bearbeitende Aufgabenstellung beschrieben. Anschließend werden die Auswertungsschritte mit der Dokumentarischen Methode erläutert und anhand von Ausschnitten aus der vorliegenden Arbeit illustriert.

3.1 Studiendesign

Die Gruppenarbeiten der Studierenden wurden mit Videokameras aufgezeichnet. Dafür wurden zwei stationäre Kameras installiert, die eine Frontalaufnahme der Gruppen sowie eine Aufnahme des Tisches ermöglichten (s. Abb. 4). Die Nutzung der Videographie als Erhebungsmethode eröffnet den Zugang zu sowohl auditiven als auch visuellen Daten, was für die vorliegende Studie durch den Fokus auf die zwischenmenschliche Interaktion sowie den Umgang mit Experimentiermaterialien notwendig ist (Dinkelaker, 2010). Der Zugang zur performativen Performanz, also zur Handlungspraxis, wird dadurch ermöglicht (Jahr, 2022). Zusätzlich zu den Videoaufnahmen wurden zur Sicherung der Audioqualität Tonaufnahmen mittels Ansteckmikrofonen gemacht. Diese Tonspuren wurden anschließend mit den Videoaufnahmen synchronisiert.



Abbildung 4: Experimentiersetting mit Sicht auf die zwei Kameras

Bei den teilnehmenden Studierenden handelte es sich um Lehramtsstudierende der Biologie (für Haupt-, Real, Gesamtschule), die sich am Ende ihres zweiten Bachelor-Studiensemesters befanden. Die Gruppenarbeiten waren nicht Teil eines regulären Seminars, sondern die Teilnehmer*innen hatten sich auf freiwilliger Basis dazu entschieden, an der Erhebung teilzunehmen. Damit einhergehend handelte es sich für die Studierenden um eine bewertungsfreie Experimentiersituation, die am Ende keine Benotung erforderte. Die Studierenden hatten in den vorherigen Semestern ein Modul „Grundlagen der Biologie“ besucht, welches eine Vorlesung zu fachwissenschaftlichen Inhalten sowie ein Praktikum umfasste. Darin führten die Studierenden laborspezifische Tätigkeiten und Experimente durch, fertigten Protokolle an und wurden mit dem Forschenden Lernen vertraut gemacht.¹¹

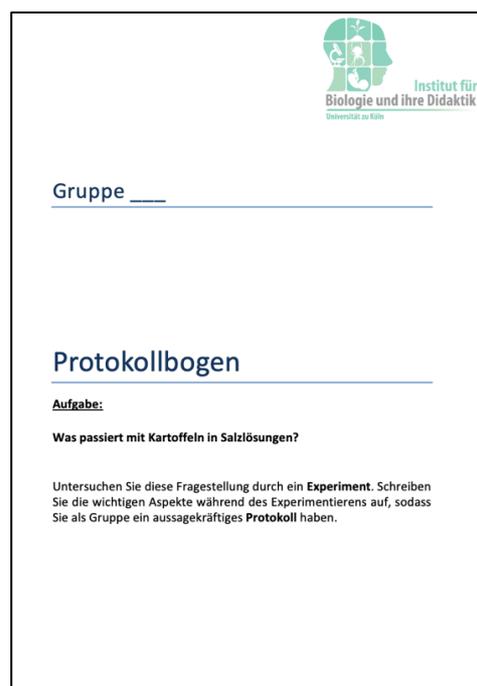
Insgesamt wurden vier Gruppenarbeiten aufgezeichnet. Die Gruppen bestanden aus jeweils drei Studierenden und die Gruppenzusammensetzung erfolgte zufällig. Die Gruppenarbeit war auf die Dauer von einer Stunde festgelegt. Die Gruppen hatten während des Experimentierens keine Betreuung durch eine Ansprechperson, sondern sollten ausschließlich innerhalb der Gruppenkonstellation diskutieren. Für den Fall einer Gefahren- oder Verletzungssituation und zur Kontrolle der Einhaltung der Zeitvorgabe war die Forschungsleiterin jedoch am anderen Ende des Raumes anwesend. Eine Interaktion zwischen der Forschungsleiterin und den Studierenden fand während des Experimentierens nicht statt.

3.1.1 Aufgabenstellung und Experimentiersetting

Die Aufgabenstellung, die den Studierenden gestellt wurde, gilt es als Einstiegsimpuls maßgeblich mit zu berücksichtigen (Asbrand & Martens, 2018; Bonnet, 2004; Fühner & Heinicke, 2022). Vergleichbar mit einem Impuls oder einer Frage z. B. am Anfang einer Gruppendiskussion beeinflusst die Art der Aufgabenstellung die nachfolgende Interaktion der Lernenden. Die von den Studierenden zu bearbeitende Aufgabe (s. Abb. 5) lautete: „Was passiert mit Kartoffeln in Salzlösungen? Untersuchen Sie diese Fragestellung durch ein Experiment. Schreiben Sie die wichtigen Aspekte während des

¹¹ Informationen zu den Experimenten, dem Konzept Forschenden Lernens und der Art der Anleitung im Laborpraktikum finden sich in Bruckermann und Schlüter (2017).

Experimentierens auf, sodass Sie als Gruppe ein aussagekräftiges Protokoll haben.“ Mit Bezug auf die verschiedenen Öffnungsgrade von Aufgaben im Kontext Forschenden Lernens kann diese Aufgabe als angeleitete Form Forschenden Lernens eingeordnet werden (Zion & Mendelovici, 2012), bei der eine Fragestellung vorgegeben wird, jedoch die Handlungsanweisungen weitgehend offen gehalten werden. Dies trifft hier insofern zu, dass die für die Studie relevanten Handlungspraktiken *Experimentieren* und *Protokollieren* zwar vorgegeben wurden, konkrete Anweisungen – z. B. zu Versuchsaufbau, Messzeiten oder den Inhalten des Protokolls – allerdings nicht gemacht wurden. Die zu untersuchende Fragestellung ist eher alltagssprachlich formuliert und lässt den Bezug zum Fachinhalt ‚Osmose‘ außen vor. Die Erwartungshaltung dabei war, dass die Studierenden so selbst eigene Theoriebezüge herstellen können (Messner, 2009). Der mit der Aufgabe anvisierte Fachinhalt ‚Osmose‘ wurde zum einen deshalb gewählt, weil dieser im vorausgehenden Semester Bestandteil der Lehre war und gleichzeitig ein Experiment ermöglichte, welches innerhalb einer überschaubaren Zeit sowie ohne Gefahrenpotenzial durchführbar war. Neben der fachinhaltlichen Offenheit wurde auch der zu untersuchende Zusammenhang von Salzkonzentration zu Gewicht bzw. Größe der Kartoffelstücke nicht konkret benannt, sodass die Festlegung der Variablen bei den Studierenden lag. Trotz der weitest gehenden offenen Anleitung findet die Instruktion also eher in Bezug auf das Handlungsvorgehen statt, als dass eine inhaltliche Verortung stattfindet.



The image shows a worksheet titled 'Protokollbogen' (Protocol Sheet) from the 'Institut für Biologie und ihre Didaktik' at the University of Kassel. It includes a logo in the top right corner. Below the logo, there is a line for 'Gruppe ____'. The main title 'Protokollbogen' is underlined. Underneath, the section 'Aufgabe:' (Task) is followed by the question 'Was passiert mit Kartoffeln in Salzlösungen?' (What happens with potatoes in salt solutions?). At the bottom, there is a paragraph of instructions: 'Untersuchen Sie diese Fragestellung durch ein Experiment. Schreiben Sie die wichtigen Aspekte während des Experimentierens auf, sodass Sie als Gruppe ein aussagekräftiges Protokoll haben.' (Investigate this question through an experiment. Write down the important aspects during the experiment so that you can have a meaningful protocol as a group.)

Abbildung 5: Protokollbogen inkl. Aufgabe

Neben der schriftlichen Aufgabenstellung lagen den Studierenden zusätzlich Blankoseiten zum Protokollieren bereit. Ein vorstrukturiertes Protokoll gab es somit nicht, sondern die Strukturierung des Protokolls sowie die Inhalte sollten von den Studierenden selbst festgelegt werden. Außerdem wurde ihnen eine Auswahl an Experimentiermaterialien zur Verfügung gestellt, die auf dem Tisch bereitstanden (s. Abb. 6). Das Material umfasste Salz, Zucker, vollentsalztes Wasser, Kartoffeln, Utensilien zur Bearbeitung der Kartoffeln (Schneidebrettchen, Messer), verschiedene Labormaterialien (u. a. Bechergläser, Pipetten, Thermometer), technische Geräte (u. a. Heizplatte, Waage) und Schreibutensilien (Papier, Stifte).¹² Davon wurden nicht alle Materialien für das Experiment benötigt und die Studierenden konnten frei entscheiden, welches Material sie zum Experimentieren verwenden (Baur & Emden, 2021). Die Studierenden mussten sich dadurch außerdem nicht durch das Labor bewegen, um Materialien zu holen. So waren sie in der Regel die gesamte Zeit auf der Videoaufnahme zu sehen.



Abbildung 6: Tisch mit den bereitgestellten Experimentiermaterialien

Bevor die Studierenden mit der Arbeit anfangen, gab es zusätzlich zur schriftlichen Aufgabenstellung eine standardisierte mündliche Instruktion. Diese bestand aus einer

¹² Eine detaillierte Liste der bereitgestellten Experimentiermaterialien befindet sich im Anhang.

Begrüßung der Teilnehmenden, Informationen zum Datenschutz sowie einer Verortung des Forschungsprojektes als „Untersuchung von Prozessen beim Forschenden Lernen“. Der Kontext Forschenden Lernens war den Studierenden durch die mündliche Instruktion also bekannt. Weitere Details dazu wurden allerdings nicht vorgegeben. Außerdem wurden die Studierenden darauf hingewiesen, dass sie aus den zur Verfügung gestellten Experimentiermaterialien auswählen können. Es wurde zudem darauf hingewiesen, dass sie nachfolgend nicht alleine, sondern zusammen in der Gruppe arbeiten sollen.

3.2 Auswertungsmethode

Im Folgenden wird beschrieben, wie die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode in dieser Arbeit erfolgte. Dafür wird erst auf die Datengrundlage verwiesen und anschließend die beiden Schritte der Formulierenden und Reflektierenden Interpretation beschrieben. Diese werden durch Ausschnitte aus meiner Analyse illustriert, um das Vorgehen in der vorliegenden Arbeit zu verdeutlichen. Asbrand und Martens (2018) sprechen im Kontext dieser erstellten Texte (Transkript, Formulierende Interpretation, Reflektierende Interpretation) auch von „Arbeitstexten“, die später zur Kondensierung der Ergebnisdarstellung in einer Gesamtinterpretation dienen. In dem Zusammenhang ist es wichtig herauszustellen, dass der Auswertungsprozess durch den regelmäßigen Austausch in Interpretationsgruppen bzw. Forschungswerkstätten begleitet war. Dieser Austausch ist essenziell dafür, dass die Interpretationen auf Schlüssigkeit geprüft und die eigene Standortgebundenheit kontrolliert werden (Asbrand & Martens, 2018).

3.2.1 Transkript

Ausgehend von den erstellten Videoaufnahmen der Gruppenarbeiten wurden in einem ersten Schritt die verbalen Daten des Videos nach den Regeln des *Talk in Qualitative Social Research (TiQ)* transkribiert (vgl. Bohnsack, 2014).¹³ Zusätzlich wurden nonverbale Aspekte in das Transkript integriert (vgl. Fühner, 2023; Plotz et al., 2022; Wagner-Willi, 2013). Das Transkript¹⁴ (s. Tab. 2) stellt daher bereits einen ersten Transfer- bzw.

¹³ Die entsprechenden Transkriptionsregeln befinden sich im Anhang.

¹⁴ Die Namen der Studierenden im Transkript sind pseudonymisiert.

Interpretationsschritt dar, weil die Integration nonverbaler Aspekte in das Transkript selektiv geschieht (vgl. Fühner, 2023). Zusätzlich wurden dem Transkript repräsentative Fotogramme hinzugefügt, sodass ein bildlicher Eindruck der Situation ebenfalls gegeben war (Asbrand & Martens, 2018). Die Fotogramme dienten zur Unterstützung der Analyse, wurden aber nicht einer dokumentarischen Bildinterpretation nach Bohnsack (2014) unterzogen. In der Analyse wurde außerdem durchgängig das Videomaterial als relevanter Bezugspunkt hinzugezogen (Asbrand & Martens, 2018). Die Arbeit mit Zeitcodes ermöglicht dabei eine Zuordnung zwischen Transkriptstellen, Fotogrammen und den jeweiligen Stellen im Video (Asbrand & Martens, 2018).

Die Auswahl der zu interpretierenden Sequenzen erfolgte anhand der thematischen Relevanz für die Forschungsfrage des vorliegenden Projektes (Asbrand & Martens, 2018). So stellten sich die Eingangspassagen als besonders interessant für die Frage nach dem Experimentieren im Rahmen des Forschenden Lernens heraus, da sich Unterschiede zwischen den Gruppen diesbezüglich gleich zu Beginn zeigten. Aus fachdidaktischer Perspektive ist die Planungsphase beim Experimentieren außerdem besonders relevant für den Experimentierprozess, aber auch anspruchsvoll für die Lernenden, da mit Bezug auf fachliche Wissensbestände das weitere Vorgehen (Variablen bestimmen, Hypothesen aufstellen, Materialien auswählen etc.) bestimmt werden soll (Arnold et al., 2014; Fradd et al., 2001; Kastaun & Meier, 2022; Wolowski, 2021). Daher konzentriert sich die Analyse vor allem auf die Anfänge der Gruppenarbeiten (s. Teilpublikation 1). Dies stimmt überein mit dem Vorgehen bei der Analyse von Gruppendiskussionen, bei denen die Eingangssequenzen ebenfalls als erstes analysiert werden und aufschlussreich für die Rekonstruktion von Orientierungen sind, die sich im weiteren Verlauf dann homolog im Material zeigen (Asbrand & Martens, 2018). Dies gilt auch in der vorliegenden Arbeit. Bei der Analyse der Eingangspassagen fiel außerdem auf, dass in allen Gruppen die Anfertigung des Protokolls (neben dem Experimentieren eine weitere Anforderung der an sie gestellten Aufgabe) thematisiert und teilweise initiiert wurde, sodass dahingehend das Material geprüft wurde und dies als zweite Handlungspraxis in den Blick genommen wurde (s. Teilpublikation 2). Hierbei wurden die Eingangspassagen z. T. auch einbezogen, der Fokus lag aber auf Sequenzen über die gesamte Gruppenarbeit hinweg, in denen die Verschriftlichung verbal oder nonverbal bearbeitet wurde.

Tabelle 2: Transkriptausschnitt inkl. Fotogramm
(Eingangssequenz, Gruppe A)



#00:01:38: Zu sehen ist der Gruppentisch mit dem bereitgestellten Material. Jan sitzt links, Ida in der Mitte und Laura rechts im Bild.

Ida: Okay; wir ham ja forschendes Lernn, stelln wir mal unsere Hypothesen (*ordnet Blätter und nimmt Stift in die Hand*) auf. (2) möchte wer schreibn, #00:01:27-5#

Jan: ich nicht. #00:01:27-9#

Laura: (*lacht leicht*) ↳mach du ruhig. #00:01:28-2#

Ida: ↳Du hattst=ne schöne Schrift, ↳ #00:01:29-5#

Laura: nein, #00:01:30-8#

Ida: okay; (*schreibt*) (5) okay. hh, ja was solln wir denn sagn, was passiert denn mit, Kartoffln in Salzlösungen, #00:01:41-8#

Die ausgewählten Sequenzen wurden dann durch die zwei für die Dokumentarische Methode typischen Interpretationsschritte – die Formulierende und die Reflektierende Interpretation – analysiert. Diese werden nachfolgend dargestellt.

3.2.2 Formulierende Interpretation

Der erste Interpretationsschritt, die Formulierende Interpretation, bezieht sich auf die Ebene des expliziten, kommunikativen Wissens und damit darauf, *was* gesagt wird (Bohnsack, 2014). Das Gesagte wird in kurze Reformulierungen gefasst und es wird ein thematischer Verlauf erstellt, der in der Regel in Ober-, Unter- und ggf. eingeschobene Themen gegliedert ist (Bohnsack, 2014). Auffällige Formulierungen und Besonderheiten können wortgetreu übernommen werden, da diese auf bestimmte mögliche Orientierungen hinweisen können (s. Tab. 3). Durch die Videographie und das Hinzukommen der nonverbalen Ebene werden auch Handlungen in diese thematischen Verläufe integriert. Im Gegensatz zu Asbrand und Martens (2018), die für die Dokumentarische Unterrichtsforschung die verbalen und nonverbalen Aspekte in der Formulierenden Interpretation getrennt voneinander darstellen, hat sich für diese Arbeit eine Integration beider Ebenen in einer Formulierenden Interpretation als praktikabler herausgestellt (s. Tab. 3), da so beides stärker in Verbindung miteinander bestehen bleibt und analysiert werden kann (vgl. Fühner, 2023). Ausgehend von den thematischen Gliederungen kann verglichen werden, ob gleiche oder verschiedene Themen in den jeweiligen Gruppen relevant sind und, inwiefern gleiche Themen in den Gruppen ggf. auf verschiedene Art und Weise verhandelt werden (s. Kap. 3.2.3).

Tabelle 3: Auszug aus der Formulierenden Interpretation
(Eingangssequenz, Gruppe A; OT = Oberthema, ET = Eingeschobenes Thema)

01:17-01:27 OT Hypothesen aufstellen	„wir ham ja forschendes Lernn“, also müssen Hypothesen aufgestellt werden
01:27-01:32 ET Wer schreibt?	Ida nimmt Blätter und Stift zur Hand und es wird geklärt, wer schreiben will. Von den anderen möchte niemand schreiben und Ida beginnt etwas aufzuschreiben.
01:32-01:41 OT Hypothesen aufstellen	Was sollen sie zur Frage, was mit Kartoffeln in Salzlösungen geschieht, sagen

3.2.3 Reflektierende Interpretation

Anschließend an die Formulierende Interpretation wird die Reflektierende Interpretation vorgenommen, anhand derer die impliziten, konjunktiven Wissensbestände rekonstruiert werden können (Bohnsack, 2014). Es geht um die Frage, *wie* ein bestimmtes Thema in der Gruppe verhandelt wird und welcher Orientierungsrahmen sich darin zeigt (s. Kap. 2.5). Das Vorgehen bei der Reflektierenden Interpretation wurde in der vorliegenden Arbeit an Asbrand und Martens (2018) angelehnt und schließt sowohl die verbale als auch die nonverbale Ebene der Interaktion mit ein (s. Tab. 4).

Außerdem wird in der Reflektierenden Interpretation eine sequentielle Analyse der Interaktionsorganisation vorgenommen, die auf die sequentielle Gesprächsanalyse bzw. Diskursanalyse zurückgeht (Asbrand & Martens, 2018; Przyborski, 2004). Dabei betont die ‚Interaktionsanalyse‘ im Gegensatz zur ‚Diskursanalyse‘, dass auch nonverbale Kommunikation berücksichtigt wird (Asbrand & Martens, 2018). Durch die Interaktionsanalyse kann nachvollzogen werden, wie die Gruppenmitglieder jeweils an Aussagen und Handlungen der anderen anschließen und, ob sich darin ein geteilter Orientierungsrahmen in der Gruppe zeigt oder nicht (Asbrand & Martens, 2018). Eine Interaktionseinheit besteht dabei stets aus den folgenden drei Schritten: einer Proposition, einer Elaboration und einer Konklusion (Asbrand & Martens, 2018). Die Proposition ist die Eröffnung eines Themas, die einen bestimmten Orientierungsgehalt enthält. In der daran anschließenden Elaboration, die sich über mehrere Interaktionsbewegungen erstrecken kann, wird dieses Thema mit dem zugrundeliegenden Sinngehalt dann von den Beteiligten weiter ausgeführt. Eine Elaboration, die nicht verbal, sondern durch Handlungen – häufig in Assoziation mit Dingen – vollzogen wird, wird als ‚Enaktierung‘ bezeichnet (Asbrand & Martens, 2018).¹⁵ Am Ende der Interaktionseinheit kommt es zu einer Konklusion, die das Thema abschließt (Asbrand & Martens, 2018).

¹⁵ Für eine Gesamtübersicht über das für die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode spezifische Vokabular sei auf das Glossar von Asbrand und Martens (2018, S. 335 ff.) verwiesen.

Tabelle 4: Auszug aus der Reflektierenden Interpretation
(Eingangssequenz, Gruppe A)

01:17-01:27: Proposition durch Ida

Die Formulierung „wir ham ja forschendes Lernn, stelln wir mal unsere Hypothesen auf“ deutet darauf hin, dass mit dem Forschenden Lernen nun ein bestimmter Ablauf abgerufen wird, nach dem vorzugehen ist (vergleichbar mit einem Drehbuch). Dies weist darauf hin, dass sie um die Erwartungen wissen, die das Forschende Lernen mit sich bringt. Die Formulierung „wir haben ja“ deutet jedoch an, dass sie das Format nicht selbst gewählt haben, sondern es von außen an sie herangetragen wird. Es offenbart sich also eine gewisse Distanz zum Format („wir haben ja“ anstatt „wir machen ja“). Außerdem handelt es sich hierbei um einen kontextverweisenden Beitrag auf methodischer Ebene, bei dem zum Ausdruck gebracht wird, um was es geht und was geleistet werden muss. Die Verwendung der Worte „wir“ und „unsere“ betont die gemeinsame Verantwortung der Gruppenmitglieder für die Aufgabenbearbeitung. Auffällig ist hier auch die Verwendung des Plurals „Hypothesen“, der impliziert, dass nicht zwangsläufig eine Hypothese aufgestellt werden soll, sondern durchaus mehrere.

01:27-01:32: Eingeschobenes Thema und Enaktierung durch Ida, Elaboration durch alle, Konklusion durch Ida

Das Thema „Hypothesen“ wird unterbrochen und Ida erfragt, ob jemand die Aufgabe des Protokollierens übernehmen möchte. Darin zeigt sich, dass das Protokollieren als Teil der an sie gestellten Aufgabe selbstverständlich eingebracht wird und zu erfüllen ist. Außerdem wird die Notwendigkeit einer Bestimmung der Zuständigkeiten deutlich: es gilt jemanden zu bestimmen, der nachfolgend für das Schreiben verantwortlich ist. Während Ida fragt, hat sie schon den Stift in der Hand und Blätter vor sich liegen, positioniert sich dadurch als Schreibende und enaktiert quasi selbst ihre Frage. Die anderen beiden elaborieren ihre Frage, jedoch wird deutlich, dass keiner die Aufgabe gerne übernehmen möchte. Die Aufgabe des Protokollierens ist keine, um die sich gestritten wird. Alle stimmen aber darin überein, dass die Aufgabe von jemandem zu übernehmen ist und es findet keine lange Aushandlung darüber statt, sondern Ida zeigt sich sehr schnell bereit, dies zu übernehmen. Es kommt also zu einem schnellen Einigungsprozess in der Gruppe und einer Konklusion des Themas durch Ida auf verbaler („okay“) und nonverbaler Ebene (sie beginnt zu schreiben).

01:32-01:41: Anschlussproposition durch Ida

Ida kehrt zurück zur Frage aus der Aufgabenstellung, die es nun zu beantworten gilt. Die Formulierung „was sollen wir denn sagen“ deutet auf eine freie und willkürliche Art der Bearbeitung hin. Die Wiederholung der Frage aus der Aufgabenstellung macht die Orientierung am Eingangsimpuls und an der Aufgabenbearbeitung deutlich.

Je nachdem, wie die Interaktion verläuft und abgeschlossen wird, kann zwischen inkludierenden und exkludierenden Interaktionsmodi unterschieden werden (s. Tab. 5 und 6).

Während bei inkludierenden Interaktionsmodi ein geteilter Orientierungsrahmen in der Gruppe vorliegt, ist das bei exkludierenden Interaktionsmodi nicht der Fall („Rahmeninkongruenz“) (Asbrand & Martens, 2018). Die inkludierenden und exkludierenden Interaktionsmodi können noch weiter spezifiziert werden (s. Tab. 5 und 6): Der *parallele Interaktionsmodus* ist dadurch gekennzeichnet, dass die Akteur*innen gegenseitig ihre Beiträge bestätigen; beim *univoken Interaktionsmodus* ist die gegenseitige Übereinstimmung so groß, dass Äußerungen sogar gegenseitig vollendet werden. Im *antithetischen Interaktionsmodus* kommt es zwar zu Widersprüchen auf der expliziten Ebene, auf impliziter Ebene teilen die Akteur*innen jedoch einen gemeinsamen Orientierungsrahmen. Beim *divergenten Interaktionsmodus* bleiben die nicht geteilten Orientierungsrahmen verschleiert. Die Akteur*innen nehmen scheinbar Bezug aufeinander, auf impliziter Ebene wird jedoch deutlich, dass eigentlich kein geteiltes Verständnis vorliegt. Im *oppositionellen Interaktionsmodus* hingegen werden die Gegensätze offen ausgesprochen und sind offensichtlich. Der *komplementäre Interaktionsmodus* hebt sich insofern von den anderen genannten Modi ab, als dass es um Orientierungen geht, die zwar nicht geteilt werden, jedoch in Passung zueinanderstehen (z. B. Leistungserwartung und Leistungsbereitschaft zwischen Lehrkraft und Schüler*innen) (Asbrand & Martens, 2018).

Tabelle 5: Inkludierende Interaktionsmodi
(modifiziert nach Asbrand und Martens, 2018, S. 212)

Inkludierende Interaktionsmodi	
Paralleler & Univoker Modus <i>Geteilter Orientierungsrahmen</i>	Antithetischer Modus <i>Geteilter Orientierungsrahmen</i>
Dreischritt der Interpretationseinheit	
1) Proposition 2) Elaboration 3) Konklusion (<i>bestätigt geteilte Orientierung</i>)	1a) Proposition 1b) Antithese (<i>weitere Orientierungskomponente oder Widerspruch auf immanenter Ebene</i>) 2) Elaboration zu Proposition & Antithese 3) Synthese (<i>fasst Orientierungskomponenten zusammen & bestätigt die geteilte Orientierung</i>)

Tabelle 6: Exkludierende Interaktionsmodi
(modifiziert nach Asbrand und Martens, 2018, S. 213)

Exkludierende Interaktionsmodi		
Komplementärer Modus <i>Rahmenkomplementarität</i>	Divergender Modus <i>Rahmeninkongruenz</i>	Oppositioneller Modus <i>Rahmeninkongruenz</i>
Dreischritt der Interpretationseinheit		
1a) Proposition 1b) Komplementäre Proposition (<i>in Passung zur ersten Proposition</i>) 2) Elaborationen der Propositionen 1a & 1b 3) Kommunikative Konklusion (<i>im Rahmen von institutionalisierten Regeln, verschiedene Orientierungen bleiben bestehen</i>)	1a) Proposition 1b) Divergenz (<i>abweichende Orientierung</i>) 2) Elaborationen der Proposition & Divergenz 3) Rituelle Konklusion (<i>Themenverschiebung oder Metakommunikation, Divergenz bleibt verdeckt</i>)	1a) Proposition 1b) Opposition (<i>offene, abweichende Orientierung</i>) 2) Elaborationen der Proposition & Opposition 3) Rituelle Konklusion (<i>expliziter Abbruch der Kommunikation, verschiedene Orientierungen bleiben bestehen</i>)

Insgesamt gilt es also, in der Reflektierenden Interpretation die Orientierungsrahmen bzw. handlungsleitenden Orientierungen in der Gruppe zu erschließen, indem sequentiell analysiert wird, wie die Themen eingebracht und in der Gruppe weiter ausgehandelt und abgeschlossen werden. Dabei ist es wichtig, dass eine bestimmte Orientierung sich nicht nur an einer Stelle des Transkripts zeigt, sondern als homologes Muster immer wieder auftritt („Reproduktionsgesetzlichkeit“) (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2021). Erst dann ist die Reliabilität der Ergebnisse gegeben (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2021; Sander, 2017). Das komparative Vorgehen ist also essentiell bei der Reflektierenden Interpretation (s. Kap. 2.5). Neben den Vergleichen innerhalb eines Falles werden dann auch Vergleiche mit anderen Fällen hinzugezogen, um so Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausstellen zu können (Asbrand & Martens, 2018).

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die der Dissertation zugrundeliegenden Teilpublikationen kurz zusammengefasst. Für einen tiefer gehenden Einblick und weitere Informationen sind diese am Ende der Arbeit in voller Länge angehängt.

4.1 Teilpublikation 1: Zusammenfassung

Olschewski, P., Herzmann, P. & Schlüter, K. (2023) Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie. Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer Experimentierprozesse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00151-2>

Hintergrund: Forschendes Lernen gilt als eine Methode, die durch das eigenständige Durchlaufen des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses eine förderliche Wirkung auf die Problemlösefähigkeiten und das Verständnis von Naturwissenschaft und ihrer Erkenntniswege bei den Lernenden erreichen soll. Im Hinblick auf die Erkenntnismethode des Experimentierens wurde in der vorliegenden Studie untersucht, wie Experimentierprozesse im Rahmen von Forschendem Lernen von Lehramtsstudierenden der Biologie gemeinsam gestaltet werden und welches Experimentierverständnis sich dabei zeigt. Mit Fokus auf die Anfänge der Gruppenarbeiten wurden die handlungsleitenden Orientierungen und die Interaktionsmodi der Studierenden rekonstruiert.

Methode: Datengrundlage waren vier videographierte Gruppenarbeiten von Lehramtsstudierenden der Biologie, die transkribiert und mit der Dokumentarischen Methode ausgewertet wurden. Ausgangspunkt für die Gruppenarbeit war eine Aufgabe, die als angeleitete Form Forschenden Lernens eingeordnet werden kann. Die Studierenden sollten dabei ein Experiment anhand einer vorgegebenen Fragestellung und mit Hilfe eines bereitgestellten Material-Pools durchführen.

Ergebnisse: In Tabelle 7 werden die rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen beim Experimentieren und die Interaktionsmodi der Gruppen dargestellt.

Tabelle 7: Ergebnisübersicht beim Experimentieren

Handlungsleitende Orientierungen beim Experimentieren	
Hypothesenbasiert	Materialbasiert
Interaktionsmodi	
Paralleler Modus	Antithetischer Modus

Bei allen Gruppen konnte eine Orientierung an *Aufgabenerledigung* rekonstruiert werden. Darüber hinaus waren alle Gruppen eher unsicher in ihrem Vorgehen und sicherten die *Richtigkeit der Aufgabenbearbeitung anhand des bereitgestellten Materials* ab. Kontrastierende handlungsleitende Orientierungen bestanden insofern, dass zwei Gruppen *hypothesenbasiert* im Sinne eines strikten Ablaufplans vorgingen, während die anderen beiden Gruppen *materialbasiert* arbeiteten. In allen Gruppen lagen geteilte Orientierungen vor, was anhand der Rekonstruktion inkludierender Interaktionsmodi – in einer Gruppe der *parallele* Interaktionsmodus, in den anderen drei Gruppen *antithetische* Interaktionsmodi – festgestellt wurde.

4.2 Teilpublikation 2: Zusammenfassung

Olschewski, P., Herzmann, P., & Schlüter, K. (2023). **Group Work during Inquiry-Based Learning in Biology Teacher Education: A Praxeological Perspective on the Task of (Collaborative) Protocol Generation.** *Education Sciences*, 13(4), 401. <https://doi.org/10.3390/educsci13040401>

Hintergrund: Protokollieren ist eine in den Naturwissenschaften etablierte Praktik im Labor und soll daher auch Lernenden vermittelt werden. Dies kann sowohl im Rahmen von experimenteller Arbeit generell, aber auch im Kontext von Forschendem Lernen vorgenommen werden. Dem Anfertigen von Protokollen beim Forschenden Lernen wird eine unterstützende Funktion beim naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess zugesprochen. Da sich bisherige Studien vor allem auf die Evaluation von Lerner*innen-Protokollen, die Effektivität verschiedener Instruktionsansätze sowie die Lerneffekte durch das Anfertigen von Protokollen fokussieren, stellte sich die Frage, wie (kollaborative) Prozesse der Protokollerstellung verlaufen. Erkenntnisleitende Fragen dabei waren: Wie gestalten Lernende gemeinsam ein Protokoll? Wie implementieren sie es in einer Experimentiersituation im Kontext von Forschendem Lernen? Welche Bedeutung schreiben sie dem Protokoll dabei zu?

Methode: Vier Gruppen von Lehramtsstudierenden der Biologie bearbeiteten eine Experimentieraufgabe im Kontext des Forschenden Lernens, im Rahmen derer sie ein gemeinsames Protokoll anfertigen sollten. Diese Gruppenarbeiten wurden video-graphiert, transkribiert und mit der Dokumentarischen Methode ausgewertet, sodass die handlungsleitenden Orientierungen beim Protokollieren rekonstruiert werden konnten.

Ergebnisse: Die rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisübersicht beim Protokollieren

Basisorientierungen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenerledigung • Protokoll als Mittel zur Strukturierung & Absicherung 	
Kontrastierende handlungsleitende Orientierungen	<ul style="list-style-type: none"> • Protokoll als Aushängeschild 	<ul style="list-style-type: none"> • Protokoll als pragmatisches Hilfsmittel
Studierendengruppen	B, C	A, D

Für alle Gruppen konnten eine Orientierung an *Aufgabenerledigung* sowie eine Orientierung daran, das *Protokoll als Mittel zur Strukturierung und Absicherung* im Experimentierprozess zu nutzen, rekonstruiert werden. Unterschiede zwischen den Gruppen konnten dahingehend rekonstruiert werden, dass in zwei Gruppen das *Protokoll als Aushängeschild* für die Qualität ihrer Gruppenarbeit erarbeitet wurde, was mit Orientierungen an *Vollständigkeit und Form* sowie *Eindeutigkeit* einhergeht. In den anderen beiden Gruppen ist beim Protokollieren vielmehr handlungsleitend, dass das *Protokoll als pragmatisches Hilfsmittel* genutzt wird, was ihr Voranschreiten beim Experimentieren unterstützt.

5 Gesamtdiskussion

Zentrales Ziel dieser Arbeit war, zu untersuchen *wie* die Experimentier- und Protokollierprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie im Rahmen von Forschendem Lernen verlaufen. Im Fokus des Experimentierprozesses stand dabei die Planungsphase des Experiments, die als besonders anspruchsvoll für die Lernenden und als entscheidend für den gesamten Experimentierprozess gilt (Arnold et al., 2014; Fradd et al., 2001; Kastaun & Meier, 2022; Wolowski, 2021). Dabei war das Anliegen, zu *verstehen*, wie die Situation von den Lehramtsstudierenden überhaupt ausgestaltet wird und – ausgehend von der sich zeigenden Praxis – zu rekonstruieren, was für die Studierenden in einem Setting Forschenden Lernens überhaupt relevant und handlungsleitend ist (Reckwitz, 2003). Damit leistet diese Arbeit einen Beitrag, den bisherigen Forschungsstand zum forschenden Experimentieren und Protokollieren insofern zu erweitern, dass die Tiefenstruktur einer solchen Situation in den Blick genommen werden kann. Dafür wurde die Dokumentarische Methode für die Analyse genutzt, da sie Zugriff auf die impliziten handlungsleitenden Orientierungen der Akteur*innen ermöglicht (Bohnsack, 2013a, 2014).

Die Ergebnisse der Analysen sollen im Folgenden mit der Theorie und dem Forschungsstand in Beziehung gesetzt werden. Die Bedeutung der rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen soll vor dem Hintergrund der normativen Vorgaben und Erwartungen, die an Forschendes Lernen, Experimentieren und Protokollieren gestellt werden sowie in Relation zu bisherigen empirischen Befunden diskutiert werden (Kap. 5.1). Dabei sollen die Rekonstruktionsergebnisse übergreifend eingeordnet werden und, wo möglich, auch Verknüpfungen und gemeinsame Bezugspunkte der handlungsleitenden Orientierungen beim Experimentieren und Protokollieren hergestellt werden.

Anschließend folgt eine Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen der Dokumentarischen Methode im Kontext dieser Arbeit (Kap. 5.2). Die Limitationen der vorliegenden Arbeit werden diskutiert und die Implikationen für Forschung und Praxis dargelegt (Kap. 5.3 und 5.4). Zuletzt folgt ein abschließendes Fazit (Kap. 5.5).

5.1 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Theorie

Forschendes Lernen gilt als geeignete Lehr-/Lernmethode zur Umsetzung einer umfangreichen naturwissenschaftlichen Grundbildung (*Scientific Literacy*) von Schüler*innen und Studierenden (Mayer & Ziemek, 2006). Durch das eigenständige Durchführen

wissenschaftlicher Untersuchungen sollen wissenschaftliche Arbeitsmethoden, Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und ein Verständnis über die Naturwissenschaften gefördert werden (Kremer et al., 2019; Mayer & Ziemek, 2006). Erwartet wird dementsprechend, dass sich in den Prozessen eine forschende Haltung der Studierenden zeigt, bei der sie die Prozeduren im Experimentierprozess in bedeutungsvolle Zusammenhänge stellen, beispielsweise wissen, *warum* sie Hypothesen aufstellen (Arnold et al., 2016; Berland et al., 2016; Bruckermann, 2016; Bruckermann et al., 2017a; Huber & Reinmann, 2019; Krell et al., 2022). Aushandlungen innerhalb der Gruppen sollen zu einem tiefergreifenden Verständnis führen (Bruckermann et al., 2017a; Furtak et al., 2012; Puntambekar & Hübscher, 2005). Auch die Anfertigung des Protokolls soll als lernförderliches Werkzeug das wissenschaftliche Denken und Reflektieren unterstützen (Engl, 2017; Keys et al., 1999). Dass die in der vorliegenden Arbeit rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen diesen Erwartungen und Zielen insgesamt entgegenstehen, wird nachfolgend diskutiert.

5.1.1 Aufgabenerledigung

In allen Gruppen konnte eine *Orientierung an Aufgabenerledigung* rekonstruiert werden. Dies gilt für die Gesamtsituation und bezieht sich daher sowohl auf das Experimentieren als auch auf das Protokollieren. Diese Orientierung an Aufgabenerledigung ist eine in der Dokumentarischen Unterrichtsforschung häufig rekonstruierte (Basis-)Orientierung von Schüler*innen (Asbrand & Martens, 2018). Sie kann auf den „Erfahrungshintergrund des Schüler-Seins“ (Asbrand & Martens, 2018, S. 21) zurückgeführt werden und schließt an den „Schülerjob“ Breidensteins (2006) an. Die Schüler*innen wissen um die Erwartungen, die an sie im Schulunterricht gestellt werden. Sie entsprechen diesen Erwartungen, indem sie die an sie gestellten Aufgaben erfüllen, allerdings in einem distanzierten Modus, ohne sich gänzlich damit zu identifizieren (Asbrand & Martens, 2018; Breidenstein, 2006). Eine Orientierung an Aufgabenerledigung rekonstruierten auch Fühner (2023) und Hoffmann et al. (2023) beim Experimentieren im inklusiven Physik- bzw. Chemieunterricht. In ihrer Diskussion bewerten Hoffmann et al. (2023) diese Orientierung als unproduktiv beim kollaborativen Experimentieren, da eine vertiefte Auseinandersetzung ausbleibt. Gleiches gilt für die vorliegende Arbeit. Insbesondere im Kontext des Forschenden Lernens, noch dazu im universitären Kontext, steht eine Orientierung an Aufgabenerledigung den weitreichenden Erwartungen an einen bedeutungsvollen

Experimentierprozess entgegen (Arnold et al., 2016; Berland et al., 2016; Krell et al., 2022). Die Studierenden begeben sich eben nicht in die Rolle von Wissenschaftler*innen, sondern bleiben als Studierende in einer institutionellen Lehr-/Lernsituation ihrer zu erledigenden Aufgabe verpflichtet (Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez & Duschl, 2000). Der hochschulische Kontext ist demnach wirkmächtiger als das in der Situation angelegte, wenn auch nicht authentische, Forschungssetting (Bonnet & Hericks, 2022; Herzmann & Liegmann, 2022). Bei den Studierenden in der vorliegenden Arbeit handelt es sich um Bachelor-Studierende am Ende des zweiten Semesters, die den gemeinsamen konjunktiven Erfahrungsraum „Schule“ und für die ersten beiden Semester auch den der „Hochschule“ teilen, in denen sie als Schüler*in bzw. Student*in sozialisiert sind, was diese stark ausgeprägte Orientierung an Aufgabenerledigung erklären könnte (Asbrand & Martens, 2018). Dennoch liegen aus dem vorherigen Semester auch Erfahrungen mit Settings Forschenden Lernens vor, die handlungsleitende Orientierungen an Forschung hätten hervorbringen können (Bonnet, 2009). Bonnet (2009) betont allerdings auch, dass Fachunterricht – bzw. im vorliegenden Fall ein Laborpraktikum an der Hochschule – zwar Erfahrungsraum sein kann, aber nicht zwingend sein muss. Die Lernenden können sich diesem entziehen, sodass er von einem Erfahrungsraum zu einem „Anwesenheitsraum“ wird (Bonnet, 2009). Berland et al. (2016) stellen außerdem heraus, dass die Lernenden die zu bearbeitende Aufgabe als bedeutungsvoll ansehen müssen, damit sie vom *Doing School* zum *Doing Science* gelangen (Jiménez-Aleixandre et al., 2000). Inwiefern das in der vorliegenden Arbeit mit der vorgegebenen Forschungsfrage der Fall ist, muss kritisch reflektiert werden. Hätten die Studierenden sich selbst eine Forschungsfrage überlegen können, wäre dem Anspruch an ein für sie bedeutungsvolles Arbeiten möglicherweise eher gerecht geworden. Dennoch greift die Frage – entsprechend der Empfehlungen im Kontext Forschenden Lernens – einen alltagsweltlichen Bezug auf und schließt an potentiell vorhandenes Wissen der Studierenden an (Martius et al., 2016).

Dass der „Schülerjob“ nach Breidenstein (2006) sich auch im universitären Kontext zeigt, schließt an die Ergebnisse von Heinzl et al. (2019) an, die den „Studierendenjob“ im Rahmen von Protokolltätigkeiten in einem kasuistischen Fallseminar rekonstruierten. In der vorliegenden Arbeit gilt es in jedem Fall zu reflektieren, dass die zu bearbeitende Forschungsfrage und die nachfolgenden Anweisungen als „Aufgabe“ betitelt waren (s. Kap. 3.1.1). Die Studierenden wurden demnach auch als Lernende, die eine Aufgabe zu bearbeiten haben, adressiert. Eine entsprechende Positionierung in dieser Situation wird dadurch also möglicherweise schon angelegt (vgl. Asbrand & Martens, 2018; Bonnet,

2004). Andererseits befanden sich die Studierenden während der Erhebungssituation außerhalb des regulären Seminars, was zur Herstellung eines bewertungsfreien Settings fernab der regulären Strukturen vorgenommen wurde.

5.1.2 Unsicherheit

Das Vorgehen aller Gruppen beim Experimentieren ist außerdem dadurch gekennzeichnet, dass die *Richtigkeit der Aufgabenbearbeitung anhand des bereitgestellten Materials* abgesichert und, dass das *Protokoll als Mittel zur Strukturierung und Absicherung* genutzt wird. Beide Orientierungen sind mit einer Unsicherheit der Lernenden beim forschenden Experimentieren verbunden. Diese Unsicherheit kann möglicherweise dadurch begründet sein, dass das Forschende Lernen für die Studierenden eine Herausforderung darstellen kann (Kirschner et al., 2006). Dies gilt insbesondere für offene Formen Forschenden Lernens, bei denen die Lernenden ohne vorgegebene Forschungsfrage vorgehen (Kirschner et al., 2006), was in dieser Arbeit nicht der Fall war. Das Setting in dieser Arbeit sollte weder zu offen (Vorgabe der Forschungsfrage und der Erkenntnismethode, Auswahl an Experimentiermaterialien) noch zu restriktiv (keine detaillierten Handlungsanweisungen, keine Vorgabe des Fachinhalts Osmose, kein Einsatz von *Scaffolds*) angelegt sein (Martius et al., 2016; Zion & Mendelovici, 2012). Nichtsdestotrotz könnte die Unsicherheit der Lernenden beim experimentellen Vorgehen durch die Offenheit der Situation begründet sein. Sowohl das bereitgestellte Material als auch das Protokoll sind in allen Gruppen Mittel, um mit dieser Unsicherheit umzugehen und sie durch den Prozess zu führen. Insbesondere für das Protokollieren ist dies eine interessante Feststellung, da es auf expliziter Ebene so erscheint, als würden die Protokolle mit Bezug auf die einzelnen Phasen (Hypothese, Durchführung...) sinnvoll in den Erkenntnisgewinnungsprozess eingebunden werden. Dabei zeigt sich hingegen implizit, dass es sich dabei vielmehr um eine Strukturierung handelt, welche sie durch den Experimentierprozess leitet und absichert. Dass die Studierenden daran orientiert sind, die Aufgabe ‚richtig‘ zu bearbeiten (*Richtigkeit der Aufgabenbearbeitung anhand des bereitgestellten Materials*), verweist wieder auf den Erfahrungsraum Schule bzw. Hochschule, durch den sie sich einer Bewertung ihrer Arbeit ausgesetzt sehen. Diese Orientierung steht jedoch den Erwartungen an Forschendes Lernen entgegen, bei dem das Streben nach dem einen, richtigen Endergebnis nicht im Vordergrund stehen soll, sondern eine forschende Haltung bei den Lernenden intendiert ist (Berland et al., 2016; Bruckermann, 2016). Die Studierenden machen in der

Situation eben keinen ‚Forschungsraum‘ auf, sondern sind vielmehr daran orientiert, die Offenheit durch bestimmte Strukturen (Material, Protokoll) zu reduzieren.

5.1.3 Experimentieren nach festem (hypothesenbasierten) Ablaufplan

Das Vorgehen der Gruppen, die *hypothesenbasiert* beginnen, steht den Erwartungen an einen bedeutungsvollen Experimentierprozess insofern entgegen, dass diese handlungsleitende Orientierung dadurch gekennzeichnet ist, dass die Studierenden das Aufstellen von Hypothesen als ersten Schritt eines formalen Ablaufplans ansehen und vornehmen. Die Hypothesenbildung erfolgt noch dazu in einem Fall als unfokussierte Praxis, bei der jegliche Hypothese aufgestellt und am Ende im Zweifel widerlegt werden kann. Dies widerspricht der Bedeutung und Funktion von Hypothesen beim wissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Die Hypothese wird hier eben nicht als *begründete* Vermutung mit Bezug auf bereits vorhandenes Wissen aufgestellt, die es zu prüfen gilt (Martius et al., 2016; Nerdel, 2017; Osborne, 2013). Die Praxis zeigt sich, obwohl in der vorliegenden Arbeit die zu untersuchende Forschungsfrage so angelegt war, dass die Studierenden (potentiell) an das im Studium erworbene Wissen hätten anknüpfen können. Allerdings gilt das biologische Vorwissen in solchen Experimentiersettings auch als träges Wissen, d. h. es ist schwer abrufbar (Mayer, 2007). Erfolgt die Hypothesenbildung allerdings vollkommen willkürlich, ist deren strukturierende Funktion für den nachfolgenden Experimentierprozess hinfällig (Arnold et al., 2013). In anderen Studien wurde im Kontext der Hypothesenbildung das Problem der *Fear of Rejection* festgestellt, bei der die Lernenden an einer eingangs aufgestellten Hypothese festhalten, auch wenn sich diese im Experimentierprozess nicht bestätigt (Kranz et al., 2022; Sonnenschein et al., 2019). Die Praxis der willkürlichen Hypothesengenerierung, die sich in der vorliegenden Arbeit zeigt, kann als ebenso problematisch eingeschätzt werden.

Das Verständnis der Hypothesengenerierung als erster Schritt eines strikten, linearen Ablaufplans, welches sich in den hypothesenbasierten Gruppen zeigt, schließt an die wissenschaftliche Debatte darüber an, inwiefern die Vermittlung der Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung anhand des idealisierten, in verschiedene Phasen unterteilten Forschungszyklus geeignet ist (Emden, 2021; Hodson, 1996). Während dieser einerseits als sinnvoll erachtet wird, um den Lernenden als Noviz*innen die verschiedenen Ansprüche beim forschenden Experimentieren zu verdeutlichen und sie in ihrem Vorgehen zu unterstützen (Bruckermann et al., 2017a; Martius et al., 2016; Mayer & Ziemek,

2006), wird andererseits auch kritisiert, dass durch das Durchlaufen des linearen Forschungszyklus ein starres Bild wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung entsteht (Hodson, 1996; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002; Reiff-Cox, 2020). Dies erinnert außerdem an den Diskurs über die Darstellung von Forschung in wissenschaftlichen Artikeln. Wissenschaftliche Artikel berichten in der Regel ebenfalls von einem geradlinigen Prozess, auch wenn die Forschungsrealität eine andere ist (Höttecke & Rieß, 2015; Medawar, 1991 [1963]). Diese verzerrte Darstellung führt nach Höttecke und Rieß (2015) zu einem „Unsichtbarwerden“ naturwissenschaftlicher Praxis, die allerdings in dem Kontext auch einer gewissen Funktionalität und Notwendigkeit unterliegt.

Die Lehramtsstudierenden in der vorliegenden Arbeit wurden in dem der Erhebung vorausgehenden Laborpraktikum mit dem forschenden Experimentieren im Sinne eines hypothetisch-deduktiven Forschungsprozesses vertraut gemacht (vgl. Bruckermann et al., 2017a). Zwar wurde den Lernenden in dem Kontext vermittelt, dass es sich bei der Abfolge von Teilschritten um eine Idealisierung des tatsächlichen Experimentierprozesses handelt, dennoch kann angenommen werden, dass diese geteilte Erfahrung mit forschendem Experimentieren ihr Verständnis eines vorgegebenen Ablaufplans prägt. Das routinierte Durchlaufen von Schritten steht den Erwartungen an einen von Kreativität und forschender Haltung geprägten Experimentierprozess entgegen (Höttecke & Rieß, 2015). Eine Reflexion über die Bedeutung der einzelnen Schritte (Arnold et al., 2016; Schwartz et al., 2012), wird aufgrund der angenommenen Determiniertheit des Vorgehens gar nicht relevant. Dass sich in unserem Setting Forschenden Experimentierens eine solche handlungsleitende Orientierung rekonstruieren lässt, schließt an empirische Befunde von Höttecke und Rieß (2007) und Kite et al. (2021) an, die durch Befragungen und Interviews bei Lehramtsstudierenden der Physik bzw. bei Lehrkräften im naturwissenschaftlichen Bereich ein starres, regelgeleitetes Verständnis wissenschaftlicher Untersuchungen feststellten. Auch Mahler et al. (2021) stellten fest, dass Lehramtsstudierende der Biologie mit stark ausgeprägten Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken naivere Vorstellungen von *NOS* hinsichtlich wissenschaftlicher Methoden aufweisen. Die Autor*innen begründen den Befund damit, dass die meist mit dem Experimentieren gemachten Erfahrungszuwächse zu einem Verständnis davon führen, dass dies die einzige wissenschaftliche Methode sei.

In der Literatur existieren unterschiedliche Annahmen dazu, wie inadäquaten Verständnissen über Prinzipien wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und

naturwissenschaftlichen Wissens (*NOSI/NOS*) entgegengewirkt und ein reflektiertes Vorgehen gefördert werden kann. Unterschieden werden kann zwischen Ansätzen, die davon ausgehen, dass in authentischen Settings implizit ein angemessenes Verständnis entstehen kann (Abd-El-Khalick et al., 2004; Hodson, 2014). Andere Autor*innen plädieren hingegen für die explizite Vermittlung von Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und Charakteristika des Wissens (Gyllenpalm & Wickman, 2011; Hartmann et al., 2015; Khan & Krell, 2019). Hinweise auf die erste Annahme sind z. B. die Ergebnisse von Park et al. (2022), die bei Seiteneinsteiger*innen im Lehramt ein angemesseneres Wissenschaftsverständnis feststellten, welches sie auf deren authentischere Forschungserfahrungen im fachwissenschaftlichen Studium zurückführen. Hodson (2014) bezieht sich in dem Kontext auf die *Connoisseurship* nach Polanyi (1958), wonach Wissenschaftler*innen teils rational begründet vorgehen, ihrem Handeln aber auch ein implizites Wissen zugrunde liegt.

Dies verweist auch auf die Relevanz des Status der Lehramtsstudierenden als (möglicherweise) Noviz*innen (Martius et al., 2016). Zwar können sie im Vergleich zu Schüler*innen als erfahrener angesehen werden, trotzdem befinden sie sich noch relativ am Anfang ihres Studiums und hatten dementsprechend noch nicht viel Kontakt mit Laborarbeit und Forschung. Diesbezüglich wird beim Vergleich zwischen Expert*innen und Studierenden in der Physik bei Bauer (2023) deutlich, dass die Expert*innen adäquatere Experimentierprozesse (gekennzeichnet durch vernetztes Vorgehen, flexible Umgangsweisen mit Herausforderungen) als die Studierenden aufweisen. Insbesondere die Erfahrungen der Expert*innen mit explorativen Vorgehensweisen im Forschungskontext zieht die Autor*in als Erklärung für die Unterschiede heran. Die Studierenden in der vorliegenden Arbeit haben im vorherigen Laborpraktikum ausschließlich hypothetisch-deduktiv experimentiert, was ebenfalls das Verständnis eines strikten Ablaufs beim Experimentieren hat befördern können. Tatsächlich könnten Erfahrungen mit explorativen Vorgehensweisen nicht nur ein adäquateres Bild von wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung vermitteln. Das zu Beginn des Kapitels beschriebene Problem der unfokussierten Hypothesenbildung durch mangelndes oder nicht verfügbares Vorwissen könnte umgangen werden durch das Wissen darüber, dass Hypothesen auch durch die Suche im Experimentierraum gebildet werden können (Dunbar & Klahr, 2013).

5.1.4 Experimentieren als Umgang mit Material

Neben dem hypothesenbasierten, strikten Vorgehen ist eine weitere, dazu kontrastierende handlungsleitende Orientierung die des materialbasierten Vorgehens beim Experimentieren. In Gruppen mit dieser handlungsleitenden Orientierung wird die Experimentplanung anhand des bereitgestellten Experimentiermaterials praktisch vorgenommen und die Experimentiermaterialien werden in die Interaktion einbezogen. Dies verweist auf die „Mitwirkung der Dinge am Unterrichtsgeschehen“ (Asbrand et al., 2013). Die Bedeutung der Materialien im Experimentierprozess wurde bereits im inklusiven Naturwissenschaftsunterricht festgestellt (Fühner, 2023; Hoffmann et al., 2023; Koliander et al., 2023). In Experimentierprozessen von Studierenden wurde dieser Aspekt bislang weniger berücksichtigt. In allen von Fühner (2023) untersuchten Gruppenarbeiten im experimentellen Physikunterricht liegt eine Orientierung an materialbasierter Aufgabenerledigung vor, die mit einem starken Aufforderungscharakter der Experimentiermaterialien verbunden ist. Dieser Aufforderungscharakter der Materialien wird einerseits als lernförderlich bewertet, andererseits entstehen dadurch auch Momente der Ablenkung (Fühner, 2023). Im Umgang mit den Experimentiermaterialien im inklusiven Naturwissenschaftsunterricht zeigt sich außerdem teilweise ein Gebrauch bestimmter Dinge, der von den normativen Erwartungen abweicht (Fühner, 2023; Gómez Thews & Menthe, 2022). So wird beispielsweise das Thermometer als Zeigestab oder Rührstab, anstatt als Messinstrument verwendet (Gómez Thews & Menthe, 2022). In der vorliegenden Arbeit liegen keine Umgangsweisen mit dem Experimentiermaterial vor, die als Ablenkung von der eigentlichen Aufgabe oder als entfremdeter Gebrauch der Dinge bewertet werden könnten. Stattdessen ist für das materialbasierte Vorgehen charakteristisch, dass die Studierenden den Umgang mit den Materialien immer – ob explizit oder implizit – hinsichtlich des Experimentierprozesses ausrichten. Die Studierenden beziehen sich in ihrer Planung auf die Auswahl an bereitgestellten Experimentiermaterialien und leiten davon im späteren Verlauf ihrer Arbeit auch mögliche Hypothesen ab. Im Rahmen der Dokumentarischen Unterrichtsforschung wird die Interaktion von Akteur*innen und Dingen als „Mensch-Ding-Assoziation“ bezeichnet, die neue Handlungsmöglichkeiten eröffnet (Asbrand et al., 2013). Dies geschieht einerseits durch die Auswahl und das Bereitlegen einzelner Experimentiermaterialien. In der vorliegenden Arbeit wird der Material-Pool aber auch in seiner Gesamtheit in die Interaktion eingebunden, indem durch die Bezugnahme auf die Auswahl an Experimentiermaterialien ein ‚Suchraum‘ für die Experimentplanung und Hypothesengenerierung entsteht. Das Vorhandensein bestimmter Gegenstände führt jedoch teilweise

auch – fernab eines planungsvollen Handelns – zu Ideen, die sich allein über dieses Vorhandensein begründen (z. B. eine Heizplatte ist vorhanden, also können Ansätze erhitzt werden)¹⁶. Dies steht einem bedeutungsvollen, überlegten Planungsprozess entgegen. Ein möglicher Grund für das materialbasierte Vorgehen könnte außerdem sein, dass das Experimentieren mit praktischem Handeln gleichgesetzt wird (vgl. Meier, 2016). Das materialbasierte Vorgehen eröffnet eine weitere Perspektive auf forschendes Experimentieren, bei der deutlich wird, wie sehr auch das Experimentiersetting mit seiner Materialität die Planung eines Experiments beeinflusst.

5.1.5 Interaktion beim gemeinsamen Experimentieren und Protokollieren

Forschendes Lernen findet in der Regel in Gruppenarbeiten statt (Bruckermann et al., 2017a; Mayer & Ziemek, 2006; Messner, 2009). Es wird angenommen, dass dadurch ein produktiver Austausch untereinander erfolgt, bei dem Ideen und Verständnisse geteilt und reflektiert, Wissen konstruiert und Entscheidungen gemeinsam getroffen werden (Bonnet, 2004; Furtak et al., 2012; Hofstein & Lunetta, 2004; Sacher, Stövesand & Weiser-Zurmühlen, 2021). In der vorliegenden Arbeit konnte durch die Interaktionsanalyse als Teil der Reflektierenden Interpretation die soziale Dimension beim Forschenden Lernen berücksichtigt werden (Asbrand & Martens, 2018). In allen Studierendengruppen konnten geteilte handlungsleitende Orientierungen festgestellt werden, wobei drei Gruppen im antithetischen Modus und eine im parallelen Modus interagierten. Die Aushandlungen in den antithetischen Interaktionsmodi verbleiben dabei jedoch auf einer oberflächlichen Ebene, bei der die eingebrachten Vorschläge entweder nebeneinander stehen bleiben oder ohne intensive Diskussion und Argumentation ein Vorschlag ausgewählt wird. Dies steht den Erwartungen an eine förderliche Wirkung der Gruppenarbeiten entgegen, da kaum gemeinsame Bedeutungsaushandlungen vorkommen, die zu einem vertieften Verständnis der Studierenden führen könnten (vgl. Bonnet, 2004). Die fehlenden Aushandlungen auf einer tieferen Ebene könnten auch dadurch begründet sein, dass den Studierenden das notwendige Vorwissen fehlt (Martius et al., 2016). Zwar wurde die vorgegebene Forschungsfrage so ausgewählt, dass die Studierenden potentiell an vorhandenes Vorwissen aus Schule und Studium hätten anschließen können; dennoch kann durch

¹⁶ Dies ist nicht nur bei den materialbasierten Gruppen der Fall, sondern kommt teilweise auch bei den hypothesenbasierten Vorgehensweisen vor.

das Fehlen des Fachbegriffs Osmose der Anschluss an bisherige Wissensbestände erschwert sein. Auch die Interaktion im parallelen Modus weist hinsichtlich vertiefter Aushandlungen nicht mehr Potenzial auf, da durch die gegenseitige Bestätigung im gemeinsamen (materialbasierten) Vorgehen zwar ein Voranschreiten im Experimentierprozess gelingt, allerdings keine Anlässe für Bedeutungsaushandlungen aufkommen. Beim materialbasierten Vorgehen kann das möglicherweise darauf zurückzuführen sein, dass die Auswahl des Materials weniger kognitiv anspruchsvoll ist und seltener zu verschiedenen Positionen der Studierenden führt.

Die fehlenden Aushandlungen können auch vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Studierenden nicht nur fachlich, sondern auch auf Peer-Ebene miteinander interagieren (Flügel, 2017). Konjunktive Erfahrungen, die sie im schulischen und universitären Kontext mit Gruppenarbeiten gemacht haben, können zu einem geteilten Wissen darüber führen, dass sie sich im Rahmen einer solchen Situation als kompromissbereit zeigen und die Gruppeninstandhaltung gegenüber einer starken fachlichen Positionierung priorisieren (Sacher et al., 2021). Bonnet (2004) verweist auch auf den in Gruppenarbeiten relevanten „Beziehungsaspekt“, bei dem es um die Bedeutung von Sympathien bzw. Antipathien geht. Es ist also relevant, die Aushandlungen nicht allein auf Ebene eines fachlichen Austauschs zu begreifen, sondern die Überlagerung verschiedener Erfahrungsräume in (hoch-)schulischen Kontexten mitzudenken (fachlich, sozial, institutionell) (Asbrand & Martens, 2018; Bonnet, 2004)

5.1.6 Protokollieren – zwischen Repräsentation und Pragmatismus

In der vorliegenden Arbeit war – aufgrund des Kontexts Forschenden Lernens – insbesondere von Interesse, ob das Protokollieren in den Gruppenarbeiten als unterstützende und lernförderliche Tätigkeit hinsichtlich des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses stattfindet (Engl, 2017; Keys et al., 1999; Müllner & Möller, 2019). Nachfolgend soll aufgezeigt und eingeordnet werden, dass die beiden kontrastiven handlungsleitenden Orientierungen *Protokoll als Aushängeschild* vs. *Protokoll als pragmatisches Hilfsmittel* jedoch in andere Richtungen verweisen.

Bei den Gruppen, die das Protokoll als Aushängeschild erarbeiten, offenbart sich weniger eine lernförderliche Funktion des Protokollierens, als dass mit dem Protokoll die Qualität der Gruppenarbeit dargestellt werden soll. Dies kann entlang der beiden dazugehörigen

handlungsleitenden Orientierungen an *Vollständigkeit und Form* sowie *Eindeutigkeit* konkretisiert werden. Dass die Studierenden eine adäquate Form beim Protokollieren anstreben, deckt sich mit den Befunden von Hill et al. (2018), die einen Fokus auf formale und stilistische Aspekte beim Protokollieren sowohl auf Lehrenden- als auch auf Lernenseite feststellten. Die Studierenden in der vorliegenden Arbeit wissen um bestimmte Standards des Protokolls als Textsorte, denen sie gerecht werden wollen. Dies entspricht vielmehr einem *Learning-to-Write-Ansatz*, anstatt eines *Writing-to-Learn-Ansatzes* (Keys, 2000; Keys et al., 1999). Die Orientierung an der Form des Protokolls rückt die inhaltlichen Aushandlungsprozesse und den Fokus auf den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess jedoch in den Hintergrund (vgl. Hill et al., 2018). Eine Orientierung an Vollständigkeit und Form kann zum einen darauf hindeuten, dass die Studierenden im hochschulischen Kontext das Protokoll als ‚Leistungsprodukt‘ erarbeiten. Diese Perspektive auf das Protokoll wird auch bei Kalaskas (2013) deutlich, wo selbst im fachwissenschaftlichen Laborpraktikum das Protokoll eher als pädagogisches Instrument zu Bewertungszwecken, anstatt als wissenschaftliche Tätigkeit verstanden wird. Er stellt fest: „Students adopt a decontextualized view of lab report writing because they see themselves first as students, and rarely, if ever, as scientists“ (Kalaskas, 2013, S. 134). Die Funktion des Protokolls zur Bewertung der Lernenden wird auch von Hoehn und Lewandowski (2020b) als eine von mehreren verschiedenen Funktionen genannt („Kurslogistik“). Dass der Leistungs- bzw. Bewertungsaspekt im hier untersuchten Setting eine Rolle spielt, überrascht insofern, da die ‚Seminarlogik‘ durch die Auslagerung der Erhebung aus den universitären Abläufen hätte ausgeklammert sein sollen. Die Studierenden sahen sich in dem Setting keiner Bewertung ausgesetzt. Im vorherigen Laborpraktikum zum forschenden Experimentieren waren Protokolle nie Teil der Leistungsbewertung, sondern wurden durch strukturierende Elemente (Fragen, Hinweise) vielmehr als Unterstützung im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess eingeführt (Bruckermann et al., 2017a). Dennoch ist nicht auszuschließen, dass die gemachten Erfahrungen in der gesamten Schul- und Studienzeit in einer Verknüpfung von schriftlichen ‚Produkten‘ mit einer Bewertungsintention resultiert. In dieser Orientierung beim Protokollieren zeigt sich, wie bei den Basisorientierungen, die Wirkmächtigkeit des hochschulischen Kontexts (s. Kap. 5.1.1 und 5.1.2). Darüber hinaus verweist die handlungsleitende Orientierung (Protokoll als Aushängeschild) auch auf die Funktion des Protokolls zu Kommunikationszwecken (Engl, 2017; Hoehn & Lewandowski, 2020b). Dies impliziert ein Verständnis des Protokolls als Produkt für andere, anstatt als Unterstützung im

Prozess für sich selbst (Engl, 2017; Hoehn & Lewandowski, 2020b). Die Orientierung an *Eindeutigkeit*, die durch das Weglassen von Unklarheiten und Umwegen im Protokoll gekennzeichnet ist, führt einerseits dazu, dass die Studierenden im Protokollierprozess nicht an solche ‚Irritationspunkte‘ anknüpfen und diese nicht als Reflexionsansätze nutzen können (Bereiter & Scardamalia, 1987; Keys, 2000). Andererseits wird daran deutlich, dass eine Art ‚Erfolgsgeschichte‘ erzählt wird, in der ihr Vorgehen als strukturierter, linearer Prozess dargestellt wird. Es zeigt sich eine Parallele zur handlungsleitenden Orientierung beim Experimentieren, bei der nach einem strikten, hypothesenbasierten Ablaufplan vorgegangen wird sowie zur Kommunikationsweise in wissenschaftlichen Artikeln, die in einem ‚Unsichtbarwerden‘ des Vorgehens resultiert (Höttecke & Rieß, 2015) (s. Kap. 5.1.3). Eine Orientierung an Eindeutigkeit steht außerdem dem Verständnis eines durch produktive Ungewissheit gekennzeichneten naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses entgegen (Höttecke & Rieß, 2015; Lübke & Heuckmann, angenommen). Lübke und Heuckmann (angenommen) nehmen eine ausführliche Begriffsbestimmung von ‚Ungewissheit‘ im Kontext von *NOS* und *NOSI* vor, in der das Verständnis des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses (*Science-in-the-Making*) als ein von Ungewissheit geprägter Prozess essentiell ist und einen Teil der Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens (*Ready-Made-Science*) erklären kann.

Bei der dazu kontrastierenden handlungsleitenden Orientierung *Protokoll als pragmatisches Hilfsmittel* steht das Protokoll weniger als fertiges Produkt im Vordergrund. Vielmehr wird es in die Prozesse integriert und fungiert als unterstützendes Mittel zum Vorranschreiten im Experimentierprozess. Dabei geht es jedoch weniger um die erwartete Unterstützung hinsichtlich des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses (Engl, 2017; Keys et al., 1999; Müllner & Möller, 2019), sondern um pragmatische Aspekte wie u. a. die Dokumentation bestimmter Werte (z. B. Gewichts- oder Prozentangaben), die nebenbei und fragmentarisch festgehalten werden. Diese Erarbeitung des Protokolls schließt einerseits an die Befunde von Engl (2017) und Kambach (2018) an, in denen das Protokoll (wenn überhaupt) in Form von Notizen und als Erinnerungsstütze für die Lernenden selbst angefertigt wird. Der Zweck des Protokolls, das Experiment präzise und replizierbar darzustellen, wird damit jedoch nicht mehr erfüllt (Bayrak, 2020; Haagen-Schützenhöfer, 2018; Müllner & Möller, 2019). Das sporadische Protokollieren kann einerseits dadurch begründet sein, dass das Protokollieren als eher unbeliebte und lästige ‚Zusatzarbeit‘ gilt (Curry et al., 2020; Engl, 2017; Heinzl et al., 2019). Andererseits kann sich darin auch ein fehlendes Bewusstsein für die Bedeutung des

Protokollierens im Kontext naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ausdrücken (Heinzel et al., 2019; Kambach, 2018). Zwar wurde das Protokollieren im vorherigen Laborpraktikum im Kontext Forschenden Lernens vermittelt und dementsprechend angeleitet. In der vorliegenden Erhebung lagen jedoch nur Blankoseiten für das Protokoll vor.

Insgesamt weisen die beiden kontrastierenden handlungsleitenden Orientierungen beim Protokollieren darauf hin, dass die Studierenden dem Protokollieren andere Funktionen zuschreiben als im Kontext Forschenden Lernens erwartet wird, sodass sich daran anschließend Implikationen für die Praxis ergeben (s. Kap. 5.4).

5.2 Möglichkeiten und Grenzen der Dokumentarischen Methode

Die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode bietet in vielerlei Hinsicht einen erweiterten Blick auf Experimentier- und Protokollierprozesse im Kontext Forschenden Lernens. Zum einen ermöglicht die Rekonstruktion der Situation als soziale Praxis einen Blick auf die stattfindenden Prozesse, die in ihrer eigenen Logik nachvollzogen werden können und sollen (Reckwitz, 2003). Dies erweitert die Sicht insofern, dass sich Muster oder Besonderheiten offenbaren, die durch das Anlegen eines vorab festgelegten deduktiven Kategoriensystems nicht offensichtlich werden würden (Rabe et al., 2023). Die in der Anwendung der Dokumentarischen Methode einzunehmende genetische Analyseeinstellung verweist außerdem auf den unvoreingenommenen, bewertungsfreien Blick auf die stattfindenden Prozesse (Bohnsack, 2014). Diese beiden Charakteristika unterscheiden sich grundlegend vom vorherrschenden Zugang der Fachdidaktik, bei dem meist präskriptiv beurteilt wird, inwiefern z. B. Experimentierprozesse bestimmten normativen Standards entsprechen und dementsprechend Kompetenzmessungen und Evaluierungen vorgenommen werden (Herzmann & Proske, 2020). Ganz zentral für die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode ist darüber hinaus deren Zugriff auf die impliziten handlungsleitenden Orientierungen der Akteur*innen (Bohnsack, 2013a, 2014). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen, warum die Rekonstruktion der handlungsleitenden Orientierungen von Studierenden beim forschenden Experimentieren und Protokollieren von Bedeutung ist: das, was auf expliziter Ebene sichtbar ist (die Aufstellung von Hypothesen im Experimentierprozess, das Anfertigen eines vollständigen Protokolls) und zu der Annahme verleiten könnte, die Studierenden würden den Erwartungen entsprechend vorgehen und hätten ein adäquates Verständnis des Forschungsprozesses, bestätigt sich auf impliziter Ebene nicht. Hinzu kommt darüber hinaus, dass – fernab der an

die Situation gelegten Erwartungshaltungen – bestimmte Relevanzsetzungen und handlungsleitende Orientierungen der Studierenden überraschende neue Aspekte in den Prozessen aufdecken (z. B. die Relevanz der Experimentiermaterialien oder die Orientierung an Eindeutigkeit beim Protokollieren). Diese Erkenntnisse können in Überlegungen zur Förderung adäquater *NOS/NOSI*-Verständnisse der Lernenden als Voraussetzung für bedeutungsvolle Erkenntnisgewinnungsprozesse einbezogen werden sowie Impulse für die Gestaltung von Settings Forschenden Lernens geben.

Neben den Möglichkeiten, die die Dokumentarische Methode für die Analyse von Experimentier- und Protokollierprozessen bietet, müssen auch die Grenzen der Methode reflektiert werden. Genauso wie bestimmte Aspekte mit dem für die Fachdidaktik typischen kompetenztheoretischen Zugang in den Blick bzw. nicht in den Blick geraten, gilt dies ebenfalls für die Auswertung mit der Dokumentarischen Methode (Martens et al., 2022). So findet in der vorliegenden Arbeit keine Bewertung des Vorgehens der Studierenden auf expliziter Ebene statt (z. B. wie adäquat sind die aufgestellten Hypothesen?). Dennoch ist das eine Perspektive, die in der Fachdidaktik Relevanz hat und daher von Interesse wäre, in die Analyse integriert zu werden (Rabe et al., 2023). Die Integration beider Perspektiven könnte durch eine Kombination verschiedener Methoden erreicht werden (Rabe et al., 2023). So analysiert Bonnet (2004) in seiner Arbeit zum Experimentieren im bilingualen Chemieunterricht sowohl die Kompetenzen der Schüler*innen als auch deren handlungsleitende Orientierungen. In der vorliegenden Arbeit wäre auch die Integration der von den Studierenden erstellten Protokolle in die Analyse eine mögliche Ergänzung, um die impliziten handlungsleitenden Orientierungen damit in Beziehung zu setzen.

Aufgrund der beschriebenen Möglichkeiten und Grenzen der Dokumentarischen Methode hinsichtlich der Analyse von Experimentier- und Protokollierprozessen soll deren spezifische Perspektive als *Erweiterung* der bisher üblichen fachdidaktischen Zugänge verstanden werden.

5.3 Limitationen der Arbeit und Anregungen für weitere Studien

Im Folgenden sollen das Studiendesign, das methodische Vorgehen sowie die Aussagekraft der Ergebnisse kritisch in den Blick genommen werden und davon ausgehend Vorschläge für daran anschließende fachdidaktische Studien gemacht werden.

Zunächst muss darauf verwiesen werden, dass in der vorliegenden Arbeit ein ganz bestimmtes Setting Forschenden Lernens in den Blick genommen wurde (u. a. vorgegebene Forschungsfrage, Experiment als Erkenntnismethode, bestimmte Auswahl an Experimentiermaterialien, bestimmte Art der Anweisung, Auslagerung aus den regulären Seminaren, keine Vorgabe eines spezifischen Fachinhalts, Blankobögen für das Protokoll, kein Einsatz von *Scaffolds*), welches es im Auswertungsprozess stets zu reflektieren gilt. In anschließenden Studien könnte beispielsweise geprüft werden, ob in einem offenen Format Forschenden Lernens ohne vorgegebene Forschungsfrage, handlungsleitende Orientierungen rekonstruiert werden könnten, die auf bedeutungsvollere Experimentierprozesse hinweisen. Eine weitere Möglichkeit wäre, den Eingangsimpuls weniger als Aufgabe an die Lernenden, sondern stärker noch als Forschungskontext zu gestalten. Dennoch geben die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wichtige Hinweise darauf, welche handlungsleitenden Orientierungen bei Lehramtsstudierenden der Biologie beim Experimentieren und Protokollieren im Kontext eines solchen angeleiteten Settings Forschenden Lernens vorliegen.

Während in der vorliegenden Arbeit die Planungsphase beim Experimentieren im Fokus der Untersuchung steht, wäre es in anschließenden Studien wichtig, diesen Blick zu weiten und auch die anderen Phasen noch systematischer zu untersuchen und miteinander in Beziehung zu setzen.

Außerdem wurden nur vier Gruppenarbeiten von Lehramtsstudierenden der Biologie untersucht. Damit handelt es sich um eine kleine homogene Stichprobe. Zwar ist das im Rahmen von Arbeiten mit der Dokumentarischen Methode kein Einzelfall und in den vier untersuchten Gruppen zeigen sich bereits Gemeinsamkeiten und Kontraste – sowohl beim Experimentieren als auch beim Protokollieren. Dennoch wäre ein größeres und kontrastreicheres Sample wünschenswert. So könnte ein erweitertes Sample Lehramtsstudierende in den anderen Fachdidaktiken, Lehramtsstudierende der Biologie im Masterstudium und/oder Studierende im Fachwissenschaftsstudium Biologie umfassen und weitere Vergleichsmöglichkeiten schaffen. Aufgrund der kleinen Stichprobe wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht von einer Typologie im Sinne der Dokumentarischen Methode gesprochen, sondern die rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen können als sinngenetische Abstraktion verstanden werden, die sich fallübergreifend zeigen und daher als ‚typisch‘ gelten können (vgl. Heyer, 2016).

5.4 Implikationen für die Praxis

Anschließend an die Implikationen für weitere fachdidaktische Studien, sollen Implikationen der vorliegenden Befunde für die Praxis der Lehramtsausbildung sowie Reflexionsansätze ausgeführt werden.

Die Orientierung an Aufgabenerledigung, die auf das Vorhandensein eines „Studierendenjobs“ in Anlehnung an Breidensteins (2006) „Schülerjob“ verweist, steht den Erwartungen an eine forschende Haltung beim Forschenden Lernen grundlegend entgegen (Arnold et al., 2016; Berland et al., 2016; Bruckermann, 2016; Höttecke & Rieß, 2015). Die Wirkmächtigkeit des (hoch-)schulischen Erfahrungsraumes (Herzmann & Liegmann, 2022) kommt darin zum Ausdruck und ist verbunden mit einem Denken in Bewertungsmustern (richtig vs. falsch), einem Festhalten an einem bestimmten Vorgehen und der Ablehnung von Momenten der Unsicherheit. Auch wenn beim Forschenden Lernen möglichst authentische Forschungserfahrungen arrangiert werden sollen, befinden sich die Studierenden eben nicht in einem tatsächlichen Forschungskontext (Herzmann & Liegmann, 2022). Ob diese Spannung durch die Gestaltung authentischerer oder bewertungsfreier Settings aufzulösen ist, bleibt zu klären. In jedem Fall sollte diese Basisorientierung der Studierenden mitgedacht werden und ggf. explizit mit ihnen reflektiert werden (Rolle als Student*in vs. Rolle als Forscher*in). Denn nicht nur – wenn auch dort besonders – im Rahmen Forschenden Lernens ist diese Orientierung kritisch zu betrachten, sondern sie widerspricht auch dem Ziel der hochschulischen Ausbildung insgesamt (David, 2019).

Das Verständnis des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses im Sinne eines strikten Ablaufplans, der mit der Hypothesengenerierung zu beginnen habe, steht ebenfalls den Erwartungen an Forschendes Lernen entgegen (u. a. Berland et al., 2016; Emden, 2021). Das routinierte Abarbeiten von Schritten verhindert, dass deren Bedeutung reflektiert wird. Selbst unter der Berücksichtigung, dass die Erwartungen im Rahmen Forschenden Lernens nicht gleichzusetzen sind mit authentischer Forschung (Emden, 2021), ist dies als kritisch zu betrachten. Um dem entgegen zu wirken, könnten *NOS/NOSI*-Aspekte noch stärker in Settings Forschenden Lernens (z. B. in der Instruktion oder abschließenden Reflexion) eingebunden und explizit vermittelt werden (Rönnebeck et al., 2016). Auch bei der Konzeption von *Scaffolds* sollte stärker das Verständnis der Lernenden unterstützt werden, anstatt dass ausschließlich Hinweise zur Durchführung der Teilprozeduren gegeben werden (Berland et al., 2016). Reflektiert

werden sollte auch das in der Vermittlung eingesetzte idealisierte Modell des Forschungszyklus (vgl. Emden, 2021). Zwar kann es in der Einführung zum Forschenden Lernen geeignet sein, um den Lernenden den grundlegenden idealisierten Prozess naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung logisch-kohärent näher zu bringen (u. a. Kremer et al., 2019; Martius et al., 2016). Jedoch scheint die Information darüber, dass es sich dabei um eine Idealisierung handelt und Erkenntnisprozesse nicht immer dementsprechend verlaufen, nicht auszureichen, damit dies auch handlungsleitend für die Studierenden wird. Daher wird die Annahme Emdens (2021) geteilt, dass sich das idealisierte Modell (*the ‘Scientific Method’*) als erste Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Untersuchungen in Lehr-/Lernkontexten eignet, um davon ausgehend – alsbald – stets weiterentwickelt zu werden, sodass ein authentischeres Bild von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung entstehen kann und die Studierenden nicht ein Verständnis eines Vorgehens nach routiniertem Ablaufplan entwickeln. So können beispielsweise andere Prozessmodelle hinzugezogen werden, die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung offen oder netzwerkartig darstellen (Dunbar & Klahr, 2013; Harwood, 2004; Park, Jang & Kim, 2009). Neben der Darstellung in Form von Prozessmodellen kann auch reflektiert werden, inwiefern das hypothetisch-deduktive Vorgehen selbst ein starres Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung nach festem Ablaufplan befördert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den KMK-Bildungsstandards explizit und ausschließlich auf hypothesengeleitete Untersuchungen verwiesen wird und demnach normativ die Anforderung an ein solches Vorgehen gestellt wird, was sich auch in den Kompetenzmodellen widerspiegelt (KMK, 2019; Mayer, 2007). Das hypothetisch-deduktive Vorgehen kann, wenn es als bedeutungsvoller Prozess durchlaufen wird, bereits als weitreichendes Ziel der naturwissenschaftlichen Grundbildung verstanden werden. Kenntnisse über explorative Strategien im Forschungsprozess könnten jedoch ein Verständnis eines weniger strikten Vorgehens befördern (vgl. Bauer, 2023). Auch die Nutzung des „Experimentierraums“ zur (induktiven) Hypothesengenerierung nach Dunbar und Klahr (2013) könnte eine gewinnbringende Erweiterung zur vorherrschenden Vermittlung der deduktiven Hypothesenbildung in Lernkontexten sein (Emden, 2021). In ähnlicher Weise zeigt sich das in der vorliegenden Arbeit im materialbasierten Vorgehen der Gruppen, die die Experimentiermaterialien zur Suche nach Hypothesen einbinden. In dem Zusammenhang könnte die Bedeutung der vorhandenen Experimentiermaterialien in Überlegungen zur Gestaltung Settings Forschenden Lernens einbezogen werden. Zum Beispiel könnte die Bereitstellung eines sehr umfangreichen Material-Pools zu mehr Aushandlungsprozessen über

verschiedene mögliche Untersuchungen anregen und gleichzeitig einer Orientierung, sich der Richtigkeit des Vorgehens am Material zu vergewissern, entgegenwirken. Dadurch könnten offenere, kreativere Experimentierprozesse angeregt werden.

In Anbetracht der Tatsache, dass Lehrkräfte im späteren Unterricht Prinzipien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ihren Schüler*innen vermitteln sollen, scheint eine explizite Vermittlung im Lehramtsstudium sinnvoll zu sein (Gyllenpalm & Wickman, 2011; Hodson, 2014; Khan & Krell, 2019). Eine implizite Vermittlung würde voraussetzen, dass die Studierenden in sehr authentischen Forschungskontexten mitwirken können (z. B. in ‚echten‘ Forschungsprojekten). Das könnte implizit zu einem adäquateren Verständnis von Forschungsprozessen führen, allerdings müssten sich daran wiederum Reflexionsprozesse anschließen, um dieses implizite Wissen verfügbar und in der späteren Lehrpraxis vermittelbar zu machen (vgl. Gyllenpalm & Wickman, 2011). Es stellt sich die Frage, ob ganz authentische Forschungserfahrungen in der Lehramtsausbildung notwendig und sinnvoll sind, bei der es eben um die Ausbildung angehender Lehrer*innen und nicht um angehende Wissenschaftler*innen geht (Emden, 2021). Eine schrittweise Annäherung an ein adäquates Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse in Anlehnung an Emden (2021), das beim *Doing Inquiry* explizit mit vermittelt wird (Berland et al., 2016), scheint hingegen ein Ansatz zu sein, den es im Lehramtsstudium Biologie zu stärken gilt.

Die Ergebnisse zum Protokollieren weisen darauf hin, dass den Studierenden die Bedeutung des Protokolls als Unterstützung für ihren eigenen Erkenntnisgewinnungsprozess vorab explizit vermittelt werden sollte (Kambach, 2018; Keys, 2000). Denn sonst schreiben die Studierenden dem Protokoll eigene Bedeutungen zu (Aushängeschild, pragmatisches Hilfsmittel), wodurch das eigentliche Potenzial des Protokolls im Kontext Forschenden Lernens nicht zum Tragen kommt (z. B. Reflexionsansätze geben). Um dieses Potenzial nutzen zu können, sollte das Protokoll beim Forschenden Lernen als ‚Prozess-Protokoll‘ verstanden werden. Im schulischen Bereich werden beispielsweise ‚Verlaufsprotokolle‘ eingesetzt, bei denen die Lernenden in bestimmten Zeitabständen notieren sollen, was sie gerade machen oder besprechen (Emden & Sumfleth, 2012). Unterstützungsformate wie das *SWH* oder *ADI-Model* werden spezifisch zur Förderung des wissenschaftlichen Denkens und Reflektierens während einer Untersuchung eingesetzt (Keys, 2000; Keys et al., 1999; Sampson et al., 2013). Diese könnten auch im hochschulischen Kontext Forschenden Lernens eingesetzt werden. Beim *ADI-Model* wird dabei

zusätzlich auch die Argumentation zwischen den Gruppenmitgliedern adressiert, sodass damit nicht nur das Protokollieren, sondern auch die in der vorliegenden Arbeit fehlenden vertieften Aushandlungsprozesse gefördert werden könnten. Das Protokoll als pragmatisches Hilfsmittel einzusetzen, könnte neben dem fehlenden Wissen über die Funktion ausführlicher Protokollierprozesse u. a. auch darauf zurückgeführt werden, dass das Protokollieren als eine eher unbeliebte und lästige Tätigkeit gilt (Curry et al., 2020; Engl, 2017; Heinzl et al., 2019). Wird den Studierenden die Relevanz des Protokolls bewusst gemacht, könnten umfangreichere Protokollierprozesse resultieren (Kambach, 2018).

Die anderen möglichen Funktionen des Protokolls sollen damit nicht negiert werden. Das Protokoll als Kommunikationsmittel hat in anderen Kontexten eine wichtige Bedeutung und Berechtigung (Hoehn & Lewandowski, 2020b). Für den Kontext Forschenden Lernens und als Unterstützung des Erkenntnisgewinnungsprozesses scheint die Erarbeitung eines Prozess-Protokolls jedoch relevanter zu sein.

5.5 Fazit

Die vorliegende Arbeit leistet durch den qualitativ-rekonstruktiven Zugang mit der Dokumentarischen Methode eine wichtige Erweiterung der Perspektive auf Experimentier- und Protokollierprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie im Kontext Forschenden Lernens. Wenn der Anspruch ist, dass Forschendes Lernen als bedeutungsvolle Praxis zu einem Verständnis für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und einer forschenden Haltung beitragen soll, sollten die Untersuchungen der Prozesse über Kompetenzmessungen auf expliziter Ebene hinaus gehen. Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse in Form von impliziten handlungsleitenden Orientierungen geben wichtige Hinweise darauf, welches Verständnis und welche Relevanzsetzungen der Studierenden in einem solchen Setting Forschenden Lernens auf einer Tiefenebene ‚mitwirken‘. Daraus ergeben sich wichtige Implikationen für die Praxis der Lehramtsausbildung.

Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A. et al. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419. <https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Abels, S., Koliander, B. & Plotz, T. (2020). Conflicting Demands of Chemistry and Inclusive Teaching—A Video-Based Case Study. *Education Sciences*, 10(3), 50. <https://doi.org/10.3390/educsci10030050>
- Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of science teacher education*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.1023/A:1015171124982>
- Arndt, K. (2016). *Experimentierkompetenz erfassen: Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie [Dissertation]*. Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin: Logos.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren – Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 11, 7-20.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2016). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21-37. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0>
- Arnold, J. C., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments – What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36(16), 2719-2749. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>
- Asbrand, B. & Hackbarth, A. (2018). Fachliche Lernprozesse in Interaktionen: Wissenssoziologische Modellierung und dokumentarische Rekonstruktion. In M. Martens, K. Rabenstein, K. Bräu, M. Fetzer, H. Gresch, I. Hardy & C. Schelle (Hrsg.), *Konstruktionen von Fachlichkeit. Ansätze, Erträge und Diskussionen in der empirischen Unterrichtsforschung* (S. 139-151). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Asbrand, B. & Martens, M. (2018). *Dokumentarische Unterrichtsforschung*. Wiesbaden: Springer.
- Asbrand, B., Martens, M. & Petersen, D. (2013). Die Rolle der Dinge in schulischen Lehr-Lernprozessen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 2(16), 171-188. <https://doi.org/10.1007/s11618-013-0413-1>
- Banchi, H. & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and children*, 46(2), 26-29.
- Bauer, A. B. (2023). *Experimentelle Kompetenz Physikstudierender: Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden [Dissertation]*. Universität Paderborn. Berlin: Logos.

- Baur, A. (2015). Inwieweit eignen sich bisherige Diagnoseverfahren des Bereichs Experimentieren für die Schulpraxis? *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, 19(1), 26-37. <https://doi.org/10.4119/zdb-1640>
- Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 115-129. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0078-7>
- Baur, A. & Emden, M. (2021). How to open inquiry teaching? An alternative teaching scaffold to foster students' inquiry skills. *Chemistry Teacher International*, 3(1). <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0013>
- Bayrak, C. (2020). *Vom Experiment zum Protokoll: Versuchsprotokolle schreiben lernen und lehren*. Münster: Waxmann Verlag.
- Bereiter, C. & Scardamalia, M. (1987). *The psychology of written composition*. New Jersey: Erlbaum.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S. & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082-1112. <https://doi.org/10.1002/tea.21257>
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M. et al. (2012). Defining Twenty-First Century Skills. In P. Griffin, B. McGaw & E. Care (Hrsg.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (S. 17-66). Dordrecht: Springer.
- Bohnsack, R. (1999). Dokumentarische Methode. In *Rekonstruktive Sozialforschung* (S. 34-80). Wiesbaden: Springer.
- Bohnsack, R. (2013a). Dokumentarische Methode und die Logik der Praxis. In A. Lenger, C. Schneickert & F. Schumacher (Hrsg.), *Pierre Bourdieus Konzeption des Habitus: Grundlagen, Zugänge, Forschungsperspektiven* (S. 175-200). Wiesbaden: Springer.
- Bohnsack, R. (2013b). Typenbildung, Generalisierung und komparative Analyse: Grundprinzipien der dokumentarischen Methode. In R. Bohnsack, I. Nentwig-Gesemann & A.-M. Nohl (Hrsg.), *Die dokumentarische Methode und ihre Forschungspraxis: Grundlagen qualitativer Sozialforschung* (S. 241-270). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Bohnsack, R. (2014). *Rekonstruktive Sozialforschung. Einführung in qualitative Methoden*. Opladen: Verlag Barbara Budrich.
- Bohnsack, R. (2020a). Die dokumentarische Methode: allgemeine Grundlagen. In *Qualitative Bild- und Videointerpretation* (S. 16-25). Opladen: Verlag Barbara Budrich.
- Bohnsack, R. (2020b). Dokumentarische Video- und Filminterpretation. In *Qualitative Bild- und Videointerpretation* (S. 118-177). Opladen: Verlag Barbara Budrich.

- Bonnet, A. (2004). *Chemie im bilingualen Unterricht: Kompetenzerwerb durch Interaktion*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bonnet, A. (2009). Die Dokumentarische Methode in der Unterrichtsforschung. Ein integratives Forschungsinstrument für Strukturrekonstruktion und Kompetenzanalyse. *ZQF – Zeitschrift für Qualitative Forschung*, 10(2), 219-240.
- Bonnet, A. & Hericks, U. (2022). Von "Messbarkeitsphobie" und Durchprozessierungslogik. Kooperatives Lernen im Englischunterricht und die Professionalisierung von Lehrpersonen. In R. Bohnsack, A. Bonnet & U. Hericks (Hrsg.), *Praxeologisch-wissenssoziologische Professionsforschung. Perspektiven aus Früh- und Schulpädagogik, Fachdidaktik und Sozialer Arbeit* (S. 155-174). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Brede, J. R. (2020). *Lernersprachliche Texte im Biologieunterricht: Eine Analyse von Versuchsprotokollen von Schülerinnen und Schülern mit Deutsch als Erst- und Zweitsprache*. Berlin, Boston: De Gruyter Mouton.
- Breidenstein, G. (2006). *Teilnahme am Unterricht – Ethnographische Studien zum Schülerjob*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Brinkmann, M. (2020). *Forschendes Lernen: Pädagogische Studien zur Konjunktur eines hochschuldidaktischen Konzepts*. Wiesbaden: Springer.
- Brownell, S. E. & Kloser, M. J. (2015). Toward a conceptual framework for measuring the effectiveness of course-based undergraduate research experiences in undergraduate biology. *Studies in Higher Education*, 40(3), 525-544. <https://doi.org/10.1080/03075079.2015.1004234>
- Bruckermann, T. (2016). *Experimentieren regulieren lernen. Quasi-experimentelle Untersuchung einer Experimentierkompetenzförderung bei Lehramtsstudierenden im biologischen Laborpraktikum*. Dissertation, Universität zu Köln.
- Bruckermann, T., Arnold, J., Kremer, K. & Schlüter, K. (2017a). Forschendes Lernen in der Biologie. In T. Bruckermann & K. Schlüter (Hrsg.), *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie* (S. 11-26). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bruckermann, T., Aschermann, E., Bresges, A. & Schlüter, K. (2017b). Metacognitive and multimedia support of experiments in inquiry learning for science teacher preparation. *International Journal of Science Education*, 39(6), 701-722. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1301691>
- Bruckermann, T., Ochs, F. & Mahler, D. (2018). Learning opportunities in biology teacher education contribute to understanding of nature of science. *Education Sciences*, 8(3), 103. <https://doi.org/10.3390/educsci8030103>
- Bruckermann, T. & Schlüter, K. (2017). *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie*. Heidelberg, Berlin: Springer.
- Bub, F. & Rabe, T. (2023). Orientierungen von Physiklehrkräften zur Rolle von Technik und Verantwortung im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00156-x>

- Bybee, R. W. (2006). Scientific Inquiry And Science Teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 1-14). Dordrecht: Springer.
- Capps, D. K. & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497-526.
- Capps, D. K., Crawford, B. A. & Constanas, M. A. (2012). A Review of Empirical Literature on Inquiry Professional Development: Alignment with Best Practices and a Critique of the Findings. *Journal of Science Teacher Education*, 23(3), 291-318. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9275-2>
- Capps, D. K., Shemwell, J. T. & Young, A. M. (2016). Over reported and misunderstood? A study of teachers' reported enactment and knowledge of inquiry-based science teaching. *International Journal of Science Education*, 38(6), 934-959. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1173261>
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E. & Rybska, E. (2018). What Is Inquiry-Based Science Teaching and Learning? In O. E. Tsivitanidou, P. Gray, E. Rybska, L. Louca & C. P. Constantinou (Hrsg.), *Professional Development for Inquiry-Based Science Teaching and Learning* (S. 1-23). Cham: Springer International Publishing.
- Curry, K. W., Spencer, D., Pesout, O. & Pigford, K. (2020). Utility value interventions in a college biology lab: The impact on motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(2), 232-252. <https://doi.org/10.1002/tea.21592>
- David, L. (2019). Mündige Bürger*innen als Ziel einer kritischen Hochschullehre. In D. Jahn, A. Kenner, D. Kergel & B. Heidkamp-Kergel (Hrsg.), *Kritische Hochschullehre: Impulse für eine innovative Lehr- und Lernkultur* (S. 81-96). Wiesbaden: Springer.
- Deiner, L. J., Newsome, D. & Samaroo, D. (2012). Directed self-inquiry: A scaffold for teaching laboratory report writing. *Journal of Chemical Education*, 89(12), 1511-1514. <https://doi.org/10.1021/ed300169g>
- DfE. (2014). The national curriculum in England: Key stages 3 and 4 framework document. London: HMSO.
- Dinkelaker, J. (2010). Simultane Sequentialität. Zur Verschränkung von Aktivitätssträngen in Lehr- Lernveranstaltungen und zu ihrer Analyse. In M. Corsten, M. Krug & C. Moritz (Hrsg.), *Videographie praktizieren: Herangehensweisen, Möglichkeiten und Grenzen* (S. 91-118). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P. & Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12. <https://doi.org/10.3102/0013189X023007005>
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.

- Dunbar, K. & Klahr, D. (2013). Developmental differences in scientific discovery processes. In D. Klahr & K. Kotovsky (Hrsg.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon* (S. 109-143). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Emden, M. (2021). Reintroducing “the” Scientific Method to Introduce Scientific Inquiry in Schools? *Science & Education*, 30(5), 1037-1073. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00235-w>
- Emden, M. & Baur, A. (2017). Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren – Entwurf eines integrierten Wirkungs- und Gestaltungsmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0052-1>
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung des experimentellen Arbeitens – Zur Eignung einer Protokollmethode zur Bewertung von Experimentierprozessen. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65(2), 68-75.
- Engl, L. (2017). *Bedeutung des Protokollierens für den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess*. Elektronische Dissertation, Universität Koblenz-Landau. Verfügbar unter: https://kola.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/deliver/index/docId/1447/file/Engl,L_2017_Bedeutung+des+Protokollierens+für+den+naturwissenschaftlichen+Erkenntnisprozess_akzeptiert.pdf.
- Erickson, F. (1982). Classroom discourse as improvisation: Relationship between academic task structure and social participation structure in lessons. In L. C. Wilkinson (Hrsg.), *Communication in the classroom. Language, thought, and culture* (S. 153-181). Bingley: Emerald.
- Feindt, A., Fichten, W., Klewin, G., Weyland, U. & Winkel, J. (2020). Forschendes Lernen im universitären Lehramtsstudium: Ein Positionspapier des Verbunds schulbezogener Praxisforschung. *PraxisForschungLehrer*innenBildung. Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.4119/pflb-3555>
- Fichten, W. (2010). Forschendes Lernen in der Lehrerbildung. In U. Eberhardt (Hrsg.), *Neue Impulse in der Hochschuldidaktik: Sprach- und Literaturwissenschaften* (S. 127-182). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Flügel, A. (2017). Die Organisation der Arbeit am Gruppentisch – Subjektpositionen im Spannungsfeld zwischen Aufgabenstellung und Peers. *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*, 6(1), 83-96. <https://doi.org/10.25656/01:17955>
- Fradd, S. H., Lee, O., Sutman, F. X. & Saxton, M. K. (2001). Promoting science literacy with English language learners through instructional materials development: A case study. *Bilingual Research Journal*, 25(4), 479-501. <https://doi.org/10.1080/15235882.2001.11074464>
- Fühner, L. & Heinicke, S. (2022). Der Einfluss der Dinge auf die experimentellen Handlungen im Physikunterricht. In M. Martens, B. Asbrand, T. Buchborn & J.

- Menthe (Hrsg.), *Dokumentarische Unterrichtsforschung in den Fachdidaktiken: Theoretische Grundlagen und Forschungspraxis* (S. 137-154). Wiesbaden: Springer.
- Fühner, L. K. (2023). *Experimentierpraxis im Spektrum der Möglichkeiten. Eine rekonstruktive Analyse der Experimentierpraxis im inklusionsorientierten Physikunterricht [Dissertation]*. Universität Münster. Berlin: Logos.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- García-Carmona, A., Criado, A. M. & Cruz-Guzmán, M. (2017). Primary pre-service teachers' skills in planning a guided scientific inquiry. *Research in Science Education*, 47(5), 989-1010. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9536-8>
- Gómez Thews, S. & Menthe, J. (2022). Fachlichkeit und Materialität im Chemieunterricht. Eine dokumentarische Analyse des gemeinsamen Gegenstandes im inklusiven Chemieunterricht. In *Dokumentarische Unterrichtsforschung in den Fachdidaktiken: Theoretische Grundlagen und Forschungspraxis* (S. 115-136). Wiesbaden: Springer.
- Gott, R. & Duggan, S. (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- Gresch, H. & Martens, M. (2019). Teleology as a tacit dimension of teaching and learning evolution: A sociological approach to classroom interaction in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(3), 243-269. <https://doi.org/10.1002/tea.21518>
- Gut-Glanzmann, C. (2012). *Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz: Analyse eines large-scale Experimentiertests [Dissertation]*. Universität Basel. Berlin: Logos.
- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-140). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gyllenpalm, J. & Wickman, P.-O. (2011). "Experiments" and the inquiry emphasis conflation in science teacher education. *Science Education*, 95(5), 908-926. <https://doi.org/10.1002/sce.20446>
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2018). Integrating NOS in LAB Work. In D. Sokołowska & M. Micheleni (Hrsg.), *The Role of Laboratory Work in Improving Physics Teaching and Learning* (S. 85-94). Cham: Springer International Publishing.
- Häkkinen, P., Järvelä, S., Mäkitalo-Siegl, K., Ahonen, A., Näykki, P. & Valtonen, T. (2017). Preparing teacher-students for twenty-first-century learning practices (PREP 21): a framework for enhancing collaborative problem-solving and strategic learning skills. *Teachers and Teaching*, 23(1), 25-41. <https://doi.org/10.1080/13540602.2016.1203772>

- Hammann, M., Phan, T. H. & Bayrhuber, H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS- Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (S. 33-49). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hartmann, S., Upmeyer zu Belzen, A., Krüger, D. & Pant, H. A. (2015). Scientific Reasoning in Higher Education. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 47-53. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000199>
- Harwood, W. S. (2004). A new model for inquiry: Is the scientific method dead? *Journal of College Science Teaching*, 33(7), 29-33.
- Hazelkorn, E., Ryan, C., Beernaert, Y., Constantinou, C. P., Deca, L., Grangeat, M. et al. (2015). *Science education for responsible citizenship: report to the European Commission of the expert group on science education*. Brüssel: Europäische Kommission.
- Heinzel, F., Krasemann, B. & Sirtl, K. (2019). Studierende bei der Gruppenarbeit im Fallseminar. In T. Tyagunova (Hrsg.), *Studentische Praxis und universitäre Interaktionskultur: Perspektiven einer praxeologischen Bildungsforschung* (S. 57-88). Wiesbaden: Springer.
- Herzmann, P. & Liegmann, A. B. (2022). Mündliche Prüfungen im Kontext des Forschenden Lernens. Diskurs und Praxis. *Journal für LehrerInnenbildung*, 22(1), 14-23. <https://doi.org/10.25656/01:24581>
- Herzmann, P. & Proske, M. (2020). Lehrpraxis in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In C. Cramer, J. König, M. Rothland & S. Blömeke (Hrsg.), *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (S. 655-660). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Heyer, R. (2016). *Musiklehramt und Biographie: Rekonstruktion biographischer Orientierungen angehender Musiklehrkräfte*. Wiesbaden: Springer.
- Hilfert-Rüppell, D., Looß, M., Klingenberg, K., Eghtessad, A., Höner, K., Müller, R. et al. (2013). Scientific reasoning of prospective science teachers in designing a biological experiment. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 6(2), 135-154. <https://doi.org/10.25656/01:14743>
- Hilfert-Rüppell, D., Meier, M., Horn, D. & Höner, K. (2021). Professional knowledge and self-efficacy expectations of pre-service teachers regarding scientific reasoning and diagnostics. *Education Sciences*, 11(10), 629. <https://doi.org/10.3390/educsci11100629>
- Hill, C. F. C., Gouvea, J. S. & Hammer, D. (2018). Teaching Assistant Attention and Responsiveness to Student Reasoning in Written Work. *CBE—Life Sciences Education*, 17(2). <https://doi.org/10.1187/cbe.17-04-0070>
- 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. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>

- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135. <https://doi.org/10.1080/0022027980280201>
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Hoehn, J. R. & Lewandowski, H. (2020a). Incorporating writing in advanced lab projects: A multiple case-study analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020161. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020161>
- Hoehn, J. R. & Lewandowski, H. J. (2020b). Framework of goals for writing in physics lab classes. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 1-21. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010125>
- Hoffmann, T., Menthe, J. & Gómez Thews, S. (2023). „Fertig, du bist über sieben.“ – Schülervorstellungen zur Kooperation in Experimentierphasen von Naturwissenschaftsunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 30(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00168-7>
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Holschemacher, S. & Bolte, C. (2021). Subjektive Theorien zum Protokollieren im Chemieunterricht der Sek. I. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online Jahrestagung (2020)*. Universität Duisburg-Essen.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2007). Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(6), 1-14.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 127-139. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z>
- Huber, L. & Reinmann, G. (2019). *Vom forschungsnahen zum forschenden Lernen an Hochschulen*. Wiesbaden: Springer.
- Jahr, D. (2022). Meta-Theorie: Praxeologische Wissenssoziologie. In D. Jahr (Hrsg.), *Die Politik der Schulklasse: Dokumentarische Videoanalysen unterrichtlicher Praktiken zwischen Integration und Destruktion* (S. 61-97). Wiesbaden: Springer.
- Jahr, D. & Nagel, F. (2018). Politikdidaktische Forschung mit der Dokumentarischen Methode. In M. Maier, C. Keßler, U. Deppe, A. Leuthold-Wergin & S. Sandring (Hrsg.), *Qualitative Bildungsforschung* (S. 191-210). Wiesbaden: Springer.
- Janssen, J., Kirschner, F., Erkens, G., Kirschner, P. A. & Paas, F. (2010). Making the Black Box of Collaborative Learning Transparent: Combining Process-Oriented

- and Cognitive Load Approaches. *Educational Psychology Review*, 22(2), 139-154. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9131-x>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A. & Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F)
- Kalaskas, A. (2013). *Science lab report writing in postsecondary education: Mediating teaching and learning strategies between students and instructors*. Master thesis, George Mason University, Fairfax, VA.
- Kambach, M. (2018). *Experimentierprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie – Eine Videostudie [Dissertation]*. Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin: Logos.
- Kampourakis, K. (2016). The "general aspects" conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667-682. <https://doi.org/10.1002/tea.21305>
- Kastaun, M. & Meier, M. (2022). Eine qualitative Analyse von Blickdaten bei statischen und dynamischen Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. In P. Klein, N. Graulich, J. Kuhn & M. Schindler (Hrsg.), *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik: Forschung und Praxis* (S. 19-39). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Keys, C. W. (2000). Investigating the thinking processes of eighth grade writers during the composition of a scientific laboratory report. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 676-690. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200009\)37:7<676::AID-TEA4>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200009)37:7<676::AID-TEA4>3.0.CO;2-6)
- Keys, C. W., Hand, B., Prain, V. & Collins, S. (1999). Using the Science Writing Heuristic as a Tool for Learning from Laboratory Investigations in Secondary Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), 1065-1084. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199912\)36:10%3C1065::AID-TEA2%3E3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199912)36:10%3C1065::AID-TEA2%3E3.0.CO;2-I)
- Khan, S. & Krell, M. (2019). Scientific Reasoning Competencies: a Case of Preservice Teacher Education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 19(4), 446-464. <https://doi.org/10.1007/s42330-019-00063-9>
- 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. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Kite, V., Park, S., McCance, K. & Seung, E. (2021). Secondary Science Teachers' Understandings of the Epistemic Nature of Science Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 32(3), 243-264. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1808757>
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 12(1), 1-48. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1

- Klewin, G. & Koch, B. (2017). Forschendes Lernen ohne forschende Lehrkräfte? *Die Deutsche Schule (DDS)*, 109(1), 58-69. <https://doi.org/10.31244/dds.2017.01.05>
- KMK. (2005). Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss vom 16.12.2004). München: Luchterhand.
- KMK. (2019). Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019).
- Koliander, B., Plotz, T. & Abels, S. (2023). Fachbezogene Interaktionen von Schüler*innen im Chemieunterricht während des Destillierens. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s40573-022-00150-9>
- Krabbe, H. (2015). Das Versuchsprotokoll als fachtypische Textsorte im Physikunterricht. In S. Schmözer-Eibinger & E. Thürmann (Hrsg.), *Schreiben als Medium des Lernens* (S. 157-174). Münster: Waxmann.
- Kranz, J., Baur, A. & Möller, A. (2022). Learners' challenges in understanding and performing experiments: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, 1-47. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2138151>
- Krell, M., Vorholzer, A. & Nehring, A. (2022). Scientific reasoning in science education: From global measures to fine-grained descriptions of students' competencies. *Education Sciences*, 12(2), 97. <https://doi.org/10.3390/educsci12020097>
- Kremer, K., Möller, A., Arnold, J. & Mayer, J. (2019). Kompetenzförderung beim Experimentieren. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 113-128). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S., Jimenez, J., Acosta, K., Akubo, M. et al. (2021). International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: is progress being made? *International Journal of Science Education*, 43(7), 991-1016. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1894500>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lübke, B. & Heuckmann, B. (angenommen). Umgang mit Ungewissheit als Charakteristikum von Nature of Science – Eine Begriffsbestimmung und Konzeptionalisierung für die Integration in Lehr- Lernkonzepte. In B. Reinisch, D. Mahler & D. Krüger (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis*. Heidelberg, Berlin: Springer.
- Mahler, D., Bock, D. & Bruckermann, T. (2021). Preservice biology teachers' scientific reasoning skills and beliefs about nature of science: how do they develop and is there a mutual relationship during the development? *Education Sciences*, 11(09), 558. <https://doi.org/10.3390/educsci11090558>

- Martens, M., Asbrand, B., Buchborn, T. & Menthe, J. (2022). Fokus auf Fachlichkeit: Zur Erforschung von Fachunterricht mit der Dokumentarischen Methode. In *Dokumentarische Unterrichtsforschung in den Fachdidaktiken: Theoretische Grundlagen und Forschungspraxis* (S. 3-16). Wiesbaden: Springer.
- Martius, T., Delvenne, L. & Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern? *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 69(4), 220-228.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177-186). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mayer, J. (2022). Fachdidaktische Forschung in den Naturwissenschaften. In H. Reinders, D. Bergs-Winkels, A. Prochnow & I. Post (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung: Eine elementare Einführung* (S. 675-694). Wiesbaden: Springer.
- Mayer, J., Grube, C. & Möller, A. (2008). Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik: Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften* (S. 63-79). Innsbruck: StudienVerlag.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317, 4-12.
- Medawar, P. B. (1991 [1963]). Is the scientific paper a fraud? In P. B. Medawar (Hrsg.), *The threat and the glory: Reflections on science and scientists* (S. 228-233). Oxford: University Press.
- Meier, M. (2016). *Entwicklung und Prüfung eines Instrumentes zur Diagnose der Experimentierkompetenz von Schülerinnen und Schülern [Dissertation]*. Universität Kassel. Berlin: Logos.
- Meier, M. & Mayer, J. (2012). Experimentierkompetenz praktisch erfassen–Entwicklung und Validierung eines anwendungsbezogenen Aufgabendesigns. In U. Harms & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (S. 81-98). Innsbruck: StudienVerlag.
- Messner, R. (2009). Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In R. Messner (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 15-30). Hamburg: Körber-Stiftung.
- Müllner, B., Bachler, T. & Möller, A. (2022). Herausforderungen und Chancen der Textsorte „Versuchsprotokoll“ im Biologieunterricht für Schüler:innen mit Deutsch als Erst- und Zweitsprache. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, 26, 54-74. <https://doi.org/10.11576/zdb-4347>
- Müllner, B. & Möller, A. (2019). Entwicklung eines Analyseinstruments zur Erfassung der sprachlichen und fachlichen Qualität von Versuchsprotokollen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 18, 25-40.

- Nehring, A. (2020). Naïve and informed views on the nature of scientific inquiry in large-scale assessments: Two sides of the same coin or different currencies? *Journal of Research in Science Teaching*, 57(4), 510-535. <https://doi.org/10.1002/tea.21598>
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, A. & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht – eine modellbasierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 77-96. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0043-2>
- Nentwig-Gesemann, I. (2013). Die Typenbildung der dokumentarischen Methode. In R. Bohnsack, I. Nentwig-Gesemann & A.-M. Nohl (Hrsg.), *Die dokumentarische Methode und ihre Forschungspraxis: Grundlagen qualitativer Sozialforschung* (S. 295-323). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Nerdel, C. (2017). Naturwissenschaftliches Arbeiten. In *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule* (S. 113-148). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Nohl, A.-M. (2013a). Komparative Analyse. In R. Bohnsack, I. Nentwig-Gesemann & A.-M. Nohl (Hrsg.), *Die dokumentarische Methode und ihre Forschungspraxis: Grundlagen qualitativer Sozialforschung* (S. 271-293). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Nohl, A.-M. (2013b). *Relationale Typenbildung und Mehrebenenvergleich: Neue Wege der dokumentarischen Methode*. Wiesbaden: Springer.
- Nohl, A.-M. (2017). *Interview und Dokumentarische Methode* (5). Wiesbaden: Springer VS.
- NRC. (1996). *National science education standards*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- NRC. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington D.C.: National Academies Press.
- OECD. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. Paris: OECD Publishing.
- Olschewski, P., Herzmann, P. & Schlüter, K. (2023). Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie. Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer Experimentierprozesse. *ZfDN*, 29(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00151-2>
- Osborne, J. (2013). The 21st century challenge for science education: Assessing scientific reasoning. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 265-279. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.07.006>
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>

- Park, J., Jang, K.-A. & Kim, I. (2009). An Analysis of the Actual Processes of Physicists' Research and the Implications for Teaching Scientific Inquiry in School. *Research in Science Education*, 39(1), 111-129. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9079-8>
- Park, S., Kite, V., Suh, J. K., Jung, J. & Rachmatullah, A. (2022). Investigation of the relationships among science teachers' epistemic orientations, epistemic understanding, and implementation of Next Generation Science Standards science practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(4), 561-584. <https://doi.org/10.1002/tea.21737>
- Parkinson, J. (2017). The student laboratory report genre: A genre analysis. *English for Specific Purposes*, 45, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.esp.2016.08.001>
- Parkinson, J. (2019). Use of personal pronouns in science laboratory reports. In D. R. Gruber & L. C. Olman (Hrsg.), *The Routledge Handbook of Language and Science* (S. 150-163). London, UK: Routledge.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T. et al. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Plotz, T., Koliander, B. & Abels, S. (2022). Adaption der Dokumentarischen Methode zur Bearbeitung von naturwissenschaftsdidaktischen Fragestellungen. In M. Martens, B. Asbrand, T. Buchborn & J. Menthe (Hrsg.), *Dokumentarische Unterrichtsforschung in den Fachdidaktiken: Theoretische Grundlagen und Forschungspraxis* (S. 155-175). Wiesbaden: Springer.
- Polanyi, M. (1958). *Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Przyborski, A. (2004). *Gesprächsanalyse und dokumentarische Methode*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Przyborski, A. & Wohlrab-Sahr, M. (2021). *Qualitative Sozialforschung: ein Arbeitsbuch*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg.
- Puntambekar, S. & Hübscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational psychologist*, 40(1), 1-12. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001_1
- Rabe, T., Abels, S. & Menthe, J. (2023). Naturwissenschaftsdidaktik und Dokumentarische Methode. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00165-w>
- Reckwitz, A. (2003). Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken/Basic elements of a theory of social practices. *Zeitschrift für Soziologie*, 32(4), 282-301. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2003-0401>
- Reiff-Cox, R. (2020). Exchanging the Myth of a Step-by-Step Scientific Method for a More Authentic Description of Inquiry in Practice. In W. F. McComas (Hrsg.),

- Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (S. 127-139). Cham: Springer International Publishing.
- Roehrig, G. H. & Luft, J. A. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, 26(1), 3-24. <https://doi.org/10.1080/0950069022000070261>
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161-197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Sacher, J., Stövesand, B. & Weiser-Zurmühlen, K. (2021). Zwischen Schule und Studium – Wissenskommunikation in studentischen Kleingruppen angehender Lehrer*innen. *Zeitschrift für Angewandte Linguistik*, 2021(74), 93-122. <https://doi.org/10.1515/zfal-2021-2054>
- Sampson, V., Enderle, P., Grooms, J. & Witte, S. (2013). Writing to Learn by Learning to Write During the School Science Laboratory: Helping Middle and High School Students Develop Argumentative Writing Skills as They Learn Core Ideas. *Science Education*, 97(5), 643-670. <https://doi.org/10.1002/sci.21069>
- Sampson, V., Grooms, J. & Walker, J. P. (2011). Argument-Driven Inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95(2), 217-257. <https://doi.org/10.1002/sci.20421>
- Sander, H. (2017). *Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaft [Dissertation]*. Universität Hamburg. Berlin: Logos.
- Schlüter, K. (2019). Forschendes Lernen – Weshalb es wichtig ist und wie es sich in der Lehramtsaus- und -fortbildung umsetzen lässt. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 289-306). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 3(8), 92-101.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Abd-el-Khalick, F. (2012). A series of misrepresentations: A response to Allchin's whole approach to assessing nature of science understandings. *Science education*, 96(4), 685-692. <https://doi.org/10.1002/sci.21013>
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645. <https://doi.org/10.1002/sci.10128>
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2008). *An Instrument To Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire*. Paper presented at the

- annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Baltimore, MD.
- Schwichow, M. & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 217-233. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0085-8>
- Shavelson, R. I. & Ruiz-Primo, M. A. (2005). On the Psychometrics of Assessing Science Understanding. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Hrsg.), *Assessing Science Understanding* (S. 303-341). Burlington: Academic Press.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A. & Wiley, E. W. (1999). Note on Sources of Sampling Variability in Science Performance Assessments. *Journal of Educational Measurement*, 36(1), 61-71. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.1999.tb00546.x>
- Sonnenschein, I., Koenen, J. & Tiemann, R. (2019). Wissenschaftliches Denken von Lehramtskandidaten – Eine explorative Studie im Fach Chemie. In T. Leuders, E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck & P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktische Forschung in der Lehrerbildung* (S. 213-225). Münster: Waxmann.
- Steinwachs, J. & Martens, H. (2023). Praktiken der Unterrichtswahrnehmung hinsichtlich des Umgangs mit anthropomorphen und teleologischen Schülervorstellungen im Evolutionsunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00161-0>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Terkowsky, C., May, D., Frye, S., Haertel, T., Ortelt, T. R., Heix, S. et al. (2020). *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation*. Bielefeld: wbv Media.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2019). Modelle als methodische Werkzeuge begreifen und nutzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 129-146). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Voelzke, K., Arnold, J. & Kremer, K. (2013). Denken und Verstehen beim naturwissenschaftlichen Problemlösen – Eine explorative Studie. *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*, 2(1), 58-86. <https://doi.org/10.3224/zisu.v2i1.17410>
- Wagner-Willi, M. (2013). Videoanalysen des Schulalltags. In R. Bohnsack, I. Nentwig-Gesemann & A.-M. Nohl (Hrsg.), *Die dokumentarische Methode und ihre Forschungspraxis: Grundlagen qualitativer Sozialforschung* (S. 133-155). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Weinert, F. E. (2001). Concept of competence: A conceptual clarification. In D. S. Rychen & L. H. Salganik (Hrsg.), *Defining and selecting key competencies* (S. 45-65). Göttingen: Hogrefe.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315-345.
- Welter, V. D. E., Emmerichs-Knapp, L. & Krell, M. (2023). Are We on the Way to Successfully Educating Future Citizens?—A Spotlight on Critical Thinking Skills and Beliefs about the Nature of Science among Pre-Service Biology Teachers in Germany. *Behavioral Sciences*, 13(3), 279. <https://doi.org/10.3390/bs13030279>
- Wildt, J. (2005). Auf dem Weg zu einer Didaktik der Lehrerbildung? *Beiträge zur Lehrerbildung*, 23(2), 183-190. <https://doi.org/10.25656/01:13571>
- Windschitl, M. (2004). Folk theories of “inquiry:” How preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 481-512. <https://doi.org/10.1002/tea.20010>
- Wolowski, J. (2021). *Ausprägung und Entwicklung wissenschaftlichen Denkens in der Professionalisierung von Lehramtsstudierenden*. Dissertation, Universität Kassel.
- Zhang, L. (2016). Is Inquiry-Based Science Teaching Worth the Effort? *Science & Education*, 25(7), 897-915. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9856-0>
- Zion, M. & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *Science education international*, 23, 383-399.

Zusammenfassung

In der Biologiedidaktik wird Forschendes Lernen als Lehr-/Lernform an Schulen und Hochschulen empfohlen, um – im Gegensatz zu traditionellen wissensvermittelnden Ansätzen – ein vertieftes Verständnis für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung bei den Lernenden zu erreichen. Durch das eigenständige Durchlaufen der verschiedenen Phasen des (idealisierten) hypothetisch-deduktiven Forschungsprozesses sollen das wissenschaftliche Denken sowie die manuellen Fertigkeiten und das Wissenschaftsverständnis bei den Lernenden gefördert werden. Überwiegend wird im Rahmen Forschenden Lernens die Erkenntnismethode des Experimentierens eingesetzt, die auch in der vorliegenden Arbeit Untersuchungsgegenstand ist. Zusätzlich zum Experimentieren wird als zweite Handlungspraxis das Protokollieren in den Blick genommen. Protokolle werden im Rahmen von experimentellen Labortätigkeiten angefertigt, um diese zu dokumentieren und replizierbar zu machen. Im Zusammenhang mit Forschendem Lernen gilt das Protokollieren außerdem als förderlich für den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess. Studien aus der Naturwissenschafts- bzw. Biologiedidaktik untersuchen forschendes Experimentieren bislang v. a. ausgehend von Kompetenzmodellen hinsichtlich der Experimentierkompetenzen von Lernenden, wobei verschiedene Methoden (z. B. schriftliche Tests; qualitativ-deduktive Analysen von Performance Assessments) eingesetzt werden. Die Befundlage zeigt, dass sowohl bei Schüler*innen, aber auch bei (Lehramts-)Studierenden Schwierigkeiten und Defizite beim forschenden Experimentieren und Protokollieren festgestellt werden können.

Die vorliegende Arbeit möchte zu einer Erweiterung der Erkenntnisse zu Experimentier- und Protokollierprozessen im Rahmen Forschenden Lernens beitragen und fokussiert dabei Lehramtsstudierende der Biologie, deren Verständnis von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als spätere Vermittler*innen im eigenen Biologieunterricht besonders relevant ist. Dabei werden das kollaborative Experimentieren und Protokollieren der Studierenden nicht präskriptiv anhand vorliegender Kompetenzmodelle kategorisiert und evaluiert, sondern mittels eines rekonstruktiven Analyseverfahrens, der Dokumentarischen Methode, untersucht. Kennzeichnend für die Dokumentarische Methode ist, dass neben expliziten Wissensbeständen (was wird gesagt und getan?) auch ein Zugang zu den impliziten, sogenannten handlungsleitenden Orientierungen (wie wird das Thema behandelt und was ist unbewusst handlungsleitend?) der Studierenden ermöglicht wird. Die Logik und Handlungsmuster, die sich in der sozialen Praxis zeigen, werden fernab der normativen Erwartungen an Forschendes Lernen rekonstruiert, sodass Fragen wie „Was

leitet die Handlungen der Studierenden in einer als Forschendes Lernen angelegten Gruppenarbeit?“ und „Wird eine forschende Haltung bei den Studierenden sichtbar oder ist die Situation durch andere handlungsleitende Orientierungen geprägt?“ unter Einbezug der Interaktion zwischen den Akteur*innen beantwortet werden können.

Dazu wurden Videographien von vier studentischen Gruppenarbeiten erstellt, in denen ausgehend von einer vorgegebenen Fragestellung und einer Auswahl an Experimentiermaterialien gemeinsam ein Experiment durchgeführt sowie ein Protokoll angefertigt wurde. Die Analyse erfolgte dann mit der Dokumentarischen Methode unter Fokussierung auf die beiden Handlungspraktiken „Experimentieren“ sowie „Protokollieren“.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle Studierendengruppen generell eine Orientierung an Aufgabenerledigung aufweisen. Außerdem ist ihr Vorgehen beim Experimentieren durch Unsicherheit geprägt. Die Studierenden sind an der Richtigkeit der Aufgabenbearbeitung orientiert und sichern diese anhand des bereitgestellten Materials ab. Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich des experimentellen Vorgehens zeichnen sich dadurch aus, dass entweder hypothesenbasiert oder materialbasiert vorgegangen wird. Dabei ist das hypothesenbasierte Vorgehen geprägt durch ein Experimentierverständnis, welches das Aufstellen von Hypothesen als ersten Schritt eines formalisierten Prozesses begreift. Die Rekonstruktionsergebnisse zum Protokollieren zeigen, dass das Protokoll von allen Gruppen als Mittel zur Strukturierung und Absicherung erarbeitet wird. Kontraste zeigen sich insofern, dass das Protokoll in manchen Gruppen als Aushängeschild für die Qualität ihrer Arbeit gerahmt wird, während die anderen Gruppen das Protokoll als pragmatisches Hilfsmittel in den Prozess einbinden. Die rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen werden von allen Mitgliedern einer Gruppe geteilt, was sich durch die Interaktionsanalyse als ein Teil der dokumentarischen Analyse zeigt.

Die rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen werden am Ende mit den programmatischen Erwartungen an Forschendes Lernen in Beziehung gesetzt und es wird u. a. diskutiert, inwiefern eine Orientierung an Aufgabenerledigung und das Verständnis eines formalisierten Experimentierprozesses der Lernenden diesen Erwartungen entgegensteht. Zudem wird die Bedeutung dokumentarischer Analyseansätze als Erweiterung bisheriger Erkenntniszugänge in der Naturwissenschaftsdidaktik diskutiert. Unter Berücksichtigung des in der Arbeit spezifischen Settings werden Implikationen für Praxis und Forschung abgeleitet.

Summary

In biology education, inquiry-based learning is recommended as a form of teaching/learning at schools and universities in order to achieve a deeper understanding of scientific reasoning and knowledge acquisition among learners – in contrast to traditional knowledge-mediating approaches. By going through the various phases of the (idealized) hypothetical-deductive research process, scientific thinking, manual skills and an understanding of the nature of science shall be promoted among the learners. The method of experimentation, which is also the subject of this study, is mainly used in the context of inquiry-based learning. In addition to experimentation, a second practice that is taken into consideration is the keeping of records. Protocols are drawn up in the context of experimental laboratory activities in order to document them and make them replicable. In the context of inquiry-based learning, writing protocols is also seen as supportive to scientific reasoning and knowledge acquisition. Studies in science and biology education have so far investigated inquiry-based experimentation primarily on the basis of competence models with regard to learners' experimental skills, using various methods (e. g. written tests; qualitative-deductive analyses of performance assessments). Findings show that difficulties and deficits in inquiry-based experimentation and recording can be found in both pupils and teacher students.

The present work aims to contribute to an expansion of the findings on experimentation and recording processes in the context of inquiry-based learning and focuses on biology teacher students, whose understanding of scientific knowledge acquisition is relevant as later mediators in their own biology lessons. The students' collaborative experimentation and record-keeping are not categorized and evaluated prescriptively on the basis of competence models, but are examined using a reconstructive analysis procedure, the Documentary Method. The Documentary Method is characterized by the fact that, in addition to explicit knowledge (what is said and done?), it also enables access to the implicit, so-called action-guiding orientations (how is the topic dealt with and what unconsciously guides action?) of the students. The logic and patterns of action that emerge in social practice are reconstructed far from the normative expectations of inquiry-based learning, so that questions such as 'What guides the students' actions in group work designed as inquiry-based learning?' and 'Is a research attitude visible among the students or is the situation characterized by other action-guiding orientations?' can be answered by taking into account the students' interactions.

Video recordings were made of four student group works in which an experiment was carried out together based on a given question and a selection of experimental materials. The students were also prompted to write a protocol. The analysis was then carried out using the Documentary Method, focusing on both practices ‘experimenting’ and ‘recording’.

The results show that all student groups show an orientation towards task completion. While experimenting, their approach is characterized by uncertainty. The students are oriented towards the correctness of task completion and ensure this by using the material provided. Differences between the groups with regard to the experimental approach are characterized by the fact that the approach is either hypothesis-based or material-based. The hypothesis-based approach is characterized by an understanding of experimentation that sees the formulation of hypotheses as the first step in a formalized process. The reconstruction results for keeping records show that the protocol is developed by all groups as means to provide structure and security. Contrasts are evident in that the protocol is framed in some groups as a ‘flagship’ for the quality of their work, while the other groups use the protocol in a pragmatic manner. The reconstructed action-guiding orientations are shared by all members of a group, which is shown by the interaction analysis as part of the documentary analysis.

Finally, the reconstructed action-guiding orientations are related to the programmatic expectations of inquiry-based learning and it is discussed, among other things, to what extent an orientation towards task completion and the understanding of a formalized experimentation process is contrary to these expectations. Additionally, the importance of documentary approaches in science education research is discussed. Taking into account the specific setting of this work, implications for practice and research are derived.

Erklärung zur Dissertation

(gemäß der Promotionsordnung vom 12. März 2020)

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und ohne die Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel und Literatur angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Ich versichere an Eides statt, dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; dass sie – abgesehen von unten angegebenen Teilpublikationen und eingebundenen Artikeln und Manuskripten – noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, dass ich eine Veröffentlichung der Dissertation vor Abschluss der Promotion nicht ohne Genehmigung des Promotionsausschusses vornehmen werde. Die Bestimmungen dieser Ordnung sind mir bekannt. Darüber hinaus erkläre ich hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten der Universität zu Köln gelesen und sie bei der Durchführung der Dissertation zugrundeliegenden Arbeiten und der schriftlich verfassten Dissertation beachtet habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen. Ich versichere, dass die eingereichte elektronische Fassung der eingereichten Druckfassung vollständig entspricht.

Teilpublikationen:

Olschewski, P., Herzmann, P., & Schlüter, K. (2023). Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie. Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer Experimentierprozesse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00151-2>

Olschewski, P., Herzmann, P., & Schlüter, K. (2023). Group Work during Inquiry-Based Learning in Biology Teacher Education: A Praxeological Perspective on the Task of (Collaborative) Protocol Generation. *Education Sciences*, 13(4), 401. <https://doi.org/10.3390/educsci13040401>

Eigenanteile:

An der Konzeption der Studie, die den beiden Teilpublikationen zugrunde liegt, war ich maßgeblich beteiligt. Ich habe die Studie geplant, durchgeführt und die Analyse der Daten

vorgenommen. In beiden Fällen habe ich das Manuskript verfasst und eingereicht. Die Überarbeitung und Supervision der Manuskripte erfolgte durch Prof. Kirsten Schlüter und Prof. Petra Herzmann.

Mechernich-Kommern, 11.03.2024

Petra Olschewski

Erklärung zur Verfügbarkeit von Primärdaten

Die Primärdaten, die im Rahmen dieser Arbeit erhoben und ausgewertet wurden, sind am Institut für Biologiedidaktik der Universität zu Köln von der Projektverantwortlichen archiviert. Die zugrundeliegenden Primärdaten können auf Anfrage zwecks Analyse oder Replikation zur Verfügung gestellt werden. Davon ausgenommen sind personenbezogene Daten wie z. B. die angefertigten Videographien. Eine entsprechende Anfrage kann gestellt werden an: Petra Olschewski, E-Mail: polschew@uni-koeln.de

Mechernich-Kommern, 11.03.2024

Petra Olschewski

Anhang

- A Teilpublikation 1**
- B Teilpublikation 2**
- C Liste der bereitgestellten Experimentiermaterialien**
- D Transkriptionsregeln „Talk in Qualitative Social Research“ (TiQ)**

Anhang A

Teilpublikation 1

Olschewski, P., Herzmann, P., & Schlüter, K. (2023). Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie. Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer Experimentierprozesse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00151-2>



Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie. Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer Experimentierprozesse

Petra Olschewski¹ · Petra Herzmann² · Kirsten Schlüter¹

Eingegangen: 28. März 2022 / Angenommen: 22. Januar 2023 / Online publiziert: 23. Februar 2023
© Der/die Autor(en) 2023

Zusammenfassung

Forschendes Lernen in den Naturwissenschaften intendiert, dass Lernende den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess selbst durchlaufen, um ihre Problemlösefähigkeiten zu schulen und ein Verständnis von Naturwissenschaft als Disziplin zu entwickeln. Wie sich die Gruppenarbeitsprozesse von Lernenden beim Experimentieren im Vergleich zu den programmatischen Erwartungen an das Forschende Lernen gestalten, ist die Fragestellung der vorliegenden Studie. Untersucht werden Experimentierprozesse von Lehramtsstudierenden des Faches Biologie. Bereits im Studium sind curriculare Angebote Forschenden Lernens vorgesehen, um angehenden Lehrpersonen eigene Erfahrungen und deren systematische Reflexion im Hinblick auf die spätere Anleitung forschungsbasierter Lernformen zu ermöglichen. Mittels der Dokumentarischen Methode streben wir an, die in-situ-Prozesse des Experimentierens – im Verhältnis zu mit der Aufgabenbearbeitung intendierten fachdidaktischen Zielen – zu rekonstruieren. Untersucht werden die handlungsleitenden Orientierungen der Studierendengruppen sowohl hinsichtlich der fachlichen Erkenntniswege als auch in Bezug auf ihre Interaktionsmodi. Im Ergebnis zeigen die Analysen für die Gruppen unterschiedliche Zugänge zur gestellten Aufgabe, die sich kontrastiv als hypothesen- und materialbasiert unterscheiden lassen. Hinsichtlich der Gruppeninteraktion können einvernehmliche und aushandlungsorientierte Modi rekonstruiert werden. Diskutiert werden die vorliegenden Befunde im Hinblick auf die Zielsetzungen Forschenden Lernens in den Naturwissenschaftsdidaktiken sowie den institutionellen Kontext der universitären Lehrer*innenbildung.

Schlüsselwörter Lehrkräftebildung · Forschendes Lernen · Gruppenarbeit · Experimentieren · Dokumentarische Methode

✉ Petra Olschewski
polschew@uni-koeln.de

¹ Institut für Biologiedidaktik, Universität zu Köln,
Köln, NRW, Deutschland

² Department Erziehungs- und Sozialwissenschaften,
Universität zu Köln, Köln, NRW, Deutschland

Inquiry-Based Learning in Biology Teacher Training. Documentary Reconstructions of Students' Experimentation Processes

Abstract

During inquiry-based learning in the natural sciences, students shall go through the inquiry process themselves to improve both their scientific reasoning skills, which are an integral part of problem-solving processes, and their understanding of nature of science as well. In this study, we analyse how learners' group processes develop by comparing their activities to standards of inquiry-based learning. Our sample refers to biology teacher students, because inquiry-based learning is considered a necessary component of university teacher education. Thus, students can gain experience with this teaching format from a pupil's perspective, they can reflect on it, and by this get prepared to use this format themselves in their classrooms at a later date. By means of the Documentary Method, we aim to reconstruct the in-situ processes of experimentation in relation to the didactically intended mode of task processing. The key orientations that guide student groups' actions are examined with regard to the ways of scientific thinking and the interaction modes of the groups. The analyses of the initial phase of experimenting show that the groups use different approaches in working on the task, with a hypothesis-based and material-based approach to be distinguished. Concerning group interaction, consensual and negotiating modes can be reconstructed. The results are discussed with regard to the objectives of inquiry-based learning and the institutional context of university education.

Keywords Teacher education · Inquiry-based science education · Group work · Experimenting · Documentary Method

Einleitung

Für die Lehre an Schulen und Hochschulen wird zunehmend gefordert, traditionelle Formen der Wissensvermittlung um solche Angebote zu ergänzen, die es für Lernende erforderlich machen, sich selbsttätig Wissen anzueignen (Binkley et al. 2012; Häkkinen et al. 2017). Argumentiert wird, dass Lernende erst durch den eigenen Nachvollzug wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung dazu befähigt werden, Wissenschaft als Praxis und nicht nur auf Basis von Faktenwissen verstehen zu können (Abd-El-Khalick et al. 2004; Schwartz et al. 2004). In der Biologiedidaktik wird zu diesem Zweck der Einsatz des Forschenden Lernens an Schulen und Hochschulen empfohlen (KMK 2005, 2017; NRC 2000), bei dem der Lernprozess dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess didaktisch nachempfunden ist (Kremer et al. 2019). Im Lehramtsstudium ist die Förderung von wissenschaftsmethodischer Kompetenz durch Forschendes Lernen während der Lehramtsausbildung insofern relevant, da durch die eigene Erfahrung mit Formaten Forschenden Lernens eine reflektierte Vorbereitung auf die Schulpraxis gelingen kann (Capps und Crawford 2013; Schlüter 2019). Das praktische Erleben und das Durchlaufen der einzelnen Phasen des (idealisierten) Erkenntnisprozesses erhöhen zudem die Wahrscheinlichkeit des Einsatzes von Forschendem Lernen im späteren, eigenen Unterricht (Capps et al. 2012).

Bisher vorliegende naturwissenschaftsdidaktische Studien zum Forschenden Lernen untersuchen vorrangig die Lernwirksamkeit des Formats im Hinblick auf die Kompetenzentwicklung der Lernenden (u. a. Arnold et al. 2018; Forbes et al. 2020; Hammann et al. 2008). Empirisch

kaum Beachtung findet die als zentrales Merkmal des Forschenden Lernens ausgewiesene Bedeutung der Arbeit in Gruppen, deren unterstützende Funktion für das komplexe Lernformat angenommen wird (Bruckermann et al. 2017; Mayer und Ziemek 2006; Messner 2009). Diejenigen Studien, die die Experimentierprozesse untersuchen, beziehen sich dabei auf unterschiedliche Zielgruppen (z. B. Arnold et al. 2014; Klahr und Dunbar 1988; Meier und Mayer 2012). Für den Bereich der Lehramtsausbildung sind uns lediglich drei Studien bekannt (Arndt 2016; Kambach 2018; Sonnenschein et al. 2019). Dieses Forschungsdesiderat aufgreifend und dabei die Bedeutung der Lehramtsstudierenden als spätere Multiplikatoren berücksichtigend zielt die vorliegende Studie darauf, Gruppenarbeitsprozesse von Lehramtsstudierenden des Unterrichtsfaches Biologie zu untersuchen. Mittels der Dokumentarischen Methode (Bohnsack 2021) wird das gemeinsame Experimentieren der Studierenden als soziale Praxis in den Blick genommen. Rekonstruiert werden die handlungsleitenden Orientierungen der Studierendengruppen sowohl hinsichtlich der fachlichen Erkenntniswege als auch in Bezug auf die Interaktionsmodi. Es gilt zu prüfen, ob sich die Erwartungen an wissenschaftliche Problemlöseprozesse (vgl. Abschn. *Zielperspektiven Forschenden Lernens*) in der Praxis bei den Lernenden rekonstruieren lassen und ob diese Erwartungen durch die Aushandlungsprozesse zwischen den Gruppenmitgliedern gefördert werden. Analysiert wird eine Experimentiersituation, die einer angeleiteten Form des Forschenden Lernens entspricht. Für den vorliegenden Beitrag wird dabei der Beginn der Gruppenarbeitsphase fokussiert.

Zum Forschenden Lernen in den Naturwissenschaften: Theorie und Erkenntnisinteresse

Das folgende Kapitel stellt zunächst die Zielperspektiven Forschenden Lernens dar. Daran anschließend werden bisher vorliegende empirische Befunde zum Experimentieren skizziert, wobei wir ausschließlich solche Studien berücksichtigen, die Experimentierprozesse – und nicht etwa Kompetenzmessungen – untersuchen. Davon ausgehend wird das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Studie dargestellt.

Zielperspektiven Forschenden Lernens

Das Forschende Lernen wird allgemein als wissenschaftsbasierte und lernendenzentrierte Lehr-/Lernform im Kontext des Kompetenzbereichs ‚Erkenntnisgewinnung‘ empfohlen (Kremer et al. 2019; Mayer und Ziemek 2006; Schlüter 2019). Es soll den Lernenden praktische Arbeitstechniken (mit dem Labor-/Experimentiermaterial), wissenschaftliche Erkenntnismethoden und Charakteristika der Naturwissenschaften vermitteln (Mayer 2007). Intendiert ist, dass sich die Lernenden selbst in die Rolle von Wissenschaftler*innen begeben und von der Erarbeitung einer Fragestellung, dem theoriegeleiteten Generieren von Hypothesen, über die Planung und Durchführung einer Untersuchung hin zur Datenauswertung und -interpretation ihr eigenes Forschungsprojekt¹ durchführen (Anderson 2002; Martius et al. 2016; Meier und Mayer 2012; Nerdel 2017; Pedaste et al. 2015). Das Durchlaufen dieser Phasen ist darauf ausgerichtet, das wissenschaftliche Denken vor allem im Sinne eines Problemlöseprozesses zu fördern (Mayer 2007).

Je nach zugrundeliegender Forschungsfrage können beim Durchlaufen des Forschungszyklus verschiedene Erkenntnismethoden zur Anwendung kommen. In der Biologie wird unterschieden zwischen Beobachten, Vergleichen und Experimentieren (Wellnitz und Mayer 2013). Allen drei Erkenntnismethoden liegt dabei im Idealfall ein hypothetisch-deduktiver Erkenntnisweg zugrunde (ebd.). Bei diesen Experimenten wird die Hypothese theoriegeleitet formuliert und experimentell geprüft² (Schulz et al. 2012). Generell geht es beim Experimentieren um die Untersuchung eines Kausalzusammenhangs zwischen der unabhängigen Variable (Einflussgröße) und der abhängigen Variable (Messgröße) unter Kontrolle von Störvariablen (Wellnitz und Mayer 2013).

¹ In unserer Studie geht es nicht um die Mitwirkung in einem Forschungsprojekt, sondern um ein didaktisiertes Angebot im Rahmen des Forschungszyklus.

² Davon abzugrenzen sind explorative Experimente, bei denen die generierten Daten der Theorieentwicklung dienen.

Weiterhin kann beim Forschenden Lernen zwischen verschiedenen Offenheitsgraden hinsichtlich der Vorgaben der Lehrenden unterschieden werden, die sich in einem Spektrum von bestätigenden, strukturierten, angeleiteten und offenen Formen Forschenden Lernens befinden (Bell et al. 2005; Colburn 2000; Zion und Mendelovici 2012). Fradd et al. (2001) zeigten auf, dass es zielführend ist, wenn die Offenheitsgrade entsprechend dem Leistungsniveau der Lernenden schrittweise zunehmen. Dabei haben sich die Generierung einer Fragestellung und die eigenständige Planung eines dazu passenden Experiments als besonders anspruchsvoll erwiesen (ebd.).

Untersuchungen zu (studentischen) Experimentierprozessen

Bezugnehmend auf unser Forschungsinteresse am Prozessverlauf des Experimentierens beim Forschenden Lernen sollen hier entsprechend ausgerichtete Studien skizziert werden. Dabei beziehen wir uns aufgrund der überschaubaren Befundlage auf alle uns bekannten Untersuchungen und nicht nur spezifisch auf Studien mit Lehramtsstudierenden.

In der Studie von Klahr und Dunbar (1988) können mittels eines Programmier-Experiments eines Roboters (discovery task) zwei grundlegende Strategien unterschieden werden, anhand derer die (erwachsenen) Proband*innen entweder als „Theoretiker“ bzw. als „Experimentatoren“ neue Erkenntnisse generieren. Die „Theoretiker“ beginnen den Experimentierprozess mit einer Hypothese, auf Grundlage derer das Experiment geplant und im Anschluss die Hypothese geprüft wird (vgl. deduktives Vorgehen). Die „Experimentatoren“ hingegen sammeln durch ihr Experimentieren Daten und stellen anschließend eine Hypothese zur Erklärung dieser Daten auf (vgl. induktives Vorgehen). Bei Experimentierprozessen von Schüler*innen zeigen Meier und Mayer (2012) drei Typen von Handlungsverläufen auf, die als „prozessorientiert“, „explorativ“ und „prozessüberlappend“ beschrieben werden. Diese Typisierung erfolgt aufgrund der Abfolge der einzelnen Experimentierphasen (z. B. Abgrenzung von Planung und Durchführung vs. Überlappung), des Zeitpunkts der Hypothesengenerierung (zu Beginn vs. nach praktischer Durchführung) und des Theorie-Praxis-Verhältnisses (z. B. vorrangig Planung vs. praktische Durchführung). Arnold et al. (2014) stellen für Schüler*innen der Oberstufe fest, dass diese zwar in der Lage sind, Experimente grundlegend zu planen, sich jedoch Herausforderungen zeigen, sobald es um reflektierende Anforderungen (z. B. Störvariablen und Messwiederholungen) beim Experimentieren geht, was die Autor*innen auf fehlendes prozedurales Wissen zurückführen. Bonnet (2004) stellt für experimentbezogene Gruppenarbeiten im Chemieunterricht neben den fachlichen Aushandlungspro-

zessen die Bedeutung der dabei stattfindenden Interaktion heraus. Zentral bei Bonnet ist, dass die sogenannte „interaktionale Kompetenz“, welche Beziehungs-, Partizipations-, Argumentations- und Organisationsaspekte der Gruppenarbeitsprozesse umfasst, die Performanz der Gruppen maßgeblich beeinflusst.

Bisherige Studien zu Experimentierprozessen im Kontext der Lehramtsausbildung untersuchen die formale Abfolge verschiedener Phasen des Erkenntnisprozesses (vgl. Meier und Mayer 2012). Arndt (2016) ermittelte für Lehramtsstudierende der Chemie verschiedene (Ablauf-)Muster, die den Wechsel zwischen den einzelnen Phasen aufzeigen. Insbesondere das oszillierende Muster, bei welchem zwischen mindestens zwei Phasen gesprungen wird, konnte mit intensiveren Überlegungen der Studierenden in Verbindung gebracht werden. Kambach (2018) zeigte für Experimentierprozesse bei Lehramtsstudierenden der Biologie ebenfalls, dass diese nicht idealtypisch verlaufen und Phasenwechsel stetig vorkommen. Außerdem stellte sie fest, dass von den Studierenden eigenständig wahrgenommene Fehler (häufig in Verbindung mit den zur Auswahl stehenden Experimentiermaterialien) dazu führen, Änderungen im Experimentierprozess vorzunehmen. Sonnenschein et al. (2019) beschreiben naturwissenschaftliche Arbeitsprozesse von (Lehramts-)Studierenden der Chemie und stellen anhand zweier Fallanalysen dar, dass Hypothesen so formuliert werden, dass sie am Ende bestätigt werden können. Außerdem zeigte sich, dass eine Kombination verschiedener Erkenntnismethoden zu erfolgreichen Bearbeitungen führen kann. Ergänzend zu diesen, bisher vorliegenden Befunden formaler Abläufe bedarf es allerdings weitergehender Untersuchungen, wie das Experimentieren von Lehramtsstudierenden gestaltet wird und welches implizite Wissen, etwa über den Forschungsprozess oder die Bedeutung von Hypothesen, sich (dabei) zeigt.

Erkenntnisinteresse

Das Ziel unserer Untersuchung ist es, Gruppenarbeitsprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie zu Beginn des gemeinsamen Experimentierens im Rahmen einer Aufgabe des angeleiteten Forschenden Lernens zu analysieren. Ausgehend von einer praxistheoretischen Perspektive (Reckwitz 2003) nimmt die vorliegende Studie das gemeinsame Experimentieren der Studierenden als *soziale Praxis* in den Blick. Die Analyse dieser sozialen Praxis wird im Rahmenbeitrag als eine zentrale Untersuchungsperspektive der Dokumentarischen Methode ausgewiesen. Die Gruppenarbeitsprozesse werden dabei auf fachlicher Ebene (wie setzen sich die Gruppenmitglieder mit der Aufgabenstellung auseinander und wie beginnen sie den Erarbeitungsprozess?) und unter Berücksichtigung der dabei stattfindenden Interaktionen (wie nehmen die Studierenden bei der Aufga-

benbearbeitung aufeinander Bezug?) rekonstruiert. Im Gegensatz zu einer präskriptiven Perspektive fachdidaktischer Forschung ist intendiert, die Experimentierprozesse der Studierenden (vorerst) nicht hinsichtlich ihrer erkenntnislogischen Angemessenheit und der programmatischen Zielsetzungen des (hoch-)schulischen Formats Forschenden Lernens zu bewerten. Vielmehr soll ein Beitrag geleistet werden, die ‚black box‘ der Untersuchung von in-situ Prozessen der universitären Lehrer*innenbildung aufzuklären (Herrmann et al. 2019), indem für das Forschende Lernen von Lehramtsstudierenden der Biologie analysiert wird, wie die Experimentierprozesse gestaltet werden und davon ausgehend zu rekonstruieren, welches Experimentierverständnis der Studierenden sich in ihren Handlungen zeigt. Fokussiert wird die Anfangsphase des Experimentierprozesses, da diese für den in unserer Studie vorgesehenen hypothetisch-deduktiven Erkenntnisweg als besonders anspruchsvoll gilt (Fradd et al. 2001). Die Auswertung erfolgt mittels der Dokumentarischen Methode, um die den Gruppenarbeitsprozessen zugrundeliegenden impliziten, handlungsleitenden Orientierungen der Gruppen zu rekonstruieren. In unserer Studie werden demzufolge sowohl die (experimentellen) Handlungen untersucht als auch die Art und Weise analysiert, wie die Studierenden das Experimentieren ausgestalten, und welches Verständnis ihrem Experimentieren zugrundeliegt bzw. inwiefern sie ihr Vorgehen als naturwissenschaftlichen Problemlöseprozess anlegen. Ergänzend zu den Befunden aus Beobachtungs-, Befragungs- und Teststudien, die (studentisches) Wissen ermitteln, erlaubt die Untersuchung der sozialen Praxis des Experimentierens, Aneignungsmöglichkeiten und -grenzen von Lehramtsstudierenden beim Experimentieren aufzuzeigen (Asbrand und Martens 2018). So können jene Prozesse, die zum Kompetenzerwerb führen (sollen), in ihren Besonderheiten nachvollzogen werden, und gehen insofern über eine Ergebnis-Evaluation hinaus. Während bereits vorliegende prozessbezogene Studien insbesondere die formalen Abläufe (Abfolge der Phasen im Forschungszyklus) beim Experimentieren untersuchen, so liegt in unserer Studie – wie im Rahmenbeitrag angeführt – der Fokus auf der Analyse der Tiefenstruktur der von den Gruppen gewählten Erkenntniswege. Untersucht wird nicht nur, ob z. B. Hypothesen aufgestellt werden, sondern auch, wie eine solche Hypothesenbildung und die Aushandlung darüber in der Gruppe erfolgt. Diese Analyse ermöglicht es, „aus der Praxis heraus“ zu verstehen, wie Studierende die Anforderung des gemeinsamen Experimentierens im Kontext von Forschendem Lernen umsetzen, um dann im zweiten Schritt diese „Praxislogik“ mit den Erwartungen an naturwissenschaftliche Problemlöseprozesse in Beziehung zu setzen.

Abb. 1 **a** Experimentiersetting mit Sicht auf die zwei Kameras und **b** Tisch mit Experimentiermaterialien



Methoden

Im Folgenden legen wir unser Untersuchungsdesign, unterschieden nach Erhebungsverfahren und Auswertungsverfahren, dar.

Erhebungsmethode, Stichprobe und Aufgabenstellung

Um einen detaillierten Einblick in die Gruppenarbeitsprozesse zu erhalten, wurde als Erhebungsmethode die Videographie gewählt. Die Videographie von Gruppenarbeiten ermöglicht den Zugriff auf die auditive und die visuelle Ebene der Interaktion (Dinkelaker 2010). Dies ist für die Analyse des Experimentierens von Gruppen bedeutsam, da dadurch einerseits die Verwendung des bereitgestellten Experimentiermaterials (Abb. 1b) in die Analyse integriert, andererseits die sprachliche und körpergebundene Interaktion der Gruppe untersucht werden kann. In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei verschiedene Kameraperspektiven eingefangen (Abb. 1a).

Insgesamt wurden vier Gruppenarbeiten von Lehramtsstudierenden der Biologie aufgenommen. Die Gruppen bestanden aus jeweils drei Studierenden, wobei die Gruppenzusammensetzung zufällig erfolgte. Bei den Teilnehmer*innen handelte sich um Bachelor-Studierende am Ende des zweiten Semesters, die bereits das Modul „Grundlagen der Biologie“ besucht hatten, welches über eine Vorlesung sowohl biologische Fachkenntnisse sowie über einen laborpraktischen Teil Arbeitsmethoden und das Forschende Lernen vermittelte. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig und wurde außerhalb der regulären Universitätsseminare angeboten. Die Studierenden befanden sich also nicht in einer für das Studium relevanten Bewertungssituation, d. h. die Gruppenarbeit wurde nicht benotet. Die Teilnehmer*innen hatten für die Bearbeitung der ihnen gestellten Aufgabe eine Stunde Zeit. Die Aufgabe (im Sinne des Forschenden Lernens) bezog sich auf die Erkenntnismethode des Experimentierens, da dieses (i) als besonders anspruchsvoll angesehen werden kann (u. a. durch die

Variablenfestlegung (uV, aV), die systematische Veränderung der uV, die Konstanzhaltung anderer Variablen), (ii) in seiner Durchführung auch Elemente des Beobachtens und Vergleichens umfasst, und (iii) an bisherige Vorerfahrungen der Lernenden aus dem Studium (Modul „Grundlagen der Biologie“) anknüpft. Die zu bearbeitende Aufgabenstellung („Was passiert mit Kartoffeln in Salzlösungen? Untersuchen Sie diese Fragestellung durch ein Experiment. Schreiben Sie die wichtigen Aspekte während des Experimentierens auf, sodass Sie als Gruppe ein aussagekräftiges Protokoll haben.“) wurde gewählt, da zum einen der Fachinhalt „Osmose“ in den vorangehenden Semestern Bestandteil der Lehre war und die Aufgabe somit (potenziell) an das Vorwissen der Lernenden angeschlossen. Die eher alltagsprachliche Formulierung der Aufgabenstellung und der bewusste Verzicht auf den Fachbegriff „Osmose“ machte es erforderlich, dass die Studierenden Theoriebezüge selbst herstellen mussten. Eine Art fachlicher Übersetzung ist somit Teil der gewählten Aufgabenstellung. Neben dem Verzicht auf eine fachinhaltliche Vorgabe wurde die Aufgabenstellung außerdem so formuliert, dass der zu untersuchende kausale Zusammenhang von Salzkonzentration zu Gewicht bzw. Größe der Kartoffelstücke nicht explizit benannt wurde. Auch die Herstellung dieser Kausalitätsannahme war als Eigenleistung der Studierenden konzipiert. Die Aufgabe kann als angeleitete Form Forschenden Lernens eingeordnet werden (Zion und Mendelovici 2012), bei welcher die fachlichen Handlungsanweisungen weitgehend offen gehalten werden. So wurden zwar das Experimentieren und Protokollieren vorgegeben, allerdings konnte die Ausgestaltung von den Studierenden u. a. im Hinblick auf Versuchsaufbau, Messzeiten, Anzahl der Versuchsansätze sowie Inhalt und Struktur des Protokolls (Ausgabe von Blankobögen für das Protokollieren) bestimmt werden. Praktikable Gründe wie die kurze Bearbeitungsdauer und die Ermöglichung einer gefahrlosen Durchführung wurden bei der Auswahl der Experimentieraufgabe ebenfalls berücksichtigt.

Datengrundlage und Auswertungsmethode

Die Auswertung der Videoaufnahmen der Gruppenarbeitsprozesse erfolgte mit der Dokumentarischen Methode wie im Rahmenbeitrag dargelegt. Auf die dort erläuterten Verfahrensschritte werden wir im Folgenden nicht ausführlich eingehen, sondern diese lediglich durch entsprechende Verweise kennzeichnen und nur spezifische Überlegungen betreffend unsere Vorgehensweise anführen. Für den vorliegenden Beitrag wurden zunächst die Eingangssequenzen der Gruppenarbeiten transkribiert sowie die für diese Sequenzen repräsentativen Fotogramme ausgewählt. Die Interpretation der Eingangssequenzen ist insofern relevant, als dass sich dort bereits erste handlungsleitende Orientierungen der Gruppe zeigen (Asbrand und Martens 2018). Mittels der formulierenden und der reflektierenden Interpretation – wie im Rahmenbeitrag erläutert – wurden dann die Eingangssequenzen im Hinblick auf handlungsleitende Orientierungen und Interaktionsmodi der Gruppe zu Beginn des gemeinsamen Experimentierens rekonstruiert (Asbrand und Martens 2018). Dabei beziehen sich die handlungsleitenden Orientierungen im Sinne Nohls auf die spezifische Praxis des Experimentierens und werden von uns nicht in einem weitergehenden Sinne als Orientierungsrahmen bzw. Habitus interpretiert (Nohl 2017). Die Analyse der Interaktionsmodi findet parallel zur Rekonstruktion der handlungsleitenden Orientierungen statt und gibt ergänzend Aufschluss darüber, ob in der Gruppe geteilte oder nicht geteilte handlungsleitende Orientierungen vorliegen (Asbrand und Martens 2018). Dies drückt sich – wie ebenfalls im Rahmenbeitrag ausgeführt – durch entweder inkludierende, also einvernehmliche, und exkludierende, also stärker aushandelnde, Interaktionsmodi aus (Przyborski 2004). Mit Hilfe kontrastiver Vergleiche zwischen den Gruppen wurden schließlich Homologien und Besonderheiten der Erkenntniswege herausgearbeitet. Die Bedeutung von Kontrastfällen – auch das macht der Rahmenbeitrag deutlich – liegt darin, dass seitens der Forschenden keine eigenen Bewertungsmaßstäbe an die Daten herangetragen werden.

Die Analysen der Aufgabenstellung sowie der Eingangssequenzen aller Gruppen wurden in verschiedenen Interpretationsgruppen vorgestellt und kommunikativ validiert. Dabei wurde sowohl gemeinsam in das Rohmaterial (Videodaten) geschaut als auch die angefertigten formulierenden und reflektierenden Interpretationen geprüft sowie hinsichtlich der rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen validiert. Dies war im vorliegenden Fall insofern von Bedeutung, als dass Teile des Projektteams für die fachdidaktische Lehre am untersuchten Standort zuständig waren, wodurch es zu Einschränkungen der intersubjektiven Gültigkeit der Interpretationen hätte kommen können.

Ergebnisse

Die Ergebnisdarstellung umfasst zunächst eine Übersicht über die handlungsleitenden Orientierungen beim Experimentieren sowie die Interaktionsmodi, die dann anhand der Unterscheidung in hypothesenbasiertes Vorgehen und materialbasiertes Vorgehen ausführlich vorgestellt werden.

Handlungsleitende Orientierungen und Interaktionsmodi zu Beginn des Experimentierens

Allen vier Gruppenarbeiten ist gemein, dass zu Beginn des Gruppenarbeitsprozesses die Aufgabe entweder still oder laut (vor-)gelesen wird. Die Einstiege in die Gruppenarbeit können insofern als Planungsphase bezeichnet werden, als dass ausgehend von der Aufgabenstellung erste Überlegungen zum Vorgehen diskutiert werden.

Insgesamt unterscheiden sich die Gruppen grundlegend dahingehend, ob sie hypothesenbasiert vorgehen oder sich über das Experimentiermaterial der Aufgabenbearbeitung annähern. Dies verläuft in zwei unterschiedlichen Interaktionsmodi (Abb. 2). Die Interaktionen erfolgen bei einer Gruppe im parallelen Modus, bei den drei anderen Gruppen im antithetischen Modus. Es handelt sich in allen Fällen um inkludierende Interaktionsmodi, d.h. in den Gruppen wird einvernehmlich entweder hypothesen- oder material-

Handlungsleitende Orientierungen beim Experimentieren	
Hypothesenbasiert	Materialbasiert
Interaktionsmodi	
Paralleler Modus	Antithetischer Modus

Abb. 2 Schemata handlungsleitender Orientierungen und Interaktionsmodi (Die separate Darstellung der beiden Analysedimensionen (handlungsleitende Orientierungen und Interaktionsmodi) in der Abbildung dient der Übersichtlichkeit und entspricht nicht dem Vorgehen im Analyseverfahren. Beide Dimensionen wurden im Rahmen der reflektierenden Interpretation parallel bzw. in Relation zueinander untersucht.)

basiert vorgegangen. Im parallelen Modus wird die Proposition (eingebrachtes neues Thema) gemeinsam und konsensual bearbeitet. Beim antithetischen Modus wird die Proposition ebenfalls gemeinsam elaboriert, allerdings werden verschiedene Orientierungskomponenten von den Gruppenmitgliedern eingebracht (vgl. Asbrand und Martens 2018).

Die nachfolgend zitierten Transkriptausschnitte dienen der Plausibilisierung der rekonstruierten handlungsleitenden Orientierungen.

Handlungsleitende Orientierung I: Hypothesenbasiertes Vorgehen

Ein hypothesenbasiertes Vorgehen kann bei den Gruppen A und B rekonstruiert werden, was im Folgenden illustriert wird.

Gruppe A: Sequenz 1

Ida: Okay; wir ham ja forschendes Lernn, stelln wir mal unsere Hypothesen (ordnet Blätter) auf. (2) möchte wer schreiben, #00:01:27-5#

Durch Idas³ Proposition wird das Aufstellen von Hypothesen explizit in den Kontext des Forschenden Lernens gestellt und damit als ein bestimmter Aufgabentyp gerahmt, der einem formalisierten Ablauf folgt. Die Verwendung des Plurals „Hypothesen“ verweist darauf, dass mehrere Hypothesen aufgestellt werden können und damit die Notwendigkeit der Einigung auf eine Hypothese nicht als zwingend angesehen wird.

Bei der ersten Sequenz von Gruppe B wird das Aufstellen von Hypothesen ebenfalls als erster, notwendiger Schritt formuliert und im Weiteren in der Gruppe in Form scheinbar zustimmender Äußerungen, bei denen die inhaltliche Zustimmung jedoch unklar bleibt, ratifiziert.

Gruppe B: Sequenz 1

Jens: so, zuerst mal Hypothese und all so was noch ne? (2) können wir schon mal aufschreibn (3) (*Nora reicht ihm den Stift an*). so, () (schreibt) (4) #00:00:53-3# (...)

Jens: so; die vier Sachn brauchn wir auf jedn Fall; (...) so. wir brauchn Hypothese Gegenhypothese abhängige unabhängige Variable. (schreibt) (2) #00:01:42-3#

Im Gegensatz zu Gruppe A werden bei Gruppe B weitere erforderliche Verfahrensschritte angedeutet, die zunächst umgangssprachlich formuliert werden („und all sowas

noch“), im weiteren Verlauf jedoch von Jens elaboriert werden. Neben der Hypothese benennt er Gegenhypothese, abhängige und unabhängige Variable als für die Aufgabebearbeitung zwingend erforderlich („brauchen“). Bezogen auf das in der Aufgabenstellung benannte „Protokollieren“ zeigt sich in beiden Gruppen, dass dieses bereits zu Anfang initiiert und somit als notwendiger Teil des Arbeitsprozesses gerahmt wird. Bei Gruppe B wird über das Protokollieren eine Vorstrukturierung des nachfolgenden Prozesses angelegt, indem Jens eine Verschriftlichung dessen initiiert, was von ihnen im Rahmen der Aufgabe erwartet wird. In Gruppe A deutet die Frage „möchte wer schreiben?“ auf eine Klärung der Zuständigkeiten hin. Entsprechend des hypothesenbasierten Vorgehens notiert diese Gruppe zunächst „H:“, allerdings findet die schriftliche Formulierung der Hypothesen erst später statt.

Die Notwendigkeit der Formulierung von Hypothesen ist bei beiden Gruppen für den weiteren Arbeitsprozess einvernehmlich, allerdings treten bei der Umsetzung Unsicherheiten auf. Diese sollen beispielhaft an Gruppe A gezeigt werden:

Gruppe A: Sequenz 2

Jan: je höher die Salzkonzentration desto (holt Luft) (.) kleiner wird die Kartoffel, ich weiß nich; (knackendes Geräusch) ich kann mir dann vorstelln dass dann die Kartoffl irgendwie Wasser abgibt, #00:01:57-9# (...)

Jan: und die Zelln dann irgendwie dann kleiner werden und die Kartoffel schrumpft; #00:02:01-7# (...)

Jan: wäre so=ne grobe Überlegung. #00:02:03-7#

Ida: vielleicht geht=s auch um Stärke? #00:02:05-5#

Laura: ja ^Lwollt grad sogn #00:02:06-0#

Ida: ^LOder? ^L #00:02:06-3#

Laura: dass (°es Stärke abgibt°) #00:02:07-8#

Ida: ich weiß nicht aber was passiert mit Stärke in Salzlösungen wir hattn das nur immer-, #00:02:12-3#

Jan: passiert da was? #00:02:13-5#

Ida: ich weiß es nich, (2) #00:02:16-0#

Laura: nur wenn man (2) das testet; oder? ham wir da irgendwas für? (2) ^Lso () #00:02:21-7#

Ida: ^LHm:m ^L@(.)@ #00:02:22-6#

Jan: dafür braucht man glaub ich die ^LLugolsche Lösung. #00:02:23-2# (...)

Ida: ^LJa aber wir ham die ^LLugolsche ^LLösung nich #00:02:25-9# (...)

Ida: ^LWir- also wir solltn gar ^Lkeinn Stärkenachweis machn, #00:02:29-9#

Laura: okay; ja dann geht=s da wohl nicht drum #00:02:30-9#

³ Sämtliche Namen der Studierenden sind pseudonymisiert.

Ida: ^L(räuspert sich) Solln wir also^J eine ganze Kartoffel verwendn? #00:02:33-2#

Jan bringt die Hypothese ein, dass mit steigender Salzkonzentration die Kartoffel kleiner wird. Dabei macht er Gebrauch von einem Vergleichssatz (je ... desto), der (hypothesenkonform) den Zusammenhang von zwei Variablen beschreibt. Er elaboriert weiter, dass eine Wasserabgabe durch die Kartoffel erfolgt, die Zellen kleiner werden und die Kartoffel „schrumpft“. Die anderen Gruppenmitglieder gehen nicht weiter auf Jans Vorschlag ein, sondern Ida bringt ein, dass es um Stärke gehen könnte. Hier wird ein weiteres mögliches Themenfeld eröffnet, ohne anfangs einen (begründeten) Zusammenhang mit den Salzlösungen herzustellen. Bei allen Gruppenmitgliedern zeigt sich eine Unsicherheit („Vielleicht“, „würde“, „ich weiß nicht“, „irgendwie“). Ob und was mit Stärke in Salzlösungen passiert, lässt sich nach Meinung von Laura nur durch einen Stärke-Test klären, was Jan mit der Lugolschen Lösung in Verbindung bringt. Die Aufmerksamkeit richtet sich ab dieser Stelle auf das verfügbare Material, und das Fehlen der Lugolschen Lösung im Material-Pool führt zur Einschätzung, dass es nicht um Stärke gehen kann. Auch wenn die Gruppe hypothesenbasiert begonnen hat, wird die hypothesenbasierte Vorgehensweise mit Blick auf das verfügbare Experimentiermaterial abgesichert.

In anderen Transkriptstellen zeigt sich, dass anhand des Materials auch Ideen für neue Ansätze der Hypothesenbildung generiert werden. Dies wird beispielsweise deutlich, wenn Kathi in Gruppe B infrage stellt, dass die Kartoffeln gekocht werden müssen, Nora aber auf das Vorhandensein der Heizplatte verweist. Die materialbasierte Vergewisserung findet in beiden Gruppen, die einen hypothesenbasierten Einstieg zeigen, statt. Der Bezug auf das Material deutet darauf hin, dass die Gruppen die Einschätzung der Angemessenheit der Aufgabenerledigung an den verfügbaren Experimentiermaterialien ausrichten.

Neben der materialbasierten Vergewisserung kann anhand der Sequenz 2 in Gruppe A ein antithetischer Interaktionsmodus rekonstruiert werden, da verschiedene Orientierungskomponenten hinsichtlich der Hypothesenbildung eingebracht werden: So wird der Einfluss der Salzkonzentration auf den Wassergehalt (Jan), aber auch auf die Stärke in den Kartoffeln (Ida, Laura) benannt. Bei Jans Ausführungen fällt auf, dass er seine Hypothese eher vage formuliert („Ich weiß nicht“, „ich kann mir dann vorstellen“, „irgendwie“). Jan beschließt seinen Beitrag, indem er seinen Vorschlag als „grobe Überlegung“ bezeichnet, was den anderen Raum zum Weiterdenken ermöglicht. Nach seinen Ausführungen geht keine der anderen auf seine Idee ein, sondern es wird ein Gegenvorschlag (Stärke) von Ida eingebracht, der von Laura zwar validiert, aber dann materialgestützt verworfen wird. Jans Hypothese wird dennoch

nicht wieder aufgegriffen, sondern es findet eine durch Ida initiierte Themenverschiebung statt, indem sich dem praktischen Vorgehen zugewendet wird. Es kommt also vorerst zu keiner Konklusion, da sich die Gruppe nicht auf eine Hypothese einigt. Das Muster, dass Jans Beiträge nicht von den anderen elaboriert werden, wiederholt sich im Weiteren genauso wie die Bestätigungen zwischen Ida und Laura. Die Konklusion in Bezug auf die Hypothesenaufstellung erfolgt im späteren Verlauf des Gruppenarbeitsprozesses:

Gruppe A: Sequenz 3

Jan: also unsere Hypothese kann ja lautn, je höher die Salzkonzentration? (.) desto (.) kleiner wird die Kartoffel dann? (2) wär jetzt meine Vermutung; dass die dann deutlicher schrumpft (2) #00:34:58-5#

Laura: kann man ja. (klopft mit Stift auf Tisch) #00:34:59-0#

Ida: ja #00:34:59-5#

Laura: man kann ja alles eigentlich schreibn (.) ^Lund das dann widerlegn. (weiß du wie jetzt) genau. #00:35:01-7#

Ida: ^LWir könnn auch mehrere Hypothesn hinstelln^J und dann=ne Gegenhypothese, (rührt) (2) desto höher die Salzkonzentration desto (2) egal oder egal welche Salzkonzentration du- Kartoffel bleibt gleich. #00:35:13-6#

Laura: //mhm// #00:35:14-1#

Ida: also ich glaube sie zerfällt. (2) ich glaub wir könnn ja jeder eine Hypothese aufstelln. #00:35:19-2#

Laura: das was jeder denkt oder? (Ida rührt) (2) #00:35:21-9#

Ida: weil wir könnn ja H eins H zwei H drei habn; #00:35:24-8#

Laura: ich glaube einfach die Stärke wird in das Wasser abgegeb; (2) sodass es dann milchig wird (7) #00:35:36-4#

Hier wird deutlich, dass Jan an seiner Hypothese festhält und diese erneut einbringt. Lauras Elaboration, dass „man“ das machen kann, drückt insofern Distanz aus, als dass sie relativierend hinzufügt, man könne „alles“ schreiben und das dann „widerlegen“. Damit rahmt sie Jans Vorschlag als einen möglichen, aber nicht zwingenden. Jans Hypothese wird weder aufgegriffen, noch wird eine gemeinsame Hypothese aufgestellt, sondern es wird vorgeschlagen, dass jeder eine eigene Hypothese formulieren kann. Durch diese Synthese (Konklusion beim antithetischen Modus) werden die verschiedenen Elaborationen nebeneinander stehen gelassen. Gleichzeitig dokumentiert sich hinsichtlich der Bedeutung von Hypothesen beim Experimentieren ein Verständnis, welches das Aufstellen der Hypothesen als unge-

richteten Beginn des Experimentierens rahmt und es nicht darum geht, die eine „richtige“ Hypothese zu benennen. Das vorsichtige Vorgehen beim Aufstellen der Hypothesen zeigt sich auch durch die sprachliche Einbringung als „Vermutung“ oder durch die Formulierung „ich glaube“.

Auch in Gruppe B wird im antithetischen Modus interagiert, indem die Gruppenmitglieder sich bei der Hypothesengenerierung auf verschiedene Suchräume beziehen. Während Nora durch den alltagsweltlichen Bezug des Kochens Überlegungen zur Hypothesenbildung anstellt („Naja, aber wenn du jetzt mal überlegst, was passiert denn mit Kartoffeln, wenn man die kocht?“), finden bei Jens Überlegungen zu im Studium gesammelten Erfahrungen statt („Ich hatte nämlich in der Prüfung die Frage, was denn passiert, wenn Pflanzenzellen Wasser entzogen wird.“). Letztlich ist Jens derjenige, der den Raum zur Elaboration seines Erfahrungswissens von den anderen zugestanden bekommt, sodass sich die Gruppe davon ausgehend auf seine Hypothese einigen kann.

Handlungsleitende Orientierung II: Materialbasiertes Vorgehen

Für die beiden anderen Gruppen ist das Material durch die gesamte Eingangssequenz hindurch handlungsleitend.

Gruppe C: Sequenz 1

Vera: Okay, ↓ (4) gut, (.) solln wir dann erst mal kuckn was wir benutz'n? (.) #00:00:31-9#
Katja: ja, würd ich sogn, (2) #00:00:32-8#
Anke: ja. #00:00:33-7#

Gruppe D: Sequenz 1

Nico: aber dafür müsst wir ja erst mal wissn was für ein Experiment ↓wir machn; #00:02:00-7#
Melanie: ↓Genau; ↓ #00:02:01-3#
Nico: wir brauchn erst mal die Stoffe. (2) ↓wir ham die- #00:02:03-9#

Bei beiden Gruppen steht zunächst die (praktische) Auswahl der zu verwendenden Materialien im Fokus. In Gruppe C erfolgt das Zusammentragen der Materialien sehr detailliert. Die Durchführung des Experiments wird hingegen nur punktuell angesprochen (z.B. das Schneiden der Kartoffel), sodass implizit ein geteiltes Verständnis darüber vorzuliegen scheint, wie die gemeinsam ausgewählten Materialien benutzt werden sollen. Dabei ist die Interaktion durch einen parallelen Modus gekennzeichnet, der sich darin zeigt, dass die Proposition („Sollen wir dann erst mal gucken, was wir benutzen?“) von Anfang an über die

gesamte Eingangsphase von allen Gruppenmitgliedern sich gegenseitig bestätigend elaboriert wird. Dies wird exemplarisch an der nachfolgenden Sequenz deutlich:

Gruppe C: Sequenz 2

Katja: ↓Dann brauch=ma einn Spa-, nee quatsch. (Vera greift zu Spatel) doch. ja:a? (Vera legt Spatel hin) einn Spatl vielleicht noch? #00:02:04-2#
Vera: (.) ja, #00:02:04-9#
Katja: und=n Glasrührstab? #00:02:06-4#
Anke: ↓mhm, zum- #00:02:06-7#
Katja: ↓Zum Rührn, ↓ #00:02:07-3#
Anke: genau. (Vera legt Glasrührstab hin) (2) zum Vermengn, #00:02:10-1#

Die Sequenz beginnt mit Katjas Aussage, in der sie einbringt, dass sie als nächstes einen Spatel brauchen. Diese Aussage formuliert sie zunächst bestimmt, unterbricht den Satz und formuliert dann vorsichtiger. Es folgt eine Validierung (Zustimmung) von Vera auf verbaler Ebene und eine Enaktierung (Elaboration auf nonverbaler Ebene), indem sie einen Spatel in die Mitte des Tisches legt. In gleicher Weise wird von Katja als nächstes der Glasrührstab als weiteres Material, das sie benötigen, eingebracht, was von Anke ratifiziert wird. Katja und Anke bringen außerdem im Weiteren die Funktion des Glasrührstabs ein. Vera enaktiert den Vorschlag wieder durch das Bereitlegen des Glasrührstabs. Dieses gemeinsame Vorgehen bei der Auswahl der Materialien, welches durch gegenseitige Bezugnahmen und Elaborationen gekennzeichnet ist, zieht sich über die gesamte Eingangssequenz hinweg. Darin zeigt sich außerdem, dass die Gruppenmitglieder die Materialauswahl durchgängig verbal explizieren und auf die Validierung der anderen warten bzw. sich rückversichern, bevor eine handlungspraktische Umsetzung (Bereitlegen des Materials) erfolgt.

Bei Gruppe D erfolgt die Bezugnahme auf die Materialien zielgerichtet hinsichtlich der Experimentplanung, wie der folgende Ausschnitt zeigt:

Gruppe D: Sequenz 2

Nico: wir untersuchn das nicht auf verschiedene äh Temperatur'n? das(=s schon mal) unnötich? ↓(2) das heißt wir könnn theoretisch- #00:02:17-8#
Melanie: ↓M (.) kann man machn; kann man trotzdem ↓machn. #00:02:21-1#
Ralf: ↓Wi- wir könnn ↓ die Kartoffeln kochn. #00:02:22-1# (...)
Nico: ↓Ja. dann kann man ja ↓ äh man kann da wirklich alles draus machn. was ich jetzt machn würde wäre zum Beispiel (holt kurz Luft) einmal die Kartoffel in Salzlösung? #00:02:38-4# (...)

Melanie: ^LAh okay.^L dass wir einmal mal kuckn; wie die Kartoffel in der Salzlösung reag- also was da passiert, und einmal im Wasser. #00:02:47-8#

Nico: genau. #00:02:48-2# (...)

Melanie: ^LDas kann man auch;^L ja okay. dann machn wir das; ^L(so is gut) #00:02:52-2#

Im Transkriptausschnitt wird über die Notwendigkeit des Erhitzens der Kartoffeln diskutiert. Die Gruppe interagiert dabei in einem antithetischen Modus, da unterschiedliche Positionen in den Elaborationen vorliegen. Während Nico den Gebrauch der Heizplatte als nicht notwendig erachtet, elaborieren Melanie und Ralf, dass man es „trotzdem doch“ erhitzen könne. Nico erklärt im Weiteren, wie er vorgehen würde, wobei er seinen Vorschlag im Konjunktiv formuliert und als „Beispiel“ rahmt. Dies wird durch die anderen Gruppenmitglieder anerkannt, sodass sich auf ein Vorgehen verständigt wird.

Auch in den materialbasierten Gruppen wird die Notwendigkeit des Protokollierens jeweils thematisiert. In Gruppe C erfolgt die Verschriftlichung analog zu ihrem Vorgehen, indem das ausgewählte Material akribisch notiert wird („Materialien jetzt einmal hier aufschreiben“). In Gruppe D liegt der Fokus beim Protokollieren hingegen auf der Verschriftlichung der ermittelten Gewichte der geschnittenen Kartoffelstücke.

Diskussion

Unsere Untersuchung studentischer Experimentierprozesse intendierte, das gruppenbezogene Forschen als soziale Praxis von Lehramtsstudierenden der Biologie zu analysieren. Vergleichbar mit bereits vorliegenden, die Phasen von Experimentierprozessen untersuchenden Studien (Arndt 2016; Kambach 2018; Meier und Mayer 2012) deuten sich auch bei den von uns rekonstruierten hypothesen- bzw. materialbasierten Vorgehensweisen nicht-lineare, prozessüberlappende Verläufe an, da beim hypothesenbasierten Vorgehen die Hypothesenbildung zwar an den Beginn des Arbeitsprozesses gestellt wird, allerdings mit Phasen der Materialisierung überlappt. Mit Ausblick auf den weiteren Verlauf der Gruppenarbeiten kann beim materialbasierten Vorgehen ebenfalls ein prozessüberlappende Verlauf aufgezeigt werden, da auch diese Gruppen später eine Hypothesenbildung vornehmen.

Darüber hinaus zeigen sich Unsicherheiten in der Aufgabenbearbeitung und beim experimentellen Problemlösen insofern, dass die ‚Richtigkeit‘ der Aufgabenerledigung – selbst beim hypothesenbasierten Vorgehen – über das bereitgestellte Material abgesichert wird. Das Material stellt somit zusätzlich zu dem in der Studie von Dunbar und Klahr (1988) genannten Vorwissen („memory“) einen weiteren

Suchraum zur Hypothesenbildung dar. Das materialbasierte Vorgehen könnte u. a. auch durch die Vorgabe bedingt sein, ein Experiment durchführen zu müssen, was aus studentischer Sicht möglicherweise mit einer Priorisierung des praktischen Handelns gegenüber einer theoriegeleiteten Vorbereitung des Experimentierens verbunden ist. Ob es sich beim materialbasierten Vorgehen um eine handlungsleitende Orientierung der Gruppen handelt oder ob dieses Vorgehen durch die Aufgabenstellung hervorgerufen wird, muss hier zunächst offen bleiben. Insgesamt wird aber deutlich, dass die Experimentierverständnisse in den Gruppen zwar nicht expliziert, aber während der Gruppenarbeiten stets mitverhandelt werden. Beim hypothesenbasierten Vorgehen liegt dahingehend ein geteiltes Verständnis darüber vor, dass es sich beim Experimentieren um einen formalisierten Prozess handelt, der mit der Hypothesenbildung zu beginnen habe. Dabei wird das dafür notwendige Vorwissen jedoch nur sporadisch hinzugezogen und dessen Bedeutung für das Aufstellen von Hypothesen scheint den Studierenden nur bedingt klar zu sein. Dies zeigt sich dadurch, dass fachliche Aspekte (Stärke, Wasserverlust) eher assoziativ eingebracht werden. Das Experimentierverständnis beim materialbasierten Vorgehen bezieht sich hingegen auf ein praktisches Problemlösen. Bei beiden Vorgehensweisen – hypothesenbasiert und materialbasiert – wird sichtbar, dass eine möglichst korrekte Art der Aufgabenerledigung zentral ist, was sich in wiederholten (materialbasierten) Vergewisserungen zeigt.

Unsicherheiten während der Aufgabenbearbeitung konnten für alle Gruppen auch durch den Gebrauch von umgangssprachlichen Formulierungen rekonstruiert werden. Dies kann zum einen allgemein auf die Konstitutionsphase in studentischen (Arbeits-)Gruppen verweisen (Sacher et al. 2021). Zum anderen kann mit Blick auf die Aufgabenstellung festgestellt werden, dass der fachliche Gegenstand des Experiments dort nicht weiter spezifiziert war. Den Studierenden wurde nicht vorgegeben, dass es um das Thema ‚Osmose‘ ging, wodurch die Überlegungen zur Hypothesengenerierung in verschiedene Richtungen gehen konnten (Stärke, Erhitzen, Wasserabgabe), was von uns im Sinne einer offenen Aufgabenstellung bewusst gewählt worden war.

Dabei fällt jedoch auf, dass entgegen der fachdidaktischen Erwartung einer theoriegeleiteten Hypothesenbildung (Nerdel 2017) zumindest in einem Fall eine unfokussierte und diffuse Praxis der Hypothesengenerierung sichtbar wurde, bei welcher *jegliche* Hypothese ihre Berechtigung zu haben schien, um dann im Zweifelsfall widerlegt zu werden. Diese Praxis zeigte sich, obwohl die Studierenden (potenziell) an das im Studium erworbene Vorwissen anknüpfen konnten. Dies steht den Ergebnissen von Sonnenschein et al. (2019) entgegen, die auch bei Studierenden das Phänomen der „fear of rejection“ – also die Befürchtung,

die aufgestellte Hypothese widerlegen zu müssen – feststellen konnten. Damit können Unfokussiertheit (Berechtigung jeglicher Hypothese) als auch „fear of rejection“ als zwei unabhängige Probleme bei der Generierung sowie der Weiterarbeit mit Hypothesen angesehen werden. Außerdem wurde in unserer Studie offenbar, dass kaum Gründe zur Stützung der fachlichen Angemessenheit der Hypothesen benannt wurden. Diese kaum stattfindenden Aushandlungen der verschiedenen Orientierungskomponenten im antithetischen Modus könnten einerseits als Folge von unzureichenden Fachkenntnissen verschiedener Gruppenmitglieder, andererseits aber auch als Strategie der Gruppeninstandhaltung gedeutet werden. In jedem Fall stehen die fehlenden, vertieften Aushandlungen der Hypothesen sowohl den Erwartungen an einen naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess als auch der angenommenen unterstützenden Funktion der Gruppenarbeit entgegen. Die Studierenden elaborieren kaum die Vorschläge der anderen Gruppenmitglieder, sondern die verschiedenen Orientierungskomponenten bleiben entweder nebeneinander stehen oder es kommt zu Konklusionen, ohne dass die einzelnen Beiträge untereinander verhandelt werden. Dabei stellt die Gruppe, die im parallelen Modus interagiert, die Ausnahme dar, allerdings verbleiben die Aushandlungen dort auf Ebene der Materialauswahl, was als weniger kognitiv anspruchsvoll gelten kann und das gegenseitige Elaborieren erleichtern könnte. Bezüglich der unzureichenden Aushandlungen ist die von uns gewählte Aufgabenstellung (d. h. keine Vorgabe des zu untersuchenden Fachinhalts Osmose) insofern kritisch zu reflektieren, da die Studierenden über eine vorgegebene fachwissenschaftliche Einordnung besser hätten an ihr Vorwissen anknüpfen und die Hypothesen mit mehr Orientierung intensiver diskutieren können. Allerdings hätte eine solche Vorgabe den inhaltlichen „Spielraum“ in der Diskussion stark eingeschränkt und vermutlich einen parallelen Interaktionsmodus befördert. Hinsichtlich der von uns gewählten Aufgabenstellung muss weiterhin berücksichtigt werden, dass diese von den Studierenden nicht explizit verlangte, einen kausalen Zusammenhang (in unserem Fall: Salzkonzentration zu Gewicht bzw. Größe der Kartoffelstücke) aufzustellen, sodass evtl. auch dadurch zu wenig Anleitung für intensive Aushandlungen gegeben war. Weitergehend zu untersuchen wäre deshalb, ob sich (a) bei anderen Aufgabenformaten, bei denen z. B. fachinhaltliche und/oder aushandlungsbezogene Vorgaben gemacht werden, oder (b) bei Experimentierprozessen in einem fortgeschritteneren Stadium der Lehramtsausbildung oder (c) beim Einsatz anderer Erkenntnismethoden wie dem Vergleichen und Beobachten, bei denen kein kausaler Zusammenhang zu untersuchen ist (vgl. Wellnitz und Mayer 2013), andere handlungsleitende Orientierungen der Gruppen zeigen.

Im Hinblick auf die weitreichenden Erwartungen, die an Forschendes Lernen und das eigene Experimentieren hin-

sichtlich der Förderung einer wissenschaftlichen Problemlösefähigkeit (Häkkinen et al. 2017; Mayer und Ziemek 2006) gestellt werden, zeigt sich also für die Anfangsphase der von uns untersuchten Gruppen zunächst eine Orientierung an der Erledigung der an sie gerichteten Aufgabe (vgl. Asbrand und Martens 2018). Dies überrascht für eine didaktisierte Lernsituation insofern nicht, als dass die Gruppen sich in der verfügbaren Zeit um eine finale Problembearbeitung bemühen (müssen). Dass dies auch für den Aufgabentyp Forschendes Lernen gilt, verweist auf die Wirkmächtigkeit des die Situation präfigurierenden, hochschulischen Kontextes (vgl. Herzmann und Liegmann 2020). Dies ist auch deshalb interessant, da das Erhebungssetting außerhalb eines regulären Seminars stattfand, die Studierenden sich also zum einen freiwillig dafür gemeldet hatten, zum anderen keine Leistungsbewertung erfolgte. Dies kann auf eine besondere Motivation der Teilnehmer*innen hinweisen. Zugleich wird deutlich, dass trotz des bewertungsfreien Settings die Anbahnung einer möglichst originären Forschungssituation auch im von uns untersuchten Fall Forschenden Lernens kaum gelingt. Dass die Experimentiersituation von den Beteiligten unterschiedlich ausgestaltet werden kann, zeigen die Rekonstruktionen der Gruppenarbeiten. Dass diese Lernsituation für die Studierenden aber nicht beliebig interpretierbar ist, deutet sich in unseren Analysen ebenfalls an: Für die Studierenden sind mit der Gruppenarbeit im Kontext angeleiteten Forschenden Lernens sowohl die Anforderungen verbunden, sich als Biologiestudent*in kenntnisreich im Hinblick auf das geforderte Experimentieren als auch sich als Kommiliton*in in einer Arbeitsgruppe als kompromissfähig zu zeigen. Ohne diese ‚Grundspannung‘ auflösen zu können, wäre wie bereits angedeutet, weitergehend zu untersuchen, welche Art der Aufgabenstellung im Kontext angeleiteten Forschenden Lernens das Potenzial hat, die intendierte naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung hervorzubringen.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Interessenkonflikt P. Olschewski, P. Herzmann und K. Schlüter geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N.G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.I. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. <https://doi.org/10.1002/sce.10118>.
- Anderson, R.D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1–12.
- Arndt, K. (2016). *Experimentierkompetenz erfassen: Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie*. Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 202. Berlin: Logos.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2014). Understanding students' experiments—what kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36, 2719–2749.
- Arnold, J., Boone, W., Kremer, K., & Mayer, J. (2018). Assessment of competencies in scientific inquiry through the application of Rasch measurement techniques. *Education Sciences*, 8(4), 184. <https://doi.org/10.3390/educsci8040184>.
- Asbrand, B., & Martens, M. (2018). *Dokumentarische Unterrichtsforschung* (1. Aufl.). Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-10892-2>.
- Bell, R.L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. In P. Griffin, B. McGaw & E. Care (Hrsg.), *Assessment and teaching of 21st century skills* (S. 17–66). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2.
- Bohnsack, R. (2021). *Rekonstruktive Sozialforschung. Einführung in qualitative Methoden* (10. Aufl.). Opladen: Barbara Budrich.
- Bonnet, A. (2004). *Chemie im bilingualen Unterricht: Kompetenzerwerb durch Interaktion*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bruckermann, T., Arnold, J., Kremer, K., & Schlüter, K. (2017). Forschendes Lernen in der Biologie. In T. Bruckermann & K. Schlüter (Hrsg.), *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie* (S. 11–26). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53308-6_2.
- Capps, D.K., & Crawford, B.A. (2013). Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497–526.
- Capps, D.K., Crawford, B.A., & Constan, M.A. (2012). A review of empirical literature on inquiry professional development: Alignment with best practices and a critique of the findings. *Journal of Science Teacher Education*, 23(3), 291–318. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9275-2>.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), 42–44.
- Dinkelaker, J. (2010). Simultane Sequentialität. Zur Verschränkung von Aktivitätssträngen in Lehr-Lernveranstaltungen und zu ihrer Analyse. In M. Corsten, M. Krug & C. Moritz (Hrsg.), *Videographie praktizieren* (S. 91–118). VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92054-2_4.
- Forbes, C.T., Neumann, K., & Schiepe-Tiska, A. (2020). Patterns of inquiry-based science instruction and student science achievement in PISA 2015. *International Journal of Science Education*, 42(5), 783–806. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1730017>.
- Fradd, S.H., Lee, O., Sutman, F.X., & Saxton, M.K. (2001). Promoting science literacy with English language learners through instructional materials development: A case study. *Bilingual Research Journal*, 25(4), 417–439.
- Häkkinen, P., Järvelä, S., Mäkitalo-Siegl, K., Ahonen, A., Näykki, P., & Valtonen, T. (2017). Preparing teacher-students for twenty-first-century learning practices (PREP 21): a framework for enhancing collaborative problem-solving and strategic learning skills. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 23(1), 25–41. <https://doi.org/10.1080/13540602.2016.1203772>.
- Hamann, M., Phan, T.H., & Bayrhuber, H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In M. Prenzel, I. Gogolin & H.H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik* (S. 33–49). VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90865-6_3.
- Herzmann, P., & Liegmann, A. (2020). Mündliche Prüfungen im Kontext des Forschenden Lernens. (Re-)Adressierungen als Inszenierung studentischer Expertise. *Zeitschrift für Pädagogik*, 66(5), 727–745.
- Herzmann, P., Kunze, K., Proske, M., & Rabenstein, K. (2019). Die Praxis der Lehrer*innenbildung. Ansätze – Erträge – Perspektiven. *ZISU – Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*, 8, 3–23. <https://doi.org/10.3224/zisu.v8i1.01>.
- Kambach, M. (2018). *Experimentierprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie – Eine Videostudie*. Berlin: Logos.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 12(1), 1–48.
- KMK (Kultusministerkonferenz) (2017). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und die Fachdidaktiken in der Lehrerbildung, Entscheidung der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.03.2017*
- KMK (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004*. Berlin: Luchterhand.
- Kremer, K., Möller, A., Arnold, J., & Mayer, J. (2019). Kompetenzförderung beim Experimentieren. In J. Groß, M. Hamann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 113–128). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_7.
- Martius, T., Delvenne, L., & Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. *MNU Journal*, 69(4), 220–228.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177–186). Berlin: Springer.
- Mayer, J., & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317, 4–12.
- Meier, M., & Mayer, J. (2012). Experimentierkompetenz praktisch erfassen. Entwicklung und Validierung eines anwendungsbezogenen Aufgabendesigns. In U. Harms & F.X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (Bd. 5, S. 81–98). Innsbruck: Studienverlag.
- Messner, R. (2009). Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In R. Messner (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 15–30). Hamburg: Körber-Stiftung.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington: National Academy Press.
- Nerdel, C. (2017). Naturwissenschaftliches Arbeiten. In C. Nerdel (Hrsg.), *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule* (S. 113–148). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7_7.
- Nohl, A.M. (2017). *Interview und Dokumentarische Methode*. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16080-7>.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L.A., De Jong, T., Van Riesen, S.A., 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.
- Przyborski, A. (2004). *Gesprächsanalyse und dokumentarische Methode. Qualitative Auswertung von Gesprächen, Gruppendiskussionen und anderen Diskursen*. Wiesbaden: VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90347-7>.
- Reckwitz, A. (2003). Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken/ Basic elements of a theory of social practices. *Zeitschrift für Soziologie*, 32(4), 282–301.
- Sacher, J., Stövesand, B., & Weiser-Zurmühlen, K. (2021). Zwischen Schule und Studium – Wissenskommunikation in studentischen Kleingruppen angehender Lehrer*innen. *Zeitschrift für Angewandte Linguistik*, 74(1), 93–122. <https://doi.org/10.1515/zfal-2021-2054>.
- Schlüter, K. (2019). Forschendes Lernen – Weshalb es wichtig ist und wie es sich in der Lehramtsaus- und -fortbildung umsetzen lässt. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 289–306). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_16.
- Schulz, A., Wirtz, M., & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 15–38). Münster: Waxmann.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610–645. <https://doi.org/10.1002/sce.10128>.
- Sonnenschein, I., Koenen, J., & Tiemann, R. (2019). Wissenschaftliches Denken von Lehramtskandidaten – Eine explorative Studie im Fach Chemie. In T. Leuders, E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck & P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktische Forschung zur Lehrerbildung* (S. 215–225). Münster: Waxmann.
- Wellnitz, N., & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315–345.
- Zion, M., & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *Science Education International*, 23(4), 383–399.

Anhang B

Teilpublikation 2

Olschewski, P., Herzmann, P., & Schlüter, K. (2023). Group Work during Inquiry-Based Learning in Biology Teacher Education: A Praxeological Perspective on the Task of (Collaborative) Protocol Generation. *Education Sciences*, 13(4), 401. <https://doi.org/10.3390/educsci13040401>

Article

Group Work during Inquiry-Based Learning in Biology Teacher Education: A Praxeological Perspective on the Task of (Collaborative) Protocol Generation

Petra Olschewski ^{1,*} , Petra Herzmann ²  and Kirsten Schlüter ¹ 

¹ Institute of Biology Education, University of Cologne, 50931 Cologne, Germany; kirsten.schlueter@uni-koeln.de

² Department of Educational and Social Sciences, University of Cologne, 50823 Cologne, Germany; petra.herzmann@uni-koeln.de

* Correspondence: polschew@uni-koeln.de

Abstract: Writing protocols is a central activity in the natural sciences, but is also a part of science education. In the context of inquiry-based learning, keeping records is considered beneficial for the comprehension of scientific reasoning and the associated problem-solving process. Previous studies have focused particularly on the evaluation of learner-generated protocols and their potential for learning. The process of protocol writing, especially in the context of inquiry-based group work, as it is usually implemented in practice, has hardly been researched so far. In this video-based study, we use the documentary method, a reconstructive analysis method, in order to investigate how student groups implement joint protocol generation in an experimental inquiry-based setting and which action-guiding orientations emerge in the process. In all groups, action-guiding orientations to “task completion” and using the “protocol as means to provide structure and security” were found. Moreover, we have found differing orientations which can be titled “protocol as a flagship” and “protocol used in a pragmatic manner”. Overall, the protocol seems more to serve as a guide and an assurance in the experimentation process rather than as a tool for improving scientific thinking and problem solving.

Keywords: biology teacher education; inquiry-based learning; experimental protocols; documentary method; group work



Citation: Olschewski, P.; Herzmann, P.; Schlüter, K. Group Work during Inquiry-Based Learning in Biology Teacher Education: A Praxeological Perspective on the Task of (Collaborative) Protocol Generation. *Educ. Sci.* **2023**, *13*, 401. <https://doi.org/10.3390/educsci13040401>

Academic Editor: Lisa Bendixen

Received: 28 February 2023

Revised: 11 April 2023

Accepted: 13 April 2023

Published: 15 April 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Experimental protocol generation is part of scientific work in the laboratory and therefore should also be taught to students in science education [1,2]. Thus, it is a part of experimental settings in general, including inquiry-based learning settings [3,4]. Writing protocols during inquiry-based learning may promote scientific thinking and enhance the scientific problem-solving process [5,6].

Previous studies have focused especially on the evaluation of learner-generated protocols [7,8], the effectiveness of different instructional approaches regarding keeping records [9], and the learning benefits of writing protocols [6,10]. What has been less studied so far are the processes occurring during learners’ protocol generation. These processes involve peer interaction, since inquiry-based learning, and therefore also protocol generation, are usually carried out in groups [11,12]. Apart from cognitive aspects, negotiation processes between learners must also be taken into account when investigating group work [13,14]. Analysing (group) processes during protocol generation is important since it provides insights into how students implement and construct protocol writing with each other. We use the documentary method as an analysis method to gain deep-level insights that go beyond the content level [15]. Our aim is to reconstruct the students’ “action-guiding orientations” concerning protocol writing. That is, we reconstruct what

understanding of keeping records shows up in their actions at an implicit level [15,16]. This can extend the previous output-related findings on protocol evaluation and learning benefits by shedding more light on the processes leading up to it.

In the following, a general overview is given on the topic of protocol writing in science education, since there are only a few studies in this field. Thereby, we address three areas of keeping records: general aspects, conceptual approaches and empirical studies. This overview reveals that there are hardly any process-related studies on protocol generation. The present study takes a closer look at this research gap.

1.1. General Aspects of Protocol Writing

In the natural sciences, the experimental protocol is typically a text type which is part of laboratory activities and used to report the experiment in a short and precise way [1,17]. The methodological procedure being part of the protocol shall be presented in such a way that it can be understood and replicated by others [18,19].

Additionally, in science education, writing protocols is an important task during the activity of experimenting [2,7]. The experimental protocol is characterised by a certain structure which is based on the experimental procedure [3,8]. The sequence of the individual steps during experimentation is reported in a linear way, but it is still important to make the interrelationships between the steps clear [1]. Furthermore, the protocol is characterised by the use of educational and technical language as well as (especially in German) passive constructions [3,7,8]. The use of educational and technical language is necessary for the requirement of a precise representation and for writing down non-linguistic events such as test arrangements and observations [3]. During protocol writing, different language actions such as describing, explaining and arguing are used [7,19].

Additionally, in the context of inquiry-based learning and scientific activities, learners are expected to write experimental protocols [3,4,19]. Inquiry-based learning is used as a learning method that shall improve the learners' scientific reasoning by letting them go through the entire research process themselves [20]. Usually, inquiry-based learning is carried out in groups based on the research reality in science, and also because collaborative group work may support learning [11,21]. Accordingly, protocol preparation can also be performed jointly in this instructional approach. In general, the structure of the protocol should correspond to the phases of the inquiry circle, namely setting up a research question, generating hypotheses, noting down test procedures and observations, and analysing and interpreting data [3]. Protocol preparation is considered beneficial for promoting scientific reasoning and the associated problem-solving process, as well as learning in general [5,6].

1.2. Conceptual Approaches of Protocol Writing

In pedagogical contexts, protocols have an additional function beside reporting, as they can also act as a learning tool [6,17,22]. This is taken into account in the so-called "writing to learn" (WTL) approach, which is used in order to engage students in scientific methods and to train their scientific reasoning [4]. The WTL approach can be distinguished from the "learning to write" (LTW) approach [4,10]. While the LTW approach focuses on providing students with skills to write better texts in science and is a rare part of the inquiry process [10], within the WTL approach, writing is seen as a knowledge-generating action during experimentation [10,22]. Keys [22] refers to the knowledge-transforming model by Bereiter and Scardamalia [23]. In this model, writing (protocols) is not just characterised by the retrieval and sharing of the writer's existing knowledge, but rather seen as a reflective action. Furthermore, the model involves interaction between the *content problem space*, which deals with facts and data, and the *discourse problem space*, referring to the phrasing of the text. For example, when drafting text, the writer can be led to reflect upon and develop new ideas. This means the writer makes a "return trip" from the discourse problem space back to the content problem space [22].

Learners show deficits and motivation problems with regard to writing protocols, although protocol writing is supposed to have an important and beneficial role during

experimentation and in the context of inquiry-based learning [10,12,24]. Furthermore, learners seem to understand lab reports rather as pedagogical tools than as part of scientific activity [25]. There are different kinds of approaches to integrate lab reports into the process of scientific activity to counteract this problem [2]. The science writing heuristic (SWH) is an example of an approach that is used to improve the learners' scientific reasoning, metacognition, negotiating and writing when producing experimental protocols [6,22]. Within this approach, the link to the nature of science and the role of inquiry is emphasised, and the learners are trained to think in depth about scientific concepts and the importance of evidence in relation to claims [2]. Another example is the argumentative-driven inquiry (ADI) instructional model, which is student-centred and writing-intensive [10]. The idea is to create authentic writing tasks that shall lead the learners to experience writing protocols rather as "doing science" and not "doing school" [10]. The integration of peer interaction and co-working is part of these approaches and is seen as beneficial from the perspective of constructivism [12].

There is a strong need for future teachers to learn these competencies during their university studies, as they will go on to train pupils in writing protocols [8].

1.3. Empirical Studies of Protocol Writing

In the following, we will present different empirical studies investigating the topic of protocol writing in science education. The studies relate to different subjects in the field of natural sciences and investigate different study groups (school and university students). The following studies are presented according to their focus of investigation. Those referring to process-related aspects on protocol writing that are most closely related to our own research are located at the end of this section.

There are studies whose main focus is on the analysis of written protocols to determine special features or challenges, but also to improve the writing skills through the development of certain tools. Müllner et al. [3] carried out content analyses of tenth graders' lab reports in biology lessons with regard to the separate steps of the experiment and the use of language. They found that many of the protocols lacked a hypothesis. In contrast, nearly all of the students included procedure as part of the protocol. The authors assume that pupils believe that this is the crucial part of writing a protocol, which acts as a representative of the whole experiment. Still, they found that procedure is not written as precisely as needed due to a deficit in pupils' vocabulary. Additionally, often a discussion of results is missing, and pupils use a personal style of writing by, e.g., presenting biased evaluations of the experiment.

Brede [7] investigated the lab reports of eighth graders, also taking into account first and second language speakers, in biology lessons with focus on observation and data evaluation as part of the protocol. The author points out that for the observation section, precise language is needed for describing all relevant processes, while for data evaluation, explaining is central. The pupils' protocols not only varied in linguistic features, but also in content features, which led the author to the assumption that writing protocols is not only a linguistic challenge for the learners, but one that also contains difficulties on the content level. In particular, writing down the data evaluation is challenging for pupils, since it requires explanations that are related to certain specialist concepts they need to know. Merely by using observation, data evaluation is not possible. A gap in knowledge of technical terms is less of a problem than a lack of knowledge of biological concepts, as paraphrases can be used instead.

In the context of university, Bayrak [8] investigated and developed a tool for promoting protocol writing with chemistry teacher students by using a design-based research approach. The research aimed firstly to reduce the numbers of mistakes when students write protocols, and secondly to professionalise students so they can guide pupils when writing lab reports in the future. Different criteria for evaluating protocols were established and used in order to determine the students' capability of writing protocols. The most common mistakes made by students were missing content, imprecise word use and incorrect structure. Bachelor's

students made more mistakes of a technical or content nature than Master's students did, while Master's students showed more grammar and formality mistakes. In addition to the written protocols, students' dialogues on joint protocol revision were also analysed to gain an insight into students' ideas. These results were then used to enhance the tool for promoting writing skills.

Deiner et al. [9] showed in their study that a scaffold for teaching how to write protocols improved the writing skills of chemistry teacher students. This scaffolding was characterised by breaking the laboratory report into different sections that are then processed separately through the use of certain questions.

In the context of writing to learn and the knowledge-transforming model by Bereiter and Scardamalia [23], Keys [22] investigated the thinking processes of eighth graders during lab report writing within a laboratory activity referring to the topic of erosion. The science writing heuristic (SWH), as an instructional approach for promoting scientific thinking, was used to guide the pupils. The aim of the study was to investigate scientific thinking processes with regard to the content and discourse space. By analysing written reports and think-aloud protocols, the author found that some pupils wrote down information from their memory directly into the report without reflecting it within the content or discourse space. Most of the pupils showed thinking patterns that were characterised by starting to write but then interrupted this process to make a return trip to the content space, and showing scientific problem solving by e.g., generating hypotheses to be able to continue writing. A few students showed rhetorical planning before starting to write, namely taking into account content and discourse space aspects in advance instead of making return trips in between.

Sampson et al. [10] studied how science learning and writing skills changed by using the argument-driven inquiry (ADI) instructional model. In their intervention, they focused on middle and high school students in different science courses (chemistry, biology, physics and life sciences) and measured both their writing skills and their understanding of science content using two different assessment tools over the period of one school year. They showed that learning within the ADI approach improved the pupils' writing skills and their understanding of core scientific ideas. They also found that the more often pupils took part in those special activities, the better their writing developed.

There are studies investigating the question of what teachers see as relevant criteria for lab report writing. In a pilot study, Holschemacher and Bolte [26] asked chemistry teachers this by using an online questionnaire about their ideas of protocol writing in school. The results show that for them the aspects of "writing down observations", "interpretation of observations", "distinguishing between observation and interpretation", "interpretation of data" and "using correct technical terms" are very important. Despite their ascribed high importance, the teachers assessed the role of these aspects in practice and students' competencies in these respects as rather low.

Hoehn and Lewandowski [2] developed a framework of goals for writing in physics lab courses which is based on a literature review and interviews with four instructors teaching advanced lab classes for physics majors. Their framework consists of fifteen goals (e.g., argumentation, reflection, content mastery, using texts for grading) divided into five broader overlapping categories. The categories they identified are "communication", "writing as professionalisation", "writing to learn", "course logistics" and "social emotional goals". "Communication" is about sharing what the students know and what they have done. In "writing as professionalisation", the focus is on writing as a scientist's skill, which is in line with certain norms, while on the other hand, "writing to learn" focuses on writing as a process in which knowledge is acquired. The category "course logistics" is about how the class functions, e.g., that a method of grading students is necessary, which is often based on a written product. Lastly, "social emotional goals" include those goals that relate to the emotional and experiential world of the learners, for example, the development of the learner's own science identity. Looking separately at the fifteen goals, one of them is "nature of science (NOS)", to which a special role is attributed by the authors. This is because

NOS beliefs are seen as elementary in the context of lab classes, and this goal addresses nearly all of the five categories (except for course logistics). Therefore, the development of a sophisticated view about NOS is crucial in their framework, and an important goal in the context of lab writing. Moreover, students are also aware of the multitude of functions a protocol can have [27].

In a study of Haagen-Schützenhöfer [18], the aim of the author was to strengthen the aspect of NOS during lab work and writing in physics lessons. Within an instructional approach focusing on the replication of experiments, pupils should use their written lab reports to reflect upon this aspect. Subsequent reflective group discussions and questionnaires showed that this approach was helpful in creating awareness of NOS-specific aspects during lab work and lab writing.

Hill et al. [28] also investigated protocol writing, with a focus on students' scientific reasoning taking place during such activities. They analysed teaching assistants' comments on lab reports that were written in an introductory biology course at university. In this way, they could show that the teaching assistants' main attention was on the style and form of the protocols instead of students' scientific reasoning. The authors discuss that grading check lists often focus on genre-specific conventions of writing (e.g., use of passive constructions or past tense), and therefore, teachers' and students' main attention is also paid to these aspects. Thus, they call for a change in course design, stressing the importance of scientific reasoning and students' ideas.

A further type of investigation refers to the process of protocol writing. While the study of Engl [5] is placed in the context of science education, that of Heinzl et al. [29] does not refer to scientific protocol writing, but shall be mentioned here because their methodological approach and key interest are close to those of our study.

Engl [5] studied protocol writing of groups of sixth graders in science classes. In her analysis, protocols ("research books"), videos and interviews were included. In this way, she could investigate how experimenting and protocolling was processed within the groups. The results show that co-working was more present during experimentation than during writing, which could have been caused by the fact that one single test setting was installed but each pupil had their own research book. She also found hints that some pupils used the protocol rather as a reminder for themselves (writing down only a few things), while others tried to write a complete protocol.

Heinzl et al. [29] investigated protocol writing in a non-scientific but university context, namely analysing collaborative protocol writing during casuistic (case-based) learning settings of prospective elementary school teachers. Therefore, it is important to mention that in this study, no experimental protocols were written, but progress reports that record the joint work and discussions of the groups were. The task of writing a protocol was assigned to one member of the group beforehand. By using a reconstructive analysis method, the so-called documentary method, the authors could show that students framed the task as rather stressful, and as an imposed necessity which serves to control performance. They compare this with Breidenstein's [30] "pupil's job", which shows that pupils fulfil the requirements placed on them in the classroom, but in a mode that is focused on the performance product, which shall be reached in a manner as time-efficient as possible and with minimum effort. In this general frame, the authors reconstructed the different ways that students dealt with the problem of writing protocols. One approach refers to different ways students assign the task of writing minutes; this was either through using a game called "nose goes", in which the last person that touches his or her own nose becomes the one to take over the task, or the person who has a notebook with him or her agrees to write. Another approach is one that the authors call "gift exchange", in which one person offers to write the protocol but in reward expects the others to supply the content. In a third approach, the person who writes the protocol asks the others not to talk too much in order to reach a reduction of text that needs to be produced.

1.4. Research Objective

Previous studies on protocol writing focus especially on evaluations of learners' protocols, the learning potential of protocols, and the testing of different instructional approaches. A research gap exists in the area of process-related research. Therefore, the research interest of our study is to analyse the process of generating experimental protocols in collaborative, inquiry-based settings in science education. Our research objective is closely related to that one of Heinzl et al. [29], who investigated collaborative protocol writing in a non-scientific educational setting. However, the setting and type of protocol are different in our study.

Through the use of video data of students' group work, we wanted to gain detailed insight into the processes of collaborative protocol generation. By using the documentary method for data analysis, it is possible to access patterns of student actions that are not directly observable on a visual level. Thus, we refer to the following questions: How do students integrate protocol writing into the experimental process? How do they construct the protocol, and what meaning do they ascribe to the protocol? Moreover, our focus also includes social interactions within the group in the analysis.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

The work processes of four student groups were recorded on video. The following task was assigned to the student groups: "What happens to potatoes in salt solutions? Investigate this question by conducting an experiment. Write down the important aspects during the experiment so that you have a meaningful protocol as a group". Each group was composed randomly and consisted of three students. The participants were Bachelor's students at the end of the second semester, and had previously attended a lecture on the basic principles in biology and completed a laboratory course on inquiry-based learning, in which writing protocols was also taught. The survey was conducted outside of the compulsory seminars, and students could choose freely to participate. Therefore, an evaluation-free context was given. The given inquiry-based task required the student groups to conduct an experiment to answer the research question. They had one hour to do this, and could choose from a pool of experimental material which was provided to them. The task can be classified as a guided form of inquiry-based learning, since no subject-specific instructions for action were given to the students [31]. Still, a research question was predetermined and had to be investigated. Besides conducting an experiment, a second requirement was imposed, as the students had to write a protocol. For this purpose, they were provided with blank sheets, but not with a structured protocol sheet. The structure, scope and content of the protocol were therefore not predetermined and could be freely chosen by the students.

2.2. Data Basis and Analysis Method

The video data were transcribed and the relevant sequences referring to protocol generation were selected.

For data analysis, the documentary method was used, which is a reconstructive analysis method [15]. Originating from the context of group discussions' analyses in social sciences [16], the documentary method is now also increasingly used in educational research and gradually in (science) education, too [32–34]. The documentary method makes findings accessible on both an explicit and implicit level, and this is achieved through two separate analysis steps: formative and reflective interpretation [15,33]. In the formative interpretation, explicit meanings within verbal and nonverbal actions are analysed; thereby, the question of *what* is being said and practiced is answered [33]. With the second step, the reflective interpretation, the question of *how* verbal and non-verbal acts are processed is central, and gives insight into the students' key orientations guiding their actions [33,35]. In addition to the action-guiding orientations, the analysis of the interaction structure is also a component of the reflective interpretation, and it provides insight into whether shared orientations exist in the group [33,36]. If there are shared orientations in the group, we speak of inclusive modes of interaction, while diverging orientations refer to an exclusive

mode of interaction [33,36]. By using comparisons between the groups, during the analysis, it becomes increasingly apparent what the similarities between the groups are, and which specific characteristics appear in the way they deal with the task of generating protocols while conducting an experiment [33]. Analyses across all student groups were presented in different interpretation groups and validated communicatively. Thus, the central sequences were revalidated several times by different groups of people either working in the field of biology education or being experts in the documentary method. During this process, the raw material (video data) was looked at collaboratively, and the formative and reflective interpretations were examined and validated with regard to the reconstructed action-guiding orientations. By analysing different sequences across all student groups together, and by presenting the same sequences in different interpretation groups, it was possible to ensure that the central reconstruction results were valid. Due to the large number of relevant sequences, it is not possible to validate all of the material together. However, since it can be assumed that the action-guiding orientations repeatedly appear in a homologous way in the material [33], this is not necessary.

3. Results

Table 1 provides an overview of the reconstructed action-guiding orientations regarding protocol writing and their allocation to the respective student groups. In the following, those action-guiding orientations which are reconstructed in *all* student groups are represented first (Section 3.1). They can be called “basic orientations”. After that, the *contrasting* orientations are presented (Sections 3.2 and 3.3). Questions as to what the students construct the protocol as, and what function and what relevance it has for them are addressed. In doing so, both process-related aspects as well as social negotiation processes within the groups are taken into account. Transcript excerpts of the individual groups are included to illustrate the results.

Table 1. Overview of the reconstructed action-guiding orientations for protocol writing in an inquiry-based setting. Distinction between basic orientations (referring to all groups analysed) and contrasting orientations (referring to some of the groups).

Basic orientations	<ul style="list-style-type: none"> • Task completion • Protocol as means to provide structure and security
Contrasting orientations	<ul style="list-style-type: none"> • Using the protocol as a flagship • Using the protocol in a pragmatic manner
Student groups	B, C
	A, D

3.1. Basic Orientations: Task Completion and Using the Protocol as Means to Provide Structure and Security

What applies to all groups in terms of protocol writing is an orientation towards *task completion*. Already at the beginning of the group works, keeping records is framed as a necessary requirement and is also implemented in the course of all group works. In all groups, the task of protocol writing and the role of the protocol taker is determined quickly without long negotiations. As an example, please see the following sequence from Group A:

Ida: *Mhm, for the dependent and independent variable (turns pages). Okay, we have inquiry-based learning here, let's set up our hypotheses (arranges sheets). Who wants to write (has pen in hand and sheet in front of her)?* #00:01:27-5#

Jan: *Not me.* #00:01:27-9#

Laura: *Oops, (laughs slightly) you go ahead.* #00:01:28-2#

Ida: *You had a nice handwriting.* #00:01:29-5#

Laura: No. #00:01:30-8#

Ida: Okay (writing).

Ida makes a proposition (introduces a new topic) and asks the other group members “*who wants to write?*”. While making this proposition, she already holds the pen in her hand and is ready to start writing. Therefore, this question could be classified as rhetorical, since her holding the pen expresses a willingness to take responsibility for writing. Both Jan and Laura elaborate on her question by refusing to take over the task. Afterwards, Ida makes a comment about Laura’s nice handwriting, but then quickly overtakes the task of writing. It seems that protocol writing is no popular task; however, the group still comes to a conclusion quickly, and Ida takes on the task. This pattern is similar in all the other groups, although the role of the protocol taker is not always stable. None of the groups spent much time discussing it, but all of them start on task completion quickly.

Additionally, ensuring that (external) requirements are met points to this orientation of task completion. In all groups, for example, the necessity of using technical terms or standardised expressions is emphasised. However, frequent formulations such as “*we must*” or “*is that enough?*” also express such an orientation towards task completion and performance.

Beside task completion, there is another orientation which can be found in all groups and which deals with the function that the protocol has for the groups themselves. In all groups, the protocol generation is an action that *provides structure and security* to the group members in a setting that is rather open and insecure to them. There is a shared understanding of the general protocol structure and content, which also guides them through the experimentation process. In the beginning of their group work (Group B), Nora and Kathi refer to the given task, considering what might happen to potatoes in saline solutions based on the initial question in the assignment, while Jens refers to the protocol and introduces what they need in any case:

Nora: Yes, what happens there (looks at the protocol sheet with the task)? #00:01:10-1#

Kathi: Potato, starch, salt. #00:01:13-6#

Nora: So, when you cook them, they’re in salt water. Not? #00:01:16-8#

Jens: Mhm #00:01:16-9#

Kathi: Mhm #00:01:21-5#

Nora: Wow, I think we all here cook quite a lot of potatoes, I realise. #00:01:29-5#

Jens: So; we need the four things in any case; why am I actually writing? I probably have the ugliest handwriting of us. So, we need hypothesis, counterhypothesis, dependent, independent variable (writes). #00:01:42-3#

Nora: Mhm #00:01:44-2#

Jens: So (clicks out ballpoint pen). #00:01:46-4#

While Nora and Kathi are freely associating concerning this rather open question (“*What happens to potatoes in saline solutions?*”), Jens provides a structure by proposing what they “*need in any case*”, and writing down certain components into the protocol, namely “*hypothesis, counterhypothesis, dependent and independent variable*”. There is no negotiation, but all group members seem to share an understanding of which aspects should occur within the protocol, and it is not questioned by the other group members. This also becomes apparent in the following sequence from Group C:

Katja: So, I don’t know what in evaluation we. Should we then write our hypothesis has been confirmed? #00:43:51-0#

Anke: Well, it is also #00:43:52-7#

Vera: Yes, #00:43:53-5#

Anke: *So, that's not the explanation yet, is it? Because we actually always had that directly then with the observation, and afterwards already comes the explanation or why that is so. Because the hypothesis, it does not explain it directly.* #00:44:13-7#

Katja: *Yes but we can still say?* #00:44:15-5#

Anke: *Yes yes despite.* #00:44:15-8#

Katja: *First of all, the hypothesis, the hypothesis has been confirmed because* #00:44:18-5#.

Anke: *Yes* #00:44:19-4# (...)

Katja: *The concentration, yes the position of the potato influences? So the concentration of the solutions influences the position of the potato* #00:44:35-0#

Anke: *Mhm,* #00:44:35-4#

Katja: *So that it then swims on the surface of the water.* #00:44:37-1#.

Anke: *Exactly.* #00:44:38-3#

Katja: *And then we can name that with the plasmolysis then, I would say.* #00:44:41-7#

Anke: *Mhm* #00:44:42-6#

Katja: *As an explanation.* #00:44:45-7#

Anke: *Yes, then let's do it that way; well, the hypothesis? has been confirmed.* #00:44:59-2#

The group talks about the aspect of (*data*) *evaluation* as the component of the protocol coming up next, which is shared by all group members. Still, there are negotiations over what should be included. First, Katja makes the proposition whether they shall write in their evaluation that they can confirm their hypothesis. However, she also mentions that she is not sure about it. While Vera is validating Katja, Anja mentions that they should also give an explanation, and that the confirmation of the hypothesis is not enough at this point. She refers to her experiences in the past ("*because we actually always had that*") and a certain structure of the protocol ("*after the observation follows an explanation*"). Both the confirmation of the hypothesis and the explanation are then included under "*data evaluation*".

This shared understanding about the components of a protocol in general makes it possible for the groups to move forward with their group work and to have something similar to a framework, in which certain specific aspects can then be discussed.

While *task completion* and the use of the *protocol as means to provide structure and security* are patterns that can be found in all groups, it should be noted that there are also differences between the groups in the way they construct the protocol. In the following sections, these differences are illustrated.

3.2. Orientation "The Protocol as a Flagship"

In two groups, an orientation that we call *using the protocol as a flagship* can be reconstructed. This overall orientation contains further action-guiding orientations, namely *completeness and form* and *clarity*. In the statement of Jens (Group B), it becomes apparent what an orientation to *completeness and form* means:

Jens: (. . .) *So, let's look over here again. We have a hypothesis. A counterhypothesis. We have dependent, independent have interference variants; we have procedure? Um yes. We can um write it down in full form. We shall, we shall make a protocol. That means we can, must write it out (. . .)* #00:28:24-8#

After starting with the experimental work, Jens comes back to the protocol and suggests having another look at it. He goes through what it already contains and what should follow next ("*we have procedure?*"). He uses expressions such as "*write it down in full form*", "*make a protocol*" and "*write it out*". This points out a view of a protocol as the flagship of the group and as proof of the quality of their work. "*To make a protocol*" also stands for something resembling a craft. They are the producers of something that has relevance and needs to be created with care. Writing the protocol does not happen as a side task, but takes

up a large part of their time, and requires full concentration. The use of the modal verbs changes during his statement from “can” to “shall” and finally “must”. By the increasing urgency expressed in his use of modal verbs, Jens also constructs a situation in which there is pressure to perform.

The relevance of the protocol for these groups is also visible, since a “protocol check” takes place. Thereby, these groups review their writing in order to improve and complete it at the end of the group work sessions. This can be shown in the following sequence from Group B:

Jens: *So. Let's go through everything we have again? (rustling paper) If we forgot anything. So we started. We have a hypothesis, we have a counterhypothesis. We wrote down dependent, independent variable too mixed up but we corrected that (takes a breath). We have an interference variable. #00:54:26-5#*

Nora: *However, maybe we should write it down. #00:54:28-2#*

Jens: *That #00:54:28-2#*

Nora: *That um that the hypothesis is not confirmed. We have not written that down at all. #00:54:34-3#*

Jens: *That's right, we still have to write that down in the conclusion. In addition. #00:54:36-4#*

Nora: *Mhm #00:54:36-9#*

Jens: *That is why we'll just go through it again. Very good. Uh we had the #00:54:40-5#*

Jens proposes to check that they “have all” by referring to the written protocol in order to make sure that they did not “forget” anything. This shows that there seems to be an orientation to completeness. They make sure that nothing is missing within the protocol, which becomes clear through statements such as “additionally” or “we still have to write this down”. Additionally, the correction of the protocol is an aspect that relates to an orientation to meeting external requirements.

A strong focus on the wording is also reflected in statements such as “that sounds better/incorrect”, “how shall I write this?”, “just phrase it nicely”, which are used in these groups. This expresses a strong focus on the phrasing rather than the content.

The groups are oriented to *clarity* when writing the protocol. This means that uncertainties or unresolved issues are left aside, and instead, an almost ideal course is expressed within the protocol. Group C talks about possible explanations of their observations at the end of their group work:

Katja: *And for this reason? one could say, the potato swims above and the uhm water particles from the potato, flow into the hypertonic solution. #00:46:57-2#*

Anke: *Or diffuse? #00:46:58-4#*

Katja: *That would be the explanation of #00:47:00-8#*

Anke: *Do not diffuse. Or, because you said flow. However, this well, I know the or nope nope nope. #00:47:06-2#*

Katja: *Nope diffusing is actually the mixing. Or not; or? Or am I mistaken? I don't know. #00:47:12-5#*

Anke: *However, flowing; I just don't know how to say it. What to use for it. That's why I just thought about this, then both I think. #00:47:21-3#*

Katja: *I don't know #00:47:23-0#*

Anke: *Uuh, or particles; the uh particles move, into the solution? (laughs slightly) Oh, I don't know. Mm. #00:47:40-2#*

Vera: *You can just. #00:47:40-7#*

Anke: *I'm sorry if I've caused any confusion now. #00:47:42-9#*

Vera: *No, all good um. #00:47:44-0#*

Katja starts with an explanation referring to water particles flowing out of the potato into the hypertonic solution, whereupon Anke introduces the term “diffuse”, but immediately afterwards considers it inappropriate. Katja elaborates that “diffusing” means something resembling mixing and that it does not fit here, but she is unsure about it. Anke seems to be irritated by the term “flowing”. She instead proposes saying that the particles “move”, but she is also unsure. In the end, Anke apologises for causing confusion. In this sequence, the group discusses what they should include as explanation in the protocol, and which wording would be correct. Instead of continuing to talk about what really happens in the experiment and negotiating the meaning of the word diffusion and how it might relate to their observations, Anke, who proposed this discussion, apologises in the end for “causing confusion”. So, the group sticks to a reduction of uncertainty, with irritation being excluded. This reveals an orientation to *clarity*, which can also be found in other sequences. This orientation becomes also apparent when comparing what the groups discuss and what they write in the protocol. Often there are discussions, or in fact just the beginning of a discussion, taking place that cannot be found in the written protocol. This also means a reduction in complexity, which goes hand-in-hand with this orientation to clarity. If a group is unsure about something, they will rather skip this point in their protocol and present a product in which no uncertainties are mentioned. The protocol therefore serves more as a concluding record and joint agreement than an examination of the subject matter.

In the groups with an orientation to using the protocol as a flagship, there are also some process-related patterns concerning how the protocol is being integrated in the theoretical considerations and the experimentation process of the groups. These groups use the protocol for *planning and reflection*. Furthermore, they spend a long time concentrating on the writing process. They do not write the protocol on the side, but integrate writing phases in which they concentrate entirely on the preparation of the protocol. These “protocol phases” take place mainly at the beginning and after the practical part, but can also be embedded in pauses during the experiment. At the beginning of the group work, they are mainly used for planning, while at the end of the group work, they are also used for reflecting upon what the group has achieved. This shows the *high relevance* that the protocol has in these groups.

This is also reflected in the way that the students implement keeping records within the group. In these groups, the writing of the protocol is carried out *together*, although there is just one person appointed the protocol taker. All group members are informed about the content and form of the writing. This can be shown in a sequence from Group C, in which they phrase the hypothesis together after having discussed it:

Anke: *The higher the salt concentration in the water? #00:10:47-5#*

Katja: *No the. #00:10:48-0#*

Vera: *The higher the density? #00:10:49-3#*

Anke: *The de- (Katja writes) the density, #00:10:53-7#*

Vera: *Of the water #00:11:00-2#*

Katja: *By uh #00:11:03-4#*

Vera: *By the salt concentration #00:11:10-9#*

Anke: *The higher the potato swims? On the water surface. #00:11:16-6#*

Katja: *Yes, isn't it? #00:11:18-2#*

In this sequence, all group members contribute to the wording of the hypothesis. Thus, in a parallel mode of interaction, single sentence components and words are introduced by all group members, which are referred to, validated and partly also corrected by the others. Therefore, in the end, a common hypothesis is composed, to which all have contributed with regard to content and especially, with regard to the wording. It is a *transparent* way of writing, since every group member knows what their shared protocol consists of.

3.3. Orientation “The Protocol Used in a Pragmatic Manner”

In contrast to the Groups B and C, who spend entire time slots writing the protocol, in the Groups A and D, writing is often not part of the verbal communication and is just *done on the side* while the other group members are conducting the experiment. Therefore, in these groups, not all group members are informed about what the protocol looks like. Writing the protocol is rather something that a person takes care of from time to time.

Furthermore, the protocol is rather used and framed *pragmatically*, in the sense that it accompanies and supports the group’s work but is not the main task for them. This becomes apparent in Group A, in which the protocol is used rather as a side element, e.g., for calculating something or for documentation. In the following example, the group wants to determine the quantities of salty solutions:

Ida: *I do have math; I, I have Bio (laughs, grabs pencil). #00:16:57-8#*

Laura: *(laughs) #00:16:59-0#*

Ida: *Uhm #00:16:59-5#*

Jan: *Otherwise, we have to calculate rule of three. #00:17:00-1#*

Laura: *Damn guys. Yes. #00:17:01-3#*

Ida: *Yes #00:17:01-6#*

Laura: *We have to. #00:17:02-4#*

Ida: *Because #00:17:04-1#*

Jan: *How should I do this briefly? #00:17:04-9#*

Laura: *So, one gram to hundred millilitres are #00:17:05-9#*

Jan: *If fifty are one hundred percent. Yes, fifty are one hundred. (Ida writes) #00:17:09-5#*

Here, the group realises that they need to calculate the rule of three to find out how much salt and water they need to prepare the solutions. Ida takes the pen in her hand to support the calculation in writing. In contrast to the groups above that use the protocol as a matter of performance record, here, the protocol is actively integrated into the running of processes during their group work. The calculations are something that they need for themselves in order to obtain results with which they can continue their experimental work. The protocol, therefore, is a practical/pragmatic tool to use rather than a product that is used for representation.

This pragmatic use of the protocol becomes also clear in statements such as “*I’m writing along*” (#00:15:18-2#, Group A, Laura) which Laura says while the other group members are engaged in conducting the experiment. She frames the writing as something that is done for purpose of documentation and happens on the side.

Additionally, in Group D, this can be reconstructed as an action-guiding orientation, which can be illustrated by a statement from Nico:

Nico: *(...) So. (takes a breath) (sighs). Let’s just write it down. The higher? (writes) the temperature, and the con- uh salt concentration the (writes), let’s take uh let’s leave out the technical terms, the more #00:26:27-3#*

Similarly to Laura’s statement, here, the writing is introduced as something that just happens (“*Let’s just write it down*”). In contrast to Laura, Nico involves the other group members (“*us*”), although he is the one who is writing. He starts wording a hypothesis, which seems to be challenging for him. This becomes obvious through his sentence breaks, filler words such as “*uh*”, and speech pauses. His reaction to this challenge is the conclusion that they should leave out the technical terms, which can be seen as a strategy to reduce the complexity of the task. That they need to use technical terms is introduced as a matter of course; still, it seems legitimate to leave them out in order to capture the essence of the hypothesis. This also shows that the content itself has priority, rather than the way in which it is presented.

In the Groups A and D, the role of the protocol taker is not as stable as in the Groups B and C that work on the protocol jointly. This is very obvious in Group D, who lacks a shared understanding of a “group protocol”, causing irritation almost throughout the entire group work, which is illustrated in the following sequence:

Nico hands out one of the blank papers to each group member.

Melanie: *Do we have to we just need one protocol.* #00:01:26-6#

Ralf: *Right yes.* #00:01:27-6#

Melanie: *Just make one protocol* #00:01:29-1#

Ralf: *Mm, okay.* #00:01:30-4#

Nico: *So. If they again, want to have potatoes in salt solution. Then, we theoretically can? but wha-* #00:01:38-1#

By handing out blank papers to each of the group members, Nico nonverbally proposes the opportunity to keep records individually. At the same time, handing out the sheets is not in line with joint protocol writing, as is intended in the task (“... so that you as group have a meaningful protocol”). This is irritating to Melanie, who understands Nico’s handing out of the sheets as a writing prompt, and interjects that they “just need one protocol”. She first poses this as a question, but then formulates a statement, thereby increasing the urgency. This shows an orientation to the task and to joint protocol writing, which is also expressed by her use of the personal pronoun “we”. While Ralf is validating her, Nico does not elaborate on this, but changes the subject from the protocol to the content of the task. Therefore, these diverging orientations persist almost throughout the whole group work, in which Melanie repeatedly suggests that they shall take group minutes and shows uncertainties on a nonverbal level about what and when to write something down individually. At the end of their group work, this is resolved by deciding that Nico’s protocol is selected as the group protocol, which is proposed by Melanie (Melanie: “yeah okay, then we’ll just take yours”, #00:38:44-8#). In saying that the group takes “his (protocol)”, again, it becomes clear that an actual group protocol was not written.

4. Discussion

The results of this study give detailed insights into the (group) processes of protocol generation in the context of an inquiry-based experimental learning setting. By using the documentary method, these insights go further than an analysis of the visible performance, and focus instead on which action-guiding orientations can be reconstructed for the students in the given situation.

Common for all the groups are two basic orientations, namely *task completion* and using the *protocol as means to provide structure and security*. *Task completion* connects to findings within documentary classroom research in general [33], as well as to earlier findings from the present research project referring to the experimental processes [37]. These studies show that in learning situations within an institutional context, a learner orientation toward task completion and therefore performance is difficult to overcome. This is contrary to expectations in an inquiry-based learning setting, which is supposed to be about developing a spirit of inquiry in learners rather than representing an “assessment situation” in which they have to perform. The expected function of the protocol to promote scientific reasoning and learning in general [5,6] therefore seems to play a minor role in the present setting. Moreover, we could reconstruct that all student groups are using the *protocol as means to provide structure and security*. The members of the group implicitly share an understanding of which parts the protocol should consist of, and they do not need to negotiate how the protocol should be structured. This shared knowledge gives them a structure that guides them through the experimental setting that is rather open and uncertain. Although a research question is given (“What happens to potatoes in salt solutions?”), it leaves open the specific scientific content (namely osmosis) to be investigated, as well as the exact experimental procedure. In a previous study [37], we have shown

that a feeling of uncertainty exists among the learners in the experimentation process, whereupon, for example, the provided experimental material is used to secure their actions. Emerging ideas were examined and pursued according to whether or not the necessary experimental material was available. The protocol also has a supporting function because its structure is considered secure by the learners, which enables them to act in the uncertain situation. On an explicit level, it appears that the students are really going through a research process as they refer to the different phases of the inquiry circle. However, the reconstructed action-guiding orientations show that the protocol rather provides security for the experimentation process. Thus, it serves more as a guide through the process than a tool for scientific problem solving. For students as learners (learning to experiment), the protocol is needed as an assurance during experimentation.

Beside these “basic orientations” found in all groups, there are reconstructed action-guiding orientations that vary between the groups titled as “protocol as a flagship” and “protocol used in a pragmatic manner”, which are discussed in the following. Those groups in which the protocol is used as a flagship for their work show action-guiding orientations towards *completeness and form* as well as towards *clarity*. Constructing the protocol as something that needs to be complete and corresponding to a certain form is associated with the findings of Hill et al. [28]. The authors showed that during lab report evaluations, a strong focus is on genre-specific conventions, which then also becomes established among the students themselves. Although our setting was designed to be assessment-free, namely taking place outside regular seminars and without grading the students’ group work and protocols, two student groups worked on their protocols in such a way that showed they wanted to emphasise the high quality of their performance. However, the students primarily focused on how things were worded (“that sounds better”, “just phrase it nicely”), rather than on the content itself. The students therefore treat the protocol as a certain text type that needs to be phrased carefully, rather than using it as a learning tool; this is expected in the WTL approach [4,6]. Furthermore, these groups are oriented to *clarity*. They do not use the protocol to raise questions or discuss different solutions to scientific problems, but make clear statements instead. They agree on which statements they can make with certainty. Thus, they create a narrative in which detours and uncertainties (which do occur in their mutual exchange) no longer appear (see also [38,39]). The question can be asked as to whether they want to tell a certain story of success. In any case, this manner of constructing the protocol is opposed to the positive effect on scientific problem-solving that should be attributed to keeping records [5,6]. Due to the fact that the phases in the inquiry circle are predefined, they seem to assume that they must follow this straightforward process in an inquiry-based situation, without deviations. However, it is important that students understand that this is an idealisation and simplification of the research process [40].

These reconstructed action-guiding orientations are accompanied by some process- and interaction-related aspects; the groups integrate “writing phases” either before, within or after practical parts of the group work wherein they fully concentrate on the writing part. This shows that the writing has a high relevance in these groups and does not happen on the side. At the same time, in these writing “slots”, all group members are involved and therefore informed about the content and form of the protocol. In the beginning of the group work, the writing has a planning function, and at the end of the group work, the writing has a reflective function. The groups check their protocols and reflect on things left aside or aspects that still need to be included. Therefore, this is not a return trip to the content space as is mentioned in the model of Bereiter and Scardamalia [23], rather a check for gaps within the protocol, as is mentioned above (an orientation to *completeness*). They construct the protocol as a “group protocol” by either joint formulations or dictation forms; negotiations between group members still take place, but they focus on what they agree on.

In contrast to these groups, an orientation to *use the protocol in a pragmatic manner* was reconstructed in the other groups. The protocol acts not as a representation of the groups’ work, but is used as a (supporting) tool within the process of experimentation. In

particular, the pragmatic use of the protocol for documentation (e.g., of what has been done; data logging) can be reconstructed; however, very practical things such as a calculation of the rule of three were also recorded in the protocol. This points in a similar direction to the results of Engl [5], who showed that the protocol was rather used by the pupils as a reminder to themselves. In any case, in our study, the flagship orientation is characterised by thinking of an external addressee (e.g., a teacher), while the pragmatists use the protocol more for themselves.

The construction of the protocol as a “pragmatic tool” is something which is not really present in the literature. Most often, it is expected that the protocol can promote scientific thinking and should be understood as a part of scientific activity. Still, the “pragmatic groups” use the protocol to support their experimentation process and to move forward with their work, namely using it for calculations and as a reminder to focus on the essential aspects. This makes it more of a tool within a process, rather than a representative end product as it is used in the flagship groups. One comparison that comes to mind with regard to the “real” scientific community is the parallel between the flagship orientation and the usual procedure for scientific publishing. Even in scientific publications, a success story is often told, with detours and failed attempts hardly reported. This is also reflected in publication bias, with null results seldom published [41,42], and by the use of pre-registration of studies as a solution to prevent bias at the end of data analysis [43].

Concerning process- and interaction-related aspects, in the pragmatic groups, writing happens on the side, and not all group members are informed about the content of the protocol. In one group, there was not even a common group protocol, but rather at the end of the group work, the group chose to use the protocol written by one student.

What needs to be considered concerning missing inquiry-based orientations for protocol writing in our data is that we did not use specialised approaches (e.g., the argumentative-driven inquiry (ADI) instructional model or science writing heuristic (SWH)) to promote scientific thinking during writing [6,10]. We consciously decided not to use an explicit instruction concerning scientific thinking, since we wanted to reconstruct the groups’ own action-guiding orientations in this situation. Nevertheless, the students were informed about the inquiry-based learning context.

5. Conclusions

All in all, our analyses give insights into the *process* of collaborative protocol generation, focusing on how the learners shape and integrate protocol writing during group work within an experimental setting of inquiry-based learning. This differs from previous studies in that we are not evaluating the competencies of individual students or the performance of the group, but rather shedding light on what drives their actions and how they shape and understand keeping records. Our findings show that protocols function as a means of providing students with structure and security in a complex situation. They either use it as a flagship for their group’s work or in a pragmatic manner. These are results that can only be detected by detailed, reconstructive analyses, as we have demonstrated using the documentary method. It is important to know how students act in such educational settings, and which action-guiding orientations are revealed in them, in order to include these findings in the design of learning arrangements. To promote scientific discourse, learners could explicitly be asked not to write a protocol of results, but a protocol of progress. Thus, the protocol would contain different proposals of hypotheses, procedures and/or data interpretations. Whenever different alternatives are available, the group members have to make a reasoned choice for an alternative with which they want to continue working, and this decision and its justification are also recorded in the protocol. Thus, reflection processes are explicitly demanded from the learners, and they are made aware of them during protocol writing. The effect of such a change from an outcome to a progress protocol on students’ scientific discourse may be analysed in subsequent studies.

Author Contributions: Conceptualization, P.O., P.H. and K.S.; investigation, P.O.; writing—original draft preparation, P.O.; writing—review and editing, P.O., P.H. and K.S.; supervision, K.S. and P.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received external funding for the Article Processing Charge from the DFG (German Research Foundation, 491454339).

Institutional Review Board Statement: In Germany, as stated by the German Research Foundation (DFG) [44], the present survey did not require the approval of an ethics committee because the data collection did not pose any threats, risks, or high physical or emotional stress to the respondents. Nevertheless, we strictly followed all ethical guidelines and the Declaration of Helsinki [45], and the data storage complies with current European data protection regulations [46].

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author (Petra Olschewski).

Acknowledgments: We would like to express our sincere thanks to Britta Mörs for linguistic revision of the manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Krabbe, H. Das Versuchsprotokoll als fachtypische Textsorte im Physikunterricht [The experimental protocol as a typical text type in physics lessons]. In *Schreiben als Medium des Lernens*; Schmözer-Eibinger, S., Thürmann, E., Eds.; Waxmann: Münster, Germany, 2015; pp. 157–174.
- Hoehn, J.R.; Lewandowski, H.J. Framework of goals for writing in physics lab classes. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **2020**, *16*, 010125. [[CrossRef](#)]
- Müllner, B.; Bachler, T.; Möller, A. Herausforderungen und Chancen der Textsorte „Versuchsprotokoll“ im Biologieunterricht für Schüler: innen mit Deutsch als Erst- und Zweitsprache [Challenges and opportunities of the text type “experimental protocol” in biology lessons for pupils with German as a first and second language]. *Z. Didakt. Biol. (ZDB)-Biol. Lehren Lern.* **2022**, *26*, 54–74. [[CrossRef](#)]
- Moskovitz, C.; Kellogg, D. Inquiry-based writing in the laboratory course. *Science* **2011**, *332*, 919–920. [[CrossRef](#)]
- Engl, L. Bedeutung des Protokollierens für den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess [The importance of protocol writing for the scientific reasoning process]. Doctoral Thesis, Universität Koblenz-Landau, Mainz, Germany, 3 February 2017.
- Keys, C.W.; Hand, B.; Prain, V.; Collins, S. Using the Science Writing Heuristic as a Tool for Learning from Laboratory Investigations in Secondary Science. *JRST* **1999**, *36*, 1065–1084. [[CrossRef](#)]
- Brede, J.R. *Lernersprachliche Texte im Biologieunterricht: Eine Analyse von Versuchsprotokollen von Schülerinnen und Schülern mit Deutsch als Erst- und Zweitsprache [Learner Texts in Biology Classes: An Analysis of Experimental Protocols of Pupils with German as First or Second Language]*; De Gruyter Mouton: Berlin, Germany; Boston, MA, USA, 2020.
- Bayrak, C. *Vom Experiment zum Protokoll: Versuchsprotokolle Schreiben Lernen und Lehren [From Experiment To protocol: Learning and Teaching to Write Experimental Protocols]*; Waxmann Verlag: Münster, Germany; New York, NY, USA, 2020.
- Deiner, L.J.; Newsome, D.; Samaroo, D. Directed self-inquiry: A scaffold for teaching laboratory report writing. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89*, 1511–1514. [[CrossRef](#)]
- Sampson, V.; Enderle, P.; Grooms, J.; Witte, S. Writing to Learn by Learning to Write During the School Science Laboratory: Helping Middle and High School Students Develop Argumentative Writing Skills as They Learn Core Ideas. *Sci. Educ.* **2013**, *97*, 643–670. [[CrossRef](#)]
- Bruckermann, T.; Schlüter, K. *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie [Inquiry-based Learning in a Laboratory Course in Biology]*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2017.
- Berry, D.E.; Fawkes, K.L. Constructing the Components of a Lab Report Using Peer Review. *J. Chem. Educ.* **2010**, *87*, 57–61. [[CrossRef](#)]
- Bonnet, A. *Chemie im Bilingualen Unterricht: Kompetenzerwerb Durch Interaktion [Chemistry in Bilingual Education: Acquiring Competence through Interaction]*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2004; Volume 4.
- Isohätälä, J.; Näykki, P.; Järvelä, S.; Baker, M.J. Striking a balance: Socio-emotional processes during argumentation in collaborative learning interaction. *Learn. Cult. Soc. Interact.* **2018**, *16*, 1–19. [[CrossRef](#)]
- Bohnsack, R. Documentary Method. In *The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis*; SAGE: Thousand Oaks, CA, USA, 2014; pp. 217–233. [[CrossRef](#)]
- Bohnsack, R.; Pfaff, N.; Weller, W. *Qualitative Analysis and Documentary Method in International Educational Research*; Verlag Barbara Budrich: Opladen, Germany, 2010.
- Parkinson, J. Use of personal pronouns in science laboratory reports. In *The Routledge Handbook of Language and Science*, 1st ed.; Gruber, D.R., Olman, L.C., Eds.; Routledge: London, UK, 2019; pp. 150–163.

18. Haagen-Schützenhöfer, C. Integrating NOS in LAB Work. In *The Role of Laboratory Work in Improving Physics Teaching and Learning*, 1st ed.; Sokołowska, D., Michelini, M., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018; pp. 85–94.
19. Müllner, B.; Möller, A. Entwicklung eines Analyseinstruments zur Erfassung der sprachlichen und fachlichen Qualität von Versuchsprotokollen [Development of an analysis tool for measuring the linguistic and content quality of experimental protocols]. *Erkenn. Biol.* **2019**, *18*, 25–40.
20. Mayer, J. Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen [Acquisition of scientific reasoning as scientific problem solving]. In *Theorien in der Biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*; Krüger, D., Vogt, H., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2007; pp. 177–186.
21. Martius, T.; Delvenne, L.; Schlüter, K. Forschendes Lernen [Inquiry-based learning]. *MNU J.* **2016**, *69*, 220–228.
22. Keys, C.W. Investigating the thinking processes of eighth grade writers during the composition of a scientific laboratory report. *JRST* **2000**, *37*, 676–690. [[CrossRef](#)]
23. Bereiter, C.; Scardamalia, M. *The Psychology of Written Composition*, 1st ed.; Routledge: London, UK, 1987.
24. Curry, K.W., Jr.; Spencer, D.; Pesout, O.; Pigford, K. Utility value interventions in a college biology lab: The impact on motivation. *JRST* **2020**, *57*, 232–252. [[CrossRef](#)]
25. Kalaskas, A. Science Lab Report Writing in Postsecondary Education: Mediating Teaching and Learning Strategies between Students and Instructors. Master's Thesis, George Mason University, Fairfax, VA, USA, 5 December 2013.
26. Holschemacher, S.; Bolte, C. Subjektive Theorien zum Protokollieren im Chemieunterricht der Sek I [Subjective theories of writing protocols in chemistry lessons in lower secondary education]. In *Proceedings of the Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online Jahrestagung; Universität Duisburg-Essen: Duisburg, Germany, 2021; p. 549.
27. Hoehn, J.R.; Lewandowski, H.J. Investigating students' views about the role of writing in physics lab classes. In Proceedings of the 2020 Physics Education Research Conference, Virtual Conference, 22–23 July 2020; pp. 216–221.
28. Hill, C.F.C.; Gouvea, J.S.; Hammer, D. Teaching Assistant Attention and Responsiveness to Student Reasoning in Written Work. *CBE—Life Sci. Educ.* **2018**, *17*, ar25. [[CrossRef](#)]
29. Heinzl, F.; Krasemann, B.; Sirtl, K. Studierende bei der Gruppenarbeit im Fallseminar [Students during group work in a case seminar]. In *Studentische Praxis und Universitäre Interaktionskultur: Perspektiven einer Praxeologischen Bildungsforschung*; Tyagunova, T., Ed.; Springer: Wiesbaden, Germany, 2019; pp. 57–88.
30. Breidenstein, G. *Teilnahme am Unterricht—Ethnographische Studien zum Schülerjob [Classroom Participation—Ethnographic Studies on Pupil Jobs]*; VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden, Germany, 2006.
31. Zion, M.; Mendelovici, R. Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *SEI* **2012**, *23*, 383–399.
32. Abels, S.; Koliander, B.; Plotz, T. Conflicting Demands of Chemistry and Inclusive Teaching—A Video-Based Case Study. *Educ. Sci.* **2020**, *10*, 50. [[CrossRef](#)]
33. Asbrand, B.; Martens, M. *Dokumentarische Unterrichtsforschung [Documentary Educational Research]*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018.
34. Fühner, L.; Heinicke, S. Der Einfluss der Dinge auf die experimentellen Handlungen im Physikunterricht [The influence of things on experimental actions in the physics classroom]. In *Dokumentarische Unterrichtsforschung in den Fachdidaktiken: Theoretische Grundlagen und Forschungspraxis*; Martens, M., Asbrand, B., Buchborn, T., Menthe, J., Eds.; Springer: Wiesbaden, Germany, 2022; pp. 137–154.
35. Nohl, A.-M. *Interview und Dokumentarische Methode [Interview and Documentary Method]*; Springer: Wiesbaden, Germany, 2017.
36. Przyborski, A. *Gesprächsanalyse und Dokumentarische Methode [Conversation Analysis and Documentary Method]*; VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden: Wiesbaden, Germany, 2004.
37. Olschewski, P.; Herzmann, P.; Schlüter, K. Forschendes Lernen im Lehramtsstudium Biologie. Dokumentarische Rekonstruktionen studentischer Experimentierprozesse [Inquiry-based learning in biology teacher training. Documentary reconstructions of students' experimentation processes]. *ZfDN* **2023**, *29*, 2. [[CrossRef](#)]
38. Sonnenschein, I.; Koenen, J.; Tiemann, R. Wissenschaftliches Denken von Lehramtskandidaten—Eine explorative Studie im Fach Chemie [Scientific reasoning of teacher candidates—An exploratory study in chemistry]. In *Fachdidaktische Forschung in der Lehrerbildung*; Leuders, T., Christophel, E., Hemmer, M., Korneck, F., Labudde, P., Eds.; Waxmann: Münster, Germany, 2019; pp. 213–225.
39. Roehrig, G.H.; Luft, J.A. Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *Int. J. Sci. Educ.* **2004**, *26*, 3–24. [[CrossRef](#)]
40. Schlüter, K. Forschendes Lernen – Weshalb es wichtig ist und wie es sich in der Lehramtsaus- und -fortbildung umsetzen lässt [Inquiry-based learning – Why it is important and how it can be implemented in pre- and in-service teacher training]. In *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019; pp. 289–306.
41. Franco, A.; Malhotra, N.; Simonovits, G. Publication bias in the social sciences: Unlocking the file drawer. *Science* **2014**, *345*, 1502–1505. [[CrossRef](#)]
42. Ferguson, C.J.; Heene, M. A Vast Graveyard of Undeal Theories: Publication Bias and Psychological Science's Aversion to the Null. *Perspect. Psychol. Sci.* **2012**, *7*, 555–561. [[CrossRef](#)]
43. Nosek, B.A.; Ebersole, C.R.; DeHaven, A.C.; Mellor, D.T. The preregistration revolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2018**, *115*, 2600–2606. [[CrossRef](#)]

44. Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation). FAQ: Information from the Humanities and Social Sciences. Available online: https://www.dfg.de/foerderung/faq/geistes_sozialwissenschaften/index.html (accessed on 1 March 2023).
45. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA* **2013**, *310*, 2191–2194. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the Protection of Natural Persons with Regard to the Processing of Personal Data and on the Free Movement of Such Data, and Repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679&from=EN> (accessed on 13 April 2023).

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Anhang C

Liste der bereitgestellten Experimentiermaterialien

- 8 Kartoffeln (verschiedener Größe)
- 4 große Bechergläser
- 5 mittelgroße Bechergläser
- 4 kleine Bechergläser
- 1 Reagenzglashalter
- 2 Thermometer
- 4 Pasteurpipetten & Sauger
- 2 Messzylinder
- 4 Spatel
- 1 Messlöffel
- 3 Glasrührstäbe
- 2 Lineale
- 1 Messpipette
- 2 Peleusbälle
- 1 Bleistift
- 1 Stift (Marker)
- 1 Reagenzglasständer
- 8 Reagenzgläser
- 4 Erlenmeyerkolben
- 2 Messer
- 2 Schneidebretter
- 1 Waage
- 1 Heizplatte
- 2 Spritzflaschen mit VE-Wasser
- 1 großes Becherglas mit VE-Wasser
- Kochsalz
- 1 Paar Hitzehandschuhe
- 1 Stoppuhr
- 1 Rührfisch
- 1 Rührfischangel
- 1 Pinzette
- 3 Kugelschreiber
- Schreibpapier (Blankobögen)
- Zucker
- Papiertücher

Anhang D

Transkriptionsregeln

Richtlinien der Transkription von Texten: TiQ (Talk in Qualitative Social Research)
(vgl. z. B. Bohnsack, 2014)

Abkürzungen:

L	Beginn einer Überlappung bzw. direkter Anschluss beim Sprecherwechsel
┘	Ende einer Überlappung
(.)	Pause bis zu einer Sekunde
(2)	Anzahl der Sekunden einer Sprechpause
nein	betont (unterstrichen)
nein	laut (fett geschrieben) in Relation zur üblichen Lautstärke des/r Sprechers/in
°nee°	sehr leise (in Relation zur üblichen Lautstärke des Sprechers/der Sprecherin)
.	stark sinkende Intonation (Punkt)
;	schwach sinkende Intonation (Strichpunkt)
?	stark steigende Intonation (Fragezeichen)
,	schwach steigende Intonation (Beistrich / Komma)
viellei-	Abbruch eines Wortes
oh=nee	Wortverschleifung
nei::n	Dehnung, die Häufigkeit vom : entspricht der Länge der Dehnung
(doch)	Unsicherheit bei der Transkription, schwer verständliche Äußerungen
()	unverständliche Äußerungen, die Länge der Klammer entspricht etwa der Dauer der unverständlichen Äußerung
((stöhnt))	Kommentare bzw. Anmerkungen zu parasprachlichen, nicht-verbalen oder gesprächsexternen Ereignissen; die Länge der Klammer entspricht im Falle der Kommentierung parasprachlicher Äußerungen (z. B. Stöhnen) etwa der Dauer der Äußerung. In vereinfachten Versionen des Transkriptionssystems kann auch Lachen auf diese Weise symbolisiert werden. In komplexeren Versionen wird Lachen wie folgt symbolisiert:
@nein@	z.B. lachend gesprochenes „nein“
@(.)@	kurzes Auflachen
@(3)@	3 Sekunden Lachen