

1 Einleitung

Wie Lernende mit Lernmaterial umgehen, das ihnen gegeben wird, ist ein zentrales Thema für Lehrende: ohne entsprechende Reaktionen verfehlt selbst die noch so gut durchdachte Lernumgebung ihr Ziel. In der vorliegenden Arbeit werden Bearbeitungsprozesse von Lernenden beleuchtet, die fachmethodische Instruktion bearbeiten, sie sollen Kompetenzen zu naturwissenschaftlichen Fachmethoden aufbauen.

Verortung der Arbeit und Eingrenzung des Gegenstands

Naturwissenschaftliche Methoden hatten immer wieder eine wesentliche Bedeutung in Legitimationsüberlegungen für Physikunterricht (ersichtlich beispielsweise aus Kircher et al., 2015, S. 19–21; Litt, 1952; Tesch, 2005; Wagenschein, 1995, S. 98–111). Theodor Litt (1952) sah in der richtig verstandenen und eingeordneten naturwissenschaftlichen Methode beispielsweise ein Argument für die »Nichtigkeit aller der Einwände, die den Wahrheitswert und den Lebenswert der mathematischen Naturwissenschaft fraglich zu machen bestimmt sind« (S. 487). Auch wenn heutzutage weitgehend Konsens darüber vorliegt, dass es *die* naturwissenschaftliche Methode nicht gibt (z. B. Höttecke & Rieß, 2015; Osborne, 2014; oder Gehlen, 2016, S. 32, die insbesondere auf Lederman et al., 2002, S. 501, verweist),¹ stellt (fach)methodisches Vorgehen des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens auch weiterhin einen wesentlichen Teil von Legitimationsüberlegungen zum Lehren und Lernen von Naturwissenschaften dar (vgl. Crawford, 2014; Fischer, 1998; Gräber et al., 2013; KMK, 2005; Lehrer & Schauble, 2015; OECD, 2016; Rehm et al., 2008; Zimmerman & Klahr, 2018). Eine weit verbreitete Annahme ist beispielsweise, dass eine »kritische Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden [uns ermöglicht], als mündige Bürger an unserer hoch technologisierten Gesellschaft zu partizipieren« (Schmidt, 2016, S. 1, die u. a. auf Bybee, 1997, verweist). Unterschiedliche Legitimationsüberlegungen

¹Die zitierte Literatur entstammt bewusst der fachdidaktischen Forschung. Insbesondere in der stärker aus Richtung der Psychologie kommenden Literatur ist es geläufig von »the scientific method« zu sprechen (z. B. Lorch et al., 2010, S. 90); inwiefern dadurch allerdings eine uniforme experimentelle Methode impliziert ist, ist im jeweiligen Einzelfall zu untersuchen und nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Auch die viel generellere Frage, inwiefern es theoretische oder praktische Uniformität im naturwissenschaftsmethodischen Vorgehen gibt, kann in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt werden, da sie ein zu großes Feld darstellt (siehe etwa Chalmers, 2001).

1 Einleitung

rekurrieren häufig und auf verschiedene Weise auf naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten; daher ist es kaum verwunderlich, dass es ein wichtiger Bestandteil von Bildungsvorgaben für naturwissenschaftliche Fächer ist (z. B. Abd-El-Khalick et al., 2004; Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority [ACARA], 2015; Department for Education [DfE], 2013; KMK, 2004, 2005; NGSS Lead States, 2013) sowie einen Schwerpunkt von naturwissenschaftsdidaktischer Forschung darstellt (z. B. Emden, 2011; Nehring, 2014; Rönnebeck et al., 2016; Zimmerman, 2007).

Experimentbezogenes naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten (nachfolgend verkürzt: experimentbezogenes Denken und Arbeiten) stellt einen Teil des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens dar, der auf den Einsatz von Experimenten und Versuchen in den Naturwissenschaften bezogen ist (siehe bspw. Vorholzer, 2016; mehr in Kapitel 2). Das Experiment ist ein zentraler Erkenntnisweg, eine zentrale (Fach-)Methode, der Naturwissenschaften (vgl. Arnold et al., 2017, Fußnote 1; sowie Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Ostlund, 1998; Rieß et al., 2012). Außerdem sind viele Aspekte des experimentbezogenen Denkens und Arbeitens auch für andere naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen relevant. Beispielsweise ist das Formulieren von präzisen naturwissenschaftlichen Fragen nicht nur für das Experimentieren von Bedeutung, sondern auch für die naturwissenschaftliche Arbeitsweise des Beobachtens zentral (Arnold et al., 2010; Kohlauf et al., 2010; Ostlund, 1998). Es liegt daher nahe, dass insbesondere experimentbezogenes Denken und Arbeiten häufig und auf vielfältige Weise hinsichtlich seiner Bedeutung im Naturwissenschaftsunterricht beleuchtet wird (Übersichten z. B. in Furtak et al., 2012; Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Lazonder & Harmsen, 2016; Rieß & Robin, 2012; Rönnebeck et al., 2016; Zimmerman, 2007; Zimmerman & Klahr, 2018). Neben der weltweit untersuchten Gestaltung und Wirksamkeit vom am Experimentieren orientierten sogenannten forschenden Lernen (*inquiry-based learning*, z. T. auch *inquiry-based teaching*, manchmal auch unter dem Namen entdeckendes Lernen; beispielhaft seien nur einige Quellen zitiert: Alfieri et al., 2011; Dobber et al., 2017; Furtak et al., 2012; OECD, 2016) ist dabei im deutschsprachigen Raum in den letzten Jahren vor allem Forschung zur Modellierung und Erfassung zugehöriger Kompetenzen dominant (z. B. Gehlen, 2016; Gut, 2012; Krell, 2018; Schecker et al., 2016; Schreiber et al., 2014; Vorholzer et al., 2016, z. T. sind umfassende Verweise auf weitere Literatur enthalten), es finden sich allerdings auch zunehmend Studien zu Förderung und Aufbau von entsprechenden Kompetenzen (z. B. Arnold et al., 2017; Hild et al., 2020; Nehring et al., 2016; Ropohl & Scheuermann, 2018; Schmidt, 2016; Strippel, 2017; Vorholzer, 2016).

Problemaufriss

Bezüglich des *Kompetenzaufbaus zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten* sind bisher vorrangig Forschungsarbeiten zur Wirksamkeit von Lernumgebungen vorhanden (international wie national; systematische Übersichten finden sich nur sehr wenige, worauf bspw. Strippel, 2017, S. 19, hinweist; für weitere Literatur siehe einzelne Abschnitte der Quellen im vorigen Absatz, insbesondere Lazonder & Harmsen, 2016, und Rieß et al., 2012, sowie ausführlicher in Kapitel 2). Dabei wird gewissen Merkmalen von Instruktion – wie beispielsweise dem instruktionalen Informieren über Konzepte des experimentbezogenen Denkens und Arbeitens – (tentativ) zugeschrieben, dass sie für den Kompetenzaufbau ausschlaggebende Faktoren sind.² Derartige Schlussfolgerungen so empirisch abzusichern und zu kommunizieren, dass sie z. B. als allgemeine Basis für Unterrichtsplanung oder -durchführung dienen können, ist allerdings mit mannigfaltigen Schwierigkeiten verbunden, unter anderem:

Vergleichbarkeit von bereits untersuchten Instruktionen. In unterschiedlichen Studien eingesetzte Instruktionen, bei denen zunächst davon ausgegangen wird, dass sie hinsichtlich des als relevant angesehenen Merkmals vergleichbar seien, unterscheiden sich – aus guten Gründen sowie vermutlich auch aufgrund persönlicher Prägungen und Präferenzen derjenigen, die die Instruktion konstruiert haben – häufig hinsichtlich vielfältiger anderer Gestaltungsdimensionen.³ Diese Vielfalt kann selbst zum Gegenstand von Forschung oder gar brauchbar für Lehrkräfte gemacht werden; sie kann allerdings in der Forschung auch zu inkonklusiven oder widersprüchlichen Ergebnissen führen. Unter den Instruktionen,

²Etwas deuten Kalthoff et al. (2018) an, dass sie es als übliches Vorgehen ansehen, der Explizitheit explizit-fachmethodische Instruktion Effektivität zuzuschreiben, wenn sie schreiben: »Thus, the results of the meta-analysis concerning the efficacy of demonstrations and cognitive conflicts cannot be ascribed unambiguously to explicitness« (S. 1308). In ähnlicher Weise vermuten Rönnebeck et al. (2016) Einfluss expliziter Adressierung von Aspekten der Natur der Naturwissenschaften und metakognitiven Aspekten. Als weiteres Beispiel kann dienen, dass Kuhn et al. (2017) vermuten, dass die spezifische Anlage der eingesetzten Prompts das zentral relevante Merkmal der von ihnen vorgenommenen Intervention ist: »[I]t is impossible to be sure which specific components of a multicomponent experience were most critical to its outcomes. Our conjecture, however, is that a key factor was the emphasis during the intervention on counterargument and evidence to weaken claims (›Suppose someone disagrees with you ...‹)« (S. 248).

³Außerdem ist es durchaus möglich, dass Instruktionen, bei denen aufgrund der Beschreibungen in den Forschungsartikeln zunächst davon ausgegangen werden muss, dass diese nicht vergleichbar sind, vergleichbar sind (eventuell sogar besser als zunächst als vergleichbar angenommene Instruktionsansätze). Es ist beispielsweise gut denkbar, dass Studien aus dem Bereich der *Worked Examples*, die möglicherweise ohne Bezug zum Vergleich von explizit-fachmethodischen und implizit-fachmethodischen Instruktionsansätzen sind, stärkere Vergleichbarkeit mit einigen explizit-fachmethodischen Instruktionsansätzen aufweisen als andere als explizit-fachmethodisch designierte Instruktionsansätze. Vergleichbare Ausführungen zu einander ähnlichen Realisierungen von Prompts, Heuristiken etc. finden sich bei Lazonder und Harmsen (2016, S. 686–687).

1 Einleitung

die in der Forschungslandschaft den sogenannten *expliziten Instruktionsansätzen* zugeordnet werden, weil in ihnen die adressierten Konzepte instruktional expliziert werden, finden sich auch Studien zu Instruktionen, die auf die Variablenkontrollstrategie bezogen sind – und die in der Terminologie der vorliegenden Arbeit zu den *explizit-fachmethodischen Instruktionsansätzen* gezählt werden, weil die Variablenkontrolle ein Bestandteil von naturwissenschaftlichen Fachmethoden ist.⁴ Für diese explizit-fachmethodischen Instruktionen zur Variablenkontrolle zeigen Kalthoff et al. (2018) große Varianz in den vorzufindenden Realisationen auf; sie können mindestens hinsichtlich vier Aspekten differenziert werden: (a) Werden die genannten Konzepte auch erklärt? (b) Werden Positiv- und Negativbeispiele zu den Konzepten gegeben? (c) Sollen die Konzepte angewendet und im Nachgang reflektiert werden? (d) Wird versucht, kognitive Konflikte hervorzubringen? Die im zitierten Forschungsartikel vorgestellten Studien weichen bezüglich dieser Merkmale deutlich voneinander ab.

Neben den Abweichungen hinsichtlich anderer Gestaltungsdimensionen finden sich in eigenen Sichtungen davon, wie in explizit-fachmethodischen Instruktionsansätzen die Konzepte instruktional expliziert werden, d. h. wie die Informationen gegeben werden, (laut berichtenden Forschungsartikeln, die nur zu geringen Teilen konkrete Einblicke in die genaue instruktionale Information geben; vgl. u. a. Rönnebeck et al., 2016, S. 166) zudem deutliche Unterschiede darin, wie die instruktionalen Informationen realisiert werden. Diese weichen hinsichtlich vieler Aspekte voneinander ab, wie beispielsweise Textlänge, Visualisierung, Strukturiertheit, sprachliche Schwierigkeit. Ferner werden beispielsweise auch solche instruktionalen Informationen, die für sich genommen gut vergleichbar sind, in unterschiedlichen Realisationen explizit-fachmethodischer Instruktionsansätze zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Instruktionen gegeben. Selbst eine konklusive Befundlage würde daher nicht notwendigerweise ausreichend Hinweise darauf liefern, inwiefern die genaue Umsetzung des Gestaltungsmerkmals für die Effektivität der je spezifischen Realisation des Instruktionsansatzes relevant ist.

⁴Explizite Instruktionsansätze können in Bezug auf verschiedene Inhalte explizit sein (z. B. das Konzept der Variablenkontrolle, das Ohmsche Gesetz, den Energieerhaltungssatz; siehe z. B. die verschiedenen Studien, die von Alfieri et al., 2011 in die Metaanalysen einbezogen werden). Im Kontext des experimentbezogenen Denkens und Arbeitens wird unter dem Begriff der expliziten Instruktion zumeist eine in Bezug auf spezifische Fachmethoden explizite Instruktion verstanden, was in der vorliegenden Arbeit durch die Begriffswahl *explizit-fachmethodische Instruktion* explizit gemacht wird. Allerdings ist auch dieser Begriff mit Einschränkungen verbunden, da zum einen Fachmethoden mehr umfassen als das experimentbezogene Denken und Arbeiten und zum anderen durch den Begriff nicht beschrieben wird, welche Konzepte des experimentbezogenen Denkens und Arbeitens instruktional expliziert werden. Für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Instruktionsvarianten finden sich daher in Kapitel 4 Listen aller instruktional explizierten Konzepte.

Es ist nachvollziehbar, dass ein hochkomplexes Feld wie das (der Förderung) des Kompetenzaufbaus zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten zunächst basierend auf allgemeineren Studien erkundet wird und erst nach und nach einzelne Merkmale isoliert werden (wie bspw. der Zeitpunkt des instruktionalen Informierens, siehe Matlen & Klahr, 2013);⁵ selbst bei optimistischem Ausblick scheint allerdings eine nachträgliche Analyse verschiedener in den Studien eingesetzter Instruktionen noch in weiter Ferne zu liegen (und von einer an einem gemeinsamen Instruktionsraster entlang forschenden Community soll hier gar nicht die Rede sein), mindestens aus dem Grund, dass die Realisationen der Instruktionsansätze grundsätzlich nur sehr knapp beschrieben werden und auch die eingesetzten Instruktionsmaterialien meistens nicht zugänglich sind oder sie kaum Aufschlüsse geben, weil die genaue instruktionale Realisation erst im Zusammenspiel mit der umsetzenden Lehrkraft entsteht.

Konstruktion von Instruktionsvarianten, die ein spezifisches Merkmal variieren. Selbst in einer dezidiert auf Forschung angelegten Instruktionkonstruktion ist es in manchen Fällen kaum möglich, nur eines der instruktionalen Merkmale zu variieren und alle anderen zu kontrollieren. Soll beispielsweise der Frage nachgegangen werden, ob Erläuterungen ein für den Kompetenzaufbau wesentlicher Bestandteil instruktionaler Informationen sind, ergeben sich mehrere Probleme. Zum einen scheint sich das bloße Nennen von Konzepten zum Teil kaum vom Erläutern unterscheiden zu lassen. Es ist beispielsweise nicht klar, ob der Satz »Alle anderen Faktoren müssen konstant gehalten werden« eine Erläuterung oder eine Nennung eines Konzepts ist. Und manche Konzepte können Erläuterungen anderer Konzepte sein: das soeben genannte Beispiel könnte eine Erläuterung der Variablenkontrollstrategie sein, die allgemeiner so als Konzept formuliert werden kann, dass in einer Untersuchung möglichst nur die Variable verändert werden sollte, deren Einfluss überprüft werden soll (für diese Formulierung siehe Vorholzer, 2016, basierend auf Gott et al., 2015). Zum anderen könnte es sein, dass die Relevanz von Erläuterungen darin besteht, dass sie eine notwendige Voraussetzung zur Anwendung und Übung in späteren Kontexten

⁵Die in Kapitel 2 gegebenen Einblicke in den Stand der Forschung illustrieren gut, dass bereits mit den hier in der Einleitung als eher allgemein bezeichneten Studien tiefgehende und weitreichende Erkenntnisse gewonnen werden konnten (beispielsweise, dass stärker vorstrukturierende Instruktionsansätze im Mittel auch für Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten effektiver sind als weniger stark vorstrukturierende Ansätze). Daher sind die Ausführungen in den Aufzählungspunkten nicht im Sinne eines Forschungspessimismus zu lesen und die bereits generierten Ergebnisse sollen nicht in Abrede gestellt werden. Vielmehr wird die Systematisierung von Ergebnissen aus verschiedenen Studien kritisch beleuchtet, um den Beitrag der vorliegenden Arbeit herauszustellen.

1 Einleitung

darstellen. Die Anwendungs- und Übungskontexte müssen aber notwendigerweise für Instruktionsvarianten ohne Erläuterungen zu den Konzepten anders konzipiert sein als es für Instruktionsvarianten mit Erläuterungen möglich und passend und vermutlich intuitiv naheliegend der Fall wäre. Die Entfaltung der Bedeutung von Erläuterungen ist daher ggf. durch andere Merkmale von Instruktion bedingt.

Im gegebenen Beispiel zur Konstruktion von Instruktionsvarianten, bei denen gezielt das Merkmal des Gebens von Erläuterungen variiert werden soll, lässt sich sicherlich ein besserer Weg zur Instruktionskonstruktion finden als dem Autor der vorliegenden Arbeit aktuell bewusst ist. Der generelle Punkt bleibt jedoch bestehen, dass nämlich eine Konstruktion von mehreren Instruktionsvarianten, aus denen sich durch bloßes Vergleichen der erzielten Kompetenzzuwächse auf die Bedeutung spezifischer instruktionaler Elemente schließen lässt, ein kompliziertes, vermutlich häufig nicht mögliches Unterfangen darstellt.⁶

(Potentieller) Beitrag der Arbeit

Ein naheliegender Umgang mit dem geschilderten Problem der Isolierung spezifischer Instruktionsmerkmale besteht darin, die Bearbeitung der Instruktion durch Lernende daraufhin zu untersuchen, inwiefern möglichst gut vergleichbar angelegte Instruktionen tatsächlich vergleichbar bearbeitet werden und inwiefern die gezielt variierten Merkmale zu unterschiedlichem Handeln und Denken der Lernenden bei der Bearbeitung führen. Selbst wenn es in einem konkreten Fall gelingen sollte, variablenkontrolliert ideal vergleichbare Instruktionen anzulegen (oder posthoc aus Studien zu extrahieren), wovon kaum auszugehen ist, blieben die Fragen nach der Vergleichbarkeit der Bearbeitungsprozesse und nach den durch die gezielt variierten Merkmale induzierten Unterschieden im Denken und Handeln bei der Bearbeitung der Instruktion relevant: Antworten darauf könnten einen Beitrag dazu leisten, aufzuklären, wie die untersuchten Merkmale zum Kompetenzaufbau beitragen und worin genau das den Kompetenzaufbau förderliche Element besteht (und worin nicht).

Anhand zweier Beispiele wird nachfolgend illustriert, dass durch die Untersuchung des in der Instruktionsbearbeitung vollzogenen Denkens und Handelns der Lernenden ein wesentlicher Beitrag bezüglich weiterer (zumindest implizit) in der Forschungs-

⁶Selbst wenn eine derartige Konstruktion logisch möglich ist, sind real von den Forschenden weitere Faktoren wie beispielsweise ethische Aspekte oder die Konsequenzen der (potentiellen) Interpretationen als Aspekt von Validität (vgl. Messick, 1995) zu bedenken, die dazu führen, dass Abstriche in der Vergleichbarkeit gemacht werden.

landschaft zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten aufgeworfener Fragen geleistet werden kann:

- In vielen Studien zur Förderung von Kompetenzen zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten werden *Prompts* oder Hinweise gegeben. Diese Prompts sollen Lernende unter anderem dazu anregen, (anders) über Fachmethoden nachzudenken und ggf. Selbsterklärungen zu generieren, denen lernförderliche Wirkung zugeschrieben wird (z. B. Koenen, 2014; Lin & Lehman, 1999; und vergleichbar, aber etwas allgemeiner gefasst Renkl, 2002; Renkl & Schworm, 2002). In empirischen Studien konnte gezeigt werden, dass derartige Unterstützungsmaßnahmen sowohl die Experimentierprozesse verbessern als auch zu größeren Kompetenzzuwächsen zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten führen (z. B. Großmann & Wilde, 2019; Zhang et al., 2015). Grundsätzlich wird dabei auch in den Blick genommen, wie die Lernenden die Prompts und Unterstützungsmaßnahmen nutzen. So untersuchen Arnold et al. (2016) beispielsweise die schriftlich notierten Antworten der in Kleingruppen arbeitenden Lernenden und schließen daraus, dass nur in etwa 64 % der Fälle Bezug zu Gütekriterien des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens hergestellt wurde. Worüber Lernende bei der Bearbeitung von Prompts sprechen und wie die Lernförderlichkeit von Prompts mit der tatsächlichen Nutzung einhergeht, bleibt jedoch mit Bezug auf das experimentbezogene Denken und Arbeiten bisher häufig offen;⁷ beispielsweise schreibt Koenen (2014) in der Diskussion der Ergebnisse:

[Es zeigt sich, dass] Schülerinnen und Schüler, die die Prompts als hilfreich empfunden haben, im Post-Test höhere Mittelwerte erreichten als diejenigen, die angegeben haben, die Lösungshinweise als nicht hilfreich empfunden zu haben. Dies könnte darauf hinweisen, dass Schülerinnen und Schüler, die die Lernhinweise als hilfreich empfinden, diese auch tiefergehend bearbeiten, dadurch mehr Selbsterklärungen generieren und so einen höheren Lernerfolg erzielen. (S. 106)

Ob die jeweiligen Lernenden die Prompts tatsächlich tiefergehend bearbeitet haben und (dadurch) mehr Selbsterklärungen generiert haben, ist für die voll-

⁷Für fachinhaltliche Kompetenz siehe bspw. die richtungweisende und fassettenreiche Publikation von Chi et al. (1994) zu Inhalten der Biologie und als dt. Überblick Rabe und Mikelskis (2007).

1 Einleitung

zogene Umsetzung der Fördermaßnahme allerdings unklar.⁸ Auch Arnold et al. (2016) erwähnen die Notwendigkeit weiterer Analysen, bspw. unter Hinzunahme von Videoaufzeichnungen. Analysen des Handelns und Denkens von Lernenden bei der Bearbeitung von Instruktion könnten genauere Aufschlüsse darüber geben, wie stark die Lernenden auf Fachmethoden eingehen und ob sie z. B. Selbsterklärungen generieren.⁹

- Eingangsvoraussetzungen der Lernenden wie fachmethodische Kompetenzen oder fachinhaltliche Kompetenzen scheinen einen Faktor für den Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten darzustellen. Beispielsweise finden sich Unterschiede in der Wirksamkeit explizit-fachmethodischer und implizit-fachmethodischer Instruktionsansätze für Lernende mit guten und schlechten fachmethodischen Eingangsvoraussetzungen (Details in Unterunterabschnitt 2.4.2.4, ab S. 37). Einige Überlegungen zu Eingangsvoraussetzungen scheinen durch Analysen von Bearbeitungsprozessen deutlich Erhellung erfahren zu können. Etwa formuliert Zimmerman (2007) die Vermutung, dass »domain knowledge may serve to draw attention to the functional effect of the experimental manipulation, and therefore influence the choice of experimental design.« (S. 179). Wie trägt die bereits vorhandene fachinhaltliche Kompetenz dazu bei (oder wie hindert sie), Kompetenzen zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten situativ zu entfalten und/oder situationsübergreifend aufzubauen? Analysen zum Denken und Handeln von Lernenden bei der Bearbeitung von Instruktion könnten unter anderem Aufschluss darüber geben, wann und wie umfangreich auf Fachinhalte Bezug genommen wird.

Interessanterweise findet Vorholzer (2016) entgegen der sonst eher typisch erscheinenden Befunde keinen Einfluss der fachmethodischen und fachinhaltlichen Eingangsvoraussetzungen auf den fachmethodischen Kompetenzzuwachs. Er erklärt dies dadurch, dass die von ihm konzipierte und eingesetzte Instruktion viele bzw. ausreichend Gelegenheiten zum (Wieder-)Entdecken der adressierten fachmethodischen Konzepte gibt (Vorholzer, 2016, S. 136–137). Ob die

⁸Bei Koenen wird allerdings von einer angegliederten Hausarbeit berichtet, in der der Umgang mit den Prompts unter anderem mit der Methode des lauten Denkens untersucht wird. Trotzdem bleibt offen, *wie* die Lernenden bei der *tatsächlichen Bearbeitung der Fördermaßnahme* die Prompts genutzt haben (unter anderem, weil andere Lernende untersucht wurden und dafür zusätzlich die Methode des lauten Denkens genutzt wurde).

⁹Schmidt-Weigand et al. (2009) fragen in einem Ausblick einer Studie zu Prompts, die auf experimentelle Strategien bezogen sind, ebenfalls: »How strong do learning times vary across students? Do students adapt the progression in a reasonable way? How is learning in a dyad influenced by the learning partner? Those [subsequent] studies may also explore individual differences in the use of incremental presentation and prompts.« (S. 137). Weitere Beispiele aus der Forschungsliteratur könnten aufgezählt werden.

Konzepte von den Lernenden tatsächlich (wieder-)entdeckt wurden, lässt sich allerdings nur durch Analysen der Bearbeitungsprozesse nachgehen. Würden Lernende wiederholt Bezug auf fachmethodische Konzepte nehmen, so könnte die Vermutung von Vorholzer (2016) empirisch ein Stück besser abgesichert werden.

Erkenntnisse zum Denken und Handeln von Lernenden bei der Bearbeitung von Instruktion können nicht nur, wie bisher herausgestellt, mit Blick auf Wirkmechanismen von Fördermaßnahmen einen Beitrag im Forschungsfeld zum Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten leisten. Sie können auch erste Ausgangspunkte für Forschung zu Prozessen des Kompetenzaufbaus darstellen, also dazu, wie sich das (kompetenzbezogene) Denken und Handeln von Lernenden im zeitlichen Verlauf verändert, und somit Hinweise auf Entwicklung von beispielsweise Fähigkeiten und Vorstellungen im zeitlichen Verlauf liefern. Solche Erkenntnisse könnten dann wiederum einen Beitrag zur Formulierung von Modellen der Lernprogression und damit auch zur adaptiven (ggf. auf die Lernprogressionen angepassten) Förderung leisten.

Aufbau der Arbeit

Ausgehend vom Stand der Forschung (die Einleitung ergänzend und vertiefend in Kapitel 2 ausgeführt) wird das Ziel verfolgt, Hypothesen zum Kompetenzaufbau der Lernenden, zu Wirkmechanismen von Instruktionen und zu Prozessen des Kompetenzaufbaus zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten abzuleiten (detaillierter in Kapitel 3). In der vorliegenden explorativen Arbeit wird das Denken und Handeln anhand der Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung einer explizit-fachmethodischen und einer dazu parallel angelegten implizit-fachmethodischen Instruktionsvariante (dargestellt in Kapitel 4) in den Blick genommen. Dazu werden Videoaufzeichnungen mithilfe qualitativ-inhaltsanalytischer Verfahren untersucht sowie statistische und inhaltliche Verknüpfungen mit Vor- und Nach-Erhebungen zu Kompetenzen der Lernenden vorgenommen. Das methodische Vorgehen und die zugehörigen Ergebnisse sind jeweils in Kapitel 5 (Aktivitäten) und Kapitel 6 (Vorstellungen) dargestellt und im Detail diskutiert. In Kapitel 7 werden die Ergebnisse aus diesen beiden Kapiteln zusammengeführt und vor dem Hintergrund von ausgewählten Methoden, Befunden und Diskursen aus der Forschung diskutiert, um die Schlussfolgerungen der Arbeit zu bewerten und Hypothesen und Desiderata abzuleiten. Kapitel 8 beinhaltet ein kurzes Résumé der Arbeit.

2 Theoretische und empirische Grundlagen der Arbeit

Wie eine Untersuchung von Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten gestaltet wird, hängt wesentlich davon ab, welche Gründe es für die Untersuchung gibt und wie die Begrifflichkeiten *Kompetenzen zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten* und *Kompetenzaufbau* gefasst werden. In dem vorliegenden Kapitel wird der Stand der Forschung zum Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten entlang dieser beiden Begrifflichkeiten zusammengefasst. Anhand der Begrifflichkeit *Kompetenzen zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten* wird zunächst der Forschungsgegenstand eingegrenzt, indem eine Entscheidung für eine spezifische Ausdeutung von experimentbezogenem Denken und Arbeiten (Abschnitt 2.1) sowie für eine spezifische Modellierung zugehöriger Kompetenzen getroffen wird (Abschnitt 2.2, ab S. 13). Daran anschließend wird der Kompetenzaufbau in den Blick genommen, indem theoretische Überlegungen in eine Systematik integriert werden (Abschnitt 2.3, ab S. 21) und dann bisherige Befunde zum Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten zusammengefasst werden (Abschnitt 2.4, ab S. 25).

2.1 Kompetenzen zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten als Ziele von Unterricht

Experimentbezogenes Denken und Arbeiten¹⁰ stellt sowohl eine umfangreich untersuchte *instruktionale Methode* zur Förderung von naturwissenschaftlichen Kompetenzen als auch einen in der Forschung und in Bildungsvorgaben betonten *Gegenstand des Lernens* im Naturwissenschaftsunterricht dar (vgl. für die Unterscheidung die Zusammenführung bei Vorholzer, 2016; zudem Strippel, 2017, und systematisiert bei Teig, im Druck für 2021). Zum einen gibt es eine breites Feld fachdidaktischer Studien zum Einsatz des experimentbezogenen Denkens und Arbeitens als Unterrichtsmethode und zu zugehörigen Effekten (Übersichten finden sich z. B. in Alfieri et al., 2011; Börlin, 2012, S. 11; Furtak et al., 2012; Lazonder & Harmsen, 2016; Rönnebeck et al., 2016). Es geht dabei darum, die Lernenden zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten aufzufordern und sie darin anzuleiten; untersucht wird unter anderem, wie

¹⁰Experimentbezogenes Denken und Arbeiten wird als Teil des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens, der auf den Einsatz von Experimenten und Versuchen in den Naturwissenschaften bezogen ist, aufgefasst (siehe Kapitel 1 und z. B. Vorholzer, 2016).