

Professionalisierung von Studierenden des Sachunterrichts: Unterstützung von Partizipation an naturwissenschaftlicher Modellierung durch Problematisierung

*Ein Bildungsziel des Sachunterrichts ist die Partizipation aller Akteur*innen an Sinnbildungsprozessen. Eine Möglichkeit zur Förderung dieser Prozesse in der Ausbildung von Sachunterrichtsstudierenden ist das Erlernen von spezifischen Lehrpraktiken. Im Rahmen eines Seminars für die naturwissenschaftliche Perspektive des Sachunterrichts sollten diese das Problematisieren als eine solche Lehrpraktik zur Unterstützung bedeutungsvoller Partizipation an modellbasierten Untersuchungen lernen. Das Problematisieren ermöglicht es auf Grundlage eigener disziplinärer Unklarheiten und Ideen, das Verständnis von Naturphänomenen weiterzuentwickeln. In dieser Studie wurden Videos von Unterricht der Studierenden innerhalb des Seminars, sowie von den Studierenden verfasste reflexive Essays zu ausgewählten Aspekten dieses Unterrichts anhand der von Goodwin (1994) definierten Diskurspraktiken einer Professional Vision analysiert. Dabei konnten zwei Arten identifiziert werden, wie Studierende lernen zu Problematisieren. Implikationen für die Professionalisierungsprozesse der Studierenden werden diskutiert.*

1 Einleitung

Ein Bildungsziel des Sachunterrichts ist es, die Partizipation der Schüler*innen an der gemeinschaftlichen Ko-Konstruktion und Evaluation von Wissen zu ermöglichen, sodass diese selbständig ihren eigenen Fragen und Interessen an Naturphänomenen nachgehen können, um die sie umgebende Welt zu verstehen (vgl. GDSU 2013; Götz et al. 2015).

In diesem Sinne sollen Lernprozesse unterstützt werden, die die Formen der Wahrnehmung, Interpretation und Bearbeitung von Problemen und Phänomenen der (un-)belebten Welt erweitern, um so bedeutungsvolles und sinnhaftes Lernen innerhalb von Lerngemeinschaften zu fördern (vgl. Koller 2018) (siehe *sensemaking* (Sinnbildung) in der englischsprachigen Literatur (Berland & Reiser 2009; Hutchison & Hammer 2010; Odden & Russ 2019)). Innerhalb der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts sind die naturwissenschaftliche Modellierung und die auf dieser aufbauenden modellbasierten Untersuchungen (MBU) (Windschitl & Thompson 2006) zentrale Sinnbildungspraktiken für Schüler*innen.

Eine Möglichkeit, um auf die genannten (Sinn-)Bildungsziele im naturwissenschaftlichen Sachunterricht hinzuarbeiten, kann die *bedeutungsvolle Partizipation* (engl. *meaningful engagement*) an der Modellierung sein (Berland et al. 2015). Diese Art der Partizipation findet statt, wenn Schüler*innen kollektiv als epistemische Akteur*innen agieren, also ihre epistemische Arbeit während der Modellierung gegenüber anderen und gegenüber disziplinären Normen rechtfertigen und Verantwortung für die Entwicklung von Wissen und Praktiken in einer Lerngemeinschaft übernehmen (vgl. Stroupe 2014). Dabei sollen die Beteiligten auf disziplin-spezifische Lernziele hinarbeiten, die sowohl für das Klassenzimmer als auch für die wissenschaftliche Gemeinschaft bedeutungsvoll sind (Berland et al. 2015; Engle & Conant 2002; Schwarz et al. 2012). Bedeutungsvoll für die wissenschaftliche Gemeinschaft meint

hier z.B., dass das Verständnis von Aspekten naturwissenschaftlicher Kernideen (KI)¹ / Basiskonzepte sowie epistemischer Überlegungen zu Erklärungsmodellen ausgehandelt werden, um zu lernen, wie und warum die Welt funktioniert (Berland et al. 2015). Bedeutungsvoll für das Klassenzimmer wiederum heißt nicht etwa, dass alle Schüler*innen immer auf dasselbe epistemische Ziel hinarbeiten, sondern vielmehr, dass die Aktivitäten der Lerngemeinschaft – z.B. die Konstruktion eines Erklärungsmodells – so organisiert sind, dass die Schüler*innen Ziel und Zweck der Aktivität verstehen und als ausgerichtet auf die Erreichung eigener Lernziele wahrnehmen (ebd.).

Damit Sachunterrichtsstudierende ihre zukünftigen Schüler*innen darin unterstützen können, bedeutungsvoll an der Modellierung zu partizipieren, müssen sie lernen zu erkennen, inwieweit ihre Schüler*innen tatsächlich in einer gegebenen Situation als epistemische Akteur*innen partizipieren und – wenn erforderlich – epistemische Autorität (*agency*) an die Schüler*innen umzuverteilen, um *mit* ihnen zu lernen.

Der Schwerpunkt soll darauf liegen, partizipatorische und disziplinäre Normen zu etablieren, anstatt die Schüler*innen zu vorher festgelegten Antworten zu führen (vgl. Lo 2016; Stroupe 2014). Eine besondere Herausforderung in diesem Zusammenhang besteht für Sachunterrichtsstudierende darin, sich selbst, gemeinsam mit ihren Schüler*innen, als Akteur*innen der Partizipation an Modellierungstätigkeiten wahrzunehmen und zu engagieren. Dies ist häufig noch ungewohnt, und Handlungs- und Diskursroutinen müssen erlernt und erprobt werden (vgl. Fiebig & Acher 2019). Zu diesem Zweck wurde die eigene Partizipation von Sachunterrichtsstudierenden an den Modellierungspraktiken und die Förderung der Partizipation anderer an ebendiesen als ein Professionalisierungsaspekt in Form eines Seminars in das Sachunterrichtsstudium eingebracht. Hierfür fokussierten wir das Prinzip des Problematisierens (Engle & Conant 2002), dessen Ziel es ist, dass sich Lernende disziplinärer Unklarheiten bewusst werden und diese wertschätzen, eigene Ideen anderen mitteilen und letztlich die Verantwortung für ihren eigenen intellektuellen Fortschritt übernehmen (Forman et al. 2014). Etwas ist unklar, wenn auf Grundlage des aktuellen Verständnisses z.B. Phänomene oder Daten nicht oder nur bedingt erklärt werden können oder durch Interaktionen verschiedener Akteur*innen, unterschiedliche Interpretationen des selben Phänomens entstehen (Chen 2020).

Sprachlich markiert werden sie z.B. durch das Äußern von Vermutungen und Zweifeln oder das Stellen von Fragen. Inwiefern die Aushandlung der Bedeutung ebensolcher Unklarheiten und Ideen durch Problematisierung die bedeutungsvolle Partizipation von Sachunterrichtsstudierenden an MBUs fördern kann, ist noch unklar und bedarf weiterer Forschung. Im Rahmen dieser Studie soll daher die folgende Frage evidenzbasiert untersucht werden: *Wie lernen Sachunterrichtsstudierende in modellbasierten Untersuchungen (MBU) zu problematisieren, um bedeutungsvoll an diesen zu partizipieren?*

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Die naturwissenschaftliche Modellierung als Denk- Arbeits- und Handlungsweise im Sachunterricht

Das naturwissenschaftliche Modellieren wird sowohl als Praktik (Acher 2017; Schwarz et al. 2009) wie auch als Kompetenz (Krell & Krüger 2016; Upmeier zu Belzen & Krüger 2010) für die Schule konzeptualisiert. Als disziplinäre Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen des Sach-

¹ Naturwissenschaftliche Kernideen sind Ideen, die weitreichende Bedeutung in mehreren naturwissenschaftlichen oder technischen Disziplinen haben, oder ein zentrales Organisationsprinzip einer einzelnen Disziplin darstellen. Des Weiteren sind sie ein wichtiges Instrument für das Untersuchen und Verstehen von komplexen Phänomenen und die Lösung von Problemen. Sie haben einen Bezug zu den Interessen und der Lebensrealität der Schüler*innen und sind darüber hinaus über mehrere Klassenstufen hinweg lern- und lehrbar. Beispiel: Materie- und Energiekreisläufe in Ökosystemen (National Research Council 2012).

unterrichts (Acher 2017; GDSU 2013; Lange & Spreckelsen 2015) ermöglichen Modellierung und modellbasierte Untersuchungen den Schüler*innen als epistemische Akteur*innen zu handeln (vgl. Stroupe 2014).

Das Modellieren umfasst folgende vier Tätigkeiten: *Konstruktion, Verwendung, Evaluation und Überarbeitung von Modellen* (Schwarz et al. 2009), welche in ähnlicher Form, jedoch mit anderem Fokus auch in der Modellkompetenz wiederzufinden sind (Upmeier zu Belzen & Krüger 2010). Neben dieser beinhaltet das Modellieren auch vier kontextabhängige epistemische Überlegungen, anhand derer Modelle mit den Schüler*innen weiterentwickelt und verfeinert werden können. Diese Überlegungen haben zum Gegenstand, wie und warum Dinge passieren (*Mechanismen*), wie die Modelle mit anderen als dem jeweils aktuellen Phänomen in Verbindung stehen (*Allgemeingültigkeit*), wie Modelle gerechtfertigt und unterstützt werden können (*Beweise*) und wer die Modelle wie nutzt (*Adressat*innen*) (Berland et al. 2015; Schwarz et al. 2009, 2012).

Die Einbeziehung der Schüler*innen in die naturwissenschaftliche Praktik des Modellierens kann ihnen hierbei in vielerlei Hinsicht helfen, z.B. bei Aufbau von Fachwissen, epistemischem Verständnis und Expertise bei der Konstruktion und Bewertung von Wissen (Schwarz et al. 2009).

Schüler*innen sollten daher dazu ermutigt werden als epistemische Akteur*innen am naturwissenschaftlichen Modellieren zu partizipieren, anstatt nur *über* das Modellieren zu lernen (Schwarz, Passmore & Mankowski 2016).

Zur Einbeziehung der Schüler*innen in diese Praktik ist es von entscheidender Bedeutung, dass sie von ihren Lehrer*innen darin unterstützt werden, an den Tätigkeiten des Modellierens zu partizipieren, da der pädagogische Nutzen der Arbeit mit wissenschaftlichen Modellen stark davon abhängt, dass die Lernenden selbst Modelle entwickeln, um ihr eigenes Verständnis davon zu artikulieren, wie naturwissenschaftliche Phänomene beschaffen sind (Acher, Arcá & Sanmartí 2007; Schwarz et al. 2009; Windschitl, Thompson & Braaten 2008). Dennoch deuten einige Untersuchungen darauf hin, dass die Modellierung prozeduralisiert werden könnte (Baek et al. 2011; Cohen & Ball 2001), beispielweise als das Zeichnen von Bildern mit vorgegebenen Komponenten. Prozeduralisierte Praktiken laufen stets Gefahr, so wahrgenommen zu werden, dass sie dem Zweck dienen, "etwas für die Schule zu tun".

Eine Prozeduralisierung von Praktiken in bloße Routinen führt dazu, dass diese gerade nicht der Partizipation an Sinnbildungsprozessen zum Verstehen und Erklären der Welt dienen. Dies minimiert letztlich den epistemischen Wert der Praktik, da sie so zu einer dekontextualisierten Unterrichtsmethode wird (Ke & Schwarz 2019).

In einer Studie über die Partizipation an den Modellierungspraktiken weisen Forbes et al. (2019) darauf hin, dass Grundschüler*innen anhand ihnen bekannter disziplinärer Kontexte (z.B. Wassersysteme) an der Modellierung partizipierten und Sinn bildeten, in unbekanntem Themenfeldern jedoch nicht in gleichem Maße an der Modellierung partizipieren konnten.. In solchen Kontexten benötigen Grundschüler*innen häufig weitere Unterstützungen ihrer Lehrer*innen, um an den Praktiken der Modellierung zu partizipieren (ebd.). Acher, Arcá und Sanmartí (2007) beschreiben hierzu, dass eine der Hauptschwierigkeiten bei der Modellierung in den ersten Schuljahren von den Fähigkeiten der Lehrer*innen abhängt, zentrale Ideen aus dem wissenschaftlichen Konsensmodell auszuwählen und Übereinstimmungen mit den Ideen herzustellen, die von den Schüler*innen in ihren Darstellungen (Modellen) ausgedrückt werden. Weitere Studien zur Rolle der Lehrperson an der Modellierung (z.B. Lehrer & Schauble 2010; Vo et al. 2015) legen nahe, dass die Art und Weise, wie Lehrer*innen selbst im Unterricht an den Modellierungspraktiken partizipieren, bedeutende Auswirkungen auf die Modellierungspraktiken der Schüler*innen hat und darauf, ob sie das Modellieren als schulische Aufgabe oder als disziplinär bedeutungsvolle Praktik auffassen (vgl. Ke & Schwarz 2019). Die Rolle von Lehrer*innen scheint also für die Partizipation an Modellierungspraktiken im

Sachunterricht zentral zu sein. Wir, wie auch andere Autor*innen, vertreten die Ansicht, dass naturwissenschaftliche Praktiken wie die Modellierung schon im Sachunterricht während der ersten Schuljahre aktiv gefördert werden können und sollten (Lange, Forbes & Helm 2014; Schwarz et al. 2009; Vo et al. 2015; Zangori et al. 2017), um Sinnbildungsprozesse der Schüler*innen zu fördern (Acher 2017). Um solche Sinnbildungsprozesse im Sachunterricht, zu ermöglichen, bedarf es entsprechender Unterstützung in der Ausbildung von Sachunterrichtsstudierenden, damit sie lernen, gemeinsam mit ihren (zukünftigen) Schüler*innen an naturwissenschaftlichen Praktiken wie der Modellierung bedeutungsvoll zu partizipieren (Berland et al. 2015; Ke & Schwarz 2019; Windschitl et al. 2012; Windschitl & Stroupe 2017).

2.2 Die Problematisierung als Lehrpraktik zur Förderung der bedeutungsvollen Partizipation an MBUs

Ursprünglich wurde das Konzept der Problematisierung unter anderem dazu genutzt, um Partizipation in Schulklassen zu analysieren (Engle & Conant 2002). Der Kerngedanke des Problematisierens von Inhalten ist, dass Lehrende Fragen, Vorschläge, Herausforderungen und andere intellektuelle Beiträge der Lernenden ermutigen sollten, anstatt Fakten, Verfahren und andere "Antworten" einfach zu präsentieren und zu erwarten, dass sie von den Lernenden assimiliert werden (Engle & Conant 2002). Das Problematisieren ist ein Prozess in dem Lernende Unklarheiten in ihrem derzeitigen Verständnis eines Naturphänomens aufdecken und explizieren. So können sie erkennen was sie bereits herausgefunden haben (und was nicht) und können beginnen, potenzielle Lösungen zu entwickeln und tiefergehende (mechanistische) Erklärungsmodelle zu den eigenen Fragen, die sie angehen wollen, zu erarbeiten (vgl. Engle & Conant 2002; Ko 2021). Konkret könnte eine solche Problematisierung z.B. mit der Äußerung von Vermutungen, wie ein Phänomen abläuft, beginnen, woraufhin die Passung dieser zum Beobachtbaren geprüft oder weitere Vorschläge zur möglichen Erklärung gemacht werden könnten. Das Problematisieren hilft hierdurch die beiden Aspekte der bedeutungsvollen Partizipation (bedeutungsvoll die für wissenschaftliche Gemeinschaft / das Klassenzimmer) zu verknüpfen, indem die Ideen und Unklarheiten der Lernenden die Grundlage für naturwissenschaftliche Untersuchungen bilden.

Nach Fiebig und Acher (2019, S. 50) können die „Problematisierungen [...] in den Modellierungsaktivitäten vielfältig sein und unterschiedliche Ziele in der Modellierung fokussieren“. Die Gemeinsamkeit ist, dass alternative Perspektiven der Lerngemeinschaft zur Erklärung des Phänomens in den Mittelpunkt gestellt werden. So könnten z.B. sich gegenseitig ausschließende Darstellungsalternativen für Komponenten des Modells untersucht werden, um anhand dieser das gemeinsame Modell sowie das Verständnis der naturwissenschaftlichen Kernideen weiterzuentwickeln. Diese werden durch bestimmte Regeln sozialer Interaktion und des Diskurses im Klassenzimmer eingebracht, die zu erwägungsorientierten Diskussionen führen sollen, in denen die Lernenden miteinander, nicht zueinander sprechen (Blanck 2009; Engle & Conant 2002). Acher (2019) erweiterte das Prinzip der Problematisierung, indem dieses als Lehrpraktik (Grossman et al. 2009) für das naturwissenschaftliche Modellieren konzeptualisiert und in die Professionalisierung von Sachunterrichtsstudierenden eingebracht wurde. Durch diese zentrale Neuerung sollte die Partizipation an MBUs gefördert und durch Sachunterrichtsstudierende über verschiedene Lehrpläne oder Unterrichtsansätze hinweg lehr- und lernbar gemacht werden (Grossman, Hammerness & McDonald 2009). Ein solcher an wissenschaftlichen Praktiken orientierter Ansatz für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht ermöglicht es, Fortschritte an gemeinschaftlichen Aufgaben zu machen und sich entwickelnde Ziele zu erreichen (Berland et al. 2015).

Acher (2019) sowie Fiebig und Acher (2019) untersuchten in diesem Zusammenhang innerhalb eines universitären Seminarkontextes, wie Sachunterrichtsstudierende ihre eigene Partizipation an MBUs anhand der Problematisierung planten und umsetzten. Hierbei defi-

nierten die Autor*innen drei Sub-Lehrpraktiken der Problematisierung: 1. *Erzeugung von vielfältigen Ideen*, 2. *Konstruktion von alternativen Ideen* und 3. *Erwägung alternativer Ideen* (vgl. Tab. 1).

Problematisierungs-Subpraktik	Beschreibung
I. Generieren vielfältiger Ideen	Die Studierenden interagieren mit dem Phänomen, dem Material oder dem Modell und generieren dadurch vielfältige Ideen in Form von ersten Erklärungen, aber auch in Form von geäußerten Fragen und Unklarheiten. Hierbei teilen sie ihre eigenen Ideen, Interessen und Unklarheiten mit der Lerngruppe.
II. Konstruieren alternativer Ideen	Die Studierenden konstruieren oder äußern während der Entwicklung des Modells/einer Erklärung alternative Ideen zu ersten, bereits geäußerten Erklärungen. Diese können als tatsächliche alternative Erklärungen zum Ausdruck gebracht werden, aber auch in Form von Fragen erfolgen oder Unklarheiten bezüglich anderer Aspekte des Phänomens betreffen.
III. Erwägen alternativer Ideen	Studierende erwägen möglichst umfassend alle geäußerten Alternativen, und nutzen die so entstehende Vielperspektivität, um ihre Modelle und Erklärungen zu verbessern. Hierbei handeln sie den Wert von Alternativen gegenüber anderen aus und unterscheiden zwischen komplementären Ideen und sich gegenseitig ausschließenden Alternativen.

Tab. 1: Kategorisierung der Problematisierungs-Subpraktiken und Beschreibung dieser im Kontext einer MBU (nach Acher 2019; Fiebig & Acher 2019)

Diese Subpraktiken basieren unter anderem auf der erwägungsorientiert-deliberativen Pädagogik nach Blanck (2019, S. 36), der ein „kompetenter verantwortungsvoller Umgang mit Vielfalt, insbesondere mit Alternativen in Entscheidungszusammenhängen“ zugrunde liegt (Blanck 2019, S. 36). Durch diese Subpraktiken werden Unklarheiten der Studierenden sichtbar und zugleich für MBUs und die Aushandlung derselben nutzbar. Gelegenheiten für solche erwägungsorientierten Aushandlungsprozesse zu schaffen, wie etwa durch die Problematisierung, ist eine wichtige Aufgabe für Lehrer*innen im Unterricht, weshalb Sachunterrichtsstudierende das Bewältigen dieser Aufgabe erlernen und entsprechende Praktiken einüben sollen; deren erfolgreiche Bearbeitung kann die Sinnbildungsprozesse der späteren Lerngemeinschaft auf vielfältige Weise unterstützen (vgl. Windschitl & Stroupe 2017, S. 254). Die Herausforderung für Sachunterrichtsstudierende bei der Förderung von Problematisierungen in Seminaren so wie im späteren Unterricht besteht zum einen darin, bedeutungsvolle Lernsituationen zu planen, welche ein Bedürfnis bei den Lernenden hervorrufen, an der Konstruktion oder Überarbeitung ihrer naturwissenschaftlichen Erklärungen und Modelle zu partizipieren, indem sie ihr Vorwissen einbringen, ihre Ideen entwickeln, diese mit anderen vergleichen, in Frage stellen und wieder überarbeiten oder in anderen Worten: Ideenvielfalt erzeugen, Alternativen konstruieren und diese erwägen (vgl. Fiebig & Acher 2019, S. 49). Solche Problematisierungsmomente können aus der Planung der Sachunterrichtsstudierenden von MBUs und der Planung von Interaktionen innerhalb dieser, aber auch spontan aus den dynamischen Sinnbildungsprozessen der Lernenden resultieren (Ko 2021). Sachunterrichtsstudierende müssen also zum anderen verschiedene Möglichkeiten des eigenen Handelns und das der Lernenden bedenken, um die Partizipation aller Akteur*innen an den dynamischen, teils spontanen Aushandlungsprozessen während des Modellierens zu unterstützen (vgl. Fiebig & Acher 2019, S. 49).

2.3 Professional Vision

Zur Untersuchung der Forschungsfrage nehmen wir eine soziokulturelle Perspektive des Lernens ein, die im Wesentlichen besagt, dass der Ursprung von Wissen und die Prozesse der Wissensaneignung aus den sozialen und kulturellen Praktiken stammen, in denen sich die Akteur*innen bewegen. Das *was* man lernt, ist hierbei untrennbar davon, *wie* es gelernt wird

(Danish & Gresalfi 2018). Wir gehen davon aus, dass das Erlernen der Problematisierung ein solcher Prozess ist, der die Aushandlung von Bedeutungen durch gemeinsame, erwägungsorientierte Entscheidungsfindung im Diskurs beinhaltet. Diskurs bezeichnet hier das Sprechen und Handeln in einem Kontext, in dem zu einer Profession gehörende Tätigkeiten auf authentische Weise ausgeübt werden (Gunckel 2013).

Um dieses Lernen bei Sachunterrichtsstudierenden als Teil ihrer Professionalisierung zu charakterisieren, nutzen wir Goodwins (1994) Konzept einer *Professional Vision* (PV) und die dort definierten Diskurspraktiken als theoretischen Rahmen und Basis für unsere spätere Analyse. Goodwin (1994) beschreibt Professional Vision (PV) als „sozial organisierte Sicht- und Verständnisweisen von Ereignissen, die den besonderen Interessen einer bestimmten sozialen Gruppe entsprechen“ (S. 606). Hierfür nutzen Mitglieder einer Profession spezifische Diskurspraktiken: *Highlighting* (hervorheben) meint das Hervorheben oder Kennzeichnen bestimmter Aspekte eines Phänomens, wodurch diese zu Hauptaspekten in einem komplexen Feld (z.B. des Lehrens) gemacht werden. Hierzu ist es notwendig zu wissen, welche Aspekte der Tätigkeit innerhalb der Profession von Bedeutung sind (McDonald 2016). Die zweite Kategorie, *Coding* (kodieren), zielt darauf ab einem hervorgehobenen Aspekt eines Phänomens innerhalb eines spezifischen Settings Bedeutung zuzuweisen bzw. ihn zu interpretieren. *Material Representation* meint das Erstellen und Nutzen von materiellen Repräsentationen und Darstellungen (z.B. Modellen) als greifbaren Ausdruck professioneller Praktiken. In anderen Worten bedeutet eine *Professional Vision* zu entwickeln, zu lernen Phänomene im Sinne der jeweiligen professionspezifischen Bezeichnungs-, Bewertungs-, Handlungs- und Diskurspraktiken wahrzunehmen und zu untersuchen (vgl. Kern & Stövesand 2019).

Eine *Professional Vision* von Lehrer*innen umfasst daher unter anderem die Fähigkeit, wichtige Merkmale der Interaktionen im Klassenzimmer zu erkennen und zu interpretieren (McDonald 2016; Sherin & Van Es 2009). *Professional Vision*, wurde in diesem Zusammenhang verwendet, um das professionelle Lernen von angehenden und erfahrenen Lehrpersonen in der Mathematik (Sherin & Van Es 2009), in den Naturwissenschaften (McDonald 2016; Sezen-Barrie 2018; Vogt & Schmiemann 2020) und in weiteren Disziplinen der Lehrer*innenbildung (Seidel et al. 2015; Steffensky et al. 2015; Stürmer, Seidel & Schäfer 2013) zu interpretieren. Aus einer soziokulturellen Perspektive gehen wir davon aus, dass Sachunterrichtsstudierende eine *Professional Vision* in Bezug auf die Problematisierung in MBUs, durch Aushandlung von Bedeutung während der Ausübung authentischer und kontextspezifischer Lehrtätigkeiten (vgl. Goodwin 1994), entwickeln. Hierbei stellen wir uns folgende Frage:

3 Forschungsfrage

Wie lernen Sachunterrichtsstudierende in modellbasierten Untersuchungen (MBU) zu problematisieren, um bedeutungsvoll an diesen zu partizipieren?

Auf Grundlage dieses Verständnisses einer *Professional Vision* und der Modellierungspraktiken (Berland et al. 2015; Schwarz et al. 2009, 2012) wird dabei innerhalb dieser Studie untersucht, wie Sachunterrichtsstudierende in modellbasierten Untersuchungen Aspekte der biologischen Kernideen problematisieren und die epistemischen Überlegungen nutzen. Außerdem wird erfasst, inwiefern die Problematisierung bedeutungsvolle Partizipation unterstützt.

4 Methoden

4.1 Studienteilnehmende

Für diese Studie wurde ein 90-minütiges naturwissenschaftliches Seminar zur Professionalisierung von Sachunterrichtsstudierenden über die Länge eines Semesters untersucht. An diesem Seminar nahmen 17 Studierende im dritten Semester des Studiengangs Sachunterricht teil. Diese stimmten einer Videografie der Durchführung des Seminars sowie der weiteren Nutzung und Auswertung ihrer Daten im Vorfeld zu.

4.2 Designkontext

Die Studierenden planten in einem vorausgegangenem Seminar, ebenfalls über die Länge eines Semesters, eine MBU zu verschiedenen KIs / Basiskonzepten in drei vorgegebenen Lehrmomenten (LMs). Diese LMs waren: 1. Problematisierung des Phänomens durch Wahrnehmung 2. Problematisierung des Modells durch Experimente und 3. Problematisierung der Experimente in Form eines gemeinsamen Modells (vgl. Abbildung 1). Diese MBU wurde dann in einem folgenden Seminar, dem Untersuchungskontext der Studie, im Rahmen eines *Rehearsals* (Lampert et al. 2013) als *Approximation of Practice* (AoP) umgesetzt. AoPs bieten angehenden Lehrpersonen die Möglichkeit, Praktiken anzuwenden und sich in Situationen zu bewegen, die mehr oder weniger denen in ihrem zukünftigen Beruf entsprechen (Grossman et al. 2009), was ihre Professionalisierung unterstützen soll. Während der Durchführung (*Enactment*) einer solchen Unterrichtssimulation (*Rehearsal*) kann der/die verantwortliche Dozent*in an entscheidenden Punkten eingreifen und durch Rückfragen und Anregungen zur Durchführung Einfluss nehmen (Lampert et al. 2013). Hierdurch sollen im Diskurs Aushandlungsprozesse ermöglicht werden, die sinnbildend und interaktiv sowie möglichst authentisch für die Profession sind.

4.3 Seminarablauf

Der Ablauf des Seminars (siehe auch Abb. 1) erfolgte in verschiedenen Phasen. Dabei war jede*r Studierende einmal im Verlauf des Seminars Mitglied einer Leitgruppe (LG) aus fünf Studierenden, die für die Durchführung einer von ihnen geplanten MBU verantwortlich waren. Dieses *Enactment* einer MBU erfolgte zu zwei KIs/Basiskonzepten. Aufgabe der LG war es, ihre Mitstudierenden bei der Partizipation an der MBU zur Beantwortung einer spezifischen Leitfrage durch das Problematisieren im Diskurs zu unterstützen. Als Unterstützungsmaßnahme wurden dazu bereits im Planungsseminar *Talk Moves*² identifiziert.

Im Anschluss an die *Rehearsals* wurden einzelne Sequenzen der aufgenommenen Videos durch den verantwortlichen Dozenten für die nächste Phase des Seminars ausgewählt. Die Auswahlkriterien waren hierbei, dass alle Lehrmomente repräsentiert sind, initiale Potentiale für die Problematisierung erkannt wurden und die Sequenzen nicht länger als drei Minuten waren. Diese Videosequenzen wurden den Studierenden der verantwortlichen Leitgruppe auf der von der Universität genutzten online Lehr- und Lernplattform ILIAS zur Verfügung gestellt. Ihre Aufgabe war es, ihre eigenen Handlungen und die ihrer Mitstudierenden in Bezug auf die Problematisierung zu reflektieren und zu analysieren.

² *Talk moves* sind strategisch eingesetzte kurze Gesprächsanteile, mit denen die sie nutzende Person, beispielsweise die Lehrperson, die anderen Gesprächsteilnehmenden, beispielsweise die Schüler*innen, anregen möchte, auf eine bestimmte Art zu antworten oder einen bestimmten Sachverhalt oder Aspekt anzubringen und damit produktiv zu entwickeln (O'Connor & Michaels 2019). Typische Formen von *talk moves* sind das Paraphrasieren des zuvor Gesagten oder das Aufwerfen von Problemen oder Gegenbeispielen (Resnick, Michaels & O'Connor 2010).

Abb. 1: Designkontext. Gezeigt werden der Ablauf des untersuchten Seminars, die unterschiedlichen Arten von Aushandlungsprozessen sowie die zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhobenen Daten. Die für diese Studie ausgewerteten Daten sind grau hinterlegt.

<u>Seminarablauf</u>	<u>Aushandlungsprozesse</u>	<u>Datenquellen</u>
1. Planungsgespräch mit dem verantwortlichen Dozenten	kollaborativ: Leitgruppe (LG) und Dozent	Tonaufnahme des Gesprächs
2. <i>Enactment</i>: Durchführung einer modellbasierten Untersuchung im Kurs <ul style="list-style-type: none"> • 3 Lehrmomente: Problematisierung ... <ol style="list-style-type: none"> 1) ... des Phänomens durch Wahrnehmung 2) ... des ersten Modells durch Experimente 3) ... der Experimente in Form eines gemeinsamen Modells • Leitfrage: „Wie beeinflusst der Regenwurm den Boden?“ • Kernideen (KI) „KI. A: Voneinander abhängige Beziehungen im Ökosystem Boden (zwischen Regenwurm-Boden-Pflanze)“ & „KI. B: Materialkreisläufe im Ökosystem Boden“ 	kollaborativ: Kommiliton*innen in Kleingruppen & Plenum untereinander sowie mit LG	Videos
3. Reflexion/Analyse ausgewählter Videosequenzen des <i>Enactments</i>	kollaborativ: LG	Schriftl. Kommentare zu den Videosequenzen
4. Reflexionstermin mit verantwortlichem Dozenten	kollaborativ: LG & Dozent	–
5. Verfassen reflexiver Essays	individuell: Mitglieder LG	Reflexive Essays

Solche Analysen dienen der Unterstützung des eigenen Lernens und der Entwicklung einer *Professional Vision* in Bezug auf das Problematisieren (vgl. Sherin & Van Es 2009). Dazu sollte in unserem Design explizit die Kommentarfunktion der Plattform von den Studierenden genutzt werden, um eine Forumdiskussion entstehen zu lassen, in der sie die Bedeutung der Problematisierung während der Modellierung in den ausgewählten Videosequenzen aushandeln sollten. Nach einem Reflexionsgespräch mit dem Dozenten hatten die Studierenden zum Abschluss des Seminars die Aufgabe, individuell ein reflexives Essay zu schreiben und sich somit in einen individuellen Aushandlungsprozess zu begeben. Zur Entwicklung des Essays mussten sie eine Videosequenz ihrer Wahl nutzen und zur gezeigten Szene folgende Fragen beantworten: 1. Wie haben Sie sich mit Ihren Mitstudierenden in dieser Situation durch die Problematisierung produktiv an der Entwicklung eines Erklärungsmodells beteiligt? 2. Welche Potentiale gab es in der Situation, um (weitere) produktive Problematisierungen zu erzeugen?

4.4 Datenquellen und -analyse

Wir untersuchten für diese Studie die Durchführung einer MBU zu den KIs / Basiskonzepten „Voneinander abhängige Beziehungen im Ökosystem Boden“ und „Materialkreisläufe im Ökosystem Boden“ und zur Beantwortung der Leitfrage „Wie beeinflusst der Regenwurm den Boden?“. Diese Gruppe wurde für die Analyse ausgewählt, da die Studierenden dieser Gruppe die von ihnen geplanten Aspekte einer MBU in ihrem *Enactment* umsetzten, wie z.B. die Verbindungen zwischen der Kernidee, den Leit- und Teilfragen und dem Modell und da dieses *Enactment* vielfältige *Rehearsal*-Momente enthielt.

Hierfür untersuchten wir die folgenden drei Datenquellen: 1) Videos der *Rehearsals* und zugehörige Transkripte, 2) von den Studierenden der Leitgruppe als Forumsbeiträge entstandene Diskussion zu ausgewählten Videosequenzen dieser *Rehearsals* und 3) fünf individuelle reflexive Essays der Mitglieder der Leitgruppe zur eigenen Problematisierung innerhalb der *Rehearsals*. Wir fokussierten unsere Analyse auf Aushandlungsprozesse im Diskurs der Studierenden und die aus diesen entstandenen Modelle.

Professional Vision Framework / Definition Goodwin (1994)	Videos	Essays
Highlighting (HL): Hervorheben bestimmter Aspekte/Phänomene, wodurch diese in einem komplexen Feld zu einem Hauptaspekt gemacht werden.	Highlighting meint hier: Diskurs und Handlungen in denen (vielfältige) Ideen zu Aspekten des phänomenologischen Kontextes, der biologischen Kernidee oder der Modelle hervorgehoben werden. Beispiele: „ <i>Uns ist aufgefallen, dass [...]</i> “, „ <i>Ihr hattet ja gesagt, dass [...]</i> “, „ <i>Denkt ihr, dass [...]?</i> “, „ <i>Wir wissen, dass [...]</i> “	Highlighting meint hier das Identifizieren von Sequenzen aus dem Videoclip des eigenen <i>Enactments</i> , in denen zur Unterstützung der eigenen Partizipation oder der Partizipation der anderen problematisiert wurde. Highlighting meint hier außerdem das Identifizieren von Situationen mit ungenutztem Problematisierungspotential oder weiteren produktiven Problematisierungen. Beispiel: „ <i>Durch die Wahrnehmung verschiedener Bodentypen entsteht eine Vielfalt an Ideen darüber, welche Variablen Einfluss auf den Nährstoffgehalt des Bodens haben können.</i> “
Coding (C): Einem bestimmten Aspekt/Phänomen innerhalb eines spezifischen Settings Bedeutung für die Profession zuweisen.	Coding meint hier die Bedeutungszuweisung/ Interpretation des Hervorgehobenen durch Diskurs oder Handlungen, in denen alternative Ideen konstruiert oder diese Alternativen erwogen werden. Beispiele: Äußerungen, die zur Interpretationen des hervorgehobenen ansetzen: „ <i>Also [...]</i> “, „ <i>Weil [...]</i> “, „ <i>Mhm, ne [...]</i> “, „ <i>Ich würde vermuten ...</i> “	Coding meint hier, wie dem Hervorgehobenen Bedeutung zugewiesen wird, indem begründet wird, wie die Partizipation durch Problematisierungen unterstützt wurde. Coding meint hier außerdem, wie die Problematisierungspotentiale von den Lehramtsstudierenden bewertet werden. Beispiel: „ <i>Das Ziel der Problematisierung hierbei besteht darin, anhand der Materialität [...] verschiedene Meinungen zu erzeugen, welche zur Konstruktion des ersten Erklärungsmodells beitragen [...].</i> “
Material Representation (MR) Erstellen und Nutzen von materiellen Repräsentationen als greifbaren Ausdruck der Praktik.	Material Representations beziehen sich hier auf die Konstruktion oder Nutzung von Erklärungsmodellen biologischer Phänomene zur Unterstützung des Diskurses (vgl. Abbildung 2 in Tabelle 3).	Nicht vorhanden.

Tab. 2: Kategorien basierend auf dem *Professional Vision*-Rahmen nach Goodwin (1994), aufgeschlüsselt nach den verwendeten Datenquellen.

In einer ersten grobkörnigen Videoanalyse wurden 84 Minuten Videomaterial aus verschiedenen Perspektiven (Kleingruppen und Plenum) auf Schlüsselereignisse und kürzere Sub-Ereignisse (SE) hin identifiziert (Kelly & Chen 1999). Schlüsselereignisse sind Aktivitäten, die von den Studierenden initiiert, durchgeführt und interaktiv mit einem bestimmten Fokus oder Zweck verbunden werden (Green & Kelly 2019). Hier sind die Schlüsselereignisse die drei Lehrmomente, die jeweils von den Studierenden der Leitgruppe initiiert wurden. Diese wurden weiter in SEs untergliedert, die aus konzentrierten und koordinierten Handlungen der einzelnen Studierenden bestehen und einen gemeinsamen Inhalt und Aktivitätsschwerpunkt der Gruppe widerspiegeln (Green & Kelly 2019; Kelly & Chen 1999). Ein SE begann, wenn ein Aspekt der naturwissenschaftlichen KIs / Basiskonzepte in den Diskurs eingebracht wurde, wie z.B. „Luftverteilung im Boden“, und endete, wenn zu einem weiteren Aspekt der KI gewechselt wurde. Diese SEs wurden transkribiert und als Analyseeinheiten dieser Studie festgelegt, innerhalb derer die Lerngemeinschaft ihr Verständnis von Aspekten der naturwissenschaftlichen KIs / Basiskonzepte und der epistemischen Überlegungen aushandelten.

Für eine feinkörnige Analyse wurden ausgewählte Sub-Ereignisse (SE) und entsprechende Diskurse anhand der von Goodwin (1994) definierten Diskurspraktiken analysiert, um zu charakterisieren, wie die Lerngemeinschaft innerhalb der SEs problematisierte (vgl. Tab. 2). Im Zusammenschluss mit den Subpraktiken aus Tabelle 1 sollte diese Art der Analyse Aufschluss darüber geben, wie die Studierenden lernten in MBUs zu problematisieren.

Für die weiteren Analysen lag der Fokus nun darauf, wie die Studierenden der Leitgruppe ihre eigene Problematisierung in den Videos identifizierten und reflektierten, um weitere Erkenntnisse darüber zu erlangen, wie sie lernen zu problematisieren. Durch die Analyse des eigenen *Enactments*, kann das Lernen der Leitgruppe innerhalb ihrer Profession weitergehend charakterisiert werden, da sie die Bedeutung ihrer eigenen Umsetzung der Lehrpraktik des Problematisierens innerhalb der Leitgruppe (Forums-Beiträge) und individuell (Essays) aushandeln (vgl. Tab. 2). Da während der Forums-Beiträge kaum Bedeutungsaushandlungen zustande kamen, bzw. diese sich inhaltlich mit Aussagen in den Essays deckten, werden die Ergebnisse der Forums-Analyse nicht weiter behandelt. Alle Analysen wurden durch zwei Autor*innen dieses Artikels unabhängig voneinander durchgeführt und die Ergebnisse im Anschluss zusammengeführt. Bei abweichenden Analyseergebnissen wurden diese zunächst zu zweit, und ggf. im weiteren Verlauf mit dem dritten Autor diskutiert und ein Konsens ausgehandelt.

5 Ergebnisse

5.1 Videoanalyse (*Enactments*)

Die im Folgenden besprochenen Videos zeigen beispielhaft die Durchführung (*Enactment*) einer modellbasierten Untersuchung einer Leitgruppe zu den oben genannten KIs/Basiskonzepten. Anhand dieser Aufzeichnungen konnten zwei Arten charakterisiert werden, wie die Sachunterrichtsstudierenden lernten, in MBUs zu problematisieren: 1. *durch Aushandlung von Aspekten der Kernidee und epistemischer Überlegungen der Modellierung* und 2. *durch Festlegung von Modelldarstellungen, ohne Aushandlung der epistemischen Überlegungen der Modellierung*.

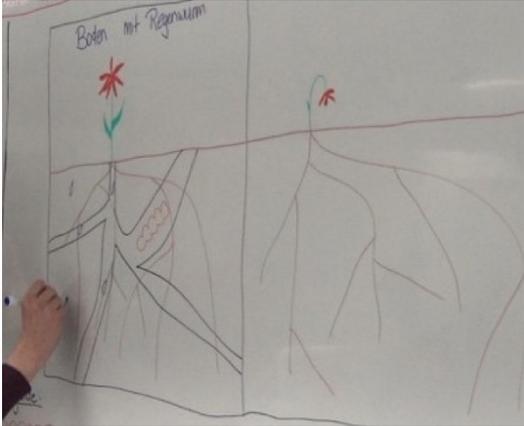
Diese beiden Arten des Problematisieren-Lernens wurden induktiv als Ergebnis der Datenanalyse gebildet. Sie wurden als Interpretation der Diskurse vorangestellt, um sie im weiteren Verlauf des Ergebnisteils anhand von Analysebeispielen auszudifferenzieren. Die Bedeutung dieser beiden Arten des Lernens für die Professionalisierung der SU-Studierenden wird nach dieser Analyse behandelt und diskutiert. Sie unterscheiden sich von anderen denkbaren Möglichkeiten, indem Sie sich dediziert auf die Modelle und die Modellierungspraktiken fokussieren.

In den folgenden Abschnitten werden Diskurse der Studierenden, die diese beiden Arten des Lernens repräsentieren, detailliert beschrieben. Des Weiteren wird die Rolle der Problematisierung für die Aushandlungen bzw. Festlegungen anhand von für die Daten repräsentativen Diskursbeispielen anhand von Evidenzen konzeptualisiert.

1) Aushandlung von Aspekten der Kernidee und epistemischer Überlegungen der Modellierung durch die Problematisierung

Nachfolgend ist ein Sub-Ereignis (SE) aus dem ersten Lehrmoment dargestellt, in welchem die Studierenden im Plenum erarbeiteten, welchen Einfluss die von einem Regenwurm gegrabenen Gänge im Boden auf die Wasser- und Luftverteilung in diesem haben. Zuvor untersuchte eine Kleingruppe zwei Behälter, in denen verschiedene Bodentypen aufgeschichtet worden waren. Einer der beiden Behälter enthielt Regenwürmer, und die Studierenden problematisierten ihre ersten Wahrnehmungen zum Einfluss des Regenwurms auf den Boden. Diese wurden der Gesamtgruppe vorgestellt, und es wurde ein erstes Modell konstruiert, wel-

ches vom Regenwurm geschaffene Gänge darstellt. Alina ist hier Teil der Leitgruppe. Hierauf folgte der Diskurs in Tabelle 3.

Transkript [01:20-2:01]	Professional Vision Diskurspraktiken
<p>[01:21] Alina: Ja, dann können wir erstmal aufschreiben, <u>dass wir wissen, dass der Regenwurm sich durch seine Gänge fortbewegt</u>, und ihr hattet ja auch noch gesagt, <u>dass ihr vermutet, dass sich durch die Gänge Wasser im Boden verteilen kann und auch Luft</u>. Würdet ihr das auch gleich mit einzeichnen wollen?</p> <p>[01:37] Alle: Ja.</p> <p>[01:38] Alina: <i>Also ich nehme dann mal an, Wasser in die Gänge</i> [zeigt auf die Gänge]?</p> <p>[01:42] Jana: <i>Mmh. Aber auch noch außerhalb. Also ist halt nur so ein gutes Leitsystem und das macht halt den Boden auch noch lockerer.</i></p> <p>[01:51] Merle: <i>Auch in die Nähe der Wurzel der Pflanze, weil da die Pflanze ja auch besser Wasser aufnehmen kann.</i></p>	<p>Highlighting (HL): -Der Regenwurm bewegt sich durch seine Gänge, durch die sich sowohl Wasser als auch Luft im Boden verteilen können.</p> <p>Coding (C): -Wasser verteilt sich inner- und außerhalb der Gänge. Diese lockern den Boden auf, bilden ein gutes Leitsystem für Wasser und erleichtern die Wasseraufnahme der Pflanze über die Wurzeln.</p> <p>[Material Representation](MR): -Das Modell wird als Werkzeug genutzt, um über die Gänge im Boden und die Verteilung des Wassers zu sprechen und Erkenntnisse darzustellen.</p> <p>Abbildung 2: Erstes im Plenum erstelltes Modell. Die Abbildung zeigt, wie der Regenwurm und die von ihm geschaffenen Gänge die Wasserverteilung im Boden beeinflussen (links). Die blauen Tröpfchen repräsentieren das Wasser und werden von Alina während des Diskurses in das Modell integriert</p> 

Tab. 3: Transkript eines SEs aus Lehrmoment 1, in dem die bisher geäußerten Ideen zum Einfluss von Regenwürmern auf die Wasserverteilung im Boden problematisiert werden. Unterstrichene Passagen markieren Aussagen, in denen im Sinne der *Professional Vision*-Diskurspraktiken etwas hervorgehoben wird (Highlighting); *kursive* Passage markieren entsprechendes Coding.

In diesem SE wurden, zur Unklarheit der Verteilung von Wasser im Boden, vielfältige Ideen generiert und für die Konstruktion eines Modells sowie zur Erweiterung des Verständnisses der biologischen KI ausgehandelt. Zu Beginn wiederholte Alina die Ideen der Studierenden, dass der Regenwurm Gänge baue und übertrug diese nach Zustimmung der Studierenden in das Modell. Daraufhin fasste Alina die bisherigen Ideen der Studierenden mit Hilfe eines *Talk Moves* („Ja, dann können wir ja erstmal aufschreiben, dass wir wissen [...]“) zusammen und hob dadurch die noch unklare Idee der Verteilung des Wassers und der Luft hervor (HL): „[...] und ihr hattet ja auch noch gesagt, dass ihr vermutet, dass sich durch die Gänge Wasser im Boden verteilen kann und auch Luft.“ Darauffolgend lenkte sie die Aushandlung dieses Aspekts hin zum Diskurs über die Konstruktion des Modells (MR), was letztlich dazu führte, dass sie selbst, wie auch Jana und Merle, vielfältige Ideen dazu äußerten, wie das Wasser sich im Boden verteilt und im Modell dargestellt werden könnte (C). Dadurch, dass die Studierenden auf die von Alina hervorgehobene Verteilung von Wasser in den Böden eingingen, wurde dies von ihnen als relevanter Aspekt zur Erweiterung des Verständnisses der

biologischen KI aufgenommen. Sie wiesen diesem Aspekt weitere Bedeutung zu, indem sie ihre Vermutungen zur Verteilung von Wasser im Boden in Form vielfältiger Ideen äußerten (z.B. Gänge im Boden als gutes Leitsystem für Wasser). Die Studierenden handelten so aus, welchen Einfluss der Regenwurm als möglicher Bodenverbesserer hat, und insbesondere welchen Einfluss die von ihm erzeugten Gänge auf die Durchmischung des Bodens, die Retention von Wasser und den Gasaustausch im Boden haben. Die Problematisierung der Ideen zur Verteilung von Wasser im Boden unterstützte die Konstruktion des Modells, da es um die eingebrachten und ausgehandelten Ideen ergänzt wurde. So wurde ein Aspekt der biologischen KI in das Erklärungsmodell integriert (vgl. Abb. 2) und eine erste mechanistische Erklärung konstruiert, wie die Gänge des Regenwurms die Verteilung von Luft und Wasser im Boden beeinflussen.

Transkript [03:41-04:35]	Professional Vision Diskurspraktiken
<p>[03:41] Alina: <u>Und dann frisst er das Blatt und die Nährstoffe oder?</u> [zeigt auf das Blatt im Modell]</p> <p>[03:49] Jana: <i>Erstmal nur das Blatt oder? Aber vielleicht ist das ja so ein Nebenprodukt, was er noch mitfrisst.</i></p> <p>[03:54] Mehrere: <i>Aber in dem Blatt sind doch die Nährstoffe.</i></p> <p>[03:59] Alina: <i>Vielleicht frisst er ja auch so einen Erdball [deutet auf das Blatt im Modell], wo das Blatt und andere Nährstoffe mit drin sind?</i></p> <p>[04:05] Nina: <i>Na klar, auf jeden Fall!</i> <i>Zustimmung durch alle.</i></p> <p>[04:10] Dozent: Warum so sicher und so begeistert?</p> <p>[04:13] Nina: Weiß ich nicht, das ist so eine richtig gute Idee.</p> <p>[04:15] Dozent: Ja, aber ich möchte mehr hören, warum? Das interessiert mich.</p> <p>[04:18] Nina: <i>Naja, weil er wahrscheinlich dann nicht denkt, oh da ist dann so ein Blatt, sondern der frisst halt, was er sieht und dann ist da auch Erde dabei und was er riecht oder keine Ahnung [...] da ist halt auch Erde dabei, Nährstoffe und dieses Blatt.</i></p> <p>[04:33] Alina: [zeichnet einen Erdball in das Modell]</p>	<p>Highlighting (HL): -Es wird hervorgehoben, was der Wurm fressen könnte. Es wird zwischen Blatt und Nährstoffen unterschieden.</p> <p>Coding (C): -Der Wurm frisst hauptsächlich nur das Blatt und Nährstoffe werden als Nebenprodukt mitgegessen. -Der Wurm frisst einen Erdball, in dem das Blatt und andere Nährstoffe enthalten sind.</p> <p>[Material Representation] (MR): -Das Modell wird genutzt, um alternative Ideen darzustellen und zu kommunizieren.</p> <p>Abbildung 3: Erstes im Plenum erstelltes Modell. Die Abbildung zeigt, wie der Regenwurm einen Erdball frisst, der sowohl abgestorbene Blattteile, als auch Nährstoffe beinhaltet.</p>

Tab. 4: Transkript eines SEs aus Lehrmoment 1, in dem die bisher geäußerten Ideen zur Nährstoffaufnahme des Regenwurms problematisiert werden. Unterstrichene Passagen markieren Aussagen, in denen im Sinne der *Professional Vision* Diskurspraktiken etwas hervorgehoben wird (Highlighting); *kursive* Passagen markieren entsprechendes Coding.

Im zweiten Beispiel aus demselben Lehrmoment handelten die Studierenden im Plenum die Rolle des Regenwurms als Destruent im Ökosystem Boden, insbesondere dessen ernährungsbedingte Transformation von Detritus in eine für Pflanzen nutzbare Nährstoffform, für ihr

Modell aus (vgl. Tab. 4). Hierzu wurden alternative Ideen konstruiert und erwogen und für die Konstruktion eines Modells sowie für die Erweiterung des Verständnisses der Kernidee ausgehandelt. Zuvor hatten die Studierenden erarbeitet, dass der Boden mit den Regenwürmern mehr Nährstoffe enthält, da er diese mit seinem Kot ausscheidet und so an den Boden abgibt, und dass der Wurm Nahrung aufnimmt, die aus abgestorbenen Pflanzenteilen bestehen könnte.

Alina brachte anhand eines ersten Modells eine Idee in den Diskurs ein und zeigte so die Unklarheiten bezüglich der Nährstoffaufnahme des Regenwurms und der Zirkulation von Nährstoffen für die anderen Studierenden auf (HL). Dies führte dazu, dass die anderen Studierenden weitere (alternative) Ideen in den Diskurs einbrachten und aushandelten (C). Alina ergänzte im weiteren Verlauf anhand des Modells (MR) die vom Plenum geäußerte Idee, dass Blätter Nährstoffe beinhalten, um eine von ihr konstruierte alternative Idee, nämlich, dass der Wurm die in der Erde enthaltenen Blattreste und somit die darin befindlichen Nährstoffe aufnehme (C). Diese Alternative wurde vom Plenum als passend erwogen (C) und letztlich als mechanistische Erklärung zur Umwandlung von Nährstoffen in das Modell übertragen (MR).

Zusammenfassend lernten die Studierenden zu problematisieren, indem sie, wie in den beiden Beispielen dargestellt, gemeinsam Unklarheiten im Diskurs bzw. dem Modell hervorhoben und so Aspekte der biologischen KI und deren Bedeutung sowie die epistemischen Überlegungen des Modells (z.B. Mechanismen) aushandelten, wodurch sie letztlich das Erklärungsmodell weiterentwickelten. Diese Aushandlungsprozesse zeichneten sich dadurch aus, dass die Studierenden während der Konstruktion eines Erklärungsmodells zu dem Naturphänomen anhand der hervorgehobenen Unklarheiten vielfältige und alternative Ideen konstruierten, diese interpretierten und argumentativ erwogen.

2) Festlegung von Modelldarstellungen ohne Aushandlung der epistemischen Überlegungen der Modellierung durch Problematisierung

Das in Tabelle 5 dargestellte SE zeigt fünf Studierende in einer Kleingruppe während des zweiten LM, in dem sie ihr erstes Modell anhand von experimentell erhobenen Daten problematisieren sollten.

Amy und Marie sind hier Teil der LG. Die Kleingruppe testete zuvor in einem kurzen Experiment die Retention von Wasser in lockerer oder verfestigter Erde. Die Erkenntnis aus dem Experiment, dass lockere Erde wasserdurchlässiger ist, sollte nun interpretiert und in das Modell integriert werden, was zu diesem Diskurs führte (vgl. Tab. 5).

In diesem SE problematisierten Amy und Marie, ähnlich wie Alina in Tabelle 4, indem sie den noch unklaren Aspekt der Darstellung von Wasserverteilungen in Böden mit und ohne Regenwurm hervorhob (HL) und eine Idee zur Darstellung dieser in den Diskurs einbrachte. Amelie erweiterte Amys Idee zwar an dieser Stelle (C), jedoch wurde die Relevanz dieser Idee für die KI oder das Modell nicht anhand der experimentellen Daten ausgehandelt. Letztlich leitete Amy das Gespräch hin zu einer spezifischen Darstellungsform für das Modell, dass in den oberen, lockereren Bodenschichten mit Regenwürmern mehr Wasser vorhanden sei, als in festeren Schichten ohne Regenwürmer. Ihre Ideen zur Darstellung von Wasser im Modell wurden von der Gruppe jedoch lediglich akzeptiert und nicht ausgehandelt. Ähnlich wurden gewonnene Erkenntnisse in das Modell übertragen, nicht durch Aushandlung der Bedeutung der Erkenntnisse, sondern durch Amys Hinführung. Lediglich Amelies letzte Äußerung, in der sie Amys Vorschlag zur Anzahl der TBs im Modell erwog (C), deutet auf einen beginnenden Aushandlungsprozess hin. An dieser Stelle zeigt sich, dass die Lerngemeinschaft hauptsächlich die Darstellung im Modell problematisierte und weniger die Bedeutung inhaltlicher Unklarheiten in Bezug auf die KI, die experimentellen Daten oder die epistemischen Überlegungen wie z.B. Beweise für das Modell aushandelten. Nichtsdestotrotz scheint Amys Hervorheben von Ideen zur Weiterentwicklung des Modells beigetragen zu haben, da die

durch den Regenwurm verbesserte Wasserretention von der Lerngemeinschaft in das gemeinsame Modell implementiert wurde.

Transkript [00:57-01:42]	Professional Vision Diskurspraktiken
<p>[00:57] Amy: <u>Beziehungsweise ihr habt gesagt, hier kann die Pflanze viel mehr aufnehmen [zeigt auf Modellabschnitt mit RW], also könnte man ja an die Wurzeln mehr Transformationsboxen malen...</u></p> <p>[01:04] Marie: [...] als hier [zeigt auf Modellabschnitt ohne RW] zum Beispiel.</p> <p>[01:05] Amelie: <i>Und hier [zeigt auf Modellabschnitt ohne RW] ist es ja hauptsächlich hier oben und unten ganz wenig dann.</i></p> <p>[01:09] Mia: Also hier [zeigt auf Modellabschnitt mit RW] an jede Wurzel paar.</p> <p>[01:11] Amy: Das ist ja nur prototypisch, also kannst du hier [zeigt auf Modellabschnitt mit RW] vielleicht drei hinmalen an den Wurzeln.</p> <p>[01:12] Mia: [zeichnet in das Modell]</p> <p>[01:20] Amy: Und hier oben [zeigt auf Modell ohne RW] habt ihr ja gesagt, hier oben kann sie es voll gut aufnehmen, hier [zeigt auf unteren Teil des Modellabschnitt ohne RW] eher schlechter, also würde ich vielleicht eine Transformationsbox bloß hier oben hinmalen oder wie seht ihr das?</p> <p>[01:29] Mia: Ja. [zeichnet in das Modell]</p> <p>[01:32] Amelie: <i>Ja, wenn schon, dann da unten [zeigt auf Modellabschnitt ohne RW] irgendwie eine kleinere oder so, halt weil man ja trotzdem schon Wasser aufnehmen kann, natürlich, aber halt echt nicht viel.</i></p> <p>[01:29] Mia: [zeichnet in das Modell]</p>	<p>Highlighting (HL): -Wurzeln der Pflanze können in Böden mit RW mehr Wasser aufnehmen als in Böden ohne RW.</p> <p>Coding (C): -Pflanzen nehmen in Böden ohne RW Wasser hauptsächlich in oberen Schichten auf und in unteren nur wenig.</p> <p>[Material Representation (MR)]: -Nutzung des Modells, um die eigenen Ideen zu unterstützen.</p>

Tab. 5: Transkript eines SEs aus Lehrmoment 2, in dem die Wasseraufnahme einer Pflanze in Abhängigkeit von der Bodentiefe sowie der Anwesenheit von Würmern im Boden problematisiert wird. Unterstrichene Passagen markieren Aussagen, in denen im Sinne der *Professional Vision*-Diskurspraktiken etwas hervorgehoben wird (Highlighting); *kursive* Passagen markieren entsprechendes coding.

Zusammenfassend lernten die Studierenden zu problematisieren, indem sie Unklarheiten während der Konstruktion oder Überarbeitung von Modellen hervorhoben, ohne dass diese Unklarheiten in Bezug auf die biologische Kernidee oder die epistemischen Überlegungen der Modellierung innerhalb der Lerngemeinschaft ausgehandelt wurden. Die Unklarheiten dienten hierbei der Festlegung und Überarbeitung von Darstellungsweisen im Modell.

Die gezeigten Beispiele repräsentieren zwei Arten des Lernens zu Problematisieren, die in den Daten identifiziert wurden: das Aushandeln von Unklarheiten in Bezug auf die KI einerseits und das Festlegen von Darstellungsformen im Modell andererseits. Während Unklarheiten häufig anhand der beiden Subpraktiken *Erzeugung von vielfältigen Ideen* und *Konstruktion von alternativen Ideen* ausgehandelt wurden, haben die Studierenden die Subpraktik *Erwägen von Alternativen* nur teilweise in den Diskurs eingebracht und selten die Gesamtheit der (alternativen) Ideen erwogen. Legt man die Kriterien der bedeutungsvollen Partizipation für diese Art der Problematisierung an, partizipierten die Studierenden einerseits bedeutungsvoll an der MBU, da sie basierend auf ihren eigenen Ideen, Unklarheiten und Entscheidungen ihr Verständnis der KI erweiterten und selbstverantwortlich im Diskurs neues Wissen (Modelle) ko-konstruierten. Sie arbeiteten auf das Erreichen disziplin-spezifischer Lernziele, in Bezug auf die Weiterentwicklung biologischer Kernideen und ihrer mechanistischen Erklärung während der Konstruktion des Modells (als eine der epistemischen Überlegungen des Modellierens), sowie auf eigene Lernziele hin. Diese Lernziele ergaben sich aus der Interaktion mit und dem Diskurs über das Phänomen, indem sie ihre eigenen Unklarheiten nutzten, um ihre Modelle und Erklärungen zu hinterfragen.

Andererseits problematisierten Studierende durch einige der Subpraktiken, um bestimmte Ideen der Lerngemeinschaft abschließend festzuhalten, sodass sie zu spezifischen Aspekten der KI und Darstellungen im Erklärungsmodell „hingeführt“ wurde. Inwiefern die Studierende hierbei auf die Erreichung eigener Lernziele hinarbeiteten und bedeutungsvoll partizipierten, lässt sich insoweit beantworten, als dass sie nicht erkennbar als epistemische Akteur*innen agierten und Unklarheiten nicht aushandelten, sondern die Verantwortung, Darstellungsformen aus der Summe der Ideen festzuhalten, einzelnen Studierenden der Lerngemeinschaft überließen.

Weitere Einblicke in den Professionalisierungsprozess der Studierenden lieferte die Analyse der reflexiven Essays, die nachfolgend betrachtet werden.

5.2 Essayanalyse

Tabelle 6 zeigt einen Ausschnitt aus dem Reflexionsessay von Alina als Teil der Leitgruppe, in dem die Frage beantwortet werden sollte, inwiefern sie und ihre Mitstudierenden durch die Problematisierung an der MBU partizipierten. Dieser Ausschnitt des Essays bezieht sich auf die Sequenz aus Tabelle 4. Er wurde anhand des *Professional Vision*-Rahmens daraufhin analysiert, welche Subpraktiken der Problematisierung sie in ihren eigenen *Enactment* hervorhob, und wie sie diese in Bezug auf ihre eigene Partizipation an Aushandlungsprozessen bewertete.

Zeile	Essayauszug	Professional Vision Diskurspraktiken
1	<u>Es werden anhand der talk moves (TM) zwei Diskurse hinsichtlich</u>	Highlighting (HL): -Nutzung von Talk Moves zur Eröffnung des Diskurses mit der Lerngruppe.
2	<u>der Ernährungsweise des Regenwurms eröffnet und in der Lern-</u>	
3	<u>gruppe diskutiert [...].</u>	
4	<i>An dieser Stelle erarbeite ich gemeinsam mit den Studenten eine</i>	Coding (C): -Talk Moves als Unterstützung zur Erarbeitung verschiedener Denkmöglichkeiten.
5	<i>breite Zahl an Denkmöglichkeiten, die der Lerngruppe helfen sollen,</i>	
6	<i>die entstandenen Alternativen abzuwägen und anschließend den ge-</i>	
7	<i>suchten Bestandteil zu identifizieren (Was frisst der Regenwurm?</i>	-Talk Moves als Hilfe zur Abwägung und Identifikation gesuchter Bestandteile.
8	<i>/Alternativen: Regenwurm frisst einzelnes Nährstoff-Teil oder Erde</i>	
9	<i>oder Pflanzen-Teile/ Wie frisst der Regenwurm? /Alternativen: Blatt</i>	
10	<i>und Nährstoffe oder nur das Blatt oder Erdball mit Blatt und Nähr-</i>	-Talk Moves zur Unterstützung der gemeinsamen Erklärungsfindung.
11	<i>stoffen). Die entscheidenden talk moves für das Finden der Erklärung</i>	
12	<i>werden gezielt durch Rückfragen an die Lerngruppe gesteuert</i>	
13	<i>(„Und dann frisst er das Blatt und die Nährstoffe oder?“). Schließ-</i>	
14	<i>lich wird gemeinsam eine Erklärung gefunden aufgrund eines gut</i>	
15	<i>gewählten talk moves, welcher eine schlüssige Erklärung für die Er-</i>	
16	<i>nährungsweise des Regenwurms andeutet („Vielleicht frisst er ja</i>	
17	<i>auch so einen Erdball, wo das Blatt und andere Nährstoffe mit drin</i>	
18	<i>sind?“).</i>	

Tab. 6: Auszug aus dem reflexiven Essay von Alina. Unterstrichene Passagen markieren Aussagen, in denen im Sinne der *Professional Vision*-Diskurspraktiken etwas hervorgehoben wird (Highlighting); *kursive* Passage markieren entsprechendes Coding.

Der Ausschnitt deutet darauf hin, dass Alina ein Verständnis für die Nutzung der Subpraktiken der Problematisierung entwickelte, da sie deren Nutzung in ihrem eigenen *Enactment* identifizierte. Neben ihrer eigenen Problematisierung reflektierte Alina, inwieweit sie, Alina, die Problematisierung der Lerngemeinschaft und respektive die gemeinsamen Aushandlungsprozesse unterstützte. Hierbei hob sie hervor, dass durch die Nutzung von *Talk Moves* (HL) alternative Ideen konstruiert wurden und diese erwogen werden sollen (C).

Sie hob die Alternativen im Diskurs hervor (HL) und bewertete ihre Nutzung der *Talk Moves* anhand des Problematisierungsziels, den noch unklaren Bestandteil der Ernährung des Regenwurms zu identifizieren, positiv (C). Angesichts ihrer Äußerungen lässt sich annehmen, dass die von ihr genutzten Subpraktiken der Unterstützung von gemeinsamen Aushandlungs-

prozessen dienten und dass sie ihre eigene Problematisierung in der MBU und den Diskursen reflektierte.

Zusammenfassend handelte sie hier die Bedeutung ihrer eigenen Problematisierung in diesem SE (vgl. Tabelle 4 Z. 4 ff. & 14 ff.) für die Partizipation ihrer Mitstudierenden aus, da sie, wenn auch nur implizit, die Problematisierung zur Unterstützung der Aushandlung und Konstruktion einer Erklärung hervorhob. Dies weist daraufhin, dass sie eine *Professional Vision* in Bezug auf die Problematisierung und ihre eigene Partizipation entwickelte.

6 Diskussion

In den vorgestellten Ergebnissen wurden zwei Arten charakterisiert, wie Studierende innerhalb eines Seminars lernten in MBUs zu problematisierten. Im Folgenden soll diskutiert werden, welche Relevanz die Problematisierung für die bedeutungsvolle Partizipation hat und welche ersten Rückschlüsse daraus für die Professionalisierung von Sachunterrichtsstudierenden gezogen werden könnten.

In dieser Studie partizipierten die Studierende als Lerngemeinschaft bedeutungsvoll an der MBU, da sie basierend auf ihren eigenen Ideen, Unklarheiten und Entscheidungen sowohl auf das Erreichen disziplin-spezifischer Lernziele als auch auf eigene Lernziele hinarbeiteten. Die Rolle und Relevanz von Unklarheiten ist in diesem Zusammenhang zentral und wurde schon häufig in den Diskurs über die Professionalisierung von Grundschullehrer*innen eingebracht, etwa für das Philosophieren mit Kindern (Michalik 2019) oder für naturwissenschaftliche Untersuchungen (Manz & Suárez 2018; Watkins et al. 2018). Diese Studien zeigten u.a., dass das Hervorheben von Unklarheiten damit zusammenhängt, wie Schüler*innen Phänomene interpretieren und aushandeln. Indem Unklarheiten als Rahmen und Bezugspunkt des Diskurses genutzt wurden, konnten als soziale und epistemische Aspekte der wissenschaftlichen Arbeit etabliert werden (Watkins et al. 2018). Darüber hinaus können durch das Explizieren von Unklarheiten Lehr- und Lernprozesse angestoßen, die über den bloßen Erwerb von Wissen und Fertigkeiten hinausgehen und neue Wahrnehmungs- und Problemlösungsstrukturen zur kollektiven Sinnbildung etablieren (Michalik 2019). Ein solcher Fokus auf die Unklarheiten der Lernenden erlaubt es diesen, Verantwortung für ihr eigenes Lernen zu übernehmen und als epistemische Akteur*innen auf deren Klärung hinzuarbeiten. Manz & Suárez (2018) argumentieren hierbei, dass nicht nur Schüler*innen, sondern auch (angehende) Lehrer*innen darin unterstützt werden müssen, Unklarheiten wahrzunehmen und nutzen zu können: sowohl in Bezug auf die bedeutungsvolle Partizipation an naturwissenschaftlichen Praktiken als auch in Bezug auf die eigenen Lehrpraktiken, die die Aushandlung dieser Unklarheiten unterstützen.

Durch die Problematisierung als Lehrpraktik, insbesondere durch ihre drei Subpraktiken, konnten Sachunterrichtsstudierende in dieser Studie disziplinspezifische Unklarheiten hervorheben und deren Bedeutung für die Modelle und zur Beantwortung der Leitfrage aushandeln und sich so letztlich als epistemische Akteur*innen positionieren. Die Rolle des Modells als materielle Repräsentation war hierbei entscheidend. Goodwin (1994), beschreibt materielle Repräsentationen als „[...] ein Schlüsselement des Diskurses, den professionelle Akteur*innen führen [...]“, welches die Beschreibung von Phänomenen in einer Art und Weise organisieren kann, wie es die gesprochene Sprache nicht kann (Goodwin 1994, S. 611). In diesem Sinne ist auch hier das Modell als materielle Repräsentation ein zentraler Angelpunkt für die Problematisierung und die daraus resultierenden Aushandlungen. Die Problematisierungen anhand des Modells konnten die Aushandlungsprozesse im Seminar auf eine Weise unterstützen, die die Ideen der Lerngemeinschaft respektierte, sodass sie als mögliche Erklärung ausgehandelt werden konnten. Die epistemische Autorität für das Lernen lag somit bei der Lerngemeinschaft und nicht bei einzelnen Studierenden.

In ähnlicher Art und Weise problematisierten die Studierenden Unklarheiten anhand des Modells, mit dem Unterschied, dass sie diese hierbei weder in Bezug auf die biologische KI, noch in Bezug auf die epistemischen Überlegungen der Modellierung aushandelten.

Die Problematisierung der Unklarheiten diene allein der Festlegung und Überarbeitung von Darstellungsweisen der Komponenten im Modell, allerdings ohne dass die Studierenden Verantwortung für ihre eigenen Ideen übernahmen oder für den Wert ihrer eigenen Ideen gegenüber anderen Alternativen argumentierten (Blanck 2019), um das Modell weiterzuentwickeln.. Anhand dessen ließe sich hier diskutieren, inwiefern bedeutungsvolle Partizipation zu jedem Zeitpunkt während MBUs möglich ist und ob nicht auch das Festlegen von Darstellungsformen ohne Aushandlungen für Fortschritte während des Modellierungsprozesses notwendig ist.

Die Analyse der reflexiven Essays der Sachunterrichtsstudierenden zu ihren eigenen Problematisierungen während der *Rehearsals* lieferte weitere Erkenntnisse über ihr Lernen. Die Sachunterrichtsstudierenden hoben in Videoaufnahmen ihrer eigenen Durchführungen und in Durchführungen anderer hervor, wie sie selbst oder ihre Mitstudierenden Unklarheiten problematisierten und setzten dies in Beziehung zur Erweiterung der biologischen Kernidee und der Weiterentwicklung des Modells. Mit dieser Studie kann an Erkenntnisse von Sherin & Van Es (2009) und McDonald (2016) angeknüpft werden, die zeigten, dass Lehrer*innen durch die Analyse von Unterrichtsvideos in ihrem eigenen Lernen unterstützt werden und ihre *Professional Vision* weiterentwickeln können, jedoch während der Analyse ebensolcher Videos lernen müssen, den Fokus von sich selbst hin zu ihren Schüler*innen zu lenken.

Dies ist insbesondere für das Erkennen und Hervorheben von Unklarheiten in den Erklärungsmodellen der Lernenden relevant, um den Bedarf für Problematisierungen zu schaffen.

Für die Professionalisierung von Sachunterrichtsstudierenden ergeben sich in Bezug auf die (bedeutsame) Partizipation an den Modellierungspraktiken spezifische Herausforderungen. Die Etablierung partizipativer Strukturen, Kulturen und Praktiken in Klassenzimmern ist eine dieser Herausforderungen, die voraussetzungsreich ist und vor allem die Lehrpersonen in die Verantwortung nimmt. Ihre Aufgabe ist es, die Partizipation aller Schüler*innen zu ermöglichen (vgl. Simon 2022 S. 111; Simon & Pech 2019). Die Problematisierung nimmt sich dieser Herausforderung von einer Position aus an, die die Aushandlung von Ideen und Unklarheiten der Lernenden zur Gestaltung von MBUs und des Sachunterrichts im Allgemeinen in den Mittelpunkt stellt. Ziel ist es, dass die Ideen der Lernenden als epistemisch wertvoll und als Ausgangspunkt wissenschaftlicher Erkenntnisse behandelt werden, wodurch die bedeutungsvolle Partizipation der Schüler*innen an Sinnbildungsprozessen gefördert werden soll. Gleichzeitig muss darauf geachtet werden, den epistemischen Wert der Modellierungspraktiken zu erhalten, indem einer Prozeduralisierung der Praktik entgegengewirkt wird. Während der Durchführung von MBUs sollten nicht einzelne Abläufe reproduziert werden, sondern auf Basis von Unklarheiten verschiedene Formen der Wahrnehmung, Interpretation und Bearbeitung von Phänomenen gefördert und die dynamischen Sinnbildungsziele der Schüler*innen verfolgt werden können (vgl. Ke & Schwarz 2019; Koller 2018). Hierfür müssen Sachunterrichtsstudierende lernen, Schüler*innen Verantwortung zu übertragen und ihnen zuzutrauen, selbst an der Konstruktion von Erklärungen zu partizipieren (Becker 2014). Darüber hinaus müssen sie einüben, sich selbst, gemeinsam mit ihren Schüler*innen, als Akteur*innen der Partizipation an Modellierungstätigkeiten wahrzunehmen und dafür epistemische Autorität abzugeben (vgl. Fiebig & Acher 2019; Stroupe 2014). Hierbei schließen wir uns Simon (2022, S. 120) bei der Beantwortung der Frage an, inwieweit Sachunterrichtsstudiengänge partizipativ gestaltet werden können oder müssen, damit auch an Hochschulen nicht nur ein Lernen *über*, sondern auch ein Lernen *durch* Partizipation stattfindet.

Literatur

- Acher, Andres (2017): Welche Art von wissenschaftlichem Modellieren ist in der Grundschule angemessen? In: www.widerstreit-sachunterricht.de, Nr. 23 (12 Seiten)
- Acher, Andres (2019): Lehramtsstudent*innen darin unterstützen, Schüler*innen an naturwissenschaftlichem Modellieren auf produktive Weise partizipieren zu lassen. In: Martin Siebach, Jaqueline Simon & Toni Simon (Hrsg.): Ich und Welt verknüpfen Allgemeinbildung, Vielperspektivität, Partizipation und Inklusion im Sachunterricht. Baltmannsweiler, S. 160-172.
- Acher, Andres, Arcà, Maria & Sanmartí Puig, Neus (2007): Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. In: *Science Education*, 91(3), pp. 398-418.
- Baek, Hamin, Schwarz, Christina, Chen, Jing, Hokayem, Hayat, & Zhan, Li (2011): Engaging Elementary Students in Scientific Modeling: The MoDeLS Fifth-Grade Approach and Findings. In: *Models and Modeling*, pp. 195-218.
- Becker, Helle (2014): Partizipation von Schülerinnen und Schülern im GanzTag. In: *Der GanzTag in NRW – Beiträge zur Qualitätsentwicklung*, 10(27). https://www.ganztag-nrw.de/fileadmin/user_upload/GanzTag_Bd27_klein.pdf [27.03.2023].
- Berland, Leema K. & Reiser, Brain J. (2009): Making sense of argumentation and explanation. In: *Science Education*, 93(1), pp. 26-55.
- Berland, Leema K., Schwarz, Christina V., Krist, Christina, Kenyon, Lisa, Lo, Abraham S., & Reiser, Brain J. (2015): Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), pp. 1082-1112.
- Blanck, Bettina (2009): Deliberation in education – Bildung und Erwägung. In: Charlotte Röhner, Claudia Henrichwark & Michaela Hopf (Hrsg.): *Europäisierung der Bildung: Konsequenzen und Herausforderungen für die Grundschulpädagogik*. Wiesbaden, S. 65-69.
- Blanck, Bettina (2019): Erwägungsorientiert-deliberative Pädagogik und Didaktik als Grundlage für intra-, inter- und transdisziplinäre Bildung. Überblick. In: *Itdb Inter- und Transdisziplinäre Bildung*, 1 (September), S. 32-44.
- Chen, Ying-Chih (2020): Dialogic Pathways to Manage Uncertainty for Productive Engagement in Scientific Argumentation: A Longitudinal Case Study Grounded in an Ethnographic Perspective. In: *Science and Education*, 29, pp. 331-375.
- Cohen, David K. & Ball, Deborah L. (2001): Making change: Instruction and its improvement. In: *Phi Delta Kappan*, 83(1), pp. 73-77.
- Danish, Joshua A. & Gresalfi, Melissa (2018): Cognitive and Sociocultural Perspectives on Learning - Tensions and Synergy in the Learning Sciences. In: Frank Fischer, Cindy E. Hmelo-Silver, Susan R. Goldman, & Peter Reimann (Hrsg.): *International Handbook of the Learning Sciences*. New York, London, pp. 34-43.
- Engle, Randy A., & Conant, Faith R. (2002). Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: Explaining an emergent argument in a community of learners classroom. In: *Cognition and Instruction*, 20(4), pp. 399-483.
- Fiebig, Lisa & Acher, Andres (2019): Problematisierung von Modellierungsaktivitäten - Ein Professionalisierungsaspekt von Lehramtsstudierenden des Sachunterrichts. In: Markus Peschel & Ursula Carle (Hrsg.): *Praxisforschung Sachunterricht*. 11. Aufl. Dimensionen des Sachunterrichts – Kinder.Sachen.Welten. Baltmannsweiler, S. 49-58.
- Forbes, Cory T., Lange-Schubert, Kim, Böschl, Florian, & Vo, Tina (2019): Supporting Primary Students' Developing Modeling Competence for Water Systems. In: Annette Upmeier zu Belzen, Dirk Krüger, & Jan van Driel (Eds.): *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (Vol. 12, Issue January). Cham, pp. 117-129.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg., 2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Vollst. überarb. u. erw. Ausg. Bad Heilbrunn.
- Goodwin, Charles (1994): Professional Vision. In: *American Anthropologist*, 96(3), pp. 606-633.
- Götz, Margarete, Kahlert, Joachim, Fölling-Albers, Marina, Hartinger, Andreas, von Reeken, Dietmar & Wittkowske, Steffen (2015): Didaktik des Sachunterrichts als bildungswissenschaftliche Disziplin. In: Joachim Kahlert, Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Susanne Miller & Steffen Wittkowske (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. 2. Aufl. Bad Heilbrunn S. 13-26.
- Green, Judith L. & Kelly, Gregory J. (2019): How we look at discourse. Definitions of Sociolinguistic Units. In: Gregory J. Kelly & Judith L. Green (Eds.): *Theory and Methods for Sociocultural Research in Science and Engineering Education*. New York, London, pp. 264-270.
- Grossman, Pam, Compton, Christa, Igra, Danielle, Ronfeldt, Matthew, Shahan, Emily & Williamson, Peter W. (2009): Teaching Practice: A Cross-Professional Perspective. In: *Teachers College Record*, 111(9), pp. 2055-2100.
- Grossman, Pam, Hammerness, Karen & McDonald, Morva (2009): Redefining teaching, re-imagining teacher education. In: *Teachers and Teaching*, 15(2), pp. 273-289.

- Gunckel, Kristin L. (2013): Fulfilling multiple obligations: Preservice elementary teachers' use of an instructional model while learning to plan and teach science. In: *Science Education*, 97(1), pp. 139-162.
- Hutchison, Paul & Hammer, David (2010): Attending to student epistemological framing in a science classroom. In: *Science Education*, 94(3), pp. 506-524.
- Ke, Li & Schwarz, Christina V. (2019): Using Epistemic Considerations in Teaching: Fostering Students' Meaningful Engagement in Scientific Modeling. In: Annette Upmeyer zu Belzen, Dirk Krüger & Jan van Driel (Eds.): *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education. Models and Modelling in Science Education* (12th ed., Issue May), pp. 181-199.
- Kelly, Gregory J., & Chen, Chaterine (1999): The sound of music: Constructing science as sociocultural practices through oral and written discourse. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8). pp. 883-915.
- Kern, Friederike & Stövesand, Björn (2019): Editorial. In: Herausforderung Lehrer_innenbildung HLZ - Professionalisierung im Fach: Rekonstruktion von Prozessen forschenden Lernens in der fachdidaktischen Lehramtsausbildung 2(2), S. i-vii.
- Ko, Mon-Lin M. (2021): Leveraging curricular and students' resources to instigate and sustain problematizing. In: *Science Education*, 105(6), pp. 1315-1342.
- Koller, Hans-Christopf (2018): Einleitung: Der Grundgedanke einer Theorie transformatorischer Bildungsprozesse und deren Ort in der bildungstheoretischen Tradition. In: Hans-Christopf Koller (Hrsg.): *Bildung anders denken. Einführung in die Theorie transformatorischer Bildungsprozesse*. Stuttgart, S. 9-10.
- Krell, Moritz & Krüger, Dirk (2016): Testing Models: A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to Models and Modelling in Biology Lessons? In: *Journal of Biological Education*, 50(2), pp. 160-173.
- Lampert, Magdalene, Franke, Megan L., Kazemi, Elham, Ghouseini, Hala, Turrou, Angela C., Beasley, Heather, Cunard, Adrian & Crowe, Kathleen (2013): Keeping It Complex: Using Rehearsals to Support Novice Teacher Learning of Ambitious Teaching. In: *Journal of Teacher Education*, 64(3), pp. 226-243.
- Lange, Kim, Forbes, Cory & Helm, Kristina (2014): Forschen heißt auch modellieren! Wie kann Modellieren im Sachunterricht gefördert werden? In: *Grundschulunterricht Sachunterricht*, 4, S. 17-22.
- Lange, Kim, & Spreckelsen, Kay (2015): Modelle. In: Joachim Kahlert, Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Susanne Miller & Steffen Wittkowske (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. 2. Aufl. Bad Heilbrunn, S. 485-490
- Lehrer, Richard & Schauble, Leona (2010): What Kind of Explanation is a Model? In: *Instructional Explanations in the Disciplines*, pp. 9-22.
- Lo, Abe S. (2016): Epistemic aims, considerations, and agency: Lenses for helping teachers analyze and enhance students' meaningful engagement in scientific practices. Paper Presented at the NARST 2016 Annual International Conference, Baltimore, MD., March.
- Manz, Eve & Suárez, Enrique (2018): Supporting teachers to negotiate uncertainty for science, students, and teaching. In: *Science Education*, 102(4), pp. 771-795.
- McDonald, S. P. (2016): The Transparent and the Invisible in Professional Pedagogical Vision for Science Teaching. *School Science and Mathematics*, 116(2), pp. 95-103.
- Mercer, Neil & Dawes, Lyn (2014): The study of talk between teachers and students, from the 1970s until the 2010s. In: *Oxford Review of Education*, 40(4), pp. 430-445.
- Michalik, Kerstin (2019): Teacher and learner perspectives on philosophical discussion - Uncertainty as a challenge and opportunity. In: *Childhood and Philosophy*, 15(July), pp.1-20
- National Research Council (2012): A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/13165/a-framework-for-k-12-science-education-practices-crosscutting-concepts> [04.11.2022].
- O'Connor, Catherine & Michaels, Sarah (2019): Supporting teachers in taking up productive talk moves: The long road to professional learning at scale. In: *Undefined*, 97, pp.166-175.
- Odden, Tor O. B., & Russ, Rosemary S. (2019): Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. In: *Science Education*, 103(1), pp.187-205.
- Resnick, Lauren B., Michaels, Sarah & O'Connor, Catherine (2010): How (well structured) talk builds the mind. *Innovations in Educational Psychology: Perspectives on Learning*. In: *Teaching and Human Development*, pp. 163-194.
- Schwarz, Christina, Passmore, Cynthia, & Mankowski, Jocelyn. (2016): Developing and using Models. In: Christina Schwarz, Cynthia Passmore & Brian Reiser (Eds.): *Helping Students Make Sense of the World Using Next Generation Science and Engineering Practices*. Arlington, pp. 109-134.
- Schwarz, Christina, Reiser, Brian, Acher, Andrés, Kenyon, Lisa & Fortus, David (2012): MoDeLS: Challenges in Defining a Learning Progression for Scientific Modeling. *Learning progressions in science*. Brill, pp. 101-137.
- Schwarz, Christina, Reiser, Brian, Davis, Elisabeth, Kenyon, Lisa, Achér, Andrés, Fortus, David, Shwartz, Yael, Hug, Barbara & Krajcik, Joe (2009): Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), pp. 632-654.

- Seidel, Tina, Stürmer, Kathleen, Schäfer, Stefanie & Jahn, Gloria (2015): How Preservice Teachers Perform in Teaching Events Regarding Generic Teaching and Learning Components. In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 47(2), S. 84-96.
- Sezen-Barrie, Asli (2018): Utilizing Professional Vision in Supporting Preservice Teachers' Learning About Contextualized Scientific Practices: Collaborative Discourse Practices Between Teachers and Scientists. In: *Science and Education*, 27(1-2), pp. 159-182.
- Sherin, Miriam G. & Van Es, Elisabeth A. (2009): Effects of video club participation on teachers' professional vision. In: *Journal of Teacher Education*, 60(1), pp. 20-37.
- Simon, Toni (2022): Partizipation als Qualitätsmerkmal inklusiven (Sach)Unterrichts – empirische Ergebnisse zu Einstellungen angehender Sachunterrichtslehrkräfte zur Schüler*innenpartizipation. In: *widerstreit sachunterricht, Beiheft 13*, S. 107-126.
- Simon, Toni & Pech, Detlef (2019): Partizipation. In: Vera Moser, Detlef Pech, Julia Frohn & Ellen Brodesser (Hrsg.): *Inklusives Lehren und Lernen. Allgemein- und fachdidaktische Grundlagen*. Bad Heilbrunn, S. 40-43.
- Steffensky, Miriam, Gold, Bernadette, Holdynski, Manfred & Möller, Kornelia (2015): Professional Vision of Classroom Management and Learning Support in Science Classrooms—Does Professional Vision Differ Across General and Content-Specific Classroom Interactions? In: *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(2), pp. 351-368.
- Stroupe, David (2014): Examining Classroom Science Practice Communities: How Teachers and Students Negotiate Epistemic Agency and Learn Science-as-Practice. In: *Science Education*, 98(3), pp. 487-516.
- Stürmer, Kathleen, Seidel, Tina & Schäfer, Stefanie (2013): Changes in professional vision in the context of practice. In: *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, 44(3), S. 339-355.
- Upmeyer zu Belzen, Anette & Krüger, Dirk (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, S. 41-57.
- Vo, Tina, Forbes, Cory T., Zangori, Laura & Schwarz, Christina (2015): Fostering Third-Grade Students' Use of Scientific Models with the Water Cycle: Elementary teachers' conceptions and practices. In: *International Journal of Science Education*, 37(15), pp. 2411-2432.
- Vogt, Friederike & Schmiemann, Philipp (2020): Assessing biology pre-service teachers' professional vision of teaching scientific inquiry. In: *Education Sciences*, 10(11), pp. 1-17.
- Watkins, Jessica, Hammer, David, Radoff, Jennifer, Jaber, Lama Z. & Phillips, Anna M. (2018): Positioning as not-understanding: The value of showing uncertainty for engaging in science. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 55(4), pp. 573-599.
- Windschitl, Mark & Stroupe, David (2017): The Three-Story Challenge: Implications of the Next Generation Science Standards for Teacher Preparation. In: *Journal of Teacher Education*, 68(3), pp. 251-261.
- Windschitl, Mark, Thompson, Jessica & Braaten, Melissa (2008): Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. In: *Science Education*, 92(5), pp. 941-967.
- Windschitl, Mrk, Thompson, Jessica, Braaten, Melissa & Stroupe, David (2012): Proposing a core set of instructional practices and tools for teachers of science. In: *Science Education*, 96(5), pp. 878-903.
- Wygotski, Lew S. (1987): *Ausgewählte Schriften, Bd. 2*. Hrsg. von Joachim Lompscher. Reprografischer Nachdruck von 2003. Berlin.
- Zangori, Laura, Vo, Tina, Forbes, Cory T. & Schwarz, Christina V. (2017): Supporting 3rd-grade students model-based explanations about groundwater: a quasi-experimental study of a curricular intervention. In: *International Journal of Science Education*, 39(11), pp. 1421-1442.