Der Simulierte Klassenraum Biologie – Erfassung deklarativen und prozeduralen Wissens bei Lehramtsstudierenden der Biologie

Julian Fischer¹ · Nils Machts² · Jens Möller² · Ute Harms¹

Eingegangen: 20. Februar 2021 / Angenommen: 21. Oktober 2021 / Online publiziert: 15. November 2021
© Der/die Autor(en) 2021, korrigierte Publikation 2021

Zusammenfassung

In der Lehrerprofessionalisierungsforschung werden zahlreiche Studien durchgeführt, die sich intensiv mit verschiedenen Wissensbereichen – fachliches, fachdidaktisches und pädagogisches Wissen – beschäftigen. Vernachlässigt werden häufig spezifische Wissenstypen, die nach psychologischen Ansätzen in deklaratives und prozedurales Wissen differenziert werden. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie die verschiedenen Bereiche des Professionswissens angehender Biologiestudierenden ($N = 51$) zur Evolution und versucht gleichzeitig, erste Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen dem deklarativen und prozeduralen Wissen zu gewinnen. Zu diesem Zweck wird eine Kombination zweier Instrumente verwendet - ein Fragebogen zur Evolution, der das deklarative Wissen misst - und der Simulierte Klassenraum Biologie (SKR^{Bio}), der das prozedurale Wissen im Bereich der Diagnosefähigkeit erfasst. Im SKR^{Bio} können die Lehramtsstudierenden Fragen zur natürlichen Selektion an virtuelle Schüler*innen richten, woraufhin die gegebenen Antworten und die gezeigten Leistungen diagnostiziert werden müssen. Die Ergebnisse im SKR^{Bio} zeigen, dass die Lehramtsstudierenden in der Lage sind, die wissenschaftliche Korrektheit der virtuellen Schülerantworten zu beurteilen (91% Diagnoserate). Größere Schwierigkeiten werden bei der Diagnose spezifischer Fehlvorstellungskategorien innerhalb der virtuellen Schülerantworten identifiziert (59% Diagnoserate). Zwischen dem deklarativen und dem prozeduralen Wissens zeigten sich schwache bis moderate Zusammenhänge. Erwartungswidrige Ergebnisse lieferten die differenzierten Zusammenhangsanalysen zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen innerhalb eines Wissensbereichs. Diese Befunde zeigen, dass deklaratives und prozedurales Wissen angehender Lehrer*innen zusammenhängen. Weitere Replikationsstudien könnten dazu beitragen, die beobachteten Unterschiede in den Zusammenhangsgrößen innerhalb der Wissensbereiche zu erklären. In Zukunft könnte der SKR^{Bio} eine simulierte Klassenraumumgebung darstellen, um Lehramtsstudierenden neben den schulpraktischen Phasen die Möglichkeit zu geben, prozedurales Wissen anzuwenden und trainieren zu können.

Schlüsselwörter Professionswissen · Deklaratives und prozedurales Wissen · Lehren und Lernen von Evolution · Simulierte Klassenraumumgebungen

✉ Julian Fischer
jfischer@leibniz-ipn.de

Nils Machts
nmachts@ipl.uni-kiel.de

Jens Möller
jmoeller@ipl.uni-kiel.de

Ute Harms
harms@leibniz-ipn.de

¹ Abteilung: Didaktik der Biologie, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel, Deutschland

² IPL – Institut für Pädagogisch-Psychologische Lehr- und Lernforschung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel, Deutschland

Abstract

In teacher education research, numerous studies are conducted that intensively focus different knowledge areas – content, pedagogical content, and pedagogical knowledge. However, specific knowledge types, which are differentiated into declarative and procedural knowledge, are often neglected. Against this background, the present study investigates different areas of 51 biology pre-service teachers' professional knowledge on evolution and simultaneously tries to provide insights into the interrelation between the respective declarative and procedural knowledge. For this purpose, a combination of two instruments is used – a questionnaire on evolution, which measures declarative knowledge – and the Simulated Classroom Biology (SCR^{Bio}), which captures procedural knowledge in the area of diagnostic ability. In the SCR^{Bio}, questions focusing natural selection can be asked by pre-service teachers to virtual students, whereupon the given answers and the shown performance have to be diagnosed. The results in the SCR^{Bio} showed that pre-service teachers are able to assess the scientific correctness of the virtual students' answers (91% diagnostic rate). Major problems were identified in diagnosing specific misconception categories (59% diagnostic rate). Weak to moderate correlations were found between declarative and procedural knowledge. The differentiated correlation analyses between declarative and procedural knowledge within a knowledge domain provided results that were contrary to expectations. These findings indicate that declarative and procedural knowledge of pre-service teachers are interrelated. Further replication studies could help explain the observed differences in the correlation measures within knowledge domains. In the future, the SCR^{Bio} could provide a simulated classroom environment to give pre-service teachers the opportunity to apply and train procedural knowledge.

Keywords Professional knowledge · Declarative and procedural knowledge · Teaching and learning evolution · Simulated classroom environments

Einleitung

Das Lehramtsstudium bietet trotz zunehmender Praxisphasen nur wenige Möglichkeiten, das im universitären Kontext erworbene deklarative Wissen in konkreten unterrichtlichen Handlungssituationen anzuwenden und in prozedurales Wissen zu überführen. Ob und inwiefern deklaratives und prozedurales Professionswissen zusammenhängen und welche Erhebungsinstrumente sich anbieten, diese Zusammenhänge darzustellen, ist weiterhin eine offene Frage. In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Studien durchgeführt, welche unterschiedliche Bereiche des Professionswissens – Fachwissen (FW), fachdidaktisches Wissen (FDW) und pädagogisches Wissen (PW) (z.B. Shulman 1986) – fokussierten, sich aber kaum explizit mit dem Zusammenhang zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen innerhalb der Professionswissensbereiche beschäftigten. Die vorliegende Studie hatte das Ziel, deklaratives sowie prozedurales Professionswissen zur Evolution angehender Biologielehrkräfte zu erfassen und erste Zusammenhänge aufzuzeigen. Für die Erfassung prozeduralen Wissens stellen wir hier den Simulieren Klassenraum Biologie (SKR^{Bio}) als digitales Erhebungsinstrument vor.

Das Professionswissen angehender Lehrkräfte ist der Kern professioneller Kompetenz (z.B. Borowski et al. 2010; Großschedl et al. 2015a; Jüttner und Neuhaus 2013; Kleickmann et al. 2014; Mahler et al. 2017). Zur Konzeptualisierung des Professionswissens hat sich das aus der Bildungswissenschaft stammende COACTIV-Modell durchgesetzt, welches in FW, FDW und PW unterteilt

(Baumert und Kunter 2006). Diese Wissensbereiche differenzieren sich weiter in unterschiedliche Wissensfacetten.

Neben dieser Differenzierung in Wissensbereiche und -facetten stellt die dichotome Einordnung des Professionswissens in deklaratives („Wissen, dass“) und prozedurales Wissen („Wissen, wie“) eine Möglichkeit dar, Wissen hinsichtlich der Handlungsorientiertheit zu differenzieren (z. B. Baumert und Kunter 2013; Blömeke et al. 2010; Förtsch et al. 2018; König et al. 2014; Tepner et al. 2012). Das deklarative Professionswissen wird als Sachwissen verstanden, welches dem Bewusstsein zugänglich ist und größtenteils während der ersten Phase der universitären Ausbildung erworben wird. Hingegen umfasst das prozedurale Professionswissen handlungsorientiertes Wissen (Baumert und Kunter 2013). In konkreten Handlungssituationen, wie in praktischen Übungen oder Schulpraktika, kann mittels regelmäßiger Übung und Kontextualisierung deklaratives zu prozeduralem Wissen transformiert werden (z. B. Anderson 1982; Blömeke et al. 2010; Schneider und Stern 2010). Bei einer unvollständigen Transformation können beide Wissenstypen unverbunden nebeneinander stehen oder sich sogar widersprechen (Shulman 1986). Hier offenbart sich eine zentrale Herausforderung für die Lehrkräftebildung, wonach das im Studium erworbene deklarative Wissen in konkreten Handlungssituationen träge bleibt und nicht in prozedurales Wissen überführt werden kann (z. B. Gruber et al. 2000).

In der Lehrkräftebildungsforschung wurden zahlreiche Large-Scale-Studien durchgeführt, die trotz der Berücksichtigung verschiedener Wissenstypen innerhalb der ent-

wickelten Erhebungsformate überwiegend die Messung deklarativen Wissens fokussierten (TEDS-M: Blömeke et al. 2008; ProWiN: Tepner et al. 2012; KiL: Kleickmann et al. 2014; COACTIV: Baumert und Kunter 2013). Beispielsweise untersuchten Borowski et al. (2011) und Kirschner et al. (2017) mit einem Papier-Bleistift-Fragebogen das deklarative sowie prozedurale Professionswissen, wobei keine expliziten Zusammenhangsanalysen zwischen den Wissenstypen vorgenommen wurden. In den COACTIV-Studien wurde ebenfalls versucht, neben theoretischem Wissen (Faktenwissen) auch Facetten praktischen Wissens (Fertigkeiten) zu erfassen. Hier stellten Krauss et al. (2020) fest, dass Fragebogenformate vor allem das deklarative Wissen fokussieren, wohingegen mithilfe von Videovignetten eher situationsspezifische Fähigkeiten und Fertigkeiten erfasst werden können (Blömeke et al. 2015; Lindmeier 2010; Kaiser et al. 2015). Kramer et al. (2021) konnten bspw. Zusammenhänge zwischen den Facetten des Professionswissens, erhoben über einen Fragebogen, und den gezeigten diagnostischen Aktivitäten, erfasst mit einer videobasierten Klassenraumsituation, angehender Biologie-Lehrkräfte nachweisen.

Die explizite Betrachtung des Zusammenhangs zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen innerhalb der Professionswissensbereiche ist besonders relevant. Gerade die Aktivierung prozeduralen Wissens in realen Unterrichtssituation ist essentiell, um als Lehrkraft im Sinne effektiven unterrichtlichen Handelns auf die Bedürfnisse der Schüler*innen reagieren zu können. Das unterrichtliche Handeln basiert hierbei auf dem Wissen und Können des Lehrenden, welches während der universitären Ausbildung in theoretischen sowie praktischen Phasen entwickelt und im Berufskontext weiter vertieft wird. Um neben deklarativem auch prozedurales Wissen angehender Lehrkräfte zur Evolution messen und erste Zusammenhänge untersuchen zu können, bieten sich simulierte Klassenraumumgebungen an (z. B. Badié und Kaufman 2015). In unserer Studie wurde daher eine entsprechende Umgebung weiterentwickelt und eingesetzt, die eine Klasse im evolutionsbiologischen Unterricht zum Prozess der natürlichen Selektion simuliert – der SKR^{Bio}. Im SKR^{Bio} hatten die Lehramtsstudierenden die Möglichkeit, das im akademischen Diskurs erlernte deklarative FW sowie FDW zur Evolutionstheorie und generisches PW in einer konkreten Handlungssituation anzuwenden. Hierbei ermöglichte der SKR^{Bio} die Messung des prozeduralen Wissens. Mit einem Fragebogen wurde das deklarative FW und FDW erfasst. Die vergleichende Betrachtung des gezeigten Wissens der Lehramtsstudierenden in beiden Instrumenten lässt eine differenzierte Betrachtung deklarativen und prozeduralen Professionswissens zur Evolution zu.

Theoretischer Hintergrund

Professionswissen von Biologielehrkräften

Das Professionswissen von Lehrkräften ist eine wesentliche Voraussetzung für guten Unterricht (z. B. Baumert und Kunter 2006; Borowski et al. 2010; Mahler et al. 2017; Sadler et al. 2013). Nach Shulmans (1986) Konzeptualisierung differenziert sich das Professionswissen in FW, FDW und PW. Diese Taxonomie wurde in zahlreichen Studien übernommen, um Bereiche des professionellen Wissens zu beschreiben (ProWiN: Fischer et al. 2012; KiL: Kleickmann et al. 2014; Großschedl et al. 2015b; COACTIV: Baumert und Kunter 2013). Innerhalb der Wissensbereiche werden das FW und FDW als inhaltsbezogene Domänen beschrieben, wohingegen das PW eher als inhaltsunabhängige Domäne angesehen wird (z. B. Förtsch et al. 2018; Jüttner et al. 2013; Shulman 1986).

Das FW wird beschrieben als das Wissen von Fakten und Begriffen sowie als das konzeptuelle Verständnis dieser Inhalte (z. B. Shulman 1986). Beispielsweise basiert das evolutionsbezogene FW von Biologie-Lehrkräften auf der synthetischen Evolutionstheorie (Großschedl et al. 2015b), welche den Evolutionsprozess auf Grundlage der veränderten genetischen Zusammensetzung von Populationen beschreibt. Hierbei kann das evolutionsbezogene FW weiter in das Wissen zu den Inhaltbereichen: (1) Mikroevolution, welche unmittelbare Prozesse der genetischen Veränderung innerhalb einer Art beschreibt, (2) Makroevolution, welche Selektionsmechanismen zwischen Arten erklärt, und (3) Erklärungsmodelle, welche das Wissen zu konkurrierenden Erklärungsansätzen zur Vielfalt der Arten (z. B. nach Lamarck) zusammenfasst, differenziert werden (Großschedl et al. 2015b).

Studien haben gezeigt, dass ein elaboriertes FW für effektiven Unterricht unerlässlich ist (z. B. Baumert et al. 2010; Friedrichsen et al. 2009), es aber allein nicht ausreicht, den Herausforderungen des Unterrichts, wie zum Beispiel dem Erkennen von Fehlvorstellungen und der daraus resultierenden Wahl einer geeigneten Instruktionsstrategie, gewachsen zu sein (z. B. Baumert et al. 2010; Förtsch et al. 2018; Riese et al. 2017; Tepner et al. 2012). Hierfür ist das FDW relevant, welches vor allem durch zwei Kernfacetten – das (1) Wissen über Fehlvorstellungen und (2) das Wissen zu Instruktionsstrategien – beschrieben wird. Das Wissen über Fehlvorstellungen besteht darin, prominente Fehlvorstellungen erkennen und beschreiben zu können. Hierbei definieren Fehlvorstellungen grundlegend ungenaue Vorstellungen bzw. Ideen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen (Yip 1998). Besonders problematisch ist die Tatsache, dass wissenschaftlich korrekte Denkweisen mit Fehlvorstellungen koexistieren können (z. B. Fosnot und Perry 2005; Shtulman und Valcarcel 2012). Nach theo-

retischen Ansätzen sind Fehlvorstellungen nicht pauschal lernhinderlich, sondern können auch als Anknüpfungspunkte für den Aufbau wissenschaftlicher Denkweisen im Lernprozess dienen (Kattmann 2015). Das Wissen zu Instruktionsstrategien hingegen ist relevant, um Schüler*innen beim Erlernen wissenschaftlicher Konzepte zu unterstützen (Magnusson et al. 1999).

Im Vergleich zum FW und FDW berücksichtigt das PW übergreifende Aspekte des Unterrichts. Es wird definiert als das Wissen über Lernstrategien, effektive Unterrichts- und Klassenführung sowie Leistungsbeurteilung (z. B. Baumert und Kunter 2013; Brunner et al. 2011; König und Blömeke 2009; Shulman 1987; Voss et al. 2011). In Bezug auf die Leistungsbeurteilung ist die Beurteilungsgenauigkeit von zentraler Bedeutung, denn diese beschreibt das Verhältnis zwischen den Lehrer*innenurteilen und den tatsächlich gezeigten Schüler*innenleistungen (z. B. Südkamp et al. 2012). Ziel der Lehrkräfte muss es sein, die Schüler*innen in jeder Unterrichtssituation angemessen zu beurteilen (Schrader 2006).

Unabhängig dieser Unterscheidung des Professionswissens in Wissensbereiche wurde in psychologischen Ansätzen eine weitere Differenzierung in Wissenstypen vorgenommen. Grundsätzlich wird zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen unterschieden (z. B. Anderson und Lebière 1998; Bromme 2001; de Jong und Ferguson-Hessler 1996; Fenstermacher 1994; Klieme et al. 2007; König et al. 2014). Deklaratives Wissen wird als das Wissen über Begriffe, Fakten und Prinzipien beschrieben (z. B. Baumert und Kunter 2011; Tepner et al. 2012), welches durch regelmäßige Übung und Kontextualisierung in prozedurales Wissen überführt werden kann (z. B. Anderson 1982; Blömeke et al. 2008, 2010; Klieme et al. 2007; Schneider und Stern 2010). Beispielsweise ist das Wissen über spezifische Fehlvorstellungen zur Evolution dem deklarativen Wissen zugeordnet (Förtsch et al. 2018). Geht es um die Diagnose spezifischer Fehlvorstellungen innerhalb von Schüler*innenantworten in einer Unterrichtssituation, wird prozedurales Wissen relevant. Erst wenn es in konkreten Handlungssituationen zu einer Restrukturierung und Verknüpfung des deklarativen Wissens zu prozeduralem Wissen kommt, können Lehrkräfte adäquat auf die Herausforderungen des Unterrichts reagieren (z. B. Blömeke et al. 2008).

Diese grundlegende Wissensstrukturierung in deklaratives und prozedurales Wissen wurde in der mathematik- sowie naturwissenschaftsdidaktischen Forschung übernommen bzw. nur leicht modifiziert (z. B. Förtsch et al. 2018; Jüttner und Neuhaus 2013; Olszewski et al. 2010; Schmelzing et al. 2010; Tepner et al. 2012). Dementsprechend wurde sich in der vorliegenden Studie der Differenzierung in deklaratives und prozedurales Wissen angeschlossen.

Diagnostisches Wissen

Lehrkräfte sind in Unterrichtssituationen kontinuierlich mit diagnostischen Aktivitäten konfrontiert (Klug et al. 2013). Hierbei ist das zugrundeliegende Professionswissen eine essentielle Voraussetzung, um diese diagnostischen Aktivitäten effektiv durchführen zu können (z. B. Helmke et al. 2004). Diese Aktivitäten adressieren sowohl die Dokumentation des Leistungs- oder Kompetenzniveaus der Schüler*innen (z. B. Südkamp et al. 2012) als auch die Nutzung dieser diagnostischen Informationen für adaptiven Unterricht (Rogalla und Vogt 2008) und Lerninterventionen (Wollenschläger et al. 2016). In Abhängigkeit der Situation, in der eine diagnostische Aktivität benötigt wird, müssen auf unterschiedliche Bereiche des Professionswissens zurückgegriffen werden. Um beispielsweise die wissenschaftliche Korrektheit einer Schüler*inantwort einschätzen zu können, benötigen die Lehrenden entsprechendes Wissen über Fakten und Begriffe sowie ein konzeptuelles Verständnis der zu unterrichtenden Inhalte, welches dem FW zugeordnet wird (Förtsch et al. 2018; Shulman 1986). Ist eine Fehlvorstellung die Ursache für die wissenschaftlich inkorrekte Denkweise, ist das FDW (Facette: Wissen über Schülerfehlvorstellungen; Baumert et al. 2010; Förtsch et al. 2018; Riese et al. 2017; Tepner et al. 2012) relevant. Das PW geht über die inhaltsbezogenen Facetten hinaus und adressiert die übergeordneten Aspekte des Unterrichts (z. B. Shulman 1986, 1987). So gehört zum PW beispielsweise die Beurteilungsgenauigkeit hinsichtlich der gezeigten Leistungen der Schüler*innen unabhängig vom konkreten Fachinhalt (Voss und Kunter 2011). Die Beurteilungsgenauigkeit kann durch drei Komponenten gemessen werden: (1) Die Rangkomponente, die zeigt, ob die Lehrenden in der Lage sind, die charakteristische Ausprägung der Schüler*innen untereinander richtig zu beurteilen. (2) Die Niveauelemente gibt die Fähigkeit der Lehrenden an, das durchschnittliche Niveau eines Schüler*innenmerkmals in einer Klasse richtig einzuschätzen und (3) die Differenzierungskomponente, als Verhältnis der Varianz der realen Leistungen zur Varianz der eingeschätzten Leistungen (Südkamp et al. 2008).

Die vorliegende Studie fokussierte die Untersuchung des diagnostischen Wissens in den drei Wissensbereichen (FW, FDW, PW), wobei der Fokus ausschließlich auf der Beurteilung lag, ohne hierbei weitere Facetten des professionellen Wissens, wie bspw. Aspekte adaptiven Unterrichts oder explizite Instruktionsstrategien mit einzubeziehen.

Lehren und Lernen der biologischen Evolution

Die Evolutionstheorie gilt als übergeordnetes Organisationsprinzip der Biologie, welches einzelne Fakten zu einem umfassenden Erklärungsrahmen verbindet (Nationale

Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2017; National Research Council [NRC] 2012). Folglich ist die Evolutionstheorie in vielen Ländern zentraler Bestandteil zahlreicher Lehrpläne des naturwissenschaftlichen Unterrichts (z. B. KMK 2005; USA: NGSS Lead States 2013).

Zahlreiche Studien belegen erhebliche Schwierigkeiten beim Lehren und Lernen der Evolutionstheorie (z. B. Bou-Jaoude et al. 2011; Gregory 2009; Großschedl et al. 2014, 2019; Lucero et al. 2019; Nehm und Reilly 2007). Im Kontext des naturwissenschaftlichen Unterrichts bleiben nicht-wissenschaftliche Vorstellungen, im Folgenden Fehlvorstellungen genannt, von Schüler*innen häufig unberührt, wodurch es weniger Gelegenheiten gibt, den wissenschaftlichen Erklärungsansatz zu thematisieren (z. B. Kampourakis und Zogza 2008; McVaugh et al. 2011; Opfer et al. 2012). So wurden von Graf und Hamdorf (2011) über 80 Fehlvorstellungskategorien identifiziert, welche vor allem den Evolutionsbegriff, die zeitliche Dimension von Evolution und die Wissenschaftlichkeit der Evolutionstheorie betreffen. Problematisch sind diese Fehlvorstellungen besonders in Bezug auf die biologische Evolution, da diese das vereinigende sowie übergreifende Erklärungsprinzip der Lebenswissenschaften ist und somit die Grundlage aller Themenbereiche der Biologie und des Biologieunterrichts darstellt (z. B. Furtak 2012; Opfer et al. 2012). Erst ein konzeptuelles Verständnis der biologischen Evolution sowie der Evolutionstheorie ermöglichen die Teilnahme am gesellschaftlichen Diskurs, beispielsweise in Themen der Gesundheits- oder Umweltbildung (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2017). Besonders zum Prozess der natürlichen Selektion wurden zahlreiche Fehlvorstellungen identifiziert, welche sich vor allem auf die Erklärung der Angepasstheit von Individuen und Populationen an ihre Umwelt beziehen (z. B. Bishop und Anderson 1990; Lucero et al. 2019).

Fehlvorstellungen zum Prozess der natürlichen Selektion

Die natürliche Selektion ist der zentrale Prozess des evolutionären Wandels, welcher zu adaptiven Merkmalsveränderungen bei Organismen führt. Aus der Forschung ist bekannt, dass der Prozess der natürlichen Selektion eines der am schwierigsten zu vermittelnden Themen in der Biologie ist (z. B. Bishop und Anderson 1990; Nehm und Reilly 2007). Verantwortlich sind zahlreiche Fehlvorstellungen seitens der Lernenden, welche von den Lehrkräften erkannt und überwunden werden müssen (Gregory 2009). Überwiegend beruhen diese Fehlvorstellungen auf der Annahme, dass nicht Faktoren wie Mutation und Rekombination Ursprung der natürlichen Selektion sind, sondern sich Lebewesen aktiv und wissentlich neuen Umweltbedingungen anpassen (z. B. Nehm und Schonfeld 2008; Settlage

1994). In den vergangenen Jahren versuchten zahlreiche Forschungsarbeiten spezifische Fehlvorstellungen zu identifizieren und Kategorisierungen einzuführen. Es kristallisierte sich heraus, dass vor allem anthropomorphe, teleologische und lamarckistische Fehlvorstellungen von den Lernenden genutzt werden, um den Prozess der natürlichen Selektion zu erklären (z. B. Bishop und Anderson 1990; Bizzo 1994; Demastes et al. 1995; Hammann und Nehm 2020; Jensen und Finley 1996; Kampourakis und Zogza 2008; Nehm et al. 2009).

Die anthropomorphe Fehlvorstellung ist dadurch gekennzeichnet, dass menschliche Eigenschaften, wie zum Beispiel das Denken oder Fühlen, auf nichtmenschliche Organismen übertragen werden (z. B. Byrne et al. 2009). Die Veränderung eines Merkmals ist das Ergebnis von absichtlichen und zielgerichteten Verhalten oder Handlungen durch das Individuum selbst, um sich aktiv an veränderte Umweltbedingungen anzupassen (z. B. Baalmann et al. 2004; Demastes et al. 1995; Gregory 2009; Kallery und Psillos 2004; Sinatra et al. 2008). Auch in teleologischen Erklärungen werden Veränderungen mit einer Ziel- bzw. Zweckgerichtetheit begründet, welche durch einen Schöpfer oder das Lebewesen selbst gesteuert werden. Merkmale entstehen oder gehen verloren, weil diese zu einem Überlebensvorteil für das Individuum führen (z. B. Andrews et al. 2011; Nehm et al. 2009; Sinatra et al. 2008). Teleologische Erklärungen folgen immer einem „Start-Ziel-Schema“ mit einem manifesten Endergebnis (z. B. Sinatra et al. 2008; Stover und Mabry 2007). Nach der lamarckistischen Fehlvorstellung entstehen Merkmalsveränderungen durch aktive Anpassung der Individuen während der Nutzung oder Nichtnutzung von Organen bzw. Fähigkeiten (z. B. Andrews et al. 2011; Kalinowski et al. 2016; Kampourakis und Zogza 2008; Nehm et al. 2009).

Diese ziel- und zweckgerichteten Erklärungen basieren auf der natürlichen Tendenz des Menschen, Naturphänomene kausal erklären zu wollen (z. B. Gregory 2009; Olander 2012). Dennoch ist nicht das Ziel oder der Zweck der bestimmende Faktor für die Entwicklung eines Merkmals, sondern evolutionsbiologische Mechanismen wie Variabilität, Selektion und Vererbung (z. B. Tibell und Harms 2017). Das konzeptuelle biologische Wissen, welches zur Erklärung evolutionsbiologischer Prozesse notwendig ist, sollte durch den Biologieunterricht vermittelt werden (z. B. Gregory 2009). Hierfür ist ein elaboriertes Wissen der Lehrkräfte bezüglich prominenter Fehlvorstellungen zum Prozess der natürlichen Selektion notwendig, um im Unterricht geäußerte Fehlvorstellungen zur Evolution zu erkennen und mögliche Anschlusshandlungen zur Initiierung wissenschaftlich korrekter Denkweisen umzusetzen.

Fragestellung und Hypothesen

Das deklarative Wissen, das angehende Lehrkräfte während ihres Studiums erlernen, bleibt in konkreten Unterrichtssituationen oft träge und wird nicht abgerufen (z. B. Blömeke et al. 2015). Dies scheint eine der größten Herausforderungen in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung zu sein. Dementsprechend sollte Lehramtsstudierenden die Möglichkeit gegeben werden, ihr deklaratives Wissen in konkreten Handlungssituationen anzuwenden und prozedurales Wissen zu entwickeln (Santagata und Guarino 2011). Hierfür müsste vorerst in der Forschung untersucht werden, inwiefern das deklarative und prozedurale Wissen bei angehenden Biologielehr*innen zur Evolution zusammenhängt. Eine Voraussetzung sind Instrumente zur Erfassung deklarativen und prozeduralen Wissens, um einen tieferen Einblick in deren Zusammenhang zu gewähren.

Hieraus ergibt sich die zentrale Forschungsfrage, inwieweit das deklarative und prozedurale Wissen der Lehramtsstudierenden zusammenhängen. Basierend auf theoretischen Vorkenntnissen aus der Wissenspsychologie (z. B. Anderson 2001; Edelmann 2000; Steiner 2001) sowie empirischen Befunden (Rittle-Johnson et al. 2001; Perry 1991), wonach deklaratives und prozedurales Wissen miteinander interagiert, gehen wir davon aus, dass Zusammenhänge zwischen dem deklarativen Wissen im Fragebogen und dem prozeduralen Wissen im SKR^{Bio} bestehen (Hypothese 1). Für die differenziertere Betrachtung spezifischer Wissensbereiche (FW, FDW und PW) erwarten wir darüber hinaus vergleichsweise höhere Zusammenhänge zwischen dem deklarativen FW im Fragebogen und dem prozedu-

ralen FW im SKR^{Bio} (Hypothese 2) sowie zwischen dem deklarativen FDW im Fragebogen und dem prozeduralen FDW im SKR^{Bio} (Hypothese 3).

Methodisches Vorgehen

Stichprobe

Die Studie wurde an einer norddeutschen Universität durchgeführt. Es nahmen $N=51$ Lehramtsstudierende (83 % weiblich) im Master of Education für das gymnasiale Lehramt mit dem Unterrichtsfach Biologie teil. Die Teilnehmenden waren im Mittel $M=25,7$ ($SD=2,97$) Jahre alt.

Testinstrumente

ProwiE – Fragebogen – Messung des deklarativen Professionswissens

Das deklarative FW und FDW wurde mit einem Fragebogen erfasst (Großschedl et al. 2015b: Testinstrument zur Erfassung des evolutionsbezogenen Professionswissens von Lehramtsstudierenden; ProWiE). 28 geschlossene Fragen des Fragebogens bezogen sich auf das evolutionsbezogene FW. 21 Fragen (4 im geschlossenen, 17 im offenen Format) adressierten das evolutionsbezogene FDW.

Wir verwendeten die aus der IRT Skalierung des Fragebogens erhaltenen Personenfähigkeitsschätzer (Weighted Likelihood Estimates) als Indikator für das deklarati-

The screenshot displays the SKR^{Bio} interface. At the top, a header bar shows 'Klassenraum' and 'Token: xEcVYW'. Below this is a grid of nine student avatars, each with a name tag: Niklas, Michelle, Tim, Lukas, Laura, Lea, Finn, Jan, and Sarah. To the right of the avatars, a text box explains: 'Virtuelle Klasse: Alle virtuellen Schüler werden mit einem Bild und Namen angezeigt. Virtuelle Schüler, die eine Antwort geben wollen, sind orange markiert und mit einem kleinen Fingersymbol versehen.' Below the avatars is a table with four columns: 'Kategorien', 'Unterkategorien', 'Fragen', and 'Frage an Klasse gerichtet'. The 'Kategorien' column has a dropdown menu for 'Unterrichtsfragen'. The 'Unterkategorien' column lists 'Zoologie', 'Botanik', 'Humanbiologie', and 'Bakteriologie'. The 'Fragen' column lists 'Nachtkerzen - Giftstoffe', 'Teufelszwirn - Pflanzenorgane', 'Tabakpflanze - Abwehrmechanismen', 'Spaltöffnungen bei Landpflanzen', 'Gauklerblumen - Blütenmorphologie', 'Rotes Straußgras - Kupferresistenz', and 'Weißklee - Cyanidproduktion'. The 'Frage an Klasse gerichtet' column contains two questions: 'Das Rote Straußgras ist ein weit verbreitetes Gras, welches auch schon in der Nähe von Kupferminen gefunden wurde. An diesen Stellen sind die Böden stark kupferbelastet und wirken auf viele Pflanzen toxisch. Untersuchungen zeigten, dass das rote Straußgras in diesen Bereichen eine hohe Kupfertoleranz aufweist, welche bei Artgenossen außerhalb von kupferbelasteten Böden nicht festgestellt werden konnte. Wie ist die Kupfertoleranz unter Berücksichtigung evolutionsbiologischer Prinzipien zu erklären?' and 'Frage an die Klasse : Es wird die vollständige Frage angezeigt, auf welche die virtuellen Schüler antworten sollen.'.

Kategorien	Unterkategorien	Fragen	Frage an Klasse gerichtet
Unterrichtsfragen	Zoologie	Nachtkerzen - Giftstoffe	Das Rote Straußgras ist ein weit verbreitetes Gras, welches auch schon in der Nähe von Kupferminen gefunden wurde. An diesen Stellen sind die Böden stark kupferbelastet und wirken auf viele Pflanzen toxisch. Untersuchungen zeigten, dass das rote Straußgras in diesen Bereichen eine hohe Kupfertoleranz aufweist, welche bei Artgenossen außerhalb von kupferbelasteten Böden nicht festgestellt werden konnte. Wie ist die Kupfertoleranz unter Berücksichtigung evolutionsbiologischer Prinzipien zu erklären?
	Botanik	Teufelszwirn - Pflanzenorgane	
	Humanbiologie	Tabakpflanze - Abwehrmechanismen	Frage an die Klasse : Es wird die vollständige Frage angezeigt, auf welche die virtuellen Schüler antworten sollen.
	Bakteriologie	Spaltöffnungen bei Landpflanzen	
		Gauklerblumen - Blütenmorphologie	
		Rotes Straußgras - Kupferresistenz	
		Weißklee - Cyanidproduktion	
		Fragen - Pflanzen: Innerhalb der Pflanzen konnten sieben Fragen von den Lehramtsstudierenden ausgewählt werden (hier: Frage zur Kupferresistenz zum roten Straußgras).	

Abb. 1 Darstellung des SKR^{Bio} während der Fragensauswahl durch die Lehramtsstudierenden

ve Wissen, wobei der Gesamttest – FW und FDW – eine akzeptable Reliabilität zeigte (rel.EAP=0,64). Nach Großschedl et al. (2015b) differenzierten wir das gezeigte Wissen im Fragebogen weiter in deklaratives FW und deklaratives FDW, welche auf Basis der IRT-Analysen mäßige bis akzeptable Reliabilitäten zeigten (FW: rel.EAP=0,63; FDW: rel.EAP=0,54).

Der Simulierte Klassenraum Biologie – Messung des prozeduralen Professionswissens

Der SKR^{Bio} ist eine simulierte Klassenraumumgebung, welche es den Lehramtsstudierenden ermöglicht, in die Rolle der Lehrenden zu schlüpfen und Frage-Antwort Sequenzen mit virtuellen Schüler*innen zu simulieren (Südkamp et al. 2008). Ziel ist dabei die Beurteilung der Schüler*innenantworten. Während dieser digitalen Unterrichtsstunde können Fragen an virtuelle Schüler*innen gerichtet werden, welche durch ein Profilbild und dem dazugehörigen Namen dargestellt werden. Die virtuellen Schüler*innen antworten immer bezüglich ihres voreingestellten Fähigkeitsprofils. Es betrifft bspw. die Wahrscheinlichkeit eine richtige Antwort zu geben oder die Häufigkeit, sich auf eine gestellte Frage zu melden. Auf Basis der Qualität der gegebenen Antworten können die Leistungen der virtuellen Schüler*innen eingeschätzt werden. Die Übereinstimmung zwischen den Einschätzungen der Lehramtsstudierenden und der tatsächlich erbrachten Leistung der virtuellen Schüler*innen ergibt ein Maß für die Beurteilungsgenauigkeit.

Um neben PW auch FW und FDW angehender Lehrkräfte erfassen zu können, wurde der SKR (Fiedler et al. 2002, 2007; Südkamp et al. 2008) zum SKR^{Bio} weiterentwickelt. Hierfür haben wir eine virtuelle Unterrichtsstunde zur biologischen Evolution mit 27 evolutionsbiologischen Fragestellungen sowie dazugehörigen Schüler*innenantworten (N=476) erstellt (siehe Online Material). Biologiedidaktische Studien zeigen, dass das Wissen zur natürlichen Selektion mit der jeweils betroffenen Organismengruppe divergiert (Großschedl et al. 2018; Opfer et al. 2012). Darüber hinaus gibt es Erkenntnisse darüber, dass die Merkmalsausprägung (d.h. Verlust vs. Erwerb) einen Einfluss auf das Verständnis des Evolutionsprozesses haben kann (Nehm et al. 2012). Dementsprechend adressieren die evolutionsbiologischen Fragestellungen im SKR^{Bio} alle Organismengruppen (Bakterien, Pflanzen, Tiere und Mensch) mit verschiedenen Merkmalsausprägungen. Die entwickelten Schüler*innenantworten basieren u. a. auf authentischen Schüler*innenantworten einer Interviewstudie (Baalman et al. 2004) und äußern entweder eine wissenschaftliche Denkweise oder eine spezifische Fehlvorstellung (anthropomorph, lamarckistisch, teleologisch).

In der vorliegenden Studie wurde die virtuelle Klasse in drei Gruppen mit je drei virtuellen Schüler*innen (insgesamt 9 virtuelle Schüler*innen, s. Abb. 1) aufgeteilt, wobei die Wahrscheinlichkeit wissenschaftlich korrekter Antworten zwischen den drei Schüler*innengruppen bei 20, 50 und 80 % lag. Außerdem wurde jedem/jeder virtuellen Schüler*in eine spezifische Fehlvorstellungskategorie hinterlegt. Das heißt, antworteten die Schüler*innen auf die gestellte Frage fehlerhaft, so geschah dies immer auf Basis der für diese/n Schüler*in voreingestellten Fehlvorstellungskategorie. Innerhalb des SKR^{Bio} wurde jede mögliche Wahrscheinlichkeit eine wissenschaftliche korrekte Antwort zu geben (d.h., 20, 50 oder 80 %) mit jeweils einer spezifischen Fehlvorstellungskategorie (d.h. anthropomorph, teleologisch, lamarckistisch: dominante Fehlvorstellung) kombiniert.

Die Aufgabe der Lehramtsstudierenden war es, während der 30-minütigen digitalen Unterrichtsstunde Fragen aus einem Fragenmenü auszuwählen und die darauf gegebenen virtuellen Schüler*innenantworten hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Korrektheit bzw. der jeweils artikulierten Fehlvorstellungskategorie zu diagnostizieren. Nach Beendigung der virtuellen Unterrichtsstunde mussten die individuellen Leistungen der virtuellen Schüler*innen, d.h. Anteil richtiger Antworten während der gesamten Unterrichtsstunde, beurteilt sowie die am häufigsten verwendete (dominante) Fehlvorstellung diagnostiziert werden.

Operationalisierung von deklarativem und prozeduralem Wissen

Das gezeigte Wissen im Fragebogen wurde als deklaratives Wissen operationalisiert, da die Lehramtsstudierenden zur Beantwortung auf Wissen zu Fakten, Begriffen und Prinzipien zurückgreifen mussten (z. B. Tepner et al. 2012).

Das gezeigte FW, FDW und PW der Lehramtsstudierenden im SKR^{Bio} wurde als prozedurales Wissen operationalisiert, da sich die entsprechenden Wissensbereiche hier in einer konkreten Handlungssituation artikulierten (z. B. Jüttner und Neuhaus 2013; Tepner et al. 2012), indem die Lehramtsstudierenden nach Abgabe einer Antwort sowie nach Abschluss der digitalen Unterrichtsstunde die virtuellen Schüler*innen direkt beurteilen mussten.

Für die Erfassung des prozeduralen Wissens im SKR^{Bio} wurden vier Variablen operationalisiert:

1. Der Anteil korrekter Diagnosen wissenschaftlich korrekter virtueller Schüler*innenantworten (Wissen über die Evolutionstheorie; betrifft FW)
2. Der Anteil korrekter Diagnosen spezifischer Fehlvorstellungen in den virtuellen Schüler*innenantworten (Facette: Wissen über Fehlvorstellungen; betrifft FDW)

Tab. 1 Produkt-Moment-Korrelationen zwischen dem gezeigten deklarativen Wissen im Fragebogen und dem gezeigten prozeduralen Wissen im SKR^{Bio} der Lehramtsstudierenden

Prozedurales Wissen	Deklaratives Wissen		
	Fachwissen ^a	Fachdidaktisches Wissen ^b	Fachliches – und fachdidaktisches Wissen ^c
WissKorr	0,24	0,38**	0,38**
FV _{Hit}	0,35*	0,21	0,37**
FV _{Dom}	0,26	0,15	0,25*
FV _{Anth}	0,34*	0,03	0,23*
FV _{Tel}	0,41**	0,28*	0,45**
FV _{Lam}	–0,00	0,06	0,06
RK	0,17	0,14	0,19

WissKorr Anteil korrekter Diagnosen wissenschaftlich korrekter Antworten, FV_{Anth} Anteil korrekter Diagnosen anthropomorpher Fehlvorstellungen, FV_{Tel} Anteil korrekter Diagnosen teleologischer Fehlvorstellungen, FV_{Lam} Anteil korrekter Diagnosen lamarckistischer Fehlvorstellungen, FV_{Hit} Anteil korrekter Diagnosen spezifischer Fehlvorstellungskategorien, FV_{Dom} Anteil korrekter Diagnosen dominanter Fehlvorstellungen, RK Beurteilungsgenauigkeit auf Basis der Rangkomponente

^an = 28 fachliche Fragen

^bn = 21 fachdidaktische Fragen

^cN = 49 fachliche und fachdidaktische Fragen (gesamter Fragebogen)

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

- Die Beurteilungsgenauigkeit am Ende der Unterrichtsstunde (Facette: pädagogisches Beurteilungswissen; betrifft PW)
- Der Anteil korrekter Diagnosen der dominanten Fehlvorstellungen bei einzelnen virtuellen Schüler*innen am Ende der Unterrichtseinheit (Facette: Wissen über Fehlvorstellungen; betrifft FDW)

Die Anteile korrekter Diagnosen (1) wissenschaftlich korrekter und fehlerhafter Antworten, (2) spezifischer Fehlvorstellungskategorien, (3) sowie dominanter Fehlvorstellungen im SKR^{Bio} werden als relative Häufigkeiten angegeben.

Die Beurteilungsgenauigkeit der Lehramtsstudierenden im SKR^{Bio} hinsichtlich der individuellen Leistungen der virtuellen Schüler*innen am Ende der Unterrichtssequenz wurde über drei Beurteilungskomponenten (Rang-, Niveau- und Differenzierungskomponente) ermittelt (Schrader und Helmke 2001; Spinath 2005).

Ablauf

Die Untersuchung dauerte etwa 90–120 min und beinhaltete zwei Teile. Zuerst wurden die Lehramtsstudierenden gebeten, in etwa 45–60 min einen Fragebogen zur Evolution zu beantworten. Anschließend arbeiteten die Lehramtsstudierenden mit dem SKR^{Bio} (ca. 45–60 min).

Datenauswertung

Erfassung deklarativen Wissens

Die Antworten im Fragebogen wurden mit dem Kodiermanual der ProWiE-Studie ausgewertet (Großschedl et al.

2015b). Offene Antwortformate ($N = 17$) wurden von einem weiteren unabhängigen Rater codiert, um eine adäquate Punktzuweisung zu gewährleisten. Die aus der IRT Skalierung des Fragebogens erhaltenen Personenfähigkeitsschätzer (deklaratives Wissen) wurden genutzt, um diese mit den Operationalisierungen für prozedurales Wissen im SKR^{Bio} zu vergleichen.

Erfassung prozeduralen Wissens

Die diagnostischen Leistungen im SKR^{Bio} der Lehramtsstudierenden wurden auf Individualebene anhand absoluter Werte korrekter bzw. inkorrektur Diagnosen der virtuellen Schüler*innenantworten errechnet.

Zusammenhang zwischen dem deklarativen und prozeduralen Wissen

Die aus der IRT Skalierung des Fragebogens erhaltenen Personenfähigkeitsschätzer (deklaratives Wissen) wurden genutzt, um diese mit den Operationalisierungen für prozedurales Wissen im SKR^{Bio} zu vergleichen. Hierbei wurden Zusammenhänge mittels Korrelationsanalysen (Produkt-Moment-Korrelationen) ermittelt, wobei die Korrelationen gegen 0 sowie gegeneinander getestet wurden.

Um die Beurteilungsgenauigkeit zu ermitteln, wurden die eingeschätzten Leistungen der virtuellen Schüler*innen durch die Lehramtsstudierenden mit den tatsächlich gezeigten Leistungen der virtuellen Schüler*innen im SKR^{Bio} verglichen. Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen deklarativem Wissen und der Beurteilungsgenauigkeit im SKR^{Bio} (prozedurales Wissen) wurde nur die Rangkomponente berücksichtigt, da die Niveau- sowie die Differenzierungskomponente sich in unserer Studie nicht linear ver-

halten und damit eine Korrelation nicht berechnet werden konnte.

Ergebnisse

Deklaratives Wissen

Im Fragebogen erreichten die Lehramtsstudierenden durchschnittlich $M=35,69$ von 67 Punkten (Min.=22 Punkte; Max.=47 Punkte; $SD=5,89$). Im Mittel erreichten die Lehramtsstudierenden im fachwissenschaftlichen Teil des Fragebogens $M=19,67$ von 32 möglichen Punkten (Min.=11 Punkte; Max.=28 Punkte; $SD=3,69$). Im fachdidaktischen Teil des Fragebogens erreichten die Studierenden im Mittel $M=16,02$ von 35 möglichen Punkten (Min.=7 Punkte; Max.=24 Punkte; $SD=3,65$). Mittels Produkt-Moment Korrelationen der gewichteten Personenfähigkeitsschätzer innerhalb der Stichprobe konnte zwischen FW und FDW im Fragebogen ein schwacher Zusammenhang ermittelt werden ($r=0,29$; $p<0,05$).

Prozedurales Wissen

Insgesamt wurden $N=2988$ Fragen durch die Lehramtsstudierenden im SKR^{Bio} gestellt, auf welche die virtuellen Schüler*innen zu 49,2 % ($n=1471$) wissenschaftlich korrekt und zu 50,8 % ($n=1517$) fehlerhaft antworteten. Auf Basis gegebener Antworten der virtuellen Schüler*innen waren die Lehramtsstudierenden in der Lage, 91,8 % ($n=1350$) der wissenschaftlich korrekten Antworten und 90,1 % ($n=1367$) der fehlerhaften Antworten zu erkennen.

Die Lehramtsstudierenden erkannten im Mittel zu 58,7 % ($n=891$) die spezifische Fehlvorstellungskategorie. Am häufigsten konnte die lamarckistische Fehlvorstellung identifiziert werden (68,6 %; $n=382$), gefolgt von der teleologischen Fehlvorstellung 57,5 % ($n=279$). Die anthropomorphe Fehlvorstellung wurde mit 50,2 % ($n=230$) am seltensten erkannt.

Über alle Lehramtsstudierenden hinweg ergab sich eine mittlere Rangkomponente von $M_R=0,39$ (Min.=−0,47; Max.=0,89), eine mittlere Niveauelemente von $M_N=−1,17$ (Min.=−38,66; Max.=16,11) und eine mittlere Differenzierungskomponente von $M_D=0,88$ (Min.=0,23; Max.=1,65). Die Ergebnisse der Beurteilungsgenauigkeit zeigen eine moderate Übereinstimmung zwischen der Beurteilung der Lehramtsstudierenden bezüglich der Leistungen der virtuellen Schüler*innen im SKR^{Bio} (Rangkomponente), wobei die Leistungen minimal unterschätzt wurden (Niveauelemente). Innerhalb der virtuellen Klasse wurde die Varianz der virtuellen Schüler*innenleistungen im Mittel leicht unterschätzt (Differenzierungskomponente).

Zusammenhang zwischen dem deklarativen und prozeduralen Wissen

Zwischen dem deklarativen Wissen im ProWiE-Fragebogen und den Operationalisierungen prozeduralen Wissens im SKR^{Bio} zeigten sich entsprechend Hypothese 1 schwache bis moderate Zusammenhänge (s. Tab. 1). Die Anteile korrekter Diagnosen wissenschaftlich korrekter virtueller Schüler*innenantworten ($Wiss_{Korr}$: $r=0,38$; $p=0,00$), spezifischer Fehlvorstellungen in virtuellen Schüler*innenantworten (FV_{Hit} : $r=0,45$; $p=0,00$) sowie der dominanten Fehlvorstellungen bei einzelnen virtuellen Schüler*innen am Ende der Unterrichtsstunde (FV_{Dom} : $r=0,25$, $p=0,04$) korrelierten statistisch signifikant mit dem gezeigten deklarativen Wissen. Eine genauere Betrachtung der Diagnosen spezifischer Fehlvorstellungen zeigte, dass der Anteil korrekter Diagnosen bei Antworten mit anthropomorphen (FV_{Anth} : $r=0,23$, $p=0,04$) und teleologischen Fehlvorstellungen (FV_{Tel} : $r=0,45$, $p=0,00$) statistisch signifikant mit dem deklarativen Wissen korreliert. Bei lamarckistischen Fehlvorstellungen scheint die Diagnose hingegen nicht mit deklarativem Wissen zusammenzuhängen (FV_{Lam} : $r=0,06$, $p=0,67$). Die Korrelation mit der Beurteilungsgenauigkeit (Rangkomponente) war statistisch knapp nicht signifikant (RK : $r=0,19$; $p=0,09$).

Bei einer detaillierten Betrachtung beider Wissensbereiche (FW und FDW) innerhalb des Fragebogens (deklaratives Wissen) zeigten sich augenscheinlich Unterschiede in der Größe der Zusammenhänge mit den Operationalisierungen prozeduralen Wissens. Die Anteile korrekter Diagnosen wissenschaftlich korrekter virtueller Schüler*innenantworten (prozedurales Wissen) zeigten größere Zusammenhänge mit dem deklarativen FDW ($Wiss_{Korr}$: $r=0,38$; $p=0,00$) als mit dem deklarativen FW ($Wiss_{Korr}$: $r=0,24$; $p=0,09$), womit Hypothese 2 zurückgewiesen wird. Weiterhin konnten in Widerspruch zu Hypothese 3 höhere Zusammenhänge zwischen den Anteilen korrekter Diagnosen spezifischer Fehlvorstellungen (prozedurales Wissen) und dem deklarativen FW beobachtet werden (FV_{Anth} : $r=0,34$, $p=0,01$; FV_{Tel} : $r=0,41$, $p=0,00$) als zwischen den Anteilen korrekter Diagnosen spezifischer Fehlvorstellungen (prozedurales Wissen) und dem deklarativen FDW (FV_{Anth} : $r=0,03$, $p=0,82$; FV_{Tel} : $r=0,28$, $p=0,04$). Jedoch waren keine der Zusammenhangsunterschiede zwischen dem deklarativen FW und dem deklarativen FDW statistisch signifikant (siehe Tab. 1).

Diskussion

Die im Artikel vorgestellte Studie zum deklarativen und prozeduralen evolutionsbezogenen Wissen angehender Biologielehrkräfte versucht mit einer Kombination zweier Er-

hebungsinstrumente: (1) dem ProWiE-Fragebogen und dem (2) SKR^{Bio}, beide Wissenstypen separat zu erfassen, um im Anschluss erste Zusammenhänge darstellen zu können. Grundlage für die Interpretation des gezeigten deklarativen und prozeduralen Wissens der Lehramtsstudierenden ist die Annahme, dass die eingesetzten Messinstrumente in der Lage sind, die jeweils fokussierten Wissenstypen adäquat abzubilden. Da die Konzeptualisierungen von Wissenstypen in der kognitions- und bildungspsychologischen sowie naturwissenschaftsdidaktischen Forschung zum Teil stark divergieren, stellt sich die Operationalisierung deklarativen und prozeduralen Wissens als herausfordernd dar.

Gezeigtes prozedurales Wissen im SKR^{Bio}

Innerhalb des SKR^{Bio} konnte das prozedurale Professionswissen (FW, FDW, PW) der Biologie-Lehramtsstudierenden erfasst werden. Zur Beurteilung der Wissenschaftlichkeit einer virtuellen Schüler*innenantwort mussten die Lehramtsstudierenden auf ihr FW zur synthetischen Evolutionstheorie zurückgreifen. Die hohen Anteile korrekter Diagnosen wissenschaftlich korrekter und fehlerhafter virtueller Schüler*innenantworten lassen vermuten, dass der Prozess der natürlichen Selektion von den Lehramtsstudierenden grundsätzlich verstanden wurde und das wissenschaftliche sowie unwissenschaftliche Aspekte einer Schüler*innenantwort zuverlässig erkannt wurden. Obwohl das FW eine zentrale Bedeutung für die Qualität von Unterricht hat (z.B. Baumert et al. 2010; Friedrichsen et al. 2009), ist es ebenso Konsens, dass FW um FDW ergänzt werden muss, um erfolgreichen Unterricht durchzuführen und den Lernerfolg der Schüler*innen zu garantieren (z.B. Abell 2007; Baumert et al. 2010). Eine relevante Facette des FDW ist hierbei das Wissen über Fehlvorstellungen (z.B. Förtsch et al. 2018; Schmelzing et al. 2013), welches im SKR^{Bio} angewendet werden musste, um die virtuellen Schüler*innenantworten hinsichtlich spezifischer Fehlvorstellungskategorien innerhalb der Unterrichtsstunde zu diagnostizieren. Brumby (1984) zeigte in seinen Studien, dass etwa zwei Drittel der Biologiestudierenden Fehlvorstellungen während der Erklärung des Prozesses der natürlichen Selektion äußerten. Besonders prominent waren auch hier teleologische und lamarckistische Fehlvorstellungen. In Untersuchungen von Nehm und Schonfeld (2008) konnten diese Ergebnisse repliziert werden. Teleologische, anthropomorphe und lamarckistische Denkweisen basieren auf der Tendenz des Menschen, natürliche Phänomene kausal erklären zu wollen (z.B. Olander 2012). Hier liegt die Vermutung nahe, dass Fehlvorstellungen basierend auf einer kausalen Erklärung eher von Lehramtsstudierenden akzeptiert und somit seltener diagnostiziert werden (z.B. Gresch und Martens 2019; Kallery und Psillos 2004; Kampourakis und Zogza 2008; Sinatra et al. 2008).

Bezüglich des PW zeigte sich, dass die Lehramtsstudierenden am Ende der virtuellen Unterrichtsstunde in der Lage waren, die Leistungen, also den Anteil korrekt gegebener Antworten, der virtuellen Schüler*innen im SKR^{Bio} adäquat einzuschätzen (Rangkomponente: $M_R = 0,39$). Im Vergleich zu Befunden aus der Feldforschung (Südamp et al. 2012) sowie aus anderen Studien mit dem Simulierten Klassenraum (z.B. Kaiser et al. 2013) fiel die beobachtete Beurteilungsgenauigkeit niedrig aus. Hierbei ist zu bedenken, dass die Lehramtsstudierenden im SKR^{Bio}, anders als etwa bei Kaiser et al. (2013), jede gegebene virtuelle Schüler*innenantwort selbst hinsichtlich der wissenschaftlichen Korrektheit sowie vorliegenden Fehlvorstellungskategorie beurteilen mussten und dementsprechend vergleichsweise stärker kognitiv ausgelastet waren.

Zusammenhang zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen

Nach kognitions- und pädagogisch-psychologischen Ansätzen wurde das prozedurale Wissen als Handlungswissen verstanden (z.B. De Jong und Ferguson-Hessler 1996; Lukesch 2001). Auch die naturwissenschaftsdidaktische Forschung schloss sich dieser Konzeptualisierung in zahlreichen Studien an (z.B. Jüttner und Neuhaus 2013; Olszewski et al. 2010; Tepner et al. 2012). Auf dieser Grundlage wurde das gezeigte Wissen der angehenden Biologielehrer*innen im SKR^{Bio} als prozedurales Wissen operationalisiert, da Wissen in einer konkreten Handlungssituation angewendet werden musste, um gegebene virtuelle Schüler*innenantworten sowie die Leistungen am Ende der virtuellen Unterrichtsstunde adäquat einzuschätzen. Die beschriebene Handlungsnahe resultierte ebenso aus der hohen ökologischen Validität, welche der SKR^{Bio} als simulierte Klassenraumumgebung mit sich bringt (Südamp et al. 2008). Das gezeigte Wissen im Fragebogen wurde als deklaratives Wissen operationalisiert, da zur Beantwortung der Fragen überwiegend auf Wissen zu Fakten, Begriffen und Prinzipien zurückgegriffen werden musste, ohne es in eine konkrete Handlungssituation einzubetten (Krathwohl 2002; Tepner et al. 2012). Die Modellierung verschiedener Wissenstypen sowie die Entwicklung verschiedener Testformate fokussierten bereits einige Forschungsvorhaben (Borowski et al. 2011; Kirschner et al. 2017; Kramer et al. 2021; Krauss et al. 2020; Schmelzing et al. 2013). Auch hier wurde zur Erfassung deklarativen Wissens überwiegend Fragebögen eingesetzt, wohingegen das prozedurale Wissen via videobasierter Erhebungsinstrumente realisiert wurde (Blömeke et al. 2015; Kramer et al. 2021; Krauss et al. 2020). Trotzdem wurde nicht in allen Studien die vorgenommene Differenzierung der Wissenstypen in den Zusammenhangsanalysen explizit berücksichtigt.

Übereinstimmend mit Hypothese 1 zeigten sich überwiegend statistisch signifikante moderate Zusammenhänge zwischen dem deklarativen Wissen im ProWiE-Fragebogen und dem prozeduralen Wissen im SKR^{Bio}. So waren Lehramtsstudierende mit höherem deklarativen Wissen häufiger in der Lage, wissenschaftlich korrekte Antworten zu erkennen, Fehlvorstellungen in Antworten zu identifizieren und dominante Fehlvorstellungen bei den virtuellen Schüler*innen zu diagnostizieren. Basierend auf der evolutionsbiologischen Ausrichtung beider Instrumente sowie den Vorkenntnissen aus der Wissenspsychologie (z.B. Anderson 2001) waren diese Zusammenhänge zu erwarten. Außerdem konnten bereits einige Studien in der bildungswissenschaftlichen und naturwissenschaftsdidaktischen Forschung erste Zusammenhänge zwischen dem deklarativen und prozeduralen Wissen belegen. Beispielsweise zeigte eine Studie von Kramer et al. (2020) einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem in einem Fragebogen erfassten FDW sowie PW und den diagnostischen Aktivitäten angehender Biologielehrkräfte in einem video-basierten Messinstrument.

Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Fehlvorstellungen zeigte sich, dass höheres deklaratives Wissen augenscheinlich einzig bei lamarckistischen Fehlvorstellungen nicht mit höheren Anteilen korrekter Diagnosen einhergeht. In Anlehnung an theoretische Vorüberlegungen von Shavelson et al. (2005), dass beide Wissenstypen einerseits voneinander abgegrenzt werden können und andererseits sich gegenseitig bedingen, lieferten diese Ergebnisse Hinweise darauf, dass deklaratives und prozedurales biologiespezifisches Wissen zur Evolution bei Lehramtsstudierenden zusammenhängt. Diese Befunde sind besonders dann relevant, wenn das deklarative Wissen angehender Lehrkräfte den Ausgangspunkt bzw. die Voraussetzung für eine erfolgreiche Professionalisierung darstellt (z.B. Anderson 1983; Shavelson et al. 2005). Demnach müsste vorerst deklaratives Wissen im akademischen Diskurs erworben werden, bevor es in konkreten Handlungssituationen angewendet werden kann und über regelmäßige Übung und Kontextualisierung prozedurales Wissen entsteht (z.B. Anderson 1982; Blömeke et al. 2010; Schneider und Stern 2010). Ein potenzieller schwacher Zusammenhang mit der Beurteilungsgenauigkeit bei der Leistungsbeurteilung am Ende der Stunde war tendenziell sichtbar, aber bei der gegebenen Stichprobe nicht statistisch signifikant.

Eine differenzierte Betrachtung der Facetten deklarativen Wissens lieferte überraschende Ergebnisse. Im Widerspruch zu den Hypothesen 2 und 3 schienen das deklarative FW eher mit der Diagnose der spezifischen Fehlvorstellungskategorie und das deklarative FDW eher mit Diagnose der wissenschaftlich korrekten Antworten zusammenzuhängen. Zwar waren die Zusammenhangsunterschiede statistisch nicht signifikant, dennoch sind diese Ergeb-

nisse auf Basis bisheriger Forschung schwer zu erklären, da die Diagnose spezifischer Fehlvorstellungen (hier: Wissen über Fehlvorstellungen) eine Kernfacette des FDW ist (z. B. Förtsch et al. 2018; Lee und Luft 2008; Schmelzing et al. 2013) und dementsprechend eher Zusammenhänge mit dem deklarativen FDW zu erwarten gewesen wären. Obwohl beide Instrumente das evolutionsbezogene FW und FDW von Lehramtsstudierenden fokussierten, wird beispielsweise im Fragebogen, anders als im SKR^{Bio}, nicht nur Wissen über Fehlvorstellungen erfasst, sondern auch das Wissen über Instruktionsstrategien (Großschedl et al. 2015b). Hier könnten Gründe für unterschiedlich ausgeprägte Zusammenhänge liegen. Da das deklarative FW größere Zusammenhänge mit dem prozeduralen FDW zu haben scheint, könnte die Annahme gestärkt werden, dass das FW eine wichtige Voraussetzung für das FDW darstellt (z. B. Shulman 1987; Baumert et al. 2010). Durch Replikationsstudien könnten diese ersten Befunde nicht nur theoretisch, sondern auch empirisch fundiert werden.

Kernlimitation der vorliegenden Studie stellt die Konzeptualisierung des deklarativen und prozeduralen Wissens dar. Abhängig von der Forschungsdisziplin sowie der gewählten Erhebungsinstrumente können die Operationalisierungen verschiedener Wissenstypen stark variieren. Das Wissen über Begriffe, Fakten und Konzepte wird als deklaratives Wissen beschrieben, welches maßgeblich für die Beantwortung der Fragen im ProWiE-Fragebogen verantwortlich ist. Trotzdem wurden beispielsweise Items des ProWiE-Fragebogens durch Großschedl et al. (2015b) der Fähigkeitsdimension „Verstehen & Anwenden“ zugeordnet und somit ein konkreter Anwendungsbezug impliziert, wohingegen in der vorliegenden Studie alle Fragebogenitems dem deklarativen Wissen zugeordnet wurden (vgl. Kramer et al. 2021; Krauss et al. 2020; Schmelzing et al. 2013). Diese Unschärfe bei der Operationalisierung von deklarativem und prozeduralem Wissen könnte die gemessenen Zusammenhangsgrößen beeinflusst haben. Die konkrete Handlungssituation, welche durch den SKR^{Bio} initiiert wird, aktiviert das prozedurale Wissen der angehenden Biologie-Lehramtsstudierenden. Dadurch ist diese simulierte Klassenraumumgebung in der Lage, prozedurales Wissen messen und erfassen zu können. Nichtsdestotrotz zeigen die Terminologien und Konzeptualisierungen der entsprechenden Wissenstypen in anderen bildungswissenschaftlichen und naturwissenschaftsdidaktischen Studien, dass die von uns gewählte Operationalisierung deklarativen und prozeduralen Wissens keine Allgemeingültigkeit besitzt, sondern eine auf das Studiendesign und die Erhebungsinstrumente adaptierte Operationalisierung darstellt. Besonders der Herausforderung, beide Wissenstypen trennscharf voneinander messen und interpretieren zu können, muss in Zukunft mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Weiterhin muss genauer untersucht werden, inwiefern der SKR^{Bio} tatsächlich eine kon-

krete Handlungssituation erzeugt, da dieser Aspekt eine Grundannahme für unsere Konzeptualisierung prozeduralen Wissens ist. Hier könnte die starke Komplexitätsreduktion des SKR^{Bio}, beispielsweise die eindeutige Zuweisung der virtuellen Schüler*innenantworten einer spezifischen Fehlvorstellungskategorie oder die simplifizierende Darstellung des Unterrichtsgesprächs zwischen Lehramtsstudierenden und der virtuellen Schulklasse, die gewünschte ökologische Validität stark limitieren.

Fazit und Ausblick

Trotz intensiver Forschung im Bereich des Lehrens und Lernens von Evolution (z.B. Gregory 2009) konnten die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Lehramtsstudierende der Biologie weiterhin Schwierigkeiten damit haben, spezifische Fehlvorstellungskategorien zur natürlichen Selektion in Schüler*innenantworten zu erkennen. Diese Fokussierung des SKR^{Bio} auf die Diagnose prominenter Fehlvorstellungen limitiert die Facetten eines komplexen Unterrichtsgesprächs, bildet aber die Ausgangslage für das zukünftige unterrichtliche Handeln der Lehrenden. Besonders problematisch werden diese fachdidaktischen Wissenslücken in realen Unterrichtssituationen, wenn es darum geht, mögliche Anschlusshandlungen zu evaluieren, um das Erlernen und gemeinsame Weiterentwickeln des wissenschaftlich korrekten Evolutionskonzepts zu unterstützen (Ziadie und Andrews 2018). Dementsprechend muss innerhalb der universitären Biologie-Lehramtsausbildung ein starker Fokus auf die Vermittlung der Evolutionstheorie und den damit verbundenen notwendigen fachdidaktischen Kenntnissen gelegt werden, um gegenüber häufig vorkommender Fehlvorstellungen zu sensibilisieren. Hierfür könnte der SKR^{Bio} auch mit entsprechenden Feedbackmaßnahmen weiterentwickelt werden, um über die Funktion als Messinstrument hinaus auch eine Förderung der Diagnosefähigkeit zu bewirken. Dahingehend wurde bereits im SKR^{Bio} ein Feedbackmodul implementiert, welches den Lehramtsstudierenden direkt im Anschluss der Bearbeitung eine summative Rückmeldung zu ihren gezeigten Diagnoseleistungen gibt.

Weiterhin konnte die Studie erste Hinweise liefern, dass das deklarative und prozedurale biologiebezogene Professionswissen zur Evolution angehender Lehrkräfte zusammenhängen. Somit konnte Anschluss an die bisherige kognitionspsychologische Forschung zur Differenzierung und Interaktion deklarativen und prozeduralen Wissens hergestellt werden (z.B. Shavelson et al. 2005). Der Einsatz von simulierten Klassenraumumgebungen scheint eine Möglichkeit zu eröffnen, das im Biologiestudium erworbene deklarative Wissen der Lehramtsstudierenden in einer konkreten Handlungssituation anzuwenden (Badiee und Kaufman 2015).

Um den Lehramtsstudierenden neben den schulpraktischen Phasen weitere Lerngelegenheiten zu ermöglichen, in denen prozedurales Wissen angewendet und trainiert werden kann, bietet die Integration simulierter Klassenraumumgebungen in die universitäre Lehre eine hervorragende Lösung. Hierbei können Lehramtsstudierende orts- und zeitunabhängig ihr Professionswissen auf die Probe stellen und sich auf zukünftige Klassenraumsituationen, z.B. der Diagnose von Schüler*innenantworten zur Evolution im Biologieunterricht, vorbereiten. Besonders die Tatsache, dass prozedurales Wissen eine wichtige Komponente für das professionelle Handeln angehender Lehrkräfte darstellt, sollte zu einer intensiveren Betrachtung sowie Förderung unterschiedlicher Wissenstypen während des naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiums führen.

Zusatzmaterial online Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s40573-021-00136-z>) enthalten.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

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

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

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

Literatur

- Abell, S.K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 1105–1149). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J.R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, 89, 369–406.
- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Anderson, J.R. (2001). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Anderson, J.R., & Lebière, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah: Erlbaum.
- Andrews, T.M., Kalinowski, S.T., & Leonard, M.J. (2011). “Are humans evolving?” A classroom discussion to change student misconceptions regarding natural selection. *Evolution: Education and Outreach*, 4, 456–466. <https://doi.org/10.1007/s12052-011-0343-4>.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H., & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung.

- sung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10(1), 7–28.
- Badiee, F., & Kaufman, D. (2015). Design evaluation of a simulation for teacher education. *Sage Open*, 5(2), 1–10.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Keyword: professional competence of teachers. *Journal for Educational Science*, 9(4), 469–520.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–53). Münster: Waxmann.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2013). The COACTIV model of teachers' professional competence. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Cognitive activation in the mathematics classroom and professional competence of teachers: results from the COACTIV project* (S. 25–48). New York: Springer.
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Neubrand, M., & Tsai, Y.-M. (2010). Teachers' mathematical knowledge, cognitive activation in the classroom, and student progress. *American Educational Research Journal*, 47(1), 133–180.
- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415–427.
- Bizzo, N. M. V. (1994). From down house landlord to Brazilian high school students: What has happened to evolutionary knowledge on the way? *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 537–556.
- Blömeke, S., Felbrich, A., Müller, C., Kaiser, G., & Lehmann, R. (2008). Effectiveness of teacher education. *ZfD*, 40(5), 719–734.
- Blömeke, S., König, J., Suhl, U., Hoth, J., & Döhrmann, M. (2015). Wie situationsbezogen ist die Kompetenz von Lehrkräften? Zur Generalisierbarkeit der Ergebnisse von videobasierten Performanztests. *Zeitschrift für Pädagogik*, 61(3), 310–327.
- Blömeke, S., Kaiser, G., & Lehmann, R. (Hrsg.). (2010). *TEDS-M 2008. Professionelle Kompetenz und Lerngelegenheiten angehender Primarstufenlehrkräfte im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Borowski, A., Kirschner, S., Liedtke, S., & Fischer, H. E. (2011). Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik. *PhyDid – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(10), 1–9.
- Borowski, A., Neuhaus, B. J., Tepner, O., Wirth, J., Fischer, H. E., Leutner, D., Sandmann, A., & Sumfleth, E. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN) – Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 341–349.
- BouJaoude, S., Asghar, A., Wiles, J. R., Jaber, L., Saredidine, D., & Alters, B. (2011). Biology professors' and teachers' positions regarding biological evolution and evolution education in a Middle Eastern society. *International Journal of Science Education*, 33(7), 979–1000.
- Bromme, R. (2001). Teacher expertise. In N. J. Smelser, P. B. Baltes & F. E. Weinert (Hrsg.), *International encyclopedia of the behavioral sciences: education* (S. 15459–15465). London: Pergamon.
- Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493–503.
- Brunner, M., Anders, Y., Hachfeld, A., & Krauss, S. (2011). Diagnostische Fähigkeiten von Mathematiklehrkräften. In *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 215–233). Waxmann.
- Byrne, J., Grace, M., & Hanley, P. (2009). Children's anthropomorphic and anthropocentric ideas about micro-organisms: educational research. *Journal of Biological Education*, 44(1), 37–43.
- De Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105–113.
- Demastes, S. S., Settlage Jr, J., & Good, R. (1995). Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 535–550.
- Edelmann, W. (2000). *Lernpsychologie*. Kempten: Kösel.
- Fenstermacher, G. D. (1994). The knower and the known: the nature of knowledge in research on teaching. *Review of Research in Education*, 20(1), 3–56.
- Fiedler, K., Freytag, P., & Unkelbach, C. (2007). Pseudo-contingencies in a simulated classroom. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92, 665–677.
- Fiedler, K., Walther, E., Freytag, P., & Plessner, H. (2002). Judgment biases in a simulated classroom—a cognitive-environmental approach. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 88, 527–561.
- Fischer, H. E., Borowski, A., & Tepner, O. (2012). Professional knowledge of science teachers. In B. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Second international handbook of science education* (S. 435–448). Dordrecht: Springer.
- Förtsch, C., Sommerhoff, D., Fischer, F., Fischer, M. R., Girwidz, R., Obersteiner, A., Reiss, K., Stürmer, K., Siebeck, M., Schmidmaier, R., Seidel, T., Ufer, S., Wecker, C., & Neuhaus, B. J. (2018). Systematizing professional knowledge of medical doctors and teachers: development of an interdisciplinary framework in the context of diagnostic competences. *Education Sciences*, 8(4), 207–225.
- Fosnot, C. T., & Perry, R. S. (2005). Constructivism: A psychological theory of learning. In C. T. Fosnot (Hrsg.), *Constructivism: Theory, perspectives, and practice* (2. Auflage, S. 8–33). New York, NY: Teachers College Press.
- Friedrichsen, P. J., Abell, S. K., Pareja, E. M., Brown, P. L., Lakford, D. M., & Volkmann, M. J. (2009). Does teaching experience matter? Examining biology teachers' prior knowledge for teaching in an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), 357–383.
- Furtak, E. M. (2012). Linking a learning progression for natural selection to teachers' enactment of formative assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1181–1210.
- Graf, D., & Hamdorf, E. (2011). Evolution: Verbreitete Fehlvorstellungen zu einem zentralen Thema. In D. Dreesmann, D. Graf & K. Witte (Hrsg.), *Evolutionsbiologie: Moderne Themen für den Unterricht* (S. 25–41). Heidelberg: Springer.
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection. Essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 156–175.
- Gresch, H., & Martens, M. (2019). Teleology as a tacit dimension of teaching and learning evolution: a sociological approach to classroom interaction in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(3), 243–269.
- Großschedl, J., Konnemann, C., & Basel, N. (2014). Pre-service biology teachers' acceptance of evolutionary theory and their preference for its teaching. *Evolution: Education and Outreach*, 7(18), 1–16.
- Großschedl, J., Harms, U., Kleickmann, T., & Glowinski, I. (2015a). Preservice biology teachers' professional knowledge: Structure and learning opportunities. *Journal of Science Teacher Education*, 26(3), 291–318.
- Großschedl, J., Neubrand, C., Kirchner, A., Oppermann, L., Basel, N., & Gantner, S. (2015b). Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des evolutionsbezogenen Professionswissens von Lehramtsstudierenden (ProwiE). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 173–185.
- Großschedl, J., Seredszus, F., & Harms, U. (2018). Angehende Biologielehrkräfte: evolutionsbezogenes Wissen und Akzeptanz der Evolutionstheorie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 51–70.

- Großschedl, J., Welter, V., & Harms, U. (2019). A new instrument for measuring pre-service biology teachers' pedagogical content knowledge: The PCK-IBI. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(4), 402–439.
- Gruber, H., Mandl, H., & Renkl, A. (2000). Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In H. Mandl & J.K. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Empirische und theoretische Lösungsansätze* (S. 139–156). Göttingen: Hogrefe.
- Hammann, M., & Nehm, R. (2020). Teleology and evolution education: introduction to the special issue. *Evolution: Education and Outreach*, 13(16), 1–5.
- Helmke, A., Hosenfeld, I., & Schrader, F.-W. (2004). Vergleichsarbeiten als Instrument zur Verbesserung der Diagnosekompetenz von Lehrkräften. In R. Arnold & C. Grieser (Hrsg.), *Schulleitung und Schulentwicklung* (S. 119–144). Hohengehren: Schneider.
- Jensen, M.S., & Finley, F.N. (1996). Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instructional strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(8), 879–900.
- Jüttner, M., & Neuhaus, B.J. (2013). Das Professionswissen von Biologielehrkräften – Ein Vergleich zwischen Biologielehrkräften, Biologen und Pädagogen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 31–49.
- Jüttner, M., Boone, W., Park, S., & Neuhaus, B.J. (2013). Development and use of a test instrument to measure biology teachers' content knowledge (CK) and pedagogical content knowledge (PCK). *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 25(1), 45–67.
- Kaiser, J., Retelsdorf, J., Südkamp, A., & Möller, J. (2013). Achievement and engagement: How student characteristics influence teacher judgments. *Learning and Instruction*, 28, 73–84.
- Kaiser, J., Möller, J., Helm, F., & Kunter, M. (2015). Das Schülerinventar: Welche Schülermerkmale die Leistungsurteile von Lehrkräften beeinflussen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 18(2), 279–302.
- Kalinowski, S.T., Leonard, M.J., & Taper, M.L. (2016). Development and validation of the conceptual assessment of natural selection (CANS). *CBE—Life Sciences Education*, 15(4), 1–11.
- Kallery, M., & Psillos, D. (2004). Anthropomorphism and animism in early years science: why teachers use them, how they conceptualise them and what are their views on their use. *Research in Science Education*, 34(3), 291–311.
- Kampourakis, K., & Zogza, V. (2008). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education*, 17(1), 27–47.
- Kattmann, U. (2015). *Schüler besser verstehen: Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Hallbergmoos: Aulis.
- Kirschner, S., Szudlek, M., Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H.E., Lenske, G., Leutner, D., Neuhaus, B.J., Sumfleth, E., Thillmann, H., & Wirth, J. (2017). Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN). In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals* (S. 113–130). Wiesbaden: Springer.
- Kleickmann, T., Grosschedl, J., Harms, U., Heinze, A., Herzog, S., Hohenstein, F., Koller, O., Kroger, J., Lindmeier, A., Loch, C., Mahler, D., Möller, J., Neumann, K., Parchmann, I., Steffensky, M., Taskin, V., & Zimmermann, F. (2014). Professionswissen angehender Lehrkräfte mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachern – Testentwicklung im Rahmen des Projekts KiL. *Unterrichtswissenschaft*, 42(3), 280–288.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reiss, K., Riquarts, K., Rost, J., Tenorth, H.-E., & Vollmer, H.J. (2007). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*. Bildungsforschung, Bd. 1. Berlin: BMBF.
- Klug, J., Bruder, S., Kelava, A., Spiel, C., & Schmitz, B. (2013). Diagnostic competence of teachers: a process model that accounts for diagnosing learning behavior tested by means of a case scenario. *Teaching and Teacher Education*, 30, 38–46.
- König, J., & Blömeke, S. (2009). Pädagogisches Wissen von angehenden Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 12(3), 499–527.
- König, J., Blömeke, S., Klein, P., Suhl, U., Busse, A., & Kaiser, G. (2014). Is teachers' general pedagogical knowledge a premise for noticing and interpreting classroom situations? A video-based assessment approach. *Teaching and Teacher Education*, 38, 76–88.
- Kramer, M., Förtsch, C., Boone, W.J., Seidel, T., & Neuhaus, B.J. (2021). Investigating pre-service biology teachers' diagnostic competences: relationships between professional knowledge, diagnostic activities, and diagnostic accuracy. *Education Sciences*, 11(3), 89. <https://doi.org/10.3390/educsci11030089>.
- Kramer, M., Förtsch, C., Stürmer, J., Förtsch, S., Seidel, T., & Neuhaus, B.J. (2020). Measuring biology teachers' professional vision: development and validation of a video-based assessment tool. *Cogent Education*. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2020.1823155>.
- Krathwohl, D.R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: an overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212–218.
- Krauss, S., Bruckmaier, G., Lindl, A., Hilbert, S., Binder, K., Steib, N., & Blum, W. (2020). Competence as a continuum in the COACTIV study: the "cascade model". *ZfDM*, 52(2), 311–327.
- Lee, E., & Luft, J.A. (2008). Experienced secondary science teachers' representation of pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1343–1363.
- Lindmeier, A. (2010). *Modeling and measuring knowledge and competencies of teachers: A threefold domain-specific structure model, exemplified for mathematics teachers, operationalized with computer- and video-based methods*. Waxmann Verlag.
- Lucero, M.M., Delgado, C., & Green, K. (2019). Elucidating high school biology teachers' knowledge of students' conceptions regarding natural selection. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(6), 1041–1061. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10008-1>.
- Lukesch, H. (2001). *Psychologie des Lernens und Lehrens*. Regensburg: Roderer.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In *Examining pedagogical content knowledge* (S. 95–132). Dordrecht: Springer.
- Mahler, D., Großschedl, J., & Harms, U. (2017). Using doubly latent multilevel analysis to elucidate relationships between science teachers' professional knowledge and students' performance. *International Journal of Science Education*, 39(2), 213–237.
- McVaugh, N.K., Birchfield, J., Lucero, M.M., & Petrosino, A.J. (2011). Evolution education: seeing the forest for the trees and focusing our efforts on the teaching of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4(2), 286–292.
- National Research Council (2012). *Thinking evolutionarily: evolution education across the life sciences: summary of a convocation*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2017). *Evolutionsbiologische Bildung in Schule und Universität*. Halle (Saale): Nationale Akademie der Wissenschaften.
- Nehm, R.H., & Reilly, L. (2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, 57(3), 263–272.
- Nehm, R.H., & Schonfeld, I.S. (2008). Measuring knowledge of natural selection: a comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(10), 1131–1160.
- Nehm, R.H., Beggrow, E.P., Opfer, J.E., & Ha, M. (2012). Reasoning about natural selection: diagnosing contextual competency using the ACORNS instrument. *The American Biology Teacher*, 74(2), 92–98.
- Nehm, R.H., Poole, T.M., Lyford, M.E., Hoskins, S.G., Carruth, L., Ewers, B.E., & Colberg, P.J. (2009). Does the segregation of evo-

- lution in biology textbooks and introductory courses reinforce students' faulty mental models of biology and evolution? *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 527–532.
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: for states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Olander, C. (2012). Teaching biological evolution-internal and external evaluation of learning outcomes. *Nordic Studies in Science Education*, 5(2), 171–184.
- Olszewski, J., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2010). Measuring physics teachers' declarative and procedural PCK. In *Contemporary science education research: teaching* (S. 87–94). Ankara: Pegem-Akademi.
- Opfer, J. E., Nehm, R. H., & Ha, M. (2012). Cognitive foundations for science assessment design: knowing what students know about evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(6), 744–777.
- Perry, M. (1991). Learning and transfer: instructional conditions and conceptual change. *Cognitive Development*, 6, 449–468.
- Riese, J., Gramzow, Y., & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 99–112.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S., & Wagner Alibali, M. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics: an interactive process. *Journal of Educational Psychology*, 93, 346–362.
- Rogalla, M., & Vogt, F. (2008). Förderung adaptiver Lehrkompetenz: eine Interventionsstudie. *Unterrichtswissenschaften*, 36(1), 17–36.
- Sadler, P. M., Sonnert, G., Coyle, H. P., Cook-Smith, N., & Miller, J. L. (2013). The influence of teachers' knowledge on student learning in middle school physical science classrooms. *American Educational Research Journal*, 50(5), 1020–1049.
- Santagata, R., & Guarino, J. (2011). Using video to teach future teachers to learn from teaching. *ZDM*, 43(1), 133–145. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0292-3>.
- Schmelzing, S., van Driel, J. H., Jüttner, M., Brandenbusch, S., Sandmann, A., & Neuhaus, B. J. (2013). Development, evaluation, and validation of a paper-and-pencil test for measuring two components of biology teachers' pedagogical content knowledge concerning the “cardiovascular system”. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, 1369–1390.
- Schmelzing, S., Wüsten, S., Sandmann, A., & Neuhaus, B. (2010). Fachdidaktisches Wissen und Reflektieren im Querschnitt der Biologielehrerbildung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 189–207.
- Schneider, M., & Stern, E. (2010). The developmental relations between conceptual and procedural knowledge: a multimethod approach. *Developmental Psychology*, 46(1), 178–192.
- Schrader, F.-W. (2006). Diagnostische Kompetenz von Eltern und Lehrern. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 95–100). Weinheim: Beltz.
- Schrader, F.-W., & Helmke, A. (2001). Alltägliche Leistungsbeurteilung durch Lehrer. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 45–58). Weinheim: Beltz.
- Settlage Jr, J. (1994). Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 449–457.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A., & Wiley, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49(4), 413–430. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-9448-9>.
- Shulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124, 209–215.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57(1), 1–23.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Sinatra, G. M., Brem, S. K., & Evans, E. M. (2008). Changing minds? Implications of conceptual change for teaching and learning about biological evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2), 189–195.
- Spinath, B. (2005). Akkuratheit der Einschätzung von Schülermerkmalen durch Lehrer und das Konstrukt der diagnostischen Kompetenz. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, 85–95.
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss – Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- Steiner, G. (2001). Lernen als Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 163–202). Weinheim: PVU.
- Stover, S. K., & Mabry, M. L. (2007). Influences of teleological and Lamarckian thinking on student understanding of natural selection. *Bioscience*, 33(1), 11–18.
- Südkamp, A., Möller, J., & Pohlmann, B. (2008). Der Simulierte Klassenraum: Eine experimentelle Untersuchung zur diagnostischen Kompetenz. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22(34), 261–276.
- Südkamp, A., Kaiser, J., & Möller, J. (2012). Accuracy of teachers' judgments of students' academic achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 104(3), 743–762.
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmann, H., & Wirth, J. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7–28.
- Tibell, L. A., & Harms, U. (2017). Biological principles and threshold concepts for understanding natural selection. *Science and Education*, 26(7–9), 953–973.
- Voss, T., & Kunter, M. (2011). Pädagogischpsychologisches Wissen von Lehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 193–214). Münster: Waxmann.
- Voss, T., Kunter, M., & Baumert, J. (2011). Assessing teacher candidates' general pedagogical and psychological knowledge: test construction and validation. *Journal of Educational Psychology*, 103(4), 952–969. <https://doi.org/10.1037/a0025125>.
- Wollenschläger, M., Hattie, J., Machts, N., Möller, J., & Harms, U. (2016). What makes rubrics effective in teacher-feedback? Transparency of learning goals is not enough. *Contemporary Educational Psychology*, 44, 1–11.
- Yip, D. Y. (1998). Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning. *International Journal of Science Education*, 20(4), 461–477.
- Ziadie, M. A., & Andrews, T. C. (2018). Moving evolution education forward: a systematic analysis of literature to identify gaps in collective knowledge for teaching. *CBE—Life Sciences Education*, 17(1), ar11.