Die Nutzung gestufter Lernhilfen zur Unterstützung des Experimentierprozesses im Biologieunterricht – eine qualitative Studie

Svea Isabel Kleinert¹ · Ricarda Corinna Isaak¹ · Annette Textor² · Matthias Wilde¹

Eingegangen: 30. Juni 2020 / Angenommen: 16. Februar 2021

© Gesellschaft für Didaktik der Physik und Chemie (GDPC), Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO (FDdB im VBIO) und Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

Zusammenfassung

Experimentieren im Biologieunterricht gilt als komplexer Problemlöseprozess. Die Nutzung gestufter Lernhilfen als Form von Binnendifferenzierung könnte dies unterstützen. In der vorliegenden qualitativen Studie wurde die Verwendung gestufter Lernhilfen beim Experimentieren im Biologieunterricht untersucht. Hierzu wurden Daten von 35 Schüler*innen ($M=12,5$ Jahre; $SD=0,83$; 42,9 % weiblich) der 6.–8. Jahrgangsstufe einer Gesamtschule und einer Realschule erhoben. Die Nutzung der gestuften Lernhilfen wurde mithilfe des Lauten Denkens während des Experimentierprozesses und eines anschließenden leitfadengestützten Interviews erfasst. Eine qualitative Inhaltsanalyse ergab ein Kategoriensystem mit insgesamt 5 Ober- und 8 Unterkategorien. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schüler*innen die gestuften Lernhilfen nutzen, wenn Schwierigkeiten während des Experimentierprozesses auftraten. Die Nutzung gestufter Lernhilfen scheint die metakognitive Handlungsplanung, reflektierendes Verhalten und die Aktivierung von Vorwissen positiv zu beeinflussen. Mögliche Implikationen für die Gestaltung gestufter Lernhilfen werden diskutiert.

Schlüsselwörter Gestufte Lernhilfen · Biologieunterricht · Experimentieren · Qualitative Studie

The Use of Incremental Scaffolds to Foster the Experimentation Process in Biology Lessons—a Qualitative Study

Abstract

Experimenting in biology lessons is a complex problem-solving process. Using incremental scaffolds as a form of internal differentiation could support the students in the experimentation process. The present qualitative study examined the use of incremental scaffolds when experimenting in biology lessons. We collected data from 35 students ($M=12.5$ years; $SD=0.83$; 42.9% female) in the 6th–8th grades of a comprehensive school and a secondary school. The use of the incremental scaffolds was assessed by thinking aloud during the experimentation process and a subsequent structured interview. A qualitative analysis revealed a category system with a total of 5 main categories and 8 subcategories. The results show that students use the incremental scaffolds if difficulties arise during the experimentation process. The use of incremental scaffolds seems to have a positive impact on students' metacognitive planning, reflective behavior and the activation of prior knowledge. Possible implications for incremental scaffolds are discussed.

Keywords Incremental scaffolds · Biology lessons · Experimentation · Qualitative study

Einleitung

✉ Matthias Wilde
matthias.wilde@uni-bielefeld.de

Experimentieren gilt als zentrale fachgemäße Arbeitswei-

¹ Fakultät für Biologie, Biologiedidaktik, Universität Bielefeld, Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld, Deutschland

² Fakultät für Erziehungswissenschaften, Schulentwicklung und Schulforschung, Universität Bielefeld, Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld, Deutschland

se des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung (KMK 2005). Authentische Experimentieraufgaben sind oft komplex. Hier müssen Lehrpersonen klug abwägen, denn sehr deutlich anleitende Strukturierungen („Kochrezepte“) sind oft nicht hinreichend kognitiv aktivierend, sehr offene Aufgabenstellungen dagegen können zu Überforderungen der Lernenden führen (Hammann und Prenzel 2008; Kirschner et al. 2006). Die Lernenden unterscheiden sich zudem in ihren Voraussetzungen. Sie verfügen z.B. über unterschiedliches Vorwissen und können Experimente unterschiedlich gut planen und auswerten (Wellnitz und Mayer 2013). Um dieser Heterogenität im Rahmen von Experimentierprozessen zu begegnen, können unmittelbar zur Verfügung stehende Hilfsmaßnahmen die Lernenden unterstützen (Wodzinski und Wodzinski 2007). Als binnendifferenzierende und zugleich selbstständigkeitsunterstützende Maßnahme beim naturwissenschaftlichen Experimentieren werden gestufte Lernhilfen vorgeschlagen (Großmann und Wilde 2019; Hänze et al. 2010). Untersuchungen zur Nutzung instruktionaler Unterstützungen während des Experimentierprozesses nehmen zumeist Lösungsbeispiele in den Fokus (Koenen et al. 2017). Anders als gestufte Lernhilfen können diese keine Diagnosefunktion aufweisen. Weiterhin bieten gestufte Lernhilfen anders als Lösungsbeispiele neben einer instruktionalen Anleitung auch das eigenständige Bearbeiten von Experimentieraufgaben (Arnold et al. 2017). Studien, die experimentierbegleitend den Einsatz gestufter Lernhilfen erforschen, fehlen jedoch. Die vorliegende qualitative Studie untersuchte daher den Einsatz gestufter Lernhilfen während des Experimentierens im Biologieunterricht, um Aufschluss über die tatsächliche Nutzung der Lernhilfen zu erlangen und Optimierungsmöglichkeiten für die Gestaltung gestufter Lernhilfen zu finden. Für diese Studie wurden erprobte, lernwirksame Lernhilfen verwendet (Großmann und Wilde 2019).

Theorie

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beim Experimentieren im Biologieunterricht

Neben fachwissenschaftlichen Inhalten sollten Schüler*innen ein Verständnis für die Natur der Naturwissenschaften (*nature of science*) und den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess entwickeln (Kremer und Mayer 2013; KMK 2005). Klassische naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen können einer hypothetisch-deduktiven Erkenntnislogik folgen (Abd-El-Khalick et al. 2004; Popper 1984). Ausgehend von einem Problem kann eine Fragestellung formuliert werden, die daraus hervorgehende Hypothese muss falsifizierbar sein (Popper 1984). Die Hypothesenüberprüfung kann mithilfe naturwissenschaftlicher

Arbeitsweisen erfolgen (Mayer 2018). Durch induktives und deduktives Schlussfolgern können schließlich naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden (Klautke 1990). Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung gilt als ein „komplexer, kognitiver, wissensbasierter Problemlöseprozess“ (Mayer 2007, S. 181; vgl. auch Abd-El-Khalick et al. 2004). Eine mögliche Strukturierung dieses Prozesses kann die Untergliederung in die folgenden Teilschritte darstellen: *Naturwissenschaftliche Fragestellungen entwickeln, Hypothesen generieren, Untersuchung planen, Daten analysieren, Schlussfolgerungen ziehen* (Mayer 2007, S. 181). Die Phasen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung werden zumeist zyklisch dargestellt (Mayer und Ziemek 2006).

Sowohl in der Forschung als auch für den Naturwissenschaftsunterricht aufbereitet, nimmt das Experiment eine zentrale Rolle in der Erkenntnisgewinnung ein (KMK 2005; Osborne et al. 2003), allerdings mit unterschiedlichen Ausprägungen: Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht folgen zumeist der beschriebenen hypothetisch-deduktiven Erkenntnislogik. Es wird in der Regel versucht, mithilfe des Experimentierens Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu erschließen, indem in verhältnismäßig kontrollierten Experimentiersettings der potenziell kausale Zusammenhang zwischen einer unabhängigen und einer abhängigen Variable ermittelt wird (Wellnitz und Mayer 2013; Zion et al. 2004). Während die unabhängige Variable gezielt verändert wird und weitere Variablen kontrolliert konstant gehalten werden, wird die abhängige Variable beobachtet bzw. gemessen (Bruckermann et al. 2017). Empirische Gesetz- und Regelmäßigkeiten könnten auf diese Weise festgestellt werden. In der Forschung hingegen herrscht ein eher weites Verständnis vor, demzufolge Experimente als Handlungen zur Prüfung von Hypothesen über die Natur verstanden werden können und somit das Ziel der „Kongruenz experimenteller Praktiken mit theoretischen Annahmen“ verfolgen (Höttecke und Rieß 2015, S. 136). Ein solches Verständnis umfasst neben der Hypothesengenerierung und -beantwortung verschiedene weitere experimentelle Strategien wie beispielsweise auch das explorative Experimentieren, das Beobachten und die Entwicklung von Messgeräten (Übersicht über experimentelle Erkenntnisgewinnung vgl. Höttecke und Rieß 2015). Als ein wesentliches Merkmal der Experimente kann die Evidenz beschrieben werden. Die in einem Experiment erhobenen Daten werden zu Evidenz, wenn sie auf Grundlage theoretischer und experimenteller Hintergründe in einen Argumentationszusammenhang eingebettet werden, z.B. bei der empirischen Überprüfung von Hypothesen (Höttecke und Rieß 2015). In diesem Zusammenhang stellen Höttecke und Rieß (2015) eine geringe Authentizität schulischer Experimente in Bezug auf die Vorgehensweise in den Naturwissenschaften fest, da durch eine starke Vorstrukturi-

rierung unsichere Evidenz der Experimente (z. B. in Form von widersprüchlichen Messdaten) sowie deren Bearbeitung weitgehend vermieden wird. Darüber hinaus werden insbesondere theoretische Fähigkeiten, wie beispielsweise die Hypothesengenerierung, die Planung von Experimenten sowie die Datenauswertung, fokussiert. Um einen authentischen Biologieunterricht im Sinne der Natur der Naturwissenschaften bzw. naturwissenschaftlichen Forschungspraxis (vgl. Buxton 2006) zu gestalten und den Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu verdeutlichen, bedarf es somit offener Experimentierumgebungen, die neben theorieorientierten auch methodologische Fragestellungen aufwerfen können (Höttecke und Rieß 2015; Mayer 2018). Diese Offenheit kann u. a. auf Ebene des Fachinhaltes, der Methode sowie der Strategie umgesetzt werden (Priemer 2011).

Instruktionale Lernunterstützungen beim Experimentieren

Die Ergebnisse der PISA-Studie 2015 zeigen, dass Naturwissenschaftsunterricht, der die eigenständige Planung und Durchführung von Experimenten ermöglicht, zwar das Interesse der Lernenden fördern kann, aber zugleich mit einer geringen naturwissenschaftlichen Kompetenz der Schüler*innen einhergeht (Schiepe-Tiska et al. 2016). Bei der Bearbeitung offener Experimentieraufgaben weisen Schüler*innen in Deutschland ausgeprägte Defizite auf (Hamann und Prenzel 2008). Diese Schwierigkeiten bestehen insbesondere beim Aufstellen von Hypothesen, der systematischen Planung und Durchführung von Experimenten sowie der Datenauswertung im Naturwissenschaftsunterricht (zusammengefasst nach De Jong und van Joolingen 1998; Arnold et al. 2014). Das Forschende Lernen als Lernform mit offen gestalteten minimalen Experimentieranleitungen kann für Lernende eine Überforderung darstellen. Kirschner et al. (2006) erklären dieses Phänomen mit der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al. 2011). Durch die Komplexität der Lerninhalte und des Materials beim offen gestalteten Experimentieren (*intrinsic cognitive load*) sowie deren Aufbereitung (*extraneous cognitive load*) gehen Kirschner et al. (2006) von einer Überlastung der begrenzten kognitiven Kapazität aus. Darüber hinaus fehlt den Lernenden oftmals ein Repertoire an Strategien zur selbstständigen Lösung eines naturwissenschaftlichen Problems (Kirschner et al. 2006). Insbesondere bei Lernenden mit geringem Vorwissen (d. h. Faktenwissen sowie Prozesswissen zum Experimentieren) kann wenig Struktur im Unterricht zu einer Überforderung führen (Kirschner et al. 2006). Um gleichermaßen direkte Experimentierinstruktionen und eine kognitive Belastung der Lernenden zu vermeiden und den authentischen Charakter des Experimentierens zu erhalten, schlagen Arnold et al. (2017) instruktionale Lernunterstüt-

zungen in Form von gestuften Lernhilfen vor (vgl. auch Blanchard et al. 2010). Diese bieten einerseits Möglichkeiten der eigenständigen Bearbeitung von Aufgabenstellungen sowie zugleich instruktionale Anleitung. Andererseits erhalten sie auf diese Weise den authentischen Charakter des Experimentierens (Hänze et al. 2010; Hmelo-Silver et al. 2007).

Gestufte Lernhilfen zur Unterstützung des Lernstrategieinsatzes beim Experimentieren im Biologieunterricht

Gestufte Lernhilfen gehen auf ein Konzept von Leisen (2010) im naturwissenschaftlichen Unterricht zurück. Diese Form der instruktionalen Unterstützung soll zu einem sukzessiven und idealerweise eigenständigen Lösen einer komplexen Aufgabenstellung, wie beispielsweise Experimentieraufgaben im Biologieunterricht, beitragen. Diese Lernhilfen werden den Lernenden hierbei im Arbeitsprozess gestuft bereitgestellt. Die gestuften Lernhilfen zum Experimentieren im Biologieunterricht könnten sich an den Teilschritten der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung orientieren (vgl. Mayer 2007). Für jede Teil-(Experimentier-)aufgabe werden die Schüler*innen in einem ersten Schritt zum Denken angeregt. Diese Handlungsaufforderungen erfolgen durch lernstrategische oder inhaltliche Impulse. Die gestuften Lernhilfen sollen nach Boekaerts (1999) insbesondere kognitive und metakognitive Lernstrategien fördern. Die *kognitiven Lernstrategien* umfassen u. a. Elaborationsstrategien, die zur Verbindung bisherigen Wissens mit neuen Lerninhalten dienen (z. B. durch das Entwerfen eigener Beispiele zu dem neuen Lernstoff) (Den Elzen-Rump et al. 2008). Zu den *metakognitiven Strategien* zählen Strategien der *Planung*, *Überwachung* und *Regulation* (Den Elzen-Rump et al. 2008). Lernende, die sich eigene Ziele setzen und ihren Lernprozess strukturieren, nutzen *Planungsstrategien*. *Überwachungsstrategien* unterstützen Lernende dabei, ihren Lernprozess zu kontrollieren und zu prüfen, ob die neuen Lerninhalte verstanden wurden (z. B. durch die Konzeption eigener Fragen zum Lernstoff). Falls Lernende Verständnisschwierigkeiten mithilfe der Überwachungsstrategien feststellen, sollten *Regulationsstrategien* verwendet werden, z. B. die Regulation der Lesegeschwindigkeit. Auf diese Weise soll zunächst das Vorwissen der Lernenden aktiviert werden, ohne das Ergebnis der Aufgabe vorzugeben. Durch die verschiedenen lernstrategischen bzw. inhaltlichen Impulse der gestuften Lernhilfen wird der Experimentierprozess in eine Reihe von Teilzielen untergliedert, ohne das vollständige Durchlaufen des Problemlöseprozesses einzuschränken (Franke-Braun et al. 2008). Für die Aufteilung eines Hauptziels in mehrere Teilziele wurden bereits positive Auswirkungen auf die Selbstregulation und das Engagement der Lernenden

beschrieben (z.B. Belland et al. 2013). In einem zweiten Schritt können die Lernenden auf die Lösung der jeweiligen Teilaufgabe zurückgreifen. Während die Schüler*innen diese Lösung einerseits zur Bewältigung der Teilaufgabe verwenden können, könnte diese andererseits zu einer Kontrolle während des Lernprozesses beitragen (Hänze et al. 2010).

Durch die Stufung der Lernhilfen können Lernende je nach Bedarf Unterstützung erhalten oder eigene Lösungen kontrollieren (Hänze et al. 2010). Von dieser Form der Individualisierung können sowohl leistungsschwache als auch leistungsstarke Lernende profitieren, da die Lernenden die Hilfen selbstgesteuert entsprechend der eigenen Kompetenzen und wahrgenommenen Schwierigkeiten in Anspruch nehmen können (Hänze et al. 2010). Leistungsschwächere Schüler*innen können sich unter Rückgriff auf die einzelnen Lernhilfen Schritt für Schritt zu einer möglichen Aufgabenlösung leiten lassen, wobei sie mithilfe der inhaltlichen und lernstrategischen Denk- und Handlungsimpulse zum selbstständigen Arbeiten angehalten werden. Den eigenständig erarbeiteten Lösungsschritt können die Lernenden anschließend mit dem Musterlösungsschritt der Lernhilfe vergleichen (Hänze et al. 2010). Schüler*innen, die bei einzelnen Aufgabenteilen Schwierigkeiten haben, können die Hilfen zu der entsprechenden Teilaufgabe nutzen und den Problemlöseprozess schließlich weiter ohne zusätzliche Hilfen fortführen (Hänze et al. 2010). Leistungstärkere Lernende, die die gesamte Experimentieraufgabe ohne Unterstützung bearbeiten, könnten die letzte Lernhilfe abrufen und ihre Lösung mit der Musterlösung vergleichen (Hänze et al. 2010). In einer quasi-experimentellen Studie von Großmann und Wilde (2019) konnte bereits gezeigt werden, dass insbesondere Schüler*innen, die ein geringes Vorwissen aufweisen, von der Verwendung der gestuften Lernhilfen während des Experimentierens im Biologieunterricht in Bezug auf ihre Lernleistung profitieren. Da Lernende den Zeitpunkt und die Art der Verwendung der gestuften Lernhilfen gemäß ihrem Leistungsniveau bestimmen können und somit Lernende unterschiedlicher Lernausgangslagen von den gestuften Lernhilfen profitieren, eignen sie sich im binnendifferenzierenden Unterricht und hier insbesondere für offene Aufgabenstellungen (Hänze et al. 2010; Schmidt-Weigand et al. 2008).

Empirische Erkenntnisse zur Nutzung von Lernhilfen beim Experimentieren

Verschiedene empirische Untersuchungen konnten bereits die Wirksamkeit von gestuften Lernhilfen auf den Lernerfolg zeigen (Arnold et al. 2017; Großmann und Wilde 2019; Schmidt-Borcherding et al. 2013). Studien in Bezug auf die Nutzung von gestuften Lernhilfen beim Experimentieren sind jedoch rar. Zumeist wurden Untersuchungen durch-

geführt, die die Verwendung von Lösungsbeispielen beim Experimentierprozess erforschen (Koenen et al. 2017). In einer Studie von Koenen et al. (2017) wurden Materialien konzipiert, die den naturwissenschaftlichen Problemlöseprozess von Lernenden fördern sollten. Diese Materialien bestanden u.a. aus „klassischen Lösungsbeispielen“, „experimentunterstützenden Lösungsbeispielen“ und „experimentellen Problemlöseaufgaben“. Es wurde hierbei insbesondere der Einfluss der konzipierten Materialien auf die Lernleistung bezüglich der naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitsweisen untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die experimentellen Problemlöseaufgaben und die Kombination eines Lösungsbeispiels mit einer experimentellen Problemlöseaufgabe („*example-problem-pairs*“) als besonders lernförderlich erwiesen. Diese Lösungsbeispiele (*worked-out examples*) ähneln den gestuften Lernhilfen, jedoch stellen gestufte Lernhilfen eine Weiterentwicklung dieser dar (Hänze et al. 2010; Arnold et al. 2017). Lösungsbeispiele dienen als Unterstützung zur Lösung einer Aufgabe und umfassen die Formulierung eines Problems, die Lösungsschritte und die abschließende Lösung (Renkl und Atkinson 2010). Während jedoch bei der Verwendung der Lösungsbeispiele „keine Diagnose und entsprechende Anpassung der Unterstützung“ stattfindet (Arnold et al. 2017, S. 26), können gestufte Lernhilfen von den Lernenden gerade aufgrund der Stufung und schrittweisen Darbietung als Instrument zur (Selbst-)Diagnose im Lernprozess genutzt werden (Arnold et al. 2017; Hänze et al. 2010; Schmidt-Weigand et al. 2008). Weiterhin könnten die gestuften Lernhilfen den Lehrkräften diagnostische Informationen im Unterricht über das Nutzungsverhalten dieser durch die Lernenden bieten. Im Gegensatz zur Untersuchung von Lösungsbeispielen fehlen bislang Studien, die die Nutzung von gestuften Lernhilfen beim Experimentieren erforschen.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Formen der Nutzung der Lernhilfen durch die Schüler*innen sowie deren Wirksamkeit während des Experimentierprozesses im Biologieunterricht zu untersuchen, um den Einsatz und die Gestaltung von Lernhilfen weiter zu optimieren.

Forschungsfrage

Das Experimentieren im Biologieunterricht als komplexer Problemlöseprozess kann den Einsatz binnendifferenzierender Maßnahmen erfordern. Zur instruktionalen Unterstützung im Experimentierprozess können die beschriebenen gestuften Lernhilfen verwendet werden. Gestufte Lernhilfen als binnendifferenzierende Maßnahme können von Lernenden auf unterschiedliche Art und Weise genutzt werden (Hänze et al. 2010). So benötigen leistungstärkere Lernende möglicherweise weniger oder andere gestufte Lern-

hilfen während des Experimentierens als leistungsschwächere Lernende (Hänze et al. 2010). Zudem könnte der zum jetzigen Untersuchungszeitpunkt geringe Einsatz dieser Lernmaterialien im Biologieunterricht, d.h. der wenig routinierte Umgang mit diesen Unterstützungsmaßnahmen durch Schüler*innen, eine Rolle für die Implementierung spielen (Wieczorek und Sommer 2008). In der vorliegenden Untersuchung sollte die Nutzung gestufter Lernhilfen erprobt werden. In einer Laborsituation führte jeweils ein*e Schüler*in ein Experiment durch und sollte bei auftretenden Schwierigkeiten in der Bearbeitung auf gestufte Lernhilfen zurückgreifen. Um Einblicke in den Prozess der Bearbeitung zu gewinnen, wurde die Methode des Lauten Denkens verwendet. Die Forschungsfrage lautet wie folgt:

Wie werden die gestuften Lernhilfen beim Experimentieren im Biologieunterricht von den Schüler*innen genutzt?

Methode

Stichprobe

Die Stichprobe dieser Untersuchung setzte sich aus 15 Schülerinnen und 20 Schülern der sechsten bis achten Jahrgangsstufe aus Realschule (21 Lernende) sowie Gesamtschule (14 Lernende) zusammen. Das Durchschnittsalter lag bei 12,5 Jahren ($SD=0,83$). Die Auswahl der Lernenden war freiwillig und erfolgte durch die Rückläufe einer Einwilligungserklärung. Alle Befragten gaben an, dass ihnen Experimente aus ihrem bisherigen Biologieunterricht bekannt waren. Diese Angabe korrespondiert mit den Vorgaben des Kernlehrplans des Landes Nordrhein-Westfalens für die Sekundarstufe I (KMK 2005).

Versuchsdesign und Ablauf der Studie

Das Untersuchungsdesign der Studie bestand aus zwei Teilen. In einem ersten Teil führten die Schüler*innen in Einzelarbeit ein Experiment zu Überwinterungsstrategien von Tieren (Pinguinen, Fledermäuse oder Zitronenfalter) unter Verwendung der gestuften Lernhilfen durch. Die gestuften Lernhilfen wurden den Lernenden als Forscherhinweise präsentiert. Experimentbegleitend wendeten die Proband*innen hierbei die Methode des Lauten Denkens an, welche sie vor Beginn der Untersuchung an zwei kleinen Aufgaben einübten. Nach der Experimentierphase wurde im zweiten Teil der Untersuchung ein fünf- bis zehnminütiges leitfadengestütztes Interview durchgeführt. Dies diente insbesondere der expliziten Rückmeldung der Proband*innen zur Nutzung der gestuften Lernhilfen während des Experimentierprozesses. Die Schüler*innen hatten in dieser Phase

die Möglichkeit, die Handhabung und Gestaltung des Materials zu bewerten. Die beiden Teile der Untersuchung wurden mit einem Tonbandgerät aufgenommen und beliefen sich insgesamt auf ca. 60 min. Die erhobenen Daten wurden im Anschluss in anonymisierter Form computergestützt nach den Regeln von Dresing und Pehl (2015) transkribiert.

Die Methode des Lauten Denkens

Während des Experimentierens wurden die Lernenden angeleitet, die Methode des Lauten Denkens anzuwenden. Die Proband*innen wurden hierbei aufgefordert, ihre Gedanken, Wahrnehmungen sowie Emotionen im Experimentierprozess zu verbalisieren. Diese Methode sollte einen Zugang zu den kognitiven Prozessen, z.B. Denk-, Lern- und Problemlöseprozesse der Proband*innen ermöglichen (Sandmann 2014). Die entstandenen Denke-Laut-Protokolle wurden für die vorliegende Studie simultan zur Bearbeitung der Aufgaben mittels eines Tonbandgeräts aufgenommen. Die Lernenden formulierten ihre Gedanken unmittelbar zum Zeitpunkt ihrer Entscheidungen im Experimentierprozess, sodass ein möglichst enger Zusammenhang zwischen Denken und Transkript bestand (Konrad 2010; Sandmann 2014). Ziel der Methode des Lauten Denkens war die Anregung der Selbstreflexion durch die Lernenden während des Experimentierens. Die Proband*innen sollten in diesem Zusammenhang ihre individuelle Informationsverarbeitung differenziert beschreiben (Buber 2007). Die Implementierung dieser Methode gliederte sich in zwei Abschnitte. In einer Einführungsphase wurde mithilfe von zwei Übungen das Laute Denken mit den Lernenden geübt. Während der Bearbeitung der Experimentieraufgaben wurden die Proband*innen mit Aufforderungen (z.B. „Was denkst du gerade? Bitte denke an das laute Denken.“) zum Lauten Denken angehalten.

Das leitfadengestützte Interview

Im Anschluss an das Arbeiten mit den gestuften Lernhilfen im Experimentierprozess wurden mit den Proband*innen leitfadengestützte Interviews nach Helfferich (2014) durchgeführt. Da sich diese Erhebungsmethode insbesondere zur Rekonstruktion subjektiver Theorien eignet, wurde sie zur Erfassung des subjektiven Erlebens der befragten Schüler*innen während des Experimentierens eingesetzt. Der verwendete Leitfaden gliederte sich in die Abschnitte *Allgemeine Haltung zum Experimentieren mit Forscherhinweisen* („Wie hast du das Experimentieren mit den Forscherhinweisen wahrgenommen?“), *Nutzen der Forscherhinweise im Experimentierprozess* („Kannst du beschreiben, inwiefern dir die Forscherhinweise geholfen haben?“), *Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Experimentieraufgaben* („Welche Schritte während der Aufgabebearbeitung hast du als

schwierig wahrgenommen?“) und *Verbesserungsvorschläge* („Hat dich etwas bei den Forscherhinweisen gestört?“) und diente auf diese Weise der Strukturierung des Interviews. Die offenen Erzählaufforderungen sollten den Kommunikationsfluss aufrechterhalten und den Proband*innen die Möglichkeit geben, ihre Erfahrungen zu schildern; die Steuerungs- und Aufrechterhaltungsfragen fokussierten wesentliche Aspekte der übergeordneten Fragestellung (z. B. Schwierigkeiten in der Handhabung der Lernhilfen).

Konzeption und Handhabung der gestuften Lernhilfen

Die gestuften Lernhilfen wurden für drei Experimente zu Überwinterungsstrategien von Zitronenfaltern, Fledermäusen sowie Pinguinen konzipiert und wurden bereits in einer vorausgegangenen Studie begleitend evaluiert (Großmann und Wilde 2019). Die Lernhilfen bestanden aus Karten im DIN A-5-Format. Diese wurden zweifach gefaltet, sodass ein DIN A-7-Format entstand. Zudem erhielten die Lernenden zu Beginn des Experimentierens einen unvollständigen Forscherbericht, welcher die Überwinterungsstrategie des jeweiligen Tieres beschrieb. Aufgabe der Schüler*innen war es, diesen Bericht sowie ein Forscherprotokoll durch die Erkenntnisse des Experimentes zu vervollständigen. Zur Orientierung wurden den Lernenden insgesamt sieben Teilaufgaben mittels eines Arbeitsblattes vorgelegt. Diese Teilaufgaben basierten auf den beschriebenen Prozessvariablen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (vgl. Abd-El-Khalick et al. 2004; KMK 2005; Mayer 2007). Zur Unterstützung konnten die Lernenden während des gesamten Experimentierens für jeden Teilarbeitsauftrag auf eine Lernhilfe zurückgreifen. Gemäß dem typischen Gestaltungsprinzip einer gestuften Lernhilfe waren diese zweiteilig aufgebaut. Durch ein erstes Auffalten erhielten die Lernenden einen lernstrategischen oder inhaltlichen Denkeimpuls. In einem zweiten Schritt konnten die Schüler*innen die Lösung der Teilaufgabe einsehen. Die Lernhilfen wurden möglichst klar strukturiert und sollten eine möglichst optimale Instruktionsqualität bieten, um so die selbständige Handhabung durch die Schüler*innen zu ermöglichen (Franke-Braun et al. 2008; Sandoval und Reiser 2004). Zur Veranschaulichung werden in Anlage 1 die Lernhilfen für das Experiment zur *Überwinterungsstrategie des Zitronenfalters* angeführt. In Anlage 2 werden diese im Kontext der unterrichtlichen Anwendung beschrieben.

Qualitative Inhaltsanalyse

Die Denke-Laut- sowie Interview-Protokolle wurden mithilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Mit dieser Auswertungsmethodik können Sinngehalte und subjektive Konzeptionen der Proband*innen aus qualitativ inter-

pretierbaren Texten erfasst werden. Ein weiteres Merkmal dieser Analyse stellt die *Kategoriengeleitetheit* dar, die neben einer qualitativen Auswertung die statistische Darstellung der Kategorienhäufigkeiten zulässt (Mayring 2015). Die Kategorien sind dabei Analyseaspekte, die sich am Originalmaterial der Denke-Laut- und Interview-Protokolle orientierten. Sie können einer Hierarchie folgen und auf diese Weise in Ober- und Unterkategorien eingeteilt werden (Mayring 2015). Basierend auf deduktiven und induktiven Verfahren wurden für die Denke-Laut- und Interview-Protokolle insgesamt fünf Oberkategorien sowie acht Unterkategorien gebildet. Leitend für die Bildung der deduktiven Kategorien des Kodiersystems waren die beschriebenen Qualitätskriterien und Ziele des Einsatzes gestufter Lernhilfen im Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Abschn. Gestufte Lernhilfen zur Unterstützung des Lernstrategieeinsatzes beim Experimentieren im Biologieunterricht). Die Oberkategorien *Vorwissen* (vgl. Großmann und Wilde 2019; Hänze et al. 2010), *metakognitive Handlungsplanung* (Stäudel et al. 2007) sowie *Reflexion* (Franke-Braun et al. 2008) wurden darum deduktiv angelegt. Die Oberkategorien *Handhabung* und *Verständnis* wurden erst im Laufe des Auswertungsprozesses induktiv aus der Analyse der Denke-Laut- und der Interview-Protokolle extrahiert. Ein Großteil der acht Unterkategorien wurde in positive und negative Ausprägungen differenziert. So konnten z. B. der Unterkategorie *Gebrauch der Musterlösung* (+) Transkriptsegmente von Lernenden zugeordnet werden, die die Musterlösungen im Experimentierprozess nutzten. Verwendeten die Proband*innen die Musterlösungen nicht, wurden diese Aussagen der Unterkategorie *Gebrauch der Musterlösung* (–) zugewiesen. Ober- und Unterkategorien werden in Tab. 1 dargestellt.

Für die Berechnung der Interrater-Reliabilität aus der Interview- und Protokollkodierung zweier unabhängiger Beurteiler*innen kann ein Cohens Kappa-Wert von 0,86 be-

Tab. 1 Kodierte Ober- und Unterkategorien der Denke-Laut- sowie Interview-Protokolle

Oberkategorie	Unterkategorien
Handhabung	Zuordnung der Lernhilfen zu den Experimentierschritten (+/–) Gebrauch der Musterlösung (+/–) Handhabung der Experimentiermaterialien (+/–)
Verständnis	Verständnis der Instruktionen (+/–) Semantik & Wortschatz (+/–)
Vorwissen	–
Metakognitive Handlungsplanung	–
Reflexion	Verifikation & Falsifikation der Lösung (+/–) Ergebnissicherung & Korrektur (+/–) Transfer

richtet werden. Dies entspricht gemäß Landis und Koch (1977) einer sehr guten Übereinstimmung.

Ergebnisse

Qualitative Auswertung der Kategorien

Im Folgenden werden die Ergebnisse der qualitativen Analyse der Denke-Laut- und Interview-Protokolle angeführt. Die Ergebnisdarstellung orientiert sich hierbei an den fünf Oberkategorien (vgl. Abschn. Qualitative Inhaltsanalyse). Die Unterkategorien werden im Verlauf näher beschrieben.

Handhabung

Bezüglich der *Handhabung* der gestuften Lernhilfen kann den Denke-Laut-Protokollen entnommen werden, dass die Proband*innen insbesondere zu Beginn des Experimentierens an die Nutzung der Hilfe erinnert werden mussten (vgl. Protokoll 11:3¹; 17:1; 28:1). Hinsichtlich der Arbeitsmaterialien, z.B. des Forscherberichtes, konnten ähnliche Ergebnisse festgestellt werden. Viele Schüler*innen lasen sich die Aufgabenstellung, welche die Grundlage der gesamten Experimentieraufgabe darstellt, vor Beginn des Experimentierens gar nicht oder unzureichend durch. Nach den Hinweisen der Versuchsleiter*innen bearbeiteten die Proband*innen die Aufgabenstellungen unter Verwendung der Lernhilfen (P²: „*Notiere deine Forscherfrage auf deinem Protokollbogen. Da muss ich jetzt den ersten Hinweis lesen. Hä?*“; vgl. 12:1). Die zunehmende Internalisierung der Nutzung der Lernhilfen während des Experimentierens wird aus Transkriptausschnitten späterer Aufgabenschritte ersichtlich (vgl. 17:45; 18:66; 19:75). Insbesondere wenn die Lernenden nach dem Lesen der Aufgabenstellung keinen Lösungsansatz gefunden hatten, verwendeten sie die gestuften Lernhilfen vermehrt eigenständig: P: „*Den Tipp brauche ich. Ähm [liest den Forscherhinweis zu Arbeitsauftrag fünf]*“ (vgl. 19:68). Allerdings konnten gemäß den Transkripten auch Verwechslungen oder falsche Zuordnungen der gestuften Lernhilfen zu den Aufgabenstellungen festgestellt werden (*Zuordnung der Lernhilfen zu den Experimentierschritten* (–)). So nahmen die Lernenden die Zuteilung der gestuften Lernhilfen zu den entsprechenden Aufgaben oft als schwierig wahr (P: „*Überlege dir. [Liest aus Hinweis 2.3. vor]*“ VL: „*Hast du den richtigen Hinweis? Das ist 3.1*“; vgl. 18:17). In einzelnen Fällen konnte die

Nutzung mehrerer Lernhilfen zur Bearbeitung einer Aufgabe festgestellt werden (vgl. 11:66).

Zudem wurden in der *Art und Weise des Gebrauches der Musterlösung* Unterschiede bei den Proband*innen ersichtlich. Während die Lernenden oftmals das Einsehen der Musterlösung nach der Aufgabenbearbeitung zu Beginn des Experimentierens vergaßen (*Gebrauch der Musterlösung* (–)), wurde mit fortschreitender Versuchsdurchführung eine erhöhte Nutzungsbereitschaft der Lernhilfen ersichtlich (*Gebrauch der Musterlösung* (+)). Diese Feststellung konnte den Transkriptausschnitten späterer Experimentierschritte entnommen werden (vgl. 11:83; 13:43; 25:46). Darüber hinaus konnten aus den Protokollen unterschiedliche Intentionen in der Verwendung der Musterlösungen festgestellt werden. Wenn eine eigene Lösung der Aufgabenstellung von den Proband*innen erstellt wurde, diente die Musterlösung dem Abgleich. Der folgende Ausschnitt aus einem Transkript verdeutlicht dies: P: „*Ähm, so und jetzt übergleiche ich das mit den Musterlösungen*“ (vgl. 19:26). Ein Teil der Schüler*innen schrieb die Musterlösung unmittelbar nach dem Lesen der Aufgabenstellung ab, ohne die Aufgabe eigenständig zu bearbeiten (vgl. 17:6). Aus den Angaben von einzelnen Transkripten wurde ersichtlich, dass diese Lernenden die Musterlösung weiterer Aufgabenstellungen vorgriffen, um Experimentierschritte zu überspringen (vgl. 22:28).

Die *Handhabung der Experimentiermaterialien* erwies sich gemäß den Protokollen der Proband*innen als angemessen. Der Großteil der Lernenden benötigte im Umgang mit den bereitgestellten Reagenzien und Geräten keine Unterstützung durch die Versuchsleiter*innen (*Handhabung der Experimentiermaterialien* (+)). Probleme in der Handhabung des Thermometers, z.B. beim Ablesen der Temperatur, konnten lediglich bei zwei Lernenden festgestellt werden (*Handhabung der Experimentiermaterialien* (–)) (vgl. 12:17).

Verständnis

Im Zusammenhang mit der Zuordnung der Lernhilfen zu den Experimentierschritten und der intendierten Verwendung steht das *Verständnis der Instruktionen*. Analog zu den Ausführungen zur Nutzung und Zuordnung der Lernhilfen zu den entsprechenden Aufgabenstellungen konnten insbesondere zu Beginn des Experimentierens Verständnisprobleme der Proband*innen festgestellt werden (*Verständnis der Instruktionen* (–)). Im Hinblick auf den Versuchsaufbau gaben eine Vielzahl von Studienteilnehmer*innen an, die angeführte Tabelle zum Abgleich für diesen Experimentierschritt nicht nachvollziehen zu können (P: „*Wie soll ich denn die Tabelle machen*“ (vgl. 4:36). In Anlehnung an die Zuordnungsschwierigkeiten der Lernhilfen konnte anhand der Transkripte festgestellt werden, dass die Proband*innen

¹ Im Folgenden werden die Transkriptausschnitte der Denke-Laut-Protokolle und Leitfadeninterviews mit der Protokollnummer sowie der Kodiernummer zitiert (Protokollnummer:Kodiernummer).

² Im Folgenden wird „P“ als Abkürzung für Proband*in und „VL“ als Abkürzung für Versuchsleiter*in verwendet.

einzelne Instruktionen der Lernhilfen falsch verstanden hatten. Daraus resultierend führten sie nicht zielführende Experimentierschritte durch (P: „*Ich weiß nicht, wie ich das damit genau testen soll, weil ich jetzt hier nicht erkenne, was man dann machen könnte*“) (vgl. 25:18). Diese Angabe zeigte weiterhin, dass die gestuften Lernhilfen zum Teil für die eigenständige Bearbeitung der Experimentieraufgaben nicht ausreichten. Um das Verständnis der Instruktionen zu fördern, führten die Lernenden das Hinzufügen von Abbildungen an, wie aus folgender Textpassage ersichtlich wurde: „*Ja, da habe ich so 'n Bild gesehen, dann habe ich's mehr verstanden (...)*“ (vgl. 11:80).

Das Verständnis der Instruktionen steht im Zusammenhang mit der Kategorie *Semantik und Wortschatz*. Ein Großteil der Rückmeldungen der Lernenden, die zu dieser Unterkategorie gezählt werden konnten, zeigte, dass die gestuften Lernhilfen mit Formulierungen bzw. Fachbegriffen gestaltet waren, die den Schüler*innen nicht geläufig waren (*Semantik/Wortschatz* (–)) (vgl. 24:64). Die Lernenden führten als Beispiele die Begriffe „*Hypothese*“ (vgl. 4:7) sowie „*Glycerin*“ (vgl. 26:12) an. Um dieser Kritik zu entgegnen, gab ein Studienteilnehmer den folgenden Verbesserungsvorschlag an: „*Ja, dass es nicht so wissenschaftlich formuliert ist. Sondern so, dass wir es verstehen.*“ (vgl. 12:31).

Vorwissen

Die Aktivierung von *Vorwissen* durch die gestuften Lernhilfen wurde nur bei wenigen Lernenden aus der Sichtung der Protokolle explizit. So äußerte ein Studienteilnehmer weiterführende Gedanken zum Ergebnis des Experimentes, indem er sein bisheriges Wissen auf den Experimentierprozess übertrug: P: „*Ich vermute auch, dass das Wasser, also nur das Wasser, auch schneller einfriert als das Wasser mit dem Glycerin.*“ (vgl. 25:43).

Metakognitive Handlungsplanung

Neben Äußerungen zu Hypothesen zum Versuchsablauf konnte eine Vielzahl von handlungsplanenden Ausführungen der Proband*innen in den Transkripten gefunden werden. Hierunter fielen sowohl *metakognitive Äußerungen*, d.h. Aussagen zur Planung, Überwachung und Regulation des Lernprozesses während der Aufgabenbearbeitung, wie auch *inhaltliche planende Äußerungen*, die unmittelbare Ausführungen zur Bearbeitung des Experimentes betreffen. Die folgenden Ausschnitte aus den Protokollen verdeutlichten dies: P: „*Und jetzt schreibe ich auf, wie man das [Experiment] durchführt.*“ (vgl. 33:26); P: „*Ich zeichne jetzt eine Tabelle*“ (vgl. 17:28); P: „*Und jetzt fasse ich zusammen, was ich daraus gelernt habe*“ (vgl. 17:41). Einige kodierte Aussagen dieser Oberkategorie spiegeln zum Teil ebenfalls Schwierigkeiten bei der Planung und

des Verständnisses während des Experimentierens wider (vgl. 25:15; 26:46).

Reflexion

Während und nach Beendigung des Experimentierprozesses sollten die gestuften Lernhilfen der *Reflexion* der Teil- und Endergebnisse dienen (vgl. Abschn. Theorie). Diese Oberkategorie umfasste die Unterkategorien *Verifikation und Falsifikation der Lösungen*, *Ergebnissicherung und Korrektur der Lösungen* sowie *Transfer*. Bezüglich der *Verifikation und Falsifikation* verfolgten die Proband*innen zum Teil unterschiedliche Intentionen. Während einige Lernende ihre Lösungsansätze bereits bei der Bearbeitung der Experimentieraufgabe überprüften (vgl. 13:12), führten weitere Proband*innen diesen Abgleich erst nach Abschluss der Aufgabenstellung aus (*Verifikation* (+)) (vgl. 15:20). Wiederum andere Lernende verifizierten ihre Lösungen gar nicht (*Verifikation* (–)), da sie diese als vollständig richtig einschätzten (P: „*Ach das Nachschauen der Lösung zum Beschriften lasse ich jetzt weg.*“). Wenn durch den Abgleich mit der Musterlösung Fehler bemerkt wurden, korrigierte der Großteil der Proband*innen die eigene Lösung (*Ergebnissicherung/Korrektur* (+)) (P: „*Ähm, also, weil jetzt habe ich herausgefunden, wie das, wie ich das eigentlich machen sollte.*“ (vgl. 13:23). Aus den Protokollen wurden unterschiedliche Formen der Ergebniskorrektur ersichtlich. Während einige Lernende ihre eigenen Lösungen um die fehlenden Inhalte ergänzten (vgl. 16:4), schrieben andere die vorgegebene Musterlösung der entsprechenden Lernhilfe ab (vgl. 3:18). Nur wenige Proband*innen korrigierten oder ergänzten ihre eigenen Lösungen nicht (*Ergebnissicherung/Korrektur* (–)).

Bei der Analyse konnte die Unterkategorie *Transfer* nur in wenigen Transkriptsegmenten, jedoch für fast alle Proband*innen kodiert werden. Die Lernenden versuchten, die Lösungen der einzelnen Aufgabenteile zu einer „Gesamtlösung“ zusammenzuführen. Dieser Transfer wurde im nachfolgenden Transkriptsegment ersichtlich: P: „*(...) so. meine Herausfindung könnte sein, dass (...) meine Schlussfolgerung lautet: Fledermäuse sind im Winter eine große Gruppe, weil es wärmer ist. Weil ja es wärmer und sie dann weniger Kälte und dann weniger Kälte bei denen ist, ja*“ (vgl. 13:36).

Häufigkeit der Kategorien

Die Darstellung der quantitativen Ergebnisse der Denke-Laut- und Interview-Protokolle orientiert sich an dem beschriebenen Kategoriensystem (vgl. Abschn. Qualitative Inhaltsanalyse). Insgesamt wurden 1829 Textpassagen aus 35 transkribierten Denke-Laut- und Interview-Protokollen zu den Ober- und Unterkategorien zugeordnet. Die Übersicht

in Tab. 2 zeigt die Anzahl der Interviewsegmente, die den einzelnen Ober- und Unterkategorien zugeteilt wurden. Zudem wird mithilfe der Tabelle verdeutlicht, in wie vielen Interviews diese Kategorien codiert wurden.

Die Häufigkeiten der Kategorien aus Tab. 2 geben einen Hinweis auf ihre Bedeutung: Besonders häufig wurden Äußerungen zur *metakognitive Handlungsplanung* der Proband*innen in den Transkripten codiert. Ein wesentlicher Anteil der Daten konnte den Oberkategorien *Handhabung* sowie *Verständnis* zugeordnet werden. Äußerungen zur Aktivierung von *Vorwissen* der Proband*innen wiesen in den Transkripten einen geringen Anteil auf. Im Hinblick auf einzelne Unterkategorien konnte festgestellt werden, dass Schwierigkeiten bezüglich der *Semantik und des Wortschatzes* oft und von sehr vielen Proband*innen angeführt wurden. Gemäß der Anzahl der Protokollsegmente nahmen auch die Unterkategorien *Verständnis der Instruktionen* sowie *Ergebnissicherung und Korrektur* einen wichtigen Stellenwert ein.

Tab. 2 Zahl der codierten Interviews und der codierten Interviewsegmente für die fünf Oberkategorien (OK) und den dazugehörigen Unterkategorien (UK), in positiven (+) und negativen (–) Ausprägungen. Dargestellt werden zudem die prozentualen Anteile an Gesamtzahl der Interviews (35) und Interviewsegmenten (1829) für Ober- und Unterkategorien

OK/UK	Σ Interviews (%)	Σ Interviewsegmente (%)
<i>Handhabung</i>	30 (86)	404 (22,09)
Zuordnung der Lernhilfen zu Experimentierschritten (+/–)	23 (66)/13 (37)	145 (7,93)/32 (1,75)
Gebrauch der Musterlösung (+/–)	30 (86)/11 (31)	143 (7,82)/17 (0,93)
Handhabung der Experimentiermaterialien (+/–)	16 (46)/11 (31)	45 (2,46)/22 (1,20)
<i>Verständnis</i>	32 (91)	478 (26,23)
Verständnis der Instruktionen (+/–)	30 (86)/28 (80)	143 (7,82)/104 (5,69)
Semantik & Wortschatz (+/–)	17 (49)/29 (83)	68 (3,72)/163 (8,91)
<i>Vorwissen</i>	19 (54)	52 (2,84)
<i>Metakognitive Handlungsplanung</i>	35 (100)	575 (31,44)
<i>Reflexion</i>	33 (94)	320 (17,50)
Verifikation (+/–)	32 (91)/2 (6)	94 (5,14)/2 (0,11)
Ergebnissicherung & Korrektur (+/–)	32 (91)/4 (11)	157 (8,58)/7 (0,38)
Transfer	25 (71)	60 (3,28)

In einem Interview konnten auch die gleiche Ober- und Unterkategorie mehrfach codiert werden. Zudem konnte die identische Unterkategorie in der Ausprägung (–) und (+) in einem Interview codiert werden.

Zusammenhang zwischen Kategorien(häufigkeiten) und Experimentierphasen

Im folgenden Kapitel sollen Zusammenhänge zwischen den codierten Ober- und Unterkategorien sowie den Experimentierphasen hergestellt werden. Tabelle A1 in Anlage 3 stellt hierbei diese Verknüpfungen zwischen den Kategorienhäufigkeiten und den fünf Experimentierphasen dar.

Bezüglich der Oberkategorie *Handhabung* zeigte sich eine zunehmend intuitivere und sicherere Nutzung der Lernhilfen im Verlaufe des Experimentierprozesses. Während die Lernenden in der Phase der Entwicklung der Fragestellung die gestuften Lernhilfen in recht geringem Maße den Experimentierschritten zuordnen konnten und die Musterlösung eher selten nutzen, wurden die instruktionalen Unterstützungen der Lernhilfen und die Musterlösung in dem Versuchsaufbau, der Versuchsdurchführung sowie -auswertung durch die Schüler*innen verstärkt verwendet (vgl. Tabelle A1).

Ein ähnlicher Trend konnte für die Oberkategorie *Verständnis* festgestellt werden. Insbesondere in den Phasen der Entwicklung der Fragestellung und der Hypothesen sowie bei Versuchsaufbau und -durchführung äußerten die Proband*innen starke Schwierigkeiten im Verständnis von *Semantik und Wortschatz*. Am Ende des Experimentierprozesses wiesen die Lernenden ein erhöhtes Verständnis diesbezüglich auf. Für die Unterkategorie *Verständnis der Instruktionen* zeigte sich ebenfalls ein ähnlich positiver Trend während des Experimentierens. So konnte eine Steigerung des Verständnisses der Instruktionen im Verlaufe des Experimentierprozesses beobachtet werden (vgl. Tabelle A1).

Bezüglich der Oberkategorie *Reflexion* sowie den entsprechenden Unterkategorien *Verifikation und Falsifikation*, *Ergebnissicherung und Korrektur* sowie *Transfer* konnte eine vergleichbare Entwicklung festgestellt werden.

Insbesondere in den Phasen der Hypothesengenerierung und der Versuchsauswertung wurde durch den Einsatz der Lernhilfe verstärkt an das *Vorwissen* der Lernenden angeknüpft (vgl. Tab. A1). Darüber hinaus zeigte sich, dass die Lernenden während des Versuchsaufbaus sowie der Versuchsdurchführung und -auswertung vermehrt handlungsplanende Äußerungen metakognitiver Art anführten (vgl. Tabelle A1).

Eine intuitivere und adäquatere Nutzung der gestuften Lernhilfen im Verlaufe des Experimentierprozesses wurde weiterhin im Zusammenspiel einzelner Ober- und Unterkategorien in den Experimentierschritten deutlich. So nahmen die Schüler*innen die Musterlösungen während der Entwicklung der Fragestellung und Hypothesen in Gebrauch, überprüften diese Arbeitsschritte jedoch nicht. Eine Ergebnissicherung oder Korrektur der Lösung wurde in diese Phasen ebenfalls nur selten durch die Proband*innen vorgenommen. In Versuchsbeobachtung und -auswertung wie-

derum führten die Lernenden nach Gebrauch der Musterlösung eine *Verifikation* bzw. *Falsifikation* ihrer Lösungen durch und sicherten bzw. korrigierten ihre Ergebnisse entsprechend (vgl. Tabelle A1).

Interpretation und Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Art und Weise der Nutzung der gestuften Lernhilfen während des Experimentierprozesses im Biologieunterricht zu untersuchen. Unsere Ergebnisse beziehen sich hierbei auf kontrollierte und hypothesenprüfende Experimente als eine Form des Experimentierens (vgl. Höttecke und Rieß 2015).

Bezüglich der *Handhabung* der gestuften Lernhilfen während des Experimentierens konnte die quantitative Auswertung der Kategorienhäufigkeiten Hinweise auf die Art und Weise des Einsatzes der Lernunterstützungen durch die Lernenden geben (vgl. Abschn. Häufigkeit der Kategorien). Aus der Analyse der Ergebnisse wurde ersichtlich, dass die Proband*innen die instruktionalen Unterstützungsmaßnahmen insbesondere dann selbstständig nutzten, wenn sie zur Lösung einer Teilaufgabe einen Denkanstoß inhaltlicher oder lernstrategischer Art benötigten. Andernfalls griffen die Lernenden meist nicht auf die Forscherhinweise zurück. Dies entspricht dem Bedarfsscharakter der gestuften Lernhilfen als Mittel der Binnendifferenzierung (Hänze et al. 2010; Schmidt-Weigand et al. 2008). So nahmen die Lernenden die Lernhilfen gemäß den eigenen Kompetenzen und wahrgenommenen Schwierigkeiten in Anspruch. Dies ist theoriekonform: Laut Hänze et al. (2010) sollten leistungsstärkere Lernende generell in der Lage sein, die Experimentieraufgaben ohne Hilfen zu lösen. Dies wurde in der vorliegenden Untersuchung für den Gebrauch von Musterlösungen zu den Teilaufgaben ebenfalls gefunden. Dabei unterschieden sich anscheinend die Intentionen der Verwendung der Musterlösungen zwischen den Proband*innen. Während der Großteil der Lernenden die Musterlösungen für die intendierte Verifikation bzw. Falsifikation und ggf. zur Korrektur der eigenen Lösungen nutzte, griffen einzelne Proband*innen bereits während der Aufgabenbearbeitung auf die Musterlösungen zurück, um so den Experimentierprozess abzukürzen. Darüber hinaus konnten zwischen den Experimentierphasen Unterschiede im Gebrauch der Musterlösung festgestellt werden. In den Phasen der Entwicklung von Fragestellung und Hypothesen nutzten die Lernenden die Musterlösung, jedoch ohne ihre Lösungen mit der Musterlösung zu vergleichen und zu verifizieren oder zu korrigieren. Eine Verifikation und Ergebnissicherung erfolgte zumeist in den Phasen der Versuchsdurchführung und -auswertung. Diese Herangehensweisen bezüglich der Nutzung der Musterlösungen sprechen für möglichst genaue Instruktionen für den Ex-

perimentierprozess mit den gestuften Lernhilfen. Genaue Instruktionen könnten den Lernenden eine verständliche Anleitung für die Arbeit mit gestuften Lernhilfen während des Experimentierprozesses bieten, sodass dies zu einer möglichst zielführenden Verwendung dieser instruktionalen Unterstützungsmaßnahmen gemäß dem beschriebenen Nutzungsprinzip (vgl. Hänze et al. 2010) führt. Erste quantitative Studien legten bereits nahe, dass eine hohe Instruktionsqualität für den Einsatz gestufter Lernhilfen bedeutsam ist (Franke-Braun et al. 2008; Sandoval und Reiser 2004).

In diesem Zusammenhang verdeutlichten die Befunde der Oberkategorie *Verständnis* die Bedeutung didaktisch wirksam gestalteter Lernunterstützungen. Insbesondere das semantische Verständnis und das Verstehen der verwendeten Begrifflichkeiten der eingesetzten Lernhilfen ist gemäß der Cognitive Load Theory wesentlich für eine Reduktion der kognitiven Belastung der Schüler*innen (Kirschner et al. 2006; Sweller et al. 2011). Arnold et al. (2017) wie auch Blanchard et al. (2010) zeigten empirisch eine Reduktion der kognitiven Belastung durch gestufte Lernhilfen. Während des Experimentierens im Biologieunterricht wurde deutlich, dass die Lernenden insbesondere zu Beginn des Experimentierprozesses in der Fragestellungs- sowie Hypothesenentwicklung vermehrt Verständnisschwierigkeiten aufwiesen. Diese Verständnisschwierigkeiten könnten v.a. auf das Wort „Hypothese“ zurückzuführen sein. Die Lernenden berichteten vermehrt über Schwierigkeiten mit diesem Terminus. Um diesen Verständnisschwierigkeiten zu begegnen, könnte alternativ die Formulierung „wissenschaftliche Vermutung“ verwendet werden. Zudem könnten auch Formulierungen der Aufgabenstellungen sowie der Lernhilfen für die Generierung der Fragestellung und der Hypothesen noch nicht einfach genug formuliert gewesen sein. Die Aufforderung, eigene Formulierungen für die Fragestellung und die Hypothesen zu finden, könnte die Verständnisschwierigkeiten zu Beginn des Experimentierprozesses noch verstärkt haben (De Jong und van Joolingen 1998; Hofstein et al. 2005). Die vorliegende Untersuchung unterstreicht somit die Bedeutung von Semantik und Wortschatz für die Gestaltung gestufter Lernhilfen. Die sprachlichen Kompetenzen der Lernenden sollten möglichst angemessen berücksichtigt werden (Leisen 2010). Eine „zu wissenschaftliche“ Formulierung der inhaltlichen und lernstrategischen Impulse auf Wort- und Satzebene vermindert für die Lernenden die Effektivität der gestuften Lernhilfen. Die Befunde zeigten zudem die Aktivierung des *Vorwissens* der Lernenden auf. Hierbei konnten vor allem in der Hypothesengenerierung und Auswertung des Experimentes Anknüpfungen an das Vorwissen der Schüler*innen festgestellt werden. Dennoch kann aus der geringen Kategorienhäufigkeit geschlussfolgert werden (vgl. Tab. 2), dass das intendierte Ziel der

Verknüpfung des Lernmaterials mit dem Vorwissen der Lernenden angepasst werden sollte (Hänze et al. 2010). Hierbei bieten sich lernstrategische Hinweise an, die die Elaboration, d. h. die Verknüpfung von bisherigen und neu erlernten Wissens-elementen (Den Elzen-Rump et al. 2008), fokussieren (Hänze et al. 2010).

In diesem Zusammenhang kann ebenfalls auf den positiven Einfluss der gestuften Lernhilfen auf die *metakognitive Handlungsplanung* der Lernenden hingewiesen werden. Die Ergebnisse zeigten einen positiven Einfluss der lernstrategischen Forscherhinweise auf den Experimentierprozess. Insbesondere in den Phasen des Versuchsaufbaus sowie der Versuchsauswertung berichteten die Lernenden vermehrt metakognitive oder inhaltlich planende Äußerungen. Hier leisteten die verwendeten Lernhilfen anscheinend genau das, was auch in vorausgegangen Untersuchungen zum Einfluss von Denkanstößen lernstrategischer Art auf den Wissenserwerb von Lernenden gefunden wurde (Bannert 2003; Schmidt-Weigand et al. 2009). Für den Einfluss der Lernhilfen-Nutzung auf die reflektiven Fähigkeiten der Schüler*innen zeigten die qualitativen und quantitativen Analysen wesentliche Tendenzen. Durch die Auswertung der Protokolle wurden die beschriebenen unterschiedlichen Intentionen der Verwendung gestufter Lernhilfen und im Besonderen der Musterlösung ersichtlich. Auch hier scheinen noch explizitere Instruktionen während des Einsatzes der Unterstützungsmaßnahmen für das Experimentieren wünschenswert zu sein. Weiterhin wurde deutlich, dass die gestuften Lernhilfen vor allem in der Phase der Auswertung des Experimentes zum Transfer der Inhalte beitragen. So verweisen auch Hänze et al. (2010) auf diese Funktion der gestuften Lernhilfen.

Fazit und Ausblick

Die vorliegende Studie untersuchte die Nutzung gestufter Lernhilfen während des Experimentierens im Biologieunterricht, um Aufschluss über ihren tatsächlichen Einsatz zu erlangen und Möglichkeiten der Optimierung zur Gestaltung gestufter Lernhilfen zu finden. Gemäß den Erkenntnissen dieser Studie spielt die didaktisch wirksame Gestaltung der gestuften Lernhilfen eine wesentliche Rolle. Hier sollten die Lernvoraussetzungen der jeweiligen Lerngruppe berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang kann zudem die Notwendigkeit genauer Instruktionen inhaltlicher und methodischer Art zur Einführung in die Nutzung gestufter Lernhilfen für das Experimentieren in der Schulpraxis genannt werden. Das Ziel eines intuitiven Einsatzes dieser binnendifferenzierenden Lernunterstützungen könnte durch eine wiederholte Implementierung im unterrichtlichen Kontext erreicht werden.

Die positiven Einflüsse der Lernhilfen auf die metakognitive Handlungsplanung, das reflektive Verhalten sowie die Aktivierung des Vorwissens der Schüler*innen könnten auf eine bedeutsame und Lerner unterstützende Rolle der lernstrategischen Forscherhinweise beim Experimentieren im Biologieunterricht schließen. Insbesondere den tiefenorientierten Lernstrategien (z. B. Elaboration) und metakognitiven Lernstrategien konnte eine wesentliche Rolle für die Implementation der Lernhilfen zum Experimentieren im Biologieunterricht zugeschrieben werden. Hiermit könnte insbesondere den Schwierigkeiten der Lernenden in der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten begegnet werden. Demnach sollten weitere quantitative und qualitative Untersuchungen durchgeführt werden, um Erkenntnisse zur Verknüpfung und Bedeutung der in den Lernhilfen eingesetzten Lernstrategien während der Nutzung der instruktionalen Lernunterstützungen zu gewinnen.

Einschränkend muss angemerkt werden, dass diese Untersuchung durch die Erhebungsmethode des Lauten Denkens unter „Laborbedingungen“ durchgeführt wurde. Die Frage, ob die Lernhilfen von den Lernenden während des Experimentierens im Klassenverband genutzt werden, kann hierbei nicht beantwortet werden. Der Einsatz digitalisierter Lernunterstützungen könnte hierbei eine Methode zur Überwachung der Lernhilfen-Verwendung, z. B. durch digitale „Tracking-Apps“, darstellen.

Zusammenfassend bietet diese Untersuchung einen differenzierten Einblick in die Nutzung gestufter Lernhilfen während des Experimentierens im Biologieunterricht. Neben der tatsächlichen Art und Weise der Verwendung der Lernhilfen zeigte diese Studie lernwirksame Gestaltungsaspekte, wie die Notwendigkeit genauer und verständlicher Instruktionen sowie die Implementierung lernstrategischer Hinweise für den unterrichtlichen Kontext.

Zusatzmaterial online Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s40573-021-00126-1>) 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

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N.G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88, 397–419.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2014). Understanding students' experiments—what kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36, 2719–2749.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. Eine empirische Untersuchung zur Wirksamkeit von Lernunterstützungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 21–37.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13–25.
- Belland, B.R., Kim, C., & Hannafin, M.J. (2013). A framework for designing scaffolds that improve motivation and cognition. *Educational Psychologist*, 48(4), 243–270.
- Blanchard, M., Southerland, S.H., Osborne, J.W., Sampson, V.D., Annetta, L.A., & Granger, E.M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: a quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instructions. *Science Education*, 94(4), 577–616.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, 445–457.
- Bruckermann, T., Arnold, J., Kremer, K., & Schlüter, K. (2017). Forschendes Lernen in der Biologie. In T. Bruckermann & K. Schlüter (Hrsg.), *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie. Praktische Anleitung für die Lehramtsausbildung* (S. 11–26). Berlin: Springer Spektrum.
- Buber, R. (2007). Denke-Laut-Protokolle. In R. Buber & H.H. Holzmüller (Hrsg.), *Qualitative Marktforschung Konzepte – Methoden – Analysen* (S. 557–568). Göttingen: Hogrefe.
- Buxton, C.A. (2006). Creating contextually authentic science in a “low performing” urban elementary school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(7), 695–721.
- Dresing, T., & Pehl, T. (2015). Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschen. <https://www.audiotranskription.de/Praxisbuch-Transkription.pdf>. Zugegriffen: 25. Juni 2020.
- Den Elzen-Rump, V., Leutner, D., & Wirth, J. (2008). Lernstrategien im Unterrichtsalldag. In S. Kliemann (Hrsg.), *Schülergerechtes Arbeiten in der Sekundarstufe I: Diagnostizieren und Fördern in der Sekundarstufe I* (S. 101–111). Berlin: Cornelsen Verlag.
- Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L., & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In R. Messner & W. Blum (Hrsg.), *Lernumgebungen auf dem Prüfstand: Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (S. 27–42). Kassel: Kassel University Press.
- Großmann, N., & Wilde, M. (2019). Experimentation in biology lessons: guided discovery through incremental scaffolds. *International Journal of Science Education*, 41(6), 759–781.
- Hammann, M., & Prenzel, M. (2008). Ergebnisse des internationalen PISA Naturwissenschaftstests 2006. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 61(2), 67–74.
- Hänze, M., Schmidt-Weigand, F., & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. In S. Boller & R. Lau (Hrsg.), *Individuelle Förderung durch innere Differenzierung. Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II* (S. 63–73). Weinheim: Beltz.
- Helfferich, C. (2014). Leitfaden- und Experteninterviews. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 559–574). Wiesbaden: Springer.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G., & Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42, 99–107.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791–806.
- Höttecke, D., & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 127–139.
- De Jong, T., & van Joolingen, W.R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klautke, S. (1990). Für und wider das Experiment im Biologieunterricht. In W. Killermann & L. Staech (Hrsg.), *Methoden des Biologieunterrichts* (S. 70–83). Köln: Aulis.
- Koenen, J., Emden, M., & Sumfleth, E. (2017). Naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten. Potenziale des Lernens mit Lösungsbeispielen und Experimentierboxen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 81–98.
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitativer Forschung in der Psychologie* (S. 476–490). Wiesbaden: VS.
- Kremer, K., & Mayer, J. (2013). Entwicklung und Stabilität von Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 77–101.
- Landis, J.R., & Koch, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159.
- Leisen, J. (2010). Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren – Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. *Unterricht Physik*, 117/118, 101–105.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–186). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mayer, J. (2018). Erkenntnisse mit naturwissenschaftlichen Methoden gewinnen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 56–61). Seelze: Aulis Verlag.
- Mayer, J., & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317, 4–12.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.
- Popper, K.R. (1984). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 315–337.
- Renkl, A., & Atkinson, R. (2010). Learning from worked-out examples and problem solving. In J. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive load theory* (S. 91–108). Cambridge: Cambridge University Press.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken – Die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftlichen Forschung* (S. 179–188). Berlin Heidelberg: Springer.

- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345–372.
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S., Schöps, K., Neumann, K., Schmidtner, S., Parchmann, I., & Prenzel, M. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2015 – Ergebnisse des internationalen Vergleichs mit einem modifizierten Testansatz. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015 – Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 45–98). Münster: Waxmann.
- Schmidt-Borcherding, F., Hänze, M., Wodzinski, R., & Rincke, K. (2013). Inquiry scaffolds in laboratory tasks: an instance of a “worked laboratory guide effect”? *European Journal of Psychology of Education*, 28, 1381–1395.
- Schmidt-Weigand, F., Franke-Braun, G., & Hänze, M. (2008). Erhöhen gestufte Lernhilfen die Effektivität von Lösungsbeispielen? *Unterrichtswissenschaften*, 36(4), 365–384.
- Schmidt-Weigand, F., Hänze, M., & Wodzinski, R. (2009). Complex problem solving and worked examples. The role of prompting strategic behavior and fading-in solution steps. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 129–138.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München, Newied: Luchterhand.
- Stäudel, L., Franke-Braun, G., & Schmidt-Weigand, F. (2007). Komplexität erhalten – auch in heterogenen Lerngruppen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Chemkon*, 14(3), 115–122.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York: Springer.
- Wellnitz, N., & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315–345.
- Wieczorek, R., & Sommer, K. (2008). Strukturen nachweisen und deren Einsatz bei eigenverantwortlichen Schülerexperimenten. *Unterricht Chemie*, 106/107, 88–93.
- Wodzinski, R., & Wodzinski, C. (2007). Unterschiede zwischen Schülern – Unterschiede im Unterricht? *Unterricht Biologie*, 99/100, 100–105.
- Zion, M., Slezak, M., Shapira, D., Link, E., Bashan, N., Brumer, M., Orian, T., Nussinowitz, R., Court, D., Agrest, B., Mendelovici, R., & Valanides, N. (2004). Dynamic, open inquiry in biology learning. *Science Education*, 88(5), 728–753.