

Erkenntnisgewinnungskompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht fördern

Empfehlungen und Praxisbeispiele für fachdidaktische Lernangebote in der Lehrkräftebildung

Richard Sannert, Verena Petermann, Tobias Lieberei, Virginia Deborah Elaine Welter & Moritz Krell

Im internationalen Diskurs über naturwissenschaftliche Bildung im 21. Jahrhundert wird zunehmend gefordert, dass Schulen und Universitäten weniger als bisher auf die Vermittlung von Fachinhalten fokussieren, sondern verstärkt naturwissenschaftliche Fähigkeiten fördern sollen (OECD, 2020). Dies ist insbesondere für die konstruktive Auseinandersetzung mit (zukünftigen) gesellschaftlichen Fragen (z. B. zum Klimawandel, zum Artensterben oder zu Epidemien) von immenser Bedeutung. Vor diesem Hintergrund stellen Kompetenzen zur (natur-)wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, wie die Fähigkeiten zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten sowie ein fundiertes Verständnis über das Wesen der Naturwissenschaften, wesentliche Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts dar (KMK, 2020; Osborne, 2014). Mehrere Studien haben jedoch gezeigt, dass Erkenntnisgewinnungskompetenzen (EGK) von Schüler/innen noch nicht ausreichend entwickelt werden (z. B. Lederman et al., 2019). Die Ursache-Wirkungs-Kette von der Lehramtsausbildung über das Unterrichtshandeln bis hin zum Kompetenzerwerb bei Schüler/innen macht deutlich, dass es wirksamer Aus- und Fortbildungsangebote zur Förderung von EGK im naturwissenschaftlichen Unterricht bedarf, damit Lehrkräfte EGK effektiv fördern können (Welter et al., 2023). Daher werden in diesem Beitrag evidenzbasierte Empfehlungen und Praxisbeispiele für fachdidaktische Lernangebote für Lehrkräfte zur Förderung von EGK vorgestellt.

Für die Gestaltung wirksamer Lernangebote für Lehrkräfte ist sowohl die Ebene des Unterrichts als auch die Ebene der Aus- und Fortbildung zu berücksichtigen (Lipowsky & Rzejak; 2019; Prediger et al., 2017). Der Beitrag geht daher zunächst auf die Ebene des Unterrichts ein, indem zentrale Befunde zur wirksamen Förderung von EGK bei Schüler/innen zusammengefasst werden. Anschließend werden aus diesen Befunden sowie aus Befunden zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften zur

Förderung von EGK-Empfehlungen dazu abgeleitet, was aus fachdidaktischer Sicht zentraler Aus- und Fortbildungsgegenstand zur Förderung von EGK sein sollte und dieser mit praxiserprobten Beispielen illustriert.

1. Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und zugehörige Kompetenzen

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung bezeichnet verschiedene Wege, über die Naturwissenschaftler/innen die Natur untersuchen (Crawford, 2014). Diese Wege können auf mindestens zwei Weisen differenzierter beschrieben werden: Zum einen umfasst ein idealisierter Erkenntnisgewinnungsprozess verschiedene Teilprozesse („Denkweisen“) wie das Formulieren von Fragen und Hypothesen, das Planen und Durchführen von Untersuchungen sowie das Auswerten und Interpretieren von Daten (Mayer, 2007). Zum anderen werden verschiedene naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden („Arbeitsweisen“) wie das Beobachten, Experimentieren und Modellieren genutzt (Nehring et al., 2016). Kompetenzen zur Ausführung und Reflexion solcher naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (NDAW) können in den naturwissenschaftlichen Bildungsstandards dem Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ zugeordnet (z. B. KMK, 2005, 2020) und daher als EGK bezeichnet werden.

Um NDAW auszuführen, ist fachmethodisches Wissen über zugehörige Regeln, Strategien und Konzepte notwendig (Krell & Krüger, 2022; Osborne, 2014; von Aufschnaiter & Hofmann, 2014). So erfordert beispielsweise die Planung von Experimenten u. a. Wissen darüber, was unabhängige und abhängige Variablen sind, was die Variablenkontrollstrategie bedeutet und warum diese eine Voraussetzung für valide Schlussfolgerungen ist (Vorholzer et al., 2020). Studien legen jedoch nahe, dass es Schüler/innen teils an fachmethodischem Wissen fehlt, denn sie haben eine Vielzahl von Schwierigkeiten bei der Ausführung und Reflexion von NDAW. So achten viele Schüler/innen beispielsweise beim Planen eines Experiments häufig nicht auf das Kontrollieren relevanter Variablen (Kranz et al., 2022).

2. Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Häufig wird angenommen, dass Schüler/innen EGK bereits hinreichend aufbauen würden, wenn sie in NDAW im Unterricht eingebunden werden (siehe Diskussion in Abrams et al., 2007). Zwar bietet eine solche Einbindung Potenzial zur Förderung von EGK, weil Schüler/innen Erfahrung in der Ausführung von NDAW sammeln und diese einen wichtigen Ausgangspunkt für Reflexionen über NDAW darstellen (Abrams et al., 2007), jedoch sind nicht alle Umsetzungsformen für die Förderung von EGK gleich wirksam. In diesem Zusammenhang werden insbesondere der *Grad*

der *Expliztheit* sowie der *Öffnungsgrad* diskutiert (z. B. Lazonder & Harmsen, 2016; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019).

Mit dem *Grad der Expliztheit* werden verschiedene Möglichkeiten unterschieden, fachmethodisches Wissen vor, während und/oder nach der Ausführung oder Reflexion von NDAW im Unterricht einzubeziehen (Lee, 2022; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). Hier wird mindestens zwischen *impliziten* und *expliziten* Instruktionsansätzen unterschieden. Während bei impliziten Instruktionsansätzen fachmethodisches Wissen von Schüler/innen selbst entdeckt werden muss, wird bei expliziten Instruktionsansätzen solches Wissen während der Instruktion thematisiert (Vorholzer et al., 2020). Bezogen auf die Planung von Experimenten müssen sich Schüler/innen bei impliziten Ansätzen beispielsweise aus mehreren Experimenten erschließen, was bei der Planung zu beachten ist. Im Gegensatz dazu wird Schüler/innen in expliziten Ansätzen (zusätzlich) erläutert, was die Variablenkontrollstrategie ist und warum diese eine Voraussetzung für valide Schlussfolgerungen darstellt. Verschiedene Studien zeigen, dass für die Förderung von EGK explizite Instruktionsansätze wirksamer als implizite Instruktionsansätze sind (z. B. Matlen & Klahr, 2013; Vorholzer et al., 2020). Grundsätzlich sind sehr unterschiedliche Implementationen expliziter Instruktion denkbar, da das Explizieren fachmethodischen Wissens zum einen von der einmaligen Mitteilung einer Regel bis hin zu umfangreichen Erläuterungen mit konkreten Beispielen reicht und zum anderen in schüleraktive Unterrichtsphasen oder in Vorträge einer Lehrkraft eingebettet sein kann.

Mit dem *Öffnungsgrad* werden verschiedene Umfänge der von Schüler/innen selbst zu treffenden Entscheidungen bei der Ausführung oder Reflexion von NDAW im Unterricht unterschieden (Abrams et al., 2007; Priemer, 2011). Beispielsweise kann die Planung eines Experiments durch die Lehrkraft vorweggenommen werden, indem den Schüler/innen eine detaillierte Versuchsanleitung vorgegeben wird (*keine eigenen Entscheidungen*). Die Planung kann teilweise geöffnet werden, indem den Schüler/innen beispielsweise Materialien zur Verfügung gestellt und von ihnen u. a. die unabhängige und abhängige Variable sowie Kontrollvariablen festgelegt werden (*teilweise eigene Entscheidungen*). Bei einer vollständigen Öffnung der Planung wird diese ohne Hilfen oder Vorgaben eigenständig von den Schüler/innen entwickelt (*vollständig eigene Entscheidungen*). Mit dieser Variation geht auch eine Veränderung des als vorhanden vorausgesetzten fachmethodischen Wissens einher: Mit höherem Öffnungsgrad in zunehmend mehr NDAW und dem damit steigenden Entscheidungsspielraum ist mehr fachmethodisches Vorwissen sowie dessen Vernetzung nötig, damit die Schüler/innen die jeweiligen Entscheidungen kompetent treffen können (Baur et al., 2020). Im Hinblick auf die Wirksamkeit zur Förderung von EGK wird deshalb auch betont, dass zu früh und zu weit geöffnetes Ausführen oder Reflektieren von NDAW zur Überforderung der Schüler/innen führen kann (z. B. Kirschner et al., 2006). Langfristig sollte es aber das Ziel sein, den Öffnungsgrad mit Zunahme des fachmethodischen Wissens der Schüler/innen sukzessive in allen NDAW zu erhöhen, da Schüler/innen Kompetenzen zur *eigenständigen* Ausführung von und Reflexion über NDAW aufbauen sollen (Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019).

Insgesamt liegt im naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland typischerweise ein hohes Potenzial zur Förderung von EGK vor, da Schüler/innen einen substanziellen Teil der Unterrichtszeit in NDAW eingebunden sind (z. B. Nehring et al., 2016). Jedoch scheint dieses Potenzial bislang nicht vollständig ausgeschöpft zu werden: Zum einen legen Studien nahe, dass fachmethodisches Wissen selten expliziert wird (z. B. Vorholzer et al., 2022). Zum anderen scheint der Öffnungsgrad kaum sukzessive erhöht zu werden, denn Schüler/innen führen NDAW typischerweise entlang vorgegebener Anleitungen aus (z. B. Börlin & Labudde, 2014). Dieses noch nicht vollständig genutzte Potenzial könnte eine Ursache für die Vielzahl an Schwierigkeiten von Schüler/innen bei der Ausführung und Reflexion von NDAW sein. Hierbei ist jedoch mindestens eine Einschränkung zu betonen, denn in vielen Studien zur Unterrichtspraxis ist nichts über das von den Lehrkräften angestrebte Lernziel in den untersuchten Unterrichtsstunden bekannt. Dass manche Umsetzungsformen zur Förderung von EGK kaum beobachtet werden, könnte auch dadurch erklärt werden, dass einige Lehrkräfte gar nicht auf den Aufbau von EGK, sondern beispielsweise auf die Vermittlung von Fachinhalten (z. B. Fotosynthese, Newtonsche Axiome, Massenerhaltungsgesetz) abgezielt haben. Trotzdem gibt es Hinweise, dass Lehrkräfte auch dann selten fachmethodisches Wissen explizieren, wenn sie primär die Förderung von EGK anstreben (Großmann & Krüger, 2023; Petermann & Vorholzer, 2023).

3. Empfehlungen und Praxisbeispiele für Aus- und Fortbildungsangebote zur Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Als wirksam gelten Aus- und Fortbildungsangebote besonders dann, wenn sie einen klaren *inhaltlichen Fokus* aufweisen (Desimone, 2009; Lipowsky & Rzejak, 2019). Empfehlungen für einen solchen inhaltlichen Fokus werden im Folgenden aus fachdidaktischer Perspektive, zum einen basierend auf dem Stand der Forschung zur wirksamen Förderung von EGK im Unterricht (Abschnitt 2) und zum anderen basierend auf Befunden zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften zur Förderung von EGK, abgeleitet. Die herausgearbeiteten Empfehlungen konkretisieren den Aus- und Fortbildungsgegenstand zur Förderung von EGK und adressieren insbesondere fachdidaktisches Wissen und Überzeugungen, da sich diese Dispositionen u. a. gemeinsam mit dem fachwissenschaftlichen Wissen von Lehrkräften zu NDAW als relevante Faktoren für die Förderung von EGK im Unterricht angedeutet haben (z. B. Petermann & Vorholzer, 2022; Schwartz & Lederman, 2002) und zentrale Bestandteile der professionellen Kompetenz von Lehrkräften sind (Baumert & Kunter, 2006; Blömeke et al., 2022; Carlson & Daehler, 2019). Hierbei umfasst das fachdidaktische Wissen u. a. Kenntnisse über Instruktionsstrategien zur Förderung von EGK und Schwierigkeiten von Schüler/innen, während zugehörige Überzeugungen persönliche Wahrheiten beschreiben, die im Gegensatz zum Wissen nur einer individuellen

Rechtfertigung bedürfen und nicht durch andere verifiziert oder akzeptiert werden müssen (Baumert & Kunter, 2006).

Neben dem klaren inhaltlichen Fokus zeichnen sich wirksame Aus- und Fortbildungsangebote zu Förderung von EGK auch durch die Umsetzung *aktiven Lernens* in Abgrenzung zur passiven Aufnahme von Inhalten aus (Desimone, 2009; Sannert & Krell, 2023a). Daher enthalten die zur Verfügung gestellten Praxisbeispiele verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten aktiven Lernens, die die Erarbeitung und Übung des im Folgenden herausgearbeiteten fachdidaktischen Aus- und Fortbildungsgegenstands zur Förderung von EGK unterstützen sollen. So regen die Aufgaben in den Praxisbeispielen beispielsweise Aktivitäten wie die Analyse und Entwicklung von Unterricht zur Förderung von EGK an und liefern damit erste Anhaltspunkte für die Berücksichtigung der in den nächsten Abschnitten abgeleiteten Empfehlungen.

3.1 Fachmethodisches Wissen als Grundlage für Erkenntnisgewinnungskompetenzen

Grundsätzlich ist es wichtig, dass Lehrkräfte von der Relevanz des Aufbaus von EGK überzeugt sind, da dies die Förderung von EGK im Unterricht begünstigt (Bartos & Lederman, 2014). Besonders bedeutsam ist hierbei, dass fachmethodisches Wissen eine zentrale Grundlage zur Entfaltung von EGK ist (Abschnitt 1). Dies scheint jedoch nicht allen Lehrkräften bewusst zu sein: Zum einen deutet sich an, dass diese den Aufbau von Wissen stärker mit der Vermittlung von Fachinhalten als mit dem Aufbau von EGK verbinden (Petermann et al., 2023). Zum anderen sind sie davon überzeugt, dass Schüler/innen EGK bereits hinreichend aufbauen, wenn sie NDAW häufig ausführen (Petermann et al., 2023). Dies wird auch darin deutlich, dass Lehrkräfte bei der Förderung von EGK Schüler/innen umfassend NDAW ausführen lassen, dabei aber kaum explizit auf fachmethodisches Wissen eingehen (Vorholzer et al., 2022). In der Aus- und Fortbildung sollte somit thematisiert werden, dass Wissen nicht nur bezogen auf Fachinhalte, sondern auch zur Entfaltung von EGK von zentraler Bedeutung ist.

Fachmethodisches Wissen ist eine zentrale Grundlage für die Entfaltung von EGK.

Online-Material 1 bahnt ein Verständnis der Bedeutung des fachmethodischen Wissens für die Entfaltung von EGK an, indem eine sehr offene Experimentieraufgabe mittels einer vorgegebenen Auswahl an Regeln, Strategien und Konzepten dahingehend analysiert werden soll, welches fachinhaltliche *und* fachmethodische Wissen für deren Bearbeitung als vorhanden vorausgesetzt werden muss.

3.2 Instruktionsstrategien zur Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen

Wichtige Instruktionsstrategien zur Förderung von EGK sind die explizite Thematisierung fachmethodischen Wissens sowie die gezielte Variation des Öffnungsgrads zur Anpassung an das fachmethodische Vorwissen der Schüler/innen. Studien zur Unterrichtspraxis legen jedoch nahe, dass deren Wirksamkeit bislang kaum im naturwissenschaftlichen Unterricht ausgeschöpft wird (Abschnitt 2). Hinzu kommt, dass manche Lehrkräfte davon überzeugt sind, dass explizite Instruktionsansätze weniger nützlich zur Förderung von EGK im Vergleich zur Vermittlung von Fachinhalten sind (Petermann et al., 2023). Überzeugungen zur Nützlichkeit expliziter Instruktion zur Förderung von EGK deuten sich jedoch als notwendige Bedingung für deren Umsetzung an (Petermann & Vorholzer, 2022). Die Thematisierung der beiden Instruktionsstrategien sollte verbunden mit verschiedenen Umsetzungsbeispielen somit ein zentraler Bestandteil der Lehrkräftebildung zur Förderung von EGK sein.

Wirksam ist die Förderung von EGK insbesondere dann, wenn fachmethodisches Wissen explizit thematisiert wird und der Öffnungsgrad an das fachmethodische Vorwissen der Schüler/innen angepasst ist.

Mit *Online-Material 2* kann erarbeitet werden, was die Förderung von EGK insbesondere mit Blick auf explizite Instruktion kennzeichnet. Hierzu analysieren die Lehrkräfte verschiedene unterrichtliche Einbettungen des gleichen Experiments, wovon eine Variante explizit fachinhaltliches Wissen und die andere Variante explizit fachmethodisches Wissen adressiert.

Online-Material 3 dient als Übung der angemessenen Umsetzung expliziter Instruktion und einer passenden Wahl des Öffnungsgrads zur Förderung von EGK. Hierzu regt die Übung zunächst die Analyse einer als Textvignette dargestellten Unterrichtsstunde an, in der für Schüler/innen mit wenig fachmethodischem Vorwissen sehr offene Experimentieraufgaben ohne explizite Instruktion fachmethodischen Wissens beschrieben sind. Ausgehend von der Analyse soll die vorgegebene Unterrichtsstunde anschließend bzgl. expliziter Instruktion und der Wahl des Öffnungsgrads optimiert werden.

Online-Material 4 stellt im Gegensatz zum *Online-Material 3* eine deutlich weniger vorstrukturierte Übung zur Umsetzung der beiden Instruktionsstrategien dar, da hier nach einer angeleiteten Auswahl von zu adressierendem fachmethodischen Wissen eine Unterrichtsstunde zur Förderung von EGK eigenständig entwickelt werden soll.

3.3 Schwierigkeiten von Schüler/innen bei der Ausführung und Reflexion von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen

Angesichts der Schwierigkeiten, die Schüler/innen typischerweise bei der Ausführung und Reflexion von NDAW haben (Abschnitt 1), und der Notwendigkeit, den Unterricht auf das fachmethodische Vorwissen der Schüler/innen anzupassen (Abschnitt

2), erscheint es sinnvoll, Lehrkräfte gezielt für diese Schwierigkeiten zu sensibilisieren und deren Wahrnehmung zu fördern. Dies wird auch dadurch unterstrichen, dass manche Lehrkräfte bei der Konzeption von Unterricht zur Förderung von EGK überwiegend Schwierigkeiten von Schüler/innen bezogen auf Fachinhalte und kaum bezogen auf das Ausführen und Reflektieren von NDAW antizipieren (Sannert & Krell, 2023b).

Schüler/innen haben typischerweise eine Vielzahl an Schwierigkeiten bei der Ausführung und Reflexion von NDAW. Diese sollten bei der Förderung von EGK berücksichtigt werden, indem u. a. relevantes fachmethodisches Wissen explizit thematisiert wird.

Online-Material 5 zielt auf die Förderung der Wahrnehmung von und des Wissens über Schwierigkeiten von Schüler/innen bei der Ausführung und Reflexion von NDAW ab. Hierzu werden die Lehrkräfte in Anlehnung an die professionelle Unterrichtswahrnehmung schrittweise zum Analysieren von Unterrichtsvideos angeleitet und die identifizierten Schwierigkeiten im Anschluss gemeinsam gesammelt und diskutiert.

4. Ausblick

Der Beitrag liefert evidenzbasierte Empfehlungen und praxiserprobte Beispiele für fachdidaktische Aus- und Fortbildungsangebote zur Förderung von EGK im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dabei wurden zwei zentrale Merkmale wirksamer Lernangebote, ein klarer inhaltlicher Fokus sowie das Anregen aktiven Lernens, in den Vordergrund gestellt und hinsichtlich des Lerngegenstands *Erkenntnisgewinnung* konkretisiert. Die abgeleiteten Empfehlungen sind jedoch nicht als abschließend zu verstehen und könnten mindestens in drei Richtungen erweitert werden: Erstens wäre eine noch stärkere Ausrichtung von Aus- und Fortbildungsangeboten zur Förderung von EGK auf die Voraussetzungen, Entwicklungsbedarfe und Lernprozesse von Lehrkräften wünschenswert (Roehrig, 2023; Prediger et al., 2017). Hierzu sind jedoch weitere Studien notwendig, welche die professionelle Kompetenz von Lehrkräften sowie typische Lernwege und Schwierigkeiten bei deren Aufbau spezifisch zur Förderung von EGK untersuchen. Zweitens adressieren die vorgeschlagenen Empfehlungen primär den Aufbau von fachdidaktischem Wissen und Überzeugungen; die professionelle Kompetenz von Lehrkräften ist jedoch deutlich facettenreicher und umfasst beispielsweise auch fachwissenschaftliche Wissensbestände (z. B. fachmethodisches Wissen) oder situationsspezifische Fähigkeiten (Blömeke et al., 2022). Drittens sind zusätzlich zu einem klaren inhaltlichen Fokus und der Umsetzung aktiven Lernens für die Wirksamkeit von Aus- und Fortbildungsangeboten weitere Aspekte wie beispielsweise der zeitliche Umfang und die Kohärenz des Lernangebots zum beruflichen Alltag bedeutsam (z. B. Lipowsky & Rzejak, 2019).

Literatur

- Abrams, E., Southerland, S. A. & Evans, C. A. (2007). Inquiry in the classroom: realities and opportunities. *Science Education*, 81(1), 67–89.
- Bartos, S. A. & Lederman, N. G. (2014). Teachers' knowledge structures for nature of science and scientific inquiry: conceptions and classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(9), 1150–1184.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 9(4), 469–520.
- Baur, A., Hummel, E., Emden, M. & Schröter, E. (2020). Wie offen sollte offenes Experimentieren sein? *MNU Journal*, 73, 125–128.
- Blömeke, S., Jentsch, A., Ross, N., Kaiser, G. & König, J. (2022). Opening up the black box: teacher competence, instructional quality, and students' learning progress. *Learning and Instruction*, 79, 101600.
- Börlin, J. & Labudde, P. (2014). Practical work in physics instruction: an opportunity to learn? In H. E. Fischer, P. Labudde, K. Neumann & L. Viiri (Hrsg.), *Quality of instruction in physics* (S. 111–127). Waxmann.
- Carlson, J. & Daehler, K. R. (2019). The refined consensus model of pedagogical content knowledge in science education. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (S. 77–92). Springer.
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 515–541). Routledge.
- Desimone, L. M. (2009). Improving impact studies of teachers' professional development: Toward better conceptualizations and measures. *Educational researcher*, 38(3), 181–199.
- Großmann, L. & Krüger, D. (2023). *Erkenntnisgewinnung (v)erklärt: Wie plant man hypothesengeleiteten Biologieunterricht?* [Manuskript eingereicht].
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.
- KMK (2020). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife*. Wolters Kluwer.
- Kranz, J., Baur, A. & Möller, A. (2022). Learners' challenges in understanding and performing experiments: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, 1–47.
- Krell, M. & Krüger, D. (2022). Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht: Welches Methodenwissen soll vermittelt werden? *MNU Journal*, 75(5), 376–382.
- Lazonder, A. W. & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of educational research*, 86(3), 681–718.
- Lederman, J., Lederman, N., ... Zhou, Q. (2019). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(4), 486–515.
- Lee, S. W. Y. (2022). Investigating the effects of explicit instructional approaches on students' understanding of scientific models and modeling. *Research in Science & Technological Education*, 1–17.

- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2019). Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? Ein Update. In B. Groot-Wilken & R. Koerber (Hrsg.), *Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer: Ideen, Entwicklungen, Konzepte* (S. 15–56). Wbv Publikation.
- Matlen, B. J. & Klahr, D. (2013). Sequential effects of high and low instructional guidance on children's acquisition of experimentation skills: Is it all in the timing? *Instructional Science*, 41, 621–634.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177–186). Springer.
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, A. & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht – eine modellbasierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 77–96.
- OECD (2020). *PISA 2024 strategic vision and direction for science*. <https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA-2024-Science-Strategic-Vision-Proposal.pdf>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196.
- Petermann, V. & Vorholzer, A. (2022). Relationship between beliefs of teachers about and their use of explicit instruction when fostering students' scientific inquiry competencies. *Education Sciences*, 12(9), 593.
- Petermann, V. & Vorholzer, A. (2023). Teachers' use of explicit instruction when planning lessons to foster students' scientific inquiry competencies. In G.S. Carvalho, A.S. Afonso & Z. Anastácio (Hrsg.), *Contributions from science education research: Vol. 13. Fostering scientific citizenship in an uncertain world. Selected papers from the ESERA 2021 conference* (S. 219–234). Springer.
- Petermann, V., Vorholzer, A. & von Aufschnaiter, C. (2023). *Science teachers' beliefs about teaching and learning science contents and scientific methods* [Manuskript eingereicht].
- Prediger, S., Leuders, T. & Rösken-Winter, B. (2017). Drei-Tetraeder-Modell der gegenstandsbezogenen Professionalisierungsforschung. *Jahrbuch für allgemeine Didaktik*, 159–177.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 315–337.
- Roehrig, G. (2023). Research on teacher professional development programs in science. In N. Lederman, D. Zeidler & J. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education*. Taylor & Francis.
- Sannert, R. & Krell, M. (2023). A professional development program to foster science teachers' professional competence, enhance classroom practice, and improve student outcomes related to scientific reasoning. *Progress in Science Education*, 6(2), 47–62.
- Sannert, R. & Krell, M. (2023b, 18.–21. September). *Untersuchung verschiedener Facetten der professionellen Kompetenz von Biologielehrkräften zur Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen* [Vortrag]. FDdB, Ludwigsburg.
- Schwartz, R. S. & Lederman, N. G. (2002). It's the nature of the beast? The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 205–236.
- von Aufschnaiter, C. & Hofmann, J. (2014). Kompetenz und Wissen. Wechselseitige Zusammenhänge und Konsequenzen für die Unterrichtsplanung. *MNU Journal*, 67(1), 10–16.

- Vorholzer, A. & von Aufschnaiter, C. (2019). Guidance in inquiry-based instruction. An attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1562–1577.
- Vorholzer, A., von Aufschnaiter, C. & Boone, W.J. (2020). Fostering upper secondary students' ability to engage in practices of scientific investigation: a comparative analysis of an explicit and an implicit instructional approach. *Research in Science Education*, 103(50), 333–359.
- Vorholzer, A., Petermann, V., Weber, J., Upmeier zu Belzen, A., & Tiemann, R. (2022). Explicit instruction on procedural and epistemic knowledge – is it happening? A video-based exploration of classroom practice. *Research in Science & Technological Education*, 1–20.
- Welter, V., Emmerichs-Knapp, L. & Krell, M (2023). Are we on the way to successfully educating future citizens? A spotlight on critical thinking skills and beliefs about the nature of science among pre-service biology teachers in Germany. *Behavioral Sciences*, 13, 279.



Onlinematerial

Richard Sannert, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Kiel, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel
sannert@leibniz-ipn.de
<https://orcid.org/0009-0006-4355-2114>

Verena Petermann, Institut für Didaktik der Physik, Justus-Liebig-Universität Gießen, Karl-Glöckner-Str. 21 C, 35394 Gießen
verena.petermann@didaktik.physik.uni-giessen.de
<https://orcid.org/0000-0003-3512-9536>

Tobias Lieberei, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Kiel, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel
lieberei@leibniz-ipn.de
<https://orcid.org/0000-0003-0345-2806>

Virginia Deborah Elaine Welter, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Kiel, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel
welter@leibniz-ipn.de
<https://orcid.org/0000-0002-1968-5551>

Moritz Krell, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Kiel, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel
krell@leibniz-ipn.de
<https://orcid.org/0000-0003-2226-0383>