

## **Digitale Unterstützung zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen im Physikunterricht: Ein systematisierter Ansatz für Lehrkräfte**

Die Förderung fachinhaltlicher und fachmethodischer Kompetenzen stellt ein zentrales Ziel im naturwissenschaftlichen Unterricht dar (Kultusministerkonferenz, 2020). Gelegenheiten im Unterricht, in denen Lernende Experimente planen, durchführen und auswerten, sind essenziell für den Aufbau und die Festigung fachmethodischer Kompetenzen, die neben experimentellen Fähigkeiten auch Aspekte wie Kommunikation und Bewertung umfassen (z.B. Hofstein & Lunetta, 2004; White & Frederiksen, 1998). Ein prominenter Ansatz, um Lernenden vielfältige Gelegenheiten für eigenständige, experimentbezogene Aktivitäten im Unterricht zu bieten, ist das forschend-entdeckende Lernen (Dobber et al., 2017; Lazonder & Harmsen, 2016; Minner et al., 2010; Vorholzer & Aufschnaiter, 2019). Es ist jedoch davon auszugehen, dass experimentelles Arbeiten der Lernenden zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für den effektiven Aufbau fachmethodischer, insbesondere experimenteller Kompetenzen ist (z. B. Vorholzer et al., 2020). Vielmehr deuten empirische Befunde darauf hin, dass für den effektiven Kompetenzaufbau erforderlich ist, selbstständiges experimentelles Arbeiten mit Instruktion zu verbinden, die gezielt die zugrundeliegenden Kenntnisse thematisieren (z. B. durch explizite Instruktion; Vorholzer, 2015) und den Lernenden Unterstützung zu bieten (Lazonder & Harmsen, 2016). Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wird eine Lehrerfortbildung entwickelt, die darauf abzielt, die professionellen Kompetenzen von Lehrkräften zu stärken, um Lernende beim selbstständigen experimentellen Arbeiten mithilfe digitaler Werkzeuge effektiv zu unterstützen.

### **Struktur der Lehrerfortbildung**

Das zugrunde liegende Fortbildungskonzept besteht aus einer digitalen Selbstlerneinheit, einem Online-Seminar und einer Praxisphase mit abschließendem Online-Seminar. In der digitalen Selbstlerneinheit wird am Beispiel „Fragen und Hypothesen formulieren“ fachdidaktisches Grundlagenwissen thematisiert, das zum Fördern von fachmethodischen Kompetenzen im Physikunterricht relevant ist. Hierzu gehört u. a. die Definition des Begriffs „fachmethodische Kompetenzen“ und Überlegungen zur Rolle fachmethodischer Kenntnisse (Regeln, Strategien, Kriterien) für die Entfaltung fachmethodischer Kompetenzen (z. B. Formulieren naturwissenschaftlicher Fragestellungen, Planen von Untersuchungen; Vorholzer, 2017). Im anschließenden Online-Seminar wird ein systematischer Überblick über einerseits konkrete Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen (z. B. Prompts oder Einschränkungen; Sun et al., 2022) und andererseits über Möglichkeiten der digitalen Umsetzung dieser Unterstützungsmaßnahmen gegeben. Der dritte Teil der Fortbildung besteht aus einer Praxisphase, in der die Lehrkräfte eine selbstgewählte, digitale Unterstützungsmaßnahme beim experimentellen Arbeiten in einer eigenen Unterrichtsstunde umsetzen und erproben sollen. Nach dieser Praxisphase findet erneut ein Online-Seminar statt, in dem die Lehrkräfte die Gelegenheit erhalten, ihre Erfahrungen und erprobten digital gestützten Unterstützungsmaßnahmen auszutauschen und zu reflektieren.

Ein Kernelement der Fortbildung ist eine von uns entwickelte zweidimensionale Heuristik, die einerseits Möglichkeiten zur Unterstützung (Dimension 1) und andererseits Arten von digitalen Werkzeugen (Dimension 2) systematisiert und aufeinander bezieht. Diese Heuristik soll Lehrkräften eine praxisnahe und flexible Orientierungshilfe für die gezielte Auswahl und den Einsatz von digitalen Unterstützungsmaßnahmen bieten und wird im Folgenden näher vorgestellt.

#### *Systematisierungsversuch von Unterstützungsmaßnahmen*

Die erste Dimension der Heuristik stellt die Systematisierung der Unterstützungsmaßnahmen dar, die 5 verschiedene Arten von Unterstützung unterscheidet. Die Systematisierung basiert auf der Metastudie von Lazonder und Harmsen (2016) und umfasst die folgenden Kategorien:

- *Einschränkungen:* Den Lernenden werden einzelne Schritte des Experimentierprozesses teilweise oder vollständig abgenommen. Dies kann z. B. durch die Vorgabe von Fragestellungen oder durch das Bereitstellen von Materialien geschehen, die den Fokus auf bestimmte Teilaspekte lenken. Dadurch werden die Anforderungen an die Kompetenzen der Lernenden in den eingeschränkten Schritten reduziert, z. B. weil keine Kenntnisse über Merkmale guter Fragestellungen mehr erforderlich sind.
- *Erläuterungen und Anleitungen:* Lernende bekommen klare Kriterien, Regeln oder Strategien an die Hand, um sie in den einzelnen Schritten des Experimentierprozesses zu unterstützen. Beispielsweise könnten Lehrkräfte den Lernenden vor der Entwicklung einer Fragestellung Merkmale guter naturwissenschaftlicher Fragen oder Strategien für deren Formulierung erläutern.
- *Prompts:* Prompts erinnern die Lernenden an bereits bekannte Regeln, Strategien oder Kriterien, ohne diese erneut zu nennen oder zu erklären. Diese Erinnerungen können den Lernenden helfen, sich in komplexen Situationen besser zu orientieren, indem sie gezielt an das bereits Erlernte anknüpfen. Anders als Erläuterungen und Anleitungen beinhalten Prompts keine neuen Informationen für die Lernenden.
- *Feedback:* Hier erhalten die Lernenden gezieltes Feedback während einem Arbeitsprozess oder zu ihren Arbeitsergebnissen. Dies kann durch Kontrollmöglichkeiten wie Checklisten oder exemplarische Lösungen geschehen, die die Lernenden nutzen können, um z. B. ihre eigenen Fragen, Hypothesen oder Bearbeitungsschritte zu überprüfen und zu überarbeiten.
- *Übersicht und Strukturierung:* Diese Maßnahmen zielen darauf ab, den Lernenden einen Überblick über die Bestandteile eines einzelnen Schritts des Experimentierprozesses oder den Experimentierprozess als Ganzes geben. Beispielsweise können Ablaufdiagramme oder strukturierte Arbeitspläne eingesetzt werden, um den Lernenden die systematische Planung eines Experiments zu erleichtern. Anders als Einschränkungen reduzieren Maßnahmen zur Übersicht und Strukturierung nicht die Menge oder den Umfang an Bearbeitungsschritten in einem Experimentierprozess.

#### *Systematisierungsversuch von digitalen Tools*

Die zweite Dimension der Heuristik konzentriert sich auf digitale Tools zur Umsetzung von Unterstützungsmaßnahmen. Ausgangspunkt für die Systematisierung ist die DikoLa-Toolbox (<https://dikola.uni-halle.de/toolbox/>), die insgesamt 13 Anwendungsszenarien für digitale Tools unterscheidet. Für die Fortbildung wurden daraus fünf Kategorien abgeleitet, die für die

Unterstützung von Lernenden beim experimentellen Arbeiten besonders anschlussfähig erscheinen:

- *Kollaboratives Arbeiten ermöglichen und unterstützen*: Diese Kategorie umfasst digitale Tools, um die Zusammenarbeit der Lernenden zu fördern. Hierzu gehören z. B. interaktive Whiteboards, Austauschplattformen oder Umfragetools, die es ermöglichen, gemeinsam an Projekten zu arbeiten, Ideen auszutauschen und sich gegenseitig zu unterstützen.
- *Arbeitsprozesse strukturieren*: Hierzu zählen digitale Tools, die den Lernenden helfen, ihren Arbeitsprozess besser zu organisieren. Beispielsweise können mit Hilfe von Kursmanagementsystemen oder Whiteboards Arbeitsprozesse strukturiert werden.
- *Inhalte präsentieren und visualisieren*: Um komplexe physikalische Sachverhalte anschaulich zu vermitteln, bieten sich digitale Tools wie Videos, Animationen und Simulationen an. Tools in dieser Kategorie helfen dabei, solche Medien zu erstellen und einzusetzen.
- *Arbeitsmaterial erstellen*: Tools dieser Kategorien unterstützen Lehrkräfte dabei, (digitale) Arbeitsmaterialien für den Unterricht zu erstellen. Dazu gehören z. B. Präsentationen oder digitale Hilfekarten, die den Lernenden bei der Bearbeitung ihrer Aufgaben Unterstützung bieten.
- *Diagnostik*: Tools dieser Kategorie unterstützen Lehrkräfte und/oder Lernende dabei, die (eigenen) Fähigkeiten und Kenntnisse (der Lernenden) einzuschätzen. Hierzu gehören z. B. Umfragetools, Aufgaben oder Quizze können, die den Lernfortschritt von Lernenden erfassen und automatisiertes Feedback bieten.

Es ist wichtig zu beachten, dass digitale Tools oft nicht eindeutig in eine Kategorie einzuordnen sind, da viele digitale Tools mehrere Funktionen erfüllen und bereitstellen können (z. B. Whiteboard zur Kollaboration, Strukturierung oder Präsentation von Inhalten). Wir möchten ebenfalls betonen, dass eine eindeutige Einordnung nicht das Ziel der vorgeschlagenen Heuristik ist. Vielmehr soll die Kombination der beiden Systematisierungen Lehrkräften eine Konzeptionsgrundlage bieten, um Unterrichtsideen zu entwickeln, die den spezifischen Unterstützungsbedarf der Lernenden berücksichtigen, und ihnen helfen, vielfältige Ideen für die Umsetzung unterschiedlicher Unterstützungsmaßnahmen zu generieren. Die Konzeptionsgrundlage dient als Inspiration, um fachmethodische Kompetenzen effektiv und modern zu fördern und digitale Möglichkeiten gezielt in den Unterricht zu integrieren.

### **Ausblick**

Eine erste Pilotierung der Lehrerfortbildung wurde mit Studierenden der TU München durchgeführt (SS 2024), gefolgt von einer Evaluation durch Critical Friends aus der Physikdidaktik (Herbst 2024). Die Rückmeldungen und Ergebnisse aus dieser Phase dienen als Grundlage, um die Fortbildung zu überarbeiten und zu verbessern. In weiteren Schritten soll die optimierte Version mit Lehrkräften getestet werden. Neben dem Aufbau professioneller Kompetenzen von Lehrkräften soll die Fortbildung auch dazu dienen, zu untersuchen, wie Lehrkräfte fachmethodische Kompetenzen in ihrem Unterricht adressieren. Mit diesen Erkenntnissen soll die Fortbildung noch gezielter an die Bedürfnisse der Lehrkräfte angepasst werden.

## Literatur

- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, *103*(1), 1–18.  
<https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Dobber, M., Zwart, R., Tanis, M. & van Oers, B. (2017). Literature review: The role of the teacher in inquiry-based education. *Educational Research Review*, *22*, 194–214.  
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.002>
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- 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.  
[https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Kultusministerkonferenz. (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*. Carl Link.  
[https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2020/2020\\_06\\_18-BildungsstandardsAHR\\_Physik.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf)
- Lazonder, A. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning. *Review of Educational Research*, *86*(3), 681–718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(4), 474–496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Sun, Y., Yan, Z. & Wu, B. (2022). How differently designed guidance influences simulation-based inquiry learning in science education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, *38*(4), 960–976. <https://doi.org/10.1111/jcal.12667>
- Vorholzer, A. (2015). *Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und impliziten Instruktionsansatzes*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades.
- Vorholzer, A. (2017). Lernaufgaben zu fachmethodischen Kompetenzen. *MNU Journal*, 83–89.
- Vorholzer, A. & Aufschnaiter, C. von (2019). Guidance in inquiry-based instruction – an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, *41*(11), 1562–1577.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124>
- Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. von & 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*, *50*(1), 333–359.  
<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1>
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. *Cognition and Instruction*, *16*(1), 3–118.  
[https://doi.org/10.1207/s1532690xc1601\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xc1601_2)