

Experimentieren, Modellieren und Forschen als soziale Praxis im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht

Förderung angehender Lehrkräfte bei der Nutzung unsicherer Evidenz als Ausgangspunkt für naturwissenschaftliche Aushandlungsprozesse

Jens Klinghammer & Olaf Krey

Die Forschung zu Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur Natur der Naturwissenschaften zeigt, dass nur wenige Lernende adäquate Vorstellungen zur Arbeitspraxis in den Naturwissenschaften haben (Höttecke & Hopf, 2018). In den Vorstellungen zur naturwissenschaftlichen Wissensproduktion werden soziale Aspekte wie naturwissenschaftliche Aushandlungsprozesse zur Konsensfindung selten von Lernenden anerkannt. Die Analyse von Naturwissenschaften als soziales System mit sozialen Praktiken „kann dazu beitragen, die inneren Mechanismen besser zu verstehen, die bewirken, dass Naturwissenschaften sich immer weiter entwickeln und ihre Wissensbestände sich verändern“ (Gebhard et al., 2017, S. 17). Neben historisch orientiertem Unterricht bietet ein unterrichtliches Vorgehen, in dem Lernende im Rahmen einer hinreichend offenen Forschungsaufgabe naturwissenschaftliche Erkenntnisse (nach-)entdecken, also ein experimentelles Vorgehen planen und umsetzen, „Beobachtungs- bzw. Messdaten sammeln und interpretieren, kommunizieren, reflektieren und ihre Ergebnisse verteidigen, Hypothesen aufstellen, empirische Regelmäßigkeiten herausarbeiten sowie Modelle oder Hypothesen aufstellen und prüfen“ (Höttecke & Schecker, 2021, S. 425), eine gute Möglichkeit zur retrospektiven Analyse sozialer Praktiken in den Naturwissenschaften und somit Einsicht in die Genese naturwissenschaftlichen Wissens. Dies gilt umso mehr, wenn im Rahmen der Forschungsprozesse der Lernenden unsichere Evidenz (Ruhrig & Höttecke, 2014) zum Thema wird. Unsichere Evidenz meint dabei die im Forschungs- und Erkenntnisprozess auftretenden und aushandlungsbedürftigen Uneindeutigkeiten, Widersprüche und Unsicherheiten, z. B. widersprüchliche Beobachtungen bzw. Messergebnisse, widersprüchliche Interpretationen von gleichen Beobachtungen oder die Anerkennung des Umstandes, dass die Unsicherheit der Erkenntnis zum aktuellen Stand der Forschung nicht weiter reduziert werden kann bzw. eine epistemische Autorität fehlt oder diese noch nicht sozial ausgehandelt ist.

Die nachfolgend dargestellten zwei Seminarsitzungen für Studierende der Lehramtsstudiengänge für Grund-, Mittel- und Realschule verfolgen zum einen das Ziel, ein Bewusstsein für die bestehenden Mechanismen naturwissenschaftlicher Wissensgenese (sowie die meist naiven eigenen Vorstellungen der Studierenden dazu) zu wecken. Zum anderen sollen die Studierenden die Erfahrung machen, dass und wie sich das Thema aspekthaft auch im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht thematisieren und inszenieren lässt. Die zwei Seminarsitzungen finden im Rahmen des Seminars ‚Spezielle Fachdidaktik Physik‘ im Grundlagenmodul ‚Physikdidaktik‘ der Universität Augsburg statt. Die Gestaltung basiert dabei auf einem Unterrichtsentwurf, den der Erstautor für das zweite Staatsexamen entwickelt, erprobt und evaluiert hat. Die Seminarabläufe und -materialien sind im Zusatzmaterial abgebildet.

1. Das Durchlaufen einer Lerneinheit für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht wird zum studentischen Erfahrungsraum für die Wissensproduktion

Zu Beginn der ersten Seminarsitzung werden die Studierenden gebeten, Fragen zu ihren Vorstellungen zum Experimentieren und Modellieren im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie zur Natur der Naturwissenschaften (NdN) basierend auf einzelnen Items des SUSSI (Liang et al., 2008) schriftlich zu beantworten (vgl. Zusatzmaterial). Eine Auslagerung dieser ersten Aufgabe als Vorbereitungsaufgabe vor der Seminarsitzung hat sich als ungeeignet herausgestellt, da die Studierenden dann nicht ihre eigenen Vorstellungen äußern, sondern Antworten aus anderen Quellen beziehen. Die Antworten der Studierenden dienen zu einem späteren Zeitpunkt als Bezugspunkt für die Reflexion des eigenen Lernprozesses und fördern die Kontrastierung zwischen bisherigen schulischen und den nun im Seminar gemachten Erfahrungen.

Die Studierenden durchlaufen danach das für Schülerinnen und Schüler im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht entwickelte Unterrichtssetting, dessen grobe Struktur in Tabelle 1 dargestellt ist. Der Forschungsauftrag besteht darin, die Beschaffenheit zweier Hühnereier zu untersuchen, ohne die Eier zu beschädigen. Hierfür stehen alle Geräte und Materialien der experimentellen Sammlung zur Verfügung.

Grundsätzlich ist die Idee, mit Eiern im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht zu experimentieren (u. a. Marmé & Knemeyer, 2017) und zu modellieren (Wodzinski & Stäudel, 2009), nicht neu, jedoch ist uns kein Lernsetting bekannt, welches an diesem Beispiel naturwissenschaftliche Arbeitsweisen mit sozialen Aushandlungsprozessen und bestehende Mechanismen naturwissenschaftlicher Wissensgenese erfahrbar und reflektierbar macht.

Die zwei Eier unterscheiden sich unsystematisch hinsichtlich Farbe, Volumen und Masse, sodass zunächst zahlreiche Unterschiede bestimmbar sind. Der systematische Unterschied liegt in der inneren Struktur der Eier, da eines hart gekocht und eines roh ist. Da jede Gruppe nur zwei Eier hat, ist ein Austausch zwischen den Gruppen unumgänglich, um den systematischen Unterschied festzustellen. Dieser Austausch fin-

Tab. 1: Ablauf der Lerneinheit für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht.

Phasen	aufeinander folgende Abschnitte
Phase 1: offenes, vorwiegend exploratives Experimentieren	Forschungsphase (Experimentieren) wissenschaftliche Tagung Forschungsphase (Experimentieren) wissenschaftliche Tagung
Phase 2: Modellbildung und hypothesengeleitetes Experimentieren (meist genügt ein Durchlauf)	Forschungsphase (Modellbildung) wissenschaftliche Tagung Modellanpassung und erneute Modelltestung
Phase 3: Ergebnisveröffentlichung	Schreiben eines Forschungsberichtes bzw. eines Zeitschriftenartikels

det in Form von ‚Tagungen‘ statt, welche wissenschaftlichen Tagungen mit Ergebnispräsentationen und Diskussionen ähneln. Die Unsicherheit, ob sich der beobachtete Unterschied als intersubjektiv relevant erweist (der ‚Richtige‘ ist), führt bereits vor den Tagungen zu regem informellem Austausch, gelegentlich sogar zu Spionageversuchen. Dass dieser systematische Unterschied nicht direkt erfahrbar ist, sondern auf diesen nur indirekt geschlossen werden kann, provoziert Diskussionen zur Sicherheit der Erkenntnisse der einzelnen Arbeitsgruppen, welche ohne Modelle nicht weiter erhöht werden kann.

In einem Prozessprotokoll in Form eines Forschertagebuchs (vgl. Zusatzmaterial) werden die Schritte und Ergebnisse der *Forschungsphase* festgehalten. Auf einer ersten *Tagung* werden mit Plakaten erste Erkenntnisse und das jeweilige Vorgehen präsentiert. Schnell kommt es hierbei durch das Fehlen offensichtlicher und eindeutiger Antworten auf die Forschungsfrage zu sozialen Aushandlungsprozessen. Diskutiert wird z. B. darüber, wessen Erkenntnisse und warum diese mehr Bedeutung erhalten als andere Erkenntnisse. Fragen des experimentellen Vorgehens, der Zuverlässigkeit der Daten/Beobachtungen und Fragen der sozialen Gruppenzusammensetzung werden hier sehr relevant. In der anschließenden *Forschungsphase* werden meistens die auf der Tagung sozial ausgehandelten ‚richtigen‘ Erkenntnisse auf der Grundlage eines bestimmten experimentellen Vorgehens repliziert. In der darauffolgenden, Phase 1 abschließenden *Tagung* (vgl. Tabelle 1), stellt sich eine Sättigung des Gesprächsbedarfs, teilweise sogar Frustration ein, da aus Lernendenperspektive die experimentellen Möglichkeiten weitgehend erschöpft sind und die ‚Wahrheit‘ nicht direkt überprüft werden kann.

An dieser Stelle ist eine motivierende und moderierende Lehrkraft hilfreich. Da die Eier nicht geöffnet werden dürfen, bietet es sich an, Modelle zu bauen, welche je nach Vermutung präpariert werden und ähnliche Daten/Beobachtungen erzeugen sollen, wie das originale Ei. Wodzinski und Stäudel (2009) nutzen dazu gelbe Plastikeier von Kinderüberraschungseiern und bieten gestufte Hilfen, um differenzierte Hilfestellungen für den schwierigen Prozess der Modellbildung bereitzustellen. Die Nutzung dieser Materialien hat sich sowohl bei Lernenden im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht als auch im Hochschulseminar mit Studierenden bewährt.

Nach dem *Erstellen der Modelle* und dem Experimentieren mit den Modellen werden das im Forschertagebuch dokumentierte Vorgehen und die generierten Erkenntnisse wiederum auf einer *Tagung* mit Plakaten präsentiert und diskutiert. Die Unsicherheit nimmt bei der Tagung dieser Phase noch einmal zu, da die Modelleier bestimmte, den Erkenntnisprozess hindernde, Eigenschaften aufweisen. Fragen bzgl. der Modellbildung (Passung Modellei-Hühnerei), der Modellanpassung, der Zuverlässigkeit der Modelldaten und die Rolle der sozialen Gruppenzusammensetzung geraten hierbei in den Blick der Studierenden. In der anschließenden zweiten *Modellierungsphase* werden meistens die auf der Tagung als ‚richtig‘ ausgehandelten Modelle weiter optimiert. So kann, ggf. nach Anregung durch die Lehrkraft, beispielsweise die Reibung durch Rotation auf einem an das Modellei geklebten Knopf vermindert werden oder es können Flüssigkeiten mit höherer Viskosität für das ungekochte Ei zum Einsatz kommen.

Am Ende (vgl. Phase 3 in Tabelle 1) verfassen die Forschergruppen einen *Zeitschriftenartikel*, in dem das Vorgehen und die Sicherheit der gewonnenen Erkenntnisse eine übergeordnete Rolle spielen (vgl. Zusatzmaterial). Die Hühnereier werden eingesammelt und nicht geöffnet. Die Lehrkraft tritt also bewusst nicht als epistemische Autorität auf und äußert sich auch nicht zur Lösung, was die zwei Hühnereier systematisch voneinander unterscheidet. So sind Vorläufigkeit und Unsicherheit der Erkenntnisse weiterhin gegeben.

Das für sechs Unterrichtsstunden ausgelegte Lernarrangement wird durch geeignete Zeitraffer auf 90 Minuten gekürzt (z. B. Konzeption des Forscherberichts wird nur angebahnt), wobei Momenten, in denen unsichere Evidenz thematisch wird und soziale Aushandlungsprozesse unumgänglich sind, Raum gegeben wird.

2. Reflexion gemachter Erfahrungen und eigener Vorstellungen machen die Genese naturwissenschaftlicher Erkenntnis zum Lerngegenstand

Aufbauend auf den gemachten Erfahrungen aus der ersten Sitzung arbeiten die Studierenden in der zweiten Sitzung in kleinen Gruppen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu dem häufig selbst erlebten Sach- und Physikunterricht heraus. Sie nutzen dazu ihre eigenen Antworten auf die Fragen vom Beginn der ersten Sitzung (zu den Themen Experimentieren, Modellieren, Natur der Naturwissenschaften; vgl. Zusatzmaterial). In den Antworten der Studierenden wird das Experiment und das Modell oft als Lernmedium zum Erreichen von Fachwissenszielen beschrieben, wohingegen in dem erlebten Unterrichtssetting das Experiment/Experimentieren und das Modell/Modellieren der Lerngegenstand sind. Soziale Aushandlungsprozesse aufgrund unsicherer Evidenz verbinden nur sehr wenige Studierende mit naturwissenschaftlichem Unterricht. Die Kontrastierung ermöglicht die Identifizierung und Analyse von eigenen Vorgehensweisen und Kompetenzen, welche in dem Unterrichtssetting zum Hühnerei adressiert werden. Die Kompetenzen werden nicht nur benannt, sondern,

wie im Folgenden näher erläutert, multiperspektivisch reflektiert und mit konkreten Umsetzungsmöglichkeiten verknüpft, die das Unterrichtsetting aufzeigt. Die zweite Sitzung ist daher durch mehrere, thematisch fokussierte Gruppenarbeiten mit wechselnden didaktischen Brillen und Reflexionen des Erlebten strukturiert (vgl. Zusatzmaterial).

Das erlebte Lernarrangement kann rückblickend in Phasen unterteilt werden und es kann rekonstruiert werden, welche Tätigkeiten Lernende in diesen Phasen ausführen: Experimente planen und durchführen; Beobachtungen dokumentieren, interpretieren und kommunizieren; Modelle entwickeln und Hypothesen testen; Vorgehen und Ergebnisse kommunizieren, aushandeln und verteidigen.

2.1 Reflexion des Experimentierens und der Intersubjektivierung von Befunden

Das offenere Experimentieren innerhalb des Lernarrangements ermöglicht zum einen die Reflexion dessen, was Experimentieren ist (vgl. Höttecke & Rieß, 2015), insbesondere vor dem Hintergrund dessen, was die Studierenden zu Beginn der ersten Sitzung als Experimentieren beschrieben haben. Zum anderen ermöglicht es das Erlernen von sonst eher selten angesteuerten experimentellen Kompetenzfacetten wie „Experiment planen“ und „Schlüsse ziehen/diskutieren“ (Nawrath et al., 2011, S. 43). In der Diskussion der Durchführung der Experimente und den auf Tagungen intersubjektivierten gezogenen Schlüssen wird die kreative und kommunikative Aushandlung als soziale Praxis deutlich.

2.2 Reflexion des Anspruchsniveaus

Neben den in der offeneren Experimentierphase angestrebten Kompetenzen können verschiedene Offenheitsgrade des Experimentierens bzw. forschenden Lernens rekonstruiert werden. Das hier dargestellte schulische Unterrichtsetting kann in die Kategorie Guided Inquiry (Köster & Galow, 2014) eingeordnet werden und stellt damit hohe Anforderungen an die Lernenden. Die Komplexität und Uneindeutigkeit ist einerseits motivierend, kann aber andererseits schnell zu Überforderung führen. Die Notwendigkeit von Differenzierungsmaßnahmen, beispielhaft analysiert anhand der gestuften Hilfen beim Modellieren (Wodzinski & Stäudel, 2009), wird eingängig betrachtet.

2.3 Reflexion der Rolle von Modellen bzw. Modellierungsprozessen

Die gemachten Erfahrungen betreffen die Entwicklung, Überprüfung, Testung und Änderung von Modellen. Auf dieser Grundlage können Modellkompetenzen herausgearbeitet und eher selten angesteuerte Kompetenzfacetten wie das „Testen von Modellen“ und das „Ändern von Modellen“ (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 53) mit unterrichtlichen Gestaltungsmöglichkeiten verknüpft werden. Des Weiteren kann der

Modellbegriff reflektiert werden, insbesondere im Kontrast zu eigenen Beschreibungen vom Beginn der Lehrveranstaltung. Die Analyse der Erkenntnisgewinnung mithilfe von Modellen innerhalb des Subjekt-Modell-Objekt-Dreiecks (Kircher, 1995) am konkreten Beispiel Hühner-Modell hat sich dabei als sehr gewinnbringend erwiesen. In der Diskussion der Modellgüte und der am Modell gewonnenen Erkenntnisse und ihrer Sicherheit wird wiederum die kreative und kommunikative Aushandlung als soziale Praxis erkennbar.

2.4 Reflexion des Umgangs mit unsicherer Evidenz

Die abschließende und umfassendste Reflexionsphase betrifft das Herausarbeiten der Elemente im erlebten Unterrichtssetting, welche mit Unsicherheiten behaftet sind bzw. unsichere Evidenz hervorbringen. Beispielsweise stellen sich folgende Fragen: Ist der von mir entdeckte systematische Unterschied zwischen den Eiern relevant – auch für die anderen Forschergruppen? Ist es die unzureichende Passung zwischen meinem Modell und dem Objekt, oder meine falsche Annahme, die zu erwartungskonträren Beobachtungen führt? Warum sagt mir eigentlich niemand, was nun richtig ist? Kommunikation und Aushandlungsprozesse unter den Forschenden können so als typische Strategien zum Umgang mit unsicheren Resultaten oder Beobachtungen herausgearbeitet werden. Evidenz ist dann kein Resultat ganz objektiv beobachtender Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler mit einer ‚wahren‘ Erkenntnis (so die Vorstellung von Schülerinnen und Schülern), sondern wird durch Aushandlungsprozesse hergestellt, also durch die soziale Praxis naturwissenschaftlichen Arbeitens: „Naturwissenschaftliche Evidenz ist also das Resultat einer empirischen oder theoretischen Auseinandersetzung mit der Welt [...] und beruht zugleich auf der Aushandlung und Akzeptanz von Geltungsansprüchen innerhalb einer Wissenschaftlergemeinschaft“ (Ruhrig & Höttecke, 2014, S. 33).

3. Fazit

Die Studierenden durchleben, analysieren und reflektieren eine Lerngelegenheit, welche neben ‚klassischen‘ naturwissenschaftlichen Kompetenzen zum Experimentieren und zum Modellieren vor allem Aspekte der Natur der Naturwissenschaften sowie kritisches Denken, Problemlösen, kreatives und flexibles Denken, zielführende Kommunikation und Kollaboration fördert (vgl. u. a. auch 21st Century Skills). Unsichere Evidenz, wie sie in experimentbasierten Lernprozessen regelmäßig auftritt, ist dabei der Ausgangspunkt für soziale Aushandlungsprozesse beim Experimentieren und Modellieren. Die Reflexion der eigenen Vorgehensweise und das Aufzeigen von Parallelen zu naturwissenschaftlicher Forschung als soziales System mit sozialen Praktiken trägt dazu bei, das Verständnis zu adressieren, dass sich Wissensbestände verändern und kommunikative Aushandlungsprozesse ein zentraler Bestandteil naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen sind.

Literatur

- Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19546-9>
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 271–287). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_13
- 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. <https://dx.doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z>
- Höttecke, D. & Schecker, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen für Nature of Science (NOS). In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 401–433). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63053-2_13
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik: erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften Kiel.
- Köster, H. & Galow, P. (2014). Forschendes Lernen initiieren. Hintergründe und Modelle offenen Experimentierens. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 144, 24–26.
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M. & Ebenezer, J. (2008). Assessing preservice elementary teachers' views on the nature of scientific knowledge: A dual-response instrument. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 9(1), 1–20.
- Marmé, N. & Knemeyer, J. P. (2017). Experimente mit Eiern (Kopiervorlagen). *didaktik-aktuell*. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17599.51360>
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 60(6), 42–49.
- Ruhrig, J. & Höttecke, D. (2014). Was, wenn das Experiment nicht klappt? Unsichere Evidenz als Lerngelegenheit nutzen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 144, 32–35.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Wodzinski, R. & Stäudel, L. (2009). *Aufgaben mit gestuften Hilfen für den Physikunterricht*. Erhard Friedrich.



Onlinematerial

Jens Klinghammer, Didaktik der Physik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86159
Augsburg
jens.klinghammer@uni-a.de
<https://orcid.org/0009-0002-7938-2218>

Olaf Krey, Didaktik der Physik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86159 Augsburg
olaf.krey@uni-a.de
<https://orcid.org/0000-0002-6756-6944>