



Fabian Bernstein, Thomas Wilhelm

Jenseits der Authentizität

Experimentieren als didaktische Inszenierung

1. Einleitung: Die überragende Bedeutung des Experimentierens und die Ambivalenz seines Bildungswertes

Die Bedeutung des Experimentierens in naturwissenschaftlichen Bildungskontexten ist kaum zu überschätzen. In allen etablierten Lehr- und Lernformaten, vom schulischen naturwissenschaftlichen Unterricht über außerschulische Lernorte wie Schülerlabore und Science Center bis hin zu musealen Vermittlungsangeboten, bilden experimentelle Tätigkeiten einen zentralen Bestandteil. Sie sind nicht lediglich eine von vielen Methoden naturwissenschaftlicher Bildung, sondern gelten gemeinhin als deren Herzstück.

Diese herausragende Stellung des Experiments lässt sich beispielsweise mit Blick auf den schulischen Physikunterricht belegen: So spricht Raimund Girwidz im Standardwerk der Physikdidaktik vom Experiment als „grundlegende[r] Erkenntnisquelle für den Physikunterricht“ und als „zentrale[m] Element naturwissenschaftlichen Arbeitens“¹ und unterscheidet nicht weniger als 14 (!) unterschiedliche Funktionen, die das Experiment für den Unterricht erfüllt – von der Veranschaulichung über die Förderung methodischer Kompetenzen bis hin zur motivationalen Aufladung physikalischer Inhalte.² Analog zeigt die großangelegte Videostudie von Tesch und Duit mit Blick auf die zeitliche Dimension des Unterrichts, dass – einschließlich Vor- und Nachbereitung – etwa zwei Drittel der gesamten Unterrichtszeit des Physikunterrichts in irgendeiner Weise durch experimentelle Aktivitäten geprägt wird.³ Für den Physik-

unterricht und allgemeiner den naturwissenschaftlichen Unterricht ist das Experiment damit nicht nur ein didaktisches Hilfsmittel, sondern ein strukturprägendes Element.

Noch deutlicher tritt die Bedeutung experimenteller Tätigkeiten an außerschulischen Lernorten zutage, für die sie teils sogar konstitutiv sind: Schülerlabore und Science Center profilieren sich nahezu ausnahmslos über experimentelle Angebote und sind ohne experimentelle Formate kaum denkbar. Ihre Legitimation beruht maßgeblich auf der Annahme, dass gerade das aktive, handlungsorientierte Erleben naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen einen unverzichtbaren Beitrag zur Bildung leistet.⁴ Das TECHNOSEUM ist in dieser Hinsicht keine Ausnahme: experimentelle Tätigkeiten stehen in sämtlichen Workshops für Schülerinnen und Schüler im Zentrum – experimentelles Arbeiten ist hier nicht Beiwerk, sondern Kern der Lernarchitektur.

Angesichts dieser Dominanz überrascht es nicht, dass an das Experimentieren in Bildungssettings enorme Erwartungen geknüpft werden. Diese reichen von der Annahme, Experimente würden notwendigerweise zu einem vertieften inhaltlichen Verständnis führen, über die Erwartung, sie förderten intrinsische Motivation und Interesse an Naturwissenschaften, bis hin zur Hoffnung, sie ermöglichen den Erwerb methodischer und epistemologischer Kompetenzen, insbesondere eines besseren Verständnisses der „Nature of Science“ (NOS).⁵

Gerade diese hohe Erwartungslast macht jedoch auf zwei fundamentale Probleme aufmerksam, die seit Jahrzehnten Gegenstand fachdidaktischer Diskussion sind. Erstens zeigen empirische Studien immer wieder, dass Experimente in Bildungskontexten die in sie gesetzten Hoffnungen nur teilweise oder gar nicht erfüllen – weder hinsichtlich fachlicher Lerngewinne noch bezüglich methodischer Kompetenzen, motivationaler Effekte oder eines vertieften Wissenschaftsverständnisses.⁶ Zweitens stoßen naturwissenschaftliche Experimente in Bildungskontexten inhaltlich und technisch schnell an Grenzen: Viele aktuelle Forschungsfragen sind in schulischen oder informellen Settings nicht experimentell bearbeitbar – nicht nur aufgrund fehlender Vorkenntnisse oder mangelnder Zeit, sondern auch wegen der hohen Komplexi-

tät, der immensen Kosten und der oft abstrakten, nicht sinnlich erfahrbaren Natur moderner Forschungsexperimente. Großforschungsanlagen wie das CERN oder LIGO machen dies besonders augenfällig: Hier wird auf einer infrastrukturellen und theoretischen Ebene gearbeitet, die Bildungssettings prinzipiell verschlossen bleiben muss.

Diese Beobachtungen führen zu einer grundlegenden Frage: Welchem Zweck dienen Experimente in Bildungssettings eigentlich – und in welchem Verhältnis stehen sie zu Experimenten in der wissenschaftlichen Forschung? Was ist überhaupt ein „Experiment“ in einem Bildungskontext, wenn die Funktion in Wissenschaft und Bildung – Erkenntnisgewinnung hier, Lernwerkzeug dort – gänzlich unterschiedlich ist? Und wie verhält sich hierzu die Forderung nach „Authentizität“ von Experimentieraktivitäten in Zusammenhängen, in denen sie der didaktischen Vermittlung dienen, nicht der erkenntnisbezogenen Exploration?

2. Das Authentizitätsparadigma: Anspruch und Scheitern

Das Konzept der „Authentizität“ hat in der naturwissenschaftlichen Bildung eine bemerkenswerte Karriere gemacht. Es ist in Lehrplänen verankert, prägt Konzeptionen von Schülerlaboren und Science Centern und wird seit Jahrzehnten als zentrale Zielvorstellung propagiert. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass der Begriff der „Authentizität“ im bildungswissenschaftlichen Diskurs nicht einheitlich verwendet wird, sondern drei Bedeutungsdimensionen umfasst⁷: Erstens die Ausrichtung an den Interessen und der Lebenswelt der Lernenden, zweitens eine konsequente Kontextorientierung unter Bezugnahme auf gesellschaftlich relevante Fragestellungen und drittens eine Nachbildung von Prozessen und Methoden der Fachwissenschaften im Bildungssetting. Authentizität in diesem dritten Sinne bezeichnet die Vorstellung, experimentelle Aktivitäten in Bildungssettings sollten möglichst die Praktiken und Prozesse wissenschaftlicher Forschung widerspiegeln, um Lernenden einen „authentischen“ Zugang zu Naturwissenschaften zu eröffnen.

Prominente Vertreter dieses Authentizitätsideals sind bspw. Chinn und Malhotra. In einer umfassenden Untersuchung kontrastierten sie schulische Inquiry-Aktivitäten mit wissenschaftlicher Forschungspraxis und kamen zu dem ernüchternden Schluss, dass beides wenig Ähnlichkeiten („little resemblance“) aufweise. Ihre Schlussfolgerung lautet: Schulen müssten sich durch epistemologisch authentische wissenschaftliche Arbeitsweisen („epistemologically authentic scientific inquiry“) stärker an der Logik wissenschaftlicher Forschung orientieren, herkömmliche übersimplifizierende Aufgabenformate seien unzureichend.⁸

Auch Höttecke und Rieß schließen sich dieser Grundannahme an, wenngleich vorsichtiger im Ton. Sie argumentieren, dass Unterricht „authentische Lerngelegenheiten im Hinblick auf die tatsächlichen Prozesse des Wissenschaftstreibens bieten soll, um auf das Experimentieren als Erkenntnistätigkeit reflektieren zu können“, räumen aber ein, dass dies in der gegenwärtigen Unterrichtspraxis kaum eingelöst werde.⁹ Dabei betonen sie insbesondere die Diskrepanz zwischen der Vielfalt experimenteller Strategien in der Forschung und den stark vorstrukturierten, auf Hypothesentests reduzierten Experimenten im Unterricht und leiten die Notwendigkeit eines differenzierteren Experiment-Begriffes ab: „Wenn Experimentieren in Schule und Forschung überhaupt etwas miteinander zu tun haben sollen, bedarf es eines komplexeren Experiment-Begriffs als es im fachdidaktischen Diskurs zurzeit der Fall ist“.¹⁰ Auch im Kontext von Schülerlaboren wird häufig der Anspruch erhoben, „authentische Lernumgebungen“ bereitzustellen. So betonen etwa Euler und Schütteler: „Authentizität ist ein zentraler Aspekt der Schülerlabore“.¹¹

Die Vorstellung, Authentizität bezüglich wissenschaftlicher Praktiken sei ein wichtiger Gradmesser von in Bildungskontexten situierten Experimentieraktivitäten wirkt auf den ersten Blick plausibel und attraktiv. Sie scheint eine Antwort auf verbreitete Kritik am traditionellen naturwissenschaftlichen Unterricht zu geben: dass er zu rezeptartig, zu faktenorientiert, zu lebensfern, zu künstlich sei. Authentizität verspricht

in dieser Sichtweise, „echte Wissenschaft“ ins Klassenzimmer oder ins Schülerlabor zu bringen.

Eine kritische Distanz zu der Idee, Unterricht habe Forschungsprozesse und -methoden quasi unmittelbar zu spiegeln, hat hingegen Rainer Müller eingenommen und diese Haltung als historisch gewachsene, aber didaktisch unbegründete Norm identifiziert: Sie beruhe, so Müller, „weder auf sachlogischen noch auf lernpsychologischen Erwägungen“, sondern gehe aus dem Versuch hervor, „den Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in der Schule nachzubilden, in der Hoffnung, die Schülerinnen und Schüler damit an die wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen heranzuführen“.¹² Auch Webersen und Riese äußern erhebliche Zweifel: Sie werfen die grundsätzliche Frage auf, „inwieweit der Experimentierprozess in der Schule überhaupt dem in der Wissenschaft entsprechen“ könne, da wissenschaftliches Arbeiten eine Komplexität aufweise, für deren Bewältigung im schulischen Kontext die notwendigen Voraussetzungen fehlten.¹³

Generell ist zu fragen, ob die grundsätzliche Forderung nach „Authentizität“ experimenteller Settings in Bildungskontexten überhaupt tragfähig ist: Soll Experimentieren in Schule und Forschung etwas miteinander zu tun haben? Sollte naturwissenschaftliche Bildung authentisch mit Blick auf die tatsächlichen Prozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung sein? Ist diese Position für die Strukturierung von Bildungsprozessen produktiv zu machen oder handelt es sich im Gegen teil um eine im Kern uneinlösbare Forderung, die die strukturelle Differenz zwischen Forschungsexperiment und Bildungs-Experiment als Umsetzungsdefizit fehldeutet?

3. Wider die Authentizitätsillusion

Unseres Erachtens spricht vieles dafür, dass die Forderung nach Authentizität experimenteller Aktivitäten in Bildungssettings mindestens kritikwürdig ist, nicht zuletzt aus drei Gründen:

(1) Didaktische Reduktion als produktive Notwendigkeit

Einerseits steht die Forderung nach „Authentizität“ in einem nicht auflösbarer Zielkonflikt zum Erfordernis der didaktischen Reduktion. Didaktische Reduktion bezeichnet dabei die Notwendigkeit „komplizierte Zusammenhänge so zu vereinfachen, dass diese möglichst von allen Schülerinnen und Schülern, möglichst gründlich, in möglichst kurzer Zeit und auf humane Weise verstanden werden“.¹⁴ Ein Ergebnis dieser Anforderung ist, dass, wie Peter Heering am Beispiel kanonischer Experimente nachweist, Lehr-Experimente zwangsläufig radikal reduziert sind: Sie entkleiden historische und wissenschaftliche Komplexität, um überhaupt verständlich und handhabbar zu sein. Was bleibt, ist eine „in jeglicher Hinsicht oberflächliche und eher grundsätzliche Darstellung des grundlegenden Prinzips des Experiments – das aber weiter als solches bezeichnet wird“.¹⁵ Zwar lässt sich dies begründet kritisieren, aber: diese Reduktion ist weder Zufall noch prinzipiell defizitär, sondern die materielle Manifestation von Unterrichtserfordernissen in der Gestalt des Experimentiergeräts. Sie ist eine Kehrseite der Bildungslogik selbst und insofern nicht zufällig, sondern das Resultat von Randbedingungen des Bildungssettings mit der Absicht, naturwissenschaftlichen Unterricht praktikabel, durchführbar und – idealerweise – lernwirksam zu machen.¹⁶

(2) Divergierende Ziellogiken von Forschung und Bildung

Experimente in Bildungssettings sind nicht an der Logik wissenschaftlicher Forschung ausgerichtet, sondern an Bildungszielen. Sie sollen Konzepte anschaulich machen, Interesse wecken, Fertigkeiten einüben – und vieles mehr. Ihre Qualität bemisst sich nicht daran, ob sie neue Erkenntnisse generieren, sondern daran, ob sie Lernprozesse initiieren. Die Behauptung, sie müssten „authentisch“ im Sinne wissenschaftlicher Forschung sein, verkennt diese Zielverschiebung und legt Maßstäbe an, die ihrem Wesen fremd sind.

(3) Prozessuale Differenzen in Wissenschaft und Unterricht

Was für das Experimentiermaterial gilt, gilt in Analogie für den Prozess: Forschung ist – verkürzt gesagt – offen, unsicher, iterativ und theorievernetzt; Unterricht ist zielgerichtet, zeitlich begrenzt, strukturiert. Diese Differenz ist nicht nur unvermeidlich, sondern funktional: Sie ermöglicht es, in begrenzter Zeit und mit begrenzten Ressourcen zentrale Konzepte erfahrbar zu machen.

4. Vom Defizit zur Chance – zur Eigenlogik von Experimenten in Bildungskontexten

Die Forderung nach Authentizität ist daher nicht nur unrealistisch, sie ist unproduktiv. Sie erzeugt eine dauerhafte Defizitperspektive – Experimente in Bildungssettings erscheinen stets als „noch nicht“ oder „nicht wirklich“ wissenschaftlich. Diese Sicht verstellt den Blick auf ihre eigentliche Stärke: Sie *sind nicht* Forschung – und genau darin liegt ihr Potenzial.

Lässt man die Forderung nach Authentizität fallen, gewinnt man Freiräume zur Gestaltung von Experimentieraktivitäten:

- Didaktische Inszenierung: Bildungs-Experimente können bewusst inszeniert, ästhetisch gestaltet und narrativ eingebettet werden, um Lernende zu motivieren und emotionale Zugänge zu schaffen. Forschung muss nicht „schön“ oder „anschaulich“ sein, Bildung darf und sollte es sein.
- Fokus auf zentrale Konzepte: Bildungsbezogene Experimente zielen nicht auf die Entdeckung bislang unbekannter Phänomene, Weiterentwicklung theoretischer Beschreibungen oder Erprobung technischer Verfahren, sondern darauf, bekannte Sachverhalte so zu inszenieren, dass sie Lernenden Zugänge eröffnen und das Verständnis zentraler Konzepte vertiefen.
- Explizite Reflexion: Während Forschung in der Regel implizit bleibt (Methoden werden angewandt, nicht erklärt), können Bildungs-Experimente selbst Gegen-

stand der Reflexion sein: Warum ist dieser Aufbau so gestaltet? Welche Annahmen stecken dahinter? Welche Grenzen hat dieses Experiment?

Diese Aspekte des Experimentierens in Bildungskontexten sind für sich betrachtet nicht neu oder innovativ, stehen aber in einem impliziten Widerspruch zum Authentizitätsparadigma, was ihrer Entfaltung in der Praxis entgegensteht.

5. Ein Augmented-Reality-Aufprojektionssystem am TECHNOSEUM

Ob und wie die durch die Abkehr vom Authentizitätsparadigma gewonnenen Freiräume genutzt werden können, hängt sowohl von den Bedingungen des jeweiligen Bildungssettings als auch von der didaktischen Phantasie ab.

5.1 Neue Experimentiererlebnisse

Eine Möglichkeit, diese Freiheitsgrade für Experimentieraktivitäten in Bildungskontexten produktiv zu machen, liegt unseres Erachtens in der Nutzung von Augmented-Reality-Aufprojektionssystemen: Das TECHNOSEUM entwickelt und erprobt derzeit eine solche projektionsbasierte digitale Experimentierplattform, die es erlaubt, reale Versuchsaufbauten durch digitale Inhalte zu erweitern (Abb. 1).

Dabei unterscheidet sich das am TECHNOSEUM entwickelte System von anderen Ansätzen durch einen dezidiert pragmatisch-immersiven Ansatz: Im Sinne des KISS-Prinzips („Keep It Simple, Stupid“) stehen Skalierbarkeit, technische Robustheit und einfache Wartung im Vordergrund. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass Technikmuseen und Schülerlabore Produktionsumgebungen sind, in denen ein reibungsloser Betrieb auch bei einer großen Zahl von Nutzern gewährleistet sein muss.

Das in Entwicklung befindliche Aufprojektionssystem kombiniert dabei reale Versuchsanordnungen mit digitaler, auf das Experiment projizierter Zusatzinformation – und überwindet damit eine Grenze klassischer Realexperimente: die Beschränkung auf unmittelbar beobachtbare Phänomene. Physikalische Konzepte und Modelle – etwa Felder, Wellenfunktionen, Quantenprozesse – liegen hingegen auf einer

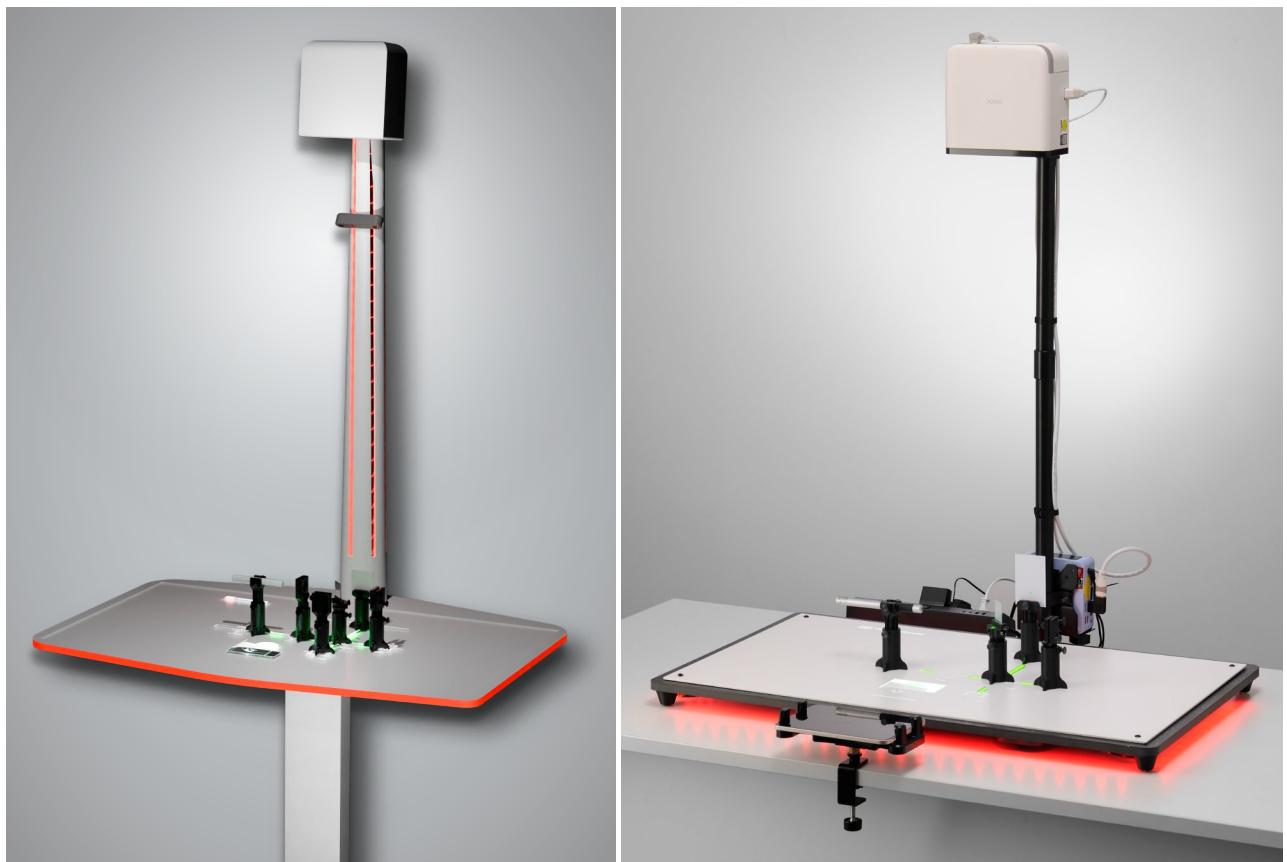


Abb. 1

**links: Rendering des Augmented-
Reality-Aufprojektionssystems
rechts: AR-Aufprojektionssystem aus-
geführt als mobiler Demonstrator**

Rendering: Fabian Bernstein

Foto: Klaus Luginsland

abstrakten, begrifflichen Ebene und entziehen sich daher prinzipiell der Beobachtung. In herkömmlichen Realexperimenten müssen sie daher abstrahiert, erzählt oder nachträglich visualisiert werden. AR-Technologien ermöglichen es hingegen, diese Konzepte im Experiment selbst sichtbar zu machen: Magnetfelder erscheinen als dynamische Linien, Interferenzmuster entwickeln sich in Echtzeit überlagert mit theoretischen Modellierungen, bei Einzelphotonenexperimenten lassen sich Wahrscheinlichkeitsverteilungen während des Messprozesses einblenden.

Dies ist insbesondere dort von besonderer Bedeutung, wo die Inhalte selbst abstrakt und Experimente schwer durchführbar oder wenig anschaulich sind. Dies betrifft beispielsweise Quantenphysik und Quantentechnologien, die sowohl experimentell als auch konzeptionell eine besondere Herausforderung darstellen. Als Outreach-Partner von QuantumBW entwickelt das Team TECHNOLab am TECHNOSEUM derzeit Formate, um Themen wie Quantensensorik oder Quantencomputing für ein breiteres Publikum zugänglich zu machen und sowohl für formale als auch informelle Lernsettings aufzubereiten.

Die Verschränkung von sinnlich erfahrbarer Realität und konzeptueller Ebene erzeugt eine neue Qualität experimentellen Lernens: Sie erlaubt Experimente, die real unmöglich sind – nicht, weil sie technisch nicht durchführbar wären, sondern weil sie auf einer rein begrifflichen Ebene liegen. Damit wird der vermeintliche Mangel an Authentizität nicht nur kompensiert, sondern in einen didaktischen Mehrwert transformiert: Experimente werden zu Orten, an denen Begriffe erlebbar werden.

Die didaktische Pointe liegt darin, dass solche Visualisierungen nicht einfach zusätzliche Information „on top“ liefern, sondern die epistemische Funktion des Experiments erweitern: Das Experiment wird nicht länger zum Vehikel einer theoretischen Erklärung, sondern zum Ort, an dem Theorie und Empirie zusammenfallen.

5.2 Pädagogische Potenziale: Motivation, Autonomie, Tiefenverständnis

Neben der konzeptuellen Ebene entfalten AR-hybride Experimente weitere Vorteile:

- Motivation und Engagement: Durch Gamification-Elemente, adaptives Feedback und Techniken des Storytellings werden Lernprozesse zu interaktiven Entdeckungsreisen. Die Frustration statischer „Kochbuch“-Experimente wird auf diese Weise überwunden.
- Selbststeuerung und Entlastung der Betreuung: Kontextabhängige Hinweise und Echtzeitfeedback machen eigenständiges Experimentieren auch ohne permanente Aufsicht möglich – eine wichtige Ressource gerade in Science Centern und Schülerlaboren.
- Authentizitätsillusionsdemaskierung: Indem hybride AR-Experimente nicht vorgeben, etwas zu sein, was sie nicht sind – nämlich verkleinerte Abbildungen von Forschungspraktiken – leisten sie, paradoxe Weise, einen Beitrag zur Nature of Science-Bildung: Sie können Forschungspraxis und historische Entdeckungszusammenhänge darstellen, ohne so tun zu müssen, also würden sie sie verkörpern. Auf einer Metaebene tragen sie somit dazu bei, dass dem Aufbau eines inadäquaten Wissenschaftsverständnisses entgegengearbeitet wird.

5.3 Jenseits des Authentizitätsparadigmas: Ein eigenes Leitbild für Bildungs-Experimente

AR-gestützte hybride Experimente stehen somit nicht im Dienst einer verfehlten Authentizitätsforderung. Sie beanspruchen nicht, Forschung abzubilden, sondern schaffen etwas genuin Neues: eine Lernumgebung, in der Begriff und Beobachtung, Theorie und Handlung in einer Weise verschränkt sind, die weder in der Forschung noch in traditionellen Bildungssettings erreichbar ist. Sie sind didaktisch authentisch, weil sie sich an den Bedürfnissen und Zielen der Lernenden orientieren, aber nicht forschungs-authentisch im Sinne eines unerreichbaren Ideals.

Damit wird der vermeintliche Mangel – die Unmöglichkeit, „echte“ Forschungserfahrungen in Bildungskontexte zu übertragen – zur Stärke: Bildungs-Experimente müssen nicht mehr versuchen, etwas zu sein, was sie nie sein können. Stattdessen

können sie ihre eigene Logik entwickeln und durch Technologien wie AR einen Mehrwert bieten, der über klassische Experimente hinausgeht: nicht um Forschung zu imitieren, sondern um Bildung zu ermöglichen.

Anmerkungen

- 1** Ernst Kircher, Raimund Girwidz, Hans E. Fischer: Physikdidaktik: Grundlagen. 4. Aufl. Berlin/Heidelberg: Springer 2020, S. 264.
- 2** Kircher (wie Anm. 1), S. 266–270.
- 3** Maike Tesch, Reinders Duit: Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN) (10. Jg., 2004), S. 51–69.
- 4** Manfred Euler, Tobias Schüttler: Schülerlabore. In: Ernst Kircher, Raimund Girwidz, Hans E. Fischer (Hg.): Physikdidaktik – Methoden und Inhalte. 4. Aufl. Berlin/Heidelberg: Springer 2020, S. 127–166.
- 5** Z. B. Ernst Kircher, Burkhard Priemer: Nature of Science – Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In: Kircher/Girwidz/Fischer (wie Anm. 4), S. 204f.
- 6** Z. B. Ian Abrahams: Does practical work really motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. In: International Journal of Science Education (31, H. 17, 2009), S. 2335–2353; ders., Robin Millar: Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. In: International Journal of Science Education (30, H. 14, 2008), S. 1945–1969; Niklas Gericke, Per Högström, Andreas Wallin: A systematic review of research on laboratory work in secondary school. In: Studies in Science Education (59, H. 2, 2022), S. 245–285; Derek Hodson: A critical look at practical work in school science. In: School Science Review (71, H. 256, 1990), S. 33–40; ders.: Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. In: Studies in Science Education (22, H. 1, 1993), S. 85–142; Robin Millar: Practical work. In: Jonathan Osborne, Justin Dillon (Hrsg.): Good practice in science teaching: What research has to say. 2. Aufl. McGraw-Hill: Open University Press 2010, S. 108–134; Jonathan Osborne: Practical work in science: Misunderstood and badly used. In: School Science Review (96, H. 357, 2015), S. 16–24; Jerry Wellington: Practical work in school science: Which way now? London/New York: Routledge 1998.
- 7** Dietmar Höttecke, Falk Rieß: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (21, 2015), S. 128.
- 8** Clark A. Chinn, Betina A. Malhotra: Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. In: Science Education (86, 2002), S. 214.
- 9** Höttecke/Rieß (wie Anm. 7), S. 128.
- 10** Ebd., S. 133.
- 11** Euler/Schüttler (wie Anm. 4), S. 133.
- 12** Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Fakultät für Mathematik und Physik. Rainer Müller: Kontext-

orientierung und Alltagsbezug. URL: [www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/InfoLehramt/](http://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/InfoLehramt/FD17_QhxBz/RainerMueller.pdf) FD17_QhxBz/RainerMueller.pdf (03.09.2025), S. 2.

13 Yvonne Webersen, Josef Riese: Umdenken! Vom fachlichen zum schulischen Experimentieren. Vorstellung einer Lehrkonzeption für angehende Physiklehrkräfte. In: Herausforderung Lehrer*innenbildung-Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion (HLZ) (8, 2025), S. 102.

14 Kircher/Girwidz/Fischer (wie Anm. 1), S. 157.

15 Peter Heering: Kanonische Experimente der Physik – Fachliche Grundlagen und historischer Kontext. Berlin/Heidelberg: Springer 2022, S. 4.

16 Höttecke/Rieß (wie Anm. 7), S. 130f.

Zu den Autoren

Prof. Dr. Thomas Wilhelm (wilhelm@physik.uni-frankfurt.de) ist Professor für Didaktik der Physik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main und Geschäftsführender Direktor des Instituts für Didaktik der Physik.

Fabian Bernstein ist Physiker und Physiklehrer, war u.a. am CERN, der Goethe-Universität und der Internatsschule Schloss Hansenberg tätig und leitet nun das MINT-Zentrum TECHNOLab am TECHNOSEUM.