

Die folgenden Seiten stammen aus dem MNU-Journal Heft 6 im Jahrgang 77 (2024) (<https://www.mnu.de/publikationen/mnu-journal>) und werden auf der Projektwebsite der *EduChallenge: Modellbildung* ([www.educhallenge.uni-bonn.de](http://www.educhallenge.uni-bonn.de)) mit freundlicher Genehmigung des MNU ([www.mnu.de](http://www.mnu.de)) und des Verlags Klaus Seeberger ([www.seeberger-verlag.de](http://www.seeberger-verlag.de)) als Download bereitgestellt.

Wir danken für diese Genehmigung.

Die Quellenangabe des Zeitschriftenartikels ist:

Heysel, J.; Wieners, G.; Rätz, J.; Woeste, I.; Gerschlauer, K.; Beigel, J.; Bertoldi, F. (2024). Die EduChallenge: Modellbildung. Eine Einladung zur Nutzung eines neuen Lernarrangements im Bereich *Nature of Science* zu den Schlüsselkonzepten Modelle, Simulationen und Peer Review. *MNU-Journal*, 77(6), S.444 – 449.

## Die EduChallenge: Modellbildung



### Eine Einladung zur Nutzung eines neuen Lernarrangements im Bereich *Nature of Science* zu den Schlüsselkonzepten Modelle, Simulationen und Peer Review

JAN HEYSEL – GRETA WIENERS – JOHANNA RÄTZ – INGA WOESTE – KAI GERSCHLAUER – JANINA BEIGEL – FRANK BERTOLDI

In der *EduChallenge: Modellbildung (ECMB)* tauchen die Lernenden in Forschung ein, um ihr Verständnis im Bereich *Nature of Science (NOS)* zu vertiefen. Dazu lernen sie die Schlüsselkonzepte Modelle in den Naturwissenschaften, numerische Simulationen und Peer Review explizit kennen und wenden diese selbst an. Ziel in dieser *EduChallenge* ist es, als Forschungsgruppe einen wissenschaftlichen Artikel im *ECMB Online Journal* zu veröffentlichen. Dieser Artikel stellt das nun fertige Lernarrangement vor.

#### 1 Einleitung

Die Förderung eines differenzierten Wissenschaftsverständnisses ist ein zentrales Ziel des Physikunterrichts. Dies formuliert u.a. die KMK (2020) in ihren „Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife“, in denen definiert wird, dass naturwissenschaftliche Kompetenz neben anderen Aspekten auch eine „Metaperspektive auf die Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften“ umfasst. In der Fachdidaktik werden diesbezügliche Konzepte, Studien und Zielsetzungen unter dem Begriff *Nature of Science (NOS)* diskutiert (z.B. BILLION-KRAMER, 2021; LEDERMAN & LEDERMAN, 2019). Ein differenziertes Wissenschaftsverständnis ist für Menschen im 21. Jahrhundert aus verschiedenen Gründen von hoher Relevanz:

Da die Naturwissenschaften einen wichtigen Teil unserer Kultur und unseres Weltverständnisses darstellen, gehört ein Verständnis des Prozesses naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu einem allgemeinen Bildungsanspruch. Gleichzeitig ist es eine Grundlage für *Scientific Literacy*, also der Fähigkeit als Bürger/in naturwissenschaftliche Aspekte in „real-life“ Situationen mündig und fundiert bewerten und dazu Stellung nehmen zu können (PRESLEY et al., 2013). Vor dem Hintergrund von *Socioscientific Issues* wie dem Klimawandel auf der einen Seite und *Fake News* auf der anderen Seite darf die Bedeutung von *Scientific Literacy* nicht unterschätzt werden. Für eine Demokratie als Ganzes ist es unerlässlich, dass nicht nur wenige Expert/inn/en, sondern ein ausreichend großer Teil der Bevölkerung über solche Fähigkeiten verfügt. Darüber hinaus kann ein differenziertes Wissenschaftsverständnis als Grundlage für ein differenziertes fachliches Lernen und Verstehen gesehen werden, und eine authentische Darstellung von Wissenschaft kann über die Authentizität des Lernens Motivation schaffen und bei der Berufsorientierung hilfreich sein.

Allerdings besteht kein Konsens darüber, was genau *Nature of Science*, bzw. ein differenziertes Wissenschaftsverständnis umfasst. Für einen Überblick hierzu sei z.B. auf BILLION-KRAMER (2021) oder HEERING & KREMER (2018) verwiesen. Drei Schlüsselkonzepte, deren Relevanz derzeit von keiner Seite bestritten wird und die das vorliegende Projekt aufgreift, sind Modelle in Naturwissenschaften, numerische Simulationen und Peer Review.

- Modelle spielen sowohl als Werkzeug naturwissenschaftlicher Forschung als auch als Ergebnis daraus eine zentrale Rolle. Ein Verständnis der vielfältigen Funktionen naturwissenschaftlicher Modelle und ihres Charakters als menschengemachte Konstruktionen ist daher ein Kernelement eines adäquaten Wissenschaftsverständnisses.
- Numerische Methoden und Simulationen gelten neben Experiment und Theorie als dritte Säule der Physik, so dass ein Verständnis dieser Methoden ebenfalls zu einer differenzierten Sichtweise der Erkenntnisgewinnung gerade in der Physik gehört. Die numerische Behandlung von Modellen wie z.B. dem schiefen Wurf ist nicht neu in der Physikdidaktik, doch ging der Trend oft dahin, speziell dazu entwickelte Modellbildungsprogramme einzusetzen, die die Lernenden möglichst von der hinter der Lösung stehenden Numerik entlasten (WILHELM & SCHECKER, 2021). Mit Blick auf die Anforderungen der heutigen Zeit an junge Menschen wirft die Zielperspektive einer bewussten Förderung von *physics computational literacy* (ODDEN et al., 2019) einen neuen Blick darauf. Unter dieser Zielperspektive ist es sinnvoll, bewusst numerische Methoden, wie das exemplarische Euler-Verfahren („Methode der kleinen Schritte“), explizit einzuführen und von den Lernenden mit Hilfestellung selbst umsetzen zu lassen.
- Darüber hinaus wird in verschiedenen Quellen betont, dass ein Verständnis von *Nature of Science* auch den Prozess des Forschungsbetriebs mit seinen sozial-institutionellen Strukturen umfassen sollte (z.B. DAGHER & ERDURAN, 2016). Ein Beispiel hierfür ist das Peer Review-Verfahren, das in der Wissenschaft zur Begutachtung wissenschaftlicher Publikationen und damit zur Qualitätssicherung sowie zur Ressourcenverteilung und damit zur Selbststeuerung der Wissenschaft dient (REINHART & SCHENDZIELORZ, 2024). Insbesondere in Abgrenzung zu Mechanismen in Sozialen Medien erscheint ein Verständnis hiervon zentral für *Scientific Literacy* (vgl. HÖTTECKE & ALLCHIN, 2020).

Im Kontrast zu der Relevanz solcher Schlüsselkonzepte eines differenzierten Wissenschaftsverständnisses zeigen Studien, dass die Vorstellungen der Lernenden im Bereich *Nature of*

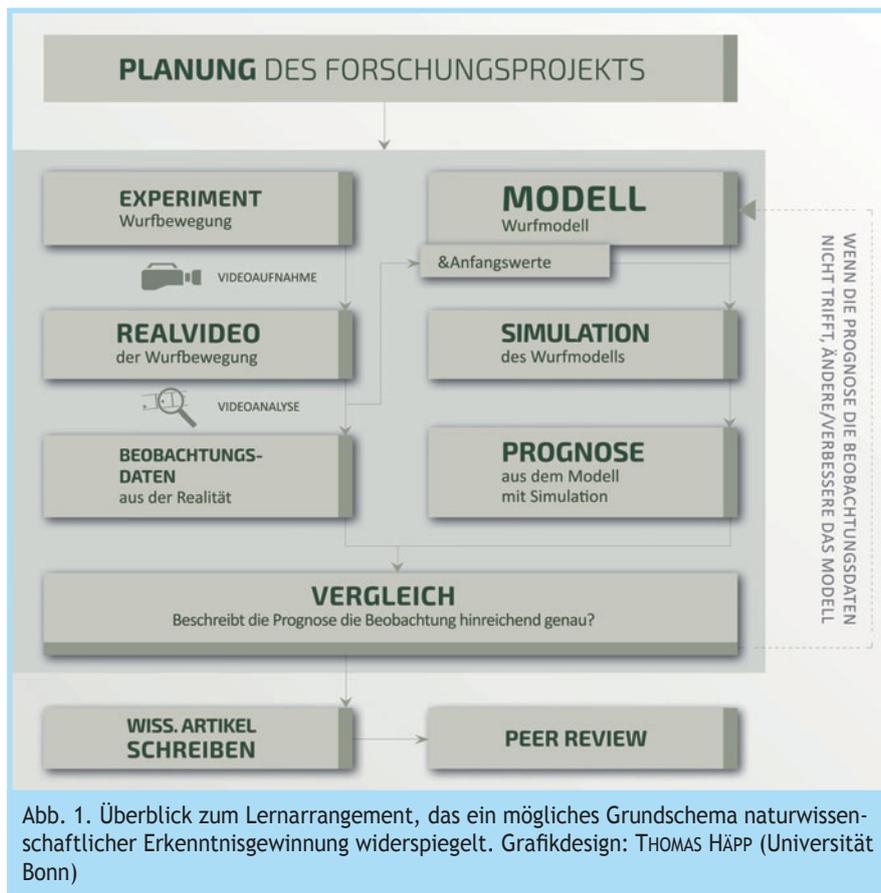


Abb. 1. Überblick zum Lernarrangement, das ein mögliches Grundschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung widerspiegelt. Grafikdesign: THOMAS HÄPP (Universität Bonn)

stufe mit dem Inhaltsfeld Mechanik. Es hat das explizite Ziel alle vier Kompetenzbereiche der KMK-Bildungsstandards zu fördern, darunter insb. die Erkenntnisgewinnungskompetenz. Hierzu werden die Schlüsselkonzepte Modelle in Naturwissenschaften, numerische Simulationen und Peer Review sowohl explizit angeeignet und reflektiert als auch von den Lernenden selbst in einem Projekt angewendet. In dem Lernarrangement modellieren die Lernenden eine Wurfbewegung aus einer Sportart ihrer Wahl, simulieren die Trajektorie und vergleichen ihre Ergebnisse mit aus eigenem Experiment und Videoanalyse selbst erhobenen Daten. Hiernach können (und oft: sollten) Simulation und Modell angepasst bzw. erweitert werden. Zu ihrem Forschungsprojekt schreiben die Lernenden in den *Forschungsgruppen*, in denen sie i.d.R. zu dritt arbeiten, mit Hilfestellung einen wissenschaftlichen Artikel, zu dem im Kurs ein Peer Review-Verfahren durchgeführt wird und der final publiziert werden kann. Das Schaubild in Abbildung 1 illustriert diesen Überblick. Das gesamte Lernarrangement umfasst im Regelunterricht ca. 12 45-minütige

Science überwiegend naiv sind. Als erkenntnistheoretische Position wird häufig unreflektiert ein naiver Realismus vertreten, unter Modellen werden oft nur gegenständliche Miniaturen verstanden und Prozesse wie Peer Review sind häufig nicht bekannt (HÖTTECKE & HOPF, 2018). Solche Vorstellungen werden nicht nur einem Bildungsanspruch nur bedingt gerecht, sondern bilden auch keine tragfähige Basis für *Scientific Literacy*. Die Diskrepanz zwischen der Relevanz von *Nature of Science* und den empirisch belegten Vorstellungen der Lernenden dazu ist nicht nur, aber auch darauf zurückzuführen, dass es zu wenige fertige Unterrichtskonzepte dazu gibt. Im Projekt *EduChallenge: Modellbildung* wurde daher neben allgemeinen Gestaltungsprinzipien für einen Physikunterricht, der bewusst und explizit ein differenziertes Wissenschaftsverständnis fördern will, ein gleichnamiges Lernarrangement entwickelt, das diese Lücke verkleinert. Es wurde mit neun Lehrkräften und 215 Jugendlichen empirisch erprobt, überarbeitet und steht nun allen interessierten Lehrkräften kostenlos zur Verfügung. Im Folgenden wird dieses Lernarrangement vorgestellt. Danach folgt eine kurze Zusammenfassung zweier Ergebnisse der Begleitstudie und ein kurzer Ausblick.

## 2 Das Lernarrangement der EduChallenge: Modellbildung

### 2.1 Übersicht über das Lernarrangement

Die *EduChallenge: Modellbildung* (ECMB) ist ein hybrides Lernarrangement für den Physikunterricht im ersten Jahr der Ober-

Unterrichtsstunden oder kann auch in anderen Lernsituationen genutzt werden.

Rückgrat des Lernarrangements mit Anleitungen und Erklärungen in Form interaktiver Erklärvideos sowie weiterer Aufgaben ist eine digitale Lernumgebung auf einem Server der Universität Bonn. Diese ist über den Browser und damit betriebssystemunabhängig zugänglich. Auch eine Programmierumgebung für Videoanalyse und Simulation ist darin enthalten, sodass keine weitere Software hierzu benötigt wird. Insbesondere zur Ergebnissicherung dient ein *Laborbuch* (Arbeitsheft), das als pdf auf der Projektwebsite verfügbar ist. Alle Materialien und Medien des Lernarrangements stehen Lehrkräften fertig zur Verfügung. Material für das Experiment der Wurfbewegung (z.B. Ball, ggf. Schläger, Zollstock) wird i.d.R. von den Lernenden selbst mitgebracht, um einen authentischen Rahmen und Lebensweltbezug zu schaffen.

### 2.2 Meilensteine des Lernarrangements

Das Lernarrangement gliedert sich in neun so genannte *Meilensteine*, die in Abbildung 2 dargestellt sind und im Folgenden beschrieben werden.

#### Meilenstein 1: Planung

Den Lernenden wird zu Beginn folgende *EduChallenge* gestellt: *Modelliert und simuliert eine Wurfbewegung aus einer Sportart eurer Wahl und veröffentlicht die Ergebnisse eurer Forschung*. Die Lernenden bilden zur Lösung dieser *EduChallenge* Forschungsgruppen zu dritt, wählen eine Wurfbewegung aus



Abb. 2. Meilensteine der Lernumgebung. Grafikdesign: THOMAS HÄPP (Universität Bonn)

einer Sportart aus, melden sich in der digitalen Lernumgebung an (Anleitung hierzu im *Laborbuch*), verschaffen sich einen Überblick und planen das Experiment mit der Videoaufnahme einer Wurfbewegung.

**Meilenstein 2: Experiment und Videoaufnahme**

In den Forschungsgruppen führen die Jugendlichen die Wurfbewegung aus einer selbstgewählten Sportart aus und nehmen diese auf Video auf (z.B. mit iPads). Hierbei müssen verschiedene Aspekte für die spätere Auswertbarkeit berücksichtigt werden, auf die im *Laborbuch* und mit einem Erklärvideo hingewiesen wird.

**Meilenstein 3: Python Tutorial**

Da keine Programmierkenntnisse in *Python* ([python.org](http://python.org)) oder der Umgebung eines *Jupyter Notebooks* ([jupyter.org](http://jupyter.org)) vorausgesetzt werden, lernen die Jugendlichen die später zu nutzende Umgebung in einem kurzen Blitz-Tutorial kennen.

**Meilenstein 4: Videoanalyse**

Zur Videoanalyse wird das aufgenommene Video der Wurfbewegung in der digitalen Lernumgebung hochgeladen und dort analysiert (Anklicken der Position des Balls in den Frames des Videos). Hieraus wird ein Schätzwert für die Anfangswerte der Wurfbewegung ermittelt.

**Meilenstein 5: Modelle**

Mit zwei interaktiven Erklärvideos in der digitalen Lernumgebung und begleitenden Aufgaben eignen sich die Jugendlichen zentrale Aspekte zu naturwissenschaftlicher Modellierung explizit an. Hierbei wird ein Fokus darauf gelegt, dass Modelle etwas sind, das wir Menschen konstruieren und uns vorstellen.

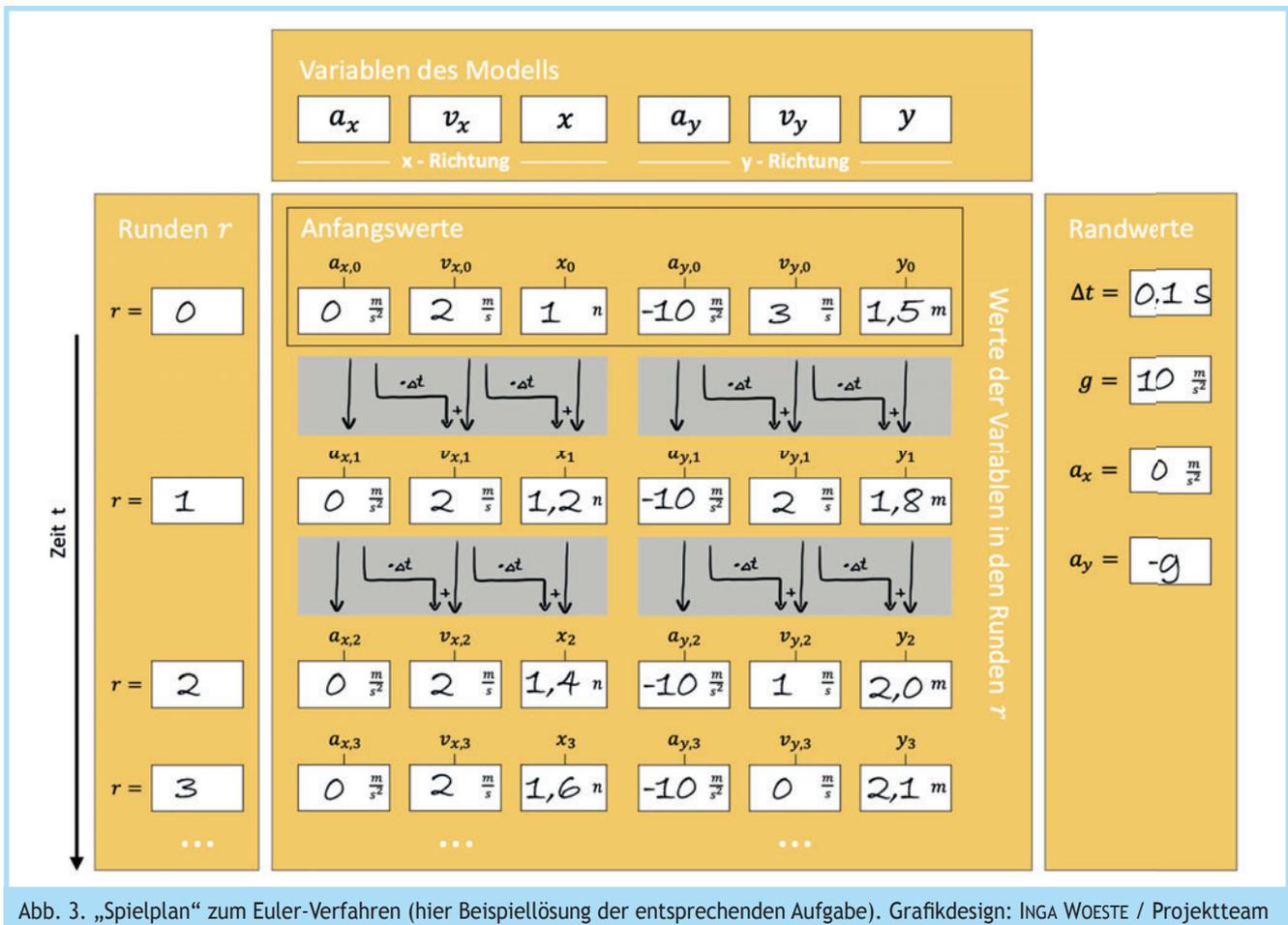


Abb. 3. „Spielplan“ zum Euler-Verfahren (hier Beispiellösung der entsprechenden Aufgabe). Grafikdesign: INGA WOESTE / Projektteam

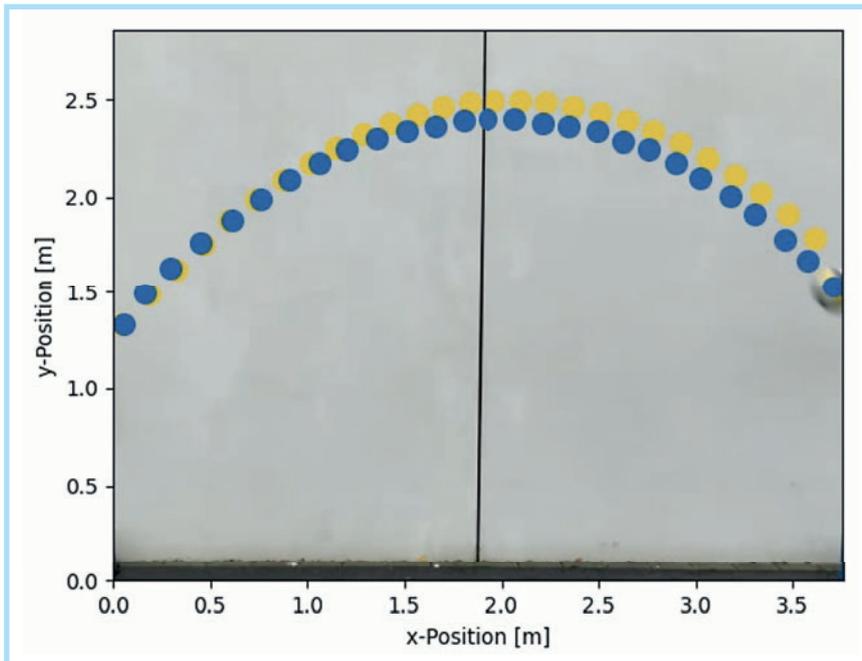


Abb. 4. Screenshot aus einem automatisch exportierten Video, in dem die Simulation in dem anfangs aufgenommenen Realvideo eingeblendet wird.

Videoanalyse gewonnenen empirischen Werten der Trajektorie. Dies kann qualitativ erfolgen über eine Grafik, in der simulierte und empirische Daten überlagert sind, bzw. über ein Video, das anschaulich die Simulation in das anfangs aufgenommene Realvideo projiziert (Screenshot daraus in Abb. 4), oder auch quantitativ. Üblicherweise zeigen Basketbälle oder Volleybälle bereits eine gute Übereinstimmung mit dem einfachen Modell. Bei Badmintonbällen z.B. kann die vernachlässigte Luftreibung bemerkt werden. Angedrehte Bälle können ebenfalls vom Modell abweichende Trajektorien zeigen. Die Lernenden können nun ihre Modelle je nach Erfordernis, Fähigkeiten, verfügbarer Zeit und anderen Faktoren weiterentwickeln und hierzu z.B. die Anfangswerte variieren oder Luftreibung im Modell berücksichtigen. Im Gegensatz zu üblichen Modellbildungsprogrammen ist die Programmierung in *Python* nur durch Kreativität und Kompetenzen der Jugendlichen begrenzt. In

besonderen Fällen könnten auch Effekte wie z.B. der Magnus-Effekt oder Beschleunigungen wie beim Raketenprinzip berücksichtigt werden.

In ontologischer Hinsicht sind Modelle daher vergleichbar zu fiktiven Charakteren (FRIGG, 2023). Um dies zu reflektieren, werden naturwissenschaftliche Modelle mit fiktiven Charakteren am Beispiel Harry Potter verglichen. Hierbei werden auch Unterschiede zwischen Modellen und Fiktion der Literatur herausgearbeitet, die insb. in den unterschiedlichen Funktionen liegen. Bei Modellen werden hierbei insb. die Funktion der Repräsentation eines Zielsystems in der Natur, die damit verbundene empirische Überprüfbarkeit und die mögliche Weiterentwicklung genauer thematisiert. Es wird hierbei das einfache Modell eines schiefen Wurfs als Beispiel für ein naturwissenschaftliches Modell eingeführt.

**Meilenstein 6: Simulation**

Das Euler-Verfahren als generisches Vorgehen für gleichungsbasierte numerische Simulationen wird durch eine Analogie mit einem rundenbasierten Brettspiel für einen Computer explizit erklärt. Hierbei ist das entsprechende interaktive Erklärvideo in der digitalen Lernumgebung mit einem „Spielplan“ im Laborbuch verknüpft (s. Beispiellösung dieser Aufgabe in Abb. 3). Die Jugendlichen können so zunächst das Verfahren verstehen und rechnen ein Beispiel mit einfachen Zahlen dazu von Hand, bevor weitere Aufgaben schrittweise zum entsprechenden Programmcode überleiten. Dieser wird anschließend in der dazu vorbereiteten Programmierumgebung eingegeben, die Teil der digitalen Lernumgebung ist. Hier können die geschätzten Anfangswerte aus der Videoanalyse ergänzt und variiert werden, um die anfangs beobachtete Wurfbewegung zunächst mit einem einfachen Modell numerisch zu simulieren.

**Meilenstein 7: Vergleich der simulierten und empirischen Daten sowie mögliche Modellerweiterung**

Die Jugendlichen vergleichen die simulierten Werte der Trajektorie (Prognose aus dem Modell) mit den aus Experiment und

**Meilenstein 8: Schreiben eines wissenschaftlichen Artikels**  
Die Forschungsgruppen erstellen einen wissenschaftlichen Artikel als Lernprodukt zu ihrem Forschungsprozess und den erlangten Ergebnissen. Hierzu gibt es Hilfestellungen in Lernumgebung und *Laborbuch*, die Elemente und Stil wissenschaftlicher Artikel erklären, und es kann auf dazu angeleitete frühere Notizen im *Laborbuch* zurückgegriffen werden. Außerdem steht eine Formatvorlage als docx-Datei zur Verfügung, damit die Artikel im späteren Journal ein einheitliches Format haben und die Jugendlichen nicht durch Formatierungsaspekte aufgehalten werden.

**Meilenstein 9: Peer Review**

Abschließend werden Funktion und Ablauf von Peer Review in der Wissenschaft in einem interaktiven Erklärvideo explizit eingeführt und es wird ein doppelblindes Peer Review-Verfahren mit den erstellten Artikeln im Kurs durchgeführt. Die Lehrkraft ist hierbei in der Rolle des/der Herausgeber/in des Journals und verteilt die Artikel anonym und entweder analog-manuell (Verteilen der ausgedruckten Artikel) oder über die digitale Lernumgebung. Die doppelblinde Begutachtung durch die Mitschüler/innen ist durch einen vorstrukturierten Gutachtenbogen unterstützt. Zu allen Kriterien sollen sowohl gelungene Aspekte als auch noch nicht angemessene notiert werden und zu letzteren Ideen zur Verbesserung. Final wird analog zum realen Verfahren eine Einschätzung als *anzunehmen* oder *zur Verbesserung zurückzugeben* an den/die Herausgeber/in (Lehrkraft) gegeben, die diese Entscheidung trifft und die Gutachten anonym an die Autor/inn/en der Artikel zurückgibt. Es erfolgt i.d.R. eine Überarbeitung mit erneuter Begutachtung. Trifft

der/die Herausgeber/in (Lehrkraft) auf Basis der Gutachten in Kombination mit pädagogischer Abwägung die Entscheidung, dass die Artikel reif für eine Veröffentlichung sind, können sie im *EduChallenge: Modellbildung Online Journal* unter <http://www.ecmb-OnlineJournal.uni-bonn.de> veröffentlicht werden. Hierbei können (nur) Vornamen der Autor/inn/en und Kürzel der Schule als Institution angegeben werden, sodass die Artikel real veröffentlicht sind, aber ein Googlen der Namen der Jugendlichen nicht auf die entsprechenden Artikel führt. Diese Publikation ist ein authentischer Abschluss des Forschungsprojekts der Gruppen. Es sollte final ein weiteres Feedback und Wertschätzung der Leistung durch die Lehrkraft erfolgen. Außerdem erhalten die Jugendlichen in der Lernumgebung ein Zertifikat als pdf.

### 3 Zwei Ergebnisse der begleitenden Studie

Das hier vorgestellte Lernarrangement ist das schulpraktische Ergebnis des gleichnamigen *Design Based-Research*-Projekts zur Entwicklung neuer Konzepte zur Förderung des NOS-Verständnisses im Physikunterricht. Ausgehend von einem Prototyp des Lernarrangements, der im Winter 2020/21 an zwei Schulen erprobt wurde, wurde das Lernarrangement weiterentwickelt. In der Hauptstudie des Projekts wurde das weiterentwickelte Lernarrangement im Winter 2021/22 an acht Schulen mit neun Lehrkräften und zehn Kursen erprobt (215 Jugendliche und davon 142 Jugendliche in der Stichprobe) und mit einem *Mixed Methods*-Ansatz unter verschiedenen Forschungsfragen evaluiert. Die Studie und alle Ergebnisse werden ausführlich in der Dissertation von HEYSEL (in Vorbereitung) dargestellt. An dieser Stelle sollen nur zwei ausgewählte Ergebnisse skizziert werden:

In der Hauptstudie 2021–2022 lief die Programmierumgebung in einer App lokal auf iPads. Die formative Evaluation zeigte, dass dies zu teilweise massiven Problemen führte und für die Schulen in der Regel nicht praktikabel war. Als Konsequenz wurde für die finale Intervention die digitale Lernumgebung mit integrierter Programmierumgebung auf einem Server der Universität Bonn implementiert, so dass die Schulen hierfür keine Software selbst installieren müssen und es keine Probleme mit der Ausführung von Apps auf lokalen Geräten geben kann.

Im Rahmen der summativen Evaluation wurde anhand von Daten aus einem Pre-Posttest untersucht, wie sich die Vorstellungen der Lernenden zu den drei Schlüsselkonzepten Modellierung, Simulation und Peer Review durch die Intervention verändern. Im Pretest zeigte sich, dass bei der Modellierung überwiegend naiv-realistische Vorstellungen vorherrschten, wie sie auch in der Literatur berichtet werden, während bei den Konzepten numerische Simulation und Peer Review vor der Intervention praktisch keine Vorstellungen zu den Zielkonzepten artikuliert wurden. Nach der Intervention zeigten die Lernenden ein breites Spektrum an Vorstellungen zu den drei Schlüsselkonzepten, das von einem Verharren in den vorherigen Vorstellungen bis hin zu einem vollständigen Erreichen differenzierter Vorstellungen in den jeweiligen Bereichen reichte. Die qualitativen Vorstellungen wurden dann quantifizierbaren

Niveaus zugeordnet (keine Vorstellung artikulierbar, naives, intermediäres und differenziertes Niveau). Die statistische Auswertung hierzu ergab für alle drei adressierten Schlüsselkonzepte einen hochsignifikanten Niveauzuwachs mit mittlerer Effektstärke für das Konzept Modellierung und hoher Effektstärke für die Konzepte Simulation und Peer Review. Dies belegt, dass das Lernarrangement zwar nicht bei allen Lernenden, aber doch insgesamt zu einem deutlichen Lernerfolg führt.

### 4 Einladung und Ausblick

Wir laden alle Physiklehrkräfte ein, das fertige Lernarrangement zu nutzen. Weitere Informationen, Dokumente zum Download (z.B. eine Lehrkräftehandreichung, das *Laborbuch*, weitere Materialien) und ein Video, das die Hintergründe des Projekts und die Umsetzung an einer Schule zeigt, finden Sie auf unserer Projektwebsite unter [www.educhallenge.uni-bonn.de](http://www.educhallenge.uni-bonn.de). Der Zugang zur Lernumgebung ist für Schulen kostenlos, zur Vermeidung von Missbrauch jedoch passwortgeschützt. Das Passwort erhalten Sie auf Anfrage per Mail wie auf der Projektwebsite auf der Unterseite *für Lehrkräfte* beschrieben. Solange der Vorrat reicht, können wir Ihnen auch einen Klassensatz gedruckter *Laborbücher* kostenlos zusenden.

Über dieses Lernarrangement hinaus sollen die zugrunde liegenden Gestaltungsprinzipien zu den drei Schlüsselkonzepten Modelle, Simulation, Peer Review sowie zum generischen Lernarrangement einer *EduChallenge* Impulse für die Weiterentwicklung des Physikunterrichts allgemein liefern. Zu diesem Zweck werden sie weiter ausgearbeitet und separat veröffentlicht.

### Literatur

- BILLION-KRAMER, T. (2021). Nature of Science. Lernen über das Wesen der Naturwissenschaften. In *essentials*. Springer VS. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-658-33397-3>
- DAGHER, Z. R., & ERDURAN, S. (2016). Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Why Does it Matter? *Science and Education*, 25(1-2), 147-164.
- FRIGG, R. (2023). *Models and Theories. A Philosophical Inquiry*. Routledge. <https://www.routledge.com/Models-and-Theories-A-Philosophical-Inquiry/Frigg/p/book/9781844654918>
- HEERING, P., & KREMER, K. (2018). Nature of Science. In D. KRÜGER, I. PARCHMANN, & H. SCHECKER (Hg.), *Theorien in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung* (S. 105–119). Springer.
- HÖTTECKE, D., & ALLCHIN, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, 4(104), 1–26. <https://doi.org/10.1002/sce.21575>
- HÖTTECKE, D., & HOPF, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. SCHECKER, T. WILHELM, M. HOPF, & R. DUIT (Hg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 271–287). Springer.
- LEDERMAN, N. G., & LEDERMAN, J. S. (2019). Teaching and learning nature of scientific knowledge: Is it Déjà vu all over again? *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1–9. <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0002-0>

ODDEN, T. O. B., LOCKWOOD, E., & CABALLERO, M. D. (2019). Physics computational literacy: An exploratory case study using computational essays. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020152>

PRESLEY, M. L., SICKEL, A. J., MUSLU, N., MERLE-JOHNSON, D., WITZIG, S. B., IZCI, K., & SADLER, T. D. (2013). A Framework for Socio-scientific Issues Based Education. *Science Educator*, 22(1), 26–32.

REINHART, M., & SCHENDZIELORZ, C. (2024). Peer-review procedures as practice, decision, and governance—the road to theories of peer review. *Science and Public Policy*, 00(00), 1–10. <https://doi.org/10.1093/scipol/scad089>

WILHELM, T., & SCHECKER, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur numerischen Physik. In T. WILHELM, H. SCHECKER, & M. HOPF (Hg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 121–150). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-63053-2>

## Erklärung und Dank

Wir danken der Deutsche Telekom Stiftung, die dieses Projekt im Rahmen des Kooperationsprojekts *EduChallenge* der Universitäten Bonn und Heidelberg fördert. JAN HEYSEL dankt außerdem der Stiftung der Deutschen Wirtschaft (sdw) für die Förderung durch ein Promotionsstipendium.

Wir danken allen Lehrkräften und Jugendlichen, die an den beiden Entwicklungszyklen teilgenommen haben. Nur durch das Vertrauen, die Zeit und die Expertise der beteiligten Lehrkräfte konnte das Lernarrangement seine endgültige Reife und Praxistauglichkeit erreichen. Herzlichen Dank Euch!

JAN HEYSEL, [jan.heysel@uni-bonn.de](mailto:jan.heysel@uni-bonn.de), promoviert in der Fachdidaktik Physik der Universität Bonn zu neuen Konzepten zur Förderung eines NOS-Verständnisses im Physikunterricht. Das vorgestellte Lernarrangement ist ein schulpraktisches Ergebnis seiner Dissertation.

GRETA WIENERS, JOHANNA RÄTZ, INGA WOESTE und KAI GERSCHLAUER haben an dem Projekt im Rahmen ihrer Masterarbeiten und darüber hinaus mitgearbeitet. Hierbei hat GRETA WIENERS insb. die digitale Lernumgebung erstellt, JOHANNA RÄTZ an den Teilen zu Modellierung und Simulation mitgearbeitet, INGA WOESTE hat das Peer Review ausgearbeitet und KAI GERSCHLAUER die interaktiven Erklärvideos beforscht. Aktuell arbeiten sie an Gymnasien und Gesamtschulen in NRW.

JANINA BEIGEL, [beigel@ibw.uni-heidelberg.de](mailto:beigel@ibw.uni-heidelberg.de), promoviert am Institut für Bildungswissenschaften der Universität Heidelberg zur Pädagogik des Deeper Learnings. Zusammen mit JAN HEYSEL hat sie das Konzept der EduChallenge erarbeitet.

Prof. Dr. FRANK BERTOLDI, [bertoldi@uni-bonn.de](mailto:bertoldi@uni-bonn.de), ist Professor für Astrophysik und seit einigen Jahren auch in der Didaktik der Physik tätig. Er betreute das Projekt, die Dissertation und gemeinsam mit JAN HEYSEL die vier o.g. Masterarbeiten. ■