

Das gläserne Ökosystem: Vorstellung eines fächerübergreifenden MINT-Projekts

Jonathan Grothaus¹, André Greubel², Lars Dickmeis¹, Anna Herold¹, Markus Elsholz¹,
Martin Hennecke², Thomas Trefzger¹

Abstract: Die Arbeit mit MINT-Projekten erfuh in den letzten Jahren einen großen Aufschwung. Arbeitsmethoden und Inhalte mehrerer Fächer sollen sich ergänzen und in ihrer Perspektive zu einem umfassenden Verständnis beitragen. Bisherige Forschung zeigt jedoch, dass insbesondere Mathematik und Informatik in einem derartigen Unterricht häufig unausgeprägt bzw. auf wenige Teiltätigkeiten (wie Rechnen oder Programmieren) beschränkt bleiben. [JS22] Zudem bleibt die Verbindung häufig segmentiert, und die Arbeitsmethoden der Einzelfächer stehen nebeneinander, ohne sich inhaltlich zu ergänzen. Das Ziel dieses Praxisbeitrages ist es, die informatikdidaktischen Überlegungen hinter einem Konzept für ein angedachtes Schülerlabor vorzustellen: Für das vorgestellte Projekt „Das gläserne Ökosystem“ werden zunächst Pflanzengläser mit Sensoren präpariert. Die Lernenden sollen die Gläser bepflanzen, ein Informatiksystem erstellen, das das Systemverhalten misst und die Daten abspeichert. Anschließend untersuchen die Schüler:innen das Systemverhalten im Zeitverlauf und unter äußerer Variation von Systemvariablen, wie der Zugabe von CO_2 in das Gefäß.

Keywords: MINT-Bildung, Data Literacy, Physical Computing, Datenbanksysteme, Tabellenkalkulationsprogramme, BNE,

1 Einleitung

Neben dem informatischen Fachunterricht ist aus bildungstheoretischer Sicht ergänzend dazu auch die Arbeit an interdisziplinären Fragestellungen zentral. So beschreiben zum Beispiel bereits die Bildungsstandards der Gesellschaft für Informatik [Br08]:

Informatik ist per se fachübergreifend und fächerverbindend, deshalb ist Interdisziplinarität ein Grundsatz der Unterrichtsgestaltung. Das bedeutet, dass informatische Kompetenzen im Grunde nur in einem Unterricht erworben werden können, der von vorn herein interdisziplinär angelegt ist [...].

Einen möglichen Anknüpfungspunkt zur Umsetzung dieser Interdisziplinarität stellen naturwissenschaftliche Schülerlabore oder das Arbeiten in interdisziplinären Projekten

¹ Universität Würzburg, Didaktik der Physik, Emil-Fischer-Straße 22, 97074 Würzburg, Deutschland,
Kontakt: jonathan.grothaus@uni-wuerzburg.de

² Universität Würzburg, Didaktik der Informatik, Emil-Fischer-Straße 30, 97074 Würzburg, Deutschland

im Informatikunterricht dar. Ein interdisziplinärer Ansatz muss dabei aber zentrale Arbeitsweisen aller Fächer gleichermaßen verankern. Beispielsweise darf die Informatik nicht auf die Programmierung oder die Mathematik auf Berechnungen reduziert werden (vgl. [JS22]), stattdessen sollen alle Fächer verzahnt zum Gelingen des Projektes beitragen. Konkret kann beispielsweise das Design und die praktische Umsetzung aller Elemente eines Informatiksystems und/oder der Datenauswertungsprozesse eine prominente Rolle einnehmen und das Fundament für weitere Arbeiten legen.

Anknüpfend an diese Überlegungen soll in diesem Praxisbeitrag eine für das Sommersemester 2023 geplante Projektkonzeption vorgestellt werden. Sie greift einen gesellschaftlich relevanten Kontext (Klimasysteme) auf, um in einem interdisziplinären Schülerlabor Inhalte und zentrale Arbeitsweisen verschiedener Fächer zu thematisieren.

2 Bildungstheoretischer Hintergrund

Hinter dem Akronym MINT stehen die Fachdisziplinen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. MINT-Bildung zielt dabei insbesondere auf „die Vermittlung einer fundierten MINT-Kompetenz zum Verständnis der elementaren Vorgänge in Natur und Technik und zur Bewertung der sozialen, wirtschaftlichen und kulturellen Folgen von wissenschaftlichen Erkenntnissen und technischen Innovationen (Wissenschafts- und Technikmündigkeit) [...]“ [Re12]. Die Relevanz dieser Kompetenz ist weitläufig anerkannt und zahlreiche öffentliche Initiativen unterstützen die Vermittlung dieser Kompetenzen. Hier zu nennen sind insbesondere der *Mint-Pakt* des Bundesministerium für Bildung und Forschung [Bu22] oder das Projekt *Die Zukunft des MINT-Lernens* der Stiftung der Deutschen Telekom [Ro22]. Auch in der Forschung wird die Relevanz der MINT-Bildung betont (vgl. z.B. [Ha13, Mc02, Ja16]).

In diesem Kontext wird auch immer wieder darauf hingewiesen, dass gewisse Aspekte von MINT-Fragestellungen besondere Bildungsrelevanz besitzen. Einer dieser Aspekte ist die *Authentizität*. Diese kann sich auf unterschiedliche Aspekte des Lerngegenstandes beziehen (vgl. [AHA19]). Fragestellungen sollen sich aus dem Alltag der Lernenden ergeben und vollzogene Aktivitäten sollen typisch für die Arbeit im entsprechenden Fachbereichen sein. Ferner wird betont, dass die Betrachtung *komplexer Probleme* besonders bildungsrelevant ist (vgl. z.B. [Fu12, Ja16]). Zuletzt lässt sich auch der *Einsatz von digitaler Technik* identifizieren. Die Digitalstrategie der Kultusministerkonferenz sieht hierfür in den MINT-Fächern besonderes Potential [Se16b].

Dem entgegen stehen jedoch auch Hürden für eine optimale MINT-Bildung. So fordern einige Autoren, dass Fächer nicht nur nebeneinander stehen, sondern auch fächerübergreifend unterrichtet werden sollten (z.B. [Se16a]) – eine Forderung, die sich aufgrund der üblichen, an Fächern orientierten Curricula nicht immer leicht umsetzen lässt.

3 Vorstellung des Projektes

In diesem Beitrag wird eine Schülerlaborstation vorgestellt, bei der die Idee *Gläsernes Ökosystem* realisiert wird. Dafür wird ein Ökosystem im Glas, d.h. ein mit Erde, Wasser und Pflanzen verschlossenes und unter Lichteinfall ohne weitere Einflussnahme überlebendes Glas, mit Sensorik versehen. Dabei sind die Datenaufzeichnung, -auswertung und -interpretation Lerngelegenheit für Data Literacy, die dabei in den biophysikalischen Kontext Stabilität von (Öko)Systemen eingebettet sind.

Bei der Konferenzpräsentation wird das Grundkonzept des Schülerlabores und vorhandenes Material (Prototypen der Messgläser, Workflow einer Datenauswertung) vorgestellt.

3.1 Lernkontext des Projektes

Die vorgestellte Einheit erweitert das „Labs4Future“ Projekt [Gr24] am M!ND Center der Universität Würzburg um ein weiteres Schülerlabor, das einen Fokus auf systemische Zusammenhänge legt, um diese dann mit den Materialien des regulären Effektivitätswissenschaftstag [GET24] um Handlungsoptionen zu ergänzen. Ziel des Abschnittes sind Erkenntnisse über die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten in Systemen, d.h. ein Beitrag zum (Erd)Systemwissen. [Ro13] Daneben wird der Umgang und die Auswertung von Daten und besonders die Rolle von Unsicherheit datenbasierter Prognosen thematisiert.

Zielgruppe des Labors sind Schüler:innen der 9. oder 10. Jahrgangsstufen von Gymnasien und Realschulen, die über ein Schuljahr hinweg regelmäßig an die Universität kommen. Notwendiges Vorwissen aus der Informatik umfasst insbesondere den Umgang mit Tabellen (Tabellenkalkulationssysteme sowie Datenbankmanagement und -abfragen) und textbasierte Programmierung. [St22]

3.2 Verwendete Überfachliche Arbeitsmethoden

Der Umgang mit Daten (Data Literacy), auch im Hinblick auf den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess (*nature of science*, vgl. [HS21]) ist Anspruch sowohl aus Informatik als auch aus Physik. Im gläsernen Ökosystem lassen sich verschiedene Systemgrößen (Temperatur und Feuchtigkeit in Luft und Boden, CO_2 -Gehalt, Helligkeit) identifizieren und mit Methoden der Schule verarbeiten sowie auswerten. Auf Basis der Daten können anschließend einfache Modelle analysiert und bewertet werden. So lässt sich bspw. das Wechselspiel von dauerhaft ablaufender Zellatmung der Pflanzen und andererseits der lichtabhängigen Photosynthese, die gemeinsam den CO_2 -Gehalt im Glas regulieren, beobachten.

In diesem Prozess wiederum stellt die *Data Literacy* eine zentrale überfachliche Kompetenz dar, deren Fundament in der Informatik zu verorten ist. Dabei umfasst Data Literacy die Fähigkeit, Daten erfassen, erkunden, managen, kuratieren, analysieren, visualisieren,

interpretieren, kontextualisieren, beurteilen und anwenden zu können [Ri15]. Diese Kompetenzen sind insbesondere relevant für die Konstruktion von Argumenten, die das Modell oder Prognosen über das weitere Verhalten des Glases stützen bzw. verwerfen können. Verbunden damit ist der souveräne Umgang mit umfassenden Datenreihen verschiedener Typen (obige Systemgrößen über mehrere Wochen), deren Sortierung, Auswahl und Visualisierung zum Zwecke der nachgeordneten biophysikalischen Argumentation. Viele Analysen bedürfen dabei die geplante mathematische Verarbeitung mehrerer Daten, unter Berücksichtigung von Messfehlern und Sensorplatzierung und mit dem Ziel bestimmter Argumente.

Eine zentrale Arbeitsmethodik zur Gewinnung dieser Erkenntnisse stellt dabei das *Naturwissenschaftliche Experimentieren* dar. So müssen die Lernenden während des Projektes Forschungsfragen stellen, aus diesen Hypothesen ableiten, und schließlich ein Experimentdesign entwerfen. Das heißt, die Schüler:innen müssen relevante Messgrößen bestimmen, abhängige und unabhängige Variablen definieren und verändern, die Messung durchführen und dann die Daten analysieren und die Beurteilung der Hypothesen kommunizieren.

3.3 Thematisierte Fachbezogene Inhalte

Aus Platzgründen werden hier die informatischen Inhalte fokussiert vorgestellt:

Der Beitrag des Faches Informatik erfolgt in drei Bereichen: 1.) Bei der Konstruktion eines Physical-Computing-Systems, 2.) In Beiträgen zur Data Literacy, und 3.) In der interdisziplinären Anwendung informatischer Arbeitsweisen.

Bei einem *Physical-Computing-System* handelt es sich dabei um ein System, das eine Verbindung zwischen der analogen Welt und der Computerwelt ermöglicht. Derartige Systeme scheinen besonders geeignet zu sein, um die Informatik in MINT zu fördern [PR17, RP14], da sie vielfältige Verbindungen zu anderen MINT-Fächern ermöglichen. (vgl. [SP15]).

Der Beitrag zur Data Literacy liegt in der dem Schülerlaborabschnitt zugrunde liegenden Datenverarbeitungen und Analysen. Hier sind insbesondere die praktische Anwendung informatischer Kompetenzen zu nennen – zum Beispiel das Aufsetzen einer Datenbank und die Anwendung von SQL-Abfragen, die häufig in der Mittelstufe unterrichtet werden (vgl. [St22]). Beim informatischem Arbeiten im interdisziplinären Kontext, kann dies der Ausgangspunkt für eine interdisziplinäre Interpretation und Aufbereitung der Daten sein (vgl. [GR18] zum Zusammenhang zwischen Data Science und informatischen Basiskompetenzen).

Zuletzt werden im Projekt informatische Arbeitsweisen vertieft. So sollen die Lernenden reflektiert mit Informatiksystemen arbeiten. Dies umfasst z.B. die fundierte Auswahl eines geeigneten Informatiksystems für ein gegebenes Problem – im Projekt zum Beispiel die Abwägung zwischen einem Datenbankmanagementsystems und einem Tabellenkalkulationsprogramm. Auch eine Kombination beider Systeme (z.B. Daten filtern mit der Datenbank,

Daten visualisieren mit dem Tabellenkalkulationssystem) kann dienlich sein. Derartige Abwägungen und Entscheidungen zu treffen ist dabei relevant sowohl für das Projekt als auch für die informatischen Bildungsziele (vgl. [Br08, S. 13]).

Über die Informatik hinaus ist das Labor zudem durchsetzt von biophysikalischen Fragestellungen. Die Schüler:innen müssen sich hier insbesondere mit systematischen (z.B. Sensorerwärmung durch Stromfluss) und statistischen Messfehlern sowie unerwartetem Systemverhalten (z.B. Diffusion von Wasserdampf durch den Deckel) auseinandersetzen. Mithilfe der Daten bzw. ihrer Darstellung gilt es dann biophysikalisch zu argumentieren und Grenzen des Modells aufzuzeigen.

3.4 Ablauf des Schülerlabores

Das Schülerlabor ist in fünf große Phasen strukturiert. Beginnend mit den technischen und biologischen Vorüberlegungen und dann der Realisierung der Datenerfassung, wendet sich das Aufgabenspektrum in Phasen 3 bis 5 immer anfordernden Datenauswertungen zu.



Abb. 1: Ein mit Sensoren ausgestattetes Glas mit Kresse

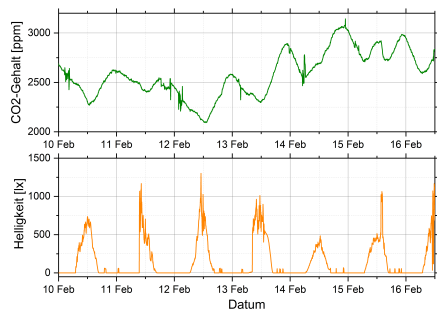


Abb. 2: Messwerte der Helligkeits- und CO_2 -Sensoren

3.4.1 Erste Phase: Vorüberlegungen mit biologischem Fokus

Diese Phase hat zum Ziel, den Schüler:innen das gläserne Ökosystem als Elementarisierung des Erdsystems vorzustellen und dabei auch auf die (Über-)Vereinfachungen einzugehen.

Das Erdsystem zeichnet sich durch eine Vielzahl an Wechselwirkungsprozessen und Rückkopplungsschleifen aus, und wird in Bezug auf eine Vielzahl an Messgrößen (Luftdruck, Salzgehalt der Meere, Temperaturgradient in der Atmosphäre, Feinstaubbelastung, usw.) beobachtet. Auf Basis dieser Daten werden kurzfristige Wetterprognosen gerechnet, andererseits aber auch langfristige Modellierungen des Weltklimas.

Dieses Projekt vereinfacht diese Beobachtung von (aufgrund von Lichteinfall nicht abgeschlossenen) Kreisläufen, auf ein System, dessen Verhalten sich durch wenige Größen beschreiben lässt: Luft- und Bodentemperatur, Feuchtigkeit, CO_2 -Gehalt in der "Atmosphäre", sowie Helligkeit. Dieses System enthält wichtige Elemente des großen Erdsystems, deren Wechselwirkung über mittlere und lange Zeitspannen bemessen und analysiert werden kann. Bei Variation der Systembedingungen (Temperatur, Luftzusammensetzung, Helligkeit,...) lässt sich die Reaktion des Systems beobachten.

Die Bepflanzung erfordert mehrere biologische Überlegungen: Soll ein langsam wachsendes System entstehen oder schnelle Veränderungen beobachtet werden? Versucht man nicht-pflanzliche Prozesse über ein Erhitzen und Sterilisieren der Erde zu minimieren oder lässt man sie bewusst von Anfang an mit laufen? Als Abschluss dieser ersten Phase werden anhand der biologischen und physikalischen Zusammenhänge erste eigene Fragestellungen gesammelt, die sich am konzeptioniertem Glas klären lassen könnten.

3.4.2 Zweite Phase: Physical Computing

Aufbauend auf diesen Überlegungen arbeiten die Schüler:innen in der zweiten Phase am Messwerterfassungssystem für das Ökosystem im Glas. Die technischen Designentscheidungen für ein Glas sollen nachvollzogen und in Frage gestellt werden.

Dazu wird zunächst über die Hardware des Systems reflektiert. Die Schüler:innen machen sich Gedanken über die Anforderungen an die Sensoren und ihre Platzierung im System, und wie Herausforderungen wie die dauerhafte relative Luftfeuchtigkeit von nahezu 100% berücksichtigt werden können. Exemplarisch werden einige Sensoren an einem Microcontroller (Arduino, Raspberry Pi) angeschlossen. Im nächsten Schritt erfolgt softwareseitig das Auslesen, Speichern und Weiterverarbeiten der Daten über eine Internetschnittstelle. Schlussendlich muss noch ein für das Glas passender Deckel modelliert und 3D-gedruckt werden, der Anforderungen wie z.B. einen möglichst gasdichten Kabeldurchlass erfüllen muss.

In dieser Phase lassen sich aus den oben beschriebenen Schritten, je nach Vorwissen und Leistungsfähigkeit der Schüler:innen, Entwicklungsaspekte auswählen bzw. das Messsystem vollständig aufsetzen. Für die weiteren Phasen werden, um eine Vergleichbarkeit der Messungen zu gewährleisten, von der Universität gestellte Gläser benutzt.

3.4.3 Dritte Phase: Datenauswertungen und -präsentation

Sobald vollständige Datensätze aus den gebauten Gläsern vorhanden sind, kann in dieser Phase mit dem Aufbau grundlegender Data Literacy (u.a. erkunden, analysieren, visualisieren und interpretieren) begonnen werden.

Zusätzlich stehen auch Datenbanken mit Daten alter Ökosysteme bereit. Die Systeme wurden mit schnellkeimender Salatkresse bepflanzt. Innerhalb von etwa 10 Tagen keimt und wächst die Kresse und beginnt dann wieder zu verrotten. So entsteht eine Reihe von Datensätzen von Systemen, die unter ähnlichen Bedingungen entstanden sind. Diese Daten können als weitere Grundlage für die Auswertungen in dieser Phase dienen – oder als Alternative, falls Probleme mit den von Schülern selbst erstellten Gläsern auftreten. Diese Datensätze sind online verfügbar unter <https://gitlab2.informatik.uni-wuerzburg.de/ang08dq/glaesernes-oekosystem>.

Den Schüler:innen stehen nun alle Datensätze der parallel bemessenen Gläser zur Verfügung. Je nach Vorwissen können sie die Daten nun erkunden, (aus)sortieren und bereinigen und erste simple Datenanalysen und -aufbereitungen vornehmen. So lässt sich am Anfang beispielsweise ein Einpendeln von Luft und Bodenfeuchtigkeit auf ein stabiles Gleichgewicht beobachten. Dazu werden die Feuchtigkeitsdaten der ersten 24 Stunden per Datenbankabfrage ausgewählt und dann im Tabellenkalkulationsprogramm geplottet. Etwas komplizierter ist die Koinzidenz von Temperaturanstieg, CO_2 -Abnahme (durch Photosynthese) und Helligkeit, wobei die Temperaturdaten um unrealistische Messfehler bereinigt werden müssen (bspw. indem in der Datenbank nur Temperaturen in einem realistischen Wertebereich abgefragt werden). (Abb. 2 zeigt die Koinzidenz von CO_2 -Abnahme und Helligkeit).

Die parallel bemessenen Systeme können nun anhand der Daten verglichen werden, es können Vermutungen über ihr unterschiedliches Verhalten abgegeben werden und mit sinnvollen Visualisierungen gestützt werden. Insbesondere können die relevanten biologischen und physikalischen Phänomene thematisiert und mit den Messdaten verglichen werden.

3.4.4 Vierte Phase: Naturwissenschaftliches Experimentieren

Geleitet von den in der ersten Phase entwickelten Ideen für Forschungsfragen verfeinern und konkretisieren die Schüler:innen in dieser Phase ihre eigenen Fragestellungen. Im Blick sind nun, aufbauend auf der bisher entwickelten Data Literacy, besonders die Kompetenzen interpretieren, beurteilen und anwenden.

Zentrales Lernziel in dieser Phase ist es, ein zur Forschungsfrage passendes Experimentdesign zu entwickeln, zu planen und vorzubereiten. Gleichzeitig muss beschrieben werden, wie die Daten ausgewertet, visualisiert und interpretiert werden können. Im Fokus stehen hierzu Nature of Science [HS21] und ein selbständiger, planender Umgang mit den Teilkompetenzen der Data Literacy. Phasenziel ist eine Beantwortung der Frage in einem simplen Poster, das Forschungsfrage, Experimentdesign, Auswertemethodik und Interpretation zusammenträgt. Hinsichtlich der Visualisierung, Datenauswahl und Interpretation stellt diese Phasen hohe Anforderungen an die Data Literacy der Schüler:innen.

Die Forschungsfragen sind sehr frei, je nach Verfügbarkeit von Messgläsern und Zeit, wählbar.

In Tab. 1 werden einige exemplarische Fragen und die zu beobachtenden Messgrößen vorgestellt.

Forschungsfrage	Relevante Variablen
Kann man mit CO_2 düngen?	Zwei Vergleichsgläser, CO_2 -Gehalt
Wie verhält sich Erde ohne zusätzliche Samen?	explorativ, alle Sensoren
Welche Lichtparameter (Intensität, Frequenz) sind besser für Wachstum?	Vergleichsgläser: Helligkeit
Welche Pflanzen „bauen am meisten CO_2 ab“?	Pflanzenart, CO_2 -Gehalt
Wie beeinflusst ein Schadstoff das Ökosystemwachstum?	Schadstoff z.B. Unkrautvernichter
Wachsen Pflanzen bei höheren Temperaturen besser?	Temperatur

Tab. 1: Einige mögliche Forschungsfragen mit betrachteten Variablen

Besonderes Augenmerk liegt auf dem experimentellen Design. Welche Variablen sind unabhängig, welche abhängig? Wie geht man technisch vor, um (nur) eine unabhängige Variable kontrolliert zu verändern? Wie führt man die Messung effektiv durch?

3.5 Fünfte Phase: Verallgemeinerung auf das globale Erdsystem

Diese Phase greift die Überlegungen aus Phase 1 zu der Übertragbarkeit der Modellbeobachtungen ins Erdsystem wieder auf. Die Schüler:innen haben diverse Erfahrungen zum Verhalten des gläsernen Ökosystems unter Einflüssen von Außen gemacht. In diesem Kontext kann nun über die Aussagekraft der Beobachtungen hinsichtlich der Parallelen und Grenzen der Übertragbarkeit auf das Erdsystem diskutiert werden. In Bezug auf die Klimakrise, der im Schülerlabor „Labs4Future“ hauptsächlich thematisierten planetaren Grenze [St15], sind besonders die Kippunkte, als irreversible Prozesse von Bedeutung. Solche Kippunkte, also irreversible Rückkopplungsschleifen, die in einem neuen ungünstigeren Ökosystemzustand führen, lassen sich bereits im Modellexperiment Ökosystem im Glas identifizieren und aus dem Sachzusammenhang auf die komplexeren globalen Prozesse übertragen, z.B. bei der Verringerung des Wassergehaltes im Glas - wie bei einer Dürre.

Diese letzte Phase dient auch dem Rückbezug der erlernten Data Literacy Teilkompetenzen auf das Erdsystem. Mit Datenauswertungen von realen Umweltdaten, bspw. zu Niederschlägen in Deutschland, wird umweltpsychologisch damit das Bewusstsein der Konsequenzen (der Klimakrise) [K113] aufgegriffen und ein Wissensfundament gelegt, das einen ersten Schritt für den angestrebten Beitrag zur Überbrückung der Knowledge-Action-Gaps (siehe [GET22, GET24] in den weiteren Lerneinheiten des Schülerlabores macht.

4 Ausblick

Die Projekteinheit „Das gläserne Ökosystem“ in den „Labs4Future“ greift den Kontext Klimasysteme auf, um Schüler:innen überfachliche Arbeitsweisen beizubringen. Dies geschieht

durch eine didaktische Reduktion von Aspekten globaler Klimasysteme auf das kleine Modellsystem (im Glas), das konkret experimentell untersucht werden kann. Ein zentraler Aspekt des Projektes ist darüber hinaus die Verzahnung verschiedener Fachdisziplinen. Informatische Aktivitäten wie das Erstellen eines Physical Computing Systems, Design und Umsetzung von Operationen auf Daten, oder die Auswahl geeigneter Informatiksysteme werden in den Arbeitsablauf des naturwissenschaftlichen Experimentierens integriert und so interdisziplinär angewendet. Zuletzt legt das Projekt auch die inhaltliche Wissensbasis zur kritischen Auseinandersetzung mit weiteren gesellschaftlichen Fragestellungen im Kontext des Klimawandels. Hier können anschließend weitere Lerneinheiten, zum Beispiel zu konkreten Wechselwirkungen des globalen Klimas, anknüpfen (vgl. z.B. [GET24]).

Literatur

- [AHA19] Anker-Hansen, Jens; Andreé, Maria: In pursuit of authenticity in science education. *Nordic Studies in Science Education*, 15(1):54–66, 2019.
- [Br08] Brinda, Torsten; Fothe, Michael; Friedrich, Steffen; Koerber, Bernhard; Puhlmann, Hermann; Röhner, Gerhard; Schulte, Carsten: Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule-Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I. 2008.
- [Bu22] MINT-Pakt. https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/gleichstellung-und-vielfalt-im-wissenschaftssystem/mint-pakt/mint-pakt_node.html, (Aufruf am 2023-02-07).
- [Fu12] Funke, Joachim: Complex problem solving. *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (682-685). Heidelberg: Springer, 2012.
- [GET22] Grothaus, Jonathan; Elsholz, Markus; Trefzger, Thomas: Closing the science-action gap: Kann ein Schülerlabor zur Verbesserung von Fachwissen und Klimawandel-Bewusstheit beitragen? *Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, S. 507–515, 2022.
- [GET24] Grothaus, Jonathan; Elsholz, Markus; Trefzger, Thomas: Empowering the next generation to address climate change effectively: The student laboratory Labs4Future (in Vorbereitung. Springer, 2024.
- [GR18] Grillenberger, Andreas; Romeike, Ralf: Developing a theoretically founded data literacy competency model. In: *Proceedings of the 13th Workshop in Primary and Secondary Computing Education*. S. 1–10, 2018.
- [Gr24] Grothaus, Jonathan; Elsholz, Markus; Geidel, Ekkehard; Gerstner, Sabine; Hennecke, Martin; Siller, Stefan; Trefzger, Thomas; Weirauch, Katja: Labs4Future: Kristallisationskeim für Lehren und Lernen zur Klimakrise (in Vorbereitung). Waxmann, 2024.
- [Ha13] Har, Lam Bick: *Authentic learning*. The Active Classroom The Hong Kong Institute of Education, 2013.
- [HS21] Höttecke, Dietmar; Schecker, Horst: Unterrichtskonzeptionen für Nature of Science (NOS). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*, S. 401–433, 2021.
- [Ja16] Jang, Hyewon: Identifying 21st century STEM competencies using workplace data. *Journal of science education and technology*, 25(2):284–301, 2016.

- [JS22] Just, Janina; Siller, Hans-Stefan: The Role of Mathematics in STEM Secondary Classrooms: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 12(9), 2022.
- [KI13] Klöckner, Christian A.: A comprehensive model of the psychology of environmental behaviour—A meta-analysis. *Global Environmental Change*, 23:1028–1038, 10 2013.
- [Mc02] McKenzie, Anthony D; Morgan, Christopher K; Cochrane, Kerry W; Watson, Geoff K; Roberts, David W: Authentic learning: What is it, and what are the ideal curriculum conditions to cultivate it in. In: *Quality Conversations: Proceedings of the 25th HERDSA Annual Conference*, Perth, Western Australia. Citeseer, S. 426–433, 2002.
- [PR17] Przybylla, Mareen; Romeike, Ralf: Von Eingebetteten Systemen zu Physical Computing: Grundlagen für Informatikunterricht in der digitalen Welt. In: *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt*. S. 257–266, 2017.
- [Re12] Renn, Ortwin; Pfenning, Uwe; Duddeck, Heinz; Menzel, Randolph; Holtfrerich, Carl-Ludwig; Lucas, Klaus; Fischer, Wolfram; Allmendinger, Jutta; Klocke, Fritz: *Stellungnahmen und Empfehlungen zur MINT-Bildung in Deutschland auf der Basis einer europäischen Vergleichsstudie*. 2012.
- [Ri15] Ridsdale, Chantel; Rothwell, James; Smit, Michael; Ali-Hassan, Hossam; Bliemel, Michael; Irvine, Dean; Kelley, Daniel; Matwin, Stan; Wuetherick, Bradley: *Strategies and Best Practices for Data Literacy Education: Knowledge Synthesis Report*. 2015.
- [Ro13] Roczen, Nina; Kaiser, Florian; Bogner, Franz; Wilson, Mark: *A competence model for environmental education*. 2013.
- [Ro22] Roth, Jürgen; Eilerts, Katja; Baum, Michael; Hornung, Gabriele; Trefzger, Thomas: *Die Zukunft des MINT-Lernens – Herausforderungen und Lösungsansätze*. In: *Die Zukunft des MINT-Lernens–Band 1*, S. 1–42. Springer Berlin Heidelberg Berlin, Heidelberg, 2022.
- [RP14] Romeike, Ralf; Przybylla, Mareen: *Physical Computing and its Scope – Towards a Constructionist Computer Science Curriculum with Physical Computing*. *Informatics in Education - An International Journal*, 13:241–254, 2014.
- [Se16a] Seidel, Kristina Reiss Tina; Reinhold, Sarah; Holzberger, Doris; Mok, Sog Yee; Schiepe-Tiska, Anja; Reiss, Kristina: *Wie gelingen MINT-Schulen?* Waxmann Verlag, 2016.
- [Se16b] *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*.
- [SP15] Schulz, Sandra; Pinkwart, Niels: *Physical computing in stem education*. In: *Proceedings of the Workshop in Primary and Secondary Computing Education*. S. 134–135, 2015.
- [St15] Steffen, Will; Richardson, Katherine; Rockström, Johan; Cornell, Sarah E; Fetzer, Ingo; Bennett, Elena M; Biggs, Reinette; Carpenter, Stephen R; Vries, Wim; Wit, Cynthia A; Folke, Carl; Gerten, Dieter; Heinke, Jens; Mace, Georgina M; Persson, Linn M; Ramanathan, Veerabhadran; Reyers, Belinda; Sörlin, Sverker: *Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet*. *Science (New York, N.Y.)*, 347, 2015.
- [St22] *LehrplanPLUS für das Gymnasium in Bayern: Informatik 9*. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/9/informatik>, (Aufruf am 2023-02-06).