plusLucis

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

Real und Digital

ISSN 1606-3015

Ausgabe 3/2023

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschusses Physik & Schule der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (VZR: 668472729)
Erscheint vierteljährlich

Medieninhaber:
Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts
Adr.: AECC Physik Unversität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
Web: https://www.pluslucis.org
E-Mail: schriftenleitung@pluslucis.org

Redaktion:
Mag. Dr. Thomas Plotz (Leitung)
Mag. Brigitte Knaus
Mag. Sarah Zloklikovits

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:
Ass.-Prof. Dr. Thomas Schubatzky, Universität Innsbruck, Institut für Fachdidaktik
E-Mail: thomas.schubatzky@uibk.ac.at

HerausgeberInnenteam:
Univ.-Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
Universität Graz, Physikdidaktik
E-Mail: claudia.haagen@uni-graz.at

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien, Physikdidaktik
E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
Universität Wien, Chemiedidaktik
E-Mail: anja.lembens@univie.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Thomas Wilhelm
Universität Frankfurt, Physikdidaktik
E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Bezugshinweise:
Das Abonnement der Zeitschrift ist für Vereinsmitglieder im Mitgliedsbeitrag inkludiert.
Ein institutionelles Abonnement (z. B. für Bibliotheken) ist zum Bezugspreis von 40 Euro im Jahr möglich.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und ChemielehrerInnen, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Für die Inhalte der Artikel sind ausschließlich die namentlich genannten AutorInnen verantwortlich.

Titelbild (Umschlag):
Reto Scheiwiller

Inhalt

Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Physikunterricht – eine Übersicht 4
David Weiler, Jan-Philipp Burde, Rike Große-Heilmann, Josef Riese und Thomas Schubatzky

„Das Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt“ 9
Nadja Belova und Moritz Krause

Das Beste aus beiden Welten verbinden 13
Salome Flegr

Experimentiervideos – Mehr als ein Ersatz für Realexperimente 17
Lisa Stinken-Rösner und Monique Meier

Das elektrische Feld – Modell und Experiment 22
Roger Erb und Albert Teichrew

Digitale Messwerterfassung mit Mikrocontrollern und digitalen Endgeräten 27
Fabian Bernstein und Thomas Wilhelm

Mit Arduino der FFP2-Schutzmaske auf der Spur 31
Angelika Bernsteiner, Philipp Spitzer, Claudia Haagen-Schützenhöfer und Thomas Schubatzky

Lehren und lernen mit LEIFIchemie 38
Daniel Klaus und Jenny Meßinger-Koppelt

Editorial

Thomas Schubatzky

Liebe Leser*innen,

Das Thema der „digitalen Bildung“ ist mittlerweile in den Fokus eines breiten gesellschaftlichen Diskurses gerückt. Das Lernen mit und über digitale Medien stellt mehr und mehr einen wichtigen Eckpfeiler der schulischen Ausbildung dar. Damit verbunden sind auch aktuelle Entwicklungen in der Naturwissenschaftsdidaktik, in der über neue Wege und Zugänge zum naturwissenschaftlichen Unterricht nachgedacht wird. Die bloße Verfügbarkeit von digitalen Medien allein reicht jedoch nicht aus, um Lehr-Lernprozesse zu verbessern, sondern es kommt ganz wesentlich auf den zielgerichteten Einsatz und die sinnvolle Kombination von „real und digital“ an. Diese Verbindung von „real und digital“ bezieht sich dabei sowohl auf einen aufeinander bezogenen, sinnstiftend verknüpften Einsatz von analogen und digitalen Medien, als auch auf die Verbindung von Realem und Digitalem, zum Beispiel durch realitätserweiternde Anwendungen wie etwa augmented reality oder der Möglichkeit Informationen zielgerichtet an (außerschulischen) Lernorten abrufen zu können.

Im Fokus stehen dabei auch die Nutzer*innen: Lehrer*innen und Schüler*innen. Wie können Inhalte sinnstiftend digital aufbereitet und für Lernende zur Verfügung gestellt werden? Oder wie verändert sich der Zugriff auf naturwissenschaftliche Informationen von Jugendlichen durch soziale Medien?

In diesem Themenheft sollen die eben beschriebenen Punkte mittels eines kritischen Blickes aus der Fachdidaktik aufgegriffen werden und anhand unterschiedlicher unterrichtspraktischer Beiträge Beispiele dafür aufgezeigt werden, wie sinnvolle Verbindungen von „real und digital“ im Chemie- und Physikunterricht gestaltet werden können.

Im ersten Beitrag geben David Weiler, Jan-Philipp Burde, Rike Große-Heilmann, Josef Riese und Thomas Schubatzky einen Überblick über aktuelle digitale Medien für den Physikunterricht und warum es sich durchaus lohnt, sich damit auseinanderzusetzen. Der Beitrag beinhaltet auch eine Art Entscheidungshilfe in der Form einer Tabelle, in der die wichtigsten Informationen zu ausgewählten digitalen Medien gesammelt sind. Der zweite Artikel widmet sich einem besonders spannenden Aspekt der Vermischung von Realem und Digitalem – Nadja Belova und Moritz Krause berichten über den Einsatz von „HIQO“ – einem (fiktiven) Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt. Schüler*innen lernen dabei Manipulationsstrategien von Verbraucher*innen in sozialen Medien kennen.

Salome Flegr widmet sich schließlich im dritten Artikel der Kombination aus real und digital beim Experimentieren im Physikunterricht. Die Idee dabei ist, Realexperimente mit virtuellen Experimenten (Simulationen) zu kombinieren, um die Vorteile dieser beiden Herangehensweisen zu kombinieren. Neben einem Überblick gibt es auch Unterrichtsmaterial direkt zum Download. Auch der vierte Artikel von Lisa Stinken-Rösner und Monique Meier widmet sich ganz dem Thema Experimentieren – die beiden Autor*innen beschreiben dabei, wie man den Weg vom Realexperiment hin zum Experimentiervideo sinnvoll beschreiten kann und warum es sich lohnt, derartige Videos zu gestalten.

Roger Erb und Albert Teichrew beschreiben in ihrem Beitrag – Artikel fünf dieses Heftes – unterschiedliche Zugänge und Visualisierungsmöglichkeiten elektrischer Felder, die Bandbreite liegt dabei von Excel-Anwendungen bis hin zu Augmented Reality Umgebungen. Die Autoren schaffen es dabei in ihrem Beitrag, Verbindungen zwischen einem (digitalen) Modell und einem (realen) Experiment herzustellen. Microsoft Excel spielt auch im Beitrag von Fabian Bernstein und Thomas Wilhelm eine Rolle – die beiden widmen sich nämlich der Verbindung von Mikrocontrollern und Auswertungssystemen wie dem in Excel eingebauten Datastreamer oder der Möglichkeit, Microcontroller mit Phyphox zu verbinden. Mikrocontroller sind auch das verbindende Thema mit Artikel sieben in diesem Heft – Angelika Bernsteiner, Philipp Spitzer, Claudia Haagen-Schützenhöfer und Thomas Schubatzky widmen sich dabei der Frage, wie Mikrocontroller wie Arduino sinnvoll in den naturwissenschaftlichen Unterricht integriert werden können, etwa zum Kontext FFP2-Schutzmasken. Den Abschluss bildet schließlich Artikel acht, in dem eine altbekannte und sehr beliebte Plattform – LEIFI – vorgestellt wird, die es jetzt auch für das Fach Chemie gibt!

Ich bedanke mich bei den Autor*innen für die Beiträge und hoffe, dass auch für Sie etwas Interessantes und Brauchbares dabei ist!

Thomas Schubatzky

Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Physikunterricht – eine Übersicht

David Weiler, Jan-Philipp Burde, Rike Große-Heilmann, Josef Riese und Thomas Schubatzky

Im naturwissenschaftlichen Unterricht kann der Einsatz digitaler Medien nicht nur motivationsfördernd sein, sondern den Schüler*innen auch ein besseres fachliches Verständnis ermöglichen [1]. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass digitale Medien überlegt und zielgerichtet in den Unterricht integriert werden [1]. Beispielsweise sollten digitale Medien ergänzend zu traditionellen Medien eingesetzt und nach Möglichkeit in Partner*innen- statt Einzelarbeit genutzt werden [1].

Trotz oder vielleicht gerade aufgrund mittlerweile vieler Studien und Literatur zu einzelnen digitalen Medien (wie z. B. „Für alles eine App" [2]), fällt es aktuell noch schwer, sich einen Überblick über die Chancen und Herausforderungen verschiedener digitaler Medien für den Physikunterricht zu verschaffen. Für diesen Beitrag haben wir daher eine tabellarische Übersicht über zentrale Vor- und Nachteile sowie Anwendungsbeispiele von gängigen digitalen Medien im Physikunterricht inkl. empirischer Befunde auf Basis aktueller fachdidaktischer Literatur und Hinweisen von Expert*innen erstellt. Dabei haben wir uns auf die folgenden digitalen Medien beschränkt:

Erklärvideos als „ggf. eigenproduzierte" Filme, in denen erläutert wird, wie man etwas macht oder wie etwas funktioniert bzw. in denen abstrakte Konzepte erklärt werden." [3, S. 123]; **Videoanalyse** als „Verfahren zur berührungslosen Messung der Orts- und Zeitkoordinaten von bewegten Objekten" [4, S. 3]; **Digitale Messwerterfassungssysteme**, wobei sich hier sowohl auf Systeme zur automatischen Erfassung von quantitativen (z. B. Cassy) als auch qualitativen Messwerten (z. B. Wärmebildkameras) bezogen wird; **Smartphones**, die durch die eingebauten Sensoren Messwerte aufnehmen können; **Interaktive Bildschirmexperimente** als manipulierbare Bilder von realen Experimenten auf Basis zuvor aufgenommener Messwerte; **Simulationen**, die in Abgrenzung zu Animationen durch ihre Interaktivität gekennzeichnet sind; **Modellbildungssoftware**, die zur mathematischen Modellierung physikalischer Vorgänge dient; **Augmented Reality**, bei der die reale Welt durch zusätzliche digitale Elemente angereichert wird (z. B. zur Illustration von Feldvektoren).

In der ersten Spalte der Tabelle mit dem Titel „Typische Anwendungsbeispiele und Einsatzformate" werden bewährte Einsatzszenarien für verschiedene Phasen des Unterrichts aufgeführt. Daneben finden sich die in empirischen Untersuchungen gefundenen „Empirischen Befunde", die der Einsatz des jeweiligen Mediums im Unterricht haben kann. In der Spalte „Was zu beachten ist" sind für jedes Medium diverse Tipps und Tricks sowie bekannte Schwierigkeiten beim Einsatz (und wie man diese vermeiden kann) aufgelistet. Die letzte Spalte „Ressourcen, Material und hilfreiche Anwendungen" führt beispielhaft auf, was für die Nutzung des jeweiligen digitalen Mediums benötigt wird, oder gibt Beispiele für hilfreiche Softwareanwendungen. Darüber hinaus finden sich zu jedem Medium ausgewählte Literaturhinweise, die zur Vertiefung geeignet sind.

Abhängig davon, wie digitale Medien im Unterricht eingesetzt werden, stellen diese lediglich einen Ersatz bisheriger (analoger) Medien dar oder ermöglichen völlig neuartige Zugänge und Aufgabenstellungen. Ein weitverbreitetes und hilfreiches Modell, um vor diesem Hintergrund die Nutzung von digitalen Medien im Unterricht zu beschreiben, stellt das SAMR-Modell von Puentedura dar [5]. Dieses beschreibt die Integration digitaler Medien in den Unterricht anhand der vier Stufen „Substitution", „Augmentation", „Modifikation" und „Redefinition" (siehe Abb. 1).

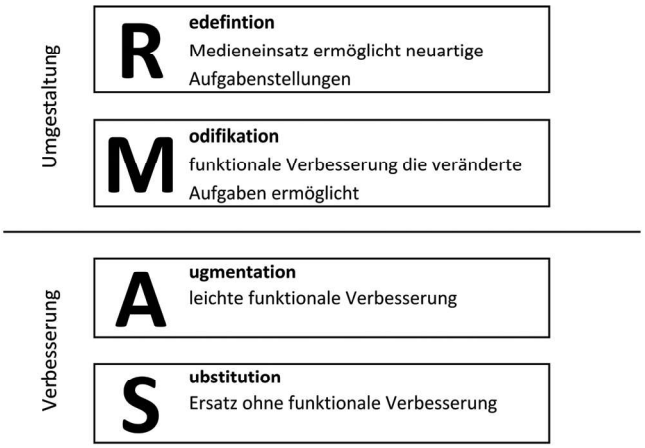


Abbildung 1: *Die vier Stufen des SAMR-Modells nach Puentedura [5]*

Auf der ersten Stufe („Substitution") werden digitale Medien nur als Ersatz für bisherige Medien eingesetzt, ohne dass eine funktionale Erweiterung vorliegt. Dies kann zum Beispiel bei der Verwendung eines digitalen Messwerterfassungssystems der Fall sein, wenn dieses lediglich dazu genutzt wird, wenige Messwerte aufzunehmen und diese anschließend händisch in eine Tabelle eingetragen werden. Die nächste Stufe („Augmentation") ist erreicht, wenn mit dem Einsatz des Mediums eine funktionale Verbesserung einhergeht. Im vorigen Beispiel läge diese Stufe vor, wenn die Messwerte nicht nur erfasst, sondern auch automatisch in eine entsprechende Tabelle überführt werden. Eröffnet die funktionale Verbesserung zudem nennenswerte neue didaktische Möglichkeiten im Unterricht, befindet man sich auf der dritten Stufe des

Modells („Modifikation"). Zum Beispiel können mit Hilfe von Smartphones, die als digitale Messwerterfassungssysteme eingesetzt werden, Beschleunigungen auch in alltäglichen Situationen (z. B. auf einer Schaukel, im Auto oder auf der Achterbahn) unkompliziert gemessen werden. Die letzte und höchste Stufe des Modells stellt die „Redefinition" dar, bei der die funktionale Verbesserung vollkommen neue didaktische Möglichkeiten im Unterricht eröffnet. Beispielsweise können mit einem Tablet aufgenommene Bewegungen automatisiert mittels Videoanalyse ausgewertet werden, um abstrakte physikalische Konzepte wie Kräfte oder Beschleunigungen, die für das Verstehen von Bewegungen im Alltag relevant sind, unmittelbar durch die Einblendung entsprechender Vektoren im Video zu veranschaulichen. Mit Blick auf den Unterricht bedeutet die Klassifikation des SAMR-Modells aber nicht, dass eine niedrige Stufe per se schlecht ist und stets die höchste Stufe beim Einsatz digitaler Medien erreicht werden muss [6]. Beispielsweise kann es sinnvoll sein, ein digitales Medium zunächst einmal gezielt auf einer niedrigeren Stufe des Modells einzuführen, damit sich die Schüler*innen mit diesem vertraut machen können, bevor es später auf einer höheren Stufe des SAMR-Modells zum Einsatz kommt, um die didaktischen Möglichkeiten des jeweiligen Mediums optimal zu nutzen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass digitale Medien keine Selbstläufer sind, sondern zielgerichtet und reflektiert in den Unterricht integriert werden müssen und es dabei entsprechend dieses Hefts auf ein „Real und Digital" ankommt. Sollen digitale Kompetenzen wie „Messwerte digital erfassen" gefördert werden, kann ein Einsatz entsprechend der Stufe „Substitution" angemessen sein. Geht es hingegen darum, z. B. das konzeptionelle Verständnis zu unterstützen, bietet es sich an, digitale Medien entsprechend der Stufen „Modifikation" bzw. „Redefinition" in den Unterricht zu integrieren. Tabelle 1 gibt für jedes Medium einen Überblick darüber, welche Aspekte zu beachten sind, wenn dabei das fachliche Lernen im Mittelpunkt steht.

Tabelle 1: *Übersicht zu Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Physikunterricht*

Digitales Medium	**Typische Anwendungsbeispiele und Einsatzformate**	**Empirische Befunde**	**Was zu beachten ist**	**Ressourcen, Material und hilfreiche Anwendungen**
Erklärvideos	Besonders geeignet für: • Flipped Classroom Ansatz • Vertiefung oder Wiederholung • Lernen durch Erklären durch Schüler*innen (S*S) erstellten Erklärvideos • Zur Leistungsbewertung bei durch S*S erstellten Erklärvideos	Potenzial für die Verbesserung von: • Hausaufgabendisziplin • Lernleistung • Motivation • Selbstkonzept beim Einsatz im Rahmen des Flipped Classrooms	• Erklärvideos ersetzen den Unterricht nicht • Die Anzahl an „Likes" eines Videos ist kein Indikator für dessen Qualität • Enthält das Video Schülervorstellungen, werden oftmals diese statt das richtige physikalische Konzept gelernt • Erklärvideos sollten durch Aufgaben sinnvoll ergänzt werden (z. B. mittels h5p)	„Kanäle" mit Erklärvideos z. B. auf YouTube: Binogi.de; LehrerSchmitt; musstewissen Physik, … Aufgaben lassen sich über Lernplattformen wie z. B. Moodle einbetten
Quellen:	[7]	[8]	[9], [10]	
Videoanalyse	• zur Visualisierung von komplexen Konzepten in der Mechanik (z. B. Beschleunigungsvektoren) • zur Unterstützung bei konzeptuell schwierigen Themen in Experimentierphasen • für Vertiefungsphasen (z. B. Dynamik mit Reibung) • für Untersuchung realitätsnaher Kontexte auch außerhalb des Klassenzimmers (z. B. auf dem Spielplatz)	Potenzial für die Verbesserung von: • Konzeptverständnis • Verständnis von unterschiedlichen Repräsentationen • Einstellung gegenüber dem Fach	• Das zu untersuchende Objekt muss deutlich vom Hintergrund unterscheidbar sein • Hohe Qualität des Videos (bzgl. Schärfe, Bildrate, Lichtverhältnisse, …) • kein Weitwinkel, um Verzerrung des Bilds zu vermeiden • Ein im Bild sichtbares Referenzobjekt mit bekannter Länge (z. B. ein Meterstab) kann zur Kalibrierung genutzt werden • Primär für den Themenbereich Mechanik geeignet	Videoaufnahme und -analyse integriert • *Viana* (kostenlos), nur für iOS Videoaufnahme und -analyse getrennt • Aufnahme mit Kameras/ Handys • Analyse bzw. Auswertung am PC mit der Software *Measure Dynamics* oder *Tracker*
Quellen:	[4], [11]	[4], [12]	[13]	

Digitales Medium	Typische Anwendungsbeispiele und Einsatzformate	Empirische Befunde	Was zu beachten ist	Ressourcen, Material und hilfreiche Anwendungen
Digitale Messwerterfassung	• wenn der Fokus auf der Auswertung bzw. Interpretation der Daten liegt und nicht auf dem Messen • wenn schnell große Mengen an genauen Daten ermittelt werden sollen • für die grafische Aufbereitung der Messwerte in Echtzeit	• Potenzial für ein verbessertes Verständnis von Konzepten wie der Energieentwertung beim Einsatz von Wärmebildkameras	• Oftmals sind die Messwerterfassungssysteme für die S*S eine Blackbox, weshalb sie zur Förderung des Verständnisses des Erkenntnisgewinnungsprozesses nur bedingt geeignet sind • Der Einsatz von Messwerterfassungssystemen darf nicht dazu führen, dass nur mehr Daten ausgewertet werden. Stattdessen sollten physikalische Konzepte und Zusammenhänge stärker im Vordergrund stehen. • Kommerzielle Systeme oftmals recht teuer	• Kabellose Messwerterfassungssysteme z. B. von *Pasco*, *Phywe* oder *Vernier* • Kabelgebundene Messwerterfassungssysteme z. B. von *Leybold (CASSY)* • Außerdem: Wärmebildkameras, selbstentwickelte Lösungen mit Arduino
Quellen:	[14], [15]	[16]	[14]	
Smartphones	• für Messungen in authentischen Kontexten (z. B. beim Aufzugfahren) • für Messungen als Hausaufgabe • Integrierte Möglichkeit zur Dokumentation und Recherche	Potenzial für die Verbesserung von: • Lernleistung und Motivation in der Akustik • Neugierde und Interesse beim Thema Schwingungen	• Nicht alle Apps sind für alle Betriebssysteme verfügbar • Partnerarbeit mit einem Gerät, sofern ein Bring-Your-Own-Device-Ansatz (BYOD) verfolgt wird, um eine Abdeckung mit Geräten zu gewährleisten	• Smartphones • Apps zum Auslesen der Sensordaten z. B. mit der kostenfreien App Phyphox (für alle Betriebssysteme)
Quellen:	[17], [18]	[19], [20]	[21], [22]	
Interaktive Bildschirmexperimente	• als Alternative für zu gefährliche Experimente • für experimentelle Hausaufgaben • als Alternative für zu zeitintensive Experimentalaufbauten • für die Umsetzung in Online-Lernplattformen • zur Wiederholung	• Erhöhte Lerneffizienz bzgl. des fachlichen Verständnisses im Vergleich zu Realexperimente, da deutliche Zeitersparnis	• kann im naturwissenschaftlichen Unterricht das Realexperiment nicht ersetzen • nur bedingt zur Förderung experimenteller Kompetenzen geeignet	Internetzugang Eine umfangreiche IBE Sammlung findet sich auf *Tetfolio*: https://tetfolio.fu-berlin.de/web/980469
Quellen:		[23], [24]		
Simulationen	• für unterstütztes entdeckendes Lernen • als Vorbereitung von experimentellen Arbeitsweisen z. B. im Rahmen einer Hausaufgabe • zum Visualisieren nicht sichtbarer Konzepte (z. B. elektrische Felder) • Vereinfachte Variablenkontrolle • Zugang zu Themen, bei denen Realversuche nicht funktionieren (z. B. Treibhauseffekt) • zum Initialisieren von kooperativer Arbeit	• Zeiteffiziente Förderung des konzeptionellen Verständnisses	• Sollte durch konkrete Arbeitsaufträge begleitet werden • S*S sollten kollaborativ an einer Simulation arbeiten • Vorwissen der Schüler*innen muss berücksichtigt werden, damit es nicht zu einem Expertise Reversal Effekt kommt • Bei Unterforderung oder Überforderung wird das Lernen stark behindert	Internetseiten mit einer Vielzahl an Simulationen für den Physikunterricht: https://phet.colorado.edu/de/ https://www.leifiphysik.de/ https://www.walter-fendt.de/html5/phde/
Quellen:	[25], [26], [27], [28]	[28], [29]	[30]	

Digitales Medium	Typische Anwendungsbeispiele und Einsatzformate	Empirische Befunde	Was zu beachten ist	Ressourcen, Material und hilfreiche Anwendungen
Modellbildungssoftware	• zum Erlernen der (mathematischen) Modellierung als grundlegende Methode der Physik • zur Festigung und Ausdifferenzierung des Verständnisses für physikalische Zusammenhänge	• Kann zu einem deutlich besseren Modellverständnis führen	• Voraussetzung: Vertrautheit mit der Methode der kleinen Schritte bzw. dem Denken in Schleifen • Es werden grundsätzliche Kenntnisse über die Zusammenhänge von physikalischen Größen benötigt • Eignet sich vor allem für Vertiefungsphasen, weniger für die Einführung neuer Zusammenhänge und somit nicht für den Anfangsunterricht	• Tabellenkalkulationssoftware • Spezielle Modellbildungssoftware wie *Dynasys* oder *Newton-II*. Verfügbar auf https://did-apps.physik.uni-wuerzburg.de/Did-Apps-Site/newton-ii_info/
Quellen:	[31]	[13]		
Augmented Reality	• zur Illustration sonst nicht sichtbarer physikalischer Modellvorstellungen bei realen Aufbauten (z. B. Strahlengänge, Magnetfeldlinien) • für den Einsatz gestufter Hilfen auf einem Arbeitsblatt	• Positive Effekte auf Interesse und Motivation • hat sich in einzelnen Experimenten als lernförderlich für das Konzeptverständnis erwiesen	• Der Mehrwert des Einsatzes hängt davon ab, ob Elemente visualisiert werden, die bisher nicht direkt am Realobjekt visualisiert werden konnten • AR setzt konturierte Oberflächen voraus (einfarbige Flächen werden nicht erkannt)	Smartphones oder iPads mit geeigneter App z. B.: • Geogebra 3D mit entsprechenden AR-Modellen wie https://www.geogebra.org/m/pafx6xfu • PUMA https://www.physik.uni-wuerzburg.de/pid/physik-didaktik/augmented-reality/
Quellen:	[32], [33]	[34], [35]	[36]	

David Weiler *AG Didaktik der Physik, Universität Tübingen*
Jan-Philipp Burde *AG Didaktik der Physik, Universität Tübingen*
Rike Große-Heilmann *AG Didaktik der Physik, Universität Paderborn*
Josef Riese *AG Didaktik der Physik, Universität Paderborn*
Thomas Schubatzky *Institut für Fachdidaktik und Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck*

Literatur

[1] HILLMAYR, D.; ZIERNWALD, L.; REINHOLD, F.; HOFER, S. I.; REISS, K. M.: The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. In: Computers & Education 153 (2020), S. 103897

[2] WILHELM, T.; KUHN, J.: Für alles eine App: Ideen für Physik mit dem Smartphone. 1. Auflage 2022. Berlin: Springer Berlin, 2021

[3] WOLF, K. D.: Video-Tutorials und Erklärvideos als Gegenstand, Methode und Ziel der Medien- und Filmbildung. In: HARTUNG-GRIEMBERG, Anja; BALLHAUSEN, Thomas; TRUELTZSCH-WIJNEN, Christine; BARBERI, Alessandro; KAISER-MÜLLER, Katharina (Hrsg.): Filmbildung im Wandel. Wien: nap new academic press, 2015 (Mediale Impulse, Band 2), S. 121-131

[4] BECKER, Sebastian; KLEIN, Pascal; GÖßLING, Alexander; KUHN, Jochen: Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 25 (2019), Nr. 1, S. 1-24

[5] PUENTEDURA, Ruben R.: Transformation, technology, and education in the state of Maine. URL http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/2006_11.html – Überprüfungsdatum 2022-06-06

[6] HAMILTON, Erica R.; ROSENBERG, Joshua M.; AKCAOGLU, Mete: The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: a Critical Review and Suggestions for its Use. In: TechTrends 60 (2016), Nr. 5, S. 433-441

[7] WOLF, K. D.; KULGEMEYER, C.: Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 27 (2016), Nr. 152, S. 36-41

[8] FINKENBERG, Frank: Flipped Classroom im Physikunterricht. Berlin/Germany: Logos Verlag Berlin, 2018

[9] KULGEMEYER, Christoph; WITTWER, Jörg: Misconceptions in Physics Explainer Videos and the Illusion of Understanding: an Experimental Study. In: International journal of science and mathematics education (2022), S. 1-21

[10] KULGEMEYER, Christoph; PETERS, Cord H.: Exploring the explaining quality of physics online explanatory videos. In: European Journal of Physics 37 (2016), Nr. 6, S. 65705

[11] WEBER, Jannis; WILHELM, Thomas: Computereinsatz in der Newton'schen Mechanik – Vergleich von Modellbildung und Videoanalyse. In: PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 19 (2020), S. 43-56

[12] KLEIN, Pascal; KUHN, Jochen; MÜLLER, Andreas: Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 24 (2018), Nr. 1, S. 17-34

[13] HOCKICKO, Peter; TRPIŠOVÁ, Beáta; ONDRUŠ, Ján: Correcting Students' Misconceptions about Automobile Braking Distances and Video Analysis Using Interactive Program Tracker. In: Journal of Science Education and Technology 23 (2014), Nr. 6, S. 763-776

[14] LAMPE, Hans-Ulrich: Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik. 1. Aufl. Neuss: Seeberger, 2015 (MNU-Themenreihe Bildungsstandards)

[15] GIRWIDZ, Raimund: Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In: KIRCHER, Ernst; GIRWIDZ, Raimund; FISCHER, Hans E. (Hrsg.): Physikdidaktik | Grundlagen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 457-527

[16] GREINERT, Larissa; WEßNIGK, Susanne: Energieentwertung mit der IR-Kamera – Studie zum Einfluss der IR-Kamera auf das Energieverständnis in einem curriculumorientierten Lehrgang mit Fokus auf Energietransfer. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 25 (2019), Nr. 1, S. 245-257. URL https://link.springer.com/article/10.1007/s40573-019-00102-w#Sec19

[17] KUHN, Jochen; VOGT, Patrik: Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken. Berlin: Springer Spektrum, 2019

[18] GRÖBER, Sebastian; KLEIN, Pascal; KUHN, Jochen; FLEISCHHAUER, Annett: Smarte Aufgaben zur Mechanik und Wärme: Lernen mit Videoexperimenten und Co. Berlin: Springer Spektrum, 2017

[19] KUHN, Jochen; VOGT, Patrik: Smartphones & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics. In: SCHNOTZ, W.; KAUERTZ, A.; LUDWIG, H.; MÜLLER, A.; PRETSCH, J. (Hrsg.): Multidisciplinary Research on Teaching and Learning. 1st ed. 2015. London: Palgrave Macmillan UK; Palgrave Macmillan, 2014, S. 253-269

[20] HOCHBERG, Katrin; KUHN, Jochen; MÜLLER, Andreas: Using Smartphones as Experimental Tools—Effects on Interest, Curiosity, and Learning in Physics Education. In: Journal of Science Education and Technology 27 (2018), Nr. 5, S. 385-403

[21] HILLMAYR, Delia; REINHOLD, Frank; ZIERNWALD, Lisa; REISS, Kristina: Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe: Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Münster, New York: Waxmann, 2017

[22] FEIERABEND, Sabine; RATHGEB, Thomas; KHEREDMAND, Hediye; GLÖCKLER, Stephan: JIM-Studie 2022: Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart, 2022

[23] BRELL, Claus: Lernmedien und Lernerfolg – reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht: Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE. Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos-Verl., 2008 (Studien zum Physik- und Chemielernen 74)

[24] HÜTHER, Monika: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze: Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2004. Berlin: Logos-Verl., 2005 (Studien zum Physik- und Chemielernen 41)

[25] ALFIERI, Louis; BROOKS, Patricia J.; ALDRICH, Naomi J.; TENENBAUM, Harriet R.: Does discovery-based instruction enhance learning? In: Journal of Educational Psychology 103 (2011), Nr. 1, S. 1-18

[26] WIEMAN, C. E.; ADAMS, W. K.; LOEBLEIN, P.; PERKINS, K. K.: Teaching Physics Using PhET Simulations. In: The Physics Teacher 48 (2010), Nr. 4, S. 225-227

[27] GIRWIDZ, Raimund (Hrsg.): Animationen & Simulationen. Seelze: Friedrich Verlag GmbH, 2013 (Naturwissenschaft im Unterricht Physik 137)

[28] RUTTEN, Nico; VAN JOOLINGEN, Wouter R.; VAN DER VEEN, Jan T.: The learning effects of computer simulations in science education. In: Computers & Education 58 (2012), Nr. 1, S. 136-153

[29] FINKELSTEIN, N. D.; ADAMS, W. K.; KELLER, C. J.; KOHL, P. B.; PERKINS, K. K.; PODOLEFSKY, N. S.; REID, S.; LEMASTER, R.: When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. In: Physical Review Special Topics – Physics Education Research 1 (2005), Nr. 1

[30] KALYUGA, Slava; AYRES, Paul; CHANDLER, Paul; SWELLER, John: The Expertise Reversal Effect. In: Educational Psychologist 38 (2003), Nr. 1, S. 23-31

[31] WILHELM, Thomas: Zur Geschichte der mathematischen Modellbildung im Physikunterricht. In: WILHELM, Thomas (Hrsg.): Plus lucis (4/2018): Computational Physics. Wien: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, 2018 (4), S. 4-10

[32] BEWERSDORFF, Arne: Das digital erweiterte Experimentierplakat: Neue Möglichkeiten der Interaktion und Kooperation, Bd. 2. In: BRANDT, Birgit; BRÖLL, Leena; DAUSEND, Henriette (Hrsg.): Aktuelle Trends in Forschung und Praxis, 2020 (Digitales Lernen in der Grundschule, 2), S. 60-73

[33] TEICHREW, Albert; ERB, Roger: How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics. In: Physics Education 55 (2020), Nr. 6, S. 65029

[34] SOTIRIOU, Sofoklis; BOGNER, Franz X.: Visualizing the Invisible: Augmented Reality as an Innovative Science Education Scheme. In: Advanced Science Letters 1 (2008), Nr. 1, S. 114-122

[35] RADU, Iulian: Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. In: Personal and Ubiquitous Computing 18 (2014), Nr. 6, S. 1533-1543

[36] TEICHREW, Albert; ERB, Roger: Hauptsache Augmented? Klassifikation digitalisierter Experimentierumgebungen. In: KASPAR, Kai; BECKER-MROTZEK, Michael; HOFHUES, Sandra; KÖNIG, Johannes; SCHMEINCK, Daniela (Hrsg.): Bildung, Schule, Digitalisierung: Waxmann Verlag GmbH, 2020, S. 421-426

„Das Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt“

Entlarven falscher wissenschaftlicher Behauptungen in sozialen Medien mit einem Unterrichtsmodul

Nadja Belova und Moritz Krause

1. Einleitung

Informationen in sozialen Medien haben oft einen naturwissenschaftlichen Hintergrund, müssen aber nicht unbedingt von Expert*innen verbreitet werden, was die Art der Kommunikation und der Reflexion über naturwissenschaftliche Inhalte grundlegend verändert hat [1]. Die Umsetzung medienbezogener Aspekte mit dem Schwerpunkt auf kritischer Medienbildung im naturwissenschaftlichen Unterricht ist noch recht spärlich und meist auf traditionelle Medienarten wie Zeitungen beschränkt [2]. Dies geht jedoch an der Medienrealität junger Menschen vorbei, von denen die meisten soziale Medien nutzen. Da jede*r Inhalte auf Plattformen wie Instagram, Facebook und TikTok erstellen und teilen kann und damit die früher existierenden Gatekeeping-Mechanismen wegfallen, können sich Fehlinformationen schnell verbreiten und im Extremfall zu sozialen Spaltungen führen, wie dies derzeit beispielsweise in den Debatten um die COVID-19-Pandemie beobachtet werden kann [3]. Als Gatekeeping bezeichnet man hier die Auswahl und Kontrolle von Informationen, beispielsweise durch Journalist*innen [4]. Auch wenn dabei Fehlinformationen an die Öffentlichkeit gelangen und auch nur vermeintliche Expert*innen zu Wort kommen können, ist ein solches Risiko durch die Redaktionsarbeit minimiert.

Obwohl man sich durchaus der Relevanz von Interventionen bewusst ist, die mediale Mechanismen der Informationsdarstellung im naturwissenschaftlichen Unterricht abbilden, gibt es bisher nur wenige konkrete, empirisch getestete Vorschläge für die Umsetzung im Unterricht [5-7]. Beispielsweise konzipierten Bråten et al. [7] eine sechswöchige Intervention für Schüler*innen der Sekundarstufe II zum Thema Quellenbewusstsein (Auswahl zuverlässiger Quellen, Bewertung von Quellen usw.): Sie beobachteten eine höhere Sensibilität für eine sorgfältige Quellenauswahl in der Treatmentgruppe, und dieser Effekt hielt mehr als fünf Wochen lang an; in ihrem Studiendesign verwendeten sie naturwissenschaftsbasierte Texte zum Klimawandel und zur Kernkraft. Auch aus anderen Forschungsbereichen, beispielsweise der Psychologie, wo die empirische Basis bereits etwas größer ist, lässt sich eine über Wochen bis Monate andauernde Effektivität von entsprechenden Interventionen erkennen. So haben Roozenbeek und van der Linden [8] ein Online-Spiel zum Erkennen von Fehlinformationen und entsprechenden Verbreitungsstrategien entwickelt: Die Spieler*innen schlüpfen in die Rolle von Nachrichtenproduzent*innen und müssen aktiv bestimmte Strategien (wie Polarisierung oder Emotionalisierung) anwenden, wobei sie im Spiel explizit vor potenziell manipulativen Aktivitäten gewarnt werden; in einem Prä- und Posttest-Design zeigte sich, dass das Spiel die wahrgenommene Verlässlichkeit von Tweets, die mehrere gängige Strategien der Online-Fehlinformation verwendeten, signifikant reduzierte. In einer späteren Studie, in der dieselbe Art von Intervention verwendet wurde, stellten Maertens et al. [9] fest, dass dieser Effekt bis zu drei Monate lang anhalten konnte. Es kann also gesagt werden, dass selbst einmalige Interventionen eine Wirkung haben, die über einen gewissen Zeitraum dazu führt, dass Menschen kritischer und reflektierter mit Informationen im Internet umgehen. Forschende nennen dies „Inoculation“ [9-11], im Grunde eine „Impfung“ gegen Falschinformationen und Manipulation.

Um die bestehende Lücke im Bereich der Naturwissenschaftsdidaktik etwas zu schließen, beschreibt der vorliegende Artikel die Entwicklung und Evaluation eines Lehr- und Lernmoduls zur Förderung solcher Kompetenzen im Zusammenhang mit naturwissenschaftlicher Medienbildung, das in fünf Chemiekursen in den Jahrgangsstufen 10 bis 13 an drei Schulen in Deutschland durchgeführt wurde. Im Mittelpunkt des Moduls steht ein vermeintlich „naturwissenschaftliches“ Produkt – nämlich ein Trinkwasser mit „Leitfähigkeitsextrakt“ –, das die Schüler*innen entlarven sollen. Unter anderem haben wir für dieses Produkt einen Instagram-Account erstellt, um ihm den Anschein eines echten Produkts zu geben, und wir haben naturwissenschaftliche Informationen und naturwissenschaftsbasierte Manipulationsstrategien in diesen Account eingebaut.

2. Hintergründe zum Unterrichtsmodul

Unser Ziel war es, ein Unterrichtsmodul über die Strategien zur Manipulation von Verbraucher*innen in sozialen Medien zu entwickeln, und es entstand die Idee, die Strategien implizit am Beispiel eines Produkts zu veranschaulichen. Eine solche Intervention zielt darauf ab, die Schüler*innen zu befähigen, Informationen, die sie online sehen, zu bewerten. Sowohl private als auch kommerzielle Nutzer*innen sozialer Medien setzen eine Reihe von Strategien ein, um wissenschaftsbasierte Inhalte im Allgemeinen – und chemiebasierte Inhalte im Besonderen – seriöser und damit glaubwürdiger erscheinen zu lassen [5]. Dazu gehören die in Abb. 1 dargestellten häufig verwendeten Strategien.

Kasten 1: *In sozialen Medien häufig verwendete Manipulationsstrategien*

- bewusst gefühlsbetonte Behauptungen (sowohl positiv als auch negativ)
- Unterstellung von Schaden (z. B. in Bezug auf die Chemie selbst oder "die chemische Industrie")
- manipulierte Abbildungen (z. B. abgeschnittene oder schlicht unsinnige Diagramme)
- sprachliche Übertreibungen (z. B. "am effektivsten")
- vage sprachliche Mittel (z. z. B. "hilft bei", "ein Gefühl von" usw.)
- Präsentation durch eine*n "Expert*in im weißen Kittel"
- Darstellung von Korrelation als Kausalität
- Erwecken des Gefühls logischer Zusammenhänge oder des Gefühls einfacher, zufriedenstellender Antworten

Um diese Strategien genau zu veranschaulichen, haben wir beschlossen, selbst ein (fiktives) Produkt zu entwickeln. Dabei haben wir darauf geachtet, dass es sich um ein Produkt mit einem chemisch begründeten Wirkmechanismus handelt, der logisch erscheint und mit dem Wissen aus der Schulchemie erklärt werden kann. So sind wir auf „HIQO – das Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt“ gekommen, ein Trinkwasser, das mit einem angeblichen „Leitfähigkeitsextrakt“ angereichert ist, der vermeintlich die Leitfähigkeit im Gehirn erhöht, so dass Nervenimpulse besser weitergeleitet werden können und letztlich die kognitive Leistungsfähigkeit steigt (Abbildung 2). Das klingt natürlich nur auf den ersten Blick logisch, entbehrt aber jeder seriösen Grundlage.

Abbildung 2: *HIQO – das Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt*

3. Praktische Umsetzung

Die entwickelte Unterrichtssequenz basiert auf diesem imaginären Produkt und seiner Social-Media-Präsenz, für die ein Instagram-Account (@hiqo_official) als Grundlage diente. Wir haben uns aus zwei Gründen für Instagram als Hauptplattform entschieden: es ist ein beliebtes soziales Netzwerk unter jungen Erwachsenen [15] und es kombiniert verschiedene Arten der Präsentation von Inhalten, da es möglich ist, Fotos, Texte und Videos einzubinden. Die Entwicklung und Gestaltung des Instagram-Accounts erfolgte in Zusammenarbeit mit einer Gruppe von Schüler*innen. In einer ersten Testphase haben wir festgestellt, dass die Lernenden anhand der Aufmachung und der verwendeten Hashtags erkannten, dass der Account nicht professionell genug wirkte. Dies war für uns ausschlaggebend, die Expertise der Lernenden mit einzubeziehen und gemeinsam alle Beiträge neu zu sortieren, gestalten und zu posten. Diesen Instagram-Account haben wir dann fortan in den verschiedenen Chemiekursen verwendet.

Zu Beginn unserer Intervention wurden die Lernenden gebeten, sich mit dem Produkt und dem Social-Media-Account vertraut zu machen und dessen Glaubwürdigkeit zu bewerten, wobei viele von ihnen dem Produkt und den damit verbundenen Versprechungen zunächst vertrauten. Diese ersten Eindrücke wurden über ein kollaboratives Online-Tool gesammelt und geclustert. Anhand des Instagram-Accounts beschrieben die Lernenden dann die Strategien, die eingesetzt wurden, um dem Produkt und dem Social-Media-Account eine gewisse Seriosität und Glaubwürdigkeit zu verleihen. Dabei gelang es den Lernenden, die meisten der implizit verwendeten Strategien herauszuarbeiten. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen Beispiele von Posts aus dem Instagram-Account, die ausgewählte Strategien veranschaulichen.

Abbildung 3: *Ein Post, der konzentrierte Schüler*innen im Unterricht zeigt*

Abbildung 4: *Ein Post mit einer Graphik, die das Konzentrationsempfinden in Abhängigkeit von der Trinkmenge zeigt*

Neben der Entwicklung dieser Strategien und der entsprechenden Bewertung des Produkts stand hier auch eine chemiebezogene Betrachtung (Leitfähigkeit, Ionen) im Vordergrund. Im Anschluss folgte die Aufdeckung des „Fakes“, was für die Lernenden sehr beeindruckend war. Im nächsten Schritt verglichen sie die erarbeiteten Strategien mit Hilfe von „digitalen Karteikarten“, die wir erstellt hatten, auf denen die in der Erzählung verwendeten Strategien benannt und kurz erläutert wurden. Außerdem gab es „häufig gestellte Fragen“ zum Nachlesen. Bei Bedarf konnten diese Karteikarten auch schon

früher als unterstützendes Material eingesetzt werden. Das Ende der Unterrichtssequenz spielt eine wichtige Rolle bei der Sicherung und Verinnerlichung des Gelernten. So formulierten die Lernenden am Ende ein Fazit, das ihr Nutzungsverhalten und ihre Wahrnehmung wissenschaftlicher Informationen vor der Sequenz beschrieb und reflektierte und auf das zukünftige Verhalten in sozialen Medien abzielte. Die Schlussfolgerung beinhaltete oft, sich nicht vorschnell blenden zu lassen und sorgfältig zu prüfen, ob ein Produkt oder eine Information, die sie finden, seriös ist, insbesondere wenn sie eine der verwendeten Strategien erkennen. Eine solche Schlussfolgerung deckt sich mit dem oben beschriebenen Effekt der „Impfung“ und kann über mehrere Monate zu einer erhöhten Sensibilität führen. Eine Übersicht über das Modul ist in Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1: *Ablauf des Unterrichtsmoduls*

Phase	Inhalt
Einstieg	Die Lehrkraft verkündet, dass sie ein neues Produkt entdeckt hat und präsentiert den Schüler*innen eine Flasche. Ein*e Schüler*in liest das Etikett auf der Flasche laut vor (u. a. „Folge uns auf Instagram“).
Problematisierung	Die Schüler*innen schauen sich den Instagram-Account (@hiqo_official) an und formulieren einen ersten Eindruck. Die Eindrücke werden geclustert (mithilfe eines digitalen Feedback-Tools) und diskutiert.
Erarbeitung I	Die Schüler*innen notieren Kriterien, die den Bericht mehr oder weniger glaubwürdig machen.
Hinführung	Die gefundenen Kriterien werden diskutiert. Es werden Flaschen an die Schüler*innen verteilt, die nach dem „Leitfähigkeitsextrakt“ suchen. Der fachliche Hintergrund wird geklärt und die Fälschung aufgedeckt.
Erarbeitungsphase II	Die Schüler*innen vergleichen ihre Kriterien mit den digitalen Karteikarten und vervollständigen ihre Notizen.
Sicherung	Es wird eine “Take-Home-Message“ formuliert.

Die dazugehörigen Unterrichtsmaterialien und digitalen Karteikarten bieten wir unter *www.digilep.schule/lernumgebungen* an.

4. Fazit und Ausblick

Das Modul wurde in fünf Chemiekursen (Jahrgänge 10 bis 13) mit insgesamt 106 Schüler*innen an fünf deutschen Schulen erprobt. In Österreich empfehlen wir den Einsatz des Moduls ab der siebten Klasse Oberstufe. Die Evaluierung der endgültigen Version des Moduls erfolgte anhand leicht angepasster Aufgaben zur Bewertung von Reflexionsfähigkeit [16]. Im Rahmen dieser Aufgaben sollten die Lernenden naturwissenschaftsbezogene Informationen aus dem Internet bewerten, beispielsweise ein Meme zum Pestizideinsatz oder einen Facebook-Post zu den Folgen des Klimawandels. Eine Kontrollgruppe mit 80 Schüler*innen bearbeitete ausschließlich die Aufgaben und es zeigte sich ein signifikanter Unterschied – die Gruppe, die zuvor das Modul durchlaufen hatte, schnitt deutlich besser ab.

In Anbetracht der sich verändernden Medienlandschaft ist es heute unglaublich wichtig, die Medienbotschaften kritisch zu hinterfragen. Dies sollte in allen Schulfächern eine Rolle spielen, da junge Menschen Schwierigkeiten haben, Informationen angemessen zu bewerten [17,18]. Als Vorschlag zur Verbesserung der Hinterfragung von wissenschaftsbasierten Informationen in sozialen Medien haben wir ein Unterrichtsmodul über ein fiktives Produkt, nämlich Wasser mit „Leitfähigkeitsextrakt“, entwickelt und evaluiert. Generell besteht ein Bedarf an mehr Unterrichtsvorschlägen dieser Art, insbesondere in den Naturwissenschaften, sowie an mehr Belegen für deren Wirksamkeit. Die uns bisher vorliegenden Studienergebnisse legen nahe, dass man solche Lernsequenzen am besten alle paar Monate wiederholen sollte. Dabei könnte man theoretisch auch die Fächer wechseln. Wir sollten auch darüber nachdenken, wie Fachinhalte in naturwissenschaftlichen Fächern funktional mit relevanten Themen, die in den Medien diskutiert werden, verknüpft werden können, damit die Schüler*innen die Rolle von chemiebezogenen (oder allgemein naturwissenschaftsbezogenen) Informationen in der Öffentlichkeit verstehen. Es ist wichtig anzumerken, dass das bloße Wissen über manipulative Strategien nicht vollständig vor Manipulation schützt, und dass Emotionen eine sehr große Rolle bei der Beurteilung spielen [19]: überspitzt gesagt glauben wir das, was wir glauben wollen. Wie solche Mechanismen durchbrochen werden können, ist eine Schlüsselfrage für künftige Forschungsvorhaben.

Danksagung

Wir danken der Joachim Herz Stiftung für die Förderung unserer Arbeiten zum Einsatz digitaler Medien in Schule und Universität im Rahmen des Kollegs Didaktik:digital.

Nadja Belova *Chemiedidaktik, Universität Bremen*
Moritz Krause *Chemiedidaktik, Universität Bremen*

Literatur

[1] Höttecke D, Allchin D. Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education. 2020;104(4):641-66.

[2] Reid G, Norris SP. Scientific media education in the classroom and beyond: a research agenda for the next decade. Cult Stud of Sci Educ. 1. März 2016;11(1):147-66.

[3] Archila PA, Danies G, Molina J, Truscott de Mejía AM, Restrepo S. Towards Covid-19 Literacy. Sci & Educ. 1. August 2021;30(4):785-808.

[4] Höttecke D. Drei Antworten, wie man Schülerinnen und Schüler auf Darstellungen des Klimawandels in den Medien vorbereiten kann. Naturwissenschaften im Unterricht – Physik. 2021;32(183):50-5.

[5] Kotsalas IP, Antoniou A, Scoullos M. Decoding Mass Media Techniques and Education for Sustainable Development. Journal of Education for Sustainable Development. 2017;11(2):102-22.

[6] Tseng AS, Bonilla S, MacPherson A. Fighting „bad science“ in the information age: The effects of an intervention to stimulate evaluation and critique of false scientific claims. Journal of Research in Science Teaching. 1. Oktober 2021;58:1152-78.

[7] Bråten I, Brante EW, Strømsø HI. Teaching sourcing in upper secondary school: A comprehensive sourcing intervention with follow-up data. Reading Research Quarterly. 2019;54(4):481-505.

[8] Roozenbeek J, van der Linden S. Fake news game confers psychological resistance against online misinformation. Palgrave Commun. 25. Juni 2019;5(1):1-10.

[9] Maertens R, Roozenbeek J, Basol M, van der Linden S. Long-term effectiveness of inoculation against misinformation: Three longitudinal experiments. Journal of Experimental Psychology: Applied. 2021;27(1):1-16.

[10] Cook J, Lewandowsky S, Ecker UKH. Neutralizing misinformation through inoculation: Exposing misleading argumentation techniques reduces their influence. PLoS One. 2017;12(5):e0175799.

[11] Cook J. Cranky Uncle: Ein Spiel zur Förderung der Widerstandsfähigkeit gegen Klima-Falschinformationen. PlusLucis. 2021;3(2021):13-6.

[12] Danciu V. Manipulative marketing: persuasion and manipulation of the consumer through advertising. Theoretical and Applied Economics. 2014;XXI(2(591)):19-34.

[13] Guerris M, Cuadros J, González-Sabaté L, Serrano V. Describing the public perception of chemistry on twitter. Chem Educ Res Pract. 1. Juli 2020;21(3):989-99.

[14] van Prooijen JW, van Vugt M. Conspiracy Theories: Evolved Functions and Psychological Mechanisms. Perspect Psychol Sci. November 2018;13(6):770-88.

[15] Statista. Social Media – Anzahl der Nutzer weltweit bis 2022 [Internet]. Statista. 2022 [zitiert 2. Mai 2022]. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/739881/umfrage/monatlich-aktive-social-media-nutzer-weltweit/

[16] McGrew S, Breakstone J, Ortega T, Smith M, Wineburg S. Can Students Evaluate Online Sources? Learning From Assessments of Civic Online Reasoning. Theory & Research in Social Education. 3. April 2018;46(2):165-93.

[17] Dawson V, Venville GJ. High-school Students' Informal Reasoning and Argumentation about Biotechnology: An indicator of scientific literacy? International Journal of Science Education. 15. Juli 2009;31(11):1421-45.

[18] Tseng AS. Students and evaluation of web-based misinformation about vaccination: critical reading or passive acceptance of claims? International Journal of Science Education, Part B. 3. Juli 2018;8(3):250-65.

[19] Pennycook G, Epstein Z, Mosleh M, Arechar AA, Eckles D, Rand DG. Shifting attention to accuracy can reduce misinformation online. Nature. April 2021;592(7855):590-5.

Das Beste aus beiden Welten verbinden

Ein Unterrichtsvorschlag zur Kombination realer und virtueller Experimente in der geometrischen Optik

Salome Flegr

1. Motivation

Experimentieren ist ein grundlegender Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Neben den klassischen (realen) Lernendenexperimenten (vgl. Abbildung 1) können heutzutage jedoch auch virtuelle Experimente (vgl. Abbildung 2) von Schüler*innen an Computern, Laptops oder Tablets durchgeführt werden.

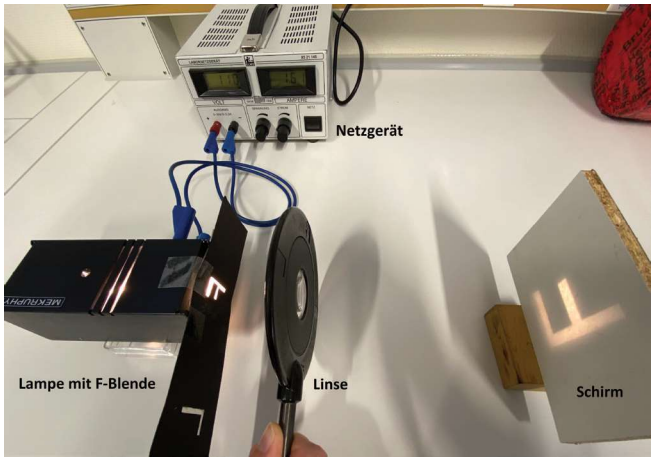


Abbildung 1: *Das Realexperiment zu Abbildungen durch Sammellinsen.*

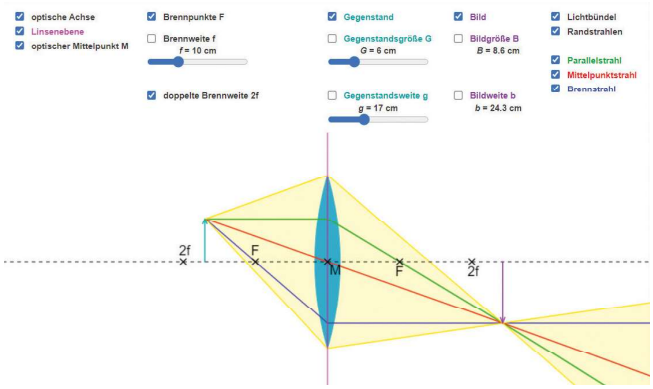


Abbildung 2: *Das virtuelle Experiment zu Abbildungen durch Sammellinsen.*

Virtuelle Experimente ist dabei ein Sammelbegriff für unterschiedlichste interaktive Bildschirmsimulationen, die ein Experiment digital nachstellen. Dabei sind virtuelle Experimente häufig abstrakter als ihre realen Pendants, sind simplifiziert und enthalten konzeptuelle Aspekte, damit sich die Lernenden auf das Wesentliche des Experiments konzentrieren können. In virtuellen Experimenten können verschiedene Variablen des Experiments mithilfe von Schiebereglern oder Ähnlichem verändert werden. Die Konsequenzen dieser Variablenmanipulation können mithilfe einer dynamischen Visualisierung im virtuellen Experiment beobachtet werden.

In der Vergangenheit wurde in zahlreichen empirischen Studien untersucht, inwiefern virtuelle Experimente reale Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht ersetzen können (für einen Literaturüberblick, siehe [1]). Neuere Studien deuten jedoch darauf hin, dass virtuelle Experimente reale nicht ersetzen sollten, sondern vielmehr als Ergänzung von Realexperimenten im Unterricht herangezogen werden sollten (einen ausführlichen Literaturüberblick bietet hier [2]). Beide Experimenttypen besitzen sehr unterschiedliche und komplementäre Vorteile für den Wissens- und Kompetenzerwerb der Schüler*innen ([3], vgl. Tabelle 1). Mit einer Kombination der beiden Experimenttypen kann das Beste aus beiden Welten verbunden und von den Vorteilen beider Experimenttypen profitiert werden.

Tabelle 1: *Vorteile der einzelnen Experimenttypen (nach [3])*

Vorteile von Realexperimenten	**Vorteile von virtuellen Experimenten**
Authentizität: Durch das Beobachten der echten Phänomene, inkl. Messunsicherheiten, Fehlern und z. B. Reibungseffekten kann ein authentisches und glaubhaftes Bild des untersuchten Sachverhalts gewonnen werden.	**Simplifizierung:** Durch eine Reduzierung des Experiments auf seine wesentlichen Inhalte kann den Lernenden das Verstehen abstrakter und theoretischer bzw. konzeptioneller Hintergründe erleichtert werden.
Haptik: Die haptischen Eindrücke, die die Lernenden beim Experimentieren gewinnen können und die daraus resultierende Multimodalität kann das Verständnis der Lerninhalte fördern.	**Integration:** Die Möglichkeit multipler Repräsentationen im virtuellen Experiment (z. B. numerische Datenwerte, Tabellen, Diagramme, die dynamische Visualisierung) erlaubt eine vertiefte Verarbeitung der Informationen.
Alltagsnähe: Die Beobachtungen im Realexperiment sind anknüpfbar an bereits bekannte Phänomene aus dem Alltag der Lernenden, z. B. beim Umgang mit einer Lupe im Experiment zur Abbildung durch Sammellinsen.	**Beobachtbarkeit:** Das Sichtbarmachen von unsichtbaren, konzeptionellen oder modellhaften Aspekten direkt im virtuellen Experiment kann es den Lernenden erleichtern, konzeptuelle Aspekte zu verstehen.
Sorgfalt: Da im Realexperiment zahlreiche Möglichkeiten bestehen, das Experiment nicht korrekt aufzubauen oder durchzuführen, muss die Planung und Durchführung sehr sorgfältig und zielbewusst angegangen werden.	**Beschleunigung:** Die vorgegebenen Manipulationsmöglichkeiten reduzieren die Komplexität des Experimentierens; die einzelnen Messungen können schnell durchgeführt und oft wiederholt werden.

Handhabung: Die Arbeit mit spezifischen Materialien und Messgeräten fördert die (motorischen) Fähigkeiten der Lernenden, diese korrekt handzuhaben und zu bedienen.	**Unkompliziertheit:** Durch die einfache Verfügbarkeit von virtuellen Experimenten auf digitalen Geräten entfällt das z.T. zeitintensive Aufbauen und Abbauen der Experimente.

Dieser Artikel beschreibt im Folgenden einen praktischen Unterrichtsvorschlag zur Umsetzung einer Lerneinheit mit einer Kombination eines realen (Abbildung 1) und eines virtuellen (Abbildung 2) Experiments im Physikunterricht der Jahrgangsstufe 7/8. Der Inhalt der Lerneinheit ist das Thema *Abbildungen durch Sammellinsen*, das Teil des Themenblocks *geometrische Optik* ist.

2. Unterrichtsvorschlag

Dieser Unterrichtsvorschlag ist auf eine reguläre Doppelstunde (Umfang: 90-100 Minuten) in Physik ausgelegt. Die erwähnten und verlinkten Materialien für diese Physikstunde wurden in zwei empirischen Studien evaluiert und es konnte ein deutlicher Lernzuwachs bei den teilnehmenden Schüler*innen nachgewiesen werden ([4], [5]).

Die Lernziele der Unterrichtseinheit sind:

- Die Schüler*innen erwerben Grundwissen und vertieftes Konzeptwissen zum Themenbereich Abbildungen durch Sammellinsen
- Die Schüler*innen kennen grundlegende Begriffe bei der Linsenabbildung, kennen das Phänomen der Abbildung durch eine Sammellinse, kennen das Konzept der Konstruktionsstrahlen und verstehen die Grundlagen der Punkt-zu-Punkt-Abbildung bei der Bildentstehung mithilfe einer Sammellinse
- Die Schüler*innen verstehen die Auswirkungen auf das Bild des Gegenstands bei einer Änderung der Größen f, g und G
- Die Schüler*innen trainieren ihre Fähigkeiten zum selbstständigen Experimentieren sowohl mit dem Realexperiment als auch mit dem virtuellen Experiment

Die inhaltlichen Voraussetzungen für diese Unterrichtsstunde sind:

- Kenntnis der Strahlenvorstellung von Licht und der Vorstellung von Lichtbündeln
- Kenntnis der Lichtbrechung am Übergang von zwei Medien, idealerweise Kenntnis der Lichtbrechung an einem Prisma

Die Materialien, die benötigt werden, sind:

- Die beiden Arbeitsdokumente, das *Arbeitsblatt zum Einstieg* und die *Experimentieranleitung*, die am Ende des Artikels zum Download verlinkt sind
- Experimentieraufbauten für das Realexperiment in einer Anzahl, dass immer 2-3 Schüler*innen in einer Kleingruppe an einem Experiment arbeiten können
- Entweder pro Gruppe oder pro Person ein digitales Endgerät (z. B. iPad, Tablet, Laptop) mit Internetzugang, sodass die Schüler*innen das virtuelle Experiment einfach über den Link in der *Experimentieranleitung* aufrufen können

Die Unterrichtsstunde setzt sich aus zwei Teilen zusammen: dem Einstieg am Anfang der Stunde (ca. 20-30 Minuten) und der Experimentierphase danach (ca. 60-70 Minuten). Alternativ kann bei zwei Einzelstunden auch der Einstieg und der Beginn des Experimentierens mit dem virtuellen Experiment in Stunde 1 und weiteres Experimentieren mit dem virtuellen Experiment sowie das Experimentieren mit dem Realexperiment in Stunde 2 durchgeführt werden.

2.1 Einstieg

Im Einstieg werden grundlegende Kenntnisse über die Sammellinse vermittelt. Dafür wird das *Arbeitsblatt zum Einstieg* (s. Abbildung 3) gemeinsam mit den Schüler*innen Stück für Stück im Klassengespräch ausgefüllt. Das Arbeitsblatt (als bearbeitbares Word-Dokument) sowie eine ausgefüllte Version des Arbeitsblatts sind am Ende des Artikels unter der Rubrik *Online zur Verfügung gestellte Materialien* zu finden.

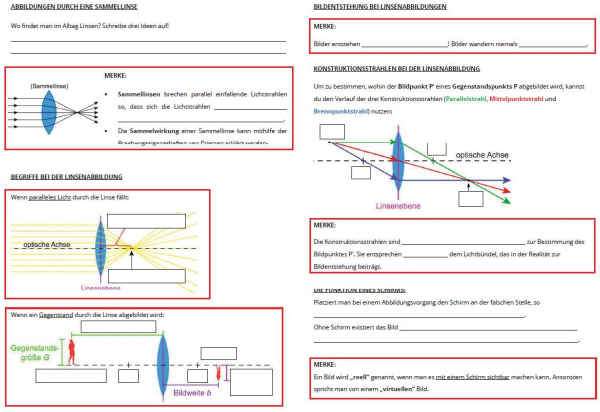


Abbildung 3: *Eine Miniaturversion zum* ***Arbeitsblatt zum Einstieg****, das am Ende des Artikels als Dokument zum Download verlinkt ist. Die Abbildungen auf dem Arbeitsblatt wurden ursprünglich von der Webseite https://www.leifiphysik.de/optik/optische-linsen (Copyright: Joachim Herz Stiftung) entnommen und für das Arbeitsblatt modifiziert.*

Die Lehrkraft kann während der schrittweisen Besprechung des Arbeitsblatts immer wieder zusätzlichen Input geben. Zum Beispiel kann ein Freihandexperiment vorgeführt werden, bei dem der Abbildungsvorgang durch eine Sammellinse mit einer Lupe und einer Taschenlampe auf die Wand des Klassenzimmers demonstriert wird.

Ebenso können kurze Videoclips von YouTube herangezogen werden, um beispielsweise die Sammelwirkung einer Sammellinse zu demonstrieren. Das kann einen Einblick geben, dass diese Funktion der Sammellinse im Alltag auch gefährlich sein

kann und zum Beispiel eine unachtsam weggeworfene Glasflasche im Wald in trockenen Sommern im schlimmsten Fall einen Waldbrand auslösen kann (siehe bspw. *https://www.youtube.com/watch?v=NK0ju7Bgmw0*).

Zusätzlich können Animationen der Webseite LEIFIphysik gezeigt werden. Besonders geeignet als Ergänzung zum *Arbeitsblatt zum Einstieg* sind die vier Animationen (1) Linsenformen Konvexlinse (Animation), (2) Bildentstehung bei Linsenabbildungen – Falsche Vorstellung (Animation), (3) Bildentstehung bei Linsenabbildungen – richtige Vorstellung (Animation) und (4) Konstruktionsstrahlen bei der Linsenabbildung (Animation). Diese Animationen können unter dem folgenden Link von LEIFIphysik kostenfrei heruntergeladen werden: *https://www.leifiphysik.de/optik/optische-linsen/downloads*.

2.2 Experimentierphase

Ist das Arbeitsblatt zum Einstieg vollständig ausgefüllt und ausführlich besprochen, folgt der zweite Teil der Unterrichtsstunde, die Experimentierphase. Hier arbeiten die Schüler*innen in Kleingruppen von 2-3 Personen selbstständig mit den beiden Experimenttypen *Realexperiment* und *virtuelles Experiment* (Simulationsexperiment). Angeleitet werden sie dabei von einer achtseitigen *Experimentieranleitung* (s. Abbildung 4), die ebenfalls unter der Rubrik *Online zur Verfügung gestellte Materialien* am Ende dieses Artikels zum Download angeboten wird. Analog zum *Arbeitsblatt zum Einstieg* liegt auch die *Experimentieranleitung* als bearbeitbares Word-Dokument vor und wird von einer ausgefüllten Version zum Download ergänzt.

Die Schüler*innen untersuchen mit den beiden Experimenttypen drei Eigenschaften von Abbildungen durch Sammellinsen: (a) Den Einfluss der Brennweite f der Linse auf das Bild des Gegenstands, (b) den Einfluss der Gegenstandsweite g auf das Bild des Gegenstands und (c) den Einfluss der Gegenstandsgröße G im Vergleich zur Linsengröße auf das Bild des Gegenstands. Sie arbeiten dabei zuerst mit dem virtuellen Experiment auf einem iPad oder wahlweise einem anderen Tablet oder Laptop und anschließend mit dem Realexperiment. Der Link zum virtuellen Experiment (*https://www.golabz.eu/lab/converging-lens-sammellinse*) ist sowohl als ausgeschriebener Link zum Abtippen als auch als QR-Code in der *Experimentieranleitung* zu finden.
Nachdem die Schüler*innen alle Aufgaben aus der *Experimentieranleitung* bearbeitet haben, sollten die Ergebnisse noch im Plenum besprochen und gesichert werden.

3. Fazit und Ausblick

Virtuelle Experimente sollten im Unterricht möglichst nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zu Realexperimenten eingesetzt werden, um das Beste aus beiden Welten zu verbinden [2]. Eine Möglichkeit für die Implementierung einer solchen Kombination im Optikunterricht der Jahrgangsstufe 7/8 wurde in diesem Artikel in einem Unterrichtsvorschlag dargestellt.

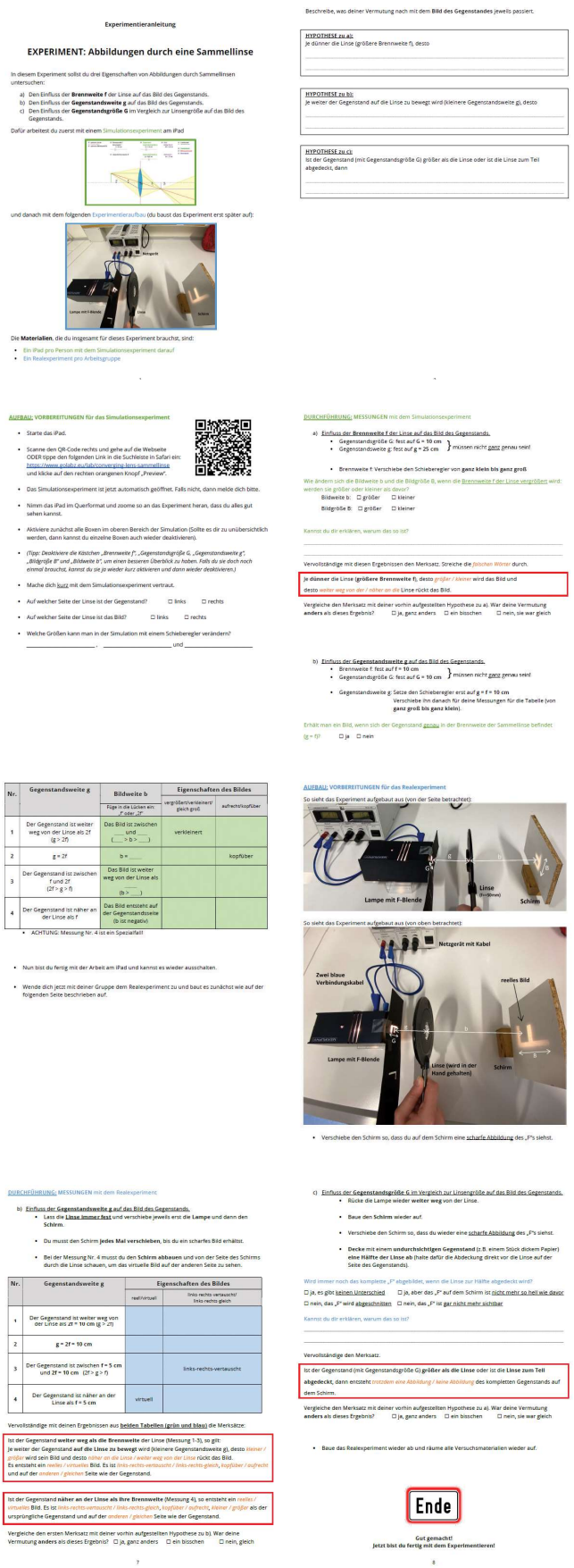


Abbildung 4: *Eine Miniaturversion aller acht Seiten der Experimentieranleitung, die am Ende des Artikels als Dokument zum Download verlinkt ist.*

Der gezielte Einsatz von virtuellen Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht kann erleichtert werden, wenn Lehrkräften geeignete Quellen zum Auffinden der bereits entwickelten virtuellen Experimente zur Verfügung stehen. Es existieren zahlreiche Internetseiten, auf denen bereits voll funktionsfähige und kostenlose virtuelle Experimente zu finden sind. Zwei der Seiten mit dem breitesten Angebot an kostenfreien virtuellen Experimenten sind *https://phet.colorado.edu/de/* und *https://www.golabz.eu/labs*. Eine ausführliche Darstellung von diesen und weiteren Anbieterseiten findet sich in [6]. Ebenso sind dort weitere Tipps zum Einsatz von kombinierten realen und virtuellen Experimenten zu finden und eine Checkliste zum Bewerten eines virtuellen Experiments, die Lehrkräfte beim Finden des am besten geeigneten virtuellen Experiments unterstützen kann.

Auf der Webseite von Plus Lucis zur Verfügung gestellte Materialien:

- Link zum Arbeitsblatt zum Einstieg
- Link zum Arbeitsblatt zum Einstieg – ausgefüllt
- Link zur Experimentieranleitung
- Link zur Experimentieranleitung – ausgefüllt

Salome Flegr *Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Ludwig-Maximilians Universität München*

Literatur

[1] Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. Computers & Education, 87, S. 218-237.

[2] Wörner, S., Kuhn, J., Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: A systematic review on combining real and virtual experiments in science education. Review of Educational Research, 92(6), S. 911-952.

[3] de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. Science, 340, S. 305-308.

[4] Flegr, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2023). How to foster STEM learning during Covid-19 remote schooling: Combining virtual and video experiments. Learning and Instruction, 86, S. 101778.

[5] Flegr, S., Kuhn, J., Scheiter, K. (2023). When the whole is greater than the sum of its parts: Combining real and virtual experiments in science education. Computers & Education, 197, S. 104745.

[6] Wörner, S., Scheiter, K., & Kuhn, J. (2021). Das Beste aus beiden Welten: Simulationsexperimente als Ergänzung zu Realexperimenten. In J. Meßinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), Naturwissenschaften digital – Toolbox für den Unterricht, Band 2, (S. 48-51). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

Experimentiervideos – Mehr als ein Ersatz für Realexperimente

Lisa Stinken-Rösner und Monique Meier

„Das Experiment spielt im naturwissenschaftlichen Unterricht eine zentrale Rolle. Ohne Experimente ist ein naturwissenschaftlicher Unterricht kaum denkbar“ (übersetzt nach [1, S. 17]). Dementsprechend ist es wenig verwunderlich, dass durchschnittlich in jeder zweiten Chemie- und Physikstunde Experimente von der Lehrkraft demonstriert oder von den Lernenden selbst durchgeführt werden [2]. Dabei dienen Experimente nicht nur der Veranschaulichung oder dem Erlernen bzw. Vertiefen von Fachinhalten, sondern ebenfalls als Methode der Erkenntnisgewinnung [3].

Neben Experimenten hat insbesondere die Bedeutung von Videos als digitales Lernwerkzeug in den vergangenen, nicht zuletzt von Home- und Distance Learning geprägten, Jahren zugenommen [4]. Dabei standen zunächst Lehr- oder Erklärvideos mit dem primären Ziel, Fachinhalte zu vermitteln, im Fokus, welche von den Lernenden vornehmlich passiv rezipiert werden [5]. Allerdings hat sich im Zuge der fortschreitenden technologischen Entwicklungen sowohl das Medium Video selbst (siehe z. B. [6] für eine Gegenüberstellung verschiedener interaktiver Videoformate), als auch dessen Einsatzspektrum in den vergangenen Jahren stark weiterentwickelt. Ein Beispiel stellt das Projekt *VidEX – Lehren und Lernen mit Experimentiervideos* [7, 8] dar, welches reale und digitale Lernzugänge zu fachlichen wie auch methodischen Lerninhalten in der Zusammenführung von Experiment und Video schafft.

1. Experimentiervideos

Das Medium Experimentiervideo entsteht aus der Kombination der Methode des Experimentierens und dem digitalen Werkzeug der Videografie [8]. Die Kombinationsmöglichkeiten aus Realexperiment und Experimentiervideo sowie didaktische Einsatzszenarien für den Unterricht sind sehr vielseitig (vgl. 2). Gemeinsam ist allen Formen von Experimentiervideos, dass sie den Ablauf eines Experimentes oder mehrerer miteinander in Verbindung stehender Experimente naturgetreu auf Video festhalten. Anstatt einer idealisierten Darstellung standardisierter Experimente wie bei Simulationen, werden reale oder realitätsnahe Versuchsdurchführungen, zum Teil inklusive zugehöriger methodischer Grenzen, videographiert und für den naturwissenschaftlichen Unterricht aufbereitet [9]. Häufig werden hierbei Experimente ausgewählt, deren praktische Umsetzung im Unterricht Lehrkräfte und Lernende vor vielfältige Herausforderungen oder Barrieren stellt, z. B. aufgrund von Zeit-, Material- oder Sicherheitsbeschränkungen [8, 9].

Experimentiervideos bieten die Option zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand bei Einbettung von interaktiven Funktionen im Video. Eingebunden werden Multimedia-Komponenten (z. B. lineare Videos mit Multimedia-Aufgabenstellungen) in Form von u. a. Text, Bild, Links oder weiteren Videos, die durch die Lernenden individuell abrufbar oder zeitlich-terminiert im Video verankert sind. Ebenso kann den Lernenden die Möglichkeit gegeben werden, den Ablauf des videographierten Experimentes selbstständig zu beeinflussen, indem z. B. vordefinierte Ausprägungen von unabhängigen Variablen ausgewählt bzw. kombiniert werden können, wodurch zu der entsprechenden Szene im Video gesprungen wird (nicht-lineare Videos). Beispiele für ein lineares Experimentiervideo mit Multimedia-Aufgabenstellungen zum Treibhauseffekt sowie eines nicht-linearen Experimentiervideos zum Druck in Gasen sind in [6] vorgestellt. Mit der digitalen Erweiterung um interaktive Elemente ähnelt das Experimentiervideo den in der Physik seit langem etablierten interaktiven Bildschirmexperimenten [10], unterscheidet sich u. a. jedoch im zugrundeliegenden Format (Fotos vs. Video).

1.1. Vom Realexperiment zum Experimentiervideo – Gestaltungsprinzipien

Bei der Konzeption und Produktion von Experimentiervideos sollten eine Reihe von Gestaltungsprinzipien beachtet werden, die förderlich für den Informationstransfer und das digital gestützte naturwissenschaftliche Lernen sind [8]. Hierzu zählen zum einen aus der kognitionspsychologischen Forschung abgeleitete Prinzipien zur multimedialen Darstellung von Inhalten [11]. Diese beziehen sich u. a. auf das Zusammenspiel unterschiedlich genutzter Repräsentationsformen und der Fokussierung und Strukturierung von Inhalten in einem multimedial-digitalem Lernmedium. Da Experimentiervideos i.d.R. keine Tonspur bzw. zusätzliche Audio-Erklärungen besitzen und der Umfang zumeist auf ein Experiment fokussiert ist, kommen nicht alle multimedialen Gestaltungsmerkmale gleichermaßen zum Tragen. Werden Texte zur Erklärung oder Beschriftung im Experimentiervideo eingeblendet, sollten diese zeitlich und in räumlicher Nähe zur dazugehörigen Visualisierung erscheinen (Kontiguität). Hierbei sollten nur wirklich relevante Informationen, ohne Ausschweifungen oder illustrative Elemente, eingeblendet werden (Kohärenz). Für die konzeptionell-inhaltliche Darstellung eines Experimentes in einem Experimentiervideo können zum anderen die Gestaltungsprinzipien für (chemische) Demonstrationsexperimente [12-14] angelegt werden (Abb. 1). Wie die Anwendung jener in einem

Experimentiervideo aussehen kann, ist in Kasten 1 zusammengefasst. Ein Video-Tutorial zur Produktion von Experimentiervideos entlang der vorgestellten Gestaltungsprinzipien ist unter [7] abrufbar.

Abbildung 1: *Tutorial mit Tipps zum Aufbau, Ablauf und Material bei der Produktion von Experimentiervideos bezugnehmend auf die Gestaltungsprinzipien für Demonstrationsexperimente*

Kasten 1: *Merkmale in der Gestaltung von Experimentiervideos entsprechend der Gestaltungsprinzipien (chemischer) Demonstrationsexperimente [12-14]*

Gestaltungsmerkmal/-prinzip	**Ausprägung im (VidEx)-Experimentiervideo**
Nähe: nahe beieinanderstehende Objekte gelten als einander zugehörig	Im Video wird das Experiment Schritt für Schritt durchgeführt. In jedem Schritt braucht es nur bestimmtes Material, welches entsprechend nur im Bild zu sehen sein sollte, wenn es gebraucht wird. Material, das funktional im Experiment zusammengehört, sollte auch nahe beieinander platziert werden. Je weiter auseinander, desto weniger gehören Objekte für die Betrachter*innen zusammen, wodurch inhaltliche Fehlinterpretationen entstehen können.
Dynamik: die (kulturell geprägte) Wahrnehmung verläuft von links nach rechts	Handlungen der ausführenden Person im Experimentiervideo sollten soweit möglich immer, aus der Perspektive der Videorezipienten, von links nach rechts erfolgen. Die reale Handlung wird folglich von rechts nach links vor der Kamera ausgeführt. Nicht immer ist dieses Prinzip durchzuhalten bzw. für das Experimentiervideo sinnig umzusetzen, wie z. B. bei gleichzeitig auszuführenden Handlungen an mehreren Versuchsaufbauten.
Symmetrie: symmetrisch aufgebaute Apparaturen sind besonders wahrnehmungsfreundlich	Der Aufbau zum Experiment sollte durchweg, d. h. auch bei Umbaumaßnahmen während der Durchführung, möglichst symmetrisch sein. Die Wahrnehmung wird nicht abgelenkt und vor allem in die Mitte der Apparatur gelenkt, d. h. dort sollte sich das Wesentliche im Experimentiervideo abspielen.
Kontrast: die Experimentalanordnung sollte sich deutlich vom Hintergrund abheben	Egal ob eine Person, Teile einer Person oder nur die Experimentalanordnung im Video zu sehen ist, wesentlich ist, dass diese sich von allem anderen abhebt. Aufregende Farben oder Muster in der Kleidung einer agierenden Person oder eines Hintergrundbildes beim Experimentieren sollten vermieden werden. Hingegen sollte die ganze Anordnung der einzelnen Bildelemente im Video sehr kontrastreich sein.
Gleichartigkeit: (gleichartige) Objekte werden entsprechend ihrer Funktion gleichartig genutzt	Zumeist kann jedem Gerät eine wesentliche Funktion in einem Experiment zugeschrieben werden. In dieser Funktion sollte es durchweg im Video bzw. bei dem Experiment verwendet werden, genauso sollten unterschiedliche Objekte unterschiedliche Funktionen haben. D. h. werden beispielsweise in einem Stromkreis die Stromstärke und Spannung gemessen, so ist die Nutzung unterschiedlicher Geräte vorteilhaft für das Verständnis.
Einfachheit: einfache Apparaturen sind prägnanter	Meistens geht es auch etwas einfacher – zu komplexe Aufbauten in einem stummen Video müssen selbstständig erschlossen werden; die zugehörige Wahrnehmung ist komplexer und der Inhalt damit meist weniger einprägsam als Durchführungssettings mit einfacheren Apparaturen.

Neben von Lehrenden oder Lernenden erstellten Experimentiervideos – welche bereits mit dem eigenen Smartphone aufgezeichnet werden können – existieren verschiedene, professionelle (Online-) Anbietende bzw. Bezugsquellen für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Dazu zählen beispielsweise VidEX – Lehren und Lernen mit Experimentiervideos [7], die stummen Videos des Lehrstuhls für Didaktik der Physik der LMU München [15], die umfangreichen Videosammlungen zu klassischen chemischen Schulversuchen der Didaktik der Chemie der Bergischen Universität Wuppertal [16] und des Instituts für Didaktik der Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen [17], oder der YouTube Kanal Ecole Science [18]. Alle diese Anbietenden verzichten, im Gegensatz zu Lehr- oder Erklärvideos, bei ihren Experimentiervideos bewusst auf ergänzende Tonspuren, soweit diese nicht für die Beobachtung bzw. Erklärung des Experiments selbst relevant sind, wodurch sich neue Aufgabenformate für den Unterricht ergeben (vgl. 2.2).

2. Mehr als ein Ersatz für Realexperimente

Entgegen dem noch häufig vorherrschenden Verständnis, in dem Experimentiervideos vornehmlich einen Ersatz für das Realexperiment darstellen (insbesondere forciert durch pandemiebedingte Schulschließungen) und durch dessen Integration in den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung folglich kein Mehrwert erzielt wird bzw. werden kann [8], bietet das Medium Experimentiervideo vielfältige sowie differenzierte Einsatzmöglichkeiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Im Folgenden werden verschiedene Einsatzszenarien, mit und ohne Kombination mit realen Experimenten, skizziert.

2.1. Kombination aus Realexperiment und Experimentiervideo

Die im Unterricht zeitlich wie inhaltlich eng miteinander verknüpfte Nutzung von realen Experimenten und Experimentiervideos, bzw. einzelner Sequenzen aus jenen, kann als Ausgangspunkt zur vertieften kognitiven Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand genutzt werden. Es lassen sich folgende exemplarische Szenarien skizzieren:

- Vormachen-Nachmachen-Funktion: Mit der Nutzung des Experimentiervideos als Videoexperimentieranleitung wird die selbstständige Durchführung des Realexperimentes durch die Lernenden forciert [8, 19].
- **Nutzung von Visualisierungen:** Ergänzend zur Beobachtung beim realen Experiment können bildgebende Informationsquellen/Verfahren wie z. B. die Wärmebildkamera im passenden Experimentiervideo zur weiterführenden Beobachtung genutzt werden [7].
- **Erweiterung des Datenpools:** Die im realen Experiment erhobenen Daten werden durch die Erfassung zusätzlicher Messwerte aus dem Experimentiervideo ergänzt [9].
- **Reflexions-Funktion:** Reflexion des eigenen realen Experimentes bzw. der verschiedenen Experimentierphasen und der gewonnenen Daten entlang des Experimentiervideos [6].

Neben der Kombination von Real und Digital innerhalb der Unterrichtszeit, kann auch eine Kombination von realem Experiment und Experimentiervideo über diese hinaus geschehen. Pandemische Unterrichtsbedingungen, wie z. B. Wechselunterricht, haben hier sicherlich einen besonderen Einfluss in der verstärkten Nutzung gehabt. Vorteile, die sich aus den folgenden exemplarischen Einsatzszenarien ergeben, sollten jedoch auch weiterhin für den naturwissenschaftlichen Unterricht genutzt werden:

- **Vorbereitungs-Funktion:** Experimentiervideos können außerhalb der eigentlichen Unterrichtszeit als Vorbereitung auf anstehende, unterrichtliche Experimentierphasen eingesetzt werden, wodurch die Experimentierzeit im Unterricht effektiver genutzt werden kann (angelehnt an dem Flipped-Lab-Konzept [20]).
- **Vertiefungs-Funktion:** Ergänzend zum realen Experiment bieten Experimentiervideos die Möglichkeit zur wiederholten und vertieften Auseinandersetzung mit dem Experiment in individualisierten Lernzeiten und/oder Verlegung einzelner Phasen, wie z. B. der Erfassung der Messwerte, aus dem Unterricht in die Hausaufgaben.

Zudem können sowohl im Einsatz als auch in der Gestaltung von Experimentiervideos Differenzierungsmöglichkeiten zur Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen umgesetzt werden. Stellt sich das reale Experiment z. B. aufgrund physischer und/oder kognitiver Barrieren nicht als angemessener Lerngegenstand dar, können Experimentiervideos zusätzlich oder alternativ zum Realexperiment angeboten werden [9].

Ein Beispiel für die Kombination aus realem Experiment und Experimentiervideo stellt das *VidEX*-Modul zur Wärmeleitung in Metallen dar (Abbildung 2).

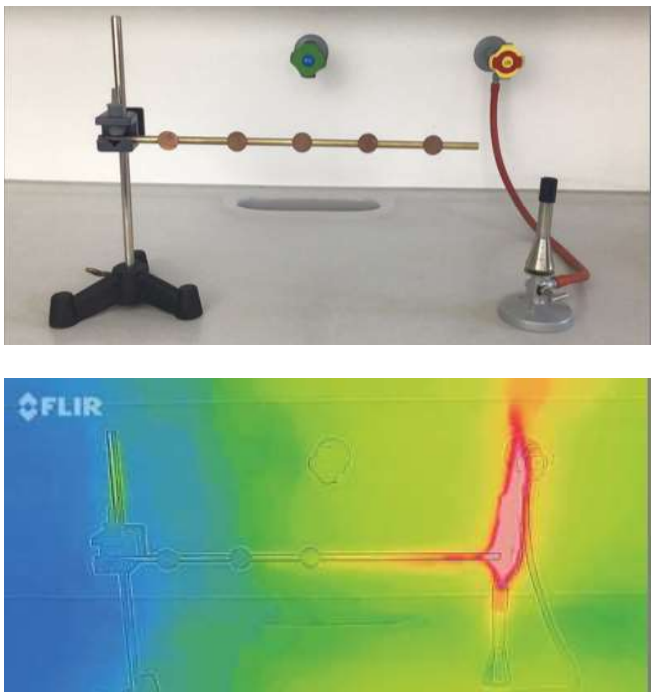


Abbildung 2: *Screenshots aus den VidEX-Experimentiervideos zur Wärmeleitung in Metallen, oben: Realbild, unten: Wärmebild. User*innen können aus acht Experimentiervideos wählen: je eine reale und eine Aufnahme mit der Wärmebildkamera des Experimentes mit insgesamt vier unterschiedlichen Metallstäben (Kupfer, Messing, Aluminium und Stahl, jeweils 5 mm Durchmesser).*

Die Experimentiervideos (Abb. 2, oben) oder einzelne Bilder daraus können als Vorlage für den Versuchsaufbau sowie die Durchführung des realen Experimentes im Physik- oder Chemieraum dienen. Gleichzeitig können die Videos z. B. in Kombination mit einem Demonstrationsexperiment durch die Lehrkraft genutzt werden, wodurch der Problematik fehlender Gasanschlüsse im Physikraum sowie der erhöhten Verletzungsgefahr durch die Arbeit mit dem Bunsenbrenner vorgebeugt werden kann, sodass ggf. auftretende materielle Barrieren abgebaut werden. Ebenso bietet die ergänzende Nutzung der Experimentiervideos neben dem realen Experiment die Chance, mit Hilfe der Zeitrafferfunktion auch "schlecht" leitende Metalle innerhalb einer Unterrichtsstunde oder ergänzend als Hausaufgabe zu untersuchen. So dauert das in Abb. 2 dargestellte, typischerweise mit einem Kupferstab (d = 5 mm) durchgeführte Experiment knapp 5 Minuten, bei einem Stahlstab mit gleichem Durchmesser dauert die Durchführung des Experimentes ein Vielfaches. Neben den realen Aufnahmen der einzelnen Experimente, stehen jeweils ergänzende, mit der Wärmebildkamera aufgenommene Versionen der Experimentiervideos zur Auswahl (Abb. 2, unten). Durch den Einsatz der Wärmebilder wird der Temperaturgradient innerhalb des jeweiligen Metallstabes farblich visualisiert.

2.2 Experimentiervideos als eigenständiges digitales Lehr-Lernwerkzeug

Dem Einsatz des Experimentiervideos kann die Formulierung von Hypothesen, häufig zu einer vorgegebenen Fragestellung,

sowie die Planung eines möglichen Experimentes vorausgehen. Das Video selbst visualisiert eine mögliche experimentelle Durchführung sowie die visuelle, qualitative oder quantitative Darstellung der Messgrößen. Ausgehend vom Experimentiervideo bzw. dessen fach(methodischen) Inhalt sowie ggf. zusätzlicher interaktiver Elemente (vgl. 1.), können für den naturwissenschaftlichen Fachunterricht u. a. folgende didaktische Lehr-Lern-Szenarien beschrieben werden [9]:

- **Hypothese und Planung:** Experimentiervideos bieten die Möglichkeit Einblicke in eine beispielhafte Umsetzung von Experimenten entlang vorher aufgestellter Hypothesen zu geben. Hierbei werden fachmethodische Kompetenzen u. a. in der Variablenkontrolle bei der Planung wie auch fachliches Wissen in der Rückbindung zu einer Hypothese mit Interpretation der aus dem Experimentiervideo gewonnenen Daten anvisiert.
- **Messwerterfassung:** In den Aufnahmeperspektiven wie auch der Bildqualität bestehen hohe Ansprüche an professionell erstellte Experimentiervideos, damit diese als Grundlage zur Erfassung von Daten genutzt werden können. So können bspw. Effekte, die nur schwer als Demonstrationsexperimente für alle Lernenden im Physik- oder Chemieraum sichtbar präsentiert werden können, leicht auf Video festgehalten werden. Ebenso können Experimente, bei denen umfangreiche Datensätze generiert werden müssen oder viele Messwiederholungen nötig sind, ggf. im Zeitraffer dargestellt und in einem deutlich kürzeren Zeitraum ausgewertet werden. Um nicht direkt wahrnehmbare Objekte zu beobachten und zugehörige Größen quantitativ zu erfassen, können zusätzliche digital bildgebende Zugänge, z. B. über Wärmebildkameras, digitale Messsensoren oder Mikroskope, in das Video integriert werden.
- **Fehleranalyse:** Das im Video dargestellte Experiment kann hinsichtlich methodischer Fehler z. B. im Aufbau oder der Datenerfassung analysiert werden. Im Vergleich von variierendem Aufbau und Vorgehen bei der Durchführung können methodische Schwächen und Störfaktoren für das jeweilige Experimentalsetting erarbeitet und experimentell gewonnene Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft reflektiert werden (s. Bsp. VidEX Modul "Honig-Experimente" [7]).
- **Flipped-Classroom:** In der Vermittlung und Erarbeitung von Fachinhalten oder Fachmethodik kann das Experimentiervideo den inhaltlichen Lernprozess rahmen. Eine Vor- und Nachbereitung von fachinhaltlich ausgerichteten Unterrichtssequenzen können mittels Experimentiervideos im Fachunterricht oder zu Hause umgesetzt werden [21].

Die unterrichtliche Nutzung von Experimentiervideos kann in Einzel- wie auch Gruppenarbeit stattfinden. Wichtig ist in beiden Fällen die Einbettung des Mediums in den Unterricht, um aktive Lernphasen zu initiieren. Wesentlich für die aktive Wissenskonstruktion mit Videos sind begleitende und/oder anschließende Lernaufgaben, ähnlich wie bei Erklärvideos [22]. Darüber hinaus werden durch das Medium selbst sowie den zunehmenden digitalen Erweiterungen von Experimentiervideos (neuartige) Zugänge geschaffen, die u. a. dazu beitragen können, individualisiertes und kollaboratives Lernen zu unterstützen:

- **digital-integrierte Lernaufgaben:** In das Experimentiervideo eingebettet ermöglichen zusätzliche, optionale oder obligatorische Aufgabenstellungen und/oder Informationsquellen eine individuelle und differenzierte Steuerung des eigenen Lernprozesses [6].
- **Videovertonung:** Experimentiervideos sind zumeist stumme Videos. Dies ermöglicht die Produktion eigener digitaler Elemente durch die Lernenden, indem sie selbst das gegebene Video vertonen. Neben Fach- und Methodenwissen werden hierbei vorallem Fachsprache und digitale Kompetenzen gefördert. Zudem bietet die Vertonung von Experimentiervideos ein alternatives Instrument einer digital-gestützten Leistungserhebung [23].
- **Videoannotation:** Eine ortsunabhängige Kommunikation zu eigenen oder fremden Videos kann digital-gestützt mit Hilfe von Videoannotationstools stattfinden. Hierbei können beispielsweise zeit-/framebasierte (individuelle) Anmerkungen an der Videospur eine kollaborative Diskussion über das im Video dargestellte Experiment entfachen [24].

3. Fazit

Die funktionelle Rolle von Experimentiervideos beim Lehren und Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht ist vielseitiger als es sich auf den ersten Blick vielleicht vermuten lässt – vom ersetzenden Einsatz bei Experimenten, die im Fachraum nicht durchgeführt werden können, über erweiterte und modifizierte Zugänge in der Kombination von Realexperiment und digitalen Pendant bis hin zu neudefinierten Lernzugängen über das Medium Video lässt sich der naturwissenschaftliche Fachunterricht mit Hilfe von Experimentiervideos digital(-gestützt) (um)gestalten (angelehnt am SAMR-Modell [5]).

Lisa Stinken-Rösner *Physik und ihre Didaktik, Universität Bielefeld*
Monique Meier *Didaktik der Biologie, Technische Universität Dresden*

Literatur

[1] Duit, R., & Tesch, M. (2010). On the role of the experiment in science teaching and learning—Visions and the reality of instructional practice. In M. Kalogiannakis, D. Stavrou, & P. Michaelidis (Eds.), Proceedings of the 7th International Conference on Hands-on Science (pp. 17-30). Rethymno-Crete.

[2] Stinken-Rösner, L. (2020). Simulations in Science Education – Status Quo. Progress in Science Education (PriSE), 3(1), Art. 1. https://doi.org/10.25321/prise.2020.996

[3] Girwidz, R. (2020). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz, & H. E. Fischer (Hrsg.), Physikdidaktik | Grundlagen (S. 263-291). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_7

[4] forsa. Politik- und Sozialforschung (Hrsg.). (2020). Das Deutsche Schulbarometer Spezial Corona-Krise. Ergebnisse einer Befragung von Lehrerinnen und Lehrern an allgemeinbildenden Schulen im Auftrag der Robert Bosch Stiftung in Kooperation mit der ZEIT. forsa Politik und Sozialforschung GmbH.

[5] Weidenhiller, P. (in Vorbereitung). Fachspezifische Arbeitsweisen in heterogenen Klassen digital unterstützen. Eine Interventionsstudie mit Biologie-Lehrkräften an Gymnasien und FOS/BOS.

[6] Meier, M., Stinken-Rösner, L., & Zeller, D. (2022). Interaktive Videoformate für den naturwissenschaftlichen Unterricht—Vom Rezipieren zum Interagieren. Unterricht Biologie, 475, 44-47.

[7] VidEX – Experimentiervideos zum Lehren und Lernen (o.J.). https://videx-nawi.de/

[8] Meier, M., Kastaun, M., & Stinken-Rösner, L. (2022). Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht – Lehren und Lernen mit und durch VidEX. In E. M. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), Digitale NAWIgation von Inklusion: Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht (S. 51-65). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37198-2_5

[9] Stinken-Rösner, L., Weidenhiller, P., Nerdel, C., Weck, H., Kastaun, M., & Meier, M. (2023). Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. Laubmeister, C. Lee, C. Melzer, I. Schwank, H. Weck, & K. Ziemen (Hrsg.), Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung (S. 152-167). Verlag Julius Klinkhardt. https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/60457

[10] AG Didaktik der Physik – Freie Universität Berlin (2023). Interaktive Bildschirmexperimente. https://tetfolio.fu-berlin.de/web/980458

[11] Mayer, R. (Hrsg.). (2005). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819

[12] Schmidkunz, H. (1983). Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. In Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie (Bd. 31, Nummer 10, S. 360-367).

[13] Schmidkunz, H. (2004). Das Gesetz der Dynamik von links nach rechts bei chemischen Demonstrationen. CHEMKON, 11(3), 137-140. https://doi.org/10.1002/ckon.200410013

[14] Schmidkunz, H., & Klaetsch, H. (1996). Zum Einfluß der Hintergrundfarben auf die visuelle Wahrnehmung von chemischen Experimentieranordnungen—Eine empirische Studie. CHEMKON, 3(3), 120-122. https://doi.org/10.1002/ckon.19960030305

[15] Schweinberger, M. (o.J.). "Stumme Videos" zur Ausbildung von Physiklehrkräften. https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/lehrerbildung/lehrerbildung_lmu/video/index.html

[16] Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie, Bergische Universität Wuppertal (o.J.). https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/digitale-medien/videos-zu-klassischen-schulversuchen/

[17] Institut für Didaktik der Chemie, Justus-Liebig-Universität Gießen (o.J.). https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb08/Inst/chemiedidaktik/vidpool-ord/exp_Typ1_ord/exp_Typ1

[18] Ecole Science (o.J.). https://www.youtube.com/@EcoleScience/featured

[19] Mézes, C., Erb, R., & Schröter, E. (2012). Der Einfluss von Videoexperimentieranleitungen auf die Motivation von Schülerinnen und Schülern. PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 1(11), Art. 11.

[20] Burdinski, D. (2022), Hochschule: Besser vorbereitet ins Labor. Nachr. Chem., 70, 14-17. https://doi.org/10.1002/nadc.20224123792

[21] Sams, A. (2012). Der „Flipped Classroom". In A. Sperl & J. Handke (Hrsg.), Das Inverted Classroom Model. Begleitband zur ersten deutschen ICM-Konferenz (S. 13-24). Oldenbourg Wissenschaftsverlag.

[22] Kulgemeyer, C. (2020). A Framework of Effective Science Explanation Videos Informed by Criteria for Instructional Explanations. Research in Science Education, 50, 2441-2462. https://doi.org/10.1007/s11165-018-9787-7

[23] Richtberg, S. (2022). Vertonung von Experimentiervideos. Unterricht Physik, 189/190, 49-51.

[24] Thyssen, C., Tolou, A., & Bednarz, M. (2021). Ich kam, sah und kommentierte … – Kollaborative Videoanalysen mit smallpart. digital unterrichten Biologie, 5, 10-11.

[25] Puentedura, R. (2006). Transformation, technology, and education. http://hippasus.com/resources/tte/

Das elektrische Feld – Modell und Experiment

Roger Erb und Albert Teichrew

Die Verwendung von digitalen Medien spielt eine zunehmend wichtige Rolle in der schulischen Ausbildung. Um Schüler*innen das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte zu erleichtern, sollten neue fachdidaktische Zugänge und methodische Ansätze, die auf digitale Medien sinnstiftend zurückgreifen, im Unterricht berücksichtigt werden. Am Beispiel des elektrischen Feldes wird aufgezeigt, wie verschiedene digitale Werkzeuge im Physikunterricht eingesetzt werden können, um komplexe physikalische Sachverhalte durch geeignete Modellierungen zu veranschaulichen und mit dem realen Experiment zu verknüpfen.

1. Kraft auf eine Ladung

Es ist in der Physik durchaus nicht unüblich, dass es für einen bestimmten Sachverhalt mehr als eine sinnvolle Darstellung gibt. Für die elektrostatische Kraft hingegen gibt es mehrere Beschreibungen, die im Physikunterricht nebeneinandergestellt werden, ohne dass Schüler*innen immer klar wird, weshalb dieses Nebeneinander notwendig ist. Im Folgenden werden diese Varianten kurz mit Vor- und Nachteilen diskutiert.

Eine Anzahl ruhender elektrischer Punktladungen übt Kräfte aufeinander aus, die mit dem Coulombschen Gesetz bestimmt werden können. Hierfür wird an der Stelle einer Ladung die vektorielle Summe aller von allen anderen Ladungen einwirkenden Kräfte gebildet. Teilt man durch die Größe dieser Ladung q, so erhält man die elektrische Feldstärke, eine vektorielle Größe, die nicht mehr von dieser selbst, sondern nur noch von der Anordnung der anderen Ladungen abhängt. Die Verteilung dieser Größe im Raum, die Gesamtheit aller Feldstärkevektoren, ist das elektrische Feld. Dieses Feld, verstanden als die Veränderung des Raums durch die felderzeugenden Ladungen, hat sich in der Art und Weise, wie man in der Physik mit ruhenden Ladungen umgeht, bewährt.

Allerdings werden bei dieser Beschreibung im Vergleich zur Berechnung der Coulombkraft an jedem interessierenden Punkt keine wesentlichen neuen Erkenntnisse gewonnen. Das ist etwas problematisch für den Physikunterricht, wo der Anspruch gilt, das Einführen neuer Größen durch eine gewisse Notwendigkeit oder mit einem Erkenntnisgewinn zu motivieren. Dennoch haben sich Experimente bewährt, die das elektrische Feld veranschaulichen. Die so gewonnenen Feldlinienbilder sind durchaus einprägsam, dennoch bleibt Schüler*innen zumindest die Frage, wozu man diesen Aufwand betreibt.

Ein Grund für die Einführung des Feldes ist das Unbehagen mit Fernkräften: Es ist nicht leicht zu akzeptieren, dass eine Ladung auf eine andere eine Kraft über eine größere Distanz ausübt. Ein anderer Grund ist, dass über die zeitliche Dimension der Wirkung dieser Kraft nichts gesagt wird. Würde eine Ladung bewegt werden, so würde sich die Kraft auf die andere instantan verändern. Mit dem Feld dagegen wird die Kraftursache an den Ort der betroffenen Ladung gebracht, und die Ausbreitung einer Feldänderung benötigt Zeit.

Jeder Stelle im Raum um eine Ladung kann auch eine skalare Größe zugeordnet werden, das elektrische Potential. Im Physikunterricht geschieht das oft analog zur Einführung der elektrischen Feldstärke als „Kraft pro Ladung“ in der Form „Energie pro Ladung“. Dies führt schließlich zur Definition der elektrischen Spannung. Es erscheint sinnvoll, diese Hinführung zur elektrischen Spannung zum Unterrichtsgegenstand zu machen. Das elektrische Potential hat sich bereits bei der Notation elektrischer Schaltkreise als hilfreich erwiesen. Außerdem gibt es Unterrichtskonzeptionen, die die Elektrizitätslehre bereits in der Sekundarstufe I auf die Einführung des Potentials bauen [1]. Wird diese Größe jedoch in der Sekundarstufe II (der gymnasialen Oberstufe) behandelt, stellt sich dieselbe Frage wie bei der Einführung der elektrischen Feldstärke erneut: Wozu benötigt man eine weitere Größe zur Beschreibung eines Sachverhaltes, für dessen Erfassung die Coulombkraft ausreicht?

Der Grund liegt in der Handhabbarkeit des elektrischen Potentials. Mit dem Potential lässt sich leichter als mit der Coulombkraft und auch leichter als mit der elektrischen Feldstärke die gemeinsame Wirkung vieler Ladungen und auch ausgedehnter Ladungsanordnungen kalkulieren. Für die Berechnung der resultierenden Kraft auf eine Ladung mithilfe der Coulombkraft muss die Vektorsumme der einwirkenden Kräfte aller umgebenden Ladungen berechnet werden (siehe Abbildung 1, links). Je länger der resultierende Vektor ist, desto größer ist die Kraft. In der Potentialdarstellung muss das resultierende Potential als Summe der Potentiale der umgebenden Ladungen berechnet werden (siehe Abbildung 1,

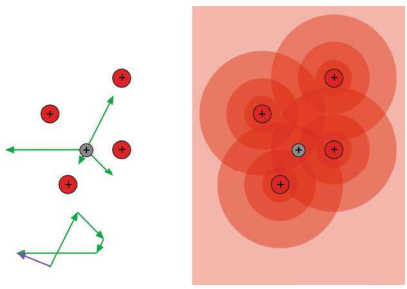


Abbildung 1: *Links werden die Kräfte auf die Ladung in der Mitte zu einer resultierenden Kraft vektoriell addiert (violetter Pfeil). Rechts befindet sich die Ladung in einem Potential der umgebenden Ladungen (schematische stufenweise Darstellung).*

rechts). Eine dunklere Farbe veranschaulicht ein höheres Potential einzelner Ladungen. Da das Potential eine skalare Größe ist, ist diese Berechnung einfacher.

Zwischen dem elektrischen Potential Φ und der elektrischen Feldstärke E besteht der Zusammenhang

$$d\Phi = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Um daraus die Feldstärke zu erhalten, muss das Potential nach allen drei Raumrichtungen partiell abgeleitet werden, und man erhält die Richtung, in die das Potential am stärksten abnimmt. Das Ergebnis wird als Gradient des Skalarfeldes bezeichnet:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\Phi.$$

Dies ist eine aufwändigere Operation, sie muss jedoch nur einmalig zum Schluss angewendet werden. Für einfache Ladungsanordnungen „lohnt“ sich daher die vektorielle Addition, für komplexere Situationen dagegen die Berechnung über das Potential.

Im Physikunterricht werden solche komplexen Ladungsanordnungen, die eine Herangehensweise über das Potential notwendig machen, selten betrachtet. Die Darstellung des Potentials besitzt allerdings den Vorteil, vergleichsweise anschaulich zu sein. Sie erinnert an eine topographische Karte, da in beiden Fällen eine skalare Größe in der Fläche dargestellt wird. Abbildung 2 zeigt schematisch das Feld zwischen zwei ungleichnamigen Punktladungen. Es werden stufenweise Potentialflächen dargestellt, deren Farbe und Sättigung der Stärke des Potentials entspricht. Sie werden von schwarzen Äquipotentiallinien getrennt, die ausgehend von einem maximalen bzw. minimalen Wert in regelmäßigen Abständen betrachtet werden. Außerdem sind violette Feldlinien abgebildet, die senkrecht zu den Äquipotentiallinien verlaufen. Auf eine Probeladung wirken Kräfte beider Ladungen, die zu einem Feldstärkevektor addiert werden. Er ist zu der Feldlinie, die durch den Ort der Probeladung verläuft, tangential ausgerichtet. Die Darstellung von stufenweisen Potentialflächen, Äquipotentiallinien, Feldlinien und Feldstärkevektoren haben jeweils Vor- und Nachteile bezogen auf die Anschaulichkeit. Die stufenweise oder kontinuierliche Darstellung des Potentials hat speziell den Vorteil, die gesamte Schnittfläche im Raum zu füllen. Um diese für verschiedene Ladungsanordnungen und Größenverhältnisse zu erhalten, ist eine Modellierung hilfreich.

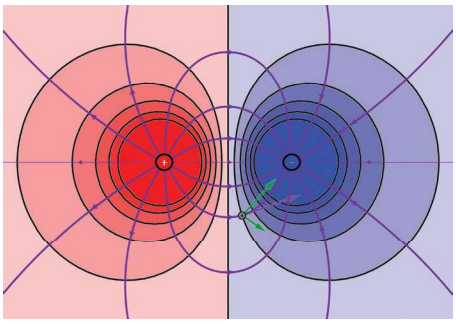


Abbildung 2: *Überlagerung verschiedenartiger Darstellungen des elektrischen Feldes.*

2. Modellierung des Potentials mit einer Tabellenkalkulation

Eine Tabellenkalkulation kann Werte in den Feldern einer Tabelle und damit in der Fläche darstellen. Sie ist zudem ein verbreitetes digitales Werkzeug, sodass der Umgang mit ihr zugleich weiterführende Kompetenzen fördert. Schüler*innen könnten an diesem Beispiel die Vorteile einer Tabellenkalkulation im Vergleich zum Taschenrechner erarbeiten: Es findet eine parallele und automatisierte Berechnung vieler Werte statt. Zudem wirken sich Änderungen an den Ausgangswerten auf alle abhängigen Zellen sofort aus. Die Ergebnisse können schließlich in geeigneter Weise visualisiert werden. Die zur Berechnung des Potentials herangezogenen Rechenoperationen sind elementar, sodass die Einstiegshürden für diese Anwendung einer Tabellenkalkulation gering ausfallen.

Das Tabellenblatt wird als Schnittfläche im Raum verwendet, die zwei Ladungen enthält (siehe Abbildung 3). Die beiden Ladungen befinden sich an der Stelle der gelb hinterlegten Felder. Für den Aufbau werden folgende Schritte befolgt. Alle Tabellenfelder werden in ein quadratisches Format gebracht. In Spalte A wird die räumliche Ausdehnung der Schnittfläche in y-Richtung skaliert: Werte von z. B. $y = -10$ bis $y = 10$ in willkürlichen Einheiten. In Reihe 3 wird die räumliche Ausdehnung der Schnittfläche in x-Richtung skaliert: Werte von $x = 0$ bis z. B. $x = 30$ in willkürlichen Einheiten. Die y-Koordinaten der beiden Ladungen sind 0. Die x-Koordinaten der beiden Ladungen werden in das Feld C2 bzw. K2 eingetragen. Die Ladungsgrößen werden in das Feld F2 bzw. M2 eingetragen. Das durch die erste Ladung hervorgerufene Potential an der Stelle jedes Tabellenfeldes wird berechnet, indem man die Stärke der Ladung Q_1, also den Wert von Feld F2, durch den räumlichen Abstand des betrachteten Feldes zu Q_1 teilt. Dieselbe Berechnung wird für das Potential von Ladung Q_2 durchgeführt und zum Potential von Ladung Q_1 addiert. Beispielhaft wird diese Berechnung durch die Formel hinter Feld P5 deutlich:

```
= $F$2/WURZEL(($A5-$A$14)^2+(P$3-$C$2)^2) +
  $M$2/WURZEL(($A5-$A$14)^2+(P$3-$K$2)^2)
```

Die Farbwerte der Felder werden mit dem Menüpunkt „Bedingte Formatierung“ eingestellt. Im Vergleich zu einer

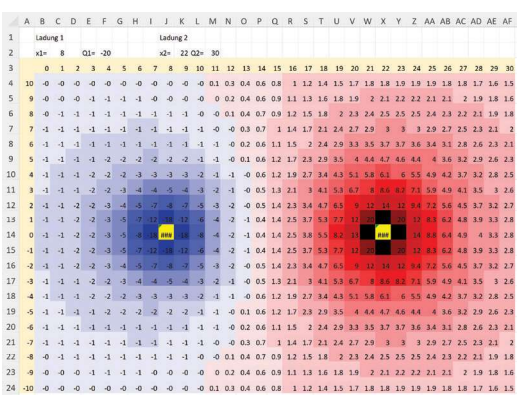


Abbildung 3: *Potentiallandkarte in der Tabellenkalkulation Excel [2].*

bereits fertig programmierten Simulation, die als Black Box zur Erkundung der Eigenschaften elektrischer Potentiale und Felder eingesetzt werden kann, lässt sich in der Tabellenkalkulation die Mathematik hinter den Farben und damit das zugrundeliegende Modell direkt nachvollziehen.

3. Modellierung des Potentials mit einer DGS

Die Modellierung des Potentials mit einer Tabellenkalkulation ist vergleichsweise intuitiv. Allerdings lassen sich die Ladungen nicht unkompliziert auf der Fläche verschieben. Diese Möglichkeit bietet die Dynamische Geometrie-Software (DGS) GeoGebra, die im Mathematikunterricht bereits weite Verbreitung gefunden hat. Die Software ist für verschiedene Plattformen kostenfrei erhältlich und kann auch als Webanwendung gestartet werden (www.geogebra.org). Eine Anleitung zur Modellierung von Sachverhalten aus der Optik mit einer Einführung gibt es bei [3]. Außerdem ermöglicht GeoGebra mithilfe von Augmented Reality (AR), Experimente mit den erstellten Modellen zu erweitern.

Zur Modellierung des Potentials wird die zu betrachtende Ebene mit Quadraten gefüllt, die den Feldern der Tabellenkalkulation entsprechen. Da es sich hierbei um 30 mal 20 Objekte handelt, werden diese in der Tabellen-Ansicht der GeoGebra Classic Version definiert. Außerdem werden die Ladungen als Punkte L1 und L2 in die Ebene gesetzt. Die Berechnung des Potentials erfolgt analog zu dem Vorgehen bei der Tabellenkalkulation. Davon leiten sich wiederum Farbwert und Sättigung der Quadrate ab. Man erhält ein vergleichbares Bild, wobei im Gegensatz zur Tabellenkalkulation die Ladungen verschoben werden können.

Wird das Potential wie in einer Geländekarte als Höhe interpretiert, dann entsprechen deutlichere Farbunterschiede einem steileren Anstieg. Die Richtung des größten Gefälles entspricht der Richtung, in die eine positiv geladene Probeladung eine elektrische Kraft erfährt. An einem 3D-Objekt lässt sich diese Richtung leicht erfühlen [4]. Die Potentialunterschiede in x- und y-Richtung um einen Punkt können jedoch auch berechnet werden (siehe Abbildung 4). Ein hoher Wert in x-Richtung entspricht einer hohen elektrischen Feldstärke nach rechts. Ein vom Betrag her etwas niedrigerer Wert in die negative y-Richtung deutet auf eine kleinere Ablenkung nach unten.

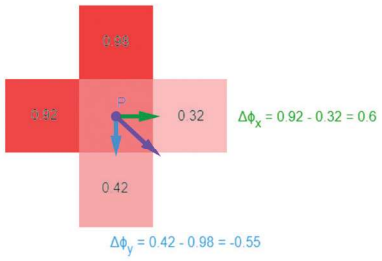


Abbildung 4: *Potentialunterschiede um einen Punkt in der DGS GeoGebra [5].*

Daraus lässt sich die Größe und Richtung der elektrischen Feldstärke ableiten und als Vektor visualisieren.

Auch diese Berechnung lässt sich in einer Tabelle für viele Punkte um eine bestimmte Ladungsanordnung herum realisieren. Der Übersichtlichkeit halber wird ausgehend von den Mittelpunkten jedes Quadrats nur die Richtung mit einer maximal bis zum Rand gehenden Strecke visualisiert. Als Ergebnis erhält man ein Richtungsfeld in der „Fähnchendarstellung", welches das elektrische Feld basierend auf den Potentialunterschieden visualisiert und so den Zusammenhang der beiden Konzepte verdeutlicht (siehe Abbildung 5). In der im Bild ausgeblendeten Algebra-Ansicht lassen sich mit Schiebereglern Ort und Größe der Ladungen variieren.

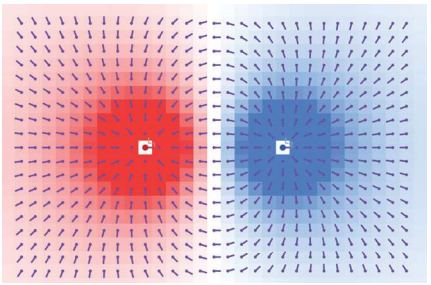


Abbildung 5: *Potentiallandkarte mit Richtungsfeld in der DGS GeoGebra [6].*

4. Wirkung des elektrischen Feldes in einem Experiment

Damit die bisher nur theoretisch behandelten Konzepte nicht als farbenfrohe Zahlenspielerei in Erinnerung bleiben, sollte die reale Auswirkung elektrischer Felder in einem Experiment demonstriert und mit den modellierten Potentialen verknüpft werden. Dazu werden zwei Kugeln mit einem Hochspannungsnetzgerät ungleichnamig geladen. In ihre Nähe wird eine etwas zusammengedrückte und zu einem Schiffchen geformte Aluschale eines Teelichts umgekehrt auf einer Nadel balanciert. Aufgrund von Ladungsverschiebungen auf der leitenden Oberfläche (Influenz) richtet sie sich als Dipol im elektrischen Feld aus. Auf diese Weise wird die Richtung der elektrischen Feldstärke an verschiedenen Punkten um die geladenen Kugeln herum sichtbar gemacht. Zwischen den Kugeln dreht sich die Aluschale parallel zur Verbindungslinie der Kugeln. An den Seiten zeigt ein Ende ungefähr in die Richtung einer der beiden Kugeln.

Inwiefern das mithilfe von Potentialunterschieden modellierte Richtungsfeld dem Experiment entspricht, lässt sich in AR visuell überprüfen. GeoGebra bietet hierfür die Möglichkeit, an die 3D-Darstellung angepasste Modelle in die Kameraansicht eines Mobilgerätes perspektivisch richtig einzublenden. Die AR-Funktion lässt sich im Physikunterricht sinnvoll einsetzen, wenn reale Experimente mit virtuellen Objekten erweitert werden, die physikalische Konzepte visualisieren [7]. Für die Durchführung eines AR-Experiments wird ein AR-fähiges Mobilgerät und die App GeoGebra 3D Rechner benötigt.

Eine Liste mit unterstützten Smartphones und Tablets gibt es hier [8]. Mithilfe eines QR-Codes öffnet sich das passende GeoGebra-Modell automatisch in der App. Der Link muss dabei die 3D-Version von GeoGebra ansteuern (www.geogebra.org/3d/...). Für die hier vorgestellte Potentiallandkarte wird der angepasste Link zusammen mit dem entsprechenden QR-Code bereitgestellt [9].

Um das beschriebene Experiment mit dem Modell zu überlagern, werden zunächst die Modellparameter an die experimentellen Gegebenheiten angepasst. Mit z_0 wird die Höhe der Mittelpunkte der Kugeln über der Tischoberfläche in cm eingestellt. Der Abstand zwischen den Ladungen sollte ebenfalls dem Abstand der Mittelpunkte der Kugeln in cm entsprechen. Ein ausgedrucktes Orientierungskreuz hilft bei der Positionierung des Modells in der AR-Ansicht. Es sollte zudem mit zwei Fingern so gestreckt oder gestaucht werden, dass ein Verhältnis von 1:1 cm vorliegt. Als Ergebnis schwebt die Potentiallandkarte auf der Höhe der realen Kugeln im Raum. In der Ansicht, in der nur das modellierte Richtungsfeld gezeigt wird, lassen sich die Richtungen der größten Potentialunterschiede mit der Ausrichtung der Aluschale vergleichen (siehe Abbildung 6). Ein Strich entlang des Knicks erleichtert den visuellen Abgleich. Die Ausrichtung der Aluschale im Experiment entspricht der modellierten Richtung der elektrischen Feldstärke, was exemplarisch an verschiedenen Punkten gezeigt werden kann. In der Nähe der Kugeln stimmen die Modellannahmen hinsichtlich der punktförmigen Ladungen mit den realen Gegebenheiten allerdings nicht mehr ganz überein. An dieser Stelle lassen sich die Grenzen von Modellen gut im Unterricht diskutieren.

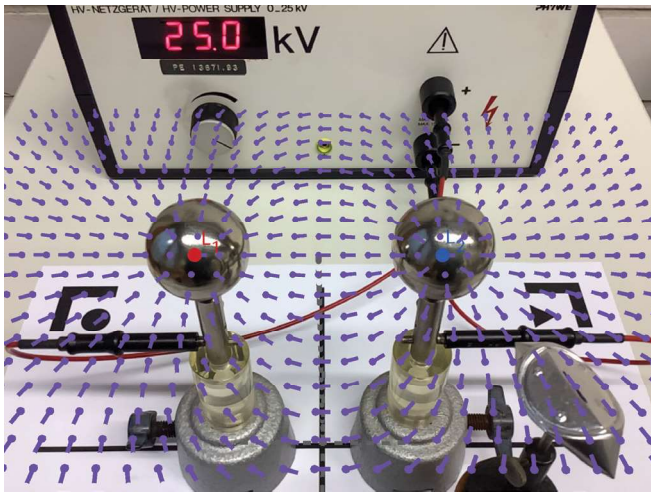


Abbildung 6: *AR-Experiment mit GeoGebra zum elektrischen Feld zweier ungleichnamig geladener Kugeln [9].*

5. Weitere Ladungsanordnungen

Wie eingangs erwähnt, liegt ein Vorteil der Potentialbetrachtung darin, dass mit überschaubarem Rechenaufwand auch andere Ladungsanordnungen betrachtet werden können. Für eine Modellierung mit GeoGebra können weitere Punktladungen eingefügt werden, die dann zum Potential in jedem Quadrat beitragen. In Abbildung 7 wurden diese Ladungen so angeordnet, dass sie näherungsweise der Ladungsanordnung auf den zwei Platten eines Kondensators entsprechen. In der Theorie nimmt das Potential einer unendlich ausgedehnten, positiv geladenen Ebene mit dem Abstand ab, das Potential einer negativen Ebene nimmt hingegen zu. Die Überlagerung ergibt zwischen den beiden Platten ein linear wachsendes Potential von der negativen zur positiven Platte. Links und rechts der Platten addieren sich die beiden Potentiale zu einem konstanten Potential. Infolgedessen ist dieser Raum feldfrei. In der Modellierung mit wenigen Ladungen wird das Potential und auch die Richtung des elektrischen Feldes im Zwischenraum der beiden Platten näherungsweise richtig angezeigt. Allerdings ändert sich das modellierte Potential sichtlich auch links und rechts der beiden Platten, weshalb dort ein Feld angezeigt wird. Dieser Fehler ist auf die geringe Zahl der Ladungen zurückzuführen, die in die Berechnung einbezogen werden.

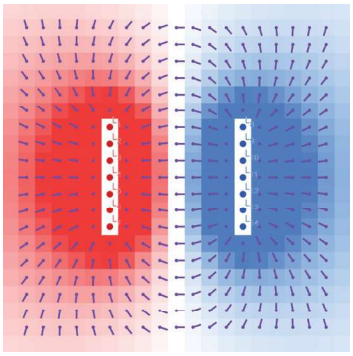


Abbildung 7: *Potentiallandkarte mit 14 Ladungen in der DGS GeoGebra [10].*

6. Fazit

Digitale Werkzeuge wie Tabellenkalkulationen erleichtern im Zusammenhang mit verschiedenen Ladungsverteilungen Berechnungen, die zur Visualisierung physikalischer Konzepte wie Potential und Feld in einer großen Zahl durchgeführt werden müssen. Modellierungen in einer DGS können zudem dynamisch auf Veränderungen reagieren und erlauben dadurch eine höhere Interaktivität mit den modellierten Objekten. AR bietet darüber hinaus eine Möglichkeit, abstrakte Konzepte in Verbindung mit einem Experiment zu sehen und reale Phänomene mit theoretischen Modellen besser zu verknüpfen.

Roger Erb *Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt*
Albert Teichrew *Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt*

Literatur

[1] Burde, J.-P., Wilhelm, T. (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. Physical Review Physics Education Research, 16(2), 020153. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020153

[2] https://www.uni-frankfurt.de/130721784/E_Potential02.xlsx

[3] Erb, R. (2017). Optik mit GeoGebra. De Gruyter.

[4] Teichrew, A., Erb, R. (2021). Elektrische Potentiale zum Anfassen: 3D-Druck mit GeoGebra. Plus Lucis, 2021(2), 13-16.

[5] https://www.geogebra.org/m/qjuwwccr

[6] https://www.geogebra.org/m/a4eeuaec

[7] Teichrew, A., Erb, R. (2020). How augmented reality enhances typical classroom experiments: Examples from mechanics, electricity and optics. Physics Education, 55(6), 065029. https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb5b9

[8] https://developers.google.com/ar/devices?hl=de

[9] https://www.geogebra.org/3d/a4eeuaec

[10] https://www.geogebra.org/m/y5v6t7fy

Digitale Messwerterfassung mit Mikrocontrollern und digitalen Endgeräten

Interaktive Dashboards mit Datastreamer und phyphox gestalten

Fabian Bernstein und Thomas Wilhelm

Digitale Messwerterfassung ist eine wichtige Basiskompetenz in den naturwissenschaftlichen Fächern [1] und auch über den Physikunterricht hinaus – in Wissenschaft und Industrie – von fundamentaler Bedeutung. Für den Physikunterricht gibt es verschiedene Möglichkeiten, Messwerte digital im Unterricht aufzunehmen [2]: Einerseits stehen dezidierte Systeme von Lehrmittelherstellern zur Verfügung (bspw. „CASSY", „Cobra" oder „PASPORT"), andererseits können digitale Endgeräte wie Smartphones und Tablets in Verbindung mit geeigneten Apps eingesetzt werden, um mithilfe der internen Sensoren dieser Geräte Messwerte zu erfassen und auszuwerten [3]. Beide Lösungen gehen mit je eigenen Vor- und Nachteilen einher: Während kommerzielle Systeme eine vergleichsweise einfache Nutzung ermöglichen und auf die Erfordernisse des naturwissenschaftlichen Unterrichts abgestellt sind, stehen einem Unterrichtseinsatz hohe Kosten und die Bindung an ein geschlossenes System entgegen. Smartphones und Tablets auf der anderen Seite sind zwar weit verbreitet, aber hinsichtlich ihrer Vielseitigkeit durch die in den Geräten verbauten Sensoren sowie die vorgegebene Form und Größe begrenzt.

Eine andere Möglichkeit der digitalen Messwerterfassung, die bis zu einem gewissen Grad die Vorteile beider Welten verbindet, besteht darin, einen Mikrocontroller, wie bspw. einen Arduino Uno, mit digitalen Endgeräten zu kombinieren. Auf diese Weise können äußerst leistungsfähige, aber dennoch kostengünstige Aufbauten und Experimentieraktivitäten realisiert werden, die dem schulischen Einsatz gewachsen sind. Die Vorzüge des Einsatzes von Mikrocontrollern im Physikunterricht wurden bereits verschiedentlich erörtert [4, 5]. Erleichtert wird der praktische Einsatz durch das Aufkommen nutzerfreundlicher Schnittstellen – wie Microsoft Datastreamer [6] oder die phyphox Arduino BLE-Bibliothek [7] –, die es erlauben, aufgezeichnete Daten vom Mikrocontroller zu digitalen Endgeräten wie Smartphones, Tablets oder PCs zu übertragen. Darüber hinaus können mit diesen digitalen Werkzeugen grafische Benutzeroberflächen, mit denen Daten visualisiert, modifiziert oder analysiert werden können, mit relativ geringem Aufwand erzeugt werden. Schüler*innen kann so ein Nutzungserleben verschafft werden, das dem von kommerziellen Systemen wenig nachsteht und bei dem das Backend, d. h. die technische Umsetzung, verborgen bleibt. Anders als in kommerziellen Systemen kann die Funktionsweise aber grundsätzlich nachvollzogen werden, sodass im engeren Sinne keine „Blackbox"-Systeme vorliegen. Im Vergleich zu kommerziellen Messwerterfassungssystemen setzen solche Lösungen allerdings die Bereitschaft und zeitlichen Ressourcen aufseiten der Lehrkraft voraus, sich in die Programmierung von Mikrocontrollern einzuarbeiten. Aufgrund der weiten Verbreitung von Arduino-Mikrocontroller-Boards stehen hierfür zumindest zahlreiche Monographien, Websites und Online-Kurse zur Verfügung. Unter den verfügbaren Schnittstellen, die eine Kommunikation zwischen Mikrocontroller und digitalem Endgerät ermöglichen, scheinen derzeit die Excel-Schnittstelle „Microsoft Datastreamer" [6] sowie die phyphox Arduino BLE-Bibliothek [7] in besonderem Maße für den schulischen Einsatz geeignet, für den sie teils auch explizit konzipiert wurden.

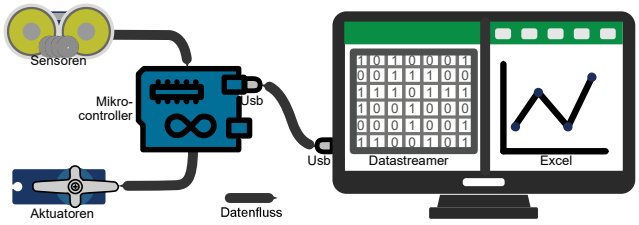


Abbildung 1: *Datenaustausch zwischen Mikrocontroller und Microsoft Excel via Datastreamer*

1. Messwerterfassung mit Microsoft Excel und Datastreamer

Microsoft Datastreamer ist ein Microsoft-Excel-Add-In, das von Microsoft im Jahr 2015 vorgestellt wurde. Es ermöglicht einen bidirektionalen Datentransfer in Echtzeit zwischen einem Mikrocontroller und einem PC über die serielle Schnittstelle. Das Prinzip ist in Abbildung 1 dargestellt: Sensoren oder Aktuatoren werden an einen Mikrocontroller angeschlossen, der seinerseits per USB-Kabel mit einem PC verbunden wird. Sensordaten können dann in Microsoft Excel eingelesen, dort analysiert und visualisiert werden. Umgekehrt ist es auch möglich, Steuerbefehle für Aktuatoren von Excel an den Mikrocontroller zu senden. Auf Basis des Datastreamer-Add-Ins hat Microsoft u. a. die „Hacking STEM"-Initiative ins Leben gerufen, die zum Ziel hat, benachteiligten Schulen und Schülergruppen in den USA den Zugang zu zeitgemäßem naturwissenschaftlichem Unterricht zu erleichtern (und, so darf vermutet werden, Excel im naturwissenschaftlichen Unterricht weiter zu etablieren). In diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Unterrichtsaktivitäten in Kooperation mit der NASA entwickelt, die in einer Online-Bibliothek aufgelistet und dort auch abrufbar sind [8]. Neben der Nutzung dieser vorbereiteten Experimente und Aktivitäten kann das Add-In

aber auch dazu verwendet werden, eigene Experimentieraktivitäten zu entwickeln. Insbesondere in Verbindung mit Formularsteuerelementen wie Schaltflächen oder Schiebereglern und etwas VBA-Code (Visual Basics for Applications, die eingebaute Programmiersprache aller Microsoft-Office-Produkte) lassen sich sehr hochwertige und optisch ansprechende Dashboards, d. h. grafische Nutzeroberflächen, gestalten, die zusätzlich Funktionalitäten zur Steuerung von Experimenten beinhalten können. Voraussetzung für die Nutzung von Datastreamer ist ein Windows PC, ein Office 365-Abonnement sowie ein kompatibler Mikrocontroller wie bspw. ein Arduino Uno.

1.1 Funktionsweise von Datastreamer

Die Nutzung von Datastreamer läuft wie folgt ab:

1. **Aktivierung des Datastreamer-Plugins:** Datastreamer ist ein natives Add-In unter Microsoft Excel in Office 365, das allerdings standardmäßig deaktiviert ist. Um Datastreamer beim Öffnen von Excel automatisch zu laden, muss es einmalig eingeschaltet werden. Dazu wählt man unter Datei – Optionen – Add-Ins in der Dropdown-Liste „Verwalten“ die Option „COM-Add-Ins“ und bestätigt mit Klick auf „Los“. Unter „verfügbare Add-Ins“ muss dann ein Haken bei „Microsoft Datastreamer for Excel“ gesetzt und die Auswahl mit „OK“ bestätigt werden. Eine Installation im eigentlichen Sinne ist nicht erforderlich, da das Add-In von Microsoft mit Excel ausgeliefert wird. Einmal aktiviert, erscheint ein neues Menüband „Datenstreamer“, über das die Verbindung zum Mikrocontroller hergestellt werden kann.
2. **Programmierung des Mikrocontrollers:** Um Daten zwischen dem Mikrocontroller und Excel auszutauschen, muss ein entsprechendes Programm für den Mikrocontroller (ein sogenannter „Sketch“ im Arduino-Jargon) geschrieben und auf den Mikrocontroller hochgeladen werden. Daten, die mittels Datastreamer zum PC gesendet werden sollen, müssen als kommagetrennte Werte über die serielle Schnittstelle ausgegeben werden. Das Empfangen von Daten auf dem Mikrocontroller, die vom PC gesendet wurden, ist schwieriger und erfordert fortgeschrittene Kenntnisse in C++. Es existieren allerdings vorbereitete und zum Download verfügbare Code-Vorlagen, die diese Aufgabe vereinfachen [9].
3. **Verbindung des Mikrocontrollers mit Sensoren und Aktuatoren:** Im nächsten Schritt muss die Schaltung am Mikrocontroller aufgebaut werden, d. h. die entsprechenden Sensoren und Aktuatoren mit dem Mikrocontroller verbunden werden.
4. **Anschluss des Mikrocontrollers an den Computer:** Um die Daten vom Mikrocontroller an den Computer zu senden, wird dieser mittels eines USB-Kabels mit dem Computer verbunden.
5. **Aktivierung des Datenaustausches in Excel:** Schließlich wird in einer Excel-Arbeitsmappe der Datenaustausch im Datenstreamer-Menüband mit der Option „Ein Gerät verbinden“ aktiviert (siehe Abbildung 2, oben). Standardmäßig legt Datastreamer vier neue Tabellenblätter in der Arbeitsmappe an: „Dateneingang“ enthält die vom Mikrocontroller eingehenden Daten (Abbildung 2, Mitte), „Datenausgang“ die an den Mikrocontroller zu sendenden Daten (Abbildung 2, unten), „Einstellungen“ und „Manifest“ die Einstellungen sowie Kanäle der Datenübertragung. Je nach Voreinstellungen muss der Datenstrom noch mittels „Daten starten“ aktiviert werden.

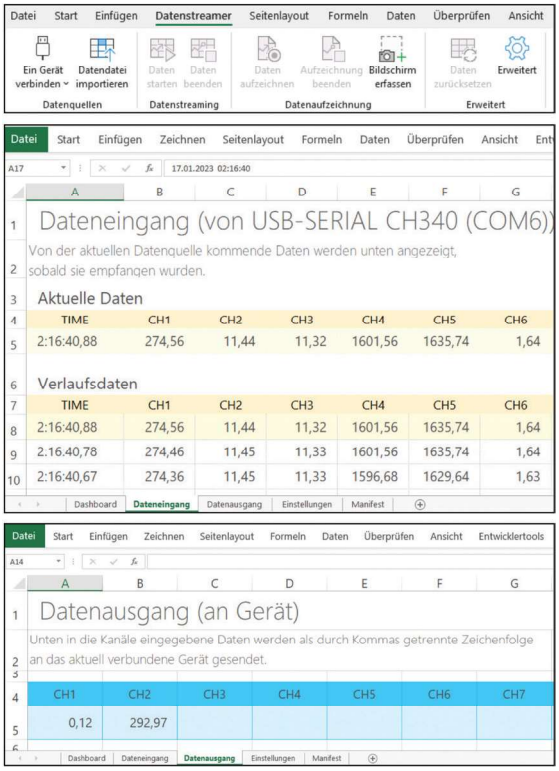


Abbildung 2: *Die Hauptansichten von Microsoft Datastreamer: Menüband „Datenstreamer“ (oben), Tabellenblatt „Dateneingang“ mit Beispieldaten (Mitte), Tabellenblatt Datenausgang mit Beispieldaten (unten)*

2. Messwerterfassung mit der phyphox Arduino BLE-Bibliothek

Sollen Daten von einem Mikrocontroller an ein mobiles Endgerät – ein Smartphone oder Tablet – gesendet werden, kann Datastreamer nicht verwendet werden, da es nur in Verbindung mit einem Windows-PC lauffähig ist. Als Alternative bietet sich die phyphox Arduino BLE-Bibliothek an. Phyphox [10] ist eine von der RWTH Aachen entwickelte und im naturwissenschaftlichen Unterricht verbreitete App, die es erlaubt, verschiedene Sensoren eines Smartphones auszulesen und die Messwerte graphisch darzustellen. Um die Möglichkeiten der App um Sensoren, die üblicherweise nicht in Smartphones verbaut sind, zu erweitern, wurde die phyphox Arduino BLE-Bibliothek veröffentlicht [7], die einen Datenaustausch zwischen Mikrocontroller und mobilem Endgerät ermöglicht.

Anders als bei Datastreamer erfolgt die Datenübertragung kabellos über Bluetooth-Low-Energy (BLE), was die Zahl der nutzbaren Mikrocontroller einschränkt, da nur Mikrocontroller in Frage kommen, die über Bluetooth-Low-Energy verfügen. Das bei Anfänger*innen beliebte Arduino Uno-Board kann daher nicht mit der Bibliothek genutzt werden. Derzeit werden fünf verschiedene Boards unterstützt: Arduino Nano 33 BLE, -IoT und -Sense, die senseBox sowie ESP32-Mikrocontroller-gestützte Boards, die von verschiedenen Unternehmen in verschiedenen Konfigurationen angeboten werden. Neben einem geeigneten Mikrocontroller und einem Smartphone oder Tablet ist nur die phyphox-App selbst erforderlich, die für iOS und Android in dem jeweiligen App-Store heruntergeladen werden kann.

2.1 Funktionsweise der phyphox-Arduino-Bibliothek

Der Einsatz der phyphox Arduino BLE-Bibliothek vollzieht sich in vier Schritten:

1) **Download und Installation der phyphox-App:** Zur Nutzung der phyphox-App muss diese zunächst auf dem Endgerät installiert werden. Dies erfolgt regulär über den App-Store des Gerätes. Phyphox ist für Android und iOS gleichermaßen verfügbar, die phyphox-Arduino-Bibliothek kann mit beiden Betriebssystemen genutzt werden.
2) **Programmierung des Mikrocontrollers:** Der Datenaustausch zwischen Mikrocontroller und App setzt zweierlei voraus: a) die phyphox Arduino BLE-Bibliothek, die in der Arduino-Entwicklungsumgebung über den Bibliotheksmanager heruntergeladen werden kann, sowie b) einen entsprechend eingerichteten Sketch, d. h. ein Programm für den Mikrocontroller [11]. Die zu sendenden Daten werden wie bei Datastreamer als kommaseparierte Werte übergeben.
3) **Verbindung des Mikrocontrollers mit Sensoren und Aktuatoren:** Im nächsten Schritt muss die Schaltung am Mikrocontroller aufgebaut werden, d. h. die entsprechenden Sensoren und Aktuatoren mit dem Mikrocontroller verbunden werden.
4) **Verbindung von Mikrocontroller und Endgerät mit der phyphox-App:** Die Verbindung zwischen Mikrocontroller und Smartphone bzw. Tablet erfolgt, indem in der phyphox-App die Option „Neues Experiment für Bluetooth-Gerät“ ausgewählt wird. Das im Sketch des Mikrocontrollers angelegte Experiment erscheint dann unter den Verbindungsoptionen. Die Ansichten, d. h. Tabs, Graphen, Eingabefelder und Beschriftungen, werden auf Grundlage des Sketches automatisch in der App generiert. Die Datenübertragung startet mit einem Klick auf das Play-Symbol.

Die phyphox Arduino-Bibliothek bietet zahlreiche Optionen zur Individualisierung der Ansichten, der Achsenbeschriftungen etc. Eine Dokumentation sowie Beispielsketches sind auf der Github-Seite des Projektes zu finden [11].

3. Beispiel: Modell für ein vertikales Gewächshaus

Abbildung 3: *Vertical Farming: Hochautomatisiertes Gewächshaus*

Ein Beispiel für die Nutzung von Datastreamer und phyphox wurde im Rahmen einer von der Joachim Herz Stiftung geförderten Lehrkräftefortbildung an der Goethe-Universität Frankfurt realisiert. Dabei handelt es sich um das Modell der elektronischen Steuerung einer „vertikalen Farm“, d. h. eines hochautomatisierten Gewächshauses, das in Zukunft den Anbau landwirtschaftlicher Erzeugnisse in unmittelbarer Nähe urbaner Ballungszentren ermöglichen soll. Einen Einblick in eine solche Anlage gibt Abbildung 3. In der vertikalen Landwirtschaft werden – anders als in konventionellen Gewächshäusern – alle wesentlichen Parameter wie Beleuchtung, Bewässerung, Nährstoffzufuhr etc. elektronisch überwacht und gesteuert. Das Thema eignet sich daher, um exemplarisch die Prinzipien und Vorgehensweisen der Messung und Regelung mithilfe eines Mikrocontrollers im Modell zu demonstrieren. Diese lassen sich problemlos auf andere Experimente für den Physikunterricht übertragen.

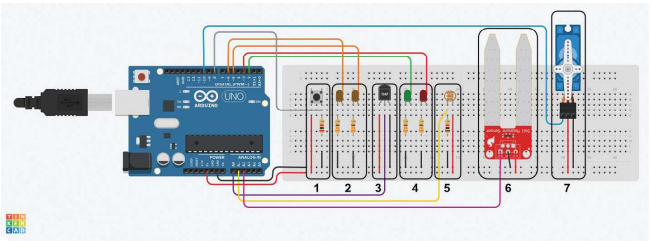


Abbildung 4: *Arduino-Schaltung zum Modell eines vertikalen Gewächshauses*

Abbildung 4 zeigt die Bestandteile der Schaltung: Neben einem Arduino Uno-Mikrocontroller umfasst die Elektronik des Modells einen An-Aus-Schalter (1), eine Beleuchtung für die Pflanzen (2), einen Temperatursensor (3) und eine Temperatur-Ampel (4), einen Helligkeitssensor in Form eines Fotowiderstandes (5), einen Feuchtigkeitssensor (6) sowie einen Servo (7), der (imaginär) zur Steuerung der Bewässerung dient. Die Schaltung wurde von den Lehrkräften selbst aufgebaut und ein Dashboard in Microsoft Excel und in phyphox gestaltet.

Die Nutzeroberfläche für Microsoft Excel ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Sensorwerte der Helligkeit, Temperatur und

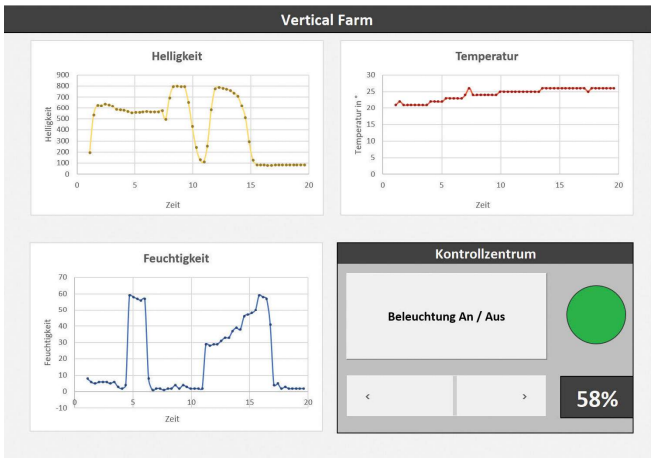


Abbildung 5: *Nutzeroberfläche zur Steuerung des vertikalen Gewächshauses in Microsoft Excel; dargestellte Daten zu Demonstrationszwecken*

Feuchtigkeit werden an Excel übertragen und unmittelbar visualisiert.

Im Kontrollzentrum kann die Beleuchtung aktiviert und deaktiviert werden und die Helligkeit mittels eines Schiebereglers eingestellt werden. Eine Status-LED zeigt an, ob die Beleuchtung aktiviert ist oder nicht.

Die Oberfläche, die die Lehrkräfte für phyphox entwickelt haben, ist in Abbildung 6 zu sehen. Da ein Arduino Uno aufgrund des fehlenden Bluetooth-Low-Energy nicht in Frage kam, wurde auf ein ESP32-Mikrocontroller-Board ausgewichen. Die Schaltung ist analog zu dem in Abbildung 4 gezeigten Aufbau. Auf die Übertragung von Steuerungsdaten von phyphox zum Mikrocontroller wurde verzichtet, da die phyphox-App derzeit nur eingeschränkt Steuerelemente zur Verfügung stellt. Daher wurden ausschließlich die Werte der drei Sensoren (Fotowiderstand, Temperatur- und Feuchtigkeitssensor) per Bluetooth zum Smartphone übertragen und dort in phyphox visualisiert.

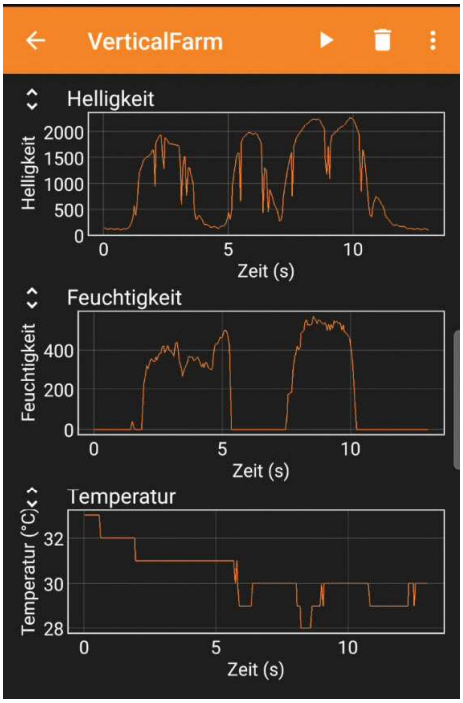


Abbildung 6: *Nutzeroberfläche in der phyphox-App; dargestellte Daten zu Demonstrationszwecken*

4. Zusammenfassung

Insgesamt wird an diesem Beispiel deutlich, dass sowohl Microsoft Datastreamer als auch die phyphox Arduino BLE-Bibliothek interessante Alternativen zu kommerziellen Messwerterfassungssystemen darstellen, die leistungsfähig sind und dem jeweiligen Unterrichtsszenario angepasst werden können. Voraussetzung für den Einsatz dieser Technologien ist die technische Affinität der Lehrkraft sowie der Wille und die Zeit, sich mit der Programmierung von Mikrocontrollern auseinanderzusetzen. Ist dies vorhanden, können individuelle und ansprechende Aktivitäten mit geringem finanziellem Aufwand realisiert werden und ein Stück gelebte Digitalität sinnvoll in den Unterricht integriert werden.

Fabian Bernstein *Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt*
Thomas Wilhelm *Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt*

Literatur

[1] Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften, (S. 14-43). Hamburg: Joachim Herz Stiftung. Online unter https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf

[2] Lück, S. & Wilhelm, T. (2023): Messwerte aufnehmen und verarbeiten – In: Wilhelm, T. (Hrsg.): Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse, Perspektiven. Hannover: Klett Kallmeyer.

[3] Wilhelm, T. & Kuhn, J. (Hrsg.) (2022). Für alles eine App: Ideen für Physik mit dem Smartphone (1. Aufl. 2022). Berlin Heidelberg: Springer.

[4] Wiesner, H. (Hrsg.) (2018). Arduino. Plus Lucis 1/2018.

[5] Girwidz, R. & Watzka, B. (Hrsg.) (2018). Arduino, Raspberry Pi & Co. Alltagsphysik und Messtechnik verstehen mit digitalen Werkzeugen. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 29 (167). Hannover: Friedrich Verlag.

[6] https://support.microsoft.com/de-de/office/was-ist-datenstreamer-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f

[7] https://phyphox.org/arduino/

[8] https://learn.microsoft.com/en-us/training/educator-center/instructor-materials/hacking-stem

[9] https://github.com/microsoft/HackingSTEMSamples/blob/master/DataStreamerSample/DataStreamerSample.ino

[10] https://phyphox.org/

[11] https://github.com/phyphox/phyphox-arduino

Mit Arduino der FFP2-Schutzmaske auf der Spur

Angelika Bernsteiner, Philipp Spitzer, Claudia Haagen-Schützenhöfer und Thomas Schubatzky

1. Einleitung

Die COVID-19-Pandemie stellt die Gesellschaft vor vielzählige Herausforderungen: Neben der rasanten Verbreitung von Viren und den damit einhergehenden gesundheitlichen Problematiken, wird die Pandemie von einer enormen Informationsflut begleitet, die Unsicherheit in der Gesellschaft schürt. Die rasche Verbreitung ungefilterter Informationen erleichtert die Ausbreitung von falschen, oder irreführenden Informationen und das Aufgreifen von Verschwörungstheorien. In sozialen Netzwerken kursieren beispielsweise Mythen hinsichtlich gesundheitsschädlicher Einflüsse des Tragens von Schutzmasken, während es wissenschaftliche Evidenzen für die positive Wirkung des Tragens von FFP2-Masken zum Schutz vor Tröpfcheninfektionen, Luftverschmutzung oder Feinstaub gibt [1-5].

Es bedarf fachlicher und digitaler Kompetenzen, um diesen Unsicherheiten selbstbewusst und kritisch-reflektiert entgegentreten und sich eine fachlich fundierte Meinung bilden zu können [6,7]. Demzufolge ist es von enormer Bedeutung, im Rahmen des Naturwissenschaftsunterrichts aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse aufzugreifen und zusätzlich Medienbildung zu bieten. Damit können Jugendliche auf die Teilhabe an der Gesellschaft und den konstruktiven Umgang mit den beschriebenen und weiteren Herausforderungen gut vorbereitet werden [8,9]. An der Universität Graz wurde im Projekt *ProDigiTrans* eine Lernumgebung mit Arduino entwickelt, die im kontextuellen Rahmen der COVID-19-Pandemie insbesondere der Förderung digitaler Kompetenzen dienen soll. Im Zentrum der Lernumgebung stehen zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino entwickelte Experimente zur Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken. Neben der naturwissenschaftlichen Thematisierung der Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken, können anhand der Versuche auch Wissen und Fertigkeiten in Bezug auf die Funktionsweise von Sensoren zur digitalen Messwerterfassung, hinsichtlich des Programmierens von Programmcodes zur Datenerhebung mit Arduino sowie auch zur Darstellung von Daten und zum Umgang mit Microsoft Excel vermittelt werden.

Die Versuche wurden im Zuge eines Arduino-Workshops mit Schüler*innen einer zweiten Klasse einer berufsbildenden höheren Schule umgesetzt, nachdem sie mit Lehramtsstudierenden der Fächer Biologie, Chemie, Mathematik und Physik im Rahmen der Lehrveranstaltung *„Fakten, Fakes und Algorithmen – Digital kompetent im Zeitalter der Digitalität"* erprobt wurden. In diesem Beitrag wird die Lernumgebung zur Förderung digitaler Kompetenzen, in deren Zentrum ein Experiment zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino steht, vorgestellt. Außerdem wird ein Erfahrungsbericht zum Einsatz der Lernumgebung im schulischen und universitären Kontext dargelegt.

2. Arduino zur digitalen Messwerterfassung im Naturwissenschaftsunterricht

Mit dem Einsatz von Systemen zur digitalen Messwerterfassung im Unterricht können neue Möglichkeiten der Datenerfassung, Datendarstellung und Datenanalyse in den naturwissenschaftlichen Unterricht eingebracht werden. Grundsätzlich können durch digitale Messwerterfassung Messungen schneller und unkomplizierter umgesetzt sowie Langzeitmessungen und die Produktion unterschiedlicher Messreihen einfacher realisiert werden [10,11]. Außerdem eröffnet der Einsatz digitaler Medien die Möglichkeit der Durchführung neuer, kreativer Experimente, die mit rein analogen Mitteln nicht umsetzbar wären [10]. Bei manchen Systemen zur digitalen Messwerterfassung rückt das Messen eher in den Hintergrund und die Arbeit mit den Messdaten steht im Fokus [10]. Die Arbeit mit Arduino bietet kostengünstig die Möglichkeit, die Blackbox hinter Sensoren und digitalen Systemen zur Messwerterfassung zu öffnen [11]: Das System Arduino besteht aus Hard- und Softwarekomponenten. Kernstücke der Hardware von Arduino sind die unterschiedlichen Arduino-Boards. Diese Boards sind mit einem Mikrocontroller, einem kleinen Prozessor samt Arbeitsspeicher sowie mit digitalen und analogen Pins für den Anschluss von Sensoren und Aktoren ausgestattet. Mittels USB-Anschluss wird das Arduino-Board mit dem Computer verbunden. In der kostenlosen Software von Arduino, der Arduino-Entwicklungsumgebung (Arduino IDE = integrierte Entwicklungsumgebung, Download unter: [12]), wird der Mikrocontroller des Arduino-Boards programmiert. Dank des Open-Source-Konzepts lassen sich im Internet viele unterschiedliche Projekte mit Arduino sowie Beispiel-Codes und Programm-Bibliotheken für die Arbeit mit diversen Sensoren finden, die je nach Bedarf individuell angepasst und verändert werden können. Dadurch wird der Einsatz von Arduino zur digitalen Messwerterfassung auch Personen ermöglicht, die erst wenig Erfahrung im Bereich des Programmierens aufweisen [13,14]. Für nähere technische Informationen zum System Arduino wird an dieser Stelle auf den Beitrag von Holger Zieris [14] im Plus Lucis Themenheft „Arduino" [15] verwiesen.

3. Einsatz von Arduino zur digitalen Messwerterfassung im Kontext „Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken"

Nachstehend wird ein in sozialen Medien kursierender Mythos im Kontext von FFP2-Schutzmasken aufgegriffen und ein Experiment mit Arduino vorgestellt, das der Thematisierung und fachlichen Klärung dieses Mythos im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts dienen kann.

In sozialen Medien kursieren Videos, die belegen sollen, dass sich beim Atmen unter einer FFP2-Maske Kohlenstoffdioxid in gesundheitsschädlicher Konzentration anreichert. In diesen Videos ermitteln Personen mithilfe von CO_2-Sensoren die Kohlenstoffdioxidkonzentration unter der von ihnen getragenen FFP2-Schutzmaske. Dabei werden Messwerte von bis zu 10000 ppm CO_2 erhoben [16]. Als Hintergrundinformation gilt es hier anzumerken, dass in Innenräumen mit guter Luftqualität eine CO_2-Konzentration von rund 400 ppm vorliegt [17]. Die maximale Arbeitsplatzkonzentration an CO_2 wurde in Österreich laut Grenzwertverordnung mit 5000 ppm CO_2 festgelegt. Für einen Beurteilungszeitraum von 60 Minuten wurde ein maximaler Momentanwert von 10000 ppm CO_2 definiert [17]. Ab einer CO_2-Konzentration in Innenräumen von 1000 ppm werden Lüftungsmaßnahmen aus hygienischen Gründen empfohlen [17]. Eine Konzentration von 20000 ppm CO_2 führt zu einer Intensivierung der Atmung und, wenn man einer noch vielfach höheren CO_2-Konzentration ausgesetzt ist, können negativen gesundheitliche Folgen wie Sehstörungen und Bewusstlosigkeit auftreten [18].

Im Folgenden wird ein einfaches und kostengünstiges Experiment mit Arduino, Arduino-kompatiblen CO_2-Sensoren und einem 3D-gedruckten Modellkopf (siehe Versuchsaufbau unter 3.1.) vorgestellt. Mit diesem Experiment kann der Mythos über die gesundheitsschädliche FFP2-Maske im naturwissenschaftlichen Unterricht aufgegriffen und fachlich diskutiert werden. Der vorgestellte Versuchsaufbau (Abbildungen 2 und 3) kann gemeinsam mit dem angeführten Programmcode (Abbildung 4) direkt nachgebaut und umgesetzt werden. In diesem Beitrag werden auch Scaffolding-Maßnahmen [19,20], wie beispielsweise der Einsatz einer Moodle-Lernumgebung oder eines Handouts, zur Unterstützung der Lernenden bei der Arbeit mit Arduino vorgestellt. Diese entwickelten Scaffolds können bei Interesse gerne bei den Autor*innen angefragt werden.

3.1 Versuchsaufbau

Zur Durchführung von CO_2-Konzentrationsmessungen in Zusammenhang mit dem Tragen einer FFP2-Maske wurde an der Universität Graz ein Modellkopf entworfen und mittels 3D-Drucker produziert. Der Modellkopf wurde so entworfen, dass er den Proportionen des Kopfes einer erwachsenen Person entspricht und somit eine FFP2-Schutzmaske ordnungsgemäß angebracht werden kann. Des Weiteren besitzt der Modellkopf jeweils eine nach hinten durchgängige Mund- und Nasenöffnung. Durch diese beiden Öffnungen kann vom Hinterkopf ausgehend ein- und ausgeatmet werden. Dafür kann beispielsweise ein Strohhalm herangezogen werden. Die beiden Öffnungen dienen ebenso der Platzierung von Sensoren. In Abbildung 1 wird der Modellkopf aus unterschiedlichen Perspektiven dargestellt. Bei Interesse an der Arbeit mit dem Modellkopf kann das Autor*innen-Team gerne kontaktiert werden.

Abbildung 1: *An der Universität Graz entworfener Modellkopf zur CO_2-Messung mit Arduino*

Zur Ermittlung der CO_2-Konzentration beim Atmen unter einer FFP2-Maske wird dem Modellkopf eine FFP2-Maske aufgesetzt und ein CO_2-Sensor vom Hinterkopf ausgehend in der größeren Mundöffnung des Kopfes angebracht. In Tabelle 1 werden zwei CO_2-Sensoren vorgestellt, die für diese Messungen herangezogen werden können. Die Ergebnisse zweier unterschiedlicher Sensoren für eine Messung können im naturwissenschaftlichen Unterricht die Grundlage für eine Diskussion über Funktionsweisen und Grenzen von Sensoren bzw. über die Aussagekraft von Messergebnissen liefern. Die beiden in Tabelle 1 beschriebenen CO_2-Sensoren können über den Mikrokontroller eines Arduino-Boards gesteuert werden. Für die Ermittlung der CO_2-Konzentration wird hier mit dem Arduino Uno Board R3 gearbeitet. Hierbei handelt es sich um ein kostengünstiges (ab ca. € 25) Einsteigerboard. Nähere Informationen zum Arduino Uno Board R3 sind unter [21] sowie im Plus Lucis Themenheft „Arduino“ [15] zu finden.

Tabelle 1: *Eckdaten zu den beiden benutzen Arduino-kompatiblen CO_2-Sensoren. Nähere Informationen zu den Sensoren sind unter [22, 23] zu finden.*

	CO_2-Sensor MH-Z16	**CO_2-Sensor MG-811**
Prinzip	Nichtdispersiver Infrarotsensor: Mit steigender CO_2-Konzentration steigt die Absorption von Infrarotstrahlung.	Elektrochemischer Sensor: Mit steigender CO_2-Konzentration sinkt die Ausgabespannung des Sensormoduls.
Messbereich	0 - 5000 ppm	350 - 10.000 ppm
Messgenauigkeit	± 50 ppm	± 100 ppm
Reaktionszeit	< 30 s	< 90 s
Preis	ab ca. € 90	ab ca. € 60

Um das MH-Z16-Sensor-Modul ganz einfach nach dem Plug-and-Play-Prinzip mit dem Arduino Uno Board verbinden zu können, wird zusätzlich das Base Shield V2 verwendet (siehe Abb. 2). Es besitzt die gleiche Pinbelegung wie das Arduino Uno Board R3. Durch den Einsatz des kostengünstigen Base Shields V2 (ca. € 10) werden für den Anschluss diverser Sensoren des Herstellers Grove kein Steckbrett und keine Jumperkabel benötigt. Nähere Informationen zum Base Shield V2 sind unter [24] zu finden. Das Sensormodul MG-811 wird mittels Jumperkabel direkt mit dem Arduino Uno Board verbunden (siehe Abb. 3).

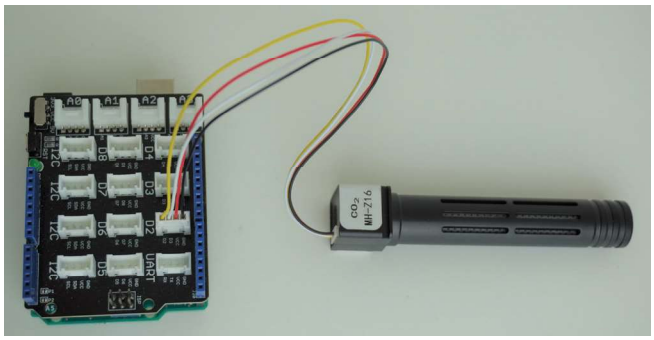


Abbildung 2: *Anschluss des MH-Z16-Sensormoduls über ein Base Shield an das Arduino Uno Board*

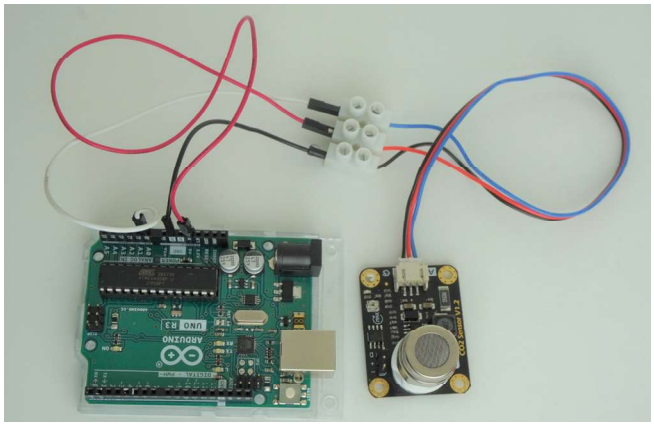


Abbildung 3: *Anschluss des MG-811-Sensormoduls an das Arduino Uno Board*

Die zur Ansteuerung der Sensoren über den am Arduino Uno Board R3 integrierten ATmega328P Mikrocontroller herangezogenen Programmcodes werden in Abbildung 4 dargestellt.

3.2 Versuchsdurchführung

Zum Aufgreifen des Mythos, dass sich beim Atmen unter einer FFP2-Maske die CO_2-Konzentration auf ein gesundheitsschädliches Niveau erhöht, werden die nachstehend angeführten drei Messungen umgesetzt. Dazu wird jeweils vom Hinterkopf des Modellkopfes ausgehend mithilfe eines Strohhalms durch den Kopf ein- und ausgeatmet (siehe Abb. 5, grüner Strohhalm). Vor der Durchführung der Messungen wird die CO_2-Konzentration des Raumes, in dem die Untersuchungen durchgeführt werden, erhoben. Der ermittelte Wert wird als Ausgangswert für die drei Messungen herangezogen.

1. Messung der CO_2-Konzentration im Mund-Nasen-Raum beim Atmen ohne FFP2-Maske (Abb. 5)

Mit dieser Messung kann überprüft werden, ob auch ohne das Tragen einer Maske im Vergleich zum Ausgangswert erhöhte CO_2-Werte im Mund-Nasen-Bereich gemessen werden können. Es ist anzunehmen, dass die CO_2-Konzentration im Mund-Nasen-Raum auch beim Atmen ohne Maske erhöht ist, da die CO_2-Konzentration der Ausatemluft rund 40000 ppm beträgt [25].

2. Messung der CO_2-Konzentration im Mund-Nasen-Raum beim Atmen unter einer FFP2-Maske

Mit dieser Messung kann überprüft werden, ob die CO_2-Konzentration beim Atmen unter einer FFP2-Maske tatsächlich gesundheitsschädliche Werte erreicht. Laut [18] müssten hierfür zumindest Werte > 20000 ppm CO_2 erhoben werden.

```
// MG-811 Sensormodul
#define       MG_PIN                    (A0)
#define       DC_GAIN                   (8.5)
#define       READ_SAMPLE_INTERVAL      (50)
#define       READ_SAMPLE_TIMES         (5)
#define ZERO_POINT_VOLTAGE              (0.257)
#define REACTION_VOLTGAE                (0.050)
float         CO2Curve[3]  =  {2.602,ZERO_POINT_VOLTAGE,(REACTION_VOLTGAE/(2.602-3))};
int percentage = 400;
void setup() {
 Serial.begin(9600);
 Serial.println("MG-811 Demostration");
}
void loop() {
 float voltageMeasure;
 float calibrationVoltage;
 int ppm;
calibrationVoltage = (voltageMeasure / 8.5);
ppm = MGGetPercentage(MGRead(MG_PIN), CO2Curve);
 if (ppm != -1) {
  percentage = ppm * 0.5 + percentage * 0.5;
 }
Serial.println(",");
 if (ppm == -1) {
  Serial.print(400);
 }else{
  Serial.print(percentage);  //print the ppm
}
}
float MGRead(int mg_pin) {
 int i;
 float v=0;

 for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
  v += analogRead(mg_pin);
  delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
 }
 v = (v/READ_SAMPLE_TIMES) *5/1024 ;
 return v;
}
int MGGetPercentage(float volts, float *pcurve) {
 if ((volts/DC_GAIN )>=ZERO_POINT_VOLTAGE) {
  return -1;
 }else{
  return pow(10, ((volts/DC_GAIN)-pcurve[1])/pcurve[2]+pcurve[0]);
 }
}
```

```
// MH-Z16 Sensormodul
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial s_serial(2, 3);
#define sensor s_serial
const unsigned char cmd_get_sensor[] =
{
  0xff, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x79
};
unsigned char dataRevice[9];
int CO2PPM;
void setup()
{
  sensor.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("get a 'g', begin to read from sensor!");

Serial.println("************************************************************");
  Serial.println();
}
void loop()
{
  if(dataRecieve())
  {
    //Serial.print(" , CO2 [ppm] = , ");
    Serial.print(CO2PPM);
    //Serial.println(",");
  }
  delay(500);
}
bool dataRecieve(void)
{
  byte data[9];
  int i = 0;
  sensor.flush();
  //transmit command data
  for(i=0; i<sizeof(cmd_get_sensor); i++)
  {
    sensor.write(cmd_get_sensor[i]);
  }
```

```
sensor.flush();
  //begin reveiceing data
  if(sensor.available())
  {
    while(sensor.available())
    {
      for(int i=0;i<9; i++)
      {
        data[i] = sensor.read();
      }
    }
  }
  for(int j=0; j<9; j++)
  {
}
    Serial.println("");
  if (i != 9)
  {
    Serial.println("Error buffer length");
    return false;
  }
  byte checksum = 0 ;
  for(int j=1; j<8; j++)
  {
   checksum += data[j];
  }
  checksum=0xff-checksum;
  checksum+=1;
  if  (checksum != data[8])
  {
    Serial.println("Error checksum");
    return false;
  }
  if ( data[0] != 0xFF )
  {
    Serial.println("Error start byte");
    return false;
  }
  if ( data[1] != 0x86 )
  {
    Serial.println("Error command");
    return false;
  }
  CO2PPM = (int)data[2] * 256 + (int)data[3];
  return true;
}
```

Abbildung 4: *Programmcodes für die Arbeit mit den Sensormodulen MG-811 und MH-Z16*

3. Messung der CO_2-Konzentration vor der FFP2-Maske beim Atmen unter einer FFP2-Maske (Abb. 6)

Würde sich der Mythos bestätigen, dass sich CO_2 unter der FFP2-Schutzmaske anreichert und nicht durch die Maske diffundieren kann, dürfte beim Atmen durch eine FFP2-Maske vor der Maske keine zum Ausgangswert erhöhte CO_2-Konzentration festgestellt werden.

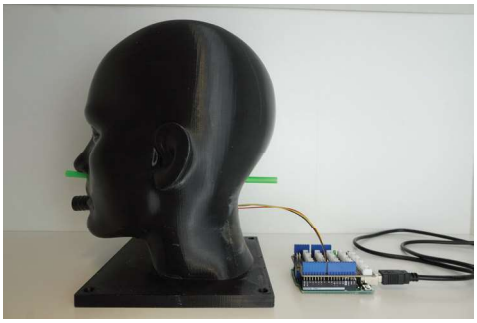


Abbildung 5: *Versuchsaufbau zur Messung der CO_2-Konzentration im Mund-Nasenraum ohne das Tragen einer Schutzmaske*

Abbildung 6: *Versuchsaufbau zur Messung der CO_2-Konzentration vor einer getragenen FFP2-Schutzmaske*

3.3 Ergebnisse

Zur Darstellung der erhobenen Messwerte kann der in die Arduino-Entwicklungsumgebung implementierte serielle Monitor herangezogen werden. Dabei werden die erhobenen Messdaten laut der im Programmcode (Abbildung 4) festgelegten Funktionen Serial.print(„“) und Serial.println() dargestellt. Die Messdaten können am seriellen Monitor abgelesen, jedoch nicht bearbeitet werden.

Möchte man mit den mittels Arduino erhobenen Daten weiterarbeiten, kann ein Datenübertragungs-Add-In für Microsoft Excel, der Datenstreamer, verwendet werden. Damit können Daten in Echtzeit vom Mikrocontroller in eine Excel-Arbeitsmappe übertragen und dort bearbeitet sowie in Form von Graphen dargestellt werden. Nähere Informationen zu diesem Datenübertragungs-Add-In sind unter [26] zu finden.

Nachstehende Abbildungen 7 und 8 zeigen die Ergebnisse der mit den beiden CO_2-Sensoren umgesetzten Messungen. Die Ergebnisse wurden mit dem Datenübertragungs-Add-In in Microsoft Excel importiert und dort grafisch dargestellt.

3.4 Ergebnisse und Ideen für deren Diskussion im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die in den Abbildungen 7 und 8 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die CO_2-Konzentration auch ohne das Tragen einer Maske im Mund-Nasen-Bereich ansteigt. Mit dem teureren und sensibleren MH-Z16-Sensormodul wurden Werte von > 4000 ppm ermittelt. Die Ergebnisse des günstigeren MG-811-Sensormoduls zeigen zwar auch im Vergleich zum Ausgangswert (ca. 400 ppm) erhöhte Messwerte, jedoch sind diese im Vergleich zu den Ergebnissen des MH-Z16-Sensormoduls niedrig. Diese unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Sensoren können im naturwissenschaftlichen Unterricht als Grundlage für eine Diskussion über Funktionsweisen und Grenzen von Sensoren herangezogen werden. Außerdem kann über die Aussagekraft der Ergebnisse diskutiert werden. Für die Interpretation der Ergebnisse des vorgestellten Experiments ist es empfehlenswert nur qualitative Aussagen zu tätigen und von quantitativen Aussagen Abstand zu nehmen.

Abbildungen 7 und 8 ist ebenso zu entnehmen, dass die CO_2-Konzentration beim Atmen unter einer FFP2-Schutzmaske ansteigt. Ein Vergleich der mit den beiden CO_2-Sensoren erhobenen Messwerte mit in [18] angeführten gesundheitsschädlichen CO_2-Konzentrationen zeigt jedoch, dass die im Experiment ermittelten CO_2-Konzentrationen noch weit

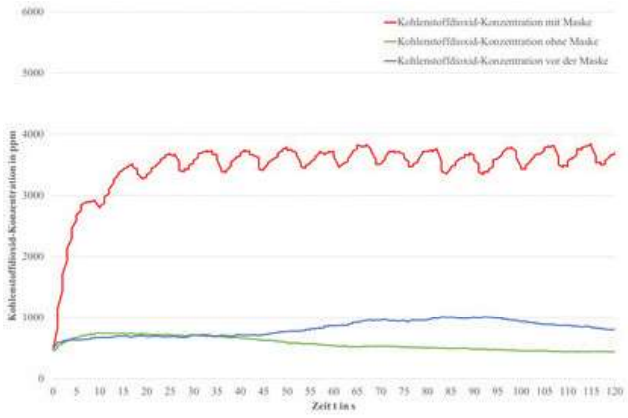


Abbildung 7: *Ergebnisse der CO_2-Messungen mit dem MG-811-Sensor-Modul*

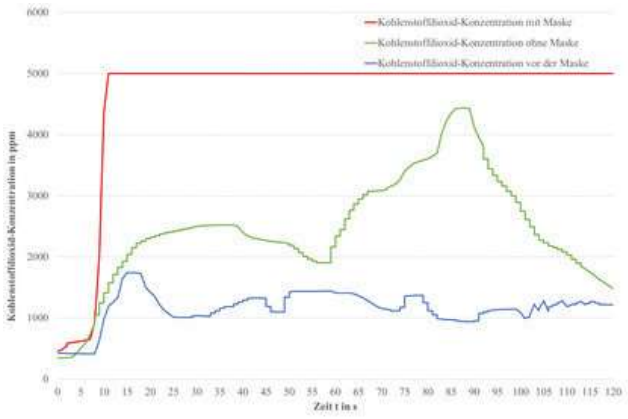


Abbildung 8: *Ergebnisse der CO_2-Messungen mit dem MH-Z16-Sensor-Modul*

unter dem in [18] angeführten gesundheitsschädlichen Niveau von 20000 ppm CO_2 liegen (vgl. Abbildung 7). Auch bei dieser Messung unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden eingesetzten Sensoren. Während das sensiblere MH-Z16-Sensormodul den Maximalwert von 5000 ppm sehr schnell erreicht, werden mit dem MG-811-Sensormodul Werte im Bereich zwischen 3000 und 4000 ppm erhoben. Insgesamt gilt es hier mit Schüler*innen zu diskutieren, inwieweit die Sensoren für eine Messung dieser Art ausgelegt sind. Die Sensoren dienen der Ermittlung von CO_2-Konzentrationen in Innenräumen. Das Volumen unter einer FFP2-Schutzmaske ist hierzu vergleichsweise sehr klein. Außerdem gilt es zu besprechen, inwieweit die verwendeten Sensoren dafür geeignet sind, sich durch die Atemfrequenz schnell verändernde CO_2-Konzentrationen zu ermitteln. Im naturwissenschaftlichen Unterricht kann der in diesem Beitrag aufgegriffene Mythos somit auch hinsichtlich der in den sozialen Medien kursierenden Videos [16] dargestellten Versuchskonzeptionen diskutiert und entlarvt werden.

Die mittels Arduino erhobenen Messwerte zeigen ebenso, dass die CO_2-Konzentration beim Atmen unter einer FFP2-Maske auch vor der Maske im Vergleich zum Ausgangswert steigt. Daraus kann abgeleitet werden, dass die FFP2-Maske durchlässig ist für das CO_2 der Ausatemluft. Würde das CO_2 der Ausatemluft nicht durch die Maske diffundieren können, wäre auch in Abbildung 7 ein stetiger Anstieg der CO_2-Konzentration unter der FFP2-Maske ersichtlich (vgl. roter Verlauf in Abbildung 7). Die im Vergleich zur CO_2-Konzentration unter der Maske niedrige CO_2-Konzentration vor der Maske könnte darauf schließen lassen, dass durch das Tragen einer Maske CO_2 der Ausatemluft rückgeatmet wird. Auch hier gilt Entwarnung: Menschen atmen auch ohne das Tragen einer Maske Teile des CO_2 der Ausatemluft wieder ein. Eine notwendige Luftzirkulation ist auch unter einer FFP2-Maske gewährleistet [25].

4. Umsetzung des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht: Kompetenzmodell

Bezogen auf das Kompetenzmodell Naturwissenschaften für berufsbildende höhere Schulen kann die in diesem Beitrag vorgestellte Lernumgebung mit Arduino insbesondere den beiden Handlungsdimensionen „Untersuchen und Bearbeiten“ und „Bewerten und Anwenden“ zugeordnet werden. Im Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe entspricht das den Handlungsdimensionen „Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren“ und „Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln“ [27,28].

Durch das Bearbeiten einer Untersuchungsfrage, das Aufbauen eines Versuchs, das Erheben von Messdaten sowie durch deren Dokumentation und Interpretation können Handlungskompetenzen der Dimensionen „Untersuchen & Bearbeiten“ bzw. „Erkenntnisse gewinnen“ bei Schüler*innen gefördert werden. Wenn Schüler*innen Verbindungen zwischen den von ihnen erhobenen Daten und den in den Medien kursierenden Daten herstellen und daraus Schlüssen ziehen, werden damit Kompetenzen der Handlungsdimensionen „Bewerten und Anwenden“ sowie „Schlüsse ziehen“ angesprochen.

5. Arbeit mit Arduino im naturwissenschaftlichen Unterricht: Erfahrungsbericht

Das in diesem Beitrag vorgestellte Experiment wurde sowohl im Rahmen einer Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer, als auch im Zuge eines Arduino-Workshops mit Schüler*innen einer zweiten Klasse einer berufsbildenden höheren Schule nach dem Konzept des forschenden Lernens [29] erprobt. Im Rahmen von rund 10 Schulstunden sollten die Lernenden in Kleingruppen einer Untersuchungsfrage zur Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken nachgehen, mittels der in diesem Beitrag angeführten Materialien einen Versuch aufbauen, Daten erheben und die Daten auswerten, interpretieren und präsentieren. Abbildung 9 stellt schematisch den Verlauf der Unterrichtseinheit dar.

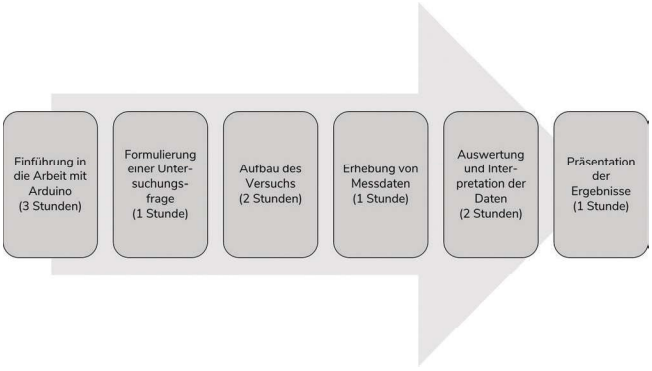


Abbildung 9: *Schematische Darstellung des Ablaufs der Unterrichtseinheit zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino im Kontext „Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken“*

Weder die Studierenden, noch die Schüler*innen hatten Erfahrung in der Arbeit mit Arduino. Nur wenige Studierende hatten Kenntnisse im Bereich des Programmierens. Es zeigte sich, dass die Arbeit mit Arduino zur digitalen Messwerterfassung für Personen ohne Vorerfahrung in diesen Bereichen schwierig ist. Für den Einsatz von Arduino in den Unterricht wird deshalb an dieser Stelle empfohlen Scaffolds im Sinne eines die Lernenden unterstützenden Gerüsts [19,20] an Hilfestellungen zu bieten. Bereitgestellte Scaffolds können von den Lernenden bei Bedarf als Unterstützung herangezogen werden. Scaffolds können die kognitive Belastung der Schüler*innen beim forschenden Lernen reduzieren und Überforderung vorbeugen [19]. Im Rahmen der Erprobung des in diesem Beitrag vorgestellten Experiments zeigte es sich, dass sich bereits im Vorfeld konzipierte Macro-Scaffolds [30] als enorm hilfreich für funktionierendes selbstständiges Arbeiten der Lernenden-Gruppen erweisen. Auf der Ebene des Macro-

Scaffoldings wurde eine digitale Lernumgebung in Moodle entwickelt. In Form von fünf Lektionen konnten Studierende und Schüler*innen die Grundlagen zum Aufbau und zur Funktionsweise des Systems Arduino erarbeiten. Anhand von Schritt-für-Schritt-Anleitungen wurden das Anschließen von Sensoren, das Laden eines Programmcodes und das Erheben von Daten erprobt. Digitale Aufgabenstellungen dienten der Sicherung des Erlernten [31]. Die Inhalte der Moodle-Lernumgebung konnten von den Lernenden immer wieder aufgerufen und somit als Unterstützung im Arbeitsprozess der CO_2-Messung herangezogen werden. Die wichtigsten Inhalte der digitalen Lernumgebung wurden außerdem in Form eines analogen Handouts zur Verfügung gestellt. Im Moodle-Kurs wurden weiters bereits funktionsfähige Programmcodes bereitgestellt. Diese konnten von den Lernenden bei Bedarf und bei Vorliegen entsprechender Programmierkenntnisse adaptiert werden. Einen weiteren Macro-Scaffold stellt das Angebot von FAQs im Moodle-Kurs da. In Form eines Glossars wurden häufig auftretende Probleme im Kontext der Arbeit mit Arduino aufgegriffen und Lösungsvorschläge angeboten.

Für die Arbeit mit Arduino im naturwissenschaftlichen Unterricht zeigte es sich, dass es für das Verständnis der Lernenden hilfreich ist, vor jeder der in Abbildung 9 dargestellten Phasen der Unterrichteinheit ein Zeitfenster für eine gemeinsame Festigung des Erlernten und für die Klärung darauffolgender Schritte einzuplanen. Für Schüler*innen war es enorm hilfreich, anhand eines beliebigen Beispiels Schritt-für-Schritt-Erklärungen geboten zu bekommen, bevor sie den jeweiligen Arbeitsschritt in ihrem spezifischen Projekt umgesetzt haben.

Neben dem Anbieten von Macro-Scaffolds kann der Einsatz von situations- und bedarfsorientierten Micro-Scaffolds [30] eine wirksame Unterstützungsmöglichkeit von Lernenden im Zuge der Arbeit mit Arduino darstellen. Sprachliche Scaffolds im Sinne von Worterklärungen können situationsspezifisch sehr wertvoll sein. Ebenso kann die Lehrperson durch gezielte Fragestellungen die Lernenden im Arbeitsprozess unterstützen, ohne ihnen konkrete Handlungsschritte vorzugeben.

6. Fazit

Der Einsatz von Arduino in den naturwissenschaftlichen Unterricht bietet die Möglichkeit, Kompetenzen unterschiedlichster Ebenen anzusprechen: Einerseits können Kompetenzen im Bereich des Umgangs mit digitalen Medien gefördert werden, wenn Lernende einen Versuch mit Arduino aufbauen, digitale Messwerterfassung umsetzen und die erhobenen Daten darstellen. Andererseits kann beim Arbeiten mit Arduino der Fokus auf die Interpretation der Messergebnisse gelegt werden. Damit werden kritisches Denken und ein Verständnis für naturwissenschaftliches Arbeiten gefördert. Eine Vielzahl an kostengünstigen, Arduino-kompatiblen Sensoren bietet die Möglichkeit, alltagsrelevante Probleme und Fragestellungen aufzugreifen und im naturwissenschaftlichen Unterricht zu thematisieren und zu diskutieren. Für Schüler*innen ohne Vorkenntnisse im Bereich des Programmierens stellt sich die Arbeit mit Arduino jedoch als sehr schwierig dar. Hier gilt es, viele Unterstützungsmöglichkeiten im Sinne von Schritt-für-Schritt-Anleitungen, vorgefertigten Programmcodes, Handouts, etc. zu bieten. Bei Interesse können die vom Autor*innen-Team entwickelten Unterstützungsmöglichkeiten zur Arbeit mit Arduino gerne angefragt werden: angelika.bernsteiner@uni-graz.at

Angelika Bernsteiner *Fakultäres Didaktikzentrum für Naturwissenschaften und Mathematik, Universität Graz*
Philipp Spitzer *Fachdidaktikzentrum Chemie, Universität Graz*
Claudia Haagen-Schützenhöfer *Fachdidaktikzentrum Physik, Universität Graz*
Thomas Schubatzky *Institut für Fachdidaktik und Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck*

Literatur

[1] Dönges, J., Röcker, A., Schadwinkel, A. (2020). Coronavirus-Mythen: Weihnachtsgeschenke übertragen keine Viren. https://www.spektrum.de/news/coronavirus-mythen-weihnachtsgeschenke-uebertragen-keine-viren/1713436 (letzter Zugriff am 19.12.2022).

[2] Barthels, I. (2020). Maskenpflicht in Deutschland: Die wichtigsten Mythen und die Wahrheit über Mund-Nase-Masken. https://www.tagesspiegel.de/wissen/die-wichtigsten-mythen-und-die-wahrheit-uber-mund-nase-masken-5719186.html (letzter Zugriff am 19.12.2022).

[3] Das, R., Ahmed, W. (2022). Rethinking Fake News: Disinformation and Ideology during the time of COVID-19 Global Pandemic. IIM Kozhikode Society & Management Review 11/1, 146-159.

[4] Marais, B. J., Sorrell, T. C. (2020). Pathways to COVID-19 'community protection'. International journal of infectious diseases 96, 496-499.

[5] World Health Organization (2021). Considerations for implementing and adjusting public health and social measures in the context of COVID-19. Interim guidance. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341811/WHO-2019-nCoV-Adjusting-PH-measures-2021.1-eng.pdf (letzter Zugriff am 12.10.2023).

[6] Arbeitskreis Gesundheit & Biologie im VBIO (2020). Empfehlungen des Arbeitskreises Gesundheit & Biologie im Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (VBIO) in Kooperation mit dem Arbeitskreis Schulbiologie. Empfehlungen zur biologischen Bildung in Schule und Lehramtsstudium in Zeiten der Corona-Pandemie. https://www.vbio.de/fileadmin/user_upload/Schule/pdf/Empfehlungen_des_AK_Gesundheit__Biologie_im_VBIO.pdf (letzter Zugriff am 12.10.2023).

[7] DVGeo, DMV, DPG, GDCh, VBIO (2020). Die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachgesellschaften zur COVID-19-Pandemie. https://www.vbio.de/fileadmin/user_upload/wissenschaft/pdf/Stellungnahme_der_Fachgesellschaften_zu_Corona.pdf (letzter Zugriff am 12.10.2023).

[8] Hodgin, E., Kahne, J. (2018). Misinformation in the Information Age. What Teachers Can Do to Support Students. Social Education 82/4, 208-211.

[9] Arbeitskreis Gesundheit & Biologie im VBIO (2020). Der Stellenwert der biologischen Bildung angesichts der Herausforderungen von SARS-CoV-2 und Covid-19. Stellungnahme des AK Gesundheit & Biologie im Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (VBIO). https://www.vbio.de/aktuelles/ak-gesundheit-biologie-im-vbio-zum-stellenwert-biologischer-bildung-in-zeiten-der-corona-pandemie (letzter Zugriff am 12.10.2023).

[10] MNU Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V. (Hrsg.) (2015). Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen. Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik, 1. Aufl. Klaus Seeberger, Neuss.

[11] Kurth, C., Wodzinski, R. (2018). Messwerterfassung mit dem Arduino in der Lehramtsausbildung. In: PhyDid B, Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – Jahresband 2018. Nordmeier, V., Grötzebauch, H. (Hrsg.). Berlin, 159-162.

[12] Arduino S.r.l. (2023). Arduino IDE. https://www.arduino.cc/en/software (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[13] Pusch, A. (2019). Arduino im Physikunterricht. Physik Journal 18/5, 26-29.

[14] Zieris, H. (2018). Der Arduino als Medium für den naturwissenschaftlichen Unterricht. PlusLucis 1, 4-7.

[15] Wieser, H. (Hrsg.) (2018). Arduino. Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts.

[16] Jonas, U. (2020). Nein, unter einem Mund-Nasen-Schutz steigt die CO2-Konzentration nicht auf einen gesundheitsgefährdenden Wert. Faktencheck. https://correctiv.org/faktencheck/2020/10/05/nein-unter-einem-mund-nasen-schutz-steigt-die-co2-konzentration-nicht-auf-einen-gesundheitsgefaehrdenden-wert/ (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[17] Tappler, P., Damberger, B., Greml, A., Hutter, H.-P., Kundi, M., Moshammer, H., Twrdik, F., Wallner, P. (2017). Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/innenraum/rl_luftqualitaet.html (letzter Zugriff am 12.10.2023).

[18] Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., Fisk, W. J. (2012). Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. Environmental health perspectives 120/12, 1671-1677.

[19] Arnold, J., Kremer, K., Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. ZfDN 23/1, 21-37.

[20] Hofer, E., Lembens, A. (2021). Forschendes Lernen. PlusLucis 1, 4-7.

[21] Arduino S.r.l. (2021). Arduino Uno Rev3. https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?queryID=undefined (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[22] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. MH-Z16 Intelligent Infrared Gas Module. Manual. https://www.tme.eu/Document/5a5d1eae93d8bdd3eb33799bbbbd7656/MH-Z16%20CO2%20V2.1.pdf (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[23] DFRobot. Gravity: Analog Electrochemical Carbon Dioxide Sensor (0-10000 ppm). https://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1023 (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[24] Seeed Technology Co.,Ltd. Base Shield V2. https://wiki.seeedstudio.com/Base_Shield_V2/ (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[25] Fulici, G., Peretti, C., Verdi, L., Oberkalmsteiner, R. (2020). Luftqualität bei Verwendung von Schutzvorrichtungen für Mund und Nase. Eine Studie des Labors für Luftanalysen und Strahlenschutz. https://umwelt.provinz.bz.it/publikationen.asp?publ_action=4&publ_article_id=406681 (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[26] Microsoft Corporation (2023). Was ist Datenstreamer? Excel für Microsoft 365. https://support.microsoft.com/de-de/office/was-ist-datenstreamer-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f (letzter Zugriff am 4.1.2023).

[27] Faissner, E., Flöry, P., Jaklin, J., Kiss, A., Koliander, B., Lang, O., Weiglhofer, H., Wiesinger, J., Ziegelbecker, R., Dorninger, C. Naturwissenschaftliche Bildungsstandards. Berufsbildende Höhere Schulen. Das Kompetenzmodell. https://www.bildungsstandards.berufsbildendeschulen.at/sites/default/files/broschuere/BBS-Bildungsstandards-Broschuere-Naturwissenschaften-BHS.pdf (letzter Zugriff am 1.3.2023).

[28] Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung (2011). Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe.

[29] Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. Sci. Ed. 94/4, 577-616.

[30] Puddu, S. (2021). Zwei Beispiele für Gelingensbedingungen für Forschendes Lernen im Chemieunterricht. PlusLucis 1, 8-11.

[31] Mandl, A., Haagen-Schützenhöfer, C., Spitzer, P., Schubatzky, T. (2022). Digitalität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht. Entwicklung und Beforschung einer Masterlehrveranstaltung für die Lehramtsausbildung. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2022. Grötzebauch, H., Heinicke, S. (Hrsg.), 161-168.

Lehren und lernen mit LEIFIchemie

Die kostenfreie Plattform für den Chemieunterricht

Daniel Klaus und Jenny Meßinger-Koppelt

Im Internet findet sich eine Vielzahl an digitalen Angeboten für den Chemieunterricht. Doch das passende Material für den eigenen Unterricht zu finden ist nicht immer leicht. Wo gibt es zu fachlichen Texten passende (interaktive) Aufgaben und Versuche? Inwiefern dürfen die gefundenen Materialien in der Schule eingesetzt oder verändert werden? Und womit können Schüler*innen online Chemie lernen, ohne von Werbung abgelenkt zu werden? Auf dem Portal LEIFIchemie finden Lehrer*innen Unterstützung bei der Unterrichtsvorbereitung: Das Lernportal bietet zahlreiche Inhalte für den Chemieunterricht, ergänzt durch Aufgaben, Animationen und Versuche. Schüler*innen erhalten abwechslungsreiche Übungsmaterialien, Hilfe bei Hausaufgaben und Unterstützung bei der Klausurvorbereitung. Das kosten- und werbefreie Material ist ein Angebot der Joachim Herz Stiftung und unter *www.leifichemie.de* (Abb. 1) erreichbar.

Abbildung 1: *QR-Code mit Direktzugriff auf LEIFIchemie*

1. Digitales Material: von Sicherheit im Labor bis Keto-Enol-Tautomerie

LEIFIchemie besteht derzeit aus fünf Teilgebieten: „Einführung in die Chemie“, „Allgemeine Chemie“, „Anorganische Chemie“, „Grundlagen der organischen Chemie“ sowie „Vom Natur- zum Kunststoff“. Die Inhalte umfassen dabei sowohl Fragestellungen aus dem Anfangsunterricht wie Sicherheit im Labor, Themen der Sekundarstufe I wie das Teilchenmodell sowie komplexere chemische Sachverhalte wie starke und schwache Säuren und Basen oder die Keto-Enol-Tautomerie. So vermittelt das Erklärvideo „Chemie ist überall“ beispielsweise einen unterhaltsamen Überblick über chemische Phänomene im Alltag und zeigt wo diese zu finden sind. Durch die zugehörige Entdeckungsaufgabe werden die Schüler*innen selbst aktiv und untersuchen, wo ihnen in ihrer Umwelt Chemie begegnet.

Die Inhalte auf LEIFIchemie werden kontinuierlich erweitert. Aktuell beinhaltet das Portal 23 Themenbereiche. Diese umfassen ihrerseits wiederum eine Vielzahl an Fragestellungen. So enthält der Themenbereich Teilchenmodell beispielsweise mehrere Artikel von Grundannahmen zum Modell, über Aggregatzustände und Druck bis hin zur historischen Entwicklung des Modells, jeweils ergänzt um passende Aufgaben, Versuche und Animationen (vgl. Abb. 2).

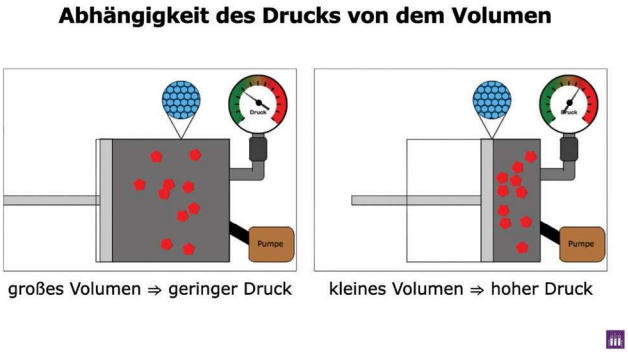


Abbildung 2: *Animationsvideo auf LEIFIchemie zur Abhängigkeit des Drucks vom Volumen. Neben Grundwissenstexten bietet das Portal eine Vielzahl ergänzender interaktiver Materialien, Aufgaben und Versuche.*

2. Basierend auf aktuellen Erkenntnissen der Lehr-Lern-Psychologie

Ein erfahrenes Team aus Schulpraxis und Fachdidaktik entwickelt und erprobt die Materialien gezielt für den Einsatz im Unterricht. Die Inhalte werden auf Basis der Lehrpläne der deutschen Bundesländer entwickelt, sind aber aufgrund der Vielzahl inhaltlicher Überschneidungen auch für den Einsatz an österreichischen Schulen geeignet. Bei der Entwicklung der Inhalte fließen Erkenntnisse aus der aktuellen Lehr-Lern-Psychologie zur Gestaltung digitaler Lernumgebungen ein [1]. So bestehen alle Themen aus einem Dreiklang: Grundwissen, Aufgaben und Versuche. Die Texte zum Grundwissen führen in Basiskonzepte ein und vermitteln grundlegendes Wissen, (interaktive) Aufgaben trainieren und festigen das Erlernte. Die Versuche verknüpfen schließlich die Theorie mit der Praxis und aktivieren die Eigeninitiative der Schüler*innen. Darüber hinaus erweitern Versuchs- und Animationsvideos (vgl. Abb. 2) sowie interaktive Simulationen das Angebot. Auf diese Weise werden die Inhalte für Schüler*innen praktisch erfahrbar gemacht. Zudem können Schüler*innen mit LEIFIchemie eigenen Fragestellungen nachgehen, indem sie zuhause experimentieren oder ihr Wissen mit Aufgaben im Quiz-Format testen.

Für eine leichte Orientierung und inhaltliche Einordnung sind alle Grundwissensseiten und Versuchsbeschreibungen auf LEIFIchemie einheitlich aufgebaut. So wird schnell klar, ob die aufgerufene Seite zum aktuellen Unterichtsinhalt passt.

3. Praktische Zusatzfunktionen für Lehrer*innen

Neben (interaktiven) Materialien für den Unterricht bietet LEIFIchemie eine Reihe praktischer Zusatzfunktionen für Lehrer*innen.

Im Chemieunterricht spielen Versuche und Experimente eine zentrale Rolle. Entsprechend finden sich auf LEIFIchemie nicht nur Hinweise zu Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung und Entsorgung, sondern auch Sicherheitshinweise zu den verwendeten Chemikalien. Viele Versuche werden durch Videos der Versuchsdurchführungen ergänzt. Es bietet sich an, diese Videos im Unterricht zu zeigen, wenn ein Experiment zu gefährlich für die Durchführung ist oder die entsprechende Ausstattung in der Schule fehlt. Zu Wiederholungszwecken können Schüler*innen die Versuche auch zuhause anschauen.

Zusätzlich bietet das Portal Verweise zu weiterführenden Inhalten oder fachübergreifend auf Materialien des Schwesterportals *www.leifiphysik.de*. Für den Unterricht im Klassenzimmer können Simulationen und Animationen auch als Datei heruntergeladen werden und unter dem Menüpunkt „Weblinks“ ist kuratiertes Material Dritter verlinkt. Außerdem können die Nutzer*innen eigene Vorschläge zu externen Materialien über eine Eingabemaske einreichen.

Eine praktische Sammlungsfunktion erlaubt es Lehrer*innen die Inhalte von LEIFIchemie passend für die eigenen Klassen bzw. Schüler*innen zusammenzustellen und zu teilen. Für die Nutzung dieser Funktion ist eine Registrierung auf der Seite nötig. Per Link, Short- oder QR-Code kann die Sammlung mit der Klasse geteilt werden. Schüler*innen können diese dann aufrufen, ohne sich selbst bei dem Portal registrieren zu müssen.

4. Zusammenfassung

Die Lernplattform LEIFIchemie bietet ein breites Angebot (interaktiver) Materialien für den Chemieunterricht. Alle Inhalte sind kosten- und werbefrei. Eine Registrierung ist nicht erforderlich. Durch die Lizenzierung der Inhalte mit einer Creative-Commons-Lizenz können Lehrkräfte die Inhalte rechtssicher nutzen, anpassen und mit ihren Schüler*innen teilen. Dadurch können die Materialien nicht nur für den eigenen Unterricht genutzt, sondern auch individuell angepasst und erweitert werden.

Daniel Klaus *Programmbereich Naturwissenschaften, Joachim Herz Stiftung*
Jenny Meßinger-Koppelt *Programmbereich Naturwissenschaften, Joachim Herz Stiftung*

Literatur

[1] Richter, J., Ulrich, N., Scheiter, K. & Schanze, S. (2016). eChemBook: Gestaltung eines digitalen Schulbuchs. Lehren & Lernen. Zeitschrift für Schule und Innovation aus Baden-Württemberg, 7, 23-29.

Neues aus dem Verein

Ein MOOC für den neuen Lehrplan

Der neue Lehrplan in der Unterstufe ist seit dem Schuljahr 2023/24 in Kraft und beinhaltet in Physik erhebliche Änderungen in der Verteilung der Themen, besonders aber im Zugang zu ihnen (vor allem in der 6. Schulstufe). Um Lehrkräfte bei der Umsetzung zu unterstützen, wurde unter der Leitung von Prof. Hopf ein MOOC entwickelt, welches als Fortbildung anrechenbar ist. Im MOOC erhalten Sie einen Überblick über die wichtigsten Themen des neuen Lehrplans. Dazu werden Videos, interaktive Übungen und Quizze angeboten.

Der MOOC richtet sich an Lehrpersonen aller Schularten, die Physik in der Sekundarstufe I nach dem neuen Lehrplan unterrichten werden. Daneben sind auch Studierende des Lehramts Physik in Bachelor und Master sowie Lehrende in der Physikdidaktik herzlich eingeladen, den MOOC zu absolvieren.

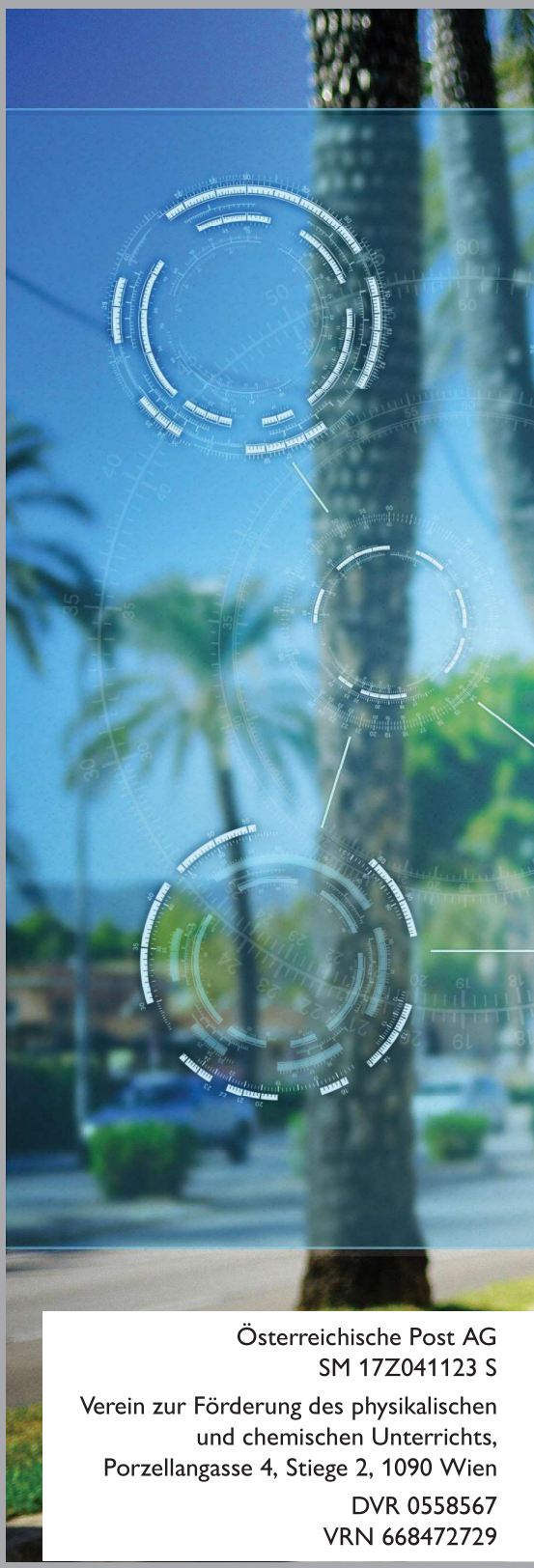
https://imoox.at/course/neuerlehrplanphysik

MOOC

Daneben gibt es auf der Homepage des AECC Physik noch eine Liste der Materialien für neuen LP.

https://aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_didaktik/AECC_Physik/Lehrer_innen/Fuer_den_Unterricht/Geraete_NeuerLehrplan.pdf

Link Materialliste



Österreichische Post AG
SM 17Z041123 S

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien

DVR 0558567
VRN 668472729

Impressum: Medieninhaber (Verleger) und Hrsg.: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts. Druck: Fa. Wograndl GmbH, Mattersburg

Retouren an: AECC Physik Unversität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien.