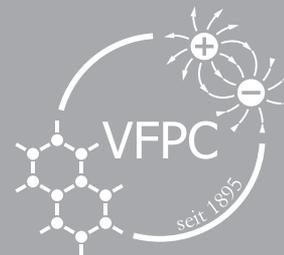


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts



Gemischter Satz 2021

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 Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
 Web: <https://www.pluslucis.org>
 Mail: schriftenleitung@pluslucis.org

Redaktion:

Mag. Dr. Thomas Plotz (Leitung)
 Mag. Sarah Zloklikovits

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:

Martin Hopf
 Universität Wien, Physikdidaktik
 E-Mail: martin.hopf@univie.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):

Bild von congerdesign auf Pixabay

Inhalt

Online Escape Room	4
<i>Louisa Morris, Florian Budimaier & Martin Hopf</i>	
Plakate ‚augmented‘: Experimentieranleitungen neu gefasst	8
<i>Arne Bewersdorff & Lutz Kasper</i>	
Die Sache mit der Fliehkraft – kritische Anmerkungen.....	11
<i>Leo Ludick</i>	
Elektrische Potentiale zum Anfassen: 3D-Druck mit GeoGebra.....	13
<i>Albert Teichrew & Roger Erb</i>	
Bau eines optischen Farbmischers	17
<i>Alexandra Seyfried</i>	
Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe II.....	19
<i>Wolfgang Aschauer</i>	
Kompetenzorientierung einmal anders – Lernaufgaben für den Unterricht.....	25
<i>Artur Habicher, Herbert Oberhauser & Wolfgang Dür</i>	
Zwei biophysikalische Aufgabenstellungen im Physikunterricht.....	31
<i>Birgit Schandl, Marianne Korner</i>	
Was bedeutet „Länge mal Länge = Fläche“ wirklich?.....	34
<i>Hermann Härtel</i>	
Die Reibungs-Elektroskopmaschine von Karl Winter aus Wien.....	36
<i>Franz Pichler</i>	

Editorial

Liebe Kolleg*innen,

neulich war ich wieder einmal auf Facebook unterwegs. Ich schaue mir da gerne auch die Gruppen für Physiklehrkräfte oder Science Teachers an. Ich kommentiere auch immer wieder einmal, wenn ich das Gefühl habe, etwas Sinnvolles beitragen zu können. Aber dieses Mal war ich dann doch ein wenig überrascht. In einer amerikanischen Gruppe wurde eine Idee zur Entkräftung von Flat-Earth-Ansichten diskutiert. Irgendwann waren wir dann bei der Frage, wo „unten“ ist und es gab einen Hinweis auf künstliche „Gravitation“ im Inneren einer rotierenden Raumstation. So weit so gut. Aber als in den darauf folgenden Erklärungen behauptet wurde, dass die Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft im Gleichgewicht stünden, musste ich doch eine Richtigstellung schreiben. Aber diese falsche Idee scheint doch einige Anhänger*innen zu haben. Aber was mich dann doch beruhigt hat, waren die positiven Kommentare zu meinen Anmerkungen. Sie können sich also darauf verlassen, dass unsere Gemeinschaft von Physiklehrkräften dazu beiträgt, dass die Beiträge in unseren Foren am Ende des Tages verlässlich sind. Und so wird Facebook und Co zu einer wertvollen Ergänzung für unser Tagesgeschäft.

Und zu diesen (hoffentlich) wertvollen Ergänzungen zählt auch PlusLucis. Sie haben wieder einmal ein Heft mit freien Themen, einen gemischten Satz in Händen. In solchen Heften versammeln wir Artikel zu verschiedenen Aspekten. In dieser Aufgabe finden Sie zunächst einen Beitrag von Morris, Budimaier und Hopf zu Online Escape Rooms. Vielleicht hat der eine oder die andere unter Ihnen ja schon im Rahmen der diesjährigen Fortbildungswoche an einem dieser Online Escape Rooms teilgenommen. Jedenfalls finden Sie im Artikel eine Nachlese und viele Ideen zur Gestaltung eigener Räume. Im zweiten Beitrag stellen Bewersdorff und Kasper vor, wie man Experimentieranleitungen als Poster gestalten kann. Dabei demonstrieren die Autoren beeindruckend, wie



Martin Hopf

moderne Technologien zu einer Unterstützung des Lern- und Experimentierprozesses beitragen können. Moderne Technologien werden auch im nächsten Beitrag genutzt: Teichrow und Erb stellen vor, wie man Geogebra dazu nutzen kann, 3D-Modell zu erstellen. So ist es relativ leicht möglich, auch komplexere Dinge selbst auszudrucken. Den 3D-Drucker nutzt auch Seyfried. Sie hat eine neue Version des Farbmischers entwickelt, die ganz auf komplexe Basteleien verzichtet und mit einer kleinen Schaltung und einem Minicomputer sowie einem Ausdruck auskommt.

Habicher, Oberhauser und Dür stellen im nächsten Artikel einen Satz an Lernaufgaben vor. Dieser dient dazu, die Kompetenzorientierung im Physikunterricht zu fördern. Ebenfalls um Aufgaben geht es im Beitrag von Schandl und Korner. Dort steht nun im Mittelpunkt, das Interesse der Schüler*innen zu fördern, indem Kontexte aus der Biophysik verwendet werden. In den vorgestellten Aufgaben geht es um den Elefanten und um die Nervenleitung.

Falls Sie die Sache mit der Fliehkraft nachlesen wollen, werden Sie im Artikel von Ludick fündig. Er nimmt sich der Physik an und erläutert das Zustandekommen der Schwerelosigkeit. Ich hoffe, Sie haben viel Vergnügen bei der Lektüre des Gemischten Satzes 2021.

Martin Hopf

Online Escape Room

– ein multimediales Erlebnis für Lernende im NaWi-Unterricht

Louisa Morris, Florian Budimaier & Martin Hopf

1. Einleitung

Waren Sie schon einmal eingesperrt? Und haben eine Stunde lang gemeinsam mit einigen anderen Menschen intensiv gesucht, gegrübelt, überlegt um zu entkommen? Wenn ja, haben Sie diese Zeit vermutlich als sehr interessant und spannend erlebt. Und wenn nein, sollten Sie unbedingt einmal ein solches Erlebnis in einem Escape Room buchen. Seit einigen Jahren gibt es ja immer mehr Anbietende von Escape Rooms.

2. Was ist ein Escape Room?

Escape Rooms sind Spiele, bei denen die Teilnehmer*innen als Gruppe innerhalb einer begrenzten Zeit aus einem oder einer Serie von Räumen entkommen müssen. Nachdem die Tür im ersten Raum zugefallen ist, muss nach Hinweisen gesucht werden, mit deren Hilfe beispielsweise eine Zahlenkombination entsteht. Diese ermöglicht es dann eine Tür zu öffnen und in den nächsten Raum zu kommen. Die Gestaltung der Rätsel ist in der Regel so angelegt, dass die Teilnehmer*innen zusammenarbeiten müssen, um ans Ziel zu gelangen. Zudem orientiert sich der Escape Room meistens an einer Rahmengeschichte, wie beispielsweise dem Aufdecken eines Verbrechens. Dies erhöht die Motivation und sorgt für ein spannungsgeladenes Rätselerlebnis [1].

Nicht zuletzt durch die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie wurden in letzter Zeit immer mehr digitale Alternativen zu den klassischen Escape Rooms entwickelt. Dabei verlagert sich das Rätseln in den virtuellen Raum – die Teilnehmer*innen finden sich in Kleingruppen einer Videokonferenz wieder. Hintergrundgeschichte und Rätsel werden im Webbrowser präsentiert, ansonsten bleibt das Spielprinzip aber das gleiche. Auch wenn die Spannung nicht an die eines realen Escape Room heranreicht, stellt das eine unterhaltsame Alternative dar.

Escape Rooms erfreuen sich nicht nur als Freizeitaktivität sondern auch im Schulunterricht immer größerer Beliebtheit. Auf Online-Plattformen [2] sowie in der didaktischen Literatur [3,4] finden sich mittlerweile zu vielen naturwissenschaftlichen Themen Escape Rooms, vorwiegend in englischer Sprache. Es zeigt sich, dass dieses Format auch äußerst gewinnbringend im Unterricht eingesetzt werden kann. Es gibt viele Ideen zu realen Escape Rooms, die im Physiksaal aufgebaut werden können. Aber natürlich kann man Escape Rooms für den Unterricht auch online gestalten. Möchte man selbst einen Online Escape Room erstellen, der sich gezielt an den Bedürfnissen des eigenen Unterrichts orientiert, gilt es einige wichtige Planungsschritte zu beachten, welche im Folgenden erläutert werden.

3. Was ist wichtig für die Planung des Escape Rooms?

Als Erstes sollten Thema und Zielsetzung des (Online) Escape Rooms geklärt werden. Dient dieser zur Wiederholung von bereits Gelerntem oder sollten neue Inhalte erarbeitet werden? Möchte man einen Überblick zu einem Thema geben oder sollten einzelne Details vertieft werden? Darüber hinaus ist für einen gelungenen (Online) Escape Room auch die Rahmengeschichte von großer Bedeutung. Sie motiviert die Lernenden auf ihrem Weg und verbindet die Aufgaben und Rätsel zu einem einheitlichen Ganzen. Naheliegende Handlungsorte für die Hintergrundgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht sind (fiktive) Labore und Forschungseinrichtungen, aus denen es zu entkommen gilt. Wählt man hingegen einen realen, öffentlichen Ort dafür aus, kann man auch selbst aufgenommene Fotos integrieren und den Online Escape Room lebendiger gestalten. Hier würde sich zum Beispiel ein Ausbruch aus dem Physiksaal der eigenen Schule anbieten.

Ein weiterer Aspekt, der bereits früh in der Planung des (Online) Escape Rooms miteinbezogen werden muss, ist die Auswahl der Plattform. Wir haben gute Erfahrung mit der Verwendung von Google Forms bei der Gestaltung des Online Escape Rooms für die Fortbildungswoche 2021 gemacht. Es gibt auch diverse andere Optionen (z. B. Microsoft Forms, OneNote, moodle, H5P, Padlet), welche sich dafür eignen würden. Entscheidend ist, dass sich Abschnitte erstellen lassen, welche man erst durch Eingabe eines Codes erreicht. So lässt sich die Idee des schrittweisen Ausbrechens aus einer Serie von Räumen in die virtuelle Welt transferieren. Ebenso praktisch erwies sich die Einbettung von selbst erstellten QR-Codes, die es den Teilnehmer*innen ganz leicht ermöglichen, verschiedene URLs aufzurufen. Eine weitere technische Voraussetzung ist eine Videokonferenz-Software, die Breakout-Sessions unterstützt. Dies ist mittlerweile bei allen gängigen Videokonferenz-Plattformen (z. B. Microsoft Teams, ZOOM, Webex, Google Meet) möglich.

Sind die Zielsetzung, technischen Rahmenbedingungen sowie die Hintergrundgeschichte geklärt, geht es an das Erstellen der konkreten Rätsel. Dabei können einerseits die Funktionen der Plattform selbst genutzt werden, um Aufgaben zu stellen. Andererseits bietet es sich an Bilder, Videos, Simulationen oder interaktive Bildschirmexperimente (IBEs) durch Einfügen von Links zu integrieren. Möchte man beispielsweise einen Online Escape Room zum elektrischen Stromkreis erstellen, so könnte man die Lernenden mit einer Simulation [5]

verschiedene Schaltungen nachbauen lassen. Je komplexer dabei die Aufgabenstellungen werden, desto wichtiger ist es auch Hilfestellungen zu ergänzen. Diese können beispielsweise immer dann angezeigt werden, wenn eine falsche Lösung eingegeben wurde. Näheres zur Gestaltung von Rätseln findet sich in Abschnitt 4.

Will man einen abwechslungsreichen Escape Room mit verschiedenen Rätseln erstellen, ist mit einem erheblichen zeitlichen Aufwand zu rechnen. Es bietet sich daher an, diese im Team zu erstellen. Je nach Ausrichtung des Escape Rooms können das entweder die Fachkolleg*innen oder für ein fächerübergreifendes Projekt auch alle Lehrenden einer bestimmten Klasse sein. Ebenfalls ist es möglich, den Escape Room gemeinsam mit Lernenden zu gestalten [6]. Dies eignet sich besonders für projektbezogenen Unterricht in Wahlpflichtfächern oder unverbindlichen Übungen.

Zuletzt empfiehlt es sich den fertigen Escape Room einem Probelauf zu unterziehen, um technische sowie inhaltliche Fehler erkennen und ausbessern zu können. Die Schwierigkeit der einzelnen Rätsel lässt sich möglicherweise im Vorhinein nur schwer einschätzen, manchmal müssen zusätzliche Hilfestellungen eingebaut werden, damit die Lernenden nicht an einem einzelnen Rätsel hängen bleiben und die Motivation verlieren. Der Probelauf und das darauffolgende Überarbeiten des Escape Rooms sollte unbedingt in die zeitliche Planung miteinbezogen werden. Für die letztendliche Durchführung ist es zudem wichtig sich zu überlegen, wie man mit den Teilnehmer*innen kommunizieren kann, wenn es Probleme gibt. Dies kann entweder direkt in den Breakout-Sessions oder durch ein externes Kommunikationstool (Email, Telefon, Chat, ...) geschehen. Einen Überblick über die sieben Schritte zum erfolgreichen (Online) Escape Room findet sich in Tabelle 1. In Anbetracht des Aufwands für die Gestaltung von Online Escape Rooms plädieren wir für einen intensiven Austausch unter den Lehrer*innen. Denn: Ist der Online Escape Room erst einmal erstellt, so kann er in der Regel relativ leicht übernommen werden.

Tabelle 1 In sieben Schritten zum Online Escape Room

1. Zielsetzung festlegen	Welches Thema wird behandelt? Wie wird dieses in den Unterricht eingebettet?
2. Hintergrundgeschichte ausdenken	An welchem (fiktiven) Ort spielt die Geschichte, inwiefern passt sie zum Thema? Gibt es handelnde Personen?
3. Technische Rahmenbedingungen klären	Welche Plattform wird verwendet? Welche Software steht für Videokonferenzen zur Verfügung?
4. Rätsel erstellen	Wie viele Rätsel sollte es geben? Wie ist der Schwierigkeitsgrad der Rätsel? Sind die Rätsel abwechslungsreich?
5. Testlauf durchführen	Wer nimmt am Testlauf teil? Wie wird Feedback eingeholt?
6. Rätsel überarbeiten	Was hat im Testlauf noch nicht funktioniert? Wo müssen Hilfestellungen ergänzt werden?
7. Durchführung des Online Escape Rooms	Wie können mich die Teilnehmer*innen erreichen, falls es Probleme gibt?

4. Planung der Rätsel an einem konkretem Beispiel

Bei der Gestaltung des Online Escape Rooms der Fortbildungswoche war uns wichtig, ein buntes Spektrum an Rätseln aus der Chemie und Physik bereitzustellen, um die Teilnehmer*innen in verschiedenen Gebieten spielerisch herauszufordern. Wichtig war uns auch, reale Experimentiersituationen einzubauen.

Zudem wurde angestrebt, den Teilnehmer*innen bei der Bearbeitung der Rätsel möglichst viele unterschiedliche Ressourcen und Simulationen für den Einsatz im NaWi-Unterricht vorzustellen. Diese sollten dabei möglichst intuitiv aber nicht zu einfach in der Anwendung sein. Einige Ideen für Tools, die unter anderem für den hier vorgestellten Online Escape Room verwendet wurden, finden sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht über mögliche Tools für die Verwendung im Escape Room

Tool	Kurzbeschreibung
phyphox.org	App für Experimente mit dem Smartphone
phet.colorado.edu	interaktive Simulationen
walter-fendt.de	interaktive Simulationen
concord.org	interaktive Simulationen
Stellarium.org	digitales Planetarium
scoollab.web.cern.ch	Sammlung von z. B. Versuchen und Texten
tetfolio.fu-berlin.de	Erstellung eigener Bildschirmexperimente und fertige IBEs
algodoo.com	Erstellung eigener Simulationen
leifiphysik.de	Sammlung von Simulationen, Versuchen, Aufgaben, Texten
Youtube	z. B. von WebPhysik
edumedia-sciences.com	Sammlung von Texten
Pyxelsynth	Umwandlung von Bild in Ton
Viana, NewtonDV, MeasureDynamics, Tracker	Videoanalyseprogramme

Im Folgenden wird anhand eines konkreten Beispiels aus der Fortbildungswoche gezeigt, wie die Planung eigener Rätsel aussehen könnte.

Im ersten Schritt wird das Thema des Rätsels festgelegt (z. B. Akustikrätsel, Optikrätsel, E-Lehre-Rätsel,...). Dabei sollte darauf geachtet werden, dass es inhaltlich zum Rest des Escape Rooms passt und gut in die Rahmengeschichte eingebettet werden kann. Für die Fortbildungswoche war die einzige Einschränkung, möglichst allgemeine Themen zu wählen, die kein vertiefendes Wissen voraussetzen.

Im zweiten Schritt wird ein zum Thema passendes Real-Experiment oder eine Simulation ausgewählt. Einige Ideen für sinnvolle Tools wurden bereits zuvor genannt. Hier kann man kreativ werden und selbst ausprobieren, was alles möglich ist. Dazu bietet sich allerdings an, einen Probelauf durchzuführen, wie im letzten Abschnitt beschrieben wurde.

Aufgabe

- Öffnen Sie phyphox auf Ihrem Smartphone. Sollten Sie die App noch nicht installiert haben, können sie unter folgendem Link herunterladen: <https://phyphox.org/de/download-de/>
- Nutzen Sie die Funktion Audio Spektrum, um das Audiofile zu entschlüsseln (Achten Sie beim Abspielen bitte auf die Lautstärke).

Link zum Audiofile

VORSICHT! Bitte nicht mit Kopfhörern anhören und die Lautstärke zunächst auf "leise" einstellen.

<https://bit.ly/3oD5ZL6>

Wie lautet die verschlüsselte Botschaft im Audiofile? *

0 Punkte

Meine Antwort _____

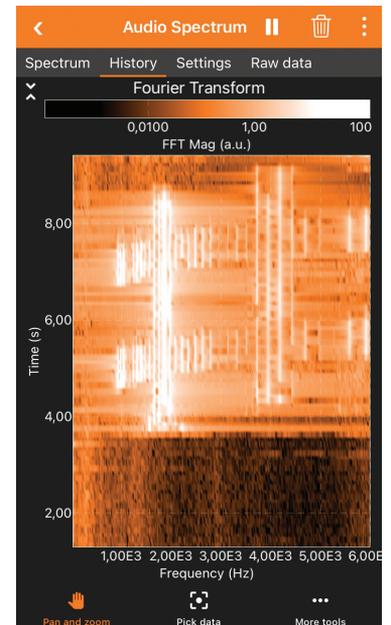


Abbildung 1: links: Aufgabenbeispiel für das Akustik-Rätsel. rechts: Ansicht in Phyphox.

Das Akustik-Rätsel wurde rund um die Phyphox-App (zum kostenlosen Download verfügbar im IOS App und Google Store) aufgebaut. An diesem Punkt wurde ein tolles Lösungswort ausgewählt und als (gespiegeltes) Bild abgespeichert. Mithilfe von Pixelsynth, einem browserbasiertem Synthesizer, wird dieses nun von einem Bild in ein Audiofile (im .wav Format) umgewandelt.

Den Teilnehmer*innen des Escape-Rooms wird das Audiofile zur Verfügung gestellt, mit der Anweisung, es mit Phyphox zu dekodieren (siehe Abbildung 1, links). In der Phyphox-App muss man nun den Reiter "Audio Spectrum" und anschließend „History“ auswählen und auf Start klicken. Spielt man nun das Audiofile ab (Vorsicht, hier am besten zuerst die Lautsprecher auf „leise“ einstellen), so erstellt das Programm mittels Fourier Transformation ein Bild der Frequenzen (siehe Abbildung 1, rechts). Probieren Sie es doch gleich aus [7]!

Im letzten Schritt sollte man sich Gedanken über eine ansprechende Präsentation des Rätsels machen. In den meisten Escape-Rooms geht es um Ausbruchs- oder Rettungsmissionen mit einem düsteren Flair. In der Rahmengeschichte des hier beschriebenen Online-Escape Room sollten die Teilnehmer*innen aus der Fakultät für Physik der Universität Wien entfliehen. Durch einen unglücklichen Umstand finden sich die Teilnehmer*innen zu Beginn des Escape Rooms im versperrten Dachgeschoss der Fakultät. Um sich aus dieser misslichen Lage zu befreien, müssen verschiedenste Rätsel gelöst werden, die im ganzen Gebäude verteilt zu finden sind. Für die Gestaltung der Rätsel wurden daher im Vorfeld Fotos an der Fakultät für Physik aufgenommen, die mit einem Bildbearbeitungstool verändert wurden, sodass sie die düstere Stimmung des Rätsels widerspiegeln (siehe Abbildung 2).

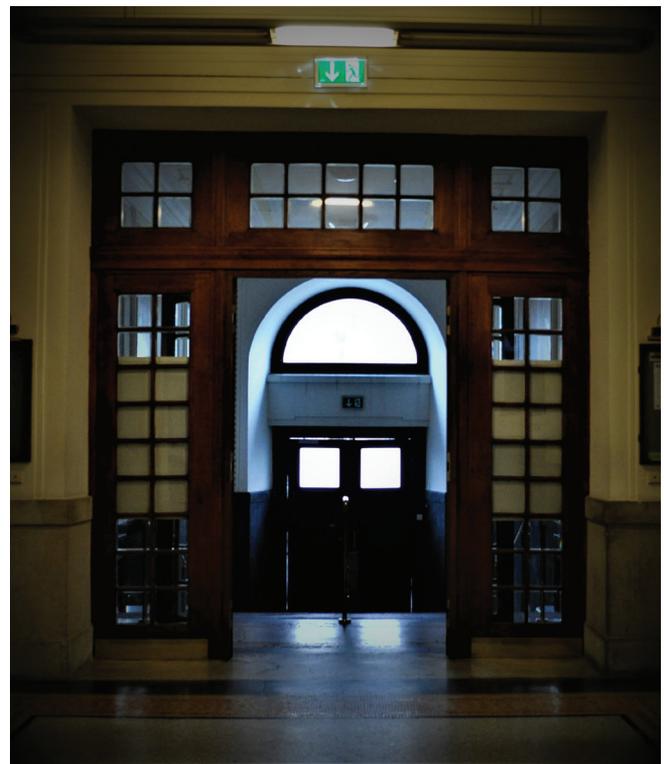


Abbildung 2: Gestaltungsbeispiel für den Escape Room.

5. Erfahrungen mit dem Online Escape Room der Fortbildungswoche 2021

Insgesamt wurde der Online Escape Room von den Teilnehmer*innen der Fortbildungswoche 2021 sehr positiv bewertet. Dennoch gab es einige Verbesserungsmöglichkeiten, die im Folgenden ausgeführt werden.

Der Online Escape Room wurde ursprünglich geplant, um ein soziales Rahmenprogramm zu schaffen, in dem sich die Teilnehmer*innen untereinander austauschen konnten. Daher wurden zu Beginn der Veranstaltung in Zoom mithilfe von

Break-out Rooms Kleingruppen gebildet. Dies funktioniert sehr schnell und einfach und bietet sich daher auch für zukünftige Online-Events an. Die Teilnehmer*innen sollten anschließend die Rätsel des Escape Rooms mit vereinten Kräften lösen. Diese Form der Organisation fand großteils guten Anklang, der Nachteil besteht aber darin, gegebenenfalls in einer Gruppe zu landen, in der sich die Kommunikation nicht so einfach erweist. Alternativ könnten sich die Teilnehmer*innen die Gruppen selbst aussuchen, wobei dann keine neuen Bekanntschaften gemacht würden.

Darüber hinaus wurde von den Teilnehmer*innen rückgemeldet, dass einige Simulationen deutlich schwieriger in der Handhabung waren als andere, da sie teilweise noch gänzlich unbekannt waren und man sich erst einarbeiten musste. Ein Beispiel dafür ist das Chemie-Rätsel, das mit der Simulation netlogoweb.org arbeitete.

Das Wesen eines Escape-Rooms besteht darin, Rätsel mit Logik und Kreativität zu lösen. Dabei kann man sich oft nicht auf detaillierte Instruktionen verlassen, sondern muss sich geschickt vortasten und verschiedenste Möglichkeiten ausprobieren. Diese Vorgehensweise schien für einige Teilnehmer*innen ungewohnt zu sein, denn es wurde angemerkt, dass die Erklärungen zu den Rätseln teilweise nicht ausreichend waren. Diesem Problem kann man auf zwei Arten begegnen: entweder man stellt in den Instruktionen nochmals deutlich klar, wie ein Escape Room in der Regel funktioniert oder man wandelt die Rätsel so um, dass sie genauere Instruktionen enthalten.

6. Resümee

Ein Online Escape Room bietet viele spannende Möglichkeiten für den Einsatz im Unterricht.

Literatur

- [1] Nicholson, S. (2015). Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities . <https://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf> (letzter Zugriff am 19.3.2021).
- [2] z. B. <https://www.teacherspayteachers.com/> oder <https://breakoutedu.com/>
- [3] Belova, N., Wlotzka, P., Lathwesen, C. (2021). Escape Rooms – nicht nur in der Freizeit spannend. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, 32(182), 2-7.
- [4] Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M.-C. P., van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, 31. 100364.
- [5] z. B. https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_de.html
- [6] Schuhmacher, A. (2021). Escape Rooms gemeinsam mit Lernenden gestalten. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, 32(182), S. 36-41.
- [7] <https://bit.ly/3oD5ZL6>
QR-Code:

- [8] <https://forms.gle/RNX27r3bMTA1EZkd6>

Es können beispielsweise kleine Experimente integriert werden, in denen ein Messwert ermittelt werden soll und als Code für den nächsten Raum dient. Inhaltlich kann der Escape Room einem bestimmten Kapitel im Unterricht gewidmet sein, wobei auch die Rahmengeschichte individuell angepasst werden kann. Zudem lässt sich der Escape Room als Projektarbeit für eine Klasse planen. Dabei bekommt jede*r Schüler*in ein Thema zugeteilt, zu dem ein Rätsel für den Escape Room erstellt werden soll. Falls die Möglichkeit besteht, ein Wahlfach oder eine unverbindliche Übung abzuhalten, könnten Schüler*innen auch einen Escape Room nach ihren Ideen für z. B. niedrigere Klassenstufen entwickeln.

Dies sind nur einige von vielen Ideen für den Einsatz von Escape Rooms, wobei der Kreativität keine Grenzen gesetzt sind.

Wir können nur empfehlen, sich auf (Online) Escape Rooms einzulassen. Verwenden Sie vielleicht zum Einstieg einen fertigen Raum. Den Escape Room der Fortbildungswoche stellen wir auf Nachfrage gerne bereit [8]. Sie werden feststellen, dass Schülerinnen und Schüler sehr motiviert in Escape Rooms arbeiten werden. Wir würden uns sehr über einen Austausch unter Benutzer*innen und Entwickler*innen von (Online) Escape Rooms freuen.

Wir danken Sarah Zloklikovits, Julia Woithe, Mike Hull, Peter Balaz und Clara Hollomey für die Mitgestaltung der Rätsel zum Online Escape Room der Fortbildungswoche 2021.

Louisa Morris *AECC Physik, Universität Wien*

Florian Budimaier *AECC Physik, Universität Wien*

Martin Hopf *AECC Physik, Universität Wien*

Plakate ‚augmented‘: Experimentieranleitungen neu gefasst

Arne Bewersdorff & Lutz Kasper

Experimentierplakate stellen den gesamten Experimentierprozess auf einem Plakat dar. Sie können so zu einer gesteigerten Übersicht über den Prozess von der Fragestellung über die Durchführung und die Ergebnisse bis zur Schlussfolgerung beitragen. Weiter bieten Experimentierplakate Möglichkeiten zur Kommunikation und Kooperation, etwa durch gemeinsames Lesen, Erklären und Arbeiten an dem Plakat. Durch beschreibbare Flächen, eingebettete QR-Codes und Augmented-Reality-Anwendungen bietet sich eine Vielzahl interaktiver Nutzungsmöglichkeiten.

1. Einleitung

Bei anspruchsvollen Experimenten sind bisher die Experimentieranleitungen oft mehrseitige, im DIN A4-Format gedruckte Papieranleitungen [1-3], speziell programmierte Webseiten [4] oder multimediale, interaktive Versuchsanleitungen [5].

Zur Verwendung eines Plakats als Experimentieranleitung konnte trotz intensiver Recherche keine Literatur gefunden werden, weswegen angenommen werden darf, dass mit

der Entwicklung von Experimentieranleitungen als Plakate fachdidaktisches Neuland betreten wird. Dies ist umso verwunderlicher, je intensiver man die Vor- und Nachteile dieser Medienform für Experimentieranleitungen abwägt, scheinen doch viele Argumente für oder mindestens nicht gegen den Einsatz dieses Mediums zu sprechen.

2. Aufbau des Experimentierplakats

Der gesamte Experimentierprozess ist auf dem Plakat abgebildet. Die im Experimentierprozess zentralen Teilprozesse Fragestellung, Durchführung und Schlussfolgerung werden optisch hervorgehoben und bilden auf der gestalterischen (Meta-)Ebene den Erkenntnisprozess nach. Dieser Grobstruktur gliedern sich, Hypothese, Planung und Auswertung ein [6].

QR- und VR-Codes können die Plakate um Animationen und weiterführende Informationen (etwa Hilfen oder Lösungen) erweitern, ohne dabei jedoch die Experimentieranleitung mit zusätzlichen Texten oder Grafiken zu überfrachten.

Auf der Suche nach der Elementarladung

Der Millikan-Versuch
Praktikum Moderne Physik

1. Einleitung

Aus dem Alltag und der Mathematik kennen wir das Prinzip der Quantelung. Geld, Reiskörner und alle natürlichen Zahlen treten nur als ganzzahlige Vielfache eines Elementarobjekts auf. Was ist jeweils das Elementarobjekt von ‚Geld‘, ‚Reiskörner‘ und den natürlichen Zahlen?

Fragestellung

Existiert eine unteilbare ‚Elementarladung‘ und ist somit jegliche Energie gepunktet, also ein ganzzahliges Vielfaches dieser Elementarladung?

2. Vorgehen

Um diese Fragestellung zu beantworten wollen wir das Energieniveau von sehr kleinen Öltröpfchen untersuchen. Lassen sich die untersuchten Öltröpfchen in Gruppen diskreter Energieniveaus einteilen, lässt sich schließen, dass Energie gepunktet ist. Dann können wir sogar den kleinsten gemeinsamen Teiler suchen und damit die Elementarladung bestimmen!

3. Idee

Den Kern des Millikan-Versuchs bildet ein durch einen Kondensator erzeugtes elektrisches Feld, in welches kleine Öltröpfchen eingespritzt werden. Durch schnelles Umpolen des elektrischen Feldes können die negativ geladenen Öltröpfchen in der Luft gehalten werden.

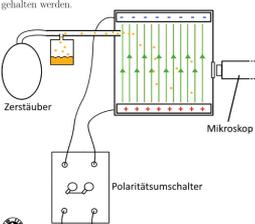


Abbildung 1: Schematische Versuchsaufbau

Aus der Stärke des elektrischen Feldes und der Fall- bzw. Steiggeschwindigkeit der Tröpfchen kann die Energie eines Öltröpfchens bestimmt werden.

4. Materialien

Benötigt werden: Millikan-Versuch mit Polaritätsschalter, Netzgerät, Experimentierkabel, Moti-Cam mit Marko-Linse 8mm und Halterung, PC mit Software ‚Motie Image Plus‘, Multimeter, Silikonöl und Kalibrierungsglas

4. Versuchsaufbau

Achtung! Beachten Sie mögliche Gefahren durch Hochspannung!

A Am Netzgerät werden zwei Spannungsausgänge mit einem Experimentierkabel in Reihe geschaltet.

B Verbinden Sie die Anschlüsse C Füllen Sie den Glaszerstäuber des Polaritätsschalters mit einem wenig Silikonöl und fixieren Sie diesen mit einem Gummiband in dem Apparat.

D Schließen Sie anschließend noch ein Spannungsmessgerät an den Polaritätsschalter um so die Spannung des elektrischen Feldes zu überwachen.

6. Kalibrierung

1. Schieben Sie das Kalibrierungsglas in den Schlitz zwischen Mikroskop und Kammer.

2. Stellen Sie das Kalibrierungsglas so ein, dass die Kalibrierungslinien des Mikrometers scharf zu erkennen sind.

3. Die Linien des Kalibrierungsglasses liegen 10µm auseinander. Bestimmen Sie möglichst genau den Abstand der Strichentellung der mikroskopierten Skala und notieren Sie den Abstand hier:

Abstand _____ µm = _____ m

7. Durchführung

A Stellen Sie die Spannung des Kondensators auf 500V.

B Blasen Sie mit dem Zerstäuber Öltröpfchen in das magnetische Feld. Zu Beginn ist mehrmaliges kräftiges Einblasen erforderlich. Nach dem Blasen decken Sie die obere Öffnung der Kammer mit einem Glasplättchen ab um

8. Auswertung

1. Bestimmen Sie für jedes der Videos die **gesamte** Steigzeit eines Öltröpfchens und die dabei **insgesamt** gestiegene Höhe und tragen Sie die Ergebnisse in die Tabelle ein.

2. Verfahren Sie analog für die Fallzeiten.

3. Berechnen Sie mit $v = \frac{s}{t}$ die Steig- und Fallgeschwindigkeiten.

4. Berechnen Sie die Ladung Q der Öltröpfchen:

$$Q = C_1 \cdot \frac{v_{st} + v_{fa}}{U} \sqrt{m_1 - m_2}$$
 mit $C_1 = 2,73 \cdot 10^{-11} \frac{kg \cdot m}{s}$

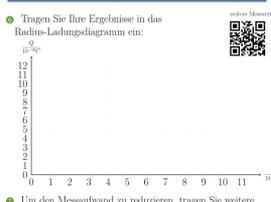
5. Berechnen Sie den Radius der Öltröpfchen:

$$r = C_2 \cdot \sqrt{|v_{st} - v_{fa}|}$$
 mit $C_2 = 6,37 \cdot 10^{-3} (m \cdot s)^{1/2}$

Ergebnisse 2

Ladung Q [C]	Radius r [µm]

Tragen Sie Ihre Ergebnisse in das Radius-Ladungsdiagramm ein:



1. Um den Messaufwand zu reduzieren, tragen Sie weitere vorbereitete Ergebnisse, welche Sie über den QR-Code erreichen, in das Diagramm ein

2. Versuchen Sie, parallel zur x-Achse, Energieniveaus so in das Diagramm einzupassen, dass näherungsweise jeder Messpunkt einem Energieniveau zugeordnet werden kann (Tipp: Wir suchen diskrete Energieniveaus, also müssen die Energieniveaus etwa den gleichen Abstand zueinander haben)

3. Lesen Sie nun die Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Energieniveaus ab und schreiben diese ebenfalls in das Diagramm

4. Formulieren Sie Ihre Erkenntnis

Ergebnisse

Spannung U [V]	Steigzeit	gestiegene Höhe	gestiegene Höhe [mm]	Steiggeschwindigkeit v_{st}	Fallzeit	gefallene Strecke	gefallene Strecke [mm]	Fallgeschwindigkeit v_{fa}
313								
400								
500								

5. Anschluss der Moti-Cam

Schrauben Sie auf den Sensoreingang der MotiCam die 8 mm Blende und schauen Sie anschließend noch die Kamerahalterung für Mikroskope an. Stecken Sie die MotiCam mit der Halterung auf das Mikroskop und ziehen sie die Stellschrauben an. Installieren Sie die Software ‚Motie Image Plus‘, verbinden Sie die Kamera über USB mit dem PC und starten Sie die Software. Über ‚Erfassen‘ wird ein Live-Bild dargestellt. Unter dem Reiter ‚Video-Aufnahme‘ können Sie Videos aufnehmen.

Abbildung 1: Das Experimentierplakat: Wichtige Prozessschritte sind in Boxen optisch hervorgehoben

3. Eigenschaften des Experimentierplakats

Ein zentraler Vorteil, etwa gegenüber der weithin üblichen DIN-A4-Papieranleitung, ist die bessere Übersicht über den gesamten Experimentierprozess. Die Lernenden haben während des Experimentierens stets das gesamte Experiment, von der Fragestellung über die Hypothese und die Durchführung bis zur Schlussfolgerung, im Blick. Somit ist es den Lernenden leicht möglich, sich in den verschiedenen Teilprozessen zu orientieren und zu verorten. Ist etwa während der Durchführung des Experiments durch Lernende aufgrund von Unklarheiten eine Vergegenwärtigung des theoretischen Hintergrunds nötig, ist dies ohne Blättern und Suchen in einer teils viele Seiten umfassenden DIN-A4-Papieranleitung möglich – ein Blick auf das Experimentierplakat genügt.

Die erhöhte Transparenz über den gesamten Experimentierprozess hilft den Lernenden außerdem ihre zentrale Fragestellung – im wörtlichen Sinn – nicht aus den Augen zu verlieren.

Bei Medien wie der Papieranleitung oder einer computerbasierten Anleitung benötigen die Lernenden ihre Hände um die Experimentieranleitung zu halten, umzublättern bzw. mit der Computermaus/dem Touchpad zu scrollen oder zu klicken. Das Experimentierplakat hat demgegenüber den Vorteil, dass während des Experimentierprozesses zum Voranschreiten in der Anleitung kein händisches Navigieren notwendig ist. Die Hände bleiben damit frei zum Experimentieren oder für andere Interaktionen mit der Experimentieranleitung.

Die freien Hände können für die Nutzung von crossmedialen Interaktionsmitteln, wie QR- oder AR-Codes, mittels Smartphone verwendet werden. Dadurch lässt sich das Plakat um einen ‚Second Screen‘ erweitern. Über das online bereitgestellte Material (→ 6.) können die digitalen Erweiterungen selbst ausprobiert werden.

Durch das Anreichern des Plakats mit QR- oder AR-Codes können den Lernenden vertiefende Informationen oder gestufte Hilfen zur Verfügung gestellt werden. Außerdem ist das ‚Verstecken‘ von Information, etwa vorgegebener

Messwerte, möglich, um die Struktur und Gestaltung des Plakats übersichtlich zu halten, und die Lernenden nicht vom wesentlichen Inhalt abzulenken.

Die Verwendung eines Experimentierplakats kann die Kommunikation innerhalb der Experimentiergruppe erleichtern und fördern. Da die gesamte Experimentiergruppe nur ein Plakat zur Verfügung hat, ist das gemeinsame Lesen und Bearbeiten der Experimentieranleitung vorbestimmt. Die großen Abbildungen und Messwerttabellen fördern das gemeinsame Besprechen und gegenseitige Erklären in der Gruppe am Plakat. An das bei der DIN-A4-Papieranleitung oft übliche ‚stille Einlesen‘ in Einzelarbeit tritt das gemeinsame Erarbeiten.

Die Messergebnisse, Schaubilder und die Schlussfolgerung lassen sich direkt in das Plakat eintragen. Somit findet eine zentrale Ergebnissicherung statt.

Nach der Experimentierphase kann das Vorstellen des Experiments, der Messergebnisse und der gewonnenen Schlussfolgerung für alle Lernenden sinnvoll sein. Insbesondere, wenn nicht alle Lernenden alle Experimente selbst durchgeführt hat, ist eine ausführliche Vorstellung der Experimente ertragreich. Hierbei unterstützt das Plakat die Vortragenden dahingehend, dass das Plakat aufgrund der Größe und der übersichtlichen Darstellung des gesamten Experimentierprozesses gleich als Medium zur Präsentation und Vorstellung des Experiments und seiner Ergebnisse genutzt werden kann. Dies kann auch aus zeitökonomischen Gründen sinnvoll sein: Meist ist das verfügbare Zeitkontingent beschränkt, sodass die Lernenden oft wenig Zeit aufbringen können, ihre Ergebnisse und Erkenntnisse angemessen aufzubereiten und darzustellen.

Nach der Präsentation besteht die Möglichkeit, die Plakate weiter im Klassenzimmer bzw. Seminarraum hängen zu lassen, um während des Unterrichts bzw. Seminars schnell auf die gewonnenen Erkenntnisse zurückgreifen zu können.

Die Verwendung von Experimentierplakaten kann dazu genutzt werden, die Lernenden an das wissenschaftliche Poster

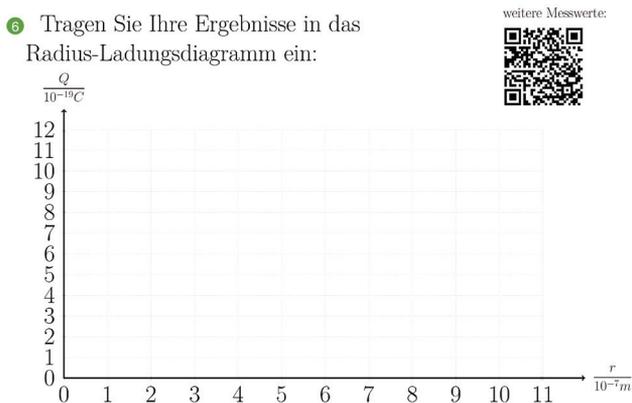


Abbildung 2: Beispiel für ‚versteckte‘, zusätzliche Messwerte in einem QR-Code auf dem Experimentierplakat

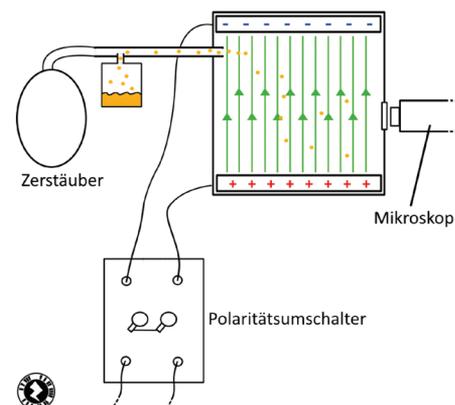


Abbildung 3: Beispiel für eine Grafik mit AR-Code links unten. Mit der passenden App („Zappar“) kann eine Animation der Grafik über das Smartphone abgespielt werden.

als Medium zur Präsentation von Forschungsergebnissen heranzuführen. Neben dem Medium ‚Plakat‘ selbst kann auch der inhaltliche Aufbau mit Einleitung, Fragestellung, Methode, Durchführung, Ergebnisse und Interpretation ähnlich zu einem wissenschaftlicher Poster gestaltet werden.

Durch das Bekleben der Schreib- und Zeichenflächen mit selbstklebender Klarsichtfolie lassen sich nach der Unterrichtseinheit die Eintragungen abwischen, die Möglichkeit zum mehrmaligen Einsatz der Plakate ist somit gegeben.

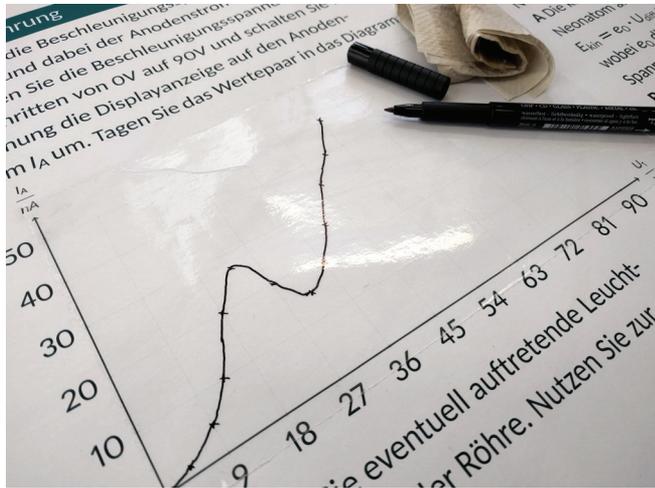


Abbildung 4: Durch abwischbare Flächen kann das Plakat mehrfach eingesetzt werden. Auch Fehler lassen sich so unkompliziert korrigieren.

Dies ist aufgrund der hohen Druckkosten und des verhältnismäßig großen Papierbedarfs aus ökonomischen und ökologischen Gründen geboten.

Als Nachteil bei der Verwendung eines Plakats als Experimentieranleitung kann gesehen werden, dass die Lernenden selbst keine eigene Anleitung besitzen, welche sie für die Nachbereitung und das Wiederholen vor einer Prüfung nutzen können. Abhilfe kann hier das Versenden des Plakats per E-Mail an die Lernenden oder das individuelle Abfotografieren des Plakats mittels Smartphone schaffen.

Außerdem werden zum Aufhängen der Plakate freie Wand- oder Tafelflächen benötigt, die entsprechenden Experimente können somit nur in der Nähe freier (Stell-) Wände durchgeführt werden.

Auch benötigen die Lernenden, um die Plakate in vollem Umfang erschließen zu können, Smartphones oder Tablets mit QR- bzw. AR-Codescanner und Internetverbindung. Die Zugänglichkeit der Lernenden zu diesen Medien muss im Vorfeld abgeklärt werden.

4. Ergebnisse einer Pilotstudie

Zwei Experimentierplakate wurden in der Veranstaltung ‚Didaktik der Physik II‘ an der Universität Ulm im Rahmen eines Experimentierpraktikums erstmalig eingesetzt.

Vier Studierende führten in Partnerarbeit jeweils ein Experiment mit Hilfe eines Experimentierplakats durch. Nach der Experimentierphase wurden die Studierenden gebeten, einen Evaluationsbogen auszufüllen. Anschließend wurden die Studierenden angehalten, im Plenum den Kommilitonen ihr Experiment vorzustellen und sowohl den Experimentierprozess als auch das Experimentierplakat kritisch zu kommentieren.

Positiv empfunden wurden die Anschaulichkeit, die Darstellung, die AR-Animation und das Medium ‚Plakat‘ im Ganzen. In den weiteren Anmerkungen wurde eine deutliche Zustimmung für das Medium ‚Plakat‘ zum Ausdruck gebracht. Außerdem wurde angemerkt, dass „der Schwierigkeitsgrad des Experiments [...] durch die einwandfreie Anleitung stark gesenkt“ wurde. Diese Anmerkung zeigt, dass das Hauptziel bei dem Entwurf der Experimentierplakate, komplexe Experimente leicht zugänglich und verständlich zu machen, in diesem Fall geglückt scheint.

5. Zusammenfassung

Experimentieranleitungen wurden traditionell als Papieranleitung verfasst. In den letzten 20 Jahren kamen im Zuge der Digitalisierung weitere digitale Formate, etwa interaktive Webseiten, hinzu. Experimentierplakate bieten einen weiteren, vielversprechenden Ansatz.

6. Material

Das im Artikel vorgestellte Experimentierplakat zum Millikan-Experiment können Sie unter dieser Webadresse herunterladen: <https://www.ph-beidelberg.de/bewersdorff-arne/experimentierplakate>. Bei [7] finden Sie ein für die Grundschule adaptiertes Experimentierplakat.



Abbildung 5: QR-Code zu den online verfügbaren Materialien.

Arne Bewersdorff Technische Universität München
Lutz Kasper Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Literatur

- [1] Wertenbroch, W. (2013). Chemie. Einfache Experimentieranleitungen und Arbeitsblätter mit Lösungen: Sekundarstufe I. Hamburg: Persen
- [2] Arbeitsgemeinschaften Naturwissenschaften und Technik (2014). Experimente. Arbeitsblätter für einen lebendigen Unterricht. Online verfügbar unter <http://www.chemie-rp.de/schule/experimente-fuer-den-unterricht.html> (Stand Juli 2019)
- [3] Helmers, H. (2015). Grundpraktikum Physik. Universität Oldenburg. Online verfügbar unter https://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/physik/ag/physikpraktika/download/GPR/Skript_GPR_Physik_WiSe_1516_deutsch.pdf (Stand Juli 2019)
- [4] Nagel, C. (2009). eLearning im physikalischen Anfängerpraktikum. Berlin: Logos-Verlag
- [5] Büsch, L., Heinke, H. (2015): Wie kann die Attraktivität von web-basierten interaktiven Praktikumsanleitungen gesteigert werden? PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung
- [6] Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D.Krüger & H. Vogt (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden, 177-186. Heidelberg: Springer.
- [7] Bewersdorff, A. (2020). Das digital erweiterte Experimentierplakat. Neue Möglichkeiten der Interaktion und Kooperation. In: B. Brandt, L. Bröll & H. Dausend (Hrsg.): Digitales Lernen in der Grundschule II. Aktuelle Trends in Forschung und Praxis, 61-74. Münster: Waxmann.

Die Sache mit der Fliehkraft – kritische Anmerkungen

Leo Ludick

1. Einführung

Manchmal können scheinbar einfache Erklärungen zu falschen Schülervorstellungen führen oder die Schüler*innen verwirren. Gerade mit dem Begriff „Zentrifugalkraft“ geschieht eine solche Irreführung häufig. Um zu sehen, wo die Stolpersteine liegen, wenn man die Fliehkraft (zu bald) einführt, betrachten wir die Erklärung der „Schwerelosigkeit“ bei Astronaut*innen. Oft (hin und wieder leider sogar in Schulbüchern) wird diese Schwerelosigkeit dadurch erklärt, dass auf Astronaut*innen zwei entgegengesetzte gleich große Kräfte einwirkenden: die Zentrifugalkraft und die Zentripetalkraft. Diese Erklärung ist jedoch falsch. Sie muss unbedingt vermieden werden, da sie unweigerlich zu Interpretationsschwierigkeiten führt, wenn man in die Tiefe geht. Auch wenn Schüler*innen zumeist dieses Tiefergehen verborgen bleibt, kommen sie doch zu falschen Schlüssen bzw. können weitergehende Fragen nicht beantworten [1]. In mitrotierenden Koordinatensystemen gilt die Newtonsche Definition ($F = m \cdot a$) nicht. Da Schüler*innen jedoch bislang alles aus Inertialsystemen betrachtet haben, führt der plötzliche Wechsel zu Irritation.

Betrachten wir eine*n Beobachter*in, die*der im Drehpunkt einer rotierenden Scheibe steht und eine Masse an einer Schnur hängend in der Hand hält. Solange die Scheibe in Ruhe ist, hängt die Masse an der Schnur senkrecht nach unten. Setzt sich die Scheibe in Bewegung, dann – so die Erklärung aus der Sicht des mitrotierenden Beobachters – wird die Masse nach außen gezogen – es wirkt die Fliehkraft. Diese Kraft wird durch die entgegengesetzte Zugkraft am Seil durch den*die Beobachter*in kompensiert.

Was passiert, wenn die*der Beobachter*in die Schnur loslässt? Ein*e Schüler*in wird folgern, dass die Masse der Zentrifugalkraft folgend radial nach außen fliegt. DAS TUT

SIE ABER NICHT! Denn nun tritt eine weitere Scheinkraft auf – die Corioliskraft. Und das bedeutet, dass die Masse der Drehrichtung nachhinkt, also eine Kurve beschreibt.

Diese Erklärung, die nur eine scheinbar einfachere ist, bringt folgende Schwierigkeiten mit sich: Kräfte stellen Wechselwirkungen dar. Die Zentrifugalkraft tritt aber plötzlich dann auf, wenn sich ein System beschleunigt bewegt und stellt keine Wechselwirkung dar. Dies führt dazu, dass man sie als Trägheitskraft oder Scheinkraft bezeichnet. Das Auftreten einer weiteren Scheinkraft, der Corioliskraft, die dann plötzlich auftritt, wenn sich eine Masse in einem beschleunigten System bewegt, führt ebenfalls zur Verwirrung. Dabei benötigt man ja den Wechsel in ein anderes Bezugssystem gar nicht, denn es lässt sich alles durchaus einfach und einsichtig – sozusagen ohne den Hokusfokus der Scheinkräfte – aus Inertialsystemen beschreiben.

2. Beispiel: Schwerelosigkeit der Astronaut*innen.

Klären wir zunächst, warum wir die Schwerkraft spüren. Auf jeden Körper, der auf dem Boden steht, wirken zwei Kräfte: Die Schwerkraft und die entgegengesetzte, gleich große Normalkraft des Bodens. Durch die Normalkraft spürt man also die Schwere. Würde die Normalkraft nicht vorhanden sein, dann würde man sich der Schwerkraft folgend beschleunigt nach unten bewegen. Dies ist beim freien Fall so. Während des Fallens spürt man die Schwere nicht, man ist schwerelos.

Wie ist das nun auf der ISS, wo ja immer noch 88,5% der Erdanziehungskraft wirken? Die beigegebene Horizontalgeschwindigkeit ist so gewählt, dass in der Zeit, in der die ISS der Schwerkraft folgend nach unten fällt, sich die

Raumstation genau um den Betrag „wegbewegt“ hat, sodass sie stets auf dem Orbital verbleibt. Diese Erklärung ist einsichtig, leicht verständlich und kommt ohne jegliche Scheinkräfte aus. Strenggenommen besteht weder im freien Fall eines ausgedehnten Körpers noch auf der ISS während der Erdumrundung vollkommene Schwerelosigkeit, sondern lediglich Mikrogravitation, da die Schwerkraft von der Entfernung vom Massezentrum abhängt.

Auch die Erklärung der Abplattung der Erde lässt sich aus der Sicht von außen, also ohne Beschreibung vom beschleunigten System Erdoberfläche aus, konsistent mit den eingeführten Kräften erklären: Auf jeden Körper, der auf der Erdoberfläche liegt, wirkt die Erdanziehungskraft. Diese ist auch die verantwortliche Zentripetalkraft für die Rotation. Das bedeutet, dass ein Teil der Gewichtskraft dafür verwendet wird, den Körper auf der Kreisbahn zu halten. Gravitationskraft = Zentripetalkraft + Gewicht

Sieht man sich die Zentripetalkraft an drei Orten auf der Erdoberfläche an und betrachtet die für den Körper wirksame Kraft auf den Erdboden, die das Gewicht darstellt, dann kann man die Abplattung der Erde sehr leicht erklären.

Die drei Orte sind: Äquatorort, Ort in 45 Grad geographischer Breite und Pol.

Die Zentripetalkraft ist am Äquator am größten und nimmt bis zum Pol ab; auf diesem ist sie null. Das bedeutet, dass an den Polen die gesamte Gravitationskraft als Gewicht des Körpers auf den Boden wirkt, während an Äquatororten relativ viel Kraft aufgewendet werden muss, den Körper auf der Kreisbahn zu halten.

Literatur

- [1] Es sei auch auf den ausführlichen Artikel „Trägheitskräfte im Mechanikunterricht?“ von Thomas Wilhelm in Plus Lucis 2/2016 verwiesen.

Berechnung: Man berechnet den Wert Zentripetalkraft/Masse, da wir einen Körper gleicher Masse an drei Orten betrachten mit

$$F_z = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

- Äquator (Radius für Kreisbewegung = Entfernung vom Erdmittelpunkt = 6370 km)
- Ort in 45 Grad Breite (Radius für Kreisbewegung = 4504 km)
- Pol (Radius für Kreisbewegung und Rotationsmomentangeschwindigkeit = 0)

für a) ergibt sich dann

$$\frac{F_z \text{ Äquator}}{m} = 0,333 \frac{m}{s^2}, \text{ für b) } \frac{F_z 45^\circ}{m} = 0,02 \frac{m}{s^2}$$

und für c) keine Zentripetalkraft, da der Körper keine Drehbewegung ausführt. Am Äquator reduziert sich die Kraft auf den Erdboden mit dem höchsten Wert, am Pol wirkt die Schwere ohne „Verlust“.

3. Fazit

Bei der Behandlung von beschleunigten Bezugssystemen im elementaren Physikunterricht kann es zu falschen Schülervorstellungen kommen, weswegen der Autor empfiehlt, nur Inertialsysteme zur Beschreibung von Bewegungsabläufen zu verwenden, da sich den Schüler*innen der Wechsel der Bezugssysteme schwer erschließt.

Leo Ludick ist pensionierter AHS-Lehrer für Physik und war Fachdidaktiker an der Johannes Kepler Universität, Linz. Er ist derzeit pädagogischer Berater des oö Science Centers Welios.

Elektrische Potentiale zum Anfassen: 3D-Druck mit GeoGebra

Albert Teichrew & Roger Erb

1. Motivation

Im konstruktivistischen Sinne entwickeln Lernende mathematische Begriffe für sich, indem sie mit unterschiedlichen Darstellungsformen umgehen: Inhalte werden in Lehrsätzen und Gleichungen formuliert (symbolische Repräsentation), durch Bilder versinnbildlicht (ikonische Repräsentation) und durch Handlungen erfahren (enaktive Repräsentation). In der Mathematikdidaktik wird dem Vernetzen der drei Repräsentationsebenen eine große Aufmerksamkeit gewidmet (EIS-Prinzip von Bruner nach [1]). Erst zusammengenommen verleihen die drei Perspektiven auf die jeweilige Sache ihr eine Bedeutung. Denn die symbolischen Ebene vermittelt oft nichts anderes als Konventionen und ist deshalb für sich allein gar nicht lebensfähig [2]. Viele physikalische Konzepte werden durch mathematische Strukturen, wie zum Beispiel Vektoren oder Felder repräsentiert, die für Lernende – solange sie allein auf der symbolischen Ebene verbleiben – ebenfalls keine tiefere Bedeutung erlangen als erlernbare Konventionen.

Unterrichtskonzepte zur Einführung in die Elektrizitätslehre, die die Spannung in Form von Potentialunterschieden vor dem Strom behandeln, haben sich als vergleichsweise lernförderlich erwiesen [3]. Daran anknüpfend – im Sinne eines Spiralcurriculums – bietet es sich an, das elektrische Feld von Punktladungen ebenfalls über die Betrachtung der Größe und Richtung der größten Änderung des Potentials an einem Ort einzuführen. Mathematisch stößt man in der Schule mit $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$ zwar schnell an Grenzen, aber die Arbeit mit grafischen Darstellungen ist ein guter Einstieg. Dabei bietet sich die Analogie zu Landkarten mit Höhenlinien und der Bestimmung der Linie des größten Gefälles an [4]. Die Zusammenhänge zwischen Feld- und Äquipotentiallinien, auf denen die Feldlinien senkrecht stehen, können dadurch verdeutlicht werden [5]. Typische Feldlinienbilder folgen demnach unmittelbar aus der Betrachtung der Äquipotentiallinien bzw. des *Potentialgebirges*: Anhand einer dreidimensionalen Darstellung lässt sich der Zusammenhang besonders anschaulich vermitteln. Im Experiment können danach die Auswirkungen des elektrischen Feldes beispielsweise auf Grießkörner in Rizinusöl nicht nur gezeigt, sondern auch erklärt werden.

Bei der Betrachtung der gebogenen Potentialfläche oder anderer dreidimensionaler Darstellungen auf dem Bildschirm hängt die gewonnene Erkenntnis häufig von der gewählten Perspektive ab. Selbst wenn die gewinnbringende Perspektive bekannt ist, stellt der Weg mit Maus und Tastatur dorthin seine eigene kognitive Herausforderung dar. Der Umgang

mit solchen Strukturen wäre wesentlich einfacher, wenn sie in Form von Modellobjekten vorliegen würden, die man in den Händen halten und von verschiedenen Seiten betrachten kann. Darüber hinaus ergibt sich dadurch ein haptischer Zugang zu den Eigenschaften mathematischer Strukturen und macht sie buchstäblich *begreifbar*. Die Linien des größten Gefälles lassen sich dadurch nicht nur anhand von Äquipotentiallinien errahnen, sondern auch erfühlen. Die Handlung am konkreten Objekt, die bereits mit seiner mathematischen Modellierung und gegenständlichen Herstellung beginnt, führt schließlich zum Aufbau einer Bedeutung auf allen drei Repräsentationsebenen. Im Folgenden zeigen wir am Beispiel elektrostatischer Potentiale, wie sich 3D-Objekte mit *GeoGebra* modellieren und für den 3D-Druck vorbereiten lassen.

2. Modellierung

Das elektrische Potential φ am Ort \vec{r} einer Ladung Q_i am Ort \vec{r}_i hängt vom Abstand der beiden Orte $|\vec{r} - \vec{r}_i|$ ab. Für das Potential von n Ladungen gilt der mathematische Ausdruck

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

Das Potential als Eigenschaft des Raumes ist damit eine skalare Größe, die in der xy-Ebene als Höhe z aufgetragen werden kann.

Für die Modellierung des Potentials wird der *GeoGebra 3D Rechner* (geogebra.org/3d) im Browser verwendet. Eine bebilderte Anleitung mit Feedbackmöglichkeit findet man unter [6]. Zunächst definiert man mit dem Werkzeug *Punkt* die Orte der Ladungen A und B in der xy-Ebene. Danach müssen die Größen der Ladungen festgelegt werden. Dafür gibt man Q_1 und Q_2 in der Eingabezeile nacheinander ein und bestätigt mit der Eingabetaste. Das Programm erzeugt für die zwei Größen automatisch Schieberegler von -5 bis 5, mit denen man die gewünschten Ladungen in der Algebra auf der linken Seite des Bildschirms einstellt. Schließlich wird die Fläche des Potentials über die Eingabezeile definiert. Der Befehl *Oberfläche* erstellt für den gegebenen x-Ausdruck, y-Ausdruck und z-Ausdruck eine Fläche im Dreidimensionalen, indem zwei Parametervariablen in jeweils gegebenen Intervallen verwendet werden [7]:

$$\text{Oberfläche} \left(u, v, \frac{Q_1}{\sqrt{(u-x(A))^2 + (v-y(A))^2}} + \frac{Q_2}{\sqrt{(u-x(B))^2 + (v-y(B))^2}}, u, -5,5, v, -5,5 \right)$$

Als x - und y -Ausdruck dienen die zwei Parametervariablen u und v , während der z -Ausdruck die Größe des Potentials in dem Punkt (u,v) in Abhängigkeit von den Ladungen Q_1 und Q_2 in den Punkten A und B ist. Die Parametervariablen werden jeweils in den Intervallen von -5 bis 5 verwendet. Mit den Befehlen $x()$ bzw. $y()$ werden die x - und y -Koordinaten der Punkte für die Abstandsberechnung mithilfe des Satzes des Pythagoras bestimmt. Um das gewünschte Ergebnis zu erhalten, gibt man

$$\text{Oberfläche}(u, v, \frac{Q_1}{\sqrt{(u-x(A))^2 + (v-y(A))^2}} + \frac{Q_2}{\sqrt{(u-x(B))^2 + (v-y(B))^2}}, u, -5, 5, v, -5, 5)$$

in die Eingabezeile ein und bestätigt mit der Eingabetaste. Auf den Vorfaktor kann verzichtet werden, da er für die Form des Potentials keine Rolle spielt. Als Ergebnis wird die Fläche des Potentials in der 3D Grafik-Ansicht angezeigt (Abb. 1).

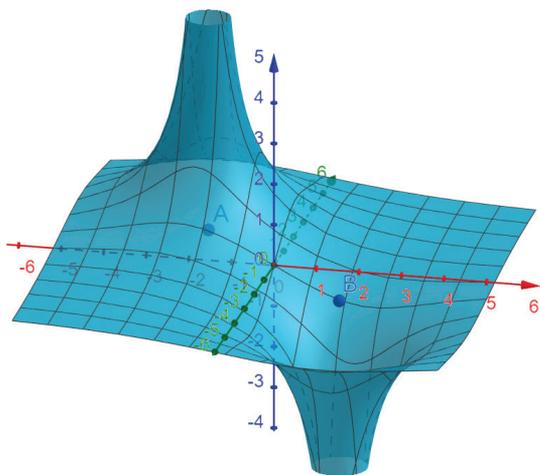


Abbildung 1: Fläche des Potentials in der 3D-Ansicht mit Linien, Koordinatensystem sowie den Punkten A und B mit $Q_1 = 3$ und $Q_2 = -3$.

Lehrende und Lernende können an dieser Stelle verschiedene Orte und Größen der Ladungen ausprobieren. Es bietet sich an, die typischen Fälle *negativ/positiv*, *negativ/negativ* und *positiv/positiv* zu betrachten sowie Ladungen mit verschiedenen Abständen und Größen.

Das Modell lässt sich leicht um weitere Ladungen erweitern, indem zunächst neue Punkte in die xy -Ebene gesetzt werden. Bevor die Fläche des Potentials aktualisiert wird, müssen zuerst neue Schieberegler für die Ladungen in der Algebra erstellt werden. Danach können weitere Summanden mit den neuen Angaben der Ladungen und Punkte in den Befehl *Oberfläche* hinzugefügt werden.

3. Export

GeoGebra erlaubt Objekte, die unter anderem mit der Funktion *Oberfläche* erzeugt wurden, als STL-Datei zu exportieren (gängiges Dateiformat für Slicing Software). Eine Berechnung des Potentials als Funktion $f(x,y)$, die sich über die gesamte

xy -Ebene erstreckt, wäre auch denkbar. Eine Darstellung ohne Begrenzung lässt sich jedoch nicht exportieren. Um eine geeignete Datei zu erzeugen, müssen noch einige Vorkehrungen getroffen werden. Zum einen blendet man das Koordinatensystem (in den Einstellungen hinter dem Zahnrad-Symbol) und die Punkte (über die Kreise in der Algebra) aus, da sie ansonsten in der exportierten Datei in der Luft schweben. Zum anderen stellt man in den Einstellungen zur Darstellung des Potentials die Detailebene auf *Qualität* und die Linienstärke auf 0 , um eine möglichst glatte Oberfläche zu bekommen. Außerdem verschiebt, vergrößert oder verkleinert man die Grafik-Ansicht mit den entsprechenden Werkzeugen auf den gewünschten Ausschnitt, da nur der sichtbare Teil des Modells exportiert wird. Das Potential ist zwar in der xy -Ebene begrenzt, erstreckt sich aber über den Ladungen nach oben oder unten hin unendlich weit.

Sobald man den gewünschten Ausschnitt der Fläche eingestellt hat, kann im Hauptmenü der Punkt *Herunterladen als* gewählt werden. Als Unterpunkt steht neben einer *GeoGebra*-Datei oder einem PNG-Bild auch die Möglichkeit des *3D prints* zur Auswahl. Für die zu exportierende STL-Datei stehen noch verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung. Zum einen bietet es sich an, 1 unit im Modell als 1 cm festzulegen. Damit ergibt sich eine 10×10 cm Grundfläche für das 3D-Objekt. Zum anderen genügt es, für die Dicke der modellierten Fläche eine Stärke von 2 mm anzugeben. Mathematisch hat sie zwar keine Dicke, aber das zu druckende Objekt benötigt eine gewisse Ausdehnung. Eine größere Stärke erhöht zwar die Festigkeit, dadurch entspricht das gedruckte Objekt jedoch immer weniger der abstrakten Fläche des Potentials. Das heruntergeladene Ergebnis lässt sich bereits mit den in Windows 10 mitgelieferten Programmen *3D-Viewer* oder *3D-Builder* betrachten (Abb. 2).



Abbildung 2: Fläche des Potentials als druckbares 3D-Objekt in der Ansicht des 3D-Builders.

4. Nachbearbeitung

Im Prinzip könnte mithilfe der exportierten Datei ein entsprechendes Objekt gedruckt und begutachtet werden.

Allerdings bietet es sich in diesem Fall an, das Konzept der in 2D-Darstellungen verwendeten Äquipotential- bzw. Höhenlinien mithilfe des gedruckten Objekts einzuführen. Zugriff auf einen 3D-Drucker voraus, der Objekte mit mehr als nur einem Material gleichzeitig drucken kann. In der Nachbearbeitung werden mithilfe des *3D-Builder* einzelne Teile als getrennte Objekte definiert, denen in der 3D-Ansicht andere Farben zugeordnet werden können. Entsprechend werden in der Vorbereitung des 3D-Drucks andere Materialien für diese Teile gewählt.

Um ein Ergebnis zu erhalten wie in Abbildung 3, importiert man das aus *GeoGebra* exportierte Objekt in den *3D-Builder*. Üblicherweise muss es zunächst „repariert“ werden. Mit dieser Funktion wird sichergestellt, dass es sich um eine von allen Seiten geschlossene Fläche handelt. Danach teilt man das Objekt in zwei Hälften genau da, wo das Nullpotential liegt, sodass ein gerader Schnitt entsteht. Diese Teile werden später in den Farben Rot und Blau gedruckt, um positives und negatives Potential zu unterscheiden. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen jeweils zwei Schnitte gemacht, sodass dünne Linien im positiven und negativen Bereich der Fläche zu erkennen sind (in unserem Beispiel sind es 0,8 mm bei einem 10 cm hohen Objekt). Diese Teile färbt man anschließend in der jeweils anderen Farbe ein (Abb. 3). Die im *3D-Builder* gewählten Farben dienen lediglich der Illustration, denn entscheidend ist das später eingesetzte Material. Bevor das Objekt im 3MF-Format abgespeichert wird, wählt man die Teile aus, die später in derselben Farbe gedruckt werden sollen, und gruppiert sie. In der Vorbereitung des 3D-Drucks wird dadurch die Zuweisung des Materials zu den entsprechenden Teilen des Objekts vereinfacht.

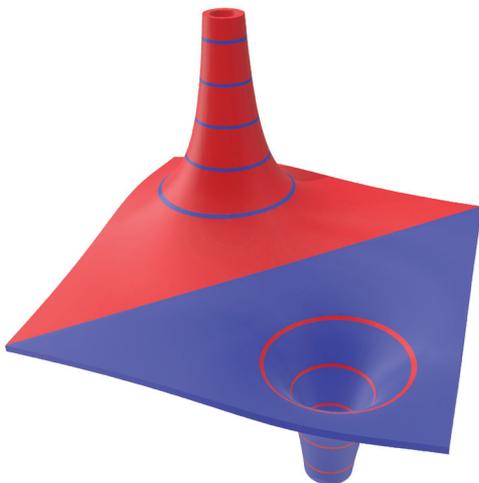


Abbildung 3: Eingefärbte Fläche des Potentials mit Äquipotentiallinien nach der Nachbearbeitung mit dem *3D-Builder*.

5. 3D-Druck

Die Vorbereitung des 3D-Drucks erfolgt mit der Slicing Software *Ultimaker Cura*, die auch in Verbindung mit 3D-Druckern von anderen Herstellern gerne verwendet wird. Nach dem Öffnen erscheint die während der Nachbearbeitung

erstellte 3MF-Datei zunächst in der vorderen linken Ecke, da in diesem Format auch die Position des Objekts gespeichert wird. Bevor es an eine für den Drucker zugängliche Position verschoben wird, empfiehlt es sich zunächst über Rechtsklick alle *Modelle* zu *wählen* und zu *gruppieren*, damit die relative Position der beiden Teile nicht verändert wird. Danach ist es problemlos möglich, das Objekt automatisch *anordnen* zu lassen. Außerdem kann an dieser Stelle die tatsächliche Größe des gedruckten Potentials noch angepasst werden. Wir haben uns für ein 77 mm hohes Endergebnis bei einer Schichtdicke von 0,2 mm entschieden. Es handelt sich dabei um die Höhe des Schicht für Schicht hinzugefügten Materials. Bei diesen Einstellungen hat die erste Schicht des positiven Potentials eine gerade Linie auf der Oberseite. Ob die gewählten Einstellungen diese Voraussetzung erfüllen, sieht man erst nach dem sog. *Slicen*. Für die Zuweisung des Materials muss die Gruppierung wieder aufgehoben werden. Danach wählt man den Teil aus, der nicht mit Material 1 gedruckt werden soll und klickt in der linken Leiste auf Material 2. Nach einer kurzen Berechnung gruppiert man die Teile wieder, bevor über den *Slice* Button in der unteren rechten Ecke die eigentliche Berechnung der für den 3D-Drucker erforderlichen Daten erfolgt. Wichtig ist, dass in den Druckeinstellungen *Stützstruktur* und *Haftung* ausgewählt werden, um in der Vorschau das simulierte Ergebnis des Drucks wie in Abbildung 4 zu erhalten. Mit dem Drucker *Ultimaker 3* dauert dieser Druck 3 Stunden und 14 Minuten. Je dünner die Schichtdicke gewählt wird, desto glatter werden die flachen Stellen der Fläche gedruckt. Allerdings steigt dadurch auch die Druckdauer enorm an.

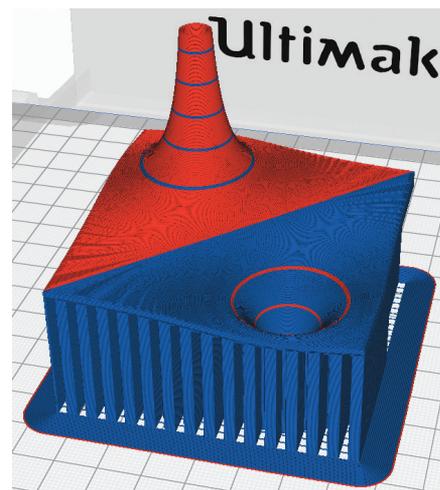


Abbildung 4: Fläche des Potentials in der Druckvorschau der *Ultimaker Cura* Software.

Nachdem der Druck von der Druckplatte entfernt und die Stützstruktur beseitigt worden ist, hat man schließlich die Fläche des Potentials in der Hand (Abb. 5). An den besonders steilen Stellen herrschen besonders große Potentialunterschiede auf engstem Raum, was für große Kräfte auf Ladungen spricht. Die Richtung der Kraft kann je nach Ort in Richtung der größten Änderung erfühlt werden und das typische Feldlinienbild lässt sich daran bereits erahnen. Die Äquipotentiallinien helfen bei der Deutung der Fläche, da die

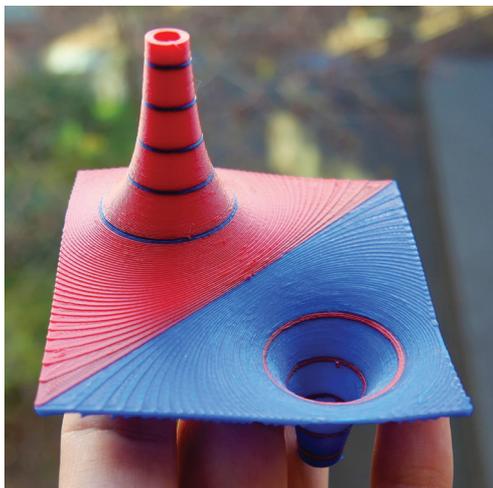


Abbildung 5: Fläche des Potentials 3D-gedruckt mit dem Ultimaker 3.

größte Änderung stets senkrecht zu diesen Linien verläuft. Die symbolischen Ausdrücke zum Potential und Vektorfeld und ihr mathematischer Zusammenhang können auf diese Weise eine tiefere Bedeutung erlangen.

6. Weitere Beispiele

Mithilfe der beschriebenen Werkzeuge können beliebige Flächen mit *GeoGebra* modelliert, exportiert und mit einem 3D-Drucker gedruckt werden. Daran angelehnt lassen sich beispielsweise Gravitationspotentiale betrachten. Die einfachste Variante wäre ein Potentialtrichter, der gern in Ausstellungen benutzt wird, um Planeten- und Kometenbewegungen darzustellen, indem man Kugeln in den Trichter rollen lässt.

Als weiteres Beispiel haben wir Elementarwellen modelliert, die räumlich ein sinusförmiges Ausbreitungsmuster haben.



Abbildung 6: Überlagerung zweier Elementarwellen 3D-gedruckt mit dem Ultimaker 3.

Die Überlagerung zweier Elementarwellen mit derselben Wellenlänge und Periodendauer ergibt ein charakteristisches Muster (Abb. 6). In dem 3D-gedruckten Objekt lassen sich neben den wellenförmigen auch die auseinanderlaufenden flachen Stellen erfühlen, während von oben betrachtet die kreisförmige Ausbreitung erkennbar ist. Allerdings wird erst in dem dynamischen Modell deutlich, dass die ebenen Linien zeitlich stabil sind (Orte destruktiver Interferenz), während dazwischen sich die Wellen kontinuierlich fortbewegen (Orte konstruktiver Interferenz) [8].

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

Literatur

- [1] Witzke, I. & Heitzer, J. (2019): 3D-Druck: Chance für den Mathematikunterricht? *Mathematik Lehren*, 217, 2-9.
- [2] Lambert, A. (2011): Was soll das bedeuten? Enaktiv – ikonisch – symbolisch: Aneignungsformen beim Geometrielernten. In: Filler, A. & Ludwig, M. (Hrsg.): *Vernetzungen und Anwendungen im Geometrieunterricht: Ziele und Visionen 2020*, Vorträge auf der 28. Herbsttagung des Arbeitskreises Geometrie in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, 5-32.
- [3] Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2016): Die Elektrizitätslehre mit dem Elektronengasmodell. *PdN Physik in der Schule*, 65(8), 18-24.
- [4] Girwidz, R. & Storck, T. (2013): Felder. Fachinformationen und didaktische Orientierung zum Feldbegriff. *NiU Physik*, (24)138, 4-10.
- [5] Girwidz, R. (2013): E-Feld: Verschiedene Darstellungsmöglichkeiten nutzen. *NiU Physik*, (24)138, 38-40.
- [6] Teichrew, A. (2020). 3D-Druck mit GeoGebra, *GeoGebra Klasse*. Verfügbar unter <https://www.geogebra.org/classroom/zkyk77jy> (zugegriffen am 01.10.2020).
- [7] GeoGebra (2020): Oberfläche (Befehl), *GeoGebra Handbuch*. Verfügbar unter [https://wiki.geogebra.org/de/Oberfläche_\(Befehl\)](https://wiki.geogebra.org/de/Oberfläche_(Befehl)) (zugegriffen am 01.10.2020).
- [8] Teichrew, A. (2020). Überlagerung zweier Wellen, *GeoGebra Aktivität*. Verfügbar unter <https://www.geogebra.org/m/h7waqkdv> (zugegriffen am 01.10.2020).

Bau eines optischen Farbmischers

Alexandra Seyfried

1. Einleitung

Im Sommersemester 2019 ist im Rahmen einer Bachelorarbeit ein optischer Farbmischer nach dem Modell von Gorazd Planinšič [1] für den Bau mittels 3D-Drucker entwickelt worden. Ziel dieses Farbmischers ist es, ihn für jede*n Schüler*in bauen zu können.

Optische Farbmischer werden für Experimente zur additiven Farbmischung von Licht verwendet. Es werden rotes, grünes und blaues Licht gemischt, sodass weißes Licht entsteht. Der typische Aufbau dafür besteht aus einer Scheibe, in der die Lampen eingesetzt sind. Die Farbmischung wird auf einem Schirm sichtbar.

Der hier vorgestellte Aufbau orientiert sich an dem Aufbau aus [1]. Es handelt sich hierbei um einen Farbmischer, bei dem das Licht dreier LEDs innerhalb einer Kugel gemischt wird. Dabei kann die additive Farbmischung zu Weiß, Gelb, Cyan und Magenta gezeigt werden. Zum Bau des Farbmischers werden zusätzlich zum 3D-Druck benötigt:

- Elegoo Uno R3 und Jumper Wires
- 3x lineare Drehpotentiometer, 3x 1k Ω und 3x 220 Ω Widerstände
- 1x RGB LED
- 1x Printplatte

Die Bauteile des Farbmischers sind teilweise im Internet bestellbar, wie der Elegoo Uno R3 und die zugehörigen Kabel, und im Fachmarkt erhältlich. Die Bauteile des Farbmischers haben etwa 25 Euro gekostet. Zusätzlich wird noch ein 12 V Netzgerät benötigt.

2. Das Modell

Ziel des Drucks mittels 3D Drucker ist es, die gesamte Elektronik „verschwinden“ zu lassen. Die SchülerInnen sollen nur mit Drehpotentiometern und einer Kugel, in der das Licht gemischt wird, in Kontakt kommen (siehe Abb. 1).

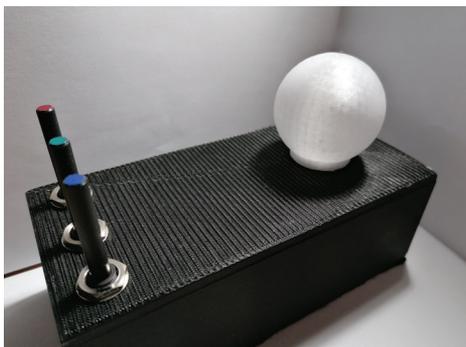


Abbildung 1: optischer Farbmischer

Gedruckt wird folglich eine Grundplatte, auf der die Elektronik des Farbmischers verschraubt wird, der Deckel der Box und die Kugel. Die Maße von Grundplatte und Deckel sind an die Elektronik angepasst. Alle Druckfiles sind online erhältlich [2]. Die Grundplatte hat eine Stärke von 3 mm, eine Länge von 170 mm und eine Breite von 80 mm. Zusätzlich finden sich auf ihr 4 Erhöhungen, um den Computer, mit dem der Farbmischer gesteuert wird, zu verschrauben. Der Deckel hat dieselben Maße wie die Grundplatte, er hat eine Höhe von 55 mm und eine Wandstärke von 3 mm. Zusätzlich befinden sich am Rand des Deckels „Steher“, die das Verschrauben des Deckels mit der Grundplatte erleichtern und so ein Durchbohren der Seitenwände verhindern sollen. Außerdem befinden sich 3 Löcher im Deckel, um die verwendeten Drehpotentiometer zu befestigen. Die Kugel wird auf einen Ring gesteckt, der ebenfalls mit dem Deckel gedruckt wird. Im Inneren des Rings befindet sich ebenfalls ein Loch, durch das die LED gesteckt werden kann. Die Kugel ist ein wenig größer als ein Tischtennisball. Sie hat einen Durchmesser von 50 mm und eine Wandstärke von 1 mm. An der Kugel befindet sich das Gegenstück des Ringes auf dem Deckel.

3. Elektronik des Farbmischers

Die Steuerung des Farbmischers übernimmt der Elegoo Uno R3. Statt diesem könnte auch ein Raspberry Pi verwendet werden, wobei der Elegoo Uno R3 günstiger ist. Der Computer wird benötigt, um die LED stufenlos und vollständig mittels Pulsweitenmodulation zu dimmen.

Vom Steuergerät (CPU) werden drei Drehpotentiometer mit einer Spannung von 5V versorgt. Durch drehen der Potentiometer erhält der Computer ein analoges Signal, dieses wandelt er um und dimmt so die LEDs. Die RGB LED wird auf der Printplatte verlötet und wie folgt mit je einem 220 Ω Vorwiderstand mit dem CPU verbunden:

- Die rote LED wird mit Eingang 11 verbunden, das zugehörige Potentiometer mit A0.
- Die grüne LED wird mit Eingang 9 verbunden, das zugehörige Potentiometer mit A1.
- Die blaue LED wird mit Eingang 10 verbunden, das zugehörige Potentiometer mit A2. Auch die Widerstände der Drehpotentiometer werden auf der Printplatte verlötet.

In einem letzten Schritt wird der Elegoo Uno R3 bespielt. Dafür wird die kostenlose Software Arduino benötigt [3]. Es wird eine Datei zur Steuerung der LEDs auf das Gerät gespielt [4]. Dafür wird der Elegoo Uno R3 mittels USB-Kabel an den PC angeschlossen und die Skriptdatei in das Programm kopiert.

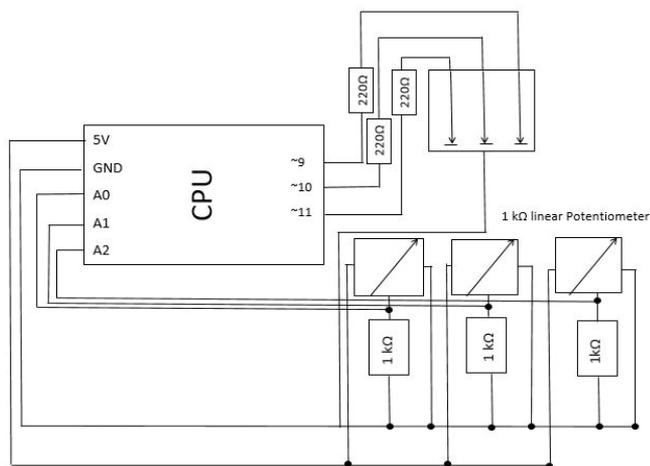


Abbildung 2: Schaltplan

4. Fertigstellung und Einsatz des Farbmischers

Die Grundplatte und der Deckel des Farbmischers werden in schwarz gedruckt. So entspricht er einer Black Box und kann für Engage Phasen im Unterricht gut eingesetzt werden. Die Kugel wird weiß gedruckt.

Beim Verbauen der Elektrobauteile kann, falls Kanten nicht gut gedruckt worden sind, mit einem Schleifpapier nachbearbeitet werden.

Der Elegoo Uno R3 wird an den Erhöhungen der Grundplatte verschraubt. Die Drehpotentiometer werden durch die Löcher auf der Oberseite des Deckels gesteckt und mittels Muttern befestigt. Die LED wird durch das Loch in dem Ring geschoben und kann dort festgeklebt werden. Es empfiehlt sich mit einem

kleinen Gummiring und einem Stück Butterbrotpapier einen Diffusor an der LED anzubringen.

Damit das Gerät besser aufliegt kann auf die Unterseite schwarzer Filz geklebt werden. Außerdem ist, wie in Abbildung 1 erkennbar, jedes Potentiometer mit buntem Lack gekennzeichnet worden, um deutlich zu machen welche Farbe bei der Drehung gedimmt wird.

5. Evaluation

Das hier vorgestellte Farbmischer-Modell ist von Schüler*innen und Lehrkräften evaluiert worden. Ziel der Evaluierung war es herauszufinden, wie gut der Farbmischer von Schüler*innen bedient werden kann. Bei der Evaluierung zeigt sich, dass auch Lehrkräfte, die nicht Physik unterrichten, den Farbmischer interessant finden und im Unterricht verwenden würden. Vor allem Lehrkräfte der Fächer Bildnerische Erziehung und Informatik waren an dem Farbmischer interessiert. Die Bedienung des Farbmischers war für Lehrkräfte intuitiv, sie konnten ohne Anleitung damit arbeiten. Das Modell des Farbmischers war allen Lehrkräften unbekannt, sie haben allerdings angegeben diesen Aufbau eines Farbmischers im Unterricht zusätzlich verwenden zu wollen.

Der Aufbau des Farbmischers ist sowohl bei Lehrkräften und Studierenden, als auch bei Schüler*innen gut angekommen. Er ist sehr einfach in der Handhabung und kann gut in Lernendenexperimenten verwendet werden.

Alexandra Seyfried studiert Lehramt für Physik und Mathematik auf Master an der Universität Wien. Sie ist 23 Jahre alt und hat Freude am Arbeiten mit optischen Geräten.

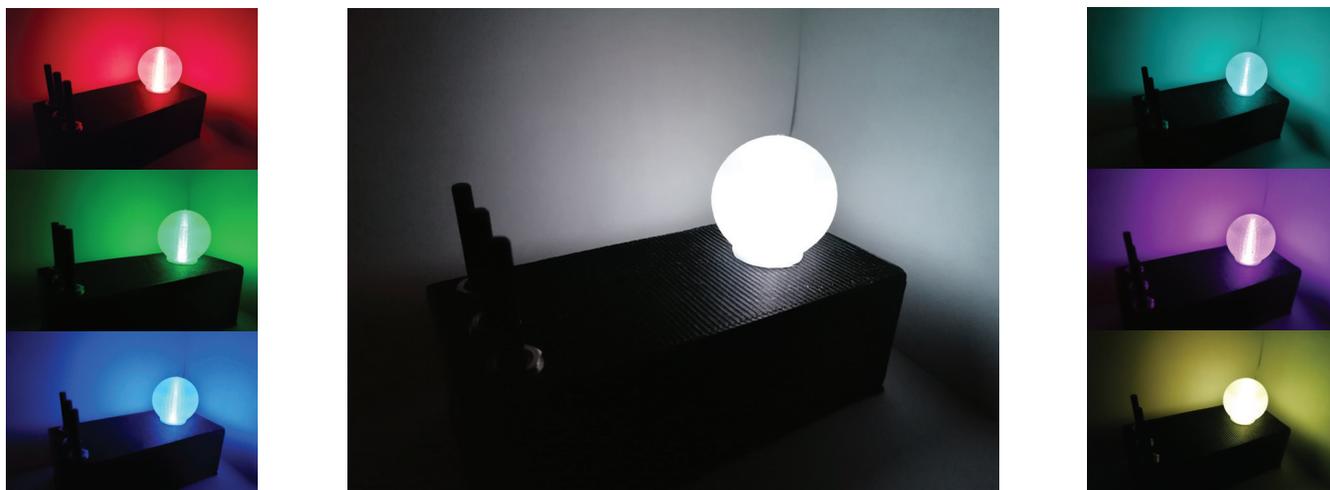


Abbildung 3: zeigt die beleuchtete Kugel des Farbmischers

Literatur

- [1] Planinšič, G. (2004). Color Mixer for Every Student. *The Physics Teacher*, 42, doi: 10.1119/1.1664377
- [2] Die STL-Files des Gehäuses sind online verfügbar auf aecp.univie.ac.at/lehrer-innen/fuer-den-unterricht/
- [3] Arduino Website, URL: <https://www.arduino.cc/> (zuletzt Eingesehen am 17.08.2019)
- [4] Kreative Kiste, Arduino RGB LED, Farbwechsel mit Poti einstellen, 2014, URL: <https://www.kreativekiste.de/arduino-rgb-led-farbwechsel-mit-poti-einstellen-projekt> (zuletzt Eingesehen am 12.08.2019)

Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe II

Wolfgang Aschauer

Elektrische sowie magnetische Felder sind zentrale Konzepte der Elektrizitätslehre. Diese Felder und deren Interaktion mit elektrischen Ladungen und Strömen sind bestimmende Faktoren für die Struktur der Materie und prägen in besonderer Weise unseren heutigen Alltag. Im Sinne einer naturwissenschaftlichen Grundbildung ist daher ein fundiertes Verständnis in diesem Themenbereich unerlässlich. Die Bedeutung für den Unterricht ergibt sich aber auch noch aus einem weiteren Aspekt. Die Arbeiten von Faraday und Maxwell revolutionierten die Interpretation von Wechselwirkungen bzw. Kraftwirkungen. Aufbauend auf dem Feldkonzept werden Wechselwirkungen nicht mehr im Sinne einer Fernwirkung, sondern als Nahwirkung interpretiert. Daher bietet die Elektrizitätslehre eine gute Möglichkeit, Aspekte der Natur bzw. des Wesens der Naturwissenschaften im Unterricht zu thematisieren. Leider zeigen zahlreiche Studien sehr deutlich, dass die Vorstellungen der Lernenden stark von physikalischen Konzepten abweichen und sich negativ auf die Lernerfolge auswirken.

Die ersten beiden Abschnitte dieses Artikels sollen daher einen Überblick geben, welche Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre häufig auftreten bzw. welche Folgerungen sich daraus für den Unterricht ergeben. Abschließend werden im letzten Teil des Artikels zwei konkrete Unterrichtsentwürfe für die Sekundarstufe II vorgestellt.

1. Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre

Im Rahmen einer Dissertation [1] wurde untersucht, welche Vorstellungen österreichische Oberstufenschüler*innen im Themenbereich der Elektrizitätslehre aufweisen. Wie auch in anderen internationalen Studien konnten in dieser Dissertation zahlreiche lernhinderliche Vorstellungen identifiziert werden. Ferner zeigen die Ergebnisse, dass diese Vorstellungen sehr stabil sind und durch den Unterricht in der Oberstufe nur geringfügig beeinflusst werden, vor allem, wenn sie im Zuge der Lernprozesse zu wenig berücksichtigt werden.

1.1 Feldkonzept

Der Feldbegriff ist zwar den Schüler*innen bekannt, aber ein konzeptionelles Wissen über Felder ist nur unzureichend vorhanden. So können Lernende nur ungenügend zwischen den Konzepten Feld, Feldstärke und Kraft differenzieren bzw. betrachten diese als äquivalent [1, 2]. Gerade beim Magnetismus dominiert im Zusammenhang mit Kraftwirkungen die Vorstellung, dass das magnetische Feld ein begrenzter Bereich rund um den Magneten sei. Zudem wird angenommen, dass die

Größe dieses Bereichs mit der Stärke des Magneten zunehmen würde. Auf Grund der Äußerungen in Interviews [1] scheint diese Vorstellung stark von Alltagserfahrungen geprägt zu sein, bei denen eine erkennbare Kraftwirkung erst ab einer gewissen Annäherung auftritt.

Bei graphischen Darstellungen der Felder durch Feldlinien zeigt sich, dass die Feldlinien als eigenständige reale Objekte betrachtet werden [1, 3, 4]. In allen Studien ging die überwiegende Mehrheit der Proband*innen bei einem elektrischen Feld davon aus, dass Feldlinien die Bahn wiedergeben, der ein geladenes Teilchen folgen würde. Im Extremfall wird sogar davon ausgegangen, dass auf ein Teilchen, welches zwischen zwei Feldlinien positioniert ist, keine Kraftwirkung auftritt [4]. Für Pocovi und Finley [3] sind die Ergebnisse ein Indiz dafür, dass es für Lernende schwierig ist, sich Kraftwirkungen über Distanzen hinweg vorzustellen. Viele gehen von einem Übertragungsmedium aus oder sind der Meinung, dass noch zusätzliche Bedingungen vorliegen müssen [5]. Vor allem die Erde bzw. spezielle Gegebenheiten auf der Erde scheinen hier eine besondere Stellung einzunehmen. So waren in der österreichischen Studie fast die Hälfte der Maturant*innen der Meinung, dass auf dem Mond ein Stabmagnet keine Eisennägel anziehen würde. Als Grund nannte die Mehrheit dieser Schüler*innen das fehlende Erdmagnetfeld oder die geringere Gravitationskraft.

1.2 Ursprung elektrischer und magnetischer Felder

Bei magnetischen Feldern dominiert die Vorstellung, dass einzelne Ladungen bzw. Ladungstrennungen für das Feld verantwortlich seien [1, 6]. Diese Vorstellungen tritt vor allem bei Permanentmagneten auf. Diese werden so interpretiert, dass auf einer Seite ein Überschuss an positiven auf der anderen Seite ein Überschuss an negativen Ladungen vorliegt. In diesem Zusammenhang ist ein Aspekt besonders bemerkenswert. Von der Mehrheit der Lernenden wird der Nordpol als positiv und der Südpol als negativ geladen betrachtet. Eine mögliche Erklärung dafür, warum Lernende Ladungen als Ursache magnetischer Felder ansehen, könnte für Maloney [6] darin liegen, dass die grundlegende Regel „Gleiche stoßen sich ab, Ungleiche ziehen sich an“ sowohl bei geladenen Körpern als auch bei Permanentmagneten gilt. Lernende tendieren daher zu einer Übergeneralisierung und interpretieren die Pole als geladene Bereiche. Die Ergebnisse der österreichischen Studie lassen vermuten, dass durch die Farbkennzeichnung der Permanentmagnete die Vorstellung von geladenen Polen noch verstärkt wird. So verwiesen Lernende in den Interviews explizit darauf hin, dass die beiden Seiten eines Stabmagneten

deswegen unterschiedlich markiert sind, weil sie unterschiedlich geladen sind. Dadurch kann eventuell auch der Umstand erklärt werden, warum die Lernenden fast einhellig der Meinung sind, dass der Nordpol positiv geladen sei. Schüler*innen assoziieren mit der Farbe Rot positive Ladungen, so wie sie es von vielen anderen Abbildungen und Gleichstromkreisen gewohnt sind.

Als Quellen elektrischer Felder werden nur bewegte Ladungen angesehen. In Interviews [1] verwiesen Lernende immer wieder dezidiert auf den Umstand, dass die Ladungen sich bewegen müssen. Diese Vorstellungen wirkt sich vor allem bei der Interpretation von Isolatoren und Polarisationsphänomenen negativ aus. So werden geladene Isolatoren nicht als Quellen elektrischer Felder angesehen, weil die Bewegung von Ladungen in Isolatoren stark eingeschränkt ist [7, 8]. In der österreichischen Studie wurde beispielsweise eine geladene Eisenkugel wesentlich häufiger als Quelle eines elektrischen Feldes angesehen als eine geladene Holzkugel. Es ist daher wenig überraschend, dass auch Polarisierungseffekte nicht berücksichtigt werden. Die österreichischen Proband*innen waren mehrheitlich der Meinung, dass auf ein flexibles Gummiband, welches sich in der Nähe eines geladenen Objekts befand, keine Kraft wirken würde. Zwei Gründe scheinen hierfür verantwortlich zu sein: erstens die Vorstellung, dass kein elektrisches Feld in einem Isolator existieren könne, weil dort die Beweglichkeit der Ladungen eingeschränkt ist [7] und zweitens der Begriff Isolator selbst, da Lernende damit Vorstellungen von Isolierung bzw. Abschirmung assoziieren [8].

1.3 Interpretation elektrischer und magnetischer Kräfte

Die Vorstellung, dass ruhende Ladungen bzw. Ladungstrennungen magnetische Felder hervorrufen würden, wirkt sich zwangsläufig auch stark auf die Interpretation von Kraftwirkungen aus. So war jeweils die Mehrheit der Proband*innen der Meinung, dass magnetische Felder auf Ladungen Kräfte ausüben würden, unabhängig davon, ob die Ladungen in Bewegung sind oder nicht. Diese Vorstellung war selbst bei jenen Lernenden feststellbar, die wussten, dass bewegte Ladungen magnetische Felder hervorrufen. Generell zeigt sich, dass Lernende in ihren Argumentationen nur unzureichend zwischen elektrischen und magnetischen Feldern differenzieren.

Bei der Interpretation der Kraftwirkungen dominiert das Modell der Fernwirkung [1, 2]. Deutlich erkennbar ist dies bei Aussagen der Schüler*innen über Kraftwirkungen, in denen die Kraftwirkung immer von Ladungen oder Magneten direkt ausgeht und als instantan angenommen wird. Aber auch bei der Interpretation von Influenzerscheinungen bzw. Abschirmungen wird die Präferenz zur Fernwirkung sichtbar. So ignorierte die Mehrheit der Probanden [1, 2] den Umstand, dass eine Kraftwirkung nur dann auftritt, wenn die Feldstärke an dem betreffenden Ort ungleich null ist. Verstärkt wird diese

Vorstellung, wenn beispielsweise bei einem Faraday-Käfig die Ladungen auf dem Metallgitter eingezeichnet werden. Die Schüler*innen nehmen nur unterschiedliche Ladungen wahr und gehen daher von einer Kraftwirkung aus. Sie sind nicht in der Lage, auch wenn es die Aufgabenstellung erfordert, vom Modell der Fernwirkung auf das Nahwirkungsprinzip zu wechseln. Daher können Situationen, in denen zwar Ladungen vorhanden sind, aber an gewissen Orten die elektrische Feldstärke verschwindet, nicht richtig interpretiert werden. Furio und Guisasola [2] sind daher der Meinung, dass im Unterricht beide Interpretationsweisen intensiv thematisiert und die Grenzen der einzelnen Interpretationen explizit aufgezeigt werden sollten.

1.4 Wissensstruktur

Wie in anderen Themengebieten auch, können Lernende in der Elektrizitätslehre nur unzureichende Zusammenhänge zwischen den Basiskonzepten herstellen und es dominiert ein Inselwissen [9]. Auffällig ist, dass gewisse Teilaspekte, wie das Ohm'sche Gesetz, von Lernenden überbewertet werden [10] und die Lernenden nur über eine unzureichende hierarchische Wissensstruktur verfügen [11].

Neben den themenspezifischen Schülervorstellungen werden in den Studien immer wieder Vorstellungen identifiziert, die eng mit den Grundgesetzen der Mechanik, vor allem mit dem 2. und 3. Newton'schen Gesetz, zusammenhängen. In den Studien [1, 7, 12] waren jeweils die Proband*innen mehrheitlich der Meinung, dass eine konstante elektrische Kraft in einer gleichförmigen Bewegung resultiere und dass jener Körper, der eine größere Ladungsmenge trägt, auch eine größere Kraft ausübe.

1.5 Alltagsbezug und Technik

Die Bedeutung elektrischer und magnetischer Felder im Alltag und der Technik ist vielen Lernenden nicht bewusst. Im Zusammenhang mit der Informationsübertragung werden zwar Begriffe wie elektromagnetische Strahlung oder elektromagnetische Wellen genannt, in welcher Verbindung diese aber mit den Feldern stehen, ist für viele Schüler*innen unklar. Tendenziell wird der Feldbegriff eher lokal interpretiert und Strahlen bzw. Wellen mit Ausbreitung assoziiert.

Gefragt nach Anwendungen, wurden in der österreichischen Studie im Falle des Magnetismus vor allem Begriffe wie Magnet, Erdmagnetfeld und Kompass genannt. Im Zusammenhang mit elektrischen Feldern wurden elektrische Geräte bzw. generell elektrische Stromkreise angegeben. Allerdings zeigte sich deutlich, dass in diesem Fall die Lernenden falsche Kausalbeziehungen herstellten. Die Schüler*innen waren mehrheitlich der Meinung, dass der Elektronenfluss in einem Gleichstromkreis das elektrische Feld hervorrufen würde. Auch in diesem Kontext ist die Tendenz der Lernenden erkennbar, bewegte Ladungen als Quellen elektrischer Felder anzusehen.

Die Ergebnisse der Fragen zu Gleichstromkreisen werden allerdings vom Umstand beeinflusst, dass Gleichstromkreise im Unterricht meist nicht mit Hilfe des elektrischen Feldes analysiert bzw. interpretiert werden. Daher ist schlussendlich die elektrische Spannung für den elektrischen Strom verantwortlich und die Bedeutung des elektrischen Feldes in diesem Kontext wird ausgeblendet.

2. Folgerungen für den Unterricht

Schülervorstellungen sind die zentralen Ausgangspunkte für Lernprozesse im Unterricht. Daher ergeben sich zwangsläufig zahlreiche Folgerungen für den Unterricht. Dieser Abschnitt setzt sich exemplarisch mit zwei Aspekten auseinander, dem Aufbau einer zweckmäßigen Wissensstruktur und der Einführung des Feldbegriffs.

Die Studien über Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre zeigen deutlich, dass die Wissensstruktur der Lernenden große Defizite aufweist. Das Wissen der Schüler*innen über elektrische und magnetische Felder ist sehr fragmentarisch und es können nur unzureichende Zusammenhänge zwischen den Basiskonzepten hergestellt werden. Bagno und Eylon [10] sowie Ferguson-Hessler und Jong [11] betonen daher die Notwendigkeit, Lernende beim Aufbau einer zweckmäßigen und hierarchischen Wissensstruktur zu unterstützen. Dafür müssen im Unterricht die Basiskonzepte und deren Zusammenhänge klar herausgearbeitet werden. Für die Unterrichtsstruktur ergeben sich daher folgende zwei Konsequenzen: Der Unterricht sollte nach den vier möglichen Interaktionen der Basiskonzepte (Materie-Feld, Feld-Materie, Feld-Feld und Materie-Materie) gegliedert sein und von den generellen Prinzipien zu den spezifischen Gesetzen bzw. Eigenschaften verlaufen. Idealerweise werden daher schon zu Beginn die zentralen Konzepte und deren Zusammenhänge eingeführt. Im Falle der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe II wären diese Konzepte Felder und Materie, deren Zusammenhänge in den Maxwell-Gleichungen formuliert sind. In weiterer Folge sollte sich der Unterricht nicht nach Statik oder Dynamik bzw. elektrischen und magnetischen Feldern gliedern, sondern nach der jeweiligen Interaktion.

Felder sind ein zentrales Konzept der modernen Physik. Allerdings werden sie in der Physik sehr unterschiedlich interpretiert und verwendet. Einerseits werden Felder als räumliche und zeitliche Verteilung einer physikalischen Größe angesehen. In diesem eher mathematisch geprägten Fall sind Felder gute Hilfsmittel, mit denen komplexe Vorgänge, wie beispielsweise in der Strömungslehre, beschrieben werden können. Andererseits spielen Felder bei der Interpretation von Wechselwirkungen eine zentrale Rolle. Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts wurden Kraftwirkungen im Sinne der Fernwirkung formuliert und interpretiert. In der Fernwirkung geht die Kraftwirkung unmittelbar von den beteiligten Objekten aus und tritt instantan auf. Erst durch die Arbeiten von Faraday und Maxwell entwickelte sich die Vorstellung, dass Kräfte über

Felder vermittelt werden. Im Gegensatz zur Fernwirkung wird dies als Nahwirkung bezeichnet. Im Nahwirkungsmodell rufen wechselwirkende Objekte Felder hervor und beobachtbare Kraftwirkungen treten erst durch eine lokale Interaktion mit diesem Feld auf. Da sich die Felder nur mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreiten, treten die Kräfte immer etwas zeitverzögert auf. Das elektrische Feld kann daher sowohl als Verteilung der raum- und zeitabhängigen elektrischen Feldstärke oder als eigenständiges physikalisches Objekt zur Vermittlung von Kraftwirkungen interpretiert werden.

Die Studien über Schülervorstellungen zeigen, dass Lernende Kraftwirkungen vor allem im Sinne der Fernwirkung interpretieren [1, 2]. Dies ist nicht überraschend, wenn man bedenkt, dass das Nahwirkungsprinzip im Unterricht oft nur beiläufig behandelt wird. Dies hat auch damit zu tun, dass der Einstieg in den Themenbereich der Elektrizitätslehre meist über das Coulombgesetz für zwei punktförmige Ladungen erfolgt. Der Feldbegriff sowie die elektrische Feldstärke werden anschließend über die Kraft auf eine Probeladung eingeführt. Diese Vorgangsweise suggeriert, dass das elektrische Feld und die Feldstärke nur über eine beobachtbare Kraftwirkung definiert werden können und fördert somit nicht die Vorstellung einer eigenständigen Entität [13]. Zudem begünstigt die enge Verknüpfung der Begriffe Kraft, Feld und Feldstärke die Tendenz der Lernenden, diese Konzepte als Synonyme aufzufassen, wodurch eine klare Differenzierung verhindert wird [2, 4]. Darüber hinaus ist ein weiterer Aspekt für die Dominanz der Fernwirkung verantwortlich. In Lehrbüchern und im Unterricht kommen zahlreiche Textpassagen und Ausdrucksweisen vor, die ganz im Modell der Fernwirkung formuliert sind und keine Nahwirkung bzw. Feldtheorie implizieren [14].

Im Unterricht sollte daher die Bedeutung des Feldkonzepts für das Modell der Nahwirkung in den Vordergrund gestellt werden [2, 15]. Dafür ist es unerlässlich das Feld als eigenständiges physikalisches Konzept, vergleichbar mit Energie, Masse oder Ladung, einzuführen. Sehr deutlich wird dies bei elektromagnetischen Feldern. Diese existieren losgelöst von den Quellen der Felder und übertragen Energie, Impuls oder Drehimpuls. Daher sind diese Felder in der physikalischen Hierarchie auf gleicher Ebene wie beispielsweise Teilchen oder Materie angesiedelt.

3. Unterrichtskonzept zur Elektrizitätslehre

An der PH OÖ wird im Rahmen einer fachdidaktischen Entwicklungsforschung an einem neuen Unterrichtskonzept zum Themenbereich der Elektrizitätslehre in der Oberstufe gearbeitet. Die Unterrichtsstruktur orientiert sich dabei vor allem an den Ansätzen von Bagno und Eylon [10], Ferguson-Hessler und Jong [11] sowie Furio und Guisasola [2]. Nach einem Einführungsunterricht, in dem die Basiskonzepte Feld und Materie vorgestellt werden, gliedert sich der nachfolgende

Unterricht an den Interaktionen zwischen den Basiskonzepten. Im Falle der Materie-Feld Interaktionen werden daher die Quellen der Felder, spezifische Eigenschaften der Felder oder das Potential thematisiert. Die beiden Interaktionen Feld-Materie und Materie-Materie sind eng miteinander verknüpft, da die Wechselwirkung zwischen elektrischen Ladungen und Strömen durch die entsprechenden Felder vermittelt wird. Daher werden beide Interaktionen parallel behandelt, wobei die Kraftwirkungen (Coulombkraft bzw. Lorentzkraft), das 3. Newton'sche Gesetz und spezielle Anwendungen, wie Gleichstromkreise, im Mittelpunkt stehen. Das Induktionsgesetz, Motor-/Generatorprinzip und elektromagnetische Wellen werden schlussendlich bei der Feld-Feld-Interaktion behandelt.

Zwei konkrete Unterrichtsvorschläge, die im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelt und evaluiert wurden, werden in den nächsten beiden Abschnitten kurz beschrieben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den didaktischen Überlegungen, die für die Unterrichtsentwürfe richtungsweisend waren. Die ausführlichen Beschreibungen beider Unterrichtsvorschläge finden Sie unter folgendem Link (im Bereich Forschung & Publikationen): <https://ph-ooe.at/de/ph-ooe/fachbereiche/naturwissenschaftl-bildung/physik.html>

3.1 Einführungsunterricht über elektrische und magnetische Felder

Die Konzeption des Einführungsunterrichts orientierte sich vor allem an den Vorschlägen von Bagno und Eylon [10] bzw. Ferguson-Hessler und Jong [11]. Die inhaltlichen Schwerpunkte sind daher die Basiskonzepte und deren Zusammenhänge, wobei der Fokus auf der Entwicklung eines konzeptuellen Verständnisses liegt. Daher werden auf eine Spezifizierung der einzelnen Gesetzmäßigkeiten und eine formale Beschreibung der Zusammenhänge verzichtet.

Den Ausgangspunkt bildet nicht die Elektrostatik bzw. das Feld von Punktladungen, sondern ein Demonstrationsversuch zur Informationsübertragung durch Dezimeterwellen. Dieser Versuch bietet sich an, da sich sowohl die Basiskonzepte als auch deren Zusammenhänge damit thematisieren lassen. In der Einführung liegt der Fokus auf den Vorgängen an der Sende- und Empfangsantenne. Andere Teilaspekte, wie z. B. die Funktionsweise von Schwingkreisen, die Ein- bzw. Auskopplung der Signale oder das Resonanzverhalten werden während des Einführungsunterrichts ausgeblendet. Dieser Versuch dient nicht nur zur Gliederung des Einführungsunterrichts, sondern er zieht sich wie ein roter Faden durch den gesamten Elektrizitätsunterricht, da Teilaspekte immer wieder aufgegriffen und spezifiziert werden können.

Der Feldbegriff wird im Unterricht als Vermittler der Kraftwirkungen eingeführt. Weil das Feld ein sehr abstraktes Konzept ist, wird im Einführungsunterricht eine Analogie verwendet, nämlich das Verhalten von Reißnägeln auf einer

Wasseroberfläche. Bekannt ist dieser Effekt auch unter dem Begriff „Cheerios effect“ [16]. Wird ein Reißnagel auf eine Wasseroberfläche gelegt, schwimmt dieser auf Grund der Oberflächenspannung. Interessanterweise wird der Reißnagel immer in der Mitte des Becherglases und nicht am Rand schwimmen. Versucht man den Reißnagel in Richtung des Glases zu bewegen, wirkt es so, als würden sich beide gegenseitig abstoßen. Legt man einen zweiten Reißnagel auf die Wasseroberfläche, schwimmen die beiden Reißnägeln zueinander. In diesem Fall scheint es so, also würden sich beide gegenseitig anziehen. In beiden Situationen tritt eine Wechselwirkung ohne direkten Kontakt auf, analog zur Wechselwirkung zwischen Ladungen oder zwischen elektrischen Strömen. Allerdings können im Fall der Reißnägeln Lernende leicht erkennen, dass die gegenseitige Wechselwirkung nicht direkt von den Reißnägeln ausgeht, sondern durch die Oberflächenspannung bzw. dem Bestreben des Wassers die Oberfläche zu minimieren vermittelt wird. Außerdem ist deutlich erkennbar, dass die Veränderung der Wasseroberfläche durch einen Reißnagel immer vorhanden ist, unabhängig davon, ob ein zweiter Reißnagel anwesend ist oder nicht (siehe Abb. 1). Dadurch wird die Interpretation der Wechselwirkung im Sinne des Nahwirkungsprinzips erleichtert.

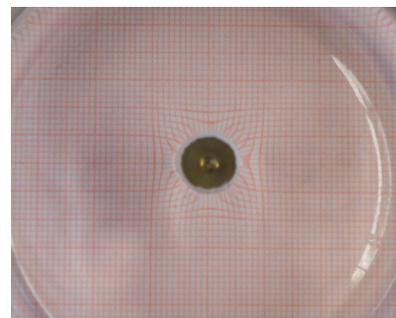


Abbildung 1: Veränderung der Wasseroberfläche durch die Reißnägeln

Um die Zusammenhänge der Basiskonzepte an Materie und Feld nachhaltig zu vermitteln, wird in Anlehnung Bagno und Eylon [10] im Verlauf des Einführungsunterrichts schrittweise ein Concept Map erstellt, welches alle zentralen Interaktionen visualisiert (siehe Abb. 2).

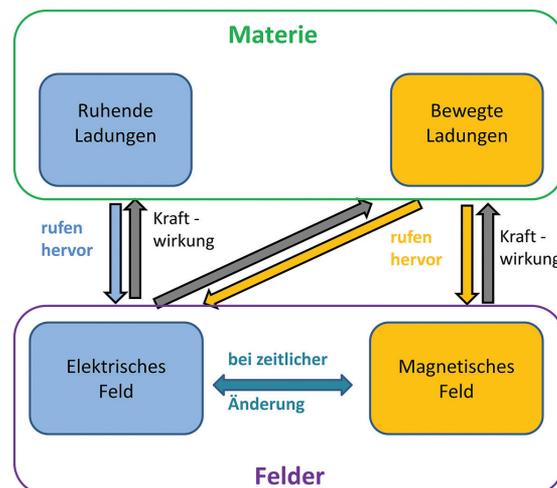


Abbildung 2: Fertiges Concept Map zur Visualisierung der Zusammenhänge zwischen den Basiskonzepten

Der Unterrichtsvorschlag ist für zwei Einheiten ausgelegt und beinhaltet folgende sechs Sequenzen:

1. Demonstrationsversuch zur Informationsübertragung
2. Einführung des Feldbegriffs mit der Reißnagel-Analogie
3. Materie-Feld Interaktion, bei der elektrische Ladungen und Ströme elektrische bzw. magnetische Felder hervorrufen
4. Felder an der Sendeantenne bzw. Abschneuerung der Felder sowie die gegenseitige Aufrechterhaltung der Felder
5. Vorgänge bei der Empfangsantenne
6. Zusammenfassung der zentralen Inhalte und Diskussion des fertigen Concept Maps

Die Ergebnisse der Evaluierung deuten darauf hin, dass der Einführungsunterricht bei Lernenden die Entwicklung physikalisch adäquater Vorstellungen über elektrische und magnetische Felder unterstützt [1]. In allen durchgeführten Befragungen zeigte sich, dass die Einführung in die Thematik über den dynamischen Prozess der Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen, die eingesetzte Analogie zur Einführung des Feldbegriffs und die Visualisierung der Zusammenhänge im Form eines Concept Maps die Vermittlung der zentralen Konzepte lernwirksam fördern.

3.2 Elektrisches Feld im Gleichstromkreis

Das Themengebiet Gleichstromkreise wird im Physikunterricht der Sekundarstufe II meist ohne das Feldkonzept eingeführt. Stromkreise werden dementsprechend nur stationär bzw. im Gleichgewichtszustand betrachtet. Dadurch wird erstens die Chance vergeben, Gleichstromkreise als Anwendungsbeispiel für die Grundprinzipien der Feldtheorie zu nutzen und zweitens führt diese Vorgangsweise dazu, dass viele Schüler*innen inadäquate Vorstellungen über Gleichstromkreise haben und falsche Kausalbeziehungen aufstellen. Der hier vorgestellte Unterrichtsvorschlag orientiert sich an den Vorschlägen von Härtel [17], Müller [18] bzw. Chabay & Sherwood [19] und stellt die Analyse von Gleichstromkreisen mit dem elektrischen Feld in den Mittelpunkt.

Eine konstante elektrische Stromstärke geht mit einer konstanten mittleren Driftgeschwindigkeit der Elektronen einher. Da die Elektronen ständig durch Stöße abgebremst werden, muss eine Kraft sie immer wieder beschleunigen. Diese Kraft wird durch ein elektrisches Feld hervorgerufen, wobei die elektrische Feldstärke dem Drahtverlauf folgt. Hervorgerufen wird das elektrische Feld von der Spannungsquelle und Oberflächenladungen. Bei den ersten Betrachtungen wird auf einen zusätzlich eingebauten Widerstand verzichtet. Daher wird der Verbindungsdraht nicht als idealer Leiter betrachtet, sondern weist selbst einen nicht zu vernachlässigenden Widerstand auf. Die Verteilung der Oberflächenladung ist selbst für einfache Stromkreise äußerst komplex (siehe [18]). Ziel des Unterrichtskonzepts ist es, dass Schüler*innen die Spannungsquelle und die Oberflächenladungen als Quellen des elektrischen Feldes in einem Gleichstromkreis

betrachten. Für dieses Verständnis ist die genaue Kenntnis der Oberflächenladungsdichten nicht zwingen notwendig. Daher wird im Unterrichtskonzept in Anlehnung an Chabay & Sherwood [19] die Verteilung der Oberflächenladungen nur vereinfacht und schematisch dargestellt (siehe Abb. 3). Diese Problematik wird allerdings im Unterricht nochmals aufgegriffen und mit den Schüler*innen am Beispiel eines gebogenen Drahtes diskutiert.

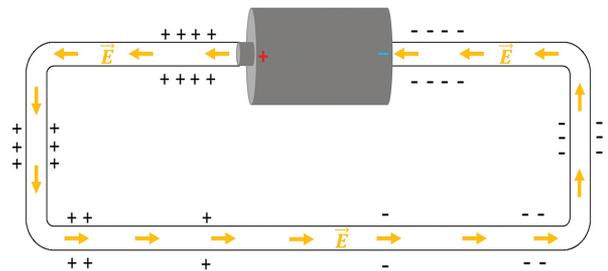


Abbildung 3: Schematische und vereinfachte Darstellung der Verteilung der Oberflächenladungen in einem geschlossenen Stromkreis.

Der Feedback-Mechanismus zwischen Oberflächenladungen und elektrischem Feld kann am Beispiel von zusätzlich eingebauten Widerständen gut gezeigt werden, wobei zwei Widerstandsmodelle betrachtet werden. Eines dieser Modelle ist ein Draht, der aus dem gleichen Material ist wie die anderen Verbindungsdrähte, aber einen wesentlich dünneren Querschnitt aufweist. Als zweites Widerstandsmodell dient ein Draht, der zwar die gleiche Querschnittsfläche wie die anderen Drähte hat, aber aus einem Material mit einer wesentlich kleineren Leitfähigkeit besteht. Aus der Analyse der Stromstärke, der Stromdichte und der Driftgeschwindigkeit kann für beide Modelle einfach hergeleitet werden, dass die elektrische Feldstärke im Widerstand höher sein muss als im restlichen Gleichstromkreis. In beiden Fällen kommt es durch den Feedback-Mechanismus zur Umverteilung der Oberflächenladungen, sodass die elektrische Feldstärke im Widerstand zunimmt und im Kabel abnimmt, bis sich eine gleichgroße Stromstärke einstellt. Dieser Mechanismus wird rein qualitativ diskutiert, ohne Abbildung der konkreten Ladungsverteilung.

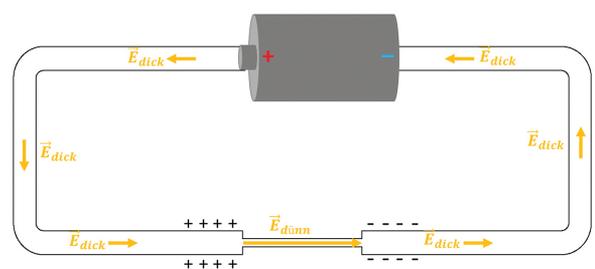


Abbildung 4: Verlauf der Feldstärken im Gleichstromkreis mit zusätzlichem Widerstand

Zum Abschluss des Unterrichts wird der Potentialbegriff eingeführt und die Regeln für das Potential im Gleichstromkreis begründet. Dabei wird auf den Potentialbegriff aus der Elektrostatik aufgebaut. Die qualitative Betrachtung des

Potentialverlaufs im Gleichstromkreis wird dabei durch einen Schüler*innen-Versuch unterstützt, in dem der Potentialverlauf in einer Wasserschale mithilfe von Leuchtdioden untersucht wird (siehe [20]). In diesem Zusammenhang kann auch die Potentialdifferenz bei einem realen Leiter im Vergleich zu einem idealen Leiter gut herausgearbeitet werden.

Der Unterrichtsvorschlag ist für zwei Unterrichtseinheiten konzipiert und gliedert sich in sechs Sequenzen:

1. Einstieg und Wiederholung der benötigten Begriffe
2. Oberflächenladungen bei offenem Stromkreis
3. Umverteilung der Oberflächenladungen beim Schließen
4. Selbstregulation durch Feedback-Mechanismus
5. Effekte bei zusätzlichem Widerstand
6. Potential und elektrische Spannung im Gleichstromkreis

Die Evaluierung zeigte deutlich, dass das Unterrichtskonzept vor allem folgende Vorteile bietet [21]:

- Die Lernenden erkennen, dass der Feedback-Mechanismus zwischen Oberflächenladungen und elektrischem Feld dazu führt, dass sich jede Änderung auf den gesamten Gleichstromkreis auswirkt. Dadurch kann lokales Denken und die sequenzielle Betrachtung beim Analysieren eines Gleichstromkreises verhindert werden.
- Werden Gleichstromkreise mit dem elektrischen Feld behandelt, lässt sich der Potentialbegriff bzw. die elektrische Spannung analog zur Elektrostatik einführen und kann konsistent ausgebaut werden. Dadurch können die Regeln für das Potential (Höhenmodell), wie sie vielleicht aus der Unterstufe bekannt sind, hergeleitet und die Potentialdifferenz an einem elektrischen Widerstand begründet werden. Durch diese Vorgangsweise lassen sich die Konzepte Potential und elektrische Spannung nachhaltig einführen.

Wolfgang Aschauer Pädagogische Hochschule OÖ

Literatur

- [1] Aschauer, W. (2017). Elektrische und magnetische Felder – Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II. Berlin: Logos Verlag.
- [2] Furio, C. & Guisasaola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- [3] Pocovi, M.C. & Finley, F. (2002). Lines of Force: Faraday's and Students' Views. *Science & Education*, 2002, 11, 459-474.
- [4] Törnkvist, S., Pettersson, K.-A. & Tranströmer, G. (1993). Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field. *American Journal of Physics*, 61, 335-338.
- [5] Bar, V. & Zinn, B. (1998). Similar Frameworks of Action-at-a-Distance: Early Scientists' and Pupils' Ideas. *Science & Education*, 7, 471-491.
- [6] Maloney, D.P. (1985). Charged Poles? *Physics Education*, 20, 310-316.
- [7] Bilal, E. & Erol, M. (2009). Investigating Students' Conceptions of Some Electricity Concepts. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3, 193-201.
- [8] Viennot, L. & Rainsong, L. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14, 475-487.
- [9] Albe, V., Venturini, P. & Lascours, J. (2001). Electromagnetic Concepts in Mathematical Representation of Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 197-203.
- [10] Bagno, E. & Eylon, B.S. (1997). From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism. *American Journal of Physics*, 65, 726-736.
- [11] Ferguson-Hessler, M.G.M. & de Jong, T. (1987). On the quality of knowledge in the field of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 55, 492-497.
- [12] Maloney, D.P., O'Kuma, T.L., Hieggelke, C.J., & Heuvelen, A.V. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69 (S1), 12-23.
- [13] Herrmann, F. (2012). Altlasten der Physik: Die elektrische Probeladung. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, 61(1), 48.
- [14] Herrmann, F. & Job, G. (2002). Altlasten der Physik. Köln: Aulis.
- [15] Duit, R., Kraus, M.E. & Rincke, K. (2012). Magnetismus im Physikunterricht – Fachliche und didaktische Informationen zu einem komplexen Thema. *Unterricht Physik*, 127, 4-9.
- [16] Vella, D. & Mahadevan, L. (2005). The "Cheerios effect". *American Journal of Physics*, 73, 817-825.
- [17] Härtel, H. (2012). Spannung und Oberflächenladungen: Was Wilhelm Weber schon vor mehr als 150 Jahren wusste. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, 61(5), 25-31.
- [18] Müller, R. (2012). Was ist Spannung? *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, 61(5), 5-16.
- [19] Chabay, R. & Sherwood, B. (2011). *Matter & Interactions* (3rd ed.). Wiley.
- [20] Dvořák, L. & Planinšič, G. (2010). LEDs in Water: Hands-on Electric Field Lines and Electric Potential. https://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29497.pdf, (Stand: 02.2021).
- [21] Aschauer, W. (2020). Einführung von Gleichstromkreisen mit elektrischem Feld. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*, 1043-1046.

Kompetenzorientierung einmal anders – Lernaufgaben für den Unterricht

Artur Habicher, Herbert Oberhauser & Wolfgang Dür

1. Einleitung

Durch die Einführung der Bildungsstandards und damit verbunden durch die Entwicklung der Kompetenzmodelle wurde in den letzten Jahren eine kompetenzorientierte Ausrichtung des Unterrichtes forciert. Obwohl in den naturwissenschaftlichen Fächern Bildungsstandards gesetzlich nicht verordnet wurden, sind vielseitige Aktivitäten im Bereich der Fort- und Weiterbildung und der Schulbehörden erkennbar, um auch im Physikunterricht die Kompetenzorientierung verstärkt zu etablieren. In nationalen und internationalen Überprüfungen (PISA, Bildungsstandards, IKM) werden Schüler*innen mit kompetenzorientierten Aufgabenstellungen konfrontiert, zu Beginn in vielen Ländern, so auch in Österreich, ohne ausreichend darauf vorbereitet zu sein. Zudem ist eine kompetenzorientierte Gestaltung der Reifeprüfung für die Lehrkräfte vorgeschrieben.

Der Forderung nach kompetenzorientiertem Unterricht stand zu Beginn die von vielen Lehrpersonen geäußerte Frage gegenüber: „Kompetenzorientiert unterrichten, wie geht das?“ Als Hilfestellung konnten Lehrkräfte anfänglich lediglich auf veröffentlichte Testaufgaben (z. B. BIFIE) und, soweit bekannt, auf das für Naturwissenschaften entwickelte Kompetenzmodell Nawi für die 8. Schulstufe [1] zurückgreifen. In der Zwischenzeit wurde das Kompetenzmodell weiterentwickelt und dient nun in der weiterentwickelten Form u. a. als Grundlage für den semestrierten Lehrplan der AHS Oberstufe [2] und in Zukunft auch für die nächste Generation des Unterstufenlehrplans. Erst allmählich wurden auch Schulbücher überarbeitet und mit der zusätzlichen Beschreibung „kompetenzorientiert“ beworben – was aber nur eingeschränkt zutrifft [3]. Um Lehrpersonen in ihrem Bestreben nach Umsetzung eines kompetenzorientierten Physikunterrichts eine zusätzliche Unterstützung anzubieten, hat eine dreiköpfige Arbeitsgruppe 2015 mit der Entwicklung von kompetenzorientierten Lernaufgaben für die Sekundarstufe I begonnen und bis heute 23 derartige Aufgaben entwickelt und auf der Homepage des RECC Physik West veröffentlicht [4].

2. Kompetenzorientierte Aufgaben

Aufgabenstellungen sind ein zentrales Element für Unterricht und (Physik-)Lernen. Dabei wird zwischen Prüfungs-, Test- und Lernaufgaben unterschieden. Mit Prüfungsaufgaben wird der individuelle Lernfortschritt erfasst, die Beurteilung und Benotung stehen im Vordergrund [5]. Mit Testaufgaben wird überprüft, inwieweit die im Kompetenzmodell abgebildeten Kompetenzen erreicht werden [6]. Testaufgaben dienen der Lernerfolgskontrolle, während Lernaufgaben Lernprozesse

fördern und unterstützen [7]. Venus-Wagner et al. [8] differenzieren zwischen Unterrichtsaufgaben für den Einsatz im Unterricht und Diagnoseaufgaben, mit denen Lehrpersonen die Leistungen der Schüler*innen feststellen können. Lernaufgaben bilden als Konfrontations-, Erarbeitungs-, Vertiefungs- und Transferaufgaben wichtige Bestandteile eines kompetenzorientierten Aufgabensets und somit von kompetenzförderndem Unterricht [9].

Bei den von der Arbeitsgruppe entwickelten Aufgaben handelt es sich ausschließlich um kompetenzorientierte Lernaufgaben. Für den Begriff „Lernaufgabe“ gibt es keine einheitliche Definition. Wir haben uns bei der Aufgabenentwicklung vor allem an jene von Leisen gehalten: „Eine Lernaufgabe ist eine Lernumgebung zur Kompetenzentwicklung. Sie steuert den individuellen Lernprozess durch eine Folge von gestuften Aufgabenstellungen mit entsprechenden Lernmaterialien so, dass die Lerner möglichst eigenständig die Problemstellung entdecken, Vorstellungen entwickeln und Informationen auswerten. Dabei erstellen und diskutieren sie ein Lernprodukt, definieren und reflektieren den Lernzugewinn und üben sich abschließend im handelnden Umgang mit Wissen.“ [10, S. 10]

Zur Entwicklung von Kompetenzen tragen demnach Test- bzw. Leistungsaufgaben nur bedingt bei. Auch aus diesem Grund entschloss sich die Arbeitsgruppe des RECC Physik West, kompetenzorientierte Lernaufgaben für den Einsatz im Physikunterricht und zur direkten Unterstützung der Lehrkräfte zu entwickeln.

3. Entwicklung von kompetenzorientierten Lernaufgaben

Bei der Entwicklung der kompetenzorientierten Lernaufgaben orientierten wir uns einerseits an der oben bereits dargestellten Definition der Lernaufgaben von Leisen und andererseits am Kompetenzmodell Nawi 8, das übergreifend für die Fächer Biologie, Chemie und Physik entwickelt wurde. Die Aufgaben sollten möglichst viele Inhalte exemplarisch abbilden, alle Anforderungsniveaus ansprechen und die drei Bereiche Wissen (W), Erkenntnisgewinnung (E) und Bewertung (S) der Handlungskompetenzen gleichermaßen fordern und damit fördern. Obwohl das Kompetenzmodell weiterentwickelt wurde, hielten wir uns bei der Aufgabenentwicklung vorwiegend an das Kompetenzmodell Nawi 8 und beziehen uns auch hier im Folgenden darauf. Wir weisen darauf hin, dass die angegebenen Bereiche in der überarbeiteten Version wie folgt interpretiert werden: W - Innerphysikalisches Fachwissen; E -

Der Prozess, in dem physikalisches Fachwissen generiert wird, also z. B. durch Experimentieren; S - Über innerphysikalische Zusammenhänge hinausgehende Aspekte.

Weitere Kriterien, die bei der Gestaltung der Lernaufgaben berücksichtigt wurden:

- Selbständige Bearbeitung der Aufgaben durch die Schüler*innen
- Leichte Adaptierungsmöglichkeit durch Lehrpersonen und Verwendung von Teilaufgaben
- Interessenslage der Schüler*innen
- Authentizität und Lebensweltbezug
- Einsatz moderner Medien, Videos und Apps

Die eigenständige elektronische Bearbeitungsmöglichkeit in einer PDF-Datei erlaubt den Einsatz der Aufgaben auch im Distance-Learning. Die Aufgaben sind überwiegend so gestaltet, dass einzelne Teilaufgaben herausgegriffen werden können, es kann aber auch die Gesamtaufgabe eins zu eins übernommen und im Unterricht eingesetzt werden. Damit eignen sich die Aufgaben auch für die Verwendung durch nicht für das Fach ausgebildete Lehrkräfte.

Darüber hinaus haben wir uns bemüht, Ergebnisse aus der Interessensforschung – insbesondere zu den beliebten Tätigkeiten – zu berücksichtigen [11-13]. So finden sich zahlreiche Teilaufgaben zu in diesen Studien genannten und bei Schüler*innen beliebten Tätigkeiten wie selbständiges Experimentieren, Betrachten von physikalischen Videos und Anwenden von Apps, während (unbeliebte) Lehrer*innen-vorträge und Berechnungen einen geringen Stellenwert einnehmen. Auch Diskussionen und das gezielte Argumentieren sind wichtige Bestandteile.

Bei der Erstellung der Lernaufgaben wurde darauf geachtet, die Lernenden mit Problemstellungen in authentischen und für sie sinnstiftenden Kontexten zu konfrontieren. Durch Aufgabenstellungen mit Lebensweltbezug werden die Schüler*innen dazu angehalten, ihr physikalisches Wissen in neuen Zusammenhängen anzuwenden [14, 15]. Wir hoffen, damit das langfristige Behalten sowie ein besseres Verständnis der Arbeitsweise der Physik (Modellierung & Modellbildung) zu fördern.

In der Zwischenzeit sind die aktuellen Auflagen der Physikschulbücher mehr oder weniger kompetenzorientiert ausgerichtet. Damit hätte unsere Entwicklung von kompetenzorientierten Lernaufgaben überflüssig werden können. Ein Blick in diverse Schulbücher zeigt aber, dass sowohl die Anzahl als auch die Art der kompetenzorientierten Aufgaben in den einzelnen Büchern sehr unterschiedlich sind. Meist handelt es sich um einzelne, voneinander unabhängige Teilaufgaben, wobei nur sehr wenige Aufgaben Kompetenzen des Handlungsbereichs Schlüsse ziehen (S) fordern und fördern. Dies deckt sich mit den Ergebnissen

einer Untersuchung von Joham und Haagen-Schützenhöfer [3], in der die Aufgabenstellungen aus Optikkapiteln von vier österreichischen Schulbüchern analysiert wurden. Die Untersuchung zeigt, dass Aufgaben aus den Bereichen Wissen (W) und Erkenntnisgewinnung (E) deutlich überwiegen. Bei den von uns entwickelten Aufgaben handelt es sich nicht um einzelne, voneinander unabhängige Teilaufgaben, sondern um eine aufbauende, zusammenhängende Reihe von Teilaufgaben zu einem bestimmten Themenbereich. Dabei werden nicht nur Anwendung, Vertiefung und Transfer berücksichtigt, sondern einzelne Aufgaben dienen auch Einführung und Erarbeitung eines Themas im Unterricht.

Darüber hinaus greifen wir auch auf öffentlich zugängliche Apps und Lernprogramme sowie physikalische Videos von unterschiedlichen Anbietenden und Plattformen zurück, was eine breitere Methodenvielfalt und interessantere Gestaltung der Aufgaben ermöglicht. Einige Aufgaben, wie beispielsweise die weiter unten beschriebenen Aufgaben „Am schnellsten Weg von A nach B“ und die Aufgaben mit Concept Cartoons (z. B. Funktionsweise eines Kühlschranks), bedienen sich nicht konventioneller Inhalte und Zugänge, die üblicherweise in dieser Form nicht in der Sekundarstufe I zu finden sind.

In vielen Aufgaben müssen die Lernenden Texte selbstständig verfassen, indem sie ihre Vermutungen, Beobachtungen, Fragen, Erklärungen oder Antworten auf Fragestellungen formulieren und schriftlich festhalten. Damit werden einerseits die Gedanken der Schüler*innen bei der Aufgabenbearbeitung sichtbar gemacht und andererseits das Lernen über die Sprache gefördert. Zusätzlich zur Entwicklung von Lernaufgaben für die Sekundarstufe I und II sollen in Zukunft die Aufgaben hinsichtlich sprachlicher Kriterien guter Lernaufgaben analysiert und überarbeitet werden.

4. Analyse, Pilotierung und Überarbeitung der kompetenzorientierten Lernaufgaben

Eine Analyse der von uns entwickelten Aufgaben vor ca. zwei Jahren in Bezug auf die vorkommenden Handlungskompetenzen der drei Dimensionen „Wissen organisieren“ (W), „Erkenntnisse gewinnen“ (E) und „Schlüsse ziehen“ (S) zeigte deutlich, dass auch hier die Bereiche „Erkenntnisse gewinnen“ und „Schlüsse ziehen“ unterrepräsentiert waren. In Folge haben wir bei der Entwicklung neuer Aufgabenstellungen versucht, insbesondere diese Handlungskompetenzen anzusprechen. Da sich Aufgabenstellungen mit Concept Cartoons (siehe 5.4) aus unserer Sicht sehr gut eignen, um das Vermuten und Argumentieren zu fördern, wurden in jüngster Vergangenheit einige Aufgaben entwickelt, die mit Concept Cartoons in die Aufgabenstellung einsteigen und die Schüler*innen zum Fragen stellen, Vermutungen äußern (E) und zum Begründen und Argumentieren (S) auffordern.

Neu entwickelte Aufgaben wurden und werden auf ihre Eignung zum Einsatz im Physikunterricht getestet. Dabei versuchen wir, jede Aufgabe von Schüler*innen in zumindest zwei verschiedenen Schulklassen bearbeiten zu lassen. Die Ergebnisse der Schüler*innenbefragungen mittels eines dafür entwickelten Fragebogens und die Rückmeldungen der Lehrpersonen bilden die Grundlage für die Überarbeitung der Aufgaben, bevor diese online bzw. Lehrpersonen für den Einsatz im Unterricht zur Verfügung gestellt werden.

Beispielsweise wurde die unten beschriebene Aufgabe „Ebener Spiegel – Homer Simpson kauft ein“ an zwei Mittelschulen in jeweils einer Klasse pilotiert. Die Befragung der Schüler*innen ergab, dass sie mehrheitlich den Inhalt der Aufgabe interessant finden, durch die Bearbeitung einen persönlichen Lerngewinn erzielen und die Aufgabenstellung insgesamt gesehen verständlich sei. Eine differenzierte Betrachtung der Antworten auf offene Fragen lässt aber erkennen, dass bei Schüler*innen doch einige Verständnisschwierigkeiten vorlagen. Die Aufgabe wurde auf Grundlage der Ergebnisse der Schüler*innenbefragung und der Rückmeldungen der Lehrpersonen überarbeitet und ist in der überarbeiteten Form abgebildet. Eine neuerliche Pilotierung der überarbeiteten Aufgabe steht allerdings noch aus.

Die Concept-Cartoon-Aufgabe zum Auftrieb (Schwimmt Eisen?) wurde während der Schulschließungen im Frühjahr 2020 in zwei Klassen einer AHS Unterstufe im Distance-Learning pilotiert. Die Ergebnisse der Schüler*innenbefragung und die Rückmeldungen der Lehrpersonen erfordern vorerst keine Überarbeitung der Aufgabe.

Mit kompetenzorientierten Lernaufgaben wurde auch in Lehrer*innenfortbildungen gearbeitet. Die Bearbeitung der Aufgaben und die kritische Auseinandersetzung der Lehrpersonen mit diesen brachten für uns wertvolle Hinweise für eine Überarbeitung und für die Entwicklung neuer Aufgaben.

Während der Schulschließungen im Lockdown setzten einige Lehrpersonen versuchsweise dafür geeignet erscheinende Lernaufgaben im Distance-Learning ein. Rückmeldungen der Lehrkräfte bestätigten unsere Annahme, dass zumindest Teile der Aufgaben von Schüler*innen in eigenständiger Arbeit elektronisch bearbeitet werden können. Die online von Schüler*innen bearbeiteten Aufgaben können abgespeichert und auf eine Plattform hochgeladen werden, sodass die Lehrperson auch im Distance-Learning einen guten Überblick über die Lernprodukte hat, Rückmeldungen geben und mit den Lernenden darüber in Austausch treten kann.

5. Beispiele für Lernaufgaben

Wir stellen nun eine Auswahl verschiedener Lernaufgaben vor.

5.1 Ebener Spiegel

Die Eigenschaften eines Spiegels und die mit der Vertauschung von vorne und hinten verbundene Verwirrung bei vielen Schüler*innen sind ein beliebtes und auch wichtiges Thema der geometrischen Optik. Mit Hilfe einer von Magdalena Reitmeir [16] im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelten Aufgabe mit einer Geogebra App, bei der die Simpson-Familie im Vordergrund steht, werden die Eigenschaften des Spiegelbilds und die dazu notwendigen Konstruktionsstrahlen spielerisch eingeführt. Die Schüler*innen stellen Vermutungen auf, machen ein Realexperiment, erklären sich gegenseitig die Konstruktion von Spiegelbildern und helfen den Simpsons bei der gewünschten Verwendung eines Spiegels. Dabei wird u. a. die Möglichkeit diskutiert, den sichtbaren Bereich eines Spiegels zu verändern. Wie zumindest bei Physiker*innen bekannt sein dürfte, hilft dabei eine größere Entfernung zum Spiegel nicht, es sei denn, der Spiegel wird geneigt aufgehängt. In diesem Fall verändert sich die Größe des sichtbaren Bereichs von Homer in Abhängigkeit seiner Entfernung vom Spiegel, von der Aufhängungshöhe und vom Neigungswinkel des aufgehängten Spiegels. Dieses und eine Reihe weiterer Phänomene werden behandelt, wobei vorwiegend W- und E-Kompetenzen im Vordergrund stehen.

5.2 Warum können Flugzeuge fliegen:

Diese Aufgabe stellt eine Adaption und Erweiterung einer von Erich Reichel für die Pilotierung im Rahmen der Bildungsstandards NAWI 8 entwickelten und uns zur Verfügung gestellten Aufgabe dar. Dabei werden vor allem die Dimensionen Erkenntnisgewinnung (E) und Wissen (W) angesprochen. Die Schüler*innen stellen Vermutungen auf, experimentieren selbst mit Hilfe einfacher Freihandexperimente (Luftströmung zwischen zwei Blättern) und erarbeiten anhand von Demonstrationsexperimenten die Grundprinzipien des Fliegens. Eine Aufgabenstellung besteht darin, das Schweben eines Tischtennisballs mit Hilfe eines Föns sowie Luftströmungen über und unter einem Luftballon zu diskutieren (siehe Abb. 1a). Bei letzterem Experiment zeigt sich ein unerwartetes Verhalten: Bläst man mit dem Fön unter den Luftballon, so wird dieser auf den Boden gedrückt, bläst man darüber, steigt er auf. Vor allem der Bereich Erkenntnisse gewinnen (Beobachtungen machen, Vermutungen aufstellen sowie Experimente planen und analysieren) steht dabei im Vordergrund.

5.3 Am schnellsten Weg von A nach B

Extremalprinzipien spielen in der Physik eine zentrale Rolle – die Minimierung der (Oberflächen)Energie liefert etwa eine Erklärung für die Kugelform von Wassertropfen – zumindest in der Schwerelosigkeit: Eine Kugel hat von allen Körpern bei gegebenem Volumen die kleinste Oberfläche. Ebenso lässt sich anhand der Energieerhaltung plausibel machen, auf welcher Bahn ein Spielzeugauto (bzw. eine Kugel) möglichst schnell von einem hoch gelegenen Startpunkt A zu einem tiefer gelegenen

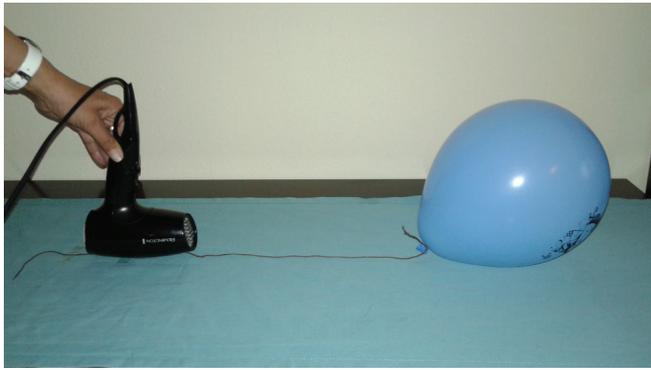


Abbildung 1a: Bläst man mit einem Föhn unter den Luftballon, so wird dieser zu Boden gedrückt. Bläst man über den Luftballon, so steigt er auf. (Föhn ist im Bild ausgeschaltet)

Endpunkt B kommt. Diese Überlegungen spielen auch beim Schifahren bzw. Skateboarden eine Rolle. Schüler*innen stellen zunächst Vermutungen auf und überprüfen diese dann in einem Realexperiment mithilfe von biegbaren Schienen, die Schüler*innen von ihren Darda- oder Matchboxrennbahnen von zuhause mitbringen können. Überraschenderweise ist die optimale Bahn weder die gerade Verbindungslinie noch eine zuerst stark abfallende und dann flach verlaufende Bahn, sondern vielmehr eine Zykloide, bei der der Tiefpunkt der Bahn in dieser Aufgabe unterhalb des Endpunkts liegt (siehe Abbildung 1b). Mithilfe der Energieerhaltung sowie der Beobachtung der erreichten Geschwindigkeiten einer Kugel in einer Schüssel argumentieren die Schüler*innen über erreichte Maximalgeschwindigkeit, Endgeschwindigkeit und die Begründung für die optimale Bahnkurve. Diese Aufgabe ist für den Einsatz in verschiedenen Schultypen auf der Sekundarstufe I und auch auf der Sekundarstufe II geeignet, wenn die genannten Inhalte thematisiert werden. In der Sekundarstufe I erfolgt ein qualitativer Zugang, für die Sekundarstufe II ist allenfalls eine entsprechende Adaption der Aufgabe zu empfehlen. Die mathematische Behandlung ist der Hochschule vorbehalten, die dazu benötigte Variationsrechnung ist selbst für Mathematiklehrer*innen nicht Teil der Ausbildung. Neben E-Kompetenzen werden bei der Aufgabe auch S-Kompetenzen angesprochen, weil Fakten aus naturwissenschaftlicher Sicht bewertet und Schlüsse daraus gezogen werden sollen.

Ebenfalls mit einem Extremalprinzip – diesmal mit dem Fermat'schen Prinzip, nach dem ein Lichtstrahl jenen Weg nimmt, für den er die kürzeste Zeit benötigt – arbeitet die Aufgabe „Brechungsgesetz einmal anders“. Im Rahmen einer Analogie können die Schüler*innen selbst die optimale Bahn zwischen zwei Punkten ausprobieren, wobei unterschiedliche Geschwindigkeitsbegrenzungen in Teilbereichen der Klasse oder des Turnsaals gelten. Man denke etwa an eine*n Rettungsschwimmer*innen, die*der in einer gewissen Entfernung vom Strand steht und möglichst schnell zu einem Ertrinkenden kommen möchte. Am Strand ist er schneller als im Wasser und der optimale Weg entspricht dem Brechungsgesetz der

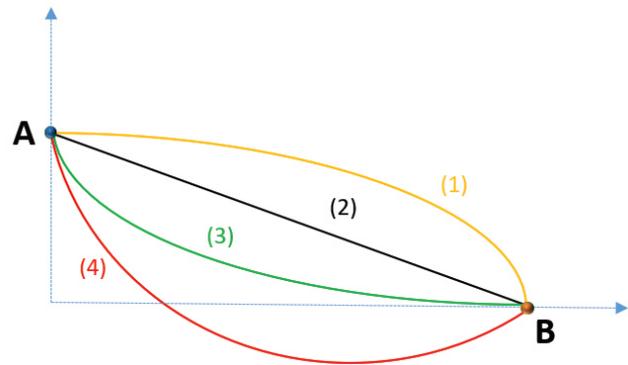


Abbildung 1b: Verschiedene Bahnen von A nach B. Während Bahn (2) die kürzeste ist, ist die benötigte Zeit bei den Bahnen (3) und (4) geringer – Bahn (4) ist die schnellste. Die größere erreichte Geschwindigkeit macht den längeren Weg wett.

Optik. Somit kann man das Brechungsgesetz zwar nicht mathematisch, aber immerhin qualitativ herleiten. Mit dieser Aufgabe kann im Zusammenhang mit der Lichtbrechung sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II gearbeitet werden, wobei die Herleitung des Brechungsgesetzes in der Unterstufe ausschließlich qualitativ erfolgt.

Bei anderen Aufgaben kommen die Methode der Podiumsdiskussion (z. B. über die Vor- und Nachteile verschiedener Beleuchtungsmittel oder über die Modelle des Sehens), aber auch die Informationsentnahme aus Videos zum Einsatz.

5.4 Concept Cartoons – mehr als nur ein Einstieg ins Thema

Einige Aufgaben arbeiten mit sogenannten Concept-Cartoons, einer grafisch untermalten Darstellung von verschiedenen Konzepten und Erklärungsmustern, die vor allem eines erreichen sollen: die Schüler*innen zum Nachdenken und Diskutieren anregen [17-19]. Dies wird z. B. in Aufgaben zur Funktionsweise eines Kühlschranks, aber auch zur Erderwärmung eingesetzt. Bei der Aufgabe zum Kühlschrank diskutieren die Schüler*innen zunächst selbst und lernen dann die notwendigen Begrifflichkeiten und Konzepte näher kennen. Ein Lernvideo wird dabei gezielt eingesetzt. Durch die abschließende Aufgabenstellung erfolgt noch die Förderung von S-Kompetenzen und die Anwendung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen im Alltag. In diesem Fall geht es um eine Kaufentscheidung für einen Kühlschrank, bei dem nicht das Gerät mit dem geringsten Anschaffungspreis, sondern das energieeffizienteste Gerät dauerhaft gesehen am günstigsten ist.

In der Aufgabe zur Erderwärmung werden fächerübergreifende Inhalte thematisiert, wobei von der Fragestellung ausgegangen wird, ob ein mit Wasser vollgefülltes Glas übergeht, wenn die darin enthaltenen Eiswürfel schmelzen. Nach dem Einstieg über einen Concept Cartoon wird das Experiment zu zweit durchgeführt, dokumentiert und diskutiert und die Ergebnisse dann auf den Anstieg des Meeresspiegels übertragen. Die

Schüler*innen begründen anhand des Gelernten, warum das Schmelzen von Eisbergen keine Auswirkung auf den Meeresspiegel hat, das Abschmelzen der Polkappen bzw. von Festlandeis aber sehr wohl. Eine Internetrecherche mit anschließender Diskussion der Erkenntnisse in Kleingruppen rundet die Aufgabe ab. Auch hier werden Vermutungen aufgestellt, Untersuchungen durchgeführt, Ergebnisse interpretiert und bewertet und Schlüsse daraus gezogen.

Auf den nächsten beiden Seiten ist exemplarisch eine Aufgabe abgebildet. Alle Aufgaben sind zum Download verfügbar [4]. Wir würden uns über einen Einsatz im Unterricht freuen. Um uns bei der Weiterentwicklung und Überarbeitung der Aufgaben zu unterstützen, bitten wir interessierte Lehrpersonen, die

Rückmeldeformulare für Schüler*innen und Lehrpersonen (Links auf der Homepage verfügbar) auszufüllen.

Artur Habicher *Institut für fachdidaktische und bildungswissenschaftliche Forschung und Entwicklung, Pädagogische Hochschule Tirol*

Herbert Oberhauser *Physiklehrer an der Mittelschule Rum und Mitarbeiter im Institut für fachdidaktische und bildungswissenschaftliche Forschung und Entwicklung, Pädagogische Hochschule Tirol*

Wolfgang Dür *Institut für Theoretische Physik und Institut für Fachdidaktik, Universität Innsbruck*

Literatur

- [1] BIFIE (2001). Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe.
- [2] Themenhefte „Kompetenz“. Plus Lucis 1/2017 und 2/2017
- [3] Joham, B. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2016). Umsetzung der Kompetenzorientierung in österreichischen Physikschulbüchern der Sekundarstufe I. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, DD 05.39
- [4] <https://recc.tsn.at/news/lernaufgaben-zur-entwicklung-von-kompetenzen>
- [5] Abraham, U. & Müller, A. (2009). Aus Leistungsaufgaben lernen. Praxis Deutsch, 214, S. 4-12.
- [6] Wiesner, C., Illetschko, M., George, A., Breit, S., Süß-Stepancik, E. & Schreiner, C. (2017). Aufgabenkultur. BIFIE
- [7] Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (Hrsg.). (2007). Physikdidaktik – Theorie und Praxis (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- [8] Venus-Wagner, I., Weiglhofer, H. & Zumbach, J. (2012). Kompetenzorientiertes Unterrichten in den Naturwissenschaften. In M. Paechter, M. Stock, S. Schmöler-Eibinger, P. Slepcevic-Zach, & W. Weirer (Hrsg.), Handbuch Kompetenzorientierter Unterricht. Weinheim: Beltz.
- [9] Joller-Graf, K. (2015). Wie Wissen wirksam wird: Merkmale eines kompetenzfördernden Unterrichts. Luzern: Entwicklungsschwerpunkt Kompetenzorientierter Unterricht, Pädagogische Hochschule Luzern.
- [10] Leisen, J. (2010). Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren. Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. Naturwissenschaften im Unterricht. Physik. 117/118, 9-13.
- [11] Häußler, P.; Bündler, W.; Duit, R.; Gräber, W. & Mayer, J. (1998). Naturwissenschaftsdidaktische Forschung Perspektiven für den Unterricht. Kiel: IPN
- [12] Hoffmann, L.; Häußler, P. & Lehrke, M. (1998): Die IPN-Interessensstudie Physik. Kiel: IPN.
- [13] Herbst, M., Fürtbauer, E. & Strahl, A. (2016). Interesse an Physik – in Salzburg. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, DD 05.44.
- [14] Duit, R., & Mikelskis-Seifert, S. (Hrsg.) (2010). Physik im Kontext – Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht. Sonderband Unterricht Physik, Friedrich Verlag: Seelze
- [15] Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In: Mikelskis, H.: Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe 1 und 2, Cornelsen Scriptor, S. 102-119.
- [16] Reitmeir, M. (2017). Einsatz von GeoGebra im Physikunterricht. Diplomarbeit, Universität Innsbruck.
- [17] Naylor, S., & Keogh, B. (2000). Concept Cartoons in Science Education. Stafford: Millgate House Publishers
- [18] Lembens, A., & Steininger, R. (2013). Warum wird Wein "sauer"? Concept Cartoons als Gesprächsanlässe im kompetenzorientierten Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie, 24 (133), S. 22-26.
- [19] Themenheft „Forschendes Lernen“ Plus Lucis“ 1/2021

Zwei biophysikalische Aufgabenstellungen im Physikunterricht

Birgit Schandl, Marianne Korner

1. Warum biophysikalische Kontexte?

Der Ausgangspunkt für diesen Artikel stellt das Bestreben dar, Unterrichtsmaterialien zu entwickeln, die sich an den Interessen der Schüler*innen orientieren. Das ist vor allem deshalb von großer Bedeutung, da Physik nach wie vor – auch weltweit – zu den unbeliebtesten Schulfächern zählt [1]. Daran hat sich auch in den letzten Jahrzehnten kaum etwas geändert [2]. Ein möglicher Angelpunkt, um diese Situation zu ändern, ist es, die Interessen der Lernenden ins Zentrum zu stellen. Im Rahmen großer Interessensstudien, wie etwa der IPN-Interessensstudie [1], konnte festgestellt werden, dass sich eine Mehrheit der Schüler*innen im Physikunterricht angesprochen fühlt, wenn sich der Unterricht am Interessensbereich „Mensch und Natur“ orientiert.

Entsprechend dieses Befundes wurden im Zuge einer Masterarbeit am AECC Physik und der Fakultät für Physik der Universität Wien zwei biophysikalische Aufgabenstellungen zu unterschiedlichen Themen entwickelt und mit Schüler*innen erprobt. Die eine Aufgabenstellung thematisiert die Nervenzelle, die als biophysikalische Anwendung der Elektronik ausgewählt wurde, die zweite den Vergleich der beiden Säugetiere Maus und Elefant hinsichtlich ihrer Stoffwechselintensität, ihres Grundumsatzes und ihres Verhältnisses zwischen Oberfläche und Volumen. Die Aufgaben wurden sorgfältig erprobt und anhand der Rückmeldungen der Schüler*innen verbessert.

2. Interessen im Physikunterricht

Wir versuchen Schüler*innen für den (Physik-) Unterricht zu interessieren, damit sie dabei sind. Dafür muss der Interessensgegenstand die Aufmerksamkeit der Person (in diesem Fall der Lernenden) erregen [3]. Aus den Untersuchungen der IPN-Interessensstudie geht hervor, dass es für die Schüler*innen zentral ist, dass das Gelernte für den Alltag und das Leben von Bedeutung ist. Tatsächlich ergab die Forschung, dass nicht das wissenschaftliche Gebiet dafür bedeutend ist, ob es auf Interesse bei den Lernenden stößt, sondern in welchen Anwendungsbereich es eingebettet ist und welche Tätigkeiten im Zusammenhang damit ausgeführt werden können [4].

Die IPN-Interessensstudie identifiziert drei Interessensbereiche für den Physikunterricht, die für Schüler*innen von Bedeutung sind [4]: Physik und Technik, Mensch und Natur und gesellschaftliche Bedeutung der Physik. Schüler*innen interessieren sich unterschiedlich für diese Bereiche. Fokussiert man auf den Kontext Mensch und Natur kann man jedenfalls davon ausgehen, eine Mehrzahl der Lernenden damit anzu-

sprechen, egal welchen Geschlechts. Deshalb bietet es sich an, physikalische Inhalte in einen biologischen oder medizinischen Kontext einzubetten oder auf Naturphänomene einzugehen.

3. Rolle von Aufgaben im Physikunterricht

Aufgaben sind ein zentrales Steuerelement des Unterrichts und eng mit dessen Struktur und Aufbau verbunden. Lernaufgaben dienen dazu, Lernprozesse im Sinne konstruktivistischer Lehr- und Lerntheorien zu initiieren, indem zum Beispiel bedeutungsvolle, authentische Probleme angeboten werden [7].

Die hier präsentierten Aufgaben verstehen sich als Lernaufgaben. Durch sie können unterschiedliche Ziele verfolgt werden, wie etwa die Erarbeitung eines neuen Inhalts, die Übung des bereits Gelernten, die Anwendung eines Inhalts auf einen neuen Kontext oder den Transfer des Wissens. Sie sollen es den Schüler*innen ermöglichen, verschiedene Kompetenzen zu entwickeln, Querverbindungen zu bisher Behandeltem herzustellen und Ausgangspunkt für weitere Vertiefung sein. In diesem Sinne ist eine Einbettung in den Unterricht an mehreren Stellen möglich und hängt von der Intention der Lehrkraft ab.

4. Von der Entwicklung bis zur Überarbeitung der Aufgabenstellungen

Vor der Erstellung der beiden Aufgabenstellungen wurde jeweils zunächst eine Sachanalyse zu den gewählten biophysikalischen Kontexten erstellt. Dabei wurde das notwendige Fachwissen ausgearbeitet, das Ausgangspunkt für die didaktische Aufbereitung im Unterricht darstellt. Im Anschluss wurde eine Didaktische Analyse zu den beiden Themengebieten vorgenommen, die jeweils mittels einer Aufgabenstellung erarbeitet werden sollen. Es werden darin etwa die Ziele und die Struktur der Unterrichtssequenz festgelegt und mögliche Schülervorstellungen, notwendiges Vorwissen sowie die Interessen der Schüler*innen genannt. Schließlich wurden die beiden Aufgabenstellungen „Elektronik der Nervenzelle“ und „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ entwickelt, die in mehrere Teile gegliedert sind. Die notwendigen Informationen werden jeweils in einem Informationstext bereitgestellt und basierend darauf sollen mehrere Teilaufgaben beantwortet werden. Beide Aufgabenstellungen wurden vorab in einer Pilotstudie getestet und nach kleinen Adaptierungen derselben wurden diese in Form von Akzeptanzbefragungen [5, 6] jeweils mit drei Schüler*innen erprobt.

Beide Aufgabenstellungen wurden schließlich basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen überarbeitet. So wurden einige Teilaufgaben umformuliert und Hilfskärtchen erstellt, die gegebenenfalls eingesetzt wurden.

5. Die biophysikalischen Aufgabenstellungen

Die vollständigen Aufgabenstellungen mit den Lösungserwartungen sind online verfügbar [8]. Die erste Aufgabenstellung beschäftigt sich mit der „Elektronik der Nervenzelle“ und gliedert sich in einen Teil zum Ruhezustand der Nervenzelle, einen zum aktiven Teil der Nervenzelle und einen experimentellen Teil. Exemplarisch wird hier der erste Teil zum Ruhezustand der Nervenzelle und ein Auszug des experimentellen Teils der Aufgabenstellung präsentiert. Der Ruhezustand der Nervenzelle wird mittels Informationstexten und einer Abbildung erklärt und die zugehörigen Aufgabenstellungen nehmen auf die Prozesse in der Zelle Bezug (Abb. 1 und [8]). Die Schüler*innen lernen hier die verschiedenen Ionen kennen, die im Zellinneren und -äußeren auftreten, welche Ladung ihnen jeweils zugeordnet werden kann und ob sie die Membran passieren können oder nicht. Die Schüler*innen argumentieren anschließend aufgrund der elektrischen und chemischen Potentialdifferenz zwischen dem Zellinneren und -äußeren, ob und wie die Ionen wandern. Im dritten (experimentellen) Teil der Aufgabenstellung wird im Informationstext zunächst das elektronische Bauteil des Kondensators erklärt ([8], S. 4). Anschließend sollen die Schüler*innen zunächst verschiedene elektronische Bauteile mit Bestandteilen der Nervenzelle in Verbindung bringen, einen Schaltkreis zeichnen, der die Situation in der Zelle (vereinfacht) abbildet und schließlich selbst experimentieren und Beobachtungen anstellen, wodurch das Verständnis für die Prozesse im Zellinneren (und die elektronischen Bauteile im Stromkreis) zusätzlich verstärkt werden soll.

Die zweite Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ [8, ab S. 12] beschäftigt sich mit dem Vergleich der beiden Säugetiere Maus und Elefant hinsichtlich ihres Grundumsatzes, ihrer Stoffwechselintensität und des Verhältnisses von Körperoberfläche zu Volumen. Dementsprechend wurde die Aufgabenstellung in drei Teile geteilt, die sich jeweils mit diesen drei Thematiken beschäftigen. Die Schüler*innen stellen dabei Berechnungen zum Grundumsatz von Maus und Elefant an, deren Ergebnisse verdeutlichen, wie viel der Elefant fressen müsste, wenn er dieselbe Energiemenge pro Kilogramm Körpermasse zu sich nehmen müsste, wie die Maus, um seinen Grundumsatz zu decken. Außerdem wird die Stoffwechselintensität des Elefanten und auch des Menschen mittels eines Proportionalitätsverhältnisses ermittelt und anschließend mit empirischen Werten verglichen.

6. Mögliche Einbettung in den Unterricht

Die beiden Aufgabenstellungen eignen sich dafür, im Physikunterricht auf die Interessen der Schüler*innen einzugehen und physikalische Konzepte in einem Anwendungsbezug zu erarbeiten. Bei der Verwendung der Aufgabenstellungen im Unterricht muss darauf geachtet werden, welches Vorwissen die Schüler*innen zur erfolgreichen Bearbeitung benötigen. Für beide Aufgabenstellungen ist es sinnvoll, wenn die Lehrperson die Informationstexte vor der Bearbeitung des jeweiligen Abschnitts mit den Schüler*innen bespricht, um möglicherweise fehlendes Vorwissen nachzuliefern.

Im Fall der Aufgabenstellung zur „Elektronik der Nervenzelle“ benötigen die Schüler*innen zwar keinerlei Vorwissen zur Nervenzelle, wohl aber zur elektrischen Ladung, zum elektrischen Feld und zum elektrischen Stromkreis. Die Aufgabenstellung ist dafür gedacht, den Kondensator im Unterricht einzuführen. In einer längeren Unterrichtseinheit zum Kondensator könnten zusätzlich zur biophysikalischen Aufgabenstellung Kondensatoren und deren technische Anwendungen von den Schüler*innen kennengelernt werden. Es könnte in einer Klassendiskussion auch über das Nutzungsverhalten technischer Geräte (die Kondensatoren enthalten) reflektiert werden.

Die Aufgabenstellung ist als Lernaufgabe zum Kondensator konzipiert und ist somit gut zur Einführung in die Elektronik geeignet. So können elektronische Bauteile einmal in einem anderen Kontext eingeführt werden als dem technischen und auch Schüler*innen erreicht werden, die sich nicht oder kaum für Technik interessieren. Außerdem gewinnen die Schüler*innen Erkenntnisse über die Rolle verschiedener Bauteile im Stromkreis, bezogen auf einen konkreten Kontext, in diesem Fall die Nervenzelle.

Hinsichtlich der Schulstufe ist diese Aufgabe in der Oberstufe im Kompetenzmodul 4 oder im Wahlpflichtfach anzusiedeln. In der Erprobung zeigte sich, dass die Aufgabe auch bereits in der Unterstufe durchführbar ist, z. B. im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Laborunterrichts. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Aufgabenstellung in der Unterstufe von der Lehrperson stärker angeleitet werden muss und zusätzliche Erklärungen notwendig sind. Unterstützend können jeweils auch die erstellten Hilfskärtchen [8, S. 18] genutzt werden.

Die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ beschäftigt sich mit dem Energiekonzept, indem vom Verhältnis zwischen Körperoberfläche und -volumen der Säugetiere Maus und Elefant Schlussfolgerungen hinsichtlich deren Stoffwechselintensität und Grundumsatz gezogen werden können. Diese Aufgabenstellung ist als „Rechenaufgabe“ gekennzeichnet, daher muss darauf geachtet werden, ob die Schüler*innen die notwendigen mathematischen Vorkenntnisse besitzen. Eine wichtige Rolle für die Bearbeitung der Aufgabenstellung spielen das Konzept der „Proportionalität“

und die sichere Beherrschung der Zehnerpotenzen. Die Schüler*innen können Zusammenhänge zwischen dem Grundumsatz und Stoffwechselintensität der Säugetiere Maus und Elefant und verschiedener Verhältnisse (z. B. Wachstum von Körperoberfläche und Volumen) erarbeiten und nebenbei werden die Interessen der Mehrheit der Schüler*innen angesprochen. Die überfachlichen Kompetenzen, die dabei vermittelt werden, betreffen überraschende Zusammenhänge, die sich ergeben, wenn ein System vergrößert oder verkleinert wird: Verschiedene Systemparameter verändern sich nicht im selben Maße. Insbesondere kann man erkennen, dass „lineares Denken“ nicht zielführend ist. Eine Diskussion zu diesem Aspekt bietet sich im Anschluss an die Aufgabe an.

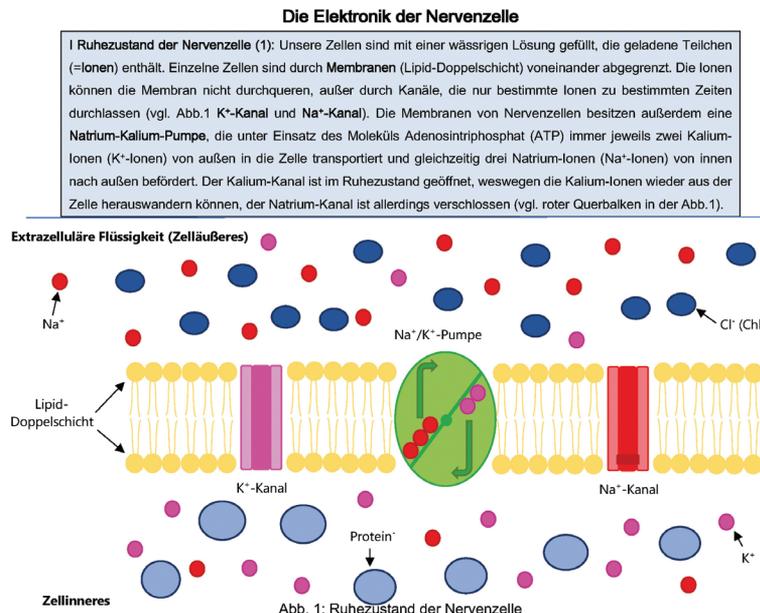
Die Aufgabenstellung kann etwa in der 9. Schulstufe im Zusammenhang mit der Erarbeitung des Energiebegriffs eingesetzt werden, indem dieser auf die Lebensbedingungen von Säugetieren übertragen wird. Alternativ wurden auch zu dieser Aufgabenstellung Hilfskärtchen gestaltet, die von den Schüler*innen ebenfalls bei Bedarf eingesehen werden können.

Damit konnte auch diese Aufgabe bereits mit Schüler*innen der 8. Schulstufe bearbeitet werden.

Abschließend sei noch hinzugefügt, dass das Echo der Schüler*innen auf beide Aufgaben sehr positiv war und sie, egal ob in der Kleingruppe oder im Klassenverband, mit viel Eifer dabei waren.

Birgit Schandl, BEd, MED absolvierte das Lehramtstudium für die Fächer Physik und Deutsch an der Universität Wien und beschäftigte sich in ihrer Masterarbeit mit biophysikalischen Aufgabenstellungen im Physikunterricht. Seit 2019 unterrichtet sie in einem Gymnasium in Wr. Neustadt.

Dr. Marianne Korner war lange Zeit Lehrerin an einem Gymnasium und arbeitet, lehrt und forscht seit 2010 in der Fachdidaktik Physik, AECC Physik und Fakultät für Physik, Universität Wien. Seit 2020 ausschließlich in der Ausbildung der zukünftigen Lehrer*innen tätig.



- 1) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (1)“ und betrachte die Abb.1. Benenne die verschiedenen Ionen, die im Zellinneren und -äußeren auftreten und welche Ladung sie besitzen.

Abbildung 1: Einführung in die Elektronik der Nervenzelle

Literatur

- [1] Hoffmann, L., Lehrke, M. (1986): Eine Untersuchung über Schülerinteressen in Physik und Technik. Zeitschrift für Pädagogik, 32(2), S. 189-204.
- [2] Herbst, M., Fürtbauer, E. Strahl, A. (2016): Interesse an Physik – in Salzburg. Beiträge zur DPG Frühjahrstagung Hannover: PhyDid B. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/682/838>, 22.03.2021
- [3] Muckenfuß, H. (1995): Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin: Cornelsen.
- [4] Häußler, P. u. a. (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: IPN.
- [5] Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996): Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In: Duit R. & Rhöneck, C. (Hrsg.): Lernen in Naturwissenschaften. Kiel: IPN, S. 250-274.
- [6] Jung, W. (1992): Probing Acceptance. A Technique for Investigating Learning Difficulties. In: Duit, R. u. a. (Hrsg.): Research in Physics Learning. Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop. Kiel: IPN, S. 278-295.
- [7] Widodo, A., Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lernen und Lehren und die Praxis des Physikunterrichts. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10, 233-255.
- [8] <https://aeccp.univie.ac.at/lehrer-innen/fuer-den-unterricht/>

Was bedeutet „Länge mal Länge = Fläche“ wirklich?

Grundlagen zur Handhabung des Größenkalküls

Hermann Härtel

1. Eine Hommage an Johann Weninger

Johann Weninger war der Leiter der Chemieabteilung in den ersten Jahren der Existenz des IPN. Ich lernte Johann Weninger 1972 kennen. Auf der einen Seite faszinierte er mich durch seine Art zu denken, die die gründlichste und genaueste war, die ich je kennengelernt hatte. Auf der anderen Seite war Johann Weninger ein schwieriger Mensch. Er war ein Rechthaber, sein Problem war: er hatte fast immer Recht, da er gründlicher und genauer über Probleme nachdachte, als die meisten seiner Mitarbeiter*innen. Aber wenn er einmal nicht recht hatte, war es nicht einfach, mit ihm zu diskutieren.

Aufgefallen ist er gleich zu Anfang durch seinen Hinweis, dass der bei der Definition des Mol in der Chemie wichtige Begriff „Stoffmenge“ problematisch ist. Mit diesem Begriff meint man zunächst einen bestimmten Stoff, z. B. 16 g Wasserstoff, also eine Sache, die man auf eine Waage legen kann. Gleichzeitig bezeichnet man mit dem Namen „Stoffmenge“ die für die Chemie wichtige Eigenschaft, aus einer bestimmten Anzahl atomarer Teilchen zu bestehen. Weninger spricht von Henaden. Das gleiche Zeichen sowohl für eine Sache als auch für eine ihrer Eigenschaften zu verwenden, widerspricht der Forderung nach kategorialer Klarheit und legt die Vermutung nahe, dass diese doppelte Verwendung des Begriffs „Stoffmenge“ ein Grund dafür ist, warum das stöchiometrische Rechnen vielen Schüler*innen schwer fällt.

Weninger schuf den Begriff „Stoffportion“ als Ersatz für den Begriff „Stoffmenge“. Er war Mitglied vieler Normkommissionen und setzte sich in dieser Sache und in vielen anderen erfolgreich durch [1,2].

Das Hauptziel seiner Arbeit in den ersten Jahren seiner Tätigkeit am IPN war die Entwicklung eines umfassenden Curriculums für den Chemie-Unterricht der Sekundarstufe I und II. Diese Zielsetzung entsprach dem damals im IPN vorherrschenden „Zeitgeist“. Es galt, den angeblichen Vorsprung der Ostblockländer, vor allem der damaligen DDR, auf dem Gebiet der naturwissenschaftlichen Bildung auf- und zu überholen. Nach dem Vorbild Amerikas mussten die Lehrpläne aktualisiert und der zu lehrende Stoff modernisiert werden. Da man dies den Lehrer*innen nicht zutraute, wurden Curricula für einzelne Stoffgebiete mit detaillierten Angaben für Abläufe, Lernendenmaterialien und Testvorschlägen entwickelt, die in der Regel mehrfach erprobt und revidiert wurden. Das Chemie-Curriculum von Weninger wurde meines Wissens gar nicht oder nur bruchstückhaft erprobt. Es entstand hauptsächlich an Weningers Schreibtisch und entwickelte

sich zu einem mehrbändigen und umfangreichen Werk. Trotz all der guten Ideen und wertvollen Erkenntnisse erlebte dieses Werk das gleiche Schicksal wie all die anderen am IPN entwickelten Curricula. Es zeigte nach wenigen Jahren, dass man die Professionalität der Lehrkräfte und deren Bedürfnisse nach Eigenständigkeit und Selbständigkeit falsch eingeschätzt hatte. Meines Wissens sind die damals entwickelten Curricula nicht weiter gepflegt worden.

2. Umgang mit Größen

Weninger hat sich dann in den letzten Jahren seiner beruflichen Tätigkeit allgemeinen Fragen der Fachdidaktik Physik und Chemie zugewandt und die Summe seines Wissens in insgesamt drei Bänden niedergelegt [3-5]

Veröffentlicht wurden diese Bände in einem damals noch existierenden IPN-eigenen Verlag, in der Reihe „ipn-materialien“. Diese Bände sind seit einiger Zeit vergriffen. Da die Reihe nicht fortgesetzt wurde, gerieten diese Bände in Vergessenheit. Dabei ist das, was Weninger in diesen drei Bänden niedergelegt hat, meiner Meinung nach bei weitem das Beste, was als Fachdidaktik im engeren Sinne im IPN und darüber hinaus erschienen ist. Fachdidaktik im engeren Sinne soll heißen, dass es nicht um die Umsetzung bestehender Lehrbuchinhalte in Unterrichtsgeschehen handelt, und nicht um die detaillierte Untersuchung von sogenannten Schülervorstellungen, sondern um eine kritische Aufarbeitung der Lehrbuchinhalte selbst hinsichtlich vor allem einer angemessenen Begriffsbildung und einer sachgemäßen Differenzierung.

Weningers selbst schreibt zu seiner Vorstellung von der Aufgabe der Fachdidaktik: „Wie schon angedeutet, werden die Schwierigkeiten beim Umgehen mit Größen weniger durch mathematische Ansprüche bedingt; sie beruhen mehr auf begrifflich-terminologischen Unzulänglichkeiten. Diese werden bis jetzt zu wenig ernst genommen. Es wird im Allgemeinen zu wenig beachtet, dass nicht nur die Vermittlung, sondern auch schon die Gewinnung von Erkenntnissen weitestgehend mit Hilfe der Sprache erfolgt. Deshalb wird im Folgenden in erster Linie eine sprachliche Untersuchung durchgeführt werden. Sprachanalytische Betrachtungen unterstützen nicht nur fachliche Klärungen; sie sind sogar ein unverzichtbarer, wenn auch oft vernachlässigter Teil der fachlichen Bemühungen. [...] Die folgenden vorwiegend didaktisch motivierten, aber um größtmögliche fachliche Klarheit bemühten Untersuchungen werden deshalb vorwiegend begrifflich-terminologischer Art sein und nebenher zeigen, dass auch die Fachdidaktik nicht ein

Anhängsel, sondern ein wichtiger Teil der Fachwissenschaft ist: Was man nicht verständlich vermitteln kann, hat man noch nicht zutreffend verstanden.“ [3, S. 9].

Ein kleines Beispiel, an dem die Genauigkeit des Vorgehens und Denkens Weningers aufgezeigt werden kann, ist die Art, wie er Textteile kennzeichnet, die aus verschiedenen Gründen vom umgebenden Text abzuheben sind.

- Wörtliche Wiedergaben werden durch die Anführungszeichen «...» gekennzeichnet.
- Eine Sache, die zusammen mit einem übergeordneten Begriff aufgeführt wird, wird zwischen die Anführungszeichen „...“ gesetzt. (Die Zahl „3“ ist ungerade)
- Ausdrücke, die in einer ungeläufigen Bedeutung gebraucht werden oder die das Gemeinte nicht präzise treffen oder die scherzhaft oder ironisch gemeint sind, werden zwischen hochgestellte Doppelpunkte :: gesetzt (Der Wagen fährt mit 90 : Sachen : durch die Kurve).“ [3, S. 15]

Bei dem dritten Beispiel kann man einwenden, dass dieser hochgestellte Doppelpunkt nicht sehr deutlich erkennbar ist und das Schreiben kompliziert und man kann der Meinung sein, Leser*innen wüssten schon, was jeweils gemeint sei. Ob das zutrifft, sei dahingestellt. Rein rational ist nichts gegen Weningers Verfahren einzuwenden.

An anderer Stelle antwortet Weninger auf Einwände gegen den Gebrauch klar definierter Worte und Verfahren wie folgt:

„Da es Diskussionspartner gibt, die sich gegen eine Diskussion mit klar definiertem Wortgebrauch sträuben, sei noch das Folgende gesagt. Wer sich klar ausdrücken will und deshalb die von ihm mit bestimmten Namen bezeichneten Begriffe präzise zu definieren sucht, tut das, was bei einer Diskussion, die zu weiteren Erkenntnissen führen soll, erforderlich ist: Er sagt, welchen Begriff er selber von einer Sache hat, damit er angreifbar ist, sagt damit aber nicht, das sein Begriff der einzige sei, den man von einer Sache haben dürfe. Nur wenn jeder Diskussionspartner seinen Begriff von der Sache klar darlegt, kann die Diskussion erfolversprechend geführt werden und ergibt sich die Möglichkeit, Begriffe zu erarbeiten, die fruchtbarer sind als die zunächst verwendeten, also Begriffe, die ein weiterführendes Verständnis der Sache gedanklich bündeln. Da wir spätestens seit Karl Raimund Popper wissen, dass jede Erkenntnis der empirischen Wissenschaften eine grundsätzlich nur vorläufige Erkenntnis ist, wähnt wohl kein*e ernstzunehmende*r Naturwissenschaftler*in, sich im Besitz der

unumstößlichen Wahrheit zu befinden. Das schließt aber nicht aus, sondern erfordert sogar, dass wir in der wissenschaftlichen Diskussion den jeweiligen Wortgebrauch klar definieren. Wer sagt, dass man nur mit weitgehend «offen gelassenen Begriffen» fruchtbar diskutieren könne, setzt sich dem Verdacht aus, sich selber überhaupt noch keinen Begriff von der Sache gemacht zu haben oder sich von der Sache gar keinen präzisen Begriff machen zu wollen.“ [4, S. 64]

Dem ist nichts hinzuzufügen.

3. Weningers Bücher

Nachdem ich darauf aufmerksam gemacht wurde, dass diese so sehr von mir gepriesenen Bände vergriffen waren und keine Neuauflage geplant war, habe ich mich dazu entschlossen, diese Bände vor dem Vergessen werden zu bewahren. Nachdem die drei Bände eingescannt und alle Abbildungen nachgezeichnet waren, habe ich den einzelnen Abschnitten in den drei Bänden jeweils einen kurzen Kommentar vorangestellt, der die Entscheidung für oder gegen das vorliegende Thema erleichtern soll. Alle Bände sind online auch langfristig verfügbar [6]. In den Bänden aufgegriffen und beantwortet werden unter anderem die folgenden Fragen:

- Wieviele unterschiedliche Arten von Gleichungen gibt es?
- Wieviel unterschiedliche Arten von physikalischen Gesetzen gibt es?
- Warum ist das Bedürfnis nach Kürze eines Ausdrucks nicht unbedingt didaktisch hilfreich?
- Was ist das Besondere an orientierten Größen im Vergleich zu gerichteten Größen (Vektoren)?
- Was ist das Besondere am Größenkalkül im Vergleich zum Kalkül mit Anzahlen, Mengen und Werten?
- Was bedeutet ein Name, was meint ein Name, was ist ein Begriff?
- Gibt es negative Geschwindigkeiten? Was ist eine imaginäre Zahl, was eine komplexe Zahl? und vieles mehr.

Zusammenfassend gilt für mich, dass das, was Weninger in diesen Bänden zusammengetragen hat, eine Art Goldgrube der Fachdidaktik darstellt und einen fruchtbaren Boden für intensive Diskussionen, gute Forschungsfragen und wertvolle Erkenntnisse.

Hermann Härtel *ehemals IPN Kiel*

Literatur

- [1] Weninger, J. (1970a). Stoffportion, Stoffmenge und Teilchenmenge. Frankfurt am Main, Berlin, München: Diesterweg und Satie.
- [2] Weninger, J. (1970b) Zur Formulierung empirischer Gesetze. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 23, 403-409.
- [3] Weninger, J.(1995). Grundlegung eines verständigen Umgehens mit Größen und Größengleichungen. Teil 1: Skalare Größen, Kalkülsprache und Wirklichkeit. IPN-Materialien, Band 1, Kiel: IPN.
- [4] Weninger, J. (1998). Grundlegung eines verständigen Umgehens mit Größen und Größengleichungen. Teil 2: Ausmaß-Vorzeichen-Kombinate-Nullpunktgebundene Angaben. IPN-Materialien, Band 2, Kiel: IPN.
- [5] Weninger, J. (1998). Grundlegung eines verständigen Umgehens mit Größen und Größengleichungen. Teil 3: Größengleichungen und Größenproportionalitäten – Rechnen mit Werten, Mengen und Anzahlen – Größenrechnen in der Chemie. IPN-Materialien, Band 3, Kiel: IPN.
- [6] <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/PUB/Ausbildung/index.htm>

Die Reibungs-Elektrisierungsmaschine von Karl Winter aus Wien

Franz Pichler

Elektrisierungsmaschinen gehörten über hundert Jahre (etwa von 1850 bis etwa 1950) zum wichtigen Bestand in den Physikalischen Kabinetten der Universitäten und Schulen. Sie dienten für experimentelle Versuche zur Elektrizität, besonders zur Elektrostatik aber auch zur Erzeugung von Hochspannung für elektrische Blitze oder von Röntgenstrahlen. Neben den Reibungs-Elektrisierungsmaschinen, die Elektrizität mittels Reibung von Glas an einem amalgamierten Lederpolster erzeugten, wurden ab etwa 1880 zunehmend auch Influenz-Elektrisierungsmaschinen, hier besonders die von Wimshurst erfundene Bauart, eingesetzt. Bei den Reibungs-Elektrisierungsmaschinen ist die von Karl Winter, einem Instrumentenmacher aus Wien, entwickelte Maschine weltweit verwendet worden. Zu Karl Winter und seiner Firma ist jedoch bisher kaum etwas bekannt geworden. Dieser Aufsatz versucht hier einen Beitrag zu liefern. Dabei soll eingangs auch die Entwicklung der Elektrizität als Unterrichtsgegenstand, womit der Bedarf an Elektrisierungsmaschinen entstand, beleuchtet werden.

1. Historische Methoden zur Erzeugung von Elektrizität

Mit dem bereits im Altertum entdeckten Phänomen, dass durch Reibung eines Stück Bernstein (griech. „electron“) mit einem Leder dieses die Eigenschaft bekommt leichte Papierschnitzel oder Vogelfedern anzuziehen, begann für die Menschheit das Zeitalter der Elektrizität. Vom englischen Instrumentenmacher Francis Hauksbee wurden zu Beginn des 18. Jahrhunderts die ersten Maschinen zur Erzeugung von Elektrizität angefertigt. Er verwendete dazu eine Art Drechselbank an der eine Glaskugel in Drehung versetzt werden konnte. Durch Reibung mit der bloßen Hand konnte Hauksbee damit zahlreiche elektrische Erscheinungen beobachten. Indem er in eine hohle Glaskugel etwas Quecksilber gab und die Glaskugel mittels einer Luftpumpe weitgehend luftleer machte, brachte er die Glaskugel zum Leuchten („Mercurisches Leuchten“). Er publizierte seine Ergebnisse im Jahre 1709 in einem Buch. [1]

In der Folge widmeten sich in ganz Europa, vor allem in England, Frankreich, Holland und Deutschland, zahlreiche Forscher*innen aber auch Lehr- und Privatpersonen dem Bau von Elektrisierungsmaschinen und führten damit Experimente durch. Zu nennen sind hier Nairne, Cavallo, Adams, Ramsden, Cuthbertson in England, Nollet, de la Fond, Bertholon in Frankreich, Ingenhousz, van Marum in Holland, Hausen, Winkler, Krüger, Bohnenberger, Langenhuber, Gütle in Deutschland. Von Heiko Weber (Jena, jetzt Göttingen)

wurde die Entwicklung der Reibungs-Elektrisierungsmaschinen in vorbildlicher Weise dargestellt [2]. Die mit solchen Maschinen durchgeführten Experimente führten zu wichtigen Ergebnissen der Physik. Sie führten zur Entdeckung der Influenz durch Wilke (1757), zur Erklärung des atmosphärischen Blitzes als elektrische Erscheinung durch Franklin (1752), zur Feststellung der Ähnlichkeit von Elektrizität zum Magnetismus durch Aepinus (1759) und zur Annahme einer „tierischen Elektrizität“ durch Galvani (1791).

Mit der Entdeckung des galvanischen Elementes durch Volta im Jahre 1800 war der bisher mittels Reibung erzeugten Elektrizität durch die „Kontaktelektrizität“ (durch den über einen Elektrolyten hergestellten Kontakt zwischen Kupfer und Zink) eine Konkurrenz entstanden. Nun konnte ohne mechanische Mittel Elektrizität mit einem chemischen Prozess gewonnen werden. Dies, im Gegensatz zu den Reibungs-Elektrisierungsmaschinen, jedoch mit hoher „Quantität“ (großem elektrischen Strom von einigen Ampere) aber dafür mit wesentlich geringerer „Qualität“ (vergleichsweise geringerer elektrischer Spannung von nur einigen Volt).

Ein weiterer Fortschritt in der Erzeugung von Elektrizität gelang in der Folge mit der Entdeckung der elektrischen Induktion durch Faraday (1831). Mit magnetelektrischen Maschinen (später mit dynamoelektrischen Maschinen) konnte nun mit mechanisch zu leistender Arbeit Elektrizität erzeugt werden. Die „Reibungselektrizität“ und die „Kontaktelektrizität“ erhielt damit durch die „Magnetelektrizität“ eine wesentliche Ergänzung. Die damit möglichen Anwendungen, besonders die damit konstruierten Motore und Generatoren, führten zu dem heute existierenden wichtigen Ingenieurfach, der Elektrotechnik.

2. Das Fach „Elektrizität“ in der Ausbildung an Universitäten und Schulen

Das Gebiet der Elektrizität wurde bereits sehr früh an den Universitäten gelehrt. Waren es zuerst Universitätskurse in Philosophie oder Theologie so nahmen sich in der Folge Professor*innen im Fach Physik dem Gebiet an. Auch in der Medizin wurde der Elektrizität Beachtung geschenkt. Als Beispiel für den Lehrstoff, der im 18. Jahrhundert an der Universität Göttingen im Gebiet der Elektrizität angeboten wurde, kann das von Lichtenberg in der 3. Auflage herausgegebene Buch von Erxleben dienen [3]. Der Zehnte Abschnitt „Von der Electricität“, Seite 495-512, enthält die

wichtigsten Ergebnisse, die man von der Elektrizität zu dieser Zeit wusste. Lichtenberg war als erfolgreicher Experimentator vom Gebiet der Elektrizität begeistert. Für seine Experimente benutzte er eine Glas-Zylindermaschine.

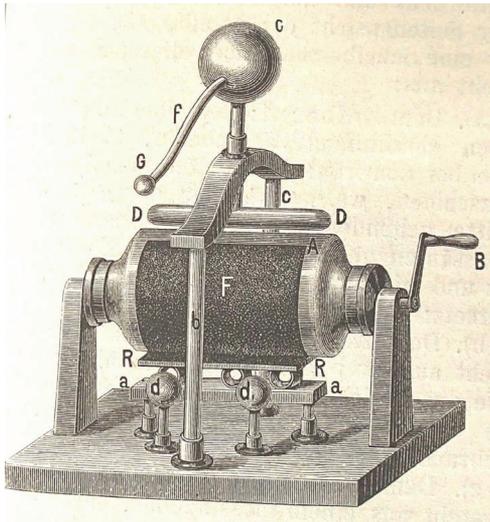


Abbildung 1: Zylindermaschine von Grüel (Berlin)

Nach der Entdeckung des galvanischen Elementes (Volta 1800), des Elektromagnetismus (Oersted 1820, Ampere 1820, 1822,1823) und besonders der elektrischen Induktion (Faraday 1831) stieg in der Lehre an Universitäten das Interesse am Gebiet der Elektrizität. Als Beispiel dafür kann der Inhalt des bekannten Lehrbuches zur Experimentalphysik von Biot dienen. In der deutschen Übersetzung von Fechner (Leipzig 1824,1825) sind im 2. Band die Seiten 137-360 der Elektrostatik und dem Galvanismus gewidmet, im 3. Band wird in den Seiten 127-224 der Elektromagnetismus behandelt [4]. In Österreich diente zu dieser Zeit das Werk „Die Naturlehre“ des Wiener Universitätsprofessors Andreas von Baumgartner als approbiertes Lehrbuch für die Universitäten und Gymnasien. In der 1. Auflage dieses Buches (Wien 1824) sind die Seiten 190-242 der Elektrostatik und dem Galvanismus gewidmet. In der 8. Auflage (Wien 1845) wurden der Elektrizität bereits 13 Kapitel eingeräumt (Seite 394-524) wobei zur Elektrostatik und dem Galvanismus auch der Elektromagnetismus und die „Magneto-Elektrizität“ kommt. [5]

Neben solchen Werken, die hauptsächlich für die Universitäten verfasst worden sind, entstanden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auch Lehrbücher, die für die Gymnasien und Realschulen gedacht waren. Für Österreich können hier die Bücher von Dr. Franz Josef Pisko angeführt werden. Sein Buch „Die Physik für Ober-Gymnasien“, Brünn 1869, behandelt ausführlich im Kapitel VIII (Seite 226-321) alle damals wichtigen physikalischen Erkenntnisse, die man von der Elektrizität in diesen Jahren im Unterricht zu behandeln hatte [6]. Ein weiteres Werk, das wegen seiner Ausführlichkeit erwähnt werden soll, sind die in Kleyer's Mathematisch-technisch-naturwissenschaftliche Enzyklopädie erschienenen Lehrbücher zur Elektrizität (Reibungselektrizität 1886, Kontaktelektrizität 1887, Elektromagnetismus 1888, Elektrodynamik 1888,

Induktionselektrizität 1889). Der Lehrstoff wird darin nach dem Schema „Frage/Antwort/Erklärung“ unter Beigabe guter Zeichnungen und Abbildungen dargeboten. In der damaligen Zeit stellten diese Bücher für Lehrpersonen und auch zum Selbststudium sicherlich hervorragende Werke zum Studium der Elektrizität dar. [8]

3. Lehrmittel zur Unterstützung des Unterrichts im Gebiet der Elektrizität

Das in ständiger Entwicklung befindliche Gebiet der Elektrizität stellte die Universitäten und Schulen vor die Aufgabe, die zur experimentellen Demonstration notwendigen Gerätschaften für den Unterricht anzuschaffen. In den ersten Jahren konnten wohl an Universitäten geeignete Geräte entweder durch Vortragende selbst oder gegen Vorlage von Bauplänen durch bereits vorhandene Werkstätten hergestellt und geliefert werden. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte die Elektrizität wegen ihrer Bedeutung in den Lehrplänen der Universitäten und besonders auch in den oberen Stufen der Gymnasien ihren ständigen Platz gefunden. Dies bewirkte, dass sich eigene Firmen zur Erzeugung von Lehrmittel für die Durchführung elektrischer Experimente entwickeln konnten. In Österreich sind damit die Namen Winter, Ekling, Hauck, Lenoir & Forster, Pichler's Witwe, Steffitschek, um die wichtigsten davon zu nennen, verbunden. Im Folgenden soll speziell auf die von Karl Winter in Wien erzeugten Geräte eingegangen werden. Neben dem ursprünglich an der Universität tätigen Mechaniker Johann Ekling scheint Karl Winter die erste Firma, die sich in Österreich der Erzeugung von Lehrmitteln zum Unterricht im Fach der Elektrizität widmete, eingerichtet zu haben.

4. Die Firma Karl Winter in Wien

Im Wiener Firmenregister des Jahres 1870 von Lehmann steht „Carl Winter, Erzeuger von elektrischen Apparaten“, Wien, Waggasse 5. Professor Dr. Fr. Jos. Pisko führt in seinem Buch „Die Physik für Obergymnasien“ (Brünn 1869) an, dass Winter bereits 1845 eine gute elektrische Zündmethode entwickelt hat. Zur Frage, welche Art von Instrumenten von Winter erzeugt wurden, gibt der „Österreichische Bericht über die Internationale Ausstellung in London 1862“, Wien 1863, eine Antwort. In dem Bericht zu den in der „Classe XIII Wissenschaftlichen Instrumente“ ausgestellten Geräte (Seite 396-415, verfasst von Prof. Pisko) werden die Erzeugnisse des Wiener Elektrikers Winter angeführt und gelobt. Pisko schreibt

„Wie die Winter'sche Maschine zur Erzeugung der Reibungselektrizität jede andere an Eleganz und Wirkung übertrifft, so überragen auch seine anderen elektrischen Apparate, als: Electrophore, Leydenerflaschen, elektrische Zündvorrichtungen etc. etc. alles Aehnliche von den Mechanikern anderer Völker nach London gebrachte. Hier zeigt sich so recht die Macht der Einzelbeschäftigung; denn Winter arbeitet, vielleicht der einzige, in ausschliesslicher Weise Schulapparate für die Lehre von der Reibungselektrizität“ [7]

Des Weiteren wird in dem Bericht von Pisko angeführt, dass Winter bei dieser Ausstellung als Auszeichnung eine „*ebrenvolle Erwähnung, für Instrumente zum Unterricht in der Physik*“ erhalten hat. Im Katalog der „International Exhibition 1862“ der Londoner Ausstellung findet sich genauer unter „*Class 29 Educational Works and Applications*“ 1188 *States Ministry (I.R. Department of Instruction) Vienna*, folgende Liste von Geräten, die von Karl Winter ausgestellt waren:

- 93 *Electrical Machine, 20 inches, 63 fl*
- 94 *Electrical Machine 12 inches, 17 fl*
- 95 *Electrical Machine 6 inches, 8 fl*
- 96 *Electrical mine firing machine, 25 fl*
- 97 *Hand electrical machine, 6 fl*
- 98 *Lane's glass, 6 fl*
- 99 *Resinous cake under glass with Lichtenberg figures, 4 fl*
- 100 *Hygro electroscope, 2 fl*

Um weitere Angaben zur Firma Karl Winter zu erhalten, wurden dazu verschiedene Verzeichnisse zu Rate gezogen. Im österreichischen Firmenregister des Jahres 1870 steht:

„Karl Winter Erzeuger von Elektrisiermaschinen, Bronz. Medaille Paris 1867, IV, Waggasse 5“. Im Branchenverzeichnis von Lehmann steht unter „Maschinenfabrikanten bis 1883“ Winter Karl (Mech.) Erz. von Elektrisiermaschinen, Waaggasse 5. Im Katalog der Internationalen Elektrizitätsausstellung in Wien des Jahres 1883 konnte kein Eintrag zur Firma von Karl Winter gefunden werden.

Durch die Tatsache dass Winter und auch Prof. Pisko in Wien IV, Wieden, ihren Wirkungskreis hatten, Pisko an der Kommunalen Oberrealschule in Wieden (heute „Bundesgymnasium Wien IV“), Winter mit seiner Wohnung und Firma ebenfalls in Wieden, kann vermutet werden, dass sich beide persönlich begegnet sind. Anlässlich der 150 Jahr-Feier des Bestehens des Gymnasiums im Jahre 2005 wurden die derzeit noch vorhandenen „Antiquitäten“ der Physiksammlung ausgestellt und auch die in den Jahresberichten angeführten Anschaffungen durchgesehen. Für 1855/56, dem ersten Schuljahr des Bundesgymnasiums, finden sich im Jahresbericht unter Punkt 9. der Neuzugänge nicht weniger als 28 Geräte zur Lehre von der Reibungselektrizität, die, wie Franz Josef Pisko selbst anführt „*von Herrn Karl Winter, Elektriker hier, mit besonderer Sorgfalt ausgeführt werden und empfehlen sich durch ihre vorzügliche Güte und besondere Nettigkeit*“

5. Persönliche Daten zu Karl Winter

Zum Leben von Karl Winter wurden folgende Daten gefunden: Carl Winter, geboren am 4.7.1798 in Mauer (heute Wien 23) Nr. 73. In Lehmann's Adressbuch ist zu Winter für das Jahr 1870 im Personenregister zu finden: Karl Winter, Katastral-Lithograf, Erzeuger von Elektrisiermaschinen, Besitzer des Goldenen Verdienstkreuzes mit der Krone, Wien IV, Waggasse 501. Über „Anno“ konnte in der Wiener Zeitung

vom 12.12.1882 die Todesnotiz „Karl Winter, Elektriker IV, Waaggasse 5, gest. 8.12.1882 85-jährig an Altersschwäche“ gefunden werden. In der Neuen Freien Presse vom 9.12.1882 erschien dazu ein Nachruf.

6. Die Elektrisiermaschinen von Karl Winter

Die Lehrbücher für den Physikunterricht zu Beginn des 19. Jahrhunderts zeigen verschiedene Arten von Reibungs-Elektrisiermaschinen. In der Regel handelt es sich dabei um Einscheiben-Glasmaschinen mit diametral angeordneten zwei Reibzeugen und senkrecht dazu als Saugapparat zwei Kämme mit Spitzen, die mit dem Konduktor verbunden sind. Diese Art von Maschinen kam allgemein in den 1770'er Jahren in Gebrauch. Bei den Erzeugern handelte es sich vorwiegend um kleinere Firmen, die auf Bestellung lieferten. Es kann angenommen werden, dass um das Jahr 1850 an den Gymnasien die Elektrostatik eine gewisse Bedeutung erlangte. Zum Unterricht war dafür eine Elektrisiermaschine ein notwendiges Requisite. In diesem Zusammenhang stellte sich zweifellos auch die Aufgabe dafür eine preiswerte neue Konstruktion mit guter Funktion zu entwerfen. Diese Aufgabe hat Karl Winter mit seiner Maschine wahrgenommen und eine Lösung gefunden. Wir geben im Folgenden in genauem Wortlaut die Aussagen, die diesbezüglich Prof. Pisko in seinem Bericht zur Londoner Ausstellung gegeben hat, an:

„Die englischen Reibungselektrisiermaschinen sind alle noch nach alter Weise gebaut und zwar mit zwei gegenüberliegenden Reibzeugen und zwei Saugern, von welchen jeder von je einem Reibzeuge um einen Viertelkreis absteht. Da nun dabei die Sauger und ebenso die Reibzeuge lang sind und weit gegen den Mittelpunkt der Glasscheibe reichen, so rücken sich beide so nahe, dass bei einigermaßen hoher Spannung der Funken vom Sauger nach dem Reibzeug zurückschlägt. Unser Elektriker Winkler hatte schon frühzeitig diesen Uebelstand durch eine bessere Eintheilung an der Scheibe entfernt. Er theilt den Durchmesser der Scheibe in drei Theile. Im ersten Drittel bringt er das Reibzeug an, zwei Drittel des Scheibendurchmessers davon entfernt den mit einer Spitze versehenen

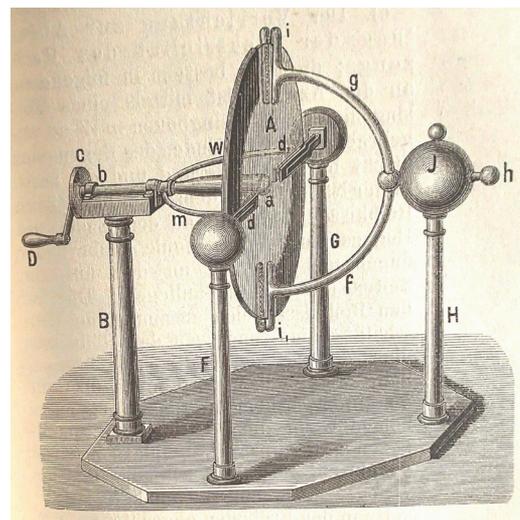


Abbildung 2: Maschine von Cuthbertson (England)

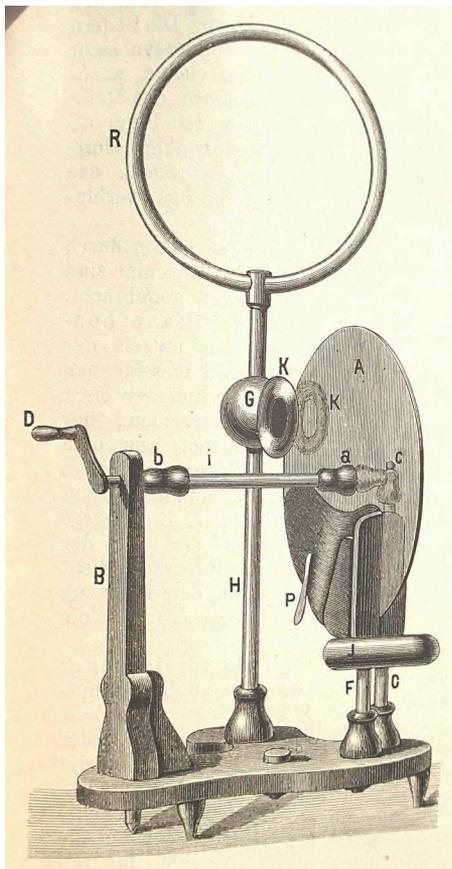


Abbildung 3: Maschine von Winter (Wien)

Sauger des Conductors. Dabei liegen Sauger und Raubzeug viel weiter ab, als bei der von Marum'schen Maschine und jeder andern älteren Maschine. Ein Zurückschlagen des Funkens ist folglich hier in der Regel nicht möglich und mithin sind die Bedingungen für eine hohe Spannung am Conductor gegeben. In der That zeichnen sich die Winter's Maschinen vor allen andern durch hohe Spannung aus“. [7]

Im Weiteren erwähnt Pisko, dass Winter dem Saugapparat eine Ringform gegeben hat, der gegenüber den bisher üblichen Saugkämmen einen geringeren Verlust an Elektrizität bedeutet.

Literatur

- [1] Hauksbee, F. (1709). Physico-mechanical experiments on various subjects. London
- [2] Weber, H. (2011). Die Elektriermaschinen im 18. Jahrhundert. VWB-Verlag für Wissenschaft und Bildung.
- [3] Erxleben, J. (1784). Anfangsgründe der Naturlehre. Dritte Auflage, mit Zusätzen von G.C. Lichtenberg. Göttingen
- [4] Biot, J.B. (1824,1825). Lehrbuch der Experimental-Physik. Dritte Auflage 1.- 4. Band, Leipzig
- [5] Baumgartner, A. (1824). Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande mit Rücksicht auf mathematische Begründung. 1.-3. Band, Wien.
- [6] Pisko, F.J. (1869). Die Physik für Ober-Gymnasien. 2. Auflage, Brünn.
- [7] Pisko, F.J. (1863). Wissenschaftliche Instrumente, Bericht II. In Österreichischer Bericht über die Internationale Ausstellung in London 1862, 396-415, Wien.
- [8] Dr. A. Kleyer's Mathematisch-technisch-naturwissenschaftliche Encyklopädie, Bremerhaven, Stuttgart: Kleyer, A (1886). Lehrbuch der Reibungselektricität; May, O. (1887). Lehrbuch der Kontaktelektricität (Galvanismus); May, O. (1888). Lehrbuch der Elektrodynamik (I, Teil); Krebs, A. (1889). Lehrbuch der Induktionselektricität; May, O. & Krebs, A. (1889). Lehrbuch des Elektromagnetismus.

Der von Winter am Konduktor aufgesteckte Ring, hat im Inneren eine Drahtwendel und erhöht damit die Kapazität des Konduktors. Winter selbst hat erkannt, dass man auch einfach ein Metallrohr an den Konduktor anbringen könnte, betrachtete aber den Ring als die mehr eindrucksvolle und schönere Lösung.

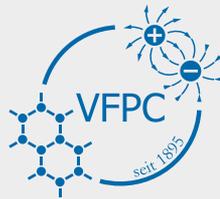
Zusammenfassung

Der Aufsatz versucht den Beitrag des Wiener Instrumentenmachers Karl Winter zum Bau von elektrischen Apparaten für den Unterricht, hier im Besonderen zur Konstruktion von Reibungs-Elektriermaschinen, zu behandeln. Da die Konstruktion von Winter später weltweit bei der Anfertigung von Elektriermaschinen verwendet wurde, erschien es angebracht, dass über Karl Winter und seine Maschinen ein Bericht dieser Art verfasst wurde.

Danksagung

Herrn Dr. Siegfried Bernkopf, Gallneukirchen, sowie dem Verein „Familia Austria“ (Günther Ofner, Renate Fennes, Elisabeth Brunner) danke ich für die Angaben zu den persönlichen Verhältnissen von Karl Winter. Besonderer Dank gebührt den Physikprofessor*innen des Bundesgymnasiums IV in Wien, Frau Mag. Hermine Brandstetter sowie den Herren Gerald Born und Dr. Wolfgang Zikmunda, die mir hier eine wertvolle Hilfestellung gaben. Speziell möchte ich Herrn Dr. Zikmunda für die Übersendung genauer Angaben zu den Jahresberichten des Gymnasiums danken. Der Verfasser bedankt sich auch bei der Schriftenleitung von Plus Lucis für die vorgenommenen Korrekturen und Verbesserungsvorschläge. Die Abbildungen sind dem Buch von Dr. A. Kleyer: Lehrbuch der Reibungselektricität, Bremerhaven 1886, entnommen. [8]

Franz Pichler em.Univ.-Professor, Technisch-naturwissenschaftliche Fakultät, Johannes Kepler Universität Linz



Neues aus dem Verein

Zusammenarbeit und Kommunikation

Das Team des AECC Physik (Austrian Educational Competence Centre) der Universität Wien ist sehr daran interessiert, die Zusammenarbeit und Kommunikation mit Lehrkräften zu verbessern. Mit dem folgenden Fragebogen möchten wir erheben, welche Aspekte der Physikdidaktik Sie interessieren und wie wir diese für Sie zugänglich machen können. Die Beantwortung nimmt nur ca. zehn Minuten in Anspruch und es werden dabei keine personenbezogenen Daten erhoben.

<https://sosci.univie.ac.at/physikdidaktik/>



Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

Louisa Morris, Florian Budimaier
und das Team des AECC Physik

Letzte Chance zur Nachmeldung für den NAWI-Sommer

Ronny Binder organisiert auch in diesem Jahr den bereits traditionellen NAWI-Sommer der KPH Wien/Krems in Gmünd. Nach der Onlineausgabe im letzten Jahr hoffen alle, dass die Veranstaltung heuer vom 30.8. bis 1.9. wieder im BRG Gmünd stattfinden kann. Der NAWI-Sommer steht in diesem Jahr unter dem aktuellen Thema „Klima“ und mit dem nachfolgenden Link ist eine Nachmeldung für die letzten Plätze möglich.

<https://www.kphvie.ac.at/institute/institut-fortbildung/nachmeldung.html>

Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S

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

DVR 0558567
VRN 668472729