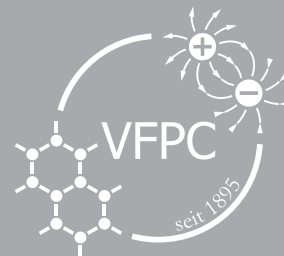


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

Gemischter Satz 2019

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

Satz & Layout: DI Maria Wasserburger

Verantwortlicher Herausgeber

dieser Ausgabe:

Mag. Dr. Thomas Plotz
AECC Physik, Universität Wien
E-mail: thomas.plotz@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

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):

sgroene auf Pixabay

Inhalt

„Ist die Erde wirklich eine Kugel?“	4
<i>Udo Backhaus</i>	
Kurkuma als Thema im Chemieunterricht.....	13
<i>Rosina Steininger</i>	
Quantenphysik g ² reifbar unterrichten.....	17
<i>Philipp Bitzenbauer und Jan-Peter Meyn</i>	
Tief ins Glas geschaut.....	22
<i>Philipp Spitzer, Elisabeth Hofer und Rita Krebs</i>	
Zur Diskussion gestellt: Ohmscher Widerstand und ohmsches Gesetz.....	27
<i>Axel Donges</i>	
Das Mirascope.....	31
<i>Ingrid Krumphals</i>	
Programmieren lernen für den Physikunterricht mit Processing.....	35
<i>Walter Stein</i>	
Kompetenzorientierte Aufgaben für die schriftliche Reifeprüfung in Physik.....	39
<i>Ronald Binder und Thomas Plotz</i>	
Warum ist Aquagymnast gelenkschonend?	43
<i>Leo Ludick</i>	
Holm Gero Hümmler „Verschwörungsmythen.	43
<i>Leo Ludick</i>	

Editorial

Liebe Leserinnen, liebe Leser.

Vor etwas mehr als einem Jahr gab es bei Plus Lucis den ersten Gemischten Satz, der ein Heft mit verschiedensten Themen darstellte, die über die Zeit bei der Redaktion eingelangt sind. Damals haben wir nicht gedacht, dass schon so rasch wieder ein ganzes Heft mit Beiträgen gefüllt werden kann. Das erfreulicherweise gesteigerte Interesse an unserer Zeitschrift haben dazu sicher beigetragen. So finden sich in diesem Heft Beiträge aus der Chemie, der Physik aber auch ein Beitrag mit Informatikeinschlag. Wir freuen uns natürlich und möchten alle potentiellen Autorinnen und Autoren ermutigen Beiträge zu senden. Die geplanten Themenhefte finden Sie auf unserer Homepage.

Udo Backhaus geht im ersten Artikel dieser Ausgabe der scheinbar trivialen Frage: „Ist die Erde wirklich eine Kugel?“ nach. Nicht erst seit dem Wachsen der sogenannten „Flat Earth Society“ stellt sich diese Frage vermehrt. Udo Backhaus nahm den Brief eines Vaters, dessen Kinder die Frage immer wieder stellten, zum Anlass die Frage aufzugreifen und zu beantworten. Herausgekommen ist ein spannender Artikel, der aufzeigt, dass ein Nachweis schwerer ist als man denkt.

Im zweiten Artikel finden Sie eine fachdidaktische Vertiefung in das Thema Kurkuma. Das Thema Kurkuma fand sich schon im Heft 1/19 als Zusammenfassung einer vorwissenschaftlichen Arbeit. Rosina Steininger machte sich Gedanken zum fachlichen Hintergrund dieses Stoffes und zur Einbettung des Themas in den Unterricht. Dabei geht sie vor allem auf die Anwendbarkeit des Themas für die Bildung von naturwissenschaftlicher Grundbildung in der Schule ein.

Das Thema Quantenphysik ist in der Schule meist erst am Ende des Physikunterrichts Thema. Dieses wichtige Kapitel der modernen Physik ist oftmals schwierig zu vermitteln und Herr Bitzenbauer hat sich in seinem Promotionsvorhaben vorgenommen hier fachdidaktische Erkenntnisse zu generieren. Im vorliegenden Artikel wird daraus ein erster Teil der Erkenntnisse vorgestellt, welche in den empirischen Daten erfolgreich erschienen.

Der gut gekühlte Gin Tonic (Geschüttelt, nicht gerührt!) dürfte Spitzer, Hofer und Krebs zum vorliegenden Artikel inspiriert haben. Gin erlebt ja in den letzten Jahren ein Revival und stellt momentan das In-Getränk dar. Kaum eine hippe Bar, die nicht mindestens drei Sorten im Sortiment hat. Im Artikel setzen sie sich mit einer besonderen Ginsorte aus fachlicher Sicht auseinander und finden eine interessante Verbindung zu einer



Thomas Plotz

blauen Blume. Nach der Lektüre des Artikels sind Sie bereit für chemischen Gin-Talk im Lokal ihres Vertrauens.

Axel Donges fokussiert in seinem Artikel auf ein basales, physikalisches Gesetz. Der ohmsche Widerstand und das zugehörige ohmsche Gesetz sind in jedem Unterricht zur Elektrizitätslehre zentral. In seinem Artikel zeigt er die Problematik des momentanen Sprachgebrauchs um dieses Themas auf und schlägt eine Alternative vor.

Ingrid Krumphals hat sich ein „physikalische Spielzeug“ aus fachlicher und fachdidaktischer Sicht einmal genauer angesehen und einen spannenden Artikel zum Mirascope geschrieben. Die Erkenntnisse die sie bei ihren Nachforschungen sind überraschend und gut für den Unterricht und die Diskussion zu realem und virtuellem Bild verwendbar.

Walter Stein setzt sich schon länger mit dem Computer als Werkzeug für den Physikunterricht auseinander. In seinem Artikel zeigt er, dass die Programmiersprache Processing gut für den Unterricht einsetzbar ist. Er selbst hat dafür auch ein Buch mit über 100 Aufgaben geschrieben, welches frei erhältlich ist.

Kompetenzorientierte Aufgaben zu erstellen ist für Lehrpersonen nicht mehr ganz so exotisch wie noch vor 10 Jahren. Dennoch ist die Erstellung von Aufgaben für die schriftliche Reifeprüfung teilweise schwierig. Binder und Plotz geben in ihrem Artikel zwei Möglichkeiten, welche eine Anregung darstellen und zwei Bereiche (Verkehrsphysik und Strahlung) behandeln, welche einen sehr alltagsnahen Kontext darstellen.

Am Ende gibt es noch eine physikalische Alltagsfrage von Leo Ludick und eine spannende Buchbesprechung zu dem Thema Verschwörungsmythen.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre dieses Heftes und hoffe, dass Sie an der bunten Mischung an Themen mindestens eines finden, welches Ihnen zusagt.

Thomas Plotz

„Ist die Erde wirklich eine Kugel?“

Udo Backhaus



Abbildung 1: Wie passen Erfahrung und Weltraumfotos zusammen?

„Fritzchen, sagt der Lehrer, nenne mir drei Beweise dafür, daß die Erde eine Kugel ist! - Fritzchen, anfangs verdüstert über die Zumutung, gleich drei Argumente bereit zu haben, leuchtet plötzlich auf: Mein Papa sagt es, meine Mutti sagt es, und nun sagen Sie es auch!“ [15]

Wenn auch heutige Kinder und Jugendliche schnellere und bessere Antworten geben können als in der von Martin Wagenschein 1967 erzählten Anekdote, so ist doch die Diskrepanz zwischen der eigenen unmittelbaren Wahrnehmung und den zahlreichen Fotos, die die Erdkugel aus der Sicht von Raumstationen oder Raumsonden zeigen, heute fast ebenso groß wie vor 50 Jahren.

Die Frage wurde kürzlich für den Autor wieder aktuell, als ein Vater sich per E-Mail mit der Bitte an ihn wandte, ihm bei der Argumentation seinen widerspruchsfreudigen Kindern gegenüber behilflich zu sein. Diese Anfrage war der Anlass, die Argumente noch einmal zusammenzutragen und zu durchdenken.

1. Die Anfrage

Ausgangspunkt dieses Aufsatzes war eine E-Mail im Februar 2017:

Sehr geehrter Herr Backhaus,

Ich habe über den Artikel "Zwei Methoden zur Messung der Entfernung Erde-Sonne" von 2012 von Ihnen erfahren. Daher wende ich mich nun an Sie mit einer Frage. Es geht um die Kugelform der Erde. Meine wissbegierigen Kinder stellen mir nämlich folgende Frage: "Woher wissen wir eigentlich, dass die Erde eine Kugelform hat? Welche Nachweise gibt es dazu?"

Nun, wir kennen natürlich die Fotos der Erde, Globen und das Allgemeinwissen, dass die Erde eine Kugel ist. Aber echte „Nachweise“

sind das ja tatsächlich nicht. Als verantwortungsvoller Vater wollte ich meinen Kindern da auch eine vernünftige, nachvollziehbare Antwort geben und vor allem zeigen, dass es da keine Zweifel gibt. Ich schaute also zur Sicherheit im Internet nach seriösen Quellen und fand eine erschöpfende Erläuterung auf den Seiten von Wissenschaft im Dialog [13].

Dort ist nachvollziehbar erklärt, warum die Erde eine Kugel ist. Ich diskutierte es mit meinen Kindern und dachte, die Sache sei damit erledigt. Die Kugelform der Erde ist ja unbestritten, auch bei den Jüngsten! Womit ich aber nicht gerechnet hatte war, dass die Kinder mit Freunden ein paar Tage intensiv nachdachten und recherchierten und behaupteten, dass die dort angegebenen Erklärungen nicht eindeutig seien und als „Beweise“ nicht ausreichen.

Naiv und unbefangen wie die Kinder nun mal sind, haben sie mir folgende Einwände vorgetragen:

1. **Schiffe** tauchen am Horizont zuerst mit der Mastspitze auf, sei ein Beleg für die Erdkrümmung (=Kugel).

Kinder: Durch empirische Versuche wäre dies widerlegt. In weiter Entfernung wäre ein Schiffsrumpf mit bloßem Auge im Gegensatz zum Mast zwar nicht mehr sichtbar, mit hochauflösenden „Digital-Zoom-Kameras“ aber doch noch. Der Effekt habe optische Gründe, keine geologischen. D. h. die Krümmung der Erde könne damit nicht nachgewiesen werden. Im Internet könne man Experimente dazu finden.

2. **Krümmung der Erde** (=Kugel) und Radius berechnet in Ägypten mit Hilfe von Sonnenstrahlenschatten durch Eratosthenes um 200 v. Chr.

Kinder: Die Beobachtungen aus dem Experiment von Eratosthenes könnten nicht korrekt gedeutet worden sein. Es gäbe auch andere Deutungsmöglichkeiten (z. B. dass die Sonne eine andere als die vorausgesetzte Entfernung zur Erde habe und so die Schattenverschiebung verursache) und wäre somit kein zweifelsfreier Beweis.

3. **Weltumsegelung Magellans** belege, dass die Erde eine Kugel ist.

Kinder: Die Umseglung als solche sei kein Beweis. Es fehle die wissenschaftliche Dokumentation. Auch auf einer anders geformten Erde wäre eine „Umseglung“ möglich.

4. Fotos der Erdkugel von Astronauten im Weltall

Kinder: Fotos gelten heutzutage nicht mehr als zweifelsfreier Beweis, da sie manipuliert oder konstruiert sein können oder einer optischen Täuschung unterliegen. In der Tat gibt die NASA offen zu, dass die Erdfotos vergangener Jahrzehnte mittels einer Software

Erstmal war ich baff, denn es ist teilweise nachvollziehbar für mich, und ich habe kein weiteres Argument, das ich den Kindern noch vorlegen könnte. Ich möchte aber auch nicht, dass sich die Kinder in der Schule und bei Freunden lächerlich machen.

Ich kann mir allerdings auch nicht vorstellen, dass die korrekte Antwort auf die Frage der Kugelform der Erde bis heute auf Überlieferungen aus der Vergangenheit in Form antiker Experimente, ohne Berücksichtigung konkreter Erkenntnisse der modernen Wissenschaft, beruht.

Ich möchte gerne Kenntnis erhalten über exakte wissenschaftliche Fakten und Beweise von astronomischen Experten. Nun dachte ich mir, dass Sie mir ggf. Auskunft geben könnten, welche neuzeitlichen, wissenschaftlichen Nachweise es gibt, die über fotografische Dokumentationen aus dem Weltall hinausgehen. Ich selber bin nicht fündig geworden. Nachdem die Kinder diese Frage aufgebracht haben, sind wir Erwachsenen ihnen eine seriöse Antwort schuldig.

Es wäre toll, wenn Sie mir in dieser Angelegenheit mit Ihrem Hintergrundwissen weiterhelfen könnten.

Die Fragen in dieser E-Mail beziehen sich auf folgende Aussagen im Internet [13]:

Welches sind die vier stichhaltigsten Beweise dafür, dass die Erde eine Kugel ist?

Es gibt eine Vielzahl von Beweisen für die Kugelgestalt der Erde. Die augenscheinlichsten sind sicherlich der Blick der Astronauten und die vielen Fotos, die aus dem Weltraum von unserem Planeten aufgenommen wurden.

Doch bereits vor rund 2300 Jahren war Aristoteles von der Kugelgestalt der Erde überzeugt. Seine Argumente: Schiffe tauchen am Horizont zuerst mit der Mastspitze auf, in südlichen Ländern erscheinen südliche Sternbilder höher über dem Horizont, und der Erdschatten bei einer Mondfinsternis ist immer rund.

Etwa hundert Jahre später bestimmte erstmals Eratosthenes den Umfang der Erdkugel recht exakt. Er nutzte die Beobachtung, dass die Sonne in Syene im Süden Ägyptens mittags im Zenit steht und gleichzeitig in Alexandria in Nordägypten unter einem Winkel einfällt. Basierend auf einfachen geometrischen Überlegungen berechnete er aus dem Abstand zwischen Syene und Alexandria und dem Einfallswinkel den Erdumfang. Kein Zweifel an der Kugelgestalt der Erde konnte schließlich nach der Weltumseglung von Magellan im 16. Jahrhundert mehr bestehen.

Genau genommen ist die Erde aber gar keine exakte Kugel. Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche durch Berge und die ungleiche Verteilung der Landmassen lassen sie eher wie eine riesige Kartoffel aussehen. Das belegen Daten, die Wissenschaftler des GeoForschungsZentrums (GFZ) in Potsdam mit Hilfe von Satelliten gewonnen haben. Daraus haben sie das Modell der „Potsdamer Schwerekartoffel“ entwickelt.

Wegen meiner jahrzehntelangen Beschäftigung mit diesen Fragen im Rahmen der Ausbildung zukünftiger Physiklehrer hat mich die Anfrage angeregt, meine diesbezüglichen Aktivitäten und Papiere zu sichten und zusammenzufassen. Die Antwort war anschließend die Grundlage öffentlicher Vorträge.

2. Beobachtungen und Erfahrungen

Die Kugelform der Erde, oder zumindest die Krümmung ihrer Oberfläche, lässt sich bei aufmerksamer Beobachtung mit bloßen Augen wahrnehmen.

2.1 Der Horizont am Meer

Der Versuch, mich selbst per Augenschein von der Krümmung der Erdoberfläche zu überzeugen und sie meiner Familie und im Freundeskreis vor Augen zu führen, droht mich immer mal wieder am Strand lächerlich zu machen (Abb. 2, oben): Wenn man am Meer seine Augen dicht über die Wasseroberfläche bringt, am besten indem man ins Wasser geht, und weit entfernte Gegenstände z. B. an einem gegenüber liegenden Ufer beobachtet, dann sieht man mit überzeugender Deutlichkeit, je näher man der Oberfläche mit den Augen kommt, umso eindrucksvoller, dass sie „von dem Wasserberg, der sich dazwischen erhebt“ ([15], S. 3) verdeckt werden. Allerdings ist dazu ein klarer Blick zum Horizont Voraussetzung. Ich beobachte den Effekt immer wieder beim Blick von der dänischen Nordseeinsel Röm nach Sylt oder vom Strand in Cuxhaven-Salenburg zur Insel Neuwerk.



Abbildung 2: U. B. bei der Beobachtung der Erdwölbung (oben). Schiffe verschwinden unter dem Horizont, wenn sie sich entfernen (unten).

Für Seefahrer, Seefahrerinnen und für Menschen, die nahe an einer Küste leben, ist es eine alltäglich mit bloßen Augen zu machende Erfahrung, dass sich nähernde Schiffe am Horizont zunächst mit den Masten bzw. ihren Aufbauten auftauchen, bevor auch der Rumpf sichtbar wird. Mit Digitalkameras großer Brennweite oder mit einem Teleskop lässt sich der Effekt auch überzeugend fotografieren (Abb. 2, unten). Allerdings ist dazu wieder gute Horizontsicht Voraussetzung.

Ich selbst erinnere mich aus meiner Kindheit an Filme, in denen gezeigt wurde, wie beim Blick durch ein gutes Fernglas von einem entfernten Schiff zunächst die Rauchfahne sichtbar wurde, deutlich bevor die Aufbauten des Schiffes auftauchen.

Übrigens: Wenn man am Meer unmittelbar nach Sonnen- oder Monduntergang schnell auf eine hohe Düne oder einen Turm klettert, kann man den Untergang ein zweites Mal beobachten. Abbildung 3 veranschaulicht diese Erfahrung am Beispiel des Feuers eines 28 km entfernten Leuchtturms: Am Strand, in etwa 2 m Höhe über der Wasseroberfläche, ist sein Licht „schon untergegangen“, auf einer Düne, in etwa 4 m Höhe, jedoch noch nicht.



Abbildung 3: Das Licht eines Leuchtturms - aus unterschiedlichen Höhen (von einer Düne, $h \approx 4\text{m}$) und vom Strand ($h \approx 2\text{m}$) aus fotografiert

2.2 Reisen

2.2.1 Zeitverschiebungen bei Ost-West-Reisen

Wäre die Erde eine flache Scheibe, hätten alle Orte dieselbe Uhrzeit. Zu einem bestimmten Zeitpunkt unterscheiden sich jedoch die Uhrzeiten auf der Erde um bis zu ± 12 Stunden (Abb. 4). Dieser Umstand ist heute durch Weltreisen und Nachrichten aus aller Welt allgemein bekannt. Nachrichten über Geschehnisse in weit entfernten Ländern oder Gespräche und Chats mit Freundinnen, Freunden oder Geschäftspartnern in anderen Ländern machen täglich deutlich, dass sich die Tageszeiten „rund um den Globus“ unterscheiden: So kann man Bekannte in den USA noch wecken, wenn in Europa schon Mittag ist, und am Silvesterabend wird bereits in der 20-Uhr-Tagesschau gezeigt, wie die Australierinnen und Australier das neue Jahr mit einem Feuerwerk begrüßt haben (Abb. 5).

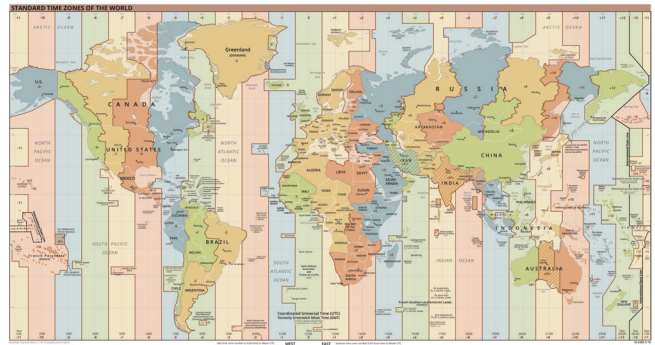


Abbildung 4: Die Erde ist in 24 Zeitzonen eingeteilt, die jeweils ungefähr 15° geografische Länge überdecken.



Abbildung 5: In der 20-Uhr-Tagesschau wird am 31. Dezember gezeigt, wie Australien den Jahreswechsel schon gefeiert hat.

Die Messung des Zeitunterschiedes zwischen Orten ist die Grundlage astronomischer Navigation, genauer: der Messung der geografischen Länge. Die Geschichte dieser Entwicklung parallel zur Ausweitung des Welthandels ab dem 16. Jahrhundert wird von Dava Sobel anschaulich und interessant erzählt [14].

Zeitverschiebungen bei Weltreisen in O-W-Richtung über mehrere Zeitzonen hinweg sind heute eine weit verbreitete Erfahrung („Jetlag“): Bei Reisen nach Osten vergeht die (Sonnen-) Zeit schneller, und man muss bei Ankunft seine Uhr vorstellen, wenn man die Zeitzone gewechselt hat. Bei Reisen nach Westen vergeht die Zeit entsprechend langsamer, und man muss seine Uhr zurückstellen. Innerhalb von Europa kann man diese Erfahrung nur machen, wenn man an den westlichen (Portugal oder England) oder den östlichen Rand (z. B. Griechenland) reist. Das liegt daran, dass hier aus politischen Gründen zwei Zeitzonen zu einer zusammengefasst worden sind.

Auch wenn man die Zeitzone nicht wechselt, kann man die Verschiebung der (Sonnen-) Zeit bemerken: Beispielsweise geht die Sonne bei einer Reise, die immer weiter nach Osten führt, immer früher auf, und sie steht zu einer immer früheren Uhrzeit genau im Süden. Dabei zeigt der Sternenhimmel immer früher dieselbe Stellung. Für die erste Feststellung braucht man einen Kompass zur Bestimmung der Südrichtung. Für die zweite muss man etwas mit dem Sternenhimmel vertraut sein,

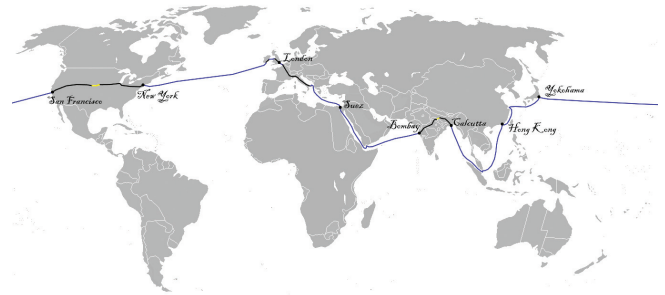
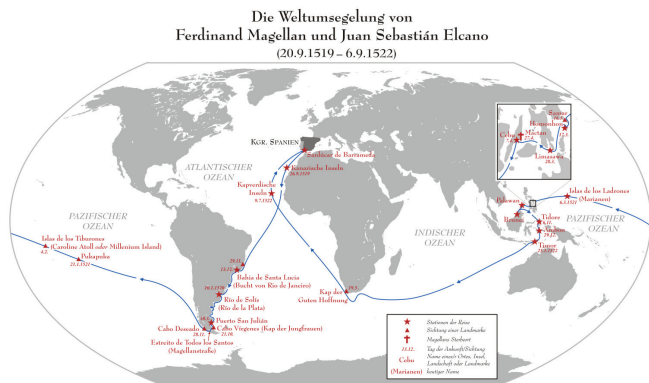


Abbildung 6: Magellans Mannschaft umsegelte die Erde in ost-westlicher Richtung (links). Die Reise „In 80 Tagen um die Welt“ führte von Westen nach Osten (rechts).

um mindestens ein Sternbild unabhängig von seiner Stellung am Himmel wiedererkennen zu können.

Bei einer Weltumrundung von Ost nach West wird ein ganzer Tag verloren, weil sich Zeitverschiebungen im Verlauf der Reise aufsummieren. Die erste Erdumrundung gelang Magellan und seiner Mannschaft in den Jahren 1519-1522 (Abb. 6, links). Über diese Reise gibt es Dokumentationen, z. B. bei Koelliker [11]. Dort sind die Zeiten auf See und in den Häfen genau aufgezeichnet, die sich zu einer Reisezeit von insgesamt 1124 Tagen addieren. Berechnet man jedoch, zum Beispiel mit Hilfe des Julianischen Datums, die Anzahl der Kalendertage vom Start am 10. August 1519 in Sevilla bis zur Heimkehr am 8. September 1522 nach Sevilla, dann ergeben sich 1125 Tage! Eindeutig dokumentiert wurde dieser Effekt auch von Darwin in der Beschreibung seiner Weltumrundung mit der „Beagle“.

Literarisch eindrucksvoll wird der entgegengesetzte Effekt in Jules Vernes „In 80 Tagen um die Welt“ beschrieben. Bei seiner Reise in west-östlicher Richtung um die Erde (Abb. 6, rechts) *gewinnt* Mr. Fogg einen Tag und gewinnt die schon verloren geglaubte Wette zum Schluss doch noch.

2.2.2 Kippen des Himmels bei Nord-Süd-Reisen

Bei Reisen nach Süden oder Norden ändert sich die Höhe des Polarsterns über dem Horizont. Diese Veränderung lässt sich leicht messen (s. u.), bei weiten Reisen aber auch mit bloßen Augen beobachten. Die Seefahrer, die an den ersten Versuchen beteiligt waren, Afrika auf der Suche nach dem Seeweg nach Indien zu umrunden, fürchteten sich vor der Überquerung des Äquators, weil ihnen dabei der Polarstern „verloren ging“ – und damit die Nordrichtung.

Nicht nur ändert der Polarstern bei diesen Reisen seine Höhe über dem Horizont. Vielmehr verkippt dabei der ganze Himmel. Das ist bei weiten Reisen eindrucksvoll mit bloßen Augen zu beobachten, wenn man ein paar Sternbilder am Himmel erkennen kann – z. B. wenn man das Sternbild Orion auf Feuerland und in Deutschland beobachtet (Abb. 7). Ein anderes auffälliges Beispiel ist der Große Wagen. Seine hinteren

Kastensterne, die die Richtung zum Polarstern zeigen, weisen in Deutschland hoch an den Himmel, in Namibia dagegen unter den Horizont (Abb. 8).



Abbildung 7: Das Sternbild Orion in Hannover (links) und auf Feuerland (aus [7])



Abbildung 8: Die hinteren Kastensterne des Großen Wagens weisen in Deutschland zum Polarstern hoch am Himmel (links), in Namibia dagegen unter den Horizont (rechts).



Abbildung 9: In Deutschland und Namibia gleichzeitig aufgenommene Fotos des Mondes (überbelichtet) und des Sternenhimmels

Abbildung 9 veranschaulicht, wie der Himmel zwischen Deutschland und Namibia verkippt: Zwei Fotos des Mondes und des Sternenhimmels wurden in den beiden Ländern gleichzeitig aufgenommen und anschließend so überlagert, dass die identifizierbaren Sterne übereinander liegen ([19]). Die Beschriftungen, die auf beiden Fotos parallel zum Horizont angebracht wurden, zeigen auf dem kombinierten Bild, dass die Horizonte der beiden Beobachtungsorte um etwa 70° gegeneinander verdreht sind.

2.3 Weltraumfotos

Es gibt zahllose Fotos, die die Erdkugel - oder einen Teil von ihr - vom Weltraum aus zeigen (Abb. 10). Viele von ihnen sind sicher bearbeitet, z. B. kontrastverstärkt oder farbverstärkt. Solche Bearbeitungen dienen oft dazu, den visuellen Eindruck von Menschen wiederzugeben – entweder den der Menschen, die die Bilder aufgenommen haben (wie bei Abbildung 10, links), oder den, den Menschen gehabt hätten, wenn sie zum Zeitpunkt der Aufnahme an Bord der entsprechenden Raumsonde gewesen wären (wie bei Abbildung 10, rechts). Viele Bilder sind aus mehreren Einzelfotos zusammengesetzt – zwar nicht die berühmte „Blue Marble“ (Abb. 1, rechts), wie von den Kindern behauptet, aber die Bilder der ganzen Erde, die nach Ende des Apollo-Programms bis 2015 von der NASA veröffentlicht wurden [12]. Solche Zusammensetzungen sind sicher keine Fälschungen, insbesondere dann, wenn die Bearbeitung nicht verheimlicht wird. Auch bei der optischen Wahrnehmung der Menschen werden vom Gehirn viele von den bewegten Augen empfangene Bilder zu einem Gesamteindruck zusammengesetzt.

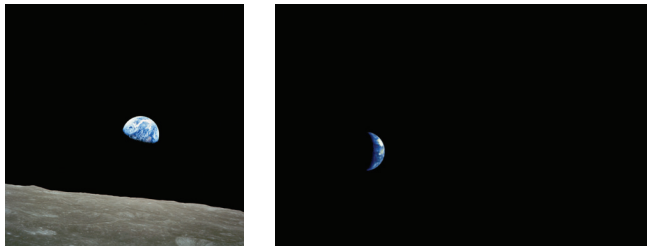


Abbildung 10: links: Die Erde über der Mondoberfläche aus der Sicht von Apollo 8, rechts: Erde und Mond, von der Sonde Mars Express aus dem Weltraum fotografiert

Nur Verschwörungstheoretiker und -innen können an der Echtheit dieser Fotos *in ihrer Gesamtheit* zweifeln, die nicht nur von „den Amerikanern“, sondern durch Astronautinnen und Astronauten und Raumkapseln vieler raumfahrender Nationen aufgenommen wurden.

Ernster als die Einwände gegen die Echtheit aller Bilder sind meines Erachtens die Zweifel von unverbildeten Kindern, die keinen Zusammenhang erkennen können zwischen ihrer Erfahrung einer flachen Erde (Abb. 1, links) und der als Kreisscheibe abgebildeten Erde: „Das soll die Erde sein, auf der ich lebe? Wo ist denn mein Zuhause? Wie ist es möglich, dass auf der anderen Seite auch Menschen leben?“ ([4], S.

16). Wohl nicht zufällig sind fast alle Bilder der Erdkugel, wie die „Blue Marble“, nachträglich so gedreht worden, dass Norden oben liegt. Den Bewohnern der Nordhalbkugel soll wohl die Zumutung erspart werden, sich vorstellen zu müssen, sie hingen „unter“ der Erde - wie unsere „Antipoden“ oder „Gegenfüßler“ (Abb. 11)!



Abbildung 11: „Hängen“ unsere Antipoden „unter“ der Erde?

Freunde von mir, denen ich die Frage nach den Beweisen für die Kugelform der Erde weitergeleitet hatte, schlugen als „eigenes Experiment“ vor, einen Wetterballon steigen zu lassen, der Höhen erreiche, von denen aus eine Kamera die Krümmung der Erdoberfläche zeigen könne. Im Internet kann man viele solche Projekte finden und sich entsprechende Filme ansehen ¹. Die Filme, die ich dort gefunden habe, sind zwar sehr eindrucksvoll, können aber leider die Frage nach der Erdgestalt nicht befriedigend beantworten: Der abgebildete Horizont ist zwar meist nach unten gekrümmt, manchmal aber auch geradlinig oder sogar in die entgegengesetzte Richtung gebogen (Abb. 12).



Abbildung 12: Die Krümmung der Erdoberfläche bei einem selbst gestarteten Wetterballon wird hier weitgehend durch die Verzeichnung des einfachen Objektivs der Kamera hervorgerufen.



Abbildung 13: Die ISS über der gekrümmten Erdoberfläche

Die Erdkrümmung auf NASA-Fotos wie Abbildung 13 wird dagegen nicht durch einen Abbildungsfehler der professionellen

¹ siehe z. B. <https://www.stratoflights.com/education/beispiel-projekte/>

Kamera hervorgerufen: Auf allen ähnlichen Bildern ist die Oberfläche, unabhängig von ihrer Position auf den Fotos, *nach innen* gekrümmt.

2.4 Mondfinsternis

Bei Mondfinsternissen fällt der Erdschatten auf den Mond. Das kann man sich besonders leicht klar machen, wenn der Mond dabei nahe am Horizont steht und die Sonne gerade untergegangen ist bzw. bald aufgehen wird: Der Mond steht am Himmel der Sonne direkt gegenüber. Der Schatten auf dem Mond ist *immer* kreisförmig (Abb. 14) – unabhängig von der Position des Mondes über dem Horizont. Steht der Mond bei der Finsternis hoch am Himmel, könnte es auch der Schatten einer Kreisscheibe sein, aber beim tief stehenden Mond würde eine Scheibe einen geradlinig begrenzten Schatten erzeugen.

Steht der Mond bei der Finsternis nahe am Horizont und der Erdschatten ist zum Horizont hin gekrümmt, wird auf dem Mond der Teil der Erde abgebildet, auf dem man selbst steht ([8], Abb. 15, links). Ist in dieser Situation dagegen der Rand des Schattens nach oben gekrümmt, sieht man den Schatten des Teils der Erde, auf dem unsere „Antipoden“ leben. Die Erde ist also nicht nur oben, sondern auch unten rund. *„Die Kugel ist also vollständig; sie schwebt frei, und wenn wir auf die andere Seite gehen, stehen wir kopf.“* (Wagenschein [15]). Bei der partiellen Mondfinsternis am Abend des 16. Juli 2019 hat es nach langer Zeit wieder eine Gelegenheit für eine solche Beobachtung gegeben (Abb. 15, rechts).



Abbildung 14: Der kreisförmige Erdschatten auf dem Mond bei Mondfinsternis

2.5 Sonnenuntergang und Erdkugel

Die Art und Weise, wie wir die Sonne untergehen sehen, beweist die Kugelgestalt der Erde: Bei flacher oder sehr viel größerer Erde würde die Sonne vor ihrem Untergang viel stärker abgeflacht werden und oberhalb des Horizontes verschwinden [6].

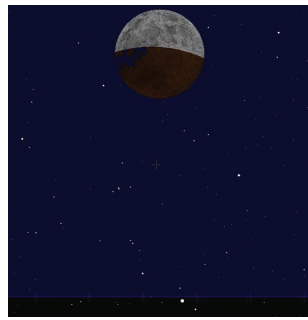


Abbildung 15: links: 1985 zeigte der gerade aufgegangene partiell verfinsterte Mond den Schatten des Teils der Erde, auf dem der Beobachter gerade steht. rechts: Bei der partiellen Mondfinsternis am 16. Juli 2019 warf der Boden unserer Antipoden seinen Schatten auf den Mond.

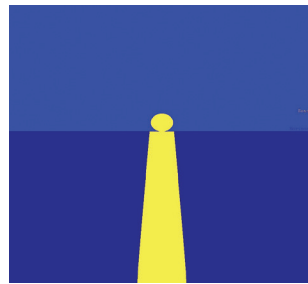


Abbildung 16: Bei einer flachen Erde ($R_E=63700$ km, rechts) sähen Sonnenuntergänge ganz anders aus als bei der Erdkugel (links) [6].

3. Messungen

Es gibt viele Möglichkeiten, die Form der Erde nicht nur zu beobachten, sondern auch ihre Größe zu messen. Einige einfache Verfahren sollen hier kurz vorgestellt werden, um zu ihrer Nachahmung anzuregen. Die Ergebnisse sind in der Regel nicht sehr exakt. Wesentlich aber ist, dass sie alle zu (ungefähr) demselben Ergebnis kommen – unabhängig davon, an welchen Orten der Erde die Messungen durchgeführt werden.

3.1 Die Methode von Erathostenes

Für seine Messung der Erdgröße musste Erathostenes keine Annahme über die Entfernung der Sonne machen. Er nutzte lediglich die Parallelität der Sonnenstrahlen, die er im Alltag beobachten und ausmessen konnte. Die Idee war genial, die Durchführung (über die man nichts Genaues weiß) aber schwierig; denn zusätzlich zur Winkelmessung ist es erforderlich, eine große Entfernung auf der Erde zu messen – auch heute der schwierigere Teil der Messung.

Heute kann die Messung relativ einfach wiederholt werden. Dazu reicht bei sorgfältiger Messung schon die Länge der Insel Sylt [1].

3.1.1 Messungen mit Schattenstab

Sonnenstandsmessungen sind mit einem Schattenstab anschaulich und einfach möglich (siehe z. B. [4], S. 10f). Der Schattenstab kann sogar zu einem hochpräzisen Messinstrument erweitert

werden. Davon haben wir z. B. bei den Messungen auf Sylt [1] und bei der Messung des Erdradius im Rahmen eines Projektes des „Internationalen Jahres der Astronomie 2009“ (IYA 2009) Gebrauch gemacht [3].

Man kann den Schattenstab benutzen, um die genaue Südrichtung zu bestimmen und den Zeitpunkt des lokalen Mittags zu messen, an dem die Sonne genau im Süden steht ([4], S. 23). Werden solche Messungen an verschiedenen Orten der Erde durchgeführt, kann man aus den Zeitdifferenzen die Unterschiede zwischen den jeweiligen geografischen Längen berechnen - und daraus schließlich, bei bekannter Ost-West-Entfernung den Erdumfang ableiten. Bei unseren weltweiten Projekten ist das mehrfach mit Erfolg durchgeführt worden (siehe z. B. [3]).

Es ist sogar möglich, die Messung zu beliebigen Zeiten durchzuführen, wenn an verschiedenen Orten der Erde gleichzeitig die Höhe der Sonne über dem Horizont und ihr Azimut, d. h. ihre Richtung gegen Süden, gemessen wird. Während des IYA2009-Projektes haben wir eine solche Messung für eine Radiosendung innerhalb von Nordrhein-Westfalen live durchgeführt („Die Vermessung der Erde“ [17]). An dem Internet-Projekt haben sich Menschen aus vielen Teilen der Erde beteiligt. Die Visualisierung der gleichzeitig gemessenen Sonnenpositionen der Projektteilnehmer (Abb. 17, oben) veranschaulicht, dass die Horizonte der teilnehmenden Gruppen unterschiedlich gegen die Sonne geneigt sind. Die sich dabei ergebenden Messwerte für den Erdradius werden erwartungsgemäß umso genauer, je weiter die Beobachtungsorte voneinander entfernt sind (Abb. 17, unten).

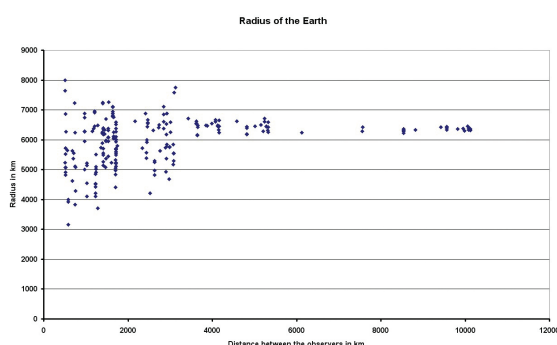
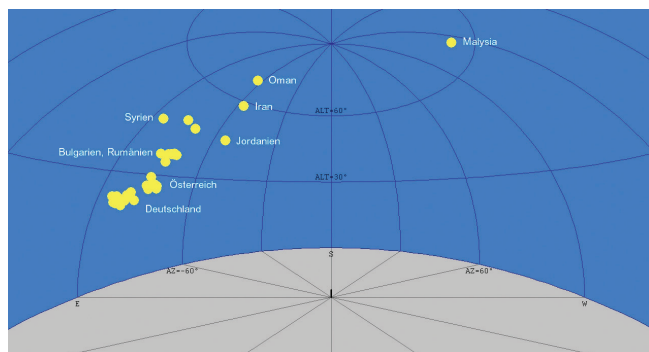


Abbildung 17: Die um 6:47 UT in verschiedenen Ländern gemessenen Positionen der Sonne über ihrem Horizont (oben) und die sich bei solchen Messungen ergebenden Werte für den Erdradius (unten)

3.1.2 Messungen mit Pendelquadrant

Mit einem einfach selbst zu bauenden Messgerät, einem sogenannten Pendelquadranten, kann man die Höhe eines Himmelsobjektes über dem Horizont messen. Durch Messung der Höhe des Polarsternes kann man so die geografische Breite des eigenen Standortes bestimmen und die Messung von Erathostenes wiederholen. Vor vielen Jahren habe ich das bei Reisen nach Südfrankreich und nach Dänemark häufig getan. Die Änderung der Polhöhe entsprach dabei immer im Rahmen der Messgenauigkeit der in N-S-Richtung zurückgelegten Entfernung.

Im Jahr 2016 haben wir die Messung von Bochum und Namibia aus an der gerade kulminierenden Sonne wiederholt. Anders als beim Polarstern muss man bei der Sonne darauf achten, gleichzeitig zu messen. Aus den Messwerten ($h_s=60.5^\circ$ (im Süden) in Bochum und $h_s=45.5^\circ$ (im Norden) in Namibia) berechneten wir, dass die Horizonte der Beobachtungsorte um 74° gegeneinander gekippt sind (siehe [16]). Das stimmt recht genau mit der Differenz der geografischen Breiten überein. Bei bekannter Entfernung zwischen den Orten (z. B. aus der Flugzeit) lässt sich daraus der Umfang der Erde ableiten.

3.2 Messungen am Horizont

Wenn man von einem Berg bei sehr klarem Wetter auf das Meer schaut und, z. B. mit einem Pendelquadranten, den Winkel gegen die Horizontale misst, unter dem man den Horizont sieht, stellt man fest, dass dieser Winkel kleiner als 0° ist. Auf einem 1000 m hohen Berg erhält man bereits einen Winkel von -1° , einen Wert, aus dem man sich bei bekannter Höhe den Erdradius berechnen kann.

Das Verschwinden von Schiffen unter dem Horizont lässt sich anhand von Fotos ebenfalls benutzen, um die Größe der Erde zu bestimmen (siehe die Praktikumsaufgabe [5]).

4. Die heutige Welt

Unsere heutige Welt ist nicht zu verstehen und hätte sich nicht so entwickeln können, wenn die Erde *keine* Kugel wäre: Der weltweite Reiseverkehr (z. B. die über den Pol führenden *Flugrouten* von Europa nach Kanada) wäre ohne die Kugelform unverständlich, und moderne Navigation wäre ohne GPS, das auf die Erde umkreisenden *Satelliten* beruht, nicht möglich. Kommunikation und Fernsehen beruhen auf Satelliten, die zum Teil geostationär sind. Sie sind immer über dem Äquator positioniert und umkreisen die Erde genauso schnell (d. h. mit derselben Frequenz), wie die Erde sich dreht. Deshalb „stehen“ sie immer über demselben Ort auf der Erde. Wie wäre das, ohne die Kugelform und die Drehung der Erde zu verstehen?

5. Schluss

Die Aussagen über die Form der Erde, ihre Drehung und ihre Bewegung um die Sonne sind schwer in Einklang mit

der eigenen unmittelbaren sinnlichen Erfahrung zu bringen². Kritische Fragen („Woher wissen wir ...“, „Ist ... echt oder zwingend?“) zu einzelnen Argumenten sollten deshalb ernst genommen und unterstützt werden. Sie sind Anzeichen von Kritikfähigkeit und wacher Intelligenz.

Einzelne Wahrnehmungen können auf Täuschungen beruhen, Fotos können sich als manipuliert oder gar gefälscht erweisen, und Messungen sind bei genauer Prüfung vielleicht nicht so überzeugend, wie sie dargestellt werden. Überwältigend überzeugend ist jedoch die Vielzahl und Unterschiedlichkeit der Argumente und Messungen:

- Ganz verschiedene Beobachtungen lassen sich zwanglos als Folge der Erdgestalt deuten: die Verkipfung des Himmels und die Zeitverschiebung bei Weltreisen, der sich zwischen dem Beobachter bzw. der Beobachterin und einem weit entfernten Ufer oder Schiff „aufwölbende Berg“ der Wasseroberfläche, der immer kreisförmige Erdschatten auf dem Mond bei Mondfinsternis, ...
- Tausende Fotos von der Erde, aufgenommen von vielen Astronauten und Astronautinnen bzw. Raumkapseln vieler Nationalitäten, zeigen ihre Form - selbst wenn sie sich als

zusammengesetzt oder im Einzelfall sogar als Fälschung herausstellen sollten.

- Die Größe der Erde, ihr Radius, kann mit vielen voneinander verschiedenen Methoden gemessen werden. Und das Ergebnis ist immer (fast³) dasselbe. Bei den Messungen nach Erathostenes mit Schattenstäben z. B. ist das Ergebnis unabhängig von den Orten der Messung und der Richtung, in der sie relativ zueinander liegen.

Die Menschheit hätte den Weltraum niemals erreicht, wenn sie nicht lange vorher die Kugelform der Erde erkannt und sie ausgenutzt hätte. Überhaupt ist unsere heutige Welt (Verkehr, Kommunikation, Navigation, ...) ohne Berücksichtigung der Erdgestalt völlig unverständlich.

Wichtig aber ist mir die Frage nach dem Ursprung dieses Wissens: Wie hat es die Menschheit herausgefunden (als sie noch nicht weit reisen konnte), und wie kann man es auch heute noch durch Nachvollzug der damaligen Argumente, Beobachtungen und Messungen und mit den eigenen Augen „einsehen“? Dazu hat Martin Wagenschein vor vielen Jahren einen wunderbaren Aufsatz geschrieben [15].

² Auf die Drehung der Erde (siehe z. B. [2]) und die Bewegung der Sonne bzw. der Erde um die Sonne, gehe ich hier nicht ein.

³ d. h. abgesehen von Abweichungen von der Kugelform, auf die ich hier nicht eingehe, und von Messungenauigkeiten

Udo Backhaus *Universität Duisburg-Essen*

Literatur

- [1] Backhaus, U.; Vornholz, D.: Wie lang ist Sylt?, *Astronomie und Raumfahrt*, 33/3, 32 (1996) (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/AstroMaterialien/Literatur/ErathostenesaufSylt.pdf>)
- [2] Backhaus, U., Draszow, S.: Dreht sich die Erde wirklich?, *Vorträge der DPG 2003 in Augsburg* (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/FallversucheDPG.pdf>)
- [3] Backhaus, U.: Die Größe der Erde und die Entfernung des Mondes. Anregungen zur astronomischen Zusammenarbeit zwischen Schulen. *Praxis der Naturwissenschaften/Physik* 62/8, 18 (2013) (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/ErdgroesseundMondentfernung.pdf>)
- [4] Backhaus, U.; Lindner, K.: *Astronomie plus*, Cornelsen: Berlin 2015
- [5] Backhaus, U.: Das Verschwinden eines Schiffes am Horizont, Aufgabe des Astronomischen Schlechtwetterpraktikums, (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/AstroPraktikum/Erdradius/SchiffamHorizont.zip>)
- [6] Backhaus, U.: Gedanken beim Sonnenuntergang, *PLUS LUCIS* 1-2/2015, 4 (2015) ([http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/GedankenbeimSonnenuntergang\(PlusLucis_1-2015\).pdf](http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/GedankenbeimSonnenuntergang(PlusLucis_1-2015).pdf))
- [7] Backhaus, U.: Orion und die Gestalt der Erde, *MNU* 68/2, 89 (2015)
- [8] Backhaus, U.: Gedanken und Beobachtungen beim Betrachten einer Mondfinsternis, *MNU Journal* 70/6, 364 (2017) (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/Mof2015MNUfinal.pdf>)
- [9] Backhaus, U.: Die Mondentfernung selbst messen, *Sterne und Weltraum* 58/1, 78 (2019)
- [10] Falke, T.: www.duene1.de/homepage/weiss11/weiss153.htm
- [11] Koelliker, O.: Die erste Umseglung der Erde, reprint der Originalausgabe von 1908, Reprint-Verlag: Leipzig o. J.
- [12] n-tv (21. 7. 2015): Nasa macht einzigartiges Foto der Erde, (<http://www.n-tv.de/wissen/Nasa-macht-einzigartiges-Foto-der-Erde-article15560691.html>)
- [13] Ossing, F.: Welches sind die vier stichhaltigsten Beweise dafür, dass die Erde eine Kugel ist?, (<https://www.wissenschaft-im-dialog.de/projekte/wieso/artikel/beitrag/welches-sind-die-vier-stichhaltigsten-beweise-dafuer-dass-die-erde-eine-kugel-ist/>)
- [14] Sobel, D.: *Längengrad*, Berlin-Verlag 2003
- [15] Wagenschein, M.: Die Erfahrung des Erdballs, in: "Naturphänomene sehen und verstehen – Genetische Lehrgänge", Klett, Stuttgart 1988 S. 309-342 (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/AstroMaterialien/Literatur/Erdball.pdf>)
- [16] Wagenschein, M.: *Mathematik aus der Erde (Geo-metrie)*, in: *Naturphänomene sehen und verstehen. Genetische Lehrgänge*. Stuttgart: Klett 1988, S. 298ff (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/AstroMaterialien/Literatur/WagenscheinMathematikausderErde.pdf>)
- [17] „WDR 5 – LEONARDO“: Die Vermessung der Erde, WDR 5, 24. 4. 2009 (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/IYA2009/impressions/Essen/Erdvermessung%iml%20Jahr%20der%20A...pdf> und [http://www.didaktik.physik.uni-due.de/IYA2009/SchwerpunktVermessung\(LEONARDOau090425\).mp3](http://www.didaktik.physik.uni-due.de/IYA2009/SchwerpunktVermessung(LEONARDOau090425).mp3)) (Tonaufnahme)

Bildnachweise

Abb. 1 links: Udo Backhaus, rechts: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg

Abb. 2 links: Udo Backhaus, rechts: Falke, T. (www.duene1.de/homepage/weiss11/weiss153.htm), Copyright Thorsten Falke, Genehmigung erteilt (Thorsten Falke, Düne, 27498 Helgoland; duene1.aol.com)

Abb. 3 Quelle nicht mehr auffindbar

Abb. 4 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Time_Zones_Map.png

Abb. 5 Bild von Patty Jansen auf Pixabay

Abb. 6 links: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weltumsegelung_von_Ferdinand_Magellan_und_Juan_Sebastian_Elcano.png (Copyright: Lencer),

rechts: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Around_the_World_in_Eighty_Days_map.png#mw-jump-to-license (Copyright: Roke)

Abb. 7 Udo Backhaus

Abb. 8 Udo Backhaus

Abb. 9 Udo Backhaus und Alfred Knülle-Wenzel (Genehmigung erteilt)

Abb. 10 links: <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a410/AS8-14-2383HR.jpg>, <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>,
rechts: <http://sci.esa.int/mars-express/33538-earth-and-moon-captured-by-hrsc/> https://planetary.s3.amazonaws.com/assets/images/3-earth/2013/20130613_Mars_Express_Earth-Moon_image.jpg

Abb. 11 aus Backhaus et al. [4]

Abb. 12 <https://www.stratoflights.com/education/beispiel-projekte/>

Abb. 13 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:STS-128_ISS_Separation_01.jpg

Abb. 14 Udo Backhaus

Abb. 15 links: Udo Backhaus (erzeugt mit Guide), rechts: Alfred Knülle-Wenzel (Genehmigung erteilt)

Abb. 16 Simulation von Udo Backhaus

Abb. 17 Udo Backhaus

Kurkuma als Thema im Chemieunterricht

Rosina Steininger

Das Thema „Kurkuma“ lässt sich im Chemieunterricht auf unterschiedliche Weise aufgreifen. Kurkuma zählt zu den natürlichen Färbepflanzen, die seit Jahrhunderten zum Färben von Textilien eingesetzt werden. Am Beispiel des Farbstoffs Curcumin, der im Rhizom (unterirdisch wachsender Spross) enthalten ist, können sowohl das Struktur-Eigenschafts-Konzept als auch das Donator-Akzeptor-Konzept wiederholt werden.

Auch eignet sich die Verbindung als Einstieg in das Thema Farbstoffe (Fachwissen). Darüber hinaus können die Ergebnisse, die es aktuell zur medizinischen Wirkung von Kurkuma bzw. Curcumin gibt, herangezogen werden, um den Prozess und die Herausforderungen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu thematisieren (Wissen über die Naturwissenschaften).

1. Fachwissen rund um Kurkuma

1.1 Kurkuma und Curcumin

Kurkuma (*Curcuma longa*), auch Gelbwurz genannt, besteht zum überwiegenden Teil aus Kohlenhydraten (60-70%), allen voran Stärke. Der gelbe Farbstoff, dem auch die heilende Wirkung zugeschrieben wird, macht nur ein bis sechs Gewichtsprozent des Rhizoms aus. Er ist ein Gemisch aus Curcumoiden, deren wichtigster Vertreter das Curcumin ist.



Abbildung 1. Blühende Kurkumapflanze [1]



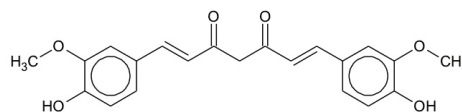
Abbildung 2. Kurkumarhizom und -pulver [2]

Die Gewinnung von Curcumin aus dem Kurkumarhizom erfolgt mittels Extraktion. Dabei werden organische Lösungsmittel wie beispielsweise Hexan, Aceton und verschiedenen Arten von Alkoholen, allen voran Ethanol, verwendet. Curcumin wird überdies auch synthetisch hergestellt [3][4].

1.2 Curcumin – Wie die Struktur die Eigenschaften bestimmt

1.2.1 Die Strukturformel von Curcumin

Curcumin ist eine symmetrisch aufgebaute organische Verbindung mit zwei aromatischen Ringen und zwei Doppelbindungen im Kohlenstoffgrundgerüst sowie mehreren unterschiedlichen funktionellen Gruppen (phenolische Hydroxy-, Methoxy- und Oxo-Gruppen). Der systematische Name nach IUPAC ist dementsprechend kompliziert, doch könnten SchülerInnen die funktionellen Gruppen bestimmen und bei gegebenem Namen versuchen, die Silben den jeweiligen Bereichen in der Strukturformel zuzuordnen.



(1E,6E)-1,7-Bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)hepta-1,6-dien-3,5-dion

Abbildung 3. Strukturformel und Bezeichnung von Curcumin nach IUPAC (eigene Abbildung)

Zu den Curcumoiden zählen neben Curcumin auch noch Demethoxy- und Bisdemethoxycurcumin. Ihnen fehlen – verglichen mit Curcumin – eine bzw. beide Methoxy-Gruppen. Curcumin ist ein gutes Beispiel für das Phänomen der Tautomerie, der Wanderung eines Wasserstoffatoms innerhalb eines Moleküls, und damit ein Spezialfall des organischen Reaktionstyps der Umlagerung. Genauer gesagt handelt es sich um die sogenannte Keto-Enol-Tautomerie, bei der ein Wasserstoff-Atom von einem Kohlenstoff-Atom in unmittelbarer Nachbarschaft zur Ketogruppe zum Sauerstoffatom der Ketogruppe wandert. Auf diese Weise entsteht ein ungesättigter Alkohol (Enol).

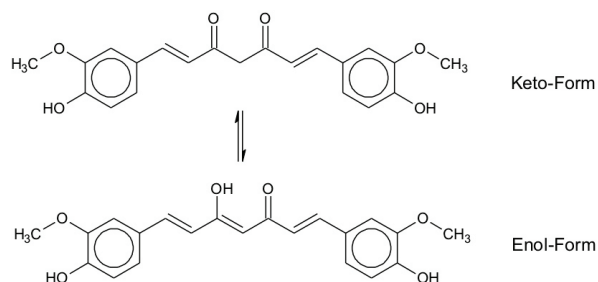


Abbildung 4. Keto-Enol-Tautomerie bei Curcumin (eigene Abbildung)

1.2.2 Löslichkeit von Curcumin

Kurkuma (und damit auch Curry) zählt wie Paprika zu jenen Gewürzen, die man zunächst in Fett aufschäumen sollte, bevor man das Gericht mit Wasser oder Suppe aufgießt. Denn nur so entfalten diese Gewürze ihr volles Aroma. Grund dafür ist die unterschiedliche Löslichkeit der Substanzen im jeweiligen Medium. Sie lässt sich mit Blick auf die Strukturformel auf die zwischenmolekularen Wechselwirkungen zurückführen. Die zwei phenolischen OH-Gruppen machen Curcumin auf Grund der dadurch möglichen Wasserstoffbrückenbindungen zwar tendenziell wasserlöslich, doch ist ihr Einfluss sehr gering. Das große apolare Kohlenstoffgrundgerüst (insgesamt 19 Kohlenstoff-Atome) bewirkt, dass die van der Waals'schen Wechselwirkungen dominieren und das Molekül sich nur in apolaren Lösungsmitteln löst. Daran ändern auch die beiden Ketogruppen, die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen ermöglichen, nichts.

1.3 Curcumin als Farbstoff

Kurkuma wird seit Jahrhunderten zum Färben von Textilien verwendet. Dabei nimmt man die Tatsache in Kauf, dass der Farbstoff nicht lichtecht ist und daher im Lauf der Zeit verblasst. Auch zum Färben von Lebensmitteln kommt Curcumin zum Einsatz, wo es durch die Nummer E 100 gekennzeichnet wird. Häufiger als der isolierte Farbstoff kommt Kurkuma-Pulver zum Einsatz. Es gilt als färbendes Gewürz und trägt daher keine E-Nummer.

Ein Stoff erscheint farbig, wenn er einen Teil des sichtbaren Lichts (400 - 700 nm) absorbiert. Die Energie des absorbierten Lichts wird dazu verwendet, Elektronen anzuregen. Jene Wellenlängenbereiche, die nicht absorbiert werden, ergeben zusammen die Komplementärfarbe des absorbierten Lichts. So erscheint beispielsweise ein Stoff der kurzwelliges und damit energiereiches „blaues“ Licht absorbiert, gelb. Absorbiert er hingegen längerwelliges, energieärmeres „grünes“ Licht, so erscheint er rot.

Organische Farbstoffe weisen charakteristische Strukturelemente auf, die das Anregen von Elektronen ermöglichen: sogenannte konjugierte Doppelbindungen, bei denen sich formal Einfach- und Doppelbindungen abwechseln sowie aromatische Ringsysteme. In diesen Bereichen des Moleküls kommt es durch Überlagerung der Atomorbitale zur Mesomerie: Die Elektronen der bindenden Elektronenpaare sind nicht fix zwischen zwei Atomen lokalisiert, sondern über diesen Bereich hinweg frei beweglich. Je größer dieser Bereich, umso weniger Energie ist notwendig, um Elektronen anzuregen.

Curcumin weist sowohl aromatische Ringe als auch konjugierte Doppelbindungen auf. Es enthält zwei mesomere Bereiche, denn zwischen den beiden Keto-Gruppen gibt es zwei Einfachbindungen. Die Elektronen sind deshalb nicht über das gesamte Molekül hinweg frei beweglich. Um Elektronen anzuregen, reicht dennoch kurzwelliges, energiereiches Licht

aus dem sichtbaren Spektrum aus. Curcuma erscheint in der Folge gelb.

1.4 Curcumin, ein besonderer Farbstoff

Der Farbstoff Curcumin zeigt zwei besondere Eigenschaften: Er fluoresziert und er verändert im basischen Milieu seine Farbe.

Ein fluoreszierender Farbstoff emittiert unter UV-Strahlung sichtbares Licht. Die energiereiche UV-Strahlung bewirkt, dass Elektronen des Farbstoffmoleküls vorübergehend in einen angeregten Zustand angehoben werden. Die Elektronen verlieren Teile der dadurch aufgenommenen Energie als Schwingungsenergie und fallen schließlich in den Grundzustand zurück. Dabei emittieren sie Licht aus dem sichtbaren Bereich. Im Falle des Curcumins ist ein grünelbliches Leuchten zu sehen. Die Tatsache, dass eine curcuminhaltige Lösung ihre Farbe im basischen Milieu von gelb auf rotbraun ändert, macht Curcumin zu einem Säure-Base-Indikator. Das bedeutet, dass die Indikatorsäure Curcumin (gelb) ein Proton abgeben kann und dabei zur Indikatorbase (braun) wird. Dieser Umschlagbereich liegt bei pH 7,5 - 8,5.

Zunächst stellt sich die Frage, welches Wasserstoff-Atom als Proton abgegeben wird. Die Wasserstoff-Atome der phenolischen Hydroxy-Gruppen werden tendenziell leichter abgespalten als das Wasserstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe des Enols. Wird ein phenolisches Wasserstoff-Atom als Proton abgegeben, kommt es zu einer Strukturänderung im Molekül: Doppelbindungen verschieben sich und die beiden zuvor isolierten mesomeren Bereiche vereinigen sich zu einem einzigen größeren Bereich. In der Folge ist weniger Energie notwendig, um Elektronen anzuregen, die Indikatorbase absorbiert langwelligeres Licht (490 nm) als die Indikatorsäure (425 nm) und erscheint deshalb rotbraun und nicht gelb.

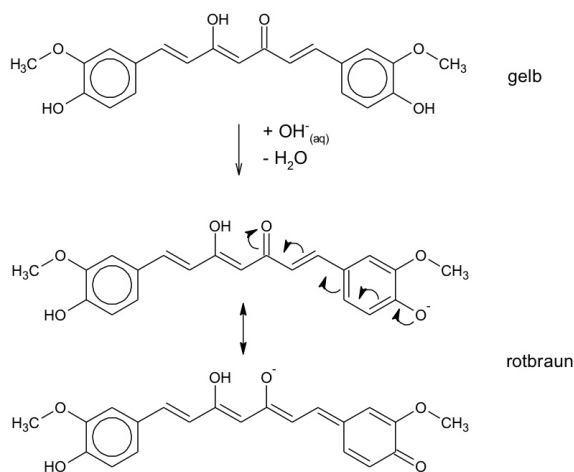


Abbildung 5. Die Veränderung des Mesomeriebereichs bei Curcumin durch Protonenabgabe in basischer Lösung (eigene Abbildung)

In stark basischer Lösung bei pH-Werten über pH 10, werden auch das Wasserstoff-Atom der zweiten phenolischen Hydroxy-

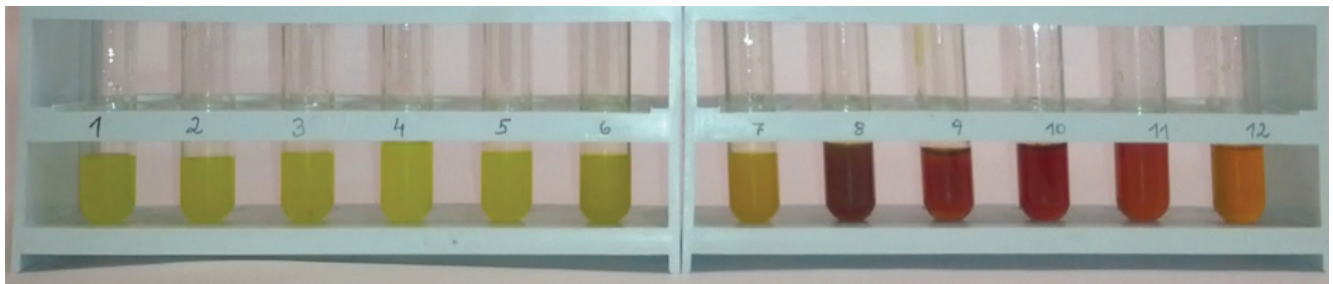


Abbildung 6. Farbskala von ethanolischem Kurkumaextrakt, versetzt mit Pufferlösungen verschiedener pH-Werte im Verhältnis 1:3 (eigene Abbildung)

Gruppen sowie das der Hydroxy-Gruppe des Enols abgespalten. Das mesomere System wird dadurch wieder kleiner, die Farbe wechselt von rotbraun auf orange.

Die Indikatoreigenschaften von Curcumin lassen sich dazu heranziehen, Safran auf seine Echt- bzw. Reinheit zu untersuchen. Ist der wesentlich teurere Safran mit Curcumin versetzt, so ändert sich die Farbe der Lösung im basischen Milieu.

2. Konsumententscheidungen und naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung am Beispiel von Kurkuma

Noch vor wenigen Jahren war Kurkuma ein Gewürz, das in unseren Breiten in der Regel nur Menschen kannten, die gerne indisch kochen. Auch heute wissen nur wenige, dass Curry eine Gewürzmischung ist, deren intensiv gelbfärbende Wirkung auf den Inhaltsstoff Kurkuma zurückzuführen ist. In den letzten Jahren sind allerdings einige kurkumahaltige Produkte auf den Markt gekommen. So gibt es heute beispielsweise verschiedenen Sorten von Kurkumatee und Kurkumakapseln, aber auch ganze frische Kurkumarhizome zu kaufen.



Abbildung 7. Kurkumarhizom, Curcumin-Kapseln und Kurkumatee (eigene Abbildung)

Während beim Konsum von Tee und der Verwendung des Rhizoms in der Küche die geschmackliche Komponente im Vordergrund steht, preisen die Hersteller der Kapseln Kurkuma als wahres Wundermittel an und verkaufen es als Nahrungsergänzungsmittel. Kurkuma wirke gleichzeitig gegen Krebs, Alzheimer, Multiple Sklerose, Bluthochdruck und einiges andere mehr.

Zu den Zielen naturwissenschaftlicher Grundbildung zählt es, Schülerinnen und Schüler dabei zu unterstützen, mündige Konsumentinnen und Konsumenten zu werden. Das Thema Kurkuma bietet zum einen die Gelegenheit, allgemein Vor- und/oder Nachteile bzw. Unterschiede zwischen Naturprodukten und synthetisch erzeugten Substanzen und ebenso Unterschiede von Schul- und sogenannter Komplementärmedizin zu diskutieren. Exemplarisch können aber auch Werbetexte für kurkumahaltige Präparate einem wissenschaftlich fundierten Text vergleichend gegenübergestellt werden, der 2017 im NATURE, einer der namhaftesten naturwissenschaftlichen Zeitschriften, veröffentlicht wurde [5].

Dieser Text fasst auf weniger als einer Seite die Ergebnisse eines ebenfalls 2017 im Journal of Medical Chemistry erschienenen Reviews über Studien zur Wirksamkeit von Curcumin als Arzneimittel zusammen [6]. Die Autorinnen und Autoren kommen zu dem Schluss, dass es bislang keine Belege dafür gibt, dass Curcumin bei Menschen von therapeutischem Nutzen ist. Das gilt für sämtliche Anwendungsgebiete bzw. Krankheiten. So fehlen z. B. randomisierte Doppelblindstudien, mit denen reine Placebo-Effekte ausgeschlossen werden könnten. Das ist umso erstaunlicher, als bereits über 120 klinischen Studien durchgeführt wurden und die Zahl der Veröffentlichungen insgesamt mit über 15.000 angegeben wird. Wie stark das wissenschaftliche Interesse an Curcumin als natürlichem Arzneimittel ist, zeigt die rasant ansteigende Zahl an Publikationen pro Jahr: Waren es im Jahr 2000 noch rund 150, so zählte man 2015 bereits über 1500. Gleichzeitig wurden seit 2009 mindestens 15 Artikel zurückgezogen und dutzende korrigiert. Im Review heißt es: „Curcumin is best typified, therefore, as a missile that continually blows up on the launch pad, never reaching the atmosphere or its intended target(s).“ [6]

Als Gründe dafür, warum Curcumin als medikamentöser Wirkstoff denkbar schlechte Voraussetzungen mit sich bringt, nennen die Autorinnen und Autoren, seine geringe Wasserlöslichkeit und Bioverfügbarkeit. Das heißt, es wird im Magen-Darm-Trakt nur in einem sehr geringen Maß absorbiert. Darüber hinaus ist es chemisch instabil und wirkt nicht selektiv. Die WissenschaftlerInnen zählen Curcumin zu den sogenannten PAINS, den Pan-Assay-Interferenzverbindungen. PAINS sind chemische Verbindungen, die oft falsch positive Ergebnisse liefern. Sie neigen dazu, unspezifisch mit zahlreichen

biologischen Zielen zu reagieren, anstatt ein gewünschtes Ziel spezifisch zu beeinflussen.

Das letzte Wort hinsichtlich des therapeutischen Nutzens von Kurkuma ist noch nicht gesprochen. Im Chemieunterricht darüber urteilen zu wollen, wäre vermessen. Was im Zuge des Chemieunterrichts jedoch möglich ist, ist bei Schülerinnen und Schülern ein Bewusstsein dafür zu wecken, wie komplex naturwissenschaftliche Forschung und Erkenntnisgewinnung sind. Die Lernenden sollen begreifen, dass dazu der oft schwierige Weg von der Fragestellung zum experimentellen Design, von der Durchführung zur Datenerhebung und von der Analyse der Daten zu deren Interpretation und schließlich zur Schlussfolgerung beschritten werden muss. Dieser Weg ist alles andere als geradlinig. Ihn zu gehen, erfordert eine Vielzahl an Entscheidungen und neben fundiertem Fachwissen

auch Offenheit, Hingabe, Kreativität und Kooperation der Forscherinnen und Forscher.

Nicht zuletzt braucht Wissenschaft ausreichende finanzielle Mittel. Diese wiederum sind dann leichter zu lukrieren, wenn die Hoffnung besteht, die Ergebnisse zum Wohl der Menschheit und/oder zum kommerziellen Nutzen eines Auftraggebers verwerten zu können.

Links zu Informationen, Versuchsanleitungen und Videos zum Thema Kurkuma, Curcumin und seiner Anwendung als (Indikator)-Farbstoff findet man in den Online-Ergänzungsmaterialien zu diesem Heft unter aecce.univie.ac.at.

Rosina Steininger *Österr. Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie, Universität Wien, PH Wien und KPH Wien*

Literatur

- [1] <https://pixabay.com/de/pflanze-blume-kurkuma-rosa-2706713/> (Freie kommerzielle Nutzung, kein Bildnachweis nötig)
- [2] <https://pixabay.com/de/kurkuma-gew%C3%BCrz-curry-w%C3%BCrz-zutat-3251560/> (Freie kommerzielle Nutzung, kein Bildnachweis nötig)
- [3] Rao, E. V., & Sudheer, P. (2011). Revisiting curcumin chemistry part I: a new strategy for the synthesis of curcuminoids. *Indian journal of pharmaceutical sciences*, 73(3), 262-70. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3309644/> [13.08.2019]
- [4] Zetterström, S. (2012). Isolation and synthesis of curcumin. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A559873/FULLTEXT01.pdf> [13.08.2019]
- [5] Baker, M. (2017). Deceptive curcumin offers cautionary tale for chemists. *Nature News*, 541(7636), 144. https://www.nature.com/polopoly_fs/1.212691/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/541144a.pdf [13.08.2019]
- [6] Nelson K. M. et al. (2017). The Essential Medicinal Chemistry of Curcumin. *Journal of Medicinal Chemistry*, 60 (5), 1620-1637. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.6b00975

Quantenphysik g²reifbar unterrichten

Philipp Bitzenbauer und Jan-Peter Meyn

1. Herausforderungen beim Lernen von Quantenphysik

Quantenphysik unterscheidet sich von der klassischen Physik fundamental: Während Beobachtungen mechanischer Vorgänge einfach möglich sind und sich durch den Beobachtungsprozess kein Einfluss auf den Vorgang ergibt, sind vergleichbare Beobachtungen in der Quantenphysik nicht möglich, da jeder Messprozess den Zustand eines Quantensystems ändert [1]. Weil wir Menschen im Alltag keine Erfahrungen mit der Quantenphysik machen, wie es mit der klassischen Physik alltäglich der Fall ist, bleibt die Quantenphysik unanschaulich [2]. Alle menschengemachten Bilder, Modelle oder Analogien zur Veranschaulichung der Quantenphysik sind nur auf den ersten Blick hilfreich, ziehen aber nachweislich Fehlvorstellungen nach sich [3]. Die Frage „Wie kann das denn so sein?“, die sich daher in der Quantenphysik auftut, ist nach Feynman „Ausdruck eines unkontrollierten aber vergeblichen Wunsches, es als etwas Vertrautes ansehen zu wollen.“ [4]. In diesem Artikel soll gezeigt werden, wie quantenoptische Konzepte in ein Unterrichtskonzept eingebettet unterrichtet werden können, um anhand von Experimenten mit einzelnen Photonen in die Quantenphysik einzuführen.

2. Phänomene der Quantenphysik beobachten?

Das Experiment ist zentral im naturwissenschaftlichen Unterricht, um die Schülerinnen und Schüler beim Herstellen von Verbindungen zwischen dem Beobachtbaren und dem Gedachten zu unterstützen [5]. Das Verbinden von Theorie und Praxis ist einer europäischen Studie des IPN zufolge eines der primären Ziele, das Lehrpersonen mit dem Experimentieren im Unterricht verfolgen [6]. Im Experiment beobachtbare Phänomene, wie die Hebung in der Optik oder das Sieden von Wasser in der Thermodynamik, gibt es in der Quantenphysik nicht. Insofern könnte man die Frage nach der Existenz von Quantenphänomenen verneinen. Andererseits könnte man die Frage ebenso gut bejahen, wenn man zuerst an das Strahlungsgesetz Plancks denkt und an Effekte ohne klassische Deutung, wie die Supraleitung.

Der Photoeffekt ist ein interessanter Fall: Die durchgehend quantenphysikalische Deutung ist möglich und weit verbreitet, aber nicht notwendig, jedenfalls was die Natur des Lichts betrifft. Die semiklassische Deutung basiert auf Atomen, die mit der Schrödinger-Gleichung beschrieben werden, aber das Licht wird als klassische elektromagnetische Welle behandelt. Der Ansatz für eine Störungsrechnung liefert quantitativ richtige Resultate [7]. Deshalb kann der Photoeffekt nicht zum Nachweis der Quantennatur des Lichts genommen werden.

Beobachtbare Phänomene, wie in der klassischen Physik, gibt es in der Quantenphysik nicht. Und solche, wie den Photoeffekt, kann man klassisch erklären, sodass ein neuer Ansatz notwendig ist, der in diesem Artikel vorgestellt werden soll:

Zum Nachweis von echten Quanteneffekten im Experiment im Klassenzimmer werden besondere technische Hilfsmittel nötig. Die zu universitären Ausbildungszwecken mittlerweile an etlichen Standorten entwickelten Einzelphotonenexperimente müssen dazu sowohl didaktisch als auch methodisch aufbereitet werden [8, 9]. Das einzige, was in diesen Experimenten beobachtbar ist, ist die Zählraten der eingesetzten Detektoren in Ereignissen pro Sekunde. Daher muss das, was mit den Bestandteilen (wie den Detektoren) in die Experimente hineingetragen wird, verstanden werden. Außerdem müssen für eine Verbindung von Theorie und Experiment die ausgegebenen Zahlen sinnvoll interpretiert werden. Das verbindende Hilfsmittel ist die Mathematik.

3. Mathematik als Vermittler von Anschaulichkeit?

Häufig werden Formeln als eine entscheidende Ursache von Schülerschwierigkeiten im Physikunterricht bezeichnet, wenngleich unterschiedliche Studien ein etwas differenzierteres Bild zeichnen [10, 11]. Stattdessen ermöglicht die Mathematik eine hohe Exaktheit in der Beschreibung von Physik; die Formeln sind ein „Modell zum Verständnis der Welt“ [12]. Zentral ist die Frage nach dem Umgang mit der Physik. Ein Übergang von einer rein quantitativ eingesetzten Mathematik hin zu einer „konzeptuell-mathematischen Physik“ stellt den Übersetzungsprozess zwischen physikalischer Bedeutung und mathematischer Struktur in den Vordergrund [13].

Eine solche Mathematik soll auch im hier vorgestellten Unterrichtskonzept zur Quantenoptik als verbindendes Element von Theorie und Experiment fungieren, wie sich später zeigt.

4. Konzept zur Quantenoptik

Die Forderung der experimentellen Umsetzbarkeit führt zu einer Lehre der Quantenphysik, die in der Optik begründet ist [14]. Die Quantenphysik wird als Erweiterung der weiterhin gültigen klassischen Optik formuliert. Der Zugang zur Quantenphysik aus der Optik ist sehr direkt: Die Berücksichtigung zeitlicher Bezüge führt auf Quantenphänomene. Das ist ein großer Schritt, denn bis dahin ist die Optik eine rein räumliche Angelegenheit, beim Strahlenmodell in der geometrischen Optik sowieso, aber auch bei Beugung und Interferenz. Im Zentrum dieses Zugangs stehen Koinzidenz- und Korrelationsexperimente (vgl.

Abbildung 1). Der Verzicht auf einen Welle-Teilchen-Dualismus macht eine Diskussion über den mechanistischen Bahn­begriff im Kontext der Quantenphysik überflüssig. Die eingebundenen Einzelphotonenexperimente basieren auf dem Prinzip angekündigter Photonen. Dabei werden Zwilling­photonen in einem nichtlinearen Kristall (Beta-Bariumborat, kurz BBO) durch parametrische Abwärtskonversion (engl. parametric down conversion) generiert und die Präparation der Einzelphotonen basiert auf der Koinzidenzmethode. Interessierte finden technische Details und Justageanleitungen unter anderem bei [15, 14].

Infobox Parametrische Fluoreszenz

Die parametrische Fluoreszenz, englisch parametric downconversion (PDC), erscheint in optisch nichtlinearen Medien. Spezielle Kristalle wie Beta-Bariumborat haben kein Inversionszentrum und bei der Einstrahlung intensiven Lichts werden aufgrund unsymmetrischer nichtlinearer Polarisation elektromagnetische Felder mit neuen Frequenzen erzeugt. Beispielsweise enthalten die bekannten grünen Laserpointer optisch nichtlineare Kristalle zur Frequenzverdopplung eines Infrarotlasers. Die parametrische Fluoreszenz ist nicht mit klassischen elektromagnetischen Feldern erklärbar, sondern erfordert die Quantenfluktuation des Vakuums zur Erklärung. Diesbezüglich ist sie eng verwandt mit der spontanen Emission von Atomen. Die Lösung der Schrödinger-Gleichung liefert stationäre Zustände, also stabile angeregte Atome. Erst die Quantenelektrodynamik gibt eine quantitative Erklärung der spontanen Emission.

In den ersten beiden Stunden wird die Funktionsweise von Einzelphotonendetektoren (hier Avalanche Photo Diode, kurz: APD) mittels einer Schneelawinenanalogie (vgl. Tabelle 1) erklärt. Die Detektoren selbst unterliegen einem stochastischen Prozess – sie klicken zufällig auch ohne Beleuchtung. Diese Erkenntnis zeigt, dass von einem Klick eines Detektors keine Rückschlüsse gezogen werden können auf die Ursache des Klicks. Mit diesem Hintergrundwissen wird dann der Koinzidenzbegriff eingeführt. Mit Hilfe der Koinzidenzmessung werden die Einzelphotonen präpariert: Ein Klick beim einen Detektor (genannt Bob) ist notwendige Voraussetzung für ein Photon beim zweiten Detektor (genannt Alice). Die Rollen von Alice und Bob sind vertauschbar.

Die koinzidenten Ereignisse definieren dann das Experiment: Das Klicken der Detektoren wird gezielt beabsichtigt und ist nicht bereits das Ergebnis der Messung.

Tabelle 1: Schneelawinenanalogie zur Erklärung der Funktionsweise der Einzelphotonendetektoren.

Avalanche Photo Diode	Schneelawine
Elektronen auf hohem elektrischem Potential (metastabiler Zustand)	Schnee auf hohem Gravitationspotential (metastabiler Zustand)
Eine kleine in den Detektor fallende Energiemenge genügt, um die Elektronen freizusetzen	Eine kleine mechanische Störung genügt, um die Schneemassen freizusetzen
Freigesetzte Ladungsträger setzen weitere Ladungsträger frei	Eine sich bergab bewegende Lawine nimmt weiteren Schnee auf
Totzeit	Zeit, bis sich wieder Schnee auf dem Berg angesammelt hat
Dunkelzählereignis	Spontaner Schneeabgang

Die Photonen werden in diesem Konzept theoretisch vorausgesetzt. Für das grundlegende Koinzidenzexperiment zur Präparation einzelner Photonen werden zwei Detektoren (Alice und Bob) benötigt.

Im Laufe des Unterrichtskonzepts wird das Koinzidenzexperiment erweitert, um Eigenschaften des Photons zu untersuchen. Dabei orientieren sich die Experimente an denen aus der Originalpublikation von Grangier et al., die mit den Schülerinnen und Schülern gelesen werden kann [16]. In einem ersten Schritt wird die Unteilbarkeit von Photonen am Strahlteiler gezeigt. Um die ontische Frage nach dem Sein von Photonen zu klären, kann im Anschluss noch Einzelphotoneninterferenz im Michelson-Interferometer mit dem endgültigen Versuchsaufbau (siehe Abbildung 1) gezeigt werden. Damit muss die Vorstellung des Photons als lokalisierbares Teilchen fallen gelassen werden.

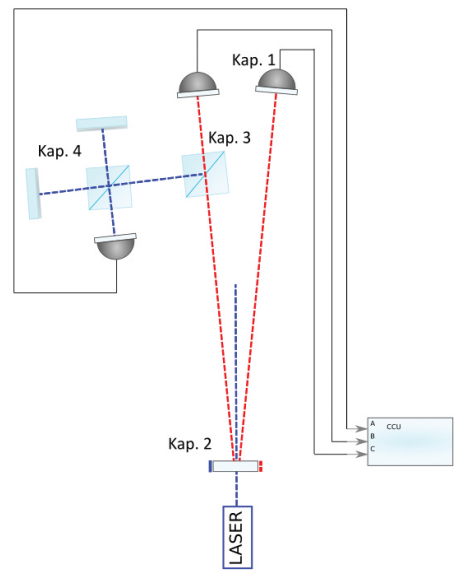


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Experiments nach Grangier et al. [14]. Damit kann gleichzeitig die Unteilbarkeit von Photonen am Strahlteiler und die Einzelphotoneninterferenz gezeigt werden. Abbildung nach [23].

Gegliedert ist das Unterrichtskonzept in vier Kapitel, die jeweils in einer Doppelstunde behandelt werden können:

- Kapitel 1: Detektion von Licht
- Kapitel 2: Einzelphotonenquelle und Koinzidenzen
- Kapitel 3: Licht am Strahlteilerwürfel und Unteilbarkeit von Photonen
- Kapitel 4: Experiment von Grangier et al.: Interferenz einzelner Photonen

Erarbeitet wurden Arbeitsblätter und Unterrichtsentwürfe, in die die Einzelphotonenexperimente eingebettet sind. Alternativ stellen wir zu den Realexperimenten auch interaktive Bildschirmexperimente unter www.quantumlab.de zur Verfügung. Zur fachlichen und methodischen Unterstützung wird eine Handreichung zum Konzept zur Verfügung gestellt.

5. Unteilbarkeit von Photonen

Stellt man einen halbdurchlässigen Spiegel (Laborsprache: Strahlteilerwürfel) in den Grundaufbau und fügt einen dritten Detektor am reflektierenden Ausgang des Strahlteilerwürfels (vgl. Abbildung 1) ein, so wird die Zählrate am reflektierten und transmittierten Ausgang in etwa der Hälfte der Zählrate bei Bob entsprechen. Daraus die Unteilbarkeit des Photons am Strahlteiler zu schließen, wäre aber ein Trugschluss: Denn auch bei klassischem Licht wird die Intensität an den Ausgängen im Falle eines 50:50-Strahlteilers halbiert sein und man erwartet daher eine Halbierung der üblichen Zählraten. Stattdessen spielt die Rate der sog. Triplekoinzidenzen eine Rolle. Eine Triplekoinzidenz würde bedeuten, dass gleichzeitig der Detektor am reflektierten, als auch der am transmittierten Ausgang des Strahlteilerwürfels koinzident mit Bob klickt. In diesem Fall hätte sich das Photon am Strahlteiler geteilt. Um zu zeigen, dass dies nicht der Fall ist, ist es notwendig die Zählraten gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern genauer zu untersuchen.

Mit den Schülerinnen und Schülern werden dazu zunächst zwei grundlegende Zusammenhänge thematisiert:

1. Der offensichtliche Zusammenhang zwischen der Anzahl der Detektionsereignisse und der Detektionswahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Gesamtzahl der Experimente (Detektionsereignisse bei Bob). Dies lässt sich mit Hilfe einfacher Prozentrechnung genauer erklären: Die Wahrscheinlichkeit der Detektion entspricht dem Prozentsatz P_X , die Anzahl der Experimente entspricht dem Grundwert:

$$N_X = P_X \cdot N_B$$

wobei N_B die Anzahl der Detektionsereignisse bei Bob ist.

2. Im Kapitel zum Koinzidenzexperiment beobachteten die Schülerinnen und Schüler, dass die „Klicks“ an den Detektoren zufällig verteilt und unabhängig voneinander sind. Am Beispiel des Werfens von zwei fairen Münzen werden die Lernenden dann an die stochastische Unabhängigkeit zweier Ereignisse erinnert. Unter der Annahme zufälliger und unabhängiger „Klicks“ an zwei Detektoren A und B kann man für die Wahrscheinlichkeit eines koinzidenten Ereignisses an den Detektoren A und B

$$P_{AB} = P_A \cdot P_B$$

schreiben, wobei P_X die Wahrscheinlichkeit einer Detektion am Detektor X ist.

Beim Übergang vom Koinzidenzexperiment zum Aufbau nach Grangier et al. [16] wird das Experiment bei Alice aufgespaltet und zwar in einen am Strahlteiler reflektierten und einen transmittierten Teil (A_R bzw. A_T). Beide Detektoren sehen also durch den halbdurchlässigen Spiegel auf den BBO-Kristall. Im Kontext der Untersuchung von einzelnen Photonen am

halbdurchlässigen Spiegel bezeichnet man die Zählrate des Detektors am reflektierten Ausgang des Strahlteilers mit N_R und die des Detektors am transmittierten Ausgang mit N_T ; entsprechend werden die Wahrscheinlichkeiten indiziert. Stehen zwei oder mehr Detektoren indiziert, so werden damit Koinzidenzraten zwischen diesen Detektoren bezeichnet. N_{BTR} ist beispielsweise die Zählrate der Koinzidenzen zwischen allen drei Detektoren pro Sekunde. Die Bedeutung der Zählraten wird mit den Schülerinnen und Schülern im Zuge der Durchführung des Unterrichtskonzepts detailliert besprochen. Die verwendete Auswertelektronik kann diese Zählraten unmittelbar auf einem angeschlossenen Bildschirm anzeigen.

In einem nächsten Schritt erhalten die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe, die Formel

$$P_{BTR} = P_{BT} \cdot P_{BR}$$

in eine Gleichung zu übersetzen, die nur noch messbare Größen enthält. Daher wird die Gleichung aus 1. wie folgt verwendet.

$$\begin{aligned} P_{BTR} &= P_{BT} \cdot P_{BR} \\ \underbrace{P_{BTR} \cdot N_B \cdot N_B}_{N_{BTR} \cdot N_B} &= \underbrace{P_{BT} \cdot N_B}_{N_{BT}} \cdot \underbrace{P_{BR} \cdot N_B}_{N_{BR}} \\ N_{BTR} \cdot N_B &= N_{BT} \cdot N_{BR} \end{aligned}$$

Natürlich ist eine Lenkung durch die Lehrkraft an dieser Stelle nötig; man teilt durch die rechte Seite der Gleichung und erhält

$$\alpha := \frac{N_{BTR} \cdot N_B}{N_{BT} \cdot N_{BR}} = 1,$$

für zufällige und unabhängige Impulse an den Detektoren. Zusammen mit den Lernenden untersucht man dann den Fall $\alpha = 0$. Dieser tritt ein, wenn der Zähler $N_{GTR} \cdot N_G$ im Ausdruck für α verschwindet. Weil $N_B \neq 0$, folgt $N_{BTR} = 0$. Die physikalische Interpretation ist offensichtlich: Das Photon kann am Strahlteiler nicht aufgeteilt werden. Aus Sicht der Detektoren A_R bzw. A_T , die beide durch den halbdurchlässigen Spiegel auf den Kristall schauen: Entweder sieht der eine, oder der andere etwas. Somit wird in diesem Konzept ganz explizit die Verbindung von physikalischer Bedeutung und mathematischer Struktur ins Zentrum gestellt.

Im anschließenden Realexperiment werden die Zählraten gemessen und gemeinsam werden die Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm kopiert, um α zu berechnen. In dem in Abbildung 1 dargestellten Versuchsaufbau haben wir $\alpha = 0,04 \pm 0,003$ gemessen. Triplekoinzidenzen tauchen also tatsächlich seltener auf, als erwartet: nur $\frac{1}{25}$ der durch zufällige Koinzidenzen erwartete Zahl an Triplekoinzidenzen wurde gemessen. Diesen Effekt bezeichnet man als Antibunching. Antibunching war einer der ersten beobachteten quantenoptischen Effekte [17].

Die Größe α ist in der Quantenoptik in die Theorie optischer Korrelationen eingebettet und wird dann als Antikorrelationsfaktor $g^2(0)$ bezeichnet.

6. Hohe Akzeptanz bei Lernenden

Zur Evaluation der im Rahmen der Entwicklung des Unterrichtskonzepts erarbeiteten Erklärungsansätze zu wesentlichen inhaltlichen Bestandteilen der Quantenoptik wurden sog. Teaching Experiments durchgeführt. Teaching Experiments sind eine Methode der Akzeptanzbefragung. Entwickelt von Jung und Wiesner, dient diese insbesondere der Entwicklung von Unterrichtskonzepten [18, 19, 20]. Im Labor werden didaktisch entwickelte Erklärungsansätze zu bestimmten Themen in Interviews mit einzelnen Schülerinnen und Schülern verwendet, um zu untersuchen, ob diese akzeptiert und verstanden werden [20].

Durchgeführt wurden die Teaching Experiments mit 13 Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe; diese hatten eine Dauer von ca. drei Schulstunden. Keiner der Lernenden hatte Vorkenntnisse in Quantenoptik und zuvor auch sonst keine bis wenig Einblicke in die Quantenphysik erhalten. Die Akzeptanz zu den gegebenen Erklärungen wurden erfragt und die Schülerinnen und Schüler sollten in einem weiteren Schritt das Gelernte in eigenen Worten paraphrasieren. Unter Verwendung eines ordinalskalierten Categoriesystems [21] wurden die extrahierten Schülerantworten dann auf einer 3-stufigen Skala basierend auf einem Codierleitfaden kodiert. Um die Objektivität der Erhebung zu erhöhen, wurden die Teaching Experiments nach einem vorbereiteten Protokoll durchgeführt. Dieses enthält neben einer Einführung (Begrüßung, Anmerkungen zur Anonymität, Erläuterung des Verfahrens, etc.) alle Erklärungen, die gegeben wurden. Dadurch wird sichergestellt, dass Unterschiede in der Akzeptanz der Lernenden nicht auf unterschiedliche Erklärungsansätze, unterschiedliche inhaltliche Reihungen oder andere unbeabsichtigte Gründe zurückzuführen sind. Um eine möglichst hohe Reliabilität der durchgeführten Kodierung zu gewährleisten, wurden alle Kodierungen von einer unabhängigen Person nach dem gleichen Kodierungsschema neu kodiert. Eine hohe Übereinstimmung zwischen den beiden unabhängigen Beurteilungen wird quantitativ mit einem Cohens-Kappa von $\kappa = 0,87$ ($p < 0,001$) untermauert. Die Übereinstimmung der beiden unabhängigen Beurteilungen ist im Fachjargon „almost perfect“ [22].

Die Herleitung und Erklärung zum Antikorrelationsfaktor α führt bei den Schülerinnen und Schülern durchweg auf hohe Akzeptanz (mittlerer Akzeptanzwert 0,08; 0,0 bedeutet perfekte Akzeptanz). Einer der Befragten zeigte zwar nur mittlere Akzeptanz, fand aber die „ α -Herleitung sehr gut nachvollziehbar“. Problematisch war für zwei Lernenden, die Tatsache, dass die Zahl der Ereignisse gerade der Zählrate des Triggerdetektors (hier: Bob) entspricht. Als Implikation für die Realisierung des Unterrichtskonzepts werden nun zunächst

die Zählraten und ihre Interpretation hervorgehoben. Dafür wurde ein entsprechender Abschnitt auf dem vorgesehenen Arbeitsblatt eingerichtet. Das Kapitel „ α -Faktor“ wurde von den Schülerinnen und Schülern gut verstanden. Dies belegt auch die mittlere Qualität der Paraphrasierungen von 0,46. Diese Ableitung in eigenen Worten wiederzugeben, ist eine hohe Anforderung und wurde dennoch von immerhin 77% der Schülerinnen und Schüler in zufriedenstellendem Maße gemeistert. Neben dieser inhaltlichen Argumentation ist auch festzuhalten, dass seitens der Schülerinnen und Schüler nach der formalen Herleitung bei der Argumentation mit dem Antikorrelationsfaktor $g^2(0)$ keine Hemmungen zu vernehmen waren. Dies war in dieser Form nicht zu erwarten.

Auch die didaktischen Rekonstruktionen anderer quantenoptischer Konzepte, wie die Funktionsweise der Einzelphotonendetektoren oder die Koinzidenzmessung, wurden in den Akzeptanzbefragungen erstmals empirisch erhoben. Die Akzeptanzwerte liegen durchgehend im positiven Bereich.

7. Lohnt sich der technische Aufwand?

Die Ergebnisse der Teaching Experiments liefern erste empirische Indizien dafür, dass quantenoptische Realexperimente mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden können und zeigen, dass die entwickelten Erklärungen fruchtbar sein können. Damit bestätigen sich auch die Eindrücke von ersten Unterrichtsversuchen. Um verallgemeinerbare empirische Erkenntnisse zu erhalten, müssen quantitative Methoden eingesetzt werden: Die Erkenntnisse aus den Teaching Experiments führen zunächst zu einer Überarbeitung des Lehrkonzepts. In einem nächsten Schritt wird die Lernwirksamkeit des Konzepts in einer Studie mit deutschen Gymnasien untersucht. Es wird untersucht, ob es einen Einfluss auf Interesse, Motivation und Lernwirksamkeit hat, ob das Konzept mit realen Experimenten oder interaktiven Bildschirmexperimenten unterrichtet wird. Kurz: Lohnt sich der technische Aufwand?

Das Unterrichtskonzept samt der Materialien kann per Mail an philipp.bitzenbauer@fau.de angefragt werden.

Danksagung

Wir danken Halvor Egner und Arne Nicolaisen für die Möglichkeit das Unterrichtskonzept an der Rudolf Steinerskole Oslo, in der Praxis zu unterrichten und zu entwickeln. Philipp Bitzenbauer wird durch die Studienstiftung des deutschen Volkes gefördert.

Philipp Bitzenbauer *Professur für Didaktik der Physik,*
FAU Erlangen-Nürnberg
Jan-Peter Meyn *Professur für Didaktik der Physik,*
FAU Erlangen-Nürnberg

Literatur

- [1] R. Müller, Quantenphysik in der Schule, Logos Verlag, 2003.
- [2] T. Franz und R. Müller, „Quantenphysik: Trends und Herausforderungen“, Plus Lucis, 2016.
- [3] R. Müller und H. Schecker, „Schülervorstellungen zur Quanten- und Atomphysik“, in Schülervorstellungen und Physikunterricht, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 2018.
- [4] R. P. Feynman, „The character of physical law“, The Messenger Lectures, Cornell University, 1964.
- [5] R. Millar, J.-F. Le Maechéal und A. Tiberghien, „Mapping the domain - varieties of practical work“, in Practical work in science education, University of Roskilde Press, 1999, pp. 33-59.
- [6] M. e. a. Welzel-Breuer, „Ziele, die Lehrende mit experimentellem Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage“, Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften, pp. 29-44, Januar 1998.
- [7] G. Wentzel, „Zur Theorie des photoelektrischen Effekts“, Z. Phys., pp. 574-589, Januar 1926.
- [8] P. Bronner, A. Strunz, C. Silberhorn und J.-P. Meyn, „Experimenteller Nachweis der Existenz des Photons“, CD zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2008.
- [9] R. Scholz, G. Friege und K.-A. Weber, „Undergraduate quantum optics: experimental steps to quantum physics“, European Journal of Physics, 2018.
- [10] A. Strahl, M. Mohr, U. Schleusner und R. Müller, „Beurteilung von Formeln durch Schüler - eine Fragebogen-Untersuchung“, GDGP-Tagungsband, Januar 2009.
- [11] A. Strahl, M. Mohr, U. Schleusner, M. Krecker und R. Müller, „Akzeptanz von Formeln - Vergleich zweier Erhebungen“, PhyDid B, Oktober 2010.
- [12] A. Strahl, Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik, BoD - Books on Demand, 2018.
- [13] O. Uhden und G. Pospiech, „Die physikalische Bedeutung der mathematischen Beschreibung“, Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule., 2013.
- [14] E. J. Galvez und M. Beck, „Quantum Optics experiments with single photons for undergraduate laboratories“, 2007.
- [15] A. Strunz und J.-P. Meyn, „Experimentelle Quantenphysik im Physikunterricht“, Praxis der Naturwissenschaften., 2015.
- [16] P. Grangier, G. Roger und A. Aspect, „Experimental evidence for a photon anticorrelation effect on a beam splitter: a new light on single-photon interference“, Europhysics Letters, 1986.
- [17] H. J. Kimble, M. Dagenais und L. Mandel, „Photon Antibunching in Resonance Fluorescence“, Phys. Rev. Lett., pp. 691-695, September 1977.
- [18] H. Wiesner, V. Tobias, C. Waltner, M. Hopf, T. Wilhelm und A. Sen, „Dynamik im Mechanikunterricht“, PhyDid B, 2010.
- [19] W. Jung, „Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties“, Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies, pp. 278-295, 1992.
- [20] J.-P. Burde, Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells, Logos Verlag, 2018.
- [21] P. Mayring, „Qualitative Inhaltsanalyse“, in Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie, Springer, 2010, pp. 601-613.
- [22] J. Landis und G. Koch, „The measurement of observer agreement for categorical data“, Biometrics, pp. 159-74, April 1977.
- [23] K.-A. Weber, Quantenoptik in der Lehrerfortbildung - Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt "Photon" mit Realexperimenten, Logos Verlag, 2018.
- [24] J.-P. Meyn, „Die Geschichte des Photons“, Praxis der Naturwissenschaft. Physik in der Schule., pp. 24-28, 2013.

Tief ins Glas geschaut

Die Chemie rund um das Kultgetränk Gin-Tonic

Philipp Spitzer, Elisabeth Hofer und Rita Krebs

Es ist ein lauer Sommerabend und zur Erfrischung steht ein frisch gemixtes Gin-Tonic am Tisch. Dieses vor einiger Zeit noch eher in Vergessenheit geratene Mixgetränk erlebt zurzeit ein regelrechtes Revival. Durch alle Generationen hindurch gehört Gin-Tonic momentan zu den beliebten alkoholischen Mixgetränken. Längst greift man jedoch nicht mehr zu einem beliebigen Gin. Vielmehr haben sich etliche kleinere Ginhersteller auf dem Markt etabliert. Vor allem diese kleinen Destillen experimentieren mit einer Vielzahl möglicher pflanzlicher Zutaten, den sogenannten „Botanicals“, und erzielen dadurch eine Fülle von geschmacklichen Möglichkeiten. Einige Gins stechen dabei besonders hervor. Unter der Bezeichnung „Illusionist Gin“ bietet ein Hersteller aus München einen mystisch blauen Gin an, der nach Zugabe von Tonic-Water seine Farbe ändert. In diesem Artikel möchten wir das Mixgetränk Gin-Tonic unter chemischen Gesichtspunkten analysieren und dem Phänomen „Illusionist Gin“ auf den Grund gehen.

1. Gin, eine Spirituose mit Wacholdergeschmack

Damit man sich überhaupt mit der Chemie des Gins beschäftigen kann, muss zunächst geklärt werden, was Gin eigentlich ist. Wie viele andere Produkte ist auch Gin über eine EU-Verordnung reguliert und definiert. Alle hochprozentigen Alkoholprodukte können unter den Oberbegriff **Spirituose** zusammengefasst werden. Verordnung EG Nr. 110/2008 definiert derlei Produkte. Die Herstellung dieser Produkte kann durch Destillation, Mazeration und Mischung mit anderen Spirituosen oder „Ethylalkohol landwirtschaftlichen Ursprungs“ (Ethanol) erfolgen. Ihr Alkoholgehalt muss bei mindestens 15% vol. liegen. Eine landläufig als „Wacholder“ bezeichnete **Spirituose mit Wacholder** ist somit ein durch obige Verfahren aromatisiertes Ethanol-Wasser-Gemisch. Der Mindestalkoholgehalt beträgt per Gesetz 30% vol.. Explizit als **Gin** wird eine Spirituose mit Wacholdergeschmack bezeichnet, die durch Aromatisieren mit Wacholderbeeren gewonnen wird. Im Gegensatz zur Spirituose mit Wacholder können hier auch weitere natürliche oder naturidentische Aromastoffe verwendet werden. Der Mindestalkoholgehalt beträgt 37,5% vol.. Bei Gin handelt es sich somit nicht nur um eine Spirituose mit Wacholder, sondern eine auf Wacholder basierende Mischung unterschiedlicher Aromen. Unter dem Oberbegriff Gin werden wiederum durch verschiedene Verfahren hergestellte Spirituosen zusammengefasst. Wird der Wacholdergeschmack beispielsweise durch erneute Destillation von mindestens 96%igem Ethanol unter Zusatz von Wacholderbeeren und

pflanzlichen Stoffen hergestellt, spricht man von **destilliertem Gin**. Zum Destillat können weitere ähnliche Destillate oder auch natürliche oder naturidentische Aromastoffe hinzugefügt werden. **London Gin** oder **Dry Gin** wird nur durch Destillation von Ethylalkohol unter Zugabe aller verwendeten pflanzlichen Stoffe hergestellt. Außer Wasser werden keine weiteren Zusatzstoffe hinzugegeben und es handelt sich somit um den edelsten Gin.

2. Historisches und Herstellung

Spirituosen aus Wacholder wurden bereits im 15. Jahrhundert hergestellt. Der moderne, auf Korn basierende Gin wurde wahrscheinlich erst Mitte des 17. Jahrhunderts von Franz Deleboe, einem Professor an der Universität Leiden, entdeckt [1]. Der Name geht dabei auf die französische Bezeichnung für Wacholder (genévrier) zurück [1]. Noch heute wird der Wacholderschnaps in Belgien und den Niederlanden als Genever bezeichnet.

Heute wird Gin – ähnlich wie viele andere Spirituosen – vor allem durch die Anwendung bzw. Kombination von drei verschiedenen Verfahren (Mazeration, Perkolation und Destillation) hergestellt [2]. Die **Mazeration** (auch Kaltauszug) ist ein Verfahren, bei dem Wacholderbeeren und weitere Botanicals in ein Gemisch aus Ethanol und Wasser eingelegt werden, um die pflanzlichen Aromastoffe zu extrahieren. Dieser Vorgang kann sich von einigen Stunden bis zu mehreren Tagen erstrecken. Ausschlaggebend für die Dauer sind dabei die Löslichkeit der Aromastoffe im Lösungsmittel (Ethanol-Wasser-Gemisch) sowie die gewünschte Geschmacksintensität des Mazerats [3]. Der Begriff **Perkolation** bezeichnet in der Gin-Herstellung meist eine Dampfextraktion, bei der Ethanol-Dampf über die Botanicals-Mischung geleitet wird. Wird Gin mittels Mazeration, Perkolation oder einer Kombination beider Verfahren hergestellt, ohne danach eine **Destillation** durchzuführen, so wird von **Compound Gin** gesprochen. Diese Bezeichnung ist in der EU-Verordnung nicht enthalten, ist jedoch an verschiedensten Stellen zu finden, um eine Abgrenzung zu destilliertem Gin zu schaffen.

3. „Botanicals“ – die Charakterzüge eines Gins

Die pflanzlichen Geschmacksträger, die sogenannten Botanicals, sind für das charakteristische Aroma eines Gins verantwortlich. Neben Wacholderbeeren zählen Koriander und Engelwurz (Angelica) zu den drei wichtigsten

Botanicals. Der typische Geschmack von Gin ist vor allem auf die in den Wacholderbeeren enthaltenen Monoterpene (Kohlenwasserstoff-Verbindungen basierend auf zwei Isopren-Einheiten, siehe Abbildung 1) zurückzuführen. Den größten Anteil dieser Monoterpene bilden α - und β -Pinen, Myrcen, Sabinen, Limonen und Terpinen-4-ol [4,5]. Für den individuellen Geschmack eines jeden Produkts werden von den Herstellern zusätzlich Kräuter (z. B. Rosmarin oder Lavendel), Gewürze (z. B. Anis, Zimt, Kardamom oder Fenchel), Wurzeln (z. B. Ingwer oder Curcuma) sowie Früchte (z. B. Zitrusfrüchte oder Beeren) zu unterschiedlichen Anteilen eingesetzt [4,6].

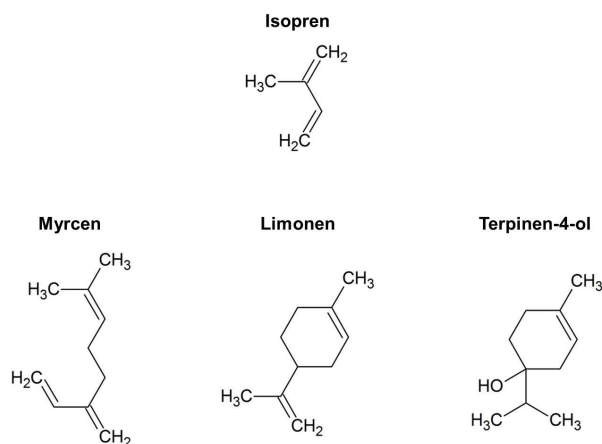


Abbildung 1: Strukturformeln von Isopren und ausgewählten Monoterpenen

4. Tonic Water und Chinin

Für Gin-Tonic benötigt man noch eine weitere essentielle Zutat: Tonic Water. Auch hier lohnt es sich einmal mehr, die naturwissenschaftliche Brille aufzusetzen und einen detaillierteren Blick auf den wichtigsten Bestandteil von Tonic-Water zu werfen, das Chinin (siehe Abbildung 2). Es verleiht dem Tonic Water den bitteren und charakteristischen Geschmack.

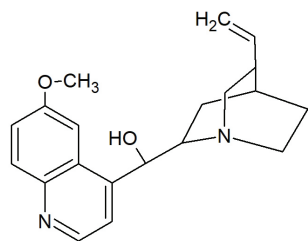


Abbildung 2: Chinin-Molekül

Strenggenommen existiert Tonic Water sogar nur aufgrund dieser Substanz, da Chinin seit dem Ende des 19. Jahrhunderts und bis zum Ersatz durch wirksamere Substanzen 1934 als Malariamittel eingesetzt wurde [7]. Die Geschichte des Chinins ist überaus spannend und der Artikel sei daher sehr empfohlen! Einen ausführlichen chemischen Einblick in die Chininsynthese gibt [8]. Im Folgenden soll ein kurzer Auszug der Geschichte des Chinins genügen. Chinin wird heute wie auch damals aus dem Saft der Chinarinde gewonnen. Einzig der

sehr bittere Geschmack machte es vor allem bei den Soldaten in den Kolonialgebieten unbeliebt. Die Briten begannen daher in Indien Chinin in Wasser zu lösen und anschließend mit Gin und Zitrone zu versetzen. Für den Massenmarkt wurde es dann von Johann Jacob Schweppe produziert. Nach seinem Patent zur Versetzung von Wasser mit Kohlensäure gründete er auch eine Fabrik für die Herstellung von Tonic Water, dem sogenannten Indian Tonic Water. Bis heute ist die Marke Schweppes bekannt. Der Chininegehalt ist jedoch nicht mehr derselbe wie zu Beginn. So enthält ein Liter Schweppes Indian Tonic Water heute nur noch 68mg Chinin [7].

Betrachtet man chininhaltiges Tonic-Water unter UV-Licht, sieht man ein hellblaues deutliches Leuchten des Getränks. Angeregt durch UV-Licht (allgemein durch Licht bestimmter Wellenlänge) wird ein Elektron energetisch angeregt und auf ein energetisch höheres Orbital angehoben. Beim Übergang in das ursprüngliche Orbital wird die Energie in Form von Wärme und Licht abgegeben. Dieser Prozess lässt sich in einem Jablonski-Diagramm darstellen und veranschaulichen (siehe Abbildung 3).

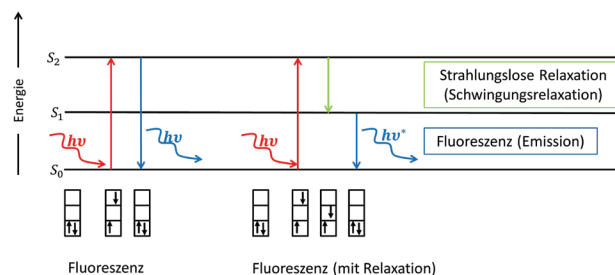


Abbildung 3: Stark vereinfachtes Jablonski-Diagramm zur Erklärung der Fluoreszenz bzw. der Fluoreszenz mit Relaxation (Grafik erstellt in Anlehnung an [9] und [10])

Teilweise fällt das Elektron nicht direkt wieder auf das Ursprungsorbital zurück, sondern zunächst in ein dazwischenliegendes Orbital. Dieser Prozess wird als Strahlungslose Relaxation bezeichnet [11].

Gibt man Natriumchlorid oder andere Halogensalze oder Sulfate hinzu, wird die Fluoreszenz immer schwächer bis sie schließlich überhaupt nicht mehr zu beobachten ist [12]. Dieser Effekt wird als Quenching oder auch Fluoreszenzlöschung bezeichnet. Der Prozess kann als dynamisches Quenching beschrieben werden [12]. Hierbei gibt das Farbstoffmolekül Energie mittels Stoß an das Quencher-molekül ab. Diese geht dann meist in Form von Wärme verloren. Das dynamische Quenching wird daher auch als Stoßlöschung bezeichnet. Durch Zugabe von genügend Natriumchlorid zu Tonic Water kann dessen Fluoreszenz gelöscht werden.

Die Intensität der Fluoreszenz kann auch dazu genutzt werden, um den Chininegehalt zu bestimmen [13]. Je mehr Chinin im Tonic-Water vorhanden ist, desto stärker die Fluoreszenz. Fluoreszenz im Allgemeinen [14] sowie Fluoreszenzspektroskopie anhand der Beispiele Tonic Water

und Olivenöl können auch im naturwissenschaftlichen Unterricht thematisiert werden [15]. Voraussetzung für die experimentelle Betrachtung der Fluoreszenzspektroskopie ist jedoch ein einfaches Fluoreszenzspektrometer.

5. Farbumschlag beim „The Illusionist“

„Liefte das Geheimnis des Illusionist: Ein tiefblauer Gin, der Dich aus dem grauen Alltag entführt – und sich als Gin Tonic Rosa verwandelt. Geboren im Münchener Glockenbach, bereit für neue Abenteuer.“¹ Mit diesem Werbespruch wirbt die Herstellerfirma des Illusionist-Gins für ihren besonderen blauen Gin der bei Zugabe von Gin-Tonic die Farbe hin zu rosa verändert (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Illusionist Gin pur (links) und gemischt mit Tonic Water (rechts)

Als Ursache für diesen Farbumschlag wird eine Blüte aus dem asiatischen Raum genannt: „Die Mysteriöse Blüte: Eine Femme Fatale aus Fernost: Sie verleiht dem Illusionist die zart-nussige Note und sein einzigartiges Blau“ (The Illusionist², 2019). Eine kurze Recherche führt zur blauen Klitorie oder auch blauen Schamblume (*Clitoria ternatea*), die im Englischen auch als Butterfly pea flower bezeichnet wird (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Blaue Klitorie (Bildquelle: wikipedia.org)

Diese Blüte enthält eine Vielzahl verschiedener Farbstoffe aus der Gruppe der Anthocyanidine [16]. Bekanntester Vertreter dieser Farbstoffgruppe ist das Cyanidin (siehe Abbildung 6), dass auch das Grundgerüst dieser Farbstoffgruppe darstellt [16].

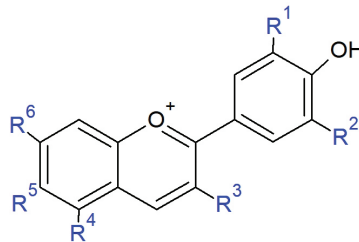


Abbildung 6: Grundstruktur der Anthocyanidine. Beim Cyanidin wäre R¹ = -OH, R² = -H, R³ = -OH, R⁴ = -OH, R⁵ = -H und R⁶ = -OH¹

Am Beispiel von Cyanidin kann Farbigekeit im Chemieunterricht thematisiert werden. Hierzu sei auch auf einen Artikel in Plus Lucis verwiesen [17]. Bei dem im Gin verwendeten Farbstoff handelt es sich um einen Extrakt aus der Schamblume. Dieser enthält den Farbstoff Chrysanthemine (siehe Abbildung 7).

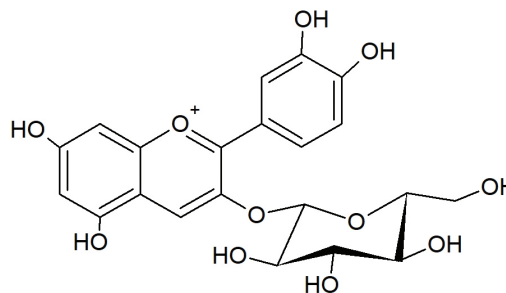


Abbildung 7: Molekülstruktur des Farbstoffs Chrysanthemine

Chemikerinnen und Chemikern ist der beobachtete Farbumschlag beim Gin-Tonic nicht ganz fremd und erinnert an den häufig verwendeten Rotkrautindikator. Auch dieser enthält Farbstoffe aus der Gruppe der Anthocyanidine. Zu Recht vermutet man bei der Schamblume einen pH-empfindlichen Farbstoff. Und in der Tat eignet sich der Extrakt aus den Blüten als Indikator für Säure-Base-Titrationen [18]. In Abbildung 8 sind die Farben bei verschiedenen pH-Werten dargestellt.

Im Gegensatz zum Rotkrautsaft als Indikator lässt sich der Extrakt aus der blauen Klitorie jedoch leichter extrahieren (siehe Anleitung in der Infobox). Der Extrakt bietet eine schnelle Möglichkeit selbst einen pH-Indikator auch im schulischen Umfeld herzustellen. Die Blüten können dabei preisgünstig als Tee über das Internet oder in entsprechenden Geschäften bezogen werden.

Mit Hilfe der in Abbildung 8 dargestellten Farbskala kann die Ursache für den Farbwechsel bei Zugabe von Tonic Water zum Illusionist-Gin leicht nachvollzogen werden.

¹ <https://www.theillusionist-gin.com/de/home>

² <https://www.theillusionist-gin.com/de/home>



Abbildung 8: Die Schamblüte als Indikator bei pH-Werten von 1 bis 12

Durch den sauren Charakter des Tonic Water erfolgt ein Farbumschlag. Da der Schamblütenextrakt im sauren Bereich rötliche Farbtöne zeigt, erhält auch das Gin-Tonic eine rosa Farbe. Die teils grüne Farbe bei Hinzugabe von Eiswürfeln kann durch eine leichte Verschiebung des pH-Wertes in den basischen Bereich – je nach Leitungswasser – verursacht werden.

6. Nach dem Gin-Tonic ist vor dem Chemieunterricht

Irgendwann ist der schönste Sommerabend vorbei und der Chemieunterricht steht wieder an. Wie kann Gin-Tonic nun als Kontext für den Chemieunterricht verwendet werden?

Am Beispiel Gin und insbesondere an dessen Herstellung können die Löslichkeit und Flüchtigkeit verschiedener Stoffe sowie deren Bedeutung für verschiedene Trennverfahren (z. B. Destillation und Extraktion) besprochen werden. Tonic-Water kann als ein Beispiel für das Phänomen der Fluoreszenz herangezogen werden, das in vertiefenden Schulformen im Rahmen des Aufbaus der Elektronenhülle sowie im Rahmen von Absorption und Emission erläutert werden kann. Außerdem können noch der Abbau von Ethanol im menschlichen Körper sowie der verantwortungsbewusste Umgang mit Genussmitteln wie Gin (Werbezusatz: Enjoy responsibly!) besprochen werden. Dabei empfiehlt es sich, besonders auf Mischgetränke einzugehen, die scheinbar „weniger Alkohol“ enthalten als die reinen Spirituosen.

Abschließend wollen wir festhalten, dass der „Illusionist“ doch ein beachtliches Stück „Chemie“ enthält, welches insbesondere uns Chemikerinnen und Chemiker nicht nur beim ersten Schluck begeistert. In diesem Sinne hoffen wir, dass Sie Ihr nächstes Gin-Tonic ganz besonders unter die Lupe nehmen und sagen: zum Wohl!

Infobox Herstellung einer Indikatorlösung aus getrockneten Schamblüten

Material:

10 g getrocknete Schamblüten (z. B. aus Anchan Blau-Tee)
90 ml heißes Wasser oder Deionat
Becherglas
Wasserkocher

Durchführung:

Die Blüten werden in warmes Wasser gegeben und für einige Minuten stehengelassen. Bei ausreichender Blaufärbung können die Blüten abdekantiert werden und der Extrakt als Indikator genutzt werden. Je nachdem kann bei Verwendung von Deionat eine leicht andere Färbung als bei der Verwendung von Leitungswasser auftreten. Der hergestellte Indikator ist relativ stabil, verändert jedoch bei längerem Stehen seine Farbe leicht.

Philipp Spitzer Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECCC), Universität Wien

Elisabeth Hofer Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECCC), Universität Wien

Rita Krebs Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECCC), Universität Wien

Literatur

- [1] Smith, A. F.: The Oxford companion to American food and drink 2007. Oxford: Oxford University Press.
- [2] Fernandes, C.: All about the Food & Beverage Service 2017. New Delhi: Education Publishing.
- [3] Bühring, U.: Praxis-Lehrbuch Heilpflanzenkunde 2014. Stuttgart: Haug.
- [4] Guerra Hernández, E., GIN | Composition and Analysis. in Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), B. Caballero, Editor. 2003. Academic Press: Oxford. p. 2894–2898.
- [5] Höferl, M., Stoilova, I., Schmidt, E., Wanner, J., Jirovetz, L., Trifonova, D., Krastev, L., Krastanov, A., Chemical Composition and Antioxidant Properties of Juniper Berry (*Juniperus communis* L.) Essential Oil. Action of the Essential Oil on the Antioxidant Protection of *Saccharomyces cerevisiae* Model Organism. Antioxidants (Basel, Switzerland), 2014. 3(1): p. 81–98.
- [6] Aylott, R. I., GIN | The Product and its Manufacture. in Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), B. Caballero, Editor. 2003. Academic Press: Oxford. p. 2889–2893.
- [7] Streller, S., Roth, K., Eine Rinde erobert die Welt. Chem. Unserer Zeit, 2012. 46(4): p. 228–247.
- [8] Rudo, A., Zeller, K.-P., Siehl, H.-U., Berger, S., Sicker, D., Chinin, ein legendäres Alkaloid. Chem. Unserer Zeit, 2018. 52(4): p. 238–248.
- [9] Adam, G., Läger, P., Stark, G. (Hrsg.) 2009. Physikalische Chemie und Biophysik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- [10] Wagner, W.: Fluoreszenz 2018. . <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/fluoreszenz/fluoreszenz.htm> (letzter Zugriff am 14.6.2019).
- [11] Atkins, P. W., Paula, J. de: Physikalische Chemie 2012. Weinheim: Wiley-VCH.
- [12] Chaichi, M. J., Alijanpur, S. O., The fluorescence Quenching Study of Quinine in Presence of Some Anions. *Caspian Journal of Chemistry*, 2014. 3): p. 15–21.
- [13] Blitz, J. P., Sheeran, D. J., Becker, T. L., Neil D. Danielson, Classroom Demonstrations of Concepts in Molecular Fluorescence. *Journal of Chemical Education*, 2006. 83(5): p. 758.
- [14] MacCormac, A., O'Brien, E., O'Kennedy, R., Classroom Activity Connections: Lessons from Fluorescence. *Journal of Chemical Education*, 2010. 87(7): p. 685–686.
- [15] Agliolo Gallitto, A., Agnello, S., Cannas, M., 'School adopts an experiment': the photoluminescence in extra-virgin olive oil and in tonic water. *Physics Education*, 2011. 46(5): p. 599–603.
- [16] Kazuma, K., Noda, N., Suzuki, M., Flavonoid composition related to petal color in different lines of *Clitoria ternatea*. *Phytochemistry*, 2003. 64(6): p. 1133–1139.
- [17] Enko, B., Photochemie – Von der Farbigkeit der Stoffe. Ein Vorschlag zur Einbindung in den Chemieunterricht der 8. Klasse AHS. *Plus Lucis*, 2013. 1-2): p. 37–39.
- [18] Saptarini, N. M., Suryasaputra, D., Nurmalia, H., Application of Butterfly Pea (*Clitoria ternatea* Linn) extract as an indicator of acid-base titration. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2015. 7(2): p. 275–280.

Zur Diskussion gestellt: Ohmscher Widerstand und ohmsches Gesetz

Plädoyer für einen anderen Sprachgebrauch

Axel Donges

1. Einleitung

Im vorliegenden Beitrag wird zunächst der übliche Sprachgebrauch im Zusammenhang mit dem ohmschen Gesetz dargestellt. Danach wird ein neuer Sprachgebrauch vorgeschlagen und dieser Vorschlag begründet. In der Elektrotechnik spielt der (elektrische) Widerstand eine große Rolle. Er ist ein Maß, wie viel Spannung notwendig ist, um einen bestimmten Strom durch einen Leiter zu treiben. Im Weiteren werden nur Widerstände betrachtet, die keine induktiven oder kapazitiven Anteile aufweisen.

2. Beispiel: U-I-Kennlinie einer Lampe

Werden an eine klassische Glühlampe verschiedene Spannungen U angelegt, so fließen unterschiedliche Ströme I . Ein Beispiel einer solchen Messung zeigt Abbildung 1. Diese grafische Darstellung der Strom- und Spannungswerte wird als U-I-Kennlinie bezeichnet. Da sich in diesem Beispiel keine Ursprungsgerade als Kennlinie ergibt, wird diese U-I-Kennlinie als **nichtlinear** bezeichnet.

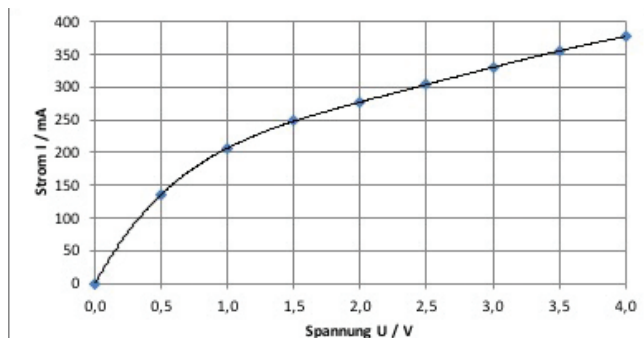


Abb. 1: Nichtlineare U-I-Kennlinie der Lampe

3. Widerstand

Das Verhältnis von angelegter Spannung U zu fließendem Strom I wird als (elektrischer) Widerstand R des Leiters¹ definiert [1 S. 785; 2 S. 97].

$$R = U/I \quad (1)$$

Diese Gleichung ist eine der wichtigsten Gleichungen der Elektrotechnik. Mit Gleichung (1) kann mit den in Abbildung 1

¹ Der Widerstand ist eine Eigenschaft des Leiters. Es hat sich allerdings eingebürgert, auch den Leiter selbst als Widerstand zu bezeichnen. Von daher besitzt der Begriff Widerstand zwei unterschiedliche Bedeutungen.

gegebenen Strom- und Spannungswerten der Widerstand R der Lampe bei verschiedenen Spannungen bzw. Strömen berechnet werden (Abb. 2). Der Widerstand R der Lampe ist nicht konstant. Er steigt im betrachteten Beispiel mit zunehmender Spannung (bzw. zunehmendem Strom) an.

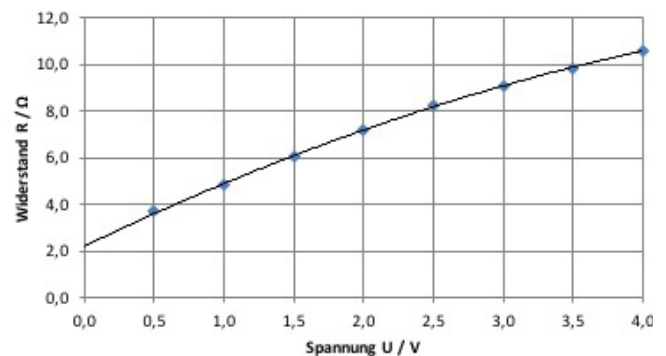


Abb. 2: Widerstand der Lampe in Abhängigkeit von der angelegten Spannung

3.1 Nichtlinearer Widerstand

Hat ein Leiter eine nichtlineare U-I-Kennlinie, so besitzt der Leiter einen **nichtlinearen Widerstand** [3 S. 369]. Für verschiedene Spannungs- bzw. Stromwerte ergeben sich i. Allg. verschiedene Widerstandswerte ($R \neq \text{const.}$). Der Widerstand R ist der Kehrwert der Sekantensteigung des Graphen der U-I-Kennlinie durch die Punkte $(U | I)$ und $(0 | 0)$ (Abb. 3)².

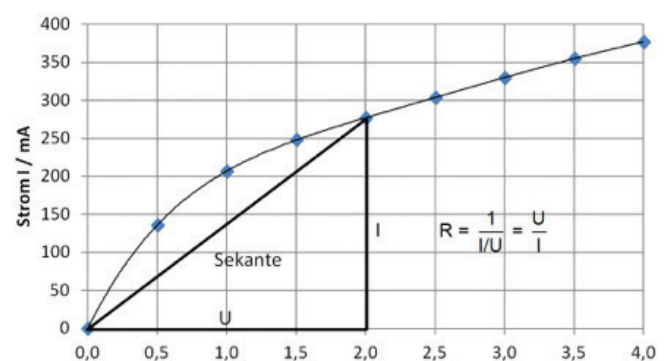


Abb. 3: Der Widerstand als reziproke Sekantensteigung der U-I-Kennlinie

Lineare Widerstände ($R = \text{const.}$) gibt es in Realität nicht. Die elektrotechnische Schaltungsanalyse vereinfacht sich in vielen Fällen drastisch, wenn mit linearen Widerständen gerechnet

² Der Kehrwert der Tangentensteigung an einem beliebigen Punkt des Graphen in Abb. 7 heißt **differentieller Widerstand** $r = 1/(dI/dU) = dU/dI$.

wird. Aus diesem Grunde wird ein nichtlinearer Widerstand – sofern die Nichtlinearität nicht zu stark ausgeprägt ist – oft näherungsweise durch einen linearen Widerstand beschrieben.

3.2 Linearer Widerstand

Ist die U-I-Kennlinie eines Leiters eine Ursprungsgerade (Abb. 4), so besitzt der Leiter einen linearen Widerstand [3 S. 368]. Für verschiedene Spannungs- bzw. Stromwerte ergeben sich stets die gleichen Widerstandswerte ($R = \text{const.}$). Der Widerstand R ist in diesem Fall der Kehrwert der Steigung des Graphen der U-I-Kennlinie.

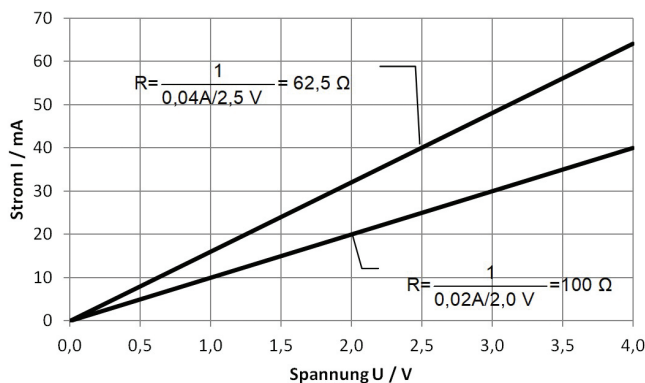


Abb. 4: Lineare U-I-Kennlinien zweier Leiter. Die steilere (flachere) Kennlinie gehört zu einem Leiter mit dem linearen Widerstand $R = 62,5 \Omega$ ($R = 100 \Omega$).

Lineare Widerstände ($R = \text{const.}$) gibt es in Realität nicht. Die elektrotechnische Schaltungsanalyse vereinfacht sich in vielen Fällen drastisch, wenn mit linearen Widerständen gerechnet wird. Aus diesem Grunde wird ein nichtlinearer Widerstand – sofern die Nichtlinearität nicht zu stark ausgeprägt ist – oft näherungsweise durch einen linearen Widerstand beschrieben.

3.3 Anmerkungen

- Die Ursache für die nichtlineare U-I-Kennlinie der in Abschnitt 2 betrachteten Glühlampe ist der Temperaturanstieg des Glühfadens der Glühlampe mit zunehmender Stromstärke. Würde man durch einen geeigneten Kühlmechanismus die Temperatur des Glühfadens konstant halten, wäre die Kennlinie linear und der Widerstand R der Lampe konstant.
- Hätte der Glühfaden der Glühlampe einen Temperaturkoeffizienten von 0 K^{-1} (d.h. der Widerstand ändert sich mit der Temperatur nicht), so wäre die U-I-Kennlinie ebenfalls linear und der Widerstand konstant. Ein solches Verhalten lässt sich näherungsweise mit einem Konstantendraht realisieren.
- Abschließend noch ein Beispiel einer U-I-Kennlinie, deren Nichtlinearität nicht durch einen Temperatureffekt hervorgerufen wird. Abbildung 5 zeigt als Beispiel die nichtlineare U-I-Kennlinie einer Halbleiter-Diode. Mit Gleichung (1) berechnet sich für $U = 0,5 \text{ V}$ ein Widerstand $R(0,5 \text{ V}) \rightarrow$

∞ , da $I \approx 0$ ist. Für $U = 0,7 \text{ V}$ fließt ein Strom von ca. 14 mA. Mit diesen Werten berechnet sich der Widerstand zu $R(0,7 \text{ V}) \approx 50 \Omega$.

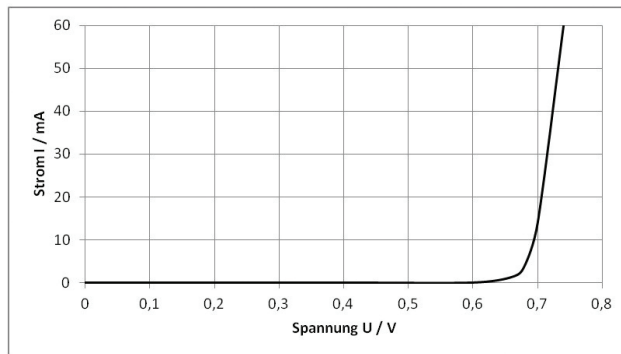


Abb. 5: Typische U-I-Kennlinie einer Halbleiter-Diode

4. Ohmsches Gesetz

4.1 $R = \text{const.}$

Liegt als U-I-Kennlinie eine Ursprungsgerade vor, sagt man: Das ohmsche Gesetz ist erfüllt [4 S. 45; 5 S. 210].

Ein linearer Widerstand wird auch als **ohmscher Widerstand** bezeichnet. Die Gleichung (1) ($R = U/I$) sowie die durch Äquivalenz-Umformungen entstehenden Gleichungen

$$U = R \cdot I \quad (2)$$

und

$$I = U/R \quad (3)$$

werden in diesem Fall als **ohmsches Gesetz** bezeichnet [1 S. 786; 5 S. 210].

4.2 $R \neq \text{const.}$

Liegt als U-I-Kennlinie keine Ursprungsgerade vor, sagt man: Das ohmsche Gesetz ist nicht erfüllt [3 S. 369; 3 S. 45; 7 S. 210]. Ein nichtlinearer Widerstand darf nicht als ohmscher Widerstand bezeichnet werden [5 S. 210; 4 S. 45]. Er ist folglich ein nichtohmscher Widerstand. Die auch in diesem Fall gültigen Gleichungen (1) - (3) dürfen allerdings nicht mehr als ohmsches Gesetz bezeichnet werden [6; 7 S. 59].

Tabelle I: Zum Sprachgebrauch beim ohmschen Gesetz

	$R = \text{const.}$	$R \neq \text{const.}$
U-I-Kennlinie ist ...	... eine Ursprungsgerade.	... keine Ursprungsgerade
$R = U/I$ heißt ...	... ohmscher (oder linearer) Widerstand.	... nichtlinearer Widerstand.
$U = RI$ $I = U/R$ $R = U/I$	Diese Formeln sind gültig. Sie heißen ohmsches Gesetz. Man sagt: Das Ohmsches Gesetz ist erfüllt.	Diese namenlosen Formeln sind gültig. Man sagt: Das Ohmsches Gesetz ist nicht erfüllt.

4.3 Kritik am Sprachgebrauch

Die in Tabelle I zusammengefassten sprachlichen Festlegungen führen gelegentlich zu Irritationen. Nachfolgend werden einige der Gründe aufgelistet:

- Die stets gültigen Gleichungen (1) - (3) heißen mal ohmsches Gesetz, mal nicht.
- Nur wenn die U-I-Kennlinie eine Ursprungsgerade ist, dürfen die Gleichungen (1) - (3) als ohmsches Gesetz bezeichnet werden und das ohmsche Gesetz ist erfüllt. Dies ist aber streng genommen nie der Fall.
- Wie stark darf eine U-I-Kennlinie von einer Ursprungsgeraden abweichen, damit die Gleichungen (1) - (3) noch als ohmsches Gesetz bezeichnet werden dürfen bzw. das ohmsche Gesetz noch erfüllt ist?
- Beim Aufstellen der Netzwerkgleichungen (nicht beim Lösen) spielt es keine Rolle, ob ein Bauteil einen linearen oder einen nichtlinearen Widerstand besitzt. Die Gleichungen (1) - (3) sind in beiden Fällen gültig. Unter diesem Aspekt erscheinen vielen Schülerinnen und Schülern die Regel, unter welchen Umständen das ohmsche Gesetz erfüllt ist bzw. die Gleichungen (1) - (3) als ohmsches Gesetz bezeichnet werden dürfen, befremdlich.
- Aus der Tatsache, dass das ohmsche Gesetz bei nichtlinearen Widerständen nicht gilt, wird gelegentlich fälschlicherweise geschlossen, dass die Gleichungen (1) - (3) nicht gelten.

5. Alternativer Sprachgebrauch

In einigen Fachbüchern, aber auch in der täglichen Praxis, werden teilweise die in Tabelle 1 zusammengefassten sprachlichen Vereinbarungen nicht eingehalten.

5.1 Zitate

Nachfolgend werden dazu einige Beispiele angeführt, die alle dem Online-Physik-Schülerlexikon der Bibliografischen Instituts GmbH - dem Herausgeber des Duden - entnommen sind:

Zitat 1: „Definiert ist der elektrische Widerstand als der Quotient aus elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke: $R = U/I$. U : Spannungsabfall am Bauteil, I : Stromstärke durch das Bauteil. Diese Gleichung wird auch als ohmsches Gesetz bezeichnet [8].“

Im Zitat 1 wird Gleichung (1) - und damit auch die umgeformten Gleichungen (2) und (3) - als ohmsches Gesetz bezeichnet. Dabei findet sich kein Hinweis, dass dies nur bei $R = \text{const.}$ gelten solle.

Zitat 2: „In jeder Spule wird aufgrund der Selbstinduktion eine Spannung induziert, die nach dem Lenzschen Gesetz der Ursache ihrer Entstehung - also dem Stromfluss durch die Spule - entgegenwirkt. Dadurch erfolgt eine Verringerung der Stromstärke. Somit besitzt jede Spule neben dem ohmschen Widerstand ihrer Wicklungen einen zusätzlichen Widerstand,

der durch ihre Induktivität zustande kommt. Man nennt diesen Widerstand induktiven Widerstand. ...

... Während der ohmsche Widerstand eines Bauelementes auf der Ummwandlung von elektrischer Energie in thermische Energie beruht, die in Form von Wärme abgegeben wird, ist der induktive Widerstand mit keiner Energieumwandlung verknüpft [9].“

Zitat 3: „Neben diesem induktiven Widerstand aufgrund der Selbstinduktion hat eine Spule auch immer noch den ohmschen Widerstand des Spulendrahtes, der aber in der Regel deutlich kleiner ist als der induktive Widerstand [10].“

Die Zitate 2 und 3 besagen, dass jede reale Spule neben einem induktiven Widerstand auch einen ohmschen Widerstand besitzt. Der ohmsche Widerstand ist für die Erwärmung der realen Spule verantwortlich. Das Zitat 2 ist aber auch dann richtig, wenn die reale Spule statt eines ohmschen (d.h. linearen) Widerstandes einen nichtlinearen Widerstand hätte. Offensichtlich wird hier der Begriff ohmscher Widerstand für lineare und nichtlineare Widerstände (ohne Blindkomponenten) verwendet.

Zitat 4: „Im Unterschied zu Drahtwiderständen (ohmschen Widerständen) verhalten sich Spulen (induktive Widerstände) und Kondensatoren (kapazitive Widerstände) im Gleich- und Wechselstromkreis unterschiedlich [11].“

Das Zitat 4 suggeriert, dass ein Drahtwiderstand, der bekanntlich linear oder nichtlinear sein kann, als ohmscher Widerstand bezeichnet wird.

5.2 Fazit der Zitate

Die Zitate 1 bis 4 zeigen, dass auch der folgende Sprachgebrauch üblich ist (Tab. II):

- Ein Widerstand R (ohne kapazitive und induktive Komponenten), der sich bei Stromfluss erwärmt, heißt ohmscher Widerstand (unabhängig von der U-I-Kennlinie).
- Es gibt lineare ohmsche Widerstände (U-I-Kennlinie ist Ursprungsgerade) und nichtlineare ohmsche Widerstände (U-I-Kennlinie ist nichtlinear).
- Die Gleichungen $R = U/I$, $U = RI$ und $I = U/R$ heißen stets ohmsches Gesetz (unabhängig von der U-I-Kennlinie). Somit ist das ohmsche Gesetz immer erfüllt.

Tabelle II: Alternativer Sprachgebrauch beim ohmschen Gesetz

	$R = \text{const.}$	$R \neq \text{const.}$
U-I-Kennlinie ist ...	... eine Ursprungsgerade.	... keine Ursprungsgerade.
$R = U/I$ heißt ...	... ohmscher Widerstand (linearer ohmscher Widerstand).	... ohmscher Widerstand (nichtlinearer ohmscher Widerstand).

$U = RI$ $I = U/R$ $R = U/I$	Die Formeln sind gültig. Sie heißen ohmsches Gesetz.	Die Formeln sind gültig. Sie heißen ohmsches Gesetz.
------------------------------------	---	---

5.3 Vergleich des Sprachgebrauchs in Abschnitt 4 mit dem in Abschnitt 5

5.3.1 Ohmscher Widerstand

In Abschnitt 5.2 werden in klarer und einfacher Weise alle Widerstände, die sich bei Stromfluss erwärmen, als ohmsche Widerstände bezeichnet^{3, 4}. Bei einem Sprachgebrauch nach Abschnitt 4 klingt dies schon etwas komplizierter: Widerstände, die sich bei Stromfluss erwärmen, sind entweder ohmsche oder nichtlineare Widerstände.

5.3.2 Ohmsches Gesetz

Der Sprachgebrauch in Abschnitt 5.2 besticht durch seine Klarheit: Für den ohmschen Widerstand gilt die Definitionsgleichung

$$R = U / I. \quad (1)$$

Durch Äquivalenz-Umformungen ergeben sich die Gleichungen

$$U = R I \quad (2)$$

und

$$I = U / R. \quad (3)$$

Die Gleichungen heißen ohmsches Gesetz. Sie sind für alle ohmschen Widerstände richtig.

³ Dabei spielt es keine Rolle, ob die U-I-Kennlinie eine Ursprungsgerade ist oder nicht.

⁴ Der so definierte ohmsche Widerstand unterscheidet sich klar von einem induktiven und kapazitiven Widerstand. Bei diesen Widerständen wird im zeitlichen Mittel keine Energie aufgenommen. Der Wechselstromwiderstand setzt sich somit stets aus einem ohmschen, induktiven und kapazitiven Anteil zusammen.

Im Sprachgebrauch nach Abschnitt 4 werden die Gleichungen (1) - (3) nur dann als ohmsches Gesetz bezeichnet, wenn die U-I-Kennlinie des Widerstandes eine Ursprungsgerade ist. Anderenfalls sind die Gleichungen namenlos. Bei einer nichtlinearen U-I-Kennlinie sagt man zudem: „Das ohmsche Gesetz ist nicht erfüllt“, obwohl die Gleichung (1) - (3) gültig sind.

5.3.3 Vergleich

Aus Sicht des Autors ist der Sprachgebrauch in Abschnitt 5 dem in Abschnitt 4 vorzuziehen. Die Gründe sind offensichtlich:

- Der Sprachgebrauch in Abschnitt 5 ist, verglichen mit Abschnitt 4, klarer definiert und einfacher strukturiert.
- Die in Abschnitt 5 definierten sprachlichen Festlegungen tragen dazu bei, dass der Unterschied zwischen der (oft komplex wahrgenommenen) wissenschaftlichen Fachsprache und der Alltagssprache der Schülerinnen und Schüler verringert wird.

6. Resümee

Im Sinne einer fachdidaktisch gewollten Vereinfachung werden die folgenden sprachlichen Definitionen im Zusammenhang mit dem ohmschen Gesetz vorgeschlagen:

- Alle Widerstände, die sich bei Stromfluss erwärmen, heißen ohmsche Widerstände.
- Für alle ohmschen Widerstände gilt das ohmsche Gesetz: $R = U / I$ bzw. $U = R I$ bzw. $I = U / R$.
- Es gibt lineare und nichtlineare ohmsche Widerstände. Diese Tatsache sollte im Schulunterricht nicht übermäßig betont werden.

Axel Donges *Naturwissenschaftlich-technische
Akademie Prof. Dr. Grübler gGmbH*

Literatur

- [1] Tipler, P. A., Mosca G. (2004): Physik - Für Wissenschaftler und Ingenieure. Heidelberg: Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag
- [2] R. Bayer et al. (2011): Impulse Physik 2. Stuttgart: Klett
- [3] Lindner, H. (1981): Physik für Ingenieure. Braunschweig: Friedr. Vieweg Sohn 1981.
- [4] Schnabel, P. (2014): Elektronik-Fibel. Norderstedt: Books on Demand
- [5] Harten, U. Physik - Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Berlin : Springer, 2007.
- [6] Leifi. [Online] [Zitat vom: 17. 03 2018.] <https://www.leifiphysik.de/elekt-nizitaetslehre/komplexere-schaltkreise/gesetz-von-ohm>.
- [7] Dorn, Bader (1979): Physik in einem Band - Lehrerheft mit Aufgabenlösungen. Hannover: Schroedel
- [8] Lernhelfer: Schülerlexikon Physik - Widerstand. [Online] [Zitat vom: 22. 03 2018.] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/elekt-rischer-widerstand>.
- [9] Lernhelfer: Schülerlexikon Physik - ind. Widerstand. [Online] [Zitat vom: 22. 03 2018.] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/induktiver-widerstand>.
- [10] Lernhelfer: Schülerlexikon Physik - ind. ohmscher Widerstand. [Online] [Zitat vom: 23. 03 2018.] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/ohmsche-induktive-und-kapazitive-widerstaende-im>.
- [12] Lernhelfer: Schülerlexikon Physik - ohmscher Widerstand. [Online] [Zitat vom: 22. 03 2018.] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/ohmscher-widerstand>.

Das Mirascope

Ingrid Krumphals

1. Einleitung

Das Mirascope ist in Kreisen von Physiklehrkräften und allgemein bei Physikerinnen und Physikern eine bekannte Apparatur. Wenn man bspw. versucht, die obenliegende Münze (siehe Abbildung 1) zu nehmen, wird man schnell enttäuscht und der „Wow-Effekt“ ist vorprogrammiert. Denn an jener Stelle, wo die „echte“ Münze vermutet wurde, ist nur ein „schwebendes“ dreidimensionales Bild einer Münze zu sehen.



Abbildung 1: Mirascope mit Münze

1.1 Aufbau des Mirasopes

Prinzipiell handelt es sich beim Mirascope um eine Apparatur bestehend aus zwei Konkavspiegeln. Diese Spiegel sind gegenüberliegend so angeordnet, dass sie sich dieselbe optische Achse teilen und ihre Brennpunkte jeweils im Scheitel des gegenüberliegenden Spiegels liegen. Außerdem lässt sich der obere Spiegel abnehmen, damit auf der Oberfläche des unteren Spiegels Objekte platziert werden können. Weiters besitzt der obere Spiegel eine kreisrunde Aussparung, sodass der Zwischenraum einsehbar ist.

Grundsätzlich steckt wenig Equipment hinter dem oben beschriebenen Effekt bzw. dem dreidimensionalen Bild. Jedoch sind einige physikalische Feinheiten verborgen, sodass teilweise weit verbreitete eher oberflächliche Erklärungen fehlerbehaftet oder der Förderung des Verständnisses der dahinter liegenden physikalischen Vorgänge im Weg stehen.

Dieser Beitrag fokussiert darauf, das Mirascope als Apparatur, die im Unterricht schnell und einfach einsetzbar ist, vorzustellen. Ziel des Beitrages ist, die Funktionsweise des Mirasopes auf konzeptueller Ebene darzustellen. Dabei wird Schritt für Schritt vorgegangen und ein möglicher Leitfaden für die Umsetzung im Unterricht gegeben. Der Beitrag stützt sich stark auf Phasen des Explorierens und des Beobachtens der Schülerinnen und Schüler, wobei den einzelnen ausgewählten Phänomenen strukturiert auf den Grund gegangen wird und strukturierte elementare Erklärungen entwickelt werden.

Aufgrund der Kürze des Beitrags kann auf die Phänomene und Erklärungen teilweise nur sehr verkürzt eingegangen werden. Ausführliche Beschreibungen finden sich in [1].

1.2 Erster Einsatz des Mirasopes

Bevor das Mirascope Beobachterinnen und Beobachtern vorgeführt wird, wird auf den unteren Spiegel ein Gegenstand gelegt, sodass Bilder innerhalb der Aussparung wahrgenommen werden können (siehe Abbildung 2). Diese Bilder scheinen meist so echt, dass der Aufforderung, den oben liegenden Gegenstand zu nehmen, ohne großes Nachdenken nachgegeben wird. Jedoch misslingt dieser Versuch. Die Finger bewegen sich durch das wahrgenommene Objekt hindurch. Die Folgen sind Staunen und große Verwunderung in den Gesichtern der Beobachterinnen und Beobachter.



Abbildung 2: Mirascope mit Würfeln

1.3 Einbettung in den Physikunterricht

Das Mirascope kann eine Bereicherung für den Optikunterricht (laut derzeitigem Physiklehrplan [2] verankert in der 8. Schulstufe) sein. Außerdem eignet sich das Mirascope auch für den Einsatz im Laborunterricht der Oberstufe. Vor der Arbeit mit dem Mirascope sollten jedoch vor allem die Konzepte zum Sehvorgang und zur Bildentstehung mit den Schülerinnen und Schülern bereits besprochen und Grundkenntnisse diesbezüglich gefestigt worden sein.

In Bezug auf das österreichische Kompetenzmodell [3] kann vor allem die Handlungskompetenz „Erkenntnisse gewinnen“ auf den unterschiedlichen Stufen angesprochen werden.

Ein Ansatz, der mit dem Mirascope gut verfolgt werden kann, ist u. a. auch jener des Inquiry-Based Learning [4] bzw. im deutschsprachigen Raum oft auch als forschendes [5] oder forschend-entdeckendes Lernen bezeichnet [6]. Die Handhabung des Mirasopes ist sehr einfach, das daher ein explorierendes Vorgehen der Schülerinnen und Schüler leicht

ermöglicht. Zudem können unterschiedliche Aspekte von Inquiry-Based Learning im Fokus stehen, z. B. das Untersuchen von Phänomenen, das Entwickeln von Fragestellungen, das Aufstellen von Vermutungen, das Planen und Durchführen von Untersuchungen, das Analysieren und Interpretieren von Daten etc. Auch das Level der Offenheit beim Inquiry-Based Learning kann an die Gruppe der Lernenden angepasst werden. In Bezug auf das Mirascope, so wie es in diesem Beitrag beschrieben wird, sind von den insgesamt vier Levels [4] das Level 2 („Structured Inquiry“: Fragestellung und Methode sind vorgegeben) oder höchstens das Level 3 („Guided Inquiry“: Nur die Fragestellung ist vorgegeben) empfohlen.

2. Erkundung der Funktionsweise

In diesem Kapitel wird zuerst das Phänomen des schwebenden dreidimensionalen Bildes an sich genauer untersucht und Schritt für Schritt ein Modell bzgl. der physikalischen Beschreibung entwickelt.

2.1 Untersuchung des Phänomens

Bei intensiver Recherche in Bezug auf die Funktionsweise des Mirascopes stößt man auf diverse, stark vereinfachte Erklärungen [7, 8] sowie auf komplexere Analysen mithilfe des Strahlenmodells [9]. Einfache Erklärungen umfassen häufig Modelle, die einen Punkt auf der optischen Achse beider Spiegel als Ausgangspunkt des Strahlengangs wählen und somit suggerieren, dass das Objekt, gleich in Ausrichtung und Größe, oberhalb des ausgesparten Loches abgebildet wird. In Abbildung 3 werden letztere Modelle dargestellt (derzeit bspw. zu finden bei [7, 8]). Das orange Kreuz symbolisiert, dass diese Darstellung fachlich falsch und somit auch nicht adäquat für Lernprozesse von Schülerinnen und Schüler ist. Dennoch kann diese Abbildung als Denkanstoß bzw. Ausgangspunkt für eine Überprüfung dieses Modells durch die Schülerinnen und Schüler genutzt werden.

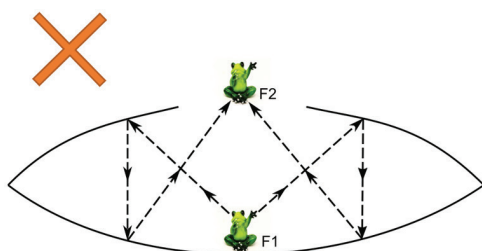


Abbildung 3: Falsches Modell der Funktionsweise [10]

Doch mit welchem Modell kann die Funktionsweise des Mirascopes nun für Schülerinnen und Schüler adäquat beschrieben werden? Wie kann solch ein Modell mit Schülerinnen und Schülern gemeinsam entwickelt werden?

In einem ersten Schritt ist es notwendig, die Schülerinnen und Schüler bzgl. Beobachtungen zu sensibilisieren und genaue Beschreibungen ihrer Beobachtungen einzufordern.

Die Lernenden verwenden unterschiedliche Gegenstände als Objekte im Mirascope, um entstehende Bilder im Vergleich zum Objekt genau beschreiben zu können. Hierbei ist es wichtig, dass den Lernenden auch asymmetrische Gegenstände zur Verfügung gestellt werden, damit Unterschiede bzgl. der Ausrichtung des Bildes und des Objekts leichter identifiziert werden können. Hierzu sind vor allem Würfel besonders gut geeignet.

Schülerinnen und Schüler können also beobachten, dass die Bilder des Objektes in die entgegengesetzte Richtung ausgerichtet sind als das Objekt selbst (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Ausrichtung des Objekts und der Bilder

Es wird jedoch nicht nur der Unterschied zwischen der Bild- und der Objektausrichtung sichtbar, sondern auch, dass zwei Bilder zu sehen sind (siehe Abbildung 5). Zusätzlich ist noch ein virtuelles Bild des Gegenstandes direkt im unteren Spiegel zu erkennen (siehe in Abbildung 3), welches aber für weitere Ausführungen nicht näher betrachtet wird.

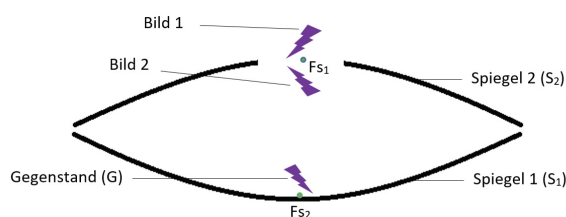
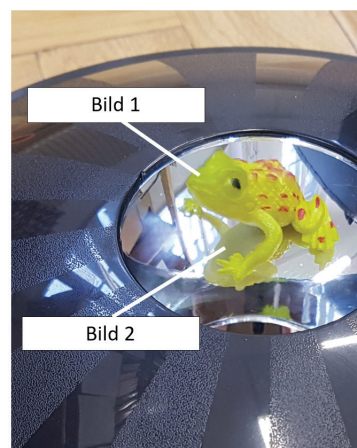


Abbildung 5: Mirascope – zwei Bilder

Die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler sollen sich im Weiteren auf die beiden oberen Bilder fokussieren. Hierbei sei noch erwähnt, dass die beiden Bilder bei gewissen Gegenständen leicht übersehen werden können und dieses Phänomen durch die Wahl von unterschiedlichen Gegenständen besser zu erkennen ist. Bei flachen Gegenständen wie bspw. Münzen wird das zweite Bild weniger gut erkannt.

Werden die hier gewonnenen Erkenntnisse mit dem falschen Modell (in Abbildung 3) verglichen, so wird deutlich, dass es die Beobachtungen nicht beschreibt, da laut Modell das Objekt gleich ausgerichtet sein muss wie das Bild. Zudem müsste laut Strahlengang das Bild eigentlich auf dem Kopf stehen, denn die Strahlen gehen in der Höhe der Augen des Frosches aus und treffen sich aber bei den Füßen wieder. Außerdem würde das Modell ausschließlich beschreiben, wie Gegenstandspunkte abgebildet werden, die direkt auf der Hauptachse der beiden Spiegel liegen und alle Punkte außerhalb würden nicht betrachtet werden. Daher kann dieses Modell als Erklärungsmodell eindeutig verworfen werden. Zudem wird deutlich, dass die Strahlengänge in diesen einfachen Darstellungen häufig unpräzise dargestellt sind und daher auch hinderlich für das Lernen der Schülerinnen und Schüler sind. Außerdem kann an dieser Stelle auch das Thema „Modelle und deren Funktion in der Physik“ aufgegriffen und mit den Schülerinnen und Schülern besprochen werden.

2.2 Erstellung eines Erklärungsmodells

Für das Erklärungsmodell konzentrieren wir uns nun vorrangig auf Bild 1 in Abbildung 5. Nach eingängiger Beobachtung wurde im Unterricht festgestellt, dass man bei der Betrachtung von Bild 1 offensichtlich immer die Hinterseite bzw. die gegenüberliegende Seite des Gegenstandes wahrnimmt. Dies würde also bedeuten, dass Licht von der gegenüberliegenden Seite des Gegenstandes in die Augen des Beobachters bzw. der Beobachterin gelangen muss. Folgt man diesem Gedanken und bezieht man das Wissen zum Reflexionsgesetz mit ein, so kann das in Abbildung 6 dargestellte Modell aufgestellt werden.

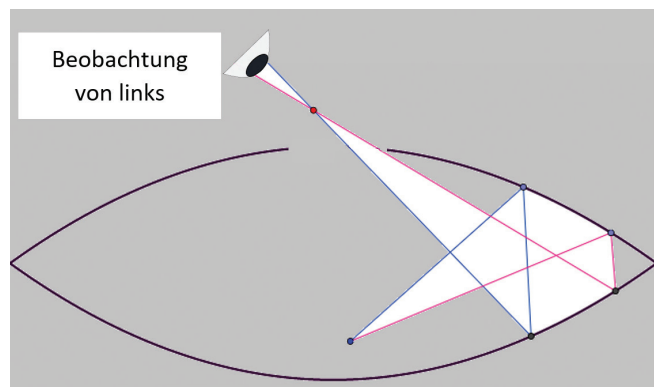


Abbildung 6: Beobachtung von links ermöglicht die Sicht der rechten Seite des Gegenstandes (anders formuliert: Man sieht genau die Hinterseite des Gegenstandes)

In Abbildung 6 wurde ein Gegenstandspunkt gewählt, welcher nicht auf der optischen Achse der beiden Spiegel liegt, denn nur so kann die unterschiedliche Orientierung von Gegenstand und Bild sinnvoll nachvollzogen werden.

Zur Überprüfung des aufgestellten Modells dient folgende Überlegung: Es müsste möglich sein, eine Hälfte im Zwischenraum der beiden Spiegel abzudecken (folgen wir Abbildung 6, dann wäre dies in unserem Fall die linke Hälfte), ohne dass das Bild verschwindet (Aufbau siehe Abbildung 7). Dieser Versuchsaufbau erlaubt es den Schülerinnen und Schülern viele Variationen bzgl. des Blickwinkels, der Blickrichtung und der Lage des Papiers zu untersuchen.



Abbildung 7: Halbabgedeckte Spiegel

2.3 Reelles vs. virtuelles Bild

In einem vertieften Schritt könnten nun Bild 1 und 2 in Bezug auf die Einordnung in reelles oder virtuelles Bild näher untersucht werden. Diese Aufgabe ist keinesfalls als trivial anzusehen. Will man das Thema reelles oder virtuelles Bild vertiefen oder in einem Oberstufenlabor noch einmal aufgreifen, so kann dies durchaus mit Hilfe des Mirasopes erfolgen.

Bevor man jedoch diese Thematik anhand des Mirasopes aufgreift, empfiehlt sich genau zu klären, was reelle und virtuelle Bilder sind. Häufig wird die Erklärung von reellen und virtuellen Bildern nur auf ihre Eigenschaft reduziert, auf einem Schirm abbildbar oder nicht abbildbar zu sein. Hierbei stellt sich grundsätzlich schon einmal die Frage: Lassen sich dreidimensionale reelle Bilder überhaupt auf einem zweidimensionalen Schirm auffangen? Das heißt also, dass die Reduzierung der Erklärung zu überdenken ist und es einer präziseren Formulierung bedarf. Ein reeller Bildpunkt ist eine Stelle, wo sich Strahlen eines Lichtbündels schneiden. Ein virtueller Bildpunkt ist ein theoretischer Punkt, in dem sich nur die theoretischen Verlängerungen der Strahlen eines Lichtbündels schneiden. Dies bedeutet elementarisiert, dass vom Bildort eines reellen Bildes direkt Licht ausgeht und vom theoretischen Bildort des virtuellen Bildes kein Licht ausgeht. Das heißt natürlich gleichzeitig, dass die einzelnen reellen Bildpunkte auf einem Objekt abgebildet werden können. Das würde daher auch bedeuten, dass sich zwar das beim Mirascope

entstandene dreidimensionale Bild nicht vollständig auf einem zweidimensionalen Schirm abbilden lässt, jedoch einzelne Bildflecken durchaus auf einem Schirm zu erkennen sein sollten.

Schülerinnen und Schüler können Vermutungen bzgl. der Einordnung in reell oder virtuell aufstellen. Hierzu kann auch das bereits erarbeitete Modell (Abbildung 6) als Unterstützung herangezogen werden.

Die Untersuchung der beiden Bilder muss mit einem lichtstarken Objekt als Gegenstand durchgeführt werden. Hier empfiehlt es sich bspw. eine LED zu verwenden. Ein Papierstück dient als Schirm und wird jeweils an die Stellen der beiden Bilder gehalten. In Abbildung 8 und 9 ist das Resultat des Versuchs deutlich zu erkennen. Bild 1 ist ein reelles Bild, da deutlich ein Leuchtfleck an der Stelle des Bildes erkannt werden kann. Bei Bild 2 ist auf dem Papierstreifen kein Leuchtfleck zu erkennen. Somit lässt dies die Folgerung zu, dass das Bild 1 (auch dem Modell aus Abbildung 7 abzuleiten) ein reelles und Bild 2 ein virtuelles Bild ist.

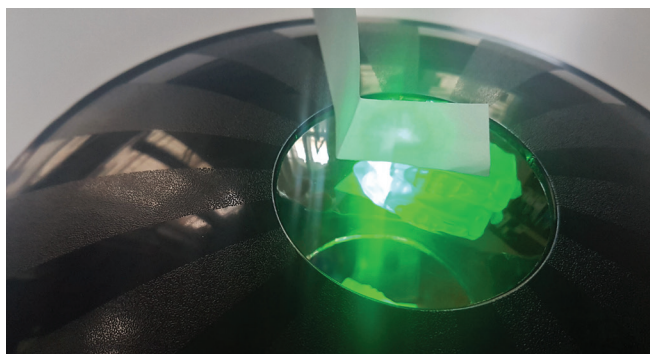


Abbildung 8: Überprüfung der Eigenschaft des reellen Bildes

Zu guter Letzt gilt es nur noch in aller Kürze zu klären, wie das virtuelle Bild zu Stande kommt: Nicht nur der Gegenstand wird als reelles Bild abgebildet, sondern auch der untere Spiegel wird als reelles Bild abgebildet. Das führt im Weiteren dazu, dass das reelle Bild des Gegenstandes am reellen Bild des

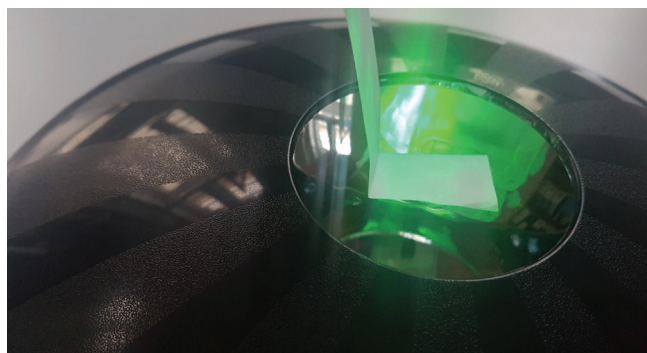


Abbildung 9: Überprüfung der Eigenschaft des virtuellen Bildes

Spiegels wiederum gespiegelt wird und dadurch ein virtuelles Bild resultiert. Dieses virtuelle Bild entsteht also durch die reelle Abbildung der unteren Spiegeloberfläche und des Gegenstandes.

3. Fazit

Das Mirascope ist eine preiswerte Apparatur (sie kann im Handel um etwa 15 Euro erworben werden), die hauptsächlich zum Themenbereich der Optik in der 4. Klasse oder auch in Laborsituationen in der Oberstufe einsetzbar ist. Vor allem bietet es eine hervorragende Möglichkeit, eine Inquiry-Based Learning Sequenz zu gestalten. Zudem kann zusätzlich auch eine Modellierung mit Hilfe von GeoGebra das Verständnis der Schülerinnen und Schüler unterstützen (genauere Anleitung dazu siehe [1]).

Das Mirascope birgt noch einige andere spannende Phänomene, die es sich mit Schülerinnen und Schülern zu untersuchen lohnt: Haben Sie beispielsweise schon erkannt, dass sich reelles und virtuelles Bild in ihrer Größe unterscheiden? Weitere Ideen sowie ausführlichere Beschreibungen zum Einsatz und der Funktionsweise des Mirascopes sind in [1] zu finden.

Ingrid Krumphals *Universität Graz*

Literatur

- [1] Krumphals, I. (2019). The Mirascope: an explanation on a conceptual level. *Physics Education*, 54(4), 45013. (Online verfügbar unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/ab143a>)
- [2] Bundesministerium für Bildung (2019). Lehrpläne der allgemein bildenden höheren Schulen. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (zuletzt aufgerufen am 10.07.2019)
- [3] Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung des österreichischen Schulwesens (bifie) (2011). https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf (zuletzt aufgerufen am 10.7.2019)
- [4] Banchi, H. & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), S. 26–29.
- [5] Köster, H. & Galow, P. (2014). Forschendes Lernen initiieren: Hintergründe und Modelle offenen Experimentierens *Unterricht Physik* 144, S. 24–6.
- [6] Höttecke, D. (2010). Forschend-entdeckender Physikunterricht: Ein Überblick zu Hintergründen, Chancen und Umsetzungsmöglichkeiten entsprechender Unterrichtskonzeptionen *Unterricht Physik* 119, S. 4–1.
- [7] <https://www.exploratorium.edu/snacks/parabolas> (zuletzt aufgerufen am 9.7.2019)
- [8] <http://dealking.nl/deals/mirascope-3d/> (zuletzt aufgerufen am 9.7.2019)
- [9] Adhya, S. & Noé, J. (2007). A Complete Ray-trace Analysis of the 'Mirage' Toy: ETOP 2007 - Proceedings. Ottawa. Aufgerufen von: <https://spie.org/etop/2007/etop07methodsV.pdf> (zuletzt aufgerufen am 9.7.2019)
- [10] Bildquelle Frosch <https://pixabay.com/de/photos/frosch-winken-figur-lustig-3095250/>

Programmieren lernen für den Physikunterricht mit Processing

Walter Stein

1. Einleitung

Ein Computer ist ein Werkzeug, mit dem unsere heutige Welt und auch unsere Zukunft gestaltet wird. Für heutige Schülerinnen und Schüler ist eine Welt ohne Computer nicht mehr vorstellbar. Doch die meisten nutzen diese Geräte nicht als kreatives Werkzeug, sondern hauptsächlich, um Filme zu schauen, Nachrichten zu versenden und Computerspiele zu spielen. Viele sind einfach nur Medienkonsumierende. Mit aus diesem Grund steht heute in den Lehrplänen, dass Lehrerinnen und Lehrer ihren Schülerinnen und Schülern nicht nur Fachwissen, sondern auch Medienkompetenz vermitteln sollen.

Medienkompetenz ist meines Erachtens aber etwas mehr als im Internet zu recherchieren, Textbearbeitungsprogramme nutzen zu können, einen PowerPoint-Vortrag zu erstellen oder mit fertigen Simulationen zu spielen. Zur Medienkompetenz gehört auch ein Grundverständnis im Programmieren, denn unser Leben wird in immer stärkerem Maße von Software bestimmt. Wer keine Grundkenntnisse in einer Programmiersprache besitzt, der kann digital auch nicht innovativ und kreativ sein. Warum sind Google, Facebook, Microsoft, Apple, ... keine europäischen Unternehmen?

Kann das Schulfach Informatik dafür sorgen, dass Europa in Zukunft in Sachen Digitalisierung nicht noch weiter abgehängt wird? Wohl kaum, denn dazu müsste es verbindlich an allen Schulen eingeführt werden. Dies wird aber als Folge der nicht ausreichend vorhandenen Fachkräfte in den nächsten Jahren kaum realisiert werden.

Aus diesem Grund habe ich das Buch „**Programmieren lernen für den Physikunterricht mit Processing**“ geschrieben und es zum kostenlosen Download für alle Interessierten ins Netz gestellt [1]. Das 325 Seiten starke Buch (104 Beispielprogramme und 66 Übungsaufgaben) ist so geschrieben, dass Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte sich anhand der zahlreichen Beispiele, die sich über die **Physik der gesamten Oberstufe des Gymnasiums** erstrecken, selbstständig die hierzu notwendigen Programmierkenntnisse aneignen können. Im Buchtitel steht „für den Physikunterricht“ und nicht „in dem Physikunterricht“. Damit meine ich, dass Programmieren lernen nicht auf Kosten der verbindlichen physikalischen Lehrinhalte gehen soll. Von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe kann man meines Erachtens verlangen, dass sie sich anhand dieses Buches mit seinen zahlreichen Beispielen selbstständig die hierzu notwendigen Programmierkenntnisse

aneignen. Im Physikunterricht können Lehrkräfte so ganz konkrete, fachbezogene Aufgaben stellen, die dann mittels Programmierung gelöst werden müssen. Somit ist das Erlernen einer Programmiersprache in diesem Buch kein Selbstzweck, sondern es erfolgt zielgerichtet anhand von physikalischen Problemstellungen. Dadurch erfahren Schülerinnen und Schüler, dass das Gelernte wirklich nützlich ist. Weiterhin werden bei der Erstellung einer Simulation ihre Physik- und Mathematikkenntnisse gefestigt, denn ohne diese Kenntnisse kann man kein sinnvolles Programm schreiben.

Als leicht zu erlernende Programmiersprache wurde die auf Java basierende kostenlose Programmiersprache Processing gewählt [2]. Sie enthält eine eigene Entwicklungsumgebung und eignet sich besonders gut zur Erstellung von Grafiken, Animationen und physikalischen Simulationen. Durch dieses optische Feedback wirkt sie gerade auf Programmieranfängerinnen und -anfänger sehr stark motivierend.

2. Beispiel Doppelspalt

Anhand des Sketches zur Simulation des Doppelspaltversuches möchte ich Ihnen einen kleinen Einblick in mein Buch geben. Ein Programm bei Processing nennt man Sketch (Skizze).

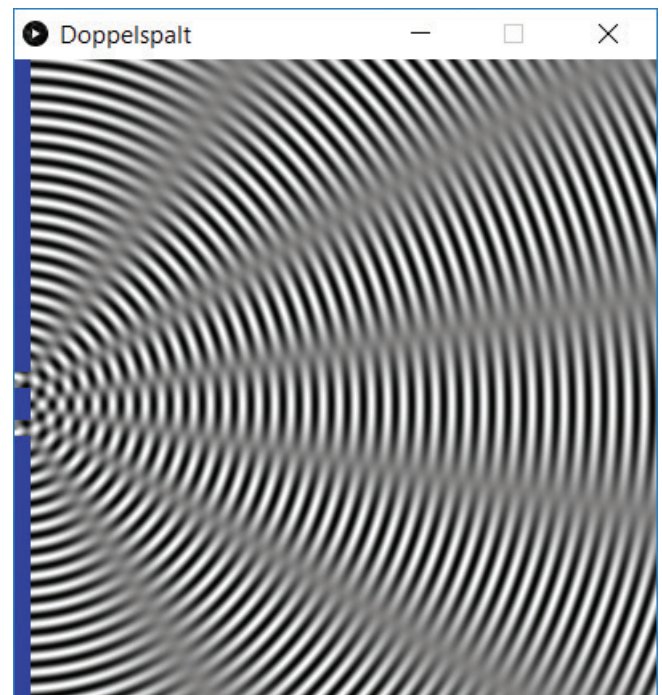


Abbildung 1: Mit dem Sketch Doppelspalt erstelltes Interferenzmuster hinter einem Doppelspalt

Durch das Nachvollziehen des in meinem Buch vorgegebenen Sketches Doppelspalt erwerben die Lernenden neue Programmierkenntnisse und können anschließend die Simulation sinnvoll verändern. Zum Beispiel durch Verringerung oder

Vergrößerung des Spaltabstandes oder der Wellenlänge. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass sie die vorhergehenden Kapitel im Buch durchgearbeitet und im Unterricht den physikalischen Sachverhalt gelernt und verstanden haben.

Originaltext aus dem Buch zu dem Sketch „Doppelspalt“

6.5 Doppelspalt

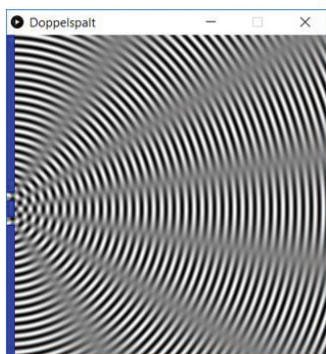


Abbildung 6.6: Interferenzmuster hinter einem Doppelspalt

Nachdem uns der vorhergehende Sketch vor keine geistige Herausforderung gestellt hat, wollen wir nun unser Gehirn wieder etwas auf Trab bringen. Dazu fertigen wir den Sketch *Doppelspalt* an, der uns die Abbildung 6.6 für unterschiedliche Wellenlängen zeichnen kann. Damit dies gelingt, müssen wir uns zuerst mit den beiden neuen Funktionen **loadPixels()** und **updatePixels()** vertraut machen. Mit **loadPixels()** laden wir die Information über jedes einzelne Pixel in unserem Fenster in ein eindimensionales Array. Da wir bei *void setup()* allen Pixeln die Farbe Weiß gegeben haben, besitzen sie an allen Stellen im Array die Information „Ich bin weiß.“. Die Farbe der Pixel wollen wir nun so ändern, dass sich das Interferenzmuster von Abbildung 6.6 ergibt. Wenn wir dies geschafft haben, rufen wir **updatePixels()** auf, um diese Änderungen abzuspeichern.

Bevor wir nun den Bereich zwischen **loadPixels()** und **updatePixels()** mit Code füllen, müssen wir uns zuerst die physikalischen Gegebenheiten ins Gedächtnis rufen. Wenn eine Welle mit parallelen Wellenfronten auf den Doppelspalt trifft, dann gehen von jedem Einzelspalt Kreiswellen aus, die sich zu dem in Abbildung 6.6 dargestellten Interferenzmuster überlagern. Für jedes Pixel im Fenster muss also bestimmt werden, ob es die Farbe Weiß (Wellenberg), Grau (Auslöschung) oder Schwarz (Wellental) erhalten soll. Dazu berechnen wir die Elongationen der Wellen von Spalt 1 und Spalt 2 zuerst getrennt, um sie dann anschließend zu addieren. Schauen wir uns zuerst die Welle 1 vom oberen Spalt an (siehe Abbildung 6.7). Den Abstand eines Pixels von der Spaltöffnung bezeichnen wir mit r_1 . Die Größe von r_1 können wir mit dem Satz von Pythagoras $c^2 = a^2 + b^2$ berechnen. Dazu schreiben wir in unserem Sketch: `float r1 = sqrt(x*(x+(y-y1)*(y-y1)))`. Siehe hierzu Abbildung 6.7. Da der obere Spalt in der Mitte den Wert $y_1 = 200$ besitzt und das Fenster 400 Pixel hoch ist, schwankt der Wert in der Klammer $(y - y_1)$ zwischen -200 und +200. Nun berechnen wir mit r_1/L (L = Wellenlänge) wie oft die Wellenlänge auf r_1 abgetragen werden kann. Wenn wir diesen Wert mit dem Vollwinkel 2π multiplizieren, erhalten wir den Winkel w_1 , den wir für die Berechnung der Elongation e_1 am Orte r_1 benötigen. Oder anders erklärt: Immer wenn die Welle um λ (L) fortgeschritten ist, dann hat sich der Zeiger im Zeigerdiagramm jeweils um den Winkel $w = 2\pi$, bzw. um ein ganzzahliges Vielfaches von 2π gedreht. Somit gilt: $w = \frac{r_1}{L} \cdot 2 \cdot \pi$. w_1 ist also nicht der Winkel zwischen x und r_1 (siehe Abb. 6.7), sondern der Winkel, den wir in die folgende Sinusfunktion einsetzen: `float e1 = 0.5 * sin(w1)`. So können wir innerhalb der doppelten *for-Schleife* für jeden Punkt im Fenster die Elongation e_1 ausrechnen. Für die Elongation e_2 gilt Entsprechendes. Der Faktor 0.5 vor dem Sinus sorgt dafür, dass bei der Addition $e = e_1 + e_2$ der Wert nicht größer als 1 wird.

Nun können wir dem Array `pixels[y * width + x]` die Elongation e so zuordnen, dass daraus Farbwerte von schwarz bis weiß werden. Dies gelingt mit `color(128 + e * 128)`. e ändert sich im Bereich von -1 bis +1. Dadurch ändert sich der Wert in der Klammer von 0 (schwarz) bis 256 (weiß). Nun müssen wir nur noch mit **updatePixels()** diese Farbwerte den einzelnen Pixeln zuordnen.

Eine Anmerkung noch zu dem Array `pixels[y * width + x]`. In der doppelten *for-Schleife* wird die innere *for-Schleife* immer zuerst vollständig durchlaufen. Danach rückt die äußere *for-Schleife* einen Schritt vor. Dann wird die innere Schleife wieder ganz durchlaufen. Danach rückt die äußere *for-Schleife* wieder einen Schritt vor. Und so weiter. D.h., `x` läuft von Null bis zum Fensterrand. Danach erhöht sich der `y`-Wert um 1. Nun läuft `x` wieder von Null bis zum Fensterrand. Und so weiter.

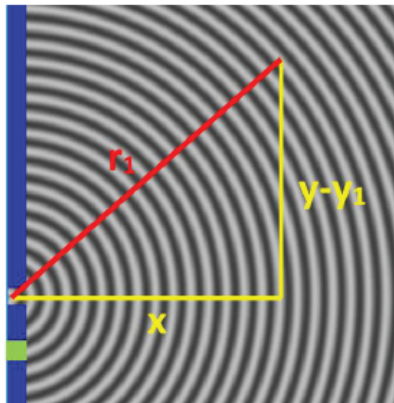


Abbildung 6.7: Skizze zur Berechnung des Abstandes von einem Pixel zu einer Spaltöffnung.

Sketch 06: Doppelspalt

```
// Doppelspalt

float y1 = 200; // Mittelpunkt der vom oberen Spalt ausgehenden
Kreisswelle
float y2 = 230; // Mittelpunkt der vom unteren Spalt ausgehenden
Kreisswelle
float L = 10; // Wellenlänge

void setup()
{
    size(400, 400);
    background(255);
}

void draw()
{
    loadPixels(); // Lädt die Pixel der ganzen Fläche als ein
                  // eindimensionales Array.

    // Mittels der beiden for-Schleifen wird die Farbe der einzelnen Pixel
    // verändert.
    for (int y = 0; y < height; y++) //Spalten durchlaufen
    {
        for (int x = 0; x < width; x++) //Zeilen durchlaufen
        {
            // Welle 1, Berechnung von r1 mittels Pythagoras
            float r1 = sqrt(x*x+(y-y1)*(y-y1)); // Der Wert einer y-Klammer
            // schwankt zwischen +200 oder -200
            float w1 = 2 * PI * r1/L; // Der Winkel w1 wird in Abhängigkeit
            // von r berechnet.
            float e1 = 0.5 * sin(w1); // e1 = Elongation 1

            // Welle 2, Berechnung von r2 mittels Pythagoras
            float r2 = sqrt(x*x+(y-y2)*(y-y2)); // Der Wert einer y-Klammer
            // schwankt zwischen +170 oder -230
            float w2 = 2 * PI * r2/L; // Der Winkel w2 wird in Abhängigkeit
            // von r berechnet.
            float e2 = 0.5 * sin(w2); // e2 = Elongation 2

            float e = e1 + e2; // Elongation am Überlagerungsort

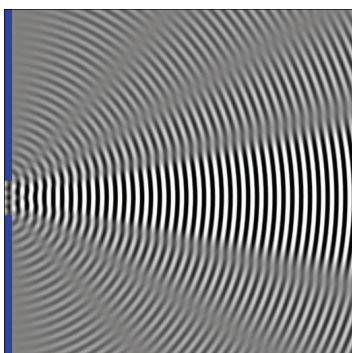
            /* Das Pixel-Array pixels[] wird mit Farbwerten zwischen 0
            (schwarz)und 256 (weiß) gefüllt, da die Elongation e sich
            zwischen +1 und -1 ändert. */
            pixels[y * width + x] = color(128 + e * 128);
        }
    }
    updatePixels(); //Geänderte Pixel werden gezeichnet

    // Der Doppelspalt wird gezeichnet
    noStroke();
    fill(0, 0, 200);
    rect(0, 0, 10, 195); // oben
    rect(0, 205, 10, 20); // mittig
    rect(0, 235, 10, 165); // unten
}
```

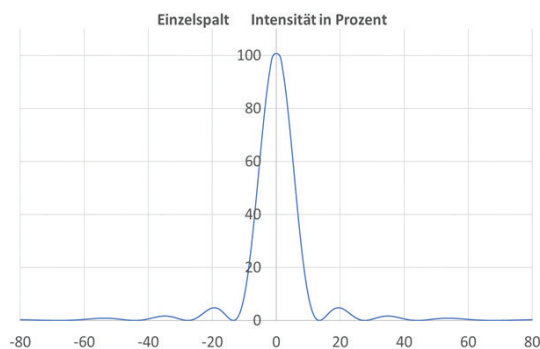
Da mein Buch auch Aufgaben enthält, deren Lösungen nur den Lehrenden per Mail zugesandt werden, die mir über das entsprechende Onlineformular auf meiner Homepage eine Schulbescheinigung schicken, können diese mit den Aufgaben überprüfen, ob ihre Schülerinnen und Schüler sich anhand der im Buch aufgeführten Beispiele die notwendigen physikalischen und programmtechnischen Kenntnisse angeeignet haben. Hier ist eine Beispielaufgabe.

Aufgabenbeispiel

Entsprechend dem Programm Doppelspalt soll auch für einen Einzelspalt das zugehörige Interferenzmuster erzeugt werden (siehe Abbildung unten). Hierbei hilft das Huygenssche Prinzip, nach dem man sich in der Spaltebene viele schwingende Erreger von Elementarwellen vorstellen kann.



Auf den ersten Blick erscheinen einem die Nebenmaxima im Processingfenster recht dunkel. Man muss jedoch bedenken, dass das Interferenzmuster des Einzelspalt ein sehr helles Hauptmaximum und nur schwach ausgeprägte Nebenmaxima besitzt (siehe Abbildung unten).



Tipp: Will man im Fenster den Kontrast zwischen Maxima und Minima verstärken, dann kann man in der folgenden

Programmzeile die Elongation e zum Beispiel um den Faktor 2 vergrößern.

```
pixels[y * width + x] = color(128 + 2*e * 128);
```

In meinem Buch wird im **Kapitel Quantenphysik** der Doppelspaltversuch noch einmal thematisiert. Hier lernen die Schüler anhand eines Sketches und der zugehörigen Simulation (Abbildung 3), dass Photonen Quantenobjekte sind, deren Verhalten nur mithilfe von Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden kann. Wenn zum Beispiel ein Photon einen Doppelspalt passiert, dann können wir nicht mit Sicherheit voraussagen, an welcher Stelle es auf dem nachfolgenden Schirm auftrifft. Treten jedoch sehr viele Photonen durch den Doppelspalt, so erkennen wir das Streifenmuster, welches uns aus der klassischen Wellenlehre bekannt ist.

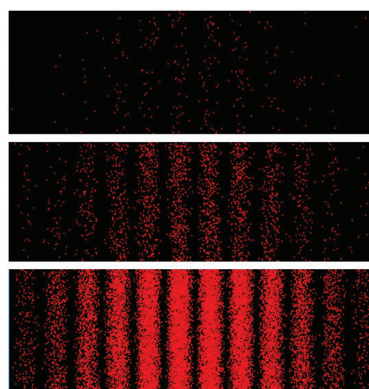


Abbildung 3: Sich aufbauendes Interferenzmuster auf dem Schirm beim Doppelspaltversuch

3. Fazit

Anhand des obigen Beispiels sollte gezeigt werden, wie Lehrerinnen und Lehrer „Programmieren lernen für den Physikunterricht mit Processing“ sinnvoll in ihrem Unterricht einsetzen können. Bei der Erstellung ihrer eigenen Simulationen festigen und vertiefen die Schülerinnen und Schüler nicht nur ihre Physikkenntnisse, sondern sie erwerben kreativ und zielgerichtet die Grundlagen für die Erstellung eigener Software. Dieses Grundverständnis im Programmieren wird ihnen helfen, ihr zukünftiges berufliches Leben besser zu gestalten.

Walter Stein *Physiklehrer am St. Michael-Gymnasium in Bad Münstereifel bis 2015*

Literatur

[1] Stein, W. (2018) Programmieren lernen für den Physikunterricht mit Processing. <https://steinphysik.de/> (Stand: November 2018)

[2] <https://processing.org/download/> (Stand: November 2018)

Kompetenzorientierte Aufgaben für die schriftliche Reifeprüfung in Physik

Eine mögliche Annäherung an Hand von zwei unterschiedlichen Inhaltsbereichen

Ronald Binder und Thomas Plotz

Durch die Änderung der Reifeprüfungsverordnung stehen Physiklehrkräfte seit einigen Jahren in der Verantwortung und Pflicht, kompetenzorientierte Aufgaben für den schriftlichen Teil der Reifeprüfung zu entwickeln. Die entsprechende Verordnung [1] liefert hier den verpflichtenden Rahmen. Die konkrete Aufgabenerstellung ist bundesweit jedoch nicht einheitlich geregelt, was große Unterschiede in der Art der Umsetzung zur Folge hat. In diesem Beitrag werden zwei mögliche Aufgaben präsentiert und diskutiert. Zunächst werden aber die allgemeinen Rahmenbedingungen für die schriftliche Reifeprüfung ausgehend von den gesetzlichen Vorgaben analysiert und besprochen.

Eine Aufgabenstellung im Rahmen der kompetenzorientierten Reifeprüfung muss natürlich aus dem Lehrplan abgeleitet und in diesem verortbar sein. Gefordert ist zudem die Verknüpfung der Inhaltsdimension mit der Handlungsdimension auf einem bestimmten Anforderungsniveau. Die Handlungsdimension des Kompetenzmodells Naturwissenschaften (siehe dazu auch [2]) bildet die Basis für das Formulieren der Aufgabenstellungen von Schularbeiten und der Klausuraufgaben im Fach Physik. Dieses Modell bezieht sich auf die Grundlagen naturwissenschaftlichen Forschens und die Anwendung von Forschungsergebnissen. Es umfasst die Bereiche „Fachwissen organisieren und kommunizieren“ (W), „Experimentieren und Erkenntnisse gewinnen“ (E) und „Standpunkte begründen und naturwissenschaftlich bewerten“ (S). Bei der Erstellung der Aufgaben ist darauf zu achten, dass sich die Anforderungen an die Kandidatinnen und Kandidaten nicht nur auf einen der drei Bereiche beschränken. Im Rahmen ihrer Arbeiten sollen die Kandidatinnen und Kandidaten Kompetenzen möglichst aus allen drei der oben genannten Bereiche unter Beweis stellen können. Das heißt wiederum nicht, dass in jeder Aufgabe alle drei Bereiche vorkommen müssen. Ein Übergewicht vor allem des Bereiches Fachwissen organisieren (W) ist zu vermeiden.

Die Auswahl der Aufgabenformate richtet sich nach dem Bereich der Handlungsdimensionen und den fachlichen Inhalten der jeweiligen (Teil)aufgabe. Dabei sind offene

Antwortformate, wie z. B. das Verfassen von erläuternden oder argumentierenden Texten, das grafische Darstellen von Abläufen und Zusammenhängen, das physikalische Rechnen oder das Skizzieren von Versuchsanordnungen ebenso möglich, wie gezielt eingesetzte einzelne Multiple-Choice-Aufgaben. Die Anforderungsniveaus (Komplexität) der Kompetenzen der drei Bereiche sind in zwei Stufen einzuteilen:

- Reproduktions- und Transferleistung
- Reflexion und Problemlösung

Bei der Aufgabenstellung ist auf klare und eindeutige Formulierung unter Verwendung von Operatoren zu achten. Die Aufgaben sollen den jeweils geforderten Kompetenzbereich, sowie das Anforderungsniveau ausweisen.

Der Physikunterricht der Oberstufe sollte einen wesentlichen Beitrag zum Bildungsbereich „Mensch und Gesellschaft“ liefern. Dazu gehört u. a. die Entwicklung einer rationalen Kritikfähigkeit bei gesellschaftlichen Problemen, wie z. B. der Mobilität. Diese ist ständiges Thema in den Tagesnachrichten und wird des Öfteren von Falschmeldungen geprägt. Der erste Teil der folgenden Aufgabenstellung zur Verkehrsphysik widmet sich genau diesem Thema und zeigt Möglichkeiten auf, wie Kandidatinnen und Kandidaten angeleitet werden können, Standpunkte aus naturwissenschaftlicher Sicht zu bewerten und eigene Standpunkte zu vertreten. Im zweiten Teil steht das Argumentieren mit physikalischen Modellen, das Interpretieren von Grafen und das Auswerten von Daten im Vordergrund.

Die zweite Aufgabe ist inhaltlich dem Themenkomplex der elektromagnetischen Strahlung zuzuordnen. Dabei steht vor allem der Transfer von Wissen auf einen aktuellen Kontext im Mittelpunkt. Zudem sollen die Schülerinnen und Schüler die Wirksamkeit und Sinnhaftigkeit von Strahlenschutzmaßnahmen beurteilen und bewerten.

Ronald Binder KPH Wien/Krems

Thomas Plotz AECC Physik, Universität Wien

Literatur

[1] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009735&FassungVom=1992-12-31>

[2] http://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf

Aufgabenstellung: Verkehrsphysik

- a) Herr Liedl schrieb folgenden Leserbrief zum Tagesthema „Tempo 160 auf Autobahnen“:

Angenommen, ein Auto A fährt mit 130 km/h und ein Auto B mit 160 km/h. Die Zeitersparnis für B beträgt auf 100 km ca. 8,5 Minuten. Da geht sich vielleicht gerade einmal eine WC-Pause aus. Andere Faktoren ändern sich jedoch viel dramatischer. Der Luftwiderstand steigt quadratisch mit der Geschwindigkeit. Damit verbraucht Auto B beinahe 50 % mehr Treibstoff als Auto A und man verbringt damit viel mehr Zeit beim Tanken. Zusätzlich zu berücksichtigen ist das Schnecken tempo der LKWs. Durch eine größere Geschwindigkeitsdifferenz der Fahrzeuge steigt die Anzahl und die Intensität der Bremsmanöver und Staus sind vorprogrammiert. Die Bewegungsenergie und der Anhalteweg der PKWs ist außerdem bei 160 km/h ebenfalls 1,5 mal so groß wie bei 130 km/h. Somit werden bei einem Unfall Knautschzone, Gurt und Airbag bei dieser extremen Geschwindigkeit auch an ihre Grenzen stoßen. In Summe wird keine Zeitersparnis, aber dafür eine größere Anzahl von Unfällen und Schadstoffemissionen zu erwarten sein.

Überprüfe die Aussagen zur Zeitersparnis, dem Treibstoffverbrauch sowie der Bewegungsenergie und dem Anhalteweg im Leserbrief und beurteile ihre Richtigkeit. Stelle Pro und Kontra einer Erhöhung des Geschwindigkeitslimits auf 160 km/h gegenüber und verfasse eine kurze eigene Stellungnahme zu diesem Thema.

Kommentar: Im ersten Teil dieser Aufgabe geht es darum, mit Informationen aus dem Leserbrief umzugehen. Dazu muss das eigenen Fachwissen verwendet werden, um die Zahlen überprüfen zu können. Im zweiten Teil sollen die Informationen der Quelle aus naturwissenschaftlicher Sicht und aus anderen Blickwinkeln (z. B. ökonomisch, ökologisch, ethisch) persönlich reflektiert werden. Somit werden in Aufgabe 1a) sowohl WV- als auch S-Kompetenzen überprüft.

- b) Die Fahrgastzellen neuer PKW- Modelle sind mittlerweile so stabil, dass sie selbst der enormen Belastung eines Crashtests mit 60 km/h standhalten. Mit dieser Entwicklung ist die Verringerung der Knautschzonen verbunden. Argumentiere physikalisch die Notwendigkeit von Knautschzonen. Beurteile die Sinnhaftigkeit von elastischen Stoßstangen bei Autos, ähnlich wie beim Autodrom in Vergnügungsparks.

Kommentar: Im b)-Teil sollen technische Entwicklungen kritisch betrachtet werden, wodurch S-Kompetenzen gefordert sind. Der Wegfall von Knautschzonen oder die Ergänzung von elastischen Stoßstangen müssen also mit physikalischen Argumenten in Hinblick auf den Sicherheitsaspekt für die Insassen diskutiert werden.

- c) Entnimm der Abbildung 1 die Zeit, die einer nicht angeschnallten Person bleibt, die Geschwindigkeit von 50 km/h bis zum Lenkrad abzufangen. Schätze, unter realistischer Annahme der Masse, die Kraft ab, die auf die Arme in dieser Zeit wirkt. Interpretiere den durchgezogenen Grafen der angeschnallten Person und schätze die Zeit ab, die einem Airbag bleibt, um sich voll aufzublasen.

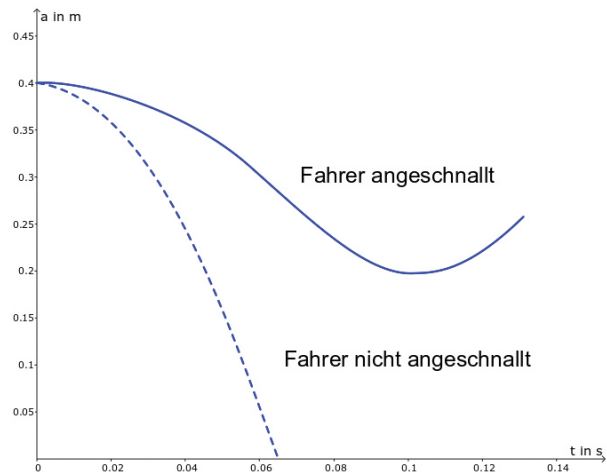


Abb. 1: Abstand a zwischen Fahrer und Lenker [Sarah Zloklikovits]

Kommentar: Vorgänge und Phänomene in Natur, Alltag und Technik in verschiedenen Formen (Bild, Grafik, Tabelle, Diagramm, formale Zusammenhänge, Modelle, ...) darstellen, erläutern und adressatengerecht kommunizieren sind Kompetenzen, die im WV-Bereich des Kompetenzmodells explizit angeführt sind.

- d) Die folgende Tabelle beinhaltet Ausschnitte der Messergebnisse eines Beschleunigungssensors, der in einem Auto während der Fahrt im Fahrtechnikzentrum auf einer kreisförmigen Straße mit ca. 25 m Radius waagrecht montiert wurde.



Abb. 2: Kurvenfahrt [Ronald Binder]

Die positive x-Richtung des Sensors zeigt dabei in Fahrtrichtung, die positive y-Richtung in Richtung des Kurvenmittelpunktes und die positive z-Richtung nach unten. Der Sensor zeichnete die Beschleunigungen a_x , a_y und a_z in den 3 Richtungen des Raumes sowie den Betrag des Beschleunigungsvektors $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ auf.

Tab. 1: Beschleunigungswerte [Manfred Lohr]

Zeit (s)	Beschleunigung, X (m/s ²)	Beschleunigung, Y (m/s ²)	Beschleunigung, Z (m/s ²)	Beschleunigung, Betrag (m/s ²)
12	-0,3	-4,5	9,4	10,4
12,05	-0,1	-4,5	9,8	10,8
12,1	0,1	-4,9	9,7	10,8
12,15	0,1	-4,5	9,4	10,4

12,2	0,2	-4,4	9,7	10,7
12,25	0,2	-4,4	10,1	11,1
12,3	0,1	-4,4	9,5	10,5
12,35	0,2	-4,5	9,6	10,6
12,4	0,2	-4,7	10,2	11,2
12,45	0,3	-4,7	9,4	10,5
12,5	0,3	-4,5	9,7	10,7
12,55	0,2	-4,8	10,2	11,3
12,6	0	-4,6	10,2	11,2
12,65	0	-4,6	9,5	10,5
12,7	0,1	-5	9,8	11
12,75	0,4	-5,2	9,7	11
12,8	0,4	-4,6	9,7	10,8
12,85	0,2	-4,5	10	10,9
12,9	0,2	-4	9,4	10,2
12,95	0,2	-4,5	9,8	10,8
13	0	-4,7	10	11

Begründe die gerundeten Durchschnittswerte der Beschleunigung in x- und in z-Richtung. Berechne das arithmetische Mittel der Werte in y-Richtung und ermittle damit die Geschwindigkeit des Autos.

Kommentar: Diese Aufgabe zeigt die Möglichkeit auf, Daten auszuwerten, die nicht während der Prüfungszeit aufgenommen werden. Diese Daten sollen durch mathematische und physikalische Modelle abgebildet und interpretiert werden, wodurch bei dieser Teilaufgabe E-Kompetenzen überprüft werden sollen.

Aufgabenstellung Elektromagnetische Strahlung

a) In einer großen österreichischen Tageszeitung fand sich vor kurzem folgender Beitrag.

Totale Vernetzung – Elektromog als ständiger Begleiter

In unserem beruflichen Leben sind PC, Laptop und Mobiltelefon nicht mehr wegzudenken. Sie erleichtern die Arbeit und helfen bei der Vernetzung mit anderen.

Die Auswirkungen dieser Entwicklung sind für den Menschen nicht unerheblich. Die von den Geräten erzeugten elektromagnetischen Felder (EMF) sind unumstritten. So fühlen sich viele durch Müdigkeit, Abgeschlagenheit, Kopfschmerzen und Stress belastet und krank. Die Umsetzung der EU-Richtlinie „Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz“ ab erstem Juni zeugt davon, dass auch die Politik die Problematik erkannt hat.

Doch auch in den Häusern und Wohnungen ist Strahlung allgegenwärtig. Vor allem Kinder und Jugendliche sind durch den Einsatz von WLAN-Routern belastet. Diese Geräte sind meist mit mehreren Mobiltelefonen, Tablets und Laptops verbunden und versorgen diese mit einem Zugang zum Internet. Um die Belastung zu verringern sollten diese Geräte nicht im Kinderzimmer angebracht werden. Auch das Babyphon nutzt EMF und sollte daher so weit als möglich von den Babys entfernt stehen. Ein neuer Chip der Firma WAVEX soll vor der Strahlung schützen indem die Felder verändert werden.

In Abbildung 1 finden sich verschiedene Frequenzen und deren Anwendungen. Gib die möglichen Frequenzen der im Artikel angegebenen Strahlungen an und ordne diese einem Strahlungsbereich im Spektrum (Abbildung 2) zu.

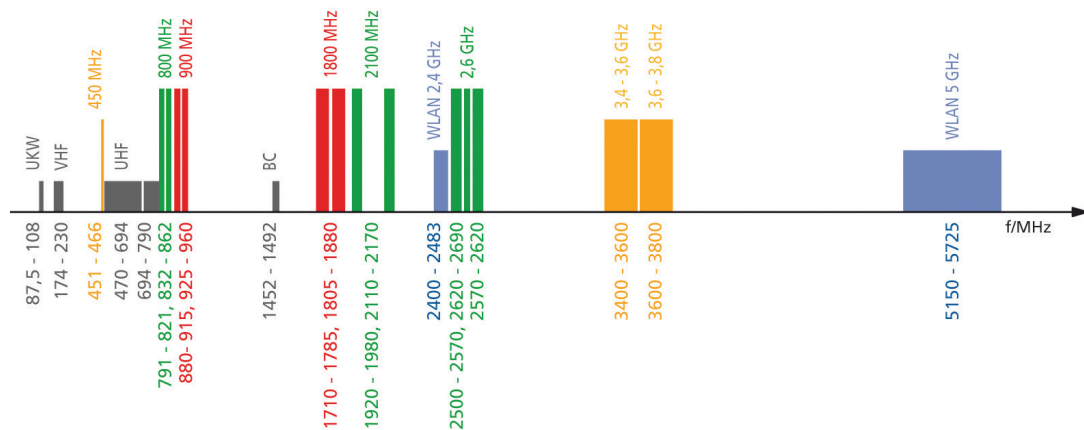


Abbildung 1: Übersicht der technischen Frequenzen in Österreich. (Quelle RTR-GmbH CC BY 4.0)

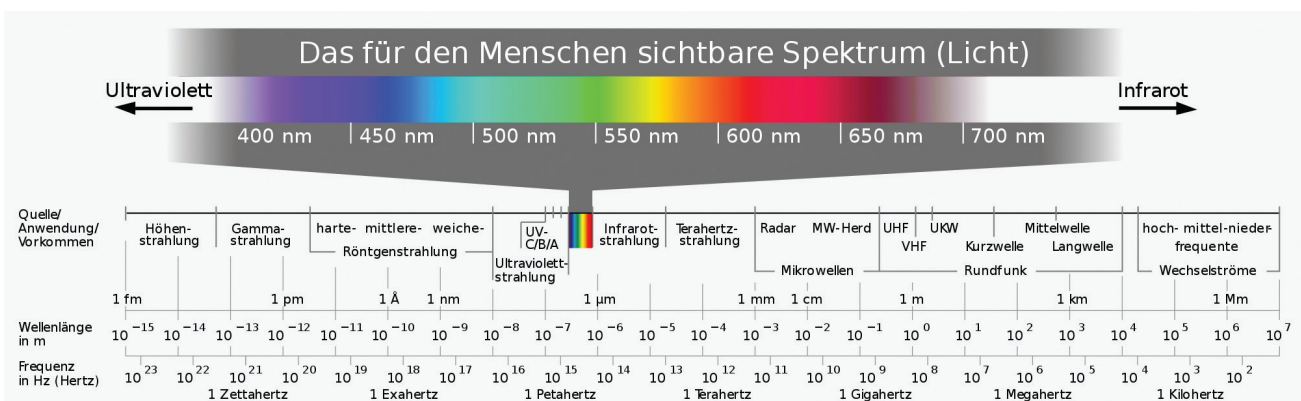


Abbildung 2: Elektromagnetisches Spektrum (Quelle: Horst Frank / Phrood / Anony CC BY-SA 3.0)

- b) Elektromagnetische Strahlung transportiert immer Energie. Die Menge der Energie ist dabei direkt von der Frequenz der Strahlung abhängig ($E=h \cdot f$ mit $h= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$). Berechne die Energie die bei einem WLAN-Router pro Photon transportiert wird und vergleiche diese mit der Energie von sichtbarem blauen Licht.
- c) Schätze auf Grund der Ergebnisse von b) die Gefahr von „WLAN-Strahlung“ ein und begründe deine Einschätzung physikalisch. Bringe diese Einschätzung in die Form eines kurzen Leserbriefes an die Zeitung von Aufgabe a).

Kommentar: Aufgabe b) und c) adressieren den Bereich W und stellen eine Erweiterung von Aufgabe a) dar.

- d) Mahmed und Alicia führen im Unterricht folgendes Experiment durch. Sie geben eines ihrer Handys in verschiedene Behälter und versuchen dieses anzurufen. Sie erhalten folgende Ergebnisse:

Material	Behälter offen oder geschlossen	Handy läutet
Eisentopf mit Eisendeckel	geschlossen	nein
Eisentopf mit Eisendeckel	offen	ja
Aluminiumschachtel	offen	ja
Kartonschachtel	geschlossen	ja
Keramiktopf	geschlossen	nein
Aluminiumschachtel	geschlossen	nein
Tonbehälter	geschlossen	ja

Variante 1:

Wenn dies möglich ist, so wird Strahlung durchgelassen. Schlägt der Anruf fehl, so ist dies ein Hinweis, dass das Material Strahlung blockiert.

Welchen Schluss würdest du aus den Ergebnissen schließen?

Variante 2:

Formuliere aus den Ergebnissen eine Hypothese, welche erklärt, warum das Handy manchmal läutet und manchmal nicht. Erkläre darüberhinaus, wovon das Ergebnis des Versuches abhängen kann.

Kommentar: In dieser Teilaufgabe liegt der Schwerpunkt in der Interpretation der Daten aus dem Versuch. Die Schülerinnen und Schüler müssen aus den Daten eine Interpretation ziehen und sollten diese begründen können. Bezogen auf das Kompetenzmodell erfüllt dies in diesem Inhaltsbereich E4.

- e) In den letzten Jahren häufen sich Produkte, die angeben, dass sie vor schädlicher Strahlung schützen sollen. Meist handelt es sich um kleine Aufkleber, aber auch Decken oder Matratzenunterlagen sollen vor Strahlung im Schlaf schützen. Argumentiere, dass solche Produkte aus physikalischen Sicht nutzlos sind. Verwende dafür auch die Abbildung 3 (Skizze).

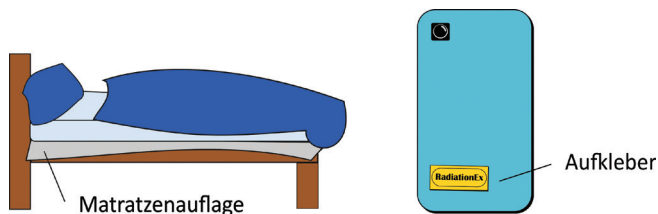


Abbildung 3: Sticker und Matratzenauflagen (erstellt Zlokikovits)

Kommentar: In Aufgabe e) soll nun auf Basis des eigenen Wissens um die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen und den Ergebnissen des Versuches in d) ein Produkt bewertet werden (Kompetenz S1).

- f) In der Physik wird elektromagnetische Strahlung entweder als Teilchenstrahlung mit Photonen oder als Wellenstrahlung modelliert. Beschreibe die beiden Modelle und gib jeweils ein Beispiel an in dem das Teilchen- oder das Wellenmodell die adäquate Erklärung darstellt.

Kommentar: Die letzte Aufgabe ist wiederum dem Bereich Wissen organisieren zuzuordnen. Die Schülerinnen und Schüler sollen die Modelle vergleichen. Zusätzlich ist der Modellcharakter der Theorien implizit zu begründen.

Warum ist Aquagymnastik gelenkschonend?

Leo Ludick

In Wellnessoasen werden Aquagymnastikkurse angeboten, die vor allem von älteren Menschen bevorzugt zur sportlichen Ertüchtigung besucht werden. Vor allem schätzt diese Personengruppe die gelenkschonende Art des Sports. Dass hier das sogenannte Archimedische Prinzip zur Anwendung kommt, also, dass ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper soviel an Gewicht verliert, wie die von ihm verdrängte Wassermenge wiegt, ist jedem klar. Aber wie hoch ist der Gewichtsverlust tatsächlich? Nehmen wir einen sechzigjährigen Menschen mit 800 Newton Gewicht (rund 80 kg Masse), der ins Wasser steigt. Während der Gymnastik sind lediglich Hals und Kopf nicht im Wasser. Hals und Kopf haben eine Masse von ca. 7 Kilogramm, also ein Gewicht von 70 Newton. Das Volumen

des menschlichen Rumpfes beträgt bei unserem Sportler etwa 70 Liter. Diese verdrängten 70 Liter Wasser haben ein Gewicht von 700 Newton, um die der Mensch während der Aquagymnastik leichter wird. Statt 800 Newton drücken nur mehr 170 Newton auf die Gelenke, das ist nur 1/5 der Kraft, die außerhalb des Wassers wirkt. Deshalb ist Aquagymnastik so gelenkschonend.

Leo Ludick Physiklehrer an Gymnasien von 1971 bis 2010, Mitarbeiter im Bereich der Fachdidaktik für Physik an der JKU Linz von 1987 bis 2000 und derzeit Pädagogischer Berater des Science Centers Welios in Wels

Rezension: Holm Gero Hümmler „Verschwörungsmythen.“

Leo Ludick

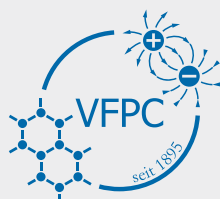
War Armstrong vor 50 Jahren wirklich auf dem Mond? Waren die Anschläge am 11.9.2001 von der US-Regierung inszeniert? Sind die Kondensstreifen in Wirklichkeit Chemiewaffen? Das sind nur drei der sechs Fragen, denen der Physiker Dr. Hümmler auf den Grund geht. Genauer: Er nimmt die sich um diese Ereignisse rankenden Verschwörungstheorien unter die „Plausibilitätslupe“ und entlarvt diese Mythen als systematisch angelegte und politisch motivierte Verunsicherungsstrategien der Bevölkerung. Mit sauberen naturwissenschaftlichen Methoden nimmt er die Argumente der Verschwörungsgläubigen auseinander und zeigt, dass sich hier

extremistisches Gedankengut verbirgt. Dabei kann man auf viele den von den Verschwörungsanhängern vorgebrachten Argumenten zumeist sogar mit „Schulphysik“ den Boden ihrer Argumentationsketten nehmen. Deshalb sollte dieses Buch auch in jedem Oberstufenphysikunterricht behandelt werden.

Leo Ludick Physiklehrer an Gymnasien von 1971 bis 2010, Mitarbeiter im Bereich der Fachdidaktik für Physik an der JKU Linz von 1987 bis 2000 und derzeit Pädagogischer Berater des Science Centers Welios in Wels

Literatur

Hümmler, H. (2019) Verschwörungsmythen. Wie wir mit verdrehten Fakten für dumm verkauft werden. HirzelVerlag ISBN 9783777627809



Neues aus dem Verein

Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik

In diesem Jahr fand die wichtigste fachdidaktische Tagung für Physik und Chemie im deutschen Sprachraum an der Universität Wien statt. In diesem Jahr wurde zusätzlich noch die entsprechende Tagung der Fachdidaktik Biologie zeitgleich abgehalten, sodass Anfang September mehr als 600 Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker sich vier Tage lang intensiv austauschten und ihre Forschungsergebnisse präsentieren haben. Nähere Informationen finden sich auf der Homepage der Tagung <https://aecc.univie.ac.at/gdcp-fddb-2019/>

Im Rahmen einer erweiterten Kaffeepause wurden zu Werbezwecken Ausgaben von Puls Lucis an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ausgeteilt. Diese Aktion diente der Verstärkung der Sichtbarmachung der Zeitschrift vor allem in Deutschland. Ziel ist es hier Abonnentinnen und Abonnenten zu akquirieren. Ziel ist es, dass an jedem fachdidaktischen Forschungsstandpunkt im deutschen Sprachraum die Zeitschrift abonniert wird.

Veränderungen bei der Fortbildungswoche

Das Jahr 2020 bringt eine organisatorische Veränderung der Fortbildungswoche mit sich. Nachdem wir in den letzten zehn Jahren festgestellt haben, dass es in der Schulrealität kaum mehr möglich ist mehrere ganze Tage an einer Fortbildung teilzunehmen, gibt es nun die Möglichkeit sich für einzelne Halbtage anzumelden. Zudem wird der Chemie- und der Physikteil der Woche zusammengezogen und so aus der Fortbildungswoche eine gemeinsame Tagung. Der Vorstand hofft, dass so der Austausch zwischen den Kolleginnen und Kollegen intensiviert wird.

Einladung zur Generalversammlung

Wir laden Sie/Euch ganz herzlich zur Generalversammlung am Montag den 18.11.2018 von 18:00 – 19:00 Uhr ins neue Schulversuchspraktikum in der Porzellangasse 4, Stiege 2 / E1 ein. Besonders die vielen neuen Mitglieder können sich hierbei ein Bild von den Aktivitäten des Vereins machen, Vorstandsmitglieder kennenlernen, Vorschläge einbringen oder auch aktiv Aufgaben übernehmen. Themen, welche angesprochen werden sollen, bitte bis 14 Tage vor der Generalversammlung schriftlich (per E-Mail vorstand@pluslucis.org) beim Vorstand des Vereines anmelden.

Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S
Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
DVR 0558567
VRN 668472729