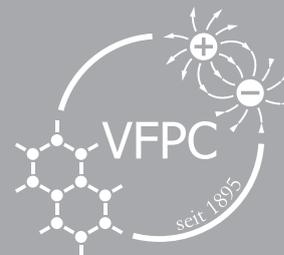


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts



Naturwissenschaften im Urlaub

Impressum

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

Medieninhaber:

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

Redaktion:

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

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:

Dr. Philipp Spitzer
 AECC Chemie, Universität Wien
 Email: philipp.spitzer@univie.ac.at
 Dr. Thomas Plotz
 Email: thomas.plotz@univie.ac.at
 Mag. Sarah Zloklikovits
 Email: sarah.zloklikovits@univie.ac.at
 AECC Physik, Universität Wien

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):

Foto von Sarah Zloklikovits

Inhalt

Mexiko: Sonnenzenit und Wellenphysik	4
<i>Arne Traun</i>	
Himmelsbeobachtungen mit der POE (Predict-Observe-Explain)-Methode.....	6
<i>Susanne Neumann</i>	
Das Vasa-Schiff im Physikunterricht.....	10
<i>Sarah Zloklikovits</i>	
Summende Kolleg*innen in der Umweltbildung: Die Honigbiene im fächerverbindenden Unterricht.....	15
<i>Anna-Lena Neurohr & Andrea Möller</i>	
Warum erscheinen nasse Stoffe dunkler?.....	19
<i>Leo Ludick</i>	
Wie man sich vor UV-Strahlung schützt.	20
<i>Thomas Plotz & Elisabeth Hofer</i>	
Keep cool! – Chemie und Physik für kalte Erfrischungen.....	25
<i>Maria Schwarz & Philipp Spitzer</i>	
Wissenschaft im Bild.....	28
<i>Kahan Dare & Manuel Reisenbauer</i>	
Wie beschleunigen Flugzeuge?.....	29
<i>Bärbel Fromme</i>	
Rezension von „Physikalische Melange“	35
<i>Thomas Plotz</i>	
Quantitative Phänomene rund ums Fliegen.....	36
<i>Patrik Vogt & Lutz Kasper</i>	
Kollaboratives Planen, Gestalten und Bewerten von Paper-Cut-Out-Sachcomics im Lehramtsstudium.....	41
<i>Markus Prechtl</i>	
Rezension von „Himmelskörper – Der Mensch, das Universum und der ganze Rest“	45
<i>Leo Ludick</i>	
Da irrt so manches Physikbuch (2).....	46
<i>Rainer Pippig</i>	

Editorial

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Naturwissenschaften im Urlaub. Das klingt irgendwie gut, oder? Mit dem vorliegenden Heft möchten wir Sie nach dieser momentan durchaus anstrengenden Zeit auf den Urlaub einstimmen. Die eigentliche Urlaubsreise sieht in diesem Jahr wahrscheinlich anders aus als sonst, dennoch möchten wir Ihnen neue Ideen für den Unterricht geben und Sie auf spannende naturwissenschaftliche Phänomene aufmerksam machen, die Ihnen vielleicht jetzt in der Urlaubszeit begegnen werden. Die Idee zu diesem Heft kam uns als Team im letzten Sommer bei einem Besuch in einer Wiener Strandbar. Haben Sie einmal darüber nachgedacht, warum ein Weinglas im Pool schwimmt, die Bierflasche aber nicht? Oder ob man Getränke mit Spiritus kühlen kann? Auch auf YouTube findet sich eine Vielzahl spannender Alltagsphänomene, wie innerhalb von Sekunden gefrierendes Cola. Manche Phänomene fallen nicht unbedingt auf den ersten Blick auf. Schön wäre es, wenn mehr alltägliche Kontexte einen Lernanlass für den naturwissenschaftlichen Unterricht darstellen würden. In diesem Heft haben wir versucht einige dieser Kontexte zusammenzustellen. Also klappen Sie den Liegestuhl auf, suchen Sie sich ein schönes Plätzchen und machen Sie es sich bequem!

Beim ersten Stopp unserer Reise beschäftigt sich Arne Traun mit dem Sonnenzenit und der Physik der Wellen. Wenn wir aktuell schon nicht in die Ferne nach Mexiko reisen können, so können wir doch zumindest im physikalischen Kontext über Phänomene in diesem Land nachdenken. Passend dazu richtet auch Susanne Neumann ihren Blick in den Himmel und berichtet über die Möglichkeiten der Himmelsbeobachtung mit Schülerinnen und Schülern im Unterricht. Die Reise geht weiter nach Schweden – Sarah Zloklikovits berichtet in ihrem Artikel über die Physik des berühmten Vasa-Schiffes und zeigt Möglichkeiten für die Umsetzung im Physikunterricht auf. In ihrem Artikel wird auch die Frage des schwimmenden Weinglases auf dem Titelbild geklärt.



Thomas Plotz



Philipp Spitzer



Sarah Zloklikovits

Anna-Lena Neurohr und Andrea Möller wenden sich summenden Sommerboten zu. Im Zentrum ihres Artikels stehen die Bienen und ihr Projekt Bee:Ed in dem Schülerinnen und Schüler durch den Umgang mit Bienen einen positiven Zugang zur Natur erhalten sollen.

Spätestens jetzt sollten Sie an den Schutz vor der Sonne denken! Elisabeth Hofer und Thomas Plotz beleuchten die Thematik ausgehend von der UV-Strahlung und gehen im Anschluss auf den biologischen Schutzmechanismus der Haut, sowie den chemisch-physikalischen Schutzmechanismus der Sonnencreme ein. Damit ihr Getränk kalt bleibt, stellen Maria Teresa Schwarz und Philipp Spitzer in Ihrem Artikel verschiedenen Methoden der schnellen Getränkekühlung an Strand oder See vor.

Danach steigen wir imaginär in den Flieger. Bärbel Fromme sowie Lutz Kasper und Patrick Vogt erläutern die Physik in zwei unterschiedlichen Zugängen rund um das Flugzeug und das Fliegen. Abschließen möchten wir unsere naturwissenschaftliche Reise mit der Erstellung von Sachcomics für den Chemieunterricht. Markus Prechtel stellt das ungewöhnliche, aber spannende Format vor und gibt anhand von Studierenden erstellter Comics Einblicke in dieses Format. Sie werden merken, in Comics steckt mehr drin als man denkt!

Wir wünschen Ihnen nun viel Freude bei der Lektüre des Hefts und hoffen auf interessante Ideen und Erkenntnisse!

Einen schönen Sommer wünschen Ihnen

Thomas Plotz
Philipp Spitzer
Sarah Zloklikovits

Mexiko: Sonnenzenit und Wellenphysik

Arne Traun

Den Sonnenzenit beobachten

Mexiko hat als Urlaubsland so einiges zu bieten – auch unter physikalischen Gesichtspunkten (aber bei weitem nicht nur). Wer sich zum Beispiel für Ziele südlich des nördlichen Wendekreises entscheidet (also das Zentrum oder den Süden des Landes, siehe Abb. 1) der hat grundsätzlich zwei Mal pro Jahr die Chance, einen Sonnenzenit zu erleben und natürlich auch zu fotografieren, so wie ich es hier am 23. Mai 2018 um 13:38 mit meinen Schülerinnen und Schülern im Rahmen des Unterrichts an der Schweizerschule Mexiko (Campus Querétaro) getan habe (siehe Abb. 2)

Wer nun Uhrzeit und Datum des Sonnenzenits für einen bestimmten (Urlaubs-)Ort wissen möchte, der kann den Ort auf <https://rl.se/zenith-calendar> einfach und bequem auf einer Weltkarte auswählen und sich den genauen Zenitzeitpunkt ausgeben lassen (Angaben in UTC, einfach in die Uhrzeit der entsprechenden lokalen Zeitzone umrechnen und Sommerzeit berücksichtigen). In Mexiko City ist es beispielsweise am 25. Juli 2020 um 13:43 Ortszeit soweit (18:43 UTC -5h bei Sommerzeit, siehe Tabelle 1). Das zweite Datum des Sonnenzenits in Mexiko City ist am 16. bzw. 17. Mai und damit aus österreichischer Sommerferienperspektive für die meisten wahrscheinlich eher weniger interessant. Grundsätzlich gilt hier: Je näher man sein Ziel beim Wendekreis wählt, desto näher rücken die beiden Daten an den 20. Juni 2020, das Datum der Sommersonnenwende. Am Wendekreis selbst könnte man rein theoretisch erwarten, dass es dort nur ein Datum mit Sonnenzenit gibt (eben den 20. Juni) und nicht zwei. In der Praxis ist die Toleranz bzw. "Trägheit" dieses astronomischen Prozesses allerdings relativ groß und der Zenit lässt sich dort um den 20.06. herum für eine Woche täglich beobachten, wie die Berechnung für das Schildkrötenschutzgebiet "El Verde Camacho" etwas nördlich der Stadt Mazatlán an der Pazifikküste in Sinaloa mit exakt 23.44° nördlicher Breite zeigt (siehe Tabelle 2). Wenn man mit noch etwas mehr Toleranz

auch einen Sonnenstand von rund 89.9° einbezieht, dann sind es dort sogar fast zwei Wochen.



Abbildung 2: Charakteristische Schatten beim Sonnenzenit in Santiago de Querétaro am 23.05.2018 um 13:38. Dieses Foto wurde im Jahr 2019 mit dem Werner Rentzsch-Preis für Fotos aus dem Physik- und Chemieunterricht ausgezeichnet.



Abbildung 1: Mexiko mit dem nördlichen Wendekreis. Mexiko City, Mazatlán und Bacalar sind hervorgehoben. (Erstellt von Sarah Zloklikovits)

Tabelle 1: Tage mit höchstem Sonnenstand in Mexiko City 2020 [1]

Lat 19,41°N Lon 99,21°W	
Date & Time	Altitude
2020-05-15 18:33:11	89,7°
2020-05-16 18:33:13	89,9°
2020-05-17 18:33:15	89,9°
2020-05-18 18:33:18	89,6°
2020-07-23 18:43:21	89,6°
2020-07-24 18:43:22	89,8°
2020-07-25 18:43:22	90,0°
2020-07-26 18:43:22	89,8°
2020-07-27 18:43:21	89,6°

Tabelle 2: Der Sonnenzenit ist direkt am Wendekreis (hier: El Verde Camacho) fast 2 Wochen beobachtbar [1]

Lat 23,44°N Lon 106,57°W	
Date & Time	Altitude
2020-06-09 19:05:42	89,6°
2020-06-10 19:05:54	89,6°
2020-06-11 19:06:06	89,7°
2020-06-12 19:06:18	89,8°
2020-06-13 19:06:31	89,8°
2020-06-14 19:06:44	89,9°
2020-06-15 19:06:57	89,9°
2020-06-16 19:07:10	89,9°
2020-06-17 19:07:23	90,0°
2020-06-18 19:07:36	90,0°

2020-06-19 19:07:49	90,0°
2020-06-20 19:08:02	90,0°
2020-06-21 19:08:15	90,0°
2020-06-22 19:08:28	90,0°
2020-06-23 19:08:41	90,0°
2020-06-24 19:08:54	89,9°
2020-06-25 19:09:07	89,9°
2020-06-26 19:09:20	89,9°
2020-06-27 19:09:32	89,8°
2020-06-28 19:09:44	89,8°
2020-06-29 19:09:56	89,7°
2020-06-30 19:10:08	89,7°
2020-07-01 19:10:19	89,6°
2020-07-02 19:10:30	89,5°

Falls jemand außerdem am 8. April 2024 noch nichts vorhat (bzw. sich gerade auf Sabbatical oder schon im Ruhestand befindet – es ist nämlich leider kein Feriendatum): An der Küste um Mazatlán lässt sich an diesem Tag um 12:07 Ortszeit eine totale Sonnenfinsternis bequem vom Liegestuhl am Strand aus beobachten, die Totalitätsphase kann dabei je nach genauer Position (z. B. direkt in der Stadt Mazatlán) über 4 Minuten andauern [2]. Auf der Homepage von Plus Lucis können weitere Fotos betrachtet werden, die von SchülerInnen während dem Sonnenzenit 2020 in Mexiko aufgenommen wurden.

2. Wellenphysik in Bacalar

In etwa am anderen Ende des riesigen Landes, unweit der Atlantikküste des Bundesstaats Quintana Roo, liegt der Ort Bacalar an der gleichnamigen Lagune, die mit ihrem weißen Sand, dem türkisblauem Süßwasser und ihrer bewegten Piratengeschichte ohnehin schon ohne weiteres zu den Highlights jedes Mexiko-Urlaubs zählen kann. Allerdings gibt dort eine physikalische Besonderheit zu beobachten, die sie für Physikerinnen und Physiker noch einmal interessanter machen dürfte:

In dieser Lagune gibt es unter anderem einige ziemlich flache Teile mit einem sehr hellen Sandboden, die sich bei flacher Sonneneinstrahlung optisch in eine Wellenwanne verwandeln. Die Wellenkämme der flachen Wellen werden durch die Lichtbrechung bei tiefem Sonnenstand als helle Streifen auf den Boden der Lagune projiziert und man kann so nach Herzenslust Experimente zur Wellenphysik selbst nachstellen und am Lagunenboden die Effekte fotografieren (siehe Abb. 3-5). Besonders empfohlen werden kann dazu folgende Vorgangsweise: Anmieten eines Kajaks (am Vortag ausmachen!) und überqueren der Laguna de Bacalar in Richtung Canal de los Piratas kurz vor Sonnenaufgang, Durchqueren des Kanals und Einfahrt in die vor allem bei der Einmündung des Piratenkanals sehr flache Laguna de Mariscal, wo die oben beschriebenen Bedingungen vorgefunden wurden.

Literatur

[1] Zenith calendar, 2020, <https://rl.se/zenith-calendar>, abgerufen am 30.3.2020.



Abbildung 3: Ein rhythmisch auf und ab bewegter Finger dient als Punktquelle.

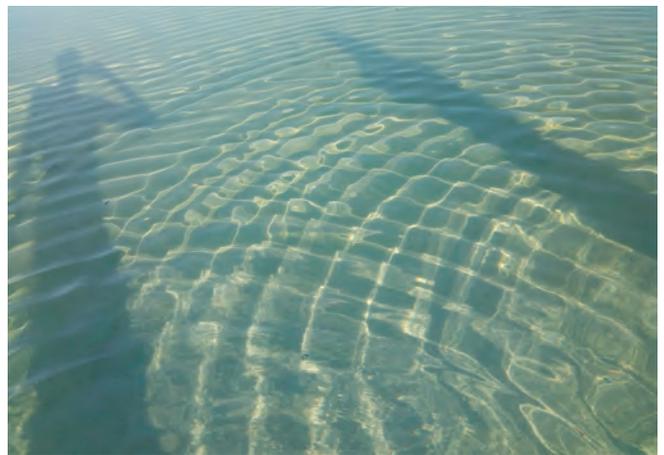


Abbildung 4: Das geübte Auge erkennt ein Interferenzmuster zweier Punktquellen (→ Beugung am Doppelspalt...) auch ohne perfekte Laborbedingungen.



Abbildung 5: Verursacht man Wellen durch Vorwärtsbewegung in der Lagune, so lässt sich dabei auch der Dopplereffekt bzw. der Machsche Kegel illustrieren.

Mag. Arne Traun ist Lehrer am Colegio Suizo de México, A.C. (Schweizerschule Mexiko). Mit seinem Foto zum Sonnenzenit hat er 2019 den Werner Rentsch-Fotowettbewerb gewonnen.

[2] Map of Total Solar Eclipse on 8. April 2024, 2020, <https://www.timeanddate.com/eclipse/map/2024-april-8>, abgerufen am 30.3.2020.

Himmelsbeobachtungen mit der POE (Predict-Observe-Explain)-Methode

Susanne Neumann

1. Einleitung

Erinnern Sie sich noch an den Tag, an dem Sie zum ersten Mal früh aufgestanden (oder lange aufgeblieben sind), um den Sonnenaufgang bewusst zu erleben? Wissen Sie noch, an welchem Ort Sie den beeindruckendsten Sternenhimmel Ihres Lebens gesehen haben? Solche Himmelsbeobachtungen sind nicht nur für uns als Naturwissenschaftslehrkräfte faszinierend. Sie können auch dabei helfen, Kindern und Jugendlichen die Schönheit von Naturphänomenen begreifbar zu machen.

2. Himmelsbeobachtungen in den Lehrplänen

Dem Beobachten von Vorgängen in der Natur wird in den naturwissenschaftlichen Lehrplänen ein großer Stellenwert eingeräumt. So finden sich (abseits von den breit gestreuten biologischen Themen) schon im Lehrplan der Vorschulstufe [1, 2] Begriffe wie Tag/Nacht, Himmelskörper, Wetter und Jahreszeiten. In der Volksschule werden diese durch konkrete Vorschläge zur Implementierung erweitert. Neben dem Beobachten wird dabei auch das Dokumentieren als spezifische naturwissenschaftliche Arbeitstechnik vorgestellt. So sollen Schülerinnen und Schüler z. B. „Langzeitbeobachtungen (des Wetters) durchführen und Tabellen anlegen“. Insbesondere bieten Beobachtungen am Tages- und Nachthimmel aber auch die Gelegenheit, die Erfahrungs- und Lernbereiche Natur, Raum (z. B. Himmelsrichtungen, Beobachtungen an verschiedenen Orten), Zeit (z. B. Veränderung des Nachthimmels im Lauf eines Monats/Jahres) und Technik (z. B. Messinstrumente, Einsatz digitaler Beobachtungstools) miteinander zu verbinden. Was für den Primarstufenbereich gilt, lässt sich ähnlich in der Sekundarstufe fortführen. Die Beobachtung des Tages- und Nachthimmels kann für fächerübergreifende Projekte (z. B. Geographie, Geschichte, Physik, Mathematik, Kunst) wunderbar genutzt werden. Aber auch der klassische Physikunterricht bietet genügend Platz für Himmelsbeobachtungen: Der Lehrplan für Physik beinhaltet dafür zahlreiche Angriffspunkte zur Implementierung in Sekundarstufe I (z. B. Licht und Schatten in der 8. Schulstufe) und Sekundarstufe II (z. B. Mechanik, Gravitation, Moderne Forschung) [1].

3. Himmelsbeobachtungen und neue Medien

Gerade auch für den Einsatz neuer Medien bietet sich das Thema Himmelsbeobachtung an. Digitale Applikationen bieten hier einen klaren Mehrwert. Sie helfen Lernenden den

Sternenhimmel zu erforschen (z. B. Google „Sky Map“), die internationale Raumstation zu finden (z. B. mit der Android-App „ISS Detektor“ bzw. IOS-App „ISS Spotter“) oder erlauben Simulationen des Nachthimmels (z. B. das Open-Source-Planetarium „Stellarium“, mit dessen Hilfe man im Klassenraum den Nachthimmel an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten simulieren kann). Gerade auch für Schülerinnen und Schüler, die in der Stadt aufwachsen und so vielleicht noch nie einen klaren Sternenhimmel zu Gesicht bekommen haben, lassen sich solche Simulationen gut als Einstieg nutzen.

Das Internet erleichtert auch den Kontakt zu Lernenden in anderen Ländern, die unseren Schülerinnen und Schülern dabei helfen können, nicht nur die zeitliche Veränderlichkeit des Tages- und Nachthimmels wahrzunehmen, sondern auch die örtliche. Ein Beispiel für eine Unterrichtsaktivität, die vor einigen Jahren schon in einer fachdidaktischen Zeitschrift veröffentlicht wurde [3], soll hier noch einmal kurz beschrieben werden:

4. The Hemisphere Project – ein internationales Klassenprojekt zur Himmelsbeobachtung

Schülerinnen und Schüler einer achten Schulstufe arbeiteten gemeinsam mit einer Partnerklasse in Australien. Sie sollten über mehrere Wochen hinweg den Nachthimmel (insbesondere bezüglich der Gestalt des Mondes) beobachten und diese Beobachtungen in einem Brief zusammenfassen. Der konkrete Arbeitsauftrag findet sich auf der Homepage von Plus Lucis (<https://www.pluslucis.org/Zeitschrift.html>).

Die Briefe wurden gesammelt und digital an die australische Lehrkraft geschickt, die diese Briefe an ihre Schülerinnen und Schüler weiterleitete. Die australischen Schülerinnen und Schüler verfassten nun Antwortschreiben, in denen sie verglichen, welche Himmelsphänomene von ihrem geographischen Standpunkt aus gleich bzw. ganz anders abliefen. Diese Antwortschreiben wurden dann im Unterricht der österreichischen Klasse verteilt und mit Hilfe der Tabelle in Abb. 1 diskutiert. Für viele der Lernenden war dieses Projekt die erste Gelegenheit sich bewusst zu werden, dass manche astronomischen Abläufe, die für sie ganz selbstverständlich sind, nur charakteristisch für die Nordhalbkugel sind. Eine Erklärung der Phänomene erfolgte schließlich mit dem Erde-Sonne-Mond-Modell (Tellurium) und einer Playmobil-Figur. Zum Abschluss des Projekts wurden die von den australischen

Schülerinnen und Schülern beschriebenen Phänomene mit einer digitalen Simulation überprüft.

Abbildung 1: Tabelle zum Vergleich der Himmelsphänomene

	Nordhalbkugel	Südhalbkugel
Welche Jahreszeit ist gerade?		
In welcher Himmelsrichtung ... geht die Sonne auf?		
... steht die Sonne zu Mittag?		
... geht die Sonne unter?		
In welcher Phase befand sich der Mond zu Silvester?		
Wie hat der Mond zu Silvester ausgesehen? (Skizze!)		
Welches Sternbild kann man das ganze Jahr über sehen?		

5. Alltagsvorstellungen zu Himmelsphänomenen

Auch aus der fachdidaktischen Forschung wird deutlich, dass Lernende Vorstellungen zu vielen alltäglichen Himmelsphänomenen haben, die mit den tatsächlichen Vorgängen am Himmel nicht übereinstimmen¹ [4]. Zu diesen zählen unter anderen:

Alltagsvorstellung 1: „Eine Mondsichel wird durch den Erdschatten verursacht.“

Bei dieser weit verbreiteten Vorstellung gehen Lernende davon aus, dass die fehlende Beleuchtung von Teilen des Mondes darauf zurückzuführen ist, dass „die Erde im Weg“ ist und sich so eine Mondsichel ergibt. Dies ist zwar nicht unmöglich, tritt aber nur selten auf und führt bekanntlich zu einer Mondfinsternis. Trotzdem finden sich in vielen Büchern Illustrationen, die diese Vorstellung verstärken. So zeigt Abbildung 2 eine typische Illustration aus einem Kinderbuch, das sich mit dem Mondzyklus beschäftigt. In den Abbildungen des Kinderbuchs kann Seite für Seite verfolgt werden, wie der Mond vom Neumond bis zum Vollmond sein Erscheinungsbild ändert. Allerdings lässt Abb. 2 zweifeln, ob die Illustratorin die Mondphasen schon einmal selbst beobachtet hat – die Abbildung zeigt ja eine Mondfinsternis statt eines zunehmenden Mondes. Dass solche Darstellungen des Mondes, die auf ein falsches Verständnis der Entstehung der Mondphasen schließen lassen, nicht selten sind, zeigt eine eingehende Analyse von (englischsprachigen)

Kinderbüchern [5]. Auch in anderen Quellen stößt man auf falsche Abbildungen der Mondphasen (siehe Abb. 3), die richtige Darstellung zeigt Abb. 4.

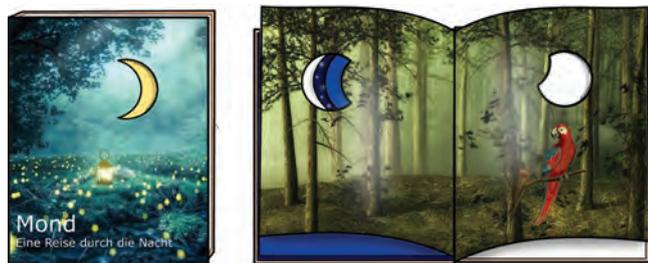


Abbildung 2: Nur eine von vielen verwirrenden Abbildungen der Mondphasen (Abbildung von Sarah Zloklivovits in Anlehnung an Teckentrup, B. (2018). Eine Reise durch die Nacht. arsEdition.)



Abbildung 3: Falsche Darstellung der Mondphasen auf einem Vereinslogo (Quelle: www.nanaya.at)



Abbildung 4: So sehen die Mondphasen tatsächlich aus (erstellt: Sarah Zloklivovits)

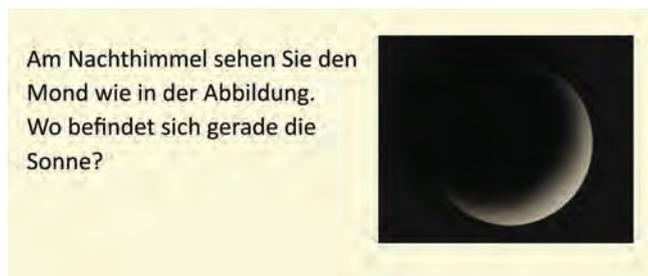


Abbildung 5: Aufgabe zur Entstehung der Mondphasen (erstellt: Sarah Zloklivovits)

Um zu testen, wie verbreitet diese falsche Vorstellung nicht nur unter Schüler/innen, sondern auch unter Ihren Bekannten ist, lade ich Sie ein, die in Abb. 5 gezeigte Frage zu stellen. Befragte, die eine falsche Vorstellung von der Entstehung der Mondphasen haben, antworten üblicherweise, die Sonne befände sich „hinter der Leserin/ hinter dem Leser links oben). Die wissenschaftlich korrekte Antwort ist „vor der Leserin/ vor dem Leser rechts unten“.

¹ Der Klassiker unter den Medien, die Schülervorstellungen zu astronomischen Themen für Lehrkräfte gut aufbereiten, ist zweifelsohne das Video „Private Universe“ (Schneps, M.H., & Sadler, P.M. (1988). A private universe. Santa Monica, CA: Pyramid Films.), das auf <https://archive.learner.org/resources/series28.html#> (zuletzt aufgerufen am 06.02.2020) online zu sehen ist.

Für den Einsatz im Unterricht bieten sich auch Cartoons an, bei denen die Schülerinnen und Schüler auf Fehlersuche gehen können. Wenn die Schülerinnen und Schüler die obige Aufgabe richtig gelöst haben, wird es für sie einfach sein zu sehen, dass die Sonne in dem Bildausschnitt aus Peppa Wutz auf der falschen Seite des Mondes steht (siehe Abb. 6).



Abbildung 6: Ausschnitt aus Peppa Wutz, „Die Ballonfahrt“ (<https://www.youtube.com/watch?v=vFpZHkoll5E>)

Alltagsvorstellung 2: „Der Mond geht immer am Abend auf.“

Nicht wenige Lernende glauben, der Mond ginge stets dann auf, wenn die Sonne untergeht. Diese Vorstellung ist auch in vielen Liedern und Gedichten verbreitet. Vielleicht ist einigen von Ihnen noch der Schlager „Lady Sunshine und Mister Moon“ bekannt, in dem Conny Froboess und Peter Weck in den 60er-Jahren davon singen, dass „Lady Sunshine und Mister Moon [...] gar nichts dagegen tun [können], dass sie am Himmel sich niemals trafen, denn wenn er aufgeht, dann geht sie schlafen.“ Auch in dem Gedicht „Der liebe Mond“ von Hoffmann von Fallersleben heißt es: „Die Sonne hat in voller Pracht vollendet ihren Lauf, und drüben ging, eh' wir's gedacht, der liebe Mond schon auf.“ Diese Vorstellung, dass Sonnenuntergang und Mondaufgang zeitlich zusammenfallen, ist zwar nicht gänzlich falsch, aber die Wahrscheinlichkeit dafür ist sehr gering. Tatsächlich geht der Mond nur in seiner vollen Phase am Abend auf und in der Früh unter.

Auch zu dieser Alltagsvorstellung lade ich Sie ein, Ihren Bekannten (oder natürlich auch Ihren Schülerinnen und Schülern) eine knifflige Frage (Abb. 7) zu stellen. Die richtige Antwort a) – das 6-Stunden-Intervall entspricht 25% des Tages

Wie auch die Sonne geht der Mond regelmäßig auf und unter. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Mond zwischen 15:00 und 21:00 aufgeht?

- a) ca. 25%
- b) ca. 50%
- c) ca. 75%
- d) fast 100%

Abbildung 7: Testfrage zur Sichtbarkeit des Mondes

– wird meiner Erfahrung nach nur in seltenen Fällen gewählt (übrigens auch unter den Physiklehrkräften, denen ich diese Frage im Rahmen eines Fortbildungsseminars stellte).

Alltagsvorstellung 3: „Ich kann alle Mondphasen am Abendhimmel beobachten.“

Diese Vorstellung steht in enger Verbindung zur vorigen Alltagsvorstellung. Obwohl Lernende durch Beobachtung schnell feststellen werden, dass sich auf der Nordhalbkugel am Abendhimmel stets nur eine Mondsichel des zunehmenden Mondes beobachten lässt, ist in Buchabbildungen und auch in vielen Zeichentrickserien am Abendhimmel meist eine abnehmende Mondsichel zu sehen. Will man andere Mondphasen, z. B. eine abnehmende Mondsichel, tatsächlich am Himmel sehen, muss man zu einer anderen Tageszeit seinen Blick zum Himmel richten: Die abnehmende Mondsichel, wie sie auf den meisten Abbildungen zu sehen ist, kann nur in der 2. Nachthälfte bzw. am Morgen beobachtet werden.

Warum aber sind Abbildungen des abnehmenden Mondes so viel häufiger anzutreffen als ihr zunehmendes Pendant? Eine interessante Hypothese² dazu besagt, dass rechtshändige Zeichnerinnen und Zeichner tendenziell so zeichnen, dass sich der beleuchtete Teil auf der linken Seite des Mondes befinden. Wenn das keine interessante Forschungsfrage für eine vorwissenschaftliche Arbeit ist ...

6. Langzeitbeobachtungen mit der POE-Methode

Wie schon in Abschnitt 2 erwähnt, wird die Kompetenz „Beobachten“ im naturwissenschaftlichen Unterricht (laut Lehrplan) oft geschult. Dabei steht aber meist das Experiment oder das Beobachten von Pflanzen und Tieren im Vordergrund. Astronomische Ereignisse können nur relativ selten direkt im Schulunterricht beobachtet werden, wie z. B. eine partielle Sonnenfinsternis. Meist bietet es sich daher an, langfristige Beobachtungen außerhalb des Unterrichts anzuleiten, z. B. in Form eines Mondtagebuchs. Um das Beobachten für die Schülerinnen und Schüler spannender zu machen, bietet sich hier die „POE-Methode“³ an. Die Abkürzung steht für Predict-Observe-Explain – die Lernenden sollen also zuerst einen Tipp abgeben, welchen Ausgang der Beobachtung sie erwarten und nach der tatsächlichen Beobachtung eine Erklärung dafür finden. Damit die Methode möglichst gut funktioniert, ist es wichtig, die Lernenden dazu anzuhalten, ihre Vorhersage auch schriftlich festzuhalten. Dies erhöht die Motivation, die Beobachtung genau durchzuführen und verstärkt die Freude

² Online gefunden auf <http://www.theskyscrapers.org/the-art-of-the-crescent-moon>. Eine kleine Testung dieser Hypothese mit meinen Schülerinnen und Schülern zeigte, dass zwar auch einige rechtshändige Personen die auf der rechten Seite beleuchtete Mondsichel zeichneten, auf Nachfrage hin wurde aber klar, dass diese ihre Zeichnung auf tatsächliche Beobachtungen stützten.

³ Die POE-Methode wurde von White & Gunstone entwickelt und kann in ihrem Buch „Probing Understanding“, das sich auch gut als Inspirationsquelle für Unterrichtsmethoden eignet, nachgelesen werden. Eine Beschreibung der Methode findet sich auch online, z. B. auf <https://arbs.nzcer.org.nz/predict-observe-explain-poe> (zuletzt abgerufen am 06.02.2020).

bei einer Bestätigung der Vorhersage bzw. den kognitiven Konflikt bei Beobachtung eines anderen Ausgangs [6].

Um Langzeitbeobachtungen spannend zu gestalten, bietet es sich also an, Fragen zu verschiedenen Himmelsphänomenen im Unterricht zu stellen und die Schülerinnen und Schüler Vorhersagen treffen und schriftlich festhalten zu lassen. Danach schließt sich eine freie Beobachtungsphase an, nach der man die Ergebnisse im Unterricht miteinander vergleicht und diskutiert, ob die Vorhersagen eingetroffen sind und warum (nicht). Aus praktischer Sicht wird es sich, insbesondere bei längeren Beobachtungsphasen, anbieten, dass die Lehrkraft die Vorhersagen einsammelt und nach der Beobachtungsphase wieder austeilte.

Die Sommerferien eignen sich für solche Langzeitbeobachtungen unter drei Voraussetzungen: Erstens darf der Arbeitsauftrag natürlich nur auf freiwilliger Basis erfolgen – die Lehrkraft könnte z. B. einen Beobachtungszeitraum von Juni bis August wählen und den Zeitraum Juni als Pflichtaufgabe definieren, die Sommerferien können dann als freiwillige Zusatzaufgabe hinzugenommen werden. Zweitens muss es natürlich organisatorisch passen, sodass man die Klasse im nächsten Schuljahr noch unterrichtet. Drittens soll das Thema „Astronomische Phänomene“ natürlich zum Lehrstoff passen. Wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, liegen die Vorteile auf der Hand:

- Die Schülerinnen und Schüler dürfen in den Sommerferien meist länger aufbleiben als während des Schuljahres. So kann der Nachthimmel über mehrere Tage hinweg beobachtet werden.
- Der Freundes- und Familienkreis hält sich am Abend eher im Freien auf. Durch die sommerlichen Temperaturen sind Beobachtungen am Nachthimmel angenehmer als im Winter.
- Während einer Urlaubsreise kann der Nachthimmel von einem anderen Ort aus (unterschiedlicher Breiten-, aber auch Längengrad) beobachtet werden.
- Eventuell ergeben sich durch den anderen Ort auch noch spezielle Himmelsphänomene, die in Österreich nicht sichtbar sind, z. B. andere Sternbilder, Mitternachtssonne, Sonnengang auf der Südhalbkugel.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Bildung (2020). Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (zuletzt aufgerufen am 06.02.2020).
- [2] https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp/lp_vs.html (zuletzt aufgerufen am 25.05.2020)
- [3] Neumann, S. (2013). Perspektivenwechsel – wie das Internet dabei helfen kann. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 62 (8), 13-17.

Als Fragen bieten sich unter anderen folgende an:

- Wie ändert sich der Zeitpunkt des Sonnenuntergangs im Laufe der Sommerferien?
- Wie verändert sich die Form des Mondes über die Sommerferien? Fertige dafür Skizzen an oder fotografiere den Mond.
- Beobachte den Mond immer zur selben Tageszeit (z. B. um 20:00). Was kannst du beobachten? Notiere dabei auch den momentanen Stand der Sonne.
- Ist es wahrscheinlicher, den Mond um 22:00 am Himmel zu sehen oder um 17:00? Achte bei deiner Beobachtung darauf, dass du hierfür einen klaren, wolkenlosen Himmel benötigst.
- Für Jugendliche, die zu Mitternacht wach sind: Steht der Vollmond genauso hoch am Himmel wie die Sonne zu Mittag?
- Vergleiche die Himmelserscheinungen an deinem Urlaubsort mit denen in deinem Heimatort zur gleichen Zeit. Bitte dazu eine Freundin/ einen Freund oder Verwandte um Hilfe. Sieht der Mond gleich aus? Geht die Sonne zur gleichen Zeit unter? Verwendet eure Mobiltelefone, um euch Nachrichten und Bilder zu schicken.

7. Fazit

Langfristige Beobachtungen des Nachthimmels bieten sich wunderbar an, um eigene Alltagsvorstellungen über Himmelsphänomene zu testen. Die im Artikel beschriebene Predict-Observe-Explain-Methode hilft, die Beobachtungen spannender zu gestalten und nachhaltiger ins Unterrichtsgeschehen einzubinden. Der Einsatz digitaler Hilfsmittel erleichtert den Perspektivenwechsel und ermöglicht es, die Ursache verschiedener Himmelsvorgänge anschaulich darzustellen.

Um einige der im Artikel beschriebenen Unterrichtsideen umzusetzen, wünsche ich Ihnen möglichst viele laue und wolkenlose Abende im bevorstehenden Sommer!

Dr. Susanne Neumann ist Lehrerin am BRG 14, Linzerstraße und ARGE-Leiterin für Physik in Wien.

- [4] Schecker, Horst; Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin; Duit, Reinders (Hg.) (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [5] Trundle, K. C., Troland, T. H., & Pritchard, T. G. (2008). Representations of the moon in children's literature: An analysis of written and visual text. Journal of Elementary Science Education, 20(1), 17-28. Online verfügbar auf: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ798567.pdf> (zuletzt aufgerufen am 06.02.2020).
- [6] White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). Probing Understanding. Great Britain: Falmer Press.

Das Vasa-Schiff im Physikunterricht

Sarah Zloklikovits

Meinen letzten Sommerurlaub habe ich in Schweden verbracht. Erster Stopp: die Hauptstadt Stockholm. Falls Sie auch schon mal in Stockholm waren, dann haben Sie vermutlich ebenfalls die Tourismusattraktion Nr. 1 besucht: Das Vasa-Museum! Im Museum dreht sich alles um ein Ausstellungstück: die Vasa,



Abbildung 1: Das Schiff kann im Vasa-Museum in Stockholm bewundert werden



Abbildung 2: Die Rückseite lässt erahnen, wie prachtvoll das Schiff einst gewesen ist.

ein prachtvolles Kriegsschiff aus dem 17. Jahrhundert, das 333 Jahre nach seinem Untergang vom Grund des Meeres geborgen wurde. Um das Schiff wurde ein riesiges Museum, errichtet, das jährlich von etwa 1,5 Millionen Touristinnen und Touristen besucht wird [1]. Die verschiedenen Stockwerke des Museums ermöglichen es, das Schiff aus unterschiedlichen Höhen und von allen Seiten zu betrachten (siehe Abb. 1). Die begleitenden Ausstellungen erzählen vom Leben auf dem Schiff, der Bedeutung für die Geschichte Schwedens, als auch von den vielen verschiedenen Forschungen, die rund um die Vasa betrieben werden.

1. Ein Schiff sinkt

1625 gibt der damalige schwedische König, Gustav II. Adolf, den Auftrag, das größte Kriegsschiff im Baltikum (wenn nicht sogar der Welt) zu bauen: Die Vasa. Drei Jahre später sticht das Schiff zum ersten Mal in See [2]. Nach nur 20 Minuten, noch in Sichtweite des Hafens, wird die Vasa von einem Windstoß erfasst, kippt um und sinkt – 30 Menschen kommen dabei ums Leben [3]. Wie konnte das Aushängeschild der schwedischen Kriegsflotte so leicht untergehen?

Damit ein Schiff schwimmt reicht es nicht aus es so zu konstruieren, dass die Gewichtskraft kleiner als die entstehende Auftriebskraft ist. Auch die Stabilität eines Schiffes muss gegeben sein! Das Schiff muss so gebaut werden, dass, wenn es zur Seite gekippt wird, ein rückstellendes Drehmoment entsteht. Ausschlaggebend dafür sind der Schwerpunkt des Schiffes sowie der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit, der Auftriebspunkt genannt wird. In Ruhelage befinden sich diese beiden Punkte übereinander. Wird das Schiff zur Seite gekippt, so bleibt der Schwerpunkt gleich (außer es kommt zu einer Verschiebung der Schiffsladung), während sich der Auftriebspunkt verschiebt (siehe Abb. 3). Die Wirkungslinie der Gewichtskraft und der Auftriebskraft sind nicht mehr ident und es kommt zu einer Drehbewegung. Bei einem gewichtsstabilen Schiff liegt der Schwerpunkt in Ruhelage unter dem Auftriebspunkt, in so einem Fall stellt sich jedenfalls ein rücktreibendes Drehmoment ein. Bei den meisten Schiffen liegt der Schwerpunkt allerdings über dem Auftriebspunkt. Bei solchen Schiffen ist der Kiel des Schiffes so geformt, dass der Auftriebspunkt sich beim Kippen des Schiffes so einstellt, dass trotzdem ein rücktreibendes Drehmoment entsteht [4]. Das Problem der Vasa war nun, dass ihr Schwerpunkt zu weit oben und der Kiel zu schmal war, weshalb sie bereits durch einen Windstoß stark ins Schwanken geriet. Unglücklicherweise waren die Kanonenluken offen gelassen worden – durch diese Öffnungen drang beim Kippen Wasser ein, das Schiff lief voll, wurde zu schwer und sank [3].

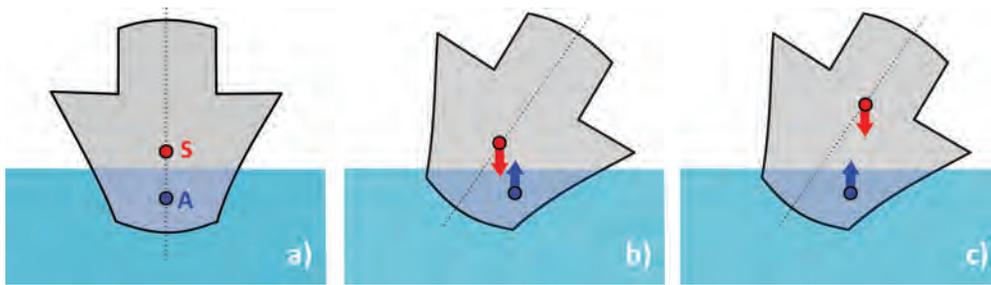


Abbildung 3: a) der Schwerpunkt eines Schiffes liegt meist oberhalb des Auftriebspunktes. b) Der Kiel muss so geformt sein, dass beim Kippen der Auftriebspunkt sich so verlagert, dass das Drehmoment rückstellend wirkt. c) Ist der Schwerpunkt zu weit oben, kippt das Schiff um.

Kasten 1

Warum schwimmt das Weinglas und die Bierflasche nicht?

Wenn wir schon beim stabilen Schwimmen sind: Weingläser schwimmen sowohl leer als auch gefüllt. Der Schwerpunkt eines schwimmenden Weinglases ist nur knapp über dem Auftriebspunkt. Beim Kippen des Glases verlagert sich der Auftriebspunkt so, dass ein rückstellendes Drehmoment entsteht. Gefüllte Bierflaschen gehen unter. Trinkt man ungefähr die Hälfte aus, so schwimmen sie zwar – allerdings kippen sie sehr schnell um, was nicht gerade zum Trinkvergnügen beiträgt. Der Grund dafür ist, dass der Schwerpunkt viel höher als der Auftriebspunkt ist, da ein Großteil der Flasche aus dem Wasser ragt. Die Flaschen sind außerdem zu schmal und dadurch in aufrechter Lage nicht formstabil.

Es war eine Verstrickung von mehreren unglücklichen Umständen, die zu dieser Tragödie führte. Als der Kiel der Vasa bereits fertig gestellt war, erfuhr der König, dass in Dänemark ein Kriegsschiff mit zwei Kanonendecks gebaut wird. Wer schon mal in Schweden oder Dänemark war, weiß von der anhaltenden Konkurrenz der beiden Länder. So ist das Rathaus in Stockholm auch genau einen Meter höher als das Rathaus in Kopenhagen [5]. Dementsprechend musste auch die Vasa unbedingt zwei Kanonendecks besitzen! Nachdem es keine Pläne und Erfahrungswerte für solche Schiffe gab, und die mathematischen Modelle damals noch nicht vorhanden waren, wurde die Dimensionierungen von kleineren Schiffen einfach entsprechend skaliert. Anstatt den Kiel neu zu bauen, wurde der bestehende ausgebaut, was die Konstruktion weiter einschränkte. Zusätzlich scheint die Kommunikation zwischen den Zuständigen schlecht bis nicht vorhanden gewesen zu sein. Dem Kapitän war beispielsweise bewusst, dass das Schiff nicht stabil war – als Stabilitätstest ließ er vor der ersten Fahrt 30 Matrosen am Deck hin- und herlaufen. Dieses Unterfangen musste jedoch abgebrochen werden, da das Schiff zu sehr schwankte! Die Schiffsbauer waren beim Test nicht anwesend und bekamen davon nichts mit. Die Geschichte wird so überliefert, dass aufgrund des großen Drucks, den der König auf das Projekt ausübte, es sich niemand traute ihm zu sagen, dass etwas nicht stimmte. Zur damaligen Zeit war es üblich, die Stabilität eines Schiffes nach Fertigstellung noch nachzubessern. Dazu hätte der untere Teil des Schiffes beschwert werden müssen – allerdings wäre dann das Schiff soweit untergetaucht, dass die Kanonenluken zu nahe am Wasserpegel gewesen wären [6].

2. Die Bergung der Vasa

35 Jahre nach Sinken der Vasa gelang es mit der Hilfe von Tauchglocken (ebenfalls ein interessanter Kontext für den Physikunterricht!) die Kanonen des Schiffs zu bergen [2]. Das Wissen um den genauen Untergangsort ging allerdings im Laufe der Geschichte verloren, doch in den 50er Jahren suchte ein interessierter Hobby-Archäologe systematisch den Hafen von Stockholm nach der Vasa ab und wurde schließlich fündig. Um die Vasa bergen zu können, wurden in monatelanger Arbeit bei Taucharbeiten Gräben unter dem Schiff gegraben. Durch diese Tunnel wurden Stahlseile gespannt und an zwei Schwimmplattformen, sogenannten Pontons, verbunden. Die Bergung war ein sehr mühseliger Prozess – das Schiff wurde schrittweise um je einen Meter angehoben und ins seichtere Wasser geführt. 18 Wiederholungen waren notwendig. Danach befand sich das Schiff immer noch unter Wasser, denn um es über die Oberfläche zu bringen, musste ihr Gewicht kleiner werden. Es wurde eineinhalb Jahre lang Unterwasser bearbeitet: Löcher wurden so weit wie möglich mit Holzplanken verschlossen, Bug und Heck mussten dazu erneuert werden. Das Deck wurde von Schlamm und Schutt befreit. Das Schiff wurde schließlich über Wasser gebracht, indem das Wasser schneller aus dem Schiff gepumpt wurde als dass es durch die verbleibenden Löcher eintreten konnte – ein Großereignis, das damals auch live im schwedischen Fernsehen übertragen wurde. Die letzten Lecks wurden Unterwasser verschlossen, sodass es schließlich von selbst schwimmen konnte [7].

Das Wasser im Stockholmer Hafen ist sehr kalt, dunkel und sauerstoffarm – dadurch blieb das Schiff über die Jahrhunderte hinweg erstaunlich gut erhalten. Nach der Bergung musste ein Austrocknen der Vasa verhindert werden, um ein Zusammenziehen des Holzes zu vermeiden. Zu diesem Zwecke wurde das Schiff über mehrere Jahre hinweg mit Polyethylenglycol behandelt, welches das Wasser in den Holzzellen ersetzte. Die Vasa für spätere Generationen zu konservieren war und ist eine große Herausforderung. Rund um die Vasa gibt es daher viele Forschungsprojekte zum Thema Konservierung und Restauration [8, 9]

3. Von Donald Duck und Tischtennisbällen

Bei einer Führung im Vasa-Museum wurde uns erzählt, dass es unterschiedliche Ideen gab, das Schiff zu bergen. Eine davon: Das Schiff mit Tischtennisbällen zu füllen! Angeblich sei

dies aber an der schier enormen Anzahl an Tischtennisbällen gescheitert, die man dazu benötigt hätte. Wenn man allerdings im Internet recherchiert, liest man eher davon, dass die Firma, die mit der Bergung beauftragt war, auf bewährte Methoden zurückgreifen wollte [8]. Die Idee hatte aber mein Interesse geweckt – wie viele Tischtennisbälle hätte es denn gebraucht, um das Schiff an Land zu bringen? Anhand des Volumens und der Masse des Schiffes müsste es ja eine relativ einfache Aufgabe zum Themenbereich „Auftrieb“ sein. Die Idee ließ mich nicht mehr los – daraus entstand eine Unterrichtsstunde, in der Schülerinnen und Schüler diese Aufgabe lösen sollen; dazu später mehr.

Mit einer ähnlichen Methode wurde im Jahr 1964 tatsächlich ein Schiff im Hafen von Kuwait geborgen, allerdings wurden Styroporbälle verwendet, die ins Schiff gepumpt wurden. Der zuständige Konzern wollte sich dieses Verfahren patentieren lassen, bekamen in Deutschland aber eine Absage für das Patent, denn eine ähnliche Idee gab es schon – ausgerechnet in einem Donald Duck-Comic! In der Ausgabe „The Sunken Yacht“ aus dem Jahre 1949 bergen Donald Duck und seine Neffen ein gesunkenes Boot, in dem sie das Schiff über einen Schlauch mit Tischtennisbällen füllen [10].

In der Serie „Myth Busters – die Wissensjäger“, in der bis zum Jahr 2015 Alltagsmythen nachgegangen wurde, gingen die beiden Moderatoren, beide Spezialisten für Spezialeffekte, der Frage nach, ob die im Donald Duck-Comic vorgestellte Methode tatsächlich funktioniert. In der Folge „Ping Pong Rescue“ (Staffel 2, Episode 9) sanken sie ein kleines Schiff, füllten es mit 27.000 Tischtennisbällen, und tatsächlich – das Schiff stieg hoch! Besonders interessant ist aber folgendes: Die Moderatoren sind am Ende der Folge etwas verwundert, hatten sie doch zuvor berechnet, dass sie 50.000 Bälle brauchen würden. Sie erklären sich das damit, dass sie unterschätzt hätten, dass gewisse im Schiff verbaute Materialien „einen größeren Auftrieb hätten“. Spult man die Folge zurück, so sieht man, dass sie zum abzuschätzen, wie viele Bälle sie zum Bergen des Schiffes brauchen werden, ein Experiment durchführten. Dabei füllten sie einen Kübel mit einem

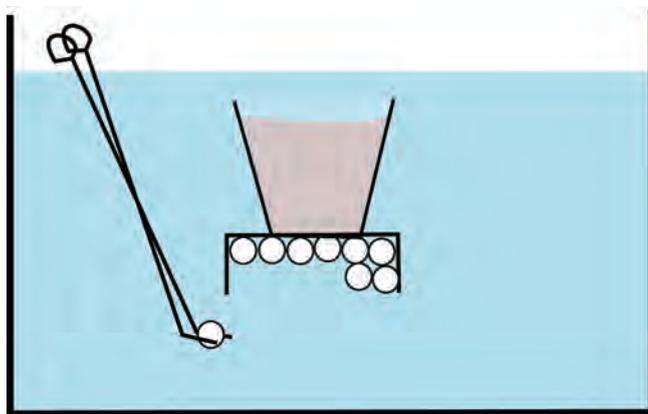


Abbildung 4: Ein Experiment, mit dem die Myth Busters (erfolglos!) versuchten vorherzusagen, wie viele Tischtennisbälle sie zum Bergen des Schiffes brauchen werden.

Kilogramm Schrotmunition und brachten an der Unterseite einen zweiten Kübel verkehrt herum an. Die Konstruktion wurde in ein Wasserbecken gegeben. Nach und nach wurde der untere Kübel mit Tischtennisbällen gefüllt (siehe Abb. 4), bis der Eimer mit Schrotmunition schließlich zu Schwimmen begann. In der Folge benötigen sie dazu 15 Tischtennisbälle. Anhand der Masse des Schiffes hatten sie so berechnet, dass sie 50.000 Tischtennisbälle brauchen würden, um das Schiff bergen zu können [11-13].

Ich musste diese Szene mehrmals ansehen, weil ich zuerst nicht glauben wollte, dass ihnen ein derart trivialer Fehler unterlaufen ist, doch tatsächlich: Die Myth Busters sind der aus der Schülervorstellungsforschung bekannten Fehlvorstellung aufgesessen, dass die Masse eines Gegenstandes die Schwimmfähigkeit bestimmt [12]! Taucht man einen Gegenstand in eine Flüssigkeit, so wird der Gegenstand aufsteigen, wenn sein Gewicht kleiner ist als das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers – und zwar so lange, bis er nur mehr so viel Wasser verdrängt, dass sich die Auftriebskraft und die Gewichtskraft gerade ausgleichen. Die Myth Busters können also mit dem in Abbildung 4 dargestellten Experiment nur bestimmen, wie viele Tischtennisbälle man für das Bergen eines Bootes, das komplett aus Schrotmunition besteht, d. h. auch keine Hohlräume besitzt, benötigen würde. Dabei handelt es sich um Schulwissen aus dem Unterstufenunterricht – für Schülerinnen und Schüler sicher ein lustiges Erlebnis, wenn sie in der Lage sind physikalische Fehler in einer erfolgreichen Fernsehserie zu finden!

4. Das VASA-Schiff im Physikunterricht – ein Unterrichtsvorschlag

Wie bereits erwähnt wurde eine Unterrichtseinheit konzipiert, in der Schülerinnen und Schüler selbstständig herausfinden können, wie viele Tischtennisbälle man gebraucht hätte, um die Vasa zu bergen. Für das Lösen dieser Aufgabe sind einige Modellierungsschritte notwendig – so muss zum einen das Volumen des Schiffes näherungsweise berechnet werden, und auch die Masse des Schiffes ist keine ganz triviale Frage. Daher wurde beschlossen für die Aufgabe gestufte Lernhilfen zu entwickeln. Die Unterrichtseinheit wurde mit einigen Schülerinnen der 9. bis 12. Schulstufe ausprobiert und dementsprechend überarbeitet. Die Aufgabe eignet sich, um das Thema „Auftrieb“ nochmals in der Oberstufe aufzugreifen, bzw. um mit den Schülerinnen und Schülern Modellierungsaufgaben zu üben. Das Lösen der Aufgabe involviert relativ viel Rechenarbeit – wenn Schülerinnen und Schüler solch machemantiklastige Aufgaben üben sollen, so ist diese Aufgabe durchaus empfehlenswert. Gerade durch das Format der gestuften Lernhilfen ist die Aufgabe von Schülerinnen und Schülern der verschiedensten Leistungsniveaus lösbar. Sind die Hinweiskarten einmal vorbereitet, kann die Stunde außerdem immer wieder auch kurzfristig eingesetzt werden – zum Beispiel für Supplierstunden.

Gestufte Lernhilfen

Gestufte Lernhilfen sollen Schülerinnen und Schüler dabei unterstützen, eigenständig komplexe Aufgaben zu bearbeiten. Dabei werden Hinweiskärtchen erstellt, die eine Handlungsaufforderung sowie die Lösung des entsprechenden Lösungsschrittes zeigen. Der letzte Hinweis ist dabei eine Musterlösung. Dadurch, dass die Schülerinnen und Schüler selbst entscheiden können, ob und wann und wie sie die Hilfen einsetzen, stellen gestufte Lernhilfen eine gute Differenzierungsmöglichkeit dar [13]. Es ist außerdem aus der Forschung bekannt, dass sich der Einsatz von gestuften Lernhilfen positiv auf die Lernleistung auswirkt und Schülerinnen und Schüler eine höhere Selbstkompetenz beim Bearbeiten erleben [14]. Für den Einsatz von gestuften Lernhilfen sind Aufgaben geeignet, bei denen komplexe, alltagsrelevante sowie interessante Probleme behandelt werden, und für deren Lösung mehrere Schritte notwendig sind [15]. Empfohlen werden Aufgaben mit fünf bis sieben Lösungsschritten. Der erste Hinweis ist immer eine Paraphrasierungshilfe – hier sollen die Schülerinnen und Schüler nochmals in eigenen Worten zusammenfassen, was sie zu tun haben. Diese Hilfe dient auch dazu den Kommunikationsprozess anzuregen. Die letzte Hilfe ist eine Verifikation und enthält eine Musterlösung. Weiter Arten von Hilfen sind Fokussierungshilfen, die Elaboration von Unterzielen, die Aktivierung von Vorwissen und Visualisierungen [17].

Für den Einsatz von Lernhilfen hat sich bewährt, die Schülerinnen und Schüler zu zweit arbeiten zu lassen und jeder Gruppe die Hinweise zur Verfügung zu stellen. Die Hilfen werden so gestaltet, dass sie aufgefaltet werden müssen, da sonst Schülerinnen und Schüler verleitet sind die Teillösungen voreilig anzusehen. Bei der Instruktion der Schülerinnen und Schüler ist es wichtig zu betonen, dass der Einsatz der Hilfekarten auch erwünscht ist und kein Zeichen von Schwäche oder Scheitern ist [17]. Ein guter Tipp ist es den Schülerinnen und Schülern zu sagen, dass sie immer mal wieder den nächsten Hinweis durchlesen sollen, um zu sehen, ob sie auf einem guten Weg sind – sie müssen ja nicht unbedingt die Lösung des Hinweises anschauen.

Die Aufgabe im Detail

Um die Frage zu beantworten, wie viele Tischtennisbälle es braucht, gibt es natürlich viele verschiedene Lösungswege. Bei der Gestaltung der gestuften Lernhilfen wird ein Beispielsweg vorgegeben. Den Schülerinnen und Schülern soll aber offen gelassen werden, ihren eigenen Ideen nachzugehen!

Zu Beginn der Stunde erhalten die Schülerinnen und Schüler eine kurze Einführung zum Vasa-Schiff. Dabei wird die durchaus lustige Geschichte von dem prachtvollen Schiff, das nach nur 20 Minuten gesunken ist, erzählt. Auch der Grund, warum die Vasa gesunken ist, kann an dieser Stelle erwähnt werden. Danach wird die Idee präsentiert, die Vasa mit Hilfe von Tischtennisbällen zu bergen. Die Fragestellung lautet folgendermaßen: „Wie viele Tischtennisbälle hätte man

gebraucht, um die Vasa zu bergen?“ An dieser Stelle sollte auch geklärt werden, wie die Lernhilfen zu verwenden sind. Für diese Aufgabe hat sich eine Einteilung in Zweiergruppen bewährt. In zwei Schulstunden können die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe gut lösen, wobei es empfehlenswert wäre sich etwas mehr Zeit zu nehmen um im Anschluss die verschiedenen Lösungen präsentieren und diskutieren zu können, wie die jeweiligen Modellierungen verbessert werden könnten.

Die Hinweise sowie die einführende Präsentation können Sie auf der Homepage von Plus Lucis downloaden (<https://www.pluslucis.org/Zeitschrift.html>). Für die Informationskartei empfiehlt es sich, die Wikipediaseite des Vasaschiffs [18] auszudrucken oder den Schülerinnen und Schülern zu erlauben diese mit ihrem Smartphone, Tablet oder Laptop aufzurufen. Generell wird empfohlen, den Schülerinnen und Schülern einen Internetzugang zu ermöglichen, da es durchaus erwünscht ist, weitere Informationen im Internet zu recherchieren. Die Pläne der Schiffe können ebenfalls im Internet gefunden werden [19]. Die Pläne können auch gerne bei der Autorin per Mail angefragt werden.

In Tabelle 1 findet sich eine kurze Übersicht über die gestalteten Hinweise. Beim vorgeschlagenen Lösungsweg wird zuerst die Masse des verdrängten Wassers ermittelt. Das Volumen des Schiffes wird dabei anhand von Plänen abgeschätzt. Dabei müssen die angegebenen Maßstäbe bedacht werden. Die Masse des Schiffes ist recht mühsam selbst zu bestimmen, da unklar ist, wie viel Metall im Schiff verbaut war und wie schwer die Steine waren, mit dem der Bug des Schiffes gefüllt war. Erschwerend kommt hinzu, dass das Holz des Schiffes mit Wasser vollgesogen ist und Holz, das jahrhundertlang in Wasser gelegen ist, mehr Wasser aufnimmt als frisches Holz [20]. Es ist daher unklar, um wie viel schwerer das Holz des Schiffes wurde. Man findet aber im Internet die Verdrängung des Schiffes, also die Masse des Wassers, das das Schiff in Ruhelage verdrängt. Nachdem ein Objekt so lange aufsteigt, bis sein Gewicht jenem des verdrängten Wassers entspricht, ergibt die Verdrängung damit auch die Masse des Schiffes an. Das Problem mit dem unklaren Faktor, um wie viel schwerer das Schiff geworden ist, weil sich das Holz mit Wasser vollgesogen hat, wurde im Lösungsvorschlag so gelöst, dass vorgeschlagen wird das Gesamtvolumen des Schiffes als mit Wasser gefüllt anzunehmen. Dadurch erspart man sich auch, zusätzlich zum Volumen des Schiffes auch das Innenvolumen abzuschätzen. Dass sich die meisten Kanonen nicht mehr auf dem Schiff befanden, wird im Lösungsvorschlag nicht berücksichtigt. Anschließend wird berechnet, mit wie vielen Tischtennisbällen das Schiff gefüllt werden muss, damit es leicht genug wird – dazu wird eine Formel aufgestellt, die beachtet, dass ein Teil des Wassers im Inneren des Schiffes durch Tischtennisbälle ersetzt wird. Volumen und Masse eines Tischtennisballs können natürlich ebenfalls recherchiert werden, es bietet sich aber auch an, einige Tischtennisbälle bereit zu stellen. So können die Schülerinnen und Schüler auch selbst die Maße bestimmen. Außerdem könnten die Schülerinnen und Schüler ein Gefäß

mit den Tischtennisbällen füllen um zu bestimmen, ob die benötigte Anzahl an Tischtennisbällen denn überhaupt genug Platz im Schiff hätten, da zwischen den Tischtennisbällen Hohlräume entstehen.

Tabelle 1: Übersicht der Hinweiskarten

	Typ der Hilfe	Übersicht Lernhilfen
1	Paraphrasierung	Aufgabe in eigenen Worten erklären
2	Aktivierung von Vorwissen	Wann schwimmt ein Gegenstand?
3	Elaboration von Unterzielen	Was braucht man zur Beantwortung der Frage?
4	Fokussierung	Wie kann die Masse des Schiffes bestimmt werden?
5	Aktivierung Vorwissen	Welche Schritte sind notwendig, um die Masse des verdrängten Wassers zu berechnen?
6	Elaboration von Unterrichtszielen	Welche Schritte sind notwendig, um Anzahl der Tischtennisbälle zu bestimmen?
7	Fokussierung	Aufstellen einer Gleichung
8	Elaboration von Unterzielen	Wie kann man die Anzahl der Tischtennisbälle berechnen?
9	Verifikation	Lösungsvorschlag

Wie in Tabelle 1 zu erkennen ist, sind bei dieser Aufgabe mehr als die empfohlene Anzahl an Hinweisen vorhanden. Die Lösung des Problems stellte sich etwas komplexer dar als Anfangs erwartet. Die Aufgabe soll auch nicht als Musterbeispiel für eine Aufgabe mit gestuften Lernhilfen verstanden werden (dazu empfehle ich die Aufgaben, die in [16, 17] präsentiert werden).

Nichts desto trotz wurde hier eine Unterrichtseinheit präsentiert, die ohne viel Aufwand übernommen werden kann, und die sich bereits in der Schulpraxis bewährt hat. Die Rückmeldungen der Schülerinnen waren bei dieser Aufgabe sehr positiv. Sie waren alle in der Lage die Aufgabe eigenständig zu bearbeiten und haben angegeben, dass ihnen die Aufgabe Freude bereitet. Eine Schülerin hat es gut auf den Punkt gebracht: „Das war das erste Mal, das mir eine Aufgabe in Physik, wo man auch was rechnen muss, Spaß gemacht hat!“. Auch wenn Sie diese Aufgabe nicht in ihrem Unterricht einsetzen sollten, vielleicht hat sie dieser Artikel ja dazu inspiriert, eine Aufgabe, die Sie sonst nur frontal vorrechnen, oder die üblicherweise den Großteil Ihrer Klasse überfordert, im Format der gestuften Hilfen zu gestalten und sie so zugänglicher für alle Schülerinnen und Schüler zu machen. Ich hoffe, dass Sie in Ihrer Unterrichtstätigkeit auf die ein oder andere Anekdote aus diesem Artikel zurückgreifen können! Falls Sie Verbesserungsvorschläge zur Gestaltung der Aufgabe haben, können Sie mir diese gerne per E-Mail zukommen lassen.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei den Schülerinnen und unserem Chemiekustos bedanken, die sich bereit erklärt hatten, einen Freitagnachmittag in der Schule zu verbringen und Physik zu betreiben!

Mag. Sarah Zloklivovits ist Doktorandin am AECC Physik. Sie unterrichtet Physik am islamischen Realgymnasium Wien.

Literatur

[1] museer, Statens maritima och transporthistoriska, About the Vasa Museum: About the Vasa Museum, 2020, <https://www.vasamuseet.se/en/about>, Abruf am 10 April 2020.

[2] Vasa Museet, Vasa History: Timeline, 2019, <https://www.vasamuseet.se/en/vasa-history/timeline>, Abruf am 29 February 2020.

[3] Vasa Museet, Vasa History: The Disaster, 2020, <https://www.vasamuseet.se/en/vasa-history/disaster>, Abruf am 29.02.2020.

[4] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Auftrieb und Schwimmen, https://www.dlr.de/schoollab/desktopdefault.aspx/tabid-4966/9867_read-20306/, Abruf am 10.4.2020.

[5] H. Berezin, Adventure Guide Scandinavia, Hunter Publishing, Incorporated, 2012.

[6] R.E. Fairley, M.J. Willshire, Why the Vasa Sank: 10 Problems and Some Antidotes for Software Projects, IEEE Software 20 (2003) 18-25.

[7] museer, Statens maritima och transporthistoriska, The Salvage: The Salvage, 2020, <https://www.vasamuseet.se/en/vasa-history/salvage>, Abruf am 14.04. 2020.

[8] Vasa Museet, How we preserve Vasa: Preservation timeline, 2020, <https://www.vasamuseet.se/en/research/how-we-preserve-vasa/preservation-timeline>, Abruf am 29.02.2020.

[9] D.E. Mayol, The Swedish ship Vasa's revival, 1996, <https://www.abc.se/~m10354/publ/vasa.htm>, Abruf am 17.4.2020.

[10] D. Spiegel, Patentstreit: BASF unterlag Donald Duck, DER SPIEGEL (31.01.2000).

[11] Mythbuster rescue sailboat sunken part 1 – YouTube, 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=-FmrxBle75s>, Abruf am 10 April 2020.

[12] MythBusters Episode 21: Ping Pong Rescue, 2020, <https://mythresults.com/episode21>, Abruf am 10.4.2020.

[13] "MythBusters" Pingpong Rescue (TV Episode 2004) – IMDb: "MythBusters" Pingpong Rescue (TV Episode 2004) – IMDb, 2020, <https://www.imdb.com/title/tt0768492/>, Abruf am 10.4.2020.

[14] H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, R. Duit (Eds.), Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018.

[15] M. Hänze, F. Schmidt-Weigand, L. Stäudel, Gestufte Lernhilfen, Individuelle Förderung durch Innere Differenzierung, Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II (2010) 63-73.

[16] G. Franke-Braun, F. Schmidt-Weigand, L. Stäudel, R. Wodzinski, Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation, Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten (2008) 27-42.

[17] R. Wodzinski, Lernen mit gestuften Hilfen: Gestufte Lernhilfen fördern selbstständiges Lernen und lassen individuelle Lernwege zu, Physik Journal 12 (2013) 45-49.

[18] Wikipedia, Vasa (Schiff), 2020, [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Vasa_\(Schiff\)&oldid=196214373](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Vasa_(Schiff)&oldid=196214373), Abruf am 22.03.2020.

[19] 'Vasa' 1628 Swedish Warship, (With Plans), 2015, Abruf am 22.03.2020.

[20] P. Mańkowski, P. Kozakiewicz, M. Drożdżek, The selected properties of fossil oak wood from medieval burgh in płońsk, Wood research 61 (2016) 287-298.

Summende Kolleg*innen in der Umweltbildung: Die Honigbiene im fächerverbindenden Unterricht

Anna-Lena Neurohr & Andrea Möller

Honigbienen (*Apis mellifera*) faszinieren nicht nur aufgrund ihres reibungslosen Zusammenlebens von zehntausenden Individuen in einem Staat, sondern gelten als „Flagship-Art“ inzwischen als Symbol einer anthropogen veränderten Umwelt. Seit langem schon dienen Bienen als Modellorganismus für die Klasse der Insekten und eignen sich als drittichtigstes Agrar-Nutztier auch hervorragend zur Vermittlung ökologischer und systemischer Zusammenhänge im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Zudem können sie aufgrund zahlreicher interdisziplinär bearbeitbarer Phänomene auch sehr gut zur fächerverbindenden Wissensvermittlung eingesetzt werden. Am Forschungs- und Lehrbienenstand „Bee.Ed“ der Universität Wien können Schüler*innen, Lehramtsstudierende und Lehrkräfte sich selbst davon überzeugen.

1. Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) als weltweites Bildungsziel

Umweltschützendes Handeln und eine Vermittlung von Umweltkompetenz gewinnen im Rahmen einer nachhaltigen Umweltbildung sowohl national, als auch international eine immer größere Bedeutung. Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) lässt sich sowohl in den nationalen Bildungsstandards und Lehrplänen [1, 2], als auch in den internationalen Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals, Agenda 2030) der Vereinten Nationen finden. Ziel ist es, das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung in allen Bildungsbereichen zu verankern, sodass alle Lernenden die Möglichkeit haben, entsprechende Kenntnisse und Qualifikationen zu erwerben [3]. Nachhaltiges Handeln soll als handlungsleitendes und fächerübergreifendes Bildungsprinzip im Schulunterricht integriert werden. Der Bildungsauftrag umfasst dabei ökologische, wirtschaftliche sowie soziale Aspekte, um Menschen für Umwelt- und Entwicklungsfragen zu sensibilisieren und handlungsorientierend aufzuklären [4]. Besonders direkte Naturerfahrungen und damit eine affektive Auseinandersetzung mit der Natur tragen zu einem besseren Verständnis, einem höheren Umweltbewusstsein und zu einer gesteigerten Schutzbereitschaft bei. Hier kann eine emotionale Ausrichtung als Brücke zur kognitiven Ebene genutzt werden, um Aspekte des Umweltwissens als bedeutsam wahrzunehmen und eine Naturwertschätzung bei Lernenden auszubilden [5].

2. (Honig)Bienen als Vermittlungsagenten für BNE

Um der wachsenden Distanz zur originalen Begegnung in der Natur entgegenzuwirken, rücken aktuell neue Lehrformen in

den Fokus von BNE. Eine Möglichkeit bieten Lehrbienenstände oder Schulbienen, an denen Kinder und Jugendliche in direkten Kontakt mit Honigbienen (*Apis mellifera*) treten können. Die Biene ist nicht nur eine bedeutende Sympathieträgerin (z. B. als fleißige Honigproduzentin oder Cartooncharakter „Biene Maja“), sondern aufgrund ihrer hohen ökonomischen und ökologischen Bedeutung als Bestäuberinsekt weltweit unser drittichtigstes Nutztier. So bedürfen etwa zwei Drittel der global angebauten Kulturpflanzen, die wir als Nahrungsmittel nutzen der Fremdbestäubung durch Tiere, deren Großteil durch Honigbienen mittels passivem Pollentransports geleistet wird [6]. Neben den Kulturpflanzen sind zudem bis zu 80% aller Wildpflanzen in Europa für ihre Fortpflanzung auf eine Bestäubung durch Insekten, darunter hauptsächlich Honig- und Wildbienen, angewiesen. Demzufolge ist der Erhalt der natürlichen Lebensräume sowie der Biodiversität und Artenvielfalt ebenfalls direkt oder indirekt von Bestäuberinsekten abhängig. Vor diesem Hintergrund ist das seit Jahren zu beobachtende globale Insektensterben als dramatisch einzustufen. Die Ursachen für die Rückgänge sind multifaktoriell. Drastische anthropogene Habitatveränderungen (u. a. Flurbereinigung, Monokulturen, Urbanisierung) und der zunehmende Einsatz von systemischen Pestiziden (u. a. Neonicotinoide) bilden hierbei die größten Faktoren [für eine Zusammenfassung siehe 7]. Aufgrund ihrer aktuellen weltweiten Bedrohung und den damit verbundenen ökologischen und ökonomischen Folgen eignen sich Honigbienen somit nicht nur hervorragend zur Vermittlung ökologischer und systemischer Zusammenhänge, sondern können auch fächerübergreifend für die Vermittlung der aktuellen Umwelt- und Artenschutzproblematik im Kontext BNE eingesetzt werden [5]. Auch darüber hinaus bieten Bienen zahlreiche Themen für nahezu alle Schulfächer.

3. Der Forschungs- und Lehrbienenstand „Bee.Ed“ an der Universität Wien

Am neu errichteten Forschungs- und Lehrbienenstand „Bee.Ed“ des Österreichischen Kompetenzzentrums für Didaktik der Biologie (AECC Biologie) an der Universität Wien findet eine österreichweit einzigartige Kopplung von Bildungsangeboten für Schüler*innengruppen, (Lehramts)studierende und Lehrkräfte sowie biologiedidaktischer Forschung und Öffentlichkeitsarbeit statt. Lokalisiert am Universitätszentrum 2 möchte „Bee.Ed“ bei jungen Menschen sowie bei denjenigen, die künftig junge Menschen an der Schule bilden und begleiten, über die Begegnung mit dem faszinierenden „Superorganismus“ Honigbiene Interesse an der Natur und an

BNE Themen wecken. Zeitgleich möchten wir auf die aktuelle globale Bedrohung von Honig- und Wildbienen aufmerksam machen, sowie zum Natur- und Artenschutz motivieren und konkrete Handlungsoptionen aufzeigen. Das Projekt „Bee.Ed“ steht als Akronym für „Be(e) Educated“, was in etwa mit „Sei gebildet durch die Biene“ übersetzt werden kann, ist aber auch eine Anspielung auf den „Bachelor of Education“ (B.Ed.), den Abschluss der künftigen Biologielehrkräfte, die hier ausgebildet werden.

3.1 Kopplung von Angeboten für Schulen mit der universitären Lehramtsaus- und Fortbildung

Am „Bee.Ed“ Forschungs- und Lehrbienenstand haben interessierte Schüler*innen aus Wien (und darüber hinaus) die Möglichkeit, sich im Rahmen von unterschiedlichen Lernmodulen mit Fragen rund um Honig- und Wildbienen zu beschäftigen. Mit den Methoden des forschenden Lernens erschließen sie sich in Teams u. a. verhaltensbiologische, ökologische und sinnesphysiologische Fragestellungen zu Bienen und Wildbienen. Durch die Begegnung mit den Insekten soll eine durch den digitalen Lebensstil zunehmend erschwerte Naturerfahrung ermöglicht und das Interesse an Bienen und der Natur geweckt werden. Unterrichtet werden die Schulklassen von Lehramtsstudierenden des Faches „Biologie und Umweltkunde“, die so praktische Unterrichtserfahrung in der BNE sammeln (Abb. 1). „Bee.Ed“ verfolgt das Ziel, künftige Lehrer*innen für Allgemeinbildende Höhere Schulen (AHS) und Neue Mittelschulen (NMS) für ihre wichtige Multiplikatorenrolle in der Umweltbildung zu sensibilisieren und vorzubereiten.



Abbildung 1: Lehramtsstudierende unterrichten Schulklassen auf dem „Bee.Ed“ Gelände

Im Interdisziplinären Projektpraktikum „Nachhaltige Umweltbildung mit (Schul)Bienen“ konzipieren die künftigen Biologielehrer*innen beispielsweise Lernmodule zur (Wild) Biene sowie begleitende didaktische Arbeitsmaterialien, erproben diese selbst an Schulklassen und entwickeln sie kontinuierlich weiter. Mittelfristig werden diese Unterrichtsmodule dann veröffentlicht und z. B. im Rahmen von Lehrer*innenfortbildungen vorgestellt. Einige „Bee.Ed“ Unterrichtsmodule finden sich z. B. in der aktuellen Unterrichtszeitschrift „Unterricht Biologie: Faszination Honigbienen(en)“ [7]. Die Studierenden werden außerdem auch mit den praktischen Grundlagen der Imkerei vertraut gemacht, um später selbst Bienen auf dem eigenen Schulgelände zu halten und diese in ihre Lernumgebung integrieren zu können. Als Bienenpaten übernehmen sie bereits früh Verantwortung für ein eigenes Bienenvolk und lernen dabei auch Selbst- und Organisationsengagement. Zudem beschäftigen sie sich mit Grundlagen zur Haltung von Bienen an der Schule, wie z. B. rechtlichen Fragen, Finanzierungsaspekten und der Gründung einer Bienen-AG.

Im Rahmen einer offenen „Hochschulgruppe Bee.Ed“ können sich auch Studierende anderer Fakultäten aktiv einbringen und nachhaltiges Imkern erlernen. Neben dem Angebot für Schulklassen kommen die Bienen auch bei der Wiener Kinderuni und Ferienkursen zum Einsatz.

3.2 Bee.Ed in der Biologiedidaktischen Forschung

Im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten der zukünftigen Lehrer*innen sowie Dissertationen ist das Projekt „Bee.Ed“ langfristig auch in der biologiedidaktischen Forschung des Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Biologie verankert. So wird empirisch untersucht, wie sich die Arbeit mit den Bienen auf Umweltkompetenzen und -Einstellungen der Schüler*innen, wie z. B. auf ihr Naturinteresse, ihre Naturverbundenheit und ihr individuelles Umwelthandeln auswirkt. Aktuell findet in Kooperation mit dem Österreichischen Umweltdachverband bereits eine über zwei Schuljahre angelegte Längsschnittstudie mit NMS Schulen in Wien, Linz und Wiener Neustadt statt. Hier sollen individuelle Entwicklungsprozesse untersucht werden. Ergebnisse erster Studien zeigen, dass bereits ein halber Tag am Lehrbienenstand ausreicht, um das Interesse an der Natur sowie das Naturverbundenheitsgefühl von Schüler*innen signifikant zu steigern und die Bereitschaft zur (Aus)nutzung der Natur nachhaltig zu verringern [8]. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf der Entwicklung der BNE-Professionskompetenz der Studierenden.

3.3 Bee.Ed Öffentlichkeitsarbeit

Ergänzt wird die (Aus)Bildungsarbeit durch vielfältige öffentliche Aktionen und Informationsveranstaltungen, die für einen bewussteren Umgang mit (Wild)Bienen und deren

Umwelt sensibilisieren sollen. Durch das Anlegen eines Bienen(lehr)gartens mit pollen- und nektar spendenden Pflanzen auf unserem Areal wollen wir zudem veranschaulichen, wie sich jede(r) Gartenbesitzer(in) aktiv am Bienenschutz und zum Erhalt der Artenvielfalt beteiligen kann.

4. Der „Superorganismus“ Honigbiene als fächerverbindender Unterrichtsgegenstand in einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung

In allen naturwissenschaftlichen Fächern ist handlungsorientiertes und forschendes Lernen ausgehend von Phänomenen des Alltags von zentraler Bedeutung und in den jeweiligen Lehrplänen verankert. Die Unterrichtsfächer Biologie und Umweltkunde, Chemie und Physik können allein aber stets nur einen Teil der Wirklichkeit abbilden, während es bei Bildung für Nachhaltigkeit jedoch darum geht, komplexe naturwissenschaftliche Phänomene und Wirkungsmechanismen in ihrer Gesamtheit zu erfassen und zu verstehen. Hintergrund ist, dass Lernende diese unter ökologischen, ethischen, wirtschaftlichen und sozialen Gesichtspunkten bewerten können sollen, um sich so mögliche Handlungsoptionen abzuleiten und ein Bewusstsein dafür zu entwickeln, wie sie selbst ihren Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Welt leisten können [1, 3]. Eine Bildung für Nachhaltige Entwicklung gelingt demnach am ehesten über die fächerverbindende Bearbeitung komplexer und lebensnaher Situationen, in denen die Umwelt forschend sowie interdisziplinär untersucht und Ergebnisse kritisch-konstruktiv reflektiert werden. Eine Verbindung der verschiedenen Fächer ermöglicht so anwendbares Wissen, das durch interdisziplinäre Perspektiven generiert wird und die individuelle Handlungsfähigkeit fördert [1]. Honigbienen eignen sich in diesem Zusammenhang sehr gut für den fächerverbindenden Unterricht, da Themen rund um die Biene an Lehrplaninhalte in allen naturwissenschaftlichen Fächern anknüpfbar sind und somit disziplinübergreifend Kompetenzen erworben werden können.

4.1 Flüssiges Gold: Chemie und Physik des Honigs

„Honig – ein äußerst süßer, feiner und heilsamer Saft“ (Plin. nat. XI, 4). So beschreibt schon Plinius der Ältere, ein römischer Naturforscher, das bis vor gar nicht langer Zeit einzige Süßungsmittel, das den Menschen zur Verfügung stand. Schon Steinzeitmenschen wagten sich daher an Bienenvölker heran, um an das „süße Gold“ zu gelangen. Im alten Ägypten wurden sogar hohe Staatsbeamte mit Honig statt mit Geld bezahlt. Seine Süßkraft erhält der Honig aus einer Zusammensetzung von Mono-, Di- und Polysacchariden. Die Produktion des Honigs beginnt mit dem Nektar, den Sammelbienen an Blüten sammeln und in ihrem körpereigenen Speicherorgan, dem Honigmagen, zurück zum Bienenstock bringen. Arbeiterinnen empfangen den hochgewürgten Nektar von Sammelbienen im Nest und

produzieren daraus Honig, indem sie ca. 20 Minuten lang ihre mit Nektar benetzte Zunge auf- und abfalten, bis ein Großteil des Wassers im Nektar verdunstet ist. In dieser Zeit wird der Nektar auch mit Sekreten aus den Kopfdrüsen der Bienen vermischt, die Enzyme und andere wichtige honigtypische Substanzen enthalten, die z. B. antibakteriell wirken. So erzeugt die von der Biene produzierte und im Honig enthaltene Glucoseoxidase permanent kleine Mengen von keimtötendem Wasserstoffperoxid und die enthaltenen Monosaccharide haben eine osmotische und damit zellzersetzende Wirkung auf Mikroorganismen. Zudem kann Honig aus dem Nektar der Trachtpflanzen stammende antibakterielle Hemmstoffe, sogenannte Inhibine enthalten. Der eingetragene und so behandelte Nektar wird dann als Honig in einer Wabenzelle gelagert und solange mit den Flügeln befächelt, bis sein Wassergehalt weniger als 18% beträgt. Jetzt erst wird er als Honig mit einer dünnen Wachsschicht verdeckelt. Der niedrige Wassergehalt ist für die Konservierung von großer Bedeutung, da es sonst zur Gärung kommen würde. Die Umwandlung von Nektar zu Honig dauert bis zu 5 Tage, aus 50 mg Nektar entstehen etwa 20 mg Honig [9].



Abbildung 2: Schüler*innen bei chemischen Honiganalysen im Lehr-Lern-Labor

Im forschend-lernenden Bee.Ed Lernmodul „Chemie und Physik des Honigs“ steht dieses einzigartige Naturprodukt im Mittelpunkt mehrerer fächerübergreifender Lernmodule im Lehr-Lern-Labor AECC Biologie an der Universität Wien. Die für das Labor entwickelten Aktivitäten sind in mehrere Segmente untergliedert und können auch in der Schule

durchgeführt werden. Schüler*innen versuchen zunächst mit ihren eigenen Sinnen herauszufinden, welche Arten von Zucker dafür verantwortlich sind, dass Honig süß schmeckt. Mithilfe von verschiedenen chemischen Nachweisen (Glucosetest, Seliwanoff-Nachweis oder Fehlingprobe) werden die unterschiedlichen Süßstoffe im Honig dann selbst ermittelt. Der Frage nachgehend, ob Honig also eigentlich nicht viel mehr als Zucker ist und Bienen zur Herstellung obsolet sind, versuchen Schüler*innen selbst Kunsthonig herzustellen und vergleichen diesen mit echtem Honig. Beim Süßen von Vanillepudding stellen die Lernenden jedoch fest, dass der mit Honig gesüßte Pudding wieder flüssig wird. Auf Grundlage dieser Erkenntnis werden weitere Inhaltsstoffe des Bienenhonigs analysiert und deren Herkunft, Bedeutung und Wirkung hinterfragt. Die Enzyme im Honig (Amylase, Invertase, Glucoseoxidase) stehen hierbei im Fokus und können von den Schüler*innen selbst nachgewiesen werden (Abb. 2). Glucoseoxidase ist beispielsweise verantwortlich für die Umwandlung von Glucose zu Wasserstoffperoxid, dessen keimtötende Bedeutung für die Honiglagerung im Bienenstock und die menschliche Medizin diskutiert werden kann. Für die Haltbarkeit von Honig spielt zudem der Wassergehalt eine große Rolle, den Imker*innen mit einem sogenannten Refraktometer messen, bevor sie Honig ernten. Das Refraktometer arbeitet mit dem Brechungsindex in Abhängigkeit von der Konzentration des Honigs. Weitere Inhaltsstoffe im Honig sind Mineralien und Spurenelemente. Da sie überwiegend als Salze vorliegen, können sie von Schüler*innen über ihre elektrische Leitfähigkeit nachgewiesen werden. Diese eignet sich besonders zur Charakterisierung von Sortenhonigen, da die meisten typische Werte aufweisen. So messen die Lernenden beim Waldhonig eine weitaus höhere Leitfähigkeit als bei Blütenhonigen. Es stellt sich heraus, dass er nicht Blütennektar als Ursprung hat, sondern die Ausscheidungen von Blattläusen (Honigtau).

Den Abschluss des Lernmoduls „Chemie und Physik des Honigs“ bildet eine Honigverkostung, auch „Bonitur“ genannt. Im Mittelpunkt dieses „versüßten“ Abschlusses des fächerverbindenden Forschertags steht die Schulung sensorischer Fähigkeiten, um die Vielfalt eines Lebensmittels wertschätzen und persönliche Vorlieben entwickeln zu können.

4.2 Bienen als talentierte Baumeister: Chemie, Physik und Mathematik des Wabenbaus

Neben Honig gibt es noch weitere spannende Phänomene rund um die Biene, die interdisziplinär eingesetzt werden können. Dazu gehören die von den Bienen selbst gebauten Waben aus Wachs, deren Einzelzellen durch ihre Regelmäßigkeit und Präzision faszinieren. Als elementarer Bestandteil des Superorganismus Bienen dienen die Waben als Wohnraum, Futterspeicher, Brutstätte und Kommunikationsplattform, die z. B. auch von Bienen erzeugte Schwingungen weitergeben. In den auf der Unterseite des Hinterleibs liegenden hochspezialisierten Wachsdrüsen der Bienen wird das Baumaterial produziert, indem Honig in einem

komplizierten chemischen Prozess in Wachs umgewandelt wird. Bienenwachs ist ein Gemisch aus ca. 300 chemischen Verbindungen, wobei der Großteil aus kurzkettigen Kohlenwasserstoffen und langkettigen Fettsäureestern besteht. Die in den Wachsdrüsen produzierten Wachsplättchen werden zwischen den Bauchschuppen ausgeschieden und wiegen 0,8 mg. Um 1 kg Wachs zu erzeugen, werden also fast eine Million Wachsplättchen benötigt. Dafür verbraucht die Biene ca. 8,4 kg Honig [9]. Im Anschluss an die Produktion wird das Wachs mit Sekreten und Enzymen des Speichels weiterverarbeitet und verformbar gemacht, um für den Bau der Waben eingesetzt zu werden. Bienenwachs ist zu Beginn noch ganz weiß und wird erst durch den Kontakt mit Pollen, Honig und Brut gelb bis dunkelbraun. Für den eigentlichen Bau der Wabenzellen nutzen die Bienen die Eigenschaften des Baustoffes und ihren eigenen Körper. Bienenwachs verändert sich bei 25°C und 40°C, den sogenannten Sprungtemperaturen, von einer kristallinen über eine pseudokristalline in eine amorphe Struktur. Zunächst verwenden die Baubienen ihren Körper als Schablone und bauen einen Zylinder um sich herum, wobei die Wände der jeweils benachbarten Zylinder aneinander stoßen. Um nun die sechseckige Struktur zu erreichen, erzeugen die Bienen mithilfe ihrer Flugmuskulatur eine Temperatur von 40°C, wodurch das Wachs beginnt, sich zu verflüssigen. Die Wände zwischen den Zylindern werden somit aufgrund von mechanischer Spannung verebnet [9]. Die Waben verschmelzen am unteren Ende zu einem Rhombendodekaeder, wohingegen die oberen Öffnungen als Sechsecke erscheinen.

Die sechseckige Struktur ist für die Biene von großer Bedeutung, da das Sechseck bei gleichem Umfang eine annähernd gleich große Fläche wie der Kreis erschließt. Außerdem teilen sich die Sechsecke ihre Mittelwände, was einerseits zu einer sehr stabilen Bauweise führt und andererseits Materialkosten einspart. Letzteres ist von besonderer Bedeutung, da der Wabenbau mit einem enorm hohen Energieaufwand für die Biene verbunden ist. Die von den Bienen verwendete Leichtbauweise ist nicht nur Vorbild für die Bionik, sondern wird auch bereits in Luftfahrt und Architektur imitiert.

Schüler*innen ist meist nicht bewusst, wo genau das Wachs der Zellen herkommt, wie es produziert wird, welche Inhaltsstoffe es besitzt und wie die Einzelzellen der Waben entstehen. Das Modul „Bienen als talentierte Baumeister: Chemie, Physik und Mathematik des Wabenbaus“ thematisiert die Prozesse der Wachsproduktion und Wabenbildung bis hin zur Honiglagerung im Bienenvolk. Mit Hilfe von Modellexperimenten können Schüler*innen im Sinne der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung etlichen Phänomenen selbst auf den Grund gehen. In verschiedenen Versuchen können beispielsweise das maximale Füllvolumen von geometrischen Figuren (Abb. 3) oder die Baustruktur der einzelnen Zellen auf ihre Platzersparnis untersucht werden.



Abbildung 3: Modellversuch zur Erkenntnis der optimalen Volumennutzung verschiedener geometrischer Formen mit Druckband, Kugeln und leerer Zählbox

Weitere Informationen zum Bienenprojekt „Bee.Ed“ der Universität Wien, der fachdidaktischen Forschung sowie den Lernmodulen finden sich unter: www.bee-ed.org.

Anna-Lena Neurohr, M.Ed ist Doktorandin am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Biologie (AECC Biologie) und seit 2016 bei Bee.Ed aktiv. **Univ.-Prof. Dr. Andrea Möller** leitet das Österreichische Kompetenzzentrum für Didaktik der Biologie (AECC Biologie). Sie forscht und lehrt seit 2013 im Bienendidaktik-Projekt Bee.Ed.

Literatur

- [1] BMBWF (2014): Grundsatzpapier Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung. Wien.
- [2] Kultusministerkonferenz (2015): Bildungsstandards in Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004. München: Wolters Kluwer.
- [3] United Nations (2015): Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development. New York.
- [4] BMB (2019): Lehrpläne der allgemein bildenden höheren Schulen. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (zuletzt aufgerufen am 14.04.2020)
- [5] Möller, A. (2017): Summende Pädagogen: Bienen als didaktische Vermittler für Bildungsziele nachhaltiger Entwicklung (BNE) in Schule und Lehrerbildung. In: Mellifera e.V. (Hrsg.): Handbuch Bienen machen Schule, 2. Aufl., 12-18.
- [6] Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tscharntke, T. (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc Biol Sci* 274, 303-313.
- [7] Aufleger, M. & Möller, A. (2020): Faszination Honigbienen(en) – Die erstaunlichen Leistungen von *Apis mellifera*. *Unterricht Biologie*, 44(453). Hannover: Friedrich Verlag.
- [8] Pasch, N. & Möller (2016): Be(e) educated: Der Einfluss einer Intervention mit schuleigenen Honigbienen auf affektive Natureinstellungen von Schülerinnen und Schülern. Beitrag im Symposium „Naturerfahrungen“ auf der 21. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FdDB). Halle.
- [9] Winston, M. L. (1991): *The Biology of the Honey Bee*. Cambridge: Harvard University Press.

Warum erscheinen nasse Stoffe dunkler?

Leo Ludick

Trifft Licht auf einen trockenen Stoff, dann wird ein Teil des Lichts reflektiert, ein Teil absorbiert und ein dritter Teil wird durchgelassen, er transmittiert. Ist der Stoff nass, dann haftet an der Stoffseite ein Wasserfilm an. Nun wird vom einfallenden Licht ein Teil an der Wasseroberfläche reflektiert. Vom ins Wasser eindringenden Rest wird ein Teil vom Wasser absorbiert, ein Teil wird gestreut und erst dann trifft das verbleibende Licht auf die Stoffoberfläche auf. Dort geschieht nun das gleiche wie beim trockenen Stoff. Für unsere Überlegung ist nur jener Teil des Lichts ausschlaggebend, der vom Stoff reflektiert wird. Dieser muss nun den Weg zu unserem Auge durch

den Wasserfilm nehmen. Dabei wird wieder etwas absorbiert und gestreut und bei Austritt aus dem Wasser kann es unter bestimmtem Winkel zur Totalreflexion kommen. Aus all dem ist zu erkennen, dass wesentlich weniger Licht, das vom Stoff reflektiert wird, in unser Auge gelangt, wodurch der nasse Stoff dunkler erscheint.

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

Wie man sich vor UV-Strahlung schützt.

Eine fachliche Aufarbeitung eines Alltagsthemas.

Thomas Plotz & Elisabeth Hofer

1. Einleitung

Die Sonne ist die größte und stärkste Quelle von UV-Strahlung in unserem Alltag. Dieser Umstand ist auch der Grund, warum das Thema UV-Schutz eines jener Themen ist, welches sich in unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Kontexten wiederfindet. Dies soll in diesem Artikel gezeigt werden. Besonders Augenmerk bekommt das Thema aber vor allem im Sommer bzw. im Urlaub, wo viele Menschen einer besonders hohen Exposition von UV-Strahlung ausgesetzt sind. Um den vielen Mythen und Falschinformationen entgegenzuwirken, wird die UV-Strahlung von physikalischer, fachlicher Seite behandelt und dann der Schutz vor dieser Strahlungsart aus physikalischer, chemischer und biologischer Sicht dargestellt.

2. UV-Strahlung und deren Eigenschaften

Als UV-Strahlung wird jener Teil der elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, welcher den Wellenlängenbereich von 200 bis 400 nm einschließt [1]. Sie liegt im Spektrum zwischen dem sichtbaren, violetten Licht und der weichen Röntgenstrahlung. UV-Strahlung wird üblicherweise in drei Bereiche eingeteilt, deren Eigenschaften sich unterscheiden: UVA (400-320 nm), UVB (320-290 nm) und UVC (290-200 nm). Diese Einteilung ist jedoch nicht einheitlich. Die Grenzbereiche variieren je nach Quelle. So findet sich bei der WHO [2] ein Bereich von 400-315 nm für UVA, 315-280 nm für UVB und 280-100 nm für UVC, was wiederum auch eine Veränderung der Grenze von 200 nm auf 100 nm bedeutet. Lüders und von Oppen [3] sprechen zusätzlich noch vom Bereich des Extremen Vakuum Ultraviolett im Bereich von 100-1 nm.

2.1 Sonnenspektrum und die Atmosphäre

Die Sonne ähnelt in ihrer Eigenschaft als strahlender Körper sehr gut einem idealen schwarzen Strahler mit einer Temperatur von $T = 5776$ K. Dies führt zu einer Verteilung in der Strahlung von etwa 50% Infrarotstrahlung, 40% sichtbarem Licht und 10% ultravioletter Strahlung [4]. Dazu kommen noch Anteile von Röntgenstrahlung und Mikrowellenstrahlung, wobei diese jedoch verschwindend klein sind. Für die Röntgenstrahlung ist die Sonne zu kühl, für Mikrowellenstrahlung zu heiß. Die obige Verteilung der Strahlungsarten verändert sich durch die Atmosphäre, sodass auf der Erdoberfläche zu Mittag eine Verteilung von etwa 44% sichtbarem Licht, 3% UV-Strahlung und 53% Infrarotstrahlung gemessen wird [5]. Insgesamt verringert sich die Strahlungsleistung der Sonne beim Durchtritt durch die Atmosphäre um etwa 20%. Diese Werte sind alle mit großen Schwankungsbreiten versehen, da

sie stark von der geographischen Breite, dem Sonnenstand und der Bewölkung abhängen.

Fokussiert man auf die UV-Strahlung, so zeigt sich ein dreigeteiltes Verhalten. Die Atmosphäre ist für UVA-Strahlung praktisch völlig durchlässig, sodass der gesamte von der Sonne abgestrahlte Teil die Erdoberfläche erreicht. Bei der UVB-Strahlung wirkt die Atmosphäre und hier vor allem das Ozon als Filter. UVB wird von Ozon absorbiert und die Strahlungsleistung um 90% auf dem Weg zur Erde verringert. Somit erreichen nur etwa 10% der Ausgangsstrahlung die Erde. UVC-Strahlung wird komplett in den obersten Schichten der Atmosphäre absorbiert. Dies geschieht vor allem durch Sauerstoffmolekülen (O_2), die dabei zu Ozonmolekülen (O_3) umgewandelt werden. Diese Ozonmoleküle absorbieren wiederum – wie vorhin beschrieben – Teile der UVB-Strahlung. In Abbildung 1 findet sich eine Darstellung der verschiedenen Strahlungsarten, sowie der Ozonkonzentration (hellgrüne Linie) in Abhängigkeit der Höhe.

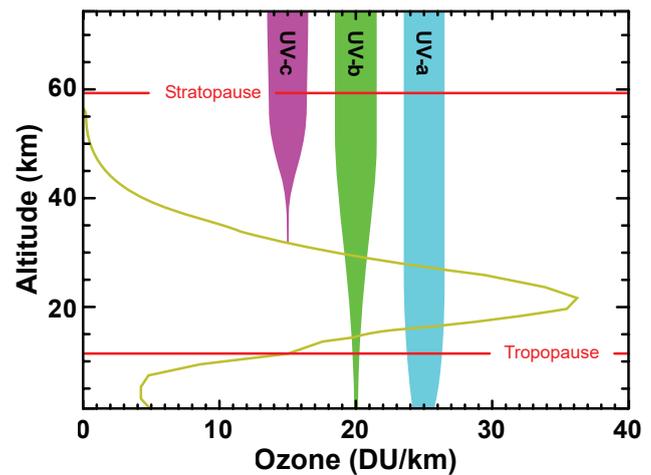


Abbildung 1: Ozonkonzentration in der Atmosphäre, Quelle: NASA (CC)

Kasten 1

Die Ozonkonzentration ist im Diagramm in DU (Dobson-Unit) angegeben, wobei 100 DU der Anzahl an reinem Ozongas entspricht, um unter Normalbedingungen eine Schichtdicke von 1mm zu erzeugen.

2.2 UVC-Strahlung

UVC-Strahlung ist jener Teil, der die meiste Energie der oben beschriebenen Strahlungsarten transportiert. Die Energie ist dabei so groß, dass dieser Teil als ionisierende Strahlung angesehen wird. Das heißt, dass die Strahlung in der Lage

ist, Atome bzw. Moleküle zu ionisieren. Dabei wird von der Strahlung bei der Interaktion mit einem Atom ein Elektron aus der Hülle losgelöst. Es entsteht ein Radikal, welches sehr bindungsfreudig ist und somit mit anderen Atomen oder Molekülen reagieren kann. Die transportierte Energie liegt bei der UVC-Strahlung im Bereich zwischen 4.43-12.4 eV, was über der Ionisierungsenergie von menschlicher DNA (etwa 4.3 eV) liegt. Somit kann dieser Teil der UV-Strahlung die DNA schädigen und ist für den Menschen besonders gefährlich. Umgekehrt wird ebendiese Eigenschaft dazu verwendet, um medizinische Geräte zu desinfizieren und im Rahmen der Wasseraufbereitung Bakterien abzutöten. Glücklicherweise wird praktisch der gesamte Anteil an UVC-Strahlung, der von der Sonne kommt, in der Atmosphäre absorbiert.

2.3 UVB-Strahlung

UVB-Strahlung umfasst nun jenen Energiebereich, der durch sein Vermögen der Ionisation unmittelbare Auswirkungen auf den Menschen zeigt. Dieser Teil der UV-Strahlung ist grundsätzlich für den Effekt des Sonnenbrandes verantwortlich. Eine länger andauernde Exposition mit UVB-Strahlung schädigt die hornbildenden Zellen der oberen Hautschicht und löst dadurch entzündliche Reaktionen aus [6]. Außerdem verursacht UVB-Strahlung Schäden in DNA-Zellen, die ohne entsprechende Reparaturmechanismen zu Mutationen und in weiterer Folge zu Hautkrebs-Erkrankungen führen können [7, 8]. Die ionisierenden Eigenschaften von UVB-Strahlung werden für technische Prozesse ausgenutzt, wenn etwa Kunststoffe durch Bestrahlung mit UVB-Licht schneller aushärten, was sowohl beim Zahnarzt als auch in Nagelstudios verwendet wird.

2.4 UVA-Strahlung

Die direkt transportierte Energie von UVA-Strahlung ist zu gering, um mittels Ionisation sofort Schäden verursachen zu können. Daher wurde sie für lange Zeit als weitgehend unschädlich für die Haut angesehen. Diese Einschätzung ist jedoch seit einigen Jahren widerlegt. UVA-Strahlung ist maßgeblich für die Alterungsprozesse der Haut (u. a. Faltenbildung, Alterspigmentflecken) verantwortlich und kann über die indirekte Bildung von Sauerstoffradikalen in den Zellen indirekt mutagen und auch karzinogen wirken [8-10]. Hierbei spielen andere Prozesse als die direkte Ionisation eine Rolle. Vor allem die empfindliche Netzhaut sollte vor UVA-Strahlung im Sommer entsprechend geschützt werden. Während UVB-Strahlung in erster Linie zu sonnenbrandähnlichen Verletzungen der Hornhaut führt, kann UVA-Strahlung bis in die Netzhaut vordringen und diese nachhaltig schädigen [11].

3. UV-Schutz

Zusätzlich zu den bereits oben beschriebenen Risiken kann UV-Strahlung u. a. auch allergische Reaktionen, entzündliche Hauterkrankungen sowie chronische Hautschäden verursachen

[6]. Um dem entgegenzuwirken, gilt es, sich ausreichend vor den schädlichen Einflüssen der UV-Strahlung zu schützen. Grundsätzlich gibt es aus wissenschaftlicher Sicht zwei verschiedene Möglichkeiten, die beim Schutz vor UV-Strahlung (bzw. für jegliche elektromagnetische Strahlung) in Betracht kommen: Schutz durch Reflexion und Schutz durch Absorption. Nachfolgend besprechen wir sowohl physikalische als auch chemische UV-Schutzmaßnahmen und stellen zwei in der Natur vorherrschende Schutzmechanismen vor.

3.1 Physikalischer Schutz

Es ist relativ einfach zu sehen, dass die Schutzmaßnahmen immer auf physikalischen Grundprinzipien beruhen. Da elektromagnetische Strahlung mit Materie immer nur in einer Kombination von Reflexion, Absorption und Transmission interagieren kann, fallen alle Schutzmaßnahmen eigentlich in die Kategorie physikalischen Schutzes. Die einzelnen Schutzmaßnahmen werden im Folgenden vor diesem Hintergrund beschreiben.

3.1.1 Schutz durch Abschattung

Das Prinzip ist hier relativ einfach. Wenn die Strahlung von Textilien absorbiert wird, so hat sie keine Möglichkeit Schaden beim menschlichen Gewebe anzurichten. Die Wirksamkeit des Schutzes ist dabei von vielen Faktoren abhängig. So spielen nicht nur die Art des Textilstoffes, sondern auch die Farbe und die Webart eine Rolle [12, 13]. Zudem variiert der Schutzfaktor noch je nach „Nassheit“ des Materials und ob dieses schon gewaschen wurde oder nicht [14]. Entsprechend finden sich Textilstoffe mit einem Schutzfaktor von 4 bis über 50 [15]. Grundsätzlich gilt, je dichter und dicker das Material ist, desto besser der Schutz. Zudem hat Baumwolle generell einen kleineren Schutzfaktor als beispielsweise Nylon oder Polyester.

3.1.2 Schutz durch Reflexion mittels Partikel

Ein wesentlicher Bestandteil von Sonnencremes sind anorganische Partikel. Bei diesen Partikeln handelt es sich meist um Titandioxid (TiO_2), Zinkoxid (ZnO) oder einer Mischung dieser beiden [16]. Beide Verbindungen sind in den Sonnenschutzprodukten feinst verteilt (Korngröße zwischen 20 und 40 nm) und bewirken eine Reflexion und Streuung der UV-Strahlung im Bereich der UVA- und UVB-Strahlung. Ist die Konzentration der beiden Stoffe in der rohen Paste hoch genug (etwa 20%), so wird ein Totalschutz erzielt. Da diese Pasten jedoch eine Eigenfarbe besitzen werden diese nicht verwendet [9]. Ein interessantes Detail ist auch die unterschiedliche Schutzwirkung der beiden Stoffe. So reflektiert ultrafeines Titandioxid (TiO_2) vor allem im UVB-Bereich und ultrafeines Zinkoxid (ZnO) im UVA-Bereich [9].

3.2 Chemischer Schutz

Als ‚chemische UV-Filter‘ werden Verbindungen bezeichnet, die in der Lage sind, UV-Strahlung zu absorbieren und in Strahlung mit größerer Wellenlänge und somit niedrigerer Energie umzuwandeln [9, 17]. Bei chemischen UV-Filtern handelt es sich in erster Linie um organische Verbindungen, die über konjugierte π -Elektronensysteme, also Systeme delocalisierter Elektronen, verfügen. Diese delokalisierten Elektronen können durch eine von UV-Strahlung induzierte Anregung von deren Grundzustand in einen energetisch höheren Zustand (angeregter Zustand) versetzt werden. Kehren die angeregten Elektronen dann wieder in ihren Grundzustand zurück, so wird die zuvor aufgenommene Energie in Form von Wärme (Infrarotstrahlung), Fluoreszenz oder Phosphoreszenz emittiert (siehe Abbildung 2) [6, 9, 18].

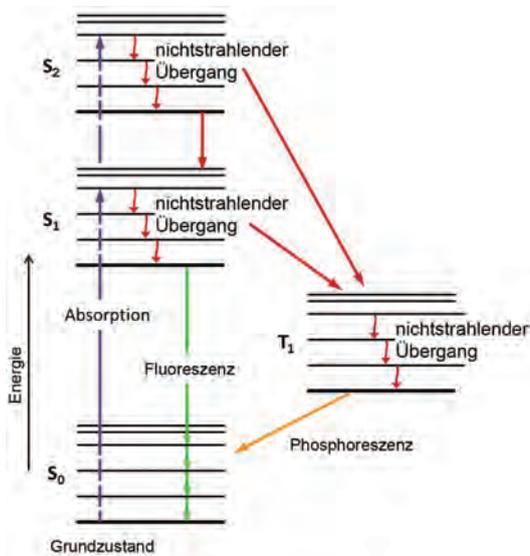


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Absorptions-Emissions-Vorgangs von Elektronen (Jablonski-Diagramm), Quelle: Wikipedia (CC)

In der Europäischen Union sind rund 25 chemische UV-Filter als Zusatzstoffe in kosmetischen Sonnenschutzprodukten zugelassen [19]. Beispiele für entsprechende Verbindungen sind etwa Derivate, Ester und Salze der Benzoesäure und der Zimtsäure (Abbildung 3).



Abbildung 3: Strukturformeln von Benzoesäure und Zimtsäure

Je nach Molekülstruktur können UV-Filter UVB-Strahlung, UVA-Strahlung oder beides absorbieren. Moderne Sonnenschutzprodukte enthalten immer eine Kombination mehrerer dieser chemischen UV-Filter. Dies gewährleistet einerseits, den UV-Schutz über den gesamten Wellenlängenbereich abzudecken und andererseits, die Lichtbeständigkeit einzelner

Bestandteile zu erhöhen [6, 9]. Um einen optimalen Schutz zu erreichen, werden zusätzlich zu den chemischen UV-Filtern auch noch physikalische UV-Filter, wie die oben besprochenen anorganischen Partikel, in die Produkte integriert. Da aufgrund der lang unterschätzten Gefahr der UVA-Strahlung vergleichsweise erst wenige chemische UVA-Filter verfügbar sind, schützen handelsübliche Sonnenschutzprodukte nach wie vor besser vor UVB- als vor UVA-Strahlung (siehe Abbildung 4) [9].

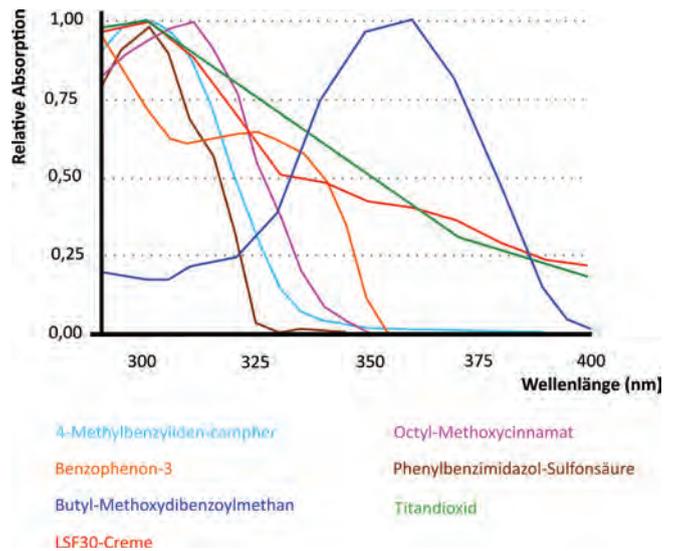


Abbildung 4: Gesamtabsorptionsspektrum eines typischen handelsüblichen Lichtschutzmittels (LSF30-Creme) mit Einzelabsorptionsspektren der jeweiligen UV-Filter [9] (S. 91 nachempfunden; erstellt von Sarah Zloklikovits)

3.3 Natürliche Schutzmechanismen

Im Gegensatz zu den oben vorgestellten Schutzmaßnahmen, die aktiv vom Menschen angewendet werden müssen, haben zahlreiche Lebewesen im Laufe der Evolution verschiedenste Strategien zum Schutz vor UV-Strahlung entwickelt. An dieser Stelle möchten wir exemplarisch auf die natürlichen Schutzmechanismen der menschlichen Haut sowie der Blutroten Schneelalge eingehen.

3.3.1 Menschliche Haut

Je nach genetischer Veranlagung und Häufigkeit bzw. Dauer von Aufhalten in der Sonne entwickelt die menschliche Haut einen mehr oder weniger starken natürlichen UV-Schutz. Dieser natürliche Schutz entsteht im Wesentlichen aus einer Kombination von drei verschiedenen Mechanismen.

Der erste Schutzmechanismus ist das Ausbilden einer sogenannten Lichtschwiele. Ist die Haut über einen längeren Zeitraum UVB-Strahlung ausgesetzt, so bildet sich eine verdickte Hornschicht. Diese ermöglicht eine verstärkte Absorption von UV-Strahlung in den oberen Hautschichten und führt in weiterer Folge dazu, dass weniger Photonen in die tieferen Hautschichten eindringen können [7, 8, 20].

Die zweite Schutzvorkehrung ist eine erhöhte Produktion von Melanin-Pigmenten, die Strahlung des UVB-Spektrums absorbieren und reflektieren können. Durch die Anlagerung der bräunlich-schwarzen Pigmente in der oberen Hautschicht werden die darunterliegenden neuen Hautzellen mit ihren Zellkernen, und somit die DNA, vor etwaigen Schädigungen geschützt [8, 18, 20, 21]. Die Bräunung der Haut ist somit eine physiologische Schutzreaktion des Körpers auf die Einwirkung der UV-Strahlung.

Das dritte Schutzsystem der Haut, die Wirkungsmechanismen von Antioxidantien, beziehen sich auf das gesamte UV-Spektrum und auch den Bereich des sichtbaren Lichts (VIS) [22]. Antioxidantien sind Verbindungen, die – u. a. durch UV-Strahlung entstehende – freie Radikale im Körper zerstören und dadurch Oxidationsprozesse hemmen oder verhindern. Antioxidantien können größtenteils nicht vom Körper erzeugt werden und müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden. Zu den natürlich vorkommenden Antioxidantien zählen etwa die Vitamine C und E, die gelbrote Farbstoffgruppe der Carotinoide sowie die rot-blaue Farbstoffgruppe der Flavonoide. Antioxidative Substanzen sind allerdings auch in Sonnenschutzprodukten enthalten, um gemeinsam mit physikalischen und chemischen UV-Filtern für einen optimalen Schutz zu sorgen [23, 24].

3.3.2 Blutrote Schneeealge

Anfang März dieses Jahres gingen zahlreiche Bilder von rotem Schnee in der Antarktis durch die Medien. Grund dafür war jedoch nicht, wie etwa auf den ersten Blick erscheinend, die Jagd und Schlachtung von Tieren, sondern die Reaktion der Blutroten Schneeealge (*Chlamydomonas nivalis*) auf die vorherrschenden Umweltbedingungen.

Die Blutrote Schneeealge – von der Deutschen Botanischen Gesellschaft zur Alge des Jahres 2019 gewählt – ist nicht nur in der Antarktis verbreitet, sondern u. a. auch in den europäischen Gletschern beheimatet [25], wo das rote Naturschauspiel in



Abbildung 5: Schneeealge in British Columbia, Quelle: Iwona Erskine-Kellie (CC)

den Sommermonaten ebenfalls beobachtet werden kann. Die Rotfärbung der Alge resultiert aus einem Ungleichgewicht des Farbstoffs Astaxanthin (roter Farbstoff aus der Gruppe der Carotinoide) und der Farbstoffgruppe der Chlorophylle. Bei übermäßiger Exposition von UV-Strahlung produziert die Alge als Schutz vermehrt den roten Farbstoff, während die Chlorophyll-Moleküle zunehmend zerfallen. Der rote Farbstoff schützt die Zellen der Alge vor zu intensiver UV-Strahlung und den dadurch drohenden Schäden in den Pflanzenzellen – ähnlich wie Melanin die menschlichen Hautzellen [26, 27].

Die übermäßig hohen Temperaturen Anfang März (knapp 20°C) stellten gute Bedingungen für die Vermehrung der Algenart im Schnee dar. Durch die extrem beschleunigte Schneeschmelze gelangten immer mehr Algen an die Oberfläche und schützten sich dort durch die vermehrte Ausbildung von Astaxanthin vor der für sie schädlichen UV-Strahlung. Das Ergebnis: ganze Schneefelder wurden blutrot gefärbt.

Das Pulver der Blutroten Alge zog längst die Aufmerksamkeit der Kosmetikbranche auf sich. Dort wird es als Anti-Aging-Mittel und mittlerweile auch für Sonnenschutzprodukte verwendet.

4. Zusammenfassung

Am Ende möchten wir darauf hinweisen, dass die UV-Strahlung nicht nur Gefahren in sich birgt, sondern für die Synthese von Vitamin D3 in der Haut unverzichtbar ist. Zudem regt das Sonnenlicht unser Immunsystem an. Der wirksamste Schutz vor UV-Strahlung ist bei all den angeführten Varianten immer noch die Verminderung der Expositur. So ist vor allem die Mittagszeit in der Sonne zu meiden, da hier die Intensität der Strahlung natürlich am höchsten ist.

Welche Sonnenschutzprodukte nun am „besten“ sind, hängt von vielen Faktoren ab. So unterscheiden sich die Produkte in der Form (Emulsionen, Gele, Sprays etc.), der Adhäsionsfähigkeit auf der Haut und somit der „Wasserfestigkeit“ und vor allem im Lichtschutzfaktor (LSF). Zu diesem sei gesagt, dass eine Verdoppelung des Faktors keine Verdoppelung des Schutzes nach sich zieht. So wird bereits bei einem LSF von 15 bereits etwa 93% der Strahlung vom Schutzmittel absorbiert bzw. reflektiert. Eine Verdoppelung auf LSF 30 bringt hier eine Erhöhung des absorbierten Anteils auf etwa 97% [28]. Entscheidend für einen optimalen UV-Schutz ist nicht nur der LSF des verwendeten Sonnenschutzproduktes, sondern auch das großzügige Auftragen dieses Produktes auf die Haut. Der entscheidende Faktor ist das großzügige Auftragen des Produktes um einen optimalen Schutz zu gewährleisten [29].

In diesem Sinn schützen Sie sich und genießen Sie die Sonne!

Thomas Plotz Universität Wien, AECC Physik

Elisabeth Hofer Universität Wien, AECC Chemie, KPH Wien/Krems

Literatur

- [1] Mang, R. and J. Krutmann, Sonnenschutz im Urlaub. *Der Hautarzt*, 2003. 54(6): p. 498-505.
- [2] World Health, O., et al., Global solar UV index : a practical guide. 2002, World Health Organization: Geneva.
- [3] Lüders, K., Relativistische Physik – von der Elektrizität zur Optik. Bergmann-Schäfer Kompakt, ed. K. Lüders and G. von Oppen. 2015, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- [4] Fu, Q., RADIATION (SOLAR), in *Encyclopedia of atmospheric sciences*, J.R. Holton, J.A. Curry, and J.A. Pyle, Editors. 2003, Academic.
- [5] Laue, E.G., The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations. *Solar Energy*, 1970. 13(1): p. 43-57.
- [6] Dummer, R., et al. Photoprotektion. Lichtschutzmassnahmen zum Schutz vor akuten und chronischen UV-induzierten Hautschäden. in *Swiss Medical Forum*. 2001. EMH Media.
- [7] Berking, C., Bedeutung von ultravioletter Strahlung beim malignen Melanom. *Der Hautarzt*, 2005. 56(7): p. 687-697.
- [8] Fischer, T. and S. Bartels, Prävention chronischer UV-Schäden der Haut: Wie sinnvoll ist Sonnencreme? *Zeitschrift für Allgemeinmedizin*, 2009. 85(1): p. 21-26.
- [9] Wolf, P., UV-Filter: State of the Art. *Der Hautarzt*, 2009. 60(4): p. 285-293.
- [10] Wolf, P., Lichtschutzmittel. Wirkung gegen Hautkrebs und Lichtalterung. *Der Hautarzt*, 2003. 54(9): p. 839-844.
- [11] Remé, C.E., et al., UV-und Lichtschäden des Auges, in *Physikalische Therapiemaßnahmen in der Dermatologie*, R. Dummer, Editor. 2006, Steinkopff: Darmstadt. p. 51-55.
- [12] DIFFEY, B.L. and J. CHEESEMAN, Sun protection with hats. *British Journal of Dermatology*, 1992. 127(1): p. 10-12.
- [13] WELSH, C. and B. DIFFEY, The protection against solar actinic radiation afforded by common clothing fabrics. *Clinical and Experimental Dermatology*, 1981. 6(6): p. 577-582.
- [14] Hoffmann, K., et al., Defined UV protection by apparel textiles. *Archives of Dermatology*, 2001. 137(8): p. 1089-1094.
- [15] Van den Keybus, C., J. Laperre, and R. Roelandts, Protection from visible light by commonly used textiles is not predicted by ultraviolet protection. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2006. 54(1): p. 86-93.
- [16] Schroeder, P. and J. Krutmann, What is needed for a sunscreen to provide complete protection. *Skin therapy letter*, 2010. 15(4): p. 4-5.
- [17] Krutmann, J., Prävention der Hautalterung durch kosmetische Strategien: UV-Filter, Antioxidanzien und Actives, in *Hautalterung 2008*, Springer. p. 229-240.
- [18] Esser, C. and J. Krutmann, UV-Strahlung und Pigmentierung. *Der Hautarzt*, 2010. 61(7): p. 561-566.
- [19] Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel., E. Union, Editor.: Amtsblatt der Europäischen Union L 342. p. 59-209.
- [20] Grundmann, J. and H. Gollnick, Human cutaneous UVR exposure – harmful effects and protection by systemic and topical sun protection products. *Therapeutische Umschau*, 1999. 56(4): p. 225-232.
- [21] Knuschke, P., UV-Eigenschutz der Haut, in *Siebentes Symposium Licht und Gesundheit*, S. Völker, Editor. 2012, Universitätsverlag der TU Berlin: TU Berlin. p. 127-135.
- [22] Darvin, M., et al., Effect of supplemented and topically applied antioxidant substances on human tissue. *Skin pharmacology and physiology*, 2006. 19(5): p. 238-247.
- [23] Lademann, J., et al., Vom UV-Schutz zum Lichtschutz? Anforderungen an moderne Sonnenschutzmittel, in *Siebentes Symposium Licht und Gesundheit*, S. Völker, Editor. 2012, Universitätsverlag der TU Berlin: TU Berlin. p. 183-187.
- [24] Schroeder, P. and J. Krutmann, IRA-Schutz. Notwendigkeit und Möglichkeiten. *Der Hautarzt*, 2009. 60(4): p. 301-304.
- [25] Davey, M.P., et al., Snow algae communities in Antarctica: metabolic and taxonomic composition. *New Phytologist*, 2019. 222(3): p. 1242-1255.
- [26] Edwards, H.G., et al., Raman spectroscopy of senescing snow algae: Pigmentation changes in an Antarctic cold desert extremophile. *International Journal of Astrobiology*, 2004. 3(2): p. 125-129.
- [27] Segawa, T., et al., Bipolar dispersal of red-snow algae. *Nature communications*, 2018. 9(1): p. 1-8.
- [28] <https://medicalforum.ch/article/doi/smf.2017.03008/>
- [29] Blaeser-Kiel, G., UV-Schutz: So geht's richtig! *ästhetische dermatologie & kosmetologie*, 2013. 5(2): p. 23-23.

Keep cool! – Chemie und Physik für kalte Erfrischungen

Maria Schwarz & Philipp Spitzer

Stellen Sie sich vor, sie liegen an einem Strand oder auf der Wiese an einem See. Es ist Sommer, die Sonne brennt und ein kaltes Cola wäre jetzt viel Wert. Sie wissen, die Dose Cola in ihrer Tasche ist mittlerweile warm und wahrscheinlich wenig erfrischend. Doch was tun? Als naturwissenschaftlich gebildete „Nerds“ haben wir natürlich notwendige Materialien dabei, um unser Cola zu kühlen. Folgende Optionen werden wir hier in diesem Artikel beleuchten: (1) Kühlung mit Wasser, (2) Verwendung und Optimierung der Absorptionskühlung und (3) die Verwendung einer Kältemischung. Und ganz zum Schluss gibt es dann sogar noch ein leckeres Eis!

1. Die klassische Variante: Kühlung in Wasser

Aufgrund besserer Wärmeleitfähigkeit haben wir für unseren Versuch am Strand oder am See natürlich eine Getränkedose mitgenommen. Metall hat eine bessere Wärmeleitfähigkeit und ein Herunterkühlen der Cola wird somit schneller möglich sein. Die einfachste Möglichkeit dies am Strand oder See zu machen ist, die Dose ins Wasser zu legen. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt dann den weiteren Vorgang, nämlich die Annäherung der Temperatur von Dose und Wasser. Da das Wasser im See den deutlich größeren „Körper“ darstellt, wird die Dose und mit ihr das Cola die Temperatur des Wassers annehmen. Für SchülerInnen dabei oft verwunderlich: das Wasser überträgt nicht die Kälte auf die Dose, sondern von der Coladose wird Energie auf das Wasser übertragen [1]. Dieser Energiegewinn hat eine steigende Wassertemperatur zur Folge. Bei Badewassertemperaturen zwischen 25 und 27°C ist der kühlende Effekt auf die Coladose wohl doch eher gering. Es wäre auch zu einfach gewesen.

2. Die exotische Variante: Adiabate Kühlung

Ein Highlight in der Thermodynamik-Vorlesung für Maschinenbaustudierende an der RWTH Aachen ist die Kühlung einer Bierdose mit Hilfe von Spiritus. Zu Beginn der Vorlesung trinkt der Professor ein Tuch mit Spiritus und wickelt es anschließend um eine Bierdose mit Zimmertemperatur. Kurz vor Ende der Vorlesung befreit er die Bierdose vom Tuch und hält zur Begeisterung der anwesenden Studierenden ein kühles Bier in der Hand. Eine besser zielgruppenorientierte Demonstration der Wirksamkeit der adiabaten Kühlung oder auch Verdunstungskühlung kann man sich kaum vorstellen. Doch was steckt physikalisch hinter diesem Effekt?

Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung beschreibt, dass die Teilchen eines Gases oder eben auch einer Flüssigkeit eine

Geschwindigkeitsverteilung aufweisen. Somit unterliegt auch die kinetische Energie einer Verteilung. Bei dem Prozess der Verdunstung verlassen Teilchen mit hoher Geschwindigkeit und somit hoher kinetischer Energie die Flüssigkeit und gehen in die Gasphase über. Die mittlere kinetische Energie der Flüssigkeit sinkt daher [1]. Je näher eine Flüssigkeit am Siedepunkt ist, desto mehr schnelle Teilchen verlassen die Flüssigkeit, desto stärker nimmt somit auch die mittlere kinetische Energie ab und somit auch die Temperatur [2]. Der Professor hat Spiritus, also Isopropanol oder Ethanol, somit geschickt gewählt. Eine schnellere Kühlung hätte er mit einem Mittel mit noch geringerer Siedetemperatur erreichen können: Aceton.

Für einen guten Kühlungseffekt ist jedoch trockene Luft sowie ein Lufthauch notwendig. So werden die sich aus der Flüssigkeit herausbewegenden Teilchen gebunden und abtransportiert und können nicht wieder in die Flüssigkeit zurückgelangen. Die Wärme der Sonne ist bei dieser Art Kühlung nicht von Nachteil, wird doch die Temperatur des Wassers, Ethanol oder Acetons erhöht und somit die mittlere Geschwindigkeit und mittlere kinetische Energie der Teilchen ebenfalls. Um den Effekt auch im Experiment sichtbar zu machen, kann man die Spitze eines digitalen Thermometers nacheinander zunächst in Wasser, Ethanol und dann Aceton halten und die Verdunstungstemperatur an der Spitze ermitteln [3].

Das Prinzip der Verdunstungskühlung ist schon sehr lange bekannt. Bereits die Griechen nutzen das Prinzip und kühlten mit Hilfe von feuchten Tonkaraffen ihre Lebensmittel. Heute wird diese Art des einfachen Kühlschranks vor allem in afrikanischen Ländern verwendet. Auch zur Getränkekühlung werden Flaschenkühler aus Ton verwendet.



Abbildung 1: Bau eines Tonkühlschranks unter Verwendung von Seramis®-Granulat und zwei Tontöpfen

Um das System zu verbessern und mehr Wasser zu speichern, kann man auf eine Bauweise aus zwei Tontöpfen zurückgreifen. Zwischen diese Tontöpfe füllt man klassischerweise feinen

Sand, den man dann mit Wasser trinkt. Bei dem eigenen Versuch wurde Seramis®-Tongranulat verwendet. Durch die poröse Oberfläche kann dies im Gegensatz zu Sand auch Wasser speichern.

Verdunstet Wasser an der Oberfläche, wird das Wasser, aber auch die damit in Verbindung stehenden Materialien und die Luft im inneren Kühler.

Eine schnellere Kühlung erhält man durch das möglichst schnelle Abführen oder Binden der sich aus dem Wasser lösenden Teilchen. Kombiniert man die Verdunstung von Wasser mit der Verwendung von Zeolithen, so beschleunigt dies die Kühlung enorm. Zeolithe sind durch ihre spezielle Struktur in der Lage polare Moleküle unter Wärmeentwicklung in Hohlräume einzulagern [4]. Im CoolKeg-Bierfass werden Wasser und Zeolithe getrennt gelagert, wie in Abbildung 2 zu sehen ist. Die Kammer mit dem Zeolith weist dabei ein Vakuum auf [5].

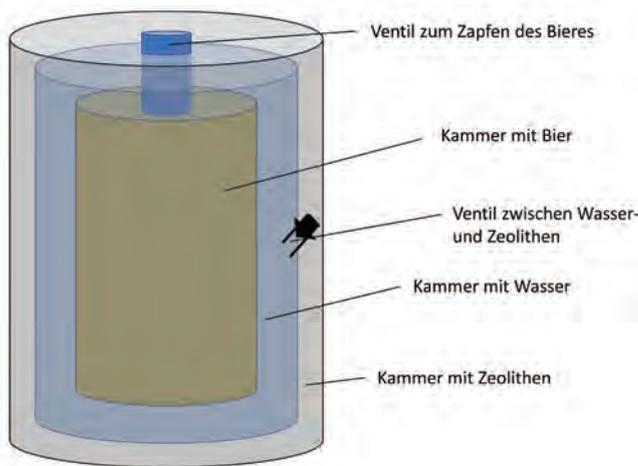


Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines CoolKeg (eigene Abbildung in Anlehnung an [4] und Zeo-Tech)

Öffnet man das Ventil zwischen Wasserkammer und Zeolith, so verdunstet das Wasser und die Wasserteilchen werden sofort von den Zeolithen aufgenommen. Während das Zeolith sich wegen der Adsorption der Wasserteilchen erwärmt, kühlt sich das Wasser ab und kühlt somit auch das Bier. Wichtig für die Funktion des Fasses ist somit eine gute Isolierung zwischen Wasserkammer und der Kammer mit den Zeolithen. Laut Erfinder kann das Bier bei einer Abkühlgeschwindigkeit von 0,5 K/min auf bis auf 3°C heruntergekühlt werden, wobei sich die Zeolithe gleichzeitig auf bis zu 90°C erwärmen [4].

3. Die chemische Variante: Kältemischung

Die wahrscheinlich beste Variante zum Kühlen Ihrer Getränke ist jedoch die Kältemischung. Sie alle kennen die Thematik. Erfahrungsgemäß wird in der 7. Schulstufe im Physikunterricht das Thema „Kältemischungen“ im Rahmen der Wärmelehre angesprochen und findet sich auch als Erweiterung in vielen Schulbüchern der Sek 1 und Sek 2. Als Alltagsbeispiel wird dabei

zumeist auf die Salzmischung im Winter Bezug genommen. Experimentell werden im Unterricht definierte Salz-Eis-Mischungen hergestellt und die Temperatur gemessen. Auch Napoleon hat sich die Kältemischung zu Nutze gemacht und die durch Lösung von Ammoniumnitrat in Wasser erreichte Temperatur von -5°C zum Kühlen von Honig verwendet [6].

Als Kältemischung wird eine hergestellte Mischung verschiedener Stoffe, zumeist Salze und Wasser oder Eis, bezeichnet, welche zu sehr tiefen Temperaturen führt. Gibt man Salze in Wasser, wird das Kristallgitter aufgebrochen und die entstehenden Ionen hydratisiert. Hierbei muss eine bestimmte Energie, die Gitterenergie (ΔH_G), aufgewendet werden. Es bildet sich eine Hülle aus Wassermolekülen um die Ionen des Salzes. Bei diesem Prozess wird die sogenannte Hydratationsenthalpie (ΔH_H) frei. Die Differenz aus Gitterenergie und Hydratationsenthalpie ergibt die Lösungsenthalpie/Lösungswärme (ΔH_L). Bei Kochsalz (NaCl) ist diese in Summe positiv: $\Delta H_L = 7806 \text{ kJ/mol} - 7746 \text{ kJ/mol} = + 6 \text{ kJ/mol}$. Das bedeutet, dass Energie aus der Umgebung aufgenommen werden muss und sich das Wasser abkühlt [7]. Dass sich das Salz bei der Mischung mit Eis überhaupt lösen kann liegt an dem durch Luftdruck stets vorhandenem Wasserfilm an der Oberfläche des Eises [8].

Als Naturwissenschaftlerin oder Naturwissenschaftler ist das weitere Vorgehen für ein kaltes Getränk daher klar. Kältemischung herstellen und Getränk hineinstellen. Aufgrund der besseren Wärmeleitfähigkeit sollte man jedoch unbedingt eine Getränkedose statt einer Glasflasche verwenden. Soll es zudem richtig schnell gehen, bedarf es noch einer anderen Überlegung – im Internet sind Videos zu finden, in denen es nur zwei Minuten dauert das Getränk auf Kühlschranktemperatur zu kühlen. Bei einer guten Kältemischung von Natriumchlorid und Eis können Temperaturen bis -21,3°C erreicht werden [6]. In diesem Fall ist jedoch zwischen den einzelnen Eisstücken viel Luft. Möchte man sein Getränk schnell kühlen, benötigt man daher eine sehr wässrige Kältemischung, in denen das Eis im Wasser schwimmt. Hiermit erreicht man nur noch Temperaturen von knapp unter 0°C, jedoch ist die Wärmeleitfähigkeit des Wassers, in dem die Getränkedose nun liegt, deutlich besser als die der Luft: das Getränk wird schneller kühl. Dies ist die schnellste Möglichkeit für Ihr kaltes Getränk an Strand oder See.

4. Und die Kältemischung kann noch mehr: Eiscrème selbst machen

Vielleicht fehlt jetzt noch zu ihrem Glück ein Eis. Auch der Traum vieler Schülerinnen und Schüler ist wahrscheinlich ein leckeres Eis am Ende einer Schulstunde. Mit Hilfe der Kältemischung kann es leicht am Strand oder im Unterricht verwirklicht werden.

Im folgenden Abschnitt werden zwei Möglichkeiten gezeigt; die Grundzutaten für das Eis und die Kältemischung sind bei beiden Methoden gleich:

- 3 Liter-Beutel mit:
 - Eiswürfel/ Crushed Ice
 - Natriumchlorid (Kochsalz) zur Herstellung der Kältemischung
- 1 Liter Beutel mit:
 - 150 ml Milch
 - 150 ml Schlagobers
 - 3 Esslöffel Kakaopulver/ Schokoladensirup (nicht bewährt haben sich größere Zutaten wie beispielsweise gehackte Nüsse)

Bei der ersten Methode werden die Zutaten Milch, Schlagobers und Kakao/ Schokoladensirup in einen 1-Liter-Tiefkühlbeutel gefüllt und vermischt. Die Kältemischung wird am besten mit Crushed Ice hergestellt, denn da ist das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen günstig, sodass genug Salz im entstehenden Wasserfilm in Lösung gehen kann. Das Crushed Ice füllt man in einen 3-Liter-Tiefkühlbeutel. Da dies einen „Freihandversuch“ darstellt, kann das Salz „nach Gefühl“ beigemischt werden – jedenfalls reichlich! Die nun entstehende Mischung erreicht bereits tiefe Temperaturen, daher wird empfohlen mit Handschuhen oder Topflappen-Handschuhen zu arbeiten! Nun kann die Eiscrememischung hineingegeben (siehe Abbildung 3), die Kältemischung aufgefüllt und der Beutel anschließend fest verschlossen werden.



Abbildung 3: Eiscrememischung (1-Liter-Beutel) in Kältemischung (3-L-Beutel)

Für ein gutes Ergebnis muss die Eiscreme beim Abkühlen möglichst gut durchmischt werden. Dies kann durch zuwerfen der Beutel geschehen. Nach ca. 10 - 15 Minuten ist die Eiscreme fertig (siehe Abbildung 4).

Bei dieser Methode könnte jeweils zu Beginn und am Ende die Temperaturen der Eiscreme und der Kältemischung gemessen werden. Des Weiteren kann auch bereits in der Sek 1 die Richtung des Wärmetransports, damit die Eiscreme erstarren kann, angesprochen werden (siehe auch Onlineergänzungsmaterial: Arbeitsblatt „Kältemischung“).



Abbildung 4: Fertige Eiscreme im 1-Liter-Beutel

Bei der zweiten Methode der Eiscremeherstellung kann die Rohmasse auch in einen von der Kältemischung umgebenen Behälter heruntergekühlt werden. Nachteilig ist hier jedoch, dass der Eiscreme-Mischung nicht von allen Seiten die Wärme entzogen wird und sie ungleichmäßig gefriert. Bei dieser Methode muss man zudem mindestens 60 Minuten für den Erstarrungsprozess einplanen (siehe auch Onlineergänzungsmaterial: Arbeitsblatt „Eiscreme Methode 2“).

5. Jetzt sind Sie dran!

Vor allem im Sommer sind die hier vorgestellten Experimente sehr motivierend für Schülerinnen und Schüler. Am Beispiel der Kältemischung und insbesondere der Eiscremeherstellung können darüber hinaus viele Optimierungsmöglichkeiten ertüfelt und mit physikalischem Wissen argumentiert werden. Schnell wird man an diesem Beispiel jedoch auch feststellen, dass eine fachübergreifende Betrachtung hier weiterführen kann. So sehen Physikerinnen und Physiker die Kältemischung mit anderen Augen als ihre Kolleginnen und Kollegen aus der Chemie. Wie sehen Sie es? Und welche Methode ist Ihr Favorit?

Maria Schwarz Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik (AECCP), Universität Wien
Philipp Spitzer Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Chemie (AECCC), Universität Wien

Literatur

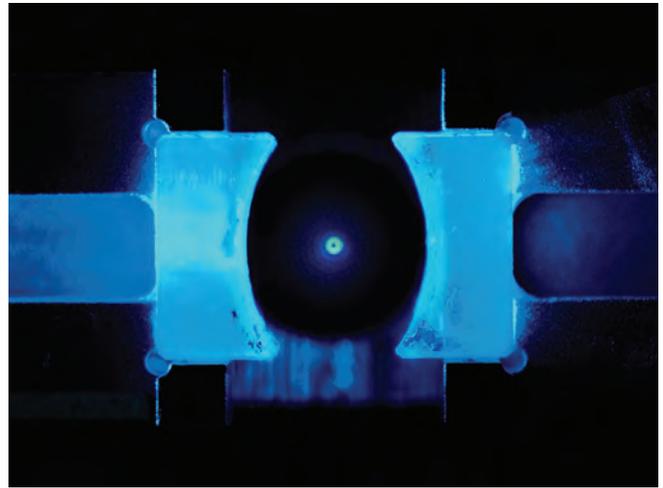
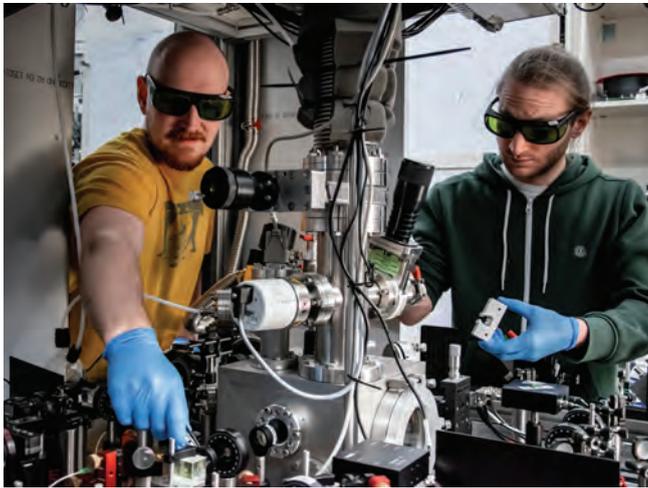
[1] Stierstadt, K., Thermodynamik. Von der Mikrophysik zur Makrophysik. 2010. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[2] Sehr schön dargestellt wird dies auch auf: <https://www.tec-science.com/de/thermodynamik-waermelehre/kinetische-gastheorie/warum-verdunsten-flussigkeiten/>

- [3] Ein Video zum Versuch findet sich hier: <https://pawm.physik.uni-wuerzburg.de/video/thermodynamik/r/r13.html>
- [4] Maier-Laxhuber, P, Schmidt, R, Becky, A, Woerz, R., Die Anwendung der Zeolith/Wasser-Technologie zur Bierkühlung. Ki Luft- und Kältetechnik, 2002.(8): p. .
- [5] Rakovan, J., Word to the Wise: Materials Mineralogy. Rocks & Minerals, 2010. 85(4): p. 352-357.
- [6] Wiehoczek, D., Prof. Blumes Tipp des Monats August 1998 (Tipp-Nr. 14): Mit Kältemischungen gibt es auch im Sommer Eis. 2010. https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/08_98.htm (letzter Zugriff am 23.3.2020).
- [7] Zeeck, S. C., Grond, S., Chemie für Mediziner. 2017. München: Elsevier.
- [8] Lüders, K., Oppen, G. von, Bergmann, L., Schaefer, C., Mechanik, Akustik, Wärme. 2008. Berlin: de Gruyter.

Wissenschaft im Bild

Kahan Dare & Manuel Reisenbauer



Abbildungen: Die Bildrechte liegen bei © Lorenzo Magrini, Yuriy Coroli/Universität Wien.

Forscher der Universität Wien und der ÖAW um Markus Aspelmeyer [1] brachten mithilfe eines Lasers ein Nanoteilchen aus Glas zum Schweben und kühlten es erstmals bis in das Quantenregime. Obwohl es in einer Umgebung bei Raumtemperatur gefangen ist, wird die Bewegung des Teilchens ausschließlich durch die Gesetze der Quantenphysik bestimmt. Durch die Manipulation der optischen Falle können die Forscher die Bewegung der Nanoteilchen auf völlig neue Weise kontrollieren. Dies eröffnet Perspektiven für eine neue Art von

hochsensitiven Messgeräten, das Erforschen grundlegender Prozesse von Wärmekraftmaschinen im Quantenregime sowie die Untersuchung von Quantenphänomenen mit großen Massen. Die Ergebnisse der Studie wurden in einem Artikel der Zeitschrift Science [2] veröffentlicht [3].

Kahan Dare *Fakultät für Physik, Universität Wien*

Manuel Reisenbauer *Fakultät für Physik, Universität Wien*

Literatur

- [1] <https://aspelmeyer.univie.ac.at/>
- [2] Link zum Artikel: <https://science.sciencemag.org/content/367/6480/892.full>
- [3] https://physik.univie.ac.at/news/news-detailansicht/news/ein-quantum-festkoerper-2/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=54481c7b8070add475288f4b11d78bc9

Wie beschleunigen Flugzeuge?

Beschleunigungsmessung bei Start und Landung

Bärbel Fromme

Durch einfache Beschleunigungsmessungen mit dem Smartphone lassen sich viele Details der Start- und Landephase von Flugzeugen analysieren und verstehen. Die Messergebnisse – zum Beispiel aufgenommen während einer Klassenreise oder als Messaufgabe für Ferienreisen – erlauben im Rahmen des Physikunterrichts die anschauliche Wiederholung und Vertiefung vieler Größen und Zusammenhänge aus dem Bereich Mechanik.

1. Einleitung

Die Beschleunigung eines Flugzeugs bei Start (Abb. 1) und Landung spürt der Fluggast sehr deutlich mit dem eigenen Körper. Doch welche Beschleunigungen werden hier erreicht und wie laufen Start- und Landephase genau ab? Dieses ist heutzutage mit den Beschleunigungssensoren des Smartphones und verschiedenen kostenlosen Apps (Kasten 1) für jeden Fluggast einfach messbar. Die Messergebnisse sind auch für fliegerische Laien nachvollziehbar und gut interpretierbar.



Abbildung 1: Flugzeug im Steigflug direkt nach dem Start.

Die Auswertung der Daten, bei der z. B. die Gesetzmäßigkeiten der beschleunigten Bewegung oder die Newtonschen Axiome zur Anwendung kommen, kann einen Beitrag zu einem alltagsnahen, motivierenden Physikunterricht leisten. Anhand von Beispielmessungen werden hier verschiedene Auswertemöglichkeiten und die daraus resultierenden Ergebnisse vorgestellt: So lassen sich durch Integration die Abheb- und Landegeschwindigkeiten bestimmen. Dieses kann schnell und komfortabel digital mit geeigneten Zeichen- bzw. Auswerteprogrammen geschehen. Da den Beschleunigungsverläufen näherungsweise einfache geometrische Formen (Dreiecke, Rechtecke) zugrunde liegen, lassen sich die Geschwindigkeiten auch gut über die Flächen unter den Kurven ermitteln, was für die Anwendung im Physik- oder Mathematikunterricht durchaus interessant ist. Es zeigt sich, dass die mit beiden Methoden ermittelten Werte mit den Literaturwerten für die verschiedenen Flugzeugtypen gut übereinstimmen, wie sich durch Internetrecherchen, die auch

Schülerinnen und Schüler leicht durchführen können, zeigen lässt. Durch weitere Integration lässt sich die Fahrtstrecke des Flugzeugs auf der Startbahn bestimmen. Hat man auf mehreren Flügen die Abhebgeschwindigkeiten bestimmt, lässt sich die Korrelation von Auftrieb und Startmasse erkennen. Des Weiteren lässt sich aus den Beschleunigungsmessungen der Steigwinkel des Flugzeugs abschätzen oder auch zeigen, dass beim Start manchmal kurzzeitig fast mit maximaler Schubkraft der Triebwerke beschleunigt wird.

2. Ein bisschen Physik zu Beginn – der Auftrieb

Damit ein Flugzeug mit der Startmasse m_{Start} von der Startbahn abhebt, muss seine Auftriebskraft F_A größer als seine Gewichtskraft G sein:

$$F_A = \frac{1}{2} c_A \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 > m_{\text{Start}} \cdot g = G \quad (1)$$

Dabei ist c_A der sogenannte Auftriebsbeiwert, der u. a. von Flügelform und Anstellwinkel abhängt (siehe z. B. [2]). A ist die Tragflügelfläche, ρ die Dichte der Luft und v deren Anströmgeschwindigkeit. Diese Geschwindigkeit ergibt sich durch Addition der Geschwindigkeit des Flugzeugs bezogen auf den Boden (groundspeed) und der Windgeschwindigkeit.

Bei Annahme gleicher Wetterverhältnisse (Temperatur, Luftdruck, Wind) und unter Annahme gleicher oder ähnlicher Auftriebsbeiwerte müssen schwerere Flugzeuge zum Abheben entweder auf eine höhere Geschwindigkeit beschleunigt werden als leichtere oder mit einer größeren Flügelfläche versehen sein. Da die maximale Beschleunigung durch die maximale Schubkraft der Triebwerke und die Beschleunigungsstrecke durch die Startbahnlänge begrenzt sind, ist auch die auf der Startbahn erreichbare Geschwindigkeit durch diese Faktoren limitiert. Daher unterscheiden sich unterschiedlich schwere Flugzeugtypen u. a. in der Flügelfläche. So hat der A320-200 eine maximale Startmasse von bis zu 78 t [3] (71.5 t in [4]) und eine Tragflügelfläche von ca. 122.5 m² ([3], [4]). Der A340-300 hat mit 271 t [5] (259 t in [6]) eine etwas mehr als dreimal so große maximale Startmasse, verfügt mit einer Tragflügelfläche von 361.6 m² [5] aber auch über eine praktisch dreimal so große Flügelfläche. Dieses führt dazu, dass die zum Abheben nötigen Geschwindigkeiten der beiden Flugzeugtypen bei voller Beladung praktisch gleich sind, was auch durch unsere Messungen bestätigt wird. Flugzeuge identischen Typs beschleunigen bei unterschiedlicher Startmasse (auf Grund unterschiedlicher Treibstoffmenge bei unterschiedlicher

Länge der geplanten Flugstrecke) auf unterschiedliche Abhebgeschwindigkeiten, wie ein Vergleich von Messungen beim A320-200 auf Kurz- und Mittelstrecke zeigt (siehe Abschnitt 3.).

3. Beschleunigung auf der Startbahn

Wenn die Datenaufnahme und der generelle Umgang mit der für die Messung ausgewählten App vorab geübt worden sind, ist die Beschleunigung eines startenden Flugzeugs ohne großen Aufwand messbar. Für die Messung wird das Smartphone (Flugmodus einschalten!) vor dem Start möglichst waagrecht und mit einer der Messachsen (z. B. a_y -Richtung, siehe Kasten 1) parallel zur Starttrichtung positioniert und während des Starts gut festgehalten. Hier muss die optimale Mess- und Bedienposition individuell herausgefunden werden. Bei den meisten hier dargestellten Messungen wurde das Smartphone zwischen den Oberschenkeln vorne auf den Sitz gelegt. Dort kann es gut festgehalten und bedient werden. Auch die Positionierung auf der Armlehne oder auf dem Boden, eingeklemmt zwischen den Füßen, ist möglich. In [7] wurde das Smartphone auf der Armlehne mit Klebeband fixiert; bei unseren Messungen auf der Armlehne wurde darauf jedoch verzichtet.

Bei Verwendung der App PhysicsToolbox können die Beschleunigungssensoren vorab kalibriert werden (siehe Kasten 1). Dieses kann auf dem Flugzeugboden liegend erfolgen, wobei natürlich angenommen wird, dass das Flugzeug waagrecht auf der Startbahn steht. Die Messung sollte kurz vor dem eigentlichen Start gestartet werden, z. B. wenn das Flugzeug auf dem Weg aus der Parkposition auf die Startbahn einschwenkt.

Kasten 1

Messsysteme, Apps und Co.

Drei-Achsen-Beschleunigungssensoren sind in allen Smartphones zur Drehung des Displays enthalten, wobei ausgenutzt wird, dass die Sensoren in Ruhe die Komponente der Erdbeschleunigung parallel zur jeweiligen Messachse anzeigen. Für Android- und iOS-Betriebssysteme gibt es verschiedene gut funktionierende kostenlose Apps, um auf die Messwerte dieser Sensoren zuzugreifen, sie graphisch darzustellen und zur weiteren Auswertung beispielsweise im csv-Format zu verschicken. Zu nennen sind hier z. B. die Apps Phyphox (RWTH Aachen) und PhysicsToolbox, die sehr einfach und intuitiv zu bedienen sind. Beide Apps haben Vor- und Nachteile. Phyphox hat eine sehr ansprechende, übersichtliche Bedien- und Anzeigefläche sowie ausführliche Anleitungen [1]. Allerdings zeigen die Sensoren mit dieser App bereits in Ruhe einen Beschleunigungsoffset. Eine Kalibrierung ist nicht möglich. Der Offset muss bei der späteren Auswertung subtrahiert werden. PhysicsToolbox ist nicht ganz so übersichtlich, bietet aber die Möglichkeit, das ruhig liegende Smartphone zu kalibrieren, so dass in x- und y-Richtung Null, in z-Richtung $1g$ angezeigt wird. Phyphox erlaubt, Beschleunigungen auch ohne den Einfluss der Erdbeschleunigung zu bestimmen. Dieses ist aber nur mit Smartphones mit Gyroskop-Sensor möglich. Gefühlte und gemessene Beschleunigung stimmen dann aber nicht mehr überein (Kasten 2).



Abbildung: Beschleunigungsmessung beim Start eines A320-200 (Rohdaten der Messungen der Abbildungen 2b und 4). Eingezeichnet sind die Messachsen der Sensoren: Die y-Achse zeigt in Fahrtrichtung des Flugzeugs. Die z-Achse steht senkrecht auf dem Sitz.

Messungen sind auch mit anderen Beschleunigungssensoren und entsprechenden Messsystemen möglich. Wir haben z. B. Messungen mit einem an vielen Schulen gebräuchlichen TI-nSpire-Taschenrechner mit Interface und Vernier-Beschleunigungssensor durchgeführt. Auch hier ist ein Nullabgleich in Ruhe möglich.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Vorwärtsbeschleunigung a_y für drei verschiedene Starts. Die Kurven wurden bei der Auswertung am PC jeweils so verschoben, dass der Startzeitpunkt (Beginn der Beschleunigung) bei $t = 0$, $a_y = 0$ liegt. Generell lassen sich bei allen vermessenen Starts drei Phasen unterscheiden (vgl. auch [7]), die in Abbildung 2 markiert sind: In Phase 1 beschleunigen die Flugzeuge auf der Startbahn in wenigen Sekunden auf einen maximalen Beschleunigungswert. Beim A320 (Abbildung 2a, b) und auch beim A321 wird dieser Wert nach ca. 7 s erreicht, beim A340 (Abbildung 2c) bereits nach 3 - 4 s. Ähnlich kurze Zeiten wurden auch bei Starts der Boeing 737-800 gemessen. Die maximale Beschleunigung – die man sehr deutlich durch die Rückenlehne spürt – ist kleiner als die Erdbeschleunigung und wesentlich kleiner als die in manchen Fahrgeschäften auf der Kirmes erreichte, die kurzzeitig durchaus bis zu $5g$ betragen kann [8]. In Phase 2 nimmt die Beschleunigung noch auf der Startbahn linear ab, bis das Flugzeug zum Zeitpunkt t_r aus der Waagerechten in die Schräglage rotiert, wobei sich zunächst nur die Bugräder von der Startbahn abheben. Dieser Moment zeigt sich im starken Anstieg der gemessenen Beschleunigung, der im Wesentlichen durch die Schräglage des Flugzeugs hervorgerufen wird (Kasten 2). Die Beschleunigung direkt nach dem Abheben (Phase 3) wird in Abschnitt 6 genauer analysiert.

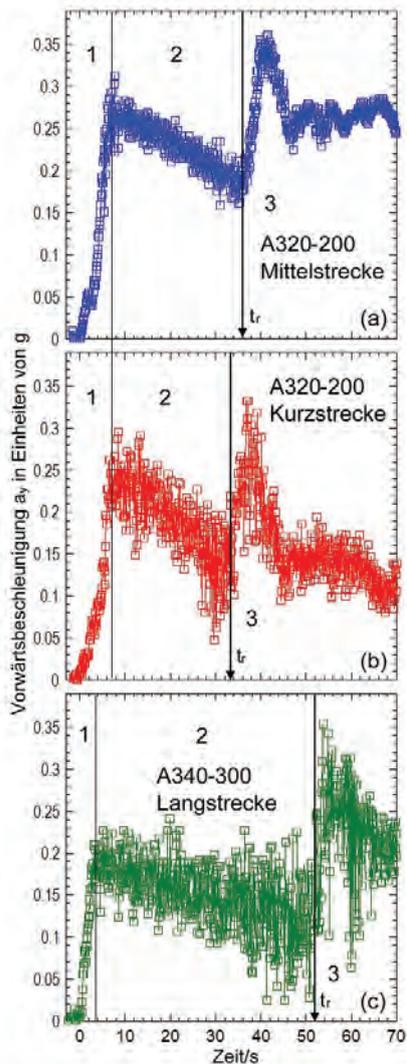


Abbildung 2: Beschleunigung in Fahrt- bzw. Flugrichtung in den ersten 70 s nach dem Start. (a) gemessen mit der App PhysicsToolbox. (b) und (c) gemessen mit der App Phyphox. Die Ziffern bezeichnen die drei verschiedenen Phasen des Starts. Zum Zeitpunkt t_r lösen sich die Bugräder vom Boden und das Flugzeug geht in Schräglage.

Kasten 2

Messen, was der Mensch spürt – Beschleunigungssensoren

Wir spüren Beschleunigungen nur dann, wenn Kräfte auf Körperteile punktuell durch Stauchung oder Dehnung einwirken. Gleichartig auf alle Körperteile wirkende Kräfte/Beschleunigungen spüren wir jedoch nicht [9]. Deshalb fühlen wir uns im freien Fall – wenn alle Teile des Körpers durch die Gravitationskraft gleichartig mit $1g$ beschleunigt werden – schwerelos, also keiner Kraft bzw. Beschleunigung ausgesetzt. Sitzen wir auf einem Stuhl, so befinden wir uns im Kräftegleichgewicht von Gewichtskraft und Rückstellkraft des Sitzes. Wir sind in Ruhe, spüren jedoch die zur Gewichtskraft gleich große – jedoch entgegengesetzt gerichtete – Rückstellkraft auf unsere Sitzfläche. Werden wir beim Start eines Flugzeugs beschleunigt, presst uns die Trägheitskraft gegen die Rückenlehne. Wir spüren die Rückstellkraft der Lehne. Hebt das Flugzeug ab und befindet sich im Steigflug, spüren wir eine zusätzliche Rückstellkraft durch die Lehne, da unsere Gewichtskraft nun auch eine Komponente in Richtung Lehne aufweist, die durch diese kompensiert wird.

Genau diese gespürten Kräfte/Beschleunigungen messen Beschleunigungssensoren (genauere Darstellung siehe [8]). Die Beschleunigung wird aus der Kraft auf eine sensorinterne bewegliche Masse ermittelt. Dies geschieht häufig kapazitiv: Eine federnd aufgehängte Kondensatorplatte befindet sich zwischen zwei feststehenden Platten. Aus der Kapazitätsänderung bei der Bewegung dieser Platte infolge Krafteinwirkung wird die Beschleunigung bestimmt [10]. Maßgeblich ist auch hier nicht die Trägheitskraft \vec{F}_T , die die

bewegliche Platte entgegengesetzt zur Beschleunigungsrichtung bewegt, sondern die Rückstellkraft \vec{F}_R der Feder. Gemessen wird jeweils die zu \vec{F}_R gehörende Beschleunigung \vec{a} , die in Messachsenrichtung (weißer Pfeil) positiv angezeigt wird. Das Messprinzip hat zur Folge, dass ein in Ruhe liegender Sensor betragsmäßig die Erdbeschleunigung anzeigt, die Richtung der gemessenen Beschleunigung aber entgegengesetzt zur Erdbeschleunigung verläuft. Bei Schrägstellung der Sensorachsen wird betragsmäßig die Projektion der Erdbeschleunigung auf die Messachse gemessen. Im freien Fall werden alle Sensorteile gleichartig beschleunigt, so dass die bewegliche Kondensatorplatte keine Auslenkung erfährt. Rückstellkraft und gemessene Beschleunigung sind Null.

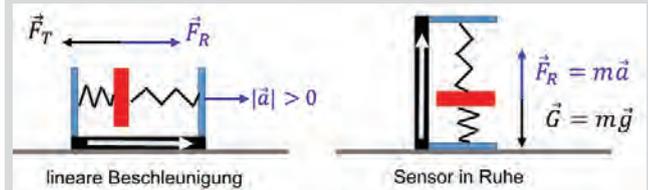


Abbildung: Kräfte bei der Beschleunigungsmessung

Die Unterschiede im Beschleunigungsverlauf bei verschiedenen Flügen lassen sich mit den Mitteln des Physikunterrichts auf einfache Weise analysieren und verstehen, wobei Startmasse und maximale Schubkraft der Triebwerke die entscheidende Rolle spielen: Bei Kurzstreckenflügen wird weniger Kerosin als bei Mittelstreckenflügen desselben Flugzeugtyps getankt. Die Startmasse ist also geringer und damit die zum Abheben benötigte Auftriebskraft und Geschwindigkeit kleiner (Gleichung 1, vgl. auch Abschnitt 4). Es ist daher zu erwarten, dass bei Kurzstreckenflügen insgesamt weniger und/oder für kürzere Zeit beschleunigt wird, was die Messungen auch zeigen (Abb. 2a, b): Sowohl die maximale Beschleunigung als auch die Beschleunigung zum Zeitpunkt des Abhebens und die Beschleunigungszeit auf der Startbahn sind für Kurzstreckenflüge kleiner. Dieses hat sich bei allen durchgeführten Messungen mit dem A320 gezeigt.

Beim Start des schwereren A340 wird eine deutlich kleinere Beschleunigung als beim A320 gemessen. Die Unterschiede lassen sich auf die unterschiedliche Schubkraft der Triebwerke und die unterschiedliche Startmasse zurückführen: Der A340 hat 4 Triebwerke und damit eine maximale Schubkraft von $F = m \cdot a = 4 \cdot 139 \text{ kN}$ [5]. Bei Annahme eines Starts bei maximaler Startmasse von $m = 271 \text{ t}$, ergibt sich eine maximal mögliche Beschleunigung von $a = 2.05 \text{ m/s}^2 = 0.209g$. Die in Phase 1 des Starts gemessene maximale Beschleunigung von ca. $0.2g$ (Abb. 2c) zeigt, unter Voraussetzung einer vollen Beladung beim hier vermessenen Start zu einem Langstreckenflug, dass die maximale Schubkraft der Triebwerke des A340 nahezu ausgenutzt wurde. Der A320 mit seinen nur zwei Triebwerken hat eine maximale Schubkraft von $F = 2 \cdot 118 \text{ kN}$ [3]. Er kann damit bei voller Beladung auf Grund seiner geringeren maximalen Startmasse von 78 t eine höhere maximale Beschleunigung von $3.03 \text{ m/s}^2 = 0.308g$ erreichen. Bei den Mittelstreckenflügen des A320, bei denen in Phase 1 des Starts eine maximale Beschleunigung von etwa $0.27g$ (Abb. 2a) gemessen wurde, wird also kurzzeitig ebenfalls fast der maximal mögliche Schub – wieder volle Beladung vorausgesetzt – ausgenutzt.

Beim A340 mit seiner gegenüber dem A320 größeren Startmasse, aber geringeren maximalen Beschleunigung, wird die fast identische Abhebgeschwindigkeit (Abschnitt 4) durch eine deutlich längere Beschleunigungsphase (Abb. 2c) und damit längere Startrollstrecke erzielt (Abschnitt 5).

4. Geschwindigkeit beim Abheben

Unter Vernachlässigung der unbekanntenen Windgeschwindigkeit lässt sich die Geschwindigkeit beim Abheben aus der Beschleunigungskurve durch Integration bis zum Zeitpunkt t_r (Abb. 2) bestimmen. Bei der so ermittelten Geschwindigkeit handelt es sich um die sogenannte „Rotationsgeschwindigkeit“ v_r , bei der der Pilot die Nase des Flugzeugs anhebt [11] (die Schrägstellung zeigt sich durch den plötzlichen Anstieg in der gemessenen Beschleunigung, vgl. Abschnitt 6) und sich dadurch die Bugräder vom Boden abheben. Das Flugzeug fährt dann noch wenige Sekunden beschleunigt auf den Heckrädern über die Startbahn, bevor es mit der dann etwas höheren Geschwindigkeit v_{lof} (lift-off-speed) endgültig abhebt (siehe z. B. [11] - [13]).

Abbildung 3a zeigt die durch Integration der Daten der drei Starts der Abbildung 2 mit dem PC ermittelten Geschwindigkeitsverläufe. Die Rotationsgeschwindigkeit ist bei den mit vermutlich maximaler Startmasse startenden Flugzeugen A320-200 (Mittelstrecke, blau) und A340-300 (Langstrecke, grün) relativ ähnlich. Der A340 hob die Nase bei $t_r \approx 52$ s bei einer Geschwindigkeit $v_r \approx 275$ km/h, der A320 bei $t_r \approx 36$ s bei einer Geschwindigkeit $v_r \approx 263$ km/h. Praktisch die gleiche

Rotationsgeschwindigkeit ermittelt man für diesen Start durch Addition der grau hinterlegten Dreieck- und Rechteckflächen unter der Beschleunigungskurve (Abb. 3b). Die Begrenzungen der Flächen wurden durch lineare Regression der maßgeblichen Bereiche der Beschleunigungskurve (dünne Linien in Abbildung 3b) festgelegt. Beim Start zum Kurzstreckenflug eines A320-200 (rot in Abbildung 3a) hebt das dabei leichtere Flugzeug bei deutlich geringerer Geschwindigkeit ab, was wegen der geringeren benötigten Auftriebskraft (Gl. 1) verständlich ist.

Mit den Gesetzmäßigkeiten der beschleunigten Bewegung lässt sich im Physikunterricht die tatsächliche Abhebgeschwindigkeit v_{lof} abschätzen. Es gilt:

$$v_{lof} = v_r + a \cdot t_h \quad (2)$$

Dabei ist t_h die Zeit ist, die das Flugzeug nur noch auf den Heckrädern fahrend bis zum kompletten Abheben beschleunigt wird. Als Beschleunigung a während dieser Zeit kann näherungsweise der letzte vor dem Hochziehen der Flugzeugnase gemessene Wert $a(t_r)$ benutzt werden. Für den A320-Start der Abbildung 2a ist $a(t_r) \approx 0.18g = 1.77 \text{ m/s}^2$. t_h lässt sich aus Filmen im Internet (z. B. [12], [13]) und ansatzweise auch aus unseren Messungen abschätzen (vgl. Abschnitt 6): $t_h \approx 3$ s. Mit $v_r = 263 \text{ km/h} = 73 \text{ m/s}$ (s. o.) ergibt sich mit diesen Werten und Gleichung 2: $v_{lof} \approx 73 \text{ m/s} + 5.3 \text{ m/s} = 282 \text{ km/h}$. Dieser Wert steht in guter Übereinstimmung mit der Literatur, in der eine Abhebgeschwindigkeit in der Größenordnung von 280 km/h angegeben wird ([4], [6]).

Eine ähnlich gute Übereinstimmung liefern unsere Daten für den Start des A340: Unter der Annahme von $t_h \approx 3$ s ergibt sich mit $v_r \approx 275 \text{ km/h}$ (s. o.) und $a(t_r) \approx 0.12g = 1.18 \text{ m/s}^2$ (Abb. 2c) $v_{lof} \approx 288 \text{ km/h}$ (Literaturwert: 290 km/h [6]).

5. Fahrstrecke auf der Startbahn

Durch Integration der Geschwindigkeit lässt sich natürlich auch die auf der Startbahn zurückgelegte Strecke s_r bis zum Hochziehen der Flugzeugnase ermitteln: Für den relativ voll beladenen A320-200 (blau in Abbildung 3a) ergibt sich $s_r \approx 1250$ m; für den A340-300 (grün) ist s_r knapp 2100 m. Aus der zu diesem Zeitpunkt erreichten Geschwindigkeit v_r , der Zeit t_h , die noch auf den Heckrädern fahrend zurückgelegt wird und dem zuletzt gemessenen Beschleunigungswert a kann mit den Gesetzen der beschleunigten Bewegung die bis zum endgültigen Abheben des Flugzeugs auf der Startbahn zurückgelegte Strecke s_a abgeschätzt werden:

$$s_a = s_r + v_r \cdot t_h + \frac{1}{2} a \cdot t_h^2 \quad (3)$$

Mit den Werten des Abschnitts 4 ergibt sich für den A320-Flug eine Fahrstrecke bis zum Abheben von $s_a \approx 1250 \text{ m} + 73 \cdot 3 \text{ m} + 1.77 \cdot 9/2 \text{ m} = 1477 \text{ m}$. Analoge Rechnung ergibt für den A340-Flug: $s_a \approx 2335 \text{ m}$. Die Startbahnen des Flughafens Düsseldorf, von dem der A320-Flug startete, sind 2700 m bzw.

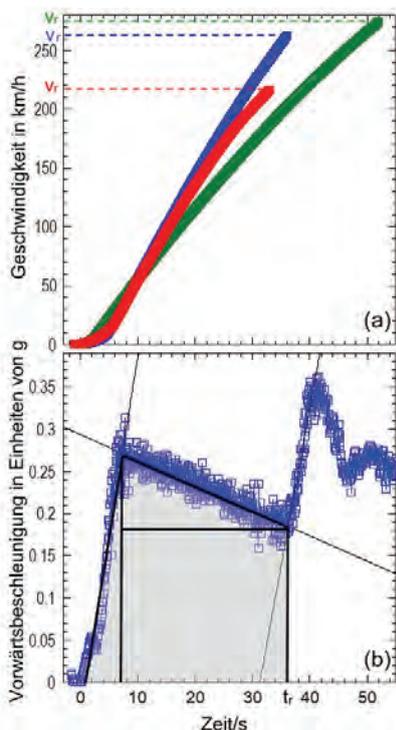


Abbildung 3: (a) Geschwindigkeitsverlauf bis zum Abheben der Bugräder ($t = t_r$, $v = v_r$). (b) Die Rotationsgeschwindigkeit v_r lässt sich auch durch Addition der Flächen unter der Beschleunigungskurve ermitteln.

3000 m lang [14]. Die Startbahnen des Flughafens Frankfurt (Start des A340-Flugs) sind 4000 m lang [15]. Die verfügbare Länge wird also beim Start bei Weitem nicht ausgenutzt – ein beruhigender Gedanke.

In [16] wird die Fahrstrecke s_a eines Jumbo-Jets auf der Startbahn unter der einfachen Annahme einer konstanten Beschleunigung bis zur Abhebeschwindigkeit (Literaturwert) abgeschätzt. In diesem Fall ergibt sich aus den Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung: $s_a = \frac{1}{2}v_{\text{lof}} \cdot t_{\text{lof}} = \frac{1}{2}v_{\text{lof}} \cdot t_{\text{lof}}$ ist gleich der mittleren Geschwindigkeit im Intervall $[0, t_{\text{lof}}]$, also während der Beschleunigungszeit bis zum Abheben. Führt man diese Abschätzung für die hier betrachteten Flüge durch ($v_{\text{lof}} = 280 \text{ km/h}$ bzw. 290 km/h [4],[6], $t_{\text{lof}} = t_r + t_h = 39 \text{ s}$ bzw. 55 s), so ergibt sich eine Fahrstrecke bis zum Abheben von $s_a = 1517 \text{ m}$ für den A320-Flug und 2215 m für den A340-Flug.

Die Werte sind also sehr ähnlich zu den von uns durch Integration der Geschwindigkeitskurven bis zum Zeitpunkt der Rotation t_r – und Extrapolation bis zum Zeitpunkt $t_{\text{lof}} = t_r + 3s$ (s. o) – ermittelten. Dieses ist auch plausibel, denn generell gilt – unter Anwendung der Regeln für die Mittelwertbildung der integrierbaren Funktion $v(t)$ – für die Fahrstrecke des Flugzeugs bis zum Abheben:

$$s_a = \int_0^{t_{\text{lof}}} v(t) dt = \bar{v} \cdot t_{\text{lof}} \quad (4)$$

Dabei ist \bar{v} der Mittelwert der Geschwindigkeit im Intervall $[0, t_{\text{lof}}]$. Da die tatsächliche Geschwindigkeit in weiten Bereichen bis zur Rotationszeit t_r nahezu linear mit der Zeit ansteigt (Abb. 3a), muss der Mittelwert der Geschwindigkeit zwangsläufig sehr ähnlich zu dem bei konstanter Beschleunigung sein.

6. Die Phase nach dem Abheben

Beim Abheben (Phase 3 in Abbildung 2) rotiert das Flugzeug zunächst leicht aus der Horizontalen und geht nach einer wenige Sekunden dauernden Fahrt auf den Heckrädern in den steileren Start-Steigflug über. Die Gewichtskraft des Passagiers wirkt in der Schräglage des Flugzeugs teilweise in Richtung Rückenlehne. Der Passagier spürt die zusätzliche Rückstellkraft der Lehne. Der Beschleunigungssensor für a_y misst zusätzlich zur tatsächlichen Vorwärtsbeschleunigung des Flugzeugs nun auch die zur Rückstellkraft gehörende Beschleunigung (Kasten 2). Diese ist betragsmäßig gleich der y -Komponente der Erdbeschleunigung: $g_y = g \cdot \sin\alpha$, wobei α der Steigwinkel ist. Das Verlassen der Horizontalen ist also zwangsläufig durch eine starke Zunahme der gemessenen Beschleunigung in Vorwärtsrichtung gekennzeichnet. Allerdings verringert sich diese Beschleunigung bei anhaltend schrägem Steigflug innerhalb weniger Sekunden wieder. Dieses zeigt, dass für die gemessene Zunahme beim Abheben nicht nur die Schräglage des Flugzeugs verantwortlich ist, sondern auch die tatsächliche Vorwärtsbeschleunigung kurzzeitig zunimmt. Zu dieser Zunahme tragen auch der Wegfall der Rollreibung der Räder [11] und die Verringerung der Luftreibungskraft durch

Einfahren des Fahrwerks bei, was innerhalb weniger Sekunden nach dem Abheben erfolgt [13].

In der dann anschließenden Phase des Steigflugs wird eine langsam abnehmende Beschleunigung a_y gemessen, die zunächst höher als die zuletzt auf der Startbahn gemessene ist (Abb. 2, Kasten 1). Sie setzt sich zusammen aus der Vorwärtsbeschleunigung, die – abgesehen von zwischenzeitlichen Änderungen durch Änderung des Schubs, weitere Verringerung der Luftreibungskraft durch Einfahren der Klappen – bis zum Erreichen der Reiseflughöhe weiter abnimmt, und der zur Rückstellkraft gehörenden Beschleunigungskomponente g_y , die mit geringer werdendem Steigwinkel natürlich insgesamt auch abnimmt. Bis zum Erreichen der Reiseflughöhe wird der Steigwinkel jedoch auch variiert (siehe z. B. [17]).

Senkrecht zum Sitz wirkt während der Beschleunigung auf der Startbahn die Gewichtskraft. Der Beschleunigungssensor für a_z misst hier die zur Rückstellkraft durch den Sitz gehörende Beschleunigung, die gleich groß wie die Erdbeschleunigung, aber entgegengesetzt gerichtet ist (Kasten 2). Im Steigflug unter dem Winkel α erwartet man hier entsprechend der nun kleineren Komponente der Gewichtskraft in Richtung Sitz ($g_z = g \cdot \cos\alpha$) eine geringfügige Abnahme der gemessenen Beschleunigung. Tatsächlich nimmt die gemessene Beschleunigung a_z beim Abheben jedoch kurzzeitig zu (Abb. 4a). Dieses erscheint zunächst paradox, ist aber physikalisch korrekt: Beim Rotieren des Flugzeugs in den Steigflug tritt im beschleunigten System zusätzlich zur Gewichtskraft eine Zentrifugalkraft als Trägheitskraft in Richtung Sitz auf. Die Rückstellkraft, die

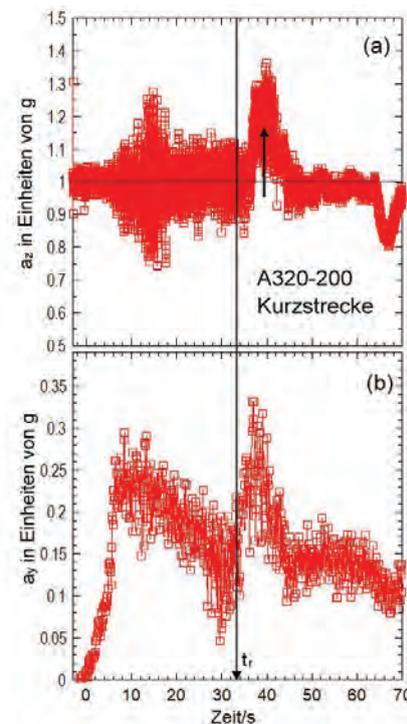


Abbildung 4: (a) Beschleunigung in der Startphase senkrecht zum Sitz. Der durch die Rotation in den Steigflug hervorgerufene kurzzeitige Anstieg der gemessenen Beschleunigung ist durch Pfeil gekennzeichnet. (b) Beschleunigung in Fahrt/Flugrichtung.

zur Kompensation dieser beiden Kräfte nun durch den Sitz aufgebracht wird und die der Passagier spürt, ist während der Rotation daher größer und damit auch die zugehörige Beschleunigung, die der Sensor misst. Der Anstieg von a_z beginnt etwas zeitverzögert zum Anheben der Bugräder (t_p), wie der Vergleich mit der Vorwärtsbeschleunigung a_y desselben Fluges zeigt (Abb. 4b). Das ist auch plausibel, da das Flugzeug vor dem Übergang in den Steigflug noch eine Zeit nur auf den Heckrädern fährt. Die Zeitverzögerung dürfte in etwa mit der Gesamtfahrzeit auf den Heckrädern t_h (Abschnitt 4) übereinstimmen. Sie ist allenfalls geringfügig kleiner, da die Rotation in den Steigflug noch auf der Startbahn fahrend, kurz vor dem Moment des Abhebens beginnt [13].

Nach der Rotation beim Start ist die Beschleunigungskomponente a_z entlang der Sitzrichtung – abgesehen von Schwankungen auf Grund von kurzzeitigen Steigwinkelländerungen oder unruhigem Flug – im Mittel zunächst konstant. Hieraus lässt sich der Steigwinkel $\alpha = \cos^{-1}(g_x/g)$ abschätzen, der bei den ausgewerteten Messungen in der Größenordnung $10^\circ - 15^\circ$ liegt, was der Realität bei Starts entspricht (siehe z. B. Abbildung 1). Bei der Messung der Abbildung 4a ergibt sich für die konstante Phase zwischen etwa 46 s und 64 s ein Steigwinkel von knapp 15° ; mittelt man von 46 s bis 130 s ergibt sich $\alpha \cong 14^\circ$. Bei allen ausgewerteten Flügen nimmt der mittlere Steigwinkel – abgesehen von oben genannten Schwankungen – mit fortschreitender Zeit und Annäherung an die konstante Reiseflughöhe erwartungsgemäß langsam ab ($a_z \rightarrow g$).

7. Die Landephase

Bei der Landung setzt das Flugzeug mit leicht angehobener Nase zunächst auf den Heckrädern auf und senkt sich dann innerhalb weniger Sekunden in die Waagerechte mit Kontakt der Bugräder zum Boden [18]. Auf der Landebahn bremst das Flugzeug stark ab, was der Fluggast deutlich spürt, bis es schließlich mit konstanter Geschwindigkeit in Richtung Parkposition rollt.

Anders als die Beschleunigung beim Start scheint das Abbremsen bei der Landung grundsätzlich individueller durch die Pilotin bzw. den Piloten gestaltet werden zu können. Wir haben sowohl Landungen vermessen, bei denen in quasi einer einzigen Bremsphase stark auf konstante Rollgeschwindigkeit abgebremst wurde, als auch solche mit mehrfachem, weniger heftigem Bremsen. Abbildung 5 zeigt exemplarisch die Rohdaten aller Beschleunigungskomponenten bei der Landung eines A320-200, gemessen mit der App Phyphox. Das Aufsetzen der Räder (ca. 188 s nach Beginn der Aufzeichnung) zeigt sich durch starke Beschleunigungsausschläge, hervorgerufen durch Erschütterungen beim Aufsetzen und nachfolgender Fahrt auf der Landebahn. In Vorwärtsrichtung wurde bei dieser Landung in einer einzigen ca. 40 s langen Bremsphase fast auf die konstante Rollgeschwindigkeit abgebremst. Das Anheben der Flugzeugnase beim Landeanflug, das durch die Schrägstellung des Smartphones zu einem Anstieg der

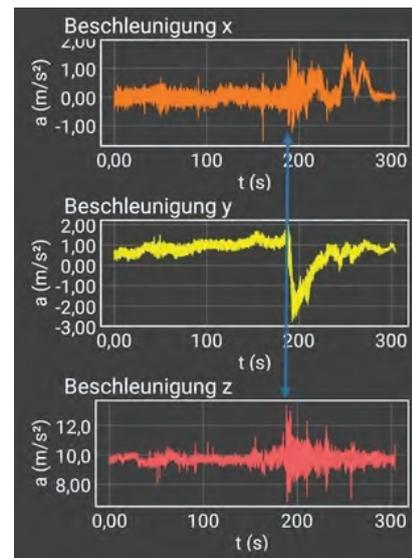


Abbildung 5: Beschleunigung bei der Landung eines A320-200. Der Moment des Aufsetzens (blauer Pfeil) ist in allen Beschleunigungskomponenten sichtbar.

gemessenen Vorwärtsbeschleunigung führt, ist in den a_y -Daten gut zu erkennen.

Beim gerade liegenden, unbeschleunigten Smartphone misst die App Phyphox einen Beschleunigungsoffset (Kasten 1). Um die Geschwindigkeitsabnahme beim Bremsen durch Integration der Kurve am PC oder durch Ausmessen der Dreiecksfläche unter der Kurve zu ermitteln, muss dieser Offset vor der Integration subtrahiert werden. Im Falle der vorliegenden Messung wurde dazu der Mittelwert der letzten 30 s der Messung (ca. 0.08 g), in denen das Flugzeug nur noch mit (vermutlich) konstanter Geschwindigkeit rollte, von den Beschleunigungsrohdaten subtrahiert. Die Integration über den Bereich 188 – 230 s ergab damit eine Geschwindigkeitsreduktion von knapp 211 km/h. Dieser Wert korreliert sehr gut mit der tabellierten Landegeschwindigkeit von 220 km/h [4]. Das Flugzeug rollt nach der Abbremsung noch mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Es ist zu vermuten, dass die Rollgeschwindigkeit in Wirklichkeit etwas größer als ca. 9 km/h war. Allerdings ist es schwierig, die genauen Integrationsgrenzen festzulegen. Durch die Subtraktion des Offsets kommen weitere Ungenauigkeiten hinzu.

8. Zusammenfassung

Beschleunigungsmessungen bei Start und Landung sind für jeden, der über ein Smartphone verfügt, einfach durchzuführen. Macht man sich die Mühe einer genauen Auswertung, so lassen sich viele Parameter von Start und Landung unter Anwendung einfacher physikalischer und mathematischer Gesetzmäßigkeiten relativ exakt bestimmen, wie sich durch Vergleich mit im Internet einfach verfügbarer Daten zeigt.

Prof. Dr. Bärbel Fromme *Universität Bielefeld, Fakultät für Physik*

Literatur

- [1] <https://phyphox.org/de/home-de/> (20.11.2019)
- [2] W. Bislins, Berechnung des Auftriebs <http://walter.bislins.ch/aviatik/index.asp?page=Berechnung+des+Auftriebs> (20.11.2019)
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Airbus-A320-Familie> (20.11.2019)
- [4] W. Bredow, Verkehrsflugzeuge vom Flugplatz Tegel http://www.bredow-web.de/Berlin_Tegel/Airbus_A320-200/Airbus_a320-200.html (20.11.2019)
- [5] https://de.wikipedia.org/wiki/Airbus_A340 (20.11.2019)
- [6] <http://www.aerospaceweb.org/question/performance/q0088.shtml> (20.11.2019)
- [7] F. Bär, J. Schoch, https://mascil.ph-freiburg.de/aufgabensammlung/experimente-mit-dem-smartphone/gruppe-2-experimente-mit-dem-beschleunigungssensor.html#Auto_04 (20.11.2019)
- [8] B. Fromme, J. P. Klinker, M. Havlik, MNU Journal 2020, 1, 8
- [9] P. Mohazzabi, The Physics Teacher 2006, 44, 240
- [10] B. Watzka, S. Scheler, T. Wilhelm, PdN-PhS 2012, 61 Nr. 7, 25
- [11] <https://wingmag.com/takeoff-flugzeugstart-aus-technischer-sicht> (20.11.2019)
- [12] https://www.youtube.com/watch?v=3bad_f3x8z8 (20.11.2019)
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=EiwBsfpmfek> (20.11.2019)
- [14] https://de.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCsseldorf_Airport (20.11.2019)
- [15] https://de.wikipedia.org/wiki/Flughafen_Frankfurt_am_Main (20.11.2019)
- [16] Karl Luchner, Physik ist überall, Ehrenwirth, München 1994, S. 68f
- [17] Joachim Scheiderer, Angewandte Flugleistung, Springer, Berlin 2008, S. 181f. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-72724-8.pdf> (21.11.2019)
- [18] <https://www.youtube.com/watch?v=zL5jz7xcAk8> (21.11.2019)

Rezension von „Physikalische Melange“

Thomas Plotz

Leopold Mathelitsch ist in der österreichischen, aber auch deutschsprachigen Physikcommunity eine bekannte Größe. Seit Jahren widmet er sich in der Zeitschrift Physik in unserer Zeit dem Thema „Physik und Sport“ oder „Physik und Musik“. Nachdem er nun emeritiert ist, hat er sich an den Schreibtisch (oder möglicherweise ins Kaffeehaus) gesetzt, um ein Buch zu verfassen, in dem er nicht nur sehr nette Geschichten erzählt, sondern den Lesenden etwas Physik beibringen möchte.

Wie es der Titel verrät, nimmt uns Leopold Mathelitsch mit in ein Wiener Kaffeehaus, welches er mit verschiedensten Personen bevölkert. So finden sich neben einer Frau Hofrat und einem Maestro natürlich auch der Oberkellner Herr Oskar und ein pensionierter Physikprofessor, der die „Annehmlichkeiten des Kaffeehauses“ genießt. Dieses Kaffeehaus bietet nun den Rahmen für 25 kurze Geschichten, die Leopold Mathelitsch mit sehr viel Liebe zum Detail erzählt, sodass man spätestens nach der vierten Geschichte die verschiedenen Persönlichkeiten fast vor Augen hat. Dieser Aufbau hat auch den schönen Effekt, dass man wunderbar jeden Tag eine Geschichte am Abend lesen kann. Ein Monat mit Physik ist Ihnen garantiert.

Nach jeder Geschichte greift das Buch den physikalischen Hintergrund der beschriebenen Probleme auf und erklärt diesen. Die Erklärungen sind dabei leider manchmal etwas knapp. Es werden so manche Phänomene zwar erklärt, jedoch der interessierten Leserschaft kaum ein Angebot gemacht, weiter in die Physik einzusteigen. Auch die Literatur am Ende verweist eher auf populärwissenschaftliche Beiträge. Dies ist wahrscheinlich der anvisierten Zielgruppe geschuldet und nachvollziehbar. Es ist aus meiner Perspektive kein allzu großer Kritikpunkt.

Insgesamt kann ich das Buch allen interessierten Laien, aber auch Schulen für die Schülerbibliothek, sehr ans Herz legen. Es ist eine nette, informative und zum Teil auch lustige Lektüre, die nicht nur als Geschenk Freude machen wird. Ich bin sicher, dass es in jedes Reisegepäck beim diesjährigen Urlaub passt.

Leopold Mathelitsch „Physikalische Melange – Wissenschaft im Kaffeehaus“ erschienen 2020 bei Springer ISBN 978-3-662-59259-5 322 Seiten

Mag. Dr. Thomas Plotz *Universität Wien, AECC Physik*

Quantitative Phänomene rund ums Fliegen

Erfassung realer Flugdaten mit der App „Flightradar24“

Patrik Vogt & Lutz Kasper

1. Einleitung

Nicht erst die kontinuierlich steigende Flugintensität führt häufig dazu, dass man sich beim Blick zum Himmel fragt, wohin ein zu sehendes Flugzeug wohl fliegen wird. Ausgehend von der beobachteten Flugrichtung kann man zwar Vermutungen anstellen, aber selten überprüfen, ob diese tatsächlich korrekt sind. Die App „Flightradar24 – Flugradar“ bietet die Möglichkeit, eine solche Vermutung zu verifizieren [1]. Hierzu visiert man das Flugzeug mit dem Smartphone oder Tablet an und bekommt in das Live-Bild des Kameraobjektivs Augmented Reality-Informationen des Flugs angezeigt (Abb. 1): Start- und Zielort, Entfernung

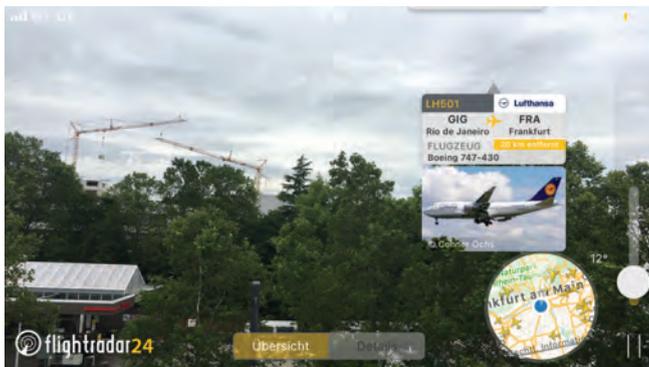


Abbildung 1: Augmented Reality-Informationen eines anvisierten Flugzeugs

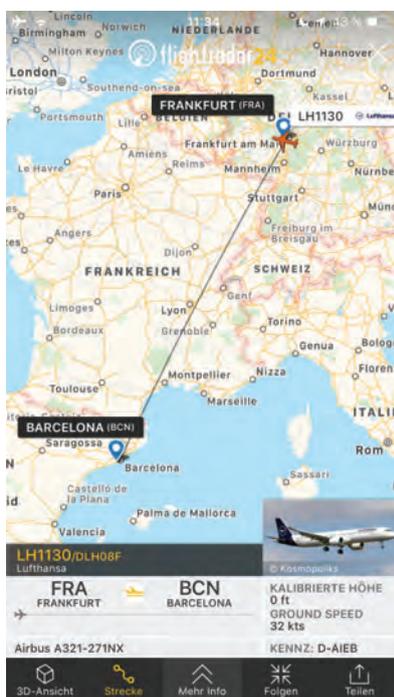


Abbildung 2: Flugroute



Abbildung 3: Physikalische Größen in Echtzeit

zum Beobachter, Airline, Typ und Foto des Flugzeugs. Durch Antippen des AR-Fensters werden detailliertere Informationen zu den Flugzeiten, zur zurückgelegten Strecke und die genaue Flugroute auf einer Karte dargestellt (Abb. 2). Auch aus physikalischer Sicht interessante Daten sind in der Vollversion abrufbar, nämlich die momentane Höhe des Flugzeugs, seine verschiedenen Geschwindigkeiten (vertikale [2] und horizontale Geschwindigkeit bezüglich der umgebenden Luft und des Bodens [3]), seine derzeitige Position (Breiten- und Längengrad), die vorliegende Windgeschwindigkeit sowie die Außentemperatur (Abb. 3). Aus physikalischer Sicht entspricht dies einem Abrufen von Messdaten, sodass die App auch für physikalische Experimente zweckentfremdet werden kann.

Die grundlegenden Funktionen sind bereits in der kostenfreien Version der App enthalten. Zum Beobachten der meisten physikalischen Daten ist jedoch ein Abonnement (4,49 €/Monat) notwendig. Möchte man nur einmalig eine Reihe physikalischer Betrachtungen anstellen, so kann das Abo bereits vor Ablauf der einwöchigen Testphase gekündigt werden.

Im vorliegenden Artikel wird eine Auswahl an Analysen vorgestellt, welche auf den Daten eines aufgezeichneten Fluges von Frankfurt nach Barcelona beruhen (Flugnummer: LH1130/DLH08F, Datum: 24.07.2019, Maschinentyp: Airbus A321-271NX). Diskutiert werden u. a. die Beschleunigung

beim Start, die Höhenabhängigkeit der Temperatur sowie die Gleitzahl des Flugzeugs, eine aus aerodynamischer Sicht ganz entscheidende Kennzahl [4]. Thematisiert wird also nicht die Physik des Fliegens als solche, vielmehr werden physikalische Phänomene rund um das Fliegen in den Blick genommen, wie beispielsweise bereits in den Beiträgen [5], [6] und in diesem Heft von Fromme geschehen.

Die Abfolge der Betrachtungen entspricht dem typischen Verlauf einer Flugreise, welche somit den roten Faden des Artikels bildet.

2. Tipps zur Nutzung der App

Neben der Möglichkeit, Flugzeuge durch Anvisieren zu identifizieren, kann man durch Nutzung des Suchfeldes gezielt nach einem Flug oder nach einem Flughafen suchen. Ebenfalls ist es möglich, sich einen Flughafen auf der Karte anzeigen zu lassen, was beim Einsatz im Unterricht einen erheblichen Vorteil bietet:

- Es können Flugzeuge zur Analyse herangezogen werden, die sich unmittelbar vor dem Start befinden oder mit dem Sinkflug beginnen; lässt man sich beispielsweise den Frankfurter Flughafen auf der Karte anzeigen, so findet man tagsüber stets Flugzeuge, die sich gerade auf einer Startbahn befinden und sich somit für eine Live-Beobachtung im Unterricht bestens eignen.
- Möchte man weniger Zeit zur Datenerfassung investieren, kann ein Flug als Bildschirmvideo aufgezeichnet werden. Im Unterricht arbeiten die Lernenden dann mit dem Video statt mit der App und können dieses durch ständiges Vorspulen oder durch Einstellen einer größeren Abspielgeschwindigkeit rascher auswerten als dies bei einer Live-Beobachtung möglich wäre.

3. Theoretischer Hintergrund

3.1. Kräftebetrachtung beim stationären Gleitflug

Mit dem Begriff „Gleitflug“ bezeichnet man eine Flugphase, in welcher durch Umwandlung von potentieller in kinetische Energie der Vortrieb des Flugzeugs allein von der wirkenden Gewichtskraft verursacht wird. „Stationär“ ist er, nachdem sich

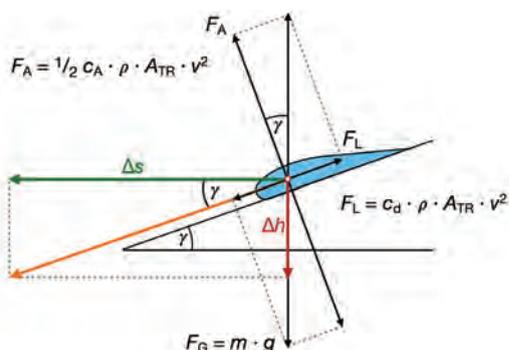


Abbildung 4: Kräfteverhältnisse beim stationären Gleitflug

ein Kräftegleichgewicht eingestellt hat und sich das Flugzeug sodann mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Abb. 4 veranschaulicht die wirkenden Kräfte, die für sich betrachtet auch in jeder anderen Flugsituation analog berechnet werden können.

Betrachten wir die Beträge der Gewichtskraft F_G , der Luftwiderstandskraft F_L und des dynamischen Auftriebs F_A , so gilt:

$$F_G^2 = F_A^2 + F_L^2, \quad (1)$$

mit:

$$F_G = m \cdot g \quad (2)$$

$$F_A = \frac{1}{2} c_a \cdot \rho \cdot A_{Tr} \cdot v^2 \quad (3)$$

$$F_L = c_d \cdot \rho \cdot A_{Tr} \cdot v^2 \quad (4)$$

Tabelle 1: Erläuterung der Größen und Literaturwerte

Formelzeichen	Größe	Literaturwert	Quelle
g	Erdbeschleunigung	9,81 m · s ⁻²	-
ρ	Luftdichte	höhenabhängig	-
v	Fluggeschwindigkeit	-	-
Flugzeugdaten			
m	Masse	97 000 kg	[7]
A_{Tr}	Fläche der Tragflächen	122,6 m ²	[8]
c_a	Auftriebsbeiwert	2,47 (bei Start) 0,63 (Reiseflug) (für Boing 737)	[9]
c_d	Strömungswiderstandskoeffizient	0,039	[10]

3.2 Definition und Berechnung der Gleitzahl

Die Gleitzahl E ist definiert als das Verhältnis aus dynamischer Auftriebskraft F_A zur Luftwiderstandskraft F_L und entspricht bei Windstille im stationären Gleitflug zugleich dem Verhältnis aus zurückgelegter Wegstrecke Δs und Höhenverlust Δh ; insgesamt ergeben sich die folgenden sechs Interpretationen und Berechnungsmöglichkeiten (vgl. Abb. 4, [4]):

$$E = \frac{\Delta s}{\Delta h} = \frac{v_h}{v_s} \stackrel{(*)}{=} \frac{F_A}{F_L} = \frac{c_a}{c_d} = \frac{F_G}{F_{Schub}} = \frac{1}{\tan(\gamma)} \quad (5)$$

$$(*) \frac{1}{\tan(\gamma)} = \frac{\cos(\gamma)}{\sin(\gamma)} = \frac{F_A}{F_G} \frac{F_G}{F_L} = \frac{F_A}{F_L} \quad (6)$$

Zur Veranschaulichung: Verkehrsflugzeuge haben größenordnungsmäßig eine Gleitzahl von rund 20 [11], d. h. ein Verkehrsflugzeug muss nur 1/20 seines Gewichts als Schubkraft aufbringen, um die Reiseflughöhe zu halten. Somit handelt es sich bei der Gleitzahl um eine ganz entscheidende Größe, deren Bestimmung in Kapitel 4.5 thematisiert wird.

3.3 Höhenabhängigkeit der Temperatur

Wie bereits die Zustandsgleichung idealer Gase zeigt, nimmt die Temperatur eines Gases mit steigendem Druck zu. Es ist daher zu erwarten, dass auf Meereshöhe die höchsten Temperaturen beobachtet werden und diese mit anwachsender Höhe abnehmen. Dies ist in der untersten Atmosphärenschicht (Troposphäre) auch tatsächlich der Fall – bis in einen Höhenbereich von 11 km berücksichtigt die Standardatmosphäre der ICAO (International Civil Aviation Organization) eine lineare Temperaturabnahme von $\Delta\theta = 0,65\text{ °C}/100\text{ m}$ [12] (Abb. 5). Neben dem direkten Zusammenhang von Druck und Temperatur liefert auch der mit der Höhe abnehmende Wasserdampfgehalt eine Erklärung für den Temperaturrückgang. Eine Luftschicht kann nämlich umso weniger Wärmestrahlung absorbieren, je geringer ihr Wasserdampfgehalt ist.

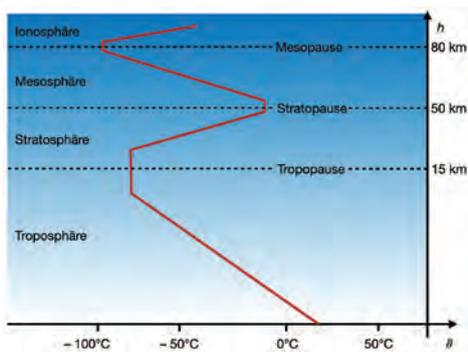


Abbildung 5: Temperaturverlauf entsprechend der internationalen Standardatmosphäre

4. Quantitative Analysen

4.1 Start 1: Geschwindigkeitsverlauf und Schubkraft beim Start

Zur Analyse der Beschleunigung sowie der Schubkraft beim Start des Flugzeugs wurde die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit dem Bildschirmvideo entnommen. Das Ergebnis zeigt die Abb. 6: Analog zur Beschleunigung eines Kraftfahrzeugs gibt es offensichtlich auch bei einem Verkehrsflugzeug Phasen linearer Geschwindigkeitszunahme bzw. konstanter Beschleunigung. Im Gegensatz zum Auto werden die Beschleunigungen bei späterer Stufe nicht kleiner, sondern sogar größer ($a_1 \approx 0,8\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_2 \approx 1,2\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_3 \approx 2,1\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), zwischen den Phasen liegen Beschleunigungsspitzen vor (Abb. 7), die im Größenbereich der Erdbeschleunigung liegen ($a_{1,max} \approx 9,1\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_{2,max} \approx 6,2\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_{3,max} \approx 10\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Dieses Ergebnis konnte auch bei anderen Flügen beobachtet werden und kann möglicherweise mit der Zuschaltung weiterer Triebwerke oder einer stärkeren Auslastung begründet werden.

Zur Ermittlung der vorhandenen Schubkräfte F_{schub} können die regressionsanalytisch ermittelten Beschleunigungen mit der Masse des Flugzeuges ($m = 97\ 000\text{ kg}$) multipliziert werden. Beim Einsatz im Schulunterricht sind die Trendlinien per Augenmaß zu zeichnen oder noch einfacher die mittlere

Schubkraft über den kompletten Verlauf aus den Zuwächsen zu ermitteln (Abb. 8). Im Beispiel ergibt sich

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 97\ 000\text{ kg} \cdot \frac{69\text{ ms}^{-1}}{21,8\text{ s}} \approx 307\text{ kN},$$

was sehr gut mit dem Literaturwert von 300 kN übereinstimmt [13]. Wie eine einfache Abschätzung zeigt, sind die Rollreibungs- sowie Luftwiderstandskraft bei der Betrachtung vernachlässigbar.

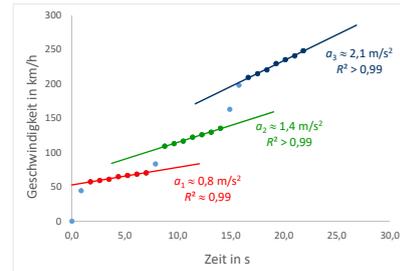


Abbildung 6: Geschwindigkeitsverlauf beim Start mit eingezeichneten linearen Regressionen

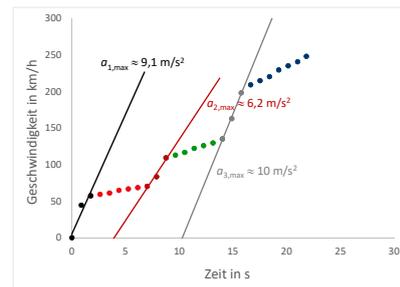


Abbildung 7: Beschleunigungsspitzen zwischen den Phasen linearer Geschwindigkeitszunahme

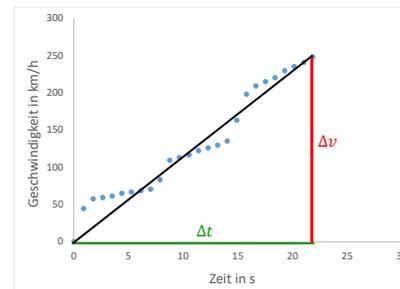


Abbildung 8: Ermittlung der mittleren Beschleunigung über die Differenziale

4.2 Start 2: Bestimmung des Auftriebsbeiwerts im Moment des Abhebens

Zur experimentellen Bestimmung des Auftriebsbeiwerts im Moment des Abhebens wählen wir den Kraftansatz $F_A = F_g$, was c_a zu

$$c_a = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho \cdot A_{\text{Tr}} \cdot v^2}$$

liefert. Somit wird neben den Konstanten aus Tab. 1 lediglich die Geschwindigkeit v während des Abhebens benötigt, die mühelos dem Bildschirmvideo entnommen oder live mittels

App beobachtet werden kann. Einsetzen der Zahlenwerte aus Tab. 1, der ermittelten Abhebegeschwindigkeit von $69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, der Luftdichte $\rho = 1,21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (sie berücksichtigt die Höhe des Frankfurter Flughafens von 111 m über NN) liefert für das betrachtete Flugzeug einen Auftriebsbeiwert von 2,7. Dieses Resultat stimmt gut mit dem Literaturwert der Boeing 737 überein ($c_a = 2,47$), die ein vergleichbares Flugzeug darstellt [9].

4.3 Steigflug: Höhenabhängigkeit der Temperatur

Zur Analyse des Temperaturverlaufs in der unteren Atmosphäre muss nach dem Abheben des Flugzeugs die Temperatur in Abhängigkeit von der Höhe bis zum Erreichen der Reiseflughöhe notiert werden (natürlich bietet sich für die Analyse auch der Sinkflug an) [6]. Im untersuchten Beispiel wurde die Reiseflughöhe von etwa 11 km nach etwa 15 min erreicht. Eine grafische Darstellung der Messwerte zeigt Abb. 9.

Erwartungsgemäß lässt sich die Temperaturabnahme gut mit einem linearen Zusammenhang beschreiben. Bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,98$ liefert die Regression den Temperaturgradienten zu $-0,81 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$, was dem Wert der ICAO-Standardatmosphäre von $0,65 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ recht nahekommt.

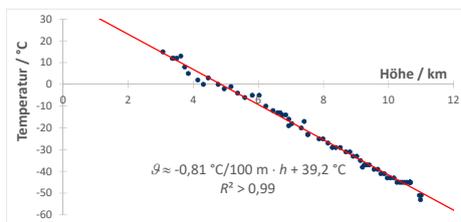


Abbildung 9: Abhängigkeit der Temperatur von der Höhe, aufgezeichnet während des Steigflugs

4.4 Reiseflug: Auftriebsbeiwert, Schubkraft und Luftwiderstandsbeiwert

Die Abschätzung des Auftriebsbeiwerts auf Reiseflughöhe erfolgt analog zu Kapitel 4.2 unter Berücksichtigung der Reisefluggeschwindigkeit. Diese betrug beim beobachteten Flug $234 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und führt auf $c_a \approx 0,77$ (der Literaturwert liegt bei 0,63 für eine Boeing 737 [9]). Dieses Ergebnis ist auf den ersten Blick überraschend, da der für den Startvorgang berechnete Wert etwa 3,5-mal so groß ist. Die Differenz hat ihren Ursprung in der Verwendung von Auftriebshilfen (Start- bzw. Landeklappen), welche a) die Flügelfläche vergrößern und b) zu einer stärkeren Umlenkung der Luft führen. Die Vorteile eines größeren Auftriebsbeiwerts bei Start bzw. Landung sind offensichtlich: Das Flugzeug ist bereits bei geringeren Geschwindigkeiten flugfähig, was zu einer Verkürzung der benötigten Start- sowie Landebahnlänge führt.



Abbildung 10: Mit Auftriebshilfen (Start- und Landeklappen) kann der Auftriebsbeiwert vergrößert werden.

Die Schubkraft ist nach Gleichung (5)

$$F_{\text{Schub}} = \frac{F_G}{E}$$

und lässt sich somit bei bekannter Gleitzahl sehr einfach bestimmen. Diese wird erst beim Sinkflug und somit im nachfolgenden Kapitel bestimmt, das Ergebnis der Abschätzung $E \approx 20$ nutzen wir aber bereits hier. Damit berechnet sich die Schubkraft zu

$$F_{\text{Schub}} = \frac{m \cdot g}{20} = \frac{97\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2}}{20} \approx 48 \text{ kN}$$

und beträgt somit ca. 1/6 der maximal möglichen Schubkraft.

Zur Berechnung des Strömungswiderstandskoeffizienten nutzen wir ebenfalls die Beziehung (5) und erhalten:

$$c_d = \frac{c_a}{E} = \frac{0,77}{20} \approx 0,039$$

Dieses Ergebnis stimmt exakt mit dem Literaturwert überein [10]. Zu beachten ist, dass sich dieser Strömungswiderstandsbeiwert auf die Fläche der Tragflügel bezieht und nicht – wie sonst eigentlich üblich – auf die angeströmte Querschnittsfläche.

4.5 Sinkflug: Ermittlung der Gleitzahl

Die Tatsache, dass im Sinkflug die Triebwerke i. d. R. auf Leerlauf gestellt werden und der Schub erst nach dem Ausfahren der Landeklappen wieder erhöht wird [15], ermöglicht eine sehr einfache Bestimmung der Gleitzahl. Hierzu notiert man die Höhe in Abhängigkeit der zurückgelegten Strecke seit Flugbeginn. Das Ergebnis ist in Abb. 11 grafisch veranschaulicht. Dazu wurde die zurückgelegte Strecke ab Start in die zurückgelegte Strecke nach Beginn der Betrachtung des Sinkflugs umgerechnet. Die Gleitzahl entspricht der reziproken Steigung des linear abfallenden Abschnitts, welche erneut regressionsanalytisch oder mittels Steigungsdreieck ermittelt werden kann. Für den betrachteten Airbus A321 ergibt sich die Gleitzahl zu 20, was der Literaturangabe entspricht [11].

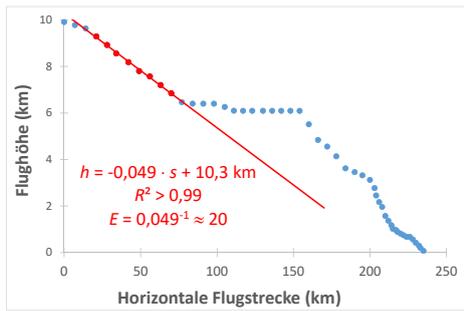


Abbildung 11: Flughöhe in Abhängigkeit der horizontalen Strecke nach Beginn der Betrachtung

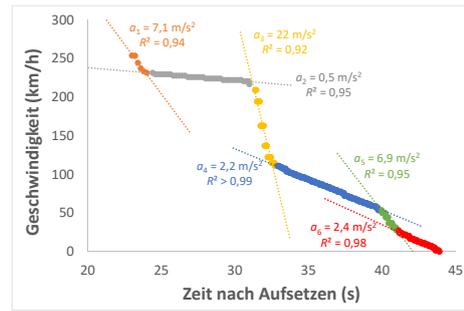


Abbildung 13: Geschwindigkeitsverlauf während des Abbremsens
Im Messbeispiel liegt die maximale Bremsbeschleunigung bei 2,2 g.

4.6 Landung: Analyse der Bremsbeschleunigung

Den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit nach dem Aufsetzen auf der Landebahn zeigt die Abb. 12. Hier ist deutlich zu erkennen, dass sich das Flugzeug zunächst ungebremst weiterbewegt. Das eigentliche Bremsmanöver beginnt erst 23 s nach dem Aufsetzen und ganz ähnlich zum Start sind auch hier lineare Geschwindigkeitsverläufe, also Bereiche konstanter Bremsbeschleunigungen zu beobachten (Abb. 13).

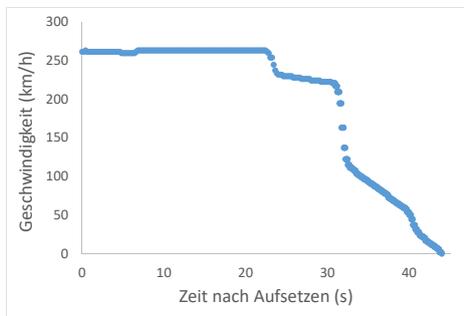


Abbildung 12: Geschwindigkeitsverlauf nach dem Aufsetzen

5. Zusammenfassung

Im Artikel wurde dargelegt, dass Smartphones nicht nur eine Messwerteerfassung mittels angeschlossener oder interner Sensoren ermöglichen, sondern auch das weltweite Auslesen verschiedener Sensoren. Dies erfolgte am Beispiel der App „Flightradar24“, welche physikalische Daten aller Flüge in Echtzeit anzeigt. Schülerinnen und Schüler können reale Daten selbst erfassen und auswerten sowie zahlreiche Größen in guter Übereinstimmung zur Literatur abschätzen. Dieses Vorgehen ermöglicht im besonderen Maße das Lernen im Kontext, in einem faszinierenden dazu und unter besonderer Berücksichtigung von selbst durchzuführender Analysen.

Patrik Vogt *Institut für Lehrerfort- und -weiterbildung (ILF) Mainz*
Lutz Kasper *PH Schwäbisch Gmünd, Abteilung Physik*

Literatur

- [1] Bezugsquellen der App „Flightradar24 – Flugradar“: App Store: <https://apple.co/3bcOhHF>; Google Play: <https://bit.ly/34AJQE6>
- [2] Internetenzyklopädie Wikipedia, Stichwort „Sinkflug“, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sinkflug>
- [3] Internetenzyklopädie Wikipedia, Stichwort „Fluggeschwindigkeit“: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fluggeschwindigkeit>
- [4] Internetenzyklopädie Wikipedia, Stichwort „Gleitzahl“: [https://de.wikipedia.org/wiki/Gleitzahl_\(Flugzeug\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Gleitzahl_(Flugzeug))
- [5] Müller, A. (2011). Physik auf der Flugreise. In: PdN-Ph, 2, 36-48.
- [6] Vogt, P., Kasper, L., Kuhn, J. & Wilhelm, T. (2019). Smarte Physik. Physikalische Phänomene rund ums Fliegen mit Flightradar24. In: Physik in unserer Zeit 6 (50), S. 306-307.
- [7] <https://staralliancevirtual.org/fleet/models/luftthansa-airbus-a321-271nx>
- [8] http://www.bredow-web.de/Berlin_Tegel/Airbus_A321/Airbus_a321.html
- [9] P. Wolgast (2002). Flugzeugentwurf am Beispiel einer Boeing B737-300, Dipl.-Arbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg.
- [10] Zhang, M., Huang, Q., Liu, S. & Zhang, Y. (2019). Fuel Consumption Model of the Climbing Phase of Departure Aircraft Based on Flight Data Analysis. In: Sustainability 11 (16).
- [11] Weltner, K. (2016). Flugphysik. Sonderdruck des Kapitels 5 aus Band 2 „Physik des Fliegens, Strömungsphysik, Raketen Satelliten“ des „Handbuch des Physikunterrichts, Sekundarbereich I“.
- [12] www.dwd.de/lexikon, Stichwort Standardatmosphäre.
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/CFM_International_CFM56
- [14] Pixabay: <https://bit.ly/3etDUkL>
- [15] <https://www.travelbook.de/fliegen/flugzeug-triebwerke-im-leerlauf>

Kollaboratives Planen, Gestalten und Bewerten von Paper-Cut-Out-Sachcomics im Lehramtsstudium

Markus Prechtl

1. Einleitung

Zu den typischen Professionalisierungsmethoden im Lehramtsstudium zählen unter anderem Unterrichtsbeobachtungen und -simulationen, Analysen von Videos und Vignetten oder auch Reflexionen biografischer Lernerfahrungen. Als Ergänzung dazu, stellt dieser Beitrag das kollaborative Anfertigen von Sachcomics vor, das bei Studierenden didaktische Fertigkeiten fördert, die im Rahmen der regulären Unterrichtsplanung relevant sind. Im Mittelpunkt steht dabei die reflektierte Praxis der grafischen Kontextualisierung von Lerninhalten.

2. Sachcomic-Exempel I

Der Sommer hat neben seinen schönen auch seine hässlichen Seiten. Problematisch sind die ökologischen Folgen lang anhaltender Hitzephasen. Die damit einhergehenden Niedrigstände und geringen Sauerstoffkonzentrationen von Gewässern führen zum Fischsterben. Wer hierzu ein Lehrbuch (oder Wikipedia) aufschlägt, sieht sich mit mannigfaltigen Analysemethoden, Tabellen und Diagrammen zu korrelierten Parametern konfrontiert. Diese bieten allesamt wertvolle Informationen für die Erarbeitungs- und Sicherungsphase des Unterrichts, doch als Einstieg in das Thema eignen sie sich eher weniger. Wie also beginnen? Methodisch innovativ wäre die Umsetzung des Konzepts *Inverted Classroom*, bei dem sich die Schülerinnen und Schüler schon vor dem Unterricht, daheim, ein Bild von dem Thema machen – zum Beispiel mit einem Sachcomic (Abb. 1). In „Fischsterben am Angelteich“ [1] bestimmt die Protagonistin Leyla die Sauerstoffkonzentration



Abbildung 1: Problemstellung in „Fischsterben am Angelteich“ [1]



Abbildung 2: Titration in „Fischsterben am Angelteich“ [1]

eines Gewässers mit der Winkler-Methode. Der Sachcomic zeigt, wie Sauerstoff mit Lösungen von Manganionen und Iodid fixiert und wie anschließend mit Thiosulfationen-Lösung gegen gebildetes Iod titriert wird (Abb. 2). Der Sachcomic ist, wie weitere Sachcomics auch, im Rahmen der Ausbildung von Lehrpersonen, mit der Paper-Cut-Out-Technik entstanden.

3. Die Paper-Cut-Out-Technik

Beim „Cut-Out“ werden ausgeschnittene Papierformen zu Hintergründen, Gegenständen und Flachfiguren – nach dem Hampelmann-Prinzip – kombiniert (Abb. 3), auf einer Arbeitsfläche immer wieder neu arrangiert (Abb. 4) und von oben fotografiert (Abb. 5). Auf diese Weise werden zuweilen auch animierte Videos erzeugt. Dabei wird zwischen analogem und digitalem Legetrick unterschieden. Bei der analogen Variante



Abbildung 3: Kombination von Pappformen zu Figuren



Abbildung 4: Anordnung von Figuren vor Hintergründen

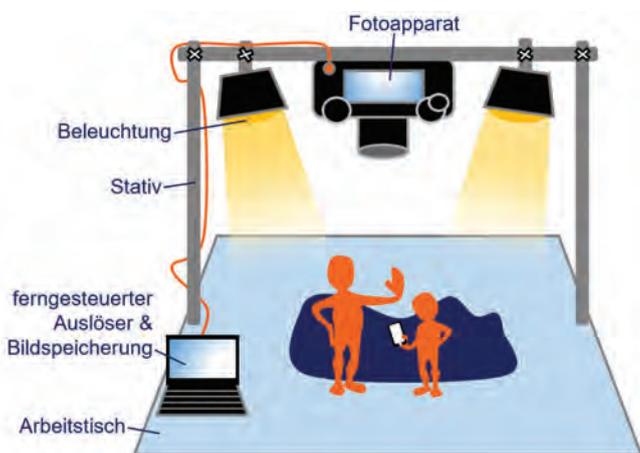


Abbildung 5: Fotografieren von Szenen im Legetrickstudio

wird das manuelle Verschieben von Informationskärtchen gefilmt und nachvertont, so etwa in Erklärvideos auf YouTube. Die digitale Variante ist hingegen rein computergeneriert, wie beispielsweise die TV-Serie South Park, die sich der Cut-Out-Ästhetik bedient. Dieser Beitrag fokussiert auf die Umsetzung der analogen Paper-Cut-Out-Technik, mit dem Ziel eines Sachcomics.

4. Das kollaborative Planen von Sachcomics

Der Aufforderung, einen Sachcomic zu einem spezifischen Schulversuch zu erstellen und das eigene Vorgehen zu dokumentieren, gehen die Studierenden in Lerntandems analog einer Unterrichtsplanung nach, indem sie fragen: Was (Lerninhalt in seinem Kontext) soll erzählt werden? Wie soll dieses »Was« visualisiert werden? Welches Ziel (Bildung durch Bilder) soll auf diesem Weg für wen (Jugendliche einer bestimmten Altersstufe) erreicht werden? Die Studierenden erstellen Artikulationsschemata zu den einzelnen Phasen der Geschichte, greifen didaktische Prinzipien, wie zum Beispiel »vom Konkreten zum Abstrakten«, auf, erschaffen Bedeutungszusammenhänge und dadurch Sinnstrukturen für die Leserinnen und Leser. Wesentliche Kriterien für den Erzählwert eines Lerninhaltes leiten sie aus Publikationen zu »situiertem Wissen/Anchored Instruction« [2-3] und »Storytelling« [4] ab und ergänzen diese um die Konzepte »Epochaltypische

Schlüsselprobleme« [5] und »Socioscientific Issues« [6], um ihren Lerninhalten eine globale Dimension, wie Nachhaltigkeit, Technikfolgen oder Gesundheit, zu verleihen. Kriterien für die Präsentation eines Schulversuchs als Bildersequenz entnehmen sie Publikationen zur Wissenskommunikation via Infografik [7-8], (Sach-)Comic [9-10] und Trickfilm [11-12]. Diese liefern Hinweise, wie Raum und Zeit grafisch zu visualisieren sind, wie komplexe Aspekte nuanciert dargestellt werden können, welche Stilmittel das Lesetempo drosseln und somit den Grad der Auseinandersetzung der Leserinnen und Leser mit einem Sachverhalt erhöhen. Die Entwicklungsphase führt schließlich zu einem Storyboard, in dem Handlungen und Szenen übersichtlich arrangiert sind.

5. Das kollaborative Gestalten von Sachcomics

Die Umsetzung des Storyboards erfolgt im Legetrickstudio. Sowohl ein professionelles Legetrickstudio als auch eine günstige Variante, bestehend aus Umzugskarton und Fotoapparat (vgl. [12], S. 23), sind einfach realisierbar. Der Sachcomic »Fischsterben am Angelteich« entstand unter professionellen Bedingungen. Für den Sachcomic »Wo ist jetzt diese Est(h)er?« (s.u.) wurden in Heimarbeit Mobiltelefone und Schreibtischlampen verwendet. Weniger die Ausstattung, vielmehr die gekonnte Inszenierung der Figuren, macht die Qualität eines Sachcomics aus. Personifizierte Lerninhalte wirken erst identifikationsstiftend, wenn die Leserinnen und Leser in die Handlung und in die rationale und emotionale Welt der Protagonistinnen und Protagonisten eintauchen können. Sprech- und Denkblasen, die nach der Bildbearbeitung mit entsprechender Comicssoftware ergänzt werden, transportieren Einblicke in das Denken von Figuren. Zugänge zu Emotionen bieten vor allem Gestik und Mimik. Bereits ein minimales Verrücken einer Pappform verändert eindrucksvoll den Ausdruck einer Figur. Die Identifikation mit einer Figur fällt den Leserinnen und Lesern leicht, wenn sie vertraute Ziele verfolgt, aber auch, wenn der Figur großes Unrecht widerfährt (vgl. [4], S. 83-104). Empathie bewirkt emotionale Beteiligung an einer Geschichte, was die Beschäftigung mit dem Lerninhalt intensiver macht. Ähnlich verhält es sich mit Humor.

6. Sachcomic-Exempel II

In dem Paper-Cut-Out-Sachcomic »Wo ist jetzt diese Est(h)er?« [13] projizieren zwei Studenten eigene Charakterzüge auf ihre Figuren und dies mit einem Augenzwinkern. Jan verkörpert den strebsamen Typus des Studenten, dem daran gelegen ist, im Studium zu glänzen. Indessen agiert Daniel »chillig«, indem er die angenehme Seite des Sommers genießt (Abb. 6). Erst Jans Anspielung auf »eine Esther«, motiviert Daniel dazu, das Labor aufzusuchen (Abb. 7), wo sich die beiden dann gemeinsam der Ester-Synthese in Theorie und Praxis widmen.



Abbildung 6: Humor in „Auf der Suche nach Est(h)er“ [13]



Abbildung 7: Fortsetzung [13]

7. Das kollaborative Bewerten von Sachcomics

Auf die Gestaltungsphase folgt die Bewertungsphase, in der die Studierenden die Qualität ihrer Sachcomics und die ihres eigenen Kompetenzerwerbs analysieren. Zum einen greifen sie dabei auf Kriterien guten Fachunterrichts zurück: Ist Zieltransparenz gegeben? Wurde der Lerninhalt, insbesondere der Schulversuch, fachlich korrekt und strukturiert dargeboten? Sind thematische Abschnitte durch Gelenkstellen miteinander verbunden? Wurde die Fachsprache angemessen verwendet? Ist die Handlung sinnstiftend? Zum anderen sind Bild- und Textgestaltungs-kriterien von Relevanz: Wurde eine überzeugende »Welt« erschaffen? Ist der Sachcomic insgesamt zu textlastig? Fördern die gewählten Perspektiven den Lesefluss? Ist die Anordnung der Panels (der Einzelbilder) stimmig? Wirken Gestik und Mimik der Figuren authentisch? Es ist sinnvoll, die Bewertungskriterien vor der Planung des Sachcomics gemeinsam mit den Studierenden festzulegen und eine Gewichtung der einzelnen Kriterien vorzunehmen. Im Erwartungshorizont sollten sich die Vorerfahrungen der Studierenden mit Inhalten und Methoden sowie die zur Verfügung stehende Zeit und der Grad der Unterstützung widerspiegeln. Die Handreichung zur Bewertung von Sachcomics (Abb. 8) ist somit als Empfehlung zu verstehen.

Qualitätskriterien		Punkte
Zielgruppenadäquatheit	Alter, Gender, Herkunft, Religion, Vorwissen, Inklusion	0 1 2 3
Didaktische Prinzipien	„vom Bekannten zum Neuen“, „vom Konkreten zum Abstrakten“	0 1 2 3
Inhalt	fachlich korrekt, Fachsprache, IUPAC, Forschungsstand	0 1 2 3
Struktur	Panel-Abfolge, Leseführung, „roter Faden“, Perspektiven	0 1 2 3
Text	Schriftgröße, Rechtschreibung, und Grammatik, zu „textlastig“	0 1 2 3
Setting	Authentizität, Übersichtlichkeit, Figur-Hintergrund-Kontrast	0 1 2 3
Figuren	Gestik, Mimik, Diversität, Sprech- und Denkblasen	0 1 2 3
Aktionen	Bedienung des Equipments, Laborsicherheit, Speedlines	0 1 2 3
Interaktionen	Logik der Abfolge, Dialoge in Shot-Reverse-Shot-Einstellung	0 1 2 3
Kreativität	...zeigt sich während der Arbeit; darf überraschend sein	0 1 2 3
		Σ

Abbildung 8: Handreichung: Bewertung eines Sachcomics

8. Begleitforschung in Gruppendiskussionen

Nach Möglichkeit sollten Studierende, gemäß dem *Cognitive Apprenticeship*-Ansatz, als aktive Partnerinnen und Partner in die didaktische Forschung mit einbezogen werden. Im Rahmen des Projekts DiSenSu wurde beispielsweise anhand der Auswertung von *Focus-Group*-Interviews ermittelt, ob das gewählte Design von Sachcomics die Intention, ein positiv konnotiertes, diversitätssensibles Gesamtbild zu schaffen, stützt oder konterkariert. Denn zu beachten ist: „Wenn ein Design zu »platt«, das heißt zu offen, zu direkt und zu durchschaubar ein großes Thema besetzt, kann dies schnell dazu führen, dass ein Design klischeehaft oder langweilig wirkt“ (vgl. [7], S. 119). Im konkreten Fall des DiSenSu-Sachcomics [14], in dem die Schülerin Leyla von einer mit einem Kopftuch bekleideten Laborleiterin beraten wird (Abb. 9), weist der Diskussionsbeitrag auf Akzeptanz hin: „Ich wollte darauf noch eingehen, ähm, – abgesehen von der Darstellung – gefällt mir sehr, dass



Abbildung 9: Szene aus „Auf die Probe gestellt“ [14]

die Forscherin mit dem Kopftuch so selbstverständlich auftritt. Also, da ist überhaupt keine Frage, ob die kompetent ist oder nicht. Sondern, die ist da – die ist die Forscherin – die leitet an – die hat Abnung – so und, ähm, das kommt so subtil rüber. Also, da ist je-jetzt kein gro-großes Fass aufgemacht – hallo ich bin die Forscherin. Ich weiß über alles Bescheid – sondern es, ähm, es kommt halt so im Dialog rüber. Das finde ich, ähm, ist sehr gut gelungen. Das, ähm, – da kommt auch kein Zweifel auf – von wegen die mit dem Kopftuch, ob die das weiß – Nein-nein, die weiß das. Und die kann das auch der Leyla beibringen.“ (Transkribierte Passage aus dem Interview, Min. 48:27 bis 49:14)

9. Resümee

Das kollaborative Planen, Gestalten und Bewerten von Sachcomics spricht bei den Studierenden Kompetenzen in zweifacher Hinsicht an. Das Lernen *mit* Medien, das insbesondere das *Handling* von Visualisierungstechniken zur Darstellung von Inhalten betrifft, verlangt ein Verständnis von Potenzialen und Grenzen der eingesetzten Techniken sowie

fachdidaktisches Geschick bei der Auswahl und strukturierten Präsentation von Lerninhalten. Das Lernen *über* Medien charakterisiert mehrperspektivische Reflexionen und impliziert unter anderem Überlegungen zum Vorwissen der rezipierenden Gruppe, zur diversitätssensiblen Inszenierung von *Role Models* und von persuasiven Botschaften sowie zur Medialisierung im Allgemeinen. Wenn die Studierenden ihre Sachcomics zu guter Letzt im Internet publizieren, verlassen sie den »Spielraum« ihrer Ausbildungssituation und übernehmen Verantwortung für das Lernen anderer.

Material

Mehr Sachcomics von Studierenden finden Sie auf der Webseite www.disensu.de

Markus Prechtl Technische Universität Darmstadt

Literatur

- [1] Jacob, J., Fischsterben am Angelteich – Leyla und die Winkler-Probe, Paper-Cut-Out-Sachcomic, 2019, abrufbar unter www.disensu.de/comics/
- [2] Reinmann-Rothmeier, G. & H. Mandl, Unterrichten und Lernumgebungen gestalten, A. Krapp & B. Weidenmann, Hrsg. 2001, Beltz-Verlag. S. 601-646.
- [3] Scharnhorst, U., Anchored Instruction: Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften, 2001. 23(3): S. 471-492.
- [4] Kellermann, R., Das Storytelling Handbuch. 2018: Midas-Verlag.
- [5] Klafki, W., Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1996: Beltz-Verlag.
- [6] Sadler, T.D. & D.L. Zeidler, Patterns of informal reasoning in context of socioscientific decision making. Journal of Research in Science Teaching, 2005. 42(1): S. 112-138.
- [7] Heimann, M. & M. Schütz, Wie Design wirkt. Psychologische Prinzipien erfolgreicher Gestaltung. 2018: Rheinwerk-Verlag.
- [8] Heber, R., Infografik. Gute Geschichten erzählen mit komplexen Daten. 2018: Rheinwerk-Verlag.
- [9] McCloud, S., Comics machen. Alles über Comic, Manga und Graphic Novels. 2007: Carlsen-Verlag.
- [10] Jüngst, H.E., Information Comics. 2010: Lang-Verlag.
- [11] Arnold, S. & J. Zech, Kleine Didaktik des Erklärvideos. 2019: Westermann-Verlag.
- [12] Grasser, P., Trickfilmstudio RU. Trickfilme im Religionsunterricht gestalten und präsentieren. 2011: Vandenhoeck & Ruprecht-Verlag.
- [13] Herzog, J. & D. Ritter, Chemical Brothers auf der Suche nach Est(h)er, Paper-Cut-Out-Sachcomic, 2019, abrufbar unter www.disensu.de/comics/
- [14] Jacob, J., Auf die Probe gestellt – Leylas erster Tag im Labor, Paper-Cut-Out-Sachcomic, 2019, abrufbar unter www.disensu.de/comics/

Rezension von „Himmelskörper – Der Mensch, das Universum und der ganze Rest“

Leo Ludick

Martin Apolin nimmt sich nach „Physik des Abnehmens“ und „Physik für echte Männer“ nicht mehr vor, als den Himmelskörper Mensch zu beschreiben. Und er kommt, für einen Physiker nicht überraschend, zum Schluss, dass Physik auch das Wunder Mensch bestens erklären kann. In drei Teilen geht er diese Mammutaufgabe an: Zunächst beschreibt er, aus welch wenigen und einfachen Bausteinen der Mensch gebaut wurde, einfach aus Sternenstaub. Damit jedoch die Leserschaft sieht, wie alles sich zusammenfügt, erklärt Apolin so ganz nebenbei und leicht fassbar, „was die Welt im Innersten zusammenhält“.

Er versteht es, Teilchenphysik und Astronomie packend zu schildern. Dazu trägt auch der gewählte Stil bei, denn das Buch ist so geschrieben, dass man glaubt, ein Vortragsmanuskript zu lesen. Diese Direktansprache erleichtert es, sich von Seite zu Seite und von physikalischer Erklärung zu physikalischer Erklärung weiterzuarbeiten. Wohl dosiert kann man sich auch dem Anhang widmen, in dem einige Berechnungen ausgeführt sind, quasi für alle, die sich vertiefen wollen.

Im zweiten Teil zeigt der Autor auf, wie wunderbar die Biophysik des Menschen ist, wie herrlich komplex unser Gehirn etwa die Welt, in der wir leben, uns farbenprächtig und klangmäßig schön serviert. Abschließend geht Apolin auch

noch der Frage nach, ob es Aliens gibt oder ob wir allein im weiten Universum sind.

Der Rezensent hat das Buch mit Vergnügen gelesen und findet einige neue Herangehensweisen an verschiedene Themen interessant und spannend. Schade ist nur, dass der Stil manchmal zu flapsig ist. So trüben Formulierungen wie „man friert sich den Arsch ab“ oder die zu häufige Verwendung des nur im bundesdeutschen Sprachraum vertretenen Wörtchens „mal“ etwas den intellektuellen Genuss. Ein Vorwurf, der aber weniger an den Autor, sondern eher an das Lektorat gerichtet ist.

Alles in allem: Wieder ein gelungenes Buch des Physiklehrers, das nicht schulmeisterlich ist und aufzeigt, dass Physik auch die Faszination „Mensch“ begreifbar machen kann.

Martin Apolin „Himmelskörper – Der Mensch, das Universum und der ganze Rest“ erschienen 2020 bei ecoWIN, Salzburg ISBN 978-3-7110-0255-6 263 Seiten

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

Da irrt so manches Physikbuch (2)

Die Gezeiten und die Fliehkraft

Rainer Pippig

1. Einleitung

Eine kleine Auswahl der fehlerhaften Texte:

„Für die Gezeiten sind zwei gegensätzliche Kräfte verantwortlich: Zum einen die Fliehkraft der Erde. Diese sorgt dafür, dass das Wasser der Ozeane auf die mondabgewandte Seite gedrückt wird. Auf der anderen Seite wirken die Anziehungskräfte des Mondes: Sie holen das Wasser sozusagen an die alte Position zurück.“ (s. [1])

„Auf der anderen Seite der Erde, die dem Mond gerade abgewandt ist, gibt es zur gleichen Zeit ebenfalls eine Flut. Dort entsteht die Flut jedoch nicht durch die Anziehungskraft des Mondes, sondern durch die Fliehkraft, die durch die Drehung der Erde entsteht.“ (s. [2])

„Der erste Flutberg entsteht, weil die Anziehungskraft des Mondes so stark ist, dass die Wassermassen angezogen werden. Der zweite, dem Mond abgewandte Flutberg entsteht, weil die Erde bei ihrer Drehbewegung eine Fliehkraft entstehen lässt. Diese Fliehkraft ist auf der Mond abgewandten Seite stärker als die Anziehungskraft des Mondes. Das Wasser wird von der Erde sozusagen weggezogen und steigt.“ (s. [3])

2. Warum es falsch sein muss

Beim Verwenden von Fliehkraft oder Zentrifugalkraft zur Begründung von Ebbe und Flut wird stets argumentiert, dass sich Erde und Mond um den gemeinsamen Schwerpunkt drehen. Weil sich dieser Schwerpunkt im Inneren der Erde befindet ($3/4$ vom Erdradius), schließt man wegen der unterschiedlichen Radien auf verschieden große Fliehkräfte je nachdem, ob man die mondzu- oder mondabgewandte Seite der Erde betrachtet.

Dass diese Argumentation nicht stimmen kann, sieht man am besten an den Gezeiten, die von der Sonne hervorgerufen werden. Je nach Lage des Ortes und der Küstenform schwankt der Sonneneinfluss zwischen 25 % und 46 % im Vergleich zum Mondeinfluss.

Geht man vernünftigerweise davon aus, dass die gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten für beide Gezeitenarten gelten, erkennt man, dass die Drehbewegung der Erde um den gemeinsamen Schwerpunkt des Erde-Mond-Systems absolut nichts zur Gezeitenerklärung beiträgt.

Würde man den Mond in Gedanken aus unserem Sonnensystem entnehmen, gäbe es nur noch die Gezeitenwirkung der Sonne. Wegen der 330000-fachen Sonnenmasse im Vergleich zur Erdmasse dreht sich die Erde (wie alle anderen Planeten auch) um den Mittelpunkt der Sonne. Der gemeinsame Schwerpunkt des Sonne-Erde-Systems liegt also im Mittelpunkt der Sonne. Durch Fliehkräfte, die nur durch das „Eiern“ der Erde um

einen anderen Schwerpunkt als den Massenmittelpunkt entstehen können, lassen sich Gezeitenwirkungen demzufolge nicht erklären.

3. Wo steckt der Fehler?

Der Fehler steckt tatsächlich in der irrigen Annahme, dass die Drehung um den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Mond verschiedene Fliehkräfte erzeugt. Die Eigenrotation der Erde um die Polachsen muss dabei nicht betrachtet werden. Sie hat mit der Erzeugung von Ebbe und Flut nichts zu tun, sondern sorgt nur für den Ortswechsel der Gezeiten.

Der gemeinsame Schwerpunkt S des Erde-Mond-Systems liegt etwa $3/4$ des Erdradius vom Mittelpunkt M der Erde entfernt. Zum Verständnis schaut man senkrecht von oben auf die Bewegung der Erde um S in der Ebene der Mondbahn. Nachdem die Mondbahn nur um $5,150$ gegen die Ekliptik geneigt ist, entspricht das ziemlich genau einem Blick auf den Nordpol.

Als Momentaufnahmen der Bewegung der Erde um S ohne ihre Eigenrotation erhält man die folgenden vier Schnittbilder durch den Mittelpunkt M der Erde. Die Punkte A, B und C liegen irgendwo auf dem Äquator.

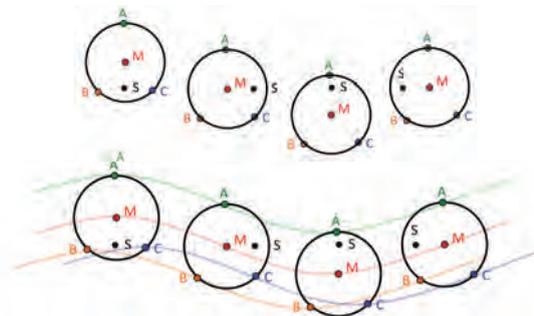


Abbildung 1: Gleiches Bild mit vier verschiedenfarbigen Cosinuslinien, S wieder auf einer waagrechten Linie (erstellt von Sarah Zloklikovits)

Verbindet man die gleichen Buchstaben miteinander (mit Ergänzung der nicht gezeichneten Zwischenstadien) kann man erkennen, dass alle vier Punkte M, A, B und C auf exakt kongruenten Cosinus-Graphen liegen. Übereinandergelegt bzw. auf eine Ebene projiziert bedeutet das: gleiche Kreise für die Bewegung von M, A, B und C mit gleichem Radius und gleicher Geschwindigkeit. Das heißt, alle Punkte der Erde, ob an der Oberfläche oder im Erdinneren, laufen auf kongruenten Kreisen. Lediglich die Mittelpunkte der Kreisbahnen sind unterschiedlich (siehe dazu am besten die Animation in [4]). Wegen der gleichen Radien ist die Fliehkraft an allen Stellen logischerweise gleich groß; sie kann also keinen Unterschied

hervorrufen. Daher ist eine Erklärung der Gezeiten über Fliehkräfte nicht zielführend.

4. Vorschlag, wie es richtig heißen könnte

In jedem Gravitationsfeld wird jeder Körper in Richtung der Feldlinien gedehnt (natürlich fast immer völlig unmerklich), weil seine Vorderseite stärker als sein Massenmittelpunkt und seine Rückseite schwächer als sein Massenmittelpunkt angezogen werden. Ursache ist die Entfernungsabhängigkeit der Gravitationskraft (mit $1/r^2$). Ein Bleistift würde deshalb senkrecht gehalten (rein theoretisch) länger werden, als wenn man ihn waagrecht hält [5,6].

Für die Gezeiten (auch Tiden genannt) muss es dann heißen: Die Vorderseite der Erde wird vom Mond stärker angezogen als ihr Mittelpunkt und die mondabgewandte Rückseite der Erde schwächer als ihr Mittelpunkt (s. Bild Gezeiten). Deshalb werden die Erde bzw. das Wasser auf ihr in Richtung des Mondes auf beiden Seiten gedehnt.

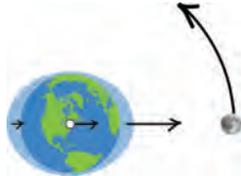


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Gezeiten inkl. Gravitationskraft (erstellt von Sarah Zloklikovits).

Mögliche Ergänzungen:

Diese Auswirkungen sind allerdings nur im Weltraum zu beobachten und nur dann, wenn die Oberfläche der Himmelskörper nicht völlig starr ist.

Deshalb ergeben sich in beiden Feldlinienrichtungen der beiden Gravitationsfelder von Mond und Sonne stets Flutberge, weil die Vorderseite der Erde von Mond und Sonne stärker angezogen wird als der Mittelpunkt der Erde und die Rückseite der Erde schwächer angezogen wird als ihr Mittelpunkt (besser Massenmittelpunkt). Das Gravitationsgesetz von Newton gilt eigentlich nur für die Mittelpunkte zweier Massen. Das Wasser auf der Erdoberfläche verformt sich dementsprechend zu Flutbergen auf der mondzu- und mondabgewandten Seite. Wo es fehlt, weil es abgezogen wurde, bezeichnet man den Zustand als Ebbe.

Bei Voll- oder Neumond liegen Sonne, Erde und Mond in etwa einer Linie; dadurch verstärken sich die Gezeitenwirkungen

von Sonne und Mond. Man nennt dies Springflut oder Springtide. Stehen Sonne, Erde und Mond wie die Punkte eines rechtwinkligen Dreiecks (Erde im Scheitel des rechten Winkels), dann schwächen sich bei Halbmond die beiden Gezeitenwirkungen und es liegt eine so genannte Nippflut oder Nipp tide vor (Bild 3). Der Tidenhub ist dabei geographisch sehr verschieden und beträgt am offenen Meer normalerweise etwa einen halben Meter.



Abbildung 3: Verschiedene Tiden

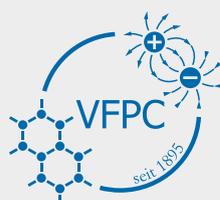
5. Abschlussbemerkung

Die hier skizzierte korrekte Erklärung alleine durch die Entfernungsabhängigkeit der Gravitationskraft ist m.E. viel einfacher zu verstehen als das falsche Zusammenspiel von Gravitations- und Fliehkräften, mit denen immer wieder eine Deutung versucht wird. Wer diesen Erklärungsweg im Detail nachvollziehen will, kann dies mit Hilfe von Rainer Müllers Buch tun [10]. Die erste richtige Erklärung der Gezeiten stammt übrigens von einem gewissen Isaac Newton – kein Wunder, geht es doch tatsächlich nur um Gravitationskräfte.

Rainer Pippig Der Verfasser arbeitete seit 1976 als Gymnasiallehrer für Physik, als Ausbilder für Referendare am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der LMU München (wo er auch promoviert hat), als Seminar-lehrer für Physik am Wittelsbacher-Gymnasium in München sowie bis 2012 als Schulleiter des Gymnasiums Oberhaching. Es ist Autor zahlreicher Schulbücher bei verschiedenen Verlagen.

Literatur

- [1] <https://www.die-nordsee.de/gezeiten>
- [2] https://praxistipps.focus.de/warum-gibt-es-ebbe-und-flut-gezeiten-einfach-erklart_101307
- [3] <https://www.wasistwas.de/archiv-wissenschaft-details/weshalb-ist-der-mond-schuld-an-ebbe-und-flut.html>
- [4] <https://www.weltderphysik.de/gebiet/erde/atmosphaere/meere/gezeiten/>
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=3EVp-8XI0ds>
- [6] <https://www.timeanddate.de/astroonomie/mond/gezeiten-ebbe-flut>
- [7] Ikarus, Oldenbourg-Verlag 2005
- [8] Sexl, Raab, Streeruwitz, Das mechanische Universum, Diesterweg
- [9] Helmut Näpfel, Werner B. Schneider, Die Gezeiten und ihre Behandlung im Physik- und Astronomieunterricht Aus: Wege in der Physikdidaktik Band 1, Verlag Palm & Enke, Er-langen 1989
- [10] Rainer Müller: Klassische Mechanik. 3. Auflage. de Gruyter, Berlin 2015, Kap. 12



Neues aus dem Verein

Chemie und Physik digital unterrichten

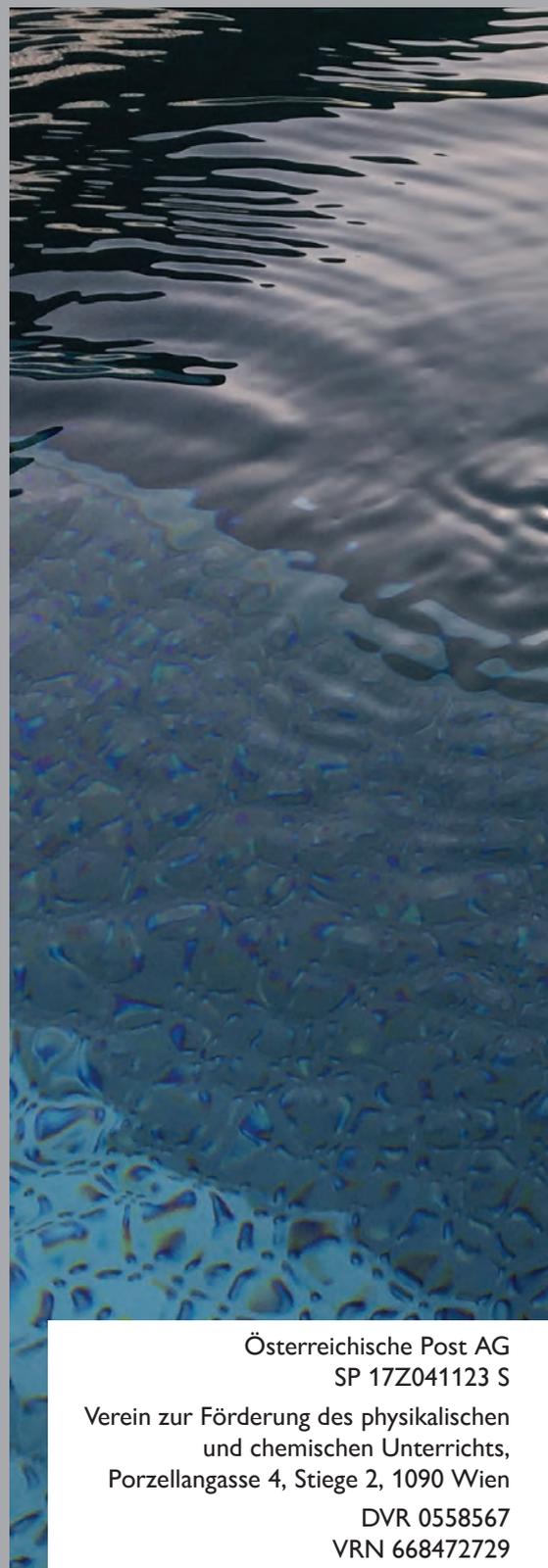
Als Lehrpersonen standen wir in diesem Semester vor der Situation, unseren Unterricht innerhalb kürzester Zeit auf Online-Lehre umzustellen. Es ist auch nicht absehbar, ob der Unterricht im Herbst teilweise Online fortgeführt werden muss. Der Verein hat daher die Ausgabe 1/2020 zum Thema „Videoanalyse“ bereits jetzt auf der Homepage online zugänglich gemacht. Das Durchstöbern von Plus Lucis-Ausgaben lohnt sich auf jeden Fall, finden sich hier viele Anregungen für die Anwendung von digitalen Medien im Unterricht.

Die Teams der AECCs Chemie und Physik haben eine Liste an hilfreichen Ressourcen zusammengestellt. Diese finden Sie auf der Homepage von Plus Lucis. In der Facebookgruppe „Physiklehrer/innen in Österreich“ wird diese Liste laufend von Kolleginnen und Kollegen ergänzt.

Plus Lucis-Homepage: www.pluslucis.org

Spotting Science

Eine tolle Idee wurde von Philipp Spitzer am Universitätscampus im alten AKH an der Universität Wien umgesetzt. An einzelnen Stationen haben Sie die Möglichkeit mit Hilfe ihres Smartphones etwas über die wissenschaftlichen Hintergründe zu verschiedenen Phänomenen zu erfahren. Mehr Informationen finden Sie unter <https://spottingscience.at>. Dazu gibt es noch einen wunderbaren Instagram-Account, wo von der Chemie der Ostereier bis zu Erklärungen von Seifenblasen vieles optisch ansprechend umgesetzt wurde. <https://www.instagram.com/spottingscience/>



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