

JuniorAkademie Adelsheim

19. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2022



Astronomie



Biologie



Mathematik/Informatik



Pharmazie/Chemie



Philosophie/Ethik



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2022**

**19. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2022:

Regierungspräsidium Karlsruhe
Abteilung 7 –Schule und Bildung–
Hebelstr. 2

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de

birgit.schillinger@scienceacademy.de

rico.lippold@scienceacademy.de

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 19. JuniorAkademie Adelsheim 2022 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2022 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

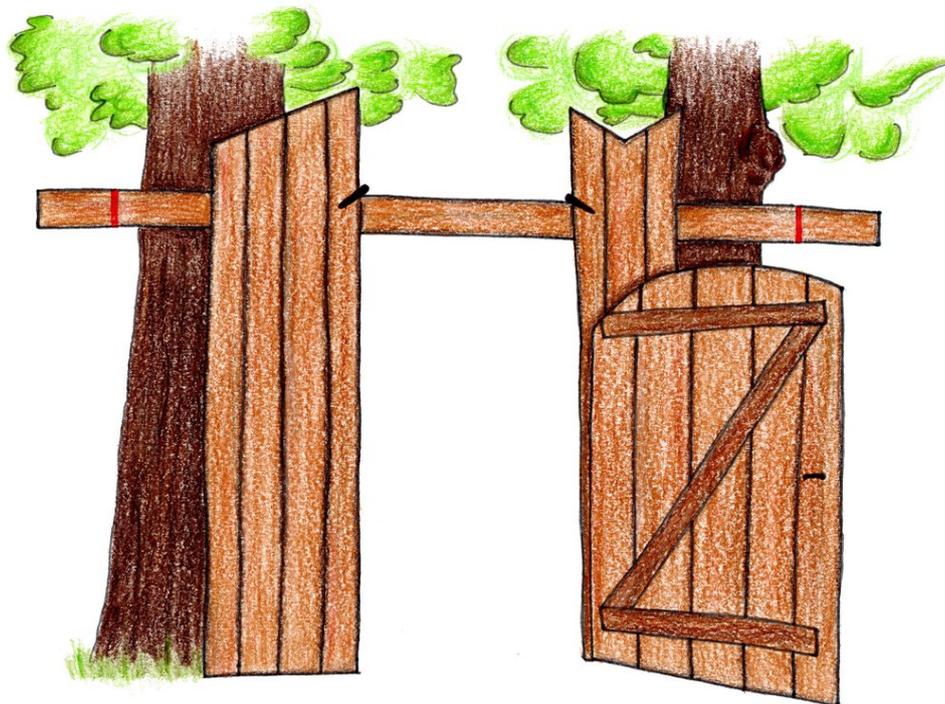
Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

treten Sie ein! Herzlich willkommen zu einem Bericht über die vielseitigen Erlebnisse der diesjährigen 19. Science Academy Baden-Württemberg!

Im Rahmen der Akademie kamen 72 Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim Eröffnungswochenende im Juni zunächst online für ein erstes virtuelles Kennenlernen mit dem Leitungsteam zusammen. Damit traten sie über die Schwelle zu neuen Erfahrungen, Freundschaften und Wissenszuwachs. Bei der Akademie im Sommer konnten wir dann unsere physische Akademietür öffnen und uns endlich in Präsenz im Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim begegnen. Dabei blieben lediglich durch Tests, Masken und weitere Maßnahmen ein paar „Schutztüren“ eingebaut.

Ein wichtiger Teil der Akademie ist die Arbeit in den sechs Kursen, die den Jugendlichen einen Einblick in wissenschaftliches Denken und Arbeiten gewährt und eine Weiterentwicklung ihrer Fähigkeiten in Bereichen wie Teamarbeit und Präsentationstechnik ermöglicht. Auch in diesem Jahr hatten die Kursleiter und Kursleiterinnen wieder spannende Themen vorbereitet.



So plante der Astronomiekurs eine fiktive Mission zum Jupitermond Europa, und der Biologiekurs beschäftigte sich damit, wie wir aus unserer Nahrung Energie gewinnen; im Mathematik-/Informatikkurs ging es dagegen um Klimamodelle und Datenanalyse. Außerdem erforschte der Kurs Pharmazie/Chemie, wie Medikamente im Körper richtig wirken, und während der Physikkurs sich mit der optimalen Ausleuchtung von Solarzellen befasste, beleuchtete der Philosophie-/Ethikkurs das Thema Gerechtigkeit.

Auch die Zeit außerhalb der Kurse war durch die Kursübergreifenden Angebote (KüAs) abwechslungsreich gestaltet. In zwei KüA-Schienen täglich konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vielfältige Angebote, die von Debating und PowerPoint-Karaoke über Tanzen und Häkeln bis hin zu einer Physikshow reichten, wahrnehmen oder auch selbst anleiten.

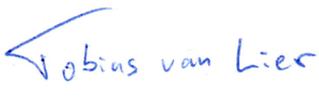
Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer konnten in den Kursen, KüAs und in der Freizeit viele Kontakte knüpfen, neue Interessen entdecken und alte vertiefen. Da so viele motivierte und interessierte Menschen zusammenkommen, ergeben sich viele spannende Gespräche und Aktivitäten. Dadurch ist die Akademie eine sehr intensive Zeit, in der wir auch in diesem Jahr wieder zu einer starken Gemeinschaft zusammengewachsen sind.

Mit all ihren Angeboten und Möglichkeiten konnte die Akademie daher viele neue Türen öffnen, passend zu unserem Motto „Türen“, das uns vom ersten Plenum beim Eröffnungswochenende bis zur letzten Minute der Akademie mit verschiedenen Aktionen und Denkanstößen begleitete. Bei diesen metaphorischen Türen kann es sich beispielsweise um andere (Zukunfts-)Perspektiven und Sichtweisen, um Erfahrungen wie die Laborarbeit und die einzigartige Akademieatmosphäre oder um neu entdeckte Lieblingsthemen handeln. Sicherlich werden diese nun offenen Türen für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch ein Schlüssel zu vielen weiteren neuen Möglichkeiten und Entdeckungen sein.

Beim Dokumentationswochenende schlossen wir unsere Akademietür wieder und verließen gemeinsam Adelsheim mit vielen neuen Eindrücken und Erinnerungen im Gepäck. Für ein mögliches Wiedersehen halten allen Beteiligten ihre Türkeile die Tür jedoch stets einen Spalt offen!

Vor dem Abschied entstand ein umfangreicher Bericht der fachlichen Ergebnisse und persönlichen Erlebnisse unserer gemeinsamen Akademiezeit, der nun vor Ihnen liegt. Treten Sie ein, liebe Eltern, Freunde, interessierte Leser – und vor allem „liebe Kinder“: Viel Spaß beim Lesen der Dokumentation!

Eure/Ihre Akademieleitung

Merit Neibig
(Assistenz)

Henriette Neuschwander
(Assistenz)

Tobias van Lier
(Assistenz)



Jörg Richter



Dr. Birgit Schillinger

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	7
KURS 2 – BIOLOGIE	33
KURS 3 – MATHEMATIK/INFORMATIK	65
KURS 4 – PHARMAZIE/CHEMIE	83
KURS 5 – PHILOSOPHIE/ETHIK	105
KURS 6 - PHYSIK	131
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	149
DANKSAGUNG	173
BILDNACHWEIS	175

Kurs 1 – Raketen, Rover und Teleskope: Wie wir Jupitermonde und das gesamte Sonnensystem erforschen



Unser Kurs

Jona Immer aktiv im Kurs dabei, stellte Jona komplexe Fragen und half tatkräftig dabei, die Laptops durch die Berechnung der Flugbahn zu schrotten. Seine Fröhlichkeit und gute Laune sind für die Entstehung einiger unvergesslicher Zitate verantwortlich. Das lag auch daran, dass er immer schneller dachte als sprach.

Josch Seine tollen Einfälle und Ideen verkündete Josch immer unüberhörbar, sodass der gesamte Kurs auch ja mitbekam, was ihm durch den Kopf ging. Doch seine Unterstützung war immer gefragt, ob bei Rechnungen oder dem Programmieren. Er liebte es, seinen Laptop zu foltern, und das selbst bis spät in die Nacht.

Der Erdball allerdings litt unter seiner Anwesenheit, da er anscheinend nicht ausge-

legt war, als Volleyball genutzt zu werden. Bei Süßigkeiten war Josch auch immer zur Stelle.

Katharina Auch genannt Katze – wieso weiß eigentlich niemand von uns so genau. Sprechen konnte man mit ihr über alles, vor allem Gossip. Der Versuch, die Masse an Gossip in ihrem Kopf auszurechnen, misslang leider, aber es wäre bestimmt eine enorm hohe Zahl gewesen. Shippen hat sie studiert, aber sie mit Nicola zu shippen scheiterte leider krachend. Bei Tom Cruise wäre sie wahrscheinlich offener gewesen.

Mit Katze konnte man aber nicht nur gut lachen, sondern auch wunderbar arbeiten. Einmal ein Thema für sich entdeckt, steckte sie Herzblut in die Arbeit und wollte etwas schaffen. Ihr schwäbischer Dialekt brachte

jeden zum Schmunzeln und gab den Präsentationen das gewisse Etwas.

Leah Ein bisschen verrückt, wie sie war, machte Leah begeistert bei allem möglichen Unsinn mit. So energiereich, wie sie war, muss sie in jedem Kurs eine ganze Schachtel Toffee gegessen haben (hat sie aber nicht, das waren die Jungs!). Im Kurs strickte und häkelte sie zusammen mit Leo, während sie uns am Abschlussabend ihr tänzerisches Geschick und den Partylöwen in ihr zeigte, wobei sie zu einer Gefahr der Allgemeinheit wurde.

Mathematische Zaubertricks gehören zu ihren Leidenschaften. Sie übte, wann immer sie konnte, um uns dann damit zu beeindrucken. Trotz all dem war sie eine gute Gesprächspartnerin, um auch mal ernste Themen zu erörtern.

Leonard Neben seiner unvergesslichen Libellenimitation vor dem Beamer zeigte Leo sein Talent auch beim Konstruieren unseres Rovers sowie des Landers. Und auch wenn er dabei nicht gerade schonend mit seinem Bleistift umging, waren die Ergebnisse doch immer sehr beeindruckend. In den Pausen setzte er sich wie Yannick hochkonzentriert mit dem Stricken auseinander, leider nicht ganz so erfolgreich.

Lilly Sie stellte sich nicht nur beim Designen unserer Kurs-T-Shirts und beim Zeichnen von Sonde und Rover als überaus begabt heraus, sondern war auch bei schwierigen Rechnungen immer voll dabei und begeisterte sich für deren Lösung. Elektriziert, wie sie anschließend war, konnte man kaum noch normal mit ihr sprechen, was die Stimmung im Kurs aber umso besser machte.

Luise Wenn man mal nicht weiterwusste oder auf dem Schlauch stand, musste man einfach nur zu Luise gehen. Die hatte nämlich meist nicht nur Gummibärchen, sondern auch eine zündende Idee und die Motivation, weiterzumachen, was uns regelmäßig zu einem richtig guten Endergebnis brachte. Dank ihrer drei verschiedenen Wecker (und ihrer Energie – selbst am frühen Morgen) musste man auch niemals Angst haben zu verschlafen!

Maria Sie zeigte bereits am Eröffnungswochenende ihr großes Verständnis für astronomische Angelegenheiten. Dies stellte sie auch in der Akademiezeit nochmal unter Beweis: Still und mit einer erfrischenden Ruhe löste sie die uns gestellten Aufgaben und verfasste großartige Texte scheinbar mühelos. Dabei überraschte sie uns immer mit ihren perfekt platzierten Aussagen und brachte uns nicht nur einmal zum Lachen.

Sebastian Voller Elan berechnete Sebastian die kompliziertesten Aufgaben und konnte dabei den ganzen Kurs mit seiner Begeisterung anstecken. Hatte er sich erst an einem Thema festgebissen, ließ er nicht locker, bis er es auch wirklich verstanden hatte. Seine gute Laune sorgte dabei für viele lustige Situationen, in denen er trotz des Chaos immer den Überblick behalten konnte.

Simon Manche waren im Kurs, weil sie noch nicht besonders viel über Astronomie wussten – das war eindeutig nicht der Fall bei Simon. Bei jedem astronomischen Thema, das wir behandelt haben, wusste er irgendetwas Krasses. Fast schon gruselig . . . Mit den ganzen Infos trat er sehr professionell auf – und stylisch. Beim Hausmusikabend überzeugte er uns mit seinem Outfit als Philipp Amthor. Zusammen mit Jonathan waren die beiden bei der Wasserschlacht ein gefährliches Duo, auch wenn sie sich glücklicherweise häufig gegenseitig ins Visier nahmen.

Sylvia Komisch, brutal laut, mega sturköpfig, abartig schlau, . . . so kann man sich Sylvia vorstellen. Ihre total komische Obsession mit ihren absonderlichen Büchern von noch komischeren Autoren ist etwas wunderlich, aber sonst ist sie normal. Sie spielt Geige, liest Zeitung, strickt und häkelt viel. Normale Sachen für 15-Jährige halt. Aber da hört es nicht auf: Wenn jemand fragt, warum sie so laut spricht, liegt es immer an den „polnischen Genen“. Im Allgemeinen ist sie jedoch eine ganz Liebe.

Yannick Er beeindruckte den Kurs immer wieder mit seinem fachlichen Vorwissen, aber auch mit seinen kreativen Ideen zur Benennung unserer Mission sowie deren Bestand-

teile. „Disappointment“ sollte der Rover zu seiner Enttäuschung aber doch nicht heißen. Zusammen mit Josch brachte er die Erde zum Platzen. Vielleicht lag das auch an seiner Liebe zu Volleyball.

Jonathan Jonathan – der Toffifeesektenführer war ein bereitwilliger Unterstützer jeglicher „sicherer“ Experimente. Ob mit 230 Volt gegrillte Essiggurken, Kratern von aus 12 m Höhe abgeworfenen Gewichten oder spannenden, explosiven Wasserraketenstarts, Jonathan sorgte immer für Spaß im Kurs. Dabei präsentierte er einen Modestil, der sich auch von Gendernormen nicht beirren ließ. Im ständigen Duell mit den anderen Kursen schreckte er auch nicht vor Wasserbomben und Panzertape zurück. Er begeisterte in allen möglichen Bereichen, sogar bei der Häkeln-KüA: Er häkelte mutig bis zum Ende mit und schuf für alle Kursmitglieder eine kleine Erinnerung in Form eines gelben Armbands.

Tobi Allein mit der Aufgabe, Teil der Akademieleitung zu sein, hatte Tobi schon alle Hände voll zu tun. Doch er schaffte es trotzdem, ein toller Kursleiter zu sein – auch wenn sein Namensschild oft die falsche Rolle anzeigte. Er war immer voll für uns da, sorgte für ein angenehmes „Arbeits“klima, unterstützte uns mit fachlichem Wissen und ertrug tapfer seine Rolle als Toffifee-Lieferant.

Franziska Zwar stieß Franzi erst ein paar Tage nach Beginn der Akademie zu uns, schaffte es aber innerhalb kürzester Zeit, dass wir sie alle ins Herz schlossen. Schnell verfiel sie dem Akademiefieber, half tatkräftig bei Experimenten jeglicher Art und stellte zugleich ihr unglaubliches Wissen unter Beweis – und das nicht nur in der Astronomie. Mit Moritz war sie ein Traumpaar und sorgte mit ihren Sprüchen für einige Lacher.

Moritz Moritz war nicht nur ein guter Mentor, sondern auch ein toller Freund (das ist er natürlich immer noch). Mit viel Geduld ging er gerne auch auf schwierige Fragen ein; er sollte wirklich mal unseren Lehrern klarmachen, wie man komplizierte Dinge

erklärt . . . Und dann sorgte er noch immer für gute Stimmung und zugleich dafür, dass wir nicht den Fokus verloren. Es gab keine Idee, die zu verrückt war, um sie mit ihm zu besprechen.

Wir heben ab, nichts hält uns am Boden . . .

JONATHAN WEIHING

Ob bei wissenschaftlichen Versuchen in der Pause, die spontan zur Überprüfung der Newtonschen Gesetze genutzt wurde, oder bei der Planung unserer eigenen Mission, es ging für den diesjährigen Astrokurs hoch hinaus, vom Dach des LSZU1 bis zu Europa, einem Mond des Jupiter.

Dabei haben wir uns mit Kepler, Ellipsen, Sternentwicklung, Gravity Assists und vielem mehr aus der Astronomie und Raumfahrt beschäftigt. Natürlich mussten alle während der Theorieeinheiten gut mit Essen (und viel Nervennahrung) versorgt werden, weshalb ich als Schülermentor öfters in der Küche des LSZU1 stand und Karotten oder Gurken schälte – wobei die ein oder andere Toffifeepackung während der Kurszeit auch nicht fehlen durfte. Während der Praxiseinheiten war außerdem Musik (ob ABBA, Queen oder Rock und Pop) angesagt. Mit der Zeit hatten wir ein eigenes Arsenal an Kursliedern, die über den Campus und in unserem Kursraum hallten, zusammengestellt: Major Tom, Astronaut, Astronaut in The Ocean, Astronomia.

Dabei durfte auch der Spaß nicht zu kurz kommen. Natürlich wurden nur relevante und seriöse Dinge im Kurs bearbeitet und besprochen, zum Beispiel, wie man einen Frosch oder Menschen mithilfe eines Magnetfeldes fliegen lassen kann, oder wie viele Toffifee man bräuchte, um ein Toffifee ins Weltall zu schießen. Da über die zwei Wochen hinweg ca. 500 Toffifee vernichtet wurden, hätten wir mit deren Energie 174 zusätzliche Toffifee ins All schießen können.

Obwohl wir uns viel mit Energie beschäftigt haben, war die Motivation, in den Frühsport zu gehen, nicht immer vorhanden – was uns den Sieg im Sportfest gekostet hat! Jedoch waren

während der Theorieeinheiten, bei der Anwendung der Theorie, bei der Planung der eigenen Mission TOFFIFEE, bei Versuchen und bei der gesamten Kursarbeit alle voller Elan und Energie dabei, und wir haben zusammen viel gelernt und Spaß gehabt.

Die sehr interessanten Resultate unseres Kurses und der Versuche, die wir während der Zeit in der Akademie durchgeführt haben, stellen wir in dieser Doku vor.

Sternentwicklung

MARIA KOPETZKI

Protosterne

Sterne entstehen aus Gaswolken, die vor allem aus Wasserstoff und Helium bestehen. Hat sich ein Klumpen geformt, zieht dessen Gravitation mehr und mehr Masse an, bis eine dichte heiße Kugel entsteht, ein Protostern. Das angezogene Material kreist in einer Scheibe, der protoplanetaren Scheibe, um den Protostern herum und wird in einer Spirale langsam zur Mitte gezogen. Wenn nicht das gesamte Material der Scheibe tatsächlich vom Stern aufgenommen wird, entstehen aus ihr später auch Planeten, und zwar nach demselben Prinzip wie der Stern selbst: Eine Ansammlung von Materie, die um den Stern rotiert, sammelt weitere Masse der protoplanetaren Scheibe auf. Die Objekte, die dabei entstehen, haben jedoch im Vergleich zum Zentralgestirn nur einen sehr geringen Teil der Masse.

Während der Protostern Masse ansammelt, wird er im Inneren immer heißer. Erreicht die Temperatur in seinem Kern eine Million Kelvin¹, zündet die Kernfusion, und er wird zu einem Stern. Kann ein Protostern jedoch nicht genügend Masse ansammeln, wird es in seinem Inneren nicht heiß genug, um Kernfusion zu betreiben. Da er so nur wenig Energie gewinnen kann, wird er niemals zu einem Stern. Er

¹Die Kelvin-Skala ist eine Temperaturskala, die vor allem in der Wissenschaft verwendet wird. Sie hat die gleichen Gradabstände wie die Celsius-Skala, allerdings ist sie so verschoben, dass 0 Kelvin $-273,15\text{ °C}$ entsprechen.

bleibt ein heißer, kaum leuchtender Gasball, den man Braunen Zwerg nennt.

Sterne der Hauptreihe

Die sogenannte Hauptreihe stellt alle Sterne von Roten Zwergen bis Blauen Riesen dar. Auch unsere Sonne befindet sich auf der Hauptreihe. Rote Zwerge sind Sterne, die gerade so eine Kerntemperatur von einer Million Kelvin erreicht haben. Sie sind nur ungefähr halb so massereich wie unsere Sonne und so kalt, dass sie eine Lebensdauer von mehr als 14 Milliarden Jahren haben. Die niedrige Kerntemperatur sorgt für die lange Lebensdauer, da gilt: Je heißer ein Stern ist, desto schneller verbrennt er seinen Treibstoff und stirbt. Aufgrund dieser langen Lebensdauer ist seit der Entstehung des Universums noch kein Roter Zwerg gestorben.

Das andere Extrem sind die Blauen Riesen, Riesensterne mit 10- bis 50-facher Sonnenmasse. Da sie sehr massereich sind und ihren Brennstoff viel schneller verbrennen, haben sie nur eine Lebensdauer von ein paar Millionen Jahren. Durch die hohe Temperatur auf ihrer Oberfläche erscheinen sie für uns blau.

Kernfusion und Rote Riesen

Um zu verstehen, wie Sterne funktionieren und warum sie sich im Verlauf ihres Lebens verändern, muss man sich die Vorgänge im Kern genauer ansehen: Im Kern eines Hauptreihensterns fusionieren Wasserstoffatome (bzw. Protonen) zu Helium. Dabei besitzen die Heliumatome weniger Masse als die Wasserstoffatome, die jeweils zu ihrer Herstellung benötigt wurden. Die Massendifferenz wird als Energie abgestrahlt und der Stern leuchtet. Gemäß der Äquivalenz von Masse und Energie aus der Relativitätstheorie ($E = mc^2$) wird selbst bei einer geringen Massendifferenz sehr viel Energie frei, die als Strahlungsdruck nach außen drückt. Gleichzeitig zieht sich der Stern durch seine eigene Gravitation zusammen.

Solange sich diese beiden Kräfte ausgleichen, bleibt der Stern gleich groß. Gibt es im Inneren des Sterns jedoch keinen Wasserstoff mehr, der fusionieren kann, zieht sich der Stern zusammen, bis der Druck und die Temperatur so

groß sind, dass nun das Helium beginnt zu fusionieren. Dadurch steigt der Druck im Inneren des Sterns stark an, und die Hülle des Sterns bläht sich auf – ein Roter Riese entsteht. Ist auch das Helium im Kern aufgebraucht, zieht der Stern sich erneut zusammen, bevor er sich bei der Fusion des nächst schwereren Elements wieder aufbläht. In massereichen Sternen kann dieser Prozess viele Male passieren. Hat der Stern jedoch nicht genügend Masse, um beim Aufblähen mit seiner Gravitation dem Strahlungsdruck entgegenzuwirken, verflüchtigt sich seine Hülle einfach und zurück bleibt nur sein Kern. Diese Hülle nennt man Planetarischen Nebel, den Kern nennt man Weißen Zwerg. Spätestens bei der Fusion von Eisen stirbt der Stern in jedem Fall, weil dabei mehr Energie verbraucht als gewonnen wird.

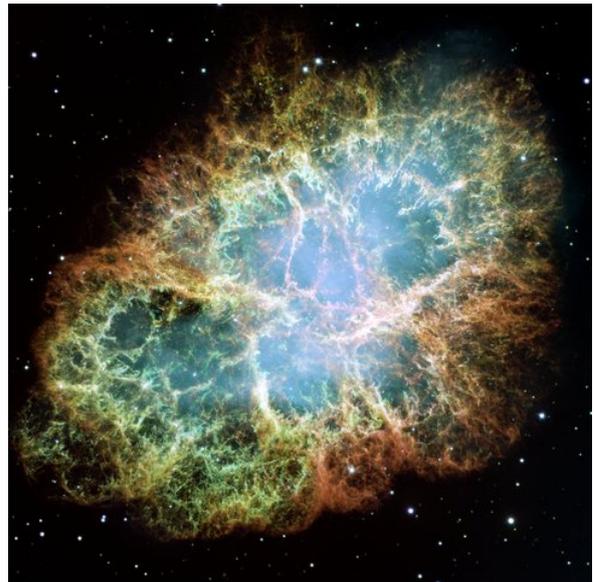
Weiße Zwerge

Weiße Zwerge bestehen aus denjenigen Elementen, die zuletzt im Stern fusioniert wurden. Das muss nicht unbedingt Eisen sein, da der Stern, wenn er zu wenig Masse hat, seine Hülle schon früher verliert. Obwohl Weiße Zwerge nur etwa so groß wie die Erde sind, sind sie trotzdem fast so schwer wie die Sonne. Im Gegensatz zu Sternen haben sie keine eigene Energiequelle mehr, sind aber als ehemaliger Kern eines Sterns immer noch so heiß, dass sie weiß glühen. Sie kühlen nach ihrer Entstehung über Milliarden von Jahren langsam ab. Wissenschaftler vermuten, dass ein Weißer Zwerg, der vollständig abkühlt, zu einem Schwarzen Zwerg wird. Da Schwarze Zwerge aber nicht mehr leuchten und man sie deshalb nicht beobachten kann, ist diese Theorie bisher noch nicht bestätigt worden. Nur aufgrund ihrer Gravitation und der Ablenkung von Masse in ihrer Nähe könnte man Schwarze Zwerge ausmachen.

Supernovae

Nicht verwechseln sollte man Schwarze Zwerge mit Schwarzen Löchern. Diese entstehen durch eine völlig andere Art des Sterbens eines Sterns, der Supernova. Supernovae haben eine Kerntemperatur von 500 Milliarden Kelvin. Wenn ein sterbender Stern massereich genug ist, um zu einer Supernova zu werden, wur-

de das schwerst mögliche Element, Eisen, fusioniert. Der Kern überhitzt, und es kommt zu einer riesigen Explosion, welche so hell wie das Zentrum einer Galaxie ist. Im Inneren des Sterns wird es dabei für kurze Zeit so heiß, dass Eisen sehr schnell zu immer schwereren Elementen fusioniert, die dann bei der Explosion ins All geschleudert werden.



Der Krebsnebel, Überrest einer Supernova um 1054 n. Chr.²

Jedes Element im Universum, das schwerer ist als Eisen, ist in einer Supernova entstanden. Das bedeutet auch, dass es uns ohne Supernovae gar nicht gäbe, da dort lebenswichtige Elemente entstehen, die wir in unserem Körper benötigen. Ebenso ist alles Gold, das auf der Erde und im Universum existiert, vor langer Zeit in solchen Supernovae entstanden.

Obwohl bei Supernovae viele neue Elemente gebildet werden, können sie ein Problem für die Zukunft des Weltalls nicht lösen: Da Sterne aus Wasserstoff entstehen, können aus den schweren Elementen, die bei der Kernfusion und beim Sterben von Sternen freigesetzt werden, keine neuen Sterne gebildet werden. Es kann also gut sein, dass es in ferner Zukunft irgendwann dunkel im Universum wird.

²Bild: Hubblesite, NASA, ESA, J. Hester und A. Loll (Arizona State University)

Neutronensterne

Nach einer Supernova ist der Kern des Sterns noch so schwer, dass er von seiner eigenen Masse zusammengedrückt wird. Es kann ein Neutronenstern entstehen. Ein Sandkorn eines solchen Neutronensterns wiegt so viel wie vier Golden Gate Bridges. Die Gravitation in einem Neutronenstern ist so stark, dass die negativ geladenen Elektronen in die positiven Atomkerne gedrückt werden und zusammen mit den dort vorhandenen Protonen zu Neutronen werden. Daher stammt auch der Name Neutronenstern.

Schwarze Löcher

Auch bei der bisher wahrscheinlich faszinierendsten Erscheinung unseres Universums spielt Gravitation eine große Rolle: Schwarze Löcher. Diese können bei besonders schweren Sternen ebenfalls aus einer Supernova entstehen und können je nach Größe des gestorbenen Sterns mehrere Sonnenmassen schwer sein. Allerdings können Schwarze Löcher auch anders entstehen. Die drei häufigsten Möglichkeiten sind:

1. Ein Stern mit über 25 Sonnenmassen explodiert in einer Supernova. Der Kern wird dann statt zu einem Neutronenstern zu einem Schwarzen Loch.
2. In einem Doppelsternsystem werden beide Sterne zu Neutronensternen. Sie kreisen mit der Zeit immer enger umeinander, bis sie kollidieren und ein Schwarzes Loch entsteht.
3. Viele der bis jetzt entdeckten Schwarzen Löcher sind so alt, dass man davon ausgeht, dass sie beim Urknall entstanden sind. Wie genau dies geschehen konnte, weiß man bis heute noch nicht.

Schwarze Löcher können sich auch gegenseitig schlucken, sodass Schwarze Löcher von bis zu 40 Milliarden Sonnenmassen entstehen können. Wenn man ein Schwarzes Loch beobachtet, sieht man jedoch nicht das Schwarze Loch selbst, sondern nur das Gebiet außerhalb seines Ereignishorizonts. Der Ereignishorizont ist die Grenze um ein Schwarzes Loch herum, innerhalb der selbst Licht der enormen Gravitationskraft nicht mehr entkommen kann. Der Durchmesser des Ereignishorizonts hängt von

der Masse des Schwarzen Loches ab (im Schnitt etwa sechs Kilometer pro Sonnenmasse). Allerdings geht man davon aus, dass das „eigentliche Schwarze Loch“, also dort, wo die gesamte Masse konzentriert ist, nur die Größe eines Stecknadelkopfes hat. Da Licht, das den Ereignishorizont passiert, nicht zu uns zurückkehrt, können wir das „Innere“ eines Schwarzen Lochs nicht beobachten.



Ein Schwarzes Loch mit Ereignishorizont³

Was passiert aber, wenn man in ein Schwarzes Loch hinein fliegen will? Newtons Gravitationsgesetz besagt: Die Gravitation um einen Körper nimmt quadratisch mit der Entfernung ab; das gilt auch für Schwarze Löcher. Da die Gravitation eines Schwarzen Loches jedoch so stark ist, ist in seiner Nähe der Unterschied der Gravitationskraft bei verschiedenen Abständen auch sehr groß. Das heißt: Wenn man mit den Füßen voran auf ein Schwarzes Loch zufliegen würde, würden die Füße eine deutlich größere Gravitationskraft erfahren als der Rest des Körpers, und man würde wie Spaghetti in die Länge gezogen. Der berühmte Wissenschaftler Stephen Hawking erfand für diesen Prozess die Bezeichnung „Spaghettifizierung“.

Himmelsglobus

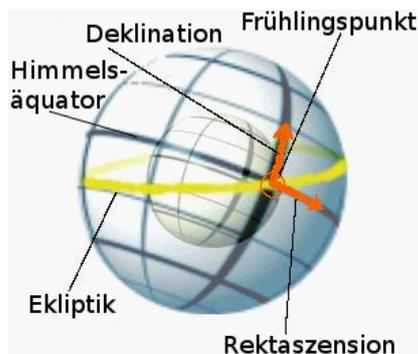
SEBASTIAN CONRAD

Die Position der Sterne am Himmel verändert sich über den Tag hinweg, da sich die Erde um sich selbst dreht und die Sterne somit wie die Sonne auf- und untergehen. Um Sternpositionen dennoch einfach beschreiben zu können, braucht man ein Koordinatensystem, das sich nicht mit der Zeit ändert: den Himmelsglobus.

³Abbildung: NASA/JPL-Caltech

Den kann man sich als eine Art durchsichtige Kugel vorstellen, in deren Mittelpunkt sich die rotierende Erde befindet. Dabei ist der Himmelsglobus selbst fix im Raum, d. h. er rotiert nicht mit. Die verlängerte Erdachse läuft sowohl durch den Nord- als auch den Südpol des Himmelsglobus. Auf der Kugel haben die Sterne feste Positionen, so als wären sie von innen auf die Kugeloberfläche gemalt (s. Abb.).

Von der Erde betrachtet sieht der Himmelsglobus also wie der Nachthimmel aus. Jeder Stern hat fest zugeordnete Koordinaten auf dem Himmelsglobus. Das Koordinatensystem ähnelt dabei dem der Erde: Es gibt Längengrade, die **Rektaszension** (kurz: RA), und Breitengrade, die **Deklination** (kurz: dec).



Darstellung des Himmelsglobus. Die Rektaszension ähnelt den Längengraden des Erdkoordinatensystems, die Deklination den Breitengraden.⁴

Die **Rektaszensionslinien** verlaufen vom Nordpol des Himmelsglobus durch zum Südpol. Diese werden nicht wie beim Erdkoordinatensystem in Grad, sondern in Stunden angegeben. Wenn wir am 21. März, der Tagundnachtgleiche im Frühling, mittags, wenn die Sonne im Zenit steht, senkrecht vom Erdäquator aus nach oben blicken, sehen wir die Sonne in der Rektaszension von 0 h stehen. Wenn wir eine Stunde später wieder senkrecht nach oben blicken, sehen wir die Rektaszensionslinie von 1 h; wieder eine Stunde später eine Rektaszension von 2 h usw. Die Sonne wandert dabei mit der 0-h-Linie über den Himmel. Da ein Tag bzw. eine Erdrotation 24 h dauert, gibt es auch 24 dieser Linien, die in gleichen Abständen über den Himmelsglobus verlaufen. So kann man jedem

Stern eine Rektaszension in Stunden, Minuten und Sekunden zuordnen. Die Rektaszension eines Sterns bleibt über das ganze Jahr hinweg gleich. Einzig die Sonne bildet eine Ausnahme: Wegen der Erdrevolution um die Sonne verschiebt sich deren Rektaszension. Ein halbes Jahr nach der Tagundnachtgleiche im Frühling, an der Tagundnachtgleiche im Herbst, steht die Sonne am gegenüberliegenden Punkt, also an einer Rektaszension von 12 h. Somit ergeben sich die Werte in der Tabelle auf Seite 14.

Die **Deklinationenlinien** verlaufen von Osten nach Westen. Sie werden wie beim Erdkoordinatensystem in Grad angegeben. Die Deklination von 0° ist genau über dem Äquator, 90° über dem Nordpol und -90° über bzw. unter dem Südpol der Erde. Auch die Deklination der Sterne bleibt über das ganze Jahr hinweg gleich, nur die Sonne bildet wieder eine Ausnahme: Durch die Neigung der Erdachse von ca. $23,5^\circ$ gegenüber der Umlaufbahn um die Sonne verschiebt sich die Deklination der Sonne im Lauf des Jahrs. An den Tagundnachtgleichen hat die Sonne eine Deklination von 0° . Zur Sommer Sonnenwende hin nimmt ihre Deklination zu, bis sie die $23,5^\circ$ des nördlichen Wendekreises erreicht und wieder abnimmt. Zur Winter Sonnenwende hin nimmt ihre Deklination ab, bis sie die $-23,5^\circ$ vom südlichen Wendekreis erreicht und wieder zunimmt.

Bei der **Himmelsbeobachtung** ist schließlich einiges zu beachten: Der Beobachter darf nicht im Sonnenlicht stehen, da dieses sonst das Licht der Sterne übertönt, d. h. es muss bei der Beobachtung Nacht sein und der Stern muss mindestens ca. 3 h vor der Sonne aufgehen oder nach der Sonne untergehen. Außerdem hat ein Beobachter von der Erde nur eine Blickweite von ca. 130° , d. h. die Deklination des Sterns muss in diesem Blickwinkel liegen. Wenn man z. B. auf dem Erdäquator steht, kann man Sterne mit einer Deklination von -65° bis 65° erblicken.

Diese Blickweite hängt natürlich auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Erde ab (z. B. blockieren Berge die Sicht). Nun lässt sich die Sichtbarkeit von Sternen mithilfe von deren Koordinaten, dem Breitengrad des Beobachtungspunkts und der aktuellen Rektaszension der Sonne überprüfen:

⁴Abbildung: Wikipedia (Wikimedia-User Cmglee, Ulrich.fuchs und Sverdrup, CC BY-SA 4.0)

	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb
RA Sonne	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	14 h	16 h	18 h	20 h	22 h

Rektaszension der Sonne im Verlauf des Jahres

Derzeitige Rektaszension der Sonne (Anfang Oktober): ca. 13 h

Unser Beobachtungspunkt: Adelsheim, Breitengrad ca. 49°

Blickweite: -16° sonnenabgewandte Seite über den Himmelsnordpol bis 66° sonnenzugewandte Seite

Die Ergebnisse dieser Überlegungen sind für einige ausgewählte Sterne und Konstellationen in der Tabelle auf Seite 15 zu sehen.

Wegen ihrer Bewegung um die Sonne lässt sich für die Planeten keine feste Rektaszension und Deklination angeben.

Teleskope

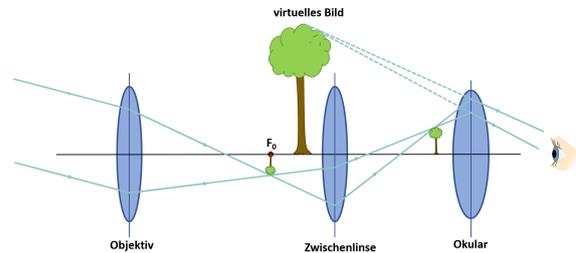
JONA SCHNIRCH

Um die Funktionsweise von Teleskopen zu verstehen, muss man sich zuvor über die Gesetze der Optik informieren.

Um eine Vergrößerung eines Bildes zu erhalten, kann man zum Beispiel Linsen verwenden. Hierbei muss man zwischen Sammellinsen und Streulinsen unterscheiden: Sammellinsen bündeln parallel einfallende Lichtstrahlen auf einen zentralen Punkt in der sogenannten Brennebene. Streulinsen hingegen streuen das Licht in verschiedene Richtungen. Mit Hilfe beider dieser Linsenarten kann man eine Vergrößerung erreichen, in einfachen Teleskopen verwendet man aber ausschließlich Sammellinsen.

Funktionsweise

Anhand der Abbildung lässt sich die Funktionsweise eines einfachen Teleskops gut erklären: Zur Vereinfachung stellt man sich vor, dass von dem höchsten Punkt des zu beobachteten Objekts (hier zum Beispiel ein Baum) Lichtstrahlen ausgehen und dann in die erste Linse, das Objektiv, fallen. Dort werden die Strahlen gebündelt, und es entsteht ein reelles Zwischenbild. Auch von diesem gehen die Strahlen vom höchsten Punkt aus und fallen durch die Zwi-



Modell der Linsen in einem Kepler-Teleskop mit einer zusätzlichen Zwischenlinse zur Bildumkehrung. Das Licht des Objekts fällt von links ein, wird im Teleskop mehrfach gebrochen und fällt dann ins Auge.

schenlinse auf das Okular. Nachdem sie hier erneut gebrochen und gebündelt wurden, fallen die Strahlen in das Auge. Je steiler die Strahlen letztlich in das Auge fallen, desto größer ist auch das Bild auf der Netzhaut, und desto größer erscheint das Objekt.

Tatsächlich geht unser Gehirn davon aus, dass die Lichtstrahlen immer geradlinig verlaufen und nicht gebrochen werden. Es verlängert die einfallenden Strahlen also nach hinten zu einem virtuellen Bild. Die Zwischenlinse sorgt dafür, dass das Objekt seitenrichtig auf unsere Netzhaut auftrifft. Somit kann ein solches Teleskop auch gut für Beobachtungen auf der Erde eingesetzt werden.

Unterschiedliche Teleskoparten

Das erste Teleskop wurde 1608 von Hans Lipperhey erfunden. Dieses Fernrohr wurde kurz nach seiner Erfindung von Galileo Galilei weiterentwickelt, deshalb heißt es heute auch „Galilei-Fernrohr“. Es basiert auf dem oben beschriebenen Prinzip der Lichtbrechung und zählt somit zu den Linsenteleskopen.

Neben den Linsenteleskopen gibt es noch die Spiegelteleskope. Spiegelteleskope sind in ihrer Funktionsweise mit den Linsenteleskopen so gut wie identisch. Der einzige Unterschied: Die Linsen werden teilweise durch einen Sammelspiegel ersetzt. Ein Sammelspiegel bündelt par-

Name	RA	dec	Sichtbarkeit	Bemerkung
Andromeda	0 h 42 min	41° 16'	+	ungefähr gegenüber der Sonne
Kreuz des Südens	11 h 56 min	-64° 41'	-	geht nur ca. 1 h früher als die Sonne auf; zu weit südlich
Zentr. d. Milchstraße	17 h 45 min	-29° 0'	-	zu weit südlich
Algol	3 h 8 min	40° 57'	+	geht viel früher als die Sonne auf
Rigel	5 h 14 min	-8° 12'	+	knapp über dem Horizont, da sehr südlich
Giausar	11 h 31 min	69° 20'	+	trotz ähnlicher RA wie die der Sonne nachts sichtbar (über den Nordpol hinüber)

Sichtbarkeit verschiedener Sterne und Konstellationen im Oktober von Adelsheim aus.

allel auftreffenden Lichtstrahlen ähnlich wie die Sammellinse auf einen zentralen Punkt. Spiegel haben im Gegensatz zu Linsen mehrere Vorteile: Sie sind günstiger in der Herstellung und können deutlich größere Durchmesser haben, sodass sie auch lichtschwächere Objekte abbilden können.

Eine besondere Art der Spiegelteleskope stellen die Radioteleskope dar. Mit ihnen kann man Radiowellen empfangen und senden und auch weit entfernte Objekte detektieren und analysieren.



Foto des Teleskops, mit dem wir Jupiter und seine Monde fotografiert haben.

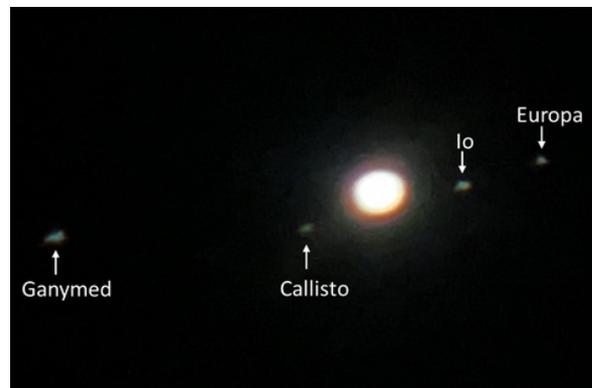
Eigene Beobachtungen

Um die Theorie zu veranschaulichen, bauten wir uns aus Bausätzen jeder ein eigenes Keplerteleskop (s. Foto).



Unser selbstgebautes Keplerteleskop

Mit unseren selbst gebauten und einigen großen Teleskopen der Schule (s. Foto) beobachteten wir am Abend neben unserem Mond und Saturn noch Jupiter mit seinen vier größten Monden Io, Callisto, Ganymed und Europa.



Eigenes Foto von Jupiter mit seinen vier größten Monden Io, Callisto, Ganymed und Europa.

Satelliten und Raumsonden

JOSCH KRÄMER

Zu Beginn jeder Kursschiene schauen wir uns ein Foto einer Raumsonde oder eines Satelliten an. Wir wollten hierbei mithilfe der Struktur auf die Funktion schließen, und uns die Aufgaben der Satelliten anhand des Aussehens herleiten. Dieses Prinzip von Struktur und Funktion zieht sich durch die gesamte Raumfahrt und beeinflusst das Aussehen von Satelliten maßgeblich.

Strukturell besonders auffällig ist die Aerodynamik einer Sonde, die vor allem vom Einsatzort abhängt. Eine Sonde, die sich in einem niedrigen Erdborbit befindet, muss aerodynamisch gestaltet werden, um den Treibstoffverbrauch zu minimieren. Ein Satellit, bei dem genau dies besonders deutlich wird, ist GOCE. Wie man im Bild erkennen kann, wurde er aerodynamisch günstig gestaltet, um den Treibstoffbedarf so weit wie möglich zu reduzieren. Satelliten, die weiter von der Erde entfernt sind, wo es keine Atmosphäre gibt, müssen diese Korrekturen nicht machen.



Der GOCE Satellit zum Vermessen des Erdschwerefelds⁵

Außerdem sticht die Stromversorgung besonders hervor. Heutzutage sind vor allem zwei Systeme verbreitet. Die mit Abstand am häufigsten genutzte Technologie sind Solarpaneele, die mithilfe des Sonnenlichts Strom erzeugen. Sie werden auch bei unserer Sonde eingesetzt. Das gleiche Prinzip nutzen auch Photovoltaikanlagen auf der Erde. Bei extrem großer Ent-

fernung von der Sonne oder wenn das Bescheinen der Solarpaneele nicht immer gewährleistet werden kann, dann kommt die zweite wichtige Technologie, der Radioisotopengenerator, zum Einsatz, den auch unser Rover verwendet. Der Radioisotopengenerator nutzt die Wärme, die beim Zerfall radioaktiven Plutoniums entsteht, um damit Strom zu erzeugen. Im Bild ist der Radioisotopengenerator links außen an der New-Horizons-Sonde zu sehen. Bekannte Raumsonden, die einen solchen Radioisotopengenerator nutzen, sind Voyager 1+2 und New Horizons.



Aufbau und Test der New Horizons-Sonde⁶

Wie die Sonde im Bild verfügen viele Sonden über einen Überzug aus reflektierender Folie, der die Sonde vor den schädlichen Folgen der kosmischen Strahlung, wie z. B. Überhitzung, schützt.

Auch der Antrieb beeinflusst die Form eines Satelliten. Beim Antrieb von Raumsonden gibt es verschiedene Systeme, von denen wir uns zwei näher angesehen haben. Zum einen wäre hier das chemische Triebwerk zu nennen und zum anderen das Ionentriebwerk, das auch vom GOCE-Satelliten genutzt wird.

Dies waren allerdings nur die häufigsten Eigenschaften von Satelliten, denn der Vielfalt von Sonden und Satelliten sind keine Grenzen gesetzt. Viele Satelliten sind individuell und haben aufgrund ihrer speziellen Aufgaben ein unkonventionelles Aussehen.

Ein herausragendes Beispiel dafür ist DART von der NASA (siehe Bild). Die Aufgabe von

⁵Abbildung: ESA

⁶Abbildung: NASA

DART war es zu testen, inwieweit man mit der heutigen Technik einen für die Erde potentiell gefährlichen Asteroiden auf seiner Bahn ablenken kann, um eine Kollision mit der Erde zu vermeiden. Dafür wurde die etwa 500 kg schwere Sonde absichtlich auf den Asteroidenmond Dimorphos gelenkt, um durch den Einschlag seine Bahn zu verändern.



Darstellung des Anflugs von DART auf Dimorphos⁷

Am 26. 9. 2022 schlug DART ein und konnte die Geschwindigkeit des Asteroidenmondes reduzieren. Im Jahr 2024 soll die ESA-Mission Hera starten, die dann den genauen Erfolg von DART vermessen wird.

Ein weiterer interessanter Satellit ist die im nächsten Bild zu sehende Rückkehrkapsel des Satelliten Zenit, der von der Sowjetunion gebaut wurde. Dieser zwischen 1961 und 1994 genutzte Satellit diente der Spionage. Wie man von außen gut erkennt, hat der Zenit mehrere große Kameraöffnungen, die das Beobachten von fremden, wichtigen Einrichtungen möglich machten. Satelliten dieses Typs wurden mehrere hundert Mal gestartet und hatte immer eine Operationsdauer von etwa ein bis zwei Wochen. Dann kehrte er zurück zur Erde, um das analog aufgezeichnete Bildmaterial zu sichten und auszuwerten. Die Struktur der Rückkehrkapsel war ganz darauf ausgerichtet, aerodynamisch zu sein. Daher wurden abstehende Teile wie etwa Solarpanele vor dem Wiedereintritt in die Erdatmosphäre abgetrennt.

Durch das Nachvollziehen, welche Funktion ein bestimmtes Teil der Sonde erfüllt und weshalb es verbaut wurde, konnten wir eine Menge über diese lernen. Die Kriterien, an denen wir die

⁷Abbildung: NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben

Funktion der Sonde bestimmen können, helfen uns dabei, unsere Mission zu planen.



Rückkehrkapsel Spionagesatellit Zenit⁸

Weltraumschrott

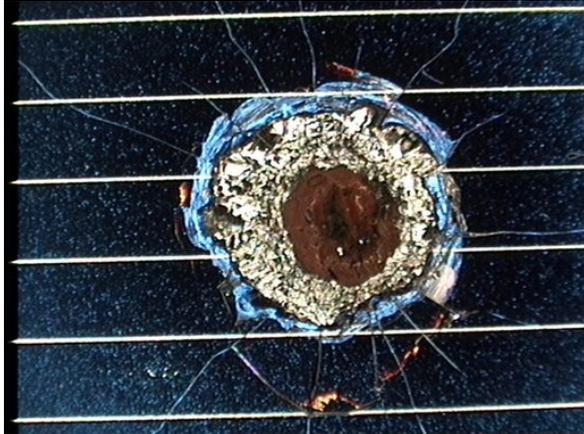
YANNICK LEUTE

Unsere Sonde würde auf ihrem Flug zu Europa vielen Gefahren ausgesetzt sein, das war uns schon von Anfang an klar. Es könnten zum Beispiel wichtige Systeme auf dem weiten Flug zu Europa kaputt gehen oder die Bremstriebwerke beim Einschwenken in den Orbit oder bei der Landung nicht zünden. Aber eine externe große Gefahr für unsere Sonde erwartet uns noch ganz nah an unserer Erde: Weltraumschrott. Das sind Splitter oder Fragmente von vorherigen Weltraummissionen oder kaputten Satelliten bzw. ganze Raketenstufen, die antriebslos unsere Erde umkreisen. Der Großteil des Weltraumschrotts sammelt sich dabei im sogenannten geostationären Orbit.

Das Problem bei Weltraumschrott ist, dass sich die Teilchen mit Geschwindigkeiten von teilwei-

⁸Abbildung: Wikimedia (Maryanna Nesina, CC BY-SA 3.0)

se über 10 km/s bewegen. Bei einem Einschlag würde sogar ein kleines Teilchen trotz geringer Masse und Größe ein erhebliches Loch in unsere Sonde reißen. Dies kann man auf dem zugehörigen Bild sehen, einem Foto eines Einschlagskraters auf einem Solarpanel von Hubble.



Einschlagskrater eines Weltraumschrottteilchens in Solarpanel⁹

Sollte eines dieser größeren Teile unsere Sonde treffen, wäre die Mission verloren, bevor sie überhaupt richtig begonnen hat. Um unsere Mission vor Weltraumschrott zu schützen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Weltraumschrott ab einer Größe von ca. 10 cm wird von einem System aus Teleskopen und Radaranlagen überwacht, sodass man bei der Gefahr einer Kollision rechtzeitig ausweichen kann. Gegen Weltraumschrott von unter 3 cm kann man die Sonde mit Schilden schützen. Wirklich gefährlich sind also vor allem die Teile zwischen 3 und 10 cm, weil Schilde dagegen nicht mehr wirkungsvoll sind und man sie nicht von der Erde aus detektieren kann.

Jedoch haben wir uns nicht nur mit dem Problem beschäftigt, was das für unsere Sonde bedeutet, sondern wir stellten uns auch die Frage, wie wir das Anhäufen von Weltraumschrott in Zukunft vermeiden können und wie wir mit schon existierendem Weltraumschrott umgehen können. Zur Vermeidung gibt es unterschiedliche Ansätze. Aus der realistischen Betrachtung, dass bei Raumfahrt meistens Weltraumschrott entsteht und die Raumfahrt nicht enden wird,

⁹Abbildung: ESA

kann man nun entweder dafür sorgen, dass dieser Weltraumschrott nicht stört und sich dort befindet, wo er keinen Schaden anrichtet, oder man versucht nach Möglichkeit, ihn zu vermeiden.



Darstellung von Weltraumschrott um unsere Erde¹⁰

Eine Möglichkeit, um dafür zu sorgen, dass der Weltraumschrott nicht stört, ist ein Friedhofsorbit, also ein Orbit, in den Satelliten zum Ende ihrer Lebenszeit eintreten müssen, um eine Kollision mit anderen Objekten zu vermeiden. Eine andere Option, Weltraumschrott zu vermeiden, sind wiederverwendbare Raketen, das heißt, dass man die Trägerraketen nicht einfach nur absprengt, sondern wie SpaceX landet und wiederverwendet, was auch ressourcensparend und somit nachhaltig ist, oder man lenkt die Raketen in die Atmosphäre, sodass sie dort verglühen.

Entfernung

Kann man den aktuell schon bestehenden Weltraumschrott entfernen? Dies erweist sich als schwierig. Es gibt Ideen, wie man mit einem großen Laser Weltraumschrott abbremsen könnte, bis er in der Atmosphäre verglüht, oder wie man großen Weltraumschrott mit speziell gebauten Satelliten einsammelt und in der Atmosphäre verglühen lässt. Eine erste Mission der ESA, ClearSpace-1, ist für das Jahr 2025 geplant. Mit seinem Greifarm soll dieser „Abschleppwagen“ Satelliten und größere Trümmer einsammeln und sich dann mitsamt diesen in die Atmosphäre stürzen. Eine dritte Überle-

¹⁰Abbildung: ESA

gung ist, dass man eine „Drehsehleuder“ ins All schicken könnte, die größeren Weltraumschrott einsammelt und dann Richtung Erde schleudert, sodass er in der Atmosphäre verglüht.



Darstellung von ClearSpace 1¹¹

Die oben genannte und andere Missionen befinden sich noch im Anfangsstadium der Entwicklung. Jedoch erwarten wir, dass das Thema in nächster Zeit deutlich relevanter wird, da mit der Zeit immer mehr Weltraumschrott entsteht.

Keplersche Gesetze und Ellipsen

KATHARINA FRONECK

Die Keplerschen Gesetze sind drei grundlegende Gesetze über die Bewegung der Planeten. Der Astronom Johannes Kepler (1571–1630) formulierte sie Anfang des 17. Jahrhunderts. Sie lauten:

1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Der Fahrstrahl vom Zentrum zum umlaufenden Körper überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
3. Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer großen Bahnhalbachsen.

Um die Gesetze besser zu verstehen, muss man zunächst wissen, was Ellipsen sind. Eine Ellipse ist eine geschlossene Kurve, welche die Form

eines gestauchten Kreises hat. Jede Ellipse hat zwei Brennpunkte (siehe die zwei Stöckchen in Abbildung). Ein Punkt liegt auf der Ellipsenlinie, wenn die Summe der Abstände zu den zwei Brennpunkten immer denselben Wert besitzt.

Wie sehr eine Ellipse einem Kreis oder einer Linie ähnelt, hängt von ihrer Exzentrizität ab, die immer zwischen 0 und 1 liegt. Hat eine Ellipse eine Exzentrizität von 0, ist sie ein Kreis. Hat eine Ellipse jedoch eine Exzentrizität von 1, ist sie eine Linie. Um das zu veranschaulichen, haben wir Ellipsen mithilfe der Gärtnerkonstruktion in eines der Volleyballfelder gezeichnet (s. Abbildung).



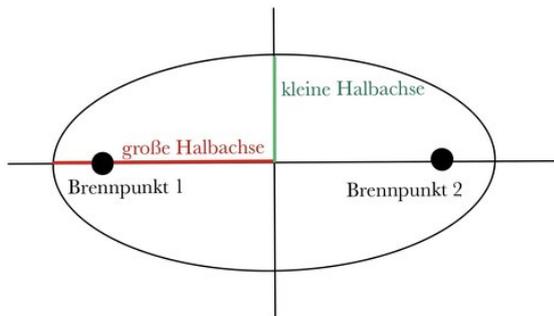
Ellipse im Sand: Unsere Ellipsen im Volleyballfeld in Adelsheim; die zwei Stöckchen in der Mitte bilden die zwei Brennpunkte

Sie funktioniert folgendermaßen: Als erstes schlägt man zwei Stöckchen, die als die zwei Brennpunkte dienen, in den Sand. Danach bindet man eine Schnur lose um die Stöckchen. Spannt man nun einen weiteren Stock in die Schnur und bewegt ihn bei gespannter Schnur um die Stöckchen herum, so bleibt der Umfang des entstehenden Dreiecks bzw. die Länge der Schnur gleich. Die Abstände zu den Brennpunkten werden also durch die Länge der Schnur zwischen dem beweglichen Stock und den Brennpunkten repräsentiert. Dadurch gilt auch für jeden Punkt auf der Ellipsenkurve, dass die Summe der Abstände zu den Brennpunkten konstant bleibt, da die Distanz der Brennpunkte (die eine Seitenlänge des Dreiecks) und der Umfang des Dreiecks sich nicht ändert.

¹¹Abbildung: ESA

Eine Ellipse hat eine große und eine kleine Halbachse. Man bezeichnet mit a die Länge der Hälfte der großen Halbachse und mit b die Länge der Hälfte der kleinen Halbachse (wie auch in der Abbildung eingezeichnet).

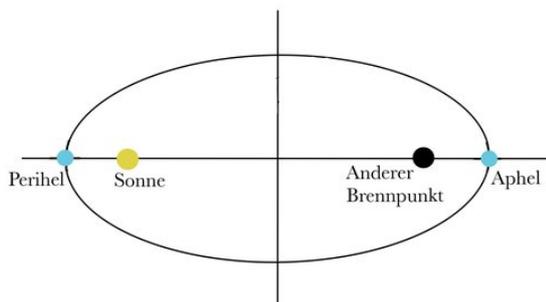
Mit diesem Verständnis kommen wir zurück zu Keplers Gesetzen.



Ellipse mit kleiner und großer Halbachse und zwei Brennpunkten

Das erste Keplersche Gesetz

Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen um ein Zentralgestirn, welches sich in einem gemeinsamen Brennpunkt aller Ellipsen befindet. In unserem Sonnensystem ist das die Sonne. Daraus kann man schließen, dass sich der Abstand der Planeten zur Sonne ständig ändert, weil der Brennpunkt nicht in der Mitte ist, da es keine Kreise sondern Ellipsen sind.



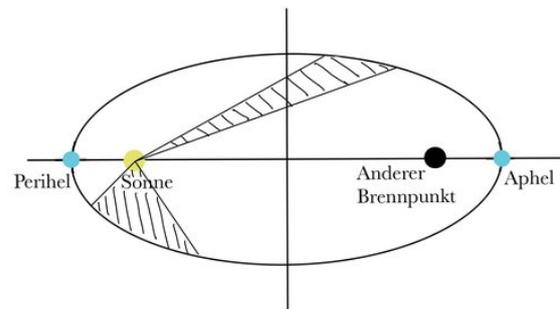
Erstes Keplersches Gesetz: Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen um die Sonne. Die Sonne ist dabei in einem Brennpunkt der Ellipse.

Am Perihel (kleinster Abstand zwischen Erde und Sonne) ist die Erde 5.000.000 km dichter an der Sonne als am Aphel (größter Abstand

zwischen Erde und Sonne, s. Abb.). Die mittlere Entfernung von der Erde zur Sonne beträgt etwa 150 Mio km.

Das zweite Keplersche Gesetz

Die Verbindung Sonne-Planet überstreicht in gleicher Zeit eine gleiche Fläche (s. Abbildung). Daraus folgt, dass sich ein Planet auf seiner Ellipsenbahn unterschiedlich schnell bewegt. Ist der Planet schneller, so ist er näher an der Sonne, als wenn er weiter weg ist, denn sonst wäre die Fläche kleiner. Für die Erde beträgt die Geschwindigkeit am sonnennächsten Punkt ca. 30,3 km/s und weiter weg von der Sonne ca. 29,3 km/s.



Zweites Keplersche Gesetz: Strahl überstreicht in gleicher Zeit gleiche Fläche

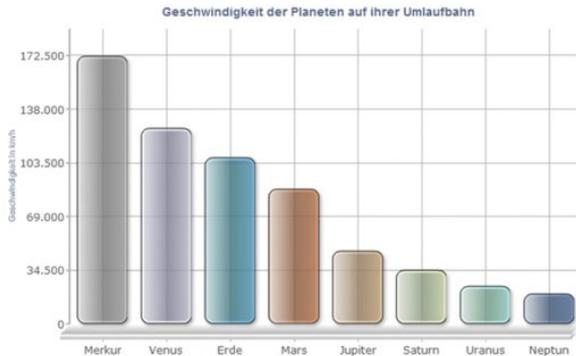
Das dritte Keplersche Gesetz

Das Verhältnis der Quadrate der Umlaufzeiten und den Kuben der Großen Halbachsen zweier Planeten innerhalb eines Sonnensystems ist konstant. Daraus folgt die Formel für zwei unterschiedliche Planeten:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Dabei entspricht T der Umlaufzeit und a der großen Halbachse. Daraus kann man schließen, dass der Planet sich mit zunehmender Entfernung zur Sonne langsamer bewegt. Merkur beispielsweise bewegt sich schneller um die Sonne als die Erde. Jedoch ist die Erde schneller als die sonnenfernen Planeten Uranus oder Neptun (s. Abb.). Die Geschwindigkeit nimmt ungefähr mit $1/\sqrt{r}$ ab.

Die Keplerschen Gesetze gelten nicht nur für die Bewegung der Planeten um die Sonne, sondern auch für alle anderen Himmelskörper, die um ein Zentralgestirn kreisen, wie z. B. ein Satellit um die Erde.



Geschwindigkeit der Planeten auf ihrer Umlaufbahn:
Sonnennähere Planeten bewegen sich schneller.¹²

Ein Beispiel: Kennt man die Umlaufzeit und die große Halbachse des Mondes, so kann man sich ausrechnen, wie groß die Halbachse eines geostationären Satelliten wäre.

Große Halbachse Mond: 380.000 km (= a_1)

Umlaufzeit Mond: ca. 30 d (= T_1)

Umlaufzeit geostationärer Satellit: 1 d (= T_2)

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \Leftrightarrow a_2 = a_1 \sqrt[3]{\frac{T_2^2}{T_1^2}}$$

Also folgt durch Einsetzen:

$$\begin{aligned} a_2 &= 380.000 \text{ km} \sqrt[3]{\frac{(1 \text{ d})^2}{(30 \text{ d})^2}} \\ &= 39.300 \text{ km} \end{aligned}$$

Somit ist die Halbachse des geostationären Satelliten ca. 39.300 km groß. In dieser Höhe befinden sich auch viele unserer Fernsehsatelliten. Im Vergleich dazu beträgt die Flughöhe der ISS ca. 408 km.

Erwähnenswert ist außerdem, dass die Gesetze von Kepler zu Newtons Gravitationstheorie geführt haben. Aus den Beobachtungen, die Kepler in seinen Gesetzen formuliert hat, entwickelte Newton seine umfassende Gravitationstheorie, in der er die Physik auf der Erde und die Himmelsmechanik im Weltall vereinte.

Einleitung Mission

LILLY CAMMANN

Reisen zu fremden Welten sind unheimlich spannend, für Wissenschaftler, Science-Fiction-Fans und auch für uns, weil wir dabei unglaublich viel Neues entdecken und lernen können. Genau aus diesem Grund haben wir uns überlegt, selbst eine Mission zu planen, die mit heutiger Technik und bisherigem Stand der Wissenschaft auch tatsächlich durchführbar ist.

Als Ziel wählten wir einen der größten Monde Jupiters aus – Europa. Unter seinem dicken Eismantel verbirgt sich ein riesiger Ozean, der durch Vulkanismus am Meeresgrund eine gewisse Ähnlichkeit mit der irdischen Tiefsee hat. Auf der Erde soll dort, an sogenannten Schwarzen Rauchern, das erste Leben entstanden sein. Und wenn das bei der Erde mit dem Leben geklappt hat, könnte es auf Europa auch so sein.

Um genau das herauszufinden, rufen wir unsere Mission TOFFIFEE ins Leben. Das steht für **T**ransfer eines **O**rbiters und **F**antastisch **F**ahrenden, **I**nterplanetaren **F**ahrzeugs zum **E**ismond **E**uropa. Bei TOFFIFEE wird die Sonde Toffeee 1 mit einer Trägerrakete in einen Erdorbit geschossen, wo sie von dort aus durch eine ausgeklügelte Flugbahn zu Jupiter, dem größten Planeten im Sonnensystem, gelangt. Hier schwenkt sie in eine Umlaufbahn um Europa ein und wirft einen Lander ab, der, sobald er auf der Oberfläche gelandet ist, einen Rover freisetzt. Dieser Rover, genannt Tofflife, kann sich frei auf Europa bewegen, wird Bohrungen machen und mit verschiedensten Messgeräten mehr über die Zusammensetzung des Mondes herausfinden und nach möglichem Leben forschen.

Außerdem haben wir mit TOFFIFEE die große Ehre, die Ersten zu sein, die auf Europa landen. Und wer weiß, vielleicht stoßen wir ja tatsächlich auf außerirdisches Leben auf Europa? Im Folgenden möchten wir die Chance bieten, uns auf unserer Reise zu begleiten und einen kleinen Einblick in unsere Arbeit zu erhalten.

¹²Abbildung: Astrokramkiste

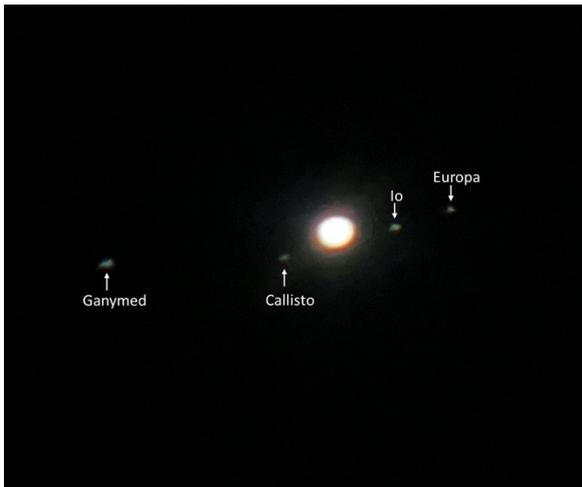
Jupiter und Europa

LEONARD WELDI

Jupiter

Jupiter ist der Planet, um den unser Ziel Europa seine Bahnen zieht. Mit einem Sonnenabstand von 778.500.000 km ist er rund fünfmal so weit von der Sonne entfernt wie unsere Erde. Er hat, wie auch Saturn, Uranus und Neptun, keine feste Oberfläche und zählt daher zu den Gasplaneten. Die schon mit einem Fernrohr erkennbaren, fast parallelen Streifen sind farbige Wolkenbänder. Sie entstehen durch ungleichmäßige Verteilung von Helium und Wasserstoff.

Die vier größten der insgesamt 79 Monde heißen der Größe nach Ganymed, Callisto, Io und Europa.



Ein von uns durch ein Teleskop aufgenommenes Bild von Jupiter und den Galileischen Monden.

Ganymed ist sogar größer als Merkur. Erst knapp 280 Jahre nach der Entdeckung Europas wurde der nächste, also der fünfte Mond Jupiters gefunden. Selbst heute noch findet man weitere Monde, zum Beispiel hat man im Jahr 2017 neun weitere Monde gefunden.

Der große rote Fleck in der Jupiteratmosphäre ist der größte Wirbelsturm des Sonnensystems und existiert seit mindestens 200 Jahren, möglicherweise schon viel länger, momentan nimmt seine Größe jedoch ab. Jupiter besitzt des Weiteren ein Magnetfeld, welches mit 10- bis 20-facher Erdmagnetfeldstärke das stärkste aller Planeten im Sonnensystem ist.

Der Eismond Europa

Unser Missionsziel ist der Eismond Europa. Dieser ist der zweitnächste der vier großen Jupitermonde. Aufgebaut ist er in Schichten: Den Kern bildet flüssiges Eisen, darüber liegt eine dicke Schicht aus Silikatgesteinen und wiederum darüber, ein gigantischer Ozean, der von einer riesigen Eisschicht überzogen wird. Wer Europa beobachtet, wird sehen, dass er von roten Kratern und Kratzern überzogen ist. Zurückzuführen ist dies auf Mineralablagerungen auf der Oberfläche.



Mineralienablagerungen auf der Oberfläche Europas¹³

Seine Temperatur schwankt zwischen -160°C am Äquator und -220°C an den Polen. Er besitzt ein schwaches Magnetfeld und seine Umlaufzeit um Jupiter dauert circa 3,6 Erdtage, sein mittlerer Durchmesser ist etwa 90 % des Durchmessers unseres Mondes. Seine Masse beträgt jedoch nur etwa 65 % der Mondmasse. Das liegt unter anderem daran, dass der Mond ein Gesteinsmond ist und auf Europa auch viel Wasser bzw. andere „leichte“ Stoffe vorhanden sind. Die Fluchtgeschwindigkeit auf Europa beträgt 2040 m/s, was für unsere Mission und die Berechnung der Flugbahn eine wichtige Rolle spielt, da wir berechnen müssen, wie viel Treibstoff wir zum Abbremsen des Landers benötigen.

Europa ist für die Wissenschaft sehr interessant, da man auf seinem Meeresgrund Vulkane vermutet, die ein möglicher Ort der Entwicklung von Leben sind. Auf Europa gibt es jedoch noch eine andere Art von Vulkanen, sogenannte Kryovulkane. Sie speien Wasser auf die Oberfläche und wurden entdeckt, da man von der Erde

¹³Abbildung: NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

aus beobachten konnte, wie Geysire Wasser ins All schleuderten. Die Oberfläche Europas erneuert sich regelmäßig. Zurückzuführen ist dies auf das wiederholte Gefrieren von Wasser und den daraus resultierenden neuen Schichten.

Entdeckt wurde Europa 1610 von Galileo Galilei mit Hilfe eines relativ einfachen Fernrohres. Benannt wurde der Mond nach der gleichnamigen Geliebten des Zeus. Obwohl der Name Europa bereits kurz nach seiner Entdeckung von Simon Marius vorgeschlagen wurde, konnte er sich über lange Zeit nicht durchsetzen. Erst in der Mitte des 20. Jahrhunderts kam er wieder in Gebrauch. Vorher wurden die Galileischen Monde üblicherweise mit römischen Ziffern bezeichnet und Europa war Jupiter II.

Flugbahn

SIMON GEISLER

Auch der Flug unserer Mission zu Europa muss gut geplant werden. Wir fanden uns zu einem Team aus drei Personen zusammen mit der Aufgabe, die Flugbahn, die benötigte Geschwindigkeit und verschiedene Manöver zu berechnen. Um die Berechnungen möglichst effizient durchzuführen, programmierten wir mit der Programmiersprache Python und dem Entwicklungswerkzeug Jupyter ein passendes Programm.

Die Flugbahn sollte am besten so geplant werden, dass eine möglichst geringe Geschwindigkeitsänderung Δv erreicht wird, da die benötigte Treibstoffmenge exponentiell mit Δv wächst. Dies liegt daran, dass das zusätzliche Gewicht des zusätzlich benötigten Treibstoffs durch weiteren Treibstoff beschleunigt werden muss. Deshalb setzten wir alles daran, einen möglichst geringen Wert für Δv zu erhalten.

Zu Beginn nahmen wir an, dass die Sonde vom Start aus dem Erdorbit direkt zum Jupiterorbit in einer elliptischen Kepler-Umlaufbahn fliegt, deren Brennpunkt die Sonne ist (siehe Kapitel Kepler und Ellipsen), und dass wir jegliche andere Himmelskörper vorerst außer Acht lassen können. Mit einem Algorithmus (für Experten: Stichwort Lambertproblem) ließ sich dann eine erste Aussage über die benötigte Startenergie

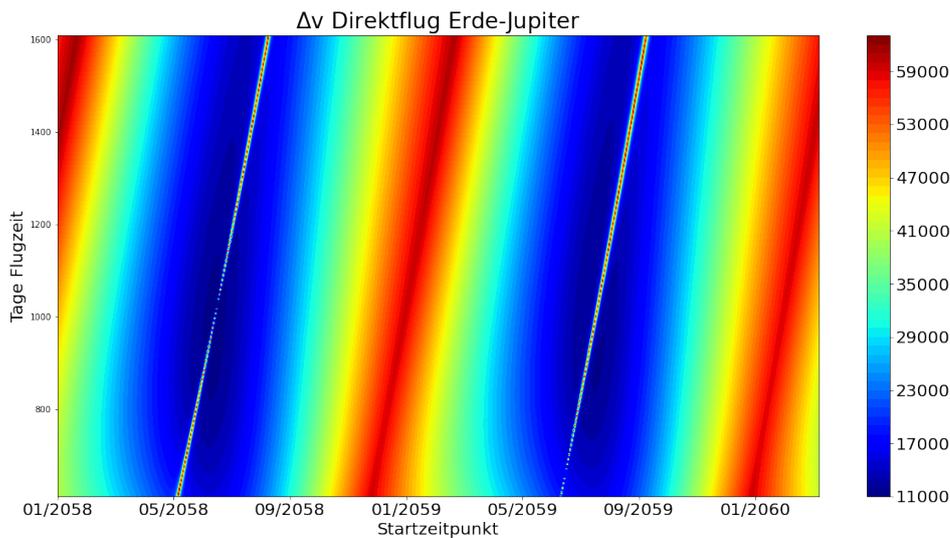
treffen. Mithilfe dieser Informationen konnten wir die Flugdaten der Mission erfassen.

Als Ergebnis unserer Berechnungen ließen wir uns eine Grafik (siehe Abb. auf Seite 24) generieren. Die x -Achse gibt uns den Zeitpunkt an, zu dem die Mission den Erdorbit verlassen muss, die y -Achse die Flugzeit bis zum Jupiterorbit in Tagen. Die Mission müsste folglich, um am wenigsten Treibstoff zu benötigen, im Juli 2058 bzw. Juli 2059 starten und hierbei 1000–1200 Tage fliegen.

Andere Missionen, die zum Jupiter fliegen oder flogen, kamen aber schon mit einer deutlich geringeren Geschwindigkeitsänderung aus. Ein Beispiel ist die 2023 startende Raumsonde JUICE der European Space Agency. Sie wird den weiten Weg von der Erde aus bis zum Jupiter zurücklegen. Hierfür benötigt die Mission jedoch nur einen Bruchteil der Geschwindigkeitsänderungen, welche wir benötigen würden, wenn wir den direkten Weg zum Jupiter wählen würden. Dieser Unterschied kommt dadurch zustande, dass JUICE mehrere sog. Gravity Assists durchführen wird. Wie dies zeigt, kann man dadurch eine immense Treibstoffmenge einsparen.

Was aber sind Gravity Assists und wie funktionieren sie? Ein Gravity Assist ist eine Ablenkung der Flugbahn und Änderung der Geschwindigkeit der Raumsonde durch einen Planeten. Newton erkannte, dass alle Körper, die eine Masse haben, sich gegenseitig anziehen. Somit ziehen sich auch unsere Raumsonde und ein Planet gegenseitig an, da beide Körper eine Masse haben. Aufgrund der erheblich größeren Masse des Planeten ist die von der Sonde auf den Planeten wirkende Beschleunigung und die folgende Auswirkung vernachlässigbar. Die Auswirkung auf die Sonde ist hingegen umso größer.

Wenn eine Raumsonde in das Gravitationsfeld eines Planeten kommt, wird sie von diesem angezogen. Nun kommt es drauf an, wie sich der Planet relativ zur Sonde bewegt. Zu Beginn des Manövers wird die Sonde immer durch die Gravitation angezogen und wird dadurch immer schneller und schwingt anschließend um den Planeten herum. Wenn sie das Gravitationsfeld des Planeten wieder verlässt, wird die Sonde,



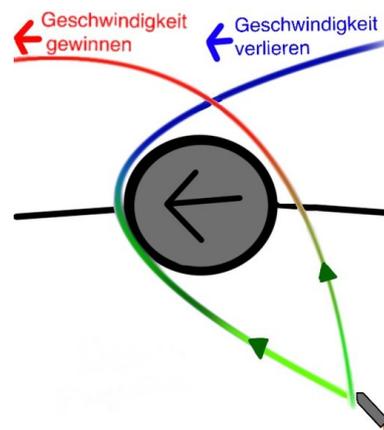
Benötigte Geschwindigkeitsänderung beim Transfer zwischen Erde und Jupiter. Die Farben stellen die Geschwindigkeitsänderung von Dunkelblau bis dunkelrot grafisch dar. Dunkelblau steht dabei für 11 km/s und dunkelrot für einen Wert von über 60 km/s.

da die Gravitationskraft des Planeten noch immer auf sie wirkt und ihr so Bewegungsenergie entzogen wird, verlangsamt.

Fliegt die Sonde in die gleiche Richtung wie der Planet, wird sie von diesem zusätzlich länger ein Stückchen mitgezogen und kann so mehr Geschwindigkeit aufbauen, als wenn die Sonde und der Planet entgegengesetzt aufeinander fliegen. Da beim Verlassen immer dieselbe Energie benötigt wird, kann man somit die Sonde mit Gravity Assists abbremsen oder beschleunigen.

Raumsonden können auf diese Weise eine große Menge an Treibstoff sparen. Bei Sonden, welche nicht in einen Erdborbit einschwenken oder zu Mars und Venus fliegen, ist ein Gravity Assist meist sinnvoll.

Bei Missionen Richtung Jupiter und weiter werden die Sonden durch Gravity Assists beschleunigt und, um in einen Orbit bei beispielsweise Jupiter eintreten zu können, wieder abgebremst. Wenn eine Sonde jedoch zu Merkur oder Sonne in das Innere des Sonnensystems fliegt, werden Gravity Assists meist verwendet, um die Sonde abzubremsen. Ein Beispiel hierfür ist die Raumsonde BepiColombo der ESA und der JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), welche nach insgesamt neun Gravity Assists den Merkurorbit Ende 2025 erreichen wird.

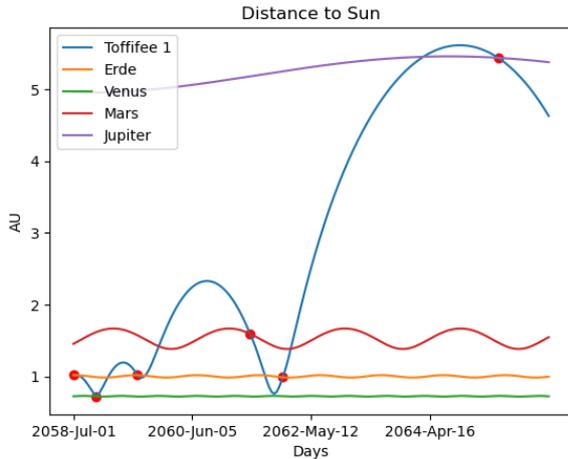


Schematische Darstellung der Formen eines Gravity Assist. In der Mitte ist der Planet und dessen Flugrichtung dargestellt; die farbigen Spuren stellen die Flugbahn der Sonde um den Planeten dar.

Angesichts der Möglichkeit, immense Mengen an Treibstoff sparen zu können, setzten auch wir uns daran, eine effizientere Flugbahn zu finden. Nachdem unsere Rechner mehrere Stunden rechneten, hatten wir ein Ergebnis:

Unsere zukünftige Flugbahn sollte Erde-Venus-Erde-Mars-Erde-Jupiter lauten. Für die Sonde heißt dies nun, dass sie durch zwei Gravity Assists an der Erde, einem weiteren am Mars und einem Gravity Assist an der Venus auf die benötigte Geschwindigkeit beschleunigt wird, um

die weite Strecke bis zum Jupiter zurückzulegen.



Die Abbildung zeigt die Distanz zur Sonne. Auf der x -Achse werden die vergangenen Tage der fortlaufenden Mission dargestellt, auf der y -Achse der Abstand zur Sonne. Gut zu erkennen sind die Zeitpunkte der Gravitij Assists.

Unsere Mission braucht damit ca. 7 Jahre und wird im Mai 2065 den Jupiterorbit erreichen. Für den direkten Transfer hatten wir eine benötigte Geschwindigkeitsänderung von 11000 m/s berechnet, nun brauchen wir nur noch 7000 m/s, womit wir die Geschwindigkeitsänderung um ca. 35 % senken konnten. Erfreut konnten wir durch die anschließenden Berechnungen der für die Treibstoffberechnung zuständigen Gruppe feststellen, dass wir 75 % weniger Treibstoff als zuvor benötigen.

Antriebe/Treibstoff

LUISE FRETZ

Eine Mission bleibt jedoch eine Vision, solange man sie nicht starten kann. Um zu starten, benötigt man einen Antrieb. Antriebsmöglichkeiten gibt es viele verschiedene, daher mussten wir sie nach bestimmten Kriterien beurteilen: dem Gewicht und der Größe, dem Schub, der Ausstoßgeschwindigkeit und dem Stromverbrauch. Bei Gewicht, Größe und Stromverbrauch gilt: je geringer, desto besser. Beim Schub und der Ausstoßgeschwindigkeit ist es genau anders herum: Je größer der Schub, umso schneller können Manöver sein, und je größer

die Ausstoßgeschwindigkeit, umso geringer ist der Treibstoffverbrauch. Letzteres sieht man anhand der Raketengleichung:

$$\Delta v = \ln \left(\frac{m_{\text{start}}}{m_{\text{final}}} \right) \cdot v_{\text{Ausstoß}}$$

Δv steht für die Geschwindigkeitsänderung, m_{start} ist die Gesamtmasse der Rakete mit Treibstoff, m_{final} ist die Masse, die wir hochtransportieren müssen und $v_{\text{Ausstoß}}$ ist die Ausstoßgeschwindigkeit.

Durch Umformungen der Raketengleichung kommt man auf:

$$m_{\text{start}} = \exp \left(\frac{\Delta v}{v_{\text{Ausstoß}}} \right) \cdot m_{\text{final}}$$

Je größer also die Ausstoßgeschwindigkeit, umso kleiner ist $\exp \left(\frac{\Delta v}{v_{\text{Ausstoß}}} \right)$ und umso kleiner ist auch m_{start} . Um anschließend die Masse des Treibstoffs zu ermitteln, setzt man seine Werte ein, errechnet damit m_{start} und subtrahiert m_{final} (Beispiel mit den Werten des Landers):

$$m_{\text{start}} = \exp \left(\frac{2 \text{ km/s}}{3,2 \text{ km/s}} \right) \cdot 1.410,8 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Treibstoff}} = m_{\text{start}} - m_{\text{final}}$$

$$= 2.630,6 \text{ kg} - 1.410,8 \text{ kg} = 1.219,8 \text{ kg}$$

Daran ist zu sehen, dass selbst vergleichsweise kleine Manöver große Mengen an Treibstoff benötigen.

Da wir nun wussten, welche Kriterien für uns eine Rolle spielen, konnten wir uns mit den Antriebsmöglichkeiten befassen. Zur Auswahl standen:

1. Solarsegel

Bei Solarsegeln handelt es sich um große Segel, welche den Strahlungsdruck der Sonne als Antriebsquelle nutzen. Allerdings erzeugen sie selbst bei gewaltigen Größen nicht sonderlich viel Schub – 173 Quadratmeter haben bei der japanischen Raumsonde Ikaros, welche am 20. Mai 2010 startete, etwa 1,12 Millinewton Schub erzeugt, was nicht ansatzweise genug wäre. Dafür benötigen sie aber auch keinen Treibstoff.

2. Kaltgastriebwerke

Bei Kaltgastriebwerken handelt es sich um Triebwerke, die unter Druck stehendes Gas benutzen, um Schub zu erzeugen. Ihre Ausstoßgeschwindigkeit beträgt 0,4 bis 1,2 Kilometer pro Sekunde, was deutlich weniger als die der folgenden Triebwerke ist, weshalb wir recht viel Treibstoff brauchen.

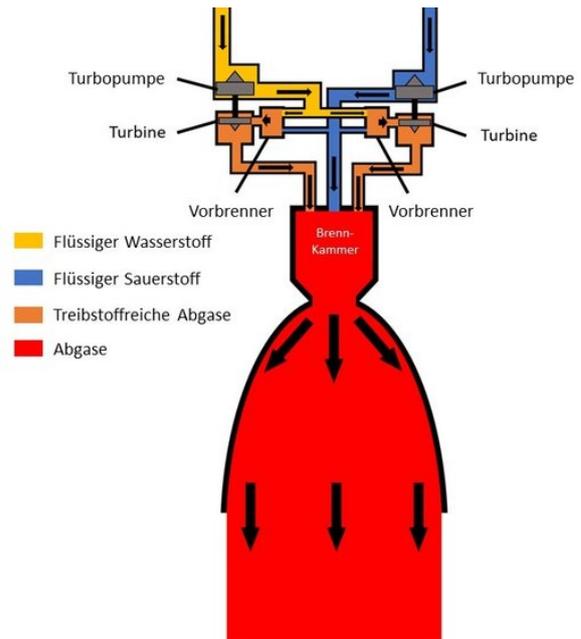
3. Ionentriebwerke

Bei Ionentriebwerken werden Edelgasatome, meist Xenon-Atome, ionisiert, woraufhin die dadurch entstandenen Kationen durch ein elektrisches Feld mit negativer Spannung beschleunigt werden. Ihre Ausstoßgeschwindigkeit variiert zwischen 40 und 200 km/s, was im Vergleich zu anderen Triebwerken sehr viel ist und für eine geringe Menge Treibstoff sorgen würde. Allerdings haben sie einen hohen Energieverbrauch, für dessen Abdeckung wir beim Jupiter mehrere hundert Quadratmeter Solarpaneele bräuchten.

4. Chemische Triebwerke

Chemische Antriebe verbrennen in stark exothermen Reaktionen Treibstoff, woraufhin die dadurch entstandenen Gase unter hohem Druck aus der Düse ausgestoßen werden. Anschließend bewegt sich die Rakete aufgrund des Impulserhaltungsgesetzes in die entgegengesetzte Richtung. Weiter unten sieht man ein Schaubild zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks: Hier wird flüssiger Sauerstoff und flüssiger Wasserstoff als Treibstoff verwendet. Diese werden in die Vorbrenner gepumpt, wo ein kleiner Teil von ihnen verbrannt wird, um die Turbinen für die Turbopumpen betreiben zu können. Anschließend werden beide in die Brennkammer gepumpt, wo sie verbrannt und als Gas unten herausgeschleudert werden.

Bei den chemischen Antrieben hatten wir die Wahl zwischen verschiedenen Triebwerken. Für uns war allerdings die entscheidende Rolle, welche Treibstoffkomponenten verbrannt würden. Wir entschieden uns letztlich dafür, in den Trägerraketen wie in der Grafik Flüssigsauerstoff



Schema zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks, hier RS-25¹⁴

und Flüssigwasserstoff zu verbrennen, für die Sonde allerdings wollen wir Hydrazin und Distickstofftetroxid verwenden, da diese nicht gekühlt werden müssen.

Nachdem wir also nun wussten, welche Triebwerke wir einsetzen würden, konnten wir uns der Treibstoffmenge zuwenden. Wie oben schon erwähnt, rechneten wir diese mit der Raketen-gleichung aus. Insgesamt kamen wir für Sonde, Lander, Rover und Treibstoff auf eine Gesamtmasse von ca. 12 Tonnen, von denen etwa 10,5 Tonnen der Treibstoff war. Dies bedeutet, dass ca. 87,5 % unseres Gesamtgewichts der Treibstoff ist.

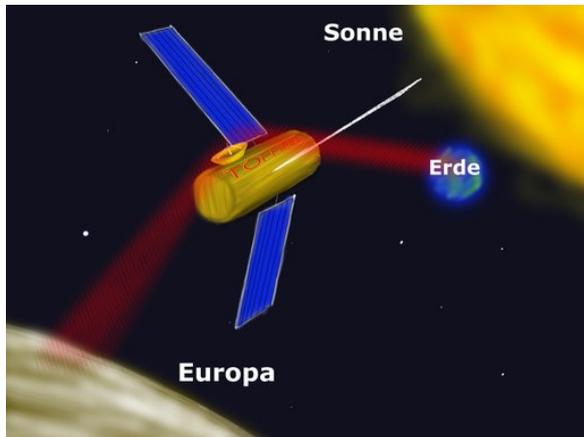
Sonde und Lander

LILLY CAMMANN

Um unsere Mission wie geplant durchzuführen, braucht es noch zwei entscheidende Puzzleteile: die Sonde und den Lander, der durch die Sonde abgesetzt wird. Beides ist knifflig, da man sich um die Masse, die schließlich für Form und Größe entscheidend ist, erst Gedanken machen kann, wenn die Flugbahn, die benötigte Treibstoffmenge und der Energiebedarf schon feststehen. Jedoch muss man, um den Treibstoffverbrauch zu errechnen, das Leergewicht

¹⁴Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Abc-de1248163264, eigene Bearbeitung, CC BY-SA 4.0)

der fertigen Sonde kennen, das wiederum von der Treibstoffmenge abhängt, weil man das Volumen der Tanks berechnen und damit automatisch auch die Größe der Sonde variieren muss. So mussten wir das Gewicht der Sonde zunächst schätzen und später anpassen.



Kommunikationsschema der Sonde mit dem Rover und der Erde

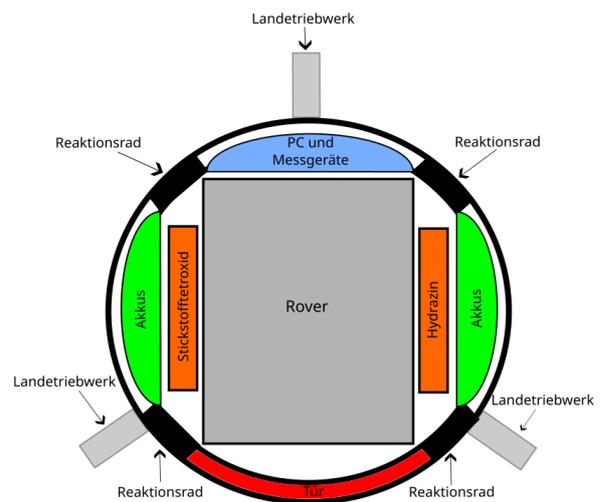
Am Ende ergaben sich für die Sonde insgesamt ca. neunneinhalb Tonnen Treibstoff, die sich nach dem Volumen nahezu gleich auf die beiden Treibstoffkomponenten Hydrazin und Distickstofftetroxid verteilen. Sie werden in zwei getrennten Tanks in der zylinderförmigen Sonde gelagert. Diese hat außer der Bordelektronik (das sind Flugcomputer, Datenspeicher, Kommunikation etc.) auch noch ein Radar und eine Kamera an Bord, um detaillierte Aufnahmen von Europa zu machen, während sie in einem niedrigen Orbit von etwa 400 km um den Mond kreist.

Diese Daten – und jene, die der Rover von der Oberfläche an die Sonde sendet – werden von der Sonde gespeichert und an die Erde weitergeleitet, um sie vollständig auszuwerten (siehe Abbildung). Um sowohl vor Kälte als auch vor gefährlicher Strahlung geschützt zu sein, besitzt die Sonde eine mit Aluminium und dünner Isolierfolie beschichtete Hülle.

Um sich eigenständig mit Energie zu versorgen, hat die Sonde drei Solarpanele, die aufgeklappt und ausgerichtet werden können. Insgesamt haben die Solarpanele eine Fläche von 36 Quadratmetern. Diese Größe ist nötig, da das Sonnenlicht, wenn es bei Jupiter ankommt, nur noch 4 % der Lichtstärke auf der Erde hat.

Zudem können Solarpanele leicht durch Weltraumschrott oder andere Kleinteile beschädigt werden (genauer im Teil „Weltraumschrott“) und können so weit von der Erde entfernt auch nicht ausgetauscht oder repariert werden.

Zur Energieversorgung des Landers besitzt dieser mehrere Akkus und wird von einem Generator an Bord des Rovers versorgt, solange er mit diesem verbunden ist. Dadurch wird die nötige Energie geliefert, die gebraucht wird, um die Landetriebwerke auszuklappen, die Bordelektronik zu betreiben und den Rover freizusetzen. Weil es auf Europa keine spürbare Atmosphäre gibt, kann der Lander keine Fallschirme benutzen – es gibt schließlich keinen Luftwiderstand. Deswegen sind außen am Lander symmetrisch drei ausklappbare Landetriebwerke angebracht, die dieselben Treibstoffkomponenten verwenden wie die Sonde.



Draufsicht auf den Lander und den damit transportierten Rover

Doch hier stellt sich uns ein Problem: Bevor die Triebwerke zünden, befindet sich der Lander im freien Fall, und es besteht die Gefahr, dass er anfängt zu schleudern und außer Kontrolle gerät. Dadurch könnte er die Landetriebwerke nicht gerade nach unten richten und sich nicht abbremsen. Er würde also auf der Oberfläche von Europa aufschlagen und vollständig zerstört werden – die Mission wäre gescheitert.

Um das zu verhindern, sind am Lander fünf Reaktionsräder angebracht – vier an den Seiten und in der Mitte ein großes. Je schneller

sich diese Räder drehen, desto stabiler fällt unser Lander. Das Prinzip kann man leicht am Beispiel eines Fahrrades erklären: Fährt man schnell, kann man leicht das Gleichgewicht halten, fährt man jedoch langsam oder tritt überhaupt nicht in die Pedale, kippt man schneller um.

Ist die Landung gelungen, öffnet der Lander eine Tür und der Rover wird freigesetzt, der schließlich mit den wissenschaftlichen Untersuchungen beginnen wird.

Rover – Tofflife

LEAH BEAN

Unser selbst entwickelter Rover ist auf die mitzuführenden wissenschaftlichen Instrumente abgestimmt und hat deshalb die folgenden Abmessungen: 3 m Länge, 2,4 m Breite und 0,9 m Höhe. Er wird mithilfe des Landers auf die Oberfläche des Eismondes Europa gebracht. Dort herumfahren wird er mittels sechs ein- bzw. ausfahrbarer, etwa 20 cm breiter Räder.

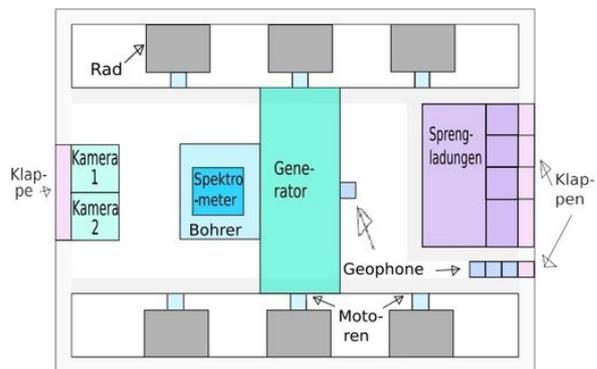
Solange sich der Rover im Lander befindet, schauen die 40 cm (Durchmesser) hohen Reifen nur 10 cm unter dem Rover hervor. Sobald er vom Lander abgesetzt und ausgesetzt wurde, werden die Räder ausgefahren. Dadurch ist die Gefahr, die Unterseite des Rovers durch Unebenheiten der Mondoberfläche zu beschädigen, geringer. Angetrieben werden die Räder von jeweils einem Elektromotor (H: 10 cm, L: 10 cm, B: 10 cm). Die Räder werden wieder eingefahren, sobald der Rover eine für Messungen geeignete Stelle gefunden hat, um ebenjene problemlos durchzuführen.

Der Rover hat eine 10 cm dicke Schutzschicht, die ihn vor kosmischer Strahlung, Mini-Meteoriten etc. schützt und gleichzeitig als Wärmedämmung für die Technik fungiert. Die Schutzschicht ist nicht nur um den Rover herum angebracht, sondern auch innerhalb als Dämmung z. B. zwischen dem Räderraum und dem Rover-Innenraum, da im Räderraum durch den Kontakt zur Außenwelt niedrige Temperaturen herrschen.

Im vorderen Bereich des Rovers sind zwei optische Kameras (H: 50 cm, L: 30 cm, B: 30 cm)

angebracht. Sie werden von Klappen geschützt, die beim Öffnen einen Blick auf Europa freigeben. In der Mitte des Rovers befindet sich ein Radioisotopen-Generator (H: 50 cm, L: 50 cm, B: 130 cm). Dieser funktioniert, indem er die beim natürlichen Zerfall von Plutonium entstehende Wärme zum Teil in Strom umwandelt. Dadurch, dass er 130 cm breit ist, reicht er durch die Isolationsschicht zwischen Innenraum und Räderraum. Dies nutzen wir aus, um auch die Motoren der Räder ein wenig warm zu halten.

Die Vorderseite des Generators grenzt an den Bohrer (H: 25 cm, L: 50 cm, B: 60 cm), welcher einen drei Meter langen Bohrkopf hat, der sich zusammenschieben lässt um in den Rover zu passen. Darüber befinden sich die beiden Spektrometer: unten das Gitterspektrometer (H: 5 cm, L: 30 cm, B: 30 cm) und darüber das Teilchenspektrometer (H: 4 cm, L: 30 cm B: 30 cm).



Der schematische Aufbau unseres Rovers

Hinten im Rover befindet sich eine extra isolierte Kammer mit fünf Sprengladungen verschiedener Größe. Diese werden für die Geophone (H: 10 cm, L: 10 cm, B: 10 cm) benötigt und können durch vier dafür vorgesehene Klappen ausgesetzt werden. Drei der Geophone, die wir mitnehmen, sind direkt neben den Sprengladungen und können ebenfalls durch eine dafür vorgesehene Klappe ausgesetzt werden.

Ein weiteres Geophon befindet sich noch direkt neben dem Generator. Dieses wird nirgends ausgesetzt, sondern bleibt im Rover und fährt mit diesem umher. Dadurch können wir bei jeder Sprengung von zwei Orten messen, ohne noch mehr Geophone zu benötigen.

Wissenschaftliche Instrumente

SYLVIA PAPE

Nun beginnt der wichtigste Teil unserer Mission, das Messen und die Entnahme von Proben. Mit Experimenten, die vor Ort mithilfe unseres Rovers durchgeführt werden, wollen wir unsere Hypothesen untermauern und neue Erkenntnisse gewinnen. Die hierfür wichtigsten Messgeräte werden im Folgenden in ihrer Funktion und Aufbau beschrieben. Diese sind die optischen Kameras, der Bohrer, das Lichtspektrometer, das Massenspektrometer und das Geophon. Zusätzliche Instrumente wie zum Beispiel Temperatursensoren werden hier nicht angesprochen.

Optische Kamera

An Bord unseres Rovers haben wir zwei optische Kameras. Mit deren Hilfe können wir detaillierte Bilder von der Oberfläche machen und somit mehr über die Beschaffenheit von Europa herausfinden. Zudem dienen die Kameras zur Orientierung, sodass man die Bohrungen des Rovers sicher ansetzen kann.

Bohrer

Auf Europa gibt es verschiedene Strahlung, unter anderem wegen des starken Magnetfelds des Jupiter, die mögliche Biomoleküle zerstören können. Dies passiert vor allem an der Oberfläche, während der Ozean unter der Eisschicht geschützt ist. Es gibt zwei Mechanismen, wie tiefer liegendes Eis, das möglicherweise intakte Biomoleküle enthält, an die Oberfläche gelangt. Zum einen speien Kyrovulkane ständig neue Eismassen auf die Oberfläche, zum anderen wird das untere Eis durch Plattentektonik nach oben gebracht. In beiden Fällen ist das frischeste Eis auf der Oberfläche. Dennoch ist die oberste Schicht nach kurzer Zeit denaturiert. Aufgrund dessen verwenden wir zur Probenentnahme aus tiefer liegenden Schichten einen 3 m langen Schlangenbohrer mit einem Durchmesser von 5 cm. Der Schlangenbohrer hat die optimale Form, um die Eisproben möglichst unbeschädigt zu entnehmen. Um energiesparend durch das Eis zu gelangen, wird die Bohrspitze geringfügig erwärmt. Gemeinsam mit der Reibungswärme an der Bohrspitze ist damit

genug Wärme vorhanden, um das Eis zu durchdringen.

Lichtspektrometer

Die entnommene Probe wird in das Lichtspektrometer eingeführt. Mit diesem kann man herausfinden, welche Stoffe zu welchen Anteilen in der Probe enthalten sind. Dies ist für unsere Erforschung von möglichem Leben auf Europa relevant, da bestimmte Moleküle Hinweise auf Leben sein können. Die Probe wird von Licht, in dem das ganze Lichtspektrum vorkommt, angestrahlt. Anhand des Spektrogramms kann man sehen, welche Wellenlängen zu welchen Anteilen absorbiert wurden, und damit können wir auf die vorhandenen Moleküle schließen.



Beispiel für Absorptionsspektrallinien¹⁵

Die Problematik bei dieser Art von Spektrometer ist, dass Lichtwellen teilweise von mehreren Elementen absorbiert werden. Aufgrund dieses Problems und zur genaueren Untersuchung der Probe verwenden wir ein zweites Spektrometer.

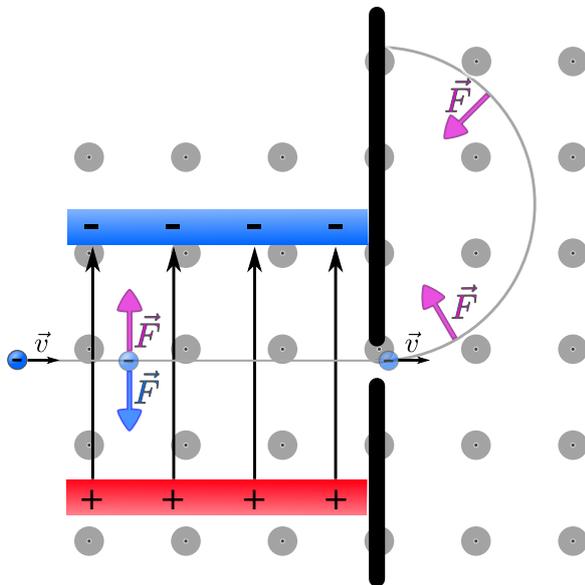
Massenspektrometer

Dieses Messgerät funktioniert grundlegend anders als das vorherige. Hier werden die Teilchen nach ihrer Masse sortiert, wie der Name schon suggeriert. Mit dem Massenspektrometer können wir die verschiedenen Massen der Moleküle bestimmen und dadurch auf chemische Strukturen schließen. Dabei gilt generell, dass komplexe Moleküle mit Kohlenstoffverbindungen Hinweise auf Leben sein können. Bei der Sonderanfertigung dieses Instrumentes muss man auf das Spektrum achten, welches das Gerät umfasst. Denn ein Spektrometer kann nicht das ganze Spektrum erfassen, in unserem Fall jede Masse. Wir haben ein Massenspektrum von 20 u bis 250 u gewählt, da die Massen der für uns relevanten Verbindungen in diesem Bereich liegen.

Die Probe wird aus dem Lichtspektrometer in das Massenspektrometer eingeführt und in

¹⁵Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Stkl, als gemeinfrei gekennzeichnet)

einen gasförmigen Zustand gebracht. Anschließend werden die Teilchen ionisiert. Dies bedeutet, dass sie eine positive oder negative Ladung bekommen. Nun werden im sogenannten Wienfilter die Teilchen nach ihrer Geschwindigkeit gefiltert. Der Wienfilter besteht aus einem Kondensator mit einem homogenen Feld und einem magnetischen Feld, dessen Feldlinien orthogonal zu den Feldlinien des elektrischen Feldes liegen. In diesem Kondensator wirkt die Lorentzkraft nach oben und die elektrische Kraft nach unten, dies gilt für die positiv geladenen Teilchen. Für negativ geladenen Teilchen funktioniert dieses Prinzip genau umgekehrt. Nur Teilchen, die die richtige Geschwindigkeit für eine geradlinige Flugrichtung haben, können den Filter passieren und landen im Detektor.



Schematischer Aufbau eines Massenspektrometers¹⁶

Der Detektor besitzt ebenfalls ein Magnetfeld, sodass die geladenen Teilchen entweder kreisförmig nach oben oder unten abgelenkt werden. Dabei gilt: Alle positiven Teilchen werden in eine Richtung und die negativen Teilchen in die andere Richtung abgelenkt. Je nachdem, wie groß die Masse der Teilchen ist, variiert dieser Ablenkungsradius. Je größer der Radius, desto größer die Masse. Dabei ist der Zusammenhang linear.

¹⁶Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Sgbeer, CC BY 3.0)

Geophon

Geophone nutzen wir, um genaue Daten über den Aufbau von Europa zu erhalten. Wie schon bei der Beschreibung des Rovers erklärt wurde, haben wir in diesem mehrere kleine Sprengladungen angebracht. Diese werden von dem Rover auf Europa verteilt und gezündet.



Empfängerbox des Geophons¹⁷

Die Druckwellen, die dabei entstehen, werden verschieden stark von den Eisschichten reflektiert. Diese reflektierten Druckwellen nimmt das Geophon auf und misst sie. Nach der Messung kann man sich ein Bild von Europas innerem Aufbau machen. Die Funktionsweise verhält sich wie die eines Ultraschallgeräts.

Zum Abschluss

JONATHAN WEIHING, MORITZ VON LOOZ, FRANZISKA HÖMKE

Ereignisreiche Wochen und Kursschienen liegen hinter uns. Die Ergebnisse unserer Kursarbeit haben die Teilnehmerinnen und Teilnehmer hier dargestellt. Dabei ist vieles an der Mission ausgerichtet, welche sie selbstständig aussuchten und planten. Dafür war einiges an Vorbereitung und Wissen nötig, und in durchaus auch mal fordernden Theoriestunden behandelten wir alles von Antrieben, der Bewegung von Objekten im Weltall, unserem Sonnensystem, dem Aufbau von Raumsonden bis hin zur Sternentwicklung und vielen weiteren Themen aus der Astronomie und Raumfahrt.

¹⁷Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Balaji, CC BY-SA 3.0)

Zum Glück konnten wir unser Ziel, den Jupitermond Europa, auch bereits von der Erde aus ins Auge fassen. Der Jupiter ging jeden Abend am Himmel auf, und wir konnten ihn und die Galileischen Monde perfekt mit unseren Teleskopen beobachten. Im Kurs bauten wir eigene Teleskope, und wir haben uns mit den Positionen der Sterne am Nachthimmel auseinandergesetzt, um Sterne und Sternbilder zu finden. Dafür mussten die Regeln der Bettruhe in Absprache mit der Akademieleitung an den beiden Sternenbeobachtungsabenden ausgesetzt werden (was natürlich alle freute), und wir konnten den anderen Kursen praxisnah und mit faszinierenden Einblicken unseren Kurs nahe bringen. Und mit dem Wissen, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Kurs erlagt haben, können sie nun auch von zu Hause aus eigene Beobachtungen planen und durchführen.

Bei der Planung und Organisation der eigenen Mission kam es auf eigene Recherche und vor allem auf Kommunikation und Zusammenarbeit an, da die einzelnen Gruppen sich beeinflussten und jede Gruppe relevante Informationen an andere Expertengruppen weitergeben musste, sodass diese ihre Aufgaben und Berechnungen durchführen konnten. Der Erfolg der Mission muss sich jedoch noch in der Zukunft erweisen. Wer weiß, vielleicht sind wir Teil von etwas Historischem?

Zitate

- „Wir können die kinetischen Elemente eines Bibers rausholen.“ (Leonard)
- „Das war die Sicherheitsbelehrung, und jetzt stecken wir Gurken in die Steckdose.“ (Jonathan)
- „Man kann mit 120 Litern Tofffee ein Auto befeuern.“ (Yannick)
- „500 Höhenmeter Luftlinie“ (Jonathan)
- „Jonathan ist der Tofffeesektenführer.“ (Simon)
- „Wie kann man die ISS hacken? Könnte man die ISS dann abstürzen lassen?“ (Sylvia)
- „Ich kann euch gerne erzählen, wie man alles Mögliche hacken kann!“ (Moritz)
- „Wenn wir das Geld von den Investoren hätten, dann gäbe es solche Probleme nicht!“ (Leah)
- „Wenn wir auf den Mond fliegen, spielen wir Uno Extreme.“ (Jonathan)
- „Das sind solche Nerdysseiten“ (Simon, als Franziska eine Seite zur Abschätzung der Größenmaßstäbe im Sonnensystem zeigte)
- „Pass auf, ich habe eine Schere“ (Katharina)
- „Wenn’s rund ist, dann ist es russisch.“ (Yannick)
- „Simons Rücken kann auch entzücken.“ (Jonathan)
- „Wenn mein Bruder mit 60 so aussieht wie Tom Cruise, dann ...“ (Katharina)
- „Du siehst verwirrt aus!“ (Franziska zu Moritz)
- „Das ist mein normaler Gesichtsausdruck“ (Moritz)
- „Ich bin mir sicher, die Diskussion über Jonathans Karotte ist sehr interessant, aber ...“ (Moritz)
- „Ich bin nicht lesbisch, nur weil ich auf eine Mädchenschule gehe.“ (Sylvia)
- „Das braucht man für Kernkraftwerke, Atombomben, das Übliche.“ (Moritz)
- „Man kann mit 12 Tesla (die Stärke eines Magnetfelds) einen Frosch fliegen lassen. Beim Menschen sollte es mit 20 Tesla funktionieren.“ (Moritz)
- „Wieso sind Froschversuche okay?“ (Sylvia)
- „Weil wir sie auch essen!“ (Moritz)
- „Ich hasse Starlink. Gib mir eine Bazooka und ich hole sie alle runter.“ (Franziska)
- „Benedikt (Schülermentor), du bist schon ein Romantiker. Aber teilweise einfach crazy.“ (Maria)
- „Plutonium, Uran, alles, was halt Spaß macht.“ (Moritz)
- „Eigentlich bin ich Jungfrau, aber ...“ (Jona)
- „Ey! Arbeitet mal! Ich sollte eigentlich auch arbeiten ...“ (Jonathan)
- „Jetzt hol ich meinen roten Stift raus.“ (Luise mit Blick auf die Doku)
- „Ihr seht alle so bleich im Gesicht aus.“ (Simon nach 3 Minuten Stille)

„Ich weiß nicht, was los ist, aber das Ding bewegt sich die ganze Zeit.“ (Yannick)

„Du wirfst, als ob du 'ne Alkoholbrille aufhast.“ (Jonathan zu Josch)

„Scheiß Autokorrektur! Was macht die immer Wasserraketen zu Wasserratten?!“ (Leonard)

„Wasserratten in die Luft zu schießen wäre doch bestimmt auch interessant geworden.“ (Lilly)

„Josch sieht aus, als würde er grad sterben.“ (Lilly sehr neutral)

„Ich seh immer so aus.“ (Josch)

„Ich mein, ich mag euch ja, aber die Hose würde ich jetzt nicht für euch ausziehen.“ (Jonathan)

„Was ist dein Problem?“ (Simon zu Leonard)

„Ich lese gerade 12 Seiten Bildlizenzen!“ (Leonard)

„Ich muss ihn prügeln, sonst macht er nicht, was ich will!“ (Josch zu seinem Laptop)

„Ich hab's nicht mitbekommen, was ist passiert?“ (Luise, als die anderen anfangen zu lachen)

„Jonathan! Hilfe!“ (Luise und Lilly)

„Du schaust irgendwie verpeilt aus“ (Simon zu Jonathan)

„Was?“ (Jonathan)

„Ich schüttel' jetzt auch Gummibärchen!“ (Yannick)

„Äh, was mach' ich grad?“ (Yannick)

„Ey, Papier schmeckt gar nicht so kacke.“ (Josch)

„Karottenknacken hallt durch den Raum.“ (Luise)

„Du läufst schon 'rum, als hättest du was eingeworfen . . .“ (Lilly zu Jonathan)

„Ich bin ein Gockel!“ (Luise mit einem Gummibärchen, das an der Lippe klebt)

„Wer wird gerade geroastet?“ (Sylvia während der Abschlussbesprechung der Doku)

„Ihr solltet irgendwie wieder normal werden. Ich glaub', ihr müsst in Quarantäne.“ (Josch)

„Johannes!“ (Alle)



Kurs 2 – Wie wir aus unserer Nahrung Energie gewinnen



Vorwort

Aus unserer Nahrung Energie gewinnen – wie funktioniert das denn eigentlich? Diese umfangreiche Fragestellung haben wir uns im diesjährigen Biologie-Kurs gestellt. Fakt ist: Die Bestandteile der Nahrung dienen uns Menschen als Energielieferant. Wie genau die Nahrung durch unseren Körper und in unsere Körperzellen gelangt, haben wir uns beispielhaft am Körper von unserem Freund Herbert (siehe Gruppenbild) genauer angeschaut. Herbert war im diesjährigen Biokurs unser ganz spezielles 13. Phantom-Mitglied. Er hat sich durch harte Mitarbeit und Aufopferung sogar sein eigenes Namensschild sichern können.

Dadurch, dass Herbert uns gegenüber sehr offen war, ließ er uns sogar seine Verdauungsorgane genauer unter die Lupe nehmen. Das wiederum weckte das Interesse in uns, auch die in ihm

ablaufenden Verdauungsprozesse verstehen zu wollen. Unser Ziel war es also, die verschiedenen biochemischen Stoffwechselprozesse in Herbert zu verstehen. Des Weiteren wollten wir herausfinden, welche Nahrungsbestandteile von Herbert aufgenommen, verwertet oder ausgeschieden werden.

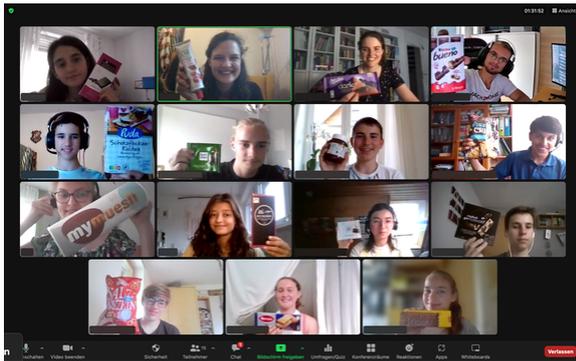
Wir haben uns bezüglich des Aufbaus von Herberts Verdauungssystems auch die Gewebestrukturen und die molekularen Ebenen seiner Organe angesehen und uns gefragt, was passiert, wenn eine seiner Verdauungssystemkomponenten nicht mehr richtig funktioniert. Um diese komplexen Systeme und Strukturen genauer betrachten zu können, haben wir verschiedene Mikroskop-Techniken genutzt. Da das Mikroskopieren die Neugierde im Kurs leider nicht komplett stillen konnte, wurde an-

schließlich sogar Blut verlangt, um den Wissensdurst der Teilnehmer zu stillen. Im Blut war für uns vor allem der Zuckergehalt interessant. Im Zuge dessen haben wir uns unterschiedliche Komponenten wie Enzyme, pH-Wert sowie Regelkreisläufe im Blut und im Körper auf molekularer Ebene angeschaut.

Letzten Endes hat jedoch auch das Blut nicht gereicht, woraufhin unser lieber Herbert uns seine Nieren zum Sezieren bereitstellen musste. Nun wussten wir recht viel über den Aufbau des Verdauungssystems und die darin ablaufenden Prozesse. So gelang es uns letztendlich zu verstehen, wie Herbert aus unserer Nahrung Energie gewinnen kann.

Lebensmittelbestandteile

JULIUS OTT UND LUIS FEDRA



Bereits am EWE beschäftigten wir uns auf praktische Art und Weise mit Lebensmittelbestandteilen

Unsere Mahlzeiten bestehen aus vielen verschiedenen Inhaltsstoffen. In einem Gericht können beispielsweise Lebensmittel wie Fleisch oder Fisch, Gemüse, Eier oder auch Milchprodukte enthalten sein. In fast allen Gerichten sind die drei Hauptnahrungsmittelbestandteile vertreten: Kohlenhydrate, Eiweiße/Proteine und Fette. Weitere Lebensmittelbestandteile sind Ballaststoffe, Mineralsalze und verschiedene Vitamine.

Beispielsweise steckt in Fleisch oder Eiern sehr viel Eiweiß. Dagegen bestehen Getreideprodukte und Kartoffeln zum größten Teil aus Kohlenhydraten. Fette treten vor allem in Milchprodukten wie Butter, Käse und Sahne auf, und in Gemüse sind reichlich Vitamine enthalten.

Ballaststoffe stecken vermehrt in Nüssen und Hülsenfrüchten (siehe Abbildung 1).

All diese Bestandteile sind Stoffe, die unser Körper braucht, um zu funktionieren. Wichtig ist dabei, dass die Bestandteile unserer Nahrung in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Möchte man die Lebensmittelbestandteile von verarbeiteten Lebensmitteln in Erfahrung bringen, sind diese meist auf der Rückseite eines Produkts in der Zutatenliste oder auf der dabeistehenden Nährwerttabelle zu finden. Insbesondere am Eröffnungswochenende beschäftigten wir uns ausführlich mit Kohlenhydraten, die im folgenden Kapitel näher erläutert werden.

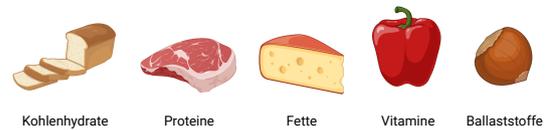


Abbildung 1: Die Hauptbestandteile unserer Nahrungsmittel (erstellt mit BioRender)

Schimmelexperimente

JULIUS OTT UND LUIS FEDRA

Direkt am ersten Tag der Sommerakademie starteten wir ein Experiment, bei dem wir über die darauffolgenden zwei Wochen verteilt die Veränderungen beobachteten und fotografisch festhielten. Das Experiment bestand darin, dass wir Brote vom Bäcker und Industriebrot mit verschiedenen Lebensmitteln belegten. Hierfür standen uns Salz, Zucker, Honig, Bio-Käse und Scheibletten-Käse zur Verfügung. Außerdem wollten wir Unterschiede zwischen kalten oder warmen und dunklen oder hellen Standorten testen. Für einen warmen Standort machten wir von einem sogenannten Inkubator gebrauch, einem Wärmeschrank, in dem eine bestimmte Temperatur eingestellt werden kann.

Wir stellten in zwei Gruppen möglichst viele verschiedene Kombinationen von Brotsorten und Belägen zusammen und waren letztendlich im Besitz von mehr als 18 verschiedenen Brotproben. Diese verstauten wir in luftdichten Tü-

ten, befeuchteten sie großzügig und verschlossen sie. Daraufhin stellten wir Vermutungen an, welche Brote innerhalb dieser zwei Wochen am schnellsten und am stärksten schimmeln würden.

Unsere erste Kontrolle fand nach fünf Tagen statt. Dort ließ sich erkennen, dass die Brotscheiben, die im Kühlschrank untergebracht worden waren, wie erwartet noch nicht angefangen hatten zu schimmeln (siehe Abbildung 2a). Die Brote aus dem Inkubator dagegen, die in der Wärme lagen, hatten zum Teil schon begonnen zu schimmeln. Das war der Fall bei „Brot: warm und trocken“, „Brot: warm und Bio-Käse“ (siehe Abbildung 2b) und „Brot: warm und Scheibletten-Käse“.

Bei den Käsesorten fing der Bio-Käse an zu schimmeln, ganz im Gegensatz zum Scheibletten-Käse. Genauso schimmelte nur das trockene Brot vom Bäcker und nicht das Industriebrot, obwohl es wegen der Befeuchtung schlechteren Voraussetzungen ausgesetzt war als das trockene Brot. Zu schimmeln fingen auch die Brotscheiben im Dunkeln an (siehe Abbildung 2c), die auf Raumtemperatur und im Hellen gelagerten Brotscheiben dagegen nicht. Die Brotscheiben mit Konservierungsstoffen wie Salz, Zucker und Honig blieben unverändert, was auch unseren Erwartungen entsprach (siehe Abbildung 2d).

Nach acht Tagen blieben diese konservierten Brotscheiben im Kühlschrank weiterhin ohne Schimmel. Die Brote im Hell-Dunkel-Vergleich sind schlussendlich beide schimmelig gewesen. Bei den im Inkubator gelagerten Broten, die davor schon schimmelten, verbreitete sich der Schimmel weiter.

Wir schließen daraus, dass die Schimmelpilze, Bakterien und andere Mikroorganismen im Warmen, Dunklen und Feuchten schneller wachsen als im Kalten, Hellen und Trockenen. Auf Bakterien im Besonderen werden wir nachfolgend im Abschnitt „Das Mikrobiom“ weiter eingehen. Konservierungsstoffe wie Honig, Zucker und Salz helfen zusätzlich, die Brote länger haltbar zu machen. Außerdem schimmelt der Bio-Käse deutlich schneller als der Scheibletten-Käse und das Brot vom Bäcker schneller als das Industriebrot. Das liegt daran, dass in diesen

Produkten die Zusatz- und Konservierungsstoffe nicht oder nur bedingt vorhanden sind.

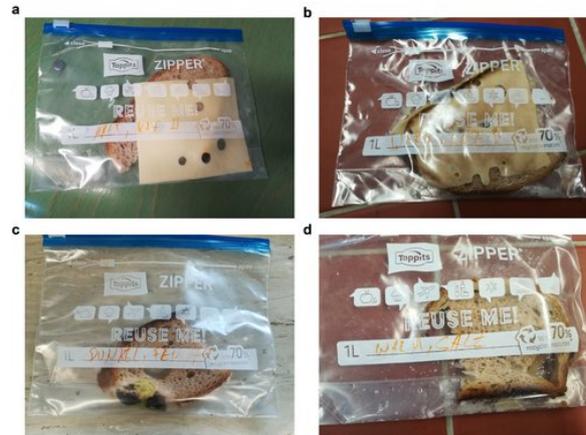


Abbildung 2: a – Käsebrot (Bio) im Kalten ohne Schimmel, b – Käsebrot (Bio) im Warmen mit Schimmel, c – Brot im Dunkeln ohne Konservierungsstoff, d – Brot im Warmen mit Salz als Konservierungsstoff ohne Schimmel

Zucker

JULIUS OTT UND TIBOR MOLNAR

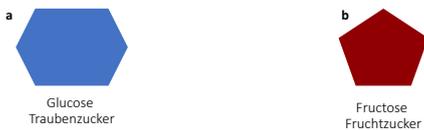
Zucker konsumieren wir täglich. Enthalten in unserer Nahrung und vielen Getränken, verleiht er ihnen Süße und liefert uns die benötigte Energie. Meist sprechen wir dabei nur über „einen“ Zucker, doch eigentlich gibt es viele verschiedene Zuckerarten. Wir unterscheiden zwischen Einfachzuckern (Monosacchariden), bestehend aus einer Zuckereinheit, Zweifachzuckern (Disacchariden) aus zwei Zuckereinheiten, Mehrfachzuckern (Oligosacchariden), gebildet aus mindestens drei Zuckereinheiten, und Süßstoffen (Zuckeralkoholen). Vorstellen kann man sich die einzelnen Zuckermoleküle zur Vereinfachung wie geometrische Formen. Glucose und Galactose werden als Sechseck und Fructose als Fünfeck dargestellt.

Durch chemische Reaktionen entstehen bei Aneinanderreihung der Moleküle Zweifach- oder Mehrfachzucker. Zu den Einfachzuckern gehören Traubenzucker, also Glucose (siehe Abbildung 3a), und Fruchtzucker, die sogenannte Fructose (siehe Abbildung 3b). Haushaltszucker (Saccharose) und Milchzucker (Lactose) zählen zu den Zweifachzuckern. Saccharose be-

steht aus einem Glucose- und einem Fructosemolekül (siehe Abbildung 3c), Lactose aus einem Glucose- und einem Galactosemolekül (siehe Abbildung 3d). Zu den Mehrfachzuckern gehört zum Beispiel die Raffinose, die aus einem Galactose-, einem Fructose- und einem Glucosemolekül besteht. Süßstoffe sind zum Beispiel Stevia und Erythrit.

Zucker werden über die Darmwand ins Blut aufgenommen und gelangen so zu allen Organen. Süßstoffe hingegen können von unserem Darm nicht aufgenommen werden, sodass sie unseren Körper wieder unverdaut verlassen. Dies liegt daran, dass der Mensch erst seit wenigen Jahren Süßstoffe verwendet und sie teils künstlich in einem chemischen Prozess hergestellt werden.

Einfachzucker



Zweifachzucker

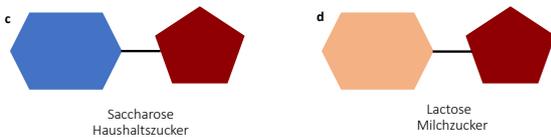


Abbildung 3: Zuckerarten und ihre Zusammensetzung

Kohlenhydrate

JULIUS OTT UND TIBOR MOLNAR

Oft sieht man auf Nährwerttabellen die Aufschrift: „Kohlenhydrate“ und „davon Zucker“. Aber was sind Kohlenhydrate? Kohlenhydrate haben die Summenformel $C_nH_{2n}O_n$. Zu ihnen gehören sowohl Zucker als auch Polysaccharide (Mehrfachzucker), welche aus mehr als 10 Monosaccharid-Einheiten bestehen. Die Stärke ist das wahrscheinlich bekannteste Polysaccharid, das zu großen Mengen in Kartoffeln oder auch in Getreideprodukten vorhanden ist und aus Hunderten von Glucose-Einheiten besteht (siehe Abbildung 4). Auch Cellulose, Chitin und Glycogen zählen dazu. Im Gegensatz zu Zuckern schmecken Polysaccharide neutral. Im

nächsten Kapitel werden verschiedene Versuche mit Zuckern und Kohlenhydraten beschrieben, die wir durchführten, um unser Wissen hierüber anzuwenden und zu erweitern.

Stärke

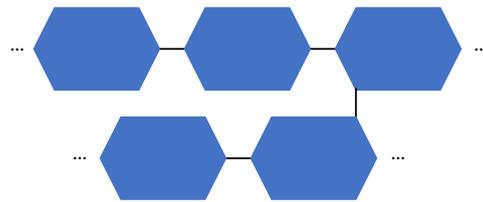


Abbildung 4: Stärkeketten bestehen aus aneinandergereihten Glucose-Einheiten

Zuckernachweis

ELISABETH HERGET UND HENDRIK BARAS

Unser zweites Experiment im Labor der Akademie waren verschiedene Zuckernachweise. Da wir uns am Eröffnungswochenende ausführlich mit verschiedenen Zuckern beschäftigt hatten, hatten wir die Möglichkeit, vor den Experimenten Vermutungen aufzustellen, wie manche Nachweise ausfallen könnten. Wir bekamen von unseren Kursleiterinnen vier Versuchsbeschreibungen und fünf unterschiedliche Zuckerlösungen. Das war jeweils eine Glucose-, Fructose-, Lactose-, Saccharose- und Stärke-Lösung.



Als Erstes führten wir den Glucosenachweis mithilfe von Glucose-Teststreifen durch. Dafür hielten wir jeweils einen der Streifen in jede der Zuckerlösungen und notierten unsere Beobachtungen. Der vorher gelbe Streifen färbte

sich nur nach Kontakt mit der Glucoselösung grün, bei den anderen Lösungen blieb er gelb. Danach führten wir die Fehling-Probe durch. Dazu mischten wir in fünf Reagenzgläsern jeweils 2 ml Fehlingscher Lösung I mit 2 ml Fehlingscher Lösung II und gaben anschließend 3 ml des zu testenden Zuckers hinzu. Dabei nahmen alle Lösungen einen blauen Farbton an. Diese fünf Lösungen erhitzen wir nacheinander. Nun konnten wir erkennen, dass sich nach dem Erhitzen die Glucose-, Lactose- und Fructose-Lösungen orange-rot und die Saccharose- und Stärke-Lösungen dunkelblau färbten (siehe Abbildung 5).

Wir stellten uns natürlich die Frage, warum die drei Lösungen nun andere Farben annahmen. Dieses Phänomen können wir damit erklären, dass sich die Glucosemoleküle von ihrer Ringform in die Kettenform öffnen können. Dadurch kann die Glucose Elektronen an die Fehlingsche Lösung abgeben, und es entsteht ein orange-roter Kupfer(I)-oxid-Niederschlag. Da die Ringöffnung bei der Saccharose und der Stärke aufgrund ihrer Bindungen nicht möglich ist, werden keine Elektronen übertragen und die Lösung bleibt blau.



Abbildung 5: Nach dem Erhitzen färben sich die Glucose-, Lactose- und Fructose-Lösungen orange-rot, während die Saccharose- und Stärke-Lösungen eine dunkelblaue Farbe annehmen.

Darüber hinaus führten wir den Iod-Stärke-Nachweis durch. Bei diesem Versuch nahmen wir wieder fünf Reagenzgläser mit den verschiedenen Zuckerarten zur Hand. In jedes Reagenzglas gaben wir wenige Tropfen einer Iod-Kaliumiodid-Lösung. Die Stärke-Lösung färbte

sich dunkelblau. Bei den anderen Zuckerlösungen trat jedoch nur eine gelbe Färbung auf (siehe Abbildung 6).

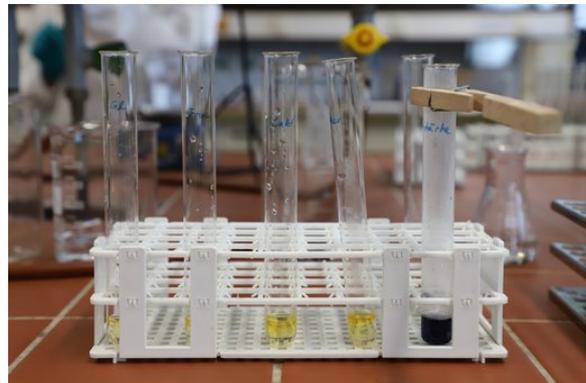


Abbildung 6: Beim Iod-Stärke-Nachweis färbt sich nur die Stärke blau.

Die Stärke-Lösung erhitzen wir danach, wobei das tiefe Blau immer blasser wurde. Als wir das erhitze Reagenzglas in Eiswasser tauchten, verfärbte sich die Lösung wieder blau-schwarz. Hier die Erklärung: Die Stärke-Lösung färbte sich zunächst blau-schwarz, weil die Stärke als Polysaccharid eine spiralförmige dreidimensionale Struktur bildet. Hierbei lagern sich Iod-Atome in die helixförmigen Stärkeketten ein, und es entstehen Stärke-Iod-Komplexe, durch welche die Lösung blau erscheint. Beim Erhitzen zerfallen diese Komplexe wieder, da sich die Atome stärker bewegen. Die Lösung wird immer blasser. Beim Abkühlen werden die Komplexe wiederhergestellt, und die Lösung nimmt wieder die blau-schwarze Färbung an.

Zum Schluss führten wir das 1,6-Diaminohexan-Verfahren durch. Mithilfe dieses Verfahrens wird der Lactosegehalt in einem Milchprodukt oder einer Lactose-Lösung bestimmt. Zuerst erwärmten wir 800 ml Wasser in einem Becherglas auf 65 °C. Anschließend wurden acht Reagenzgläser mit 2 ml der folgenden Stoffe befüllt: Wir untersuchten Vollmilch, laktosefreie Milch, Naturjoghurt, Kefir und 5 %-ige Lactose-, Glucose-, Fructose- und Saccharose-Lösungen. Anschließend wurde in jedes Reagenzglas 2 ml der 1,6-Diaminohexan-Stammlösung hinzugefügt und alles für zehn Minuten in das Wasserbad gestellt.

Nach diesen zehn Minuten färbten sich die Produkte, welche viel Lactose enthalten, rot. Pro-

dukte mit wenig Lactose färbten sich gelb, und Produkte mit gar keiner Lactose wurden auch gelb oder blieben farblos. Zu den rot gefärbten Stoffen zählten Lactose und die Vollmilch, zu den gelb gefärbten der Naturjoghurt, die Glucose und Fructose und zu den farblosen der Kefir und die Saccharose (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Die Stoffe verfärben sich beim 1,6-Diaminohexan-Verfahren gelb, rot oder bleiben durchsichtig.

Monosaccharide wie Glucose und Fructose werden gelb, während das Disaccharid Saccharose farblos bleibt, da die reaktiven Gruppen hier fest in der Bindung verbaut sind. Alle 1,4-verknüpften Disaccharide (z. B. Lactose, Maltose), färben sich rot, da die reaktiven Gruppen hier freiliegen und mit dem 1,6-Diaminohexan interagieren können. Der Name 1,6-Diaminohexan kommt daher, dass sich zwischen den beiden Aminogruppen sechs Kohlenstoffatome befinden. Am ersten Kohlenstoffatom (daher die 1 vor dem Komma) und am sechsten Kohlenstoffatom (daher die 6 nach dem Komma) sind jeweils eine Aminogruppe gebunden. Da es insgesamt zwei Aminogruppen enthält, erhält

dieser Stoff die Vorsilbe *Di*. Schließlich reagiert dieser Stoff mit Lactose und färbt die Lösung. Wir haben die Zeit im Labor sehr genossen und hatten viel Spaß dabei, die Zuckernachweise durchzuführen.

DNA und Proteinbiosynthese

JAKOB WANGERIN, GRACE ALHELO,
TIBOR MOLNAR

Nach den Einsichten in die Welt der Zucker und Kohlenhydrate haben wir uns den Proteinen zugewandt. Hierfür haben wir zunächst besprochen, was die DNA ist und wie sie funktioniert. Die DNA ist in jeder unserer Zellen im Zellkern vorhanden. Sie hat, wie in Abbildung 8 zu sehen, die Struktur einer Doppelhelix und enthält „Baupläne“ für Proteine.



Abbildung 8: Die DNA beinhaltet den Bauplan, nach dem unsere Zellen aufgebaut werden.

Die Grundeinheiten der DNA sind DNA-Nucleotide. Sie bestehen aus einer Phosphatgruppe, an welcher der Zucker Desoxyribose hängt. An diesem sitzt noch eine Base, im Fall von unserer Darstellung Thymin (siehe Abbildung 9). Hängt man ganz viele dieser Nucleotide aneinander, erhält man einen DNA-Strang.

Wie auf der Darstellung in Abbildung 10 zu sehen ist, enthält die DNA vier verschiedene Basen. Jede der Basen hat eine komplementäre Base, wobei Thymin die Komplementärbase von Adenin und Cytosin die von Guanin ist.

Damit die in der DNA vorhandene Information für die Produktion von Proteinen verwendet werden kann, wird die mRNA (Messenger-RNA = Boten-RNA) gebraucht. RNA heißt Ribonucleic Acid, übersetzt Ribonukleinsäure (RNS). Wie ihr Name schon sagt, gehört auch sie, genau wie die DNA, zu den Nukleinsäuren und hat damit einiges mit der DNA gemeinsam. Zum einen sind auch hier vier unterschiedliche Basen ein wichtiger Bestandteil. Sie enthält wie auch die DNA, Adenin, Guanin und Cytosin, allerdings findet man bei ihr statt der Base Thymin das sehr ähnliche Uracil. Eine weitere Gemeinsamkeit der beiden Nukleinsäuren ist ihr Zucker-Rückgrat, wobei dieses bei der mRNA anders als bei der DNA aus Ribose besteht. Zusätzlich dazu tritt die mRNA nur in Einzelsträngen auf und ist um einiges kürzer als die DNA, da sie nur einzelne Gene enthält.

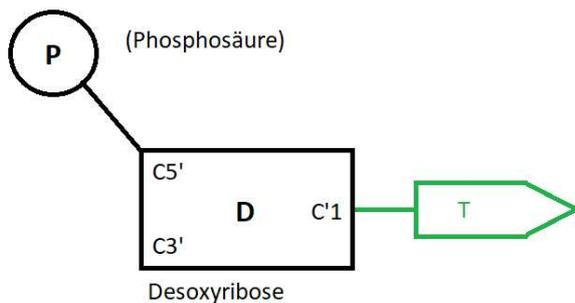


Abbildung 9: Ein solches Nucleotid findest du auch in deinem Körper. Es ist ein kleiner Baustein deiner DNA.

Die mRNA wird im Zellkern in einem Prozess namens Transkription gebildet. Am Anfang dieses Prozesses wird ein Teil der doppelsträngigen DNA aufgespaltet. Bestimmte Proteine suchen den Anfang eines Gens und fangen an, eine Negativ-Kopie dieses Gens zu erstellen. Dabei wird jeder Base der DNA die komplementäre Base der mRNA zugeteilt. Dieser Vorgang dauert so lange an, bis ein ganzes Gen kopiert ist.

Danach wird die neue mRNA noch modifiziert, sodass sie nur noch die nötigen Informationen enthält und bereit ist, aus dem Zellkern zu den Ribosomen transportiert zu werden. An den Ribosomen, welche auf dem rauen ER sitzen, werden die Proteine hergestellt. Proteine werden aus vielen aneinandergereihten Aminosäuren, also kleinen unterschiedlichen Bausteinen, auf-

gebaut und deshalb auch als Aminosäureketten bezeichnet.

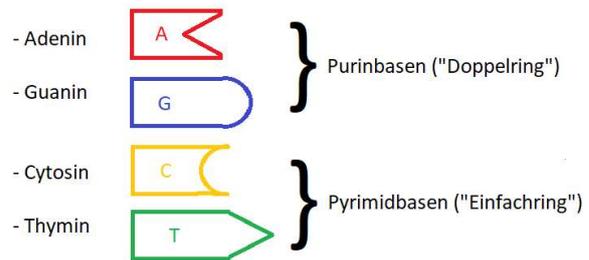


Abbildung 10: Die vier Basen der DNA

Die Zusammensetzung und Reihenfolge der Aminosäuren ist in der mRNA kodiert, sodass an den Ribosomen die in der mRNA gespeicherten Proteinbaupläne in Proteine umgesetzt werden. Die Reihenfolge der Aminosäuren bestimmt die Struktur und damit auch die Funktion des entstehenden Proteins. Die einzelnen Proteinketten haben eine einfache und eine komplexe Struktur. In der primären Struktur liegt das Protein als einfache Perlenkette vor. In der komplexen Struktur interagieren die Perlen miteinander, sodass das Protein eine bestimmte Form einnimmt. Die Struktur bestimmt die Funktionsfähigkeit des Proteins.

Enzyme

SALOMON OBERSCHMID UND LUIS
FEDRA

Enzyme kann man sich als winzig kleine Werkzeuge im Körper vorstellen. Sie sind Proteine und wirken als Biokatalysatoren. Ein Biokatalysator setzt die Aktivierungsenergie herab, wodurch Reaktionen beschleunigt werden. Enzyme sind außerdem substrat- und wirkungsspezifisch. Substratspezifisch bedeutet, dass ein bestimmtes Enzym mit seinem Substrat nur einen spezifischen Stoff im aktiven Zentrum bindet und dabei einen „Enzym-Substrat-Komplex“ bildet. Wirkungsspezifisch bedeutet dagegen, dass jedes Enzym sein passendes Substrat immer in das gleiche Produkt umsetzt. Auch wenn Enzyme das passende Substrat umsetzen, gehen sie selbst aus der Reaktion unverändert hervor.

Enzyme besitzen ein pH- und ein Temperatur-optimum. Dieses Optimum ist wichtig für eine

ideale Wirkungsweise. Wenn die Temperatur im Körper zu niedrig ist, nimmt die Wirkung der Enzyme nach und nach ab. Wenn die Körpertemperatur im Gegenzug aber zu hoch ansteigt, sinkt nicht die Wirkung ab, sondern die Enzyme „denaturieren“, sie gehen also kaputt (siehe Abbildung 11).

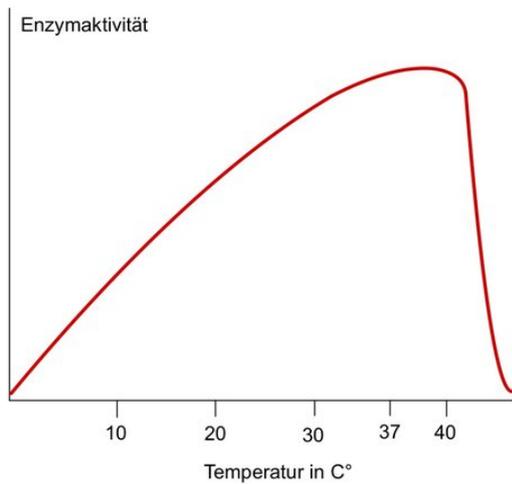


Abbildung 11: Die Enzyme denaturieren bei hohem Fieber über 41 °C.

pH-Wert

Der pH-Wert gibt an, ob eine Lösung eher basisch oder sauer ist. In der Praxis sind pH-Werte von 0 bis 14 relevant, auch wenn die pH-Skala nicht darauf begrenzt ist. Lösungen, die einen Wert <7 haben, sind sauer, 0 ist sehr sauer, 6 eher weniger. Lösungen, die Werte von >7 haben, sind basisch beziehungsweise alkalisch, dabei ist ein Wert von 8 eher schwach basisch und ein Wert von 14 am stärksten basisch. Ein pH-Wert von 7 ist neutral.

Ob eine Lösung sauer oder basisch ist, hängt davon ab, ob mehr Hydroxidionen (HO^-) oder Oxoniumionen (H_3O^+) vorhanden sind. Je mehr Hydroxidionen vorliegen und je weniger Oxoniumionen, desto höher liegt der pH-Wert im alkalischen Bereich. Sind aber mehr Oxoniumionen vorhanden, ist die Lösung sauer. Neutral ist die Lösung, wenn gleich viele Hydroxidionen und Oxoniumionen vorhanden sind. Denn Oxoniumionen und Hydroxidionen reagieren zu neutralem Wasser und gleichen sich somit gegenseitig aus.

Zum Thema pH-Wert führten wir auch einen Versuch durch. Dieser bestand darin, den pH-Wert verschiedener Getränke mithilfe eines pH-Meters zu messen. Unsere Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Lösung	Messung		Säure
	1	2	
Zitronensaft	2,5	2,3	Zitronensäure, Kohlensäure
Cola	2,6	2,5	Phosphorsäure, Kohlensäure, Zitronensäure
Sprite	3,1	3	Zitronensäure, Kohlensäure
Apfelsaft	3,3	3,2	Apfelsäure, Zitronensäure, Weinsäure
Tomatensaft	4,4	4,4	Zitronensäure
Sprudel	5,5	5,5	Kohlensäure
Leitungswasser	7	7,1	–

Tabelle 1: Auch Flüssigkeiten, die wir aus dem Alltag kennen, haben unterschiedliche pH-Werte.

Die Schwankungen zwischen den beiden Messungen sind gewöhnliche Schwankungen, die durch Messfehler oder durch Substanzen von außen (zum Beispiel Wasser) zustande kommen. Uns hat am meisten der niedrige pH-Wert von Cola überrascht, da wir Cola mit einem pH-Wert zwischen vier und fünf eingeschätzt hatten.

Enzymversuche

Katalaseversuch

Wir führten verschiedene Versuche mit Kartoffeln und einem darin enthaltenen Enzym namens Katalase durch, um verschiedene Eigenschaften dieses Enzymes zu untersuchen. Für den ersten Versuch schnitten wir eine Kartoffel in kleinere Würfel. Die eine Hälfte kochte für fünf Minuten und wurde danach abgekühlt. Nun befüllten wir zwei Reagenzgläser, jeweils 1 cm hoch mit den ungekochten und gekochten Kartoffelstücken. In alle Reagenzgläser füllten wir noch zusätzlich 2 ml Leitungswasser. In ein drittes Reagenzglas mit den ungekochten Kartoffeln gaben wir auch noch eine Spatelspitze

Kupfersulfat hinzu. Alle Inhalte mischten wir vorsichtig durch und gaben zehn Tropfen einer 3 %-igen Wasserstoffperoxid-Lösung hinzu.

In dem Reagenzglas mit den ungekochten Kartoffeln bildete sich ein weißer Schaum. In dem mit den gekochten Kartoffeln veränderte sich nichts, und in dem mit den ungekochten Kartoffeln und dem Kupfersulfat bildete sich nur sehr wenig von dem weißen Schaum (siehe Abbildung 12).

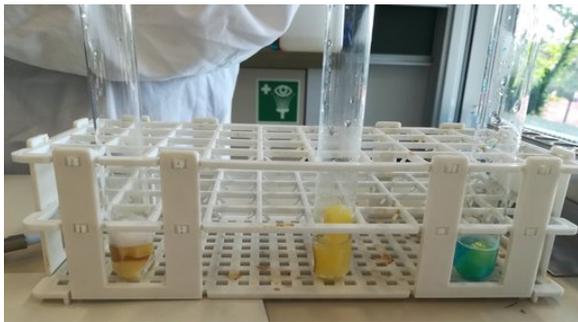


Abbildung 12: Katalase-Versuch 1: (von rechts nach links) ungekochte Kartoffeln mit Kupfersulfat, gekochte Kartoffeln, ungekochte Kartoffeln

Bei dem zweiten Versuch schnitten wir von einer Kartoffel eine etwas dickere Scheibe ab und hielten eine Münze, welche zuvor über dem Bunsenbrenner erhitzt worden war, an ein paar Stellen auf die Kartoffel. Danach tröpfelten wir wieder etwas Wasserstoffperoxid auf die gesamte Kartoffel. Nach wenigen Sekunden bildete sich an den Stellen, an denen die heiße Münze nicht draufgehalten wurde, ein weißer Schaum. An den Stellen, die von der Münze erhitzt wurden, jedoch nicht.



Wir beobachteten, dass sich immer an den Kartoffeln oder den Bereichen der Kartoffel, die nicht erhitzt oder erwärmt wurden, ein Schaum

bildete und an erhitzten Stellen jedoch keine Schaumbildung zu sehen war (siehe Abbildung 13). Das liegt daran, dass Kartoffeln ein Enzym namens Katalase besitzen, welche das Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff spalteten, wodurch es zu der Blasenbildung, also dem weißen Schaum, kommt. Bei den erhitzten Kartoffeln denaturierte wegen der Temperaturempfindlichkeit der Enzyme die Katalase. Bei den ungekochten Kartoffeln mit dem Kupfersulfat bildete sich nur ein wenig Schaum, da Metallionen, wie Kupfer, die Aktivität von Katalase senken.



Abbildung 13: Nicht erhitzte Stellen der Kartoffel schäumen bei Wasserstoffperoxid-Kontakt.

Lactase-Versuch

Zusätzlich machten wir einige Versuche mit dem Enzym Lactase, welches die Spaltung von Lactose in Galactose und Glucose katalysiert (beschleunigt). Die freigesetzte Glucose konnten wir mit Glucose-Teststreifen nachweisen. Zuerst setzten wir dafür eine Lactase-Lösung aus „Phosphate buffered saline“, als PBS abgekürzt, und Lactase-Pulver aus einer Lactase-Kapsel an. Für den Versuch gaben wir jeweils 10 ml Vollmilch, laktosefreie Milch und eine

1 %-ige Lactose-Lösung in Bechergläser und machten einen Glucose-Test. Bei der 1 %-igen Lactose-Lösung und der Vollmilch blieb der Streifen gelb, bei der laktosefreien Milch wurde er aber grün (siehe Abbildung 14). Nun gaben wir in jedes Becherglas 100 µl der Lactase Lösung hinzu und warteten zehn Minuten. Danach machten wir noch einmal den Test mit den Glucose-Teststreifen. Hier zeigten alle ein einheitliches dunkles Grün an. Was heißt, dass die Lactase die Lactose in Glucose und Galactose spaltete. So konnte der Glucose-Teststreifen die Glucose erkennen.



Abbildung 14: Lactase-Versuch mit laktosefreier Milch, Vollmilch und 1 %-iger Lactose-Lösung (von links nach rechts)

In einem anderen Versuch benutzten wir anstatt einer Lactose-Lösung ONPG, die Kurzform von „ortho-Nitrophenyl-beta-D-Galactopyranoside“. Dieses besteht aus einem Galactosemolekül und dem Farbstoff o-Nitrophenol. Für den Versuch wurden ONPG, PBS und zusätzlich etwas von dem Lactase-Extrakt in fünf Eppendorf-Reaktionsgefäße (Eppis) pipettiert. Wir testeten die Reaktion anschließend unter verschiedenen Bedingungen. Bei Raumtemperatur, bei Wärme und bei Kälte, mit Salzsäure und mit Natronlauge.

Der Farbstoff o-Nitrophenol ist zunächst durchsichtig, wenn er an die Galactose gebunden ist. Wenn aber Lactase hinzukommt, welche die Galactose und den Farbstoff spaltet, wird der Farbstoff freigesetzt und somit die Lösung gelb. Nach fünf Minuten wurden unser Positivkontrolle und die abgekühlte Lösung gelb (siehe Abbildung 15). Letztere ist aufgrund

der Temperaturabhängigkeit der Enzyme nur schwach gelb geworden, denn die Enzyme arbeiten unter kalten Bedingungen langsamer. Die anderen drei wurden nicht gelb, was bei den Eppis drei und fünf daran lag, dass das pH-Optimum nicht erfüllt wurde. Bei Eppi drei wurde Salzsäure hinzugegeben, durch welche die Lösung zu sauer wurde, wie an den pH-Teststreifen in Abbildung 15 zu sehen ist. Bei Eppi fünf gaben wir Natronlauge hinzu, was dazu führte, dass diese Lösung zu basisch wurde. In beiden Fällen arbeitete die Lactase durch das nicht erfüllte pH-Optimum schlechter oder gar nicht, dadurch verfärbte sich die Lösung auch nicht. Im Fall von Eppi vier war zwar das pH-Optimum gegeben, allerdings wurde die Lactase hier so stark erhitzt, dass die Enzyme denaturierten, wodurch sie auch nicht mehr arbeiten konnte.

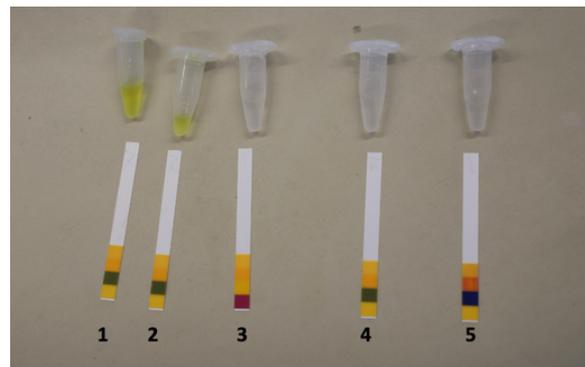


Abbildung 15: (von links nach rechts) Wirkung der Lactase mit verschiedenen pH-Werten und Temperaturen: Positivkontrolle, Reaktion im Kalten (etwas weniger gelb), saurer pH-Wert, erhitzte Lactase, basischer pH-Wert

Der Aufbau der Zelle

RICA MATTHÄUS UND JAKOB
WANGERIN

Aus den Proteinketten baut der Körper alle möglichen Bestandteile des Körpers auf. Eine größere Funktionseinheit wird als Zelle bezeichnet.

In der Zellbiologie (Zytologie) unterscheidet man zwischen tierischen und pflanzlichen Zellen. Diese haben sowohl einen anderen Aufbau als auch verschiedene Aufgaben.

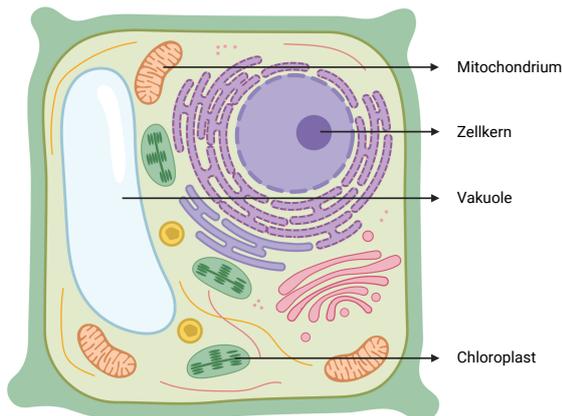


Abbildung. 16: Aufbau der pflanzlichen Zelle mit ihren Zellorganellen (erstellt mit BioRender)

Es gibt aber auch Bestandteile, die in beiden Zelltypen vorhanden sind. Beispielsweise die Mitochondrien, welche auch für unseren Kurs eine wichtige Rolle spielen, da sie zur Energiegewinnung in der Zelle beitragen. Hier findet die Zellatmung statt. Aufgrund der Fähigkeit, Energie zu produzieren, nennt man die Mitochondrien, auch „Kraftwerke der Zelle“.

Ein weiteres sehr wichtiges Zellorganell jeder Zelle ist der Zellkern, welcher die Erbinformation enthält. Diese beinhaltet die „Baupläne“ für Proteine und kann somit die Aktionen der Zelle steuern. Außerdem gibt es das Endoplasmatische Retikulum (ER), hier unterscheidet man zwischen glattem und rauem ER. Diese unterscheiden sich nicht nur in ihrer Form, sondern auch in ihrer Funktion. So ist das glatte ER für biochemische Umwandlungsprozesse zuständig, während am rauem ER durch die Ribosomen Proteine produziert werden. Die Ribosomen bilden Proteine, indem sie einzelne Aminosäuren (AS) aufnehmen und diese zu AS-Ketten (Proteine oder Peptide) verknüpfen. Dieser Vorgang wird in der Fachsprache *Proteinbiosynthese* genannt.

Während diese Proteine nun durch die Zelle schwimmen, passieren sie den Golgi-Apparat. Dieser kann die Proteine aufnehmen, modifizieren (verändern) und wieder abgeben. Wenn es darum geht, die Zelle zu entgiften, dann sind hierfür vor allem die Peroxisomen gefragt. Auch sie kommen in beiden Zellarten vor und können die Zelle auch von reaktiven Sauerstoffverbindungen befreien.

Ein Zellorganell, das sich nur in den Pflanzenzellen befindet, sind die Chloroplasten, die die Photosynthese betreiben (siehe Abbildung 16). Dabei stellen sie mit Hilfe des Sonnenlichtes, aus Kohlenstoffdioxid und Wasser, Glucose und Sauerstoff her. Ein weiteres, nur in Pflanzenzellen enthaltenes Organell ist die Zellwand, welche Stabilität gibt. Die Zellsaftvakuole dient als Speicher von Wasser, Farbstoffen, Giftstoffen und Abfallstoffen. Sie ist auch nur in der Pflanzenzelle enthalten.

Nachdem wir nun einige Grundlagen eingeführt haben, können wir mit dem Weg der Nahrung beginnen.



Der Mund

SALOMON OBERSCHMID UND LEA SCHILLINGER

Der Mund ist der Beginn der menschlichen Verdauung. Die Nahrung wird mithilfe der Schneidezähne zerteilt und durch die Backenzähne zerkleinert. Durch die Zunge und den Speichel, der von den Speicheldrüsen im Mund hergestellt wird, wird die Nahrung zu einem Nahrungsbrei vermengt.

Der Speichel soll die Nahrung aber nicht nur zu einem Nahrungsbrei zersetzen, sondern enthält auch das Enzym Amylase. Dieses Enzym ist für die Spaltung von Kohlenhydraten in kleinere Zuckermoleküle zuständig. Hierzu führten wir auch einen Versuch durch, indem wir Testpersonen Backoblaten gaben, die sie im Mund mit Speichel vermengen und aufbewahren sollten. Nach kurzer Zeit machte sich ein süßlicher Geschmack im Mund bemerkbar. Das liegt an der Spaltung der aus Stärke bestehenden Back-

oblaten in den süßlichen Zweifachzucker Maltose. Dies geschieht mithilfe der Amylase im Speichel, die wir somit in diesem Versuch nachweisen konnten.

Eine weitere sehr wichtige Aufgabe des Mundes ist das Schmecken der Nahrung. Dies diente ursprünglich dazu, Signale auszusenden, ob die Nahrung, die man zu sich nimmt, verträglich und gut, oder doch eher schädlich für den Körper sein könnte. Schmecken können wir mithilfe unserer sogenannten Geschmacksknospen. Es gibt insgesamt fünf Geschmacksarten: sauer, salzig, süß, bitter und umami (herzhaft, deftig). Nach diesem Prozess des Schmeckens, Kauens und Mischens wird die Nahrung mithilfe von zahlreichen Muskelbewegungen weiter in die Speiseröhre befördert. Im Folgenden wird genauer auf die bereits erwähnten Geschmacksknospen eingegangen.

Geschmacksknospen unter dem Fluoreszenzmikroskop

Die Geschmacksknospen befinden sich in unserem Mund. Sie sind zusammen mit unserem Geruchssinn verantwortlich für unsere Geschmackswahrnehmung. Gleichzeitig ist es auch eine Vorprüfung der Nahrung darauf, wie giftig oder gefährlich, genießbar oder ungenießbar sie ist. Wenn beispielsweise rohes Gemüse bitter schmeckt, könnte das ein Zeichen dafür sein, dass das Gemüse giftige Stoffe enthält und nicht verzehrbar ist.

Die Geschmacksknospen sind zwiebelartige Strukturen und befinden sich in den Geschmackspapillen, die auf der Zunge platziert sind (siehe Abbildung 17).

Eine Geschmacksknospe ist so aufgebaut, dass sich zwischen den Stützzellen eingebettet die Sinneszellen befinden. Sie verarbeiten die Informationen und leiten sie weiter. Dafür bilden sie jeweils eine Nervenfasern, um den Geschmack mittels elektrischer Erregungen an das Gehirn weiterzugeben.

Die Haare der Sinneszellen, in die die Sinneszellen münden, dienen zur Vergrößerung ihrer Oberfläche. Außerdem sind sie von Speichel umgeben. Die sogenannten Basalzellen sind die unteren Stützzellen, welche neue Zellen nachproduzieren.

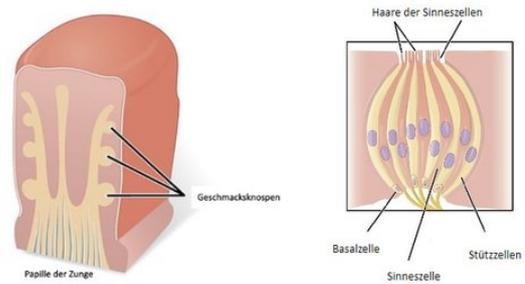


Abbildung 17: Position und Aufbau der Geschmacksknospe¹

Dank unserer Kursleiterin Anna und dem EMBL Heidelberg, an dem sie gerade ihre Doktorarbeit schreibt, hatten wir die Möglichkeit, uns diese Geschmacksknospen unter einem Fluoreszenzmikroskop bei einer 200-fachen Vergrößerung genauer anzuschauen. Da niemand von uns bisher bei solch einer guten Auflösung mikroskopiert und so viele Details bei einer Probe gesehen hatte, war es umso beeindruckender (siehe Abbildung 18).

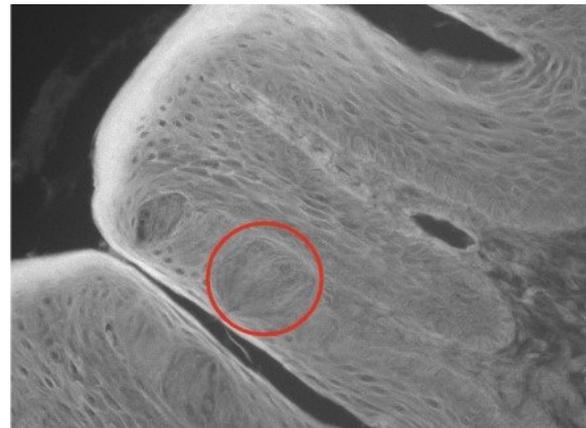


Abbildung 18: Geschmacksapille mit Geschmacksknospe, welche rot gekennzeichnet ist, unter dem Fluoreszenzmikroskop

Fluoreszenzmikroskope sind Mikroskope, die auf dem physikalischen Effekt der Fluoreszenz beruhen. Das ist die Fähigkeit mancher Moleküle und Atome, einfallendes Licht einer bestimmten Wellenlänge zu absorbieren und es dann mit einer längeren Wellenlänge wieder abzustrahlen. Damit ist die Fluoreszenzmikroskopie eine besondere Art der Lichtmikroskopie.

¹Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User OpenStax, Ausschnitt, bearbeitet, CC BY 4.0)

Besondere Vorsicht war geboten, da diese Mikroskope zum einen sehr teuer sind (rund 10.000 Euro), zum anderen auch sehr sensibel. So mussten wir die Brennweite per Hand einstellen und durften die Fluoreszenzmikroskope nur mit Handschuhen berühren und aufbauen.



Abbildung 19: Mikroskopieren an einem Fluoreszenzmikroskop

Wie bereits angesprochen, haben wir die Fluoreszenzmikroskope Stück für Stück aufgebaut. Neben dem eigentlichen Mikroskop braucht man zusätzlich einen LED-Treiber, der mit der LED verbunden ist, sowie einen Computer, auf dem man die mikroskopierte Probe sehen kann. Der Lichtstrahl wird von links durch die Kollimatorlinse zum Anregungsfilter nach rechts in den Filterwürfel mit dichroitischen Spiegel gelenkt (siehe Abbildung 20). Ein dichroitischer Spiegel ist ein Dünnschichtfilter, der das einfallende Licht nach Wellenlängen und damit nach Farben trennt. Dort wird es über das Objektiv zur Probe geleitet. Das Bild der Probe gelangt erneut durch das Objektiv und den Filterwürfel mit dichroitischen Spiegel zum Emissionsfilter und von dort durch das Okular und den Tubus zur Kamera.

Die Histologie und das Epithel

GABI BARTKOWIAK UND LEA SCHILLINGER

Die Histologie ist die Lehre von Gewebeproben. Hier wird deren Aufbau und Struktur genau untersucht. Wir haben dabei unseren Schwerpunkt auf das Epithel gelegt (die oberste Zellschicht des Schleim- oder Hautgewebes) und konnten damit beispielsweise die Zelltypen der Speiseröhre bestimmen.

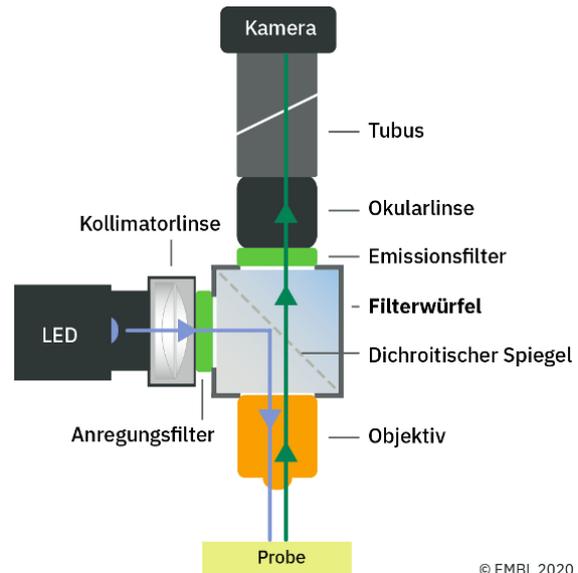


Abbildung 20: Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops²

Die Epithelien werden anhand mehrerer Kriterien benannt und eingeteilt. Zunächst wird zwischen mehrreihigem und mehrschichtigem Epithel unterschieden. Das mehrreihige Epithel kann man sich in etwa wie einen Wald vorstellen. Alle Epithelzellen haben über eine Zellverlängerung Kontakt zu der sogenannten Basalmembran, genau wie alle Bäume und Büsche im Wald Kontakt zum Waldboden haben. Bei einem mehrschichtigen Epithel sind die Zellen dagegen wie eine Mauer angeordnet. Sie haben jeweils nur Kontakt zur darunterliegenden Zellschicht (siehe Abbildung 21a). Außerdem gibt es drei verschiedene Formen, die Epithelzellen haben können. Sie sind entweder platt, kubisch oder hochprismatisch (siehe Abbildung 21b).

Man unterscheidet, ob ein Epithel verhornt oder unverhornt ist. Verhorntes Epithel enthält als äußerste Schichten abgestorbene Zellen. Diese Epithelart ist beispielsweise in der obersten Schicht unserer Haut zu finden. Unter einem Mikroskop ist dieses Epithel anhand der fehlenden Zellkerne erkennbar. Die Zellen eines unverhornten Epithels besitzen dagegen keine Schichten abgestorbener Zellen (siehe Abbildung 21c). Daraus lässt sich schließen, dass solche Epithelzellen bis in ihre oberste Schicht einen Zellkern besitzen.

²Abbildung: EMBL Science Education and Public Engagement Team (CC BY-NC-ND 4.0)

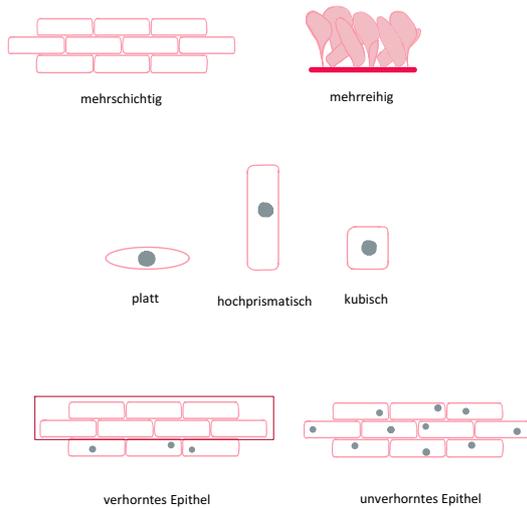


Abbildung 21: Die verschiedenen Epithel-Arten

Die Speiseröhre

LEA SCHILLINGER UND GABI BARTKOWIAK

Nach der Einführung in die Histologie hatten wir die Möglichkeit, einen Gewebeschnitt der Speiseröhre unter einem Lichtmikroskop zu untersuchen. Bei einem Lichtmikroskope wird ein vergrößertes Bild eines Objekts durch Linsen im Objektiv und Okular erzeugt.



Mikroskopieren an Lichtmikroskopen

Die Speiseröhre, auch genannt Ösophagus, ist ein dehnbarer Muskelschlauch. Ihre Länge beträgt im Durchschnitt 25–30 cm, ist aber je nach Körpergröße variabel. Sie transportiert Nahrung und Flüssigkeiten vom Rachen in den Magen, wobei der von der Speiseröhre produzierte Schleim die Nahrung noch gleitfähiger macht. Positioniert im Brustkorb vor der Wirbelsäule, hat sie zusätzlich engen Kontakt zur

Luftröhre, Trachea, und zur Hauptschlagader, der Aorta. Wie auch beim Querschnitt der Speiseröhre (siehe Abbildung 23) gut erkennbar ist, befindet sich „in der Mitte“ ein sternförmiges Lumen (1). Das ist der Leerraum, durch den die Nahrung transportiert wird und der sich ausdehnen und schließen kann. Dieses Lumen ist umgeben von einer Schleimhaut (2), die dem Bindegewebe samt Drüsen (3) anliegt. Darauf folgt eine Quer- (4) und eine Längsmuskelschicht (5). Diese sind für die wellenförmigen Kontraktionen (Zusammenziehen) verantwortlich, welche wiederum die Nahrung durch die Speiseröhre befördern.

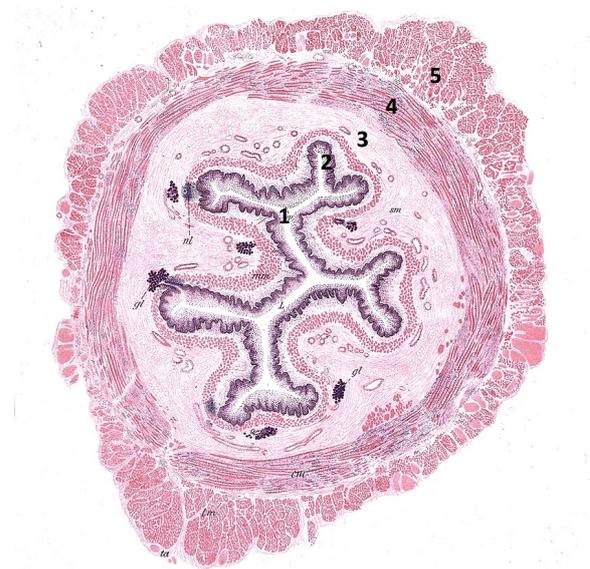


Abbildung 23: Gewebequerschnitt der Speiseröhre – 1: Lumen; 2: Schleimhaut; 3: Bindegewebe mit Drüsen; 4: Quermuskelschicht; 5: Längsmuskelschicht³

Der Aufbau der Speiseröhre erlaubt eine Dehnung des Lumens auf 3 bis 4 cm. Dadurch kann sich die Speiseröhre auf Form und Beschaffenheit der verschluckten Nahrung anpassen.

Anhand des erlernten Wissens über den histologischen Aufbau des Epithels und dem Gewebeschnitt der Speiseröhre konnten wir uns erschließen, dass es sich bei der Schleimschicht der Speiseröhre um ein mehrschichtiges, unverhorntes Plattenepithel handelt (siehe Abbildung 24). Zum einen mehrschichtig, da die Zellen wie eine Mauer aufeinander aufbauen, und unverhornt, weil jede Zelle einen Zellkern

³Abbildung: Wikimedia (A. E. Schaffer, Wellcome Collection, CC BY 4.0)

besitzt. Nicht bei allen Zellen ist das deutlich sichtbar. Grund dafür ist der hauchdünne Gewebeschnitt, bei dem der Zellkern mancher Zellen sich dort befunden hat, wo die Gewebeschicht abgetrennt worden ist. Und wie in Abbildung 24 gut erkennbar, besitzen die Zellen eine platte Form.

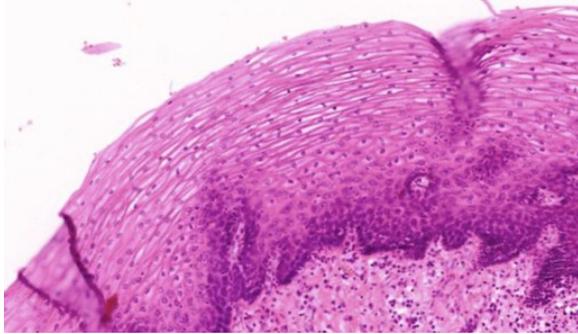


Abbildung 24: Mehrschichtiges, unverhorntes Plattenepithel der Speiseröhre

Der Magen

GABI BARTKOWIAK UND VIKTORIA MOTZ

Durch die Speiseröhre gelangt der Nahrungsbrei weiter in den Magen, den sogenannten Gaster. Diesen kann man sich als einen Muskelbeutel vorstellen, der die Speiseröhre und den Darm verbindet. Hier werden die Nahrung gesammelt und wichtige Schritte der Verdauung durchgeführt. Mit Hilfe von seinen Muskeln kann der Magen den Nahrungsbrei gegen die Magenwand schleudern, um den Brei zu durchmischen. Zwischen der Speiseröhre und dem Magen befindet sich ein Schließmechanismus. Dieser verhindert, dass die Magensäure mit der Nahrung ungewollt in die Speiseröhre zurückfließt und Schäden anrichtet. Ein weiterer Schließmechanismus ist der Pförtner. Er befindet sich im letzten Abschnitt des Magens und verschließt den Magenausgang, damit der Mageninhalt nur portionsweise in den Darm transportiert wird.

Im Magen selbst befindet sich Magensäure, die hauptsächlich aus Salzsäure besteht. Die Salzsäure hat einen pH-Wert von 1–3,5. Der niedrige pH-Wert der Salzsäure zeigt, dass die Magensäure eine stark ätzende Säure ist. Um die

Magenwand vor der Säure zu schützen, produziert die Magenschleimhaut eine Schleimschicht. Diese Schleimschicht enthält eine Base. Bei einer Reaktion von der Säure und der Base neutralisieren sich die beiden Lösungen und machen sich so gegenseitig unschädlich. Die Magensäure bleibt jedoch ätzend, da die Base sich nur an der Schleimhaut befindet und nicht in den Magen abgegeben wird und die Neutralisationsreaktion daher nur an der Magenwand abläuft.

Welchen Grund gibt es für die stark ätzende Säure des Magens, wenn sich der Magen selbst davor schützen muss? Mit unserer Nahrung gelangen manchmal auch Krankheitserreger in den Magen. Damit diese keine Schäden anrichten, müssen sie abgetötet werden. Hierfür gibt es die Magensäure. Wie in Abbildung 25 gezeigt, gelangen die Krankheitserreger in den Magen und werden daraufhin von der Magensäure abgetötet.

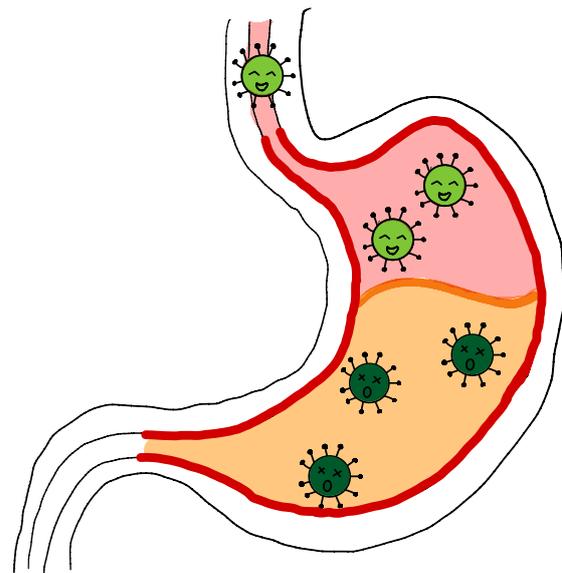


Abbildung 25: Abtötung von Erregern durch die Magensäure

Außerdem beschleunigt der saure pH-Wert aufgrund der vielen H^+ -Ionen die Zersetzung von Proteinen. Durch die Säure läuft häufiger eine Hydrolysereaktion ab. Bei der Hydrolyse wird eine Verbindung, wie in unserem Fall die Proteine, durch eine Reaktion mit Wasser gespalten. Dabei wird von einem Wassermolekül ein Proton (H^+) an einen Teil der Aminosäureketten angehängt. Das verbleibende Hydroxidion

(OH⁻) bindet sich an einen anderen Teil der Aminosäurekette. Durch die Hydrolyse werden die Aminosäureketten aufgebrochen.

Zusätzlich befindet sich in der Magensäure das Enzym Pepsin, das dort sein pH-Optimum hat. Pepsin wirkt im Magen wie eine Schere. Es trägt einen großen Teil dazu bei, dass die in der Nahrung enthaltenen Proteine in einzelne Aminosäuren aufgespaltet werden. (siehe Abbildung 26).

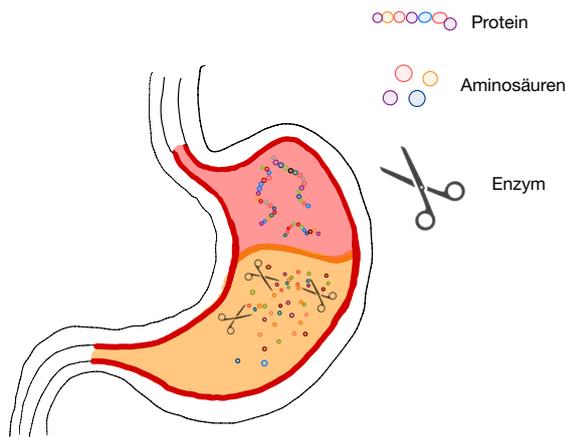


Abbildung 26: Das Enzym Pepsin spaltet Proteine in Aminosäuren

Osmose

ELISABETH HERGET UND GABI
BARTKOWIAK

Vom Magen aus kommt die Nahrung in den Darm. Um die Vorgänge im Darm besser verstehen zu können, ist der Prozess der Osmose sehr wichtig. Die Osmose beschreibt die Bewegung von Teilchen über eine semipermeable (halbdurchlässige) Membran. Diese Bewegung ergibt sich aus dem Bestreben der Natur, Unterschiede auszugleichen, in diesem Fall Konzentrationsunterschiede.

Um zu veranschaulichen, wie unsere Darmzellen mithilfe des osmotischen Drucks verschiedene Nährstoffe aufnehmen können, haben wir einen Modellversuch durchgeführt. Dazu haben wir in einen Dialyseschlauch 15 ml Stärkelösung gegeben und diesen mit Klammern dicht verschlossen. Der Dialyseschlauch soll hierbei die semipermeable Membran einer Darmzelle simulieren. Diese enthält viele Poren, die kleine

Stoffe wie zum Beispiel Iod durch den Schlauch ohne Probleme durchlassen, während er für größere Moleküle wie Stärke undurchlässig ist. Wir platzierten den verschlossenen Dialyseschlauch in ein Becherglas, in dem sich eine gelbe Iodlösung befand. Anschließend stellten wir das Becherglas auf eine Rührplatte, welche für eine gute Durchmischung der Flüssigkeit sorgte.

Bereits nach etwa fünf Minuten konnten wir erkennen, dass die Stärkelösung im Dialyseschlauch einen leichten Blaustich erhielt. Nach 15 Minuten war die Stärkelösung vollständig dunkelblau verfärbt (siehe Abbildung 27).

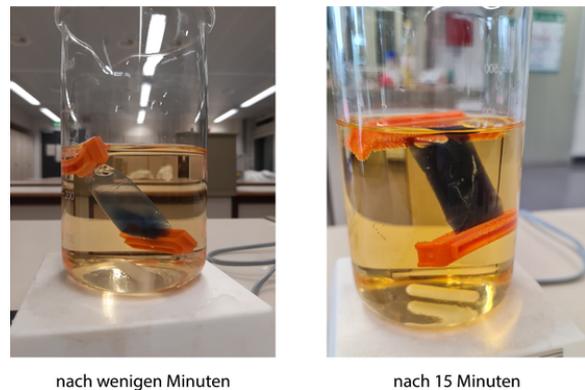


Abbildung 27: Das Ergebnis des Osmoseversuches

Erklären können wir uns die Beobachtung mithilfe der Osmose. Weil sich außerhalb des Dialyseschlauchs Iod befindet und im Schlauch nicht, herrscht ein Konzentrationsunterschied. Um diesen Unterschied auszugleichen, gelangt Iod durch die durchlässige Membran in den Dialyseschlauch. Nun ist im Schlauch nicht nur Stärke, sondern auch Iod enthalten. Mit den bereits vorgestellten Stärkenachweis können wir uns die Verfärbung erklären: Die im Beutel enthaltenen Iodatome und Stärkemoleküle reagieren zu einem Iod-Stärke-Komplex. Dadurch wird die Lösung innerhalb des Beutels mit der Zeit blau gefärbt. Da der Dialyseschlauch nicht durchlässig für die Stärke-Moleküle ist (aufgrund der Porengröße des Schlauches), kann der Konzentrationsunterschied der Stärke nicht durch Osmose ausgeglichen werden. Deswegen bleibt die umgebende Iodlösung gelblich.

Unsere Darmzellen können über diesen Prozess noch viel mehr Stoffe aufnehmen als hier anhand des Iods veranschaulicht. Aber dazu mehr im nächsten Kapitel.

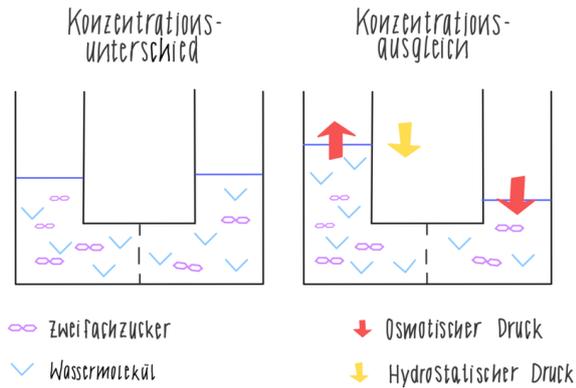


Abbildung 28: Durch Osmose kann der Wasserpegel sogar gegen den hydrostatischen Druck ansteigen. Links der Membran ist zunächst die Konzentration der Zweifachzucker höher als rechts davon. Da der Zweifachzucker die Membran nicht passieren kann, wandert zum Ausgleich Wasser von rechts nach links.

Der Darm

RICA MATTHÄUS UND TIBOR MOLNAR

Der Darm ist das Organ mit der größten Oberfläche in unserem Körper. Wozu diese große Fläche dient, werden wir uns im Folgenden genauer anschauen.

Nachdem der Speisebrei unseren Magen verlässt, passiert er nacheinander den Dünndarm, den Dickdarm und den Mastdarm, durch den die Reste unseres Nahrungsbreies als Stuhl ausgeschieden werden (siehe Abbildung 29).

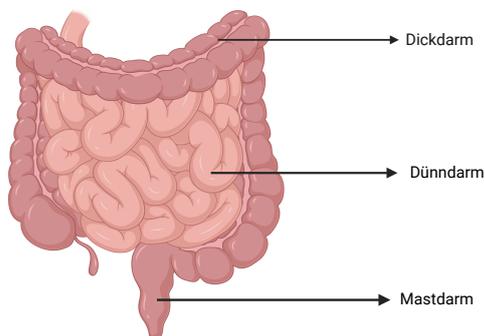


Abbildung 29: Der Darm wird in Dün-, Dick- und Mastdarm unterteilt (erstellt mit BioRender).

Innerhalb des Dünndarms gibt es verschiedene Bereiche: Sie heißen Zwölffingerdarm (Duodenum), Leerdarm (Jejunum) und Hüftdarm

(Ileum). Der ganze Dünndarm ist mit Ringfalten ausgekleidet. Auf jeder Ringfalte gibt es Zotten (Villi), welche wiederum mit kleineren Zotten (Mikrovilli) ausgestattet sind. Durch diese vielen Ausstülpungen entsteht eine sehr große Oberfläche, die bei einem erwachsenen Menschen ungefähr mit der Fläche eines Fußballfeldes verglichen werden kann. Auf der gesamten Fläche sitzen Zellen, die zur Nährstoffaufnahme dienen.

Im Dickdarm wird der Nahrungsbrei eingedickt, indem ihm das Wasser entzogen wird. Außerdem befindet sich hier die sogenannte Darmflora. In ihr leben Billionen von Bakterien, welche im Dickdarm Nährstoffe wie z. B. Zink und Calcium aufnehmen.

Das Stoma

Bei manchen Erkrankungen kann der Darm so betroffen sein, dass er seine Funktion nicht mehr erfüllen kann. Dann können Patienten mithilfe eines Stomas behandelt werden. Dabei handelt es sich um einen künstlichen Darmausgang. In einer kleinen Operation wird hierfür ein Stück des Darms durch die Bauchdecke gezogen, welcher dann auch auf der Bauchdecke sichtbar ist (siehe Abbildung 30).



Abbildung 30: Ein Stoma, das Resultat eines medizinischen Eingriffs, bei dem der Dünndarm durch die Bauchdecke an die Oberfläche gezogen wird⁴

Solch eine Operation hatte auch Thorsten, den wir im Sommer interviewen durften. Wir haben Thorsten mit Fragen gelöchert, und er hat klar

⁴Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Salicyna, CC BY-SA 4.0)

verdeutlicht, dass Menschen, die ein Stoma haben, trotzdem meist nicht eingeschränkt sind. Sie leben so, wie alle anderen auch, und können sogar Achterbahn mit ihrem Stoma fahren. Auf das Stoma wird ein Stomabeutel geklebt, der gelegentlich geleert werden muss. Dies ersetzt für Stomapatient*innen den Gang zur Toilette. Während sich der Speisebrei bei gesunden Menschen im letzten Teil des Darms sammelt, übernimmt diese Funktion bei Menschen mit Stoma der Stomabeutel.

Teilweise ist der Brei noch nicht vollständig verdaut, wenn er aus der Bauchdecke kommt, denn es gibt sowohl Dickdarm- als auch Dünndarmstomata. Je nachdem, welcher Darm seine Funktion nicht mehr erfüllt, wird während der OP ein anderer Teil des Darms als Stoma eingesetzt. Ein Stoma wird meist als letzte Behandlungsmöglichkeit angesehen, wenn andere Methoden nicht geholfen haben. Es kommt z. B. bei Darmkrebs, aber auch bei Darmerkrankungen wie *Colitis Ulcerosa* oder *Morbus Crohn* (chronische Darmentzündung) zum Einsatz.



Abbildung 31: Thorsten engagiert sich in der Selbsthilfegruppe Stoma-Welt e. V. – auch wir durften ihn mit Fragen löchern.

Die Nährstoffaufnahme im Darm

Wie bereits erwähnt nimmt der Darm viele Nährstoffe auf. Dafür sind sowohl der Dick- als auch der Dünndarm zuständig.

Die Nährstoffe befinden sich zunächst im Darm-lumen, also zwischen den Falten, die der Darm wirft. Wenn nun Zweifachzucker wie beispielsweise Saccharose die kleinen Zotten berühren, werden sie an der Darmwand von Enzymen in

Einfachzucker aufgespaltet. Die Darmwand ist eine selektiv permeable Membran. Die generelle Aufnahme von Nährstoffen in den Darm funktioniert über die Osmose. Eine Aufnahme gegen den Konzentrationsunterschied benötigt entweder Energie oder andere Hilfsmittel. Eine Aufnahme von Zucker in die Darmzellen findet beispielsweise über einen Cotransport mit Natriumionen statt (siehe Abbildung 32).

Eine selektiv permeable Membran lässt nur sehr kleine Moleküle durch. Zuckermoleküle sind jedoch zu groß und zu geladen, um die Membran einfach so zu durchqueren. Deswegen wird die Glucose durch Glucosekanäle vom Darm aufgenommen und diffundiert anschließend weiter durch die Darmzellen ins Blut. Infolgedessen steigt der Blutzuckerspiegel an.

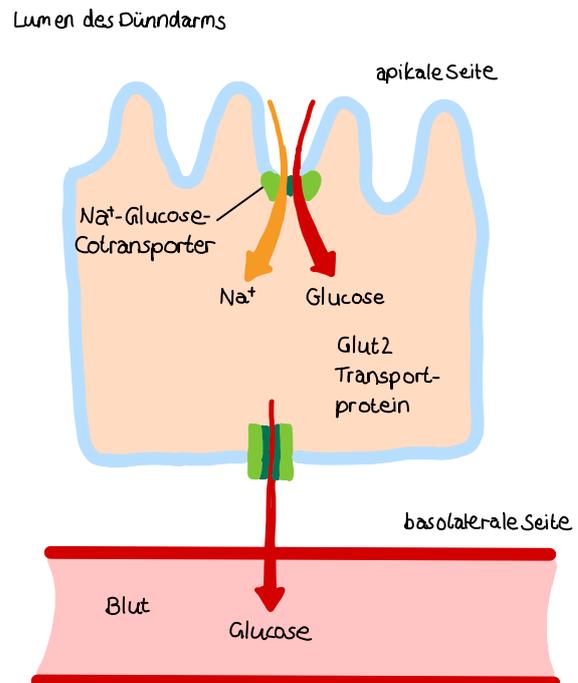


Abbildung 32: Glucose wird von Enterozyten (Darmzellen) mit einem Cotransporter mit Na^+ aufgenommen und gelangt durch Osmose ins Blut.

Anders jedoch werden Fette und Proteine aufgenommen: Damit Fette aufgenommen werden können, ist eine spezielle Verpackung vonnöten, die wir uns später im Abschnitt zur Leber und Galle noch genauer anschauen werden.

Proteine, die aus Aminosäuren aufgebaut sind, werden wiederum durch Proteinkanäle aufgenommen, die entweder einzelne Aminosäu-

ren oder auch kleine Aminosäureketten in die Darmzelle befördern.

Da nach einer guten Mahlzeit so viele zerkleinerte Nährstoffe auf einmal ankommen und der Körper möglichst viele aufnehmen möchte, braucht er so eine große Oberfläche. Auf ihr befinden sich Milliarden von Mikroorganismen. Auf sie wird im folgenden Text näher eingegangen. Dessen Grundlage ist ein spannender Vortrag von Michael Zimmermann. Er ist Wissenschaftler am EMBL Heidelberg und arbeitet derzeit am Mikrofilm.

Das Mikrobiom

RICA MATTHÄUS UND VIKTORIA MOTZ

Viren, Hefen, Bakterien oder Archaeen zählen zu den kleinsten, mit bloßem Auge nicht erkennbaren Mikroorganismen. Ihre Größe beträgt meist zwischen 0,2 und 10 Mikrometer. In einem gesunden Darm finden sich über 1000 verschiedene Arten. Mikroorganismen sind keine „Einzeltierchen“, das heißt, sie leben in einer Gemeinschaft, die als *Mikrobiom* bezeichnet wird. Das schon seit ungefähr vier Milliarden Jahren existierende Mikrobiom kann sich sowohl auf lebendigen (*biotischen*) als auch auf toten (*abiotischen*) Oberflächen befinden. Um einen abiotischen Lebensraum handelt es sich, wenn sie im Meer oder auf der Erde leben. Besiedeln die Mikrobiota jedoch Tiere, Menschen oder Pflanzen, befinden sie sich in einem biotischen Lebensraum.

So wird die gesamte menschliche Körperoberfläche vom Mikrobiom besiedelt, je nach Körperregion jedoch von unterschiedlichen Organismen. Vergleichen wir die Gene, die in unserem Körper vorliegen, dann sind ungefähr 99% davon die Gene der kleinsten Mikroorganismen. Unsere Gene machen nur ein Prozent aus. Dieser große Anteil an Organismen bildet sich ab der Geburt und ist nach dem dritten Lebensjahr vollständig ausgereift. Aber wozu braucht der Mensch die Mikroorganismen?

Um diese Frage zu beantworten, ist der Darm mit seiner *Darmflora* ein gutes Beispiel. Kein anderes Organ im menschlichen Körper beinhaltet so eine Vielfalt an Mikroorganismen wie der Darm. Viele dieser Organismen meiden

den Kontakt zu Sauerstoff, weshalb die Artenvielfalt der Darmflora bisher noch sehr unerforscht und unbekannt ist. Zudem kann die Darmbevölkerung die Physiologie oder auch das Immunsystem des jeweiligen Menschen beeinflussen. Der Schutz gegen Krankheitserreger, die Aufnahme von Nährstoffen und das Produzieren von Vitaminen sind die wichtigsten Aufgaben, die die Bakterien im Darm erledigen. Verändern sich die Mikroorganismen, so können psychische Krankheiten, Entzündungen oder Erkrankungen wie Krebs entstehen.



Abbildung 33: Mit Michael Zimmermann hatte nicht nur unser Kurs, sondern die ganze Akademie die Chance, ins Thema Mikrobiom einzutauchen.

Unter anderem die Ernährung, aber auch Faktoren wie Sport, Verreisen oder der eigene Haushalt beeinflussen, welche Mikroorganismen sich im Darm ansiedeln. Es wurde bereits nachgewiesen, dass Menschen verschiedener Kulturen eine unterschiedliche Darmflora aufweisen. Das liegt an der unterschiedlich ausgeprägten Diät in den verschiedenen Nationen. Demzufolge verringert sich die Vielfalt des Mikrobioms im Darm bei einer Auswanderung von Asien in die USA. Denn in Asien ernähren sich die Menschen meist sehr vielseitig, dementsprechend sind auch die Bakterien des Darms sehr zahlreich und verschieden. Kommt diese Person in die Vereinigten Staaten und isst überwiegend Fast Food, passen sich die Bakterien an. Das heißt, die Mikroorganismen, die nicht mehr gebraucht werden, sterben einfach ab. Somit schrumpft die Anzahl der Bakterien im Darm auf einen Bruchteil.

Die Veränderung des Mikrobioms kann auch von der Einnahme einzelner Medikamente abhängen, deren Wirkstoffe eine bestimmte Wir-

kung auf die Darmflora haben. Dazu zählt beispielsweise das Medikament Metformin, welches zur Behandlung von Diabetes Typ 2 eingesetzt wird. Metformin ist jedoch nicht das einzige Medikament, welches die Mikroorganismen verändern kann, ein anderes wichtiges Beispiel sind *Antibiotika*. Im Allgemeinen verringern Wirkstoffe, die darauf ausgerichtet sind, Bakterien zu töten, die Anzahl der Darmbakterien um ein Vielfaches. Aus diesem Grund sind Antibiotika umstritten, denn in manchen Fällen erholt sich der Darm kaum von der Wirkung des Medikamentes, das einen Großteil des Mikrobioms auslöscht.

Man kann dem Darm und seinen kleinen Bewohnern einen Gefallen tun, indem man sich ausgewogen ernährt und Lebensmittel, die *Präbiotika* enthalten, zu sich nimmt. Präbiotika sind unter anderem in Spargel, grünen Bananen, Zwiebeln, Knoblauch, Pastinaken, Artischocken, Chicorée oder Lauch enthalten. Für die Darmpflege kann man sich auch *Probiotika* in der Apotheke besorgen. Präbiotika helfen dem Darm, die Vielzahl der Mikroorganismen aufrechtzuerhalten, und Probiotika enthalten Mikroorganismen, die man zu sich nimmt.

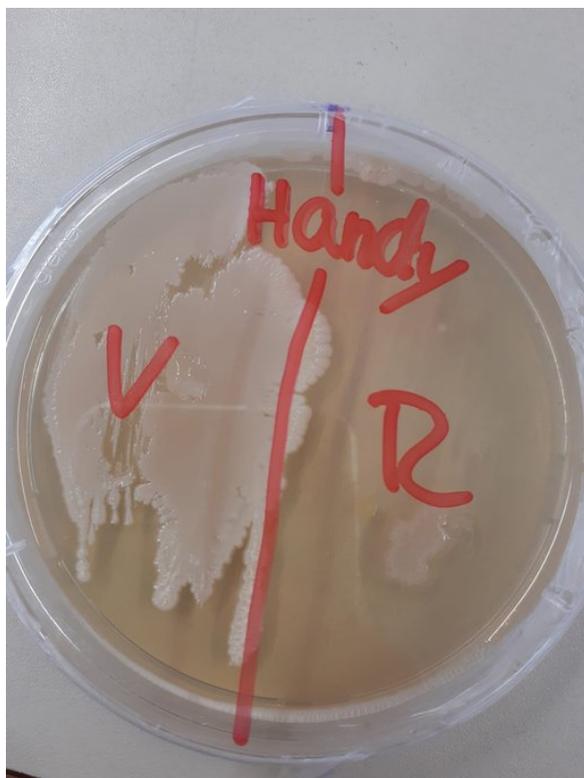


Abbildung 34: Mikroorganismen zweier Handydisplays auf einer Agarplatte

Schimmelplatten

Aufgrund ihrer Größe sind die Mikroorganismen für Menschen nicht sichtbar. Jedoch leben Mikroorganismen fast überall.

Um sie sehen zu können, haben wir Abstriche von verschiedenen Oberflächen genommen und sie auf Agarplatten gestrichen. Agar wird aus Algen gewonnen. Im alltäglichen Gebrauch ist es ein vegetarischer Gelatine-Ersatz. Die Platten wurden für mindestens 24 Stunden in einen Inkubator mit 37 °C gelegt. Dadurch fühlen sich die Mikroorganismen besonders wohl und vermehren sich schnell.

Auf fast jeder Platte vermehrten sich die Bakterien stark. In Abbildung 34 sieht man, dass viele Gegenstände, wie beispielsweise ein Handydisplay, gar nicht so sauber sind, wie man denkt. Außerdem erkennt man in Abbildung 35 die Wirkung des Desinfektionsmittels. Beim Abstrich des Tisches bildeten sich deutlich sichtbar Bakterien (siehe linke Seite der Petrischale), bei der Desinfektion jedoch nicht. Deshalb wird Desinfektionsmittel verwendet, um eine bakterienfreie Oberfläche zu schaffen.



Abbildung 35: Tisch vor (links) und nach (rechts) der Desinfektion

Leber und Galle

Leber

SALOMON OBERSCHMID, VIKTORIA MOTZ

Die Leber ist das größte und auch schwerste Innenorgan des menschlichen Körpers und wiegt zwischen 1,4 und 1,8 Kilogramm. Außerdem ist die Leber die größte Drüse unseres Körpers. Es fließen jede Minute ca. 1,5 Liter Blut durch sie hindurch. Sie liegt im rechten Oberbauch und wird mithilfe des Sichelbands der Leber an ihrem Platz gehalten. Die Leber besteht aus dem größeren rechten Leberlappen und dem etwas kleineren linken Leberlappen. Zwischen diesen Lappen verläuft das oben bereits erwähnte Sichelband der Leber. Unter der Leber liegt die Gallenblase, welche direkt mit der Leber verbunden ist (siehe Abbildung 36).

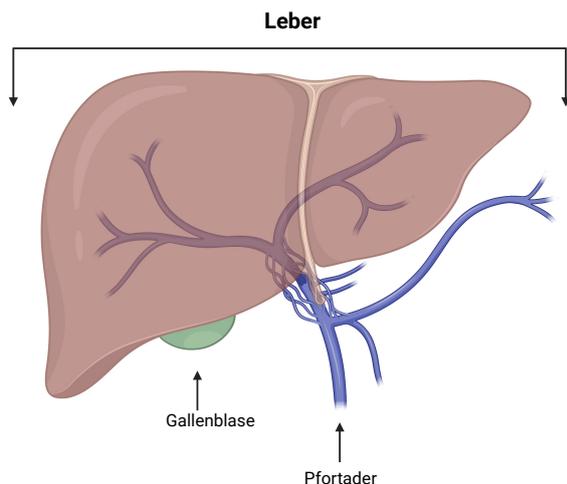


Abbildung 36: Durch die Pfortader gelangt das verunreinigte Blut in die Leber (erstellt mit BioRender).

Die Leber hat viele wichtige Aufgaben. Eine davon ist das Ausscheiden und Umwandeln von Giftstoffen. Dazu kommen die Speicherung von Nährstoffen und die Produktion der Galle.

Ausscheidung von Giftstoffen

Vor der Umwandlung von Giftstoffen wie Alkohol, Herbiziden oder Pestiziden müssen diese Stoffe erstmal in die Leber gelangen. Dafür fließt das Blut der Verdauungsorgane wie dem Magen und dem Darm in der Pfortader zusammen und wird von dort aus weiter in die Leber

gebracht. Hier gelangen die Stoffe in die Leberzellen, welche diese dann mithilfe von Enzymen und biochemischen Reaktionen in brauchbare Stoffe umwandeln können. Wasserlösliche Überreste wandern nach diesem Vorgang über das Blut in die Nieren. Wasserunlösliche Überreste werden mit der Galle in den Darm transportiert.

Speicherung von Nährstoffen

Die Leber speichert lebenswichtige Nährstoffe wie Fette, Eiweißbausteine, Eisen, Vitamine (A, B12, D) und Zucker. Sie kann diese Stoffe bei Bedarf auch wieder an den Körper abgeben, denn die Leber spielt bei der Blutzuckerregulation eine entscheidende Rolle. Genaueres kommt im nächsten Kapitel über die Bauchspeicheldrüse.

Produktion von Galle

Des Weiteren ist die Leber für die Produktion der Gallenflüssigkeit zuständig. Das geschieht in den Leberzellen. Aus dem Abbau von Blutkörperchen entsteht beispielsweise der Gallenfarbstoff Bilirubin, der dem Urin und dem Stuhl seine charakteristische gelbe bzw. braune Farbe gibt. Die Gallenflüssigkeit hilft bei der Verdauung. Um dies zu veranschaulichen haben wir den folgenden Versuch durchgeführt.

Der Emulgator-Versuch

Wir haben in einer kleinen Flasche Sonnenblumenöl mit Paprikapulver angefärbt, damit wir die Flüssigkeiten im weiteren Verlauf besser unterscheiden können. Als zweiten Schritt füllten wir Wasser in diese Flasche und schüttelten sie. Aber auch nach starkem Schütteln trennten sich die zwei Flüssigkeiten nach kurzer Zeit wieder. Dies änderte sich, als wir zwei bis drei Spatelspitzen Kartoffelbreipulver hinzugefügt haben und die Flasche erneut schüttelten. Nun konnten wir eine einheitliche Mischung beobachten (siehe Abbildung 37).

Vermischen sich Wasser und Öl, bezeichnet man dies als Emulsion, das Mittel, durch das eine Emulsion entstehen kann, nennt man Emulgator. Bei der Emulsion bindet sich der fettliebende (lipophile) Teil des Emulgators an das Öl und bildet eine Art Hülle um dieses. Auf der



Abbildung 37: Der Emulgator Versuch (links ohne Kartoffelbreipulver, rechts mit Kartoffelbreipulver)

anderen Seite des Emulgators, dem wasserliebenden (hydrophilen) Teil, ordnet sich Wasser an. Den Emulgator kann man sich wie einen Magnet vorstellen, der sich zum Plus beziehungsweise Minuspol ausrichtet (siehe Abbildung 38).

In unserem Fall war der Emulgator das Kartoffelbreipulver. Ein weiteres alltägliches Beispiel für einen Emulgator ist Seife, die uns ermöglicht, unsere fettigen Hände mit Wasser zu reinigen. Diese Aufgabe, Fette in Wasser löslich zu machen und somit ihre weitere Verarbeitung zu gewährleisten, übernehmen im Körper die Bestandteile der Gallenflüssigkeit.

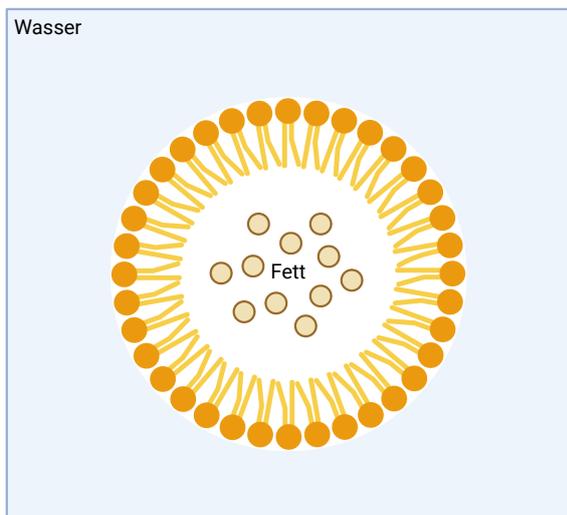


Abbildung 38: Skizze zur Verdeutlichung einer Emulsion (erstellt mit BioRender)

Die Gallenblase

VIKTORIA MOTZ

Da der Emulgatorversuch nur eine Verbildlichung der Funktion der Gallenflüssigkeit war, nahmen wir anschließend das damit verbundene Organ, die Gallenblase, unter die Lupe.

Die Gallenblase ist ein dünnwandiges, birnenförmiges Organ, das sich an der Unterseite der Leber befindet (siehe Abbildung 39). Sie ist etwa 7 bis 10 cm lang und misst an ihrer breitesten Stelle bis zu 5 cm.

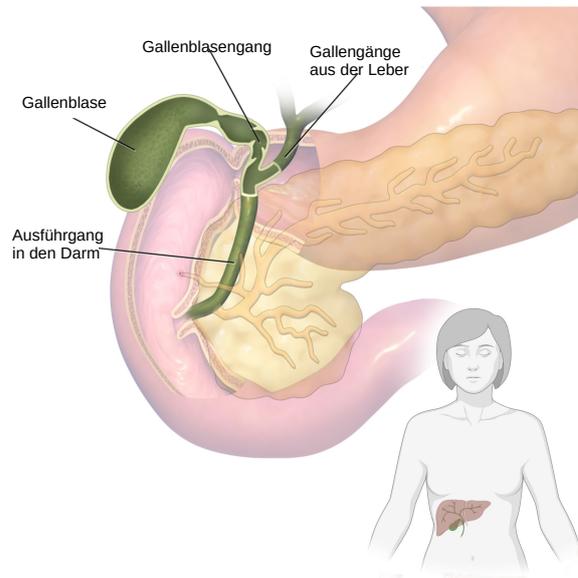


Abbildung 39: Die Gallenblase mit Verbindungen zu Leber und Zwölffingerdarm⁵

Jeden Tag produziert die Leber 800 bis 1000 ml Galle, eine bräunliche bis olivgrüne Flüssigkeit, die über kleine Kanäle in den Hauptgallengang abgegeben wird. Von dort aus gelangt sie entweder in den Darm oder in die Gallenblase. Während einer Mahlzeit wird die Galle direkt in den Dünndarm abgegeben und hilft bei der Fettverdauung. Zwischen den Mahlzeiten, wenn keine Fettverdauung stattfindet, wird der größte Teil der Galle in die Gallenblase geleitet, in der sie eingedickt und gespeichert wird. Nehmen wir fettreiche Nahrung zu uns, zieht sich die mit etwa 30 bis 80 ml Galle gefüllte Gallenblase zusammen und leitet die Galle durch den Gallengang in den Zwölffingerdarm, wo sie dem Nahrungsbrei zugemischt wird.

⁵Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Bruce Blaus, bearbeitet, CC BY-SA 4.0)

Wenn wir etwas Fettiges essen, sammelt sich das Fett in unserem Nahrungsbrei als Fettkügelchen, da es sich aufgrund seiner chemischen Eigenschaften nicht in dem sonst eher wässrigen Nahrungsbrei lösen kann. In diesem Zustand könnte es vom Körper nicht aufgenommen werden. Darum enthält die Gallenflüssigkeit Gallensalze, die große Fettkügelchen aus unserer Nahrung einhüllen, sie damit in kleine Einheiten zerlegen und es den Darmzellen so ermöglichen, die Fette aufzunehmen.

Die Bauchspeicheldrüse

VIKTORIA MOTZ

Die Bauchspeicheldrüse befindet sich im Oberbauch hinter dem Magen. Das Organ ist 12 bis 18 cm lang und setzt sich aus einem Körper und einem spitz zulaufenden Schwanz zusammen. Bei der Verdauung hat es zwei wichtige Aufgaben. Zum einen wird in den exokrinen Drüsenzellen der Bauchspeicheldrüse ein Verdauungssaft mit Enzymen erzeugt. Die Bezeichnung exokrine („nach außen abgebende“) Drüsenzellen kommt vom Transport des Verdauungssafts zum Dünndarm (nach außen).

Zum anderen produzieren die endokrinen Zellen der Bauchspeicheldrüse Hormone wie Insulin und Glucagon. Die endokrinen („nach innen abgebenden“) Zellen, die durch ihre inselartige Anordnung auch Langerhans-Inseln genannt werden, geben die produzierten Hormone direkt ins Blut (nach innen) ab. Im Folgenden wird betrachtet, welche Rolle diese Hormone im Blut spielen.

Nach dem Essen und der Aufnahme von Kohlenhydraten und Zucker steigt die Glucosekonzentration im Blut an. Da der Körper einen konstanten Blutzuckerspiegel braucht, gibt es in der Bauchspeicheldrüse Zellen, die diesen Anstieg bemerken und daraufhin das Hormon Insulin freisetzen. Durch das Insulin nehmen die Körperzellen die sich im Blut befindende Glucose auf. Die überschüssige Glucose wird in der Leber in Glycogen (lange Glucoseketten) umgewandelt. In dieser Form speichert die Leber die Glucose und setzt sie bei Bedarf wieder frei. So normalisiert sich der Blutzuckerspiegel durch das Insulin.

Durch körperliche Aktivitäten, wie beispielsweise Sport, kann der Blutzuckerspiegel sinken. Um dies ohne Nahrungsaufnahme auszugleichen, gibt es ebenfalls in der Bauchspeicheldrüse Zellen, die das Hormon Glucagon ausschütten. Es sorgt dafür, dass das in der Leber gespeicherte Glycogen wieder zu Glucose umgewandelt und ins Blut abgegeben wird, wie man in Abbildung 40 sehen kann. Dadurch normalisiert sich der Blutzuckerspiegel wieder. Den eben beschriebenen Vorgang bezeichnet man auch als „Gegenspielerprinzip“, da Insulin den Blutzuckerspiegel senkt und Glucagon diesen im Gegenzug ansteigen lässt.

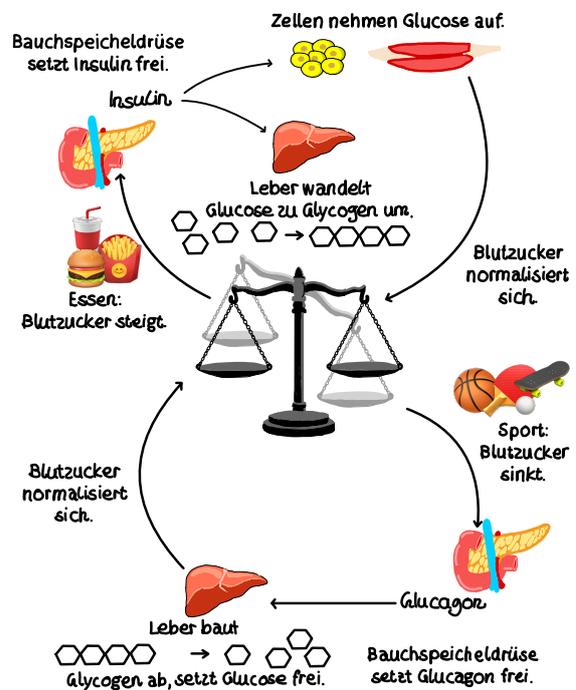


Abbildung 40: Der Blutzuckerspiegel wird mithilfe von Insulin und Glucagon reguliert.

Oraler Glucosetoleranztest

ELISABETH HERGET

Um unser Wissen über die Hormone der Bauchspeicheldrüse, Insulin und Glucagon, nun anzuwenden, führten wir ein Experiment durch. Bei diesem erklärten sich unsere Kursleiterinnen Anna und Johanna sowie unser Schülermentor Fabian als Versuchspersonen bereit. In dem Experiment standen uns 24 Teststreifen mit einigen Blutzuckermessgeräten zur Verfügung,

um den Blutzucker zu verschiedenen Zeitpunkten zu messen. In der Versuchsplanung legten wir fest, wann wir jeweils den Blutzuckerwert bei unseren drei Probanden messen würden. Zuerst bestimmten wir bei allen dreien den Ausgangswert des Blutzuckers, bei dem Johannes Blutzuckerwert vergleichsweise niedrig war, weil dieser gemessen wurde, als sie nüchtern war. Das bedeutet, dass sie zuvor nichts gegessen hatte. Annas und Fabians Blutwerte lagen höher, da Anna und Fabian wie gewohnt gefrühstückt hatten. Somit lag der Blutzucker bei den beiden eher höher. Anschließend tranken Anna und Johanna einen großen Becher mit in Wasser gelöster Glucose. Daraufhin maßen wir bei allen drei Personen noch jeweils sieben Mal den Blutzucker innerhalb von 120 Minuten.

In der Grafik 41 haben wir drei Kurven von unseren Kursleiterinnen und unserem Schülermentor erstellt, die den Blutzuckerspiegel in Abhängigkeit von der Zeit zeigen. Aus den Kurven ist herauszulesen, dass Johannes Blutzuckerspiegel im Vergleich zu Annas stärker ansteigt. Das liegt daran, dass bei Anna wegen ihres Frühstücks schon Insulin im Blut vorhanden war. Dadurch musste die Insulinausschüttung nicht erst in Gang gesetzt werden.

Bei beiden fängt der Blutzuckerspiegel nach etwa einer halben Stunde aufgrund der einsetzenden Insulinwirkung an zu sinken. Fabians Kurve stellt einen typischen Verlauf eines Menschen mit natürlichen Blutzuckerschwankungen, zum Beispiel durch Sport, dar. Da sich bei allen dreien der Blutzuckerwert nach geraumer Zeit wieder normalisierte, können wir bei Anna, Johanna und Fabian von funktionierenden Regelkreisläufen ausgehen.

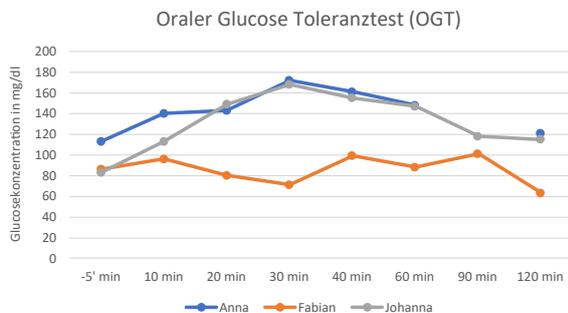


Abbildung 41: Fabians, Annas und Johannes Graph des oralen Glucosetoleranztests

Was jedoch geschehen kann, wenn manche Vorgänge beim Regulieren des Blutzuckerspiegels nicht funktionieren, wird im nachfolgenden Text zum Thema Diabetes mellitus erläutert. Viele der Nachfolgenden Informationen haben wir in einem Interview mit Conny, einer Diabetes-Patientin, am Eröffnungswochenende erhalten.

Diabetes mellitus Typ 1

JULIUS OTT

Funktioniert die Regulation des Blutzuckerspiegels nicht, kann die meistverbreitete Zuckerkrankheit Deutschlands, Diabetes mellitus, vorliegen. Man unterscheidet dabei zwischen Diabetes Typ 1 und Diabetes Typ 2. Beim Diabetes Typ 1 kann die Bauchspeicheldrüse kein Insulin mehr produzieren. Dieses wird jedoch benötigt, um Zucker aus unserem Blut in die Körperzellen zu transportieren. Erkrankten Menschen an Diabetes Typ 2, entwickelt sich eine Insulinresistenz der körpereigenen Zellen.

Ein deutlich verstärktes Durstgefühl, häufiger Harndrang, Müdigkeit, Unwohlsein, sowie starke, ungewollte Gewichtsabnahme können auf diese Erkrankung hindeuten. Unbehandelt führt Diabetes zu einem starken Anstieg der Glucosemenge im Blut, da diese nicht mehr in den Zellen aufgenommen werden kann, was zu einer Ohnmacht und im schlimmsten Fall zum Tod der Erkrankten führen kann. Unter ärztlicher Behandlung ist die Einstellung von Diabetes jedoch gut möglich, sodass Betroffene ein nahezu normales Leben führen können.

Bis heute ist die Ursache für Diabetes Typ 1 nicht endgültig geklärt. Eindeutig kann jedoch gesagt werden, dass bei einer Erkrankung mit Diabetes Typ 1 die insulinproduzierenden β -Zellen von körpereigenen Prozessen zerstört werden und daher kein Insulin mehr produzieren können. Die Veranlagung dazu kann vererbt werden, aber ob die Krankheit dann tatsächlich ausbricht oder nicht, hängt von vielen weiteren Faktoren ab. Es besteht der Verdacht, dass virale Infekte den Ausbruch der Krankheit begünstigen, das Immunsystem überreagiert und die Bauchspeicheldrüse angreift. Diabetes Typ 1 betrifft jedes Alter. Auch Kinder

erkranken an dieser Krankheit. Oft können sie damit sogar besser umgehen als erwachsene Betroffene. Methoden zur Behandlung sind das Spritzen von synthetisch hergestelltem Insulin, verbunden mit dem regelmäßigen Messen des Blutzuckerspiegels (siehe Abbildung 42).

Das Messen des Blutzuckerspiegels kann zwischenzeitlich mit einem am Oberarm angebrachten Sensor, der die Blutzuckerwerte kontinuierlich misst, ohne „Fingerstechen“ erfolgen. Die Daten werden anschließend direkt auf die dazugehörige App übertragen. Dieser Sensor wird von den Betroffenen eigenständig alle 14 Tage gewechselt.

Es gibt viele Möglichkeiten, dem Körper Insulin zuzufügen. Die Insulinabgabe kann mittels eines Insulinpens durch mehrmalige Abgabe von Einzeldosen über den Tag verteilt zu jedem Essen und zwei Gaben langwirksamen Insulins am Abend und am Morgen erfolgen. Auch mit einer Insulinpumpe kann die Erkrankung behandelt werden. Mittlerweile kommt diese immer öfter zum Einsatz. Sie gibt die für den Grundbedarf an Insulin benötigte Menge automatisch ab. Dabei wird meist schnell wirksames Insulin verwendet, welches schon nach wenigen Minuten wirkt. Bei jeder Mahlzeit muss zusätzlich die Kohlenhydratmenge möglichst genau berechnet werden, sodass die entsprechende Insulinmenge zur Mahlzeit verabreicht werden kann.

Menschen, die an Diabetes mellitus Typ 1 erkrankt sind, können alle Nahrungsmittel zu sich nehmen, die auch ein gesunder Mensch essen kann, da sie das benötigte Insulin für jede Mahlzeit ganz individuell anpassen können. Wird zu viel Insulin gespritzt, müssen die Betroffenen Glucose (häufig in Form von Traubenzuckerbonbons) oder andere zuckerhaltige Lebensmittel zu sich nehmen, sodass der Blutzuckerspiegel wieder ansteigt. Meist setzt dies nach kurzer Zeit ein. Außerdem muss darauf achtgegeben werden, wie viel Sport die betroffene Person treibt, da auch Sport den Blutzuckerspiegel zusätzlich senken kann. Gegebenenfalls muss die kontinuierliche Insulinabgabe für diese Zeit reduziert werden oder vor dem Sport zusätzlich Kohlenhydrate gegessen werden. Da der Mensch nicht programmierbar

ist wie ein Computer und es immer wieder zu einem unerklärlichen Blutzuckerabfall kommen kann, sollten Menschen mit Diabetes Typ 1 immer Traubenzucker dabei haben.



Abbildung 42: Mithilfe des Blutzuckermessgeräts und einem Tropfen Blut kann der Blutzucker gemessen werden.

Diabetes mellitus Typ 2

GRACE ALHELO

Diabetes Typ 2 ist genau wie Diabetes Typ 1 eine Zuckerkrankheit, jedoch liegt das Problem nicht bei der Insulinproduktion, sondern bei der Aufnahme von Insulin.

Wie entsteht Diabetes Typ 2?

Diabetes Typ 2 entsteht durch die Entwicklung einer Insulinresistenz der Körperzellen. Wenn unsere Körperzellen ständig mit viel Insulin umgeben sind, werden sie dem Insulin gegenüber immer weniger empfindlich, woraufhin unser Körper eine immer größere Menge von Insulin produziert, das jedoch nicht mehr so gut wirkt. Das Insulin wird jedoch benötigt, damit Glucose in unsere Körperzellen aufgenommen wird. Gelangt nicht mehr genug Zucker in die Zellen, sammelt es sich im Blut, sodass der Blutzuckerspiegel rasant ansteigt. Zudem fehlt den Zellen die Energie, die sie normalerweise aus der Glucose ziehen.

Welche Ursachen und Symptome hat Diabetes Typ 2?

Auch wenn die Ursachen sich sehr unterscheiden, treten beim Diabetes Typ 2 ähnliche Symptome wie beim Typ 1 auf. Der Lebensstil einer

Person hat einen großen Einfluss auf die Entstehung von Diabetes Typ 2. Neben erblichen Faktoren tragen Bewegungsmangel, Übergewicht, Rauchen und eine zuckerreiche, fettreiche und ballaststoffarme Ernährung zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit bei.

Die Symptome für Diabetes sind unter anderem ständiger Durst, weil man andauernd auf die Toilette gehen muss, um den Zucker auszuscheiden. Auch Müdigkeit, Konzentrationsstörungen, Sehstörungen und ein geschwächtes Immunsystem können auftreten. Letzteres macht sich vor allem in Form von längeren und häufigeren Infektionen bemerkbar. Es gibt allerdings auch langfristige Symptome, wie beispielsweise die Verengung der Blutgefäße. Diese kann zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkten oder Schlaganfällen führen. Außerdem können Hautinfektionen und Geschwüre durch eine gestörte Wundheilung ausgelöst werden und eine vollkommene Erblindung durch die Schädigung des Sehnervs auftreten. Die Symptome können schwerwiegend sein und sogar lebenslang bestehen, wenn sie nicht rechtzeitig behandelt werden!

Welche Therapiemöglichkeiten gibt es?

Wenn ein Diabetes Typ 2 erkannt wird, besteht eine erste Behandlungsoption in der Änderung des Lebensstils. Die Patient*innen müssen bspw. ihre Ernährung so umstellen, dass sie ballaststoffreich, fettarm und zuckerarm ist. Wenn dies nicht ausreicht, kann mit Medikamenten eingegriffen werden.

Energiegewinnung in der Zelle

GRACE ALHELO, JAKOB WANGERIN

Die Energiegewinnung in der Zelle, auch Zellatmung genannt, ist einer der essentiellen Vorgänge unseres Körpers, um aus unserer Nahrung Energie zu gewinnen und damit z. B. Muskelbewegungen zu ermöglichen.

Zusammenfassende Gleichung



Insgesamt wird bei der Zellatmung ein Glucosemolekül mithilfe von sechs Sauerstoffmo-

lekülen in sechs Kohlenstoffdioxid- und sechs Wassermoleküle abgebaut. Dabei wird Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat) erzeugt. ATP ist eine universelle „Energiewährung“ in unseren Zellen. Sie ermöglicht den Zellen viele wichtige Aufgaben wie z. B. Muskelbewegungen, den Transport von Materialien durch unsere Zellen oder von Stoffen gegen ein Konzentrationsgefälle über Zellmembranen, den Aufbau unserer DNA und viele weitere Prozesse, bei denen Energie vonnöten ist.

Die Zellatmung kann in drei Schritte unterteilt werden, die in unterschiedlichen Bereichen in der Zelle stattfinden (siehe Abbildung 43). Den ersten Schritt nennt man Glycolyse, der zweite ist der Citratzyklus und der letzte Schritt wird als Atmungskette bezeichnet. Um diese Schritte zu durchlaufen, muss das Glucose-Molekül zunächst einmal in die Zelle gelangen.

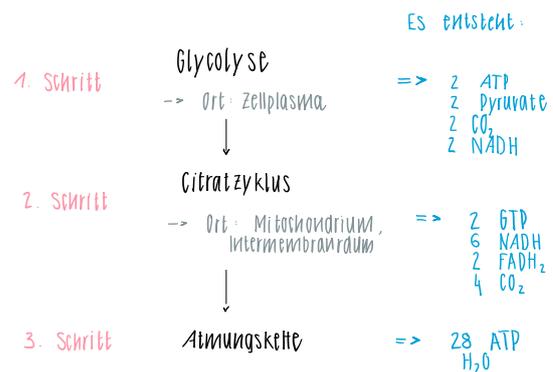


Abbildung 43: Die drei Schritte der Zellatmung

Wie kommt das Glucose-Molekül in die Zelle?

Um die Zellmembran zu überwinden, muss das Molekül durch einen Proteinkanal geschleust werden. Das Hormon Insulin wird benötigt, um die Kanäle in die Membran einzubauen. Zum Transport der Glucose in die Zelle wird somit Insulin benötigt, sodass dieser Vorgang durch die Insulinproduktion geregelt werden kann.

Was passiert in der Zelle?

Wenn das Molekül in der Zelle angekommen ist, befindet es sich im Zellplasma, wo der erste Schritt der Zellatmung, die Glycolyse, stattfindet. Dabei wird in zehn Reaktionsschritten

Glucose mit sechs Kohlenstoffatomen in zwei Pyruvate abgebaut. Pyruvate sind Moleküle mit jeweils drei Kohlenstoffatomen. Außerdem entstehen zwei Nicotinamidadenindinukleotide, kurz 2 NADH, zwei elektrisch positiv geladene Wasserstoffatome, kurz 2H^+ , und zwei 2 ATP. Das NADH dient hierbei als Speicher für Elektronen, die bei den Glucoseabbau-Reaktionen frei werden. Die gespeicherten Elektronen werden später im letzten Schritt – der Atmungskette – weiterverwendet.

Die beiden Pyruvate werden unter Abgabe von CO_2 in Acetyl-CoA umgebaut. Jedes Acetyl-CoA besteht aus je zwei Kohlenstoffatomen. An diesem Punkt der Zellatmung können auch Fette und Proteine zur Energiegewinnung beitragen, da auch diese in Acetyl-CoA abgebaut werden. Pro Pyruvat wird außerdem ein NAD^+ -Molekül in ein NADH-Molekül umgebaut.

→ *Es entstehen zwei CO_2 und zwei NADH.*

Nachdem die Acetyl-CoA-Moleküle entstanden sind, gehen sie durch einen Kanal, der in ein Mitochondrium führt (siehe Abbildung 44). Die Mitochondrien bestehen aus zwei Membranen. Der Bereich zwischen den beiden Membranen wird als Intermembranraum, der innerste Teil als Matrix bezeichnet.

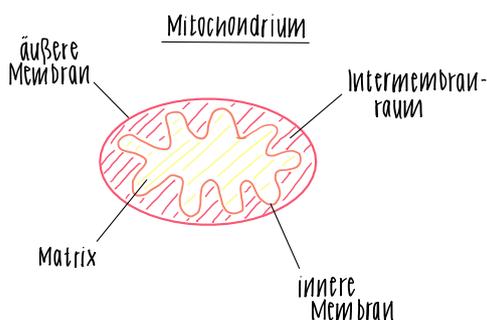


Abbildung 44: Die Mitochondrien spielen eine wichtige Rolle in der Energiegewinnung.

Der nächste Schritt der Zellatmung ist der Citratzyklus, welcher im Intermembranraum stattfindet. In diesem Zyklus wird Acetyl-CoA in CO_2 abgebaut. Des Weiteren entstehen Flavin-Adenin-Dinucleotide, kurz FADH_2 , 2 NADH und Guanositriphosphate, kurz GTP (ein Molekül, das ATP ähnelt). NADH und FADH_2 sind Moleküle, die Elektronen aufneh-

men und abgeben können. Wie bereits erklärt, hat ein Acetyl-CoA-Molekül zwei Kohlenstoffatome. Nun werden sie durch den Citratzyklus zu 2 CO_2 abgebaut.

→ *Es entstehen 6 NADH, 2 FADH_2 , 4 CO_2 und 2 GTP im Intermembranraum.*

Die NADH-Moleküle wandern durch einen Kanal vom Intermembranraum in die Matrix (siehe Abbildung 45). Dort geben die NADH-Moleküle jeweils zwei Elektronen an den ersten Komplex der Atmungskette ab ($\text{NADH} \rightarrow \text{NAD}^+ + 2\text{e}^- + \text{H}^+$). Insgesamt gibt es vier dieser Komplexe, I, III, IV und V, die zusammen als Elektronentransportkette bezeichnet werden.

Während die Elektronen auf den ersten Kanal übergeben werden, wandern vier Protonen (H^+) durch den ersten Kanal in den Intermembranraum. Ein Elektron springt vom ersten Kanal zum dritten und ermöglicht dabei 2H^+ den Durchgang durch den Komplex III. Nun wandert das Elektron nochmals zum vierten Kanal und lässt ein weiteres H^+ hindurchgehen. Am vierten Kanal endet der Weg der Elektronen. Zwei Elektronen werden auf zwei Protonen und ein Sauerstoffmolekül übertragen, sodass Wasser entsteht.

Im Intermembranraum befinden sich nun viele H^+ . Das Bestreben der Natur, Konzentrationsunterschiede auszugleichen, haben wir ja bereits im Osmose-Kapitel kennengelernt. Auch hier führt es zu einem Bestreben, die Anzahl der H^+ in den beiden Räumen (Matrix und Intermembranraum) auszugleichen. Dies wird nun an der inneren Seite des fünften Kanals von der ATP-Synthase ausgenutzt. Ähnlich einer Wassermühle wandelt sie die Energie der strömenden H^+ in eine für den Körper nutzbare Form, das ATP, um. Hierbei entstehen 28 ATP-Moleküle pro abgebautem Glucose-Molekül.

→ *Es entsteht H_2O und 28 ATP.*

Wie viel ATP wird insgesamt von einem Glucose-Molekül produziert?

Im ersten Teil der Glycolyse werden 2 ATP-Moleküle produziert. Im zweiten Teil, dem Citratzyklus, 2 GTP, die schlussendlich auch in ATP umgewandelt werden. Im letzten Teil der

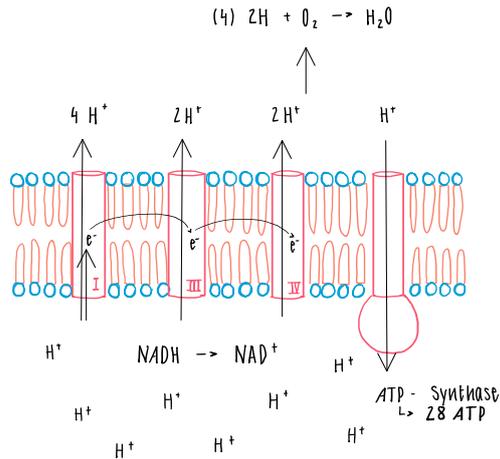


Abbildung 45: Die Atmungskette stellt den letzten Schritt der Zellatmung dar.

Atmungskette werden 28 ATP produziert. Somit werden insgesamt 32 ATP-Moleküle aus nur einem einzelnen Glucose-Molekül hergestellt.

Nieren

LEA SCHILLINGER UND RICA
MATTHÄUS

Nun ist der Weg der festen Nahrung abgeschlossen. Aber was geschieht mit Flüssigkeiten, und wie kommt unser Urin zustande?

Dafür sind die Nieren verantwortlich, zwei paarig angelegte Bauchorgane, die rechts und links der Wirbelsäule liegen (siehe Abbildung 46).

Eine Niere wiegt etwa 150–250 g und ist ca. 12 cm lang und 5 cm breit. Wie auch bei vielen anderen Organen variiert die Größe je nach Alter, Körpergröße und Gewicht. Die Hauptaufgabe der Nieren liegt darin, Blut zu reinigen und zu filtern. Das ist auch der Grund, weshalb sie oft „Klärwerke des menschlichen Körpers“ genannt werden. Trotz ihrer geringen Größe fließen innerhalb von 24 Stunden ca. 1500 Liter Blut durch die Nieren. Dabei werden Giftstoffe und Fremdstoffe zusammen mit der überschüssigen Flüssigkeit aus dem Blut herausgefiltert und schlussendlich über den Urin ausgeschieden. Für den Körper wichtige Substanzen wie beispielsweise Eiweißstoffe oder Mineralien werden hingegen von den Nieren zurückgehalten und wieder dem Blut zugeführt.

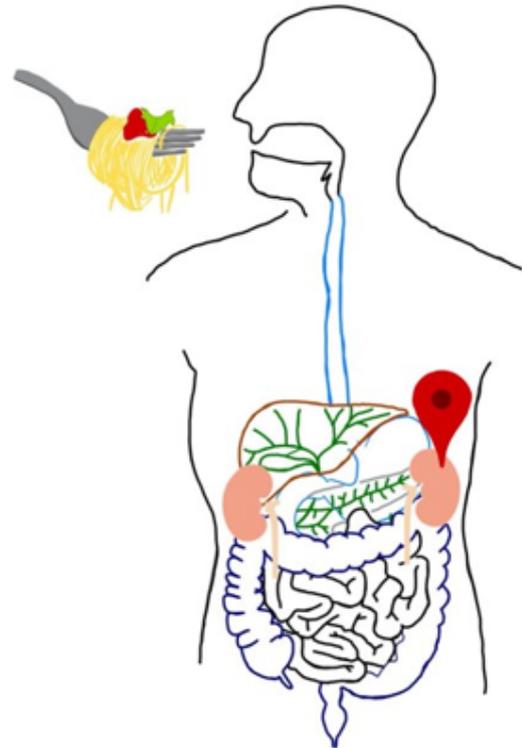


Abbildung 46: Die Nieren im Körper (erstellt mit BioRender)

Darüber hinaus erfüllen die Nieren noch weitere wichtige Aufgaben wie die Regulation des Salz- und Wasserhaushaltes, des Blutdruckes und des pH-Wertes des Blutes. Zusätzlich sind die Nieren auch für die Produktion verschiedener Hormone zuständig, wie zum Beispiel Erythropoetin, das zur Bildung roter Blutkörperchen benötigt wird.

Um das theoretische Wissen zum Aufbau und zur Funktion der Nieren besser nachvollziehen zu können, seziierten wir Schweinenieren. Da diese unseren menschlichen Nieren sehr ähnlich sind, kann man an ihnen den Weg des Blutes durch das Filtersystem und den Weg des Urins nachverfolgen (siehe Abbildung 47). Das Blut gelangt durch die Nierenarterie, die von unserer Hauptschlagader abgeht, in die Nieren. Dort fließt es zunächst durch die Nierenstrukturen der Nierenrinde, die äußerste Schicht der Niere, bis hin zu den Nierenpyramiden, wo es filtriert wird. Dort tropfen die überschüssige Flüssigkeit, Giftstoffe und Fremdstoffe in das Nierenbecken, von wo sie durch den Harnleiter in Richtung der Blase fließen. Der Abfluss des gereinigten Blutes erfolgt über die Nierenvene,

die zur Hohlvene führt. Diesen Weg des Blutes durch die Niere kann man auch in der Abbildung 47 anhand unserer seziierten Niere gut nachvollziehen.

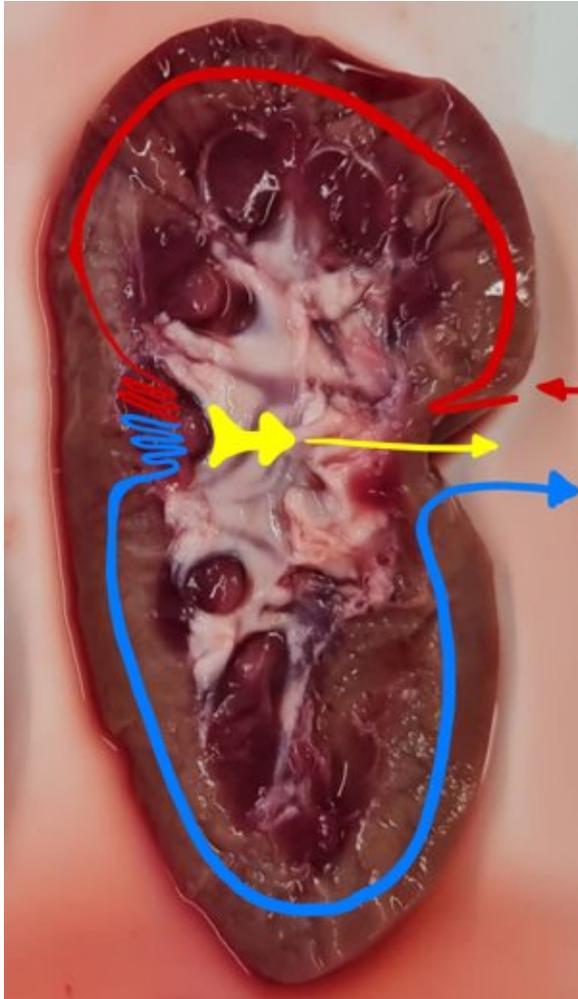


Abbildung 47: Der Weg des Blutes durch die Niere. Arterie in rot und Vene in blau. Die gelben Pfeile stellen den Weg des Urins dar.

Es ist durchaus möglich, dass Menschen auch mit nur einer Niere ein uneingeschränktes Leben führen können. Eine Niere kann die Funktion zweier Nieren ersetzen. Das größte Problem dabei ist, dass man im Falle einer Nierenerkrankung oder Entzündung keine zweite „Reserve-Niere“ mehr besitzt. Sollte dies der Fall sein, gibt es mehrere Möglichkeiten: zum einen die Hämodialyse, bei der das Blut mehrmals pro Woche in ein sogenanntes Dialysegerät geleitet wird, das dann die Aufgaben der Nieren erfüllt.

Es besteht auch die Möglichkeit einer Transplantation. Dabei wird nicht die kranke Nie-

re von einer gesunden Niere ersetzt, sondern die neue Niere in die Beckengrube gelegt. Die Gründe dafür sind das größere Platzangebot in der Beckengrube und die Komplexität der Lage der Nieren neben der Wirbelsäule und hinter all den Verdauungsorganen.

Tatsächlich gibt es auch Menschen, die mit mehr als zwei Nieren geboren werden. Da dies aber meistens keine Symptome oder Auffälligkeiten mit sich bringt, bleibt es oft unentdeckt.

Nun hat unser Herbert sowohl seine feste als auch seine flüssige Nahrung verdaut, und wir lassen ihn in Ruhe auf das Klo gehen, um dort sein Geschäft zu machen. Ob es ersteres oder letzteres ist, werden wir aus Datenschutzgründen nicht preisgeben.



Wer alles Herberts Klogang ermöglicht hat und jetzt von Informationen und Stoff gesättigt ist, sind die folgenden Personen, die nun in Hülle und Fülle genauer beschrieben werden.

Unser Kurs

Grace ist eine sehr neugierige und wissbegierige Person. Wenn mal Stille herrschte, hatte sie immer was zu sagen oder zu fragen. Auch ihr Verlangen, jede noch so kleine Information, die es gibt, mitzuschreiben, drückt ihre Wissbegierde aus. Sie ist sehr temperament- und humorvoll. Am liebsten hat sie Kaffee, ohne diesen geht laut ihren Worten „gar nichts“. Obwohl sie ihren Kaffee liebt, hat sie auch einen guten Geschmack, was Tee angeht. Von dem Pflirsich-Tee, den sie mitgebracht hatte, konnten die Teetrinker in unserem Kurs nicht genug haben. Was außerdem sehr bewundernswert

an Grace ist, ist ihr Ehrgeiz, sie hat es nämlich hier in die Akademie geschafft, obwohl sie 2015 noch nicht einmal Deutsch sprechen konnte.

Hendrik sorgte stets dafür, dass die Snackbar aufgefüllt war, wofür wir ihm alle sehr dankbar sind. Bekannt ist er für seinen Doppeltgürtel mit Sonnenbrille, außerdem trat er sehr selbstbewusst auf, weshalb er oft humorvoll als Diktator bezeichnet wurde. Vor allem an Diskussionen während unserer Mahlzeiten beteiligte er sich eifrig, dadurch hob er besonders vor Präsentationstagen die Stimmung, was einige von uns unter Stress stark benötigten. Seine Stärken liegen insbesondere in der Informatik, dadurch konnte er seine Fähigkeiten bei Formatierung und Layouten bei digitalen Texten und Präsentationen sehr gut einbringen.

Gabi, unsere super strukturierte Zeitmanagerin, kümmerte sich immer darum, den vorgeschriebenen Zeitplan einzuhalten. Bei spannenden Diskussionen war sie immer diskussionsfreudig bei der Sache. Ihre fröhliche und lustige Art steckte jeden aus dem Kurs an und zeigte, wie humorvoll sie ist. Auch sportlich gesehen war sie immer ganz vorne und mit großem Spaß dabei.

Luis, der Schlagzeuger unseres Kurses, war stets höflich und motiviert. Er galt als treuer Vertreter Hendriks, sowohl während der Diskussionen als auch in ihrer Band. Anfangs etwas schüchtern, blühte er innerhalb der zwei Wochen auf und wurde von Tag zu Tag offener und selbstbewusster.

Elisabeth ist ein sehr freundliches Mädchen, das sich für alles interessiert. Außerdem ist sie sehr sportlich und auch musikalisch begabt, was sie im Akademie-Orchester unter Beweis stellte. Glücklicherweise hatte sie mitten in der Sommerakademie Geburtstag, was uns einen Gratis-Kuchen bescherte. Ihre geschmackliche Vorliebe hat sich die japanische Kultur schon ergattert. Aber Sushi liegt ihr nicht so sehr am Herzen, ganz im Gegenteil zu unserem Kursthema.

Rica konnte mit ihrer fröhlichen, hilfsbereiten Art unseren Kurs immer wieder motivieren. Sie braucht immer etwas zu tun, so ist

sie sehr musikalisch und dazu auch noch sportlich. In der mittäglichen KüA-Schiene spielte sie im Orchester Klarinette, während sie in den abendlichen KüA-Schienen vor allem Volleyball spielte und an der Tanz-KüA teilnahm. Beim allmorgendlichen Check-up versuchte sie meist mit Erfolg, ihren müden und (verständlicherweise) demotivierten Kurs zu motivieren.

Tibor betrat mit „Tibor-grünem“ Pulli und einem Lächeln den Kursraum, von Anfang an war er sehr am Thema interessiert und motiviert und für die Witze der anderen zu haben. Auch zwischen den Kursen lag Tibor nicht auf der faulen Haut und probte im Sommer sehr fleißig auf dem Saxophon und dem Klavier für den genialen Hausmusikabend und fand dennoch Zeit, um Volleyball zu spielen und eine Programmier-KüA anzubieten.

Viktoria sticht durch ihre Kreativität und Hilfsbereitschaft heraus. Auch beim Morgensport war sie begeistert und motiviert dabei. Sie hilft allen, vor allem wenn es ums Zeichnen geht. Deshalb erklärte sie sich auf der Stelle bereit, unseren wunderschönen Kurspulli zu gestalten. Sie ist sehr interessiert und strebt nach neuem Wissen, vor allem in Chemie. Das neue Wissen kann sie dann gekonnt anwenden.

Salomon, unser Badboy, der sich Mozart am liebsten anhört, während er den Regen aus seinem Fenster beobachtet. Liefert die besten Sprüche, die es gibt, trotz der Tatsache, dass er relativ ruhig ist. Seine Vorlieben sind so unerwartet, dass sie jeden dazu bringen, ihn mehr zu mögen. Wie zum Beispiel seine Präferenz, einen lavendelfarbenen Kurspulli zu tragen, der Wunsch, die Herrschaft von Norwegen an sich zu reißen und der größte Fanboy Fabians zu sein. Sorgen muss man sich über Salomon nicht machen, solange er fünf Minuten vor dem Ende des Frühstückes da ist.

Julius war zu allen im Kurs und anderen Teilnehmern immer höflich und hilfsbereit. Bei allen Gesprächen brachte Julius sich mit ein und diskutiere munter mit uns. Zu jedem Thema, egal ob im Kurs oder beim Mit-

tagessen, lieferte er Aussagen und Sprüche, die uns alle zum Lachen brachten. Mit seiner positiven und humorvollen Art steckte er uns direkt an. Am Ende hat er alle beim Hausmusikabend als Pianist überzeugt.

Lea, auch Material Girl oder Dancing Queen genannt, konnte in der Sommerakademie leider erst ein paar Tage später anreisen, was man aber gar nicht merkte. Es war so, als sei sie schon die ganze Zeit dabei gewesen. Sie war immer sehr offen, hilfsbereit und höflich, sodass auch Vergleiche mit einer Golden-Retriever-Persönlichkeit aufkamen, was – das denken wir – ihre Freundlichkeit am besten beschreibt. Sie kannte sich ziemlich gut mit Nieren aus und wird wohl irgendwann einmal die nächste neue plastische Chirurgin.

Jakob wurde von anderen Kursen wegen seines Selbstbewusstseins und seiner Ironie auch „Lord Voldemort“ genannt. Er war häufig beim Volleyballspielen und im Kurs vor allem von Johannas energiegeladenen Spielen begeistert. Er fing gerne Diskussionen mit anderen Teilnehmer*innen an und liebte (wie seine Kurs-Kamerad*innen) die Süßigkeiten an der Snackbar der „Bios“.

Anna unterstützt den Kurs sehr mit ihren guten Erklärungen, ihrem breiten Wissen an Biochemie und ihrem guten Humor. Durch ihr Institut, dem EMBL Heidelberg, konnte sie uns mit verschiedensten Geräten, wie dem Fluoreszenzmikroskop, ausstatten. Abends mutierte sie jedoch oft zu einem Känguru und unterhielt die ganze Akademie bei der Gute-Nacht-Geschichte von Marc Uwe Kling. Zudem achtete sie darauf, dass wir alles richtig verstanden haben, und beantwortete uns jede Frage.

Johanna ist eine sehr engagierte Medizinerin, die uns jede noch so schwierige Frage sehr verständlich beantwortete. Sie ging gemeinsam mit Anna sehr oft mit uns hinaus, um unseren Teamgeist zu fördern. Sie hatte eine Leidenschaft für Spiele und unseren Abschlussabend, in dem sie immer motiviert auftrat. Mit Anna zusammen versuchte sie, uns beizubringen, dass Enzyme nicht sterben, sondern denaturieren. Wer von uns

dies behauptete, sollte einen Kuchen backen. Doch sie versprach sich einmal selbst, und so durften wir ihre wunderbaren Backkünste in Form von Scones genießen. Außerdem kann sie nicht genug davon bekommen, Dynein und Kinesin beim Fortbewegen durch die Zelle „Watscheln“ zu sehen.

Fabian war der beste Schülermentor, den man haben kann. Nicht nur Salomon ist sein Fanboy, sondern der gesamte Biokurs ist seine Fanbase. Er hat sich für uns durch das Sportfest durchgeschlagen, trotz der Tatsache, dass er fälschlicherweise den Eimer des Gegners mit Wasser gefüllt hat. Einen solchen Ehrenmann kann man nicht wiederfinden, da keiner so bereit wäre, für seinen Kurs (trotz Regen) Süßigkeiten zu kaufen und natürlich auch gesunde Snacks vorzubereiten. Er hat für uns alles gegeben und auch schwere körperliche Leistungen erbracht. Durch all seine Taten, die er für uns gemacht hat, sind wir 100 % sicher, dass er der beste Hausarzt werden wird!

Herbert, der Torso, unser treuestes Kursmitglied und unser Patient, war immer sehr ruhig und litt unglücklicherweise einmal an einer Erkrankung namens „Appendizitis“, einer Entzündung des Wurmfortsatzes. Zum Glück konnten wir sein Wehwechen diagnostizieren, und Herbert ging es schnell wieder gut. Er half uns dabei, komplexe Vorgänge in unserem Körper genauer anzuschauen und gab uns ausreichend Motivation, weiterzumachen. Er ist sehr bescheiden, jedoch liebt er es, nach längerer Zeit wieder im Mittelpunkt zu stehen.

Zitate

Johanna: „Amöbe, Amöbe!“

Ganzer Kurs: „Amöbe, Amöbe!“

Johanna: „Boom Chicka Boom“

Alle: „Boom Chicka Boom“

Fabian: „Wir sind Biologie!“

Alle: „Verdaut unseren Sieg!“

Anna: „Enzyme sterben nicht!“

Rica zu Jakob: „Machst du Kampfsport?“

Jakob: „Ne, aber ich hab’ vier Brüder.“

Hendrik als Diktator: „Abgelehnt!“

Hendrik: „Der Kurs, das Volk.“

Lea zu Rica beim Spielen: „Darf ich dich schubsen?“

Jakob: „Lea, wie geht es dir?“

Lea: „Was willst du?“

Grace: „Soll ich rausgehen?“

Kurs: „Ja.“

Hendrik: „ $C_3H_5N_3O_9$ “

Jakob: „Johanna hat's gegessen.“

Quellen

https://de.wikibooks.org/wiki/Organische_Chemie_für_Schüler/_Lactose-Nachweis
Letzter Zugriff: 29.09.2022, 19:30 Uhr

Enders, Giulia: Darm mit Charme
Ullstein-Verlag, 28. Auflage, Berlin 2014.

Nelson und Cox: Lehninger Biochemie
Springer, 4. Auflage

Georg Schwedt: Experimente mit Supermarktprodukten
Wiley-VCH, 3. Auflage



Kurs 3 – Mathematik/Informatik: Dem Klimawandel auf der Spur



Unser Kurs

Alexandra Immer wenn man ein kleines Problem hatte, war Alexandra mit ihrer hilfsbereiten Art zur Stelle. Wir durften sie als unglaublich sympathischen, witzigen und manchmal nachdenklichen Menschen erleben. Auch ihre Zuverlässigkeit und der Drang, alles mitzuschreiben, waren Dinge, auf die wir nicht verzichten konnten. Zudem hat sie am Hausmusikabend mit einem schönen Stück am Klavier beigetragen und das Orchester um eine Geige bereichert.

Artur Wer ist das, der da mit der Bundeswettbewerb-Mathematik-Flasche und den unterschiedlichsten Zauberwürfeln herumläuft? – Das kann nur Artur sein! Das Mathe-Ass ist aber alles andere als der stille Typ in der Ecke. Immer aktiv und für jeden Spaß zu

haben, hilft er mit seiner fachlichen Kompetenz bei allen Aufgaben. Zusammengefasst ist er ein super schlauer, sympathischer Disco Fox, der unseren Kurs sehr bereicherte.

Clara Die Funktion $f(x) = 1,7x$ beschreibt sehr gut die Minuten, die Clara täglich später aufgestanden ist. Danach durfte auf keinen Fall die Banane zum Frühstück fehlen. Aber auch im Kurs war sie mit ihrem Einsatz und Engagement immer mit am Start. Ihr Ehrgeiz, was mathematische Probleme angeht, war nicht totzukriegen, und in den Pausen war sie meistens beim Fuß- oder Volleyballspielen zu finden.

Irfan Schon am Eröffnungswochenende stach er als „Meister“ des Programmierens unter uns hervor. Während andere ihre Pause

mit einer kleinen Mahlzeit verbrachten, hat Irfan beschlossen, auf die Schnelle seinen Sensor zu modifizieren, sodass er die Werte direkt auf einer eigenen Website grafisch darstellte. Aber auch sein Wissen, das er in Form von Weisheiten vermittelte, war immer sehr bereichernd. Denn man sollte wirklich „keine Zigaretten trinken“.



Immanuel Seine Offenheit, Hilfsbereitschaft und das Talent, alle zum Lachen zu bringen, sind Dinge, die uns allen sehr ans Herz gewachsen sind. Immanuel fand und löste Probleme in Phasen kollektiver Verzweiflung und munterte alle wieder auf. Aber auch außerhalb des Kurses war er nicht wegzudenken: Er brachte den anderen das Tanzen sowie den Spaß daran bei und war daneben, dank seiner Musikbox, die ihn überall begleitete, auch ein exzellenter DJ.

Jannis Ohne Vorwissen an Dinge ran zugehen und sie zu meistern: Genau das hat Jannis gemacht. In der Zeit der Akademie lernte er sein Talent fürs Programmieren kennen. Eine Fähigkeit, die er aber schon unfassbar gut beherrschte, ist das Klavierspielen, denn am Hausmusikabend erfreute er alle Zuhörer mit einem unglaublichen Stück, das er einfach von seinen Fingern gleiten ließ.

Lilith Stets eine gute Gesprächspartnerin, mit der man über alle möglichen Dinge quatschen kann: Lilith war immer klug und vernünftig, aber auch zu jeder Zeit für einen Spaß (oder mehrere) zu haben. Zudem beeindruckte sie mit ihrem Interesse für Klimaforschung und war daher in unserem Kurs mehr als richtig. Und auch in der Theater-KüA leistete sie einen entscheidenden Beitrag und übertrug ihre Begeisterung auf das gesamte Stück und alle Beteiligten.

Maja Ob morgens beim Frühsport, mit der Blockflöte beim Hausmusikabend oder auch später in anderen KüAs: Sofort merkte man, dass Maja dabei voll in ihrem Element war. Aber nicht nur beim Sport gab sie Vollgas, auch im Kurs war sie kaum aufzuhalten. Sie war bei jedem Thema mit Begeisterung dabei, brachte sich alles rasend schnell bei und bereicherte das Team durch ihre offene und motivierte Art.

Masika Für uns alle ist es noch immer ein Rätsel, wie Masika es schafft, sich stundenlang an ein Problem zu setzen, ohne zu verzweifeln. So gab sie nicht auf, das „Mana“ zu spüren, bis sie es gelöst hatte, und auch im Kurs schreckte sie vor keiner Problemfrage zurück. Vielleicht liegt das an ihrer perfekten Mischung aus Hartnäckigkeit und immer guter Laune und daran, dass sie, egal in welcher Situation, immer lachen konnte.

Max Max war derjenige im Kurs, der uns immer wieder zum Lachen brachte und so die Stimmung auflockerte: Keiner hatte so viele Witze parat wie Max, und keiner redete so viel am Stück wie er. Abgesehen von seiner lustigen, direkten Art zeichnete ihn auch seine Diskussionsfreude aus, beispielsweise zur Frage, ob es „Viertel vor drei“ oder „Dreiviertel drei“ heißt.



Nicola Der erste Blick reicht, und man weiß, wie viel Energie in diesem Kerl steckt. Und diese setzt er für alles ein. Sei es, um wie ein Frosch von A nach B zu hüpfen oder an einem Problem zu arbeiten: Er ist immer mit dabei! Aber in ihm steckt nicht nur Energie, sondern auch eine Menge Gehirn, das er immer gekonnt zum Einsatz brachte,

um uns zu erleuchten. So kamen wir auch bei der Diskussion zu einer 100% klimaneutralen Energiegewinnungsmethode auf Nicola als Energiequelle.

Sofia Jeden Abend noch kurz auf Duolingo Japanisch lernen, das ist Sofia. Zudem ist sie immer cool drauf, und man kann gut mit ihr reden oder über komplizierte Problemstellungen diskutieren, wenn man eine Idee zur Lösung braucht. Zumindest solange sie Kaffee getrunken und DAS Müsli gegessen hat, ohne das sie nicht überleben kann. Sie wird uns aber auch als Partygirl und Zitate-Legende in Erinnerung bleiben.

Mathis Auch wenn wir anfangs alle mit einem „Aufpasser“ gerechnet hatten, wurde Mathis viel mehr ein guter Freund. Genauer gesagt, er konnte uns mit seinem tiefgreifenden Fachwissen über Spiele, Schlachtrufe und seinem Talent, Dinge verständlich zu erklären, stark beeindruckend. Nicht zu vergessen sind seine Bemühungen, immer das Beste aus einem herauszuholen.

Paul Egal in welcher Situation und über was man gerade redet: Paul weiß, worum es geht, und hat immer etwas auf Lager, mit dem er beeindrucken kann. Sei es einer seiner Witze oder sein Wissen, das bis in die kleinsten Ecken eines Themas reicht. Aber auch den Kurs hat er mit täglich wechselnden Mathe-T-Shirts exzellent geleitet.

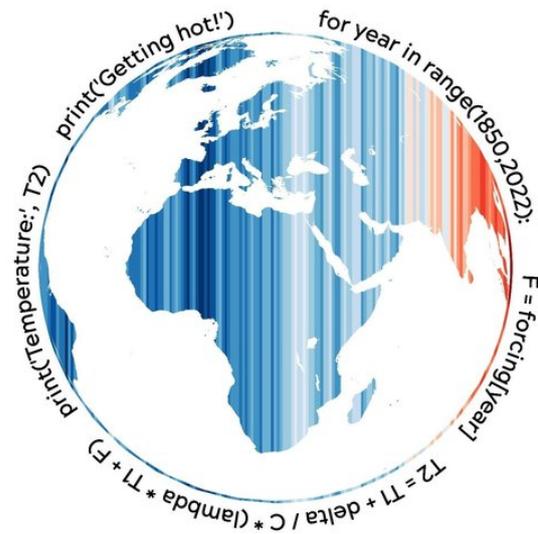


Maybritt Mit ihrem unglaublichen Engagement und stets offenen Ohren für alles war Maybritts gute Laune ansteckender als jedes Virus. Sie half dabei, das von uns fabrizierte Chaos zu ordnen, und schaffte es darüber hinaus, selbst die kompliziertesten

mathematischen Zusammenhänge anschaulich zu erklären. Und was Mathe-Shirts angeht: Das Battle mit Paul ist noch immer nicht vorbei ...

Einleitung

MATHIS BUBHOFF, MAYBRITT SCHILLINGER, PAUL BISCHOF



Wie kann man den Klimawandel am besten visualisieren? Am anschaulichsten geht das wohl mit den Warming Stripes, wie sie auf dem diesjährigen Kurs-T-Shirt zu sehen sind: ein Streifen pro Jahr, die Farbe kodiert die Temperatur; je dunkler rot, desto wärmer, je dunkler blau, desto kälter. Diese Grafik begegnete uns an mehreren Stellen im Kurs – doch bei uns ging es um viel mehr als nur spannende Abbildungen: Unser interdisziplinär ausgerichtete Kurs begab sich auf die Spur des Klimawandels quer durch die Mathematik, Informatik und Klimaphysik.

Grundlagen des Klimawandels lernten wir schon beim Eröffnungswochenende sowie durch unsere Kurslektüre „Heißzeit“ von Mojib Latif, welche wir vor dem Sommer eigenständig lasen. Während der Akademie berechneten wir dann mithilfe von Wahrscheinlichkeitstheorie, dass die aktuellen Temperaturrekorde wie in den Warming Stripes quasi kein Zufall sein können. Zusammenhänge zwischen Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur untersuchten wir mit unseren eigenen Wettersensoren und

Werkzeugen aus der Statistik sowie Datenverarbeitung und -visualisierung. Zum Abschluss programmierten wir sogar unsere eigenen kleinen Klimamodelle und warfen damit einen Blick in die Zukunft: Wie wird sich die globale Durchschnittstemperatur entwickeln, wenn wir viel oder wenig Klimaschutz betreiben?

Auch wenn die Zukunftsaussichten in Anbetracht der Klimakrise nicht immer rosig sind, war die Laune im Kurs dafür umso besser. Bereits vor der Akademie organisierten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer selbstständig ein Vortreffen und wuchsen als Gruppe zusammen. Im Kurs waren alle stets mit großer Neugier und Begeisterung dabei: Wir knobelten an Mathe-Aufgaben, kämpften uns durch große Datenmengen oder waren in Programmcodes vertieft. Wir Kursleiter freuten uns über viel Eifer und kluge Fragen und mussten manchmal vor dem Essen sehr hartnäckig darum bitten, dass die Rechner nun wirklich endlich heruntergefahren werden.

Auch außerhalb des Kurses waren wir bekannt und beliebt: Morgens im Plenum führte der Kurs stets einen Tanz oder eine La-Ola-Welle auf – da konnten die anderen Kurse nur neidisch zugucken! Die Welt geht vielleicht unter, aber wir gehen auf.

Temperaturrekord: zufällig und real

Rekorde

CLARA LEDERMANN

Wir wollten berechnen, inwieweit die Temperaturrekord in Deutschland in den letzten 14 Jahrzehnten zufällig aufgetreten sein könnten. Dafür verglichen wir sie mit den Rekorden in einer zufälligen Welt. Dabei ist ein Rekord ein Wert, der höher als alle zuvor erfassten Werte ist; und mit einer zufälligen Welt meinen wir, dass alle Zahlen zufällig durcheinander gemischt sind.

Um zu simulieren, wie viele Rekorde in einer zufälligen Welt (bei 14 Werten) auftreten, führten wir ein Experiment mit 14 Zetteln durch, auf die wir Zahlen schrieben. Welche Zahlen



wir genau verwendeten, war egal; wichtig war nur, keine Zahl mehrfach aufzuschreiben. Wir vermischten die Zettel, zogen nacheinander Zettel für Zettel und zählten anschließend die dabei aufgetretenen Rekorde. Dieses Experiment führten wir mehrmals durch. Dabei werteten wir den jeweils ersten der 14 gezogenen Zettel nie als Rekord, sondern nutzen ihn als Startwert. Bei unseren Durchführungen erhielten wir immer zwischen 0 und 4 Rekorde. Der Durchschnitt unserer Rekordzahlen lag gerundet bei 2,33.

Um unser experimentell bestimmtes Ergebnis von 2,33 mathematisch zu untermauern, leiteten wir uns zunächst den Erwartungswert her.

Erwartungswert

MASIKA NGO POUHE

Der Erwartungswert ist eine Größe in der Stochastik. Er beschreibt den auf lange Sicht zu erwartenden Durchschnitt aller Werte einer Zufallsgröße X . Das heißt, er gibt den Wert an, den man im Mittel für X erhält, wenn man ein Zufallsexperiment sehr häufig wiederholt.

Berechnet wird er, indem man die jeweiligen Werte der Zufallsgröße mit deren Wahrscheinlichkeit multipliziert und anschließend summiert.

Definition:

$$\begin{aligned} E[X] &= \sum_{i=1}^n x_i P(X = x_i) \\ &= x_1 \cdot p(x_1) + \dots + x_n \cdot p(x_n) \end{aligned}$$

Hierbei beschreibt z. B. x_1 den ersten Wert der Zufallsgröße (erstes Ergebnis) und $p(x_1)$ die zugehörige Wahrscheinlichkeit des Wertes x_1 .



Rechenregeln und Eigenschaften

- Der Erwartungswert ist linear, d. h. es gilt:

$$\begin{aligned} E[X + a] &= E[X] + a \\ E[a \cdot X] &= a \cdot E[X], \end{aligned}$$

für eine Zufallsgröße X und eine beliebige Zahl a , und für zwei Zufallsgrößen X und Y gilt:

$$E[X + Y] = E[X] + E[Y]$$

- Der durchschnittliche Wert vieler Wiederholungen eines Zufallsexperiments liegt nahe am Erwartungswert. Beispielsweise be-

trägt der Erwartungswert der Augenzahl eines Würfels 3,5:

$$\frac{1}{6}(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) = 3,5$$

Als wir es selbst ausprobierten, kam als Durchschnitt bei 10 Wiederholungen 3,8 heraus.

- Bei einem Glücksspiel gilt für den Gewinn X : Wenn $E[X] = 0$, dann ist das Spiel fair. Denn man erschließt sich daraus, dass Spieler auf lange Sicht so viel gewinnen wie sie verlieren.



Erwartungswert für die Rekorde

Im Folgenden wollen wir nun den Erwartungswert der Rekordanzahl X bei n Beobachtungen ausrechnen.

Dafür schreiben wir X zunächst als Summe von anderen Hilfs-Zufallsvariablen auf, also

$$X = X_2 + X_3 + \dots + X_n.$$

Hierbei ist $X_i = 1$, falls der i -te Wert ein Rekord ist, und $X_i = 0$ in den anderen Fällen (für i zwischen 2 und n , da wir den ersten Wert nie als Rekord bezeichnen). Dies bedeutet, dass wir mit den X_i die Stellen markieren, an denen Rekorde auftreten. Die gesamte Anzahl der Rekorde entspricht der Anzahl an Stellen, an denen ein Rekord auftritt.

Da der Erwartungswert linear ist, gilt

$$E[X] = E[X_2] + \dots + E[X_n].$$

Daher berechnen wir als nächstes

$$\begin{aligned} E[X_i] &= 0 \cdot P(X_i = 0) + 1 \cdot P(X_i = 1) \\ &= P(X_i = 1). \end{aligned}$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass an der i -ten Stelle ein Rekord auftritt, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, dass bei i Werten der letzte Wert ein Rekord ist. Dies passiert genau dann, wenn der größte Wert der ersten i Werte an letzter Stelle ist. Aus Symmetriegründen ist die Wahrscheinlichkeit dafür $1/i$, also

$$P(X_i = 1) = \frac{1}{i}.$$

Zusammengefasst haben wir bewiesen:

$$\begin{aligned} E[X] &= E[X_2] + \dots + E[X_n] \\ &= P(X_2 = 1) + \dots + P(X_n = 1) \\ &= \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \end{aligned}$$

Diese Formel übertragen wir nun auf unser vorheriges Experiment mit 14 Werten:

$$E[X] = \sum_{i=2}^{14} \frac{1}{i} = 2,25$$

Der Erwartungswert ist also 2,25, was sehr nah an unserem experimentell ermittelten Wert von 2,33 liegt.

Rekorde in der Realität

ARTUR RADESTOCK

Nachdem wir uns intensiv mit Rekorden in der zufälligen Welt befasst hatten, nutzten wir anschließend unsere gewonnenen Erkenntnisse, um diese mit der realen Welt zu vergleichen.

Wie bereits erwähnt, betrachteten wir zunächst nur die Temperaturdurchschnitte der letzten 14 Jahrzehnte, um nicht direkt mit sehr vielen Werten umgehen zu müssen. Außerdem haben wir uns hier auf Deutschland konzentriert.

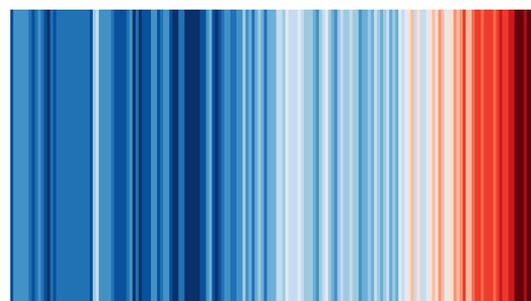


In der Grafik ist erkennbar, dass es insgesamt acht Rekorde gab, von denen allein die Hälfte in den letzten 4 Jahrzehnten stattfanden. Dies weicht stark von unserem Erwartungswert von 2,25 in der zufälligen Welt ab!

Als nächstes berechneten wir die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens acht Rekorden in der zufälligen Welt. Dazu haben wir mit einem Computerprogramm 1 Million zufällige Welten simuliert und kamen so auf ca. 0,02%. Daran sehen wir, dass die aktuellen Temperaturrekorde in einer zufälligen Welt extrem unwahrscheinlich wären.

Einer der wichtigsten Gründe dafür, dass es trotzdem zu diesen Rekorden kommt, dürfte wahrscheinlich der Klimawandel sein. Durch diesen steigt die Temperatur generell langsam an, was auch zu einer höheren Anzahl an Rekorden in der Realität im Vergleich zu denen in der zufälligen Welt führt. Der Effekt dieses stetigen Anstiegs wird nun allerdings noch verstärkt, da wir anstatt einzelner Jahre mit vielen Ausreißern, ganze Jahrzehnte betrachtet haben, die einen sehr viel stetigeren Anstieg aufweisen.

Um diesen Faktor also zu minimieren, haben wir uns anschließend die letzten 170 Jahre weltweit angeschaut.



Globale Temperatur: Warming Stripes¹

In den letzten 170 Jahren gab es in der Realität 16 Temperaturrekorde!

16 Rekorde in 170 Messwerten klingen zwar wahrscheinlicher als 8 in 14, allerdings steigt die Wahrscheinlichkeit für Rekorde in der zufälligen Welt nicht linear an, weshalb es eigentlich noch sehr viel unwahrscheinlicher ist. Tatsächlich beträgt die Wahrscheinlichkeit für mindes-

¹Abbildung: ShowYourStripes (Ed Hawkins, University of Reading, CC BY 4.0)

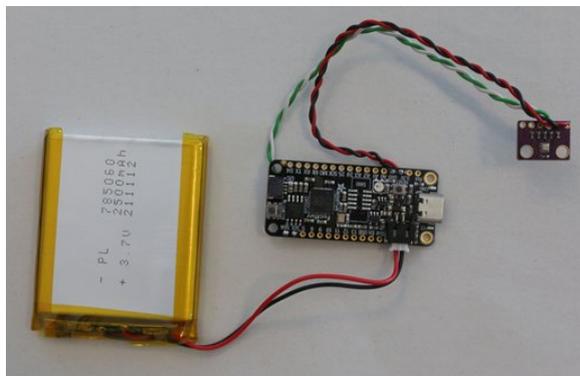
tens 16 Rekorde in der zufälligen Welt nur 0,003%, also ca. 1 Mal in 300.000 Welten.

Messungen mit eigenem Wetter-sensor

Einführung

IMANUEL FEHSE, NICOLA GRUNWALDT

Da wir nicht nur mit globalen Werten arbeiten wollten, sondern auch mit unseren eigenen lokalen Messdaten, erhielt jeder Kursteilnehmer einen Wettersensor. Diese stellten wir vor und während der Akademie auf. Im folgenden Abschnitt befassen wir uns damit, wie diese Sensoren aufgebaut sind, wo wir sie platziert haben, was man mit Hilfe von Mathematik aus diesen Daten herauslesen kann und wie es überhaupt möglich ist, dass der Computer unsere Daten auslesen kann.



Sensoraufbau

Der Sensor besteht aus 3 Hauptteilen: dem Sensor an sich, einem Microcontroller und einer Batterie, die im vollgeladenen Zustand in der Lage sein sollte, den Sensor etwa 2 Wochen lang mit Strom zu versorgen. Der Sensor misst Werte für Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Temperatur, welche er per Kabel an den Microcontroller überträgt. Der zeichnet die Daten auf und speichert sie ab, sodass sie später ausgelesen werden können.

Standorte

Um die drei aufgezeichneten Werte möglichst wenig zu verfälschen, ist der Standort sehr entscheidend, da einfache Faktoren wie zum Beispiel Sonneneinstrahlung bereits große Auswirkungen auf die Messdaten haben. Damit wir dennoch bei uns zuhause möglichst einheitliche Bedingungen haben, einigten wir uns darauf, dass wir die Sensoren möglichst in den Schatten und ein bisschen entfernt vom Haus auslegen. Für letzteren Punkt haben wir uns deswegen entschieden, da ein Haus Wärme ausstrahlt und es somit zu einer Verfälschung der Wettermessdaten gekommen wäre.

Allerdings haben wir die Sensoren nicht nur bei uns zuhause, sondern auch auf dem Akademiegelände aufgestellt. Dort war es im Gegensatz zu davor unsere Absicht, die Sensoren an Stellen zu legen, wo die Messdaten von möglichst vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wurden. So legten wir zum Beispiel einen Sensor in den Wald, um die Messdaten dort mit denen von einer Lichtung zu vergleichen. Weitere Sensoren legten wir ins Gewächshaus, um den Treibhauseffekt messen zu können, zu einem Steinhaufen, um bestimmen zu können, wie gut Steine Wärme speichern, in ein Zimmer, um die Schwankungen von drinnen mit denen von draußen zu vergleichen, oder in die Duschen.

Datenauswertung

Schritt 1: Als Erstes müssen die Daten vom Microcontroller auf einen PC übertragen werden. Die so erhaltene Datei (CSV- Datei) muss noch mit Informationen über Lage des Sensors, von dem die Daten stammen, und der Uhrzeit, an dem die Aufzeichnungen begonnen haben, versehen werden.

Schritt 2: Als nächstes werden die CSV-Dateien nach Standort in Ordnern sortiert. Anschließend liest ein Python-Programm diese Ordner automatisiert aus und schreibt alle erhaltenen Daten in einen sogenannten „Dataframe“ Dieser Dataframe ist als Tabelle aufgebaut. Da unser Sensor jedoch schon in kurzer Zeit eine große Menge an Daten aufzeichnet, wird diese Tabelle schnell sehr lang und somit unübersichtlich.

Schritt 3: Um die Daten besser nutzbar zu machen, wird der Dataframe mithilfe eines weiteren Python-Codes als Diagramm dargestellt. Dabei können wir variieren, welche Daten verglichen und wie diese dargestellt werden sollen. So können wir Zusammenhänge veranschaulichen und daraus Schlüsse ziehen.



Mathematische Hilfsmittel für die Datenauswertung

SOFIA BÖRGER CAMACHO

Für die Datenauswertung benötigen wir mathematische Hilfsmittel: Wir haben bereits den Erwartungswert kennengelernt, im Folgenden erklären wir weitere statistische Größen.

Varianz

Die Varianz ist ein Maß für die Streuung von Daten um ihren Mittelwert. Für ihre Berechnung benötigt man die Differenz einzelner Werte zum Mittelwert der Datenreihe. Diese Differenzen werden quadriert, damit sich negative und positive Abweichungen nicht gegenseitig aufheben. Danach werden die Differenzen aufaddiert. Am Schluss teilt man durch die Anzahl der Werte minus Eins, damit der Wert der Varianz nicht von der Anzahl der Datenpunkte abhängt.

Formel:

$$\text{var}(x) = \frac{1}{n-1}((x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2)$$

Hierbei ist n die Anzahl der Datenpunkte; x_1, \dots, x_n sind die Werte der Datenreihe, die nicht geordnet sein müssen.

Man kann die Varianz leicht am Beispiel einer Schulklasse erklären. Liegt der Durchschnitt einer ihrer Klassenarbeiten bei 3,0, wäre es möglich, dass alle Schüler die Note drei geschrieben haben. In diesem Fall läge die Varianz bei null. Es wäre aber auch möglich, dass die Noten der Schüler bei diesem Durchschnitt stark voneinander abweichen. Dabei könnte es Schüler mit Einsen, als auch Schüler mit Fünfen geben. Bei solch einer Verteilung ist die Varianz deutlich höher.

Kovarianz

Die Kovarianz ist ein Maß für die Abhängigkeit zweier Datenreihen. Ist die Kovarianz positiv, zeigt sie eine Abhängigkeit der Datenreihen in die gleiche Richtung: Der Term

$$(x_1 - \bar{x}) \cdot (y_1 - \bar{y})$$

ist zum Beispiel positiv, wenn x_1 und y_1 beide über dem Mittelwert liegen, aber auch, wenn x_1 und y_1 beide kleiner als der Mittelwert sind. Bei einem negativen Wert der Kovarianz liegen die Abweichungen vom Mittelwert für die Vergleichspaare entgegengesetzt. Das heißt, wenn ein Wert höher als der Mittelwert ist, ist der Wert der anderen Datenreihe niedriger.



Formel:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n-1}((x_1 - \bar{x}) \cdot (y_1 - \bar{y}) + \dots + (x_n - \bar{x}) \cdot (y_n - \bar{y})).$$

Korrelation

Eng verbunden mit der Kovarianz ist die Korrelation. Sie setzt sich aus Varianz und Kovarianz zusammen und ergibt im Gegensatz zur

Kovarianz einen Wert zwischen 1 und -1. Dieser ist unabhängig von den absoluten Werten von x und y , wodurch man die Abhängigkeit von Datenreihen in verschiedenen Fällen besser miteinander vergleichen kann. Die Korrelation wird berechnet, indem die Kovarianz von x und y durch das Produkt der Wurzeln der Varianz von x und y geteilt wird.



Formel:

$$\rho(x, y) = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x)} \cdot \sqrt{\text{var}(y)}}$$

Das Ergebnis der Korrelation zeigt die Abhängigkeit zweier Datenreihen: Je näher sich der Wert an +1 annähert, desto mehr sind die Variablen voneinander abhängig. Je näher sich der Wert an -1 annähert, desto mehr hängen die Variablen umgekehrt voneinander ab, das heißt, wenn eine Variable positiv abweicht, weicht die andere negativ ab. Bei einer Korrelation von 0 sind die beiden Datenreihen komplett unabhängig voneinander.

Da es aber bei vielen Datenreihen oft lästig wurde, das Ganze von Hand auszurechnen, ließen wir dies den Computer für uns erledigen.

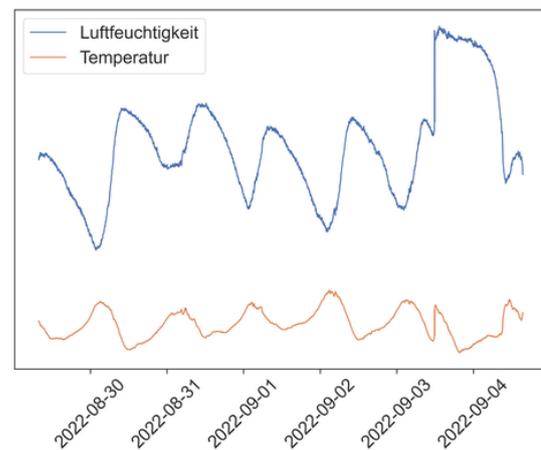
Ergebnisse der Sensormessungen

MAJA LEBER

Insgesamt haben wir sehr viele Daten erhoben, für deren komplette Auswertung wir noch ein paar weitere Akademien gebraucht hätten. Daher stellen wir nun einige beispielhafte Analysen vor.

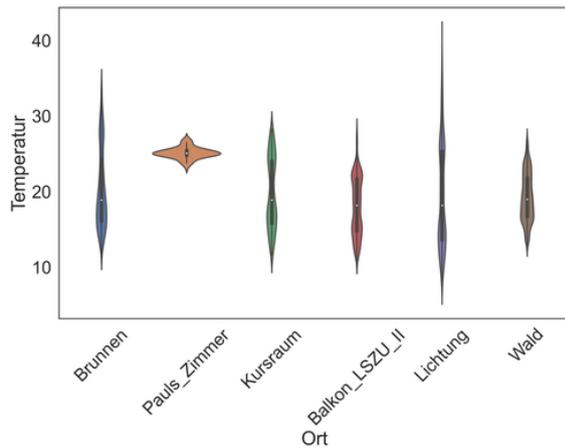
Streuung der Messwerte in Abhängigkeit der Positionierung

Der Unterschied zwischen Tag und Nacht war bei den Messreihen sehr deutlich erkennbar. Tagsüber erreichte die Temperatur ihren Höhepunkt und die Luftfeuchtigkeit ihren Tiefpunkt.



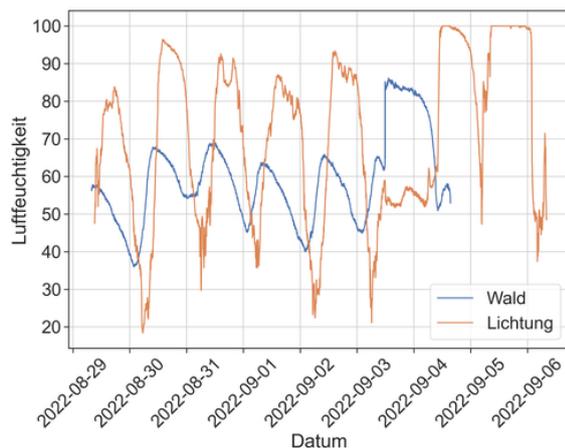
Messwerte im Wald

Die Varianz der Messwerte unserer Sensoren in Adelsheim war je nach Standort sehr unterschiedlich. Im Zimmer unseres Kursleiters schwankte die Temperatur nahezu gar nicht. Im Gegensatz dazu zeichnete der Sensor auf einer Lichtung im Wald extrem große Schwankungen auf, mit Höchsttemperaturen von über 40 °C (verm. durch Sonneneinstrahlung) und Tiefstwerten unter 5 °C. Im Vergleich zu anderen Sensoren, die im Freien aufgestellt wurden, variierten die Messwerte im Inneren des Waldes am wenigsten. In der Abbildung zeigen wir die Verteilung der Messwerte in einem Violinplot. Dabei gibt die Höhe der Figur die Bandbreite der Messwerte an, und je breiter die Figur ist, desto mehr Messwerte liegen in diesem Bereich. Unsere Messwerte lassen vermuten, dass der Wald weniger stark auf Schwankungen des Wet-



Varianz der Temperatur

ters reagierte. Der Wald regulierte somit sowohl Temperatur als auch Luftfeuchtigkeit (siehe Abbildung) und hielt beide Werte relativ konstant.



Luftfeuchtigkeit Wald und Lichtung

Luftdruck in Abhängigkeit der Höhe

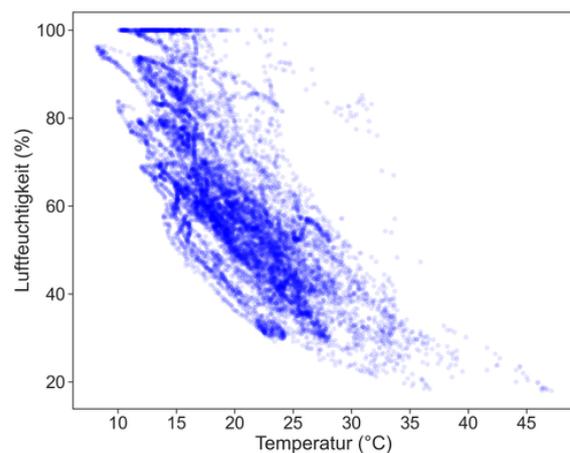
Wie allgemein bekannt, sinkt der Luftdruck bei zunehmender Höhe. Dies ließ sich auch bei den Messreihen zuhause feststellen. Dieser Zusammenhang war uns zwar bereits bekannt, sein Auftreten bestätigte aber die Richtigkeit der Messwerte unserer Sensoren.

Korrelation von Luftfeuchtigkeit und Temperatur

Der größte Zusammenhang ließ sich zwischen den Werten von Luftfeuchtigkeit und Temperatur beobachten. Gemessen wurde hierbei nicht

die absolute, sondern die relative Luftfeuchtigkeit, d. h. die prozentuale Feuchtigkeitssättigung der Luft.

Bei unseren Messreihen betrug die Korrelation von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ca. $-0,89$. Somit waren die beiden Variablen negativ voneinander abhängig: je höher die Temperatur, desto geringer die Luftfeuchtigkeit (siehe Abbildung). Der Grund hierfür: Je wärmer es ist, desto mehr Wasserdampf kann die Luft beinhalten, ohne dass dieser kondensiert. Deswegen sinkt die relative Luftfeuchtigkeit bei steigender Temperatur.



Zusammenhang von Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Mit einfachsten Mitteln konnten wir also unsere eigenen Wetterdaten erheben und signifikante Muster innerhalb dieser erkennen.

Klimamodelle

Einführung

LILITH SCHWEIKART

Modelle simulieren Teile der Wirklichkeit, in unserem Fall das Klima. Wichtig ist, dass Modelle im Allgemeinen immer vereinfacht und daher nicht völlig korrekt sind. Es gibt mehr oder weniger genaue Klimamodelle, dabei kommt es darauf an, welche Faktoren in die Klimaberechnung miteinbezogen werden.

In unserem Modell nehmen wir zwei Faktoren auf: zum einen den Treibhauseffekt als Faktor

τ (tau) und zum anderen die Eisschilde auf der Erde als Faktor α (alpha).

Um die Berechnung unserer eigenen Klimamodelle besser verstehen zu können, ist es wichtig, den Treibhauseffekt zu verstehen. Es gibt einerseits den natürlichen Treibhauseffekt: Sonnenlicht wird auf die Erde gestrahlt, welche die Energie aufnimmt, sich erwärmt und deshalb Infrarotstrahlen zurück Richtung Weltall sendet. Diese werden dann allerdings von den Treibhausgas-Molekülen in der Atmosphäre (das wichtigste natürliche Treibhausgas ist beispielsweise Wasserdampf) absorbiert und gestreut, wodurch ein Teil der Strahlung wieder zurück auf die Erde geworfen wird. Dadurch bleibt die Erde warm, das Wasser flüssig und Leben ist überhaupt erst möglich.

Andererseits existiert aber auch der anthropogene Treibhauseffekt. Das Problem dabei ist, dass die Menschen seit Beginn der Industriellen Revolution um 1850 (seit dem Zeitpunkt wurden auch die Messungen genauer und flächendeckender durchgeführt) durch Industrie und Verkehr immer mehr Treibhausgase wie Kohlenstoffdioxid oder Methan emittieren. Dadurch wird der natürliche, eigentlich überlebensnotwendige Treibhauseffekt sehr verstärkt. Dieser anthropogene Treibhauseffekt hat die globale Erderwärmung zur Folge.

In den später vorgestellten Modellen berücksichtigen wir den Treibhauseffekt insgesamt als Faktor τ .



Eisschilde, Pole und Gletscher haben allerdings eine kühlende Wirkung auf das Klima: Sie reflektieren das Sonnenlicht direkt zurück in die Atmosphäre, wo es beinahe ungehindert wieder austritt. Dabei ist zu beachten, dass Sonnenlicht nur teilweise aus Infrarotlicht besteht, wes-

halb es zu großen Teilen durch die Atmosphäre gelangt. Wenn die Erde das Sonnenlicht dann aufnimmt, sendet sie hingegen fast ausschließlich (!) Infrarotlicht aus, welches dann auch von den Treibhausgasen absorbiert wird. Das ist ein wichtiger Unterschied, den viele Klimaskeptiker gerne vergessen, um so den Treibhauseffekt besser leugnen zu können. Denn laut Klimaskeptikern würde das gesamte Sonnenlicht „auf dem Hinweg“ und auch das gesamte durch Eis reflektierte Licht aufgehalten werden, wenn es Treibhausgase geben würde, die dafür verantwortlich sind, dass die Wärme auf der Erde bleibt. Das ist nicht der Fall!

Aber zurück zu den Eisschilden: Wenn nun also mehr Sonnenlicht direkt zurückreflektiert wird, nimmt unser Planet weniger Energie auf. Dadurch erwärmt er sich weniger stark, und so kann auch weniger Infrarotlicht Richtung Weltall ausgesendet werden. Wir benutzen den Faktor α für den durch Eis direkt wieder ins Weltall reflektierten Anteil an Sonnenlicht für die Berechnung unserer Klimamodelle.



Einfachstes Klimamodell

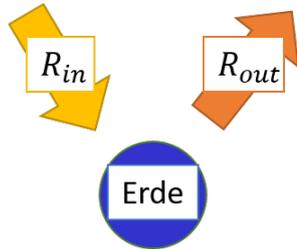
ALEXANDRA ANG, LILITH SCHWEIKART

Jetzt beginnen wir allerdings erst einmal ganz von vorne: mit dem einfachsten Klimamodell, noch ohne die Faktoren Treibhauseffekt und Eisschilde.

$$R_{\text{in}} = R_{\text{out}}$$

Diese Formel beschreibt unser einfachstes Klimamodell, bei welchem ausschließlich die Sonneneinstrahlung auf die Erde zur Berechnung unseres Klimas betrachtet wird. Mit Hilfe dieses Modells, welches das sehr komplexe Kli-

ma stark vereinfacht, kann man schon mit einfachen Überlegungen Modellberechnungen zu einzelnen Faktoren anstellen, um diese nachvollziehen zu können. Diese Grafik stellt die Gleichung anschaulich dar:



Man sieht, dass die Strahlung, die von der Sonne ausgeht und auf die Erde trifft (R_{in}), der Infrarotstrahlung entspricht, die die Erde daraufhin wieder aussendet (R_{out}). Das leitet sich aus dem Energieerhaltungssatz ab. R_{in} und R_{out} ist dabei die Strahlungsleistung pro Quadratmeter der Erdoberfläche.

Diese Formel entspricht der obenstehenden Gleichung $R_{in} = R_{out}$:

$$(1 - \alpha) \cdot S = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Um diese näher zu erklären, teilen wir sie in zwei Teile auf:

$$R_{in} = (1 - \alpha) \cdot S$$

S ist die Solarkonstante mit Abzug der Strahlungsverluste durch Atmosphäre und Wolken etc., von welcher wir den Anteil α abziehen, um so letztendlich die Strahlung zu erhalten, die die Erde absorbiert.

$$R_{out} = \sigma \cdot T^4$$

Dieser Teil der Formel ist das Stefan-Boltzmann-Gesetz, welches besagt, wie viel Strahlung ein Körper einer bestimmten Temperatur aussendet. Dabei ist T die absolute Temperatur des Körpers und σ (sigma) eine Konstante. Im Folgenden werden wir unser einfachstes Klimamodell erweitern und die bereits eingeführten verwendeten Faktoren nun modellhaft darstellen.

Erweiterungen

ALEXANDRA ANG

Die Bedeutung der Faktoren in unserem Modell wird ersichtlich, wenn Werte wie beispielsweise

die Temperatur der Erdoberfläche in Abhängigkeit von einem Faktor berechnet werden.

Da wir jetzt den Wert der Temperatur der Erde betrachten, muss die ganze Gleichung des einfachsten Klimamodells mit Einbezug des Treibhauseffekts beachtet werden. Die Gleichung beinhaltet nun den Faktor τ wie oben erklärt (ähnlich zu Formel (1)):

$$(1 - \alpha) \cdot S = \tau \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

und kann nach T umgestellt werden

$$T = ((1 - \alpha) \cdot S / (\tau \cdot \sigma))^{1/4}. \quad (3)$$

Temperatur in Abhängigkeit von α

Zuerst befassen wir uns mit den Faktor α . Dazu betrachten wir den Teil der Gleichung:

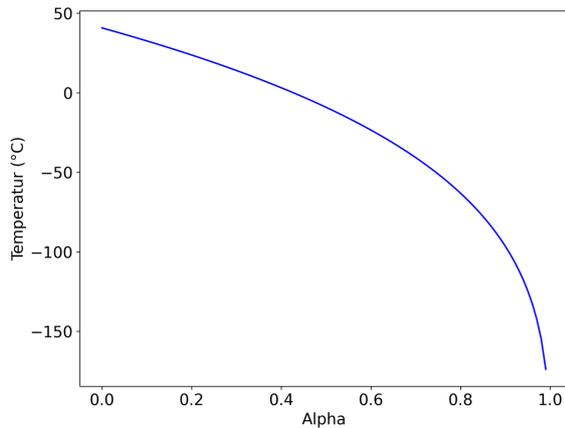
$$R_{in} = (1 - \alpha) \cdot S$$

Da S eine Konstante ist, verändert sich der Wert von R_{in} mit dem Wert von α . Je nachdem, wie sich jene Konstante verändert, ändert sich der Anteil der von der Erde absorbierten Strahlen ($1 - \alpha$). So gelangt thermische Energie in Form von Strahlung auf die Erde. Sie ist verantwortlich für die Temperatur auf der Erdoberfläche, welche in diesem Modell in Abhängigkeit zu α dargestellt wird. Zur Berechnung ziehen wir die gesamte Gleichung des einfachsten Klimamodells heran (siehe Formel (1) oben).



α kann einen Wert zwischen Null und Eins annehmen, bei $\alpha = 0$ würde keine Strahlung reflektiert werden, bei $\alpha = 1$ die gesamte einfallende Strahlung (R_{in}). Je höher der Wert von α , desto mehr Strahlung wird reflektiert

und desto niedriger wird die Temperatur. Diese Abhängigkeit zeigt unsere erste Grafik.



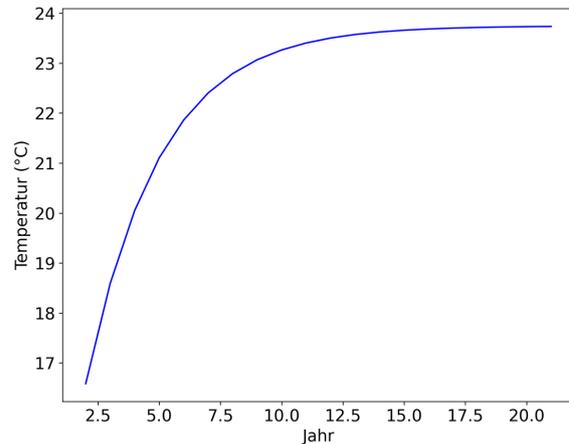
α lässt sich auch auf einen entscheidenden Faktor, der für das Klima auf unserer Erde verantwortlich ist, übertragen. Für die Reflexion der Strahlung sind hauptsächlich die Eisschilde verantwortlich, sie reflektieren nahezu alles Sonnenlicht. Durch das Schmelzen der Eisschilde verkleinert sich die reflektierende Oberfläche der Erde. Dies führt zu einem Sinken von α und zu mehr Energie, die von der Erde absorbiert wird.

Wir müssen jedoch beachten, dass die Temperaturen dieses Modells nicht aussagekräftig sind. Mit dem Modell konnten wir die Veränderung des Faktors α darzustellen. Darüber hinaus wurden viele Annahmen gemacht, die das Modell verfälschen und daher keine Schlussfolgerungen zulassen.

Temperatur im Zeitverlauf

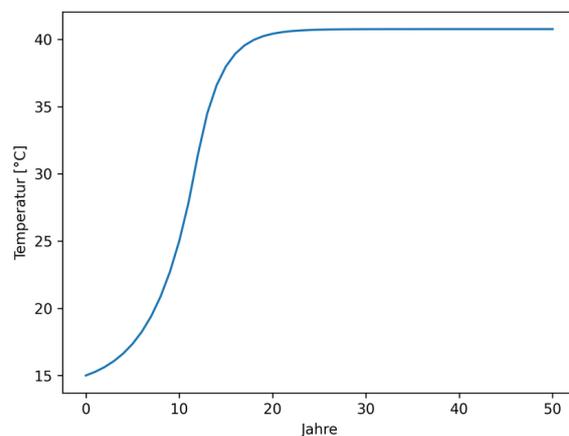
Im nächsten Modell stellen wir die Temperatur in Abhängigkeit der Zeit dar. Grundlage ist auch diesmal die Formel zum einfachsten Klimamodell. Die Temperaturänderung resultiert in diesem Fall aus einer abrupten Strahlungsveränderung, in der Formel die Solarkonstante S . Diese stört das Energiegleichgewicht: Die Veränderung der Strahlung sorgt dafür, dass die einfallende Energie größer als die ausgehende Energie ist. Dieses Ungleichgewicht führt zu einem Temperaturanstieg, welche auch in der Grafik ersichtlich wird: Der Graph zeigt, dass die Temperatur zu Beginn sehr schnell ansteigt und mit der Zeit abflacht, bis sich die Temperatur einem neuen Energiegleichgewicht

annähert. Das Eintreten eines solchen Szenarios ist aber (nahezu) unmöglich. Die Sonne müsste ihre Intensität sehr plötzlich verändern, dies wird in den nächsten 5 Milliarden Jahre nicht der Fall sein. Erst zum Ende ihres Lebens wird sich die Strahlungsintensität stark verändern.



Die unten folgende Grafik zeigt die Auswirkungen von α , wenn α abhängig von der Temperatur programmiert wird: Zunächst führt der anthropogene Treibhauseffekt zu einem Temperaturanstieg. Durch diese Erwärmung schmelzen die Eisschilde, was eine geringere Reflexion des einfallenden Lichts zur Folge hat, also kleineres α . Diese Entwicklung führt aber zu einem wiederholten Temperaturanstieg, welcher wieder zum Eisschmelzen und dem damit verbundenen Temperaturanstieg führt.

Dieser Kreislauf dauert an, bis alles Eis auf der Erde geschmolzen ist und somit $\alpha = 0$ ist. Danach nähert sich die Temperatur auch in diesem Fall einem neuen Energiegleichgewicht an.



Weitere Faktoren im Klimamodell

JANNIS RIEKEN

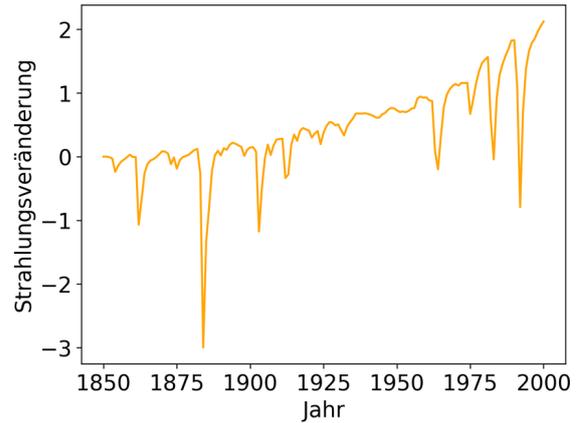
Um nun genauere Werte erhalten zu können, müssen wir unser Modell um zusätzliche Faktoren erweitern. Dazu haben wir uns unser bisheriges Modell genommen und darauf ein neues aufgebaut. Mit diesem sind wir in der Lage, mehr Faktoren zu variieren, um realitäts-treue Sachverhalte simulieren zu können. So sind wir auf folgende Gleichung gekommen:

$$C \frac{\Delta T(t)}{\Delta t} = -\lambda T(t) + F(t)$$

Bei diesem Modell steht C für die Wärmekapazität der Erde. Diese ist eine aus der gesamten Wärmekapazität der Erde errechnete Konstante und beträgt $400.000.000 \text{ Ws}/(\text{m}^2\text{K})$. Der Faktor $\Delta T(t)$ stellt die Temperaturdifferenz von zwei Zeitpunkten dar. Δt ist die dazwischen vergangene Zeit, bei uns immer ein Jahr, d. h. wir haben die Temperatur jährweise berechnet. λ ist der sogenannte Feedback-Parameter. Er bestimmt die Stärke des Temperaturanstiegs. Zu Beginn unserer Berechnungen haben wir einen geschätzten Wert von $3,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verwendet. $T(t)$ bezeichnet die aktuelle Temperatur zum Zeitpunkt t . Der Faktor $F(t)$ gibt den Strahlungsantrieb im Vergleich zum Energiegleichgewicht der Erde zum Zeitpunkt t an.

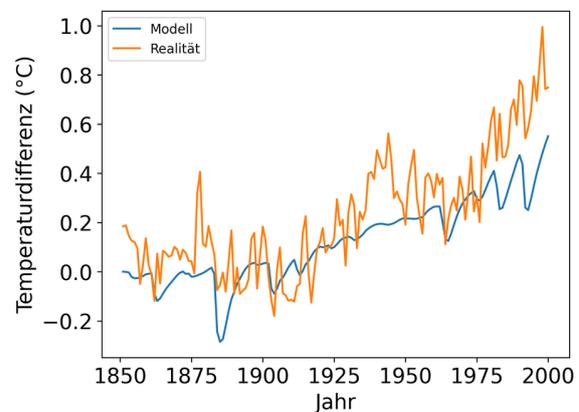
Um die Funktionalität unseres Modells zu überprüfen, testeten wir es mit Strahlungsdaten der letzten Jahrzehnte (von 1850 bis 2000). Hierfür nahmen wir an, dass sich die Erde vor der Industrialisierung etwa im Energiegleichgewicht befand. Bevor wir unser Modell ausprobierten, schauten wir uns die Daten der Strahlungs-werte genauer an:

In dieser Grafik kann man erkennen, dass die Strahlungsintensität mit der Zeit stetig zunimmt. Dieses Verhalten kann man sich mit dem anthropogenen (vom Menschen erzeugten) Treibhauseffekt erklären. Durch diesen wird immer weniger der von der Erde ausgehenden Strahlung zurück in den Weltraum gelassen, sondern stattdessen mehr Strahlung auf die Erdoberfläche reflektiert. Das führt zu einem positiven Strahlungsantrieb. Jedoch kann man



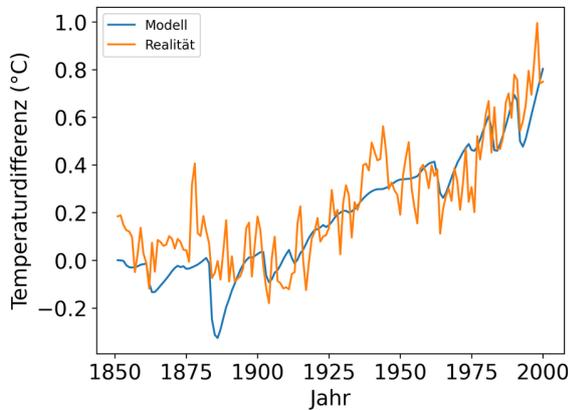
in der Grafik auch sehr deutlich mehrere Ausreißer nach unten erkennen. Diese entstehen durch das Verhalten des Strahlungsantriebs bei großen Vulkanausbrüchen. Denn diese setzen eine große Menge an Asche in die Atmosphäre frei, was dazu führt, dass weniger Strahlung die Erde erreicht. Dadurch wird der Strahlungsantrieb negativ.

Auf Basis dieser Daten, Annahmen und Überlegungen haben wir mithilfe unseres Modells die Temperatur in den jeweiligen Jahren errechnet und mit historischen Daten verglichen:



Anhand dieser Ergebnisse konnten wir erkennen, dass unser Modell funktioniert, aber noch nicht perfekt ist. Um das Verhalten unseres Modells zu verbessern, haben wir wieder die historischen Daten zur Hilfe genommen. Denn wie zuvor beschrieben haben wir bisher für λ nur einen Schätzwert genutzt. Diesen haben wir dann mit den historischen Daten neu berechnet und optimiert. Das Modell konnte auf diese Weise Werte errechnen, die so nah wie möglich an die Realität kommen. Dabei haben

wir auf einen Wert von etwa $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für λ erhalten. Anschließend haben wir unser Modell erneut die Temperaturen errechnen lassen und erhielten folgende Ergebnisse:



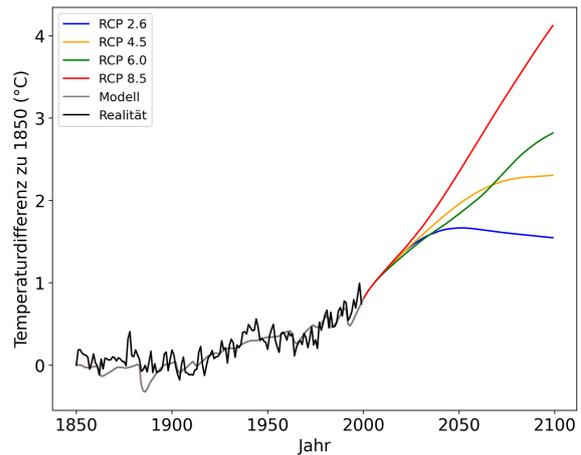
Damit haben wir erfolgreich unser Modell verbessert und konnten mit dem nächsten Schritt beginnen: Der Zukunft.

Szenarien der Zukunft

MAXIMILIAN ARNOLD

Wir haben uns nicht nur auf Klimavorhersagen in der Vergangenheit beschränkt, sondern uns auch mit verschiedenen Szenarien in der Zukunft beschäftigt. Szenarien sind verschiedene Prognosen über die zukünftige Entwicklung. Dabei werden die Einflussfaktoren mit unterschiedlichen Werten in einer Modellrechnung berücksichtigt.

Der historische Verlauf wurde anhand des Strahlungsantriebs erstellt. Die sogenannten RCP-Szenarien („Representative Concentration Pathways“) stehen für den voraussichtlichen Treibhausgas-Ausstoß des Menschen in verschiedenen Szenarien. Wir haben dabei vier verschiedene dieser Szenarien modelliert und miteinander verglichen. Den unterschiedlichen Verlauf der Entwicklung zeigt die folgende Grafik. Der schwarze und braune Graph zeigen den historischen Temperaturverlauf: Einmal anhand unserer Rechnungen modelliert (brauner Graph) sowie einmal den tatsächlichen Temperaturverlauf für die Jahre 1850–2000. Die vier farbigen Graphen zeigen unterschiedliche Szenarien, die mit unterschiedlichen Werten für den Strahlungsantrieb berechnet wurden.



Die verschiedenen Szenarien stehen für unterschiedliche Klimaschutzmaßnahmen:

Szenario 1 (RCP2.6; blauer Graph): In Szenario 1 betreiben wir viel Klimaschutz, z. B. wird es so wenige Verbrennermotoren und Kohlekraftwerke geben, dass wir weniger CO_2 ausstoßen, als die Pflanzen wieder aufnehmen.

Szenario 2 (RCP4.5; gelber Graph): In Szenario 2 betreiben wir weniger Klimaschutz als in Szenario 1 (z. B. keine Kohlekraftwerke mehr, aber immer noch Verbrennermotoren), dennoch flacht die Kurve nach einer Zeit aufgrund von mehr klimaneutralen Ländern und Weltmächten ab.

Szenario 3 (RCP6; grüner Graph): In Szenario 3 werden wir sehr viel weniger Klimaschutz als in den zuvor genannten Szenarien betreiben, was zur Folge hat, dass wir 2060 die 2-Grad-Marke in der durchschnittlichen Temperaturdifferenz zu 1850 überschreiten. Die Trockenheit wird zu Nahrungsmangel führen und dies wiederum zu Völkerwanderungen.

Szenario 4 (RCP8.5; roter Graph): In Szenario 4 betreiben wir fast gar keinen Klimaschutz, daher steigt der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre exponentiell an. Wir werden 2100 die 4-Grad-Marke in der durchschnittlichen Temperaturdifferenz zu 1850 brechen. Die Folge davon sind häufigere und extremere sintflutartige Regenfälle, Hitzewellen und Trockenzeiten, Tsunamis, Tornados, das Schmelzen der Gletscher und Pole und der darauffolgende Anstieg der Meeresspiegels. Viele Lebensräume werden nicht mehr bewohnbar sein, Inseln im Pazifik werden versinken, ganze Tierarten werden aussterben und vieles mehr.

Unsere Modelle hatten natürlich ein Ziel: Wir wollten anhand von Klimamodellen die Veränderung in unserem Klima nachweisen und den Einfluss verschiedener Faktoren untersuchen. Anhand der Klimamodelle konnten wir ganz klar feststellen, dass der menschengemachte Klimawandel existiert und wir dementsprechend auf verheerende Katastrophen zusteuern. Wenn wir jetzt so weitermachen wie bisher, wird das oben vorgestellte rote Szenario (RCP8.5) eintreten; im Jahr 2100 hätten wir dann einen globalen Temperaturanstieg von 4°C (mit genaueren Klimamodellen sogar noch mehr!). Bei einer solchen Zukunftsaussicht ist es eigentlich klar, dass wir dringend etwas dagegen unternehmen müssen. Mit dem Ausstoß von weniger Treibhausgasen können wir einen großen Schritt in diese Richtung machen!



Kurszitate

Wir spielen jetzt Gott, wir machen unser eigenes zufälliges Klima. – *Maybritt*

Warum kann man den Treibhauseffekt nicht kaufen?! – *Alexandra*

Die können mir hier nicht einfach den Kaffee abschneiden! – *Sofia*

Macht nichts, was andere Schülermentoren zu euch sagen. – *Mathis*

Bei manchen Aufgaben habe ich mir was gedacht, was man lernen kann. – *Maybritt*

Wir haben auch so ein Buch lesen müssen ... – *Lilith in der Abschlusspräsentation*

Paul, du kannst Binärsystem lesen?! Ehrlich, du hast einfach zu viel Zeit. – *Immanuel*

Leute, sind wir hier im Mathekurs oder im Literaturkurs?! – *Mathis, nachdem Sonette in die WhatsApp-Gruppe geschrieben wurden*

Das ist diskriminierend, Piraten sind eine wichtige Bevölkerungsgruppe. – *Maja*

Wofür einen Kernreaktor? Wir haben einen Nicolareaktor! – *Immanuel*



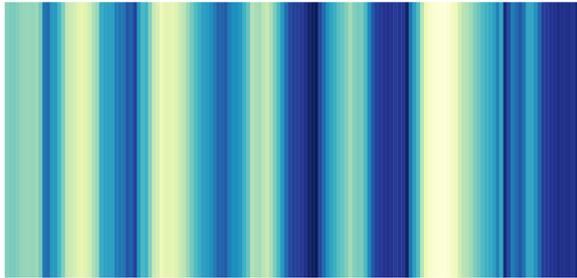
Bonus: Washing Stripes

IRFAN TOPAL

Oft heißt es, dass Mathematiker und Informatiker langweilig sind und nur mit Zahlen oder Computersystemen herumspielen. Wir wollten jedoch zeigen, dass wir auch Spaß haben können. So kamen wir auf die Idee, unsere Wetterstation im Badezimmer direkt vor den Duschkabinen zu installieren, um die Luftfeuchtigkeit messen zu können. Nachdem wir tagelang die Luftfeuchtigkeit gemessen hatten, verfügten wir über eine Reihe von Daten, die es uns ermöglichte, genau zu sehen, wann und wie viel geduscht wurde. Allerdings wollten wir ja nicht die Mathematiker sein, die es nur bei Zahlen belassen. Daher setzten wir uns hin, um ein schönes Diagramm zu erstellen.

Zuerst probierten wir es mit einem Liniendiagramm aus, was für sich genommen schon sehr aufregend war. Dennoch stellte uns das noch nicht zufrieden, also begannen wir, verschiedene Diagramme auszuprobieren. Aus Versehen kamen so nach einiger Zeit statt kleiner Quadrate, die eigentlich jeweils eine Messstunde und den Feuchtigkeitsdurchschnitt darstellen sollten, lange Streifen heraus. Das erinnerte uns beim ersten Blick bereits an ein anderes Diagramm – die Warming Stripes!

Hier seht ihr unser fertiges Produkt, das wir, an die Warming Stripes angelehnt, *Washing Stripes* taufte.



Jeder Streifen steht für eine Messstunde, und je dunkler ein Streifen ist, desto feuchter war es, also desto mehr wurde geduscht.

Wir haben eine relative Luftfeuchtigkeit von bis zu 74 % gemessen, während unser niedrigster Wert bei nur 30 % lag. Der dunkle Streifen in der Mitte sticht sofort ins Auge, und wie man schon vermuten kann, war an diesem Tag unser Sportfest. So konnten wir (glücklicherweise) bestätigen, dass an diesem Tag viel geduscht wurde!



Kurs 4 – Woher weiß die Tablette, wo der Kopfschmerz ist?



Personenbeschreibung

DAS KRÜMELMONSTER

Jana konnte durch ihre langjährige Akademierfahrung unseren Kurs virtuos planen. Durch ihre Strukturiertheit bildete sie den Gegenpol zu Christian, war aber dennoch für Späße zu haben. Sie griff uns jederzeit auch bei der Laborarbeit unter die Arme und konnte uns stets bei Problemen einfühlsam weiterhelfen. Neben ihrer hohen pharmazeutischen Qualifizierung brachte sie unsere Präsentationsskills auf Vordermann und steckte uns alle mit ihrer großen Begeisterung für den Tee und fürs Häkeln an.

Christian das Krümelmonster hat uns als Kursleiter mit seiner Liebe zu Schokokeksen angesteckt und damit unseren Schlacht-

ruf inspiriert. Durch sein großes Wissen konnte er uns im Labor immer weiterhelfen, und er brachte uns mit seiner guten Laune und seinem ansteckenden Lachen durch die stressigen Tage.

Alex, unser Schülermentor / Freund / Helfer, stand uns bei jeder Frage und jedem Anliegen, das wir über die Akademie hatten, stets zur Seite. Er supportete uns nicht nur tatkräftig im Labor, sondern auch im „Kampf“ gegen die anderen Kurse beim Sportfest.

Aaron spielt gerne Tischtennis und ist immer hilfsbereit. Im Labor ist er gut organisiert und beim Erstellen von Grafiken am Computer macht ihm so schnell keiner was vor. Beim Hausmusikabend begeisterte er das Publikum am Klavier.

Anna ist eine kleine Sportskanone, die sehr gerne Obst isst, vor allem Wassermelone. Ihre

kreative Ader brachte sie in der Theater-KüA zum Ausdruck. Ihre aufgeschlossene und hilfsbereite Art versüßte uns so manchen Tag.

Catelyn ist eine super motivierte Person, die sehr gerne schwäbisch schwätzt und alles Mögliche weiß. Ihr Lieblingssatz, welchen sie gerne und oft in der Akademie benutzte, lautete „Ich fass’ es nicht“. Ihr musikalisches Talent bewies sie in der Musik-KüA als Konzertmeisterin.

Hannah ist unser Sport-Buddy, auch wenn Christian sie gerne für ihre müden Augen aufzog. Ihre Rhetorik bei den Präsentationen war bemerkenswert. Außerdem ist sie aufrichtig, und man kann immer mit ihr lachen.

Klara sorgte in unserem Kurs immer für eine gute Stimmung, und egal, ob es um gute Musik im Labor, interessante Gespräche oder die Tanzsessions am Abend ging, auf Klara war Verlass. Wo immer ein nicht gerichteter Kragen im Labor war, wurde er von Klara gerichtet.

Nishant oder offiziell Nika war für jeden Spaß zu haben. Mit seiner hochmotivierten und hilfsbereiten Art schaffte er es immer wieder, die Stimmung des ganzen Kurses beträchtlich zu steigern, so zum Beispiel, wenn er in überhöhter Frequenz „Cool“ durch das Labor schrie. Nicht zuletzt hat er aber den Kurs mit seinen kreativen Ideen und seinem ausgeprägtem Hintergrundwissen bereichert.

Noah blieb in Stresssituationen stets gelassen und bewahrte die Ruhe. Er war unser Fels in der Brandung, und obwohl er oft sagte „Weeeeeiß ich jetzt nich“, wusste er doch eine ganze Menge.

Oscar wirkt zwar auf den ersten Blick eher zurückhaltend, aber sein Humor brachte jeden zum Lachen. Seine strukturierte Arbeitsweise im Labor erleichterte unsere Forschung maßgeblich. Außerdem kann man sich immer auf ihn und sein durchaus ansteckendes Lachen verlassen.

Sebastian wurde durch seine präzise Ausdrucksweise und sein essentielles Mitbring-

sel – die Schokokekse – schnell zu einem geschätzten Mitglied unseres Kurses. Im Labor war er Teil des UV-Vis-Teams, dabei konnte man sich immer auf seine ordentliche Dokumentation verlassen. Auch an der Tischtennisplatte und am Schachbrett war er stets motiviert dabei.

Theo ist ein sehr wissbegieriger Geselle, der immer zu Späßen aufgelegt ist. Er ist stets freundlich und freut sich über das Zusammensein mit anderen AkademieteilnehmerInnen. In der Freizeit fand man ihn häufig an der Tischtennisplatte.

Yanchen war sehr offen und hilfsbereit, und man verstand sich von Anfang an gut mit ihr. Auch sie war begeisterte Tischtennisspielerin und spielte notfalls sogar mit ihrem Tablet. Neben dem Angebot im Kurs lernte sie auch mit Freude von anderen AkademieteilnehmerInnen.

Yunzheng konnte aufgrund ihrer krankheitsbedingten Verspätung anfangs online bei Laborversuchen und Auswertungen gleichzeitig dabei sein. Somit nahm sie die Rolle des Bindeglieds zwischen zwei Gruppen ein. Bei der Akademie sorgte sie durch ihren Humor und ihr herzliches Lachen für gute Stimmung. Auch abseits der Kursarbeit war sie aktiv, besonders in Geschicklichkeitsarbeiten, wie zum Beispiel Origami, Häkeln und Cubing.

Vorwort

ALEX FREITAG

„Pharmazie – Stark wie nie!“ Unter dieses Motto stellten wir unseren Kurs, denn um zu beantworten, woher denn eigentlich eine Tablette weiß, wo der Kopfschmerz ist, brauchte es starke Ideen, starke Nerven, starken Schwarztee und vor allem ein starkes Team. Es mag unrealistisch klingen, doch wer den Pharmazie-Chemie-Kurs live erlebt hat, weiß genau, dass all das bei uns in Hülle und Fülle vorhanden war. Und so tauchten wir in den zwei Wochen, die wir gemeinsam zwischen Kursraum und Labor in Adelsheim verbrachten, immer tiefer in die komplexe Wissenschaft der Pharmazie

ein und erforschten die Eigenschaften von Kapseln, Tabletten, Labornotduschen und Raumspalten.

Einen wissenschaftlichen Ansatz zur Beantwortung unserer Kursfrage liefert das so genannte LADME-Modell. Es stellt vereinfacht die Schritte dar, die ein Medikament im Körper durchläuft, um wirken zu können und danach wieder abgebaut zu werden. Die einzelnen Schritte dieses Modells ergründeten wir in unseren Kursschienen, in umfangreichen Theorieeinheiten und zahllosen Stunden im Labor. Dabei stellten wir fest, dass das Thema sehr interdisziplinär ist und dass das notwendige Wissen weit über den Schulstoff hinaus geht. So erhielten wir nicht nur tiefe Einblicke in die Welten der Pharmazie und der Chemie, sondern streiften auch durch die Gebiete der Medizin, Biologie, Physik und Mathematik, um die Theorie unserer Themen verstehen zu können.

Doch eigentlich ging es uns ja darum, die Dinge mit eigenen Augen zu sehen und selbst bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen mit anzupacken. Dazu boten das Chemielabor sowie die uns zur Verfügung stehenden Geräte unter anderem ein UV-Vis-Spektrometer und mehrere Fluoreszenzmikroskope, eine einmalige Gelegenheit. Im Labor stellten wir gleich zu Beginn vor allem eines fest: Hier läuft selten etwas nach Plan! Es galt, zahllose Hindernisse mit Kreativität, Geduld, Teamwork und neu gewonnener Laborexpertise zu überwinden.

Keineswegs bestand unser Kurs aber nur aus ernster Forschung und Lernen, bei dem die Köpfe rauchten. „Schokokekse! Schokokekse! MAMPF! MAMPF! MAMPF!“ lautete der zweite Teil unseres Mottos, und auch dieser entsprang direkt aus unserem Alltag. Die intensive Zeit und nicht zuletzt kontinuierliche Schokokeks-Zufuhr durch Jana und Christian schweißten uns als Team zusammen. Ob im Labor oder in der Mensa, gemeinsam wurde gelacht, geredet, getanzt und Tee getrunken (mit Schokokeksen). Wie gut wir als Gruppe zusammenarbeiten konnten, stellten wir auch beim Sportfest unter Beweis, bei dem wir nach einem legendären Kopf-an-Kopf-Rennen gegen den Astro-Kurs gewannen.

In unserer Akademiezeit sind wir zu einem einzigartigen Team geworden und haben gemeinsam verschiedene Phänomene der Pharmazie erforscht.

Wer nun also neugierig geworden ist, kann auf den folgenden Seiten viel erfahren, von Absorption und Liberation über pH-Werte und Polymerchemie bis hin zum Rührfischangeln und Kapsel-Föhnen.

Eröffnungswochenende

THEO HÖRSTER

Beim Eröffnungswochenende (EWE) lernten wir uns und unser Kursthema kennen: Dafür spielten wir gleich am Anfang eine Runde Kennlernspiele und führten danach unseren ersten Versuch durch. Am Freitag öffneten reihum alle KursteilnehmerInnen ein unterschiedlich verpacktes Päckchen, und die Zeit, die wir zum Öffnen benötigten, wurde gemessen. Dies war eine Simulation der Freisetzung eines Wirkstoffs. Das Päckchen enthielt, passend zum Fachbereich unseres Kurses, ein von unserer Kursleiterin Jana gehäkeltes Reagenzglas.

An den beiden folgenden Tagen lernten wir Grundlagen der Pharmazie kennen, zum Beispiel das LADME-Modell, den Magen-Darm-Trakt, den pH-Wert, Puffersysteme und Oxidationsreaktionen. Außerdem führten wir mit Kapseln, die uns ebenfalls von unserer Kursleitung zur Verfügung gestellt wurden, einen einfachen Liberationsversuch durch und erschlossen uns in Gruppenarbeit mithilfe von Bildern das LADME-Modell.

Obwohl wir uns leider noch nicht in Präsenz treffen konnten, herrschte insgesamt eine gute Stimmung. Die Kurstreffen waren von einer offenen und freundschaftlichen Umgangsweise geprägt. Alle Fragen, zum Beispiel zum LADME-Modell, wurden gerne und verständlich von unserer Kursleitung Jana und Christian und unserem Schülermentor Alex beantwortet. Weitere Unsicherheiten und Sorgen konnten wir am EWE zerstreuen, indem wir sie miteinander teilten. Auch hofften wir auf ein gutes Kursklima und Spaß als Gruppe.

LADME

CATELYN KNÖDLER

Um den Weg von Wirkstoffen durch unseren Körper zu betrachten, bedarf es in der Pharmazie des sogenannten LADME-Modells.

Hierbei steht LADME für:

- Liberation
- Absorption
- Distribution
- Metabolismus
- Exkretion

Damit der Arzneistoff am Applikationsort zur Verfügung steht, wird zunächst die Liberation, also die Freisetzung, betrachtet. Ziel ist die Auflösung beziehungsweise die Desintegration der Arzneiform. Wie genau die Liberation stattfindet, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Ein Faktor lässt sich mit dem BCS, dem „biopharmaceutical classification system“, beschreiben. Dieses teilt Arzneistoffe hinsichtlich ihrer Löslichkeit in Wasser und Permeabilität (Vermögen, eine Membran zu passieren) sowie ihrer Bioverfügbarkeit ein. Die Bioverfügbarkeit gibt den prozentualen Anteil des Wirkstoffs an, der unverändert im Blutkreislauf zur Verfügung steht.

Nachdem der Arzneistoff freigesetzt ist, muss er noch aufgenommen werden, was im LADME-Modell die Absorption beschreibt. Hierbei soll der Arzneistoff zum Beispiel in der Blutbahn zur Verfügung stehen, weshalb der Wirkstoff über Membranbarrieren gelangen muss.

Der Weg durch den Körper beginnt für den Wirkstoff meist mit der Aufnahme der Arzneiform durch den Mund, bei dem diese mit Speichel und Lysozym A, einem antibakteriellen Enzym, in Kontakt kommt. Die Arzneiform wandert anschließend durch die Speiseröhre in den Magen, welcher durch die Magensäure einen pH-Wert von 1 bis 1,2 hat. Nach der Magenpassage gelangt die Arzneiform in den Dünndarm. Dort steigt der pH-Wert auf einen nahezu neutralen Wert nahe 7, und die Aufnahmefähigkeit wird durch eine starke Oberflächenvergrößerung der Darmwand verbessert. Diese Oberflächenvergrößerung kommt vor al-

lem durch mehrfache Faltungen der Darmwand in verschiedenen Größenordnungen zustande.

Transportmechanismen für Wirkstoffe sind bei Darmzellen zum Beispiel die passive Diffusion und die Zytose. Bei der passiven einfachen Diffusion gelangt der Wirkstoff von einem Ort mit höherer Konzentration durch eine Membran zu einem Ort mit einer niedrigeren Konzentration, da ein Konzentrationsausgleich angestrebt wird. Die erleichterte Diffusion teilt man in die kanalvermittelte und die carriervermittelte Diffusion ein. Bei der kanalvermittelten Diffusion bilden Kanalproteine einen „Tunnel“, durch den passende Wirkstoffe diffundieren können. Die carriervermittelte Diffusion geschieht durch Transportproteine, sogenannte Carrierproteine, die auf ein bestimmtes Molekül spezialisiert sind. Nachdem der Stoff gebunden wurde, sind sie in der Lage, ihre Form zu verändern, sodass das Molekül auf die andere Seite der Membran befördert wird. Allerdings gibt es auch manche Wirkstoffe, deren Partikel zu groß sind, um die Membran zu passieren. Diese Wirkstoffe werden mithilfe von Vesikeln, kleinen Bläschen, transportiert, was man Zytose nennt. Bei dem Transport aus der Zelle heraus spricht man von einer Exozytose; bei einem Transport in die Zelle hinein handelt es sich um die Endozytose.



Volle Konzentration bei der Arbeit im Kursraum

Wenn der Arzneistoff in der Blutbahn verfügbar ist, wird er bei der Distribution verteilt. Um an den Wirkort zu gelangen und dort zu wirken, muss der Wirkstoff wieder Membranbarrieren überwinden und in freier Form vorliegen.

Oft bindet ein Teil des Wirkstoffs bei der spezifischen Bindung zum Beispiel an Enzyme oder

bei der unspezifischen Bindung an Plasmaproteine. Handelt es sich dabei um eine irreversible Bindung, ist die Abspaltung des gesamten Wirkstoffs nicht mehr möglich, und er kann keine Bindung mehr am Wirkort eingehen. Daher hat der Wirkstoff keine Wirkung, und die Umwandlung sowie die Ausscheidung findet nicht mehr statt. Bevorzugt wird deshalb die reversible Bindung, bei der ein Gleichgewicht von gebundenem sowie ungebundenem Wirkstoff vorliegt. Folglich ist ein Teil des Wirkstoffs in freier Form vorhanden und kann seine Wirkung entfalten.

Allgemein verteilen sich hydrophile – in Wasser lösliche – Wirkstoffe in Körperflüssigkeiten, und lipophile – in Fett lösliche – Wirkstoffe binden an Körperbestandteile.

Nachdem die Distribution erfolgt ist, kommt als nächster Schritt der Metabolismus, der sich vor allem in der Leber abspielt. Ziel ist die Umwandlung des Wirkstoffs, der häufig einer Biotransformation unterzogen wird. Bei den sogenannten Biotransformationsreaktionen gibt es zwei Arten:

- Die Funktionalisierungsreaktionen lassen den Wirkstoff wasserlöslicher werden. Möglichkeiten wären hierbei die Oxidationsreaktionen, die Reduktionsreaktionen und die Hydrolyse.
- Die Konjugationsreaktionen sorgen dafür, dass hydrophile, körpereigene Substanzen an den Wirkstoff angebaut werden.

Doch nicht nur Biotransformationsreaktionen haben einen Einfluss auf den Metabolismus; es gibt auch genetische Einflüsse, da zum Beispiel bestimmte Gene die Aktivität von Enzymen verändern. Des Weiteren benötigen Menschen mit einem langsameren Metabolismus eine viel geringere Menge an Wirkstoff als Menschen mit einem schnellen Metabolismus.

Zuletzt muss der Arzneistoff aus dem Körper entfernt werden. Hierbei ist es notwendig, dass er in einer ausscheidbaren Form vorliegt. Die Ausscheidungsorgane sind unter anderem die Niere und der Darm.

Die Niere stellt den wichtigsten Ausscheidungsweg dar, der in drei Phasen abläuft. Bei der glomerulären Filtration werden täglich bis zu

180 Liter Primärharn produziert. Ferner findet eine Ultrafiltration des Blutes statt, wobei große Moleküle und plasmagebundener Wirkstoff nicht filtriert werden können. Die tubuläre Sekretion sorgt für den aktiven Transport von Substanzen in den Harn mit Hilfe von Carriern. Die Konzentrierung des Primärharns erfolgt durch die tubuläre Rückresorption.

Die Exkretion über den Darm kann auf zwei Arten geschehen:

- Durch bestimmte Pumpen in den Darmzellen kann entweder unveränderter Wirkstoff oder das Umbauprodukt zurück in den Darm gebracht werden.
- Metaboliten sind Zwischenprodukte in einem biochemischen Stoffwechselweg. Sowohl sie als auch der Wirkstoff selbst können aus der Leber in die Gallenflüssigkeit abgegeben werden, die wiederum über den Darm abgegeben wird. Vor allem größere Moleküle werden so ausgeschieden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass man mithilfe der Theorie des LADME-Modells auch dem Weg von Kopfschmerztabletten in unserem Körper näher auf den Grund gehen kann.

EWE-Versuch

AARON OSSWALD

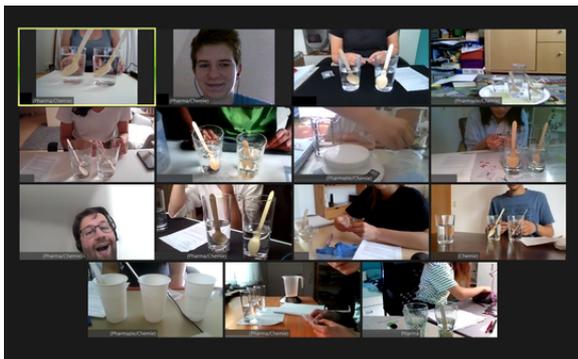
Am Eröffnungswochenende führten wir einen kleinen Versuch zur Auflösung von Kapseln durch, den wir später bei der Akademie erweiterten. Trotz der coronabedingten Onlinekonferenz meisterten wir die Einzelversuche gewinnbringend.

Dazu hatte uns Jana im Vorfeld selbst hergestellte Kapseln und Handschuhe sowie Natron und Essigessenz in kleinen Plastikgefäßen (so genannten „Eppis“) zukommen lassen. Zur Versuchsdurchführung benötigten wir drei Wassergläser mit je 150 ml Wasser. In Wasserglas eins und zwei gaben wir (saure) Essigessenz und eine Kapsel gefüllt mit Milchzucker. Glas eins enthielt eine Kapsel mit roter Wasserfarbe und einem Überzug aus Schellack, Glas zwei eine Kapsel mit blauer Wasserfarbe ohne Überzug. Wasserglas drei enthielt (basisches) Natron.

Unsere Aufgabe lautete, 15 min lang Glas eins und zwei umzurühren, anschließend die überzogene Kapsel in Glas drei zu überführen und wieder zu rühren.

Unsere Frage: Können Überzüge beeinflussen, wie sich eine Arzneiform im Körper auflöst? Können die verschiedenen pH-Werte im Körper genutzt werden, um die Freisetzung zu beeinflussen?

Alle TeilnehmerInnen beobachteten insgesamt die gleichen Vorgänge: Während sich der „Wirkstoff“, bzw. die rote Farbe, der unüberzogenen Kapsel schon nach 15 min in der sauren Lösung gelöst hatte, blieb die überzogene Kapsel in gleicher Umgebung fast unverändert. Erst in der basischen Lösung wurde die Farbe nach ungefähr 32 min sichtbar aus der Kapsel freigesetzt.



Begeistertes Experimentieren im „Homeoffice“

Der Wirkstoff der unüberzogenen Kapsel hätte sich im menschlichen Körper aufgrund der Magensäure schon im Magen gelöst, während die überzogene Kapsel ihren Inhalt wahrscheinlich bis in den Dünndarm beibehalten hätte.

Tabletten und Kapseln

NOAH KLETT

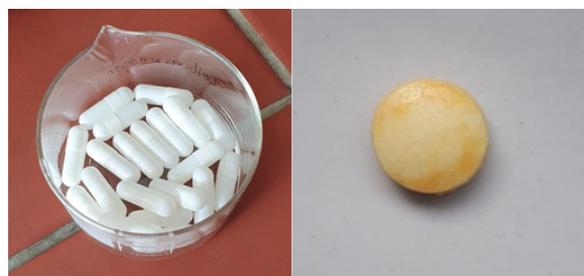
Mit diesem Wissen starteten wir dann in den Sommerferien in unsere Forschungsphase in Adelsheim.

Um weitere Überzüge zu testen, benötigt man also eine Arzneiform als „Träger“. Die gängigsten Arzneiformen sind Tabletten und Kapseln. Sie werden meist oral appliziert, also über den Mund verabreicht.

Bei Kapseln unterscheidet man Hartgelatine- und Weichgelatinekap­seln. Weichgelatinekap­seln bestehen aus einer dicken, elastischen Hülle, die nicht teilbar ist. Sie bestehen aus ähnlichen Stoffen wie Hartkapseln, oft aus Gelatine und anderen Hilfsstoffen, enthalten zusätzlich aber noch Weichmacher. Weichkapseln werden wegen ihrer aufwendigen Herstellung meist nur für flüssige und halbflüssige Inhalte, die aus dem Wirkstoff und Hilfsstoffen bestehen, verwendet. Da sie elastisch sind, müssen sie in einem Stück hergestellt werden, was das Befüllen erschwert. Deshalb werden Weichkapseln ausschließlich maschinell hergestellt, was sie für die Verwendung in unseren Versuchen ungeeignet macht.

Hartkapseln hingegen bestehen aus einer festen Hülle aus zwei Teilen, die zusammengesteckt werden können, da eine etwas größer als die andere ist. Sie werden mit Granulat oder Pulver gefüllt, welches aus dem Wirkstoff und mehreren Hilfsstoffen besteht. Durch ihre Verschlussart sind sie nicht für flüssige und halbflüssige Inhalte geeignet. Das Befüllen und Verschließen der Kapsel ist jedoch wesentlich einfacher, weshalb sich Hartkapseln eindeutig besser für unsere Versuchsreihen eignen.

Zudem verwendeten wir auch Tabletten. Sie bestehen aus gepresstem Pulver oder Granulat und können somit auch keine flüssigen Inhalte enthalten. Ein Vorteil von Tabletten ist aber, dass viele, im Gegensatz zu Kapseln, geteilt werden können. Die Herstellung von Tabletten in der Massenproduktion ist sehr effizient, weshalb sie die am weitesten verbreitete Arzneiform ist.



Links: Leere Kapseln. Rechts: Tablette mit gelbem Schellack-Überzug

Auch bei Tabletten gibt es Unterformen, man unterscheidet zwischen Dragees und Filmta-

bletten. Filmtabletten besitzen dünne Polymerüberzüge, die das Freisetzungverhalten des Wirkstoffes beeinflussen können, aber z. B. auch das Schlucken erleichtern oder Farbe und Geruch verändern.

Bei Dragees hingegen besteht der Überzug aus einer dicken Schicht aus Zucker oder Zuckersirup. Dieser beeinflusst den Geschmack und den Geruch und kann ebenfalls bei Zugabe von anderen Stoffen die Freisetzung des Wirkstoffes verändern, beim Schlucken helfen und vor äußeren Einflüssen schützen. Ihre Herstellung ist jedoch teuer, weshalb sie nur selten verwendet werden.

Polymere

NISHANT BHALLA

Da Überzüge häufig aus Polymeren aufgebaut sind, beschäftigten wir uns auch mit der diesbezüglichen Theorie.

Polymere sind Stoffe, die aus sich wiederholenden Abschnitten von Teilchen bestehen. Den kleinsten sich wiederholenden Abschnitt des Polymers nennt man Monomer. Das lässt sich aus dem Altgriechischen ableiten, wobei „poly“ mit „viele“ und „mono“ mit „ein“ übersetzt werden kann. Dabei handelt es sich um Ketten, die nicht nur in einer Dimension verlaufen, sondern die sich auch in alle Raumrichtungen fortsetzen können.

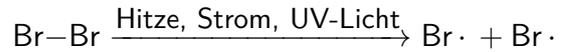
Neben den natürlicherweise vorkommenden Polymeren, wie beispielsweise Schellack, ist es möglich, Polymere künstlich herzustellen.

Das kann beispielsweise durch Radikale geschehen. Ein Radikal ist ein Teilchen, das mit vielen anderen Teilchensorten sehr schnell reagiert und dafür wenig Energie benötigt. Es ist sehr reaktionsfreudig.

Wenn man nun zum Beispiel das Polymer Polypropylen synthetisieren will, dann kann man als Reaktionsstarter das Radikal Brom nutzen.

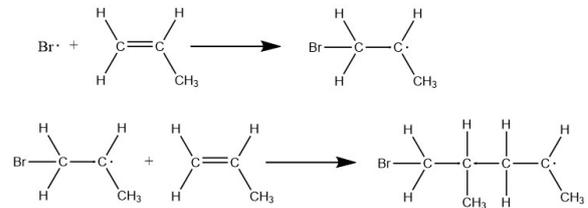
Um dieses Radikal zu erzeugen, erhitzt man ein natürlich vorkommendes Brommolekül. Dieses spaltet sich im Anschluss in zwei einzelne Bromradikale (siehe Abbildung Bromradikalbildung). Es sei angemerkt, dass das auch durch

anderweitige Energiezufuhr, wie beispielsweise das Bestrahlen, funktionieren würde.



Bromradikalbildung

Das Monomer in unserem Beispiel ist das Propen. Zum Starten der Polymerbildung gibt man die Bromradikale also in Propen, wenn die Radikale nicht schon vorher im Propen entstanden sind, weil für die Radikalbildung ein Brom-Propen-Gemisch erhitzt wurde. Nun bindet das Bromradikal an ein Propen-Teilchen, und durch diese Bindung wird ein anderes Teilchen dieses neu synthetisierten Moleküls zum Radikal. In diesem Fall ist dies das „rechts“ sitzende Kohlenstoffatom (siehe Abbildung Radikalische Kettenreaktion). Dieses bindet an ein weiteres Propen-Teilchen, bei welchem wieder ein Kohlenstoffatom zum Radikal wird und so weiter.

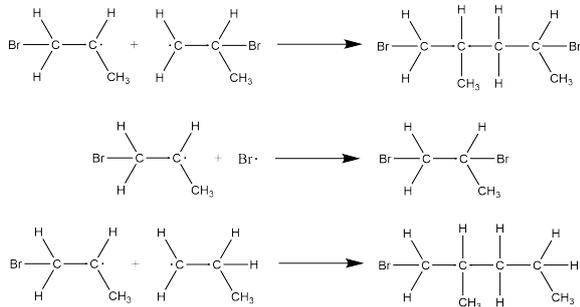


Radikalische Kettenreaktion

Sogenannte Radikalfänger sind dazu da, die Reaktion zu beenden. Das können Antioxidantien (z. B. Vitamin C) sein. Aber auch dadurch, dass der Radikalstarter während der Reaktion getroffen wird, sodass sich zwei Radikale treffen, oder dass der gesamte Vorrat an Monomeren geleert wird, kann die Reaktion beendet werden.

Natürlich werden bei der Polymerbildung mehrere Polymere auf einmal gebildet, weil es technisch nicht möglich ist, diese Reaktionen einzeln ablaufen zu lassen. Deshalb werden mehrere Radikale auf einmal verwendet. So kann es dazu kommen, dass sich zwei Moleküle, die zuvor schon mit einem Radikal reagiert haben, treffen und es zu einem Kettenabbruch kommt, wie in der Abbildung Radikalischer Kettenabbruch dargestellt. Aber es kann auch ein Bromradikal getroffen werden, das noch

nicht mit einem Propen-Teilchen reagiert hat, wie es hier in der Mitte zu erkennen ist.



Radikalischer Kettenabbruch

Wenn eine ungerade Anzahl an Radikalen verwendet wird, kann es sein, dass die Polymerbildung endet, weil ein Radikal an kein weiteres Teilchen stößt, an welches es binden kann. Dann würde dieses frei im Stoff vorliegen.

In unserem Kurs haben wir uns in unseren Versuchen mit vier Polymerarten beschäftigt. Das wären zum einen die synthetischen, also künstlich hergestellten Polymere Eudragit[®] RL30D, Eudragit[®] FS30D und Eudragit[®] L30D55. Hauptsächlich haben wir jedoch das natürliche Polymer Schellack verwendet.

Schellack kommt in der Natur als Absonderung der Lackschildlaus vor. Er ist ein gelblicher Duroplast, also ein Stoff, der sich bei hohem Druck nur schlecht verformt und einen hohen Vernetzungsgrad aufweist.

Die Eudragite[®] sind weiß aussehende Stoffe. Sie bestehen aus mehreren Polymerarten, die untereinander reagieren müssen, bevor man den Stoff anwendet. RL30D, FS30D und L30D55 sind Spezifizierungen, die aussagen, um welches Eudragit[®] es sich jeweils genau handelt.

Eudragit[®] RL30D zersetzt sich ab einem pH-Wert, der kleiner als 5–6, wodurch es sich in einem sauren Milieu, so z. B. dem Magen, löst. Eudragit[®] L30D55 zersetzt sich ab einem pH-Wert größer als 6, was bedeutet, dass es sich in einem neutralen, alkalischen, aber auch in einem leicht sauren Milieu löst, was z. B. im Dünndarm erreicht wird. Im Gegensatz dazu zersetzt sich das Eudragit[®] FS30D ab einem pH-Wert der größer als 7,2 ist, wodurch es sich in einem schwach alkalischen Milieu, beispielsweise dem Dickdarm, löst.

Nach so viel Theorie brauchten wir frische Luft und Bewegung. Dafür ideal:

Das Sportfest

THEO HÖRSTER

Unser Kurs hatte sich glänzend auf das Sportfest vorbereitet, denn es hingen Plakate mit den Akademierekorden in vielen Disziplinen, z. B. 3000-Meter-Lauf oder Hammerwurf aus. Ob und wie man diese überbieten könne, war ein wichtiges Gesprächsthema im Kurs, genauso wie die Gestaltung eines markerschütternden Schlachtrufs.

Deshalb opferten wir einen beträchtlichen Teil der Kursschiene vor dem Sportfest und suchten mit vereinten Kräften nach einem Schlachtruf. Stolz präsentieren wir nun unser Ergebnis: „Pharmazie, stark wie nie! Schokokekse, Schokokekse, mampf, mampf, mampf!“

Wir nahmen mit viel Vergnügen an den einzelnen Disziplinen teil, auch wenn wir in diesem Jahr leider keine Hämmer warfen. Stattdessen durften wir uns bei anderen, bei der Akademie ebenso traditionellen Disziplinen beweisen, die gleichermaßen Höchstleistungen erforderten wie Spaß bereiteten.

In den einzelnen Disziplinen half uns unser erstklassiges Teamwork, unsere hohe Motivation und die Erfahrung unseres Schülermentors Alex, der für unseren erkrankten Kursteilnehmer Aaron einsprang. Unser wichtigster Vorteil war jedoch unser Extrapunkt, den wir uns auf besonders sportliche Art und Weise verdienten: Am Morgen, an dem das Sportfest stattfand, nahm nur eine Akademieteilnehmerin am Frühsport teil, und zwar unsere Kursteilnehmerin Yanchen.

Dank unserer Vorbereitung und unseres Teamworks meisterten wir die meisten Disziplinen mit links. Am Ende entschied der Extrapunkt, den Yanchen bei Frühsport für unseren Kurs geholt hatte, über das Ergebnis, was während der Siegerehrung schauspielerisch geschickt dargestellt wurde.

Nach diesem spektakulären Sieg kehrten wir unso motivierter ins Labor zurück und setzten unsere Arbeit fort.

Liberationsversuche

ANNA BUCHHOLZ

Um herauszufinden, ob Überzüge die Liberation verzögern, haben wir einen vierteiligen Versuch durchgeführt.



Liberationsversuch; oben links: Herstellung der Pulvermischung, unten links: Trocknen einer Kapsel mit Pressluft, Mitte: Freisetzungsapparatur, rechts: Probenentnahme mit Kolbenhubpipette

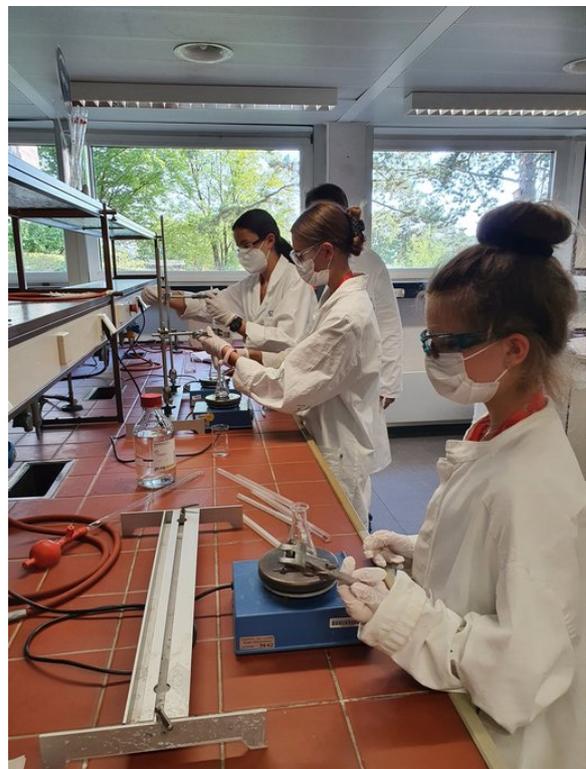
1. Kapseln befüllen

Um die Kapseln befüllen zu können, haben wir ein Pulver aus Kurkuma und Milchzucker im Verhältnis 1:9 angerührt. Dafür benutzten wir eine Reibschale, deren Poren wir zunächst mit Milchzucker verschlossen, um keinen Wirkstoff zu verlieren. Dann vermischten wir Kurkuma und Milchzucker homogen, indem wir den Milchzucker nach und nach hinzugaben. Im Anschluss wogen wir die leeren Kapseln, um später die Füllmenge sowie den Kurkumagehalt der einzelnen Kapseln feststellen zu können. Jetzt mussten die Kapseln nur noch befüllt werden. Dafür verwendeten wir Spatel und Glasstäbchen, befüllten die Kapseln und drückten den Inhalt zusammen, um möglichst viel Wirkstoff hineinzubekommen. Schließlich wurden die Kapseln noch ein weiteres Mal gewogen und die Füllmenge berechnet.

2. Kapseln überziehen

Für das Überziehen der Arzneiform haben wir unsere Kapsel oder Tablette mit der Pinzette

in das Überzugsmittel getaucht und anschließend eine Minute an der Luft trocknen lassen, wenn wir Schellack benutzten, oder fünf Minuten mit Pressluft getrocknet, wenn wir Eudragite® nutzten. Danach wurde die Arzneiform, also die Kapsel oder Tablette, an einer anderen Stelle mit der Pinzette wieder aufgenommen und ein weiteres Mal in den Überzug getaucht. Dadurch wurden alle Bereiche der Arzneiform gleichmäßig bedeckt. Den Vorgang haben wir vier Mal wiederholt, um einen gleichmäßigen vierschichtigen Überzug zu erhalten. Zur Bestimmung des Überzugsgewichts wurde die Arzneiform ein letztes Mal gewogen.



Vorbereitungen für die Liberationsversuche

3. Kapseln/Tabletten auflösen

Um eine dem Magensaft ähnliche Lösung herzustellen, haben wir zunächst Salzsäure (Hauptbestandteil der Magensäure) mit einem sehr niedrigen pH-Wert von 1,2 auf etwa 37 °C erhitzt. Hierzu benötigten wir eine Heizplatte, einen Erlenmeyerkolben, ein Thermometer, ein Rührstäbchen und die Salzsäure. Wir haben die Arzneiform hinzugegeben und beobachtet, wie sie sich unter ständigem Rühren des Rühr-

stäbchens aufgelöst hat. Um die Konzentration des Wirkstoffes in der Salzsäure bestimmen zu können, haben wir nach 15, 30, 60, 75, 90 und 120 Minuten eine Probe von 0,5 ml mit einer Glas- oder Kolbenhubpipette genommen und mit dem UV-Vis-Spektrometer untersucht. Nach 60 Minuten haben wir zu der Salzsäure außerdem noch Natriumphosphat-Lösung hinzugegeben und den pH-Wert hierdurch auf 6,8 erhöht. Diese neue Lösung entsprach jetzt den pH-Verhältnissen im Dünndarm, in den die Arzneiform, wenn sie noch nicht aufgelöst ist, nach Passieren des Magens gelangt.

4. Ergebnisse auswerten

Um die Ergebnisse auswerten zu können, haben wir uns vorher mit dem Aufbau sowie der Funktionsweise des UV-Vis-Spektrometers vertraut gemacht.

UV-Vis-Spektroskopie

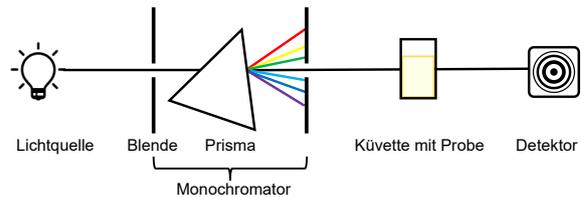
SEBASTIAN LENZ, AARON OSSWALD,
YANCHEN ZHENG

Aufbau UV-Vis-Spektrometer

Die UV-Vis-Spektroskopie (auch UV-Vis-Spektrophotometrie oder Elektronenabsorptionsspektroskopie genannt) ist ein Verfahren zur Quantifizierung von Bestandteilen einer flüssigen Probe. Dazu misst ein UV-Vis-Spektrometer das sichtbare („vis“), das ultraviolette (UV) und das nahinfrarote Licht, das durch die Probe in einer Küvette (einem lichtdurchlässigen Gefäß) nicht absorbiert wurde.

Eine Lichtquelle (Wellenlängenbereich 200 nm bis 1100 nm) strahlt Licht erst durch eine Blende, welche das Licht auf ein schmales Lichtbündel reduziert, und anschließend durch ein Prisma, welches das Licht in unterschiedliche Wellenlängenbereiche aufteilt. Mit einem Monochromator wird der gewünschte Wellenlängenbereich selektiert und das Licht auf die Probe geworfen. Dahinter misst ein Detektor das ankommende Licht und somit die Extinktion der Probe. Diese ist unsere genutzte Größe für die Abschwächung von Licht, in unserem

Fall nach dem Durchkreuzen eines Mediums, unserer Probe.



Schematischer Aufbau des UV-Vis-Spektrometers

Berechnung zum Absorptionswert

Allgemein führt eine höhere Konzentration des Wirkstoffes zu einem höheren Absorptionswert (ABS-Wert). Folglich führen verdünnte Proben zu einem niedrigeren ABS-Wert. Die absorbierte Lichtmenge ist für kleine ABS-Werte proportional zur Konzentration des Wirkstoffes.

Der ABS-Wert wurde von unserem UV-Vis-Spektrometer berechnet. Zur Berechnung der Extinktion oder des ABS-Werts sind ausschließlich die Intensitäten (Intensität am Detektor (I) und Intensität der Anfangslichtmenge (I_0)) von Bedeutung:

$$\begin{aligned} \text{Absorbanz } ABS &= \text{Extinktion } E \\ &= -\log_{10}(I/I_0) \end{aligned}$$

Kalibriergerade für das UV-Vis-Spektroskop

Um die Absorptionswerte des UV-Vis-Spektroskops in die Wirkstoffkonzentrationen umrechnen zu können, benötigt man eine Kalibriergerade.

Man misst bei bekannten Wirkstoffkonzentrationen die ABS-Werte und trägt diese in einen Graphen ein. Über die Ausgleichsgerade des Graphen kann man nun von einem ABS-Wert auf den Konzentrationswert zurückschließen. So konnten wir die Konzentrationswerte unserer Versuche errechnen und diese auswerten.

Um die Ausgleichsgerade zu erstellen, haben wir zuerst Wirkstoff, Salzsäure und Natriumphosphat mit den gleichen Verhältnissen

wie bei dem Freisetzungsvoruch in einem Erlennmeyerkolben zusammengemischt. Die Menge an Wirkstoff entsprach dabei der Menge, die wir in die Kurkumakapseln gefüllt haben, bzw. die in den ASS-Tabletten vorhanden war. Diese sogenannte Stammlösung enthält also die Wirkstoffkonzentration, die wir erhalten würden, wenn sich unser Arzneistoff bei der Freisetzung komplett auflösen würde.

Da das Verhältnis von Absorption und Konzentration bei einer zu hohen Absorption nicht mehr linear ist, mussten wir darauf achten, dass wir ABS-Werte zwischen ca. 1,0 und 0,2, der technischen Untergrenze des UV-Vis-Spektrometers, erhalten. Je nachdem, wie hoch die Lichtabsorptionswerte unserer Stammlösung waren, mussten wir diese also entsprechend verdünnen. Um eine genaue Kalibriergerade zu bekommen, haben wir bei fünf verschiedenen Verdünnungen jeweils drei Messungen durchgeführt und aus den drei Messungen jeweils den Mittelwert berechnet.

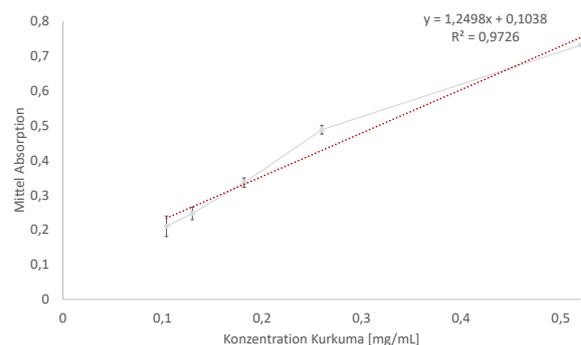
Ganz wichtig war es hierbei, ein Auto-Zero zu setzen. Das ist eine Messung der Absorption des Lösungsmittels ohne den nachzuweisenden Wirkstoff. Dieser Wert wird nachher von der Messung abgezogen, um die Absorption des Lösungsmittels nicht mitzumessen.

Kalibriergerade Kurkuma

Für die Kalibriergerade von Kurkuma haben wir uns für die Verdünnungen 1:1, 1:4, 1:6, 1:8 und 1:10 unserer Stammlösung entschieden. Verdünnen bedeutete hierbei, dass wir zu unserer Stammlösung mehr Salzsäure und Natriumphosphat hinzugeben. Wir haben also 1,04 g Kurkuma in 100 ml Lösungsmittel gelöst. Die Konzentration der Verdünnungen erhält man dann, wenn man die Konzentration der Stammlösung mit dem Faktor der Verdünnung (z. B. 1:4 = 0,25; 1:10 = 0,1; ...) multipliziert. Dabei ist 1:1 = 0,5 eine Ausnahme, die aus der Umgangssprache kommt. Als die Proben ausgemessen wurden, bemerkten wir, dass sich die Kurkuma in der Stammlösung nicht richtig auflöst, sondern absetzt. Daher haben wir uns überlegt, Ethanol zuzumischen, weil Ethanol für Kurkuma ein besseres Lösungsmittel ist.

Das erste Mal mischten wir 50 ml Stammlösung mit 50 ml Ethanol. In dieser 1:1 Mischung sollte sich die Kurkuma einwandfrei lösen und es sollte eine klare Lösung entstehen. Es passierte jedoch etwas Unerwartetes: Die Lösung wurde trüb. So eine Lösung konnten wir nicht im UV-Vis-Spektrometer auf Lichtabsorption des Wirkstoffs untersuchen, denn das Lösungsmittel absorbierte das Licht bereits komplett. Nach einigem Versuchen erkannten wir, dass wir weniger Ethanol hinzumischen mussten, wenn wir eine klare Flüssigkeit haben wollten. Wir mischten 100 ml unserer Stammlösung mit 75 ml Ethanol und konnten so mit dem Ausmessen beginnen. Im Nachhinein vermuten wir als Ursache für die Trübung, dass uns handelsübliches Ethanol zur Verfügung stand, welches vergällt worden war. Das bedeutet, dass es durch Hinzufügen bestimmter Stoffe verändert wird, um es als Alkohol ungenießbar zu machen.

Die nun klaren Verdünnungen der Stammlösung konnten im UV-Vis-Spektrometer vermessen werden. Aus den Messwerten wurden Mittelwerte berechnet und diese entsprechend der Konzentrationen in einem Diagramm aufgetragen. Durch die aufgetragenen Punkte wurde eine Ausgleichsgerade gelegt und deren Geradengleichung und Genauigkeit (Bestimmtheitsmaß R^2) abgelesen. Anhand der Geradengleichung lassen sich Absorptionswerte unbekannter Proben in Konzentrationen umrechnen.



Kalibriergerade Kurkuma

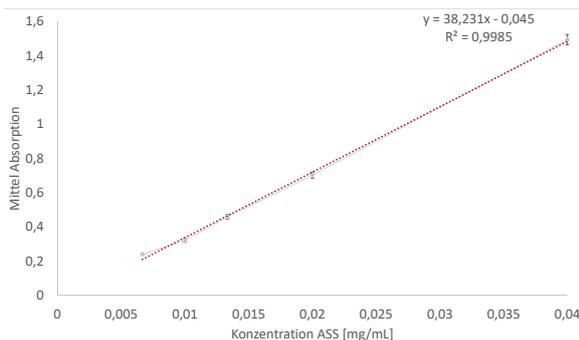
Wie man der Abbildung entnimmt, haben wir für den Zusammenhang der Absorption ABS und der Konzentration x die Gleichung:

$$ABS = 1,25 \cdot x + 0,1$$

ermittelt – diese Gleichung haben wir bei der Auswertung verwendet.

Kalibriergerade ASS

Für die Kalibriergerade der ASS-Tabletten haben wir uns für die Verdünnungen 1:25; 1:50; 1:75; 1:100 und 1:150 entschieden, da die Absorption nach dem Auflösen einer Tablette in 100 ml Lösungsmittel viel höher war als bei der Kurkuma. Hier haben wir 0,5 g ASS in 100 ml Lösungsmittel gelöst und nach demselben Prinzip wie bei der Kurkuma die Kalibriergerade ermittelt.



Kalibriergerade ASS

Auswertung der UV-Vis-Daten in Excel



Auswertung der Labormesswerte

Doch wie gelang es uns nun, allein mit unseren UV-Vis-Daten und der Kalibriergeraden die Konzentration des Wirkstoffes in der Probe so genau wie möglich zu bestimmen?

In Excel-Tabellen haben wir unsere UV-Vis-Daten ausgewertet. Dabei gingen wir immer nach den gleichen Schritten vor, hier am Beispiel der Kurkuma-Kapseln erklärt:

1. Wir notierten die ABS-Werte.

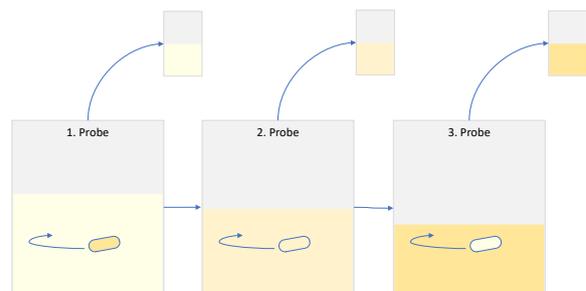
2. Wir bestimmten die Kurkumamassen in den Kapseln, indem wir die Kapselmassen mit der eingefüllten Konzentration an Kurkuma (10 %) multiplizierten:

$$\begin{aligned} \text{Kurkumamasse} &= \\ &= \text{Kapselmasse} \cdot \text{Kurkumakonzentration} \\ &= 0,6 \text{ g} \cdot 0,1 = 0,06 \text{ g} \end{aligned}$$

3. Wir berechneten die Kurkumakonzentration – hier am Beispiel für einen Messwert von $ABS = 0,5$ – aus der Geradengleichung der Kalibriergeraden $ABS = 1,25 \cdot x + 0,1$:

$$\begin{aligned} \text{Konzentration } x &= (ABS - 0,1) : 1,25 \\ &= (0,5 - 0,1) : 1,25 \\ &= 0,3 \text{ [mg/ml]} \end{aligned}$$

4. Die Menge an Füllmittel und damit auch an Kurkuma unterschied sich noch geringfügig, da die Kapseln von Hand gefüllt wurden und so eine gewisse Ungenauigkeit vorhanden war. Damit wir jedoch die Freisetzung aller Kapseln gut vergleichen konnten, war es wichtig, dass die Konzentration möglichst gleich war. Also haben wir das unterschiedliche Anfangsgewicht mit in unsere Rechnung einbezogen, sodass mathematisch alle Kapseln am Ende genau 0,05 g Kurkuma enthielten.



Probenentnahme der Liberationsversuche

5. Noch war die Kurkumakonzentration jedoch falsch, da die 0,5 ml-Probenentnahmen noch nicht in die Rechnung eingegangen waren. Nachdem die erste Probe entnommen war, war das Salzsäurevolumen und die Konzentration an Kurkuma verringert. Somit wurde letztgenanntes auf die theoretische Konzentration bei gleichem Volumen gerechnet.

6. Schließlich berechneten wir zu jedem Entnahmezeitpunkt einen Mittelwert für die

Punkte im anschließend erstellten Graphen. Außerdem fügten wir die Standardabweichung als Fehlerbalken in der Graphik ein, damit wir veranschaulichen konnten, wie weit die Werte vom Mittelwert abwichen.

Kurkuma

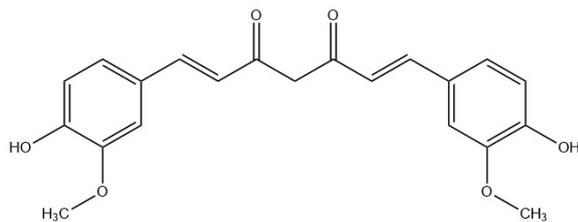
NISHANT BHALLA, CATELYN KNÖDLER

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund von Kurkuma für die Versuche näher betrachtet.

Üblicherweise kennt man Kurkuma als Gewürz oder als Bestandteil der sogenannten goldenen Milch. Die goldene Milch ist eine Suspension, sprich ein Gemisch aus einem Feststoff und einer Flüssigkeit, die aus dem Gewürz und der Milch besteht. Kurkuma wird aus der Pflanze *Curcuma longa*, auch bekannt als Gelbwurz, gewonnen.

Ein in unseren Versuchen wichtiger Bestandteil der Kurkuma ist das Curcumin, das der Kurkuma neben anderen Stoffen die gelbliche Farbe gibt und fluoresziert. Das bedeutet, dass auf das Curcumin eingestrahktes Licht mit einer anderen Wellenlänge wieder zurückgeworfen wird.

Allgemein ist Curcumin ein gelbes, kristallines Pulver, welches eine Schmelztemperatur von 183 °C hat und nahezu unlöslich in Wasser ist.



Strukturformel Curcumin

Kurkuma werden vielseitige positive Effekte nachgesagt, beispielsweise eine Verminderung des Krebsrisikos, von denen aber nur wenige wissenschaftlich nachgewiesen sind. Man weiß allerdings, dass Kurkuma schlecht vom Körper absorbiert werden kann, da die Löslichkeit in Wasser gering ist. Daraus geht hervor, dass die gängigen Mengen an Kurkuma keine pharmazeutische Wirkung im Körper entfalten.

Liberation Eudragit®

NISHANT BHALLA

Um nach dieser Theorieeinheit mit dem Wirkstoff zu arbeiten, begannen wir die Liberationsversuche mit den Eudragitüberzügen.

Die Kapseln, die mit den Eudragiten® überzogen wurden, haben sich, verglichen mit dem Schellacküberzug, schnell aufgelöst. Beispielsweise hat sich eine Kapsel schon nach 19 min fast vollständig aufgelöst und hat sich dann nach 56 min vollständig zersetzt.

Hinsichtlich der Beobachtungen haben wir nur zu Beginn des Liberationsversuches Proben entnommen und mit dem UV-Vis-Spektrometer ausgewertet. Denn diese bestätigten die naheliegende Vermutung, dass die Eudragitüberzüge nicht wie erwartet gewirkt haben. Um zeiteffizienter arbeiten zu können, wurde der zweite Teil des Liberationsversuches folglich abgebrochen und die Salzsäure wurde dementsprechend nicht mit Natriumphosphat-Lösung gemischt.

In Anbetracht unserer Ergebnisse ist es naheliegend, dass die Eudragite® entweder einen Produktionsfehler aufwiesen, oder dass wir in irgendeiner Hinsicht Fehler bei der Herstellung der Eudragitüberzüge gemacht bzw. Anwendungshinweise vernachlässigt haben. Es hat sich herausgestellt, dass der Fehler darin lag, dass wir die Kapseln nach dem Überziehen, wie bei den anderen Versuchen auch, ohne weitere Behandlung in unserem Liberationsversuch verwendet haben. Doch die Eudragitüberzüge bestehen aus mehreren Polymerarten, die, bevor sie zu einem wirksamen und festen Überzug reagieren können, auf eine Temperatur von 40 °C gebracht werden müssen. Diese Temperatur wird Mindestfilmbildungstemperatur genannt. Erst wenn die Mindestfilmbildungstemperatur erreicht wird, verschmelzen die Polymere zu einem festen Überzug und gewährleisten eine kontrollierte Freisetzung der Kapsel.

Da wir die Kapseln nach dem Überziehen nicht auf diese Temperatur gebracht hatten, hatten sich die Polymere auch wieder voneinander gelöst. Somit waren die Überzüge nicht wirksam, und die Kapseln konnten sich so auflösen, als wäre kein Überzug vorhanden.

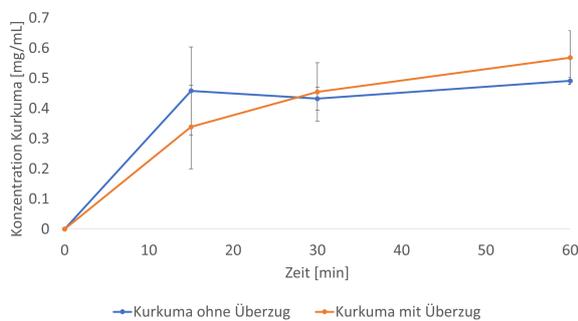
Liberation Schellack

NOAH KLETT UND YANCHEN ZHENG

Erster Liberationsversuch

In weiteren Versuchen verglichen wir mit Kurkuma gefüllte Kapseln mit und ohne Schellacküberzug.

Ziel unserer Versuche war es, den Einfluss des Schellacküberzugs auf die Freisetzung des Wirkstoffes quantitativ nachzuweisen. Wir vermuteten, dass der Schellacküberzug die Freisetzung des Wirkstoffes verlangsamt.



1. Liberationsversuch der Kurkumakapseln

Die Auswertung war durch die UV-Vis-Analyse der Proben und die dadurch erhaltenen Absorptionswerte möglich. Diese wurden über die Kalibriergerade und weitere Korrekturrechnungen (z. B. dem Ausgleich der entnommenen Flüssigkeit und dem hinzugefügten Ethanol) auf die reine, freigesetzte Wirkstoffmenge umgerechnet und in einem Graphen dargestellt.

Das Diagramm zeigt für die beiden Kapselversuche, ohne Schellacküberzug (blau) und mit Überzug (orange), die Wirkstoffkonzentration (y -Achse) in Abhängigkeit von der Zeit (x -Achse). Die Punkte sind die Kurkumakonzentration der Proben mit den dazugehörigen Fehlerbalken für die Standardabweichung, die Streuung der Messwerte um ihren Mittelwert.

Die Proben nahmen wir nach je 15, 30 und 60 min nach Versuchsstart. Die nicht überzogenen Kapseln setzen den Wirkstoff schon nach 15 min fast vollständig frei und hielten diese Konzentration. Die überzogenen Kapseln hingegen setzten den Wirkstoff langsamer frei, sodass der Wirkstoff erst nach 60 min komplett freigesetzt war. Diese verlangsamt Freisetzung

wird in der Fachsprache auch als retardierende Liberation bezeichnet.

Dass sich die Fehlerbalken der beiden Versuche überschneiden, zeigt, dass die Ergebnisse relativ ungenau waren. Kleinere Fehlerbalken würden für genauere Messwerte sprechen. Zudem sank der Wert der nicht überzogenen Kapseln bei 30 min, was bei unserem Versuchsaufbau nicht möglich gewesen sein dürfte.

Dies lässt sich durch mehrere Problemfaktoren erklären. So zeigte sich die mangelnde Laborroutine z. B. in Form von kleineren Pipettierfehlern und Unregelmäßigkeiten beim Überziehen der Kapseln, welche bei der Korrekturrechnung nicht berücksichtigt wurden. Außerdem traten Kommunikationsschwierigkeiten in Form von unzureichender Absprache und Koordinierung bei der gemeinsamen Nutzung von Laborutensilien auf, welche wir durch versetzte Probenentnahme in den folgenden Versuchen reduziert haben. Auch beeinflussten Umwelteinflüsse die Messungen. So zersetzt Sonnenlicht Teile der Kurkuma, was die sinkenden Werte erklären könnte.

Weitere verfahrensbedingte Ungenauigkeiten entstanden beispielsweise dadurch, dass sich die Heizplatten nur sehr ungenau einstellen ließen und Rührfische in manchen Fällen die Kapseln zerschlugen. Durch ein größeres Volumen in den Kolben konnten wir in nachfolgenden Versuchen letzteres Problem umgehen. Auch die zunehmende Laborroutine half bei der Durchführung weiterer Versuche.

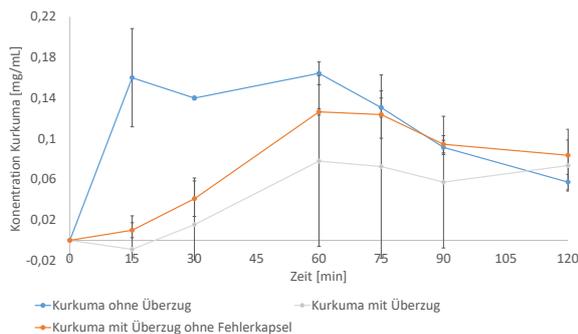
Trotz dieser Ungenauigkeiten wurde unsere Hypothese verifiziert, da der retardierende Trend im Vergleich zu der sofortigen Freisetzung sehr deutlich wurde.

Zweiter Liberationsversuch

Um verlässlichere und präzisere Daten zu erhalten, führten wir noch einen Liberationsversuch durch, bei dessen Durchführung wir die während des ersten Versuchs gewonnenen Erfahrungen berücksichtigten. Nachdem wir die Konzentration an Kurkuma in unseren Proben gemessen hatten, wiederholten wir die Schritte der Berechnungen vom vorherigen Liberationsversuch.

Nach 60 min gaben wir noch Natriumphosphatlösung hinzu, um die Änderung des pH-Wertes zwischen dem sauren Magen und dem fast neutralen Dünndarm zu simulieren. Dadurch änderte sich das Volumen unserer Freisetzungslösung. Bei der Berechnung der Konzentration haben wir dies berücksichtigt, damit wir die Freisetzungswerte miteinander vergleichen konnten. Dabei waren drei Kapseln mit Schellack überzogen und drei hatten keinen Überzug.

Wir verglichen anschließend die Werte der freigesetzten Wirkstoffkonzentration der Kapseln zu den bestimmten Zeitpunkten, indem wir aus den Kapseln mit Schellack sowie den Kapseln ohne Überzug für jeden Entnahmepunkt einen Wertedurchschnitt berechneten, um eine Grafik wie beim ersten Freisetzungsversuch zu erstellen.



2. Liberationsversuch der Kurkumakapseln

Wenn man nun die Konzentrationsgraphen der Kurkuma-Kapseln mit (grau) und ohne Überzug (blau) vergleicht, erkennt man bei den mit Schellack überzogenen Kapseln einen Retardeffekt. Der Wirkstoff wurde also verlangsamt freigesetzt, denn die Kurve verläuft am Anfang deutlich flacher und die Konzentration steigt viel langsamer an, während bei den nicht überzogenen Kapseln bereits am Anfang viel Wirkstoff freigesetzt wurde. Man sieht jedoch auch, dass die Konzentrationswerte sinken, obwohl wir in unserem Versuch eigentlich nicht für einen Abbau des Wirkstoffs gesorgt hatten. Das erklären wir uns dadurch, dass es an dem Tag sehr sonnig war und so das Sonnenlicht Kurkuma zersetzt haben könnte. Die Konzentrationswerte sanken bei den überzogenen Kapseln nicht so stark wie die der nicht überzogenen, da während der Zersetzung wei-

terhin Wirkstoff aus den überzogenen Kapseln freigesetzt wurde.

Bei der Auswertung der Konzentrationswerte der Kapseln mit Schellacküberzug fielen sofort die Werte einer Kapsel auf, die besonders niedrig waren und sogar mit der Zeit negativ wurden. Nach Abgleich mit der Versuchsbeobachtung stellten wir fest, dass sich die Kapsel nicht besonders gut löste. Das mochte an zu dicker Beschichtung gelegen haben oder daran, dass unsere Geräte wie Rührfisch und Heizplatte nicht immer gut einzustellen waren und sich der Wirkstoff daher nicht verteilt und nicht richtig gelöst haben könnte. Wir vermuteten, dass die Werte dieser Kapsel unsere Grafik fehlerhaft machten, und berechneten daher neue Mittelwerte ohne die Kapsel um einen zweiten Graphen (orange) zu erzeugen. So konnten wir unsere Vermutung prüfen und bestätigen. Der neue Graph verlief immer noch deutlich flacher und stieg langsamer als der blaue Graph der nicht überzogenen Kapseln.

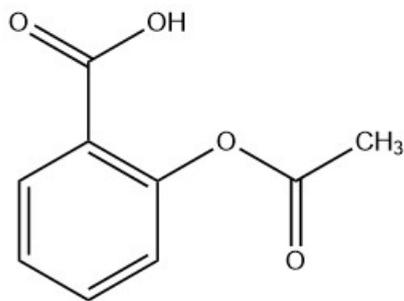
Hätten wir weitere Freisetzungsversuche mit mehr Kurkumakapseln durchführen können, hätten wir die Extremwerte ausgleichen und genauere Graphen erstellen können. Da wir jedoch zu wenig Zeit hatten, war uns das in der Akademie nicht möglich.

ASS

YUNZHENG LI

Für weitere Liberationsversuche haben wir mit Tabletten aus Acetylsalicylsäure (abgekürzt ASS) experimentiert. ASS wird als Wirkstoff von zum Beispiel Aspirin verwendet und besitzt unter anderem eine schmerzstillende und entzündungshemmende Wirkung. Sie wird aber auch zur Hemmung von Thrombozytenaggregationen eingesetzt. Genau dieser Effekt wird bei den ASS-100-Tabletten ausgenutzt und sie werden als Prophylaxe eingenommen, falls schon einmal ein Schlaganfall oder Herzinfarkt aufgetreten ist, da durch die Prophylaxe das Risiko eines erneuten Vorfalles zur Hälfte reduziert werden kann. Ferner kann bei einer höheren Dosierung gegen die Schmerzen die Blutgerinnung gehemmt werden.

Dieser Wirkstoff liegt meist als weißes Pulver oder als pyramidenförmiger Kristall vor und besitzt einen leichten Geruch nach Essigsäure.



Strukturformel ASS

In der Natur findet man Salicylsäure in der Pflanze Mädesüß. Das ist eine krautige Pflanze mit kleinen weiß-rosafarbenen Blüten auf einem dünnen und sehr zierlichen Stiel. Acetyl hingegen ist der Acyl-Rest der Essigsäure, die Acylgruppe ist eine funktionelle Gruppe ($R-(C=O)$).

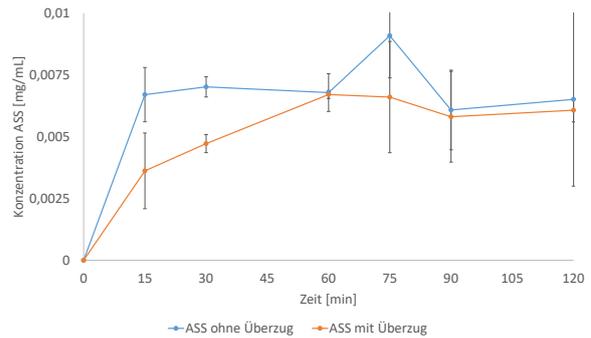
Liberation ASS

YANCHEN ZHENG

In unseren ASS-Tabletten war immer die gleiche Menge an Wirkstoff enthalten, sodass die Konzentration direkt vergleichbar war.

Wir haben die Konzentration an ASS aus den Lichtabsorptionswerten der einzelnen Proben berechnet und bei jedem Konzentrationswert den ASS-Gehalt der vorher zur Ausmessung entnommenen Proben dazu addiert. Der Durchschnitt aus den Werten der ASS-Tabletten ohne Überzug und mit Schellacküberzug wurde in einem Koordinatensystem als je ein Graph dargestellt, mit der Wirkstoffkonzentration auf der y -Achse in Abhängigkeit von der Zeit auf der x -Achse.

Bei der Messung nach 75 min konnte man dabei einen starken Anstieg der Konzentration bei den ASS-Tabletten ohne Überzug (blauer Graph) erkennen. Das erklärten wir uns damit, dass sich eventuell bei der Zugabe von Natriumphosphat-Lösung nach 60 min größere Brocken an Wirkstoff bei zwei Kapseln gelöst hatten. Das nicht gelöste Pulver könnten wir bei der Entnahme nach 75 min mit pipettiert haben. Durch die Zugabe von Ethanol hat sich



Liberationsversuch der ASS-Tabletten

das Pulver noch in der Probe aufgelöst, sodass wir eine erhöhte ASS-Konzentration gemessen haben. Nachdem sich der Wirkstoff jedoch besser gelöst und verteilt hatte, wirkte es so, als ob die Konzentration bei 90 min wieder sinken würde. Die ASS kann jedoch nicht abgebaut worden sein, sodass es sich bei dem erhöhten Wert um einen Messfehler handeln musste. Auch hier hätten wir durch weitere Versuche unsere hypothetische Erklärung bestätigen oder widerlegen können.

Durch den Freisetzungsvorversuch mit ASS-Tabletten konnten wir gut beobachten, dass der Schellacküberzug auch eine retardierende Wirkung auf die Wirkstofffreisetzung von Tabletten hat, denn auch hier stiegen die Konzentrationswerte von ASS bei mit Schellack überzogenen Tabletten zunächst langsamer an als die Werte bei den Tabletten ohne Überzug.

Damit haben wir erfolgreich an verschiedenen Arzneiformen und Wirkstoffen getestet, dass ein Schellacküberzug auf die Freisetzung des Wirkstoffes eine retardierende Wirkung hat.

Rotationspräsentation

YUNZHENG LI

Am 1. September fanden die diesjährigen Rotationspräsentationen statt. Bei diesen Präsentationen hat jeder Kurs seine bisher erarbeiteten Themen in einer Präsentation zusammengefasst und diese in Dreiergruppen jeweils drei TeilnehmerInnen der anderen fünf Kurse vorgestellt. Die Präsentationen begannen direkt nach dem Plenum und dauerten bis zum Mittagessen. Jeder Kurs hatte 15 min Zeit, um seinen Kursfortschritt zu präsentieren, und am

Ende gab es noch eine kleine Frage- und Feedbackrunde.

Leider gestalteten sich die Präsentationen etwas schwieriger als erwartet, da alle wichtigen Inhalte kurz, aber dennoch ausreichend und interessant genug zusammengefasst werden mussten, sodass daraus eine wissenschaftliche Präsentation entstehen konnte. Glücklicherweise bekamen wir jede Menge Hilfe von unseren KursleiterInnen, da sie uns immer mit nützlichen und hilfreichen Tipps unterstützten.

Am Ende des Tages haben alle TeilnehmerInnen der Akademie einen Einblick in die Themen der anderen Kurse bekommen und etwas dazugelernt.

Haut

HANNAH PULKOWSKI

Nach den lehrreichen Rotationspräsentationen arbeiteten wir an unseren Kursthemen weiter. Für den später folgenden Absorptionsversuch benötigten wir zunächst eine Theorieeinheit über die Haut.

Die Haut lässt sich grundsätzlich in drei Schichten einteilen: die Subcutis (Unterhaut), die Dermis (Lederhaut) und die Epidermis (Oberhaut).

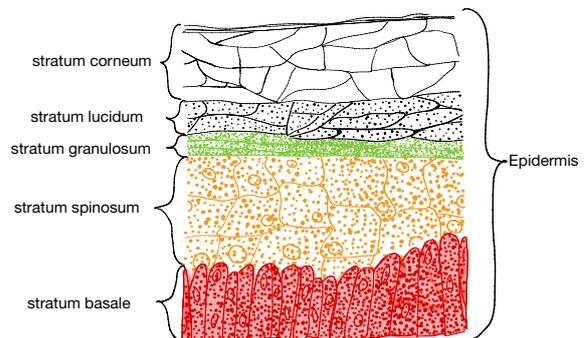
In der Unterhaut sind Bindegewebe, Fettgewebe, Nervenenden und Blutgefäße zu finden. Durch die dort vorhandenen Blutgefäße werden Leder- und Oberhaut mit Nährstoffen und Sauerstoff versorgt und das Kohlendioxid abtransportiert. Das Fettgewebe schützt das Körperinnere vor zu starken Temperaturschwankungen und bildet ein Polster, das unsere Knochen, Muskeln und Organe schützt.

Die Lederhaut liegt zwischen der Unterhaut und der Oberhaut. Sie besteht aus Bindegewebe, und in ihr sind ebenfalls Blutgefäße und Nervenfasern vorhanden. Auch Schweißdrüsen, die zur Temperaturregelung beitragen, und Strukturen, welche das Haar in der Haut verankern – sogenannte Haarfollikel –, befinden sich in der Oberhaut.

Die Oberhaut bildet eine dichte Schutzbarriere, die unseren Körper vor Erregern wie Viren und Mikroorganismen schützt. Sie besteht

noch einmal aus fünf Schichten (siehe Abbildung Aufbau der Epidermis). Direkt an die Dermis grenzt die Basalschicht (auch stratum basale), in der die Zellteilung stattfindet. Die Zellen beginnen dann, langsam in der Stachelzellschicht (stratum spinosum) zu verhornen. Es folgt die Körnerschicht (stratum granulosum), in der die Zellkerne abgebaut und die Zellen allmählich leblos werden. Darüber liegt das stratum lucidum, also die Glanzschicht, die verhindert, dass Fremdkörper in die Haut vordringen. Sie ist lediglich in der Leistenhaut, die es nur an dicken Epidermisstellen wie den Fußsohlen und Handflächen gibt, zu finden.

Die äußerste Schicht ist die Hornschicht, auch stratum corneum genannt. Hier sind nur noch abgestorbene Hautzellen, sogenannte Korneozyten, vorhanden. Diese Schicht lässt sich mit einer Ziegelsteinmauer vergleichen, bei der die Zellen die Ziegel und die fetthaltige Füllung zwischen den Zellen den Mörtel bilden. Sie dient zum Schutz der anderen Hautschichten.

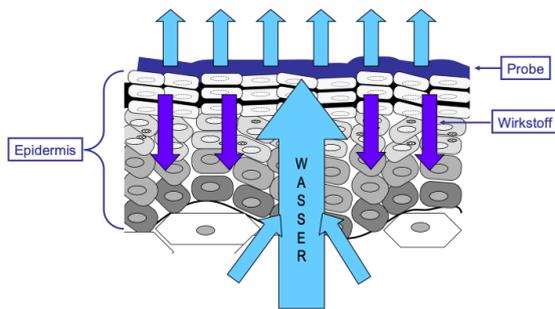


Aufbau der Epidermis

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie ein Wirkstoff in die Haut eindringen kann.

Wird der Wirkstoff in einer hydrophilen, also in einer wässrigen Probe gelöst und auf die Haut aufgetragen, so kommt der Dochteffekt ins Spiel: Wasser steigt von den unteren Hautschichten in die oberen auf, um in der Atmosphäre zu verdunsten – ein normaler Effekt. Dieser Verdunstungsvorgang wird durch die wässrige Lösung auf der Haut verstärkt, und somit steigt immer mehr Wasser auf. Dies hindert den Wirkstoff daran, in die tieferen Hautschichten einzudringen, weshalb er nur in den oberen bleibt. Auch zieht das emporsteigende Wasser den Wirkstoff mit sich.

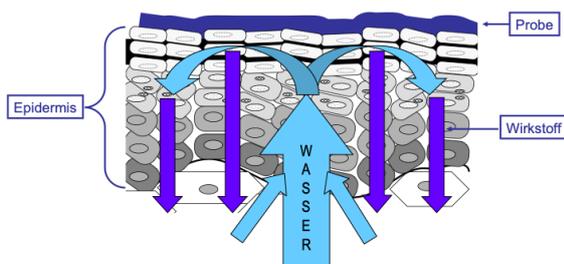
Haut-Dochteffekt



Dochteffekt hydrophiler Arzneiformen

Aber was passiert, wenn ein Wirkstoff in einer lipophilen, also in einer fettigen Probe gelöst wird? Dann tritt der Okklusionseffekt auf: Auch hier steigt wieder Wasser auf, um zu verdunsten, doch dieser Vorgang wird durch die fettige Probe verhindert. Aus diesem Grund muss das Wasser wieder in die unteren Hautschichten zirkulieren. Somit quillt die Haut auf und schafft Platz für den Wirkstoff, der nun in die tieferen Hautschichten eindringen kann. Zusätzlich nimmt das zurückfließende Wasser den Wirkstoff mit sich, sodass er noch tiefer in die Haut gelangen kann.

Haut-Okklusionseffekt



Okklusionseffekt lipophiler Arzneiformen

Festzuhalten ist, dass der Wirkstoff in einer wässrigen Probe in den oberen Hautschichten bleibt, während ein in Fett gelöster Wirkstoff tiefer liegende Hautschichten erreichen kann.

Fluoreszenzmikroskop

OSCAR VOETH

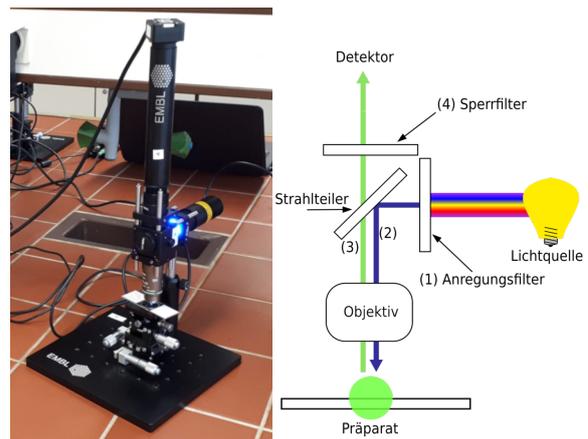
Diese Effekte wollten wir in einem folgenden Versuch untersuchen. Um das Eindringen un-

serer Stoffproben in die Haut nachzuweisen, nutzen wir dabei ein Fluoreszenzmikroskop.

Fluoreszenz beschreibt die Eigenschaft eines Stoffes, auf den Licht einer bestimmten Wellenlänge eintrifft, dieses in einer anderen Wellenlänge zurückzustrahlen.

Die Fluoreszenz der Kurkuma bei einer Wellenlänge von 427 nm konnte man mit dem Fluoreszenzmikroskop an einem Leuchten der Proben erkennen. Sie war bei unseren drei Lösungsmitteln mit Kurkuma unterschiedlich stark, was wir mit dem Fluoreszenzmikroskop nachweisen konnten.

Die Fluoreszenzmikroskopie ist eine Art der Lichtmikroskopie. Dabei wird mit der Objektivlinse und der Okularlinse das Licht auf eine bestimmte Art gebrochen, und somit kann man das Objekt vergrößert betrachten.



Fluoreszenzmikroskop und schematischer Aufbau¹

Ein Fluoreszenzmikroskop ist aus einer Lichtquelle aufgebaut, aus deren Licht von einem Anregungsfilter alle Wellenlängen bis auf den Fluorophor-Anregungsbereich herausgefiltert werden. Der Fluorophor-Anregungsbereich ist dabei derjenige Wellenlängenbereich, welcher die Fluoreszenz eines Stoffes anregt. Dieser Bereich von Wellenlängen wird über den Strahlteiler zum Objektträger gelenkt und dort vom fluoreszierenden Präparat zum Detektor geworfen. Wenn der zu untersuchende Stoff von der Wellenlänge angeregt wird, strahlt er Licht in einer anderen Wellenlänge ab. Die fluoreszieren-

¹Abbildung: Wikimedia (Krzysztof Blachnicki, Bearbeitungen Henry Mühlpfordt, Wikimedia-User Dietzel65 und Jana Brüßler, CC BY-SA 3.0)

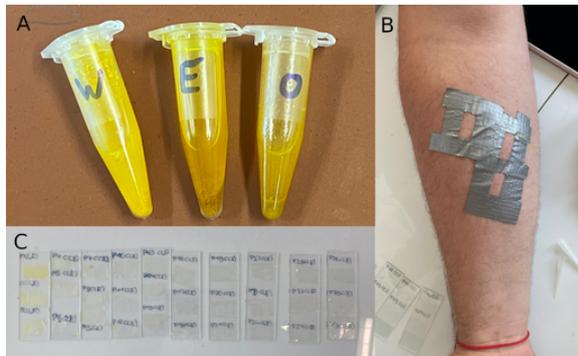
den Stoffe leuchten dabei nur, solange sie von der Lichtquelle angeregt werden. Stoffe fluoreszieren, weil die Elektronen des Stoffes, die sich beim Bestrahlen vom Atomkern entfernt und dabei Energie des Lichtes aufgenommen haben, sich diesem anschließend wieder nähern und die Energie nun wieder als Licht abgeben. Die Fluoreszenz erkennt man im Mikroskop am Leuchten einzelner Strukturen.

Absorptionsversuch

KLARA GABELE

Mithilfe des Fluoreszenzmikroskops konnten wir die Ergebnisse eines Versuches auswerten, den wir in der zweiten Akademiewoche durchführten:

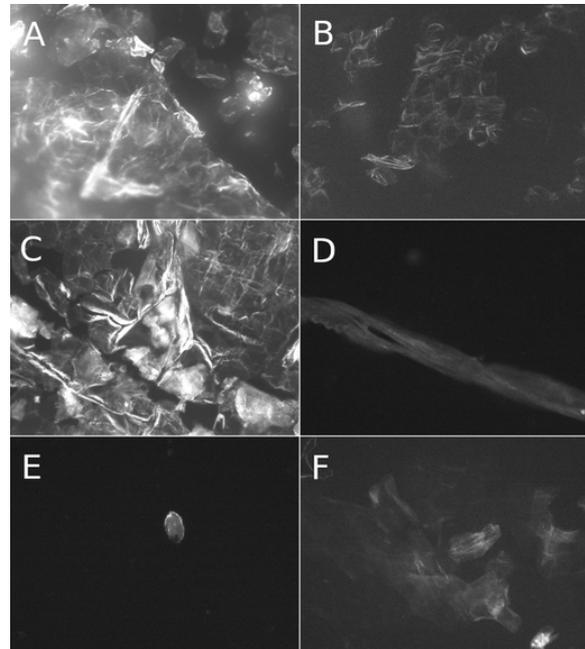
Mit diesem Versuch wollten wir die Aufnahme des Wirkstoffes durch eine Zellbarriere simulieren. Hierfür verwendeten wir die menschliche Haut. Unser Ziel war es festzustellen, wie tief die Kurkuma in die Haut beziehungsweise in die Zellbarriere eindringt. Dabei mischten wir die Kurkuma mit den drei verschiedenen Lösungsmitteln Wasser, Ethanol und Paraffinöl (Abb. Absorptionsversuche A).



Absorptionsversuche, A Kurkumalösungen, B abgeklebte Testflächen, C Objektträger mit Proben

Als erstes mussten wir den ProbandInnen, unseren KursleiterInnen Jana und Christian, drei Testflächen (jeweils 1 x 2 cm) auf ihrer Haut mit Panzertape abkleben (Abb. Absorptionsversuche B). Anschließend brachten wir an diesen Stellen unsere Kurkumalösungen auf. Auf eine Testfläche tropften wir in Wasser suspendierte Kurkuma (diese löst sich in Wasser nur sehr schlecht bis gar nicht), auf die zweite trugen wir

Kurkuma in Ethanol auf (sehr gute Löslichkeit) und auf der letzten Testfläche beobachteten wir die Kurkuma-Öl-Proben (mittelmäßige Löslichkeit).



Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen, A Wasser (oben), B Wasser (unten), C Ethanol (oben), D Ethanol (unten), E Öl (oben), F Öl (unten)

Nach einer Einwirkzeit von 15 min begannen wir damit, die oberste Hautschicht, das stratum corneum, mit 30 Tesafilmstreifen abzuziehen. Wir bereiteten die 30 Streifen vor und drückten sie jeweils fest auf die Haut, bevor wir sie mithilfe einer Pinzette möglichst schnell wieder abrissen. Da das stratum corneum aus abgestorbenen Hautzellen besteht, fügten wir unseren ProbandInnen mit diesem Versuch keinen größeren Schaden zu. Es blieben lediglich drei rote Rechtecke auf der Haut zurück – unsere Teststellen. Die Tesafilmstreifen klebten wir auf Objektträger (Abb. Absorptionsversuche C), welche wir nun unter dem Fluoreszenzmikroskop betrachteten. Dieses Mikroskop lieferte uns eine 200-fache Vergrößerung (10-fach durch das Okular und 20-fach durch das Objektiv). Bei unseren Tesafilmstreifen konnte man deutlich sowohl den Docht- als auch den Okklusionseffekt beobachten. Bei der Ethanolösung war die Kurkuma zwar sehr stark bei den ersten Tesafilmstreifen vorzufinden (Abb. Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen A), die

späteren wiesen dafür allerdings praktisch gar keine Kurkuma auf (B). Dasselbe Prinzip konnten wir auch bei den Wasserlösungen beobachten (C & D). Da Ethanol und Wasser beide hydrophil sind, greift hier der Dochteffekt.

Bei den Tesafilmstreifen mit Öl sah es jedoch ein bisschen anders aus. In den ersten Streifen sah man zwar etwas Kurkuma, doch lange nicht so viel wie bei Ethanol oder Wasser (E). Anders als bei den hydrophilen Formulierungen gelangte die Kurkuma in Verbindung mit dem Öl sehr viel tiefer in die Haut. In den letzten Streifen konnten wir noch immer Kurkumaresten finden (F) – dies lässt sich durch den Okklusionseffekt erklären.

Abschlusspräsentation

THEO HÖRSTER

Unsere Versuche waren nun abgeschlossen, und deshalb bereiteten wir uns darauf vor, diese anderen Interessierten zu präsentieren.

Am 7. September, dem letzten vollständigen Tag der Akademie, hielten wir, in vier Gruppen aufgeteilt, die Abschlusspräsentation. Dort stellten wir einige der vielen spannenden Themen, mit denen wir uns die zwei vergangenen Wochen beschäftigt hatten, vor. Darunter waren: das LADME-Modell, Arzneistoffe und Arzneiformen, der Aufbau des Magen-Darm-Trakts und der Haut, der Okklusions-, und der Dochteffekt, das UV-Vis-Spektrometer und unsere Versuche zur Liberation und zur Absorption sowie deren Ergebnisse.

Die Erarbeitung unserer Abschlusspräsentation nahm viel Zeit und Mühe in Anspruch: Zuerst mussten wir unter relativ großem Zeitdruck die Absorptionsversuche durchführen, denn unsere Liberationenversuche hatten mehr Anläufe benötigt, als wir dachten. Währenddessen mussten wir die Abschlusspräsentation erstellen, passende Bilder suchen oder gegebenenfalls aufnehmen, Ergebnisse unserer Liberationenversuche auswerten, Grafiken erstellen und ein stimmiges Layout finden. Die Qualität einer Präsentation wird aber vor allem durch die Präsentierenden beeinflusst, deshalb ertrugen wir die zwar konstruktive, aber dennoch ausführliche Kritik unserer KursleiterInnen und

unseres Schülermentors, um unsere Vortragsweise zu verbessern und so gut wie möglich auf die Abschlusspräsentation vorbereitet zu sein.

Bei unseren Abschlusspräsentationen zahlte sich die gute Vorbereitung dann aus: Sowohl thematisch als auch während der Vorstellung gelangen uns die Präsentationen sehr gut. Außerdem interessierten sich anscheinend viele TeilnehmerInnen, aber auch Außenstehende für unser Thema, denn unsere Präsentationen waren stets gut besucht. Insgesamt war es eine spannende Erfahrung, das Thema unseres Kurses leicht verständlich und spannend zu präsentieren, und sehr motivierend, dass wir so vielen Interessierten etwas näherbringen konnten, das uns selbst begeistert.



Auch im Labor war meist sehr gute Stimmung.

Schlusswort

ANNA BUCHHOLZ, THEO HÖRSTER,
SEBASTIAN LENZ, YUNZHENG LI,
AARON OSSWALD

Zwei Wochen lang hatten wir uns mit Pharmazie beschäftigt, der Wissenschaft, die sich auf breitem Gebiet damit befasst, mithilfe von Medikamenten Krankheiten zu behandeln. Unser Kursziel war es, das LADME-Modell, welches den Weg eines Arzneistoffes durch den Körper beschreibt, experimentell nachzubilden. Dafür haben wir auf Basis theoretischer Grundlagen verschiedene Versuche durchgeführt. Schon beim Eröffnungswochenende sind wir mit einem Versuch direkt in das Thema eingestiegen. Im Sommer ging es dann hauptsächlich ins Labor, wo wir uns mit komplexeren Versuchen beschäftigt haben.

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei allen bedanken, die uns diesen Kurs und die Akademie ermöglicht haben. Unser besonderer Dank gilt Herrn Dr. Wendt von der experimenta und dem EMBL für die Bereitstellung des UV-Vis-Spektrometers und der Fluoreszenzmikroskope.

Wir haben nicht nur jede Menge gelernt, in den zwei Wochen ist unsere Gruppe zu einer kleinen Familie zusammengewachsen. Ab dem ersten Tag wurde jede und jeder akzeptiert, über die Zeit haben wir unsere Stärken und Schwächen kennen- und damit auch lieben gelernt. Wir haben zusammen gelacht, sind zusammen verzweifelt und haben miteinander getanz.

Als die zwei Wochen vorbei waren, wollte niemand wieder nach Hause fahren. Wir lagen uns, den Tränen nahe, in den Armen und wollten uns bestenfalls nie mehr loslassen. Doch auch die schönste Zeit geht zu Ende, und so fuhren wir voller schöner Erinnerungen nach Hause.

Zitate

ALEX FREITAG

Nika: „Ich habe eine Kapsel geboren.“

Nika zu Oscar: „Die Tablette Oscarinus!“

Theo: „Wenn eure Kapseln Babys sind, habt ihr die höchste Kindersterblichkeitsrate.“

Jana: „Das Messer ist relativ stumpf, also ihr müsstet es euch schon in die Finger rammen.“

Christian: „Jana, hast du 'n Edding?“

Jana: „Ich kann mir höchstens den Finger abbeißen, und dann hast du ein bisschen Blut zum Schreiben.“

Christian auf der Wanderung: „Also wenn ihr noch was für euren geheimen Freund braucht, nehmt euch ein Holzscheit mit.“

Henriette: „Das ist Diebstahl!“

Christian: „Vielleicht bin ich ja ein Holzwurm, dann ist es nur Mundraub.“

Christian: „Die 150 ml hier haben in etwa so viel mit der Wahrheit zu tun wie: Oben steht noch eine Dose Schokokekse.“

Hannah: „ECHT JETZT?“

Noah: „Wir können die Küvetten ja schon mal hinrichten.“

Theo: „Meine Tablette heißt Chuck Norris.“

Alex: „Ich will ihm nicht die Augen rausrücken!“

Christian: „Ich war mal Janas Student. Der Beginn einer wunderbaren ... nennen wir es mal: Verbindung ... Hassliebe ... Panik, ich weiß es nicht.“

Jana: „Christian, hier sind die 15 Tabletten.“

Christian: „Die geh' ich mir jetzt reinziehen, danach kann ich flüieegen!“

Christian zu Jana: „'ne Nacht im Labor: Du ... ich ... 40 Proben ... komm schon!“ – Jana guckt kritisch

Theo: „Was nicht ist, kann ja noch werden.“

Alex: „Wo is' Jana?“

Christian: „Der haben sie die Haut abgezogen und in den Keller gebracht. Möchtest du auch mal deinem Kursleiter die Haut abziehen?“

Christian: „Nein, das ist kein Zitat, das ist auf die Blutlache bezogen!“

Jana: „Blut klebt so, is' total kacke!“

Jana: „Christian, warum wirfst du mit unseren Kursteilnehmern?“

Christian: „Jana, du bist ein sehr guter Marterpfahl.“

Christian: „Weiß jemand, aus was der Boden ist?“

Oscar: „Acetylsalicylsäure?“

Noah: „Wenn du Kopfschmerzen hast, leckst du einfach kurz am Boden, dann geht's dir wieder gut.“

Christian: „Nehmt jetzt bitte auch bunte Stifte, sonst fehlt euch das >MANA< in der Reaktion!“

Christian: „Was passiert mit den Menschen über die Zeit?“

Anna: „Die nutzen sich ab.“

Anna: „Sorry, jetzt schmeiß' ich auch noch mit Kursteilnehmern.“

Christian: „Raumspalte auf, Messergebnisse: >FLATSCH!<, Raumspalte zu.“

Nika: „Wie nennt man wissenschaftlich Ä, Ö, Ü?“

Noah: „Möchtegern-Vokale.“

Theo: „Thorben? Hoffentlich ist der nicht gestorben!“

Quellen

https://de.wikipedia.org/wiki/Tablette#Methoden_zur_Herstellung

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Kapseln>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

http://www.bdsoft.de/pharmazie/index.htm?/pharmazie/technologie/zusatzstoffe/handelsnamen/eudragit/eudragit_rl.htm

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

https://de.wikipedia.org/wiki/Magensaftresistente_Tablette#Eudragit_FS_30_D

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

https://faculty.epss.ucla.edu/~ttreude/wp-content/uploads/2019/04/Farkas_Bachelorarbeit.pdf

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://de.wikipedia.org/wiki/UV/VIS-Spektroskopie>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/126/standardabweichung>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://www.aspirin.de/wirkung>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://www.kardiologie.org/fruehe-ass-prophylaxe-viel-effektiver-als-gedacht-/10220858>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

Kurs 5 – Was ist Gerechtigkeit?



Vorwort

ALEXANDER DROB UND NADIA
SEROTEK

Das Thema Gerechtigkeit hat eine zentrale Relevanz im menschlichen Miteinander. Kaum eine Thematik beschäftigt den Menschen so intensiv, vor allem, wenn es darum geht, sich ungerecht behandelt zu fühlen oder Ungerechtigkeiten zu beobachten. Es entsteht der innere Drang nach einem fairen Ausgleich.

Es handelt sich bei der Gerechtigkeit anscheinend um ein instinktives Grundbedürfnis. Menschen streben danach, vermeiden das Ungerechte, um letztendlich im Spiegel des Gewissens eine positive Bilanz ziehen zu können. Dieses Streben scheint leicht verständlich, dennoch lassen sich auf verschiedenen Ebenen – konkret

zwischenmenschlich, regional, national, global – diverse Ungerechtigkeiten beobachten, und somit stellt sich die Frage, woher dies rührt.

Möglicherweise liegt ein Aspekt der Antwort auf diese Frage in der Tatsache begründet, dass oftmals keine konkrete Definition des Gerechtigkeitsbegriffs dem Handeln des Einzelnen bzw. des Kollektivs zugrunde liegt und auch häufig nicht zugrunde liegen kann. Das Handeln wird unabdingbar konkreter, wenn der Gegenstand präzise erfasst ist.

Und eben hier beginnt die Arbeit unseres Kurses. In den zwei Wochen Sommerakademie beschäftigen wir uns mit der Konkretisierung des Gerechtigkeitsbegriffes. Wir lernten aus unterschiedlichen Epochen verschiedene Ansätze zur Definition des Gerechten kennen und prüften

dieselben hinsichtlich ihrer Plausibilität sowie Anwendbarkeit auf den Alltag. Unter Zuhilfenahme philosophischen sowie ethischen Handwerkszeugs, welches wir uns bereits beim Eröffnungswochenende angeeignet hatten, lasen wir die Originaltexte führender Philosophen, Soziologen und Moralisten.

Neben den beiden Kursleitern Nadia Serotek und Alexander Droß fand sich im Seminargebäude 6 ein enorm interessierter sowie inhaltlich sehr firmer Schülermentor namens Benedikt Muschel ein, der das Leiterteam komplettierte.

Aber genug der Worte über die äußere Form des Kurses. Im Zentrum des Geschehens standen immer unsere 12 Jungphilosoph*innen, die nicht müde wurden, offen, kritisch, humorvoll und stets an sich arbeitend das angebotene Arrangement aufzusaugen. Die Themen wurden analysiert, hermeneutisch kritisiert und kreativ transferiert. Dabei entstanden oftmals hitzige Diskussionen dergestalt, dass wirklich jede*r voneinander zu profitierten gewillt war, sodass sich eine großartige Atmosphäre einstellte, die das Philosophieren sowie Moralisieren zu einer reinen Freude machte.

In Gruppen-, Partner- sowie Einzelarbeiten wurde auf den allseits beliebten Sofas oder gar im Freien unter sonnigem Himmel gearbeitet. Wer allerdings so hart arbeitet, braucht ab und zu natürlich auch einmal eine Denkpause. Hierzu dienten – neben Tee und Gebäck aller Art – vor allem kleine Energizer, die das gewohnte Denkschema effizient durcheinanderzubringen wussten, um wieder zu geistiger Kraft zu kommen. Aber auch die Kooperationsspiele stießen auf große Beliebtheit im Kurs. Vor allem das „Planenspiel“ ließ die Teilnehmer*innen so richtig strahlen.

Im Folgenden sind Sie herzlich dazu eingeladen, sich ein genaueres Bild unserer Arbeit während dieser zwei aufregenden Wochen zu machen. Dafür haben sich unsere Teilnehmer*innen noch einmal die Zeit genommen, Sie genauer über die Methoden und Inhalte des Kurses zu informieren. Wir wünschen viel Spaß bei den neuen Erkenntnissen und hoffen, dass Sie die Begeisterung des ganzen Kurses in jeder einzelnen Zeile wiedererkennen werden.

Wir hoffen zudem, dass Sie sich anhand unserer Ergebnisse auch selbst eine differenzierte Meinung bezüglich der Frage „Was ist Gerechtigkeit?“ bilden werden.



Methodik

Aussagenlogik

ALEXANDER KLIMM

Am Eröffnungswochenende beschäftigten wir uns zunächst mit diversen ethisch-philosophischen Methoden – hierbei auch mit dem sokratischen Dialog als einer Form der Argumentationsführung – und vertieften diese Thematik durch die wissenschaftliche Überprüfung von Argumenten. Dazu nutzten wir die Aussagenlogik.

Aussagenlogik allgemein

Die Aussagenlogik ist ein Teil der theoretischen Philosophie, genauer gesagt der dazu gehörenden Sprachphilosophie. Dieser Teilbereich der Philosophie hat die Überprüfung des Wahrheitswertes von Aussagen zum Inhalt und bewertet die ein Argument stützenden Prämissen sowie die sich daraus ergebende Konklusion.

Aussagesätze/Argumente

Die grundlegende Voraussetzung zum intensiveren Verständnis des Konzepts liegt in der Definition von Aussagen als solchen begründet: Denn ein Aussagesatz und ein Argument stehen in Verbindung zueinander, sind aber nicht dasselbe.

Ein Aussagesatz hat einen Wahrheitsgehalt, der entweder *wahr* oder *falsch* sein kann. Durch das empirische Überprüfen des Aussagesatzes können wir seine Aussage *verifizieren* (bestätigen) oder *falsifizieren* (widerlegen).

Ferner sind innerhalb der Aussagenlogik zwei Regeln von entscheidender Bedeutung:

1. *Tertium non datur* (dt.: ein Drittes ist nicht gegeben) bezieht sich darauf, dass eine Aussage ausschließlich wahr oder falsch ist, mehr Möglichkeiten gibt es nicht.

Bsp.: Im Jahr 2005 wurde Gerhard Schröder zum dritten Mal Bundeskanzler der BRD. Entweder trifft diese Aussage zu oder ihre Verneinung: Gerhard Schröder wurde nicht zum dritten Mal Bundeskanzler der BRD. Sonst gibt es keine andere Möglichkeit.

2. Der „Satz vom ausgeschlossenen Widerspruch“ besagt, dass bei einer Aussage entweder sie selbst oder ihre Negation zutreffen kann. Bsp.: Es regnet und es regnet nicht. Es ist nicht möglich, dass es gleichzeitig regnet und nicht regnet. Beides kann nicht gleichzeitig zutreffen.

Im Gegensatz zu Aussagen dient ein Argument dazu, andere von einem gewissen Inhalt zu überzeugen. Ein Argument folgt grundlegend folgender Struktur:

- Prämissen bilden die Argumentationsbasis, sie sind die notwendige Grundlage für eine aus ihnen abgeleitete Schlussfolgerung. Aus den Prämissen wird schließlich ein Schluss (Konklusion) gezogen. Es ist an dieser Stelle von entscheidender Bedeutung, dass bei der Aussagenlogik notwendig zwischen Inhalt und Form unterschieden werden muss. Ein aussagenlogisch gültiges Argument muss eine bestimmte Form wahren. Das bedeutet, die Schlussfolgerung muss sich stringent aus den Prämissen ergeben, auch wenn die Prämissen fragwürdig sein mögen. Hier ein Beispiel:

Prämisse 1: Jedes Kind mag Süßigkeiten. (könnte diskutabel sein)

Prämisse 2: Max ist ein Kind.

Konklusion: Max mag Süßigkeiten.

Hier geht die Konklusion aussagenlogisch

korrekt aus den Prämissen hervor, auch wenn Prämisse 1 diskutabel sein mag. Um die genannte Trennung von Form und Inhalt genauer zu verstehen, müssen zwei weitere aussagenlogische Begriffe verstanden sein: Gültigkeit und Schlüssigkeit.

Logisch gültig/schlüssig

Logische Gültigkeit liegt vor, wenn die Konklusion für wahr gehalten werden muss, da sie notwendigerweise aus den Prämissen hervorgeht. Logische Schlüssigkeit hingegen liegt dann vor, wenn zum einen das Argument logisch gültig ist und zum anderen die Prämissen ebenfalls wahr sind. Folgendes Beispiel verdeutlicht dies:

Prämisse 1: Alle Menschen sind sterblich.

Prämisse 2: Alex ist ein Mensch.

Konklusion: Also ist Alex sterblich.

Schlussweisen

Es gibt überdies zwei Schlussweisen, mit denen sich der Kurs beschäftigte: deduktive und induktive Schlüsse.

Deduktive Schlussweisen schließen vom Allgemeinen auf das Spezifische und sind somit „wahrheitserhaltend“. Dies macht das gerade erwähnte Beispiel der Sterblichkeit von Alex deutlich. Induktive Schlussweisen hingegen haben den Anspruch „wissenserweiternd“ zu sein, damit neue Erkenntnisse entstehen, die sich aber immer der Gefahr der Falsifikation ausgesetzt sehen.

Nun folgt zunächst die Erklärung relevanter deduktiver Schlussweisen, welche in ihrer aussagenlogischen Form notwendig gültig sind:

1. Der *Modus Ponens* (die setzende Schlussfigur)

Wenn A, dann auch B. A ist der Fall. Also ist auch B der Fall. Beispiel: Wenn es regnet, dann ist die Straße nass. Es regnet. Also ist die Straße nass.

2. Der *Modus Tollens* (die aufhebende Schlussfigur)

Wenn A, dann auch B.

B ist nicht der Fall.

Also ist A auch nicht der Fall.

Beispiel:

Wenn ich ein Junge bin, habe ich lange Haare.

Ich habe keine langen Haare.

Also bin ich kein Junge.

Es wird schnell ersichtlich, dass die logische Form korrekt ist, aber der Inhalt unstimmig. Dies soll nochmals deutlich machen, dass an dieser Stelle zwingend zwischen Form und Inhalt unterschieden werden muss.



Induktive Schlüsse

Philosophische Theorien möchten aber – wie erwähnt – gerne wissenserweiternd sein, und daher greifen sie auf induktive Schlüsse zurück. Die Konklusion gilt so lang, bis das Gegenteil bewiesen wird.

Beispiele induktiver Schlussweisen sind:

1. Abduktive Schlüsse:

Wenn Krankheit A gegeben ist, dann auch Symptom B.

Symptom B liegt vor.

Eine bessere Erklärung als Krankheit A haben wir nicht. Also ist Krankheit A vermutlich die Ursache von B.

2. Verallgemeinerungsschlüsse: Dieser Tiger frisst Fleisch, jener dort auch. Noch nie hat jemand einen Tiger gesehen, der kein Fleisch frisst. Also fressen vermutlich alle Tiger Fleisch.

Gedankenexperimente

MARLEN BAUMANN

Die Aussagenlogik ist ein sehr wichtiger Teil der Philosophie, vor allem für Diskussionen, da sie hilft, Schwächen bei Argumenten des Gegners zu finden. Diskutanten können sich so vor falschen Argumenten schützen sowie andere auf formallogische Fehler aufmerksam machen.

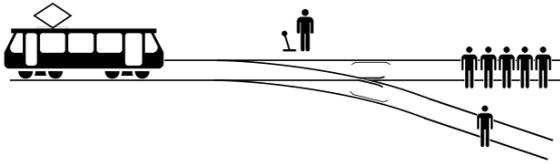
Neben der Aussagenlogik sind auch Gedankenexperimente eine Methode der Philosophie. Sie beschreiben hypothetische Situationen und dienen als Hilfsmittel, um Theorien zu testen und sie anschließend zu bestätigen oder zu widerlegen. Gedankenexperimente veranschaulichen auch Problematiken und helfen, gewohnte Denkmuster zu hinterfragen. Wie das funktioniert, lässt sich mit dem Gedankenexperiment „Gehirn im Tank“ zeigen. Stellen wir uns folgendes Szenario vor: Das Gehirn eines Menschen ist an einen Supercomputer angeschlossen, der alle Reize der echten Welt perfekt simuliert. Kann dieser Mensch herausfinden, dass seine Realität nicht wirklich ist?

Auch wenn diese Aufgabenstellung zunächst absurd klingt, hat sie dem Kurs neue Denkanstöße gegeben und ungeahnte Perspektiven aufgezeigt. Zwar haben wir versucht, Kriterien festzulegen, anhand derer wir beurteilen können, ob unsere Realität real ist, mussten aber letztendlich feststellen, dass wir nicht zweifelsfrei erkennen können, ob unsere wahrgenommene Wirklichkeit echt ist oder nicht.

Jedes Gedankenexperiment führt zu neuen Erkenntnissen. Wie wichtig Gedankenexperimente beim Philosophieren sind, wird am folgenden Beispiel verdeutlicht: dem sogenannten Trolley-Problem. Es zeigt, dass Gedankenexperimente es ermöglichen, sich in Situationen hineinzusetzen, die in der Realität – in der Regel – nicht vorkommen würden.

Das Trolley-Problem beschreibt folgende Situation: Eine Eisenbahn rast ungebremst auf drei Menschen zu, die auf Schienen festgebunden sind. Die Person, die das Gedankenexperiment durchführt, kann dies verhindern, indem sie die Bahn auf ein Nebengleis umleitet. Der Nachteil: Auf diesem Gleis ist ebenfalls ein Mensch festgebunden. Jetzt stellt sich die Frage, wer

sterben muss – und vor allem: mit welcher Begründung?



Das Trolley-Problem¹

Wer sich intuitiv für eine Umstellung der Weiche entscheidet, bezieht eine utilitaristische Position, derzufolge für die Rettung einer größeren Zahl von Personen der Tod der Einzelperson moralisch vertretbar wäre. Wer hingegen die Umstellung der Weiche intuitiv für falsch hält, orientiert sich eher an einer pflichtethischen Position, derzufolge bestimmte Handlungen – wie beispielsweise zu töten oder zu lügen – niemals moralisch vertretbar sein können.

Das Gedankenexperiment kann erschwert werden, indem den Personen auf den Gleisen Rollen bzw. Hintergrundgeschichten zugeteilt werden. Der einzelne Mensch ist beispielsweise die Mutter desjenigen, der entscheiden muss, wer stirbt und wer lebt, die anderen sind wichtige Politiker. Menschen, die zuvor eine utilitaristische Position bezogen hatten, sehen sich nun mit ihren eigenen Emotionen und der persönlichen Bindung zu ihrer Mutter konfrontiert. Hier wird deutlich, dass sich die Entscheidung und die Erkenntnis bei einem Gedankenexperiment drastisch ändern können, wenn nur eine kleine Umstellung an der betrachteten Situation vorgenommen wird. Welche der möglichen Ausgänge des Experiments lassen sich am besten ethisch-moralisch – und vor allem im Sinne der Gerechtigkeit – rechtfertigen?

Das Trolley-Problem und somit Gedankenexperimente im Allgemeinen helfen nicht nur, die eigenen Moralvorstellungen besser kennenzulernen und zu hinterfragen, sondern können auch ein Mittel sein, die Gerechtigkeitstheorien verschiedener Philosophen zu testen.

Wie sich zeigt, geht es bei Gedankenexperimenten vor allem um den Austausch unterschiedlicher Ansichten. So lassen sich festge-

fahrene Vorstellungen infrage stellen und weiterentwickeln. Gedankenexperimente regen zu interessanten und bereichernden Diskussionen an. Durch sie können wir allein mithilfe des Verstandes Theorien erarbeiten, weiterdenken, falsifizieren oder verifizieren. Gedankenexperimente sind daher unerlässlich für philosophisches Arbeiten. Zudem bietet es einem breiten Spektrum einen Zugang zur Philosophie. Denn auf diese Weise kann jeder philosophieren – ungeachtet seines philosophischen Vorwissens – und dabei zugleich ethisch-moralische Fragen und Problemstellungen kennenlernen sowie sich über die eigenen Intuitionen und Einstellungen klar werden.

Arten und Merkmale von Gerechtigkeit

JOHANNA ECKOLDT

Nachdem wir am Eröffnungswochenende die wichtigsten philosophischen Methodiken gelernt und uns somit eine Grundlage für unsere weitere Arbeit geschafft hatten, stiegen wir dann im Sommer intensiv in die eigentliche Thematik des Kurses, die Frage nach dem Wesen der Gerechtigkeit, ein. Die von uns erarbeiteten Themen werden im Folgenden vorgestellt.

Um eine genauere Vorstellung von Gerechtigkeit, aber auch Ungerechtigkeit in unserem gegenwärtigen Leben zu bekommen, schauten wir uns zunächst verschiedene alltagsnahe Fallbeispiele an. Diese verdeutlichten uns, dass unter dem Begriff Gerechtigkeit völlig unterschiedliche Aspekte verstanden werden können und es verschiedene Arten von Gerechtigkeit gibt.

Zum einen gibt es die Chancengerechtigkeit, die besagt, dass allen die gleichen Bedingungen und Möglichkeiten zustehen. Ein Kind, das beispielsweise aus armen Verhältnissen stammt, verdient demnach ebenso einen uneingeschränkten Zugang zu Bildungseinrichtungen und daraus resultierende gleiche Bildungschancen wie im Wohlstand lebende Kinder.

Auch mit der Verteilungsgerechtigkeit setzte sich der Kurs intensiv auseinander. Hierbei sollen Güter gerecht verteilt werden, wie auch ein Kuchen in gleich großen Stücken unter den Geburtstagsgästen verteilt werden soll. Zwar steht bei dieser Gerechtigkeitsart eine gleiche Vertei-

¹Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User McGeddon und Zapyon, CC BY-SA 4.0

lung im Vordergrund, jedoch sollten individuelle Bedürfnisse in angemessener Weise bei der Verteilung berücksichtigt werden. Bei einer Geburtstagsfeier haben schließlich selten alle Gäste gleich viel Appetit, sodass der eine lieber nur ein Kuchenstück, der andere dafür zwei Stücke isst. Daher leitet sich aus der Verteilungsgerechtigkeit auch die Bedarfsgerechtigkeit ab. Hierbei werden Güter in einer Gesellschaft so ausgegeben, dass sie den Bedürfnissen der einzelnen Individuen entsprechen. Demnach soll jede Person das bekommen, was sie für ein weitgehend gutes Leben braucht, seien es finanzielle, materielle oder soziale Güter. Diese Art von Gerechtigkeit lässt sich gut anhand der Verteilung staatlicher Sozialhilfe veranschaulichen, da der Staat diese Hilfszahlung zur Sicherung des Lebensunterhalts lediglich dann zur Verfügung stellt, wenn der Bedarf danach vorliegt. Jedoch kann die Bedarfsgerechtigkeit dahingehend problematisch werden, wenn Personen mit dem Hintergedanken, sie würden sowieso vom Staat unterstützt werden, weniger Aufwand und Motivation für eine Besserung der eigenen Situation aufbringen.

Der eben erwähnte Kritikpunkt führt uns direkt zu einer weiteren Gerechtigkeitsform, der Leistungsgerechtigkeit. Hierbei werden nicht die individuellen Bedürfnisse jedes Einzelnen, sondern die erbrachten Leistungen als Maßstab herangezogen. Die Leistungsgerechtigkeit ist nur dann erfüllt, wenn eine Person gemäß ihrer Leistung bewertet beziehungsweise entlohnt wird. Arbeitet eine Person beispielsweise viel und effizient in ihrem Job und wird dementsprechend dafür entlohnt, ist dies eine Form der Leistungsgerechtigkeit, wohingegen die Bereitstellung von staatlicher Sozialhilfe ohne Gegenleistung nach dieser Definition nicht gerecht wäre.

Sowohl die Chancengerechtigkeit als auch die Bedarfs- und Leistungsgerechtigkeit haben ihren Anwendungsbereich oftmals im Bereich der sozialen Gerechtigkeit. Hierbei ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass sich diese drei Aspekte stellenweise gegenseitig bedingen, ja sogar oftmals im Konflikt zueinander stehen können. Denn die Forderung der Bedarfsgerechtigkeit, jeder solle bekommen, was er zum Leben brauche, widerspricht beispielsweise dem Grundsatz

der Leistungsgerechtigkeit, dass der Ertrag sich nach der erbrachten Arbeitsleistung richten sollte.



Auch wenn die unterschiedlichen Aspekte selten in vollem Umfang erfüllt werden können, sind alle unter die soziale Gerechtigkeit fallende Arten der Gerechtigkeit dennoch unerlässlich.

Doch wir stellten nicht nur fest, dass es verschiedene Arten von Gerechtigkeit gibt, sondern arbeiteten anhand verschiedener Fallbeispiele ebenso Merkmale heraus, die allgemeingültig unabdingbar für Gerechtigkeit sind und ebenso berücksichtigt werden sollten.

Zur Verdeutlichung schauen wir uns nun folgendes Beispiel an: Angenommen, ein Blitz schlägt in ein Haus ein, sodass es niederbrennt. Wäre dieser Sachverhalt gerecht oder ungerecht?

Da Blitze völlig zufällig und willkürlich in den nächstgelegenen Gegenstand auf der Erde einschlagen, darf hierbei unter keinen Umständen der Begriff Gerechtigkeit in Betracht gezogen werden. Anhand dieses Beispiels haben wir somit festgehalten, dass Gerechtigkeit niemals zufällig sein kann. Zudem muss eine gerechte Handlung von Personen veranlasst werden und ebenso mit einer gewissen Absicht einhergehen, was ebenfalls nicht bei einem Blitzeinschlag zutrifft.

Des Weiteren kann nur dann von Gerechtigkeit gesprochen werden, wenn eine ergebnisorientierte Leistungsbewertung vorliegt. Dies kann daran festgemacht werden, dass beispielsweise eine Lehrkraft ihre Schüler*innen bei Klassenarbeiten stets auf der Grundlage der Leistung und nicht unter Berücksichtigung weiterer Aspekte bewerten soll. Würde eine Lehrkraft

demzufolge einzelne Schüler*innen aufgrund ihres guten Aussehens besser bewerten als andere, die dafür die erforderlichen Leistungen erbringen, wäre dies eine inkorrekte, nicht der Gerechtigkeit entsprechende Handlungsweise.

Zusätzlich kann sich eine Person nur dann auf Gerechtigkeit berufen, wenn ein gewisser Anspruch gegeben ist. Sammelt ein Tourist beispielsweise Muscheln am Strand, ist dies gegenüber den anderen Strandbesuchern in keiner Weise ungerecht. Da die Muscheln am Strand niemandem gehören, haben andere Strandgäste keine Besitzansprüche auf ebendiese, sodass der Gerechtigkeitsbegriff hierbei keinen Einsatz findet.

Auch ist im Hinblick auf Gerechtigkeit wichtig zu erwähnen, dass diese immer systemorientiert ist. Gerechtigkeit basiert also auf einem bestimmten System mit Werten und Regeln und geht ebenso daraus hervor. Zu diesem Punkt ist jedoch anzumerken, dass zwar nahezu alle Staaten ein solches System vermitteln, aber dennoch nicht unbedingt gerecht handeln. Somit müssen moralische Handlungen, die dementsprechend als gerecht bezeichnet werden, nicht zwingend legal sein, und ebenso muss umgekehrt Legales nicht ausschließlich gerecht sein. In einem Land, in dem zum Beispiel keine Pressefreiheit herrscht, werden Journalist*innen oft bestraft, obwohl sie sich im Sinne der Gerechtigkeit für eine freie Berichterstattung stark machen. Das Gesetz verbietet den Widerstand der Journalist*innen, wohingegen er im Sinne anderer Moralkonzeptionen als richtig betrachtet werden muss. Somit ist der Gerechtigkeitsbegriff auch immer systemorientiert geprägt.

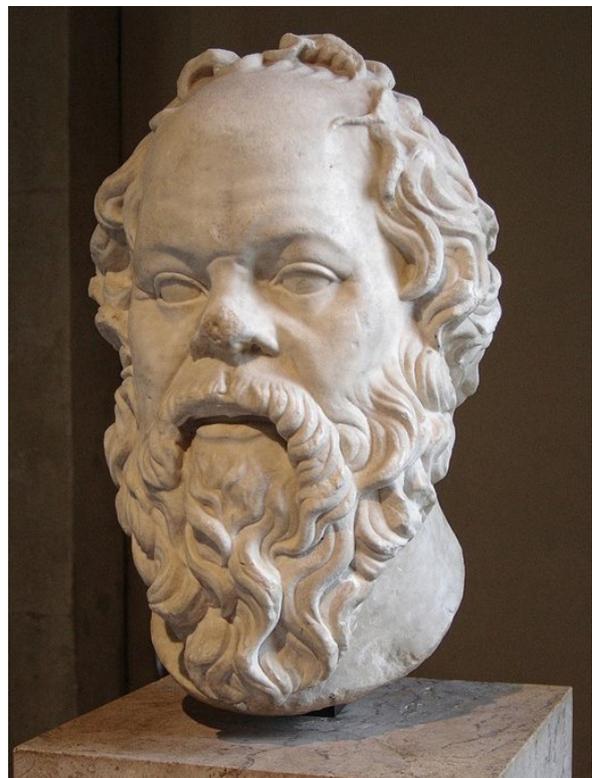
Philosophen

Sokrates

JOHANNA ECKOLDT

Nach der genaueren Betrachtung des Gerechtigkeitsbegriffes beschäftigten wir uns mit verschiedenen Philosophen und Strömungen, um uns deren Gerechtigkeitsbild zu erarbeiten. Dabei gingen wir in epochal-chronologischer Reihenfolge vor.

Unsere Zeitreise durch die verschiedenen Epochen begann mit Sokrates. Sokrates lebte von 469 bis 399 vor Christus in Griechenland und ist insbesondere für seine besondere Gesprächsform, den sokratischen Dialog, bekannt geworden. Dieser Begriff beschreibt eine von ihm erschaffene Fragetechnik innerhalb eines Dialoges, mit welcher der Philosoph vermeintliches Wissen nach einem bestimmten Schema hinterfragt hat. Die daraus resultierenden Kenntnisse prägten nicht nur die Philosophie als Wissenschaft, sondern eröffneten auch viele neue Dimensionen und Sichtweisen in der damaligen Zeit.



Büste des Sokrates²

Eine der wichtigsten Erkenntnisse des Philosophen Sokrates – „Ich weiß, dass ich nichts weiß“ – zieht sich durch sein gesamtes Weltbild und verdeutlicht sein eigenes Verständnis von Philosophie. Demzufolge sei jegliche Form von Wissen stets vorübergehend. Neue Kenntnisse sollen nicht einfach als solche hingenommen, sondern immer wieder angezweifelt und überprüft werden. Laut Sokrates könne der Mensch nie zur absoluten Wahrheit gelangen. Jedoch

²Abbildung: Wikimedia, Eric Gaba, CC BY-SA 2.5

trüge jeder einen Teil der Wahrheit in sich, sodass sich dieser schrittweise angenähert werden kann. Um neues Wissen zu erlangen, müsse aber zunächst die eigene Unwissenheit erkannt werden.

An diese Überlegungen knüpft das sokratische Gespräch an, mit dessen Hilfe Sokrates dem Menschen durch geschicktes Fragen die Möglichkeit eröffnet, einen Teil der Wahrheit selbst zu entdecken. Während zu Beginn des Dialoges der Eindruck entsteht, Sokrates sei der Nicht-Wissende, wird im weiteren Verlauf deutlich, dass Sokrates seinem Gesprächspartner verhilft, sein eigenes Nicht-Wissen zu erkennen. Damit schafft Sokrates Ausgangsbedingungen für neue Erkenntnisse. Diese philosophische Methode bezeichnete er als **Mäeutik** (Hebammenkunst), da er in seinen Dialogen die Rolle eines Geburtshelfers annimmt, der seinem Gesprächspartner auf der Suche nach der Wahrheit hilft und sie sich dieser so schrittweise annähern.

Auf der Grundlage von Sokrates' Kenntnissen lernten wir, dass sich auch die Frage nach Gerechtigkeit nicht einfach in einem Satz beantworten lässt. Vermeintliches Wissen stellt sich schnell als Scheinwissen oder oftmals als zu undurchdacht heraus. Vielmehr erscheint diese vermeintlich einfache und kurze Frage schnell als komplex, wodurch sich häufig neue Fragen ergeben. Sokrates lehrte uns also, unser eigenes Wissen in Bezug auf Gerechtigkeit nicht einfach so hinzunehmen, sondern zu hinterfragen, da wir uns auf diese Weise der wahren Erkenntnis annähern können.

Weiterhin greift Sokrates explizit das Thema Gerechtigkeit auf, indem er versucht, seine eigene Vorstellung im Hinblick auf die Gerechtigkeitsfrage im Dialog darzustellen. So beschreibt Sokrates die Gerechtigkeit in Bezug auf menschliche Eigenschaften und geht hierbei ebenso auf die für Gerechtigkeit erforderlichen Charakterzüge ein. Demzufolge basiere die Gerechtigkeit auf tugendhaften Handlungen. Tugenden sind positive Charakterzüge, aus denen gesellschaftlich anerkannte Eigenschaften und vorbildliche Haltungen hervorgehen. Eine Person, die tugendhaft handelt, handle demnach zugleich auch moralisch. Der tugendhafte Charakter

setze sich laut Sokrates aus verschiedenen Tugenden zusammen, es gebe jedoch vier Kardinaltugenden, wobei die Gerechtigkeit die davon wichtigste sei. Zudem können die verschiedenen Tugenden in Verbindung zueinander stehen und sich stellenweise gegenseitig bedingen.

Dies könne gut anhand eines Gesichtes veranschaulicht werden. Ein Auge sei beispielsweise nicht von derselben Beschaffenheit wie ein Ohr und habe andere Funktionen als dieses. Dennoch stünden die verschiedenen Teile des Gesichts in enger Wechselwirkung zueinander, und alle Bestandteile seien essentiell für ein gutes Gesamtbild. Dieser Vergleich ließe sich auch auf die Funktion und die Art und Weise des Zusammenspiels der verschiedenen Tugenden übertragen. Alle Tugenden zusammen ergäben das Gesamtbild des guten Lebens. Somit sei auch die Tugend der Gerechtigkeit von großer Bedeutung und unabdingbar für eine tugendhafte und dementsprechend gute Lebensweise.

Doch Sokrates beschreibt die Gerechtigkeit nicht nur in Bezug auf Tugenden, sondern geht auch auf ihre Funktion in einem Staat ein. Für ihn ist die Gerechtigkeit diejenige Eigenschaft, die die höchste Priorität in einem Staat haben soll. Allerdings sei sie nur dann im Staatswesen erfüllt, wenn jeder das Seinige habe und tue. Dies bedeutet, dass jeder nur der Art von Beschäftigung nachgehen soll, die seiner Begabung und Fähigkeit entspricht, und sich an die für ihn geltenden Richtlinien hält. Die eigene Befähigung könne jedoch keineswegs selbst bestimmt werden. Vielmehr würde sie von Geburt an festgelegt und hänge von dem Beruf und Stand der eigenen Familie in der Gesellschaft ab. Jeder solle also das verrichten, wozu er bestimmt worden sei, und habe dementsprechend auch nur Anspruch auf das, was ihm auf Grundlage dieser gesellschaftlichen Stellung zukomme. Konkret heißt das, dass eine Person, die in eine Bauernfamilie geboren wird, niemals König werden kann. Denn sie hat laut Sokrates' Vorstellung eines gerechten Staates die Begabung der Eltern geerbt und muss später ebenfalls in diesem Beruf arbeiten. Bräche die Person aus ihrem Stand aus und suchte sich eine andere Arbeit, gefährdete dies die Gerechtigkeit und die Grundvoraussetzungen eines funktionierenden Staates.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Sokrates zwischen verschiedenen Anwendungsbereichen der Gerechtigkeit unterscheidet, die sich allerdings auf dasselbe Grundprinzip beziehen. Während für gerechte Handlungen der einzelnen Individuen ein tugendhafter Charakter erforderlich sei, gelten in einem Staat bestimmte Richtlinien, die besagen, dass jedes Individuum in seinem eigenen Bereich mit seinem eigenen Besitz leben solle. Dennoch baue auch der gute und gerechte Staat auf tugendhaften Handlungen und Charakterzügen der Individuen auf.

Mithilfe seiner Überlegungen und Theorien zeigt uns Sokrates seinen Weg in die Richtung eines moralisch richtigen und somit auch gerechten Lebens.

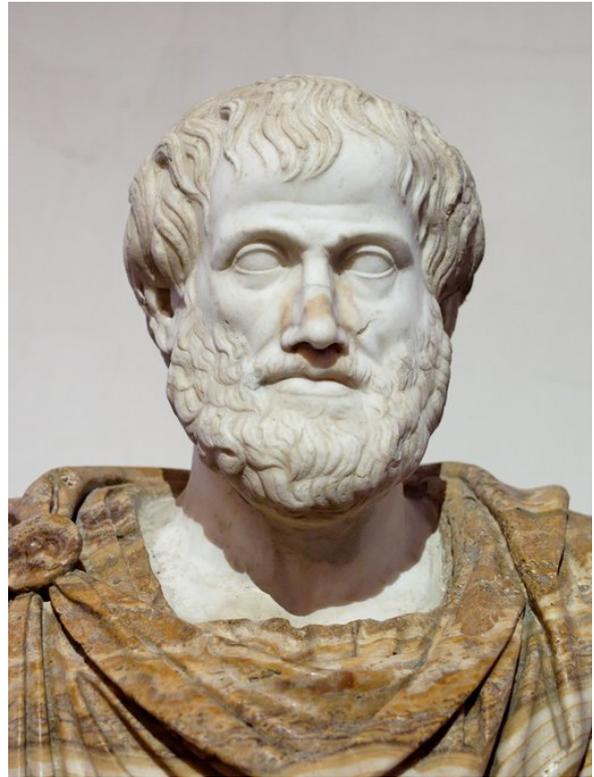
Aristoteles

GABRIEL GOMES RIBEIRO

Da Sokrates selbst keine Schriften hinterlassen hat, können die meisten seiner philosophischen Gedanken nur dem Werk Platons, einem Schüler Sokrates', entnommen werden. Aristoteles, der wiederum Schüler von Platon war und von 384 bis 322 v. Chr. lebte, übernahm Ideen und Konzepte beider Philosophen, arbeitete sie aus und modifizierte sie.

So ist der Mensch bei Aristoteles das einzige Wesen, dessen Seele neben einem vegetativen, für die Ernährung und das Wachstum zuständigen und einem affektiven, die Empfindungen betreffenden Teil noch die Vernunft enthält. Daher sei er auch als Einziger dazu fähig, zwischen gut und böse, aber auch gerecht und ungerecht zu unterscheiden. Aufgrund dieser Vernunft sei es das Ziel des Menschen, die Eudämonie (Glückseligkeit), die in der aristotelischen Philosophie das Endziel des menschlichen Strebens darstellt, zu erreichen, indem er gemäß der Vernunft lebt. Um sich diesem Ziel anzunähern, soll er im Laufe seines Lebens einen tugendhaften Charakter ausbilden, wobei Tugenden hierbei als gute, wünschenswerte Charaktereigenschaften zu verstehen sind. Ein tugendhafter Charakter bildet den Nährboden für tugendhaftes und damit auch gerechtes Handeln; die Gerechtigkeit selbst ist Aristoteles'

Theorie zufolge die vollkommenste Tugend, da sie nicht nur dem, der sie ausübt, sondern der Gemeinschaft zugute kommt, weil Gerechtigkeit in Abgrenzung zu anderen Tugenden wie Klugheit immer in der Beziehung zu anderen wirkt.

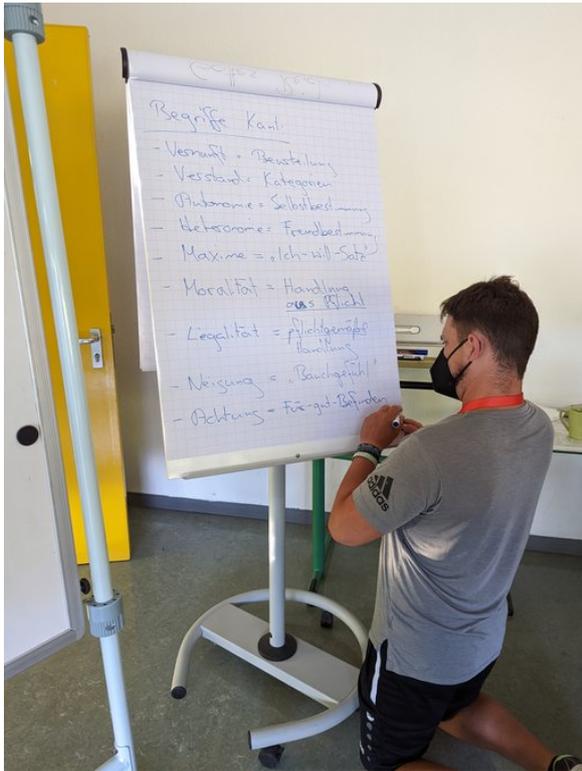


Büste des Aristoteles³

Die Gemeinschaft, die sich bei Aristoteles zwangsläufig bildet und den Menschen, nach Aristoteles ein *zoon politikon* (gemeinschaftenbildendes Wesen), auszeichnet, legt durch die in ihr herrschende Ordnung, dem Recht, fest, was gerecht ist. Daher ist ein Merkmal von Ungerechtigkeit bei Aristoteles auch das Missachten von Gesetzen, wohingegen das Achten und Befolgen von Gesetzen als gerecht gilt. Ein Gerechter zeichne sich zudem dadurch aus, dass er ein Freund der Gleichheit sei, denn ein Feind der Gleichheit strebe zu viel vom Guten und zu wenig vom Schlechten an. Nach der Mesoteslehre von Aristoteles ist aber die Mitte zwischen zwei Extremen, dem Übermaß und dem Mangel, angemessen. Ein übliches Beispiel für diese Mesoteslehre, der Mut, zeigt dies anschaulich: Ein Übermaß an Mut führt

³Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Jastro, Ludovisi Collection, als gemeinfrei gekennzeichnet

zu Übermut, der sich in Selbstüberschätzung äußern kann, ein Mangel an Mut zu Feigheit, durch die Unrecht geschehen kann und anderen nicht geholfen wird. Die Mitte zwischen beidem, der Mut, sei dagegen angemessen. Auf die Gerechtigkeit bezogen heißt das, dass ein Freund der Gleichheit die Mitte zwischen zu viel und zu wenig anstrebt.



Weiterhin teilt Aristoteles die Gerechtigkeit in zwei Arten ein: die austeilende und die ausgleichende Gerechtigkeit, die sich auf jeweils unterschiedliche Fälle anwenden lassen und auf verschiedene Weisen dabei unterstützen können, Lösungen dafür zu finden, was gerecht ist. Beiden Arten gemein ist, dass Gerechtigkeit sich durch eine gewisse Proportionalität auszeichnet. Entsprechende Zustände stehen also in einem Verhältnis dazu, wie gerecht gehandelt wird.

Bei der austeilenden Gerechtigkeit ist – zum Beispiel bei der Verteilung von Leistungen – eine angemessene Proportionalität zu wählen. Wenn beispielsweise Gelder vom Staat verteilt werden sollen, sollte der Anteil, nach dem ein jeder Bürger entlohnt wird, nach Aristoteles der Leistung entsprechen, die dieser Bürger für den Staat erbringt. Dass einige hierbei mehr

und andere weniger Geld erhalten, ist nach Aristoteles gerecht und widerspricht nicht dem, dass ein Gerechter ein Freund der Gleichheit sein sollte, da Aristoteles mit Gleichheit nicht eine absolut gleiche, sondern eine angemessene Verteilung meint.

Wie sich dem Namen und dem Beispiel für die austeilende Gerechtigkeit entnehmen lässt, betrifft diese Zuteilungen von Geld, Ehre oder anderen Gütern. Die ausgleichende Gerechtigkeit dagegen regelt den sogenannten Verkehr Einzelner untereinander. Mit Verkehr bezeichnet Aristoteles sowohl freiwillige Übereinkünfte wie Kauf, Verkauf oder Miete als auch Straftaten, denen sich einer der Beteiligten unfreiwillig aussetzt, wie zum Beispiel Mord, Raub oder Diebstahl. Die Proportionalität, die hierbei gewählt wird, ist rein arithmetisch. Da es keinen Unterschied ergeben sollte, ob ein guter oder ein schlechter Mann getötet wird, wird nur nach dem Schaden und nicht nach beispielsweise der Leistung des Geschädigten geurteilt. Der Richter gleicht das Unrecht aus und der Vorteil, den der Täter aufgrund seiner Tat hatte, wird ihm entzogen. Mit Vorteil ist sowohl das Gute, das der Täter durch seine Tat zu viel habe, als auch das Schlechte, von dem er zu wenig habe, gemeint. Wenn einer beispielsweise einem anderen Geld stiehlt, um früher in den Ruhestand gehen zu können, dann habe er als Vorteil zu viel Geld und Freizeit und weniger Anstrengung und Leistung. Hierbei lassen sich Parallelen zur Mesoteslehre erkennen, da auch hier versucht wird, eine Mitte zwischen Nachteil und Vorteil herzustellen. Es soll demnach anhand einer angemessenen Proportion zwischen Tat und Strafe Gerechtigkeit wiederhergestellt werden. Die angemessene Proportion richtet sich dabei nach dem Ausmaß des Schadens.

Zusammenfassend zeichnet sich Aristoteles' Gerechtigkeitskonzeption in allen ihren Teilbereichen durch Angemessenheit aus: Ein Gerechter ist ein Freund der Gleichheit, wobei die Gleichheit darin besteht, nicht zu viel oder zu wenig, also *angemessen* viel zu besitzen, bei der Verteilung von Gütern soll ein *angemessenes* Kriterium zugrunde gelegt werden und hinsichtlich der ausgleichenden Gerechtigkeit soll ein dem verursachten Schaden *angemessenes* Urteil gefunden werden. Worin genau diese An-

gemessenheit besteht, bleibt unklar. Daher ist die Gerechtigkeitstheorie Aristoteles' subjektiv auslegbar, was einerseits beliebig erscheint, da Aristoteles somit nicht für jeden Fall eine klare Lösung anbietet, aber andererseits dafür sorgt, dass seine Gerechtigkeitstheorie zeitlos ist und von gewissen Wertevorstellungen, die sich erst nach ihm entwickelten – wie der Ablehnung von Sklaverei – und sich auf das Verständnis von Angemessenheit auswirken, unabhängig ist. Aufgrund dessen können wir auch heute, mehr als 2000 Jahre nach Aristoteles, seine Einteilung der Arten der Gerechtigkeit dem praktischen Teil dieser Dokumentation zugrunde legen.

Die Stoa

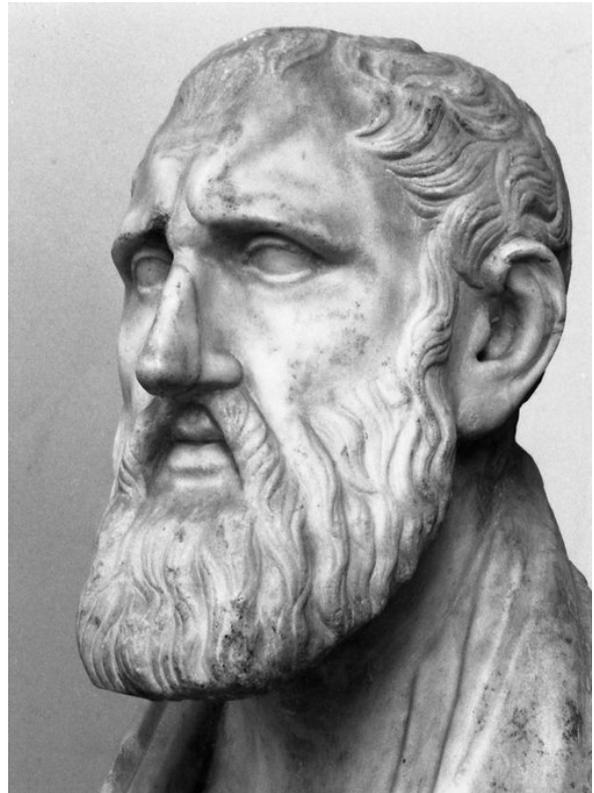
MARLEN BAUMANN

„Die Gerechtigkeit als einzigartige Tugend ist nämlich die Herrin und Königin der Tugenden.“
(Cicero, de off. 3,27 ff.)

Nachdem wir uns mit zwei der berühmtesten antiken Philosophen beschäftigt hatten, lenkten wir unseren Fokus auf eine ganze philosophische Strömung der Antike: die Stoa. Der Name der Stoa lässt sich auf den altgriechischen Begriff *stoa poikile* zurückführen. Dieser bedeutet „bemalte Säulenhalle“, der Begriff „Stoiker“ lässt sich demnach mit „Hallenphilosoph“ übersetzen. Die Stoa nahm ihren Anfang circa 300 Jahre vor Christus in einer bunt bemalten Markthalle in Athen, in welcher der Philosoph Zenon sein Wissen an Aufgeschlossene weitergab.

Um die Lehren der Stoa in ihrem Ganzen begreifen zu können, muss zunächst die Weltanschauung der Stoiker betrachtet werden. Diese glauben, dass alle Menschen, das Universum und der gesamte Kosmos von einem vernünftig ordnenden und schaffenden Prinzip, dem *lógos*, gelenkt werden. Der *lógos* hat alles Wahrnehmbare erschaffen und eingerichtet. Der Begriff *lógos* stammt aus dem Griechischen und lässt sich unter anderem mit „Wort“, „Vernunft“, „Regel“ oder „Gesetz“ übersetzen. Alternativ kann er nach Auslegung der Stoa auch „Weltenseele“ bedeuten. Hält man an dem Begriff fest, so ist jedes Ding und Lebewesen vom *lógos* durch-

drungen und hat einen kleinen Anteil an der großen Weltenseele.



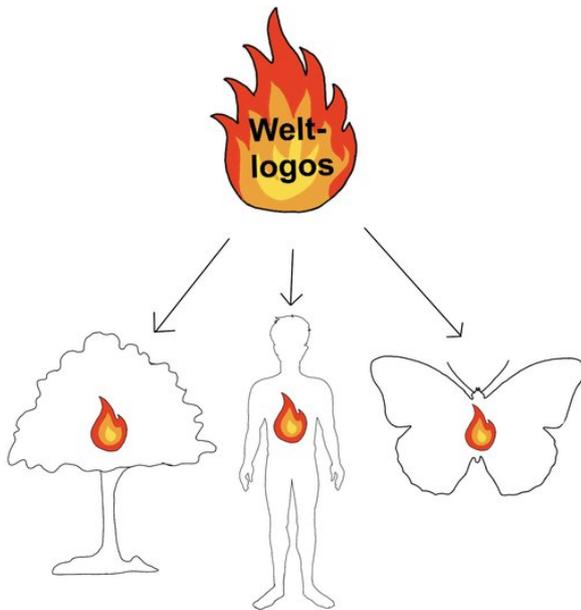
Büste des Zenon⁴

Dadurch ist alles auf der Welt – lebendig oder nicht – miteinander verbunden. Diese Vorstellung wird „Pantheismus“ genannt. Die damaligen Stoiker waren überzeugt, dass alles, was geschieht, vom *lógos* vorherbestimmt ist und somit aus einem vernünftigen Grund geschieht. Der Mensch soll sich seinem Schicksal fügen und im Sinne des *lógos* handeln, denn dieser ist ein Teil jedes Menschen und jeder Mensch ist Teil des *lógos*. Handle er gegen den Willen des *lógos*, so handle er gegen sich selbst und seine Natur. Deshalb ist es wichtig, dass jede Person ihre Bestimmung annimmt, um die natürliche Ordnung allen Seins nicht zu (zer-)stören. Täten die Menschen das nicht, entstünde Chaos, und die Gemeinschaft wäre in Gefahr. Richtiges Handeln ist für die Stoiker daher unabdingbar, um dem eigenen Schicksal zu folgen und somit seine Pflicht zu erfüllen.

Doch was ist richtiges Handeln laut der Stoa? Ihr zufolge führen Tugenden zu richtigem Han-

⁴Abbildung: Wikimedia, Paolo Monti, CC BY-SA 4.0

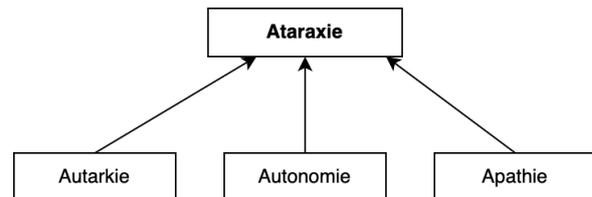
deln und damit zur Glückseligkeit. Handeln die Menschen also im Sinne der vier Kardinaltugenden, nämlich der Einsicht, der Besonnenheit, der Tapferkeit und der Gerechtigkeit, so handeln sie richtig. Innerhalb der Kardinaltugenden ist die Gerechtigkeit die höchste. Da sie als einzigartige und wichtigste Tugend in der Stoa hervortritt, ist gerechtes Handeln eine Notwendigkeit, um dem Willen des *lógos* zu entsprechen.



Gerechtigkeit sorgt aber beispielsweise auch dafür, dass Menschen sich nicht grundlos gegenseitig verletzen. Ein Mensch handelt ungerecht, wenn er andere verletzt oder tatenlos dabei zusieht, wenn jemandem Unrecht zugefügt wird. Um gerecht zu handeln, müssen die Gefühle reguliert werden. Handlungen dürfen laut der Stoa nämlich nicht durch Emotionen geleitet oder bedingt werden. Das soll verhindern, dass zum Beispiel Trauer, Schwärmerei, Wut oder andere Gefühle zu einer Handlung führen, die nicht vernunftgeleitet ist. Denn durch den *lógos* ist der Mensch ein vernunftbegabtes Wesen. Somit ist es die Pflicht der Menschen, ihren Verstand auch zu nutzen. In der Umsetzung sollen sich Stoiker in Apathie (Leidenschaftslosigkeit) üben.

Außerdem müssen sie sich bewusst werden, dass externe Faktoren nicht immer beeinflussbar sind und die Stoiker sich deshalb auf die Kontrolle ihrer eigenen Emotionen fokussieren

sollten. Hierbei ist das Ziel die Unabhängigkeit von äußerem Zwang, auch Autonomie genannt. Ebenfalls wichtig ist die Unabhängigkeit von externen Einflüssen, wie beispielsweise der Meinung von anderen. Dies wird auch Autarkie, Selbstgenügsamkeit, genannt. Apathie, Autonomie und Autarkie sollen letztendlich zur Ataraxie führen, der Unerschütterlichkeit der Seele.



Die Stoa stellt zudem fest, dass Leidenschaften die Ursache des größten Unglücks sind. Ein Mensch, der arm ist und eine Leidenschaft für luxuriöse Reisen hat, wird in seinem Leben unglücklich sein, da es nach der Stoa sein Schicksal ist, arm zu bleiben. Das Vernünftigste wäre es, alle Leidenschaften verstummen zu lassen, damit der Mensch sein Schicksal akzeptieren und somit unerschütterlich und zufrieden leben kann. Den perfekten Stoikern ist es gleich, ob sie das Mahl eines Königs oder das eines Bauern zu sich nehmen.

Das Ziel der Stoa ist ein Leben im Einklang mit der Natur, was bedeutet, tugendhaft zu leben. Stoiker müssen einsichtig, tapfer und besonnen sein, vor allem aber müssen sie gerecht handeln. Denn wie bereits erwähnt ist gemäß der Stoa die Gerechtigkeit die höchste aller Tugenden. Handeln die Menschen gerecht, so handeln sie im Sinne des *lógos*. Gerechtigkeit laut der Stoa ist, wenn jeder seine Pflichten gegenüber dem *lógos* erfüllt.

Nicht nur in der Stoa beeinflusst ein übergeordnetes, göttliches Prinzip das philosophische Denken. Im Mittelalter wurden viele Philosophen durch den Glauben an einen christlichen Gott gelenkt, so auch Augustinus von Hippo.

Augustinus von Hippo

JANNIS TRAGE

Augustinus war ein römischer Bischof und Kirchenlehrer, der von 354 n. Chr. bis 430 n. Chr. lebte. Der Gerechtigkeit widmet Augustinus

sich in seiner Schrift „*De civitate dei*“ („Über den Gottesstaat“).



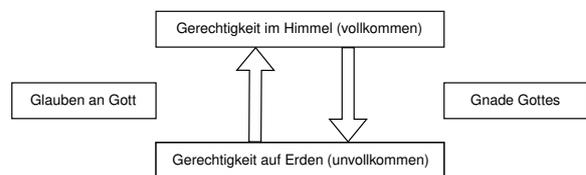
Augustinus auf einem Gemälde von Botticelli⁵

Wie viele Philosophen damals unterscheidet auch Augustinus zwischen zwei Arten der Gerechtigkeit: Zum einen gibt es für ihn die unvollkommene Gerechtigkeit auf Erden, welche auch nie vollkommen werden kann. Das liegt einzig an der Unvollkommenheit des Menschen. Wie auch die Philosophen der Antike sieht Augustinus die Gerechtigkeit als Tugend an. Tugenden sind jedoch nie in vollkommener Form im Menschen zu finden. Augustinus führt diese Unvollkommenheit auf die Schuld des Menschen durch die Erbsünde zurück. Diese Schuld hat der Mensch nach kirchlicher Vorstellung durch sein Verhalten im Paradies auf sich geladen. Eine Befreiung von dieser Schuld ist aus eigener Kraft nicht möglich.

Die zweite Form der Gerechtigkeit ist daher die vollkommene himmlische Gerechtigkeit, die allein durch Gott ermöglicht wird. Das liegt daran, dass nur Gott Zugang zur Vollkommenheit und damit auch zur vollkommenen Gerechtigkeit

hat. Er ist der alleinige Schöpfer der Welt und steht so über allem.

Der einzige Weg, um nach Augustinus Gerechtigkeit zu erfahren und auch selbst gerecht handeln zu können, ist daher die Gnade Gottes. Diese ist die Erwählung und Belohnung durch Gott, die dem Menschen durch seinen innigen Glauben an ihn zukommt. Dazu gehört nach Augustinus auch die Liebe zu Gott. Diese Liebe gibt den Menschen den Weg für ihr Handeln nach dem Willen Gottes vor. So ist kein anderes moralisches Gesetz nötig, solange nach Gottes Willen gehandelt wird.



Doch selbst wenn die Gnade Gottes durch den Glauben erreicht wird, kann die Gerechtigkeit auf Erden nie so vollkommen sein, wie es die höhere Gerechtigkeit im Himmel ist. Den Menschen wird durch die Gnade Gottes nur eine kleine Teilhabe an der wahren Gerechtigkeit gewährt. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass Menschen, die nicht an Gott glauben, weder die Gnade Gottes erlangen noch Teilhabe an der göttlichen Gerechtigkeit auf Erden haben können und somit weder gerecht handeln noch selbst Gerechtigkeit erfahren können. Die Gerechtigkeit beschränkt sich allein auf Gläubige. Das heißt, Augustinus sieht den Glauben an Gott als Grundvoraussetzung für Gerechtigkeit an. Ohne den Glauben ist ein gerechtes Leben auf Erden nicht möglich.

Die Gerechtigkeit spielt laut Augustinus zudem eine wichtige Rolle in einem funktionierenden Staat. Ein Zusammenschluss an Menschen benötigt Gerechtigkeit, um als Staat zu gelten, ansonsten ist es kein Staat, sondern wird von Augustinus als „Räuberbande“ bezeichnet. Ohne Gerechtigkeit sind ein Staat und eine Räuberbande für ihn dasselbe, da beide durch einen Anführer geleitet werden und der Zusammenschluss durch in der Gruppe anerkannte Regeln zusammengehalten wird. Jedoch ist die Gerechtigkeit notwendig, um sich von einer Räuberbande zu unterscheiden.

⁵Abbildung: Wikimedia, Directmedia, The Yorck Project, als gemeinfrei gekennzeichnet

Um gerecht zu sein, benötigen Staaten daher eine Rechtsübereinkunft, da Gerechtigkeit nur mit dieser zusammen auftritt. Augustinus setzt also feste Regeln und Gesetze als Grundlage für Gerechtigkeit in einem Staat voraus. Beides wird von ihm als essenziell angesehen, damit ein Staat als solcher existieren kann.

Der Staat ist deswegen ein zentraler Punkt in Augustinus' Gerechtigkeitskonzeption, weil ohne ihn eine Gerechtigkeit nicht möglich ist. Um Gerechtigkeit zu erlangen, ist es demnach erforderlich, in einem Staat zu leben, der durch Rechtsübereinkunft zusammengeschlossen ist und in dem alle Menschen gläubig sind. Der Glaube an Gott wird nämlich von Augustinus als Verbindung der Menschen in einem Staat angesehen. Menschen, die nicht an Gott glauben, haben keine gemeinsamen Interessen, da sie nur in ihrem eigenen Interesse handeln, sodass es kein gemeinsames Ziel gibt. Jeder Mensch denkt nur an seinen eigenen Vorteil. Währenddessen gibt der kollektive Glaube an Gott den Menschen ein gemeinsames Ziel: Anteil an der Gnade Gottes.

Zusammenfassend stellt sich Augustinus einen Gottesstaat vor, in dem allein eine Gerechtigkeit überhaupt möglich zu denken ist, wie der Titel seines Werkess schon zeigt.

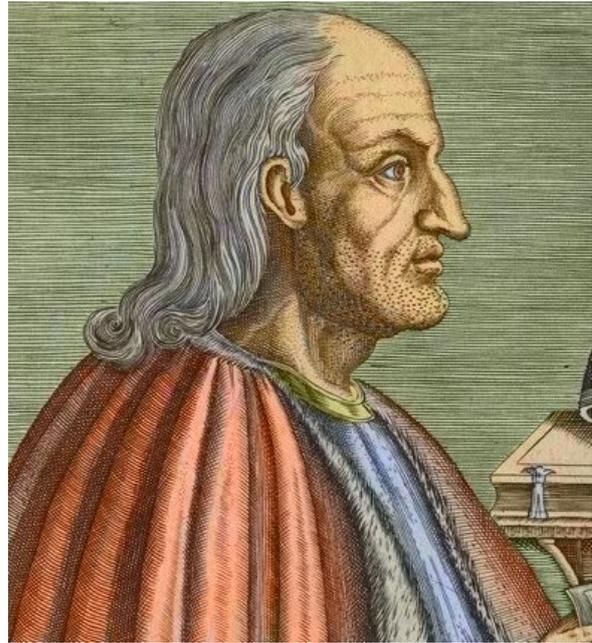
Anselm von Canterbury

PAUL RUPP

Der nächste Philosoph, Anselm von Canterbury (1033–1109), bezieht sich bei seiner Theorie der Gerechtigkeit weniger auf die Gesellschaft, sondern mehr auf eine einzelne Handlung. Im Vergleich zu Augustinus spielt bei Anselm der christliche Glaube in der Gerechtigkeitstheorie eine eher untergeordnete Rolle. Die von ihm begründete Scholastik verfolgt das Ziel, christlich-katholische Lehrsätze rational zu begründen, da er der Meinung ist, dass eine Person nicht methodisch korrekt begründet, wenn sie sich in ihrer Behauptung rein auf ein Dogma stützt. Für die Scholastiker ist etwas nur dann valide, wenn rational-philosophisch argumentiert werden kann.

Zuerst lasen wir in Partnerarbeit einen Dialog, den Anselm von Canterbury verfasst hat.

Der Dialog handelt von einem Schüler, der den Unterschied von Gleichheit und Gerechtigkeit bei seinem Lehrer erfragt. Der Schüler möchte wissen, ob ein Mensch mehr gerecht sein könne als ein Stein, da dieser, wenn er falle, auch in rechter Weise handle, also in einem System vernünftiger Ordnung agiere. Sein Lehrer zeigt ihm daraufhin den Unterschied mit einer Gegenfrage auf, wobei er den Antrieb der Handlung in den Fokus stellt.



Anselm von Canterbury⁶

Der Stein falle, weil es ein Naturgesetz sei, der Mensch aber handle aus eigenem Antrieb. Der Schüler meint daraufhin, dass ein Pferd, also ein Tier, nach dieser Aussage auch gerecht handeln könne. Daraufhin erwidert der Lehrer: Das Pferd handle zwar aus eigenem Antrieb, aber nicht mit der Vernunft, da es seinen Instinkten ausgesetzt sei. Somit zeigt der Lehrer verschiedene Bedingungen für gerechtes Handeln und den Unterschied der Gerechtigkeit zur Gleichheit auf, welcher lautet, dass der Ausführer der Handlung für die Gerechtigkeit Vernunft besitzen muss, ebenso wie die Rechtheit des Handelns und den Willen zur Durchführung der Handlung. Der Begriff der Rechtheit des Handelns drückt hierbei aus, dass das, was eine Person tun möchte, auch im moralischen Sinne

⁶Abbildung: Wikimedia, unbekannter Maler, als gemeinfrei gekennzeichnet

getan werden sollte. Dabei soll das verbindliche und auf Dauer geregelte Zusammenleben in einer Gesellschaft im Vordergrund stehen.

Diesen Dialog verfassten wir dann in „moderner“ Sprache neu. Auf das Wesentliche gekürzt trugen wir ihn dann den anderen aus unserem Kurs vor. Danach versuchten wir, Kriterien aus den einzelnen im Text genannten Beispielen herauszufiltern. Zum Schluss konnten wir uns die folgenden Bedingungen für gerechtes Handeln nach Canterbury notieren:

- Ein Lebewesen muss im Besitz des **Willens** sein. Das heißt, ein Stein kann nicht gerecht handeln, da dieser nicht den Willen besitzt, etwas zu tun.
- Die Person muss auch im Besitz der **Vernunft** sein. Ein Pferd bzw. alle Tiere können nicht gerecht handeln, da diese nicht die Vernunft, sondern nur einen instinktgesteuerten Verstand besitzen.
- Außerdem benötigt die Person die **Rechtigkeit des Handelns**.

Im weiteren Teil des Textes stellt der Schüler weitere Fragen zu speziellen Situationen:

Er möchte wissen, wie er zu urteilen hat, wenn eine Person eine Tür geschlossen hat und dadurch, ohne den Willen zu haben, dafür gesorgt hat, dass jemand gerettet wird, da so mögliche Täter nicht in das Haus gelangen konnten. Der Lehrer ist der Meinung, dass Zufall nicht in die Gerechtigkeit einzuordnen ist. Zudem möchte der Schüler wissen, wie er zu werten hat, wenn ein Räuber, nachdem er gefasst wurde, das Diebesgut zurückgeben muss, wenn dies gegen seinen Willen geschieht. Der Lehrer sagt, dass dies auch kein gerechtes Handeln sein könne, da er es nur aus Zwang tue. Zuletzt will der Schüler wissen, ob eine Person gerecht handle, wenn sie einen armen Menschen bei sich speisen lasse, um dann von anderen dafür gelobt zu werden. Handlungen, die nur zum Zwecke des eigenen Ansehens durchgeführt würden, könnten nach dem Lehrer auch nicht als gerecht eingestuft werden.

Aus diesen Beispielen erschlossen wir allgemeine Ausschlusskriterien für Gerechtigkeit:

- Die Handlung darf nicht durch **Zufall** geschehen oder beeinflusst werden.

- Die Handlung darf nicht unter **Zwang** durchgeführt werden.
- Genauso darf die Handlung nicht mit **schlechtem Motiv**, also nur für den eigenen Nutzen, ausgeführt werden.

Zusammenfassend lässt sich Anselms Theorie auf folgenden Satz komprimieren:

„Es ist gerecht, wenn jeder das tut, was er tun soll, und er dies um der Gerechtigkeit willen tut.“

Seine theologisch-philosophische Idee der Gerechtigkeit ist also von Canterbury nach rationalen Überlegungen zustande gekommen, welche der Scholastik entsprechen.

Diese philosophische Strömung vertritt dieselbe kritische Haltung, wie wir sie auch in der nächsten Epoche der Philosophie vorfinden, die große Teile des europäischen 17. und 18. Jahrhunderts prägte: der Aufklärung.

Immanuel Kant

ALEXANDRA WAIBLER

Nachdem wir uns ausführlich den Gerechtigkeitstheorien des Mittelalters gewidmet hatten, bei denen Gerechtigkeit fast immer in Bezug zum christlichen Glauben steht, kamen wir zu einer Epoche, in der seitens der Philosophen eine eher kritische Haltung gegenüber der Religion vorherrschte: *der Aufklärung*. Diese historische Epoche umfasst große Teile des europäischen 17. und 18. Jahrhunderts. Ihr Leitspruch war das lateinische Sprichwort *„Sapere aude!“*, das *„Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen!“* bedeutet.

Es gibt die Grundidee der Aufklärung sehr gut wieder, da die Menschen ermutigt werden sollten, sich eigene Meinungen zu bilden und eigene Ideen zu entwickeln.

Die Aufklärung war also bestimmt von einem neuen, revolutionären Menschenbild, das sich vor allem durch den Gebrauch der eigenen Vernunft und der Anerkennung der Leistung des Individuums auszeichnete. Das führte zu vielerlei Neuerungen in verschiedenen Bereichen: Der Einsatz der Mathematik und die Methode der Beobachtung revolutionierten die Naturwissenschaften und prägten deren Form, wie

wir sie heute kennen. Gesellschaftlich war die Aufklärung vor allem durch den Aufstieg des Bürgertums geprägt, dessen Höhepunkt die Französische Revolution im Jahr 1789 bildete. Außerdem entstanden erste Rechtstexte, die Formulierungen von Menschen- und Bürgerrechten enthielten.



Immanuel Kant⁷

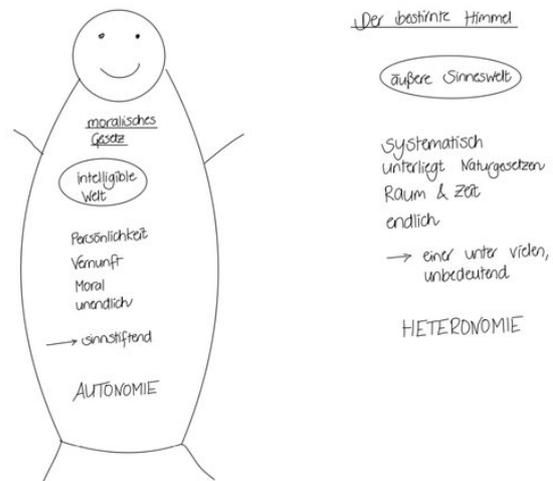
Charakteristisch für diese Epoche waren somit eine Distanz zu Tradition und Autorität und die große Wertschätzung der Freiheit des einzelnen Menschen, die sich auf verschiedenen Ebenen äußerte: Zum einen entstand beispielsweise die Weltanschauung des Liberalismus, die in gesellschaftlicher und politischer Hinsicht die freie Entfaltung und Selbstbestimmung des Individuums fordert und staatliche Eingriffe ablehnt, aber auch Formulierungen von Rechten, die den Menschen Freiheit garantieren. Und ebenfalls findet sich hier die Grundidee der Aufklärung wieder, die Freiheit und die damit verbundene Aufforderung, sich seines eigenen Verstandes zu bedienen und eigenständig zu denken.

Der bekannteste Philosoph dieser geistig-his-

⁷Abbildung: Wikimedia, Gemälde von Johann Gottlieb Becker, als gemeinfrei gekennzeichnet

torischen Epoche war Immanuel Kant (1724–1804). Um Kants Gerechtigkeitstheorie zu verstehen, sollte jedoch zuerst seine Anthropologie betrachtet werden, da sie die Basis dieser bildet. Kant definiert den Menschen als „Bürger zweier Welten“, der Anteil an einer äußeren Sinneswelt und einer intelligiblen Welt hat. Die äußere Sinneswelt unterliegt den Naturgesetzen, das heißt, dass der Mensch in dieser endlichen Welt fremdbestimmt (*heteronom*) ist. Vereinfacht könnte man den menschlichen Körper als Teil dieser äußeren Sinneswelt sehen: Der Körper steht unter dem Einfluss der Gravitationskräfte und wird von ihnen bestimmt. Zudem kann ein Mensch seinen natürlichen Todeszeitpunkt nicht bewusst festlegen; die Endlichkeit des Körpers ist festgelegt und unterliegt deshalb auch den Naturgesetzen. Das alleinige Vorhandensein von Materie in Form eines Körpers macht den Menschen also zu einem unter vielen Lebewesen, weshalb er innerhalb der äußeren Sinneswelt unbedeutend bleibt.

Bürger zweier Welten



Dazu im Gegensatz steht jedoch die intelligible Welt, die den Menschen von anderen Lebewesen unterscheidet: Sie bildet die Persönlichkeit eines Menschen und ist wahrhaft unendlich. Das verleiht dem Menschen die Möglichkeit, einzig innerhalb dieser intelligiblen Welt selbstbestimmt (*autonom*), also ohne jeglichen Fremdeinfluss, zu sein.

Dem Menschen ist es durch seine Vernunft möglich, an der intelligiblen Welt teilzuhaben.

Diese Vernunft kann er als eine Art „Beurteilungsinstrument“ gebrauchen, um Handlungen anhand moralischer Kriterien zu beurteilen. Wenn ein Mensch keine Vernunft hätte, wäre es ihm nicht möglich, moralisch zu handeln, da er selbst nicht beurteilen könnte, was moralisches Handeln sei. Das Teilhaben an der intelligiblen Welt bildet demnach die Grundlage für die Moral des Menschen.

Das ist insofern von großer Bedeutung, da Kant einzig moralisches Handeln als gerecht definiert. Für moralisches Handeln ist aber eine Grundvoraussetzung unausweichlich: der „gute Wille“. Laut Kant ist der gute Wille etwas, das es ermöglicht, die Eigenschaften der Menschen zu regulieren, damit sie sich nicht ins Negative wenden. Um diesen guten Willen an einem Alltagsbeispiel zu verdeutlichen, kann man sich beispielsweise an der Eigenschaft Reichtum orientieren. Reichtum ermöglicht dem Menschen vieles; er kann Geld für wohltätige Zwecke verwenden und die Welt dadurch verbessern, er kann es aber auch verschwenden. Der „gute Wille“ würde es dem Menschen hiermit ermöglichen, bedacht mit seinem Geld umzugehen, damit kein unmoralisches Handeln entsteht.

Wenn die Grundvoraussetzung des „guten Willens“ nun gegeben ist, lässt sich moralisches Handeln mithilfe des kategorischen Imperativs überprüfen. Der kategorische Imperativ lautet:

„Handle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde.“

Um dieses zunächst etwas abstrakt erscheinende Zitat auf den heutigen Alltag anzuwenden, bedienen wir uns des folgenden Beispiels: Ein Mann geht in den Supermarkt, um eine Tüte Chips zu stehlen. Die Maxime des Mannes wäre: „Ich will eine Tüte Chips stehlen.“ Würde nun jede Person nach dieser Maxime handeln und eine Tüte Chips stehlen ist es eindeutig, dass die Handlung unmoralisch wäre, da Diebstahl der Allgemeinheit schadet und kein allgemeines Gesetz sein kann. Die Handlung ist also ungerecht.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass Gerechtigkeit laut Kant moralisches Handeln ist, das sich in Anbetracht des „guten Willens“ mit dem kategorischen Imperativ überprüfen lässt.

Immanuel Kant bezog sich in seiner Gerechtigkeitsdefinition nur auf den Menschen im nahethischen Bereich. Dies änderte sich jedoch in der Epoche der Moderne. Der nächste Philosoph, mit dem wir uns beschäftigten, John Rawls, stellte eine Gerechtigkeitstheorie für die Gesellschaft als Ganzes auf.

John Rawls

SAVA STANCULOVIC

Wir rundeten die erste Woche mit einer Betrachtung einer modernen Gerechtigkeitsvorstellung ab, welche durch ihre Aktualität und Einteilung in Prinzipien gekennzeichnet ist. Wir beschäftigten uns mit der Theorie von John Rawls, welche er 1971 in seinem Buch „A Theory of Justice“ dargestellt hat. Diese geht durch ihre zeitliche Aktualität auf modernere Probleme ein und nennt mögliche Lösungen für diese.

Rawls hatte erkannt, dass die reichen bzw. sozial höher gestellten Menschen keine Vorteile aus einer gerechteren Welt ziehen würden, da sie von sozialer Ungleichheit oder auch Praktiken wie Ausbeutung klar profitieren. Für die ärmere Unter-, aber auch die Mittelschicht hätte Gerechtigkeit zwar wesentliche Vorteile, da jedoch die sozial höher gestellte Schicht auch am meisten politisch mitbestimmen kann, kann es so zumindest nicht automatisch zu einem gerechteren System kommen. Um aber nun doch eine gerechtere Welt zu erschaffen, führt Rawls ein Gedankenexperiment durch, bei welchem man den „Schleier des Nichtwissens“ nutzt. Dieser ist sich so vorzustellen:

Eine Person hat die Aufgabe, eine gerechte Welt zu erstellen. Sie soll sich Gedanken machen, wie Güter wie Lohn oder auch Jobs und Positionen gerecht verteilt werden, und damit diese Person nicht parteiisch für sich oder ihre Angehörigen handelt, ist sie dem „Schleier des Nichtwissens“ ausgesetzt. Bei der Gestaltung dieser gerechten Welt weiß diese Person nicht, wer er oder sie in dieser Welt sein wird. Man ist also beispielsweise unwissend über das Geschlecht, die Familie, in welche man hineingeboren wird, die Staatsangehörigkeit oder äußerliche Merkmale wie die Hautfarbe. Nun würde man unsere aktuell

bestehende Gesellschaft eher als ungerecht ansehen, da die spätere Lebensqualität, also eine grundlegende Versorgung mit Nahrungsmitteln oder auch individuelle Verwirklichungsmöglichkeiten, zu stark von den Umständen abhängig sind, in welche man hineingeboren wird.



Photographie von John Rawls⁸

Um nun eine gerechte Welt für sich und auch für andere zu erschaffen, muss man sich überlegen, in welche Welt man selbst gerne hineingeboren werden wollte, das heißt, wie diese Welt gestaltet sein müsste, um jedem eine gerechte Chance auf ein glückliches und erfülltes Leben zu bieten. Obwohl äußerliche Unterschiede und auch Dinge wie Intelligenz von der Natur zufällig verteilt sind und es hierbei automatisch zu Differenzen kommt, muss man dafür sorgen, dass diese Faktoren im Leben jedes Einzelnen keinen maßgeblichen Einfluss auf dessen grundsätzliche Chancen haben sollten, um so eine gerechte Welt für jeden Einzelnen zu erschaffen. In dieser Welt würde dann für jeden das Risiko einer Ungerechtigkeit minimiert sein, und jeder würde sich eben diese Welt unter dem „Schleier

des Nichtwissens“ wünschen. Aus diesem Gedankenexperiment heraus ergeben sich somit für Rawls 3 Grundsätze bzw. Prinzipien, die in einer gerechten Welt herrschen sollten:

1. Der Freiheitsgrundsatz
2. Die Chancengleichheit
3. Das Differenzprinzip

Sie sind „lexikalisch“ geordnet, was nach Rawls bedeutet, dass der Freiheitsgrundsatz gegenüber der Chancengleichheit und diese gegenüber dem Differenzprinzip Vorrang hat. Wenn man z. B. argumentieren würde, dass jeder die gleiche Chance auf den Zugang zu einem Gymnasium haben sollte und deswegen der erfolgreichere Schüler weniger zur Schule gehen sollte, damit die anderen im Stoff „aufholen“ könnten, wäre das nach Rawls nicht gerecht. Hier würde die Freiheit eines Einzelnen, nämlich zur Schule zu gehen, aufgrund der angestrebten Chancengleichheit eingeschränkt werden, da aber der Freiheitsgrundsatz der Chancengleichheit übergeordnet ist, wäre dies für Rawls nicht gerecht.

Beim Freiheitsgrundsatz geht es darum, dass die maximale Freiheit für alle Menschen innerhalb der Gesellschaft erreicht wird. Dabei bilden verschiedene Freiheiten, dazu gehören beispielsweise die Versammlungsfreiheit, das Recht auf eigenes Eigentum oder die politische Freiheit mit Wahlrecht, ein gesamtes System an Freiheiten. Das Ziel ist es nun, dass dieses System an Freiheiten so umfassend wie möglich für alle ist. Dies heißt nicht, dass jeder Mensch das tun darf, was er will, denn wenn ich die Freiheit hätte, andere Menschen zu verletzen, würde dies in die Freiheit auf körperliche Unversehrtheit der anderen Menschen eingreifen. Daher gilt, dass man die Freiheiten einzelner Menschen nur dann einschränken darf, wenn dies die Freiheit aller insgesamt erhöht, damit es gerecht ist. Des Weiteren muss dies für die Betroffenen annehmbar, also begründet sein. Ein Beispiel hierfür wäre, wenn aufgrund eines Mordes eine Gefängnisstrafe für eine einzelne Person erteilt wird, um die Sicherheit aller anderen zu erhöhen. Hierbei werden die Sicherheit und Freiheit des Einzelnen eingeschränkt, um die Sicherheit aller anderen in der Gesellschaft zu erhöhen, es wäre also nach Rawls gerecht.

⁸Abbildung: Wikimedia, Aufnahme von Alec Rawls, als gemeinfrei gekennzeichnet

Das Prinzip an Grundfreiheiten scheint aber nicht ganz zu reichen, da zum Beispiel die Freiheit, den eigenen Beruf zu wählen, mit gutem Grund hinter ausreichender Qualifikation zurücksteht. Bei dem Prinzip der Chancengleichheit nach Rawls ist zu beachten, dass alle Ämter und Positionen in Deutschland zumindest schon formal offenstehen. So kann jeder Bürger mit ausreichender Vorkenntnis den Beruf oder das Amt ausüben, welches er oder sie ausüben möchte.

Das Problem bei der jetzigen Chancengleichheit ist, dass sich die Ungleichheit schon im jungen Alter bei der Bildung zeigt. Im Allgemeinen ist eine klare Tendenz zu erkennen, dass Schüler aus sozial besser gestellten Schichten in der Schule besser abschneiden als Schüler der sozial schwächeren Familien. Damit ist für diese Menschen die Möglichkeit zu einer guten Ausbildung bzw. für einen gut bezahlten Beruf im späteren Lebensverlauf schon stark eingeschränkt, wobei sie darauf weniger Einfluss haben, denn sie wurden in diese Umstände zufällig hineingeboren. In Deutschland scheint es offensichtlich so zu sein, dass nicht jeder Mensch, der es will, Arzt oder Manager werden kann, weil er oder sie es aufgrund der gesellschaftlichen Stellung nicht schafft. Noch größer ist diese Problematik in Ländern, in denen Mädchen vollständig aus der Schule ausgegrenzt werden und so ihre Zukunft von Anfang an festgelegt zu sein scheint. Die Chancengleichheit aller bezieht sich also nicht nur auf die formale Offenheit, wie wir sie in Deutschland erleben, sondern darauf, dass wahrhaftig jedes Amt und jede Position ganz frei von dem Zufall der durch Geburt festgelegten Umstände jedem gleich zugänglich sein sollte.

Das dritte Gerechtigkeitsprinzip von Rawls ist das Differenzprinzip. Dieses erschließt sich auch durch den „Schleier des Nichtwissens“. Es ist klar, dass manche Menschen in einigen Dingen talentierter sind als andere und dass diese menschliche, natürliche Differenz nicht vollständig überbrückt werden kann. Rawls sieht auch ein, dass soziale oder auch ökonomische Ungleichheiten wie ein höherer Lohn auch schwer aufgrund dieser natürlichen Differenz vollständig zu umgehen sind, doch er führt ein notwendiges Kriterium an, damit diese Ungleichheiten

gerecht sein können. Sie müssen nämlich im Falle einer gegebenen Ungleichheit den sozial Schwächeren den größtmöglichen Vorteil erbringen.

Nehmen wir also an, dass jemand mit einer hohen Intelligenz gesegnet wurde und dann in der Schule eine individuelle Förderung aufgrund seiner Begabung bekommt, die anderen nicht gegeben wurde. Auch in seinem oder ihrem späteren Beruf verdient er oder sie aufgrund der höheren Qualifikation mehr Geld, doch dies darf nur geschehen, wenn damit den sozial Schwächeren ein Vorteil verschafft wird, ihnen also geholfen wird. Würde die Person dann z. B. Forscher*in werden und ein effizienteres Heilmittel für die allgemeine Gesellschaft finden, hätte sich die spezielle Förderung von dieser Person auch für die Allgemeinheit gelohnt. Ein einfacheres Beispiel wäre, dass ein begabter Schüler oder eine begabte Schülerin auch eine höhere Bildung genießen darf, wenn er oder sie dann diejenigen, die Hilfe bei der Erarbeitung von Schulstoff benötigen, dabei unterstützt.

Diese moderne und damit letzte von uns betrachtete Gerechtigkeitstheorie kennzeichnete auch das Ende der ersten, rein theorieorientierten Woche im Kurs.

Praxisanwendungen

Nachdem wir uns schon intensiv mit der Theorie beschäftigt hatten, ging es in der zweiten Woche darum, das Gelernte auf praktische Beispiele anzuwenden.

Organspende

MARIEKE LUDWIG

Wie zuvor schon erklärt wurde, gibt es nach Aristoteles zwei Anwendungsbereiche der Gerechtigkeit: die austeilende und die ausgleichende Gerechtigkeit. Wir betrachteten zu beiden verschiedenen Situationen und analysierten diese ethisch-moralisch. Bei der austeilenden Gerechtigkeit beschäftigten wir uns beispielsweise mit dem Thema der Organspende. Die Frage, die

wir uns hierbei stellten, war, wie man Organe gerecht verteilen sollte.

Um diese Frage zu beantworten, sammelten wir zunächst verschiedene Kriterien, nach denen Organe unserer Meinung nach gerecht verteilt werden sollten. Ein zentrales Kriterium war für uns beispielsweise die Dringlichkeit, damit meinten wir, dass eine Person, die ohne erhaltene Organspende zeitnah versterben würde, das Organ eher bekommen sollte als eine Person, die auch ohne sofortige Spende noch längere Zeit überleben könnte. Ein weiteres Kriterium war die Erfolgchance, hierbei geht es nicht nur rein um die Frage, wer die höheren Erfolgchancen bei der Operation selbst haben würde, sondern auch darum, bei wem die größtmöglichen Heilungschancen bestehen. Hinzu kam als Drittes Kriterium noch die Wartezeit. Hierbei sollte die Person, die schon länger auf das Organ wartet, bevorzugt werden. Als letztes wäre unserer Meinung nach auch die Lebensqualität ein wichtiges Kriterium. Hierbei ging es darum, dass der Mensch nach der Transplantation ein besseres bzw. erfüllteres Leben führen können sollte als zuvor. Dies ist jedoch schwierig umsetzbar, da das Empfinden für Lebensqualität rein subjektiv ist und daher nicht von Dritten bewertet werden kann.

Unserer Auffassung nach waren diese vier Kriterien nach einer ersten Überlegung die für uns wichtigsten, die für eine gerechte Verteilung von Organen berücksichtigt werden sollten. Dabei ist uns aufgefallen, dass es schwierig war, gerecht bzw. richtig zu entscheiden, weil bei manchen Entscheidungen Menschenwürde gegen Menschenwürde stand, moralisch betrachtet jedoch die Würde keines Menschen verletzt werden darf, wie es auch im Grundgesetz steht: „Die Würde des Menschen ist unantastbar“ (Art. 1,1 GG).

In manchen Fällen gab es aus diesem Grund umfassende Diskussionen, beispielsweise bei der Frage, ob der junge Mensch, der aufgrund von Alkoholkonsum ein Leberversagen hat, eine gespendete Leber eher bekommen sollte als ein älterer Mensch, welcher nie getrunken und immer gesund gelebt hatte. In diesem Fall müsste man beispielsweise viele verschiedene Kriterien beachten und gegeneinander abwägen, was

es sehr schwierig machen kann, eine gerechte Entscheidung zu treffen. Wir einigten uns jedoch auf einen Konsens, dass manche Kriterien wichtiger sind, um gerechte Entscheidungen zu treffen, dass es also eine gewisse Hierarchie innerhalb der Kriterien geben muss.

Anschließend daran befassten wir uns mit den Richtlinien von Eurotransplant. Es hat sich herausgestellt, dass deren Kriterien ähnlich sind wie die von uns erarbeiteten. Die zwei Entscheidungskriterien von Eurotransplant sind nämlich Dringlichkeit und Erfolgchancen. Wir kamen zu dem Schluss, dass Eurotransplant als grundsätzlich gerechte Instanz betrachtet werden kann, aber bei der Entscheidung noch andere Kriterien mit einfließen sollten, damit die moralisch auch umfassend tragbar sind.

Organpendeausweis 

nach § 2 des Transplantationsgesetzes

Organpende

Name, Vorname Geburtsdatum

Straße PLZ, Wohnort

 Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung 

Antwort auf Ihre persönlichen Fragen erhalten Sie beim Infotelefon Organpende unter der gebührenfreien Rufnummer **0800 / 90 40 400**.

Der Organpendeausweis⁹

Wir machten uns zudem Gedanken darüber, ob es moralischer sei, wenn eine Person, also beispielsweise ein*e Mediziner*in, die Entscheidung darüber trifft, wer das Organ bekommt, oder wenn ein Computersystem dies übernehmen würde. Hier gingen die Meinungen und Argumentationen sehr weit auseinander. Einerseits kennt der Mediziner / die Medizinerin die Patienten und deren Vorgeschichte, kann also verschiedenste Aspekte berücksichtigen. Dies kann jedoch auch ein Nachteil sein, wenn der Arzt / die Ärztin beispielsweise eine persönliche Bindung zum Patienten bzw. der Patientin hat. Es kann ihm/ihr deshalb eventuell schwerer fallen, rational zu entscheiden. Hingegen arbeitet das Computersystem basierend auf Da-

⁹Abbildung: BZgA, © Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), Köln

ten und Fakten und trifft auf deren Grundlage die Entscheidung. Dies kann aber wiederum zu Nachteilen führen, da der Mensch nur als Zahl dargestellt wird und diese reine Wertzuteilung wieder der Wahrung der Menschenwürde entgegenstehen würde.

Es ist also sehr schwer, eine eindeutige moralische Entscheidung zu treffen. Letztendlich können wir nur überlegen, ob die aktuell gültigen Regelungen in diesem Bereich als gerecht betrachtet werden können, oder ob Änderungsbedarf besteht.

Eine weitere anwendungsbezogene Fragestellung im Bereich der austeilenden Gerechtigkeit soll im Folgenden näher betrachtet werden. Hierbei geht es um die Frage nach der gerechten Verteilung von Arbeitslöhnen.

Lohnverteilung

SELMA REBLITZ

Dem Thema der gerechten Lohnverteilung näherten wir uns mithilfe eines Gedankenexperimentes an.

Das Gedankenexperiment war folgendermaßen aufgebaut: In einem Gemeinschaftsprojekt hat unser Kurs gemeinsam ein sehr erfolgreiches Medikament entwickelt, und nun soll das Honorar von zwölf Millionen Euro gerecht verteilt werden. Wir sind zwölf Mitarbeiter*innen, und alle hatten unterschiedliche Aufgaben:

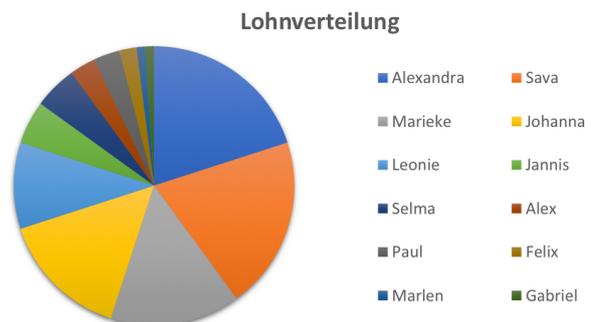
- *Alexandra* hatte die grundlegende Idee für die chemische Zusammensetzung;
- *Sava* hat die Laborarbeit übernommen und das Medikament hergestellt;
- *Johanna* hat die Fördergelder für das Projekt beantragt und eingeholt;
- *Marieke, Alex und Paul* haben Forschungsliteratur zusammengetragen, auf der ihre Forschung aufgebaut hat, wobei die Recherche eher durch Mariekes Engagement fruchtbar geworden ist, die wenig Zeit für qualitative Ergebnisse aufgewandt hat. Alex sowie Paul haben dabei sehr viel Zeit benötigt und eher wenig verwertbares Material gefunden;
- *Jannis und Selma* haben die Forschungsergebnisse zu einem Essay verarbeitet, den sie veröffentlichen konnten;

- *Leonie und Felix* haben die Messergebnisse ausgewertet und in eine Excel-Tabelle eingegeben, wobei Leonie die Ergebnisse fruchtbar ausgewertet und Felix ihre Ergebnisse ins Programm eingetippt hat;
- *Marlen und Gabriel* haben alle mit Getränken und Nahrung versorgt.

Anhand von mehreren Kriterien überlegte der Kurs, wer welchen Anteil des Honorars bekommen soll. Diese Kriterien waren unter anderem:

- Nutzen für die Gesellschaft
- körperliche und psychische Belastung
- Austauschbarkeit
- Verantwortung
- Leistung
- Aufwand für das nötige Wissen

Diese Anteile wurden in einem Tortendiagramm dargestellt. An dieser Stelle soll eines davon repräsentativ einen Eindruck unserer Gedanken vermitteln:



Die Kriterien erarbeiteten wir gemeinsam innerhalb einer Diskussion. Dabei fielen uns mehrere Schwierigkeiten auf, wie etwa, dass bei unterschiedlichen Berufen bzw. Aufgaben verschiedene Kriterien relevanter als andere waren. Polizist*innen beispielsweise sind systemrelevant und tragen eine hohe Verantwortung, da durch sie die Sicherheit in unserem Land garantiert wird. Im Gegensatz dazu ist die Palliativpflege aufgrund der ständigen Auseinandersetzung mit dem Tod durch eine psychische Belastung geprägt, die von anderer – oftmals auch schwer vergleichbarer – Qualität ist, als die Belastung eines Polizisten, was eventuell auch eine höhere Bezahlung rechtfertigen würde, stünde der Wert der psychischen Belastung im Diskussionsfokus. Es wird offensichtlich, dass es

herausfordernd ist, eine allgemeingültige Rangfolge der Kriterien aufzustellen. Ebenso wird deutlich, dass unterschiedliche Berufe schwer adäquat verglichen werden können. Die Frage nach einer vollkommen gerechten Verteilung ist diffizil.

Mit dieser Erkenntnis kam die Frage auf, ob denn nicht alle gleich viel verdienen sollten. Denn gäbe es in allen Berufen den gleichen Lohn, könnte jede/r den Beruf ausüben, der ihn/sie glücklich macht und bei dem sie/er mit Begeisterung zur Arbeit geht. Auf diese Weise würde sich in der Theorie auch jeder anstrengen. Dieses System in der Praxis anzuwenden, erweist sich als problematisch, da die meisten Menschen trotz allem aufgrund des fehlenden Leistungsanreizes die Motivation verlören. Und so haben wir die Idee, alle gleich zu bezahlen, wieder verworfen. Denn sie ergibt nur Sinn, wenn jeder sein Bestes gibt und vor allem für die Gemeinschaft geben will. Durch die Idee, alle gleich zu bezahlen, sind uns aber weitere Kriterien in den Sinn gekommen, wie etwa Motivation, Anstrengung und Leidenschaft. Menschen nach diesen Kriterien zu bezahlen, ist durch unterschiedliche Wertvorstellungen und fehlender Messbarkeit in der Praxis jedoch nur schwer umsetzbar.

Wir mussten feststellen, dass es aus unterschiedlichen Gründen sehr komplex ist, eine gerechte Lohnverteilung zu schaffen. Aus dem vorangegangenen Diskurs lässt sich jedoch entnehmen, dass es sinnvoll ist, über dieses Thema zu sprechen, und dass gerade dieser Diskurs dazu beiträgt, sukzessive zu einer gerechteren Lohnverteilung zu finden.

Straftheorien

LEONIE MARWITZ

Lösungen müssen auch im Bereich der ausgleichenden Gerechtigkeit gefunden werden. Diese beschäftigt sich mit dem Unrechtsausgleich. Damit ist gemeint, dass Ungleichheit bzw. Ungerechtigkeit, die durch eine Straftat entstanden sind, ausgeglichen werden sollen. Sollte jemand in Deutschland das Fenster eines Nachbarn mutwillig zerstört haben, muss er für den durch seine Tat entstandenen Schaden aufkom-

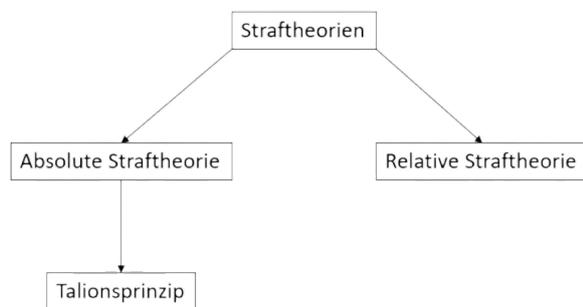
men, damit der entstandene Nachteil bzw. die dadurch entstandene Ungleichheit ausgeglichen wird. Um die ausgleichende Gerechtigkeit besser zu verstehen, haben wir im Kurs zwei Arten des Unrechtsausgleichs analysiert: die absolute und relative Straftheorie.

Bei der absoluten Straftheorie liegt der Fokus rein auf dem äquivalenten Ausgleich der entstandenen Asymmetrie. Die Person, welche eine Straftat begangen hat, soll gleichwertig bestraft werden. Um eine Tat im Sinne der absoluten Straftheorie gerecht auszugleichen, muss Gleiches mit Gleichem vergolten werden. Konkret haben wir uns mit dem sogenannten Talions-Prinzip beschäftigt, einer Variante der absoluten Straftheorie. In der Bibel können wir dieses Talionsprinzip anhand folgenden Zitats nachlesen: „*Auge um Auge, Zahn um Zahn*“ (Matthäus 5,38 f.). Klaut mir demnach jemand fünf Euro, so darf ich diesem auch fünf Euro wegnehmen.

Im Kurs haben wir Vor- und Nachteile dieser besagten Theorie diskutiert. Wir versuchten anhand von konkreten Situationen zu analysieren, in welchen Fällen das Prinzip gut anwendbar sein könnte und wann nicht. Ein Vorteil dieser Theorie ist, dass jeder sie versteht und nachvollziehen kann – es erscheint jedem logisch ersichtlich. Werde ich beispielsweise geschlagen, so darf ich zurückschlagen. Nachteile sind hingegen, dass Grundrechtseingriffe nicht gerechtfertigt werden können und das Prinzip hier oftmals an seine Grenzen stößt. Ein deutliches Beispiel wäre Massenmord. Hier wird ersichtlich, dass ein Unrecht nicht immer äquivalent ausgeglichen und grundrechtstheoretisch gerechtfertigt werden kann.

Die relative Straftheorie finden wir unter anderem im Rechtssystem der BRD wieder. Bei dieser Theorie liegt der Fokus nicht auf der Strafe selbst, sondern auf dem Zweck der Strafe. Bevor diese von einer Instanz festgelegt wird, muss erst analysiert werden, was das Ziel jeder einzelnen Strafe sein soll. Soll es zur Persönlichkeitsmodifikation, Abschreckung oder zu Resozialisierung führen? Gehen wir zum Beispiel von einem Jugendlichen aus, welcher aufgrund eines Mordes zu 15 Jahren Freiheitsstrafe verurteilt wurde. Ziel ist es bei diesem Beispiel nicht nur,

die Tat zu bestrafen, sondern auch, dass der Jugendliche nach den 15 Jahren wieder innerhalb der Gesellschaft leben kann (Resozialisierung). Dafür gibt es in den Jugendgefängnissen unter anderem Schulen, Ausbildungsstätten und Tätigkeiten, welche die Straftäter auf das Leben nach dem Gefängnis vorbereiten sollen. Ein Vorteil dieser Theorie ist, dass die Täter neue Chancen bekommen, ein normales Leben innerhalb der Gesellschaft zu führen. Ein Nachteil ist hingegen, dass die Strafe des Täters meist nicht im gleichen Verhältnis zu der Tat steht. Straftheorien bilden somit einen komplexen Themenbereich, der erneut die Subjektivität der Thematik rund um die Gerechtigkeit beweist.



Fazit

FELIX PFANNKUCH

„Was ist Gerechtigkeit?“ – Eine Frage, die nur aus drei Wörtern besteht, und dennoch ist eine Antwort so schwer zu formulieren. Je nach Themengebiet, das dabei betrachtet wird, und Person, die sie beantwortet, finden wir neue Antwortmöglichkeiten. Diese können wiederum Seiten füllen und oftmals trotzdem nur für einen Einzelnen gültig sein, wie zum Beispiel bei umstrittenen Gerichtsurteilen deutlich wird. So verdeutlicht die Beschäftigung mit dieser Frage erst die Komplexität der Thematik, sodass selbst zwei Wochen intensivster Arbeit nur einen ersten Einblick geben konnten, der uns wahrlich zum Denken angeregt hat. So war es für uns unter anderem äußerst faszinierend, die Entwicklung verschiedener philosophischer Ansätze zur Gerechtigkeit im Verlauf von über 2000 Jahren zu betrachten.

Schon bei der Wahl des Kurses war uns allen bewusst, was für ein spannendes Themenfeld

wir betreten würden, jedoch nicht, wie nachhaltig es uns prägen würde. Für die Tatsache, dass Gerechtigkeit viele Lebensbereiche und alle Menschen gleichermaßen und doch in verschiedenen Bereichen und Facetten betrifft und sie somit omnipräsent ist, hat bereits der Beginn des Kurses, das Eröffnungswochenende, ein starkes Bewusstsein geweckt.



Unsere thematische Reise begann in der Antike, die auf den ersten Blick fremd wirkte. Dieses Bild relativierte sich jedoch sehr schnell, als uns ihr Einfluss auf moderne Straftheorien, die auch bei uns praktiziert werden, deutlich wurde. Dieser Exkurs in die Gerechtigkeitsverständnisse und -theorien der Antike bildete das Fundament unseres weiteren Kurses.

Im Verlauf der Akademie legten wir jedoch auch immer wieder den Fokus auf unser eigenes Gerechtigkeitsverständnis und konfrontierten unsere bestehende Position mit den neu gewonnenen Erkenntnissen. Dabei war es sehr gewinnbringend zu beobachten, wie wir unsere eigenen Definitionen – ganz im sokratischen Sinne – immer wieder modifizierten. So fiel uns auf, dass es uns vor Probleme stellte, eine allgemeingültige Definition zu finden.

Das Finden einer Antwort auf die Frage „Was ist Gerechtigkeit?“ war ein Prozess, der uns dazu verleitete, unsere eigenen Meinungen zu hinterfragen, zu überdenken und gegebenenfalls anzupassen oder sogar zu revidieren. Und genau das waren die Momente im Kurs, die uns nachhaltig prägten. Denn diese Diskussionen und Sichtweisen, die uns oftmals auch in Rollenspielen eine neue Perspektive eröffnet haben, bleiben uns sicher noch lange im Gedächtnis.

Dabei kristallisierte sich auch die Subjektivität der Frage heraus. Wenn es keine allgemeingültige Antwort auf eine Frage gibt, wird es zumeist persönlich. Unsere Gruppe zeichnete sich genau dadurch aus, ein vertrauensvolles und gleichzeitig offenes Umfeld zu bieten, sodass jeder Einzelne, egal ob Kursleiter*in, Schülermentor, oder Teilnehmer*in, seine eigene Meinung als wertvollen Beitrag zum Kurs ansehen konnte. Und so wurden wir auch außerhalb des Kurses zu Gesprächspartner*innen, die leidenschaftlich versuchten, anderen Teilnehmer*innen der Akademie dieses Themengebiet näherzubringen.

Besonders erwähnenswert sind ferner die Inhalte, die nur indirekt mit dem Kursthema im Zusammenhang stehen, wie zum Beispiel die Erstellung einer guten Präsentation oder auch der richtige Aufbau eines Vortrags. Dies diente zur Vorbereitung auf die Rotation und die Abschlusspräsentation, die uns die Möglichkeit boten, das bis dahin Gelernte in „konziser“ Form vorzutragen und uns einen ersten Einblick in korrektes wissenschaftliches Arbeiten gaben.

Sicherlich ließen sich noch weitere Seiten mit dem Inhalt dieser zwei wunderbaren Wochen füllen. Zum Abschluss möchten wir den Fokus auf uns selbst legen, auf die, die diesen Kurs zu dem gemacht haben, was er war: zwei unvergessliche Wochen mit wundervollen Menschen, die zusammen in eine Welt abgetaucht sind, die einem erst ersichtlich wird, wenn wir lernen, sie zu sehen, und wenn wir dies vor allem auch wollen.

Insider

Alex: „Wer ist der Erzaffe?“

Nadia: „Alex, der Wahnsinn hier ist dein Produkt.“

Alex: „Ich will euch nicht verderben, sorry.“

Alex 2.0: „Kennt ihr eigentlich ...?“

Marlen: „Ich würde die Kleintiere nicht unterschätzen.“

Benedikt: „Ehrenlose Aktion, vom eigenen Kurs verraten.“

Alex: „Niveau sieht nur von unten aus wie Arroganz.“

Benedikt: „Bounty und Milky Way sind ehrenlos.“

Alex: „Der Plural von Fazit lautet Fazzen.“

Marlen: „Ich hab ja nichts gegen Canterbury, außer halt, dass er so mit Gott ...“

Canterbury: „Wenn jemand will, was er wollen soll, weil er gezwungen wird, und wenn er deshalb gezwungen wird, weil er dies wollen soll: Will dieser etwa nicht auf irgendeine Weise, was er wollen soll, weil er dies wollen soll?“



Felix: „Mir reichen mein Tagesgeldkonto und mein Aluhut aus.“

Alex 2.0: „Ich widerspreche um des Widersprechens willen.“

„Philos!“ – Alle: „Stabil!“ (Alle anderen: „Instabil!“)

Alex 2.0: „Wir wurden beim Sportfest die ersten – von hinten.“

Alex: „Ich ziehe ein magisches Dreieck von ...“

Gabriel: „Ich bin Immobilienmakler, ich vereine die Weisheit der Welt in mir.“

Alex: „Wenn das zwei ist, dann ist das ...?“

Leonie: „Der einzig wahre Erzaffe ist Nadia.“

Nadia: „Ich hasse es, wenn Leute sagen, dass wir vom Affen abstammen.“

Alex: „GUTEN MORGEN!“ (breites Grinsen)

Benedikt: „Die Welt wäre ein besserer Ort, wenn ich Papst wäre.“

Nadia zu Felix: „So wie du schreibst, musst du unbedingt nach Hollywood gehen.“

Benedikt: „Wenn ich sauer werde, dann kommen die Beleidigungen anders.“ – *Alex:* „Zeigst du dann deine wahre menschliche Größe?“

Unser Kurs

Marlen: #Schriftstellerin #wosinddieSnacks #Bücherwurm #Chaos

Johanna: #Bäckerreifachverkäuferin #Lieblingsmensch #smile #nett

Sava: #Sokrates #Schachweltmeister #Tischtennisgott #Besserwisser

Gabriel: #derbesteImmobilienmakler #Kabarettist #allwissend #trocken

Felix: #Softwareentwickler #Hacker #derPrediger #RetterinderNot

Alexandra: #stilleWassersindtief #Chemikerin #Querflötenprofi #thedarkhumor

Benedikt: #vallabila #Salatschüssel #derMatheprof #14Punkte,nur? #konzise #Papst

Nadia: #Kritik #StarWarsforever #nurDeko #dieCoolere

Alex 2.0: #Literaturwissenschaftler #Kenntihreigentlich...? #ImmerfüreinenLacher-gut #unüberzeugbar

Jannis: #Kriminalforensiker #nachdenklich #immernettundausgeglichen #Teeliebhaber

Paul: #Bundeskanzler #Businessman #sportbegeistert #entgegenkommend

Selma: #Hollywood #brutaleWitze #WikipediafürunnützesWissen #ansteckendesLachen

Leonie: #ModeratorininbekanntemFormaten (RTL) #NieohneMarieke #Boss #direkt #meinungsstark

Marieke: #Sportfanatikerin #Herzensmensch #BundestrainerinFrauenNationalmannschaft #Energieball #NieohneLeonie

Alex: #Motivationsbooster #Hardrockfanboy #DerWahnsinnistdeinProdukt #spontan #Menschenkenner #Mana #GutenMorgen



Kurs 6 – Was steckt alles in einer Solarzelle?



Unser Kurs

Clara ist unser Programmiergenie, das immer ruhig und stets freundlich und hilfsbereit ist. Strukturiert geht sie jede Herausforderung an und behält selbst in stressigen Situationen eine entspannte Haltung, was sie uns mit einem höchst professionellen Auftritt bei der Abschlusspräsentation unter Beweis stellte. Um ihre Leidenschaft fürs Schreiben und kreative Denken weiterzugeben, veranstaltete sie die „Kreatives-Schreiben-KüA“ und scheute bei den Geschenken an ihren geheimen Freund keine Mühen.

Hauke ist sehr musikalisch und war mit seinem Cello eine große Bereicherung für die Musik-KüA. Er ist ein begabter Tänzer und war immer sofort da, sobald es um Halbleiter ging. Bei der Abschlusspräsentation

erklärte er die Solarzelle besser, als es das Team kulär-Spekta je könnte. Zu seinem Pech passen Laptop und Regen nicht gut zusammen.

Julius verpasste den Morgensport trotz des „krummen Armes“ nie! Nicht mal ein Schachmatt am Abend zuvor konnte ihn davon abhalten, Stichwort: „Damen Trade“. Bei zahlreichen Teambuilding-Aufgaben übernahm er das Kommando und stützte das Team durch seine ausgeklügelten Strategien. Im Kurs war er bei gemeinsamen Überlegungen immer voll dabei.

Lennox vergisst gerne mal seine Mehrfachsteckdose und ist der einzige, der sich ausgiebig mit Liam über das Apple Ecosystem

unterhalten kann. Er beteiligte sich mit großer Neugier am Kursgeschehen und ging äußerst strukturiert an das Experimentieren heran.

Liam beeindruckte nicht nur mit seinem ausgeprägten Technik-Knowhow, sondern auch mit seinem 200 Zeilen langen Code für den Solartracker. Die Theater-KüA und die Akademielleitung unterstützte er tatkräftig mit diesem Wissen. Er schaut gerne „Joko und Klaas gegen ProSieben“ mit dem ganzen Zimmer und faustet Volleybälle. Eine Frage bleibt: Warum hat er sieben Laptops?

Mara ist kreativ und brachte mit ihren Ideen den Kurs maßgeblich voran. Zimmerintern ist sie dafür bekannt, immer die Schranktür offen zu lassen. Darüber hinaus ist sie immer für ein gutes Gespräch zu haben und nur zusammen mit Ronja und Stefanie aufzufinden. Ihren Ehrgeiz zeigte sie insbesondere in der Jonglage-KüA, in der sie das Jonglieren in kurzer Zeit erlernte.

Patrick liebt Wassermelonen, ist offen und war sehr hilfreich bei den Schuhkartons. Durch seine ruhige und manchmal etwas freundlich-verpeilte Art brachte er täglich Stimmung in den Kurs. Er war derjenige, der immer die Halbleiter präsentieren musste. Außerdem war er der einzige, der alle „Erwischt“-Aufgaben lösen konnte und war somit der unangefochtene Sieger. Die Duplos teilte er zum Glück mit uns!

Rebekka „Guten Morgen, Sonnenschein!“, ist der erste Satz, der einem zu Rebekka einfällt, und der alle Mädels aus dem Physikurs morgens aufweckte. Durch ihre aufgeschlossene, offene und lockere Art konnte sie sogar außerhalb des Kurses ohne Probleme Freundschaften schließen. Außerdem war sie es, die den größten Teil des Kurses zusammenhielt und immer für einen Spaß zu haben war.

Ronja bringt einen durch ihre lustige Art immer zum Lachen und ist sehr selbstbewusst. Bei der Theater-KüA stellte sie ihr schauspielerisches Talent unter Beweis und offenbarte ihre Streitlust. Außerdem regt sie sich gerne über Busfahrer auf und ist deshalb niemand, mit dem man sich anlegen sollte.

Stefanie ist ruhig, nett und tierlieb und konnte nicht nur durch ihre tiefen Physikkenntnisse, sondern ganz besonders durch ihr Wissen über Vögel, insbesondere Wellensittiche, beeindrucken. Des Weiteren überraschte sie alle mit ihrem zweifachen Sieg im Stifte-Stierkampf. Wenn es ein Experiment zum Ausprobieren gab, war sie immer dabei.

Teresa ist klug, korrekt und wahnsinnig gut in Physik. Zudem ist sie perfektionistisch, auch bei Dingen, die nicht immer Sinn ergeben, und sie strebt stets das beste Ergebnis an. Im Kurs behielt sie immer den Durchblick und führte Leute gerne hinters Licht, um Punkte für das kursinterne Spiel „Erwischt“ zu ergattern. Außerdem stellte sie sich mit großem Mut dem Käfer im Zimmer 2326.

Till kann sehr anschaulich erklären und konnte bei der Abschlusspräsentation durch seine selbstbewusste und besonnene Art einfach alle überzeugen. Seinen Einfallsreichtum bewies er schon beim Eröffnungswochenende. Bei Gruppenaufgaben übernahm er gerne Leitungsaufgaben, spielte auf Lorenz Rücken Tic Tac Toe und gab beim Sportfest alles, auch wenn er am nächsten Tag dezent heiser war.

Isabel: „ENERGIEGELADENER ALS BLAUES LICHT“ – Der Kurs: „GEGEN PHYSIK GEWINNT IHR NICHT!“
Zusätzlich zur großartigen Unterstützung beim Programmieren mit den Arduinos sorgte sie als unsere Schülermentorin lauthals für einen kräftigen Motivations Schub, wenn es an den Schlachtruf ging. Für sie spricht, dass sie die Flasche nur offen weitergeben kann und uns vor Süßigkeiten-Entzug rettete. Seltsame, aber witzige Spielideen zu erfinden ist neben dem Tanzen ihr Spezialgebiet.

Lorenz, unser Tor Kulär, der zusammen mit Doc Spekta ein echtes Dream-Team bildet. Wie Jörg ihn passend beschrieb: „In der Ruhe liegt der Quatsch“. Das bewies er uns mehr als oft genug im Kurs, wenn er nicht gerade dabei war, uns schwierige Sachverhalte zu erklären. Wir hoffen alle, dass der Weg ihn in die richtige Richtung Fiat!

Felix, unser Doc Spekta, brachte uns zusammen mit seinem neuen BFF auf seine wahn-sinnig witzige Weise immer wieder zum Lachen. In freier Wildbahn sah man ihn des Öfteren Lorenz durch das Gelände jagen. Bei den hochspannenden Experimenten sowie bei der beliebten Physikshow vergaß er nie, die Seriosität zu betonen, so zum Beispiel beim Orgelpfeifen und Würstchen braten.

Vorwort

ISABEL

Wie eine Sonnenblume richtete sich unser Kurs stets nach der Sonne aus sowie nach der Frage, was eigentlich alles in einer Solarzelle steckt. Dabei sind zwei Bereiche für uns besonders interessant: Zum einen möchten wir herausfinden, aus welchen Bestandteilen eine Solarzelle besteht, und zum anderen, wie viel Energie in einer Solarzelle „steckt“. Um die Energie, die uns die Sonne freundlicherweise zur Verfügung stellt, bestmöglich mit einer Solarzelle zu nutzen, haben wir im Kurs einen Solartracker geplant, gebaut, programmiert und ausgiebig optimiert. Dabei stellten wir fest, dass das Bild einer Sonnenblume überraschend gut zu unserem Kursthema passt. Ein Solartracker richtet sich nämlich wie die Sonnenblume auch immer nach der Sonne aus.

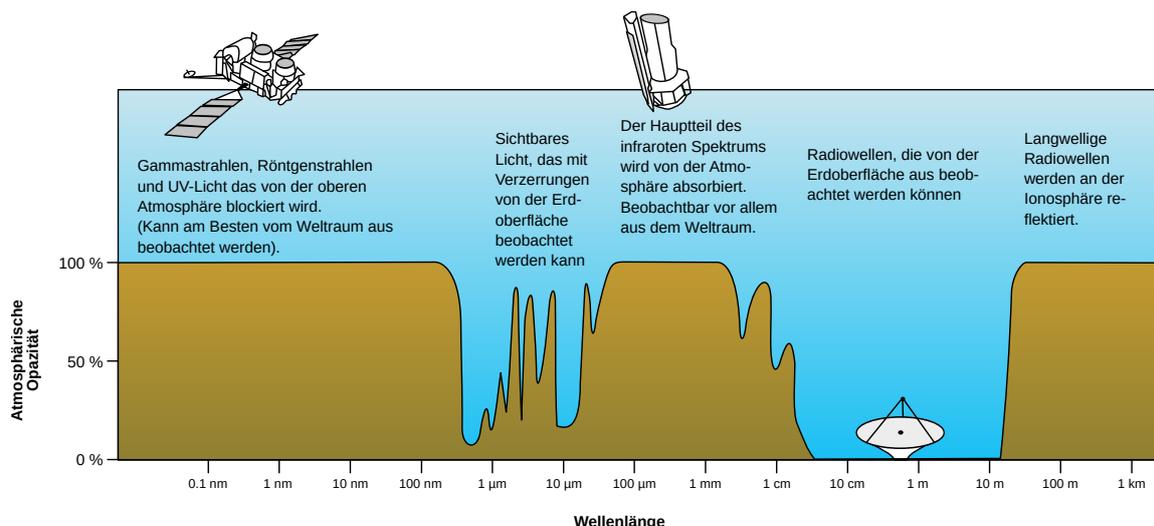
Während unserer Kursarbeit am Eröffnungswochenende und in der Sommerakademie in Adelsheim haben wir spannende Experimente durchgeführt und selbst ausgewertet, Kennlinien aufgenommen, spektakuläre Lichtspektren sichtbar gemacht, Photonen entdeckt und an Halbleitern geknobbelt. Die Wochen, die wir miteinander verbracht haben, waren gezeichnet von Neugier, Freude und einer einzigartigen Gemeinschaft. Auch über hochspannende Experimente aus dem Bereich der Akustik hinaus hatten wir zusammen Spaß und konnten viel mit- und voneinander lernen.

Sonnenlicht

TERESA UND STEFANIE

Um eine Solarzelle zu betreiben, braucht es Sonnenlicht, das ist den Meisten klar. Doch aus was besteht Sonnenlicht überhaupt? Wie viel kommt davon bei uns an? Und was sind eigentlich Fraunhoferlinien? Diese und weitere Fragen beantworteten wir schon am ersten Kurstag.

Sonnenlicht, also Sonnenstrahlung (auch Solarstrahlung genannt), ist eine elektromagnetische Strahlung. Die drei für uns wichtigsten Bereiche sind ultraviolettes, sichtbares und infrarotes Licht, wobei das ultraviolette Licht die kleinste und Infrarotlicht die größte Wellenlänge hat.



Auf der y-Achse ist die Absorption von elektromagnetischer Strahlung in der Atmosphäre gegen die Wellenlänge der Strahlung aufgetragen.

Abbildung: Wikimedia (NASA, Wikimedia-User Mysid/Ariser, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Als sichtbares Licht bezeichnen wir den Bereich der Strahlung, den das menschliche Auge als Farben wahrnimmt. Es hat eine Wellenlänge von 380 nm bis 780 nm (nm steht für Nanometer = Milliardstel Meter). Allerdings kommt nur ein Teil der Sonnenstrahlung ungehindert durch die Atmosphäre, weil ein großer Teil an Luftmolekülen gestreut oder von ihnen absorbiert wird. Ob die Strahlung die Atmosphäre durchdringen kann oder nicht, hängt im Wesentlichen von der Wellenlänge der Strahlung ab. Ultraviolettes Licht wird beispielsweise fast komplett abgeschirmt, Radiowellen dagegen werden so gut wie gar nicht aufgehalten, wie sich in der Abbildung erkennen lässt.

Zusätzlich hängt die Menge der Energie, die schließlich bei uns ankommt, auch noch von der Länge des Laufwegs, den das Licht durch die Luft zurücklegt, und damit vom Sonnenstand ab. Dadurch kommen nur etwa 50 Prozent der Sonnenenergie wirklich auf der Erdoberfläche an.

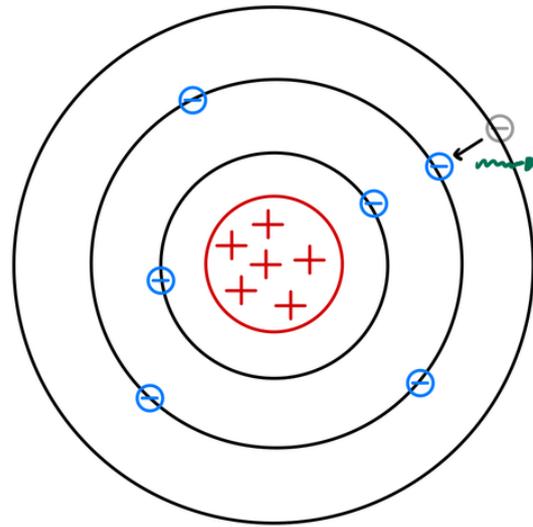
Lichtspektren

Bei einem elektromagnetischen Spektrum (Lichtspektrum) wird die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Wellenlänge betrachtet. Wir unterscheiden bei Lichtspektren grundsätzlich zwischen Absorptions- und Emissionsspektren.



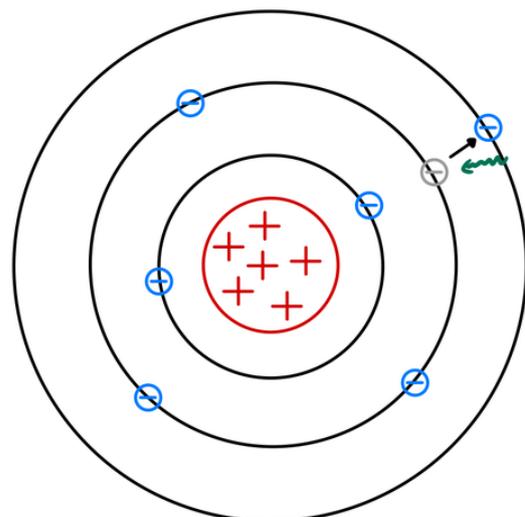
Die bunten Linien beim Emissionsspektrum heißen Emissionslinien. Sie entstehen, wenn negativ geladene Elektronen innerhalb eines Atoms auf eine weiter innen liegende Schale springen, weil sie vom positiven Atomkern angezogen werden. Dabei wird Energie in Form von Licht einer bestimmten Wellenlänge, also mit einer bestimmten Farbe, freigesetzt (emittiert), wodurch die bunten Linien entstehen.

Besonders schön ist das Spektrum einer mit Helium gefüllten Spektrallampe, das wir durch ein sehr feines Gitter beobachten konnten.

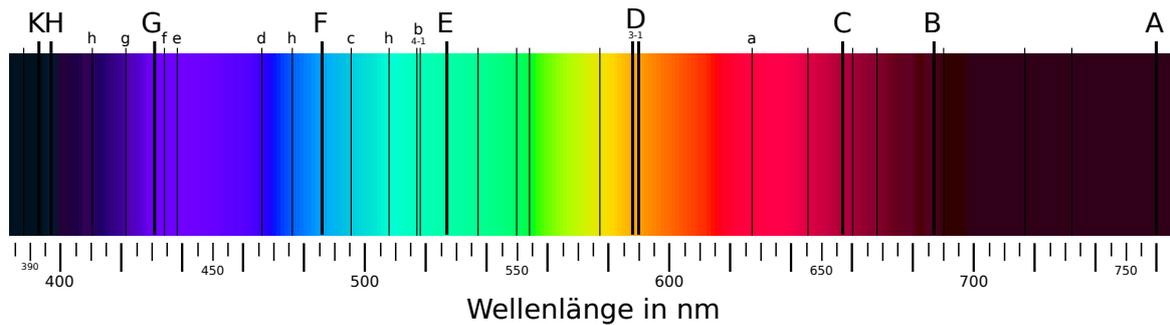


Vereinfachte graphische Darstellung der Emission von Licht mithilfe des Bohrschen Atommodells

Genau anders herum verhält es sich bei Absorptionsspektren wie dem Sonnenspektrum. Bei dieser Art von Spektren entstehen die schwarzen Absorptionslinien dadurch, dass Elektronen innerhalb des Atoms auf eine weiter außen liegende Schale springen. Dafür wird Energie benötigt, da sie sich gegen die Anziehungskraft des Atomkerns bewegen. Die Energie wird in Form von Licht einer bestimmten Wellenlänge absorbiert.



Vereinfachte graphische Darstellung der Absorption von Licht mithilfe des Bohrschen Atommodells



Die Absorptionslinien des Sonnenspektrums werden auch Fraunhoferlinien genannt.
Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Saperaud, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Fraunhoferlinien

Im Spektrum der Sonne erkennt man viele schwarze Absorptionslinien, die sogenannten Fraunhoferlinien. Sie werden von verschiedenen chemischen Elementen verursacht, die wir im Kurs mithilfe einer Simulation bestimmt haben. Dafür haben wir zuerst die Pixelwerte und dazugehörigen Wellenlängen der fünf Quecksilber-Emissionslinien in einem Programm abgelesen, um mit deren Hilfe die Wellenlängen der Fraunhoferlinien auszurechnen.

Quecksilber ist hierfür ein mögliches Vergleichselement, da uns die Wellenlängen der Emissionslinien bekannt waren. Mit diesen Werten konnten wir in Excel eine Gerade erstellen, mit der Geradengleichung: $y = 0,097 \cdot x \text{ nm/Pixel} + 388,954 \text{ nm}$. Setzt man nun für x einen Pixelwert ein, kann man die entsprechende Wellenlänge y zum passenden Element ausrechnen. Anhand einer Tabelle konnten wir nun untersuchen, zu welchem Element die berechnete Wellenlänge einer Fraunhoferlinie gehört. So bestimmten wir nach und nach die Elemente der 20 wichtigsten Fraunhoferlinien.

Nachdem wir uns nun mit dem Sonnenlicht – dem „Treibstoff“ für unsere Solarzelle – auseinandergesetzt hatten, beschäftigten wir uns mit den Vorgängen innerhalb der Solarzellen.

Photoeffekt

JULIUS UND TILL

Um die Energieumwandlung in einer Solarzelle zu verstehen, machten wir uns mit dem Photoeffekt vertraut. Dieser wurde 1887 von Heinrich

Hertz entdeckt und 1905 von Albert Einstein gedeutet, wofür er 1921 den Nobelpreis für Physik erhielt.

Um den photoelektrischen Effekt (kurz Photoeffekt) zu erklären, betrachtet man elektromagnetische Strahlung als Strom aus vielen Teilchen, die man sich als viele kleine Energieportionen vorstellen kann, die sogenannten Photonen. Wenn diese auf Halbleiter oder Metalle treffen, können sie Elektronen aus dem Material herauslösen. Dabei unterscheidet man zwischen dem inneren und äußeren Photoeffekt.

Um den inneren Photoeffekt zu verstehen, verwendet man ein Modell bestehend aus Valenzband und Leitungsband. Im Valenzband werden Elektronen herausgelöst, die dann von dort in das Leitungsband übergehen. Der innere Photoeffekt tritt ausschließlich bei Halbleitermaterialien auf, da die durch die Photonen hinzugegebene Energie von den Elektronen verwendet wird, um die Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband zu überwinden.

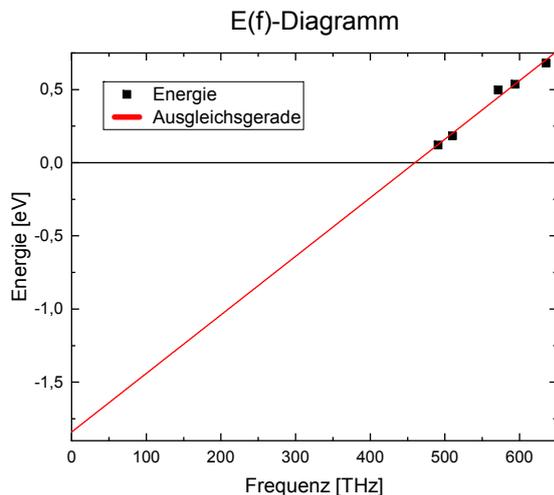
Bei dem äußeren Photoeffekt hingegen werden die Elektronen herausgelöst und verlassen das Metall. Um zu beweisen, dass die Elektronen das Metall verlassen, haben wir den Hallwachsversuch im Kurs durchgeführt. Dafür brachten wir eine negativ aufgeladene Zinkplatte auf einem Elektroskop an und bestrahlten sie mit UV-Licht. Wir beobachteten dabei, dass der Zeigerausschlag zurück ging, die Zinkplatte sich also entlud. Wenn wir eine Glasscheibe, die UV-Licht abschirmt, zwischen Lampe und Metallplatte hielten, entlud sich das Elektroskop nicht weiter. Das Licht der UV-Lampe löst folglich die überschüssigen Elektronen aus

der Zinkplatte heraus. Das ist der äußere Photoeffekt.



Versuchsaufbau zum Hallwachs-Versuch

Anschließend beschäftigten wir uns mit der Austrittsarbeit. Das ist die Energie, die ein Photon mindestens haben muss, um ein Elektron aus dem Kathodenmaterial herauszulösen. Um dies zu untersuchen, bauten wir eine Schaltung auf, bei der verschiedenfarbiges Licht auf eine Metallkathode trifft. Durch eine veränderliche Gegenspannung haben wir die Grenzspannung gemessen, bei der keine Elektronen mehr die Anode erreichen. Man bemerkt, dass je höher die Frequenz des Lichts ist, desto höher ist die Energie.



Auf der y -Achse sieht man die Werte für die Energie der herausgelösten Elektronen in der Einheit Elektronenvolt und auf der x -Achse die Frequenz des Lichts in Terahertz.

Wir trugen die Werte in einem Diagramm auf und legten eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte, deren y -Achsenabschnitt angibt,

wie viel Energie ein Photon mindestens haben muss, um ein Elektron aus dem Material herauszulösen. Das ist die sogenannte Austrittsarbeit, sie unterscheidet sich von Material zu Material. In diesem Beispiel liegt sie bei ca. 1,8 eV. Der Schnittpunkt mit der horizontalen Achse gibt die Grenzfrequenz an, ab der es überhaupt erst zum Photoeffekt kommen kann. Als Proportionalitätskonstante, die der Steigung der Geraden entspricht, lässt sich das Plancksche Wirkungsquantum ablesen:

$$h \approx 6,53 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Die Abweichung zum Literaturwert liegt bei etwa 1,4 Prozent.

Halbleiter

HAUKE UND MARA

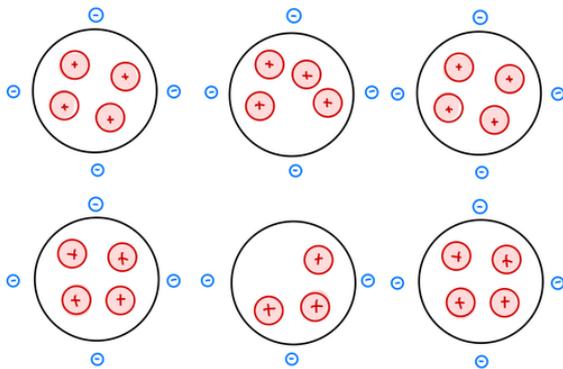
Grundlagen

Um zu verstehen, wie eine Solarzelle funktioniert, mussten wir erstmal verstehen, woraus sie besteht. Dabei spielen Halbleiter eine wichtige Rolle. Das sind Materialien, die meist aus Halbmetallen bestehen. Bei Solarzellen wird meistens Silizium verwendet, ein Element der 4. Hauptgruppe, da dies ein häufig vorkommender Rohstoff ist.

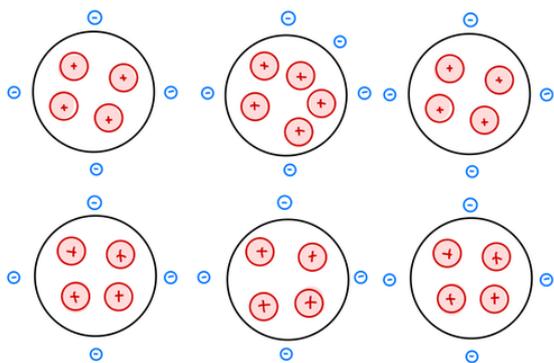
Die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern ist temperaturabhängig, bei steigender Temperatur nimmt ihre Leitfähigkeit zu, bei Raumtemperatur leiten sie allerdings fast gar keinen Strom. Das lässt sich mit dem Atomaufbau erklären: Die Elemente der 4. Hauptgruppe haben vier Außen- bzw. Valenzelektronen, mit denen sie Verbindungen eingehen können. Um die Edelgaskonfiguration zu erreichen, d. h. bei Silizium insgesamt acht Valenzelektronen zu haben, bindet ein Valenzelektron in einem Halbleiter an ein Valenzelektron des Nachbaratoms, wodurch Elektronenpaarbindungen entstehen. Das bedeutet, dass die Atome sich die Elektronen „teilen“. Somit entsteht eine Art „Gitter“ aus stabilen Elektronenpaarbindungen, und es kann fast kein Strom mehr geleitet werden, da nur noch eine geringe Anzahl an freien Elektronen vorliegt.

Dotierung

Um die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern zu erhöhen, können sie dotiert werden. Das heißt, dass Fremdatome der 3. Hauptgruppe (p-Dotierung) oder Fremdatome der 5. Hauptgruppe (n-Dotierung) in das Atomgitter eingesetzt werden. Da Elemente der 3. Hauptgruppe nur drei (anstatt vier) Valenzelektronen haben, entstehen bei der p-Dotierung sogenannte positive Löcher. Das sind Stellen, an denen ein Valenzelektron nicht an ein anderes binden kann. Im Gegensatz dazu bleiben bei der n-Dotierung frei bewegliche überschüssige Elektronen übrig, da Elemente der 5. Hauptgruppe fünf (anstatt vier) Valenzelektronen haben.



Darstellung eines p-dotierten Halbleiters



Darstellung eines n-dotierten Halbleiters

pn-Übergang

Wenn nun ein p-dotierter Halbleiter mit einem n-dotierten Halbleiter (im Fall der Solarzelle eine p- mit einer n-dotierten Schicht Silizium) in Kontakt gebracht wird, entsteht ein elektrisches Feld. Das liegt daran, dass die frei beweglichen

überschüssigen Elektronen der n-Schicht zur p-Schicht diffundieren, d. h. sie bewegen sich, um die Löcher zu füllen (man sagt, sie rekombinieren) und wieder die Edelgaskonfiguration zu erzielen. Dies führt dazu, dass zwischen diesen beiden Seiten eine Zone entsteht, in der sich keine solchen frei beweglichen Ladungen befinden, sondern wieder ein stabiles Atomgitter – wie bei einem undotierten Halbleiter – entsteht.

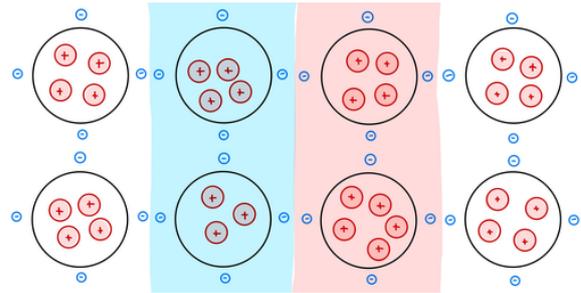


Abbildung eines pn-Übergangs

Diese Zone wird Raumladungszone oder auch Grenzschicht genannt und ist für die Funktionsweise einer Solarzelle entscheidend. Durch das Diffundieren der Elektronen kommt es zu einem Ungleichgewicht der elektrischen Ladungen in der Grenzschicht: Auf der n-dotierten Seite befinden sich nun mehr positiv geladene Protonen im Atomkern als negativ geladene Elektronen in der Hülle, wodurch die n-dotierte Seite insgesamt positiv wird (siehe rot eingefärbte Seite in der Abbildung). Währenddessen befinden sich auf der p-dotierten Seite nun mehr Elektronen als Protonen, weshalb die p-dotierte Seite negativ wird (siehe blau eingefärbte Seite in der Abbildung) und eine Spannung entsteht.

Aufgrund der Tatsache, dass ungleichnamige Ladungen sich anziehen, wird somit verhindert, dass alle Elektronen vollständig zur anderen Seite diffundieren und der Halbleiter wieder einem völlig undotierten gleicht.

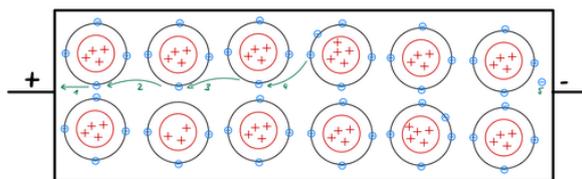
Durchlass- und Sperrichtung

Wenn man eine Halbleiterdiode, z. B. eine LED, in einen Stromkreis einbauen möchte, muss man aufpassen, dass man sie richtig herum schaltet, da sie ansonsten nicht funktionieren wird. Aber warum leitet die Diode Strom nur in eine Richtung? Um das zu verstehen, müssen

wir uns den Aufbau der Diode anschauen. Damit die Diode den Strom leitet, müssen wir an die p-dotierte Schicht den Pluspol und an die n-dotierte Schicht den Minuspol anschließen. Die Elektronen in der Nähe des Pluspols der p-dotierten Schicht werden von diesem angezogen und abgesaugt, somit entstehen durchgehend neue Löcher, in die Elektronen, die weiter vom Pluspol entfernt sind, rutschen, weil sie durch ein entstehendes elektrisches Feld zum Loch beschleunigt werden. Die Elektronen wandern also durch die Löcher zum Pluspol.

Das passiert fortlaufend, und somit wandert das Loch bis zum Kontakt zwischen p- und n-dotierter Schicht. Dann kann ein überschüssiges Elektron aus der n-dotierten Schicht dieses Loch füllen und ein Zyklus ist beendet. Der Minuspol pumpt dann ein weiteres Elektron in die n-dotierte Schicht. Es ist ein Elektron vom Pluspol abgesaugt worden und ein Elektron wurde in die n-dotierte Schicht gedrückt.

Dieser Prozess läuft fortlaufend und auch parallel in der Diode ab. Es bewegen sich Elektronen, also fließt Strom. Beim Pluspol werden immer wieder Elektronen abgesaugt, und der Minuspol stellt immer wieder neue Elektronen zur Verfügung. Wenn die Pole so an die Diode angeschlossen werden, wurde die Diode in Durchlassrichtung geschaltet.

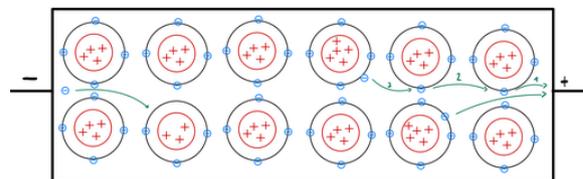


Halbleiterdiode mit angelegter Spannung in Durchlassrichtung mit dem Weg der Elektronen durch die Löcher (zeitlich nummeriert)

Wenn man allerdings den Minuspol an die p-dotierte und den Pluspol an die n-dotierte Schicht anschließt, fließt kein Strom und man hat die Diode in Sperrrichtung geschaltet. Warum die Diode so keinen Strom leitet, können wir uns erneut mit dem Aufbau der Diode erklären: Die überschüssigen Elektronen aus der n-dotierten Schicht werden vom Pluspol, der an die n-dotierte Schicht angeschlossen wurde, angezogen und abgesaugt. Gleichzeitig werden die Löcher

in der p-dotierten Schicht mit Elektronen aus dem Minuspol, der an die p-dotierte Schicht angeschlossen wurde, aufgefüllt. Die vorher bereits beschriebene Grenzschicht erstreckt sich jetzt über die gesamte Diode.

Nun hat das Halbleitermaterial seine bevorzugte Gitterstruktur mit vier Valenzelektronen bei jedem Atom erreicht, d. h. jedes Atom hat die Edelgaskonfiguration erreicht. Das Material hat nun ein geringes Energieniveau und deswegen ist es für das Material energetisch günstig, seinen Zustand beizubehalten, also folglich auch, dass sich Elektronen nicht bewegen. Und wenn sich keine Elektronen bewegen, fließt kein Strom.



Halbleiterdiode bei angelegter Spannung in Sperrrichtung

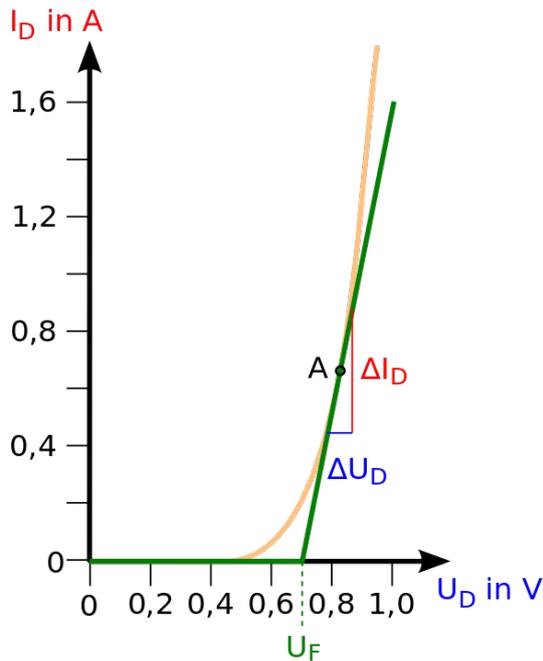
Man kann also zusammenfassend sagen, dass eine Diode wie ein Ventil funktioniert, das Elektronen nur in eine Richtung durchlässt.

Eine Diode kann trotzdem auch in Sperrrichtung Strom leiten, allerdings nur, wenn eine so hohe Spannung angelegt wird, dass die Elektronen wortwörtlich durch die Diode gepresst werden. Dazu muss es für die Elektronen energetisch günstiger sein, das elektrische Feld in der gesamten Diode zu überwinden. Aber nachdem man eine so hohe Spannung angelegt hat, ist die Diode defekt. Es gibt allerdings eine Ausnahme, die sogenannten Sperrdioden, die speziell dafür ausgerichtet sind, in Sperrrichtung angeschlossen zu werden. Aber das führt leider zu weit.

Schwellspannung einer Diode

Eine LED (light emitting diode) ist eine spezielle Diode, die bei Stromfluss Licht emittiert. Wenn man eine LED in Durchlassrichtung schaltet, kann es trotzdem noch sein, dass die LED nicht leuchtet. Dafür ist die sogenannte Schwellspannung U_f verantwortlich. Sie ist

diejenige Spannung, die wir mindestens an eine Diode anlegen müssen, sodass Strom fließt (bei einer Silizium-Diode wäre $U_f \approx 0,7\text{ V}$). Um U_f zu bestimmen, messen wir einfach die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Diode, die in Durchlassrichtung geschaltet wurde. U_f ist diejenige Spannung, die die Verlängerung des vermeintlich geradlinigen Teils der Kennlinie an der U -Achse schneidet.



Kennlinie einer Diode mit Bestimmung der Schwellspannung
 Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Stündle, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Aber warum existiert diese Schwellspannung überhaupt? Um uns das zu erklären, schauen wir uns wieder einmal den Aufbau der Diode an, genauer die Grenzschicht zwischen p- und n-dotierter Schicht.

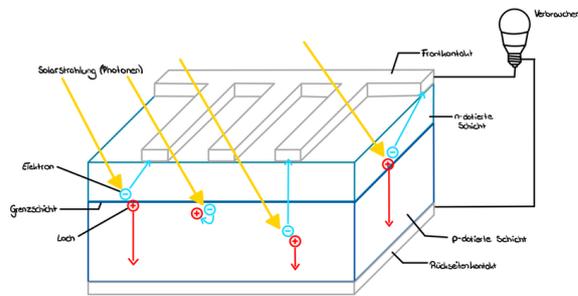
Diese Grenzschicht hat ein elektrisches Feld, wie oben bereits beschrieben. Wenn die Diode in Durchlassrichtung geschaltet wird, können die Elektronen nur fließen, wenn die angelegte Spannung so groß ist, dass es für die Elektronen energetisch günstiger ist, das elektrische Feld in der Grenzschicht zu überwinden und die Löcher zu füllen. Ab der materialabhängigen Schwellspannung ist das der Fall.

Solarzellen

PATRICK UND RONJA

Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle

Als nächstes beschäftigten wir uns im Kurs mit dem Aufbau und der Funktionsweise einer Solarzelle. Dazu nahmen wir uns noch einmal das Bild des dotierten Halbleiters vor Augen und bemerkten, dass der Aufbau einer Solarzelle im Grunde einem pn-Übergang entspricht. Somit konnten wir verstehen, dass die Solarzelle aus einer großen p-dotierten und einer kleinen n-dotierten Schicht Silizium besteht, die zusammen einen pn-Übergang bilden.



Aufbaus einer Solarzelle (Abbildung von Ronja)

Auf der Ober- und Unterseite dieses pn-Übergangs befindet sich jeweils ein Kontakt aus Metall, der wiederum mit einem Kabel mit dem Verbraucher verbunden ist und somit die beiden Kontakte miteinander verbindet. Wie uns bereits durch die Erschließung des Photoeffekts klar war, lösen energiereiche Photonen aus der Sonnenstrahlung Elektronen aus dem Halbleitermaterial heraus, wenn sie auf den pn-Übergang der Solarzelle treffen.

Die überschüssige Energie der Photonen wird den Elektronen, welche sich nun aufgrund des elektrischen Feldes, das sich beim Erstellen des pn-Übergangs gebildet hat, durch die n-Schicht zu dem Kontakt bewegen, als Bewegungsenergie mitgegeben. Vom Kontakt fließen sie nun durch den Verbraucher und wieder zurück in die p-dotierte Schicht der Solarzelle. Dort füllen sie nun die positiv geladenen Löcher und bewegen sich von Loch zu Loch bis hin zum pn-Übergang, wo sie wieder von neuen Photonen aus ihrem Atom herausgelöst werden können.

Dadurch entsteht ein Stromfluss, und die Energie des Sonnenlichts wird in elektrische Energie umgewandelt.

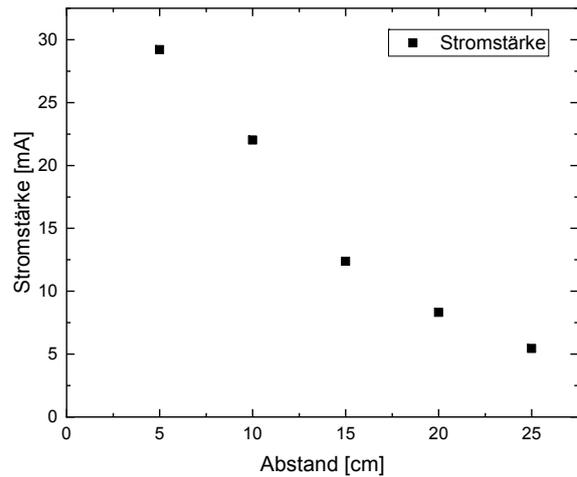
Wie können wir eine Solarzelle bestmöglich nutzen?

Nachdem wir den Aufbau der Solarzelle geklärt hatten, stellten sich uns viele Fragen über deren Eigenschaften und wie wir diese am besten nutzen können. Der für uns effektivste Weg hierfür war es, einen Faktor zu verändern, alle anderen möglichst gleich zu belassen und dann die resultierende Veränderung, die sich in der Leistung der Solarzelle widerspiegelt, zu vergleichen. Die Leistung der Solarzelle gibt dabei an, welche Energie in einer Zeitspanne von ihr umgesetzt werden kann, und somit, wie viel Ertrag sie uns liefert. Dazu sammelten wir zunächst einige Faktoren, die einen Einfluss auf die Leistung der Solarzelle haben könnten, und anschließend testeten wir unsere Theorien. Der erste Faktor, den wir veränderten, war die Temperatur der Solarzelle. Dazu kühlten wir sie mit nassen Tüchern ab und erwärmten sie mit einem Föhn. Wir konnten feststellen, dass bei höherer Temperatur ein Leistungsabfall und bei sinkender Temperatur ein Anstieg der Leistung auftrat.

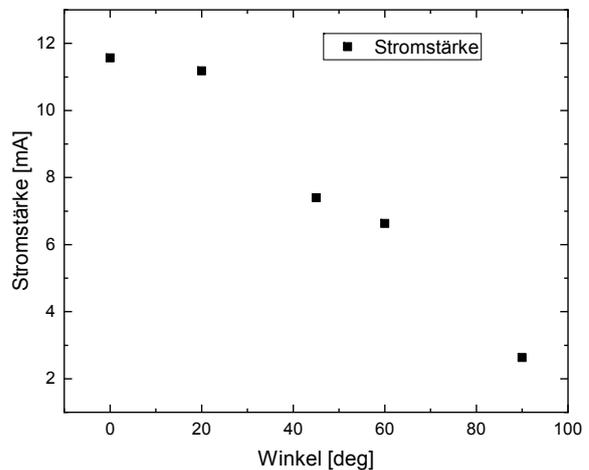
Als nächster Faktor haben wir die Entfernung zwischen der Lichtquelle und der Solarzelle variiert. Dabei beobachteten wir, dass die Intensität mit zunehmender Entfernung abnahm. Dieses Ergebnis war wenig überraschend, da bei einem größeren Abstand der Lampe nur die Strahlung, die in einen kleineren Raumbereich abgestrahlt wird, auf die Solarzelle trifft. Dazu kommt, dass die Distanz, die das Licht zurücklegen muss, größer ist und es dadurch mehr an den Luftmolekülen gestreut wird.

Ein nächstes Experiment, bei dem wir den Einfallswinkel des Lichts auf die Solarzelle verändert haben, ergab, dass die Leistung geringer ist, je flacher die Strahlen auf die Solarzelle fallen. Unter einem Einfallswinkel von 0° ist die Stromstärke maximal.

In beiden Experimenten haben wir nicht die Leistung direkt, sondern den Kurzschlussstrom der Solarzelle gemessen. Über die uns bekann-



Auf der x -Achse sieht man den Abstand der Lichtquelle von der Solarzelle und auf der y -Achse die gemessene Stromstärke



Auf der x -Achse sieht man den Einfallswinkel der Strahlung auf die Solarzelle und auf der y -Achse die gemessene Stromstärke

te Kennlinienschar konnten wir daraus auf die Leistung schließen. Je höher der Kurzschlussstrom ist, desto höher ist auch die von der Solarzelle abgegebene Leistung.

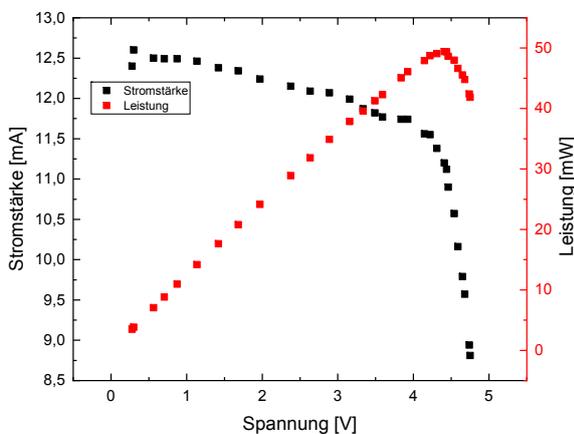
Als letztes Experiment dieser Versuchsreihe untersuchten wir die Teilverschattung, bei welcher große Leistungsverluste zu sehen waren, wenn Teile der Solarzelle verschattet wurden, welche noch in der Höhe der Leistungsverluste variierten. Dies ist mit dem Aufbau des Solarmoduls zu erklären, da ein Solarmodul aus einzelnen in Reihe geschalteten Zellen besteht, die einen starken Spannungsabfall und somit auch Leistungsabfall zeigen, wenn ein Teil dieser Reihenschaltung verschattet ist. Je nachdem, ob

die Solarzelle längs oder quer verschattet ist, sind mehr oder weniger dieser Zellen betroffen und somit kommt es zu den unterschiedlichen Leistungsmesswerten.

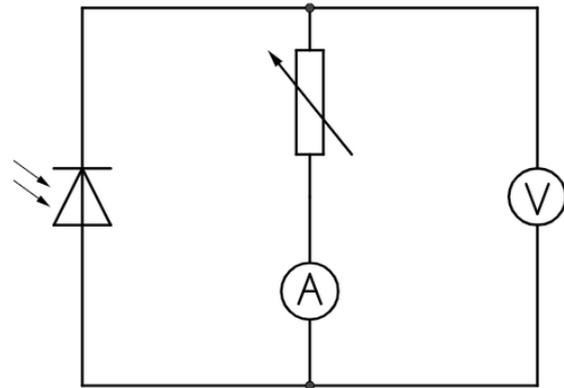
Diese Experimente haben uns die optimalen Bedingungen für eine Solarzelle gezeigt, nur war es uns leider nicht möglich, die Entfernung zur Sonne und die Temperatur der Solarzelle zu verändern, wenn diese tatsächlich zur Energiegewinnung verwendet wird. Welche Faktoren wir verändern konnten, sind der Einfallswinkel und die Verschattung, da es möglich ist, die Solarzelle jederzeit so zur Sonne auszurichten, dass ihr Licht unter dem Winkel von 0° auf die Solarzelle trifft. Die Verschattung ist bis zu einem gewissen Grad hin beeinflussbar, da man Schattenquellen wie beispielsweise Bäume oder Schornsteine weglassen kann, aber die Wolkenbildung am Himmel und deren Verschattung ist nicht beeinflussbar.

Die Kennlinie unserer Solarzelle

Die Auswertung einer weiteren Versuchsreihe zeigte uns, welchen Lastwiderstand wir an die Solarzelle anlegen müssen, um die optimale Spannung und somit die höchstmögliche Leistung der Solarzelle zu erreichen. Dies mussten wir testen, da die Leistung das Produkt von zwei Faktoren ist, der Spannung und der Stromstärke. Somit ist der Punkt der maximalen Leistung, auf Englisch „Maximum Power Point“, der Punkt, bei welchem das Produkt der beiden Werte am größten ist.



Stromstärke (schwarz) und Leistung (rot) in Abhängigkeit von der Spannung



Schaltplan zum Bestimmen der Kennlinie (Abbildung von Patrick)

Um dieses Experiment zu visualisieren, haben wir mithilfe einer Kennlinie den Zusammenhang zwischen den zwei Faktoren Stromstärke und Spannung grafisch dargestellt. Am höchsten Punkt der roten Kennlinie bzw. an der rechten oberen Ecke des größten Rechtecks, welches man unter der schwarzen Kennlinie einzeichnen kann, liegt der Maximum Power Point.

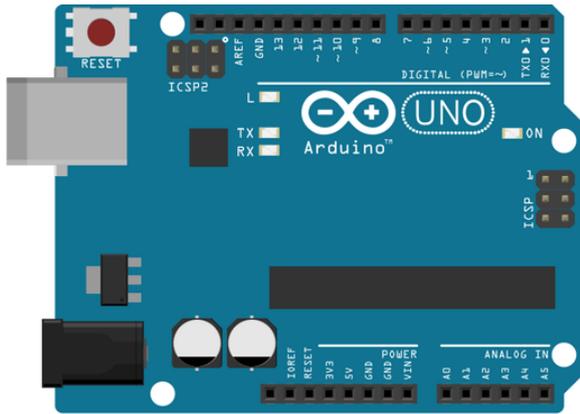
Arduino

CLARA

Um die Energie der Sonne mithilfe einer Solarzelle bestmöglich zu nutzen, wollen wir die Solarzelle automatisch der Sonne nachführen. Damit unsere Solartracker überhaupt wissen, wo sich die Sonne befindet und wohin sie sich bewegen müssen, verwendeten wir einen Mikrocontroller, um verschiedene Bauteile, wie z. B. einen Servo-Motor, mithilfe der Programmiersprache C++ in der Arduino IDE anzusteuern.

Der verwendete Mikrocontroller ist ein Arduino, der in alltäglichen automatisch funktionierenden Geräten vorkommt, und der externe Signale erkennen und darauf reagieren kann. Somit stellt er die „Steuerzentrale“ in den jeweiligen Geräten dar. So auch in unserem Solartracker. Im Wesentlichen besteht er aus einer Platine, auf der verschiedene Bauteile angeordnet sind:

Auffallend ist der rote Reset-Knopf oben links, der beim Betätigen den Neustart des Programms bewirkt. Darunter befinden sich zwei



Arduino UNO mit verschiedenen Pins, zwei Anschlüssen und einem Reset-Knopf

Anschlüsse: der USB-Anschluss in grau und ein weiterer Anschluss für z. B. eine Batterie oder ein Netzteil.

Außerdem besitzt der Arduino verschiedene Pins. Pins sind Anschlüsse, mit denen z. B. eine kleine LED mit Strom versorgt werden kann. Die Pins, die dafür verwendet werden können, die sogenannten Power Pins, befinden sich unten links auf der Platine. Daneben sind noch die analogen Pins, mit denen Spannungen gemessen werden. Rechts neben dem Reset-Knopf befinden sich außerdem die digitalen Pins, die Strom ausgeben.

Um unsere Solartracker richtig ausrichten zu können, verwendeten wir jeweils zwei Servo-Motoren. Das sind positionsansteuerbare Elektromotoren, die wir vom Arduino aus gezielt auf einen Winkel einstellen konnten, der zwischen 0 und 180 Grad liegt. Dafür besitzt der Motor eine eingebaute Elektronik, welche den eingestellten Winkel mit dem gewünschten Winkel vergleicht und den Motor anschließend entsprechend dreht.

Der Servo verfügt außerdem über drei verschiedenfarbige Kabel, die wir wie folgt anschließen mussten: rot an 5 V, schwarz an die Erdung GND und gelb an einen PWM-Pin. Ein PWM (Pulsweitenmodulations)-Pin wird im Millisekundenbereich zwischen HIGH (an) und LOW (aus) hin und her geschaltet. Dies wird dazu genutzt, dem Motor alle 20 Millisekunden die Information über den gewünschten Winkel zu übermitteln. So kann zum Beispiel ein HIGH-Signal einer Länge von 544 Mikrosekun-

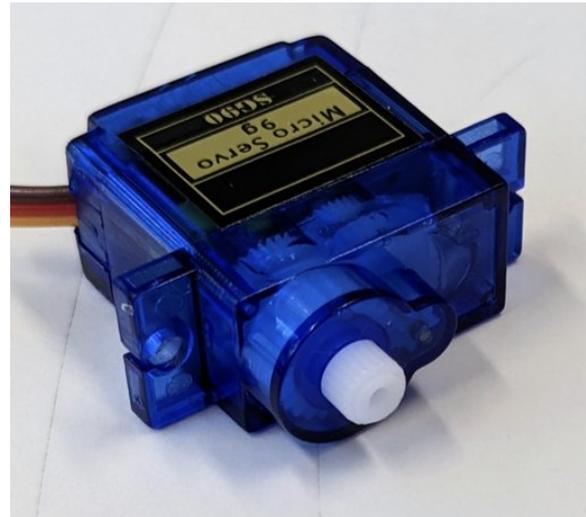


Foto eines unserer Servo-Motoren Micro Servo SG90

den 0 Grad bedeuten und eines einer Länge von 2400 Mikrosekunden 180 Grad.

Bei der Programmierung der Servo-Motoren muss die sogenannte Servo-Bibliothek eingebunden werden, die dafür sorgt, dass nach dem Aufruf des Befehls `x.write(y)` der jeweilige Puls alle 20 Millisekunden gesendet wird. Hierbei steht `x` für einen beliebigen Namen des Motors und `y` für die Winkelweite.

Bevor wir uns jedoch mit dem Bau des Solartrackers beschäftigten und somit auch mit der Programmierung der Servo-Motoren, testeten wir die oben vorgestellten Bauteile in einer Dämmschaltung. Diese soll bei einsetzender Dämmerung eine LED angehen lassen.

In dem dazugehörigen Code wird zunächst eine Variable definiert und die an Pin 2 angeschlossene LED als Ausgangssignal definiert. In der Schleife `void loop` folgt der essentielle Code:

```
int x;
void setup() {
  pinMode (2, OUTPUT);
}

void loop() {
  x = analogRead (A0);
  if (x > 500) {
    digitalWrite (2, HIGH);
  } else {
    digitalWrite (2, LOW);
  }
}
```

Der setup-Abschnitt wird nur ein einziges Mal nach dem Hochladen des Codes durchlaufen. Im loop-Abschnitt wird der Variable x nun ein Wert zugeordnet, nämlich der Wert, den der LDR, ein lichtabhängiger Widerstand, an Pin A0 über einen Spannungsteiler misst. Darauf folgt eine if-Abfrage, die prüft, ob der Wert über 500 ist. Ist dies der Fall, wird die LED mithilfe des Befehls digitalWrite eingeschaltet. Wenn nicht, bleibt sie aus oder wird ausgeschaltet.

Der Wert 500 war hierbei unser sogenannter Schwellenwert, den wir vorab mithilfe des seriellen Monitors ermittelten und der bestimmt, ab wann es dunkel genug ist, um die LED einzusetzen.

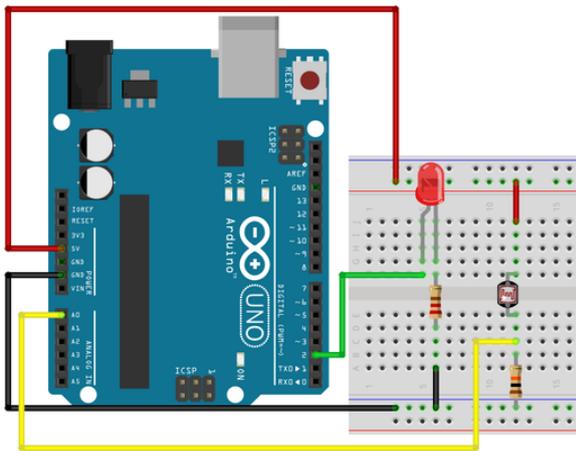


Abbildung der Dämmerungsschaltung mit dem Arduino UNO, einer LED, einem LDR, Kabeln, Widerständen und dem Breadboard

Im entsprechenden Schaltplan ist der LDR an 5 V (rot), an den analogen Pin A0 (gelb) und an die Erdung GND (schwarz) angeschlossen. Die LED braucht einen Vorwiderstand, damit sie nicht beschädigt wird, und sie wird bei einem zu geringen Wert von A0 über Pin 2 angeschaltet.

Solartracker

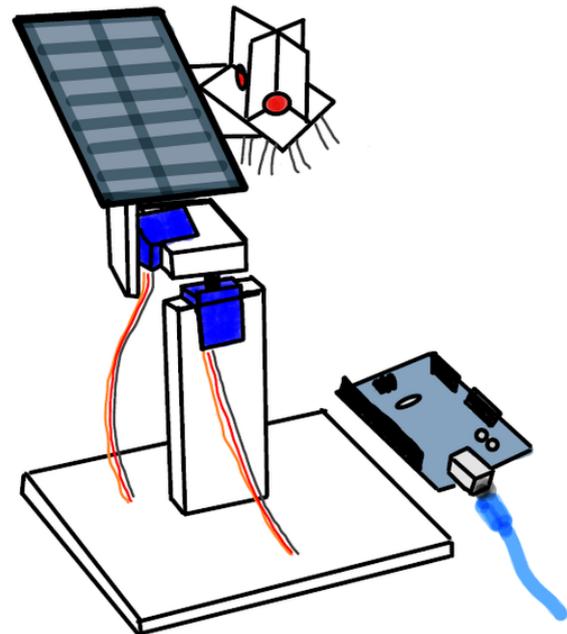
LENNOX UND LIAM

Wie bereits erwähnt stellten wir bei unseren Experimenten zur Leistung einer Solarzelle abhängig vom Einfallswinkel fest, dass eine Ausrichtung senkrecht zur Sonne die maximale Leistung erbringt. Folglich war es unser Ziel, den Solartracker so zu bauen, dass die Sonnenstrahlung stets unter einem Winkel von 0° auf die

Solarzelle trifft. Die Funktion des Solartrackers ähnelt dabei einer Sonnenblume, die sich nämlich auch im Laufe des Tages stets zur Sonne ausrichtet. Diese schöne Analogie ist uns beim Wandertag aufgefallen. Daraufhin haben wir im Übrigen auch begonnen, unser Kurs-T-Shirt zu planen.

Um das zu realisieren, benötigt unser Solartracker im Wesentlichen drei Komponenten.

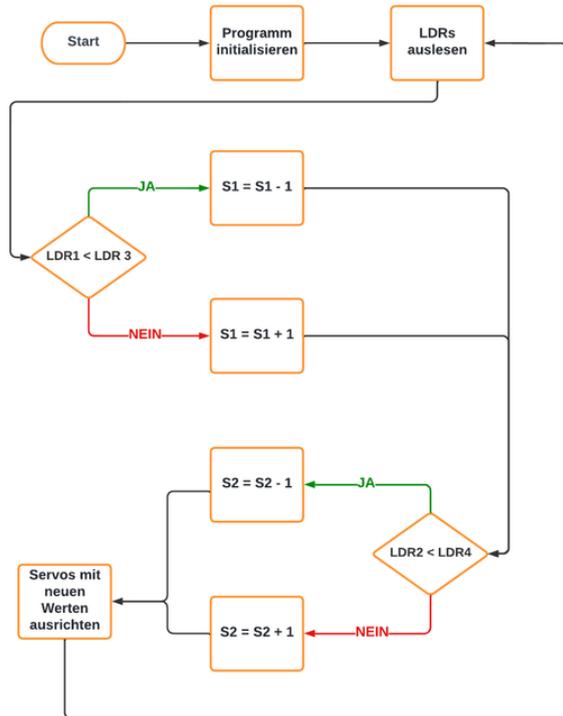
1. Die LDRs fungieren als Augen, so kann der Solartracker auslesen, wo die Sonne aktuell steht.
2. Die Servomotoren dienen als Arme und richten über zwei Achsen den Solartracker in die mit den LDRs bestimmte Position aus.
3. Für die Übermittlung der Daten benötigt der Solartracker noch ein Gehirn, dafür verwendeten wir den oben vorgestellten Arduino.



Programmablaufplan

Wir programmierten die Kommunikation der Augen und Arme durch das Gehirn, unseren Arduino. Der folgende Programmablaufplan zeigt diese Kommunikation schematisch.

Der Code soll damit beginnen, dass alle benötigten Variablen definiert werden und beide Servomotoren (S1 und S2) auf den mittleren



Programmablaufplan (Abbildung von Liam)

Wert, also 90° , gestellt werden. In einer Schleife, die sich permanent wiederholt, werden die vier LDRs ausgelesen, um eine Datenbasis für die Ausrichtung unseres Solartrackers zu schaffen. Der Arduino vergleicht die aktuellen Werte der gegenüberliegenden LDRs und untersucht dabei, welcher der beiden Werte jeweils größer ist. Durch baubedingte Unterschiede der LDRs haben wir hier eine Toleranz eingebaut, da die Motoren sonst nie stillstehen würden.

Die Servomotoren drehen danach jeweils in die Richtung des niedrigeren LDR-Wertes, weil aus dieser Richtung mehr Licht kommt. Dies geschieht auf beiden Achsen. Insgesamt haben wir dafür vier if-Abfragen programmiert. Anschließend beginnt der Prozess mit dem Auslesen der LDRs von vorne.

Werkstattbericht

Der nächste Schritt war, dass wir den Solartracker entsprechend unseren theoretischen Vorstellungen in die Tat umsetzten. Dafür verschafften wir uns zunächst mithilfe von Prototypen aus Pappe einen Überblick über die Möglichkeiten und Aufbauvarianten eines Solartrackers.



Beim Testen eines Prototypen

Aufgrund der geringen Stabilität der Pappe begannen wir jedoch sehr schnell mit dem Bau der finalen Version aus Holz. Dazu nutzten wir den Handwerksraum des Eckenberg-Gymnasiums. Hier sägten wir nach einer Vorlage unsere Bauteile aus Holz aus, die wir dann zusammenleimten. Danach schraubten wir die Servos in die Holzstücke.



Beim Bauen in der Werkstatt

Damit war das Grundgerüst des Solartrackers fertig. Anschließend bastelten wir den oberen Teil des Solartrackers. Es besteht aus Pappe, LDRs und den Solarpanels. Dieses klebten wir dann an den oberen Servomotor. Nun fehlte uns nur noch die Verkabelung und der Code. Die Verkabelung war schnell gelötet, und bis

auf ein paar vertauschte Kontakte lief es auch relativ problemlos. Also begannen wir mit dem Schreiben des Codes. Anders gesagt stellten wir uns unserer letzten großen Hürde.



Beim Überprüfen der Schaltung

Der Code für den Solartracker

Der Code sollte das Solarpanel entsprechend des Programmablaufplans durch das Vergleichen der LDR-Werte so ausrichten, dass alle Werte (im Rahmen des Toleranzwertes) gleich sind, weil sie dann gleich stark von der Sonne beschienen werden.

Im Folgenden haben wir unseren gesamten Code für besonders Interessierte eingefügt. Anschließend gehen wir noch einmal auf die einzelnen Programmabschnitte ein:

```
//Einbinden von Bibliotheken
//und Deklarieren der Variablen
#include <Servo.h>
Servo Kippen;
Servo Drehen;
int kippwinkel = 90;
int drehwinkel = 90;
int LDR1;
int LDR2;
int LDR3;
int LDR4;
int Toleranz = 70;

void setup() {
  //Startwert der Motoren festlegen
  Kippen.attach (5);
  Drehen.attach (6);
  Kippen.write (kippwinkel);
  Drehen.write (drehwinkel);
}
```

```
void loop() {
  //Auslesen der LDRs
  LDR1 = analogRead (A0);
  LDR2 = analogRead (A1);
  LDR3 = analogRead (A2);
  LDR4 = analogRead (A3);

  //Abfrage 1:
  //Ist LDR 1 kleiner als LDR 3?
  if (LDR1 + Toleranz < LDR3)
  {
    kippwinkel = kippwinkel + 2;
    Kippen.write (kippwinkel);
    if (kippwinkel > 180){
      kippwinkel = 180;
      Kippen.write (kippwinkel);}
  }

  //Abfrage 2:
  //Oder umgekehrt?
  if (LDR3 + Toleranz < LDR1)
  {
    kippwinkel = kippwinkel - 2;
    Kippen.write (kippwinkel);
    if (kippwinkel < 0){
      kippwinkel = 0;
      Kippen.write (kippwinkel);}
  }

  //Abfrage 3:
  //Ist LDR 4 kleiner als LDR 2?
  if (LDR4 + Toleranz < LDR2)
  {
    drehwinkel = drehwinkel - 2;
    Drehen.write (drehwinkel);
    if (drehwinkel < 0){
      drehwinkel = 0;
      Drehen.write (drehwinkel);}
  }

  //Abfrage 4:
  //Oder umgekehrt?
  if (LDR2 + Toleranz < LDR4)
  {
    drehwinkel = drehwinkel + 2;
    Drehen.write (drehwinkel);
    if (drehwinkel > 180){
      drehwinkel = 180;
      Drehen.write (drehwinkel);}
  }
}
```

```
    delay (500); //Pausenzeit 0,5s
}
```

Am Anfang des Programms werden einmalig sowohl die Variablen für die beiden Servomotoren zum Drehen und Kippen des Aufsatzes als auch die Variablen für die vier LDRs und den Toleranzwert deklariert.

In der darauffolgenden Schleife, dem loop, werden zuerst die LDRs ausgelesen. Diese Werte werden miteinander verglichen, und nach dem Vergleich werden die Servomotoren so ausgerichtet, dass sie sich zum niedrigeren LDR-Wert, der der größeren Helligkeit entspricht, drehen. Dabei wird zusätzlich darauf geachtet, dass keiner der Servomotoren einen Winkel von 0° unterschreitet oder einen Winkel von 180° überschreitet. Bis auf ein paar Zitteranfalle der Servomotoren funktionierte dies ganz gut. Wir vermuteten, dass die Zitteranfalle durch Überbelastung der Servomotoren ausgelöst wurden. Nach weiteren Testläufen löste sich bei vielen der Kleber, weshalb wir dann auch das obere Modul verschraubten.

Fazit

REBEKKA

Am Ende hatten alle einen zwar nicht ganz makellosen, aber funktionierenden Solartracker, den wir trotz vieler Herausforderungen zusammengestellt hatten. Diese waren nicht immer einfach zu lösen und erforderten manchmal stählerne Nerven, aber letzten Endes fanden wir auf fast alles eine Antwort: Funktionierte der Code nicht? Dafür reichte ein Vergleich mit einem bereits Funktionierenden. Anfangs hatten wir auch ein Problem mit der Stabilität der Konstruktion, da wir die Servomotoren nur mit Kleber befestigt hatten. Also mussten wir die Konstruktion wieder demontieren und das Ganze anschrauben.

Mal war auch der Solartracker falsch verkabelt. Hierfür mussten wir die einzelnen Kabel des Breadboards durchgehen und überprüfen, welches falsch eingesteckt war, was eine echte Fleißarbeit war. Manchmal waren einzelne LDRs defekt. Das lösten wir, indem wir sie mit

einem Messgerät auf Durchgang prüften. Piepte das Messgerät nicht, war der LDR defekt und musste ersetzt werden. Unser letztes, nur halb gelöstes Problem war das Zittern der Servomotoren. Unsere Vermutung war hier, dass die Gewichtsverteilung nicht ideal war, jedoch fehlte uns hier die Zeit für weitere Lösungsversuche.

Schließlich stellte sich aber noch eine letzte Frage: Lohnt sich der ganze Aufwand, einen Solartracker zu bauen, oder erbringt eine „normale“ Solarzelle die gleiche Leistung? Nach einigen Messungen in der Sonne, die wir mit einem unserer Solartracker und einer normalen Solarzelle durchgeführt hatten, konnten wir feststellen: Ein Solartracker lohnt sich definitiv. Denn selbst wenn unsere Messwerte nur kleine Unterschiede zwischen Solartracker und Solarzelle vorwiesen, wurde der Unterschied über einen längeren Zeitraum beträchtlich größer. Somit kamen wir zu dem Schluss, dass selbst wenn ein Solartracker einige Nachteile hat, er sich letztlich für die Energieausbeute doch rentiert.

Schlussendlich haben wir unser Kursziel, die Funktion eines Solartrackers zu verstehen und zu bauen, erreicht, und auch wenn nicht immer alles glatt lief, stand uns jederzeit Hilfe zur Seite. So konnten wir aus diesen wahnsinnig spannenden zwei Wochen nicht nur einen Solartracker und viel neues Wissen mitnehmen, sondern auch neue Freundschaften und schöne Erinnerungen und Momente, an die wir noch lange zurückdenken werden. Denn in diesen Wochen ist aus uns ein echtes Team geworden. Und damit ein letztes: Physik, Hurra!

Insider und Zitate

- Lorenz: „Man öffnet eine Banane immer von unten, Felix!“
- Hurra!
- Schraubendreher (3) oder Schraubenzieher (alle anderen)
- Lorenz: „Erstmal ein Stimmungsbild!“
- Flasche offen oder zu weitergeben
- Erwischt!

- Meter (1), Meterstab (9), Zollstock (5) oder Gliedermaßstab (Duden)
- Hochspannende Experimente aus dem Bereich der ... Akustik
- Lorenz: „Ich studiere Physik, ich habe nichts mit ganzen Sätzen zu tun.“
- Der Kurs: „Wo sind Felix und Lorenz?“ – Geklimper aus der Physiksammlung
- Felix: „Wie war die KüA-Schiene?“ – Der Kurs: „...“
- Traubenschleudern – *Grapen* ist jetzt olympische Disziplin



- Die hintere Tafel wird nicht gewischt! – Das Tafelbild ist Kulturgut



Kursübergreifende Angebote (KüAs) und weitere Veranstaltungen

Musik

ALEXANDRA ANG, CATELYN KNÖDLER

Für die Musik-KüA konnte man sich bereits im Vorfeld über „Moodle“ anmelden. Die KüA-Leiter Isabella und Tobi schrieben und arrangierten dann Stücke für unsere Besetzung, welche wir in den zwei Wochen in der Akademie intensiv probten und am Hausmusikabend und am Abschlussabend aufführten.



Die Musik-KüA bestand dieses Jahr aus (knapp) 30 Teilnehmern, eine beachtliche Anzahl. Darunter befanden sich zehn Pianisten, was dazu führte, dass einige von ihnen umgeschult wurden und das Schlagwerk übernahmen oder aushalfen. Dennoch gab es eine Menge an verschiedenen Instrumenten aus allen Musikrichtungen. Auch einige orchesteruntypische Instrumente wie E-Gitarre oder Schlagzeug waren vertreten.

Da die Akademie unter dem Motto „Türen“ stand, war unser Repertoire an dieses Thema angelehnt, beginnend mit einer OuveRTÜRE aus der Operette „Ritter Blaubart“ von Jacques Offenbach, gefolgt von „Die Chroniken von Narnia“. Hierbei wurde den Zuhörern ermöglicht, die Reise nach Narnia durch die Schranktür musikalisch nachzuempfinden. Und das passte natürlich bestens zu unserem Motto, genauso wie „Alice’s Theme“ aus Alice im

Wunderland. Bei dieser Auflistung darf auch unsere Akademieband nicht fehlen. Was passt für die besser als „The Doors“?

Zu Anfang hörten sich zwei Wochen Vorbereitungszeit sehr lang an, aber es wurde schnell klar, dass die Zeit sehr knapp bemessen war. Zwar war jeden Tag die Mittags-KüA-Schiene für Musik reserviert, aber durch Dinge wie den Wandertag oder den Sporttag verkürzte sich die Probenzeit enorm. Also hieß es: proben – ob mit dem gesamten Ensemble, in den einzelnen Stimmen oder auch mal alleine.



Trotz der kurzen Zeit schafften es alle Musiker mit Bravour, eine sehr gelungene Aufführung auf die Beine zu stellen. Das war in erster Linie Isabella und Tobias Flick zu verdanken, die die Musik-KüA leiteten. Aber auch jeder einzelne Teilnehmer der Musik-KüA hat seinen Teil dazu beigetragen, die Zeit unvergesslich werden zu lassen.

Theater

MARIA KOPETZKI

Die Theater-KüA, die von Thorsten Feldmann geleitet wurde, war dieses Jahr eher eine Film-KüA. Aufgrund der Corona-Situation konnte in dieser Akademie leider keine Theatervorstellung stattfinden. Doch sollte die beliebte KüA

deshalb nicht ausfallen. Der ehemalige Schauspieler, Theaterpädagoge und derzeitige Grundschullehrer eröffnete das erste Treffen mit der Ansage, einen Film zu drehen. Dies sollte sich als eine große und aufregende Herausforderung herausstellen, die jedoch einen Riesenspaß und viel Teamgeist mit sich brachte.



Während der ersten Treffen, die immer mittags von 13:45 Uhr bis 15:45 Uhr stattfanden, erprobten wir unsere Improvisationskünste mittels lustiger Rollen, die von den jeweils zuschauenden Teilnehmern vergeben wurden. Da viel gelacht wurde, könnte man meinen, dass diese Spiele zwar allgemein erheitend waren, jedoch nicht wirklich zum Fortschritt des Films beigetragen haben. Es stellte sich aber heraus, dass die einzelnen Szenen des Films, die wir nicht Wort für Wort aufgeschrieben hatten, dadurch viel leichter umsetzbar waren.

Wurden in den letzten Jahren zum Motto passende bereits vorhandene Theaterstücke auf die Bühne gebracht, so hatten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Theater-KüA dieses Jahr das Glück, selbst ein Stück zu erfinden. Der Film namens „Cortinarius Orellanus“ handelt von einem Internat, auf dem eine Gruppe von Freundinnen die „wahre Erzählung“ vom Froschkönig hört, welche besagt, dass die Prinzessin den Frosch zwar küsste, beim hässlichen Antlitz des erscheinenden Prinzen jedoch so erschrak, dass sie ihn wieder zurück in den

Brunnen warf. Diese Geschichte nutzt eine rachsüchtige Schülerin aus, um die bereits genannte Clique vom Brunnen fernzuhalten, damit sie eine Freundin an eben diesem vergiften kann.



Jeden Tag drehten die Teilnehmer mit der Unterstützung zweier Kameramänner verschiedene Szenen. Dabei musste natürlich auf den Drehort und auch die Tageszeit geachtet werden. So gab es an zwei Tagen zum Beispiel auch Abendszenen, für die wir uns kurz vor Sonnenuntergang trafen. Jede Szene wurde mindestens drei Mal aufgenommen, bis sie perfekt war. Doch kam der Spaß hierbei sicherlich nicht zu kurz – denn was wäre ein richtig guter Film ohne die Outtakes?

Am letzten Tag vor der Filmpremierre setzten sich unsere fleißigen Kameramänner nochmal an die bereits fertigen Szenen und setzten die ganzen Puzzleteile zusammen. So wurde aus ein paar einfachen Ideen ein richtiger Film, dessen spaßige und einmalige Entstehung allen in Erinnerung bleiben wird.

Sport

SIMON GEISLER, MAJA LEBER

Ob frühmorgens um sieben, mit dröhnender Musik am Nachmittag oder bei noch mehr Sport um 20 Uhr abends: Wiebke und die Sport-KüA waren immer mit vollem Einsatz bei der Sache. Aus dem „langsamen Einstieg“ (Zitat Wiebke) wurde bei dieser Akademie wohl eher nichts, dafür wurde ordentlich durchgepowert, und ein jedes Sportlerherz kam auf seine Kosten. Nicht zu vergessen sind natürlich die merklich zu spürenden Muskeln am nächsten Morgen.

Frühspport

Alle Verrückten (wir eingeschlossen) stellten sich den Wecker freiwillig auf 6:45 Uhr. Die frühe Aufstehzeit war dabei nicht der einzige Grund, warum wir zu Recht als verrückt bezeichnet wurden. Es stand zu dieser Uhrzeit Frühspport für uns auf der Agenda. Egal ob STRONG Nation, Joggen, Zumba, Yoga oder Zirkeltraining: Ein paar Leute fanden sich immer. Durch den Frühspport war ein guter Start in den Tag vorprogrammiert. Die Müdigkeit war nach den 30 Minuten am Morgen immer wie weggeblasen, und die Musik beim Zirkeltraining und bei STRONG Nation rüttelte einen noch einmal extra wach. Auch eine kleine Joggingrunde oder ein „entspanntes“ Yoga-Training erfreuten sich regelmäßig großer Beliebtheit.



STRONG Nation – für alle, die noch eine Dosis Muskelkater brauchen

STRONG Nation, ein hochintensives Intervalltraining, welches seinesgleichen sucht! Insgesamt vier Mal wurde STRONG Nation angeboten. Egal ob für die Frühaufsteher, während der Nachmittags-Session oder für die Musiker sowie Schauspieler am Abend: Zu jeder Tageszeit trainierte Wiebke mit uns synchron zum Beat. STRONG Nation kombiniert sportliche Elemente für alle Körperregionen miteinander. Hierbei sorgt die mit den Elementen synchrone Musik für einen besonderen Motivationsschub und gibt einem das Signal, wann die nächste Übung an der Reihe ist.

Eine Session gliedert sich in vier Quadranten:

- Quadrant 1: Ignite (zünden)
- Quadrant 2: Fire Up (hochfeuern)
- Quadrant 3: Push Your Limits
(geh an deine Grenzen)
- Quadrant 4: Floorplay (Bodenübungen)

Der 1. Quadrant hat die Aufgabe, den Körper nach dem Warm-up weiter auf die anstehenden Belastungen vorzubereiten und die Herzfrequenz auf einen mittelhohen Wert ansteigen zu lassen. Doch warten hier auch bereits die ersten Herausforderungen in Form einer Liegestütz- und einer Bein-Challenge. Nach erfolgter „Zündung“ folgt eine 30–90 Sekunden lange Pause, die jeder gerne für einen kurzen Schluck nutzt.

Im 2. Quadranten steigert sich die Intensität des Cardio- und Muskeltrainings immer weiter, bevor nach einer weiteren kurzen Pause der anstrengendste Teil beginnt.

Der 3. Quadrant mit dem treffenden Namen „Push Your Limits“ kombiniert Elemente für den ganzen Körper wie Burpees (eine Kombination Kniebeuge, Liegestütze und Strecksprung) mit intensiven schnellen Bewegungen und erfordert mehr Ausdauer, Stabilität und Rumpfarbeit. Anschließend ist das Ende in Sicht.



Der 4. Quadrant beinhaltet ausschließlich Bodenübungen, welche die Bauch- sowie Rumpfmuskulatur ansprechen. Nach diesem letzten Quadranten werden zum Abschluss noch Dehnübungen durchgeführt, bei welchen der Puls wieder auf ein normales Niveau gebracht werden soll.

Am nächsten Morgen wusste jedermann, wer am vorherigen Tag bei STRONG Nation dabei war. Die Beine waren merklich spürbar.

Volleyball und weitere Bälle

Ob während der Freizeit oder auch bei der Sport-KüA: Volleyball war unter allen Sportarten die ungeschlagene Nummer eins. Die beiden Beachvolleyballfelder waren stets gut besetzt, und mit ein bisschen Musik war der Spaß garantiert.

Es standen aber auch ein paar andere Ballsportarten auf dem Programm. Dreimal spielten wir Badminton (auch auf dem Beachvolleyballfeld – besonders empfehlenswert) und einmal auch Basketball. Die Bälle standen den Teilnehmern prinzipiell immer zur Verfügung, was vor allem den Teilnehmenden der Musik- und Theater-KüAs zugutekam.

Auch wenn die Außentemperaturen nie die 30-Grad-Grenze überschritten, konnte ein ganzer Nachmittag in der prallen Sonne auf dem Volleyballfeld durchaus schweißtreibend sein. Dagegen half nur eins: Wasserschlacht!!!

Mit Eimern, Schwämmen und Bechern bewaffnet gingen nicht nur überhitzte Teilnehmer aufeinander los. Die kleine Abkühlung vor dem Kurs stieß auch bei der Akademieleitungsassistenz und den KüA-Anbietern auf große Begeisterung. Merit war immer sofort zur Stelle und plötzlich mitten im Geschehen. Da war es auch gar nicht so schlimm, dass das Schwimmbecken in der Sporthalle – laut Alex – nur als Biotop für Chlorfrösche und Steinfliegenlarven diente.

Ein bisschen Entspannung muss auch mal sein

Selbstverständlich bestand das knapp zweiwöchige Fitnessprogramm nicht nur aus schweißtreibenden Workouts und Joggen. Ganze drei Mal gab es auch etwas für diejenigen, die es gemütlicher angehen wollten. Insbesondere der Nachtspaziergang erfreute sich großer Beliebtheit (aber natürlich wurde auch dieser nebenbei gleich für das Ablaufen der morgendlichen Joggingrunde genutzt), aber auch beide Yogaeinheiten von Yogameisterin Maybritt waren sehr gut besucht (solange nicht parallel STRONG Nation angeboten wurde). Yoga sollte dabei jedoch keinesfalls synonym für „nicht anstrengend“ verwendet werden. Die Elemente

boten eine abwechslungsreiche Kombination aus Atem-, Dehn- und Muskelübungen, die allen Teilnehmenden Spaß und ein leichtes Ziehen in den Beinen bereiteten.



Alles in allem stellte das vielfältige Sportangebot ein echtes Highlight der diesjährigen Akademie dar und bot einen perfekten Ausgleich zur kognitiven Anstrengung, der nicht aus dem Akademiealltag wegzudenken war.

Nachtspaziergang

MARA GRÜNER

Das wohl entspannteste Sport-KüA-Angebot war der Nachtspaziergang. Nachdem jedem eine Nummer zugeteilt worden war (schließlich sollte ja unterwegs niemand verloren gehen), machten wir uns auf den Weg in den Wald. Die fröhliche Gesprächsatmosphäre nahm immer mehr Fahrt auf, es wurde jede Menge gelacht, und nicht zuletzt bot der Spaziergang tolle Gelegenheiten, sich näher kennenzulernen.

Auf dem Weg gab es so manche Challenges, wie beispielsweise nicht gegen seinen Nachbarn zu laufen oder in ein Loch zu treten, die uns, völlig in unsere Gespräche vertieft, teilweise ziemlich herausforderten. Gegen Ende wurden wir plötzlich von einem lauten „Buh!“ aus dem stockdunklen Wald erschreckt. Wie sich herausstellte, hatten sich die Schülermentoren einen Spaß erlaubt. Wieder auf dem Campus angekommen, wurde noch ein letztes Mal gaaanz übersichtlich durchgezählt: Zuerst alle Primzahlen, dann die geraden und zuletzt die noch verbliebenen ungeraden Zahlen. Danach bestanden natürlich keinerlei Zweifel mehr daran,

dass niemand abhandengekommen war, und wir kehrten zufrieden ins LSZU II zurück.

Zusammenfassend kann man definitiv sagen: Das spaßige Kiefermuskel-Workout hätte noch ewig weitergehen können und weckte große Vorfreude auf die allgemeine Nachtwanderung!

FIMO

STEFANIE PICK

Die FIMO-KüA wurde auf Wunsch der Teilnehmer sogar zweimal von der Akademieleitungsassistentin Merit angeboten. Das erste Mal fand sie in der Mittags-KüA-Schiene statt.

Da Merit früher viel mit FIMO bastelte, hatte sie eine große Anzahl an Restbeständen, die sie für uns mitbrachte. Wir waren eine große Gruppe und standen zuerst vor der Herausforderung, die doch etwas trockene und bröselige Masse weichzukneten, was zwar ziemlich lange dauerte, aber auch sehr entspannend war. Wir durften in den zwei Stunden kneten, was wir wollten, und hatten jede Menge Spaß. Sogar so viel, dass wir Merit baten, die KüA nochmal anzubieten. Das zweite Mal fand sie in der Abend-KüA-Schiene statt, so hatten auch die Teilnehmer der Musik- und Theater-KüA die Chance, daran teilzunehmen.



Es entstanden viele schöne Kunstwerke, von Schildkröten und Vögeln über Kurslogos bis hin zu einer detaillierten Tür war alles dabei. Unsere Kunstwerke durften wir dann beim nächsten Plenum abholen. Es hat uns allen riesigen Spaß gemacht, vielen Dank für die tolle KüA!

Das Spiel

TILL SALOMON, YANCHEN ZHENG

„Man wird so richtig fertiggemacht!“, damit warben die Schülermentoren gleich kräftig für „Das Spiel“, bei dem ein Diskussionsrollenspiel mit mehreren Runden durchgespielt werden sollte. Die Begeisterung, mit der sie auf das Spiel aufmerksam machten, ließ uns neugierig werden, sodass immer mehr Namen eingetragen wurden. Am Ende kamen rund vierzig erwartungsvolle Spieler zusammen, die sich auf viel Spaß beim Diskutieren freuten. Sie mussten zum Spielen in drei separate Gruppen aufgeteilt werden. Wir alle freuten uns auf einen lustigen und ereignisreichen Abend.

Zu dritt schlüpfen wir in eine von fünf Rollen, deren Position uns auf einem Zettel mitgeteilt wurde. Wir überlegten uns gemeinsam, wie wir am besten für unser Anliegen argumentieren könnten. In jeder Runde saß jeweils nur eine Person am Diskussionstisch, wobei man sich zwischen den Runden innerhalb der Rolle abwechselte. Zwischen den Runden durfte man nochmal die Argumentationsstrategie der Rolle mit den anderen Rollenmitgliedern absprechen. Am Ende des Spiels wurden unsere Erwartungen erfüllt, es kam zu mehr als nur einem spannenden Schlagabtausch und vielen witzigen Theorien. Am nächsten Tag war der Ausgang des Spiels noch ein großes Gesprächsthema, und wir unterhielten uns darüber, was in den drei Gruppen jeweils das Ergebnis der Diskussion war. Letztendlich kamen wir zu dem Schluss, dass „Das Spiel“ für alle sehr bedeutsam war, und erinnern uns gerne an den Spaß beim Argumentieren zurück.

Klatschen

SALOMON OBERSCHMID

Wie der Name schon verrät, haben wir in dieser beliebten und viel besuchten KüA beim Klatschen, Klopfen und Schnipsen verschiedener Rhythmen zusammen unser Taktgefühl trainiert. Wir haben vier verschiedene Klatschvariationen ausprobiert, wobei fast alle ziemlich gut funktioniert haben. Die dritte war die schwerste, doch mit der Zeit haben wir auch

die hinbekommen. Ein weiteres Highlight war, dass jeder Teilnehmer einen KüA-Leiter für sich allein hatte, bei mir war es Tobi. Bei der überwältigenden Teilnehmerzahl von einer Person war es auch nicht schwer, genügend Leiter zu organisieren. Die KüA hat so oder so sehr viel Spaß gemacht und ich würde jedem empfehlen, sie mal zu besuchen.

Altgriechisch

BENEDIKT MUSCHEL

Sokrates [So]: Oh Freund, sag aber freilich also, was sind die in einer Altgriechisch-KüA getanen Dinge?

Philos [Ph]: Es scheint mir etwas mit einer alten Sprache zu tun zu haben.

So: Nun sag aber, was meinst du, wenn du sie eine alte nennst.

Ph: So alt, dass sogar Homer in dieser Sprache geschrieben hat.

So: Was aber interessiert uns das, was Homer vor 3000 Jahren geschrieben hat.

Ph: Es ist von großer Bedeutung?

So: Weswegen aber also?

Ph: Es bewegte viele über Jahrtausende wie die Wellen Odysseus' Schiffe.

So: Gewiss freilich also. Es scheint mir, dass dies ein hohes Gut ist. Was aber waren genau die in der Griechisch-KüA getanen Dinge?

Ph: Konjugation, Deklination und Präposition.

So: Das scheint mir interessant. Wie viele Tage und Nächte waren dafür denn vorgesehen?

Ph: Zwei Stunden sollten es getan haben.

So: Dies dürfte reichlich schwierig gewesen sein, sollten die Teilnehmenden nicht über eine übermenschliche Auffassungsgabe verfügt haben.

Ph: Diese sei als gegeben angenommen.

So: Nun sag, welchen Nutzen hat man an Deklination, Konjugation und Präposition? Dürfte man Homer wohl anhand seiner Verbendungen verstehen?

Ph: Keineswegs!

So: So erkläre mir, was ist dann der Nutzen des Ganzen?

Ph: Der Wörterbücher gibt es viele! Ein Meister der Grammatik ist mehr als ein halber Meister der Sprache.

So: So sage mir, Meister der Grammatik, wel-

che Schriften konntet ihr denn nun im Original lesen?

Ph: Allerhand! Bedeutsame Gedichte aus der Anthologia Graeca.

So: Freilich. Wer kennt diese Meisterwerke der Literatur nicht?! Der Nutzen der Altgriechisch-KüA scheint mir nun nicht mehr als ein in Frage zu stellender.

Origami

BENEDIKT MUSCHEL

„Das Origami ist die Kunst des Papierfaltens. Ausgehend von einem zumeist quadratischen Blatt Papier entstehen durch Falten zwei- oder dreidimensionale Objekte wie Tiere, Papierflieger, Gegenstände und geometrische Körper.“¹ So zumindest beschreibt Wikipedia „Origami“. Doch bei uns in Adelsheim war es noch viel mehr als das. Klar, bei einigen Teilnehmerinnen bildeten sich wahrhaftige Kunstwerke. Was ich sah, ließ mich definitiv an mir selbst und meinen Fähigkeiten zweifeln, so mühelos, akkurat und kunstfertig bastelten die Teilnehmerinnen diese Faltkunstwerke zusammen.



Aber, wie ich eben sagte, Viktoria ist mit ihrer KüA noch deutlich mehr als nur das gelungen. Die Gespräche, die in dieser KüA beim Falten der „zwei- oder dreidimensionalen Objekte“ geführt wurden, waren definitiv mehr-, wenn nicht sogar vieldimensional. Es wurde gelacht, gescherzt und vor allem der neueste Klatsch und Tratsch ausgetauscht – was nicht zuletzt an der äußerst lobend zu erwähnenden Erzählbereitschaft der Teilnehmerinnen lag! Deshalb

¹Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Origami>, zuletzt abgerufen am 18.09.22

sei zum Ende dieses Berichts ein Lob an Euch und natürlich an Viktoria auszusprechen: Ihr wart spitze!

Mondrakete

SEBASTIAN CONRAD, YANCHEN ZHENG

2022 ist das Jahr, in dem auch die junge Generation ihren Apollo-Moment haben soll. Seit der Apollo-17-Mission im Jahre 1972 hat kein Mensch mehr den Mond betreten. Im Jahr 2011 beauftragte der US-Kongress die NASA mit dem Bau einer neuen Schwerlasttrakete. So sollten wieder Menschen in Richtung Mond geschickt werden. Diesmal beteiligt sich auch die ESA (European Space Agency) an dem Projekt, wodurch in den nächsten Jahren auch der erste Europäer den Mond betreten soll. Diese neue Mission wurde „Artemis“ genannt.

Die Artemis-1-Mission soll unbemannt sein, um alle Systeme für Folgemissionen zu testen. Während der Science Academy sollte es nach etlichen Verzögerungen endlich so weit sein, und das „Space Launch System“ sollte im Rahmen des Artemisprogramms passenderweise genau in unserer KüA-Schiene am Nachmittag des 29. 8. starten. Für diesen interessanten Anlass versammelte uns Moritz zur Mondraketen-KüA, bei der wir den Raketenstart in einem Livestream mitverfolgen wollten. Er kannte sich bestens aus, denn er beschäftigt sich als Mitarbeiter der ESA beruflich schon lange mit Raumfahrt-Raketen.

Zunächst erhielten wir Grundinformationen zu der Mission und schauten uns verschiedene Raketen an. Wir besprachen, wie ein Raketenstart genau abläuft, und sahen hierbei die historischen Aufnahmen eines Saturn-V-Starts an. Dabei konnten wir zum Beispiel das Abkoppeln der Raketen von der Startrampe sehen sowie den Moment, als die Rakete die Schallmauer durchbrach.

Als jedoch der Countdown des Livestreams 40 Minuten vor dem geplanten Start pausiert wurde, kam der Verdacht auf, dass der Start der monströsen Rakete an diesem Tag verschoben werden könnte. Wir rätselten über Möglichkeiten für den Grund der Verzögerung und hofften darauf, dass das Problem behoben werden

konnte. Wenige Minuten später wurde der Start dann jedoch offiziell von der NASA abgebrochen. Später erfuhren wir aus einer anschließenden Pressekonferenz, dass die Pausierung durch einen fehlerhaften Sensor ausgelöst worden war. Er zeigte eine falsche Temperatur an, wodurch, wie im Livestream angedeutet, geglaubt wurde, eines der Triebwerke könne nicht richtig heruntergekühlt werden.



Am 16. November ist die SLS-Rakete mit dem Raumschiff Orion im Rahmen der Artemis-1-Mission dann doch noch erfolgreich gestartet.²

Obwohl wir sehr enttäuscht waren, erzählte uns Moritz, dass der Raketenstart trotzdem noch während der Akademiezeit stattfinden könnte. Tatsächlich fiel zunächst auch der verschobene Starttermin auf unsere Abend-KüA-Schiene. Bevor wir uns erneut versammelten, hieß es jedoch von der NASA, dass der Starttermin erneut verschoben werden müsse. Trotzdem konnte uns Moritz viel Wissen über Raketen und auch die ESA mitgeben und konnte uns für diese Themen begeistern. Jetzt verfolgen wir umso gespannter die weiteren Entwicklungen der Artemis-1-Mission. Danke, dass du uns darauf aufmerksam gemacht hast und uns die spannende Mondraketen-KüA angeboten hast, Moritz!

Leseabend

MARLEN BAUMANN

Als im Plenum verkündet wurde, dass Teresa und Rebekka eine Lesen-KüA veranstalten würden, spitzten alle Bücherwürmer die Ohren.

²Abbildung: NASA/Bill Ingalls

Abends haben wir uns dann, mit unseren Büchern unterm Arm, in einem gemütlichen Raum mit roten Sofas getroffen. Bevor wir aber anfangen zu lesen, mussten wir uns erstmal über unsere Bücher austauschen. Dann hieß es: „Mögt ihr diese und jene Autorin?“ – „Omg, das Buch kenne ich auch!“ – „Was?! Das ist auch mein Lieblingsgenre!“ Danach sind wir in unseren jeweiligen Büchern versunken und konnten uns zum Schluss gar nicht mehr losreißen – der Spruch „Nur noch ein Kapitel!“ hat noch nie besser gepasst. Eine tolle KüA, bei der nicht nur Buchempfehlungen, sondern auch Kontaktdaten ausgetauscht wurden!

Schach

THEO HÖRSTER

An zwei Abend-KüA-Schienen fand die Schach-KüA statt, die durchaus gut besucht war. Viele begeisterte Schachspieler, manche erfahrener, andere neuer, kamen zusammen und spielten spannende Partien, dennoch herrschte eine entspannte Stimmung. Neben der KüA spielten die Teilnehmer auch bei vielen weiteren Gelegenheiten Schach, online oder am Brett.

Programmieren

IRFAN TOPAL, YANCHEN ZHENG

Zu Beginn der Programmier-KüA erzählte jeder etwas über sich und seine Programmier-vorkenntnisse. Dabei erfuhren auch wir einiges über unsere KüA-Leiter. Irfan (Mathe/Informatik) programmiert schon seit sechs Jahren, hauptsächlich mit den Sprachen PHP, C++, C# und Node.js. Tibor (Biologie) hat während der Corona-Pandemie angefangen, verschiedene Programmiersprachen auszuprobieren, und nutzt auch hauptsächlich Node.js, aber auch CSS und HTML-Webseiten zum Programmieren.

Die meisten Teilnehmer der KüA hatten nur ein wenig Programmiererfahrung in der Schule oder in ihren Kursen, insgesamt mussten uns unsere KüA-Leiter also erst einmal in die Grundlagen des Programmierens einweisen.

Wir begannen damit, uns zu überlegen, welche Programmiersprachen es noch gibt. Irfan und Tibor erzählten dabei, wofür die einzelnen Sprachen gedacht sind und welche Vor- und Nachteile dadurch entstehen. Mit Python kann man zum Beispiel vor allem in der Wissenschaft gut Daten analysieren und künstliche Intelligenzen programmieren. Python ist auch einfach zu verstehen, während man mit JavaScript gut Webseiten programmieren kann. So konnten wir uns überlegen, was wir uns in dieser KüA erarbeiten wollten und welche Sprache wir dazu lernen mussten. Es gab die Option, eine verschlüsselte Kommunikationsapp zu programmieren oder eine eigene Webseite zu erstellen, wofür schlussendlich die meisten stimmten.

Wir diskutierten, wie Webseiten funktionieren, haben uns den HTML-Code von verschiedenen Webseiten wie Google angeschaut und uns überlegt, wie man sich eine eigene Webseite aufbauen kann. Dabei ist die Auszeichnungssprache HTML essenziell. Zum HTML-Schreiben braucht man nur einen Texteditor, also ein Computerprogramm, mit dem man einen Text bearbeiten kann. Mit passenden Elementen, zum Beispiel `
` für einen Absatz, kann man die Darstellungsweise seiner Texte auf der Website bestimmen. Die Textdatei muss dann immer als HTML-Datei gespeichert werden, welche sich im Webbrowser als Webseite öffnen lässt.

Nach der interessanten Theorie konnten wir nun zum praktischen Teil kommen und selbst mit HTML experimentieren. Dabei zeigten uns die KüA-Leiter die Selbstlernwebseite W3Schools, mit der wir unbekannte Elemente (sogenannte HTML-Tags) nachschauen konnten und auch selbstständig Programmieren mit Aufgaben auf der Webseite übten. Wir begannen mit eigenen Projekten, für die wir Bilder auf unsere Webseite einfügten, ein Schachbrett mit HTML darstellten oder einfach unsere Webseite mit einem Titel und Texten füllten. Sowohl beim Verwirklichen unserer eigenen Ideen als auch beim Üben konnten uns unsere Leiter bei Fragen stets weiterhelfen. Danke Irfan, danke Tibor! Leider endete unsere KüA danach, aber wir bekamen einen ersten Einblick in die Webseitenprogrammierung und sind sehr motiviert, uns weiter damit zu beschäftigen.

Wikingerschach

LEONIE MARWITZ

Geschickt musste man bei dieser KüA sein. Das Ziel dieses Spiels ist es, die Klötze der anderen Mannschaft abzuwerfen und abschließend den König, welcher in der Mitte steht, zu treffen. Leichter gesagt als getan. Die Klötze der gegnerischen Mannschaft standen dabei bis zu acht Meter von den eigenen entfernt, hinter denen man zum Werfen stehen muss. Wenn man es schafft, einen Klotz der zweiten Mannschaft zu treffen, muss diese den Klotz irgendwo auf die von sich aus andere Spielhälfte werfen. Ab diesem Zeitpunkt gibt es für die Mannschaft ein neues Ziel: den Klotz abzuwerfen, welcher in die andere Spielhälfte geworfen wurde. Erst, wenn sie diesen Klotz treffen, dürfen sie mit den an der Wurflinie der gegnerischen Mannschaft stehenden Klötzen weitermachen. Der Vorteil derer, die den Klotz von der zweiten Mannschaft zuvor abgeworfen hatten, ist, dass sie von da aus werfen dürfen, wo dieser von der zweiten Mannschaft hingeworfen wurde. Dadurch stehen sie näher an der gegnerischen Klotzreihe. Wenn es dann einer Mannschaft gelingt, alle Klötze des Gegners umzuwerfen, kommt der letzte Schritt: den König abzuwerfen. Dabei muss man mit dem Rücken zum König stehen und mit der schwächeren Hand durch die eigenen Beine werfen. Für die hinten liegende Mannschaft bietet diese zusätzliche Schwierigkeit möglicherweise eine Chance zum Aufholen.



So war es auch in der KüA. Ein Team musste noch drei Klötze, das andere musste nur noch den König umwerfen. Durch die Einschränkung beim Umwerfen des Königs konnte das hinten

liegende Team aufholen. Die letzten Minuten der KüA ging es dann darum, wer den König als Erstes umwirft. Am Ende gewann das Team, welches vorher im Rückstand war. Letztendlich haben beide Teams einmal gewonnen und alle Mitspielerinnen und Mitspieler auch eine stärkere schwache Hand.

Debating

ALEXANDRA ANG

Abends in der KüA-Schiene versammelten wir uns in kleiner Runde zur Debating-KüA. Unter dem aus dem Englischen entnommenen Begriff „Debating“ versteht man Debattieren auf Englisch. Nachdem uns der KüA-Leiter Mathis eine Einführung in den Ablauf und die Vorgehensweise gegeben hatte, ging es los mit zwei Argumentations- und Debattierspielen – auf Englisch.

Zuerst ging es darum, zu verschiedenen Ideen zu argumentieren, weshalb sie als Motiv unseres Akademie-T-Shirts geeignet wären. Dabei kam es zu einigen Vorschlägen, welche tatsächlich gar nicht so abwegig waren, wie beispielsweise ein Fenster, passend in Anbetracht unseres Mottos „Türen“. Aber auch einige „ungewöhnliche“ Vorschläge wurden überzeugend vermittelt. Kaum vorstellbar, mit welcher Begründung ein Mülleimer das Motiv unseres Akademie-T-Shirts werden sollte. Interessant war auch zu sehen, wie die Teilnehmer sich auf Englisch ausdrückten.

Im zweiten Spiel war die Aufgabe, einen von den anderen ausgewählten Charakter zu vertreten und gegenüber den anderen zu argumentieren, weshalb dieser Charakter am Leben bleiben sollte. Ziel des Spiels war es, dass man selbst am Leben blieb, wenn am Ende ein Charakter geopfert wurde. So kam es dazu, dass die Queen, Wladimir Putin, Angela Merkel und Donald Trump in einem abstürzenden Heißluftballon saßen und entscheiden sollten, wer von ihnen als Ballast abgeworfen wird. Wer wohl gestorben ist ...? Das gemeinsame Debattieren führte zu interessanten Überlegungen, neu entdeckten Talenten und vielleicht einem neuen Hobby. Aber auf jeden Fall zu ganz viel Spaß und einigem zu lachen.

Wildhüten

THEO HÖRSTER

Auf dem Gelände des LSZU lassen sich einige Tierarten beobachten, aber die Wildhüten-KüA befasste sich nicht direkt mit ihnen. Interessierte mussten allerdings einen Eid auf den Schweigefuchs leisten, in dem sie gelobten, weder Halbwissen noch Erkenntnisse an Außenstehende weiterzugeben, bevor sie mit ihrer Ausbildung beginnen durften. Insofern darf auch dieser Artikel nicht zu sehr ins Detail gehen.

Nach dem Eid erklärten Jörg und Paul uns, worum es in der KüA geht: In Zusammenarbeit mit der World Wildlife Foundation überprüfen wir, wie sich der Bestand bedrohter Tierarten über die Zeit entwickelt. Die Kernkompetenz eines Wildhüters muss deshalb auch das Zählen der Tiere sein. Für unsere Wildhüterausbildung simulierten wir deshalb einen Flug über ein Gebiet mit wilden Tieren und zählten sie auf bestimmte Weise. Allerdings mussten wir selbst herausfinden, wie. Trotz anfänglicher Verwirrung gelang es manchen Teilnehmern, zu Wildhütern erster, zweiter, dritter, vierter, fünfter oder sechster Stufe aufzusteigen oder sogar ihre Ausbildung abzuschließen. Insgesamt können wir die KüA nur weiterempfehlen und hoffen, dass sie nächstes Jahr fortgeführt wird.

PowerPoint-Karaoke

NISHANT BHALLA

Beim Lesen dieser Überschrift könnte man sich fragen: „Was ist PowerPoint-Karaoke überhaupt?“ Es hat sich herausgestellt, dass man bei der PowerPoint-Karaoke im Endeffekt eine Präsentation halten muss. Aber das muss völlig unvorbereitet und ohne die Folien zu kennen geschehen. Eben weil dadurch viele Paradoxa und einige bizarre Aussagen entstehen können, wussten alle, dass dieser Programmpunkt zu einem der lustigsten am Tag gehören würde.

Nachdem wir zu Beginn eine ausführliche Präsentation mit Beschriftung auf den Folien gehört hatten, in der es darum ging, wie man den Bakterien, die die Knochen von Astronauten

angreifen, ein schönes Leben machen kann, so dass diese die Knochen nicht mehr angreifen, hörten wir im Folgenden Präsentationen, deren Titel wir bestimmen mussten, die aber ansonsten nur Bilder enthielten. Das führte dazu, dass wir erfuhren, wie Einhörner das Staatssystem verbessern können und dass Waldbrände von Gott geschickt werden, um die Menschen glücklich zu machen, weil Waldbrände aus Ketchup oder Mayo bestehen. Natürlich gab es auch einige andere amüsante Themen, die zum Vergnügen der Teilnehmer führten. So beispielsweise die Theorie, dass Erbsenfürze zu der Entstehung neuer Galaxien führen, oder das Vorführen des Sonnentanzes.



Am Ende sind alle gut gestimmt aus dem Raum hinausgegangen, und wir sind Schülermentor Alex sehr dankbar, uns einen so schönen Nachmittag angeboten zu haben.

Inkscape

YANCHEN ZHENG

Auf dem Computer zeichnen, das geht mit dem Computerprogramm „Inkscape“, das uns die Bio-Kursleiterin Anna in dieser KüA näherbrachte. Da wir nur begrenzt viele Computer hatten, waren die Plätze heißbegehrt.

Inkscape ist ein Computerprogramm, das Bilder und Zeichnungen in Vektorgrafiken darstellt. Bei Vektorgrafiken werden die Bildelemente durch mathematische Formeln beschrieben. Bei Rastergrafiken dagegen, die öfter zur Speicherung von Bildern verwendet werden, bestehen die Bilder aus einzelnen Pixeln, die in einem Raster angeordnet sind. So wird ein Kreis in der Vektorgrafik als eine Fläche mit Mittelpunktkoordinaten, Radius und Farbe gespeichert.

chert, während er in der Rastergrafik aus vielen farbigen Pixeln bestehen würde. Ein Vorteil der Vektorgrafik ist dabei, dass die abgespeicherte SVG-Datei (Scalable-Vector-Graphics-Datei) viel weniger Speicherplatz einnimmt als Rastergrafiken, weil viel weniger Daten gespeichert werden müssen. Die Bilder im Programm kann man auch beliebig vergrößern, ohne dass sich die Bildqualität verändert. So eignet sich Inkscape perfekt zum Designen und Bearbeiten von wissenschaftlichen Zeichnungen. Das Programm ist kostenlos verfügbar, sodass wir es auch zu Hause gut anwenden können.

Anna erklärte uns dann die Grundfunktionen beim Zeichnen, zum Beispiel wo verschiedene Formen zu finden sind, wie man einen Farbverlauf erstellen kann und das Einfügen von Bildern. Wir durften dann selbst in Inkscape zeichnen und probierten gleich eifrig die Funktionen des Programms aus. Dadurch entstanden noch viele Fragen bei der Nutzung von verschiedenen Funktionen, bei denen uns Anna jedoch immer weiterhelfen konnte. Sie zeigte uns dafür nützliche Tricks, wie man zum Beispiel eine gerade Linie zwischen zwei Punkten nachträglich krümmen kann oder wie man ein sogenanntes Bitmaptracing macht.

Einige hatten das Ziel, in der KüA Zeichnungen für die Kursarbeit oder Skizzen für T-Shirt-Entwürfe zu erstellen, andere zeichneten einfach Bilder, um sich mit dem Programm vertraut zu machen und es zukünftig für Projektarbeiten zu verwenden. Diese Zeit für unsere Projekte erhielten wir nun, wobei wir zwischen durch von der Theater-KüA für einen Szenendreh unterbrochen wurden.

Da einige nach dem offiziellen Ende der KüA noch begeistert an ihrem Projekt weiterzeichnen wollten, war diese Unterbrechung eine gute Ausrede, um zu überziehen. So mussten wir noch zum Herunterfahren des Computers ermahnt werden, um nicht zu spät zum Kurs zu kommen. Die Inkscape-KüA hat uns allen viel Spaß gemacht, wir haben viel Interessantes gelernt und freuen uns nun, dieses Programm zu Hause weitzunutzen zu können. Bei Anna wollen wir uns für die hilfreiche KüA und den perfekten Einstieg in das Zeichnen mit Inkscape bedanken.

Häkeln

SEBASTIAN LENZ



In der KüA, die ich euch vorstelle, wurde fleißig gehäkelt. Vom Einsteiger bis zum Profi war alles vertreten. Die KüA-Leiterinnen Anna und Jana halfen, wo sie konnten, und brachten den Neulingen bei guter Stimmung und sehr warmen Temperaturen die Grundlagen des Häkelns bei. Dabei durfte man häkeln, was man wollte, und Jana hat sogar ihre heiß begehrte Reagenzglas-Häkelanleitung preisgegeben.

Danke an Anna und Jana für diese wundervollen zwei Stunden!

Exit Games

LEAH BEAN, MARA GRÜNER

Waren Sie schon einmal in einem Raum eingesperrt und mussten Rätsel lösen, um zu entkommen? Das ist das Konzept hinter den meisten Exit-Spielen. Solche haben wir auch in der Exit-KüA gespielt. Wir waren zwar nicht wirklich eingesperrt, aber wir mussten trotzdem Rätsel lösen. In der KüA wurde uns als erstes gezeigt, wie das Spiel funktioniert. Wir mussten uns eine App installieren, die uns Tipps geben kann und uns wichtige Hinweise zeigt. Das Spiel funktioniert so, dass man zu Beginn ein paar Karten erhält, auf denen Rätsel versteckt sind. Seine Lösungen gibt man in der App ein, die einem sagt, ob man es richtig gelöst hat. Für manche Rätsel braucht man auch „Fähigkeiten“ der App. Hat man ein Rätsel richtig gelöst, so erhält man neue Karten mit neuen Rätseln.

Wenn man alle Rätsel in der gegebenen Zeit gelöst hat, dann hat man gewonnen.



Nachdem alle das Spielprinzip verstanden hatten, haben wir uns in zwei Gruppen aufgeteilt und verschiedene Exit-Spiele gespielt. In meiner Gruppe waren wir Agenten und mussten einen Verräter finden. Dabei sind wir öfter ins Stocken geraten, weil wir eine Fähigkeit der App vergessen hatten und lange gebraucht haben, bis wir die Idee hatten, diese zu nutzen. Währenddessen haben wir uns besser kennengelernt und gut zusammengearbeitet. Obwohl wir nicht alle Rätsel rechtzeitig lösen konnten, hat es riesigen Spaß gemacht!

Stressregulation

LEONIE MARWITZ

Im Alltag Stress zu regulieren, darum ging es in dieser KüA. Bevor Alex Droß mit seinem Vortrag startete, stellte er klar, dass Stress vermeiden zu lernen seine Zeit braucht. In seinem Vortrag konnte man für sich verschiedene Strategien mitnehmen.

Die Pomodoro-Technik ist eine Lernstrategie, um das Lernen angenehmer und stressfrei zu ermöglichen. In der Strategie geht es darum, dass man sich 25 Minuten intensiv mit einer Aufgabe beschäftigt. Nach diesen 25 Minuten wird dann eine kurze Pause eingelegt und anschließend nochmal 25 Minuten gearbeitet. Nach jeweils vier Wiederholungen einer Arbeits- und Pausephase wird eine längere Pause gemacht. Man kann es sich wie einen Berg und einen Bergsteiger vorstellen. Wenn der Bergsteiger Stück für Stück hochklettert und sich immer wieder in einer Pause erholt, dann schafft er es, diesen zu er-

klimmen. Andernfalls eher nicht. Eine weitere vorgestellte Strategie war die 54321-Strategie. Sie ist besonders wirksam bei Blackouts. Laut Alex kann man einen Blackout ganz leicht beheben, da dieser nur eine kurzzeitige Denksperre und alles, was man gelernt hatte, auch noch im Kopf sei, selbst wenn man es während eines Blackouts nicht denkt. Die 54321-Strategie dient dazu, das Gehirn abzulenken. Erst soll man fünf Gegenstände im Raum nennen, anschließend vier Geräusche wahrnehmen, dann drei Dinge ertasten, zwei Gerüche wahrnehmen und abschließend eine Sache schmecken.

Auch ging es in dem Vortrag um Begriffsverwendung beziehungsweise Akzeptanz. Wichtig ist es bei diesem Thema, dass man negative Sätze positiv umformuliert. Ein Beispiel wäre: „Ich raff Mathe nicht!“ Statt es so negativ zu formulieren, kann man auch einfach sagen: „Ich habe meine Talente in Sport!“ Wir können direkt erkennen, wie viel schöner es für uns klingt.

Ganz am Ende der KüA konnten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer noch mit Alex nach draußen setzen und über ihre Stressprobleme reden. Wer sich traute, über seine Probleme zu sprechen, bekam einen ausführlichen und helfenden Tipp.

Cubing

YANCHEN ZHENG

Artur aus dem Mathe-/Informatikkurs hatte mit seiner Rubik's Cube Challenge am Wandertag die Aufmerksamkeit erregt. Er drehte nämlich mit jedem halben Kilometer einmal am Rubik's Cube und versuchte, ihn so zu lösen. Auf das Drängen seiner Mitwanderer hin bot er schließlich eine Cubing-KüA an, die bei sonnigem Wetter draußen vor Gebäude 6 stattfand.

Zuerst haben wir uns die vielen verschiedenen Zauberwürfel angeschaut, die er von zu Hause mitgebracht hatte. Er brachte uns dann bei, wie man unter anderem einen Pyraminx und einen $7 \times 7 \times 7$ -Zauberwürfel, aber auch einen regulären $3 \times 3 \times 3$ -Zauberwürfel löst. Dabei sollten wir bemerken, wie ähnlich zum $3 \times 3 \times 3$ -Cube sich die verschiedenen Würfel lösen ließen, und

dass das Lösen des Cubes mit den richtigen Algorithmen gar nicht so kompliziert oder schwer zu verstehen ist, auch wenn es lange zu dauern scheint. An der Stelle danke für deine Geduld beim Erklären, Artur!



Anschließend übte jeder, seinen Würfel so schnell wie möglich zu lösen. Dabei konnten wir uns die Präsentation der Stressregulations-KüA anschauen, deren Raum direkt vor uns lag. Wegen der Geräusche des riesigen Rasenmähers war jedoch zu wenig zu hören, weshalb wir uns auf das Würfellösen konzentrierten oder uns miteinander unterhielten. Dabei waren wir beeindruckt, als Artur erzählte, dass er erst vor rund vier Monaten mit dem Cubing angefangen hatte.

Auch wenn die KüA schnell vorbei war, wurden wir durch Arturs Erfahrungen und anschauliche Erklärungen stark ermutigt, uns in Zukunft weiter mit dem Lösen von Zauberwürfeln zu beschäftigen.

Blutabnehmen

HENDRIK BARAS, NISHANT BHALLA,
LEA SCHILLINGER

Der ursprüngliche Gedanke der Blutabnehmen-KüA war, wie der Name schon sagt, uns Teilnehmern das Blutabnehmen beizubringen. Doch es haben sich letztendlich so viele Teilnehmer dafür interessiert, dass das Angebot der KüA auf viel mehr spannende Vorgänge erweitert wurde.

Beim Blutabnehmen haben wir gelernt, wie man mit dem sogenannten „Butterfly“ Blut abnehmen kann. Diesen nennt man so, weil die Spitze, die an den Seiten zwei flügelähnliche

Plastikerweiterungen hat, tatsächlich ein wenig an einen Schmetterling erinnert. Obwohl wir mit echten Instrumenten gearbeitet haben, die auch so hätten im Einsatz sein können, mussten wir natürlich künstliches Blut verwenden, das durch eine Apparatur floss, die man sich auf den Arm binden konnte. Ganz wichtig dabei war, vorsichtig mit den Spritzen umzugehen und die Nadel richtig herum einzustechen. Denn eine solche Nadelspitze hat eine Seite, die etwas länger ist, und eine, die kürzer ist. Ein weiterer wichtiger Aspekt war das Kommunizieren mit dem Patienten und die Hygiene. Denn auch, wenn dies nur die Simulation einer Blutabnahme war, wollten wir es so realistisch wie möglich durchführen.



Aber nicht nur während, sondern auch nach dem Blutabnehmen gab es Dinge, die zu beachten waren. So mussten wir beispielsweise das Butterfly „entschärfen“, also die Spitze einfahren, sodass sich niemand daran verletzen kann. Schlussendlich hat jetzt jeder von uns, der bei der Blutabnahme-KüA dabei war, eine kleine Menge an Kunstblut in einer Monovette zu Hause und wird sich bei ihrem Anblick immer daran erinnern, dass dies unser erstes Kunstblut war, das wir abgenommen haben.

Wir haben uns auch näher angeschaut, wie man den Blutdruck misst. Dazu haben wir ein Stethoskop und ein Aneroid-Blutdruckmessgerät bekommen. Letzteres besteht nur aus einer Manschette, einem Balg und einem analogen Zifferblatt, welches den Druck in mmHg darstellt. Zuerst bat man den Patienten, sich hinzusetzen und für drei bis fünf Minuten Ruhe zu bewahren. Dann legte der „Arzt“ die Manschette am Oberarm an und blies sie mit Luft auf, bis das Zifferblatt 160 anzeigte. Sofort legte man

das Stethoskop unterhalb der Manschette auf die Armbeuge an, aber man hörte nichts. Dies ist auch richtig so, denn bei dem Druck, den die Manschette auf dem Oberarm ausübte, floss so gut wie kein Blut hindurch. Anschließend ließ man ganz langsam die Luft aus der Manschette hinaus. Als der Pulsschlag wieder zu hören war, las man die Zahl am Ziffernblatt ab, welches der Systolenwert wurde. Man ließ weiter die Luft aus der Manschette, bis man mithilfe des Stethoskops keinen Pulsschlag mehr hörte. Dies wurde dann der Diastolenwert.



Eine weitere Station war der Kniescheibensehnenreflex, auch Patellarsehnenreflex genannt. Man kennt ihn von Untersuchungen, wenn der Arzt mit einem Reflexhammer auf eine Stelle unterhalb der Kniescheibe klopft. Daraufhin schnellt der Unterschenkel als rasche Reaktion auf einen äußeren Reiz hervor.

Egal ob Blutabnehmen, den Kniescheibensehnenreflex ausprobieren oder Blutdruckmessen – alles hat sehr, sehr großen Spaß gemacht und bot uns die Gelegenheit, zumindest für eine Stunde Ärzte unserer kleinen Science-Academy-Welt zu sein, die gerade einen Patienten „behandeln“. Ein großes Dankeschön an Johanna, die diese KüA ermöglicht und organisiert hat!

Kreatives Schreiben

BENEDIKT MUSCHEL

Kreativität – daran mangelte es den Teilnehmerinnen und Teilnehmern dieser KüA definitiv nicht. Jeder Einzelne trug einen großen Anteil zum gemeinschaftlichen kreativen Prozess dieser KüA bei. Und das sage ich nicht nur so, das

war so! Denn wir hatten uns ein ganz besonderes System überlegt: Alle bekamen eine gewisse Zeit, um einen Anfang einer Geschichte mit vorgegebenem Thema zu schreiben. Danach wurde im Uhrzeigersinn rotiert und jeder bekam den Anfang des Nebensitzenden. So ging es weiter, bis alle Geschichten beendet waren. Wirklich gebannt hörten wir einander zu, als alle die Geschichte mit ihrem Ende vorlasen – nur gelegentlich unterbrochen durch Ausrufe der Vorlesenden wie: „Benedikt, was hast du da geschrieben?“, oder: „Was steht denn da? Das kann ja keiner lesen!“

Und was waren das für Geschichten! Die Kreativität kannte keine Grenzen. Von der wildesten Verfolgungsjagd im Auto der verrückten Tante über den Mord an einem Neo-Nazi und einen gesellschaftlichen Aussteiger, der seinen Chef ermordet, ging es bis zu einer eskalierten Partynacht, die im Affengehege des Zoos endete.

Vielen Dank an Clara, die uns beim Schreiben so großartiger Geschichten anleitete!

Sterne beobachten

SYLVIA PAPE



An zwei Abenden stellte der Astronomiekurs seine Teleskope, darunter ein Spiegelteleskop, auf den Sportplatz und beobachtete den Sternenhimmel, der durch die geringe Lichtverschmutzung in Adelsheim besonders gut zu sehen war. Zu erblicken waren verschiedene Sternbilder, Planeten und sogar die Milchstraße. Franziska, die Kursleiterin des Astrokurses, erklärte dabei, wie man die verschiedenen

Sternbilder finden kann, und gab uns den äußerst hilfreichen Tipp einer Sternfindungsapp. Um die Himmelsobjekte noch genauer observieren zu können, wurden die Teleskope genutzt. Vor allem der Astronomiekurs war begeistert von der Beobachtung von Saturn mit seinen zahlreichen Ringen und Jupiter mit seinen vier größten Monden, Ganymed, Callisto, Io und dem Lieblingsmond der Astros: Europa. Allerdings waren die anderen Kurse ebenso von den Bildern fasziniert und begeistert, was (hoffentlich) nicht nur an der verkürzten Bettruhe lag. Der Anblick war sehr beeindruckend und sicherlich für die Teilnehmenden ein unvergessliches Erlebnis. Festgehalten wurden die Erlebnisse durch die Fotokünste von Teilnehmern des Astrokurses. An der Stelle soll noch Franziska und Moritz, den Kursleitern des Astronomiekurses, für das Anbieten und Leiten der KüA gedankt werden. Dankeschön!

Werwolf

LEAH BEAN

Die Werwolf-KüA fand vor dem LSZU II statt, wo auch immer die Gute-Nacht-Geschichte vorgelesen wurde. Wir haben in den zwei Stunden das Spiel Werwolf gespielt. Jeder hat eine Rolle im Spiel zugewiesen bekommen. Dann folgte die Bürgermeisterwahl. Sie war dank der Wahlreden sehr amüsant. Es wurden verschiedene Strategien versucht. Sie waren wie in der echten Politik, denn die einen argumentierten mit Inhalt: „Wählt mich, denn ich will unser Dorf von den Werwölfen befreien!“, die anderen argumentierten ohne Inhalt: „Wählt mich, weil er ist doof, er ist komisch, und dann bleibe nur ich übrig.“

In der darauffolgenden ersten Nacht wurde meist der Seher umgebracht. In den anschließenden Nächten war es sehr unterhaltsam, den Gesprächen zwischen Toten und Schlafenden zuzuhören. Hin und wieder wurden diese durch Arturs Frage: „Habe ich den Rubik’s Cube gelöst?“, unterbrochen. Die Anklagen am Tag, ob nun mit Geschichte – „Als ich nachts aufgewacht bin und aus dem Fenster sah, habe ich so und so gesehen“ – oder ohne – „Ich klage ihn an, um eine Anklage zu machen“ – waren sehr

witzig. Einmal ist es auch vorgekommen, dass ein Verliebter gegen seine Geliebte argumentierte, somit ihre Anklage unterstützte und im Zuge dessen starb. Generell gab es auch immer eine Person, die das kürzere Los gezogen hatte und Dorfbewohner sein musste. Insgesamt hat die Werwolf-KüA sehr viel Spaß gemacht.



Tanzen

SYLVIA PAPE

Egal, ob offiziell oder inoffiziell, die Tanz-KüA war jedes Mal ein voller Erfolg. Passend zu den Klängen, die aus der Box von Wiebke, der Sportmentorin, ertönten, lernten die Teilnehmer verschiedenste Tänze. Ob klassisches oder modernes Tanzen, Imanuel und Nicola, Teilnehmer des Mathe-/Informatikkurses, stellten sich der Herausforderung, es allen beizubringen, die Herren- wie auch die Damenschritte, für welche Umdenken gefragt war. Der Anfang war oftmals etwas unbeholfen, und der ein oder andere Fuß musste unter einem falsch ausgeführten Schritt leiden, doch nach immer weiterem Üben drehten sich viele Tanzpaare voller Anmut über den Sportplatz und zeigten ihr Können in Tanzfiguren. Oder sie genossen ganz einfach den klaren Nachthimmel, die Musik und die Stimmung in einfachen Grundschritten. Das Ergebnis dieser sehr lehrreichen KüA war nicht nur, dass am Ende aller Tanzkurse fast jeder Discofox, Walzer, Cha-Cha-Cha und Freestyle tanzen konnte, nein, am Ende sangen alle zur Musik mit, wodurch das Tanzen gleich noch mehr Spaß machte. Sicher ist, dass die Teilnehmer jetzt bestens auf einen Tanzabend vorbereitet sind. Herzlichen Dank an Nicola

und Imanuel, dass wir dank euch jetzt die Bühne beim Tanzen so richtig rocken können.



Mathematische Zaubertricks

LEAH BEAN, YANCHEN ZHENG

„Hier könnt ihr Geld gewinnen!“ Mit der Aussage begannen Birgit und Maybritt die KüA. Wir sollten uns dafür eine beliebige dreistellige Zahl aussuchen und diese Zahl zweimal hintereinander aufschreiben. Die entstandene sechsstellige Zahl sollten wir dann durch 7, 11 und danach 13 teilen. Der zu gewinnende Geldbetrag entsprach dabei dem Rest aus den Divisionen mit 10 multipliziert. Damit sollten wir uns ein wenig für Mathe aufwärmen, dividiert wurde also ohne Taschenrechner und Handy. Nachdem wir eifrig anfangen, mussten wir jedoch feststellen, dass bei jedem nur der Rest null übrigblieb. Besonders diejenigen, die fürs schriftliche Dividieren erst noch die staubige Kiste mit der Aufschrift „Mathewissen dritte Klasse“ aus dem Gedächtnis herauskramen mussten, verrechneten sich leicht. Durch mehrfaches Nachrechnen mussten wir jedoch immer feststellen, dass die Vorstellung des Geldgewinns nur ein Trick war. Warum? Die doppelt aufgeschriebene Zahl kann man auch als Multiplikation mit 1001 sehen. 1001 hat wiederum die Primfaktorzerlegung $7 \times 11 \times 13$. Die entstandene sechsstellige

Zahl war also ein Vielfaches von 7, 11 und 13 und damit auch ohne Rest durch die Zahlen teilbar.

Nach der schönen Aufwärmübung kam gleich der nächste Rechenrick. Birgit ging vor die Tür, und wir suchten uns eine fünfstelligen Zahl aus. Maybritt schrieb sie an die Tafel, notierte die Zahl gespiegelt geschrieben und zog die zwei Zahlen schriftlich voneinander ab. Die Rechnung wischte sie von der Tafel, stehen blieb nur noch das Ergebnis, von der wir wiederum eine Zahl wegwischen durften. Danach wurde Birgit reingeholt, die innerhalb von Sekunden die fehlende Zahl im Ergebnis richtig benannte. Schnell erkannten wir, dass auch dieser Trick auf Überlegungen zur Teilbarkeit basierte.

Die nächsten Tricks waren Kartentricks, bei denen wir immer länger brauchten, sie zu verstehen, sodass wir mehr und mehr ins Knobeln gerieten. Für den ersten Trick benötigt man ein Deck von 52 Karten. Einen Teil davon erhält der Zuschauer. Dieser soll daraus eine Karte wählen, die er ganz nach oben legt. Der Zauberer legt den Kartenstapel des Zuschauers unter seinen. Anschließend deckt er die gesamten Karten von oben nacheinander auf, sodass sie als Stapel auf dem Tisch liegen. Dabei zählt er von zehn rückwärts. Wenn der Zauberer eine Zahl aufdeckt, die der gezählten Zahl entspricht, fängt er wieder an, von zehn rückwärts abzuzählen. Diese Karten werden auf einem neuen Ablagestapel abgelegt. Wenn er bei eins angekommen ist, wird die nächste Karte verdeckt auf den Stapel gelegt, und ein neuer Stapel wird begonnen. Nachdem der Zauberer den vierten Ablagestapel abgeschlossen hat, werden die Zahlen auf den obersten Karten aller vier Ablagestapel zusammengezählt und diese Anzahl an Karten zusätzlich aufgedeckt. Dabei war die zuletzt aufgedeckte Karte stets die Karte des Zuschauers.

Weil wir uns beim Verstehen dieses Tricks ein wenig schwertaten, erhielten wir von Birgit und Maybritt den Tipp, dass es entscheidend sei, wie viele Karten der Zuschauer erhält. Nachdem wir verstanden hatten, dass das Runterzählen eigentlich ein Abzählen war, wurde uns langsam klar, wie der Zaubertrick funktionierte, und wir waren von dem simplen Trick fasziniert.

Natürlich durften wir ihn selbst ausprobieren und übten ihn begeistert mit einem Partner, wobei wir auch die Anfangszahl beim Runterzählen variierten.



Für den zweiten Kartentrick, den Maybritt uns zeigte, wurden erst 27 Karten abgezählt. Daraus mussten wir uns eine Karte aussuchen und diese irgendwo zwischen die anderen Karten stecken. Wir mussten auch unsere Lieblingszahl nennen. Maybritt legte die Karten nacheinander auf drei Stapel. Dann mussten wir sagen, auf welchem Stapel unsere Karte liegt. Als Nächstes wurden die Stapel wieder aufeinandergelegt, und dann fing das Ganze wieder von vorne an, also drei Stapel bilden, wir nennen den Stapel, die Stapel werden aufeinander gelegt ...

Nach drei Wiederholungen nahm Maybritt die Karten und deckte sie von oben auf. Nun ratet doch mal, an welcher Stelle im Stapel unsere Karte war? An der Stelle der Lieblingszahl! Wir überlegten eine Ewigkeit, wie der Trick funktioniert, aber unsere Überlegungen führten immer nur zu neuen Fragen: Muss man sich die Karten merken und hat nach drei Mal Auslegen die Karte gefunden? Aber wie bekommt man die Karte an die richtige Stelle im Stapel? Oder hat es was damit zu tun, ob man den Kartenstapel nach unten, in die Mitte oder nach oben legt? In der Tat hat es was damit zu tun, an welche Stelle der entsprechende Stapel kommt. Die Erklärung erhielten wir in einem YouTube-Video („Beautiful Card Trick“ von Numberphile³).

Der letzte Trick war noch einmal besonders knifflig. Maybritt wartete vor der Tür, während wir uns fünf Karten aus dem Stapel aussuchen durften. Dann gaben wir die Karten an Birgit, die vier davon in einer Reihe offen auf den Tisch

legte. Die fünfte lag verdeckt daneben. Danach kam Maybritt wieder rein und konnte nach kurzem Überlegen sagen, was die verdeckt liegende Karte ist. Das war natürlich erstmal beeindruckend, und wir versuchten eifrig, den Trick zu verstehen. An dem Tag der KüA erkannten wir noch, dass die Symbole der ersten und der verschlüsselten Karte gleich sind. Außerdem haben wir herausgefunden, dass die anderen Karten die Differenz zwischen der ersten und der verschlüsselten codieren. Die Reihenfolge der drei Karten (klein, mittel, groß; groß, klein, mittel; ...) verschlüsselt eine Zahl von 1 bis 6, die man auf die erste Karte addieren muss.

Insgesamt hatten wir sehr viel Spaß beim Knobeln an den spannenden Tricks und waren sogar dazu motiviert, uns eigene Tricks zu überlegen. Danke, dass ihr uns die Anwendung der Mathematik in Zaubertricks nähergebracht habt, Birgit und Maybritt!

Backen

VIKTORIA MOTZ



Diese KüA entstand aus der Intention, Proviant für die Heimreise zu backen. Zu sechst trafen wir uns in der letzten Mittags-KüA-Schiene, um ein Pizzabrot zu backen. Von Anfang an machte uns unser verantwortungsbewusster Aufpasser, der Schülermentor Benedikt, deutlich, dass seine Leistungen auch Gegenleistungen in Form von größeren Kostproben erfordern würden. Während wir den Hefeteig zusammenrührten, kamen außerdem immer wieder Leiter in die Küche und wollten den Backfortschritt mittels Geschmacksproben kontrollieren. Aus diesem

³<https://youtu.be/l7lP9y7Bb5g>

Grunde erweiterten wir unser Vorhaben auf das doppelte Rezept des Pizzabrotteigs und einen Schokoladenkuchen. Nicht nur uns, sondern auch unseren Geschmacksknospen gefiel dieser Nachmittag sehr, da der Schokoladenkuchen bereits in warmem Zustand verteilt wurde.

Jonglage

RONJA LUTZ, TERESA RAMPAS

In der letzten Mittags-KüA-Schiene der Akademie wurde von Merit eine Jonglage-KüA angeboten. Ein Teil der Gruppe hatte bereits Erfahrung im Jonglieren und unterstützte zusammen mit Merit die anderen bei den ersten Übungen mit ein oder zwei Bällen. Wir steigerten uns im Verlauf der ersten Stunde immer mehr, einige wagten sich sogar an neue Tricks. Zwischendurch schaute Tobi vorbei, machte einige Fotos und probierte sich ebenfalls an den Bällen.



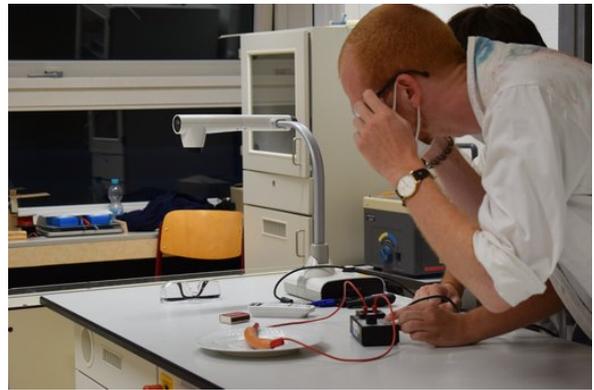
Plötzlich kamen die Sportler herüber gerannt und zettelten eine Wasserschlacht an . . .

In einer deutlich kleineren Gruppe und „etwas“ nass jonglierten wir schließlich weiter. Schnell merkten wir, dass es sich mit nassen, sandigen Bällen deutlich schlechter jonglieren lässt. Trotzdem gaben wir nicht auf und hatten eine Menge Spaß. Während manche aus Freude jonglierend durch die Gegend rannten, übten andere fleißig mit zwei oder drei Bällen weiter. „Es war sehr lustig!“, so wir Teilnehmer über unsere letzte KüA-Schiene.

Physikshow

TERESA RAMPAS, TILL SALOMON

Als Dr. Spekta und Dr. Kulär die Herrschaft über den Physik-Kursraum hatten, war nichts mehr sicher. Die Regeln der Physik wurden über Bord geworfen – oder besser gesagt: die Regeln des Physikfachraums. Schon bei der „situativ angepassten“ Sicherheitsbelehrung wurde der Ernst der Lage klar. Doch wer kann schon der Verlockung der Physik widerstehen, wenn bei hochspannenden Experimenten Würstchen mit Strom aus der Steckdose gebraten werden? Das Team Spekta-Kulär hatte aber schon zuvor einige unglaubliche Experimente aus den Bereichen der Akustik und der Mechanik zu bieten.



Sie bewiesen ihre musikalischen Fähigkeiten auf Orgelpfeifen flötend, und auch das allseits bekannte Kugelpendel durfte nicht fehlen – tac, tac, tac, tac, . . . Das Publikum war begeistert! Doch das war längst noch nicht alles, denn die „hochspannendsten“ Experimente sollten erst noch kommen. Schon wenige Minuten später lieferten sich die beiden Doktoren einen spektakulären Wettkampf um das „hochspannendere“ Experiment. Dr. Spekta (Felix) beeindruckte das Publikum mit aufsteigenden Blitzen – die Luft knisterte nur so vor Spannung. Doch auch Dr. Kulär (Lorenz) hatte ein Ass im Ärmel, er ließ nicht nur Metall glühen, sondern auch Funken sprühen. Die Zuschauer waren die Jury und spendeten großzügigen Applaus, der Gerüchten zufolge auch noch drei Zimmer weiter zu hören war.

Als Dankeschön wurden Raketen abgeschossen, die natürlich niemanden verletzen. Später am Abend wurde praktisches Wissen vermittelt,

indem die Zuschauer selbst aktiv werden durften und mithilfe eines Föhns Tischtennisbälle in der Luft jonglierten. Beim Höhepunkt der Show hieß es dann schließlich: Licht aus! Und Van-De-Graaf-Generator an! Ähnlich wie bei einem Luftballon, der an Haaren gerieben wird, werden auch hierbei Ladungen getrennt, wodurch eine große Spannung entsteht, die sich in Form von Blitzen wieder entlädt. Auch dieses Experiment genoss das Publikum in vollen Zügen und applaudierte kräftig wie schon den ganzen Abend lang. Doch auch eine Spektakulär hochspannende Show muss irgendwann ein Ende haben . . . Die letzte KüA des Sommers ließen einige Teilnehmer der Akademie noch mit Würstchen und Humor ausklingen.



Sportfest

THEO HÖRSTER, ALEXANDER KLIMM

Am Dienstag, den 30. August 2022, durften wir uns auf das erste Highlight der Akademie freuen – das von Wiebke organisierte Sportfest. Begonnen hatte es schon mehrere Tage vorher, als plötzlich überall auf dem Campus Listen mit den „Adelsheim-Rekorden“ in vorherigen Sportfesten auftauchten, sodass alle fiebrig diskutierten, wie und ob diese zu überbieten seien. Um 16 Uhr versammelten wir uns alle auf dem Sportplatz, und schnell wurde klar: Wir hatten falsch trainiert.

Das Sportfest bestand aus verschiedenen Stationen mit Punktvergabe. Nach mehrfachem Schreien unserer Kursschlachtrufe starteten wir mit den Stationen. Der Pharmaziekurs durfte mit einem Extrapunkt starten, weil eine Teil-



nehmerin des Kurses als Einzige morgens am Frühsport teilgenommen hatte.

Der Philosophiekurs begann mit den „Einkaufszentren“, in denen wir unseren Schülermentor in einer Schubkarre schieben mussten, um Gegenstände so schnell wie möglich zu besorgen, ohne die aufgebaute Straße zu demolieren oder die Straßenverkehrsordnung zu verletzen. Verstöße wurden mit Minuspunkten geahndet. Bei der nächsten Station mussten wir als Team auf Gruppenski zu unserem Schülermentor fahren und ihn auf einer Tür (passend zu unserem diesjährigen Akademiemotto) durch einen Parcours tragen.



Weitere Stationen waren Dosenwerfen (wobei diese jedoch mit Gummistiefeln vom Fuß umgeschossen werden sollten), Teebeutelweitwurf (allerdings ausschließlich mit dem Mund) und simultanes Mattenrollen, ohne den Fußkontakt zu verlieren auf Zeit. Ein besonderes Erlebnis war es, als Gruppe den LSZU-Bus den Parkplatz hochzuziehen. Beim Ballonparcours war dann Geschick gefragt: Aufgabe war es, zu zweit Luftballons, eingeklemmt zwischen zwei Hämmern, sicher zu transportieren. Ein wahres Abenteuer bot das laufende A, wobei wir

unseren Schülermentor in einem hölzernen „A“ nur mit vier Seilen über das Fußballfeld und um ein Hütchen herum beförderten.



Das Finale wurde am nächsten Tag ausgetragen: Der Staffellauf mit Schwämmen. Ziel war es, innerhalb einer gewissen Zeitspanne so viel Wasser wie möglich über das Fußballfeld in einen Eimer zu befördern. Danach „entsorgten“ wir das Wasser in einer Schlacht über uns und vor allem über Benedikt.

Als Sieger ging der Pharmaziekurs hervor, der durch den Extrapunkt vom Frühsport hauchdünn vor dem Astronomiekurs landete. Aber klar war: Dabei sein ist alles!

Nachtwanderung

THEO HÖRSTER

An den meisten Tagen fand nach dem Abendessen eine KüA-Schiene von 20 Uhr bis 21 Uhr statt, bevor wir um 22:10 Uhr mit der Gute-Nacht-Geschichte den Tag abschlossen. Manchmal verliefen die Abende auch anders, wie beispielsweise bei der Nachtwanderung: Die ganze Akademie brach in der Abenddämmerung auf, und da Taschenlampen verboten waren, mussten wir uns nach kurzer Zeit auf den Orientierungssinn unserer erfahrenen Akademieleiterin Birgit verlassen. Denn obwohl die Sterne über uns schienen, konnte man wegen der anbrechenden Dunkelheit im Wald bald den Weg kaum noch erkennen.

Glücklicherweise entdeckten wir nach unserer ausgedehnten Tour durch die Dunkelheit noch etwas Licht auf einer Lichtung – dort saß nämlich Torben. Ohne Gute-Nacht-Geschichte hätten wir nach dieser gruseligen Begegnung wohl

keinen Schlaf gefunden, und so nutzten Christian und Anna die Beleuchtung aus, um uns eine Geschichte vorzulesen. Doch während wir rasteten, schritt die Zeit voran, und weil wir nicht Torbens Schicksal teilen wollten, begaben wir uns auf den Weg zum Campus – und kehrten wohlbehalten zurück.



Grillabend

YANCHEN ZHENG

Vormittags hatten wir uns bei der Rotation die spannenden Inhalte der anderen Kurse angeschaut und konnten dann aufatmen, nachdem wir den anderen unseren Kursfortschritt präsentiert hatten. Dafür wurden wir, nachdem die Rotationspräsentationen geschafft waren, mit dem Grillfest belohnt, das nach der Nachmittagskursschiene begann.

Nach und nach kamen dafür alle an der Wiese vor dem Sportplatz zusammen, wo schon der Grill vorbereitet wurde. Das angenehme Wetter sorgte für ausgelassene Stimmung, und während sich alle für verschiedene Salate sowie Wurst, Käse und Steak vom Grill anstellten, begannen schon die ersten Gespräche. Auf Bierbänken saßen wir kursweise zum Essen zusammen, während es zunehmend dunkler wurde.

Das war perfekt für ein Lagerfeuer! Dazu holte Jörg Messer. Nein, nicht um aus uns Brennholz zu machen, sondern weil zu einem guten La-

gerfeuer natürlich auch Stockbrot gehört. Dafür entfernten wir begeistert mit den Messern die Rinde von den Stöcken, sodass wir Brotteig darum wickeln konnten. Währenddessen war schon ein Feuer entzündet worden, um das wir uns zum Backen des Brotes versammelten. Mittlerweile wurde es ziemlich kalt, weshalb wir uns am Lagerfeuer aufwärmten oder zu verschiedenen Liedern tanzten. Kaum war das Stockbrot aufgeessen, kam auch schon unerwartet der nächste Programmpunkt, auf den wir schon seit Tagen gespannt gewartet hatten. Wie sich herausstellte, war nämlich die Verkündung der Sportfest-Ergebnisse geplant.



Wir sollten uns alle auf die Treppenstufen vor der Sporthalle setzen und warteten erwartungsvoll. Dann erklang der Plenumssong: das Titellied von „Pirates of the Caribbean“. Passend dazu verkleidet kamen die Schülermentoren als Piraten aus der Seitentür der Sporthalle. Alex, Isabel, Mathis, Fabian und Benedikt rannten mit den jeweiligen Kursfahnen und eigenen Waffen bewaffnet heraus, während Jonathan die Hälfte des Weges den Luxus hatte, in einer Schubkarre geschoben zu werden, jedoch aufgrund eines Zusammenstoßes mit einem Müll-eimer rausgeschmissen wurde. Vor den Stufen begannen die Schülermentoren zu kämpfen. Dabei wurde einer nach dem anderen getötet.

Als letztes stand noch Alex, der sich die Schatztruhe schnappte. Nachdem der Pharmazie-/Chemiekurs seine Sportfest-Urkunde daraus herausgenommen hatte, feierten sie den Sieg und schrien ihren Schlachtruf: „Pharmazie – stark wie nie! Schokokekse, Schokokekse, Mampf, Mampf, Mampf!“



Auch die anderen Kurse hatten sich über der Performance der Schülermentoren amüsiert, und so hatten alle gute Laune, als wir zurück zum Lagerfeuer liefen. Dort gab es noch eine lustige Gute-Nacht-Geschichte, nicht wie gewohnt von Anna und Christian aus einem Band der Känguru-Chroniken, sondern zwei lustige Geschichten über einen Gemüsekriminalfall und ein Radkäppchen.

Nach diesem schönen Abend unter freiem Himmel und dem aufregenden Tag mussten wir dann leider schlafengehen, was uns aber nicht daran hinderte, die Freude in den nächsten Tag mitzunehmen, an dem das gemeinsame Wandern anstand. Der Grillabend bleibt uns als eines der Highlights während der Akademiezeit wehmütig in Erinnerung.

Wandertag

THEO HÖRSTER



Am Wandertag konnten wir uns zwar eine Pause von anstrengenden geistigen Tätigkeiten gönnen, aber trotzdem kamen wir auf unsere Kosten, denn sechzehn Kilometer legen sich nicht

von allein zurück. Bei strahlendem Sonnenschein zogen wir vom LSZU, aufgeteilt in drei Gruppen, in die Ferne und unterhielten uns, sangen Lieder, genossen die Natur und erkundeten unsere Umwelt. Nicht zuletzt erlebten wir auch einige Abenteuer: Nicht immer wussten wir, welchen Weg wir wählen sollten, manchmal mussten wir an durchaus befahrenen Landstraßen entlangwandern, einmal einen reißenden Bach auf einer Slackline überqueren und einige Anhöhen erklimmen.



Glücklicherweise wurde üppiges Picknick bereitgestellt, sodass wir unsere Wanderung gestärkt fortsetzen konnten. Unsere Wandergruppen trafen dann bei einer Scheune zusammen, wo auch ein herzhaftes Mittagessen bereitstand. Allerdings hielten wir uns dort länger auf als geplant, da sich eine große Schlange vor der Toilette bildete.

Auf dem Rückweg entdeckten wir dann noch einen Stand, an dem alte CDs, DVDs und Spiele verschenkt wurden, und diese Gelegenheit haben wir uns nicht entgehen lassen. Insgesamt kamen wir erschöpft, aber gut gelaunt in Adelsheim an und erholten uns dort von den Anstrengungen der Wanderung.

Hausmusikabend

SAVA STANCULOVIC

Am 6. September fand der Hausmusikabend statt, bei welchem man sich ab 20:00 Uhr an verschiedenen musikalischen Beiträgen erfreuen konnte. Das Moderationsteam, bestehend aus Catelyn, Gabriel, Nicola und Simon, leitete Zuhörer sowie Musizierende humorvoll und

gemütlich durch den Abend. Die Veranstaltung eröffnet hat die neu gegründete Science-Academy-Band „The Doors“ mit einem Hit der Band Guns n’ Roses: „Sweet Child o’ mine“. Dieser wurde nicht nur gespielt, sondern auch gesungen. Gleich im Anschluss dazu spielte die Band dann noch ihr eigenes Stück „Riders on the Storm“ vor und versetzte den Saal in eine gute Stimmung.



Daraufhin folgten einige solistisch vorgetragene Stücke, bei denen vor allem Klassik und Jazz gespielt wurden. Die Musiker spielten meistens auf dem Flügel, es war aber auch eine Saxophonistin und eine Blockflötistin dabei. Während einige Stücke melancholisch klangen und nachdenklich wirkten, gab es auch bezaubernde sowie unterhaltende Stücke. Die Atmosphäre des Saales änderte sich von Stück zu Stück.



Obwohl wirklich alle Musizierenden mit ihren verschiedenen Stücken brillierten und sich eine Menge Applaus verdienten, ist dabei ganz besonders der Pianist Jannis hervorzuheben, welcher mit dem Stück „Jeux d’eau“ von Maurice Ravel die Menschen begeisterte und sich damit tosenden Applaus mit Standing Ovations einholte.

Die Leiter der Musik-KüA, Isa und Tobi, schlossen diese solistische Einheit selbst im Duo ab. Mit „Duetto buffo di due gatti“, bei welchem Stück sich Kater und Katze streiten und (in Begleitung vom Klavier) nur mit „Miau“-Lauten gesungen wird, sorgten die beiden für einige Lacher und eine humorreiche Stimmung.



Bevor das Akademie-Orchester nun den Abschluss einleiten durfte, sangen die Schülermentoren noch etwas Karaoke, wobei sie eher mit Instrumenten in der Hand rumsprangen und ebenfalls für lachenden Beifall sorgten.



Nun fand die Generalprobe des Orchesters vor dem Abschlussabend statt, gespielt wurden „Alice’s Theme“, der „Narnia Battle Song“ und eine Ouvertüre zur Operette „Ritter Blaubart“. Alle 3 Stücke klangen auf ihre Weise ganz unterschiedlich klasse, manchmal bezaubernd, manchmal heroisch, dann wieder satirisch, und gaben dem Abend somit einen fantastischen Abschluss. Alles in allem bewiesen die Musizierenden auch im musikalischen Sinn ihr Talent und Können, und das Orchester war mit

dieser geglückten Generalprobe nun für den Abschlussabend bereit.

Abschlussabend

NISHANT BHALLA

Es waren nun zwei Wochen vergangen, in denen wir die informativen und spannenden Kurse sowie die spaßigen KüAs genießen konnten. Doch am 7. September war es so weit. Diese Zeit sollte ein Ende nehmen. Wir sollten den letzten Abend dieser Wochen in Adelsheim verbringen.



Dafür hatte die Akademieleitung ein aufregendes Programm zusammengestellt. Zu Beginn des offiziellen Teiles wurden wir von der Ouvertüre zur Operette „Ritter Blaubart“, gespielt vom Akademieorchester, verzaubert. Anschließend gab es eine Begrüßung von Jörg und Birgit, worauf ein kurzer Film folgte. Dieser Krimi, der in einem Mädcheninternat spielt, wurde vom Akademietheater zusammengestellt und riss alle Zuschauer in seinen Bann. Er handelt von einem Mädchen, das versucht, eine Mitschülerin zu vergiften. Um das zu erreichen, geht sie bis an die Grenzen: Sie freundet sich mit ihrem Opfer an, verführt ihre Mitschülerin regelrecht und bezahlt wiederum ein anderes Mädchen, das gerade eine schwierige finanzielle Phase durchmacht, um ihr ein Gift zu besorgen. Glücklicherweise konnten die Freundinnen des Opfers die Gefahr schnell genug erkennen und die Täterin fassen.

Im Anschluss wurde den Kursen für ihr Engagement gedankt. Das geschah aber nicht auf gewöhnliche Art und Weise, denn zu Beginn jeder Danksagung wurde ein Lied abgespielt, das zum Kursthema eines Kurses passte. Nun

musste es uns gelingen, unser Lied zu erkennen und anschließend auf die Bühne zu gehen, wo uns und unseren Kursleitern dann gedankt und ein kleines Präsent überreicht wurde. Bei diesem handelte es sich, passend zum Akademiemotto „Türen“, um einen von Tobi und Merit persönlich gravierten Türstopper.



Jeweils nach den ersten beiden und den mittleren beiden Danksagungen spielte das Akademieorchester ein Stück, das, wie auch die zu Beginn gespielte Ouvertüre, zum Thema Türen passte. Nach den letzten beiden Danksagungen an die Kurse folgte ein belustigendes Karaokeprogramm der Schülermentoren. Darauf folgend wurde auch der Akademieleitungsassistentin und allen anderen Personen gedankt, die zur Akademie beigetragen haben.

Anschließend informierte Patricia Keppler, Vorstandsvorsitzende des Fördervereins der Science Academy, online zugeschaltet über eben diesen Verein und erklärte, dass sein Bestehen notwendig sei, um die Akademien in Stand zu halten. Aber sie dankte auch Jörg und Birgit für ihren Einsatz als Akademieleitung und überreichte ihnen ein kleines Präsent. Zum Schluss des offiziellen Teiles wurden wir vom Kursleiterorchester mit einem Abschlusslied beeindruckt. Die Eltern wurden weggeschaltet, und es begann der inoffizielle Teil. Dabei wurde zusammen zu einer abgewandelten Form von „Kommt ihr bitte“ gesungen, die auf die Akademie angepasst war. Auch führten Henriette, Merit und Tobi ein eigens komponiertes, humorvolles Stück vor, das aus vielen kleineren Ausschnitten aus bekannten Liedern bestand. Diese kleineren Abschnitte wurden auch passend zum Akademiemotto „Türen“ abgeändert.

Im Folgenden wurden Snacks und Getränke geholt und es wurde, nach einer kurzen Aufräumaktion, zu guter Musik gemeinsam getanzt und gesungen. Im Allgemeinen kann man sagen, dass der Abschlussabend ein guter, schöner und gelungener Ausklang aus den beiden Akademiewochen war.



Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 19. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Schwarz-Stiftung, die Hopp-Foundation und den Förderverein der Science Academy unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 – Schule und Bildung des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 – Allgemein bildende Gymnasien, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin, und Herrn Jan Wohlgemuth, Regierungsschuldirektor und Stellvertretender Leiter des Referats 35 – Allgemein bildende Gymnasien am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.

Dieses Jahr konnte sich die Regierungspräsidentin Sylvia M. Felder bei ihrem Besuch der Science Academy von der Begeisterung der Teilnehmenden überzeugen. Sie wollte sich ein Bild dieser Form der Begabtenförderung machen. Bei ihrem Rundgang war sie von dem hohen Niveau der Kurse und dem außergewöhnlichen Engagement der gesamten Akademieleitung beeindruckt.



In Gesprächen erfuhr Frau Felder, wie nachhaltig diese Akademie wirkt. Es entstehen Freundschaften mit Gleichgesinnten, und gemeinsam werden weitere Herausforderungen bei Wettkämpfen oder anderen Akademien gesucht. Einige ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer kommen als Schülermentoren und Kursleiter gerne wieder nach Adelsheim. Frau Felder konnte bei ihrem Besuch die Freude und den Eifer der hochmotivierten Jugendlichen spüren und erahnen, dass hier alle vom „Akademiefieber“ angesteckt sind.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Koordinatorin der Deutschen Schüler- und JuniorAkademien Frau Ulrike Leithof, der Referentin für die Akademien Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Lange war nicht klar, in welchem Format die Akademie in den Zeiten der Pandemie stattfinden kann. Umso mehr hat es uns gefreut, dass wir uns dieses Jahr wieder in Präsenz in Adelsheim treffen

konnten. Dort waren wir wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU). Für die herzliche Atmosphäre und die idealen Bedingungen auf dem Campus möchten wir uns stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums Herrn Oberstudiendirektor Martin Klaißer sowie dem Abteilungsleiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit den Schülermentoren und der Assistenz des Leitungsteams diejenigen, die mit ihrer hingebungsvollen Arbeit das Fundament der Akademie bilden.

Diejenigen aber, die die Akademie in jedem Jahr einzigartig werden lassen und sie zum Leben erwecken, sind die Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Deshalb möchten wir uns bei ihnen und ihren Eltern für ihr Engagement und Vertrauen ganz herzlich bedanken.

Bildnachweis

Seite 11, Abbildung Krebsnebel:

Hubblesite, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2005/37/1823-Image.html>
 NASA, ESA, J. Hester und A. Loll (Arizona State University)

Seite 12, Darstellung Schwarzes Loch:

NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia16695-black-holes-monsters-in-space-artists-concept>
 NASA/JPL-Caltech

Seite 13, Darstellung des Himmelsglobus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg
 Wikimedia User Cmglee, basierend auf einer Version von Ulrich Fuchs und Sverdrup
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 16, Abbildung GOCE-Satellit:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/08/The_satellite_on_the_edge_of_space

Seite 16, Bild der New Horizons-Sonde:

NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/new-horizons-spacecraft-in-the-clean-room-at-nasas-kennedy-space-center>

Seite 17, Darstellung des Anflugs von DART auf Dimorphos:

NASA, <https://www.nasa.gov/specials/pdco/images/mitigate.jpg>
 NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben

Seite 17, Rückkehrkapsel Spionagesatellit Zenit:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zenit_space_vehicle.jpg
 Maryanna Nesina
 CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>)

Seite 18, Darstellung von Weltraumschrott um unsere Erde:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/03/Weltraumschrott_in_der_erdnahen_Umlaufbahn_LEO_-_ueber_dem_Nordpol

Seite 18, Bild Einschlagskrater in Solarpanel:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/04/Hubble_solar_cell_impact_damage

Seite 19, Darstellung von ClearSpace 1:

ESA, https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2020/11/clearspace-1_captures-vespa/22334324-1-eng-GB/ClearSpace-1_captures_Vespa_pillars.jpg

Seite 21, Diagramm Umlaufzeiten der Planeten:

Astrokramkiste, <https://astrokramkiste.de/planeten-geschwindigkeit>
 Zur Nutzung freigegeben

Seite 22, Abbildung Mineralienablagerungen auf der Oberfläche Europas:

NASA, <https://europa.nasa.gov/resources/29/europas-stunning-surface>
 NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

Seite 26, Schema zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified_diagram_of_RS-25_rocket_engine\(SSME\),_Jan_2021_.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified_diagram_of_RS-25_rocket_engine(SSME),_Jan_2021_.png)
 Wikimedia-User Abcde1248163264, eigene Bearbeitung
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 29, Absorptionsspektrum:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectral-lines-absorption.svg>
 Wikimedia User Stkl
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 30, Schema Massenspektrometer:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wienscher_geschwindigkeitsfilter_massenspektroskopie.svg

- Wikimedia User Sgbeer
CC BY 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>)
- Seite 30, Abbildung Geophon:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geophone_SM-24.jpg
Wikimedia User Balajijagadesh
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 34, Hauptbestandteile unserer Nahrungsmittel:
Erstellt mit BioRender
- Seite 43, Aufbau der pflanzlichen Zelle:
Erstellt mit BioRender
- Seite 44, Aufbau der Geschmacksknospe:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1402_The_Tongue.jpg
Wikimedia-User OpenStax, Ausschnitt, bearbeitet
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 45, Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:
EMBL Science Education and Public Engagement Team
CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>)
- Seite 46, Human oesophagus (Darstellung der Speiseröhre):
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_oesophagus;_A.E._Schaffer_Wellcome_L0022090.jpg
A. E. Schaffer. Wellcome Collection, bearbeitet
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 49, Abbildung Darm:
Erstellt mit BioRender
- Seite 49, Dünndarmstoma:
Wikimedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ileostomy_2017-02-20_5349.jpg
Wikimedia-User Salicyna
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 53, Abbildung Leber:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Abbildung Emulsion:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Gallenblase:
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder_\(organ\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder_(organ).png)
Wikimedia-User BruceBlaus, bearbeitet
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 60, Die Nieren im Körper:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Warming Stripes:
ShowYourStripes, <https://showyourstripes.info/s/globe>
Ed Hawkins, University of Reading
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 100, Schematischer Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluoreszenzmikroskopie_2017-03-08.svg
Krzysztof Blachnicki, Bearbeitungen Henry Mühlpfordt, Wikimedia-User Dietzel65
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 109, Trolley-Problem:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trolley_Problem.svg
Wikimedia-User McGeddon, Zapyon
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 111, Büste Sokrates:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socrates_Louvre.jpg
Eric Gaba
CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>)
- Seite 113, Büste Aristoteles:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_Altemps_Inv8575.jpg

Wikimedia-User Jastro, Ludovisi Collection
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 115, Büste Zenon:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo_Monti_-_Servizio_fotografico_\(Napoli,_1969\)_-_BEIC_6353768.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo_Monti_-_Servizio_fotografico_(Napoli,_1969)_-_BEIC_6353768.jpg)
 Paolo Monti
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 117, Portrait Augustinus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saint_Augustine_Portrait.jpg
 Directmedia, The Yorck Project
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 118, Anselm von Catebury:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anselm_of_Canterbury.jpg
 Unbekannter Maler
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 120, Gemälde Kant:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg
 Gemälde von Johann Gottlieb Becker
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 122, Portrait-Photo Rawls:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Rawls_\(1971_photo_portrait\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Rawls_(1971_photo_portrait).jpg)
 Aufnahme von Alec Rawls
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 124, Organspendeausweis:

BZgA, <https://www.bzga.de/presse/presse motive/organspende>
 © Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), Köln

Seite 133, Opazität der Atmosphäre für elektromagnetische Strahlung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg
 Wikimedia-User Mysid/Ariser, Originalbild NASA
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 135, Abbildung der Fraunhoferlinien:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fraunhofer_lines_DE.svg
 Wikimedia-User Saperaud
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 139, Kennlinie einer Diode mit Bestimmung der Schwellspannung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioden-Kennlinie_1N4001_differentiell.svg
 Wikimedia-User Stündle
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 155, Start der Artemis-1-Mission:

NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/we-are-going-artemis-i-launches>
 NASA/Bill Ingalls

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bildern unter einer CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.

Abbildungen der Europäischen Weltraumagentur (ESA) werden gemäß der ESA Standard License für Bildungszwecke verwendet: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Copyright_Notice_Images

Abbildungen der National Aeronautics and Space Administration (NASA) können für Schulen und Lehrbücher ohne explizite Erlaubnis verwendet werden: <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>