



# JuniorAkademie Adelsheim

22. SCIENCE ACADEMY  
BADEN-WÜRTTEMBERG  
2025



Genetik



Klimaphysik/Informatik



Mikrogravitation



Pharmazie



Philosophie/Theater



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung



**Dokumentation der  
JuniorAkademie Adelsheim 2025**

**22. Science Academy  
Baden-Württemberg**

**Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim:**

Regierungspräsidium Karlsruhe

Abteilung 7 –Schule und Bildung–

Hebelstr. 2

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

[www.scienceacademy.de](http://www.scienceacademy.de)

E-Mail: [joerg.richter@scienceacademy.de](mailto:joerg.richter@scienceacademy.de)

[birgit.schillinger@scienceacademy.de](mailto:birgit.schillinger@scienceacademy.de)

[rico.lippold@scienceacademy.de](mailto:rico.lippold@scienceacademy.de)

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 22. JuniorAkademie Adelsheim 2025 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X gesetzt.

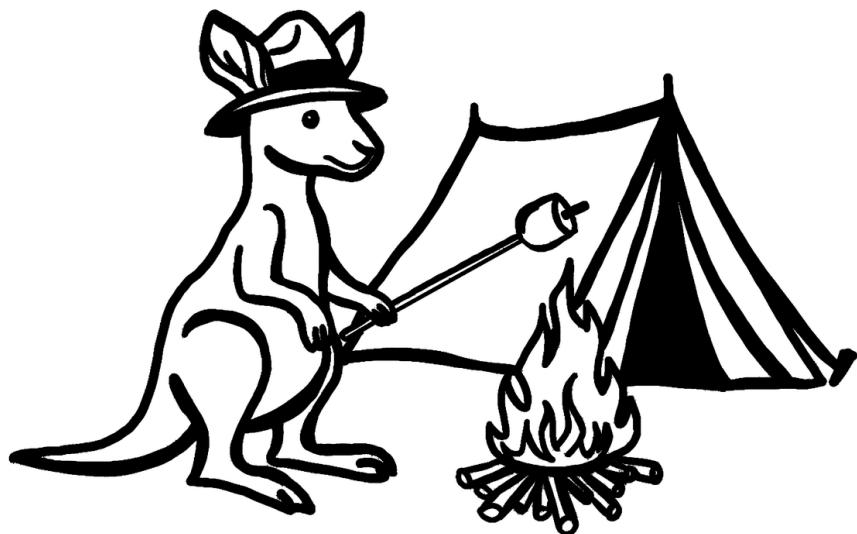
Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter, Tobias van Lier

Copyright © 2025 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

# Vorwort – Expedition ins Unbekannte

Jede Science Academy hat ihr Motto: Dieses Jahr lautete es „Expedition“. Und so startete unsere Expedition im Juni auf dem Gelände des Landesschulzentrums für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim mit 77 neugierigen, hochmotivierten, abenteuerlustigen jungen Menschen. Am Eröffnungswochenende kam unser Expeditionsteam das erste Mal zusammen und lernte sich kennen. Jedes Mitglied kam mit eigenen Vorerfahrungen, Talenten, Interessen und Erwartungen. Dieses Kennenlernen weckte bei allen die Neugier und Lust auf diese Expedition. Begleitet von unserem 28köpfigen Leitungsteam sollten sie schon bald neue Interessen entdecken, wissenschaftliche Erfahrungen sammeln und Freundschaften knüpfen.

## *Science Academy* 2025



Im Sommer brach unsere Expedition endgültig auf, ausgerüstet mit Zelt und Hut sowie weiteren wichtigen Gegenständen, die im Laufe der Expedition ihre Bedeutung erhielten. Über zwei Wochen hinweg forschten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den sechs Kursen an packenden Fragestellungen und stießen auf überraschende Erkenntnisse.

Im Kurs Mathematik/Informatik wurde der Klimawandel mithilfe anspruchsvoller Modelle analysiert, aber auch Machine Learning kam zum Einsatz. Der Pharmaziekurs untersuchte, welchen Einfluss die Ernährung auf die Aufnahme eines Medikaments hat. Unterdessen testete der Raketenkurs in einer selbstgebauten Rakete die Schwerelosigkeit im Parabelflug. Der Physikkurs entwickelte eine effektive Montierung für Solarzellen, die sich nach der Sonne dreht. Die seit Jahren schwelende Frage, welche der Tiere auf dem Gelände Ziegen oder Schafe sind, konnte der Genetikkurs durch eine DNA-Analyse endlich klären. Und das Experiment, den Philosophiekurs mit Theater zu kombinieren, war höchst gelungen, und die abschließende Theateraufführung von Brechts „Der gute Mensch von Sezuan“ beeindruckte durch Tiefgang und schauspielerische Leistung.

## VORWORT

Neben der Kurszeit haben sich die Expeditionsmitglieder bei Ausflügen und in den KüAs, beim Sport, im Chor oder als Teil des Orchesters, bei der Wanderung und dem Grillabend besser kennengelernt und ihre Interessen ausgelebt. So wurde es nie langweilig, und der große Abschlussstag kam viel zu früh.

Am Dokumentationswochenende bot sich dann die Möglichkeit, auf die gemeinsame Zeit zurückzublicken und die während unserer gemeinsamen Zeit gewonnenen Erkenntnisse schriftlich zu dokumentieren. Zwar war damit nun die Zeit in Adelsheim vorbei, doch unsere Expedition ist noch lange nicht zu Ende.

Wie bei einem Roman, der irgendwann fertig geschrieben ist, aber in den Lesern weiterlebt, geht auch unsere Expedition weiter in die Welt, indem wir die Erinnerung an das Erlebte, die Neugier auf weitere Erkenntnisse und vor allem die neuen Freundschaften bewahren.

Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Lesen unseres Expeditionsberichts!

Eure/Ihre Akademieleitung



Melissa Bauer (Assistenz)



Julian Poschik (Assistenz)



Jörg Richter



Dr. Birgit Schillinger



# **Inhaltsverzeichnis**

<b>VORWORT</b>	<b>3</b>
<b>KURS 1 – GENETIK</b>	<b>7</b>
<b>KURS 2 – KLIMAPHYSIK/INFORMATIK</b>	<b>29</b>
<b>KURS 3 – MIKROGRAVITATION</b>	<b>47</b>
<b>KURS 4 – PHARMAZIE</b>	<b>67</b>
<b>KURS 5 – PHILOSOPHIE/THEATER</b>	<b>87</b>
<b>KURS 6 – PHYSIK</b>	<b>109</b>
<b>KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE</b>	<b>129</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>153</b>
<b>BILDNACHWEIS</b>	<b>155</b>



# Kurs 1 – Genetik: Mit der DNA auf Spurensuche



## Unser Kurs

**Helia** war die tragende Säule unserer Gruppe und verhalf uns als Kapitänin und Maskottchen zum Sieg beim Sportfest. Sie war stets bereit, Opfer für den Kurs zu bringen. Außerdem war sie für uns alle eine Vertrauensperson und man konnte mit ihr über alles reden. Mit ihren tollen Spielen und ihrer lustigen Art lockerte sie die Stimmung auf und zauberte uns jeden Tag aufs Neue ein Lachen ins Gesicht. Durch sie waren wir alle super auf die Präsentationen vorbereitet.

**Katharina** hat eine sehr ausgeprägte Expertise, egal ob beim Programmieren, bei der Theo-

rie oder im Labor. Sie war entspannt, offen und gab uns ein Gefühl von Sicherheit. Sie schuf einen Raum, in dem man eigenständig lernen konnte, gleichzeitig konnte man sich aber bei Fragen immer an sie wenden. Sie kümmerte sich um unseren Snackvorrat. Zudem ist sie auch überaus sportlich, weshalb man sie jeden Morgen beim Frühspor antreffen konnte.

**Klaus** – unser Kursleiter, der auf alle Fragen eine Antwort hatte – war immer begeistert auf der Suche nach Problemen, zu denen er auch meistens sofort eine Lösung parat hatte. Er kann supergut erklären, und das bei jedem noch so komplizierten Themenbereich. Zusätzlich ist Klaus ein super lo-

ckerer und entspannter Typ, der auch noch sportlich engagiert ist (er war jeden Tag beim Frühsport). Er ist sehr motiviert und übertrug seine Begeisterung für das Thema auch auf uns. Neben alldem kümmerte er sich auch darum, dass unser Snackvorrat im Kursraum aufgefüllt blieb und erfüllte sogar Helias Wunsch nach Obst (am letzten Tag des Doku-Wochenendes). Er war viel als Fotograf tätig.

**Alina** sieht in Multitasking keine Herausforderung. Mithilfe ihrer besonderen sprachlichen Kenntnisse, die sie auch oft zum Lösen von Worträtseln nutzte, bereicherte sie uns mit vielen neuen Informationen, während sie nach Gensequenzen suchte. Sie hat eine gute Menschenkenntnis und weiß auf fast jede Frage eine Antwort. Gleichzeitig war sie aber auch sehr locker und man konnte mit ihr über Vieles lachen, was zu einer guten Arbeitsatmosphäre beitrug. Zudem ist sie sehr musikalisch, was man am Hausmusikabend bei ihrem Klaviersolo erleben konnte.

**Amalia** war der Ruhepol unseres Kurses. Sie war stets sehr konzentriert und trug somit zu großen Fortschritten bei und löste zahlreiche Probleme in Eigeninitiative. Gleichzeitig ist sie sehr kreativ, wie man an ihren Häkelskills merkte, und hat einen guten Humor, der uns oft zum Lachen brachte. Sie ist sehr wissbegierig und besonders beim Rätselraten war sie sehr hartnäckig.

**Elena** kam zwar anfangs gelegentlich zu spät und erhöhte den durchschnittlichen Snackkonsum unseres Kurses, aber dann war sie immer energiegeladen und allzeit bereit für jede Aufgabe. Darüber hinaus ist sie sehr sportlich und war nicht nur im Kurs, sondern auch bei ihrer Luftartistik-KüA und beim täglichen Frühsport sehr motiviert dabei.

**Emilia** interessierte sich besonders für die Laborarbeit. Sie war durch ihre entspannte Art ein Ruhepol in unserem Kurs. In der Laborgruppe war sie mit großer Motivation dabei und trieb das Layout unserer Präsentation voran. Sie war zudem ein Teil des Dreamteams mit Frida und stellte uns für

die Dokumentation bereitwillig ihr iPad zur Verfügung.

**Frida** ist offen und kontaktfreudig und war bei der Arbeit im Labor immer sehr gewissenhaft dabei. Sie war die gute Seele unseres Kurses und sorgte durch ihre witzige Art für Motivation, nicht nur im Labor. Zudem war sie ein Teil des unzertrennlichen Dreamteams zusammen mit Emilia und war eine der tragenden Säulen beim Sportfest.

**Hennadii** leistete einen großen Beitrag zur Bioinformatik, denn sein Wille, das Beste aus allem herauszuholen, spornte uns alle zu Höchstleistungen an. Darüber hinaus ist er immer bereit, mit einem über Themen aller Art zu grübeln und zu diskutieren. Mit seinem außergewöhnlichem Musikgeschmack verhalf Hennadii uns außerdem zu besserer Konzentration auf unserer Suche nach Genen. Er ist neuen Dingen gegenüber sehr aufgeschlossen. Er war offen und teilte gerne Vieles aus seinem Leben mit uns, wie zum Beispiel die TikToks seines Opas. Er ist immer für einen Spaß zu haben.

**Johanna** war immer sehr organisiert und sorgte für Struktur bei unserer Arbeit. Das Erlernen von neuen Inhalten fiel ihr sehr leicht. Wenn sie sich kreativ ausleben kann, blüht sie besonders auf und steckt alle mit ihrem Elan an. Beim Lösen von Rätseln war sie immer ganz vorne mit dabei, wobei sie sich erst zufriedengab, wenn sie die richtige Lösung gefunden hatte. Auch bekamen wir ihre musikalische Begabung zu spüren, denn sie leistete einen wertvollen Beitrag zum Chor des Akademieorchesters.

**Kilian** war unser Spezialist im Bereich Roboterbau und LEGO-Technik: Er konstruierte innerhalb kürzester Zeit einen kompletten Kranarm mit Seilzug. Er brachte seine vielseitigen Ideen ein und war immer konzentriert und detailorientiert, sodass er sich sogar für Unterschiede im Nanometerbereich beim zurückgelegten Weg des Roboters interessierte. Auch außerhalb der „Roboter-Welt“ interessierte er sich sehr für seine Mitmenschen und setzte sich für sie ein.

**Klemens** war immer positiv eingestellt, obwohl er seinen morgendlichen Kaffee sehr ver-

misste. Er bereitete die Bilder für unsere Doku geduldig vor. Zudem war sein Schriftbild immer äußerst ansprechend und seine Aufschriebe zählten zu den besten im Kurs. Auch über die Akademie hinaus ist er sehr sozial und immer freundlich.

**Lina** ist eine sehr kreative und trotzdem organisierte Person, die immer konsequent mit schrieb. Die Designs der Kurs- und Akademie-T-Shirts sind dank ihrer iPad-Zeichenkünste besonders gelungen. Begeisterung zeigte sie bei der Programmierung und Namensgebung für unseren Roboter. „Fridolin“ war in dieser Hinsicht ein sehr beliebter Name, der oft genutzt wurde, natürlich auch für unseren selbstgebauten Thermocycler.

**Mariya** hatte immer gute Laune und lachte viel und herzlich. Ihre Aufgeschlossenheit und Offenheit machten sie zu einem wertvollen Gruppenmitglied. Sie bereicherte den Kurs nicht nur mit ihren fantastischen Programmierkenntnissen, sondern auch mit ihrer Leidenschaft für Musik. Sie hatte immer eine Melodie im Kopf – egal ob bei ihrer Teilnahme in der Band oder beim Summen des „Raiders March“ im Kurs.

**Nilay** war sehr engagiert und half sowohl beim Roboterbau als auch bei der Laborarbeit. Darüber hinaus versorgte er uns durch seine humorvolle und sehr selbstbewusste Art während der gesamten Akademie mit vielen Zitaten. Er war außerdem hilfsbereit und jederzeit begeistert. Aber auch sein Fachwissen, zum Beispiel zur Benennung von „männlichen“ und „weiblichen“ Steckern der Arduino-Kabel, war erstaunlich.

**Noah** ist sehr lustig, interessiert und energetisch. Er war immer gut drauf und lockerte die Stimmung in unserem Kurs auf. Im Labor stellte er seine Pipettierfähigkeiten unter Beweis. Präsentieren ist eine seiner vielen Stärken. Er ist sehr sportlich motiviert und man traf ihn oft beim Frühsport an.

**Julian** (Ziege) weigerte sich lange, Karotten zu essen, und bekam sogar einen Brief von seinem geheimen Freund aus einem anderen Kurs.

## Einleitung

HELIA ZIGHEIMAT, EMILIA TANNREUTHER



Abb. 1: Die Tiere auf dem LSZU-Gelände – Schafe oder Ziegen?

Sind das jetzt Ziegen oder Schafe auf dem Akademiegelände? Oder gar eine Kreuzung aus beidem? Diese seit langem existierende, ungeklärte Diskussionsfrage innerhalb der Science Academy wollten wir als Genetikkurs ein für alle Mal mit wissenschaftlichen Methoden klären.

Doch was für Unterschiede kann man zur Untersuchung betrachten und wie stellt man diese auf zellulärer oder molekularer Ebene fest? Dazu erarbeiteten wir uns am Eröffnungswochenende zunächst die biologischen Grundlagen der Cytologie. Wir bastelten fleißig Zellmodelle und schauten uns vor allem auch den Zellkern und die sich darin befindende Desoxyribonukleinsäure (DNA) genauer an.

Nach neun Wochen begann die Akademie im Sommer dann erneut mit einem Theorie-Block. Von der Vervielfältigung der wenigen in einer Probe enthaltenen DNA mithilfe einer sogenannten Polymerase Chain Reaction (PCR) über die Auswertung anhand einer Gel-Elektrophorese bis hin zum Umgang mit der Gendatenbank des National Center for Biotechnology Information (NCBI) war alles dabei, was wir an Grundlagenwissen brauchten.

Wir bauten in kleinen Gruppen LEGO-Roboter, um einen ersten Einblick in das Programmieren zu erhalten. Unsere „Roboter-

„Ziegen“ sollten mit einem Sensor eine Lücke im „Zaun“ erkennen und durch diese entkommen. Beim Isolieren unserer eigenen DNA aus Mundschleimhautzellen lernten wir grundlegende Verfahren der praktischen Arbeit im Bio-Labor.

Mit diesen Grundlagen ausgestattet definierten wir nun das klare Ziel, final die Frage klären zu können, ob es sich bei den Tieren auf dem Akademiegelände um Ziegen, Schafe oder eine Kreuzung handelt. Dazu wollten wir von den Tieren DNA-Proben nehmen, diese mit einem selbstgebauten Thermocycler und selbst designten Primern vervielfältigen, die PCR-Produkte mit einer Gel-Elektrophorese auftrennen und anschließend auswerten.



Abb. 2: Roboterbau zu Beginn der Akademie

Nachdem die geplante Vorgehensweise geklärt war, teilte sich unser Kurs in drei Gruppen auf, die sich jeweils mit einem der Bereiche Laborarbeit, Bioinformatik und Roboterdesign vertieft beschäftigten. Den Sommer hindurch probierten wir, an DNA-Proben aller Tiere zu kommen, lernten unzählige neue Dinge im Labor, recherchierten intensiv, um eigene Primer zu designen, und konstruierten und programmierten einen PCR-Roboter. Dabei gab es einen regen Austausch zwischen den Gruppen, denn alle brauchten Informationen aus den jeweils anderen Bereichen, um ihren Teil zur Beantwortung unserer gemeinsamen Frage beizutragen.

Nun laden wir herzlich ein, einen Blick in die Genetik und unsere Kursarbeit zu werfen und am Ende die Antwort auf unsere Forschungsfrage zu erfahren!

## Biologische Grundlagen

### Aufbau von Zellen

NOAH JEHS

#### Tierische Zellen

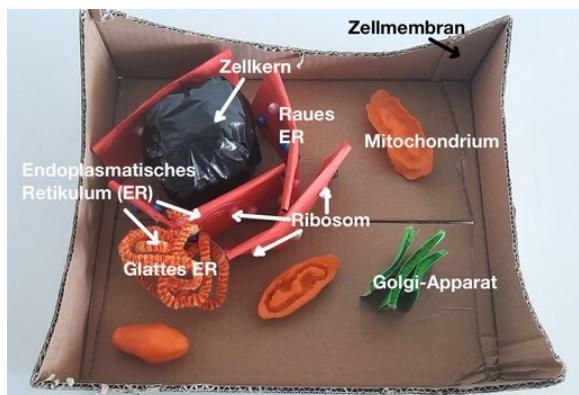


Abb. 3: Modell einer tierischen Zelle

Außen sind tierische Zellen von der Zellmembran umgeben. Sie begrenzt die Zelle und reguliert den Austausch von Stoffen zwischen Zelle und Umgebung. Im Inneren der Zelle befindet sich das Cytoplasma, in dem die Organellen „schwimmen“. Das auffälligste Organell in der tierischen Zelle ist der Zellkern, in unserem Modell in Abb. 3 als schwarze Kugel dargestellt. Er beherbergt die DNA und mit ihr alle wichtigen Erbinformationen eines jeden Tieres. Um den Zellkern herum befindet sich das Endoplasmatische Retikulum, kurz ER. Man unterscheidet zwischen dem glatten und dem rauen ER. Das glatte ER spielt eine wichtige Rolle bei Stoffwechselprozessen. In Leberzellen trägt das glatte ER beispielsweise zur Entgiftung bei. Das rauhe ER ist mit Ribosomen besetzt, die dadurch entstehende „raue“ Struktur gibt ihm seinen Namen. Die Aufgabe des rauen ERs ist die Proteinsynthese durch die Ribosomen (mehr dazu im Abschnitt „Vom Gen zum Protein“, S. 12). Im Inneren des ER werden die Proteine passend gefaltet und teilweise noch umgebaut. Ribosomen gibt es aber nicht nur am rauen ER, sondern auch als freie Ribosomen in der Zelle.

Ein weiteres wichtiges Zellorganell ist der Golgi-Apparat. Dieser besteht aus Membransäcken, die Zisternen genannt werden. Er spielt eine

wichtige Rolle bei der Proteinverarbeitung: Proteine werden „sortiert“ und in Vesikeln – kleinen, von Membranen umgebenen Bläschen – an ihren Bestimmungsort transportiert.

Mitochondrien sind die Kraftwerke der Zelle und für die Energieproduktion verantwortlich. Im Modell in Abb. 3 sind sie als orange Strukturen dargestellt und teilweise aufgeschnitten. In den aufgeschnittenen Mitochondrien erkennt man die Oberflächenvergrößerung durch die eingefaltete innere Membran. Die Mitochondrien übertragen die in unserer Nahrung enthaltene Energie unter Verwendung von Sauerstoff auf Adenosintriphosphat, kurz ATP. Dieser Stoff wird zum Energietransport für alle zellulären Prozesse benötigt. Je höher der Energiebedarf einer Zelle ist, desto mehr Mitochondrien sind in der Zelle vorhanden. Herzmuskelzellen haben zum Beispiel weitaus mehr Mitochondrien als rote Blutkörperchen, die gar keine Mitochondrien aufweisen.

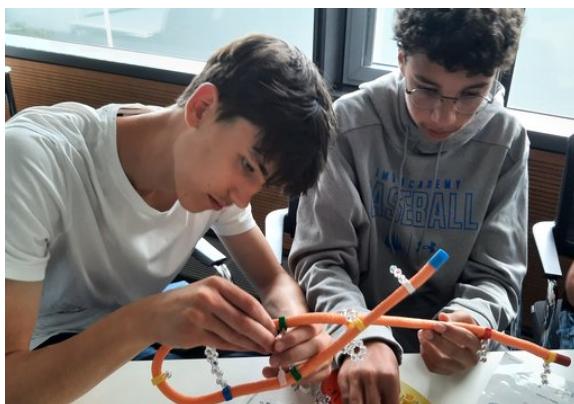


Abb. 4: Die Aminosäuren-Reihenfolge bestimmt die Proteinfaltung; Praktikum am EMBL

## Pflanzliche Zellen

Pflanzenzellen haben ebenfalls einen Zellkern, glattes und raues ER, Golgi-Apparate, Mitochondrien, Ribosomen, Vesikel und eine Zellmembran. Diese Organellen haben in pflanzlichen Zellen die gleichen Funktionen wie in tierischen Zellen. Doch die Pflanzenzelle weist auch einige Unterschiede zur Tierzelle auf. Jede Pflanzenzelle hat zusätzlich zur Zellmembran eine weitere Begrenzung, die Zellwand. Diese umschließt die komplette Zelle und trägt zusätzlich zur Stabilität und Formgebung bei. Bei Tieren ist diese Struktur überflüssig, da

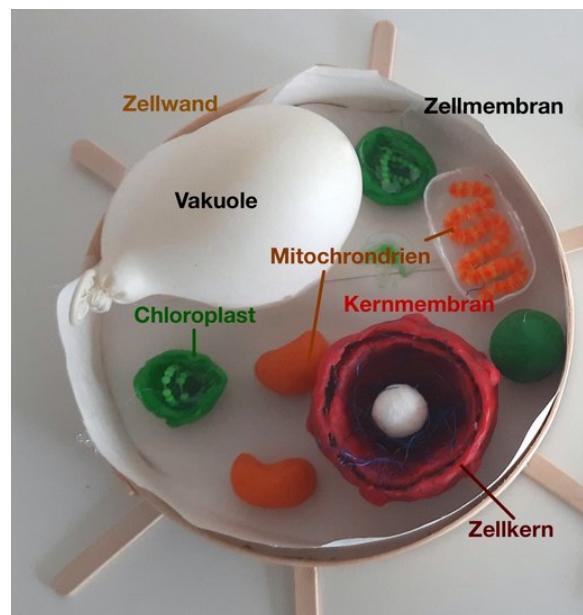


Abb. 5: Modell einer Pflanzenzelle

Tiere zum Beispiel ein inneres Skelett aus Knochen oder auch ein äußeres Skelett aus Chitin besitzen, das ihnen Form gibt.

Außerdem besitzen pflanzliche Zellen eine Vakuole, die vermutlich das auffälligste Zellorganell bei Pflanzen ist (in Abb. 5 stellt der weiße Luftballon die Vakuole dar). Die Vakuole ist von einer Membran umgeben und speichert Wasser, Farb-, Nähr- und Abfallstoffe in ihrem Inneren. Bei krautigen Pflanzen übernimmt die Vakuole zusätzlich eine wichtige Rolle: Sie drückt von innen gegen die nicht dehbare Zellwand und gibt der Pflanze damit Form und Stabilität.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der pflanzlichen Zelle sind die grünen Chloroplasten. Diese sind für die Photosynthese wichtig. Dabei entsteht in den grünen Pflanzenteilen aus Kohlenstoffdioxid und Wasser zusammen mit der Energie aus dem Sonnenlicht (eingefangen vom grünen Farbstoff Chlorophyll) die energiereiche Glucose (Traubenzucker) und als Abfallprodukt der für uns lebensnotwendige Sauerstoff. Die gewonnene Glucose nutzt die Pflanze als Energiequelle. Ein Teil der Glucose wird direkt verbraucht, der andere Teil wird in Form von Stärke zum Beispiel in den Wurzeln der Pflanze als Energiereserve gespeichert. Der Sauerstoff wird an die Umgebung abgegeben und steht anderen Lebewesen zur Verfügung.

## Vom Gen zum Protein

NOAH JEHS

### Aufbau der DNA

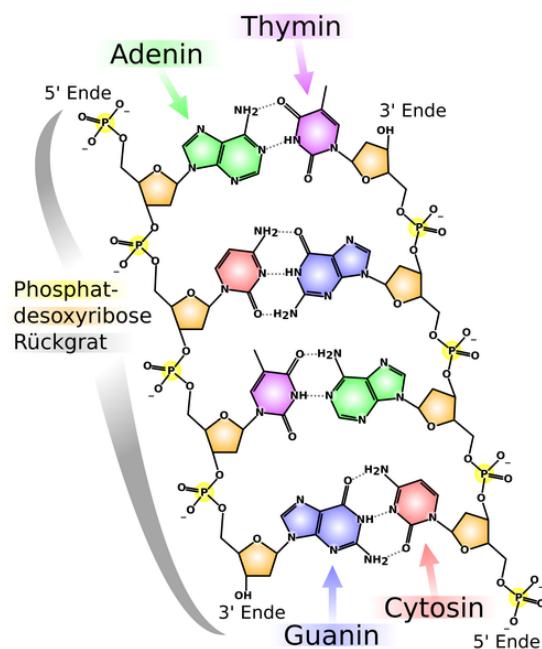


Abb. 6: Aufbau eines DNA-Doppelstrangs<sup>1</sup>

Wir wissen bereits, dass sich die DNA im Zellkern der Zelle befindet. Sie enthält zum Beispiel den Bauplan für Proteine. Doch dazu später mehr. Die DNA liegt in Form von X-förmigen Chromosomen vor. Jedes Chromosom hat zwei „Beine“, die man Chromatiden nennt. Jedes Chromatid wiederum besteht aus einer aufgewickelten DNA-Doppelhelix. Eine DNA-Doppelhelix besteht aus zwei DNA-Einzelsträngen, die durch Wasserstoffbrücken zwischen den Basen miteinander verbunden sind. Die Basen heißen Adenin (A), Thymin (T), Guanin (G) und Cytosin (C). Es kann sich immer nur Adenin mit Thymin und Guanin mit Cytosin zu einem Basenpaar verbinden. Zusammengehalten werden die beiden Basen eines Paares durch Wasserstoffbrücken (gestrichelte Linien in Abb. 6). Zwischen Adenin und Thymin gibt es zwei, zwischen Guanin und Cytosin drei Wasserstoffbrücken. Daraus folgt, dass Guanin und Cytosin stärker miteinander verbunden sind als Adenin und Thymin.

<sup>1</sup>Abb.: Wikimedia-User Matt nach Wikimedia-User Madprime, CC BY-SA 3.0.

Jeder DNA-Strang ist aus einzelnen Nukleotiden (Base mit Desoxyribose und Phosphat) aufgebaut. Diese werden so miteinander verbunden, dass es ein Zucker-Phosphat-Rückgrat mit zwei unterschiedlichen Enden gibt, nämlich dem 5'-Ende mit einer Phosphatgruppe und dem 3'-Ende mit einer OH-Gruppe. Die Basen hängen an den Zuckermolekülen. Die beiden über Wasserstoffbrücken zwischen den Basen verbundenen Einzelstränge sind im DNA-Doppelstrang gegenläufig orientiert. Wichtig ist es, zu wissen, dass das Zucker-Phosphat-Rückgrat wegen der Phosphatgruppen negativ geladen ist, was dazu führt, dass die DNA als Ganzes ebenfalls negativ geladen ist. Das ist für uns zum Beispiel wichtig, da genau wegen dieser Eigenschaft Farbstoffe, die positiv geladen sind, an der DNA anhaften können. Auch für die Gel-Elektrophorese ist die Ladung des Rückgrats wichtig, da die DNA deshalb im Gel wandert.

### Genexpression bei Eukaryoten

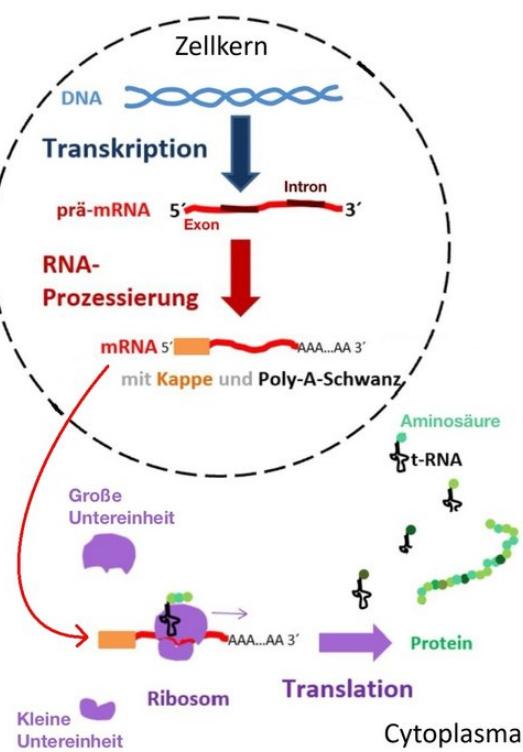


Abb. 7: Genexpression bei Eukaryoten

Wie bereits erwähnt, findet die Genexpression im Zellkern und im rauen ER statt. Dazu wird der DNA-Doppelstrang im ersten Schritt,

der Transkription, aufgespalten und in die prä-mRNA umgeschrieben. Das passiert im Zellkern. In Abb. 7 ist die DNA als blauer Doppelstrang, die RNA in rot dargestellt. Im nächsten Schritt, der Prozessierung (Reifung), werden – ebenfalls noch im Zellkern – aus der prä-mRNA die Introns herausgeschnitten. Diese RNA-Ab schnitte codieren nicht für Aminosäuren, tragen also keine Information über das Protein. Die übriggebliebenen codierenden Exons werden direkt aneinandergefügt. Nachdem am 5'-Ende noch eine Kappe und am 3'-Ende ein Poly-A-Schwanz aus vielen aneinandergereihten Adenins hinzugefügt wurde, ist die sogenannte Messenger-RNA, kurz mRNA, fertig. Diese verlässt nun den Zellkern.

An der Proteinsynthese ist eine weitere Art von RNA, die Transfer-RNA (tRNA) beteiligt. Es gibt viele verschiedene tRNAs. Diese befinden sich im Cytoplasma der Zelle und können spezifisch mit Aminosäuren „beladen“ werden. Aminosäuren stellen den Grundbaustein für die Proteine dar. Es gibt über 100 verschiedene Aminosäuren, aber nur 20 von ihnen treten als Bausteine von Proteinen auf.



Abb. 8: Praktikum zu Aminosäuren und Proteinen im EMBL

Der letzte Schritt auf dem Weg vom Gen zum Protein ist die Translation. Hierbei übersetzen Ribosomen die Basenreihenfolge der mRNA in eine Aminosäurereihenfolge. Dazu docken die beiden Ribosomen-Untereinheiten (in Abb. 7 lila dargestellt) an den mRNA-Strang an und verbinden sich zu einem fertigen Ribosom. Dieses wandert die mRNA entlang und tRNAs lagern sich an passende Abschnitte der mRNA (Codons) an. Die von den tRNAs transportierten Aminosäuren werden vom Ribosom zu einer langen Kette zusammengefügt. Wenn die

Translation abgeschlossen ist, trennen sich Ribosom und Aminosäurekette von der mRNA. Das normalerweise mehrere tausend Aminosäuren lange Protein ist fertig und kann jetzt seine Aufgabe, zum Beispiel beim Stofftransport, als Hormonregulierung oder Strukturprotein erledigen.

## DNA-Replikation

NILAY KATHIRVEL

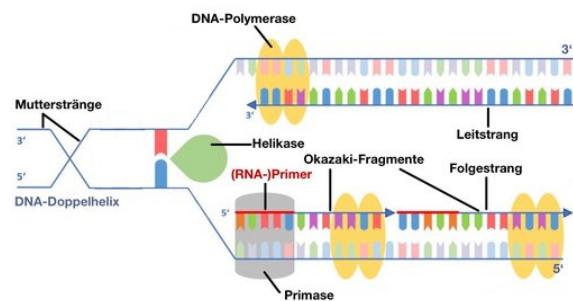


Abb. 9: DNA-Replikation<sup>2</sup>

Die DNA-Replikation ist ein Prozess, der vor der Zellteilung passiert. Bei diesem wird die Erbinformation der Zelle verdoppelt. Das ist notwendig, damit bei der Zellteilung jede Tochterzelle eine Kopie des genetischen Materials erhält. Der Prozess beginnt an bestimmten Stellen auf der DNA, den Replikationsursprüngen. Dort entwindet das Enzym Helikase die DNA-Doppelhelix, indem es die Wasserstoffbrücken zwischen den Basenpaaren löst. Dadurch entstehen zwei Einzelstränge, die jeweils als Vorlage für den Bau eines neuen DNA-Strangs dienen. Ein weiteres Enzym, die Primase, setzt kurze Primer auf einen Einzelstrang. Die durch die Primer entstandenen, kurzen doppelsträngigen Bereiche ermöglichen es der DNA-Polymerase, mit der Ergänzung der neuen DNA-Stränge zu beginnen. Die DNA-Polymerase fügt passende Nukleotide komplementär zum vorhandenen Einzelstrang an. Da die DNA-Polymerase nur in eine Richtung arbeiten kann – sie kann neue Nukleotide immer nur an freie 3'-OH-Gruppen anbauen – entstehen die zwei neuen Stränge auf unterschiedliche Art: Der Leitstrang (in Abb. 9 der obere Strang)

<sup>2</sup>Abb.: Wikimedia-User VWALevi2020 (Ausschnitt), CC BY 4.0.

wird kontinuierlich verlängert. Die DNA-Polymerase folgt hier der Helikase, während der Folgestrang in kurzen Abschnitten, den sogenannten Okazaki-Fragmenten, gebildet wird (die DNA-Polymerase bewegt sich in die entgegengesetzte Richtung zur Helikase). Diese Fragmente werden anschließend durch das Enzym DNA-Ligase zu einem durchgehenden Strang verbunden. Am Ende des Prozesses liegen zwei identische DNA-Doppelstränge vor. Beide enthalten die gleiche genetische Information wie der ursprüngliche Strang.

## Labortechniken



Abb. 10: Übungen zum Pipettieren

## DNA isolieren

EMILIA TANNREUTHER

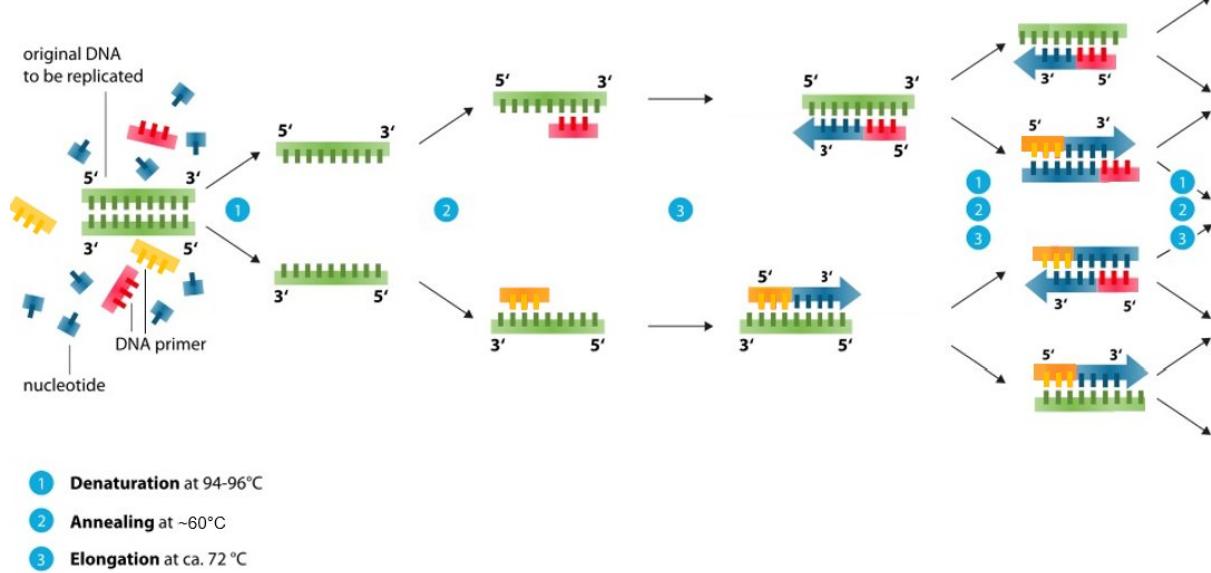
Wenn man mit DNA arbeiten möchte, muss sie zunächst aus Proben isoliert werden. Das heißt, sie wird aus den Zellen extrahiert und von anderen Zellbestandteilen sowie Zelltrümmern getrennt. Dazu haben wir zwei unterschiedliche Vorgehensweisen angewendet. Bei der „klassischen“ Methode mit Haushaltschemikalien wird die Probe mit einer Spülmittel-Salz-Wasser-Lösung und Protease (z. B. aus Fleckenteufel gegen Eiweißflecken) in einen Mörser gegeben und mit einem Pistill zerstampft. Das Zermörsern der Substanzen dient dazu, die Zellwände mechanisch zu zerstören, was allerdings

ausschließlich bei pflanzlichen Zellen notwendig ist, da tierische Zellen über keine Zellwände verfügen. Im Spülmittel befinden sich fettlösende Tenside, die dafür sorgen, dass die Zellmembran zerstört wird. In Zellen sind immer auch DNAsen enthalten, DNA-abbauende Enzyme. Damit die DNA für weitere Versuche stabil bleibt, gibt man ein paar Tropfen Fleckenteufel hinzu. Die im Fleckenteufel enthaltene Protease (ein Enzym) verhindert, dass die vorhandene DNA von DNAsen zerstört wird, indem sie die DNAsen abbaut. Die fünf Minuten lang zerstampfte Masse wird nun in ein Becherglas gefüllt und anschließend für zehn Minuten in ein warmes Wasserbad ( $50^{\circ}\text{C}$ ) gegeben, was alle stattfindenden Reaktionen beschleunigt. Daraufhin kommt das gefüllte Becherglas noch weitere fünf Minuten in ein Eisbad, damit die DNA nicht durch zu lange Temperatureinwirkung beschädigt wird. Nach dem Entnehmen aus dem Eisbad wird die Mischung in ein Reagenzglas filtriert, bis die Flüssigkeit etwa 4 cm hoch im Reagenzglas steht. Als nächstes wird das Ganze erneut für fünf Minuten im Eisbad abgekühlt. Zuletzt überschichtet man die DNA-Wasser-Mischung mit eiskaltem Ethanol. Nach kurzem Warten flockt die DNA aus, da sie in eiskaltem Ethanol nicht löslich ist. Die DNA-Stränge ballen sich zusammen und werden als feste, weiße Masse sichtbar (siehe Abb. 11). Wenn man einige Minuten wartet, steigt die DNA auf und man kann sie aus dem Ethanol fischen und für weitere Versuche verwenden.



Abb. 11: DNA fällt in eiskaltem Ethanol aus

## Polymerase chain reaction - PCR

Abb. 12: Ablauf einer PCR<sup>3</sup>

Die zweite Variante zum DNA-Isolieren mit InstaGene™ Matrix funktioniert hingegen so: Bei InstaGene™ Matrix handelt es sich um negativ geladene Polyresin-Kügelchen, welche sich in einer Pufferlösung befinden. Die Lösung mit den Kügelchen wird zur Probe hinzugefügt, dann wird das Gemisch für zwei bis zehn Minuten – je nach verwendetem Probenmaterial – auf 95 °C erhitzt. Dabei werden die Zellen zerstört und die DNA gelangt in die Flüssigkeit. Die negativ geladene DNA wird von den negativ geladenen Kügelchen abgestoßen, während die restlichen Bestandteile der Zellen angezogen werden. Zentrifugiert man dann die Suspension, sammeln sich am Gefäßboden die Polyresin-Kügelchen mit den nicht erwünschten Zellbestandteilen. Die DNA ist im Überstand gelöst und kann zum Beispiel für eine PCR benutzt werden.

## Polymerase-Kettenreaktion (PCR)

NILAY KATHIRVEL

Die PCR ist ein Verfahren zur gezielten Vervielfältigung bestimmter DNA-Sequenzen. Die PCR basiert auf dem im Körper ablaufenden Prozess der DNA-Replikation, der schon beschrieben wurde. Sie läuft in mehreren Zyklen

<sup>3</sup>Abbildung nach Wikimedia-User Enzoklop, CC BY-SA 3.0.

ab, die aus je drei Phasen bestehen: Denaturierung (Auf trennen der Doppelstränge), Annealing (Primer-Anlagerung) und Elongation (Kettenverlängerung). Für die Vervielfältigung von DNA gehören in einen PCR-Ansatz: der zu vervielfältigende DNA-Abschnitt, Primer (kurze einzelsträngige DNA-Stücke), ein Enzym, welches die Vervielfältigung durchführt (Taq-Polymerase), und Bausteine für die neuen DNA-Strände (Nukleotide).

In der Denaturierungsphase – in Abb. 12 mit ① bezeichnet – wird die DNA-Doppelhelix durch Erhitzen bei etwa 90 °C in zwei Einzelstränge aufgetrennt. Dies geschieht, weil die Wasserstoffbrücken zwischen den Basenpaaren bei hohen Temperaturen die Einzelstränge nicht mehr zusammen halten können.

Darauf folgt die Annealingphase ②, also die Phase, in der sich die Primer anlagern. In dieser Phase wird die Temperatur primerabhängig auf etwa 50 bis 65 °C gesenkt, sodass die Primer an die spezifischen Zielsequenzen auf den Einzelsträngen binden können. Primer sind kurze DNA-Stücke, meist zwischen 18 und 25 Basen lang, und bestimmen durch ihre Sequenz den Start- und Endpunkt des zu kopierenden DNA-Abschnitts. Die exakte Temperatur in der Phase der Primeranlagerung hängt von der Basenzusammensetzung und Länge der Primer ab.

In der Elongationsphase ③ wird die Temperatur auf 72 °C erhöht, bei dieser Temperatur arbeitet die Taq-Polymerase am besten. Dieses Enzym stammt aus Bakterien, die in heißen Quellen leben, und ist hitzebeständiger als die DNA-Polymerase in unserem Körper. Deshalb funktioniert es auch noch, nachdem der PCR-Ansatz auf 95 °C erhitzt wurde. Die Taq-Polymerase stellt neue Doppelstränge her, indem sie freie Nukleotide komplementär zur Vorlage an die Primer anlagert. Auch die Taq-Polymerase baut immer an freie 3'-OH-Enden an. Sie beginnt also am 3'-Ende des Primers und ergänzt von dort aus komplementär zur Vorlage den Doppelstrang. Damit ist *ein* PCR-Zyklus abgeschlossen.

Ein Zyklusdurchgang dauert etwa zwei bis drei Minuten. Bei einer PCR wird dieser Zyklus 35- bis 40-mal wiederholt. Dabei verdoppelt sich in jedem Zyklus die Anzahl der DNA-Stränge. Es handelt sich also um eine exponentielle Vervielfältigung. Die PCR macht so aus einer Kopie des gewünschten Abschnitts in circa zwei Stunden  $2^{40}$  – etwa eine Billion – Kopien. Mit dieser Menge an DNA kann man dann weiterarbeiten und die vervielfältigte DNA zum Beispiel mit einer Gel-Elektrophorese auswerten.

### Gel-Elektrophorese

EMILIA TANNREUTHER

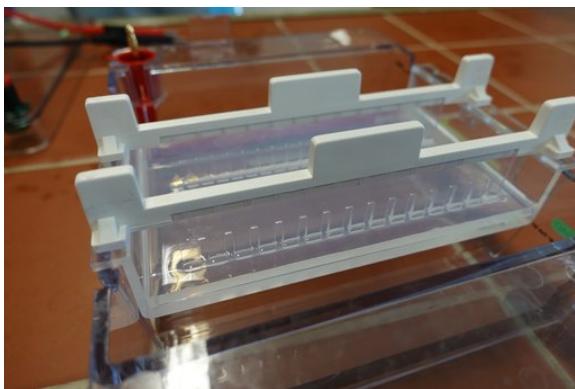


Abb. 13: Gel mit Kämmen in Elektrophoresekammer, noch ohne Puffer

Um Aussagen über die vervielfältigte DNA machen zu können, wird im Labor eine Agarose-Gel-Elektrophorese angewendet. Hierfür wird zunächst ein Gel gegossen. Man stellt

eine Lösung aus Agarose, einem Kohlenhydrat, und Tris-Acetat-EDTA-Puffer (TAE-Puffer) her. Diese Agarose-Lösung kocht man dann auf. Beim Abkühlen entsteht ein Gel, die Agarose bildet ein dreidimensionales Netz, durch das die DNA wandern kann. Vor dem Aushärten des Gels wird ein sogenannter Kamm (siehe Abb. 13) in die Gelgießkammer gegeben, der im ausgehärteten Gel nach Entnahme Taschen hinterlässt.

Das fertige Gel wird dann in eine Gelkammer gestellt, welche mit TAE-Puffer aufgefüllt wird, bis das Gel vollständig übergossen ist. Als nächstes werden die DNA-Proben in die Taschen hineinpipettiert. Daraufhin wird eine Spannung (zum Beispiel 100 V wie in Abb. 14) angelegt. Diese bewirkt, dass die negativ geladenen DNA-Stränge durch das Gel in Richtung Plus-Pol wandern. Dabei gilt: Kurze Stränge wandern schneller als lange. Die DNA-Proben werden im Gel der Länge nach aufgetrennt.

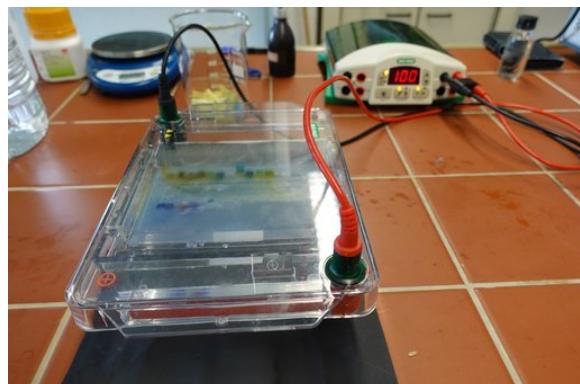


Abb. 14: Gel-Elektrophorese, man erkennt wandern-de Farbstoffe im Gel

### DNA im Gel färben

FRIDA COERS

Um die DNA im Gel sichtbar zu machen, müssen wir einen Farbstoff hinzufügen. Zuerst verwendeten wir dafür Methylenblau. Dieser Farbstoff ist positiv geladen und kann sich an das negativ geladene Zucker-Phosphat-Rückgrat der DNA binden. Wir badeten das Gel für drei Minuten in einer Methylenblau-Lösung. Methylenblau färbt auch das Gel, deshalb mussten wir es danach wieder entfärbten. Wir legten es für zwei Stunden in frisches Wasser, das wir

immer wieder wechselten, bevor wir das Gel auswerten konnten. Da die DNA sich weniger schnell entfärbt als das Gel, war sie nach den zwei Stunden Entfärben stärker gefärbt als das Gel und dadurch in Form von blauen Banden sichtbar. Man konnte die DNA und den Längenstandard bei dieser zeitaufwendigen Methode allerdings nur sehr schlecht sehen.

Deshalb suchten wir nach einem anderen Farbstoff und entschieden uns für SYBR Green. SYBR Green bindet an das DNA-Molekül, indem es sich zwischen die Basenpaare einlagert. Das in die DNA eingelagerte SYBR Green fluoresziert grün, wenn es mit blauem Licht angeregt wird. SYBR Green bindet nicht an das Gel. Deshalb muss man das Gel – anders als beim Methylenblau – nicht entfärbten, was viel Zeit spart. Wir wählten diesen Farbstoff aus, weil er im Gegensatz zu Ethidiumbromid, das in der Forschung häufig verwendet wird, weniger mutagen (schädlich für die DNA) ist und damit ungefährlicher. Außerdem muss man ihn nicht mit UV-Licht anregen, sondern kann blaue LEDs verwenden. Die fluoreszierenden Banden sieht man in Abb. 15.

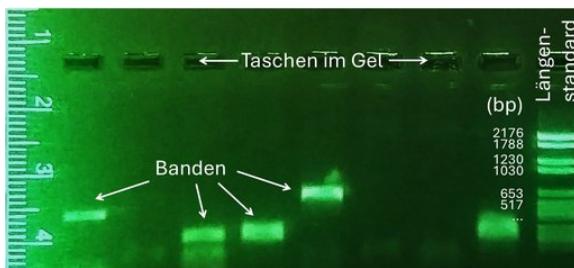


Abb. 15: DNA-Banden im Gel, gefärbt mit SYBR Green

## Gel auswerten

FRIDA COERS

Um die Länge der vervielfältigten DNA-Stücke in den Banden des Gel bestimmen zu können, pipettierten wir in eine weitere Tasche einen Längenstandard. Das ist eine Lösung, die DNA-Stücke bekannter Länge enthält. In Abb. 15 ist der Längenstandard in der Spur ganz rechts zu sehen. Durch den Vergleich mit dem Längenstandard konnten wir die Gel-Elektrophorese auswerten, indem wir eine Kalibrierkurve erstellten. Dazu maßen wir, wie weit die einzelnen

Banden des Längenstandards von den Taschen entfernt waren. Auf der  $x$ -Achse der Kalibrierkurve trugen wir die Anzahl der Basenpaare ein, auf der  $y$ -Achse die Strecke, die die DNA gewandert war (in Zentimetern). Für jede Bande trugen wir die entsprechenden Werte in das Diagramm ein.

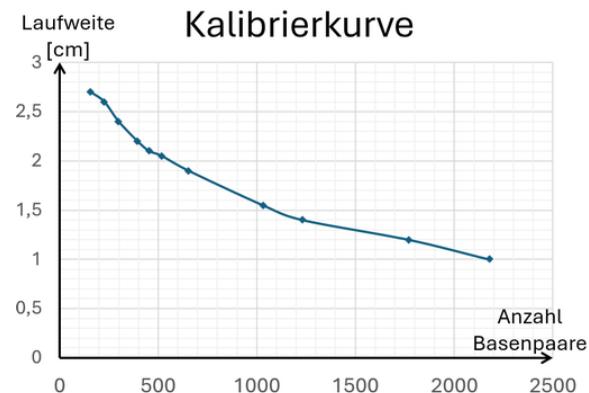


Abb. 16: Kalibrierkurve zum SYBR-Gel aus Abb. 15

Durch Verbinden der Punkte entstand eine Kalibrierkurve (siehe Abb. 16). Anschließend konnten wir mithilfe der Kalibrierkurve bestimmen, wie viele Basenpaare unsere DNA-Stücke aus der PCR lang waren. Dazu maßen wir von den Taschen aus, wie weit unsere Proben gewandert waren. Aus der Kalibrierkurve konnten wir ablesen, wie vielen Basenpaaren diese Wanderstrecke entsprach. Die ermittelten Werte passten gut zu denen, die das Team Bioinformatik bestimmt hatte.

## Bioinformatik

### Arbeit mit Gendatenbanken

AMALIA LEMMER

Im Team Bioinformatik wollten wir zunächst Unterschiede zwischen Schafen und Ziegen auf genetischer Ebene finden. Anschließend wollten wir zu diesen Genen passende Primer designen, um letztendlich bestimmen zu können, ob es sich bei unseren gesammelten DNA-Proben um Schaf- oder Ziegen-DNA handelt. Dafür verglichen wir zahlreiche Gene, deren Basensequenz vollständig bekannt ist. Diese Sequenzen sind in sogenannten Gendatenbanken enthal-

ten. Wir nutzten die Gendatenbank des NCBI. Die Datenbank des NCBI enthält nicht nur Informationen über sequenzierte Gene, die aus Datenspargründen nicht als Doppelstrang, sondern als Einzelstrang hinterlegt sind, sondern zum Beispiel auch wissenschaftliche Publikationen. Als wir die Website des NCBI aufriefen, konnten wir zwischen verschiedenen Datenbanken wie „Nucleotide“, „Genome“ oder „PubMed“ wählen. Bei PubMed findet man Veröffentlichungen. Wir beschäftigten uns aber hauptsächlich mit Gensequenzen und verwendeten deshalb vor allem „Nucleotide“, da man dort gut mit den Gensequenzen arbeiten konnte.



Abb. 17: Recherche in Gendatenbanken

Nachdem wir nach einer Tierart gesucht hatten, tauchten Vorschauen von vielen verschiedenen Genen auf. Wenn wir dann eine davon öffneten, gab es immer eine FASTA-Datei mit einer kurzen Beschreibung zu dem Gen und der Sequenz. Mithilfe der Programme in der Gendatenbank konnten wir verschiedene Funktionen ausführen. Zum einen gab es die Alignments, mit denen wir zwei Gensequenzen miteinander oder auch nur eine mit der gesamten Datenbank vergleichen konnten. Das entsprechende Tool heißt Basic Local Alignment Search Tool (BLAST). Unter „Graphics“ konnten wir anhand einer Grafik herausfinden, wo sich die Introns und Exons eines Gens befinden. Mit „get Primers“ konnten wir dem Programm Anweisungen über unsere Primer geben und es erstellte sie dann schnell. Diese Funktion probierten wir nur kurz aus, verwendeten sie aber nicht zum Primerdesignen, da wir das selbst machen wollten. Die

Gendatenbank hat natürlich noch zahlreiche andere Funktionen, die für uns aber nicht relevant waren, weswegen wir sie nicht benutzten oder besprachen.

### Konkrete Gene finden und darin nach Sequenzunterschieden suchen

ALINA SCHWALBE

In der Gendatenbank des NCBI mussten wir als erstes ein Gen finden, das zahlreiche Unterschiede zwischen den zwei Tierarten aufwies, die wir vergleichen wollten (in unserem Fall Schaf und Ziege). Dazu gingen wir wie folgt vor: Als erstes suchten wir ein Gen, das wir vorher mithilfe von Recherchearbeit als zum Vergleichen und Unterscheiden geeignet eingestuft hatten. In der zugehörigen FASTA-Datei, welche die Abfolge der Basen G, C, A und T vom 5'- zum 3'-Ende angibt, ist die Sequenz des DNA-Strangs hinterlegt, der die gleiche Basensequenz hat wie die mRNA (also der codierende Strang).



Abb. 18: Suche nach geeigneten Sequenzen für Primer

Letztendlich verglichen wir die beiden FASTA-Dateien der Gene mithilfe eines Alignments. Nun waren alle Übereinstimmungen der Basenpaare zwischen den beiden Tierarten deutlich durch einen Strich und alle Unterschiede durch eine Lücke gekennzeichnet (siehe Abb. 19). Hierbei konnte man bei einigen Gen-Alignments, wie beispielsweise bei *scd*, *ghi* und *fgf5*, sofort feststellen, dass sie für unsere Fragestellung ungeeignet waren, da die Anzahl an Sequenzunterschieden zu gering war. Am bes-

# Sequenzvergleich über Alignment

Sequence ID: **Query\_7428919** Length: 324 Number of Matches: 1

Range 1: 44 to 276 [Graphics](#)

▼ [Next Match](#) ▲

Score 342 bits(185)	Expect 5e-99	Identities 218/234(93%)	Gaps 2/234(0%)	Strand Plus/Plus
Query: Schaf	Query 2	TGGAGTATCATAAGAGCGAGTGTGTTCTCCAACGGGACGGAGCGGTGCGGTACCTGG	61	
Sbjct: Ziege	Sbjct 44	TGGAGTATCATAAGAGCGAGTGTCAATTCTCAACGGGACCGAGCGGTGCGGTACCTGG	103	
	Query 62	ACAGATACTTCTATAATGGAGAAGAGTACGTGCGTCGACAACGACTGGGGCGAGTACC	121	
	Sbjct 104	ACAGATACTTCTATAATGGAGAAGAGTACGTGCGTCGACAACGACTGGGGCGAGTACC	163	
	Query 122	GAGCGGTGGCCGAGCTGGGGCGC-GGAGCGCCGAGTACTGGAACAGCCGAAAGACTTC	180	
	Sbjct 164	GGGCAGTGGCCGAGCTGGGGCGC-CGGA-CGCCAAGTACTGGAAAGCAGCAGAAGGAGATC	222	
	Query 181	CTGGAGCAGAGGGAGGACCGAGGTGGACACGTTCTGCAGACACAACGAGGGTC	234	
	Sbjct 223	CTGGAGCAGAGGGAGGACCGAGGTGGACACGTTCTGCAGACACAACGAGGGTC	276	

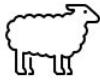
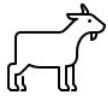



Abb. 19: Alignment und mögliche Primer beim Gen *mhc-II*; blau: Sequenzen für Schafprimer, gelb: Sequenzen für Ziegenprimer

ten geeignet waren die Gene für MHC-II (übernimmt Funktionen im Immunsystem), Cyt-b (übernimmt den Elektronentransport in den Mitochondrien) und MUC1 (ein Protein, das dem Schutz von epithelialen Oberflächen dient). Das Gen *muc1* wies die meisten Sequenzunterschiede auf.

## Primerdesign

JOHANNA SPITZER

Damit bei einer PCR die einzelnen DNA-Stränge so vervielfältigt werden, dass am Ende zur Auswertung geeignete DNA-Fragmente entstehen, muss man passende Primer designen. Dazu verglichen wir, nachdem wir geeignete Gene gefunden hatten, diese mithilfe eines Alignments und suchten nach Stellen, bei denen möglichst viele Unterschiede vorhanden waren. Das war nicht immer ganz einfach, denn auch wenn sich Gene von verschiedenen Tierarten stärker unterscheiden, müssen die Unterschiede relativ nah beieinander sein, da ein Primer bestenfalls nur 18 bis 25 Basenpaare (bp) lang sein sollte. Die nah beieinander gelegenen Sequenzunterschiede brauchen wir, damit ein Primer beispielsweise nur für die Basensequenz im Gen

einer Ziege passt, bei der Sequenz im entsprechenden Gen eines Schafes aber nicht. Dann kann er sich bei einer PCR nur bei der Probe der Ziege anlagern (siehe Abb. 20). Schaf-DNA würde dann bei der PCR nicht vervielfältigt werden. Hierbei müssen nicht beide Primer (also Forward- und Reverse-Primer) unterschiedlich sein, da einer der beiden Primer sich dann zwar anlagern könnte, man aber immer beide Primer braucht. Die DNA würde nicht weiter vervielfältigt werden, wenn zum Beispiel nur der Forward-Primer passt.

Man könnte auch in Erwägung ziehen, nach Stellen zu suchen, bei denen das Gen der einen Tierart deutlich mehr Basen hat als das der anderen. Bei einem Alignment würden dabei größere Lücken entstehen. Bei einer PCR hätte man dann unterschiedlich lange DNA-Stücke, die man auch durch eine Gel-Elektrophorese unterscheiden könnte. Bei einer Kreuzung aus Schaf und Ziege müsste es dann zwei Banden geben.

Als wir geeignete Stellen für die Primer gefunden hatten, überprüften wir, ob die Primer, die wir für diese Stellen designt hatten, auch weitere wichtige Anforderungen erfüllten. Die beiden Primer mussten weit genug voneinan-

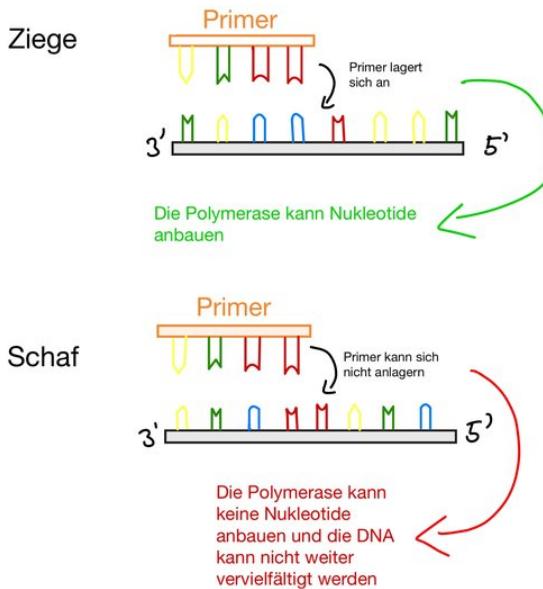


Abb. 20: Die Primer-Sequenz muss zur DNA-Vorlage komplementär sein, damit sich Primer anlagern können

der entfernt sein, wobei die minimale Entfernung nicht kleiner sein sollte als die kürzesten DNA-Stränge, die unser Längenstandard beinhaltete, da wir die Anzahl der Basenpaare der späteren DNA-Stränge sonst nicht bestimmen könnten. Außerdem mussten wir auch beachten, dass der Anteil von jeder Basenpaar-Sorte (also Adenin–Thymin beziehungsweise Guanin–Cytosin) im Bereich, in dem der Primer liegen sollte, zwischen 40 % und 60 % lag. Sobald wir das überprüft hatten, konnten wir die Schmelztemperatur unserer Primer mit folgender Näherungsformel ausrechnen:

$$T_m \text{ in } ^\circ\text{C} = 4 \cdot \text{Anzahl}(G + C) + 2 \cdot \text{Anzahl}(A + T).$$

Guanin und Cytosin leisten einen höheren Beitrag zur Schmelztemperatur, da sie durch drei Wasserstoffbrücken miteinander verbunden sind, Adenin und Thymin aber nur durch zwei. Ausgehend von der Schmelztemperatur bestimmten wir die Annealing-Temperatur für die PCR, indem wir 3 °C subtrahierten.

Nachdem wir die Schmelztemperaturen für Forward- und Reverse-Primer einer Tierart möglichst nah beieinander hatten (zum Beispiel durch Weglassen oder Hinzufügen einzelner Basen am Anfang oder Ende der Sequenz), wiederholten wir den Vorgang erneut für die

Sequenz der anderen Tierart, sodass es möglich war, die PCR mit Primern für beide Tierarten bei derselben Temperatur durchzuführen.

Beim Bestellen der Primer bemerkten wir, dass dort die Schmelztemperaturen offensichtlich anders berechnet wurden, weil stark abweichende Werte angegeben wurden, obwohl wir immer auf ähnliche Schmelztemperaturen geachtet hatten. Für unsere *muc1*-Primer lagen diese Werte dann einmal bei 50 °C und einmal bei 70 °C, sodass wir diese Primer nicht bestellten.

#### Unsere selbst designten Primer

Gen Tierart	Primer-Sequenz		Schmelz- Temperatur $T_m$	Erwartete Länge der DNA-Stücke
<i>mhc-II</i> Schaf Fwd	5'	'GGAGTATCATAAAGAGCGAGT 3'	58°C	188 bp
	Rev	5' TCTGTCCTCAGGAAGTCCT 3'	58°C	
<i>Ziege</i> Fwd	5'	'GGAGTATCATAAAGAGCGAGT 3'	58°C	162 bp
	Rev	5' TCCAGTACTTGGCGTCGG 3'	58°C	
<i>cyt-b</i> Schaf Fwd	5'	'GGCTATGTTTACCATGAGG 3'	58°C	344 bp
	Rev	5' GTACTAGTAGCATGAGGATG 3'	60°C	
<i>Ziege</i> Fwd	5'	'GGCTATGTTTACCATGAGG 3'	58°C	369 bp
	Rev	5' TCTCCGAGTAGGTGGGTG 3'	60°C	

Abb. 21: Sequenzen unserer selbst designten Primer mit Schmelztemperatur  $T_m$  und erwarteter Fragmentlänge

#### Vorab bestellte Primer

HENNADII KRYLOV

Um den selbstgebauten PCR-Roboter testen zu können, konnten wir wegen der langen Lieferzeit nicht auf unsere selbst designten Primer warten. Deshalb hatten unsere Kursleiter vorab Primer bestellt. Die Sequenzen dieser Primer stammen aus einer Veröffentlichung (Rodríguez et al., 2004<sup>4</sup>). Es handelt sich um Primer für ein anderes Gen, nämlich für das *12S-rRNA*-Gen. Die *12S-rRNA* findet man in Mitochondrien, wo sie für die Synthese von mitochondrialen Proteinen wichtig ist. Dieses Gen ist gut für die Identifizierung von Tierarten geeignet, weil es sowohl artübergreifend identische als auch artspezifische Bereiche hat. Das ermöglicht die Verwendung eines gemeinsamen Forward-Primers und verschiedener Reverse-

<sup>4</sup>Rodríguez, M. A., García, T., González, I., Asensio, L., Hernández, P. E., Martín, R. (2004): *PCR Identification of Beef, Sheep, Goat, and Pork in Raw and Heat-Treated Meat Mixtures*. Journal of Food Protection 67(1), 172–177. DOI: 10.4315/0362-028x-67.1.172.

Primer. Wir bestimmten anhand der veröffentlichten Sequenzen mithilfe von Alignments die erwarteten Fragmentlängen. Bei Verwendung dieser Primer ist die erwartete Länge der amplifizierten Produkte bei Ziegen (*Capra hircus*) 142 bp und bei Schafen (*Ovis aries*) 371 bp. In Abb. 22 sieht man, an welchen Stellen im 12S-rRNA-Gen die Primer an die Ziegen-DNA binden. Aus der Differenz erhält man die erwartete Fragmentlänge.

Ziege: PCR-Produkte von 141 bp



Abb. 22: Bestimmung der erwarteten Fragmentlänge bei den Ziegenprimern aus der Veröffentlichung

Anhand der berechneten Längen der PCR-Produkte konnten wir die benötigte Elongationszeit für die PCR bestimmen (50 s). Außerdem konnten wir für die Gel-Elektrophorese die benötigte Agarose-Konzentration (2 %) abschätzen und einen geeigneten Längenstandard (Längen 100–1000 bp) auswählen. Diese Informationen waren für die Gruppen Roboterbau und Laborarbeit wichtig, damit wir gemeinsam eine erfolgreiche PCR durchführen konnten.

## Bau eines eigenen Thermocyclers

### Roboter-Konstruktion

KILIAN ERNST

Um eine PCR durchzuführen, braucht man ein Gerät, das die notwendigen Temperaturänderungen für die einzelnen Phasen schnell und genau durchführt. Solche Geräte heißen Thermocycler und sind teuer. Um eine PCR selbst durchführen zu können, haben wir unseren eigenen Thermocycler gebaut. Da bei einer PCR in wenigen Sekunden die Temperatur um bis zu 35 °C verändert werden muss, beschäftigten wir uns zuerst mit der Frage, wie wir eine so schnelle Temperaturveränderung überhaupt mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln herbeiführen können. In einem normalem Thermocycler wird dazu ein Peltier-

Element verwendet, also ein elektrothermischer Wandler, der bei Stromdurchfluss entweder erwärmt oder kühlst. So können schnelle und auch sehr präzise Temperaturänderungen ermöglicht werden. Zusätzlich werden die Proben in einen Probenblock aus Aluminium, der sehr gut Wärme leiten kann, gesteckt. So kann die Wärme sehr schnell und ohne große Verluste direkt an die Proben weitergegeben werden.

Wir konnten keine Peltier-Elemente benutzen, deswegen erwärmen wir Wasser und hielten die Proben dort hinein. Allerdings brauchten wir für das Erhitzen des Wassers um 23 °C und für die darauffolgende Abkühlung um 35 °C jeweils weitaus mehr als eine Minute, obwohl wir das Wasser teilweise vollständig austauschten. Dies lag daran, dass sich zu viel Wärme in den Gefäßen für das Wasser sammelte, die von unseren Heizplatten beheizt wurden. Deshalb entschieden wir uns dazu, drei unterschiedliche Wasserbäder auf jeweils einer konstanten Temperatur zu halten und die Proben von einem Wasserbäder in das nächste zu transportieren.

Dafür bauten wir aus einem programmierbaren LEGO Mindstorms NXT-Baustein und LEGO-Technik-Steinen einen Roboter, der die Proben autonom von einem Wasserbäder in das nächste transportierte. Um sicherstellen zu können, dass der Roboter nicht von seiner Spur abwich, ließen wir ihn auf Schienen fahren. Außerdem hatte er einen Kranarm, der über die Wasserbäder gehalten wurde. Im Kranarm verlief ein Seilzug, an dem die Halterung für die Proben befestigt war. Zur Stabilisierung des Krans versahen wir ihn mit zwei Stützrädern, die nicht angetrieben wurden.

Die Probenhalterung musste wasser- und hitzebeständig sein. Nach einigen Tests mit verschiedenen Materialien entschieden wir uns für Aluminium. Die Probenhalterung hatte Platz für acht Proben, die in einem Drei-mal-drei-Quadrat angeordnet waren, mit einem Massestück in der Mitte. Das Massestück war nötig, weil die Gefäße mit den Proben hauptsächlich mit Luft gefüllt waren und somit auf dem Wasser schwimmen würden. Dies sollte vermieden werden, da sonst das Gefäß ungleichmäßig erwärmt würde. Dadurch würde Flüssigkeit innerhalb des Gefäßes verdampfen, was zur Folge hätte,

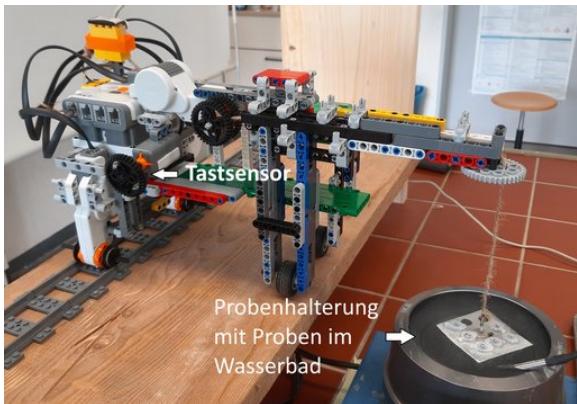


Abb. 23: Unser fertiger PCR-Roboter, die Probenhalterung befindet sich gerade in einem der drei Wasserbäder

dass die Stoffkonzentration in der restlichen Flüssigkeit unten im Gefäß nicht mehr mit der benötigten übereinstimmen würde. Bei unserer ersten PCR sprangen zwei Probengefäße aus der Halterung und schwammen dann im Wasserbad. Für unsere zweite PCR optimierten wir deshalb die Probenhalterung: Wir konstruierten einen „Deckel“ aus Aluminium, damit die Gefäße mit den Proben sicher in der Halterung blieben.

Dem Ganzen bauten wir noch ein Grundgerüst aus Holz, auf dem der Roboter erhöht fuhr, um Höhenunterschiede zwischen Roboter und Wasserbädern auszugleichen. Zusätzlich fertigten wir eine Kabelführung und eine Wand an, an der sich der Roboter orientierte. Diesen Aufbau sieht man in Abb. 23.

## Roboter-Programmierung

LINA BANGERT

Parallel zum Roboterbau beschäftigten wir uns mit der Programmierung, damit unser Roboter am Ende der Science Academy einen vollständigen PCR-Ablauf durchführen konnte. Wir begannen mit der Grundlage: dem Vor- und Zurückfahren. Dabei mussten wir die Motoren der Räder so ansteuern, dass sie sich fünfmal drehten. So erreichten wir, dass der Roboter immer mit dem gleichen Abstand zu den jeweiligen Wasserbädern fuhr.

Ein weiterer Programmbestandteil war das Anheben und Ablassen der DNA-Proben. Hier-

zu war eine Ansteuerung des Motors für den Seilzug notwendig. Zuerst drehte sich dieser 2,7 Umdrehungen vor und wickelte damit das Seil ab. Anschließend drehte er sich wieder 2,7 Umdrehungen zurück, wodurch das Seil hochgezogen wurde. Zwischen dem Abwickeln und dem Hochziehen des Seiles wurde beim ersten Mal 30 Sekunden, beim zweiten Mal erneut 30 Sekunden und beim letzten Mal 50 Sekunden gewartet. Diese Intervalle entsprachen der Denaturierungs-, Annealing- und Elongationszeit bei unserer ersten PCR. Die Zeiten ließen sich im Programm leicht verändern, um an die jeweiligen PCR-Anforderungen angepasst werden zu können. Danach fuhr der Roboter zurück zum Startpunkt.

Damit der Roboter auch bei jedem Zyklus an derselben Stelle von vorne begann, bauten wir einen Tastsensor ein. Wurde dieser an der Rückwand ausgelöst, startete ein neuer Zyklus.

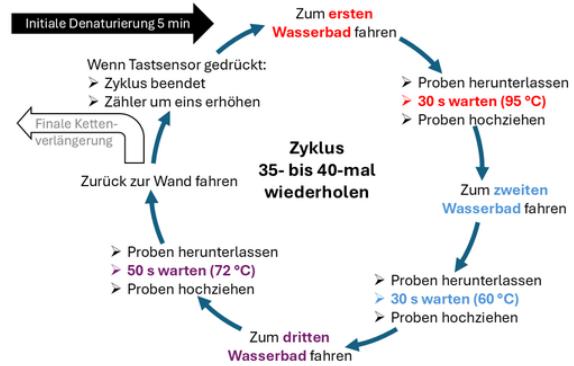


Abb. 24: Die Aktionen unseres PCR-Roboters in einem Zyklus, der 35- bis 40-mal wiederholt wird

Allgemein wird dieser gesamte Prozess 35- bis 40-mal wiederholt, je nachdem, wie viele DNA-Kopien benötigt werden und in welchem Zustand die DNA für weitere Untersuchungen vorliegen muss. Bei unserer ersten PCR war es unpraktisch, dass wir während der laufenden PCR nicht sehen konnten, in welchem Zyklus sich der Roboter befand. Deshalb optimierten wir unser Programm für die zweite PCR so, dass der aktuelle Zyklus auf dem Display des Roboters angezeigt wurde. Dazu verwendeten wir eine Variable, die nach jedem Zyklus, also immer nach dem Auslösen des Tastsensors, um eins erhöht und dauerhaft ausgegeben wurde.

## Temperaturmessung mit einem Arduino

MARIYA LUDWIG

Ein weiteres Ziel des Teams Thermocycler war es, die benötigten Temperaturen in den drei Wasserböden einzustellen und konstant zu halten. Wir wollten die Temperatur mit wasserdichten Temperatursensoren erfassen und über einen Arduino auf einem LC-Display ausgeben. Die Temperatureinstellung an den Heizplatten vom LSZU für die Wasserböder mussten wir manuell anpassen.

```

13 void loop() {
14     messwert=analogRead(A0);
15     temperatur=500*messwert/1023; //Messwert in Temperatur
16     Serial.print ("Temperatur:");
17     Serial.println (temperatur);
18     delay (1000);
19     lcd.setCursor(0, 0); // Position Cursor
20     lcd.print("Temperatur: ");
21     lcd.setCursor(0, 1); // erstes Zeichen 2. Zeile.
22     lcd.print(temperatur);
23     delay(500);
24 }
```

Abb. 25: Ausschnitt aus unserem Arduino-Programm

Nach einer kurzen (Wieder-)Einführung in den Arduino und seine Programmierung ging es auch schon los: Unser Plan war es, einen Temperatursensor einzubauen und die gemessene Temperatur auf einem Display und dem seriellen Monitor anzeigen zu lassen. Das gestaltete sich aber schwieriger als gedacht. Zwar war das Programm schnell fertig geschrieben, doch die Werte waren entweder unrealistisch oder wurden gar nicht erst angezeigt.



Abb. 26: Überprüfen der Temperaturmessung

Infolgedessen setzten sich einige aus unserem Kurs an den Computer und versuchten, herauszufinden, warum das Ganze nicht funktioniert

hatte. Am Schluss fand Katharina, unsere Kursleiterin und Expertin für den Arduino, den Fehler. Es stellte sich heraus, dass wir verschiedene Variablentypen vermischt und das Display immer wieder gelöscht hatten. Die falschen Werte resultierten aus einem Fehler in der Umrechnung von Spannung in Temperatur. Der Sensor ändert temperaturabhängig seinen Widerstand. Der Arduino misst daraufhin eine Spannungsänderung. Diese muss dann wiederum in die Temperatur in Grad Celsius umgerechnet werden.

Am Tag darauf ging es um die Ausweitung auf drei Sensoren, da wir uns für drei Wasserbecken entschieden hatten und in jedem die Temperatur messen wollten. Abgesehen von einem kleinen Tippfehler im Programm funktionierte dies zuverlässig. Zum Testen der Sensoren gingen wir anschließend ins Labor. Als Vergleich nutzen wir analoge Thermometer. Tatsächlich zeigten am Ende alle digitalen Thermometer die Temperaturen sinnvoll an (siehe Abb. 27).

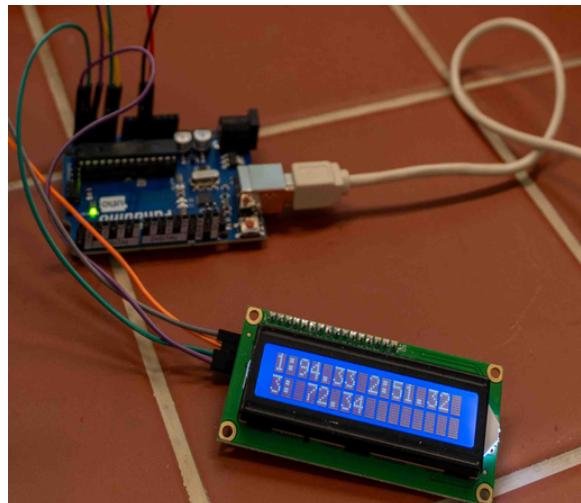


Abb. 27: Temperaturanzeige mit dem Arduino auf einem LC-Display

Zum Schluss brachten wir noch ein mobiles Thermometer an der Probenhalterung an, um den Temperaturverlauf unserer eigenen PCR verfolgen zu können. Dies funktionierte ähnlich wie im ersten Versuch, allerdings ließen wir uns zusätzlich im „Serial Plotter“ ein Diagramm zur gemessenen Temperatur erstellen. In Abb. 28 ist der Temperaturverlauf für zwei Zyklen dargestellt. Man kann sehr gut die typischen Temperaturen für die drei Zyklus-Phasen

sehen: 95 °C für die Denaturierung, 66 °C zur Primeranlagerung und 72 °C für die Elongation. Leider waren die Temperatursensoren etwas träge, deshalb sieht es so aus, als ob die 95 °C in der Denaturierungsphase nur sehr kurz vorherrschen würden und nicht für die eingestellten 40 Sekunden. In unseren Probengefäßen mit 42 µL Flüssigkeitsvolumen hat sich die Temperatur aber vermutlich wesentlich schneller geändert.

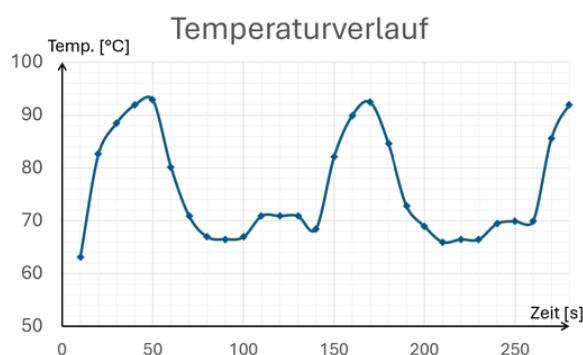


Abb. 28: Mit dem Arduino aufgezeichneter Temperaturverlauf für zwei PCR-Zyklen

## Schaf oder Ziege?

ELENA ZWINGMANN

### Proben von Tieren nehmen



Abb. 29: Entnahme von Mundschleimhautzellen mit Karotten

Um an die DNA der vier Tiere auf dem LSZU-Gelände zu kommen, verwendeten wir Karotten. Mit der Karotte berührten wir die Mund-

schleimhaut der Tiere und zogen sie dann wieder aus dem Maul heraus. Anschließend spülten wir den Speichel der Tiere mit etwas Wasser von der Karotte in ein Becherglas und überprüften mit dem Mikroskop, ob sich Mundschleimhautzellen in den Proben befanden. Danach isolierten wir die DNA für unsere PCR mit InstaGene™ Matrix.

### PCR-Ergebnisse



Abb. 30: Der Roboter wird für die PCR vorbereitet

Von jedem Tier gaben wir je zwei Proben in unsere PCR: Eine mit den vorab bestellten Ziegenprimern und eine mit den entsprechenden Schafprimern. Bei Ziegenprimern war die erwartete Länge der vervielfältigten DNA-Sequenzen 141 Basenpaare, bei den Schafprimern 371 Basenpaare. Nachdem unser eigener PCR-Roboter die Proben erfolgreich vervielfältigt hatte, führten wir eine Gel-Elektrophorese durch und färbten die Proben mit SYBR Green ein. Im Gel konnte man dann bei den Proben, die den Primer der richtigen Tierart enthielten (dort, wo die DNA also vervielfältigt wurde), Banden sehen. Wenn also bei einer Probe mit Schafprimern eine Bande zu sehen war, handelte es sich bei dem Tier um ein Schaf. Sah man bei einer Probe mit Ziegenprimern eine Bande, handelte es sich um eine Ziege. Daran und anhand der Strecke, welche die DNA durch das Gel gewandert war (also der Länge der DNA-Sequenzen), konnten wir feststellen, welche der Tiere Ziegen und welche Schafe sind.

Unsere Ergebnisse sieht man in Abb. 31. In den beiden zum schwarzen Tier 1 gehörenden Spu-

ren erkennt man eine Bande nur in der linken Spur. Die DNA mit dem Schafprimer wurde also vervielfältigt, die mit dem Ziegenprimer nicht. Das Tier ist ein Schaf. Bei Tier 2 haben wir ausprobiert, Schaf- und Ziegenprimer gleichzeitig in einem Reaktionsgefäß zu verwenden. Das hat funktioniert: In der linken Spur mit beiden Primern sieht man eine Bande. Diese ist auf der gleichen Höhe wie die Bande in der rechten Spur von Tier 2. Beide Male ist die DNA weiter gewandert als die bei Tier 1. Es handelt sich also um Ziegen-DNA, die bei diesen Primern zu kürzeren Stücken führt. Tier 2, „Barty“, ist also eine Ziege. Entsprechend ist Tier 3 ein Schaf und Tier 4 eine Ziege. Damit haben wir unsere Fragestellung beantwortet: **Am LSZU gibt es zwei Schafe und zwei Ziegen!**

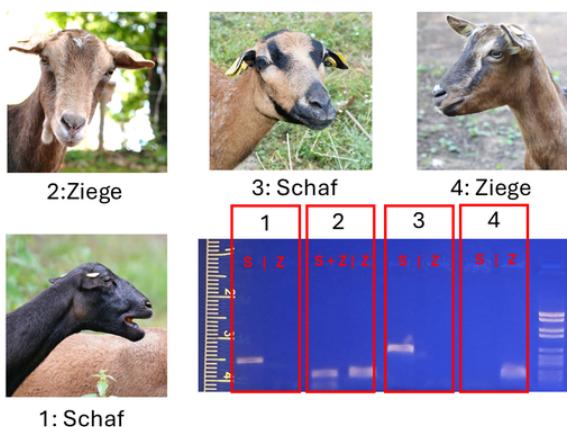


Abb. 31: PCR-Ergebnisse; S: Schafprimer, Z: Ziegenprimer

## Ergebnisse mit eigenen Primern

KURS GENETIK

Pünktlich zum Ende der Sommerakademie hatten wir mit unserem eigenen PCR-Roboter das Mysterium um die Tiere auf dem Akademiegelände gelöst. Mit Spannung warteten wir auf das Dokuwochenende, um unsere selbstdesignten Primer testen zu können. Wir führten eine PCR durch, bei der wir die DNA der Tiere jeweils mit dem *mhc-II*-Primerpaar für Schaf beziehungsweise Ziege und dem *cyt-b*-Primerpaar für beide Tierarten vervielfältigten. Die Auswertung bestätigte unsere Ergebnisse vom

Sommer. In Abb. 32 sieht man den Gelausschnitt für die DNA von Barty (Ziege).

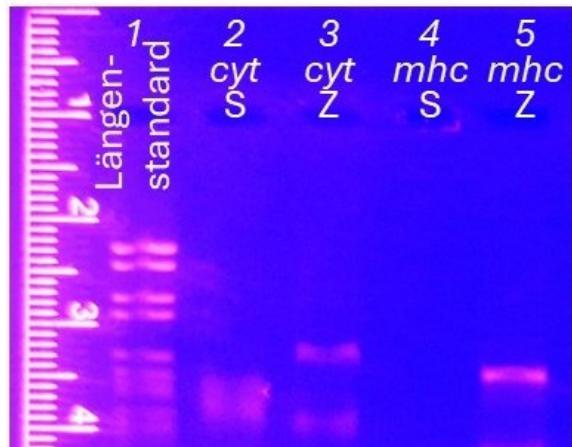


Abb. 32: PCR-Ergebnisse Ziegen-DNA mit eigenen Primern

In Spur 1 ist ein Längenstandard aufgetragen. In den Spuren mit Schaf-Primern (2 und 4) erkennt man keine Banden, in den Spuren mit Ziegenprimern (3: *cyt-b* und 5: *mhc-II*) sieht man, dass DNA vervielfältigt wurde. Die DNA-Stücke im Ansatz mit den *cyt-b*-Primern sind länger, wie wir es erwartet haben (vergleiche Abb. 21). In Spur 2, beim *cyt-b*-Schafprimer, gibt es keine deutliche Bande, es scheinen aber viele unterschiedliche, kurze DNA-Stücke entstanden zu sein. Vermutlich hat der Primer unspezifisch an die DNA an verschiedenen Stellen gebunden. Hier müssten wir weitere Versuche machen, um die Annealing-Temperatur zu optimieren. Dafür hatten wir am Dokuwochenende aber leider keine Zeit mehr. Trotzdem sind wir sehr stolz, dass auch unsere selbstdesignten Primer funktionieren.

## Exkursion ans EMBL

KLEMENS LEHMANN

Am Montag, den 8. September, fuhren wir schon frühmorgens mit einem gecharterten Bus zum Europäischen Laboratorium für Molekulärbiologie (EMBL) in Heidelberg. Am EMBL angekommen, wurden wir im Imaging Centre von unserem Guide empfangen und ins ATC-Gebäude (Advanced Training Centre) geführt. Dieses Gebäude ist nach dem Vorbild der Struktur der DNA, also einer Doppelhelix, aufgebaut.

In dem zylinderförmigen Gebäude ist das Treppenhaus, welches aus zwei gegenläufigen Rampen besteht, deshalb in der Mitte angebracht und die Büroräume zeigen nach außen. Im Gebäudenamen kommen drei der vier Basen der DNA vor: Adenin, Thymin und Cytosin. Das „G“ für die letzte Base Guanin befindet sich vor dem Gebäude in Form einer Statue. Im ATC-Gebäude erhielten wir einen Vortrag über die Bildung und Faltung von Aminosäureketten. Wir lernten, dass jede Aminosäure aus dem gleichen Grundgerüst besteht. Es gibt ein zentrales Kohlenstoffatom, dieses ist verbunden mit der Aminogruppe ( $\text{NH}_3^+$ ), einem Wasserstoffatom (H), der Carboxylgruppe ( $\text{COO}^-$ ) und einer Seitenkette (Rest, R). Letztere ist je nach Aminosäure unterschiedlich aufgebaut. Die Seitenkette kann nur aus einem Atom oder auch aus komplexen Atomstrukturen bestehen. Sie ist ausschlaggebend für die Eigenschaften der Aminosäure. Wesentlich für die Struktur von Proteinen ist die Anordnung der Aminosäuren in der Aminosäurekette. Diese bestimmt die räumliche Struktur der Kette. Hierfür gibt es bestimmte Regeln, wie die räumliche Struktur auszusehen hat. Je nachdem, welche Aminosäuren vorhanden sind, ergibt sich ein anderes Protein, welches zum Beispiel für den Stofftransport zuständig oder an Regulationsprozessen beteiligt sein kann. Anschließend bauten wir mit Modellen unsere eigenen Aminosäureketten und falteten sie entsprechend der Reste der eingebauten Aminosäuren zu dreidimensionalen Proteinen. Das war sehr interessant.

Nach dem praktischen Teil bekamen wir von einer Wissenschaftlerin, die am EMBL arbeitet, einen Einblick in ihren Berufsalltag und in die Arbeitsweise in der wissenschaftlichen Forschung. Am Schluss hatten wir alle eine sehr gute Vorstellung von diesem Berufsfeld, was uns sehr geholfen hat. Im neuesten Gebäude des EMBL, dem Imaging Centre, verbrachten wir unsere verbleibende Zeit. Dort gibt es eine Ausstellung, die von den aktuellen Forschungsergebnissen des EMBL handelt. Durch interaktive Bildschirme, VR-Brillen und viele detaillierte Animationen konnten wir noch weiter in die Welt der DNA und Molekularbiologie eintauchen. Es gab unter anderem Stationen über genetisch bedingte Krankheiten, Zelltei-

lung, Microglia-Zellen, welche die Neuronen im Gehirn „reparieren“, Licht- und Elektronenmikroskope und viele weitere spannende Themen.



Abb. 33: Picknick vor dem EMBL

Nachdem wir unser Vesper bei leichtem Regen vor dem EMBL gegessen hatten, liefen wir als Kurs noch gemeinsam runter in die Innenstadt von Heidelberg. Nach einem kleinen Aufenthalt in einer der längsten Fußgängerzonen Europas gingen wir zum Heidelberger Bahnhof und fuhren zurück nach Adelsheim. Wir hatten einen schönen und sehr interessanten Tag in Heidelberg und am EMBL und sind sehr dankbar für die schönen Erfahrungen und die interessanten Einblicke in die Welt der molekularbiologischen Forschung, die wir dort bekamen.

## Schluss

KURS GENETIK

Während der zwei Wochen Sommerakademie lernten wir nicht nur fachlich Vieles dazu, sondern wuchsen auch als Kurs zusammen. So gelang uns dann der glorreiche Sieg beim Sportfest. Unsere Zeit in Adelsheim lässt sich super mit unserem Schlachtruf zusammenfassen: „**Veni – vici – Ziegi!**“



Abb. 34: Üben für die Vorträge

## Zitate

Ich WAR Noah (Noah)

Drei ist da, wo die drei steht (Klaus)

Habt ihr wirklich keine Probleme? (Klaus)

7 Handys lang und 1,5 Handys breit (Helia)

Es wird kein Chaos geben, ihr habt doch mich  
(Nilay)

War das Banane? Nein, das war Noah. (Emilia  
und Frida)

Das Leben ist hart, doch die Karotte ist härter  
(Helia)

Ist okay, ich habe ja einen geilen Arsch  
(Anonym)

Wo ist Elena? (Der gesamte Kurs, immer)

Der Whiskeymixer mixt Whiskey

Denkt an die Korken (Helia)

Meine Baaabys (Helia)

Alles nur Probleme im Nanometerbereich  
(Kilian)

Unterschiede im Immunsystem und Verdau-  
ungstrakt (Alle, während der Übungspräsen-  
tationen auf die Frage: „Welche Unterschiede  
zwischen Schaf und Ziege kann man auf diesem  
Bild erkennen?“)





# Kurs 2 – Klimaphysik/Informatik: Klimamodelle und maschinelles Lernen – Die Zukunft des Planeten verstehen



## Unser Kurs

**Aaron** war immer so tief in den Themen vertieft, dass er kaum noch vom Laptop wegzubekommen war. Mit seinen großen Mathematik- und Informatikkenntnissen konnte er uns alle beeindrucken. Nicht nur sein Fachwissen, sondern auch seine Ausstrahlung sorgten insgesamt für eine lockere und angenehme Kursatmosphäre.

**Arina** war immer bei der Sache und bereicherte den Kurs mit ihrem einzigartigen Humor. Sie hatte eine unglaublich starke körperliche und mentale Kraft und war fachlich sehr kompetent. Arina achtete darauf, dass alle

mitgenommen werden, und strahlte stets eine ansteckende Begeisterung aus. Sie hatte immer gute Worte parat und ein Lächeln auf den Lippen.

**Chiara** hat viele Leute in unserem Kurs verbunden und immer die Atmosphäre mit ihren Witzen aufgelockert. Sie war immer gut gelaunt und für ein Gespräch zu haben. Chiara ging immer mit viel Motivation an Projekte heran und bewies unglaubliches Durchhaltevermögen. Neue Taktiken beim Planenspiel konnte sie klar und verständlich kommunizieren und uns von der Umsetzung dieser überzeugen.

**Emilia** hat den Kurs sozial zusammengehalten. Beim Sportfest hat sie alle mit ihrem Durchhaltevermögen motiviert. Auch beim Musik-Abend hat sie alle mit ihrer Stimme berührt. Allgemein hat sie viel Ruhe in den Kurs gebracht. Außerdem konnte sie zu jedem Gespräch und jeder Diskussion Beiträge leisten.

**Greta** blühte im Kurs immer mehr auf und beeindruckte alle mit ihren fachlichen Kompetenzen. Sie gab immer gut durchdachte Antworten und war dennoch stets locker und gut gelaunt. Außerdem trug sie mit ihrer aufgeweckten Art zur Ruhe und Gesamtheit des Kurses bei. Sie war stets kreativ, und wie sie während des Kurses auch noch an ihrer Buchreihe weiterschreiben konnte, ist uns ein Rätsel.

**Jannick** bewies einen starken und großen Charakter, wobei sich auch seine Körpergröße beim Planenspiel als extrem praktisch herausstellte. Sobald man einen Wunsch nach einer Grafik hatte, erstellte Jannick sie in kürzester Zeit. Außerdem trug er einen großen Teil zu den komplizierten Programmierprojekten bei. Auch außerhalb des Kurses begeisterte er uns mit seinen Dominosteinen, aus denen er beeindruckende Bauwerke konstruierte.



**Jasper** war immer engagiert und hilfsbereit. Sein Fachwissen war ebenso hervorragend wie seine Sprachkenntnisse. So sorgten seine Neuseeländischkenntnisse immer für eine lockere Stimmung im Kurs. Er machte mehr Späße als alle anderen im Kurs und provozierte damit regelmäßig Gelächter. Er

war für uns wie ein zweiter Schülermentor, indem er den Schlachtruf mit anleitete. Jasper hat sowohl immer in den Projekten viel mitgearbeitet als auch den Kurs zusammengehalten.

**Justus** brachte sich in den Kurs durch seine humorvolle und lockere Art ein. Er ließ sich nie stressen und beteiligte sich an allen möglichen Debatten. Er schaffte es, Leute zum Nachdenken anzuregen und war unser feststehender Fels beim Planenspiel. Ob mit Jannick auf seinen Schultern oder dem ganzen Kurs um sich herum stand Justus fest mit mindestens einem Bein auf dem Boden.

**Louisa** war sehr engagiert und hatte zu den richtigen Zeitpunkten immer gute und passende Ideen. Sie konnte sich trotz Erkältung beim Planenspiel durchsetzen und unsere Gruppe sehr gut koordinieren. Sie machte aus jeder Situation das Beste und steckte uns mit ihrer Motivation und guten Laune an. Sobald wir Fragen zu einem Aufschrieb hatten, wusste Louisa genau, wo dieser zu finden war. Aber auch unter hohem Druck und bei komplexen Aufgaben bewahrte sie Ruhe und Durchblick.

**Manuel** war immer eine ruhige Komponente unseres Kurses und hatte auch die nötige Motivation, bis spät in die Nacht an mathematischen Problemen zu arbeiten. Er traute sich auch selbstständig an komplexe Projekte und lieferte somit einen riesigen Beitrag zum Fortschritt unseres Kurses. Außerdem konnte er toll mit uns reden und immer eine rationale Meinung mit uns teilen. Wir konnten uns darauf verlassen, dass Dinge, die er anfing, sauber zu Ende bearbeitet wurden.

**Matz** hatte zu jedem aufkommenden Problem einen kreativen Lösungsansatz. Er war an jedem noch so anstrengenden Tag gut gelaunt und war wie unser Sonnenschein. Auf Matz konnte man sich immer verlassen, und sobald uns ein Thema unklar war, konnte er es uns verständlich und höchst professionell erklären. Beim Planenspiel kam er mit neuen Strategien und konnte uns immer zur Ruhe rufen, sobald es zu laut wurde.

**Niklas** hatte immer etwas zu Diskussionen beizutragen und brannte für seine Ideen. Dabei konnte er sich fachlich immer sehr genau ausdrücken. Bei unserer Exkursion und unserem Rollenspiel hat er sehr aktiv mitgemacht und eine phänomenale Abschlussrede gehalten.

**Sophia** hat oft Gespräche angefangen und damit die Stimmung allgemein aufgelockert. Dabei hatte sie immer einen Witz auf Lager. Bei den Gruppenspielen zeigte sie Durchsetzungsvermögen. Außerdem beeindruckte sie uns mit ihrem Fachwissen über die Formel 1. Auch die selbstgeklebten Cookies an ihrem Namensschild fielen auf und waren oft der Grund für ein spontanes Lächeln.

**Avaneesh** war der beste Schülermentor, den sich unser Kurs hätte vorstellen können. Egal, welches Problem wir hatten, er hatte immer ein offenes Ohr für uns und stand uns mit Rat und Tat zur Seite. Ob er uns beim Planenspiel anfeuerte und motivierte oder uns Kursinhalte näherbrachte, er blieb immer entspannt und sorgte mit seinem Humor für eine lockere Stimmung. Auch in Gesprächen mit ihm hörte er uns aufmerksam zu und wir konnten offen mit ihm über aufkommende Probleme sprechen.

**Daniel** war nicht nur ein hervorragender Kursleiter, der uns besonders im Machine-Learning- und Mathematikbereich sehr bereicherte, sondern auch jemand, der mit seiner stets guten Laune und Geduld den Stoff auf verständliche und motivierende Weise vermittelte. Er hatte immer ein offenes Ohr und erklärte auch komplexe Themen so, dass es alle verstanden.

**Felix** war als Kursleiter eine verlässliche und geschätzte Stütze in unserem Kurs. Mit seiner pflichtbewussten und stets freundlichen Art war er immer zur Stelle, wenn Hilfe gebraucht wurde, egal ob fachliche oder organisatorische. Besonders in Klimaphysik und Machine Learning zeichnete er sich durch tiefes Verständnis und beeindruckendes Fachwissen aus.

**Julia** war eine herausragende Kursleiterin, die mit einer perfekten Mischung aus beeindruckendem Fachwissen und herzlicher, offener

Art überzeugte. Ihre Erklärungen waren so klar und verständlich, dass man den Inhalt sofort erfassen konnte. Und wenn doch einmal eine Frage aufkam, merkte man sofort, wie gerne sie diese geduldig und freundlich beantwortete. Zusätzlich hatte sie stets ein offenes Ohr für uns und brachte den Kurs zusammen.

## Einführung

DANIEL SCHILLER, FELIX STRNAD,  
JULIA BRUGGER

In unserem Kurs machten wir es uns zur Aufgabe, die Temperatur der Erde vorherzusagen. Dabei befassten wir uns sowohl mit kurzen Wetterprognosen von wenigen Tagen als auch mit Klimaprognosen von mehreren Jahrzehnten. Stützen wir uns hierfür besser auf physikalische Prinzipien, oder lernen wir mehr aus historischen Daten? Dieser Fragestellung gingen wir nach und kamen zu dem Ergebnis, dass die Antwort aufgabenabhängig ist.

Für Klimaprognosen beschäftigten wir uns mit den grundlegenden Mechanismen des Klimasystems. Hieraus konnten wir Klimamodelle unterschiedlicher Komplexität formulieren, die grundlegend auf Erhaltungssätzen und Energiebilanzen basierten. Um Klimaprognosen zu erstellen, programmierten wir diese Modelle schließlich in Python. Für kurzzeitige Wettervorhersagen machten wir uns mit den Grundlagen von Machine Learning vertraut. Wir programmierten ein neuronales Netz, das statistische Zusammenhänge der Temperaturentwicklungen lernen konnte. Nachdem wir dieses mit echten Wetterdaten trainiert hatten, konnten wir kurzzeitige Wetterprognosen mit Konfidenzintervallen erstellen.

In unserem Kurs war es für alle durchaus eine Herausforderung, die Vielzahl der relevanten Themen zu durchdringen – viel neue Physik, geowissenschaftliche Betrachtungen zum Erdsystem, eine für manche zuvor noch kaum benutzte Programmiersprache, statistische Grundlagen der Anwendung von Machine Learning und am Exkursionstag auch noch die politische und gesellschaftliche Dimension der globalen Erwärmung.

Wir, drei aktiv Forschende, hatten als Kursleiter:innen zudem die Idee gehabt, dass im Kurs mehr geforscht als unterrichtet werden sollte. So übten wir neben fachlichen Herausforderungen auch die Frustrationstoleranz, wenn die Ursache für negative Temperaturen (gemessen in Kelvin!), unverständliche Fehlermeldungen und viel zu lange Rechenzeiten selbst von den Kursleiter:innen erst nach längerer Zeit gefunden werden konnte. Durch die Kombination aus fachlichem Input, eigenem Erarbeiten neuer Themen und der Projektarbeit in Gruppen fand jede und jeder während des Kurses ihren und seinen Platz. Im Laufe der Zeit entstand so eine Atmosphäre, die von einer produktiven Mischung aus Konzentration, Freude am gemeinsamen Arbeiten, humorvollen Unterbrechungen und konstruktivem Feedback geprägt war.

## Klima, Wetter und Modelle

JASPER BOERSMA, JUSTUS  
BAUMGARTNER

Um das Wetter und das Klima vorherzusagen, also Prognosen für die Zukunft zu erstellen, brauchen wir Modelle. Modelle sind vereinfachte Darstellungen komplexer Systeme, in diesem Fall eines Klimasystems. Aber was sind Klima und Wetter überhaupt?

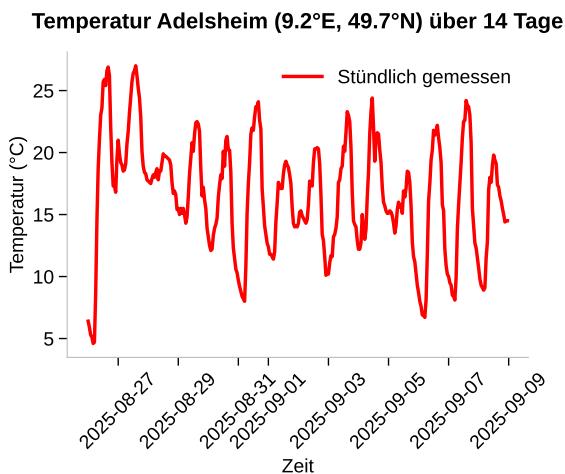


Abb. 1: Stündlich aufgelöste Temperatur für Adelsheim. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>[https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/hourly/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/hourly/)

Von Wetter spricht man, wenn kurze Zeiträume betrachtet werden, siehe Abb. 1. Beispiele sind: „Heute regnet es“ oder „Letzte Woche hatten wir schönes Wetter“. Von Klima spricht man hingegen, wenn Zeiträume von mindestens 30 Jahren betrachtet werden, siehe Abb. 2. Ein Beispiel hierzu ist: „Es wird von Jahr zu Jahr wärmer“.

Temperatur Adelsheim (9.2°E, 49.7°N) über 40 Jahre

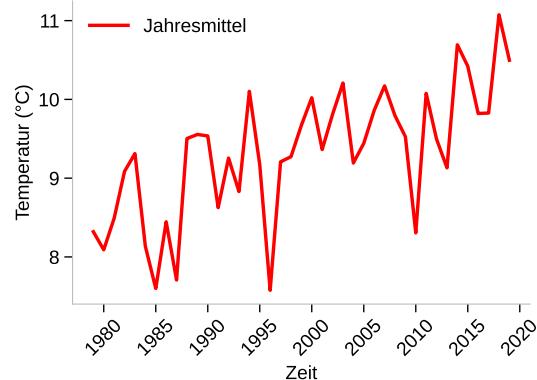


Abb. 2: Jährlich gemittelte Temperaturdaten für Adelsheim. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst<sup>2</sup>.

An den beiden Abbildungen 1 und 2 sieht man, dass sich Wetterdaten mit eher kurzfristigen Temperaturschwankungen befassen, während das Klima längere Trends beschreibt. So ist beispielsweise die Temperatur in Adelsheim in den letzten 40 Jahren um ca. 2 °C gestiegen.

Deshalb brauchen wir unterschiedliche Modelle, um das Wetter und das Klima am genauesten darzustellen. Für Klimamodellierung müssen wir mit physikalischen Gesetzen arbeiten, um dann Klimaveränderungen wie den Klimawandel simulieren zu können und damit vorherzusagen. Für Wettermodelle hat sich, statt sich dem Ganzen physikalisch zu nähern, Machine Learning in letzter Zeit bewährt. Hierzu befassten wir uns mit echten Daten, um letztendlich ein neuronales Netzwerk zu trainieren. Diese Daten wurden von der Wetterstation in Buchen, das in der Nähe von Adelsheim liegt, erhoben. Wir konnten sie auf der Website des Deutschen Wetterdienstes<sup>3</sup> abrufen. Nun hatten wir also

<sup>2</sup>[https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/daily/Project\\_TRY/air\\_temperature\\_mean/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/Project_TRY/air_temperature_mean/)

<sup>3</sup>[https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/)

auch Wetterdaten seit 1935 – mit fünf Jahren Kriegspause – zur Tageshöchst-, Durchschnitts- und Tagestiefstemperatur sowie zum Niederschlag.

## Das Klimasystem

MATZ VON ASCHERADEN

Um Klima- und Wetterprognosen erstellen zu können, ist ein grundlegendes Verständnis des Klimasystems unerlässlich. Dieses komplexe Zusammenspiel aus Atmosphäre, Hydrosphäre (Ozeane, Süßwasser und Eis), fester Erde und Biota (alle Lebewesen auf der Erde) bestimmt, wie Energie und Stoffe auf der Erde verteilt und ausgetauscht werden. Nur wer die physikalischen Prozesse, Rückkopplungen und Wechselwirkungen innerhalb dieses Systems kennt, kann Vorhersagen und Modelle entwickeln, die sowohl kurzfristige Wetterereignisse als auch langfristige Klimaveränderungen realistisch abbilden.

Das Klima auf der Erde wird durch externe Antriebe und interne Interaktionen der Komponenten des Klimasystems bestimmt.

### Externe Antriebe

- **Sonneneinstrahlung (Forcing):** Die Sonne ist der wichtigste externe Antrieb und „Energiegeber“ der Erde. Die Einstrahlung der Sonne wird durch die Sonnenleuchtkraft sowie die drei Orbitalparameter beeinflusst:
  - Sonnenleuchtkraft: die Energie, die die Sonne pro Sekunde in das Weltall abgibt
  - Obliquität: Neigung der Erdachse
  - Exzentrizität: Ellipsenförmigkeit der Erdumlaufbahn
  - Präzession: Kreiseln der Erdachse

Die Sonnenleuchtkraft hat seit der Entstehung der Erde um 30 bis 40 Prozent zugenommen. Die Orbitalparameter variieren zyklisch auf einer Zeitskala von mehreren tausend Jahren. Änderungen der Orbitalparameter führen zu Klimaänderungen auf der Zeitskala von Eiszeitzyklen, also in einer Größenordnung von zehntausenden bis

hunderttausenden Jahren. Die Orbitalparameter selbst bestimmen zudem die Jahreszeiten.

- **Plattentektonik:** Die Bewegung der Kontinentalplatten führt zu Vulkanausbrüchen und anderen geologischen Prozessen, die Gase wie CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre freisetzen, aber auch deren Speicherung in tiefen Gesteinsschichten ermöglichen. Damit reguliert sie das Klima langfristig. Darüber hinaus haben kurzfristige Veränderungen, zum Beispiel durch starke Vulkanausbrüche, starke und schnelle Klimaveränderungen bewirkt und damit teilweise sogar Massenaussterben ausgelöst.

### Interne Interaktionen

Die einzelnen Komponenten des Klimasystems tauschen gegenseitig Masse, Stoffe und Energie aus. Das bewirkt für das Wettergeschehen und das Klima wichtige Prozesse, zum Beispiel:

- **Hydrosphäre:** Ozeane sind durch ihre hohe Wärmekapazität gute Wärmespeicher und können dadurch über Strömungen Wärme auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen transportieren und mit anderen Komponenten austauschen.
- **Biota:** Pflanzen und Tiere sind Teil des Kohlenstoffkreislaufs und tauschen somit mit den anderen Komponenten Kohlenstoff aus. Außerdem bestimmen sie wichtige Größen für Wechselwirkungen auf der Landoberfläche. Ein Beispiel ist die Rauigkeit der Oberfläche, die Winde beeinflusst.
- **Feste Erde:** Die Oberfläche der Erde spielt eine wichtige Rolle beim Energietransport auf der Erde. Beispielsweise beeinflusst die Topografie atmosphärische Strömungen und Niederschlagsmuster. Auf sehr langer Zeitskala führen über Jahrmillionen wandernde Kontinente langfristig zu einer Veränderung des Wärmetransports im Ozean. Zudem bestimmt die Oberflächenbeschaffenheit die chemische Verwitterung, durch die Treibhausgase langfristig gebunden und im tiefen Ozean gespeichert werden können.
- **Atmosphäre:** Die Atmosphäre tauscht mit allen anderen Komponenten auf kurzen

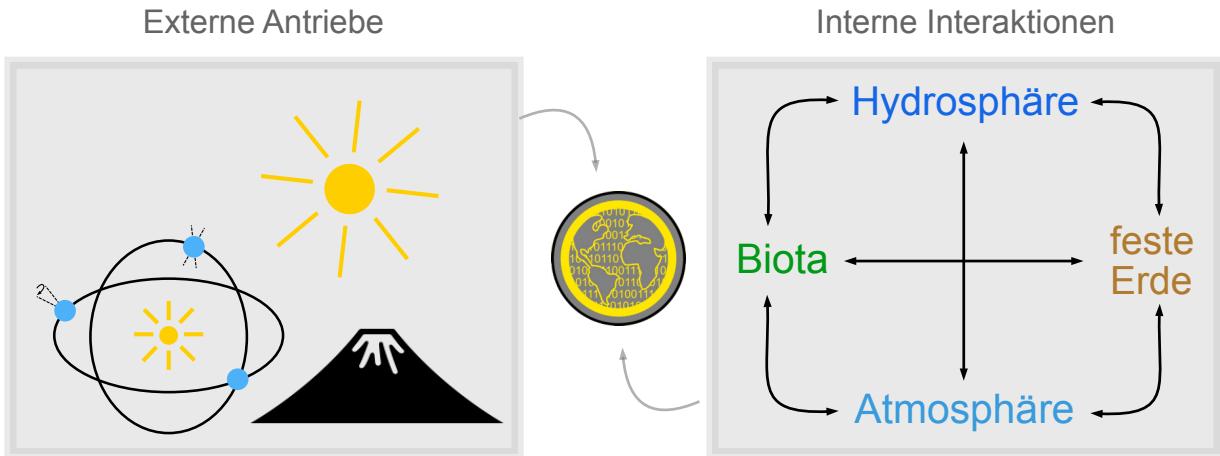


Abb. 3: Aufbau und Prozesse des Klimasystems. Links: Externe Antriebe (Sonnenleuchtkraft, Orbitalparameter, Plattentektonik); Rechts: Komponenten des Klimasystems und interne Interaktionen.

Zeitskalen Energie, Wasser und Gase aus und transportiert sie mit den atmosphärischen Strömungen. Diese Interaktionen der Atmosphäre mit den anderen Komponenten des Klimasystems bestimmen damit grundlegend das Wettergeschehen.

## Feedbacks

Die Interaktionen der unterschiedlichen Komponenten können anfängliche Veränderungen im Klimasystem verstärken und abschwächen. Solche Wechselwirkungen nennt man Rückkopplungseffekte oder Feedbacks:

- **Positive Feedbacks** verstärken den Ausgangseffekt.

*Beispiel: Eis-Albedo-Effekt.* Durch erhöhte Temperaturen schmilzt Eis, wodurch die Reflexion (Albedo) abnimmt, was die Temperatur weiter erhöht.

- **Negative Feedbacks** schwächen den Ausgangseffekt ab.

*Beispiel: Chemische Verwitterung.* Höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erhöhen die Temperaturen und die Niederschlagsmenge. Dies erhöht die chemische Verwitterung, wodurch mehr CO<sub>2</sub> langfristig in Gestein gebunden wird, was zum Sinken der Temperatur führt.

Die beschriebenen Prozesse zeigen, dass das Klimasystem hochkomplex und stark vernetzt ist. Diese Komplexität macht das Erstellen von Prognosen und Vorhersagen schwierig. Wir müssen daher in jedem Fall Vereinfachungen

annehmen, um das Klimasystem erfass- und vorhersagbar zu machen. Das bedeutet, wir müssen Modelle entwickeln. Im Folgenden beschreiben wir die Entwicklung eines langsam komplexer werdenden Klimamodells.

## Numerische Klimamodelle

EMILIA PAUL, JANNICK BÖSERT,  
MANUEL WEFERS, SOPHIA HERBEL

### 0-dimensionales Energiebilanz-Modell

Ein 0-dimensionales Energiebilanz-Modell ist die einfachste Form eines Klimamodells und eignet sich daher besonders für den Einstieg in die numerische Klimamodellierung. Zunächst wird die Erde in diesem Modell als Punkt betrachtet, auf den die Sonne einstrahlt. Dabei wird durch die **Solarkonstante  $S_0$**  festgelegt, wie viel Strahlungsleistung pro Fläche oberhalb der Atmosphäre auf die Erde trifft.

Ein Teil der Sonneneinstrahlung wird von der Atmosphäre, Wolken und der Erdoberfläche reflektiert. Der Anteil der Reflexion wird durch die sogenannte **Albedo  $\alpha$**  beschrieben. Die Erde selbst gibt nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz Wärmestrahlung an ihre Umgebung ab:

#### Stefan-Boltzmann-Gesetz

Jeder Körper gibt in Abhängigkeit von seiner **Temperatur  $T$**  Wärmestrahlung an

seine Umgebung ab. Für einen schwarzen Körper (perfekt absorbierend und emittierend), gilt dabei für die abgestrahlte **Leistung  $P$** :

$$P = \sigma A T^4.$$

Hierbei ist  $A$  die Oberfläche des Körpers und  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  die Stefan-Boltzmann-Konstante.

Für nicht perfekt schwarze Körper wird zusätzlich der **Emissionsgrad  $\varepsilon$**  berücksichtigt:

$$P = \varepsilon \sigma A T^4.$$

Daraus ergibt sich folgende Gleichung zur Beschreibung der Energiebilanz:

$$\underbrace{C \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}}_{\text{Temperaturänderung pro Zeit}} = \underbrace{\frac{S_0}{4} \cdot (1 - \alpha)}_{\text{Sonneninstrahlung minus reflektierter Anteil}} - \underbrace{\varepsilon \sigma T^4}_{\text{Erdabstrahlung}}.$$

Hier ist  $C$  die Wärmekapazität der Atmosphäre. Diese Gleichung bedeutet, dass die Änderung der Energie auf der Erde gegeben ist aus der Differenz der aufgenommenen und abgestrahlten Energie, was in Abb. 4 dargestellt wird.

Wenn wir annehmen, dass sich die Temperatur über die Zeit nicht ändert,  $\Delta T = 0$ , gilt:

$$\frac{S_0}{4} \cdot (1 - \alpha) = \varepsilon \sigma T^4.$$

Das heißt, dass die aufgenommene Energie der Erde gleich der abgegebenen Wärmestrahlung ist. Hieraus kann die Gleichgewichtstemperatur der Erde bestimmt werden:

$$T = \sqrt[4]{\frac{S_0 \cdot (1 - \alpha)}{4 \varepsilon \sigma}}.$$

## Implementierung

Eine einfache Python-Implementierung dieses Modells sieht folgendermaßen aus:

```
global_mean_temp = ((1 - a) * solar_constant
                     / (4 * e * sigma)) ** (1 / 4)
```

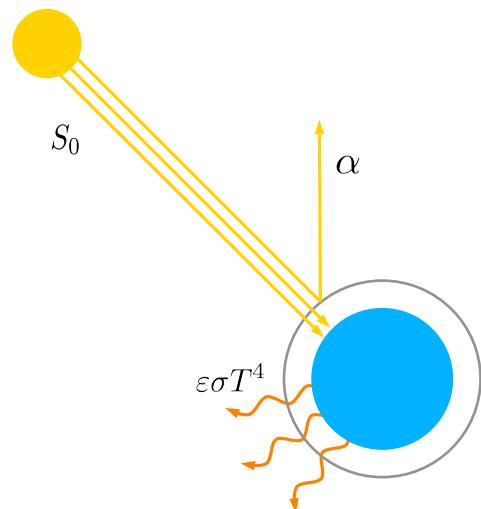


Abb. 4: Visualisierung eines 0D-Modells.

Setzt man realistische Werte ein ( $\alpha = 0,3$  und  $\varepsilon = 0,88$ ), ergibt sich eine Temperatur von etwa  $T \approx -10^\circ\text{C}$ . Im Vergleich zur heutigen globalen Durchschnittstemperatur von  $\bar{T} \approx 15^\circ\text{C}$  erscheint das deutlich zu niedrig. Der Grund dafür ist, dass die obige Gleichung die Erdatmosphäre vernachlässigt. Diese bewirkt, dass niedrig-energetische, langwellige Strahlung der Erde von der Erdatmosphäre teilweise absorbiert und wieder emittiert wird. Die zurückgestrahlte Energie führt zu einer erhöhten Temperatur auf der Erde. Dieser **natürliche Treibhauseffekt** ist in diesem vereinfachten Modell nicht berücksichtigt.

## Einfluss von Albedo und Emission

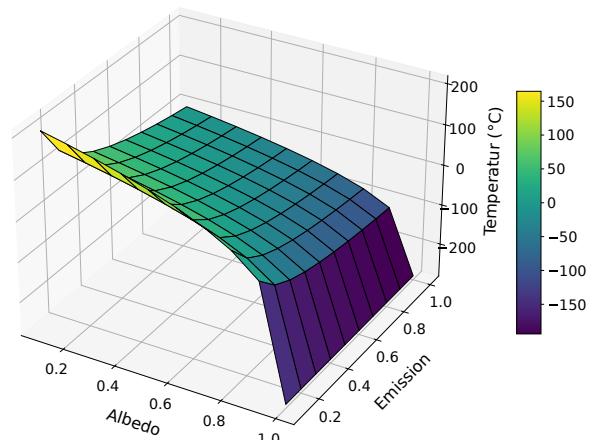


Abb. 5: Abhängigkeit der Temperatur von Albedo und Emissionsgrad.

Die Temperatur ist also von den Parametern  $\alpha$  und  $\varepsilon$  abhängig. Wenn man diese, wie in Abb. 5 gezeigt, variiert, kommen sehr unterschiedliche mittlere Temperaturen heraus.

Wenn wir die Werte  $\alpha = 0,3$  und  $\varepsilon = 0,6$  wählen, erhalten wir für die global gemittelte Temperatur einen deutlich realistischeren Wert von  $T \approx 15^\circ\text{C}$ .

## 1D-Klimamodell

Um unser Modell realistischer zu machen, müssen wir weitere Dimensionen hinzufügen. Das 1D-Klimamodell ist eine erweiterte Version des 0D-Klimamodells. So wie bei dem 0D-Klimamodell handelt es sich auch hier um ein Energiebilanz-Modell. Dieses Modell verfügt jedoch über eine Abhängigkeit der Temperatur vom **Breitengrad  $\varphi$** . Damit kann für jeden Breitengrad  $\varphi$  eine Temperatur berechnet werden. Die Dimension der Längengrade wird aber noch nicht berücksichtigt.

Die Energiebilanz dieses Modells ist gegeben durch:

$$C \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = (1 - \alpha) \cdot Q(\varphi) - \text{OLR}(\varphi) - H(\varphi).$$

Die einzelnen Terme haben folgende Bedeutung:

- $(1 - \alpha) \cdot Q$  ist der Anteil der einfallenden Strahlung, der nicht von Erde und Atmosphäre reflektiert wird.
- $Q(\varphi)$  beschreibt die Abhängigkeit der Sonneneinstrahlung vom Breitengrad. Es kann durch den folgenden Ausdruck dargestellt werden:

$$Q(\varphi) = \frac{S_0}{4} (1 + s_2 \cdot P_2(\varphi)).$$

Hierbei ist  $P_2(\varphi)$  das 2. Legendre-Polynom,  $P_2(\varphi) = \frac{1}{2}(3x^2 - 1)$  mit  $x = \sin(\varphi)$ .

- $\text{OLR}(\varphi)$  ist die langwellige Wärmeabstrahlung der Erde und kann formuliert werden als

$$\text{OLR}(\varphi) = (A_{\text{OLR}} + B_{\text{OLR}} \cdot T(\varphi)).$$

Dies ist eine Parametrisierung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes, welche die Gleichung durch eine Linearisierung vereinfacht.

- $H(\varphi)$  beschreibt den Wärmeaustausch zwischen den Breitengradbändern. Wir nehmen hier vereinfacht an, dass dieser Austausch durch eine lineare Abhängigkeit von der Differenz zwischen der Temperatur  $T(\varphi)$  und der global gemittelten Temperatur  $\bar{T}$  gegeben ist:

$$H(\varphi) = b \cdot (T(\varphi) - \bar{T}).$$

Die hier verwendeten Ausdrücke für  $Q(\varphi)$ ,  $\text{OLR}(\varphi)$  und  $H(\varphi)$  sind vereinfachte Ausdrücke für die Sonneneinstrahlung, die Wärmeabstrahlung der Erde und den Wärmeaustausch. Diese enthalten die freien Parameter  $s_2$ ,  $A_{\text{OLR}}$ ,  $B_{\text{OLR}}$  und  $b$ , welche durch den Vergleich mit Messkurven der jeweiligen Größen angepasst werden. Die Ausdrücke für  $Q(\varphi)$ ,  $\text{OLR}(\varphi)$  und  $H(\varphi)$  sind zeitunabhängig.

Mit der Energiebilanzgleichung des 1-dimensionalen Modells kann man die Temperatur für jeden Breitengrad  $\varphi$  berechnen, wie in der pinken gestrichelten Kurve in Abb. 6 zu sehen. Das Modell muss für 15 bis 20 Modelljahre laufen gelassen werden, um eine Gleichgewichtstemperatur für jeden Breitengrad zu erreichen.

## Albedovariation

In einem 1-dimensionalen Klimamodell spielt die Albedovariation mit dem Breitengrad, also die Veränderung der Reflexivität der Erdoberfläche, eine zentrale Rolle, da die Oberfläche der Erde (insbesondere die Vegetationsbedeckung) in Abhängigkeit vom Breitengrad variiert.

Diese Eigenschaft simulierten wir, indem wir passende Albedoerwerte für verschiedene Breitengradbänder festlegten, siehe Abb. 6. So haben zum Beispiel Eisflächen der polaren Breitengrade hohe Albedoerwerte, was die schon kalten Temperaturen weiter verringert, und Gebiete mit Regenwald in tropischen Breitengräden haben niedrige Albedoerwerte, was zu höheren Temperaturen führt.

## 2D-Klimamodell

Wir führen nun eine weitere Dimension in das Energiebilanz-Modell ein, sodass es nun eine Abhängigkeit vom **Breitengrad  $\varphi$**  und dem **Längengrad  $\lambda$**  gibt. Dadurch kann man die

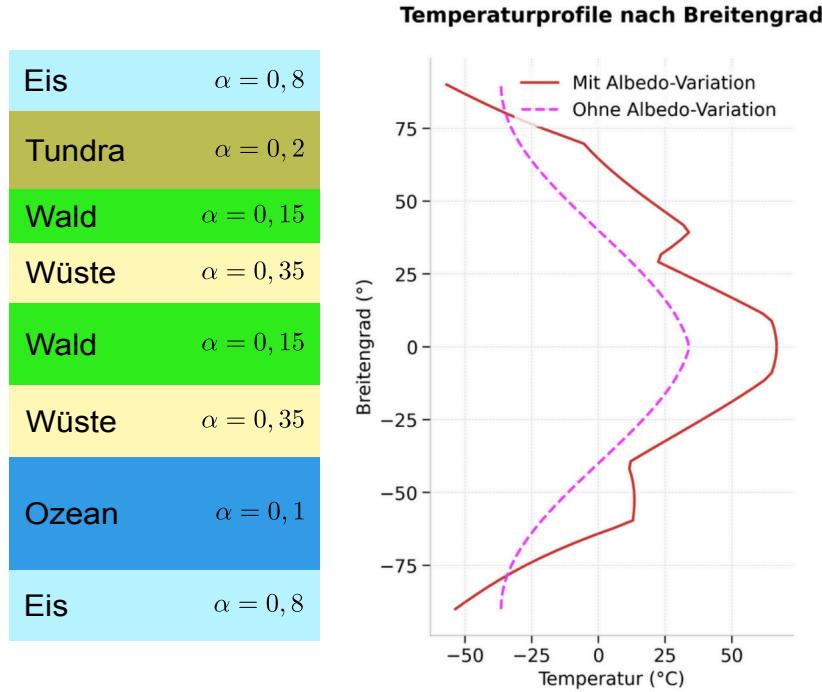


Abb. 6: Beispielhafte Wahl der Albedowerte für Breitengradbänder (links) und simulierte Temperatur mit (rot) und ohne (pink) Albedovariation (rechts).

Erde als Karte aus vielen kleinen Boxen darstellen, in denen die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit die Wärmekapazität  $C_{\varphi,\lambda}$  und die Albedo  $\alpha_{\varphi,\lambda}$  bestimmt.

Die Formel für dieses Modell sieht so aus:

$$T_{\varphi,\lambda}^t = T_{\varphi,\lambda}^{t-1} + \frac{\Delta t}{C_{\varphi,\lambda}} \left[ (1 - \alpha_{\varphi,\lambda}) \cdot Q_{\varphi}^t - \text{OLR}_{\varphi,\lambda} + D \nabla^2 T_{\varphi,\lambda}^{t-1} \right],$$

wobei  $T_{\varphi,\lambda}^t$  die Temperatur in der Zelle mit dem Breitengrad  $\varphi$  und dem Längengrad  $\lambda$  zum Zeitpunkt  $t$  ist. Die Temperatur wird aus der Temperatur des vorherigen Zeitschritts berechnet, zu dem ein Term addiert wird, der die Änderung durch

- die Differenz zwischen Sonneneinstrahlung und Reflexion:

$$(1 - \alpha_{\varphi,\lambda}) \cdot Q_{\varphi}^t,$$

- die Abstrahlung  $\text{OLR}_{\varphi,\lambda}$  und
- den Wärmeaustausch durch Diffusion

$$D \nabla^2 T_{\varphi,\lambda}^{t-1},$$

modelliert.

In diesem Fall beschreiben wir die einfallende Sonneneinstrahlung durch einen komplexen Term, der die zeitliche Veränderung über den Jahresverlauf beinhaltet, den wir hier aber nicht im Detail diskutieren. Daher sind in diesem Modell die Jahreszeiten repräsentiert.

Wie im 1-dimensionalen Modell vereinfachen wir den Term für die abgestrahlte Leistung von der Erde,  $\text{OLR}_{\varphi,\lambda}$ , durch eine Linearisierung. Den Wärmeaustausch beschreiben wir hier als Diffusion, was laut der Diffusionsgleichung als  $D \nabla^2 T_{\varphi,\lambda}^{t-1}$  formuliert wird, wobei  $D$  die Diffusionskonstante ist.

Die durch unser Modell berechneten Temperaturen können wir in einer Karte darstellen, wie in Abb. 7 für unsere momentane Modellversion zu sehen ist. Es ist gut sichtbar, dass die Temperatur von niedrigen zu höheren Breitengraden wie zu erwarten abnimmt. Außerdem verändert sich die Temperatur den Jahreszeiten entsprechend. So erkennt man zum Beispiel die polare Abkühlung im Sommer auf der Südhemisphäre und im Winter in der Nordhemisphäre. Problematisch ist, dass die Temperatur von einigermaßen realistischen Temperaturen am Äquator zu höheren Breitengraden zu schnell und zu stark abnimmt. Die Ursache konnten

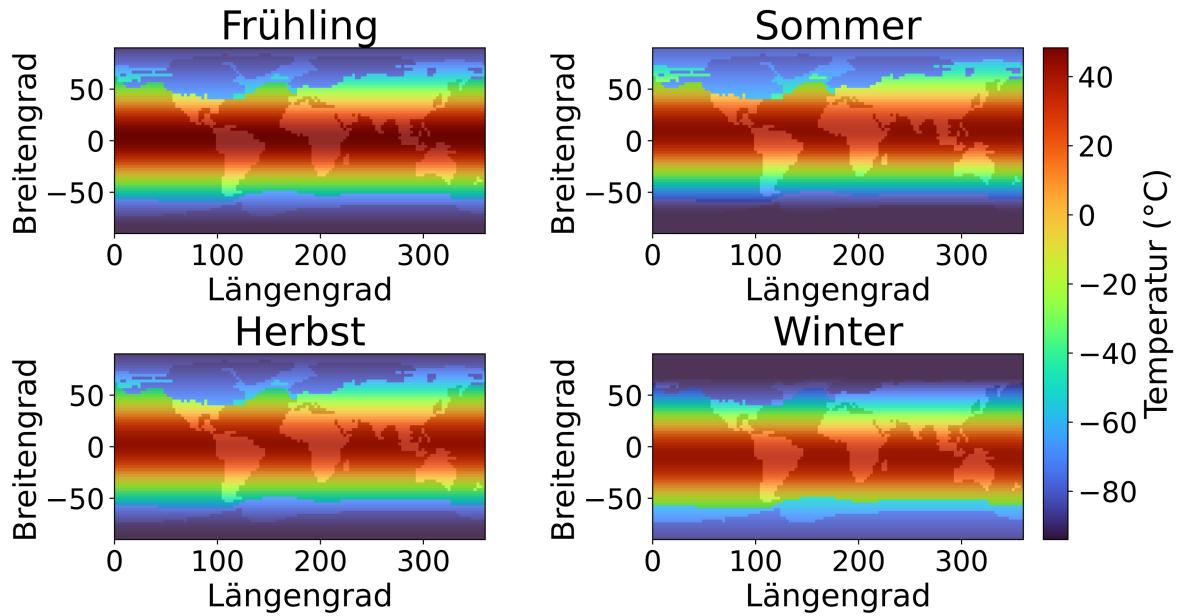


Abb. 7: Die Temperatur Karten für verschiedene Jahreszeiten.

wir noch nicht genau ermitteln. Wir vermuten allerdings ein Problem in der Implementierung des diffusiven Wärmetransports.

### Warum sind komplexere Klimamodelle notwendig?

Das Klimasystem ist zu komplex und dynamisch, um es in den bisher beschriebenen einfachen Energiebilanz-Modellen umfassend und korrekt zu beschreiben. Für realistischere Simulationen und Prognosen für die Zukunft sind daher erweiterte Modelle notwendig, die die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Klimakomponenten anhand von detaillierterer Beschreibung berücksichtigen. Daher haben wir uns im nächsten Schritt mit der interaktiven Version eines komplexeren (allerdings immer noch einfachen) Klimamodells beschäftigt.

## Monash Simple Climate Model

NIKLAS JEHN

Das Monash Simple Climate Model (MSCM) ist ein frei zugängliches<sup>4</sup>, dreidimensionales, von der Monash University in Melbourne entwickeltes, recht einfaches Klimamodell. Es be-

nötigt nur wenig Rechenleistung, wodurch es eine schnelle Modellierungen ermöglicht. Hierbei analysiert das MSCM die Energiefüsse im Erdsystem und berechnet die Differenz zwischen der von der Sonne eingestrahlten und von der Erde abgestrahlten Energie. Trotz seiner Einfachheit werden dabei alle wichtigen Prozesse des Klimasystems berücksichtigt. Das bedeutet, dass neben der Strahlungsbilanz auch der Einfluss von Eis, Schnee, Wolken und Ozeanen, der Atmosphäre, des Treibhausgases CO<sub>2</sub>, des Wasserkreislaufs und verschiedener Transportprozesse berücksichtigt werden. Das MSCM ist, wie viele Klimamodelle, in der Programmiersprache FORTRAN geschrieben. Der Code ist gut dokumentiert und kann auf einem einfachen Laptop ausgeführt werden. Das Modell gibt es auch als interaktive Version, mit der man das Klimasystem der Erde genauer untersuchen kann.

Bei dieser Version des MSCM arbeitet man immer mit zwei parallel angezeigten Experimenten, für die unterschiedliche Komponenten aktiviert oder deaktiviert werden können. Dadurch ist es möglich, den Einfluss einer Komponente im Detail nachzuvollziehen. Vergleichen kann man hierbei die beiden Experimente entweder in einer monatlichen, globalen Darstellung als Weltkarten oder als Zeitreihen bestimmter Orte über einen Zeitraum von einem

<sup>4</sup>[https://mscm.dkrz.de/overview\\_i18n.html?locale=DE](https://mscm.dkrz.de/overview_i18n.html?locale=DE)

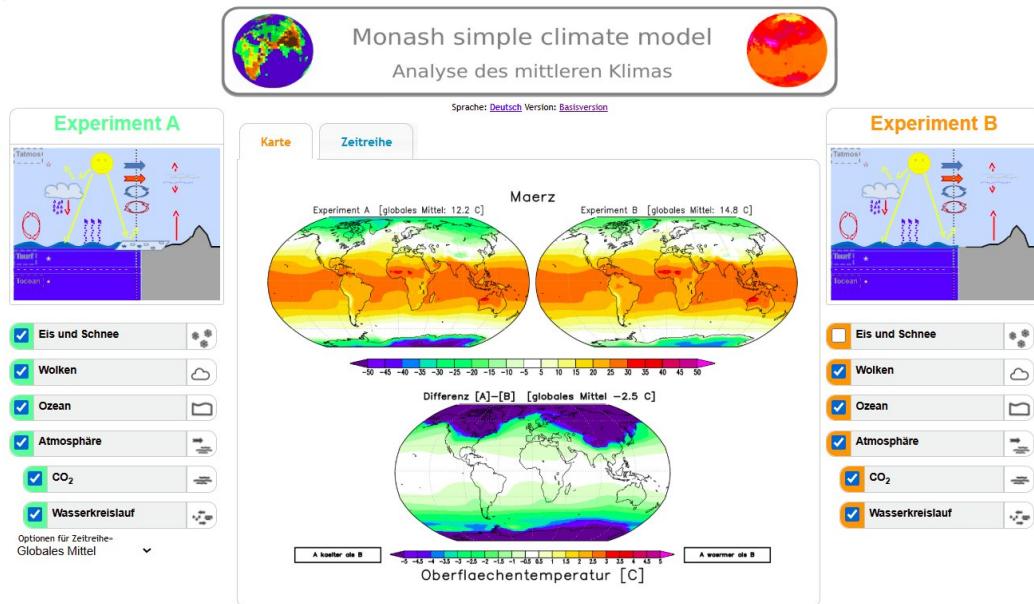


Abb. 8: Beispiel eines Experiments mit dem MSCM: Links sind alle Komponenten aktiviert, rechts ist „Eis und Schnee“ deaktiviert. Unten ist eine Differenzkarte der Temperatur gezeigt. Im März erkennt man durch die geringere Albedo ohne Eis eine höhere Temperatur für deaktiviertes Eis und Schnee.

Jahr. Des Weiteren gibt es zwei Versionen: die einfache Basisversion und die komplexere Standardversion. Wir haben uns allerdings auf die Basisversion beschränkt.

## Beispiele

Wir beschäftigten uns mit dem MSCM, um nachzuvollziehen zu können, welche Prozesse ein einfaches dreidimensionales Klimamodell berücksichtigt, und um genauer zu verstehen, was die einzelnen Komponenten bewirken. Hierbei begegneten uns mehrere interessante Ergebnisse.

Beispielsweise fiel uns auf, dass bei Deaktivierung von Eis und Schnee die Temperatur gerade im Monat März an Nord- und Südpol circa 5 °C wärmer war als im entsprechenden Vergleichsexperiment mit Eis und Schnee. Dies ließ sich darauf zurückzuführen, dass durch den Wegfall des höheren Albedowerts von Eis dort weniger Licht reflektiert werden kann und deshalb mehr Energie absorbiert wird.

Eis und Schnee haben aber noch eine ganz andere Wirkung, die auch im Modell repräsentiert ist: Sie isolieren die Atmosphäre von der darunter liegenden Wasser- beziehungsweise Bodenschicht. In der Arktis ist beispielsweise die Atmosphäre durch das Meereis vom Ozean

isoliert und tauscht nur wenig Wärmeenergie mit dem Ozean aus. Dadurch ist der Temperaturunterschied zwischen den Jahreszeiten mit Meereis in der Arktis viel größer, weil ohne Meereis der Ozean den Temperaturunterschied zwischen den Jahreszeiten durch seine große Wärmekapazität dämpft.

## Machine Learning

AARON FETZER, CHIARA SCHRAMM,  
GRETA WEIS, LOUISA SAAL

Machine Learning ist ein Teilbereich der Künstlichen Intelligenz (KI), wie in Abb. 9 dargestellt ist. Beim Machine Learning geht es darum, statistische Zusammenhänge von Daten zu lernen. Hierfür werden häufig neuronale Netzwerke verwendet. Neuronale Netzwerke sind also ein Teilbereich von Machine Learning.

## Training

Damit ein Machine-Learning-Netzwerk Vorhersagen treffen kann, muss es zunächst trainiert werden. Training bedeutet, dass das Netzwerk aus Trainingsdaten Zusammenhänge lernt, die es dann später für Vorhersagen nutzt. Hierzu

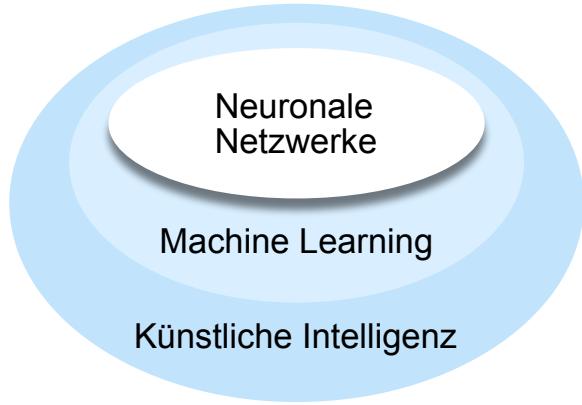


Abb. 9: Zusammenhang zwischen Künstlicher Intelligenz, Machine Learning und neuronalen Netzwerken.

gibt man dem Netzwerk Daten, genannt **Input**, und es berechnet daraus eine Vorhersage, genannt **Output**. Anschließend wird der Unterschied zu dem tatsächlichen Wert, genannt **Ground Truth**, bestimmt und das Modell entsprechend verbessert. Das wiederholt sich immer wieder, bis der Output dem tatsächlichen Wert möglichst nahe ist. Ein Durchlauf mit dem gesamten Trainingsdatensatz wird als **Epoche** bezeichnet. Dieser Kreislauf ist in Abb. 10 dargestellt.

### Neuronale Netzwerke

Ein neuronales Netzwerk besteht aus mehreren Schichten, genannt Layer: dem **Input Layer**, den **Hidden Layers** und dem **Output Layer**. Jeder Layer setzt sich aus Neuronen zusammen. Jedes Neuron einer Schicht ist mit jedem Neuron der nächsten Schicht verbunden. Über diese Verbindungen werden Signale weitergegeben, deren Stärke jeweils durch ein Gewicht  $w$  bestimmt wird. Hierbei ist  $w$  ein veränderbarer Parameter, der am Anfang zufällig gesetzt wird. Das eingehende Signal wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Signal}_{\text{ein}} = \sum_{i=\text{vorherige Neuronen}} \text{Signal}_{\text{aus}, i} \cdot w_i + b .$$

Hier werden die Signale der vorherigen Neuronen,  $\text{Signal}_{\text{aus}, i}$ , jeweils mit dem zur Verbindung zugehörigen Gewicht multipliziert. Diese Produkte und ein weiterer veränderbarer Parameter  $b$ , der für jedes Neuron unterschiedlich

sein kann, werden zusammenaddiert. In den Neuronen der Hidden Layer wird dann mithilfe einer sogenannten Activation-Function das ausgehende Signal berechnet,

$$\text{Signal}_{\text{aus}} = \text{Activation-Function}(\text{Signal}_{\text{ein}}) .$$

Die Activation-Function hat in der Regel die Eigenschaft, dass das Neuron das eingehende Signal weiterleitet, wenn das eingehende Signal einen bestimmten Wert überschreitet. Ansonsten wird kein Signal weitergeleitet. Die genaue Form hängt von der jeweils benutzten Activation-Function ab.

### Loss-Funktion

Um das Netzwerk zu trainieren, müssen alle veränderbaren Parameter so angepasst werden, dass die Vorhersage immer besser wird. Dazu muss für das Training bestimmt werden, wie gut die Vorhersage war. Dafür wird eine sogenannte Loss-Funktion definiert, welche die Vorhersage mit dem tatsächlichen Wert vergleicht. Eine der am häufigsten verwendeten Loss-Funktionen ist folgende:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 .$$

Der echte Wert  $\hat{y}_i$  wird vom vorhergesagten Wert  $y_i$  subtrahiert und diese Differenz wird danach quadriert. Wenn es mehrere Datenpunkte gibt, werden diese als Summe  $\sum_{i=1}^N$  zusammengezählt und durch die Gesamtanzahl aller Datenpunkte  $N$  geteilt.

### Optimizer

Damit das Netzwerk aus den Daten lernt, verändert der sogenannte **Optimizer** die Parameter in jeweils die Richtung, in die der Loss geringer wird. Die **Learning Rate** bestimmt, wie stark die Parameter pro Trainingsschritt geändert werden.

Um bei Ausreißern eine zu starke Anpassung der Parameter zu vermeiden, werden sogenannte **Batches** benutzt. Diese sind zufällig gewählte Gruppen von Datenpunkten, aus welchen der Loss berechnet wird. In der Gleichung für die Loss-Funktion ist  $N$  damit die Anzahl der

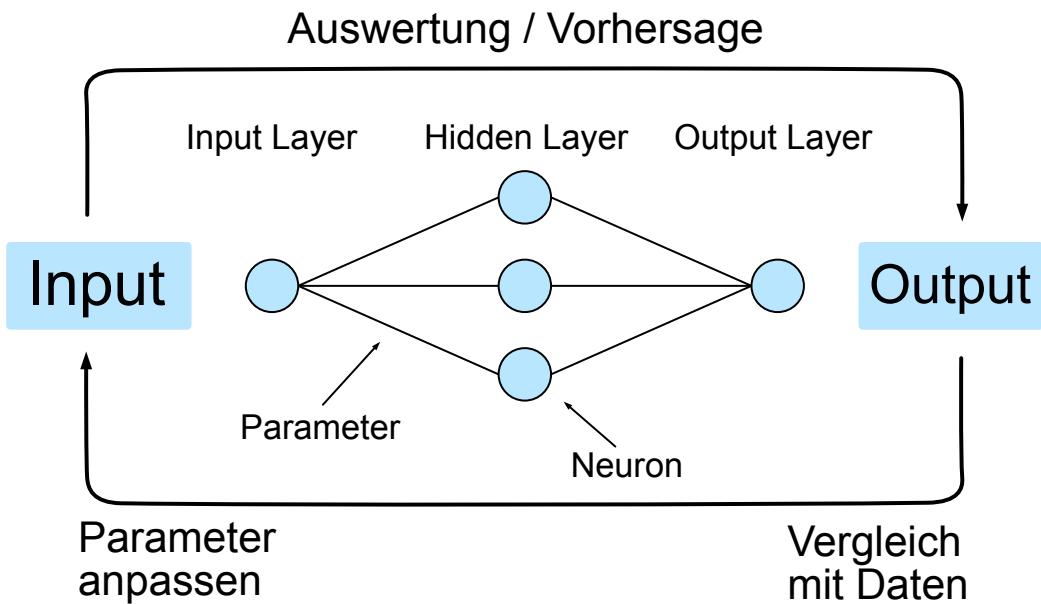


Abb. 10: Schematische Darstellung des Trainings eines neuronales Netzwerkes mit einem Hidden Layer.

Datenpunkte innerhalb des jeweiligen Batches, genannt **Batchsize**. Je größer ein Batch ist, desto geringer ist die Auswirkung eines Ausreißers. Allerdings kann eine zu große Batchsize auch dazu führen, dass das Training sehr stark verlangsamt wird.

### Statistische Streuung

Für eine zuverlässige Vorhersage muss eine gewisse Streuung innerhalb der Daten berücksichtigt werden. Aufgrund dessen können Vorhersagen nicht beliebig genau sein. Die Unsicherheit um einen bestimmten Wert folgt einer bestimmten Verteilung. Um diese zu beschreiben, wird häufig die **Normalverteilung** verwendet, welche in Abb. 11 dargestellt ist.

Die Normalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilung, die in vielen natürlichen Prozessen vorkommt, zum Beispiel bei Körpergrößen, der Geschwindigkeit von Gasteilchen oder auch Temperaturschwankungen. Mathematisch ist die Verteilung durch die Gleichung

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

gegeben. Sie wird durch zwei Parameter beschrieben: den Erwartungswert  $\mu$  (auch ge-

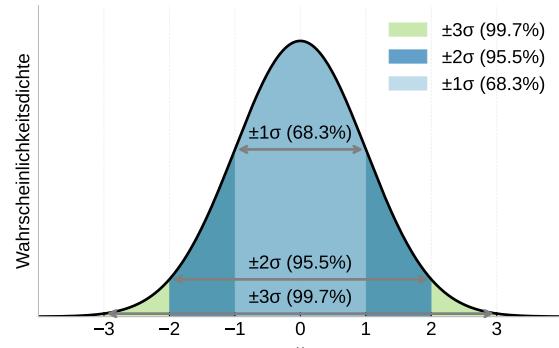


Abb. 11: Darstellung der Normalverteilung mit den Intervallen, die 68,3 %, 95,5 % und 99,7 % der Daten beinhalten.

nannt der Mittelwert der Verteilung) und die Standardabweichung  $\sigma$  (die charakteristische Abweichung der Werte vom Mittelwert). Die Naturkonstante  $e$  bezeichnet die Eulersche Zahl und  $\pi$  ist die Kreiszahl. Die Verteilung hat die Form einer symmetrischen, glockenförmigen Kurve: Der höchste Punkt liegt genau beim Mittelwert, und die Wahrscheinlichkeit nimmt nach links und rechts stetig ab. Das bedeutet, dass Werte nahe am Mittelwert am wahrscheinlichsten sind, während Abweichungen immer unwahrscheinlicher werden, je weiter man an den Rand der Verteilung kommt. Ein zentrales Merkmal der Normalverteilung ist, dass sich

bestimmte Anteile der Daten in klar definierten Abständen als Vielfache von  $\sigma$  vom Mittelwert befinden:

- Ca. 68,3 % der Werte liegen innerhalb des Intervalls  $\mu \pm \sigma$ ,
- Ca. 95,5 % der Werte liegen innerhalb von  $\mu \pm 2\sigma$ ,
- Ca. 99,7 % der Werte liegen innerhalb von  $\mu \pm 3\sigma$ .

Diese Eigenschaft ist besonders nützlich, um Unsicherheiten in unsere Vorhersage einzubauen. In unserem Fall – der Temperaturvorhersage – nehmen wir an, dass die tatsächliche Temperaturschwankung einer Normalverteilung folgt.

Wir passen den Output unseres neuronalen Netzwerkes so an, dass es nicht nur eine Vorhersage  $\mu$  für den nächsten Zeitschritt macht, den wir als den Erwartungswert interpretieren, sondern auch die Unsicherheit  $\sigma$  dieser Vorhersage abschätzt. Hierfür mussten wir die Loss-Funktion anpassen:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{(\mu_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma_i^2} + \log(\sigma_i) \right].$$

Bei dieser Gleichung teilt man das Quadrat des Unterschieds zwischen den echten Werten  $\hat{y}_i$  und den Vorhersagen  $\mu_i$  durch das Quadrat der vorhergesagten Unsicherheit  $\sigma_i$ . Sagt das Netzwerk eine kleinere Standardabweichung vorher, d. h. das Modell ist sich also sehr sicher, bestraft der erste Summand eine Abweichung vom echten Wert stärker. Damit das Modell nicht einfach die Unsicherheit immer größer vorhersagt, addiert man den Logarithmus der vorhergesagten Unsicherheit,  $\log(\sigma_i)$ , dazu. Wenn das Netzwerk eine größere Unsicherheit vorhersagt, wird auch der Logarithmus der Unsicherheit größer. Dieser Summand bestraft somit das Netzwerk, wenn es eine zu große Ungenauigkeit vorhersagt. Durch diese beiden Summanden nähert sich die Ungenauigkeit der Vorhersage möglichst nah an die echte Streuung der Daten an. Das Netzwerk muss also einen Kompromiss zwischen einer möglichst hohen Genauigkeit der Vorhersage und der Unsicherheit dieser Vorhersage finden.

## Wettervorhersage

Wir nutzten unser obiges Wissen, um Wettervorhersagen zu erstellen. Das Ziel des Projekts war es, ein neuronales Netzwerk zu entwickeln, das auf Basis gegebener Wetterdaten eine Vorhersage für die nächsten Tage in Adelsheim erzeugen kann.

## Daten

Als Grundlage wurden die Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Diese mussten zunächst formatiert werden. Verwendet wurden dabei das jeweilige Datum und die gemessene Temperatur, sodass das Netzwerk typische Muster und jahreszeitliche Schwankungen erkennen konnte. Als erstes importierten wir die Daten mit Hilfe des Python-packages `pandas` und bereiteten sie vor:

```
import pandas as pd
df = pd.read_csv('produkt_klima_tag.txt',
                  sep=';')
df['MESS_DATUM'] =
    pd.to_datetime(df['MESS_DATUM'],
                  format='%Y%m%d')
```

So wurden die Rohdaten eingelesen. Danach entfernen wir noch fehlerhafte Werte und konvertierten das Datumsformat. Dieser Schritt war entscheidend, damit das neuronale Netzwerk zeitabhängige Muster zuverlässig erkennen konnte.

Der Code für das Netzwerk wurde mit Hilfe des Python-packages `pytorch` geschrieben und in Google Colab ausgeführt. Auf dieser Plattform konnten wir sehr einfach selbst in Python Machine Learning Modelle trainieren, ohne die notwendige Software installieren zu müssen. So konnten wir über die bereitgestellten Grafikkarten das Modell selbst trainieren und die Ergebnisse anschließend auch grafisch darstellen. Ein Ausschnitt aus dem Code zeigt, wie die wichtigsten, oben erklärten Parameter für das neuronale Netz festgelegt wurden:

```
hidden_size = 100
num_layers = 10
window_size = 100
lr = 0.001
epochs = 300
batch_size = 256
```

Ein wichtiger Bestandteil des Projekts war die Verarbeitung der Wetterdaten in Zeitfenstern von mehreren aufeinander folgenden Zeitpunkten. Dadurch wurden nicht einzelne Tage isoliert betrachtet, sondern mehrere aufeinander folgende Tage gemeinsam ausgewertet, um eine Vorhersage für den nächsten Zeitpunkt zu erstellen. Das Modell erhielt jeweils eine Sequenz vergangener Temperaturwerte und lernte daraus, wie sich die Temperatur im nächsten Zeitschritt entwickelt. Diese Methode ermöglichte es dem neuronalen Netz, zeitliche Abhängigkeiten und Trends zu erkennen – zum Beispiel den Übergang zwischen Jahreszeiten. Wir setzten die Länge des Zeitfensters, genannt `window_size`, auf 100 Tage, also knapp ein drittel Jahr. Ein kurzer Codeausschnitt zeigt, wie wir die Trainingsdaten erzeugen konnten:

```
def create_sequences(data, window_size):
    X, y = [], []
    for i in range(len(data) - window_size):
        X.append(data[i:i+window_size])
        y.append(data[i+window_size])
    return np.array(X), np.array(y)
```

Hierbei ist X der Input und y die Ground Truth, die wir lernen wollen, richtig vorherzusagen. Um die Wetterdaten in Trainingsdaten umzuwandeln, erzeugte diese Funktion aus der vollständigen Zeitreihe eine Vielzahl überlappender Teilsequenzen. Jede Sequenz bestand aus genau 100 aufeinanderfolgenden Temperaturwerten, die dem Modell als Eingabe dienten. Der jeweils unmittelbar folgende Wert wurde als Zielwert gespeichert, den das Modell vorhersagen sollte. Aus den historischen Daten der letzten 40 Jahre erstellten wir damit einen Datensatz mit ca. 25 000 Einträgen, die jeweils aus 100 Input-Werten und einem Output-Wert bestanden.

## Temperaturvorhersage

Nachdem wir das Netzwerk auf die historischen Wetterdaten trainiert hatten, konnten wir Vorhersagen für einen zukünftigen Tag erstellen. Für eine mehrtägige Vorhersage gingen wir dabei folgendermaßen vor: Das Netzwerk sagte den Erwartungswert und die Standardabweichung der Temperatur des darauffolgenden Tages voraus. Von dieser Normalverteilung zogen

wir einen zufälligen Wert. Diesen hängten wir der Inputsequenz an und entfernten den Anfangswert des vorherigen Zeitfensters. Aus der neuen Sequenz konnten wir damit eine Prognose für den darauffolgenden Tag erstellen. Diese Prozedur wiederholten wir für den nächsten und übernächsten Tag und so weiter, bis wir eine Vorhersage für die gewünschte Anzahl an Tagen hatten. Dieses Prinzip ist in der Abb. 12 dargestellt.

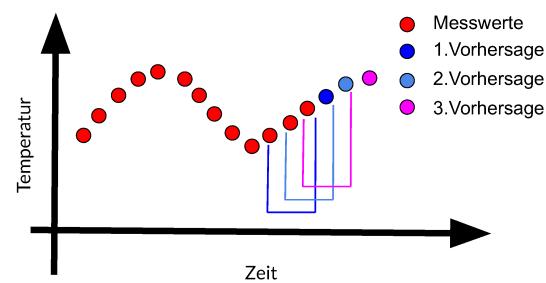


Abb. 12: Schematische Darstellung der Temperaturvorhersage für mehrere Tage.

Dieses Verfahren stellte jedoch nur ein mögliches Szenario der Temperaturentwicklung dar. Wir wiederholten das Verfahren deshalb und erstellten insgesamt 7 500 Szenarien pro Input-Zeitfenster. Aus der Verteilung aller dieser Szenarien bestimmten wir die durchschnittliche Temperaturentwicklung und deren Standardabweichung. Ein beispielhaftes Ergebnis kann man in Abb. 13 sehen. Die blaue Linie zeigt die gemessenen Tageshöchsttemperaturen. Man sieht eine deutliche Schwankung, aber insgesamt einen Anstieg bis etwa Tag 100. Danach ist eine Tendenz zum Abfallen erkennbar. Die rote Linie stellt die durchschnittlich vorhergesagte Temperaturentwicklung dar. Der rote transparente Bereich gibt den Unsicherheitsbereich dieser Vorhersage an. Er deutet darauf hin, dass die tatsächlichen Temperaturen mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % innerhalb dieses Bereichs liegen werden. Das bedeutet, dass die Prognosen für längere Zeiträume ungenauer werden.

Abb. 14 zeigt die Temperaturvorhersage für Adelsheim für den Zeitraum vom 01.09.2025 bis zum 15.09.2025. Die blaue Linie stellt die gemessenen Tageshöchsttemperaturen dar. Die Temperaturen schwanken zwischen etwa 20 °C und 35 °C, mit Spitzen um Ende Juni bis An-

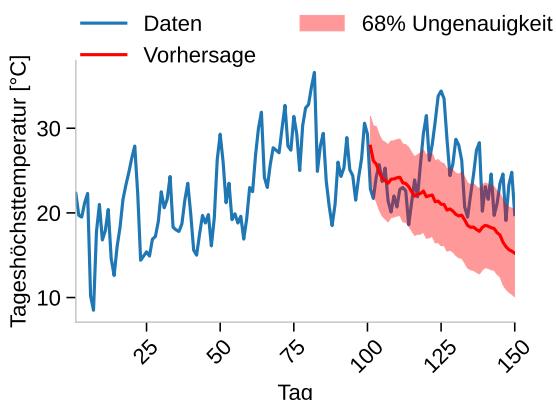


Abb. 13: Mehrtägige Temperaturvorhersage. Die echten Daten sind dargestellt als blaue Linie, die Vorhersage und der 68 %-Unsicherheitsbereich sind rot abgebildet.

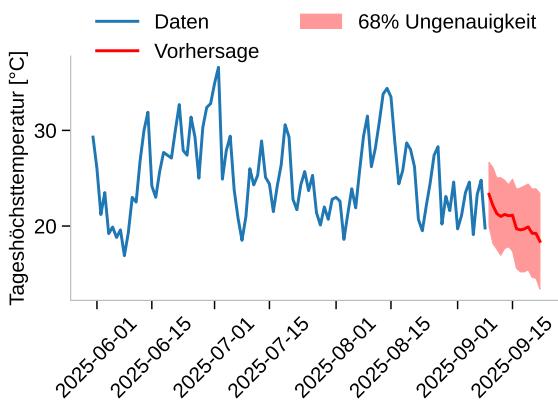


Abb. 14: 14-tägige Temperaturvorhersage für Adelsheim. Die Tage bis zur Vorhersage sind blau dargestellt, die Vorhersage und der 68 %-Unsicherheitsbereich sind rot abgebildet.

fang Juli. Im August ist eine leichte Abkühlung zu erkennen. Die rote Linie zeigt die prognostizierten Temperaturen ab Anfang September 2025. Diese sinken allmählich von rund 23 °C auf etwa 17 °C Mitte September. Für den Tag der Abschlusspräsentation, den 10.09.2025, sagte unser Modell  $19,2 \pm 3,3$  °C voraus, was mit dem tatsächlichen Wert von 19 °C (laut Wetter-App) gut übereinstimmte.

## Sportfest

EMILIA PAUL, SOPHIA HERBEL

„Phi R<sup>2</sup> – Wir sind am Start“

„Unser Batch – Gewinnt das Match“



Diese beiden Schlachtrufe riefen wir nach jeder erfolgreich abgeschlossenen Station. Dabei ist „Phi R<sup>2</sup>“ an die Gleichung „ $4^2 = 16$ “ angelehnt, die auf die Anzahl der Teilnehmer:innen und Leiter:innen unseres Kurses hinweist. Kurz darauf bemerkten wir jedoch, dass mit Schülermentor Avaneesh und unseren drei Leiter:innen Julia, Felix und Daniel insgesamt 17 Personen im Kurs waren. Dieses Problem lösten wir kreativ, indem wir Julia und Felix als Ehepaar einfach als eine Einheit zählten. Nach mehrfachem Üben unseres Schlachtrufs waren wir schließlich perfekt auf das Sportfest vorbereitet.

In der Woche vor dem Sportfest war unsere Aufregung groß, da man uns mithilfe gefälschter Dokumente glauben ließ, dass unter anderem Speerwerfen, Fünf-Kilometer-Läufe sowie Klimmzüge und Liegestütze pro Minute Teil der Aufgaben seien. Zur allgemeinen Erleichterung stellten sich die tatsächlichen Aufgaben jedoch als deutlich angenehmer heraus – sie reichten vom Einkaufen in der Schubkarre bis hin zum Ziehen eines Autos. Aufgrund einer Dysfunktion des Zeltes, das zu einer der Stationen gehörte, (und anderer Gründe, die definitiv nicht von uns verschuldet waren) wurde dieses unglücklicherweise minimal beschädigt.

Eine weitere Disziplin bestand darin, unseren Schülermentor auf einem Holzgestell, das wie ein „A“ geformt war und an der Spitze vier Seile hatte, über eine festgelegte Rennstrecke zu bewegen. Dazu zogen gleich große Gruppen an den Seilen. Durch klare Kommunikation (und lautes Schreien) gelang uns das außerordentlich gut.

Dank all dieser Strategien und (meist) sehr guter Zusammenarbeit erreichten wir stolz einen der drei zweiten Plätze.

## Exkursion zur Klima Arena

JASPER BOERSMA



Mit unserem Ausflug zur Klima Arena in Sinsheim brachten wir auch den politischen Aspekt des Klimas ins Spiel. In einer nachgestellten Verhandlung des Klimakabinetts sollten wir als Ministerien handelnd mit einem gewissen finanziellen Budget eine bestimmte Menge an CO<sub>2</sub> einsparen, um so bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu werden. Dabei merkten wir, dass es gar nicht so einfach ist, mit den gegebenen Mitteln ein gutes Konzept zu entwickeln, bei dem sowohl die einzelnen Ministerien als auch die Bevölkerung zufrieden sind. Nach einem Hin und Her und zwei Sitzungen schafften wir es letztendlich, ein Konzept zu entwickeln, dem alle zustimmten. Alle Verhandlungspartner mussten jedoch Kompromisse eingehen.

Danach hatten wir noch Zeit, uns mit einem Vesper zu stärken und uns im Museum umzusehen. Das Museum war in die vier Abschnitte „Grundlagen“, „Wohnen und Energie“, „Lebensstil und Konsum“ sowie „Mobilität“ aufgeteilt. Bei den „Grundlagen“ wurde grob erklärt, wie das Klima sich im Laufe der Zeit geändert hat, welche Faktoren das Klima beeinflussen und entsprechend auch wodurch der menschengemachte Klimawandel durch ausgestoßene Treibhausgase entsteht. Im Abschnitt „Wohnen und Energie“ war auf einem großen Touchscreen ersichtlich, an welchen Stellen im Alltag wie viel Energie verbraucht wird. Außerdem war es virtuell möglich, zukunftsorientierte Städte zu bauen und dadurch klar zu sehen, welche Änderungen im Stadtbau durchführbar wären. Auch

war es möglich, im Bereich „Lebensstil und Konsum“ virtuell für eine Grillparty einzukaufen und dabei zu sehen, wie klimafreundlich die getroffene Wahl ist. Außerdem war ein Modell interessant, bei dem wir sehen konnten, welche Produktart global den meisten Müll verursacht. Zum Thema „Mobilität“ gab es zum einen ein Spiel, bei dem man mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln von der einen Stadt zur nächsten Stadt kommen musste und dabei sehen konnte, wie viel CO<sub>2</sub> durch die Wahl der Reisemittel ausgestoßen worden wäre. Zum anderen gab es einen Simulator, in dem man in fiktiven zukünftigen Fahrzeugen mitfahren bzw. -fliegen konnte.

Im sogenannten „Gletscherkino“ konnten wir eine Simulation erleben, die zeigte, wie unsere Erde aussehen könnte, wenn die Menschheit zu spät auf den Klimawandel reagiert.

Ein Highlight war außerdem eine kleine Boxauto-Rennstrecke, in der man aber erst mitfahren durfte, wenn man zuvor durch ein großes Hamsiterrad ausreichend Strom erzeugt hat. Unser Schülermentor wurde im Rennen natürlich problemlos von uns geschlagen.

## Fazit

MATZ VON ASCHERADEN

Während unseres Kurses eigneten wir uns nicht nur ein großartiges Wissen über das Klimasystem, das Maschinelle Lernen und das Erstellen von Wettervorhersagen an, sondern wir sind auch als Gruppe gewachsen und zusammengeschweißt. Die gemeinsame Zeit war geprägt von lustigen und emotionalen Momenten, die wir sicherlich nie vergessen werden. Mit Stolz schauen wir auf unsere Erfolge, die gemeisterten Vorhersagen im Bereich Wetter und Klima und unsere tolle Teamarbeit zurück.

Im Laufe des Kurses, besonders als wir tiefer in das Klimasystem eintauchten, bemerkten wir allerdings, wie zerbrechlich dieses ist und wie herausfordernd es sein kann, sichere Prognosen davon zu erstellen, wie sich das Klimasystem durch menschliche Eingriffe in der nahen Zukunft verändern wird. Die vielen Feedbacks und Prozesse machen das unglaublich schwie-

rig und komplex. Unsere Erfahrung bei der Nachstellung einer Klimaverhandlung des Bundestages in der Klima Arena Sinsheim zeigte uns zudem, dass politische Verhandlungen zum Klimaschutz durch sehr gegensätzliche Interessen geprägt und die Ergebnisse daher Kompromisse sind, die für den Schutz des Erdsystems problematisch sind.

Für uns bedeuten diese Erkenntnisse, dass es unglaublich wichtig ist, auf unseren Planeten aufzupassen, und dass wir dafür sorgen müssen, dass er wieder gesünder wird, damit noch viele zukünftige Akademien stattfinden können.

## Zitate

MATZ VON ASCHERADEN

- Erklärbär
- Apfelkuchen
- Ingwer-Kurkuma-Tee – hilft in allen Lebenslagen

- Warum wirft man generell Atombomben?
- Avaneesh: Ich kann mir nichts merken. Ich habe ein Goldfischgehirn.
- Daniel: Genau, genau
- Jannick ist mein Tiefpunkt
- Ich glaube nicht, dass ich ADHS habe! aggressives Beinkicken\*
- KAI URUROA, KAI MATE FEKE! (dt. geschrieben)
- Heute Nacht kommt die Zahnfee!
- Jannick kann mehr zwischen Justus Füße
- OK, es ist wirklich gestorben
- Das ist hässlich, das ist deutsch!
- Leerzeichen sind böse!
- Der Klimawandel ist bewiesen!
- Wer ist zwischen meinen Beinen?
- Quod erat demonstrandum.
- ... und dann kriegt Google einen colabs
- Böööp



# Kurs 3 – Raketenphysik und Mikrogravitation



## Unser Kurs

### **Angela Schäfer #DerEnergydrink**

Wenn jemand Hilfe braucht, sei es nun beim Raketensuchen, Treppensprinten oder um ein Auto vorwärts zu bewegen: Angela ist immer sofort zur Stelle. Energiegeladen und motiviert bleibt Angela auch sogar dann noch, wenn niemand sonst mehr dazu in der Lage ist. Doch nicht nur in Sachen gute Laune, sondern auch beim Entwickeln und Bauen ist Angela für unseren Kurs unersetzlich!

### **Artem Mekhanik #GiantGenius**

Artem ist der ruhige und gelassene Theoretiker des Kurses. Wenn jemand eine Frage hat, erklärt er die Zusammenhänge, ohne die Geduld zu verlieren. Er ist nicht nur

unser Theoretiker sondern auch der Experte für den Luftwiderstand. Artem ist immer konzentriert und bringt die Gruppe stets voran. Zudem entwickelte er unser Bergungsmodul mit.

### **Aylin Ünal #AylinUndDieKamera**

6 bar – Start! Das ist Aylins Stichwort, denn für das Gelingen jedes unserer Raketenflüge ist Aylin von mehr als nur großer Bedeutung. Nicht nur als leidenschaftliche Starterin, die sich auch nicht vor Matsch, Wasser und Dreck scheut, sondern auch um Messreihen durchzuführen und die Kamera richtig auszurichten brauchen wir sie zwingend! Durch Aylin hat nicht nur unsere Kamera den richtigen Winkel, sondern auch unser Projekt ein viel klareres Bild.

**Cong-Sin Ma #KURZ:Cong-Cong**

Cong-Sin ist in unserem Kurs für alles rund ums Experimentieren zuständig und zwar nicht zuletzt, weil sie immer sehr genau und ausdauernd arbeitet. Nicht nur, wenn das Dosenexperiment mal wieder Probleme bereitet, nein, auch wenn die getesteten Kameras einfach nicht richtig funktionieren wollen, Cong-Cong bleibt cool und gut gelaunt. Mithilfe ihrer Ideen konnten wir unsere Wasserrakete in ein fliegendes Labor verwandeln!

**Diego Marsella #Checker**

Diego, die wissbegierige Perle unseres Kurses, ernährt sich von Wissen und komplizierten physikalischen Konzepten. Seine Lieblingsgerichte sind bekanntlich die Viskosität, Galilei-Transformationen und – natürlich – Differentialgleichungen, ohne die er vermutlich verhungern würde. Mit der Checkliste in der Hand und immer gut gelaunt sorgt er für eine optimale Atmosphäre, die sowohl zum konzentrierten Arbeiten als auch zum Ausruhen hervorragend passt. Sein Zusammenspiel aus fachlicher Kompetenz und ständiger Neugierde ist für jeden zu beneiden, ebenso wie Diegos Freundlichkeit und Offenheit, die das Leben in jeder Situation schöner machen. In zwei Worten ausgedrückt: brillanter Tausendsassa!

**Estée Henkel #StrahlenderStern**

Estée verzaubert täglich alle mit ihrer liebevollen und freundlichen Ausstrahlung. Mit ihrem strahlenden Lachen bringt sie immer gute Laune mit in den Kurs, egal was geplant ist. Durch ihre aufgeweckte Art brachte sie die Entwicklung der Experimente schnell und nahezu perfekt voran. Wann immer wir auf dem Schlauch stehen, können wir uns auf Estées Hilfe verlassen. Selbst, wenn unsere Rakete in den Wald fliegt, scheut sie keine Mühen, sie zu finden. Estée ist unser strahlender Stern und bringt Freude in die gemeinsame Projektarbeit.

**Evelyn Hatko #FinnenMaschine**

Evelyn ist unser Multitasking-Talent. Egal, wo man Hilfe braucht, Evelyn hat immer eine schlaue Lösung. Ihre Ideen helfen jedem weiter. Wenn die Gruppe verzweifelt,

bleibt Evelyn stark und steckt jeden mit ihrer Motivation an. Vor allem ist Evelyn unsere Finnen-Expertin.

**Georg Wilke #LibreOffice>Powerpoint**

Ohne unseren strengen, aber immer unterstützenden Kursleiter Georg hätten wir unser Projekt wahrscheinlich nicht geschafft. Georg hat uns immer auf Kurs gehalten und wir konnten jederzeit wertvolles Feedback von ihm bekommen. Mit seinem ansteckenden Humor erklärte er uns unter anderem, wie wir unsere Arbeitsweise verbessern und strukturiert unsere Rakete starten konnten. Wir sind dankbar, dass er den Wert auf unsere Unabhängigkeit gelegt hat: Es war unser Projekt, und die Kursleiter:innen haben uns unterstützt.

**Jeannine Deger-Glaeser #AllesImGriff**

Auch wenn etwas schiefläuft, bleibt unsere hilfsbereite und ehrliche Kursleiterin Jeannine immer ruhig und erklärt geduldig, was zu tun ist. Vollgetankt mit Kaffee startet sie voller Motivation den Tag mit Morgensport. Nicht nur die Rakete gab ihre Maximalleistung, auch sie arbeitete bis in die späte Nacht durch. Als uns die Antenne der Rakete im letzten Moment abriss, löste sie eifrig alle Kabel wieder zusammen. Ohne Jeannine wäre nicht nur unsere Laune im Keller, auch unsere Rakete wäre nie gestartet.

**Linus Doenitz #SCHÄTZchen**

Linus trug von Anfang an durch seine Erfahrung im Modellraketenbau zum Fortschritt des Projekts bei. Immer hat er neue Einfälle, um die Rakete zu verbessern, und erklärt sie gern den anderen Kursteilnehmer:innen. Er ist immer humorvoll dabei und nicht nur innerhalb, sondern auch außerhalb des Kurses eine sehr hilfsbereite und zuverlässige Person. Als professioneller „Aufpumper“ der Rakete schätzt er die erreichte Höhe gern mit dem Auge und hilft mit, unsere selbstgebauten Raketen in die Luft zu schicken!

**Magnus Mair am Tinkhof**

*#NichtCarlsenDafürMehr*

Magnus ist der echte „Sigma“ des Raketenkurses. Unser bodenständiger Schü-

lermentor war immer ein Anker für uns während unserer Kursarbeit. Magnus ist in jeder stressigen Situation chillig. Für den Raketenkurs ist das insbesondere eine hilfreiche und nötige Eigenschaft. Egal, ob er uns mit dem Bau oder im Wald bei der Raketensuche geholfen hat, ist er unser Fels in der Brandung.

#### Rafael Sladek #Ruhepol

Rafael ist der Tüftler hinter dem Experimentmodul. Mit viel Geduld baute er mit seinem Team die Halterung für die Experimente und richtete Kamera und Spiegel so präzise aus, dass alles perfekt zu sehen war. Beim Raketenstart hielt er die Rakete fest, stabilisierte sie an der Startrampe und sorgte dafür, dass die Rakete stabil stehen blieb, bis der Tank 2 bar erreichte. Dabei trägt er seine „tuffe“ Brille, die ihn in einen wahren Raketenwissenschaftler verwandelt. Außerdem ist er auch für seinen berüchtigten Volleyballaufschlag von allen gefürchtet. Abschließend kann man sagen, dass Rafael immer hilfsbereit, nett, fleißig und ein echter Allrounder ist.

#### Rishi Nair #UnserBro

Rishi, den man auch schon auf 20 m Entfernung durch seinen fröhlichen Gesang und seine gute Laune erkennen kann, sorgt immer für den nötigen Spaß. Sollte einmal ein lauter Schlag zu hören sein, war es bestimmt mal wieder Rishis sogenanntes „Backsteinhandy“, das zu Boden fällt. Trotz seiner manchmal etwas nervigen Angewohnheit, alle möglichen Dinge in die Hand zu nehmen (und natürlich wieder fallen zu lassen), ist Rishi vor allem durch seine Arbeit am Experimentmodul für unseren Kurs unersetztlich. Durch Rishi hat unser Kurs nicht nur besser funktioniert, sondern auch viel mehr Spaß gemacht!

#### Sara Linde #VomOrdnungsamt

Sara ist nicht nur passionierte Fallschirmfalterin, sondern zeigt sich auch sonst immer engagiert. Ob beim Autoanschieben, Organisieren und Strukturieren oder beim Fallschirmtesten: Sara führt all ihre Aufgaben gewissenhaft und zuverlässig aus und beweist dabei außerdem viel Ausdauer. Selbst

als unsere ganze Präsentation und damit ihre gesamte Arbeit gelöscht wurde, gab sie nicht auf. Ohne Sara hätten wir also weder eine Präsentation, noch eine fertige Rakete!

#### Vatsal Yadav #VatsalDuscht

Vatsal ist einer der Spezialisten für das Fallschirmmodul. Er bringt mit seiner lustigen und lockern Art immer gute Stimmung in den Kurs. Beim Raketenstart übernahm er eine wichtige Rolle: Er löste per Funk den Fallschirmmechanismus aus und brachte so die Rakete meist sicher zurück auf den Boden. Mit seinem Humor steckt er alle an und sorgt dafür, dass selbst die stressigen Phasen nie zu ernst werden. Sein musikalisches Talent am Klavier zeigte er beim Hausmusikabend. Vatsal ist immer gut geblaut, hilfsbereit und ein wichtiger Teil unseres Kurses.

## Vorwort

MAGNUS MAIR AM TINKHOF

Einmal im Leben die Schwerelosigkeit spüren – das ist ein Traum, den sicherlich schon viele hatten. Wir im Raketenkurs konnten uns im Sommer diesen Wunsch erfüllen. Jedenfalls ein bisschen. Zwar konnten wir selbst die Mikrogravitation nicht an unserem eigenen Körper spüren, das hätte unser Budget gesprengt. Mit einer selbstgebauten Rakete und durch Experimente ist es uns jedoch gelungen, die Mikrogravitation empirisch nachzuweisen.

Vor der eigentlichen Konstruktion der Rakete haben wir uns das nötige Handwerkszeug eines Raketenbauers angeeignet. Auf diesem Weg haben wir uns zuerst grundlegende physikalische Prinzipien – wie zum Beispiel den Luftwiderstand und den Impuls – erarbeitet. So konnten wir danach tiefer in die Materie eindringen, um schlussendlich bei dem Raketenprinzip zu landen. Nach diesem Prinzip ist es uns als Gruppe gelungen, den Akademiebus durch unseren eigenen Impuls anzutreiben.

Neben der Theorie war in unserem Kurs natürlich auch vor allem der praktische Teil wichtig, um unser Kursziel zu erreichen: Wir wollten ja schließlich mit einer selbst entwickelten Rakete die Mikrogravitation nachweisen. Dazu

organisierten sich die zwölf Teilnehmer:innen selbstständig in Gruppen und entwickelten unterschiedliche Module. Dieses Projekt und die gemeinsame Aufgabe formte die Gruppe und schweißte uns zusammen, da wir alle unser gemeinsames Ziel anstrebten. Das hat Spaß gemacht und sorgte dafür, dass wir immer besser aufeinander abgestimmt waren!

Nach zehn Tagen war es so weit: Wir konnten mit der Rakete Pluto T-10 den ersten Start durchführen. Mit jedem weiteren Flug konnten wir Schwachstellen identifizieren und waren deshalb in der Lage, unsere Rakete immer weiter zu verbessern. Zwar hat uns der ein oder andere Flug auch in den Adelsheimer Wald geführt, unser Bergungsteam war jedoch jedes Mal in der Lage, unser verloren geglaubtes Gerät wiederzufinden.

Und jetzt: Start der Doku in t minus 3 Sekunden – drei, zwei, eins, START ...

## Projektarbeit

AYLIN ÜNAL

Projektarbeit ist für uns mehr, als nur einzelne Aufgaben zu erledigen – es ist ein Prozess des Lernens, des Ausprobierens und des Fortschritts. Nicht nur die Ergebnisse zählen, sondern auch der Weg dahin. Genau das erlebten wir in unserem Kurs. Zusammen haben wir uns nicht nur mit Mikrogravitation beschäftigt, sondern auch viel Zeit in das Lernen des Arbeitens an einem gemeinsamen Projekt investiert.

Wir verwendeten Methoden aus dem Projektmanagement und die **SMART**-Formel. Das hieß, unsere Aufträge und Etappenziele mussten folgende Kriterien erfüllen:

**Spezifisch:** Das Ziel soll klar und präzise formuliert sein.

**Messbar:** Es muss möglich sein, den Fortschritt und die Zielerreichung zu messen.

**Akzeptiert:** Alle müssen hinter dem Ziel stehen.

**Realisierbar:** Das Ziel muss erreichbar sein.

**Terminiert:** Das Ziel muss einen klaren Zeitrahmen haben, innerhalb dessen es erreicht werden kann.

Jede Kursschiene begann mit einem Stand-Up-Meeting, bei dem wir die einzelnen Aufgaben für den Tag auf Zetteln sammelten. Diese wurden auf einer Tafel auf fünf Kategorien verteilt: Organisatorisches, Antriebsmodul, Experimentmodul, Bergungsmodul und Theorie.



Morgendliches Stand-Up-Meeting

Jede:r übernahm mal die Verantwortung, die Aufgabenverteilung zu koordinieren, und konnte so Erfahrung als Moderator:in sammeln. Wir lernten dadurch, die Arbeit effizient und effektiv zu verteilen, damit sich weder zu viele, noch zu wenige Personen mit einer Aufgabe beschäftigten.



Scrum Board – Aufgaben



Scrum Board – In Bearbeitung

Anschließend begann die Arbeit. Gab es Fragen oder brauchte man Hilfe von den Anderen,



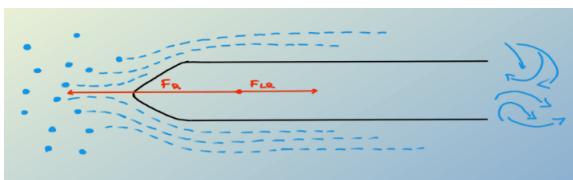
Scrum Board – Erledigt

mussten teilweise verschiedene Gruppen zusammenarbeiten, solange dadurch nur Fortschritt erzielt wurde und jede:r beschäftigt war. Anfangs nahm beispielsweise das Stand-Up-Meeting viel Kurszeit ein, weil wir noch nicht mit der Arbeitsweise vertraut waren. Doch im Laufe der zwei Wochen wurden wir immer schneller und effizienter.

## Der Luftwiderstand

ARTEM MEKHANIK

Eine der wichtigsten physikalischen Größen, die im Zusammenhang mit unserer Rakete steht, ist der Luftwiderstand (auch Luftreibung genannt). Der Luftwiderstand ist die Kraft, die einen Körper abbremst, wenn dieser sich relativ zur Luft bewegt.



Prinzip des Luftwiderstands

Die Hauptursachen für den Luftwiderstand sind:

1. Druckunterschiede vor und hinter dem Körper: Bewegt sich ein Körper in der Luft (z. B. ein Flugzeug oder eine Rakete), so verdrängt er die Luftteilchen nach hinten, also in den Bereich hinter dem Körper, in welchem durch die beschleunigte Luftteilchenmasse ein niedrigerer Druck herrscht als vor dem Körper. Somit entstehen hinter dem Körper Verwirbelungen, sogenannte Turbulenzen, die ebenfalls zum Luftwiderstand beitragen (siehe Abbildung Luftwiderstand). Eine ungleichmäßige oder eckige Form führt zu stärkeren Turbulenzen, was den Druckunterschied und damit den Druckwiderstand erhöht.
2. Reibung der Luftteilchen an der Körperoberfläche, die den Körper abbremst. Eine raue oder unebene Oberfläche verstärkt diese Reibung und erhöht den Luftwiderstand. Dies wird auch Viskosität, also Zähigkeit der Luft, genannt.
3. Induzierter Widerstand tritt nur bei Körpern auf, die Auftrieb erzeugen (z. B. ein Flugzeugflügel). Er ist ein Nebenprodukt des Auftriebs und entsteht durch Verwirbelungen (Randwirbel) an den Flügel spitzen.

Die Luftwiderstandskraft  $\vec{F}_{LR}$  wirkt immer entgegen der Bewegungsrichtung des Körpers. Dabei ist der Betrag  $F_{LR}$  der Luftwiderstandskraft abhängig von

- dem Betrag der Geschwindigkeit  $v$  des Körpers,
- der Querschnittsfläche  $A$  des Körpers,
- der Dichte  $\rho$  der Luft und
- dem Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  (auch  $c_w$ -Wert genannt), der von der Form des Körpers abhängt und nur experimentell in Windkanälen bestimmt werden kann.

Mit diesen Variablen gilt die folgende Gleichung zur Berechnung des Luftwiderstands:

$$F_{LR} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_w \cdot \rho \cdot v^2.$$

Um eine maximale Raketenhöhe für unser Projekt zu erreichen, können wir nur wenige der Einflussfaktoren vom Luftwiderstand ändern.

So kann vor allem der Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  verringert werden, indem die Oberfläche geglättet und die Form aerodynamischer gemacht werden.

## Impuls und Impulserhaltung

VATSAL YADAV

Der Impuls ist eine physikalische Größe, die in der Umgangssprache als „Wucht“ oder „Schwung“ bezeichnet werden kann. Das Symbol für den Impuls ist  $\vec{p}$ . Er ist definiert als das Produkt aus der Masse  $m$  und der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  eines Objektes:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

Er ist eine Vektorgröße, das bedeutet, dass er nicht nur einen Betrag, sondern auch eine Richtung hat. Er besitzt diese Eigenschaft, da auch die Geschwindigkeit ein Vektor ist. Die Einheit des Impulses wird oft in  $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$  oder auch Ns angegeben.

Der Impuls ist eine Erhaltungsgröße. Das bedeutet, dass der Gesamtimpuls eines abgeschlossenen Systems immer gleich bleibt. Es gilt:

$$\vec{p}_{\text{vorher}} = \vec{p}_{\text{nachher}}.$$

Andere Erhaltungsgrößen sind beispielsweise Energie und Masse: Sie bleiben über die Zeit gleich. Deshalb ist der Impuls des ausgestoßenen Treibstoffes gleich dem Impuls der Rakete. Im Kurs haben wir diesen Satz auch mit einem Experiment veranschaulicht.

## Das Experiment



Raketenprinzip mit dem Auto

Wir sprangen nacheinander aus einem ausgeschalteten Minivan (siehe Bild), um zu sehen,

was passiert. Wir beobachteten, dass sich das Auto nach vorne bewegte, wenn wir hinten aus dem Auto sprangen. Die Geschwindigkeit des Autos war allerdings viel geringer als unsere Geschwindigkeit beim Rausspringen, was den Grund hat, dass unsere Masse viel kleiner ist als die des Autos:

$$\vec{p}_{\text{vorher}} = \vec{p}_{\text{nachher}}$$

$$0 = \vec{p}_{\text{Auto}} + \vec{p}_{\text{wir}}$$

$$\vec{p}_{\text{Auto}} = -\vec{p}_{\text{wir}}$$

$$m_{\text{Auto}} \cdot \vec{v}_{\text{Auto}} = -m_{\text{wir}} \cdot \vec{v}_{\text{wir}}$$

$$\vec{v}_{\text{Auto}} = -\frac{m_{\text{wir}} \cdot \vec{v}_{\text{wir}}}{m_{\text{Auto}}}$$

## Die Schlussfolgerungen

Da hier

$$m_{\text{Auto}} > m_{\text{wir}}$$

gilt, muss

$$v_{\text{Auto}} < v_{\text{wir}}$$

gelten. Aber es können auch weitere Fakten dieser Gleichung entnommen werden:

Je größer unsere Masse ist, desto schneller ist das Auto, da

$$v_{\text{Auto}} \sim m_{\text{wir}}.$$

Außerdem gilt, dass das Auto schneller ist, je schneller wir springen, da

$$v_{\text{Auto}} \sim v_{\text{wir}}.$$

Zuletzt gilt, dass das Auto langsamer ist, je größer seine Masse ist, da

$$v_{\text{Auto}} \sim \frac{1}{m_{\text{Auto}}}.$$

In einem solchen Modell wäre das Auto die Rakete, und wir wären das ausströmende Wasser. Das Modell wäre viel wahrheitsgemäßer, wenn dass Wasser in vielen kleinen Schritten rauskommen würde, was die diskrete und kontinuierliche Raketengleichung unterscheidet, die später beschrieben werden.

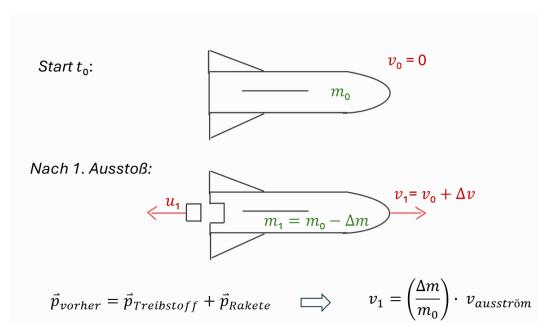
## Die diskrete Raketengleichung

CONG-SIN MA

Eine Rakete funktioniert nach dem physikalischen Prinzip des Rückstoßantriebs. Um zu verstehen, wie eine Rakete aus dem Stand heraus beschleunigt, betrachten wir ihre Bewegung der Einfachheit halber zunächst in diskreten Zeitschritten, also schrittweise. Zum Startzeitpunkt, den wir als  $t_0$  bezeichnen, hat die Rakete ihre maximale Masse  $m_0$ , die sich aus dem Leergewicht der Rakete und der gesamten Treibstoffmenge zusammensetzt. Da sie noch keine Bewegung erfahren hat, ist ihre Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  gleich null.

Nach dem ersten Zeitabschnitt hat die Rakete durch den Ausstoß des Treibstoffs eine kleine Masse  $\Delta m$  verloren, die sich mit der Geschwindigkeit  $u_1$  relativ zur Rakete bewegt. Als unmittelbare Reaktion darauf erfährt die Rakete selbst eine neue Geschwindigkeit  $v_1$ , errechnet aus der Summe der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  und der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$ , in entgegengesetzter Richtung. Ihre neue Masse beträgt nun

$$m_1 = m_0 - \Delta m$$



Diskrete Raketengleichung

Mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes konnten wir den Zusammenhang herleiten. Der anfängliche Gesamtimpuls war null, da die Geschwindigkeit gleich null war. Nach dem Ausstoß setzt er sich aus dem Impuls der nun leichteren Rakete, die sich mit der neuen Geschwindigkeit bewegt, und dem Impuls des ausgestoßenen Treibstoffs zusammen:

$$\begin{aligned} \vec{p}_{\text{vorher}} &= \vec{p}_{\text{nachher}} \\ 0 &= \vec{p}_{\text{Rakete}} + \vec{p}_{\text{Treibstoff}} . \end{aligned}$$

Formt man diese Gleichung um, so erkennt man, dass die Geschwindigkeitszunahme der Rakete  $\Delta v_1$  gleich dem Verhältnis der Massenänderung  $\Delta m$  zur Anfangsmasse  $m_0$ , multipliziert mit der konstanten Ausströmungsgeschwindigkeit des Treibstoffs  $v_{\text{ausstroem}}$  ist:

$$\Delta v_1 = \frac{\Delta m}{m_0} \cdot v_{\text{ausstroem}} .$$

Dieses Prinzip wiederholt sich mit jedem weiteren Schub. Direkt nach dem ersten Ausstoß erfolgt ein zweiter. Die Rakete hat nun bereits die geringere Masse  $m_1$  und bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v_1$ . Beim Ausstoß der nächsten Teilmasse  $\Delta m$  erfährt sie eine weitere Geschwindigkeitszunahme  $\Delta v_2$ . Ähnlich wie im ersten Schritt beträgt der Geschwindigkeitszuwachs nach dem zweiten Ausstoß nun:

$$\Delta v_2 = \frac{\Delta m}{m_1 - \Delta m} \cdot v_{\text{ausstroem}} .$$

Wiederholt man dies auch nach dem dritten Ausstoß erhält man entsprechend für den Geschwindigkeitszuwachs:

$$\Delta v_3 = \frac{\Delta m}{m_0 - 2 \cdot \Delta m} \cdot v_{\text{ausstroem}} .$$

Dieses schrittweise Vorgehen lässt sich für eine beliebige Anzahl von Schüben fortsetzen. Die Gesamtgeschwindigkeit ergibt sich dabei stets als Summe der einzelnen Geschwindigkeitsänderungen. Somit kann man die Bewegung der Rakete ungefähr bestimmen. Da der reale Flug der Rakete jedoch nicht in einzelnen Zeitschritten erfolgt, sondern kontinuierlich, muss dafür eine genauere Gleichung hergeleitet werden. Das führt uns zur kontinuierlichen Raketengleichung.

## Die kontinuierliche Raketengleichung

ARTEM MEKHANIK

Um den zeitlichen Geschwindigkeitszuwachs unserer Rakete kontinuierlich zu beschreiben, bedienen wir uns der Raketengrundgleichung. Sie beschreibt die Geschwindigkeit einer Rakete, die durch den kontinuierlichen Ausstoß von

Treibstoff angetrieben wird, zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$ .

Formuliert wird die Gleichung wie folgt:

$$v(t) = -\ln \left( \frac{m_0 - \mu \cdot t}{m_0} \right) \cdot v_{\text{ausstroem}}.$$

Dabei steht  $m_0$  für die Anfangsmasse,  $t$  für die Zeit und  $v_{\text{ausstroem}}$  für die Ausströmungsgeschwindigkeit des Treibstoffs relativ zur Rakete.  $\mu$  steht hier für eine infinitesimale Massenänderung pro Zeit, das heißt, wir betrachten unendlich kleine Massendifferenzen  $\Delta m$ , um die unsere Rakete leichter wird.

## Freier Fall und Mikrogravitation

RISHI NAIR



Die Internationale Raumstation<sup>1</sup>

Völlig schwerelos herumschweben – so stellen sich die meisten von uns das Bewegen auf der ISS vor. Auf Videos von den Astronauten, die sich darin befinden, sieht man, dass sie nicht wie gewohnt zum Boden fallen, sondern frei durch die Luft schweben.

Diese Vorstellung ist nur teilweise richtig: Die Astronauten schweben zwar, wenn wir sie vom Inneren der berühmten internationalen Raumstation beobachten, jedoch sind sie nicht „schwerelos“. Alle Objekte auf der ISS machen nämlich genau das, was man von Innen nicht beobachten kann: fallen. Der „Freie Fall“ ist physikalisch gesehen die Zeitspanne, in der keine Kraft außer der Gewichtskraft der Erde auf ein Objekt wirkt. Dies bedeutet, dass, wenn man zum Beispiel einen Ball nach oben wirft, der Ball nicht erst frei fällt, wenn er an Höhe verliert, sondern schon sobald er unsere Hand

verlässt und nach oben fliegt und somit keine Kraft außer der Gewichtskraft wirkt.

Die Falldauer eines Objekts wird nicht von seiner Masse beeinflusst. Somit würden zum Beispiel ein Hammer und eine Feder gleichzeitig auf dem Boden landen, wenn wir uns auf dem Mond befänden. Da die Erde eine Atmosphäre hat, spielt beim freien Fall der Luftwiderstand eine Rolle. Die Feder, die eine größere Angriffsfläche hat, landet später auf dem Boden als der Hammer, da der Luftwiderstand sie bremst. Auf dem Mond existiert dieses Problem nicht, da keine Atmosphäre vorhanden ist.

Man kann auch auf deutlich einfachere Weise zeigen, dass die Masse mit der Falldauer nichts zu tun hat, indem man zwei gleiche Blätter Papier betrachtet. Eines wird zerknüllt und gleichzeitig mit einem anderen glatten Papier aus der gleichen Höhe fallen gelassen. Das zerknüllte Blatt wird weniger von der Luft gebremst und landet früher als das normale, obwohl beide Blätter die gleiche Masse haben. Der Orbit des Mondes, der Satelliten und der ISS sind in Wirklichkeit auch freie Fälle. Diese Objekte haben eine so große Tangentialgeschwindigkeit, dass sie „um“ die Erde fallen, anstatt sie zu treffen.

Oft wird Albert Einsteins „glücklichster Gedanke“ im Kontext des freien Falls erwähnt: Für einen Menschen, der sich im freien Fall befindet, ist keine Gewichtskraft spürbar, also fühlt er sich „schwerelos“. Als äußerer Beobachter erkennt man sofort, dass der Mensch fällt, aber von seiner Perspektive (und später von der Perspektive auf der ISS) ist die Gewichtskraft der Erde nicht messbar.

Während des freien Falls herrscht also Mikrogravitation, das Phänomen, welches wir umgangssprachlich „Schwerelosigkeit“ nennen. Während sich zum Beispiel ein Astronaut in einem Zustand der Mikrogravitation befindet, spürt er keine Gewichtskraft. Dabei ist die Masse des Astronauten nicht verschwunden. Es sind auch Wechselwirkungen zwischen den Objekten in der Rakete vorhanden, da jeder Körper mit Masse eine Kraft auf jeden anderen ausübt. Deshalb nennt man diesen Zustand „Mikrogravitation“, da die Gravitation zwar vorhanden, aber nicht spürbar ist. Also kann

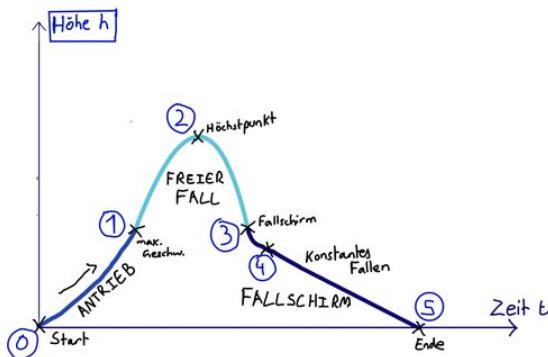
<sup>1</sup>Abb.: Roskosmos/NASA.

kein Körper wirklich schwerelos sein, aber man kann diesen Zustand innerhalb eines frei fallenden Systems simulieren. Hier kam unsere Rakete und unser Kursziel ins Spiel: Wir wollten dieses „Fehlen“ der Gewichtskraft innerhalb einer Rakete überprüfen.

## Raketenflug im Modell

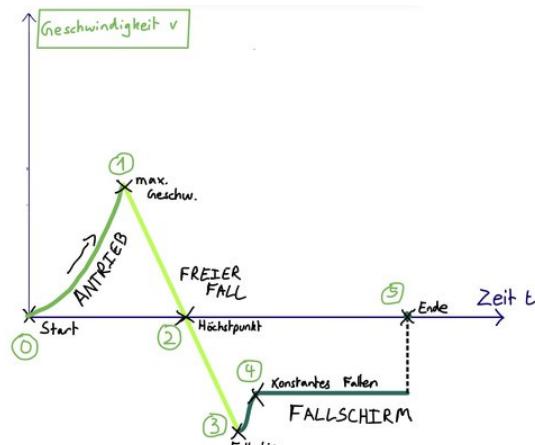
ARTEM MEKHANIK

Natürlich interessierte uns, wie die Flughöhe  $h$ , die Geschwindigkeit  $v$  und die Beschleunigung  $a$  unserer Rakete in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  im Einzelnen aussehen, weshalb wir entsprechende Diagramme zeichneten. Dabei kennzeichneten wir verschiedene Phasen des Fluges mit unterschiedlichen Nummern in den Diagrammen. Der Abschnitt, in dem sich die Rakete im Zustand des freien Falls befindet, ist jeweils mit einer helleren Farbe markiert.



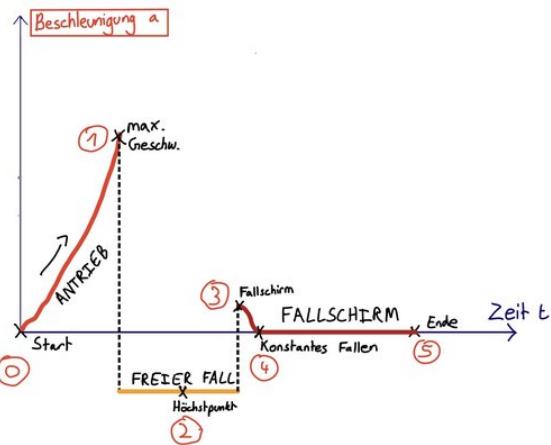
Flughöhe in Abhängigkeit von der Zeit

Nach dem Start wurde die Rakete durch den kontinuierlichen Ausstoß von Treibstoff angetrieben und erreichte so ihre maximale Geschwindigkeit, jedoch noch nicht ihre maximale Höhe (0 bis 1). Hat die Rakete keinen Treibstoff mehr zur Verfügung, folgt die Phase des freien Falls, in der sie ihren Hochpunkt, also ihre maximale Höhe erreicht (1 bis 2) und anschließend nach unten fällt (2 bis 3). Dieser Abschnitt wird im Diagramm parabelförmig dargestellt (1 bis 3). Nach dem Auslösen der Fallschirme (3) und deren vollständiger Entfaltung (4) folgt die Phase des konstanten Fallens, in welcher die Rakete mit konstanter Geschwindigkeit auf den Boden landet (4 bis 5). Die Höhe am Ende ist dementsprechend 0 (5).



Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

Nachdem die Geschwindigkeit  $v$  der Rakete nach dem Start bis zu ihrem Maximum kontinuierlich ansteigt (0 bis 1), fällt sie mit konstanter Beschleunigung, wenn der Tank der Rakete geleert ist und sie sich im Zustand des freien Falls befindet (1 bis 3), in welchem die Rakete zuerst ihren Höchspunkt erreicht und anschließend nach unten fällt (2 bis 3), was die negative Geschwindigkeit impliziert. Nachdem die Fallschirme ausgelöst werden, wird der Betrag der Geschwindigkeit rasch kleiner (3 bis 4), bis sie sich vollständig entfalten und die Rakete mit konstanter Geschwindigkeit auf den Boden fällt (4 bis 5). Trifft die Rakete den Boden, so ist sie nicht mehr in Bewegung und ihre Geschwindigkeit wird sofort 0, was durch einen Sprung im Diagramm dargestellt ist (5).



Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit

Analog zur Geschwindigkeit  $v$  steigt die Beschleunigung  $a$  nach dem Start an (0 bis 1), bis

kein Treibstoff mehr vorliegt und die Rakete im Zustand des freien Falls sprunghaft (1) langsamer wird, was man an der negativen Beschleunigung erkennt (2). Nachdem die Fallschirme ausgelöst wurden (3), wird die Rakete kurzzeitig langsamer, was durch eine kurzzeitige Phase der positiven Beschleunigung dargestellt ist (3 bis 4). Nach der vollständigen Entfaltung der Fallschirme fällt die Rakete mit konstanter Geschwindigkeit auf den Boden, die Beschleunigung ist daher bis zum Ende 0 (4 bis 5).

Der für uns interessante Abschnitt eines Raketenflugs war die Mikrogravitationsphase während des freien Falls. Diese Phase war für uns wichtig, da hier unsere Experimente durchgeführt wurden und somit die Mikrogravitation nachgewiesen werden konnte.

## Aufbau der Rakete

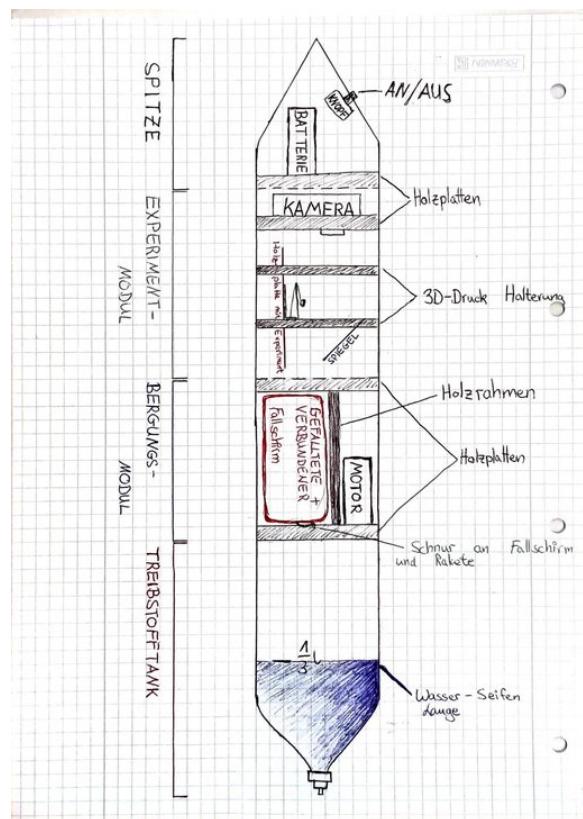
LINUS DOENITZ

Unsere Raketen folgten alle dem gleichen Aufbauprinzip: Ganz unten befand sich das Antriebsmodul, bestehend aus Treibstofftank und Düse. Darüber bauten wir das Bergungsmodul ein, welches aus einem Fallschirm und dessen Auslösemechanismus bestand. Das Experimentmodul mit den einzelnen Experimenten und der Kamera lag direkt darüber. Mit der Spitze, die uns eine Energieversorgung bot, vollendeten wir unsere Raketen.

## Das Antriebsmodul

Für den Drucktank verwendeten wir Mehrweg-PET-Flaschen und als Treibstoff Wasser. Um herauszufinden, mit welchem Luft-Wasser-Verhältnis unsere Rakete starten sollte, ermittelten wir mit über 40 Testflügen einiger Spielzeugwasserraketen das optimale Verhältnis von zwei Drittel Luft zu einem Drittel Wasser.

Zusätzlich versetzten wir das Wasser mit etwas Seife, um die Ausströmungsgeschwindigkeit weiter zu erhöhen. Unsere Überlegung war, dass das Wasser aufgrund der geringeren Oberflächenspannung schneller aus der Düse strömen würde und damit unsere Zeit in der Mikrogravitation verlängern könnte. Mittels Testflügen



Schematischer Aufbau unserer Raketen

und Recherche fanden wir heraus, dass das Seifenwasser zu einem gleichmäßigeren Ausströmen führt und damit einen effizienteren Impulsübertrag ermöglicht. Laut diversen Quellen<sup>2</sup> erhöht das Seifenwasser die Flughöhe um rund 15 %.



Konzentriertes Arbeiten an den Tanks

Um einen größeren Drucktank zu ermöglichen, beschlossen wir, mehrere Flaschen druckdicht

<sup>2</sup>Z. B.: Air Command Rockets,  
URL: <http://www.aircommandrockets.com/>.

miteinander zu verkleben. Dafür schnitten wir einige PET-Flaschen so zurecht, dass wir ein ca. 11 cm langes zylindrisches Stück erhielten, und tauchten anschließend eine Seite des Stücks ungefähr eine Sekunde in 2,5 cm tiefes heißes Wasser. Dadurch verjüngte sich das in das Wasser getauchte Stück gerade so stark, dass es in ein anderes zylindrisches Stück gesteckt werden konnte. Im Anschluss wurden die Teile mit Spezialkleber aneinandergeklebt und mussten 24–40 Stunden aushärten.

Die ersten paar Prototypen hielten die erforderlichen 6 bar nicht aus, womöglich aufgrund von zu kurzer Trocknungszeit und zu großer Verjüngung. Erst nach drei Versuchen wurden den 6 bar erfolgreich standgehalten. Das erhöhte unser Tankvolumen um 0,4 Liter von einem Liter auf 1,4 Liter. Im Anschluss schafften wir es auch, fünf Flaschenstücke zusammenzukleben, wodurch wir nun auch einen 3-Liter-Tank zur Verfügung hatten.

## Die Finnen

Finnen, auch Leitwerk oder Flossen genannt, stabilisieren den Flug einer Rakete. Indem die Finnen Turbulenzen erzeugen, entsteht auf der einen Seite ein Überdruck, wodurch auf die mehr Druck ausgesetzte Seite gedrückt wird, was der Rakete schließlich ein Kräftegleichgewicht beschert. Die Stabilität wird erreicht, weil dieses System eine negative Rückkopplung darstellt: Je stärker die Abweichung vom Kräftegleichgewicht, desto stärker ist die Kraft, die das Gleichgewicht wiederherstellt.

Das Zentrum der aerodynamischen Kräfte wird Druckpunkt genannt. Je größer die Finnen sind, desto mehr verschiebt sich der Druckpunkt zu den Finnen. Für die Stabilität der Rakete ist es wichtig, dass dieser Punkt ein bis zwei Raketendurchmesser unter dem Schwerpunkt liegt. Ohne Finnen würde eine Rakete, ähnlich wie ein Pfeil ohne Federn, schnell anfangen zu tauemeln und sich zu drehen.

Unsere Finnen konstruierten wir aus mehreren laminierten Papieren, die wir mit Panzertape an dem Treibstofftank befestigten. Die Form der Finnen wurde so gewählt, dass die Auflagefläche an der Flasche möglichst groß ist.

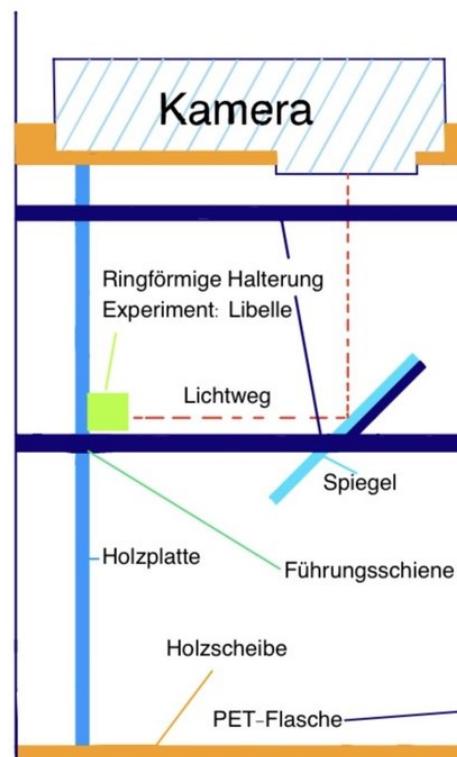
Auch über die Anzahl der Finnen machten wir uns Gedanken. Wir entschieden uns für drei Finnen, da sie eine hohe Richtungsstabilität bieten, leicht sind und weniger Luftwiderstand als vier oder mehr Finnen erzeugen.

## Das Experimentmodul

RAFAEL SLADEK

Um den Zustand der Mikrogravitation während des Raketenflugs nachzuweisen und zu dokumentieren, bauten wir ein Experimentmodul. Dieses wurde durch scheibenförmige Zwischenstücke aus Balsaholz von den anderen Modulen der Rakete getrennt.

Im Modul nutzten wir ringförmige Halterungen mit integrierten Führungsschienen. Die Experimente befestigten wir separat auf dünnen Holzscheiben, die wir vor jedem Start der Rakete in die Führungsschienen einschoben. So wurden die Plättchen stabilisiert und die Experimente konnten von der Kamera aufgenommen werden.



Schematischer Aufbau des Experimentmoduls

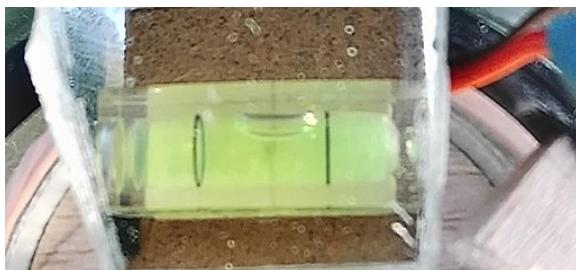
Die Kamera musste aus Platzgründen und wegen eines zu kleinen Weitwinkels im oberen Zwischenstück montiert werden. Die Linse der Kamera wurde dabei über einem Spiegel positioniert, der sich im Winkel von  $45^\circ$  auf einer der ringförmigen Wandhalterungen befand (siehe Bild). Durch den nun verlängerten Lichtweg konnten wir den Bereich auf den Holzplatten fokussieren und filmen, in dem sich die Experimente befanden. So konnten wir auf einfache Weise nach jedem Flug die Experimente austauschen.

## Die Experimente

ANGELA SCHÄFER, ESTÉE HENKEL,  
EVELYN HATKO

### Libellen-Experiment

Mithilfe dieses Experimentes wollten wir das Zusammenspiel von Stoffen verschiedener Dichten während der Mikrogravitation beobachten. Dafür verwendeten wir eine Libelle, wie man sie beispielsweise aus einer Wasserwaage kennt. Diese befestigten wir waagrecht an der Experimentierplatte. Auf der Erde schwimmt die linsenförmige Luftblase aufgrund des Dichteunterschieds am oberen Rand der Libelle. Zu diesem Zeitpunkt wirken drei verschiedene Kräfte: Auftrieb (auf die Luftblase), Oberflächenspannung und die Gewichtskraft (auf das Wasser).



Libelle am Boden

Während der Mikrogravitation gibt es kein Oben und Unten, es wirken keine Gewichtskraft und kein Auftrieb. Nur die starke Oberflächenspannung des Wassers herrscht. Sie strebt danach, die Oberfläche der Luftblase möglichst klein zu halten. Der optimale Körper für das Verhältnis des größtmöglichen Volumens zur

kleinstmöglichen Oberfläche ist die Kugel. Ohne das Einwirken von Auftrieb und Gewichtskraft wird die Luftblase deshalb während der Mikrogravitation kugelförmig.



Libelle in der Mikrogravitation

### Magnetstab-Experiment

Bei diesem Experiment sind drei scheibenförmige Ringmagnete auf einem dünnen Holzstab so aufgereiht, dass sie sich abstoßen. Da sie von der Gewichtskraft nach unten gezogen werden, entsteht ein Kräftegleichgewicht zwischen Gewichts- und Magnetkraft. Zwischen den Magneten ist nur ein kleiner Abstand und sie befinden sich in der unteren Hälfte des Holzstabs.



Magnetstab am Boden

Unsere Vermutung war, dass sich die Magnete im Zustand der Mikrogravitation gleichmäßig verteilen würden, da die Gewichtskraft keine Rolle spielt. Die einzige Kraft, die dann noch vorhanden wäre, ist die Abstoßung durch die gleiche Polung zwischen den Magneten. Die Videoaufnahme während des Fluges bestätigte diese Vermutung. Es war zu sehen, wie der obere Magnet ab dem Moment, wo Mikrogravitation eintrat, nach oben glitt und der mitt-

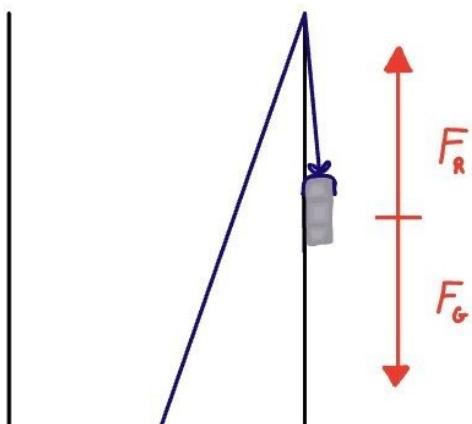
lere Magnet genau in die rot markierte Mitte des Stabs rutschte. Genau in dieser Verteilung haben die einzelnen Magnete den größten Abstand zueinander. Das Magnetstab-Experiment zeigte eindeutig die Mikrogravitation während des Raketenflugs.



Magnetstab in der Mikrogravitation

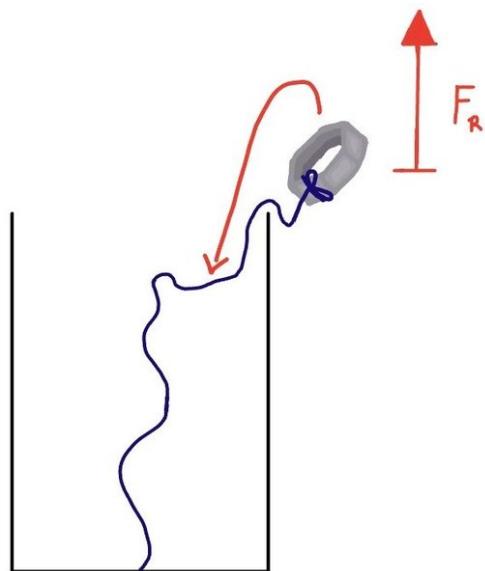
### Dosen-Experiment

Unser letztes Mikrogravitationsexperiment war wie folgt aufgebaut: Zuerst benötigten wir eine Dose, eine Gummischnur und eine Schraubenmutter. Die Schraubenmutter wurde mit der Gummischnur am Boden der Dose befestigt. Vor dem Raketenstart hing die Mutter außerhalb der Dose. Da das Gummiband elastisch ist, hat es eine Rückstellkraft. Das Gewicht der Mutter zieht nach unten und spannt dementsprechend das Gummi, es herrscht ein Kräftegleichgewicht.



Skizze vom Dosenexperiment am Boden

Während des freien Falls wirkte Mikrogravitation. Die einzige sichtbare Kraft ist die Kraft des Gummibands, die die Mutter in die Do-



Dosenexperiment in der Mikrogravitation

se zieht. Sobald der Fallschirm ausgelöst wird, endet der freie Fall und dadurch auch die Mikrogravitation.

### Das Bergungsmodul

DIEGO MARSELLA

Das Bergungsmodul sorgte für die sanfte Landung der Rakete, damit sie mehrmals verwendet werden konnte. Hierfür entwickelten wir einen Auslösemechanismus, der zum richtigen Zeitpunkt per Funk ausgelöst werden sollte.

Das Bergungsmodul befand sich über dem Antriebsmodul unserer Rakete. Es bestand aus flexiblen PET-Flaschen, weshalb Balsaholzscheiben zur Stabilisierung und der Beibehaltung der zylindrischen Form angebracht wurden. Sie trennten das Bergungsmodul vom Rest der Rakete. An zwei Massivholzleisten, die an der Flaschenwand des Moduls (PET-Flasche) mit Schrauben befestigt waren, wurden innen Gummibänder gespannt. Sie dienten als Schleuder, um die Fallschirme herauszukatapultieren.

Wir schnitten eine klappbare Doppeltür aus der Modulflasche aus und befestigten sie an beiden Seiten mit Klebeband. Direkt an der Seite einer Fallschirmtür war eine kleine Schraube angebracht. Unter den Massivholzleisten fixierten wir einen Schrittmotor. Ein zusätzliches Gummiband wurde an der Schraube und über einen



Fertigung des Bergungsmoduls

Haken am Motor außerhalb der Flasche so gespannt, dass die Fallschirmtüren zugeschoben wurden. Dieses Band nennen wir Auslösegummiband. Da aber das Auslösegummiband bei ausgeschaltetem Motor nicht festgehalten werden konnte, gab es zusätzlich noch ein weiteres Gummiband, das Sicherheitsgummiband, das um die ganze Flasche gespannt war. Es sorgte dafür, dass die Fallschirme nicht schon vor dem Raketenstart herauskamen. Der Motor war mit einem Kabel verbunden, das bis zur Spitze der Rakete reichte. In der Spitze befand sich die Stromversorgung für den Motor und eine Antenne.

Die Antenne empfing das Signal der Funksteuerung und steuerte den Motor an, der den Haken um  $90^\circ$  drehte. Dadurch löste sich das Auslösegummiband und die Fallschirme wurden mit der Schleuderkraft der innen liegenden Gummibänder durch die Türen herausgedrückt. Für eine sichere Landung benötigten wir zwei Fallschirme. Wir verwendeten eine ganz bestimmte Falttechnik, damit sie so wenig Platz wie möglich verbrauchten und sich so schnell wie möglich entfalten konnten. Die Schnüre der Fallschirme waren mit einem Faden gebün-

delt und an einem Haken befestigt. Der Haken wurde innen an der oberen Balsaholzscheibe montiert.

Der Luftwiderstand sorgte dafür, dass die Schirme sich in weniger als einer Sekunde entfalteten und die Rakete abbremsten.

Im Laufe der Akademie entwickelten wir verschiedene Modelle. Am Anfang war unsere Vorstellung, mit Federn zu arbeiten, die dann ein Brett mitsamt den Fallschirmen herauskatapultieren sollten. Jedoch war es schwierig, Federn an einer Plastikflasche zu befestigen, weshalb wir diesen Vorschlag direkt verworfen. Eine weitere Idee involvierte Gummibänder, die den Fallschirm herausziehen sollten. Anstatt sie als Schleuder zu verwenden, wollten wir die Gummibänder zum Ziehen nutzen. Die Kraft würde dann schlagartig zum Herausdrücken der Fallschirme freigesetzt werden. Jedoch reichte die Gummikraft nicht aus, um die Fallschirme herauszuziehen. Nach weiteren gescheiterten ähnlichen Ideen fiel uns endlich die beschriebene Idee der Schleuderkraft ein, die wir schließlich für unsere Rakete verwendeten.

## Die Raketenstarts

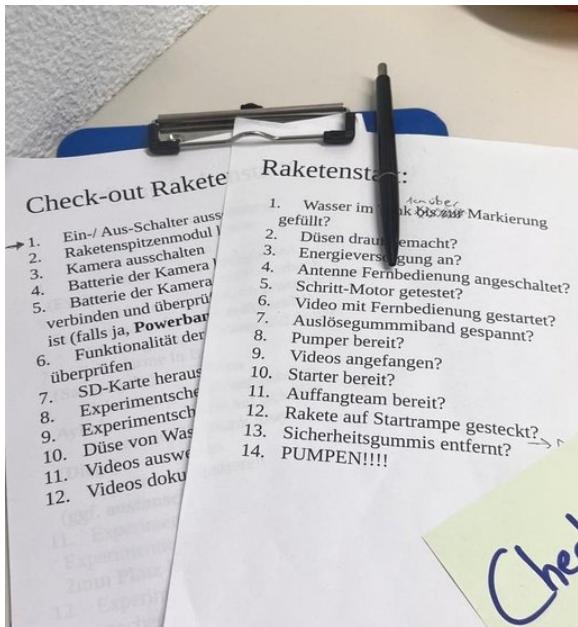
SARA LINDE

6 bar – Start!

Nein, ganz so schnell ging es leider nicht. Denn wer eine Rakete starten möchte, braucht eine sehr gute Vorbereitung.

## Startvorbereitungen

Aus diesem Grund erstellten wir eine Check-In-Liste, die über Ja- / Nein- Fragen chronologisch alle wichtigen Schritte bis zum Start abfragt. Nur wenn eine Frage mit einem klaren „Ja!“ beantwortet werden konnte, konnten wir zur nächsten übergehen. Klappte allerdings etwas nicht, war beispielsweise das Ventil undicht oder der Schrittmotor am Bergungsmodul nicht intakt, kam es unverzüglich zu einem Startabbruch.



Checkliste

## Unsere Flüge

Während unserer Zeit in der Akademie starteten wir neben Spielzeugraketen nicht nur eine Rakete, sondern sogar vier! Nämlich einen selbstgebauten Prototyp zur Bestimmung der maximalen Masse, sowie drei Raketen für die Experimente. Zum Glück für uns landete nur unser einfacher Prototyp im Wald. Die weiteren Raketen Pluto T-10, Pluto T-11 und Pluto T-12 hatten einen deutlich komplexeren Aufbau und unterschieden sich voneinander in der Größe ihres Treibstofftanks. Hatte der Tank unserer Pluto T-10 noch eine Treibstoffmenge vom 333 ml, so fasste der Tank unserer Pluto T-11 467 ml Treibstoff und unsere Pluto T-12 sogar 1000 ml bei einem Leergewicht von 780 g.

Nach einem verschobenen „First Launch“-Termin, der aufgrund einer abgerissenen Antenne und einiger Problemen im Experimentmodul nicht zustande kam, startete am zehnten Tag unserer Zeit in Adelsheim endlich unsere kleine Pluto T-10. Während die Checkliste abgearbeitet wurde, war die Spannung dementsprechend groß. Leider wurden wir enttäuscht, denn wegen einer undichten Gummidichtung hatten wir beim Pumpen zu viel Wasser verloren und die Rakete hob beim Start kaum ab. Nach einer anschließenden Krisensitzung und einer

ausgetauschten Dichtung starteten wir erneut. Beim zweiten Start lief alles strukturierter und unsere Rakete kam auf eine Höhe von ungefähr 7 m. Das reichte allerdings noch lange nicht, um die Fallschirme auszulösen.



Pluto T-10 beim Wiegen

Aus diesem Grund startete noch am selben Tag die Pluto T-11, die eine Höhe von ca. 17 m erreichte und somit hoch genug flog, um auch unseren Fallschirm auszulösen. Alles lief perfekt und nachdem auch das Video aus der Rakete kaum hätte besser sein können, wagten wir, nach ein paar weiteren Flügen mit verschiedenen Experimenten an Bord, einen Flug mit unserer größten Rakete Pluto T-12.

Wegen der Größe der Rakete mussten wir eine Führungsstange an die Startrampe bauen. Die Pluto T-12 flog die berechnete Höhe von 41 m und die Fallschirme konnten sich vollständig öffnen. So landete unsere Pluto T-12 unter lautem Jubeln sanft im Gras. Wie beim Start mussten wir nach der Landung (vor allem, um Energie zu sparen) bestimmte Schritte befolgen und die laufenden Geräte ausschalten.

Unser Kursziel, Experimente in der Mikrogravitation durchzuführen und auszuwerten, haben wir mithilfe smarter Projektarbeit erfolgreich erreicht!



Pluto T-11 nach erfolgreicher Landung



Pluto T-12 in der Ausstellung

## Exkursion ans DLR

AYLIN ÜNAL

Am Exkursionstag besuchten wir das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (kurz: DLR) in Lampoldshausen. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden.



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Lampoldshausen<sup>3</sup>

Am DLR in Lampoldshausen werden seit vielen Jahren Prototypen der Ariane-Triebwerke für die ESA getestet und weiterentwickelt. Die fertigen Ariane-Raketen starten von Kourou in Französisch-Guayana. Neben den wis-

senschaftlichen Einrichtungen gibt es dort das DLR School Lab, ein Labor, das speziell für Schüler:innen konzipiert wurde. Hier können junge Menschen einen Einblick in die Arbeit der Forscher:innen erhalten und auch Vieles selbst ausprobieren.

Nach einer kurzen Einführung und einem Überblick zum Tagesplan ging es los mit einer Führung durch die Ausstellung. Wir betrachteten verschiedene Modelle der Antriebe der Ariane-Raketen und erfuhren viele interessante Fakten über sie und ihre Funktionsweise. Anschließend arbeiteten wir in drei Gruppen im DLR School Lab. An jeder Station gab es einen Experten, der uns das jeweilige Thema vorstellt. Zudem konnten wir an allen Stationen kleine Experimente durchführen, die uns die Inhalte besser veranschaulichten. Es gab folgende drei Stationen:

### Infrarot-Strahlung

An dieser Station von Frau Merle drehte sich alles um die Entdeckung und Anwendungen der Infrarot-Strahlung, insbesondere in der Raumfahrt. Zunächst führten wir den Versuch zur Entdeckung der infraroten Strahlung von Wilhelm Herschel durch. Dafür verwendeten wir eine Lampe, deren Licht wir mithilfe eines Prismas

<sup>3</sup>Abb.: DLR, CC BY-NC-ND 3.0.

mas in die verschiedenen Farben brachen. Wir beobachteten, dass die Thermometer, die im Bereich des sichtbaren Spektrums angebracht waren, wie erwartet eine höhere Temperatur zeigten. Überraschend war jedoch, dass die Temperatur auch dort stieg, wo keine Farbe zu sehen war. So konnten wir heute nachvollziehen, was Herschel schon im Jahr 1800 entdeckt hatte: Es gibt neben dem roten Licht noch eine unsichtbare Strahlung – das Infrarotlicht.

Abschließend verwendeten wir Wärmebildkameras und stellten mithilfe einer Rettungsdecke den Staub im All nach. Wir betrachteten die Temperaturunterschiede unserer Haut ohne und mit einer Folie bedeckt. Unsere Wärmebilder verglichen wir mit den Wärmebildern von Satelliten.



DLR-School-Lab-Station zur Infrarot-Strahlung

## Aerodynamik

Bei der Station mit Herrn Ölschlägers beschäftigten wir uns mit allem rund um Aerodynamik bei Flügen. Zuerst erfuhren wir etwas über die Grundlagen und die Entdeckung dieses Forschungsbereichs. Dabei spielte Otto Lilienthal eine wichtige Rolle. Er war einer der ersten, die sich mit Aerodynamik beschäftigten, indem er eigene Gleitflugzeuge baute. Dabei fand er heraus, dass besonders gebogene Flügel Auftrieb erzeugen und so das Fliegen ermöglichen.

An der Station ging es vor allem darum, wie sich Luft bewegt und welche Kräfte auf Körper wirken, die sich in der Luft bewegen. Beispiele dafür sind der Auftrieb und der Luftwiderstand. In einem kleinen Windkanal konnten wir beob-

achten, wie die Luft an Objekten vorbeiströmt und Wirbel entstehen. Außerdem konnten mithilfe von Kraftmessern Auftrieb und Luftwiderstand des Objekts gemessen werden.



Windkanal im DLR School Lab

## ISS

Das dritte Thema, welches uns von Herrn Eckstein vorgestellt wurde, war die „International Space Station“, kurz: „ISS“. Seit dem Jahr 2000 ist sie ständig von Astronaut:innen bewohnt und umkreist in etwa 400 Kilometern Höhe die Erde. Die ISS ist wichtig für die Forschung, weil dort in der Mikrogravitation Experimente möglich sind, die man auf der Erde nicht durchführen kann.

Wir schauten uns den Aufbau der ISS genauer an. Sie besteht aus vielen Modulen, die von verschiedenen Raumfahrtnationen wie den USA, Russland, Europa und Japan ins All gebracht und miteinander verbunden wurden. Jedes Modul erfüllt bestimmte Aufgaben – es gibt Labore für Experimente, Wohnmodule für die Crew und technische Bereiche, die das Leben im All überhaupt erst möglich machen. Abschließend konnten wir mithilfe einer VR-Brille die ISS virtuell betreten. Dadurch hatten wir das Gefühl, uns wirklich in der Raumstation zu bewegen, und bekamen einen Eindruck davon, wie die Astronaut:innen an Bord leben und arbeiten.

In der Mittagspause ging es in die Mensa des DLR. Es war für jeden was dabei, für manche war es sogar wortwörtlich „der beste Kuchen, den sie je gegessen hatten“. Nach der Pause wurden die Gruppen getauscht.



DLR School Lab: VR-Simulation auf der ISS

Abschließend können wir nur eines sagen: Neben den interessanten Experimenten und leckerem Kuchen haben wir viel neues Wissen über Raumfahrt, Aerodynamik und die Forschung beim DLR mitgenommen. Dieser Tag war somit eine unglaubliche Erfahrung und gute Abwechslung zum Akademie-Alltag. Gleichzeitig hat die Exkursion manchen von uns auch gezeigt, wie interessant naturwissenschaftliche Berufe und Forschung sein können, und vielleicht sogar erste Eindrücke für die spätere Berufswahl gegeben. Wir bedanken uns für die spannende Zeit bei den Mitarbeiter:innen, die uns diesen Tag ermöglicht haben.

## Unser Kurs

RISHI NAIR

Der Raketenkurs hat sich bei dieser Akademie auf eine wilde Reise begeben: Wassertanks zusammenkleben, Fallschirme testen, „Milch besorgen!“ und noch Vieles mehr – für ein Projekt, wie beispielsweise den Bau unserer Rakete, mussten wir gut planen und viel Teamgeist haben. Wir haben uns nicht nur mit Raketenphysik beschäftigt, sondern auch damit, wie man ein Projekt innerhalb kurzer Zeit planen, durchführen und präsentieren kann. Wir haben



Besuch beim DLR in Lampoldshausen

gelernt, als Team für ein gemeinsames Ziel zu arbeiten, und wir haben erfahren, wie man aus seinen Fehlern lernt und auf sie aufbaut.



Liebevolle Arbeit an unserer Pluto T-12

Anders als in der Schule war die Umgebung während der Kursarbeit lockerer. Man musste sich nicht melden und jeder hat sich wie ein Teil der Gruppe gefühlt. Wir waren da, um uns gegenseitig zu unterstützen und unser Ziel zu erreichen. Wir haben auch neue Freunde und

Kontakte für das Leben gefunden, mit denen wir uns noch enger verbunden fühlen, weil wir gemeinsam zahlreiche stressige Situationen erlebt haben. Wir mussten verrückte Probleme lösen, wie zum Beispiel den Last-Minute-Bruch unserer Antenne (5 min vor dem First Launch) oder, dass unsere Rakete im Wald verloren gegangen ist.

Wir hatten unsere Höhen und Tiefen – beim Sportfest waren wir nicht erfolgreich, aber wir haben dafür eine wichtige Lektion gelernt und unseren Teamgeist deutlich verbessert. Wir waren bei unserem ersten erfolgreichen Raketenstart euphorisch und haben gefeiert, denn egal wie groß die Hürden waren: Wir sind zusammen geblieben und haben weitergearbeitet. Das war die zentrale Lektion des Raketenkurses.

## Zitate

- Wir schätzen mit dem Auge.
- Leute, ihr müsst \*mehr Cola\* trinken.
- Vatsal duscht!
- Und wie sollen die Fallschirme rauskommen?  
– Wir hoffen und beten.
- Kake, wir haben nur 'ne Rake
- Die Rakete wird fliegen, sie ist guter als gut!
- Sie wird 1,64 km hoch fliegen!
- Wenn die Geschwindigkeit 0 wäre, gäbe es keine Luftreibung
- Am besten wäre eigentlich keine Rakete ...
- War das wieder Konjunktiv??
- Plastik mit Heißkleber kleben.
- KEINER SCHIEßT DIE RAKETE IN DEN WALD!
- Dieses Mal keinen Tafelschwamm hochschießen.
- Bauarbeiter Linus
- Die taffe Brille
- Ziel Nr. 1: Milch besorgen!
- Bereit zum Start? – Wir haben ein kleines Problem ...
- Mit Spitze und Finnen, werden wir gewinnen!
- Es ist \*unsere\* Rakete.





# Kurs 4 – Pharmazie: Von Tabletten, Snacks und Turbulenzen – Abenteuer im Darm



## Einleitung

NINA LUETKENS

Ob Kopfschmerzen, Übelkeit oder Fieber – gegen fast jedes Leiden gibt es heute ein passendes Medikament. Doch haben Sie sich schon einmal gefragt, warum man manche Tabletten auf nüchternen Magen einnehmen soll, während andere besser nach einer Mahlzeit wirken?

In den Beipackzetteln findet sich zwischen langen Listen von Inhaltsstoffen und möglichen Nebenwirkungen oft auch die Angabe, wann der Arzneistoff einzunehmen ist. Doch macht es wirklich einen Unterschied, ob man eine Tablette „auf leeren Magen“ oder „eine Stunde nach dem Essen“ einnimmt? Wie stark beeinflusst die zeitgleiche Nahrungsaufnahme die

Wirkung eines Arzneistoffes – oder kommt es vielleicht sogar darauf an, was genau man isst?

Diesen spannenden Fragen haben wir uns im Pharmazie-Kurs gewidmet. Dafür beschäftigen wir uns zunächst mit den theoretischen Grundlagen zur Funktionsweise des menschlichen Magen-Darm-Traktes. Im Mittelpunkt stand für uns dabei die Aufnahme von Wirkstoffen im Dünndarm. Mit dem neu erworbenen Wissen entwarf unser Kurs dann zwei Darm-Modelle, welche jeweils einen unterschiedlichen Schwerpunkt setzten. Anhand dieser Modelle simulierten wir den Verdauungsprozess bei verschiedenen Nahrungsmitteln sowie einem beigefügten Modell-Arzneistoff. Unser Ziel bestand darin, zu messen, wie viel des zugesetzten Arzneistoffes im Dünndarm des Modells resorbiert wird.

und inwiefern die Zusammensetzung der zugeführten Nahrung dessen Aufnahme begünstigt beziehungsweise erschwert.

Mindestens ebenso wichtig wie die Ergebnisse, die uns unsere Modelle schlussendlich lieferten, war aber der Weg dorthin. Jenseits der Erfahrungen mit wissenschaftlichem Arbeiten und neu entdecktem Spaß an der Forschung zeigte uns die Arbeit im Kurs auch, wie weit man mit Neugier, einem gewissen Maß an Frustrationstoleranz und einem guten Teamgeist kommen kann. Nun laden wir Sie herzlich ein, auf den folgenden Seiten unsere Reise nachzuvollziehen: unsere Arbeit, unsere Erfolge, manch einen kleinen Umweg und vor allem die große Freude, die wir dabei hatten.

## Unser Kurs

**Aaron** war als motivierter Sportler oft bei verschiedenen Sportangeboten am Start. Genauso gab er beim Sportfest auch alles. In unserem Kurs übernahm er häufig die Aufgaben, die niemand machen wollte, damit hieß er für uns „Putzfee“. Das zeigte, wie engagiert er beim Kurs dabei war. Er half immer aktiv bei der Planung und der Umsetzung unseres Projektes mit. Zusammen mit Moritz bildet er das Dream-Team unseres Kurses!

**Cara** hat immer einen lustigen oder verstörenden Fakt parat, der jedem den Tag verschönert. Bei den KüAs brachte sie sich durch kreative Angebote, wie eine Häkel-KüA ein. Sie ist sehr humorvoll, was sich auch in ihrem kreativen, selbstgeschriebenen Spiel „Das Spiel 2“ zeigte. Sie zeichnete sich durch ihre stetige Ordnung am Arbeitsplatz aus. Ihrer Sanitäterpflicht ging sie auch während des Kurses nach, indem sie darauf achtete, dass unsere Modelle nicht an Fieber sterben.

**Christian** ist immer humorvoll und lacht viel und herhaft. Er hat immer einen Überblick über die Gesamtsituation und kann, wenn es in unserem Kurs mal wilder zugeht, auch für Ruhe sorgen. Außerdem weiß er sehr viel und kann uns sein Wissen auf eine humorvolle Weise beibringen. Zusätzlich

hilft er uns immer, wenn wir mal nicht weiterkommen oder Probleme haben.

**Erik** – egal ob im Labor oder bei der Präsentation – ist immer voll konzentriert bei der Sache. Mit seiner überzeugenden Art bringt er jedes Thema auf den Punkt und zieht dabei alle in seinen Bann. Seine gute Laune und sein Humor sorgen dafür, dass auch lange Arbeitstage nie langweilig werden.

**Fabienné** hält im Kurs den Rekord für die meisten Spitznamen. Es geht von Chewbacca aufgrund ihrer wunderschönen und stets gepflegten Locken über Anti-Fabiene bis hin zu Jasmin. Sie war nicht nur sehr engagiert am UV-Vis-Gerät sondern auch in der Musik-KüA, bei der sie unseren ganzen Kurs vertreten hat. Noch dazu ist sie sportlich sehr aktiv und hat jede Chance des Frühsports sehr motiviert genutzt.

**Ivan** ist der Schlaue aus unserem Kurs. Er hat immer einen Plan für jede Situation. Wenn man mal nicht weiterweiß, hat er immer eine passende Antwort parat. Mit Ivan kann man aber auch immer Spaß haben und lachen.

**Jana** sorgte im Kurs immer dafür, dass wir gut mit Tee und Gebäck versorgt waren, und brachte dazu ihren aufmerksamkeitsbedürftigen Wasserkocher „Horst“ mit. Die KüA-Angebote bereicherte sie mit ihrem vielseitigen Angebot, das von Seifen- bis Pralinenherstellung reichte. Die Kursinhalte konnte sie uns durch ihre fachliche Kompetenz und ihr Einfühlungsvermögen schlüssig erklären und Fragen beantworten.

**Julia** ist jeden Morgen früher als nötig aufgestanden, um zum Frühsport zu gehen. Damit hat sie die Ehre des Kurses gerettet. Sie steckt alle mit ihrem Humor an und ist als gute Freundin immer da, wenn man sie braucht. Sie hat eine offene und freundliche Art. Auch beim Thema Kursspruch brachte sie sich ein und regte den Denkanstoß zum finalen Spruch an. Selbst in ihrer Freizeit beschäftigte sie sich mit der Relevanz des Themas für die Allgemeinheit.

**Joy** hat aufgrund ihrer liebevollen und disziplinierten Art sehr schnell am Anfang der Akademie ihren Platz in unseren Herzen

gefunden. Da Joy immer ihre Ruhe behält, war sie wahrhaftig unser Fels in der Brandung. Mit ihrer unabhängigen und selbstbestimmten Art und Weise hat sie ihren Platz im UV-Vis-Team gefunden. Dort war sie die Mami des UV-Vis-Geräts und hat dieses immer mit sehr viel Liebe und Leidenschaft gepflegt.

**Laura K.** erhellt den Kurs jeden Tag mit ihrer warmen und herzlichen Art und sorgt dafür, dass sich jeder wohlfühlt. Auch in der Küche war sie sehr aktiv. Zusammen mit Christian sorgte sie dafür, dass wir für unsere Modelle genügend Nahrung hatten, sodass diese nicht verhungerten, indem sie sich zum Beispiel durch Gemüseabfälle wühlte. Auch am Exkursionstag kümmerte sie sich um die Zubereitung des leckeren Apple Crumbles.

**Laura M.** verbreitete im Kurs eine gute Stimmung. Laura ist sehr organisiert und zeigte das beim Präsentationstag. Sie war sich nie zu schade, etwas Neues auszuprobieren, in den KüAs aber auch im Kurs. Beim Volleyball kann man ihr breites Lächeln schon von Weitem sehen. Nicht zu vergessen ist ihre zweite Hälfte, Naomi, immer an ihrer Seite, zusammen waren sie nicht aus dem Kurs wegzudenken.

**Leopold** kann auch in den stressigsten Situationen immer die Ruhe bewahren und logisch denken. Egal, wie früh wir aufstehen, Leo ist immer perfekt gestylt. Er war auch immer für einen Lacher zu haben und hat inner- und außerhalb des Labors aktiv geholfen, um unser Projekt voranzubringen.

**Marisa** ist im Kurs sehr durch ihre engagierte, ambitionierte und warmherzige Art aufgefallen. Wenn die anderen Fragen hatten, war sie jederzeit für eine kluge Antwort bereit. Trotz ihres starken Fokus für unser Thema war sie immer für einen Spaß zu haben. Ihre Intelligenz konnte sie besonders gut im UV-Vis-Team beweisen, dort hat sie maßgeblich zum Gelingen der auffallend genauen Kalibriergerade beigetragen.

**Moritz** ist der Lustige aus unserem Kurs. Immer hat er einen Witz oder einfach einen lustigen Spruch parat. Dadurch kann er auch in stressigen Situationen immer die

Stimmung auflockern und für einen Lacher sorgen. Wenn er mal in Fahrt kommt, ist er aber bei seiner Arbeit nicht aus der Ruhe zu bringen.

**Naomi** hat durch ihre emotionale und herzliche Art und ihr ansteckendes Lachen eine große Rolle für den starken Zusammenhalt im Kurs gespielt. Umso größer war ihre Trauer beim Abschied, niemand konnte ihrer Umarmung entkommen. Durch ihre Begabung beim Fotoschießen fing sie einzigartige Momente ein. Ihren Spitznamen Noomi Abi verschaffte sie sich durch ihre soziale Art und Offenheit gegenüber Allen.

**Nina** hat unseren Kurs immer zusammengehalten. Sie war die Erste, die am Morgen ein Lächeln parat hatte. Außerdem stand sie uns immer zur Seite, wenn wir Hilfe brauchten. Ihr Humor war in jedem Moment eine wichtige Bereicherung des Kurses. Mit ihrer Offenheit als Schülermentorin war sie immer für einen da. Sympathie und Problemlösung stehen bei Nina ganz oben.

## Eröffnungswochenende

LEOPOLD TAITSCH

Am Eröffnungswochenende hatten wir die Möglichkeit, unsere Kursleiter, unsere anderen Kursmitglieder und die gesamte Akademie kennenzulernen. Am Tag der Anreise ging es für uns nach dem gemeinsamen Plenum direkt in die Kurse. Durch verschiedene Spiele lernten wir unsere Namen und bekamen auch erste Eindrücke von den anderen Kursmitgliedern, deren Alter, Hobbys und Heimatort. Noch am selben Abend wurden wir bereits in das Thema unseres Kurses eingeführt: die Aufnahme und Verdauung von Arzneimitteln in unserem Darm. Um dies zu erklären, sollten wir in der Akademie ein Modell bauen, das den menschlichen Magen-Darm-Trakt darstellt. Um in das Thema einzusteigen, starteten wir einen kleinen Versuch mit Löffelbiskuits, Essigessenz und Natron, um den Vorgang der Verdauung in einem vereinfachten Modell zu simulieren, jedoch war der Anblick, der sich uns bot, nicht sehr appetitlich, und wir fragten uns auch, wie man einen Verdauungsvorgang so schnell darstellen

kann und ob dieses Modell wirklich die menschliche Verdauung simuliert, wenn wir während der Akademie nicht 20 Minuten, sondern 2 Wochen an einem Modell arbeiten sollten.

Der zweite Tag war sehr von Theorie geprägt. Dabei ging es vor allem um die Feststellung von Wissensständen und das Erlernen von Basics für den weiteren Verlauf der Akademie. So präsentierte uns unsere Kursleiter zum Beispiel den Aufbau des menschlichen Verdauungstraktes und wie genau dieser funktioniert. Nach dieser Theorie waren wir alle jedoch besorgt, da wir nicht wussten, ob es in der Akademie jeden Tag mit so viel Theorie weitergehen würde. Am letzten Tag des Eröffnungswochenendes ging es an die Planung unserer Modelle. Dafür teilten wir uns in Gruppen auf, um gemeinsam den Aufbau unserer Modelle zu besprechen. Wir sammelten Ideen, zeichneten Skizzen und diskutierten über mögliche Umsetzungen des Modells. Dabei entstanden zum Teil auch sehr kreative Ideen, welche wir, aufgrund ihrer Ungewöhnlichkeit, sehr lustig fanden.

Bevor wir aber diese Modelle genauer beschreiben können, wollen wir auch hier einen kurzen Einblick in die theoretischen Grundlagen geben.

## Verdauung des Menschen

MORITZ THEN

Die Nahrung wird im menschlichen Verdauungstrakt schrittweise verdaut. Die Verdauungsorgane können Sie in Abb. 1 sehen.

Nahrung wird mit dem Mund aufgenommen und dort als erstes durch die Zähne mechanisch zerkleinert. Die zerkleinerte Nahrung wird nun mit dem Speichel, welcher das Enzym Amylase enthält, angefeuchtet. Die Amylase beginnt schon im Mund, die Stärke, also die großen Kohlenhydrate, in kleine Kohlenhydrate wie Maltose zu spalten und die langen Zuckerketten in Glukose. Nach dem Anfeuchten mit Speichel wird die zerkleinerte Nahrung zu einem schneeballfeuchten Speisebrei geformt und geschluckt. Danach wird der Speisebrei über die Speiseröhre durch die Peristaltik, welche eine muskelgesteuerte Wellenbewegungen ist, in den Magen transportiert.

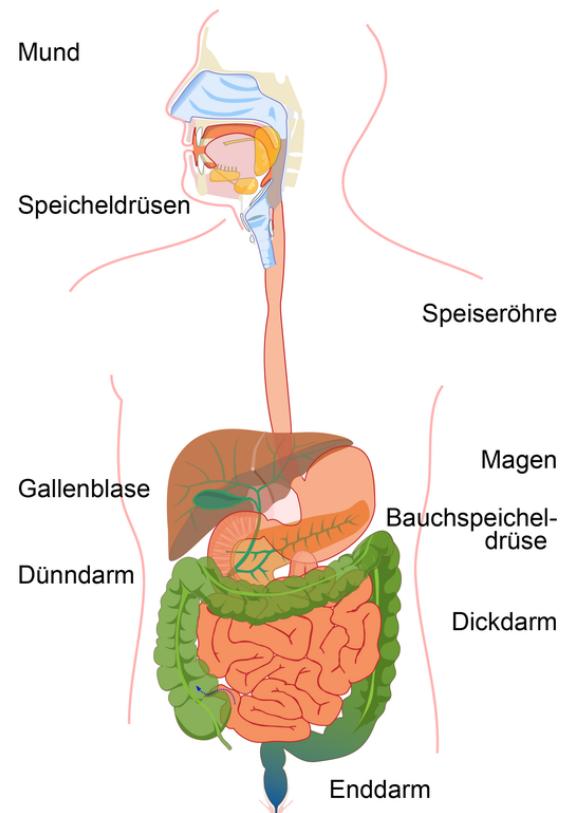


Abb. 1: Weg der Nahrung durch den menschlichen Körper<sup>1</sup>

Im Magen wird die Nahrung vorverdaut und der Speisebrei wird durch Muskelbewegungen durchgemischt. Außerdem befindet sich im Magen Magensaure, die dafür sorgt, dass im Magen ein saurer pH-Wert zwischen eins und drei herrscht. Dadurch werden Bakterien abgetötet und Eiweiße denaturiert. Beim Denaturieren verlieren die Eiweißmoleküle ihre natürliche dreidimensionale Struktur und sind deshalb für die Verdauungsenzyme leichter zugänglich. Bei der Vorverdauung im Magen werden durch das Enzym Pepsin Eiweiße in kleinere Peptide gespalten.

Im Zwölffingerdarm wird der pH-Wert des Speisebreis wieder auf einen Wert von sechs bis sieben neutralisiert, damit der Dünndarm nicht zerstört wird und die Enzyme nicht zerstört werden. Die Bauchspeicheldrüse liefert außerdem wichtige Enzyme für die Verdauung und die Galle gibt die Gallenflüssigkeit dazu, die Fette emulgiert, weshalb die Enzyme diese besser angreifen können.

<sup>1</sup> Abbildung nach Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.

Durch das Enzym Lipase werden Fette in Glycerin und Fettsäuren gespalten. Das Enzym Amylase spaltet die restliche Stärke und durch Proteasen (z. B. Trypsin) werden Eiweiße in Aminosäuren gespalten.

Schließlich werden die Nährstoffe wie Glukose, Aminosäuren, Fettsäuren, Vitamine und Mineralstoffe in die folgenden Abschnitte des Dünndarms transportiert, wo sie über die Darmzotten der Darmwand ins Blut oder die Lymphbahnen aufgenommen werden. Die Wand des Dünndarms besteht aus vielen zirkulären Schleimhautfalten, den sogenannten Kerckringschen Falten, und Zotten, die eine möglichst große Oberfläche auf kleinem Raum schaffen, was das Prinzip der Oberflächenvergrößerung darstellt. Bei den Zotten, auch Villi genannt, handelt es sich um finger- bis blattförmige Ausstülpungen der Dünndarmschleimhaut, die ihrerseits aus vielen Darmepithelzellen bestehen. Die Oberflächen dieser einzelnen Epithelzellen sind wiederum mit Mikrovilli, also sehr feinen fadenförmigen Zellfortsätzen besetzt, um die gesamte Resorptionsfläche des Darms erheblich zu vergrößern. Dies können Sie in Abb. 2 sehen.

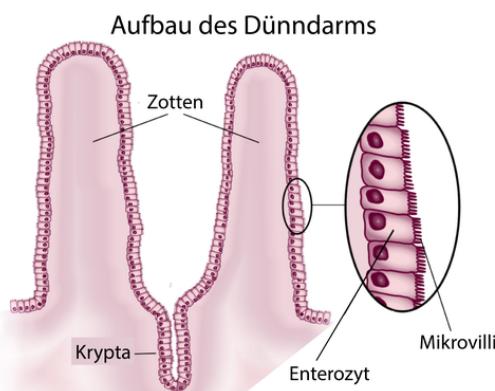


Abb. 2: Aufbau des Dünndarms<sup>2</sup>

Anschließend gelangt der Nahrungsbrei in den Dickdarm, wo dem Speisebrei Wasser und Mineralstoffe entzogen werden. Außerdem zersetzen die Darmbakterien unverdauliche Reste, zum Beispiel Ballaststoffe, und produzieren Vitamine wie Vitamin K. Zum Schluss werden die nicht verwertbaren Reste als Kot im Enddarm gespeichert und über den After ausgeschieden.

<sup>2</sup>Abbildung nach Wikimedia-User McortNGHH, CC BY-SA 4.0.

## pH-Wert und Neutralisation

JULIA KAUPA

Im Magen-Darm-Trakt ändert sich der pH-Wert oft. Während wir essen, wird im Magen Säure hinzugegeben und danach wird sie von Basen neutralisiert.

Der pH-Wert beschreibt, wie sauer oder basisch (alkalisch) eine wässrige Lösung ist. Er wird als negativer dekadischer Logarithmus der Konzentration der Oxoniumionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) definiert. Er ist ein Maß für die Stärke der sauren beziehungsweise basischen Wirkung einer wässrigen Lösung. Der Begriff leitet sich von „pondus Hydrogenii“ oder „potentia Hydrogenii“ ab und bedeutet übersetzt „Stärke des Wasserstoffs“. Die Skala des pH-Wertes geht von 0–14, wobei 0 stark sauer und 14 stark basisch bzw. alkalisch ist. Der Bereich um pH 7 gilt als neutral (Beispiel: destilliertes Wasser).

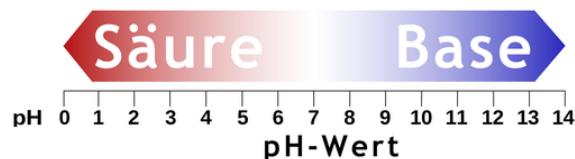
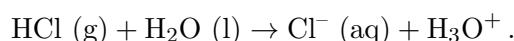


Abb. 3: pH-Werte-Skala von 0 bis 14<sup>3</sup>

### Saure Lösung

Saure Lösungen sind wässrige Lösungen, die höhere Konzentration an Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) als an Hydroxidionen ( $\text{OH}^-$ ) enthalten und somit als Protonendonatoren wirken. Beispiele dafür sind Salzsäure, Zitronensäure und Essig. Sie entstehen zum Beispiel in der Reaktion von Wasser mit Chlorwasserstoffgas (siehe Abb. 4 A):

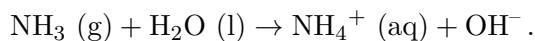


### Alkalische Lösung

Alkalische Lösungen hingegen sind wässrige Lösungen, die höhere Konzentration an Hydroxidionen ( $\text{OH}^-$ ) als an Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) ent-

<sup>3</sup>Abb.: Wikimedia-User Palmstroem, CC BY-SA 4.0.

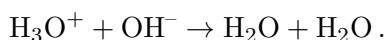
halten und somit als Protonenakzeptoren wirken. Beispiele hierfür sind Ammoniakwasser, Natronlauge und Seife. Sie entstehen beispielsweise in der Reaktion von Wasser mit Ammoniak (siehe Abb. 4 B):



## Neutralisation

Die Reaktion von Säure (Oxoniumionen) und Base (Hydroxidionen) zu Wasser, bis pH-Wert 7 erreicht ist (Neutralisationspunkt), wird als Neutralisation bezeichnet. Die ätzenden Wirkungen der Säure und Base haben sich gegenseitig aufgehoben. Eine Neutralisationsreaktion verläuft exotherm, das heißt Energie wird abgegeben.

Die allgemeine Gleichung für eine Neutralisationsreaktion lautet (siehe Abb. 4 C):



Insgesamt ergibt sich so beispielsweise die Reaktion von Salzsäure mit Natronlauge:

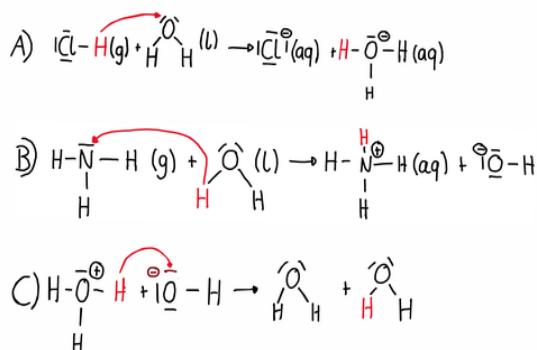
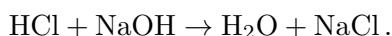


Abb. 4: Reaktion von Chlorwasserstoff und Ammoniak mit Wasser, allgemeine Neutralisationsreaktion

## pH-Wert in unserem Magen-Darm-Trakt

In den meisten Bereichen des menschlichen Magen-Darm-Traktes (Mundhöhle, Speiseröhre, Dünndarm und Dickdarm) ist der pH-Wert etwa neutral (ca. 6–7). Der Magensaft im Magen hingegen ist sehr sauer (pH-Wert 1,5–3,5).

So ist es möglich, dass er die Nahrung im Magen zersetzt. Im Zwölffingerdarm wird der Nahrungsbrei von dem alkalischen Gallensaft (pH-Wert 7,5–8,5) wieder neutralisiert. Ohne diese Neutralisation könnten die Verdauungsenzyme im folgenden Dünndarm nicht richtig arbeiten und die Darmschleimhaut würde stark beschädigt.

## Barrieren

IVAN VELEV

Damit ein Wirkstoff aus dem Nahrungsbrei in die Blutbahn gelangt und nicht ausgeschieden wird, muss er die Barriere des Dünndarms überwinden. Dabei gibt es mehrere Transportwege:

1. Ein wichtiger Weg ist die passive Diffusion. Hierbei bewegen sich kleine, fettlösliche Moleküle von einem Bereich hoher Konzentration – zum Beispiel im Darminhalt – in einen Bereich niedrigerer Konzentration – das Blut. Dieser Prozess läuft ohne Energieverbrauch ab.
2. Viele Stoffe nutzen Transportproteine in der Zellmembran. Diese wirken wie Kanäle oder Träger, die bestimmte Moleküle erkennen und sie durch die Zellmembran leiten. Manche arbeiten passiv, andere aktiv, indem sie Energie verbrauchen, um ein Molekül gegen sein Konzentrationsgefälle zu transportieren.
3. Bei größeren Molekülen kann auch ein Transport in Bläschen (Vesikeln) stattfinden. Die Zelle umschließt den Stoff, bringt ihn durch die Zelle hindurch und gibt ihn auf der anderen Seite wieder frei.
4. Zusätzlich gibt es sogenannte Efflux-Transporter, die die Stoffe gezielt wieder aus der Zelle heraus schleusen, oft zurück in den Darm. Auf diese Weise kann der Körper verhindern, dass unerwünschte Stoffe ins Blut gelangen.
5. Schließlich können sehr kleine, wasserlösliche Moleküle auch zwischen den Zellen hindurch in die Blutbahn gelangen. Diese sogenannte parazelluläre Passage ist jedoch stark eingeschränkt, da die Zellverbindungen nur eine geringe Durchlässigkeit haben.

## BCS und Curcumin

IVAN VELEV

Da ein Arzneistoff in gelöster Form durch die Zellen der Darmwand aufgenommen wird, spielen sowohl seine Löslichkeit – in welchem Maß sich der Stoff im Darmsaft lösen kann – als auch seine Permeabilität – die Fähigkeit, die Zellmembran der Darmepithelzellen zu durchdringen – eine entscheidende Rolle.

Das Biopharmazeutische Klassifikationssystem (BCS) teilt Arzneistoffe anhand dieser beiden Eigenschaften in vier Klassen ein:

- BCS-Klasse I: hohe Löslichkeit, hohe Permeabilität
- BCS-Klasse II: geringe Löslichkeit, hohe Permeabilität
- BCS-Klasse III: hohe Löslichkeit, geringe Permeabilität
- BCS-Klasse IV: geringe Löslichkeit, geringe Permeabilität

Arzneistoffe der Klasse I werden in der Regel am besten resorbiert, während Stoffe der Klasse IV die größten Herausforderungen für die orale und andere, extragastrointestinale Aufnahmen (z. B. über Haut, Lunge oder Rektum) darstellen.



Abb. 5: Das gezeigte pulverisierte Curcumin wurde als Arzneistoff-Surrogat eingesetzt

Viele neue Wirkstoffe gehören heute zur Klasse IV. Da solche Substanzen für die Forschung oft sehr teuer sind, werden häufig Modellsubstanzen verwendet, die ähnliche Eigenschaften besitzen. Ein Beispiel dafür ist Curcumin (ein gelber Bestandteil in der Curcuma, siehe Abb. 5): Es ist schlecht wasserlöslich und hat

eine geringe Permeabilität, ist aber kostengünstig und ungiftig. Außerdem erleichtert seine intensive Farbe die experimentelle Auswertung. Curcumin hat nicht nur die Eigenschaften von Arzneistoffen, sondern ist auch gegen verschiedene chronische Krankheiten wirksam, darunter verschiedene Krebsarten, Diabetes, Herz-Kreislauf-, Lungen-, Neuro- und Autoimmunerkrankungen.

## DC-Theorie

CARA ROULLET

Ein häufig angewendtes Analyseverfahren in der Chemie ist die Dünnschichtchromatographie, abgekürzt auch DC genannt. Man wendet sie an, um mit Hilfe von Löslichkeiten festzustellen, welche verschiedenen Stoffe ein flüssiges Stoffgemisch beinhaltet.

Eine DC besteht aus zwei Phasen: einer mobilen und einer stationären Phase. Die stationäre Phase ist meist ein rechteckiger Ausschnitt Filterpapier oder ein mit Kieselgel beschichtetes Glas- oder Aluminiumplättchen. Für die DC, die wir durchführten, verwendeten wir Filterpapier. Die mobile Phase ist ein Lösungsmittel, das mindestens einen Teil der Bestandteile der Proben lösen kann.

Um nun eine DC durchzuführen, zogen wir zuerst eine zum Boden des Filterpapiers parallele Linie mit einem Bleistift, die sogenannte Startlinie. Nun gaben wir einen kleinen Tropfen der zu testenden Probe auf die Startlinie und markierten, welche Probe vorlag. Wollten wir beispielsweise diese Probe auf Curcumin testen, platzierten wir einen Tropfen Curcuminlösung neben dem Tropfen der Probe auf der Startlinie und markierten diesen erneut. Anschließend stellten wir die stationäre Phase aufrecht in ein luftdicht abgeschlossenes System, in das wir vorher die mobile Phase eingefüllt hatten. Wichtig hierbei zu beachten, ist, dass die mobile Phase die Startlinie noch nicht berühren darf.

Mithilfe der Kapillarkräfte zieht sich die mobile Phase in der stationären Phase hoch und löst dabei manche Stoffe aus der Probe. Da die verschiedenen Bestandteile der Probe unterschiedlich gerne und damit auch unterschiedlich lange

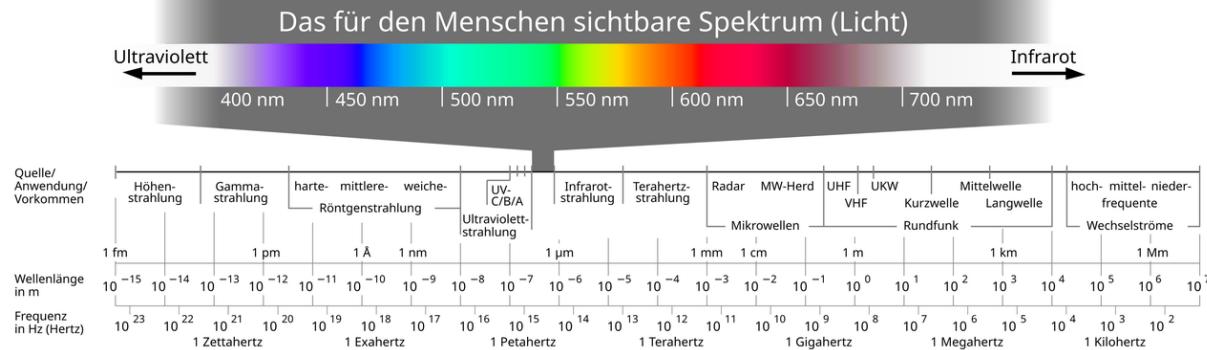


Abb. 6: Spektrum des für den Menschen sichtbaren Lichts<sup>4</sup>

in der mobilen Phase bleiben, bewegen sie sich folglich unterschiedlich weit nach oben auf der stationären Phase. Zuletzt warteten wir, bis die Laufmittelfront fast das obere Ende der stationären Phase erreicht hatte, und nahmen sie dann aus dem abgeschlossenen System heraus.

So wird die Probe in ihre einzelnen Bestandteile aufgespalten, die als unsichtbare oder schwer sichtbare Punkte auf der stationären Phase zurückbleiben. Im Idealfall können wir nun mit einem UV-Gerät die einzelnen Punkte klar erkennen. Wir verglichen in unserem Beispiel nun, ob in der Spalte des Curcumins ein Punkt zu sehen war, den es auf der gleichen Höhe auch in der Spalte der Probe gab. Sollte das der Fall sein, so enthielt die Probe Curcumin. Mit diesem Analyseverfahren können wir Stoffe zwar nachweisen, jedoch nicht ihre Konzentration bestimmen.

## UV-Vis-Gerät und Kalibriergerade

FABIENNE WEBER, MARISA HENSEL

Um nun auch quantitativ das Curcumin in unseren Proben zu bestimmen, benötigten wir ein UV-Vis-Gerät (siehe Abb. 7), welches uns dabei geholfen hat, die Absorption von Lösungen zu bestimmen.

Um die Proben auswerten zu können, mussten wir zunächst den Curcumingehalt in der Isopropanol-Wasser-Lösung bestimmen. Dies ist durch die Gelbfärbung der Lösung aufgrund des Curcumins möglich (siehe Abb. 8). Dabei ist zu beachten, dass je höher die Konzentration



Abb. 7: Bild des verwendeten UV-Vis-Geräts

des Curcumins in der Lösung ist, desto intensiver ist auch die Färbung und die Absorption des Lichtes.

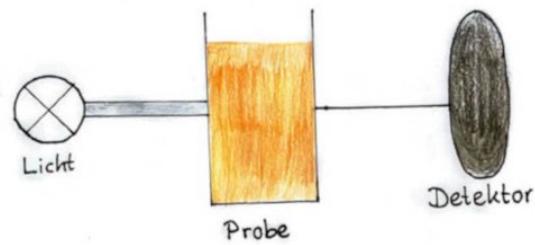


Abb. 8: Lichtweg im UV-Vis-Gerät

Da das weiße Licht, das wir wahrnehmen, aus verschiedenen Wellenlängen besteht (siehe Abb. 6), die von unterschiedlichen Stoffen absorbiert werden können, mussten wir zunächst die geeignete Wellenlänge finden. Um in der Praxis die Wellenlänge herauszufinden, die von Curcumin am stärksten absorbiert wird, überprüft das UV-Vis-Gerät alle möglichen Wellenlängen auf die größtmögliche Absorption.

<sup>4</sup>Abb.: Wikimedia-User Horst Frank / Phrood / Anony, CC BY-SA 3.0.

Bei unserem Versuch betrug diese Wellenlänge 286 nm, welche bei den Folgeversuchen beibehalten wurde. Deswegen verwendeten wir nur diesen Teil des Lichtes.

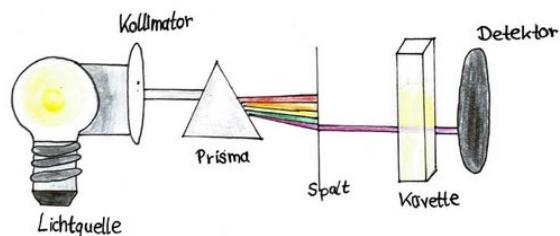


Abb. 9: Aufbau der UV-Vis Messung

Das Curcumin absorbiert nur einen kleinen Teil des Lichtes. Daher wäre der Intensitätsunterschied zwischen eingestrahltem Licht und dem Licht, das am Detektor ankommt, sehr klein, wenn das gesamte weiße Licht verwendet würde. Deshalb verwendeten wir nur den Teil des Lichtes, den das Curcumin auch absorbiert. Damit ist die Differenz zwischen dem Licht, das ausgestrahlt wird, und jenem, das beim Detektor ankommt, maximal. Nur wenn dies der Fall ist, können wir die Absorption genau messen (siehe Abb. 9).

## Die Kalibriergerade

Da das UV-Vis-Gerät nur Absorptionswerte bestimmen kann, mussten wir eine Kalibriergerade erstellen, um die Konzentration des Curcumins herauszufinden.

Zuerst führten wir eine Blindprobe durch, indem wir die Absorption des Isopropanol-Wasser-Gemischs ohne Curcumin bestimmten. Anschließend stellten wir eine Stammlösung aus 150 ml Isopropanol-Wasser-Gemisch und 2 g Curcumin her. Danach fertigten wir verschiedene Konzentrationen des Isopropanol-Wasser-Gemischs und des Curcumins an, indem wir zehn Verdünnungen von je 4 ml ansetzten.

Danach konnte mit dem UV-Vis-Gerät die Absorption bestimmt werden, welche wir je viermal maßen. Die gemessenen Mittelwerte trugen wir dann in ein Koordinatensystem ein. Um bei der Kalibriergerade genauere Werte zu erhalten, erstellten wir mehrere Kalibriergeraden. Dabei sind die Absorptionswerte von 0,2 bis 0,8 proportional zur dazugehörigen Konzentration.

Dies fanden die Wissenschaftler Lambert und Beer heraus. Das Lambert-Beer'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Absorption des Lichtes (Extinktion) einer Lösung und der Konzentration des absorbierenden Stoffes in dieser Lösung sowie der Schichtdicke der Probe (siehe Abb. 10).

$$\text{Extinktion} \rightarrow \text{Konzentration} \rightarrow \text{Schichtdicke}$$

$$E \cdot X = \epsilon \cdot c \cdot d$$

↓ ↓ ↓

Spezifische Extinktion

Abb. 10: Lambert-Beer'sches Gesetz zur Berechnung der Absorption entsprechend der Konzentration

Unsere Kalibriergerade kann man in Abb. 11 erkennen. Im Koordinatensystem wird die Konzentration in mg/ml auf der  $x$ -Achse gegen die Absorption auf der  $y$ -Achse aufgetragen. Unsere Messwerte sind hierbei durch die blauen Punkte gekennzeichnet, die jeweils den Mittelwert aus den vier von uns gemessenen Werten anzeigen. Es ist zu erkennen, dass in unserem Fall die Absorptionswerte von circa 0,1 bis 0,82 proportional zu der dazugehörigen Konzentration sind. In der Abbildung steht  $R^2$  für die Abweichung unserer Messwerte von der vom Programm errechneten Geraden. Der Wert liegt hier bei circa 0,999, was bedeutet, dass eine Übereinstimmung von 99,9 % vorliegt.

Die Funktion, die unsere Kalibriergerade beschreibt, lautet:

$$f(x) = 2,2342x + 0,0059 .$$

Wenn man einen Absorptionswert gemessen hat, muss man die Formel anschließend nach  $x$  umstellen und für  $f(x)$  den gemessenen Absorptionswert einsetzen. Das Ergebnis ist hierbei die Konzentration des Curcumins in unserer Probe in mg/ml.

Sowohl in der Praxis als auch in der Theorie kam es bei der Auswertung zu Problemen. Da die Stammlösung, die wir hergestellt hatten, Curcumapulver enthielt, wir jedoch nur Curcumin brauchten, waren Schwebeteilchen von der Curcuma in unserer Stammlösung, sodass wir diese filtrieren mussten. Daher ist ein

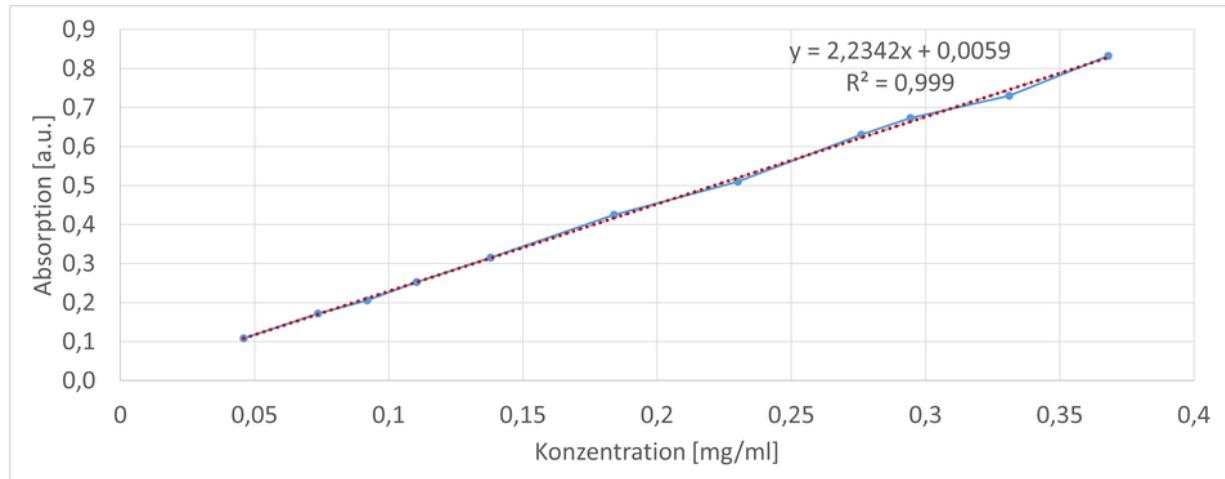


Abb. 11: Kalibriergerade von Lösungen verschiedener Curcuminkonzentrationen

großer Teil des eingerechneten Curcumins im Filterpapier hängen geblieben, weshalb wir eine berechnete Absorption von 150 % hatten und somit eine neue Kalibriergerade erstellen mussten. Auch aufgrund von Messgenauigkeiten beim Einwiegen der Curcuma kam es zu Abweichungen.

## Modelle

NAOMI LANGER

Um unsere Kursfrage, wie Arzneistoffe ins Blut aufgenommen werden, zu beantworten, wollten wir ein Darmmodell bauen, in dem die Vorgänge des Magen-Darm-Trakts und vor allem des Jejunums, das ein Teil des Dünndarms ist, darzustellen. Mit dieser Modellentwicklung begannen wir am Eröffnungswochenende und setzten diese in der Zeit bis zur Sommerakademie fort.

Zunächst war unser Plan, ein Modell des gesamten Magen-Darm-Trakts zu bauen, auf der Sommerakademie entschieden wir uns jedoch dazu, zwei verschiedene Modelle zu bauen. Diese sollten sich auf unterschiedliche Schwerpunkte spezialisieren. So bauten wir ein statisches Modell und ein dynamisches Modell.

### Statisches Modell – Grundlagen und Bau

NAOMI LANGER

Das statische Modell sollte so aufgebaut sein, dass wir viele verschiedene Nahrungsmittel und

ihre Auswirkung auf die Aufnahme von Curcumin ins Blut testen konnten. Um schnell einen Nahrungsbrei, wie er im Jejunum ankommt, herzustellen, mischten wir diesen separat in einem Messbecher an.

Wir begannen damit, 200 g des jeweiligen Nahrungsmittels abzuwiegen und in den Messbecher zu füllen. Anschließend pürierten wir die Nahrung mit zugegebenem Wasser, welches als Speichel diente. In diesen Nahrungsbrei fügten wir 3 g Curcumin hinzu und mischten es unter. Um die Magensäure darzustellen, mischten wir 25 ml Salzsäure zu und ließen diese eine bestimmte Zeit einwirken, die wir abhängig von der Dauer, die die Nahrung normal im Magen verbleibt, herunterrechneten. Bei jedem Nahrungsmittel teilten wir die Dauer erst durch zwei und dann durch drei. Dieses Verfahren führten wir durch, da wir nur eine halbe Portion der jeweiligen Nahrung nutzten (Teilung durch zwei), da die Verweildauer aber immer noch zu lang war suchten wir einen Divisor, der passte, und dieser war die drei. Nach der Einwirkzeit maßen wir den pH-Wert und von diesem abhängig mischten wir zur Neutralisation Natronlauge unter. Wir begannen mit 25 ml Natronlauge und, falls nötig, ergänzten wir immer etwas mehr, bis der pH-Wert neutral (pH 6–7) war. Auch die Natronlauge mussten wir einwirken lassen, wobei wir die jeweilige Einwirkzeit hier genauso berechneten wie die Einwirkzeit der Salzsäure. Zu dem neutralisierten Nahrungsbrei gaben wir Enzyme in Form von Tabletten hinzu. Hierzu nutzten wir eine

Pankreatin-Tablette und, wenn Milchprodukte enthalten waren, noch eine halbe Laktase-Tablette. Wir verwendeten nur eine halbe Laktase-Tablette, da wir nur eine halbe Portion der Nahrung benutzten und somit eine halbe Tablette ausreichte.

Von dem fertigen Nahrungsbrei gaben wir jeweils 10 g in einen 10 cm langen Dialyseschlauch, eine semipermeable Membran, und verschlossen diesen mit zwei Klammern. Die Schläuche hängten wir in jeweils ein 250 ml-Becherglas mit 150 ml 20 % Isopropanol-Wasser-Lösung, sodass das Curcumin in das Alkohol-Wasser-Gemisch diffundieren konnte. Wir wählten Alkohol als Lösungsmittel, da wir bei Vorversuchen festgestellt hatten, dass sich Curcumin in Wasser nur schwer löst, wogegen es in Alkohol gut löslich ist.

Um die Aufnahmebedingungen des Körpers besser darstellen zu können, erhitzten wir die Isopropanol-Wasser-Lösung zuvor auf 37 °C (Körpertemperatur). Die Dialyseschläuche ließen wir 6 Stunden in der Lösung und zogen nach jeweils 2, 4 und 6 Stunden Proben. Der Aufbau dieses Modells ist in Abb. 12 gezeigt.



Abb. 12: Darstellung des statischen Modells

## Dynamisches Modell – Grundlagen und Bau

AARON STRAUCH

Das zweite Modell, welches in Abb. 13 zu sehen ist, sollte möglichst realitätsnah sein. Dafür versuchten wir, die Nahrung, wie beim Menschen auch, durch mehrere Abschnitte zu trennen und zu überführen.



Abb. 13: Darstellung des dynamischen Modells

Um der menschlichen Physiologie nahezukommen, wurde die Nahrung mithilfe eines Mixers zerkleinert und mit 50 ml Wasser als Speichelersatz vermengt. Daraufhin gaben wir das Curcumin hinzu und füllten das Gemisch durch einen Trichter, einen Silikonschlauch als Speiseröhre und schließlich in eine PET-Flasche, die den Magen ersetzte. Als Alternative für die zersetzbare Magensäure verwendeten wir Salzsäure. Der Nahrungsbrei verweilte eine Stunde im Magen und wurde dann in die zweite PET-Flasche, den Zwölffingerdarm, umgefüllt. Damit wir die Neutralisation durch die Gallensäfte und die Enzymzugabe erreichten, befanden sich 50 ml Natronlauge in der Flasche und sowohl Pankreatin- als auch Laktase-Tabletten (falls ein Nahrungsmittel verwendet wurde, dass Laktose enthält) wurden hinzugegeben. Dort verweilte das Gemisch weitere 20 Minuten. Um die Bewegungen im menschlichen Körper zu simulieren, wurden die beiden Flaschen während der Zeiträume geschüttelt. Damit letztendlich die Absorption nachgewiesen werden konnte, füllten wir den Nahrungsbrei in einen Silikonschlauch mit einem kleinen Abschnitt eines Dialyseschlauchs. Der Dialyseschlauch ist ei-

ne semipermeable Membran, die Bestandteile wie Curcumin durchlässt. Durch Vorversuche ergab sich, dass Curcumin in Alkoholen die größte Löslichkeit aufweist. Deshalb legten wir den Dialyseeschlauch in ein 20 % Isopropanol-Wasser-Gemisch. Auch hier wurde durch eine Peristaltikpumpe die Bewegung im Dünndarm nachgestellt und der Nahrungsbrei 24 Stunden im Kreis gepumpt.

## Vorversuche

CARA ROULLET, LAURA MACH

Die Vorversuche dienten dazu, die Funktionsfähigkeit der Versuchsanordnung zu überprüfen und mögliche Anpassungen zu testen. Da der Dialyseeschlauch zum Zeitpunkt der Versuche nicht zur Verfügung stand, wurde vorläufig eine durchlässige Cellophanfolie als Ersatz eingesetzt. Abb. 14 zeigt ein Foto eines Vorversuches.

Dabei wurden Versuche mit Wassermelone als Modellsubstanz auf drei Heizplatten parallel durchgeführt. Hierbei fiel auf, dass bei der Neutralisation deutlich mehr Base benötigt wurde als erwartet. Wir vermuten, dass sich dies durch den unerwartet sauren pH-Wert der Melone erklären lässt. Zusätzlich ergaben sich Herausforderungen bezüglich der Temperaturkontrolle und der Verdunstung des Isopropanol-Wasser-Gemischs. Die Verdunstung führte zu einer Konzentrationsänderung, die die Ergebnisse beeinflussen könnte.

Die Vorversuche zeigten, dass die geplante Versuchsanordnung zuverlässig funktionierte und die Versuchsidee praktisch gut umsetzbar war. Diese Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die Durchführung der späteren Hauptversuche. Eine detaillierte Auswertung der Vorversuche war nicht möglich, jedoch lieferten die Beobachtungen wichtige qualitative Hinweise für die Optimierung der späteren Hauptversuche.

## DC-Auswertung

CARA ROULLET

Mit einer DC wollten wir testen, ob bei den Vorversuchen Curcumin in unser Lösungsmittel,



Abb. 14: Darstellung des Vorversuchs im statischen Modell

20 % Isopropanol-Wasser-Gemisch, diffundierte. Auf die Startlinie gaben wir einen Tropfen unseres simulierten Mageninhalts nach dem Verzehr einer Wassermelone (Abb. 15, U), einen Tropfen Curcuma-Isopropanol-Lösung (Abb. 15, Co) und jeweils einen Tropfen Lösungsmittel aus den Bechergläsern der verschiedenen Heizplatten der Vorversuche (Abb. 15, A, B, C).

Zu beobachten sind zwei besonders helle Punkte bei U und Co, sehr schwach ausgeprägte Punkte bei A, B und C und eine leuchtende Linie kurz vor dem Ende des Filterpapiers (Abb. 15, 1). Was bei U und Co leuchtet, sind alle pflanzlichen Bestandteile der Curcuma, die sogenannten Curcuminoide. Die Laufmittelfront, die wir bei 1 sehen, leuchtet wegen des Curcumins, das die mobile Phase bis nach dort oben laufen ließ. Aufgrund der Durchgängigkeit der Linie lässt sich darauf schließen, dass alle Proben Curcumin enthielten. Diese Erkenntnis war für uns insofern wichtig, dass wir wussten, dass das Konzept unseres Modells funktionierte. Wir konnten somit nachweisen, dass unsere Proben Curcumin enthielten, jedoch noch nicht wie viel.

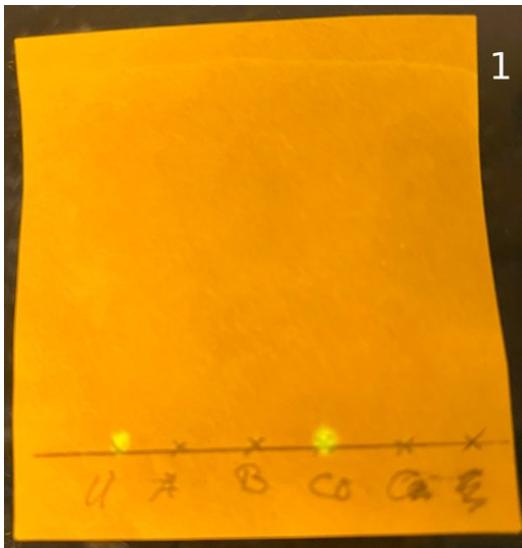


Abb. 15: Darstellung der durchgeföhrten DC mit Curcumin in Wasser

Nachdem wir den Vorversuch abgeschlossen hatten, konnten wir unsere Hauptversuche planen.

## Nahrungsmittel

ERIK BAUHAMMER

Da wir aus zeitlichen Gründen beim dynamischen Modell nur eine begrenzte Anzahl an Lebensmitteln testen konnten, wählten wir gezielt solche aus, die typische Bestandteile einer ausgewogenen Ernährung darstellen. Mit einem Mix aus Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten wollten wir möglichst allgemeine Aussagen über den Einfluss von Nahrungsbestandteilen auf die Aufnahme von Curcumin treffen. So wollten wir neben einem „nüchternen“ auch einen „gefütterten“ Zustand nachstellen. Im dynamischen Modell verwendeten wir einen Nahrungsmix aus 80 g Glasnudeln, 5 g Eiern und 20 g Butter. Diese Kombination wählten wir, weil sie einer typischen Mahlzeit ähnelt. Die Glasnudeln liefern Kohlenhydrate, die Eier Proteine und die Butter Fette. Damit sind die drei Hauptnährstoffe einer normalen Ernährung abgedeckt, auch wenn Vitamine und pflanzliche Inhaltsstoffe fehlen. Durch diesen Aufbau wollten wir eine realistische Ernährungssituation darstellen, um die Bedingungen im „gefütterten“ Zustand möglichst realitätsnah nachzustellen.

Zusätzlich testeten wir im dynamischen Modell auch die Auswirkung von Alkohol, da wir aus den Vorversuchen wussten, dass Alkohol ein gutes Lösungsmittel für Curcuma ist. Dafür wurde Bier verwendet, dem durch kurzes Erhitzen die Kohlensäure entzogen wurde.

Im statischen Modell untersuchten wir verschiedene Lebensmittel. Käsespätzle stellen eine vollständige Mahlzeit dar. Die Spätzle liefern Kohlenhydrate, während der Käse sowohl Fett als auch Eiweiß beisteuerte. Kuchen wurde als Beispiel für eine süße Zwischenmahlzeit gewählt. Er enthält viel Zucker und Fett und steht somit für einen anderen Ernährungszustand, der sich deutlich von einer Hauptmahlzeit unterscheidet. Zu diesen haben wir aber keine genaueren Informationen, da sie aus der Küche stammten. Anschließend wurden einzelne Lebensmittel getestet, um deren typische Eigenschaften besser zu verstehen. Eier wurden dabei als Modell für proteinreiche Lebensmittel ausgewählt. Sie enthalten neben Eiweiß auch kleine Mengen Fett und Lecithin, das helfen kann, fettlösliche Stoffe gleichmäßig zu verteilen. Hähnchen stand stellvertretend für Fleischprodukte. Es enthält ebenfalls viel Eiweiß und etwas Fett und ist damit ein gutes Beispiel für tierische Proteinquellen. Apfel wurde schließlich als Vertreter für Obst gewählt. Er besteht größtenteils aus Wasser, enthält einen kleinen Teil Kohlenhydrate (Zucker) und den Ballaststoff Pektin, welcher durch die hauptsächliche Verwendung von Schale und Kernen mehr vorhanden war. Der Zucker im Apfel kann die Aufnahme bestimmter Stoffe unterstützen, während Pektin als strukturgebender Stoff wirkt und eine gewisse Bindungsfähigkeit besitzt. Dadurch stand der Apfel symbolisch für pflanzliche, ballaststoff- und zuckerhaltige Lebensmittel. Wir hatten als erste Versuche beim statischen Modell auch Wassermelone und Gurke getestet, diese konnten wir wegen bemerkten Fehlern bei der Durchführung allerdings nicht in die Auswertung mit einbeziehen.

Insgesamt wollten wir ein möglichst großes Spektrum verschiedener Nahrungsmittel abdecken, um am Ende generelle Aussagen über die Auswirkung verschiedener Inhaltsstoffe treffen zu können.

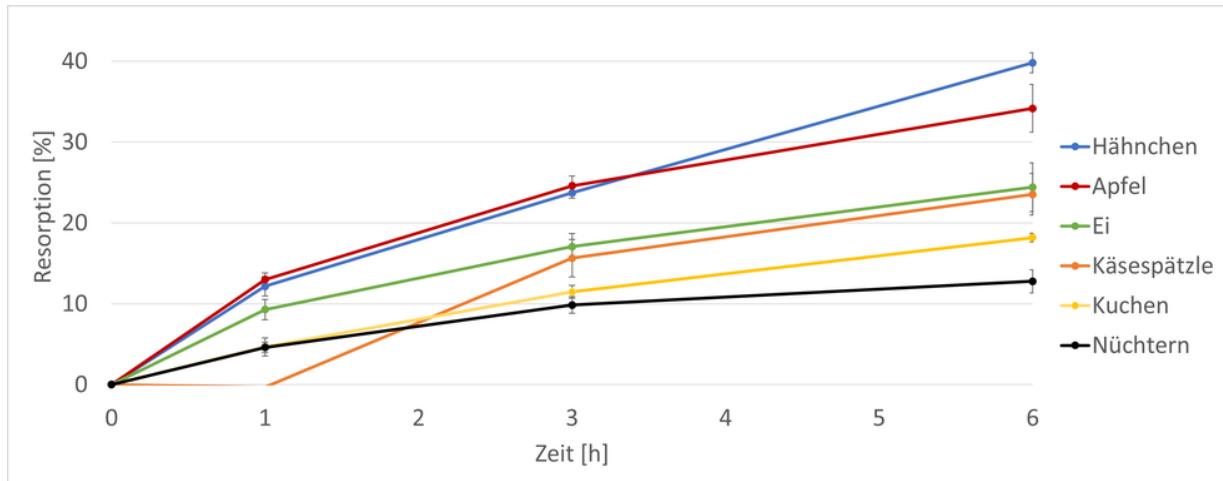


Abb. 16: Darstellung der Ergebnisse aus dem statischen Modell

## Auswertung

ERIK BAUHAMMER, IVAN VELEV

Die gemessenen Absorptionswerte aus dem UV-Vis-Spektrometer allein sagten noch nichts darüber aus, wie viel Curcumin tatsächlich aus dem Darm aufgenommen wurde. Um das herauszufinden, mussten die Werte in konkrete Mengen umgerechnet werden. Auf diese Weise lässt sich bestimmen, wie viel des Wirkstoffs in die Isopropanol-Wasser-Lösung – stellvertretend für den Blutkreislauf – übergegangen war. So konnten wir vergleichen, welchen Einfluss verschiedene Nahrungsbedingungen auf die Aufnahme von Curcumin haben. Das Ziel dieser Berechnungen war daher, den sogenannten Resorptionsgrad des Curcumins in Abhängigkeit von der Zeit zu bestimmen.

Aus dem gemessenen Absorptionswert  $y$  wird mithilfe der zuvor erstellten Kalibriergeraden (siehe Abb. 11),

$$y = 2,2342 \cdot x + 0,0059,$$

die Konzentration  $x$  in mg/ml berechnet:

$$x = \frac{y - 0,0059}{2,2342}.$$

Aus der Konzentration  $x$  wird der gesamte Curcumingehalt  $c$  [mg] in der Isopropanol-Wasser-Lösung bestimmt:

$$c = x \cdot V,$$

wobei  $V$  das jeweils noch vorhandene Volumen der Isopropanol-Wasser-Lösung ist.

Da bei jeder Probenentnahme 1 ml der Lösung entnommen wurde (entspricht dem Küvettenvolumen), verringert sich das Gesamtvolumen schrittweise. Das Anfangsvolumen betrug 300 ml. Für die  $a$ -te Probe gilt daher:

$$V = 300 \text{ ml} - (a - 1) \text{ ml} = (301 - a) \text{ ml}.$$

Damit ergibt sich für den Curcumingehalt:

$$c = x \cdot (301 - a) \text{ ml}.$$

Schließlich wird der Resorptionsgrad  $r$  in Prozent berechnet:

$$r = \frac{c}{3000 \text{ mg}} \cdot 100$$

da zu Beginn 3 g Curcumin (3000 mg) in den Dialyseschlauch eingebracht wurden.

Die berechneten Resorptionsgrade  $r$  wurden anschließend in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  in ein Koordinatensystem eingetragen. So ließ sich der zeitliche Verlauf der Resorption anschaulich darstellen.

## Auswertung statisches Modell

LAURA MACH

Abb. 16 zeigt die Auswertung des statischen Modells.

Im nüchternen Zustand war die Aufnahme von Curcuma am geringsten, weil Curcumin in Wasser kaum löslich ist. Wie im Diagramm zu sehen ist, wird die Kurve dabei immer flacher,

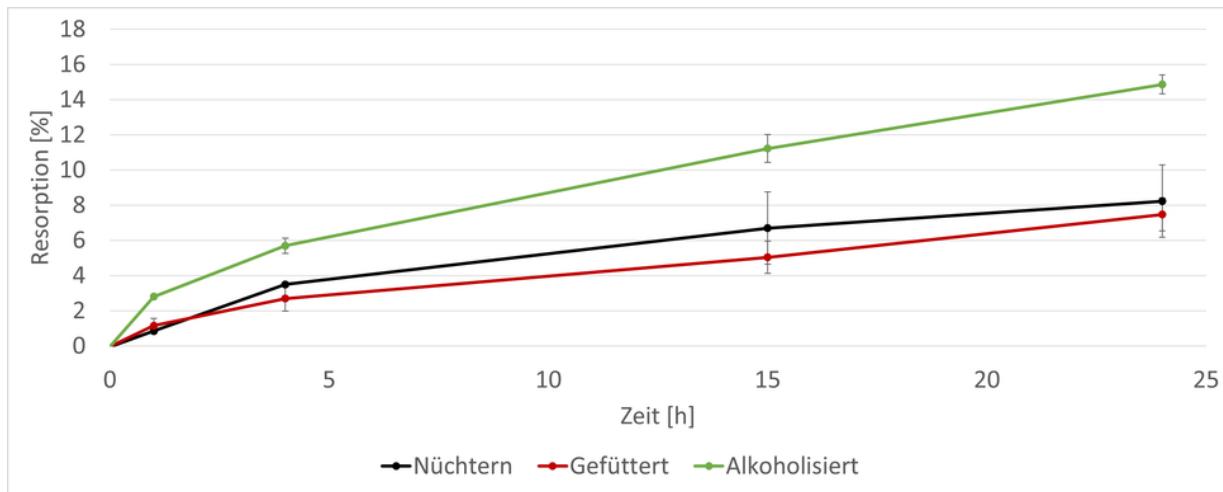


Abb. 17: Darstellung der Ergebnisse des dynamischen Modells

weil zuerst das Curcumin direkt an der Membran aufgenommen wird, danach das aus der näheren Umgebung und zuletzt aus der Mitte des Schlauches. Je weiter das Curcumin von der Membran entfernt ist, desto länger ist der Weg zur Aufnahme.

Kuchen, Käsespätzle und Ei zeigten ebenfalls eine geringe Resorption, wie der gelben, orangenen und grünen Kurve zu entnehmen ist. Dies lässt sich durch den hohen Fettgehalt erklären, weil Fett das Curcumin an sich bindet. Unter diesen Lebensmitteln weist das Ei jedoch die höchste Aufnahme auf. Der niedrige Wert der Käsespätzle nach einer Stunde ist vermutlich auf eine methodische Messungsgenauigkeit zurückzuführen.

Apfel und Hähnchen zeigten die beste Aufnahme. Beide enthalten nur wenig Fett, wodurch das Curcumin leichter aufgenommen werden kann. Zudem enthält der Apfel Zucker und das Hähnchen Proteine. Diese Stoffe helfen jeweils, das Curcumin zu lösen. Allerdings kann das Pektin im Apfel die Aufnahme etwas hemmen, weshalb die Resorption von Curcumin beim Apfel ab der vierten Stunde leicht geringer ist als beim Hähnchen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufnahme von Curcuma besonders durch fettarme Lebensmittel gefördert wurde. Zucker und Proteine halfen dabei, das Curcumin zu lösen, während zu viel Fett oder hemmende Stoffe wie Pektin die Aufnahme verringerten. Wasser allein lieferte nur eine sehr geringe Aufnahme.

Curcumin löst sich schlecht in Wasser, weil es fettlöslich und unpolar ist, während Wasser polar ist – und polar und unpolar sich nicht gerne mischen.

### Auswertung dynamisches Modell

AARON STRAUCH, ERIK BAUHAMMER

Beim zweiten, dem dynamischen, Modell schafften wir nur drei Versuche – bei gefüttertem, alkoholisiertem und nüchternem Magen – da die Versuchsdurchführung zeitintensiver war. Die Graphen in Abb. 17 zeigen die Resorption nach einer bestimmten Zeit in Prozent. Die Messung der Resorption des Curcumins erfolgte nach Stunde 1, 4, 14 und 24.

Der schwarze Graph stellt den nüchternen Magen dar, der ab Stunde 4 eine höhere Steigung besitzt als der rote. Der rote Graph, der den gefütterten Zustand darstellt, hat eine geringere Steigung. Bei der ersten Messung sieht man jedoch, dass der rote über dem schwarzen liegt. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass das Isopropanol-Wasser-Gemisch zu warm wurde.

Bei dem nüchternen Magen war die Resorption ein wenig höher als bei dem Gefütterten. Man kann diesen Verlauf anhand der Butter erklären. Da Curcumin ein fettliebender Stoff ist, bindet es sich an die Butter. Somit konnte es nicht mehr durch den Dialyseschlauch diffundieren, da die Butter eine zu große Struktur besitzt. Eine weitere Erklärung wäre, dass der Nahrungsbrei, weil er dickflüssig war, den

Kontakt zwischen Curcumin und dem Dialyse-schlauch verringerte und auch so weniger Curcumin in das Isopropanol-Wasser-Gemisch gelangen konnte.

Am höchsten war die Resorption beim grünen Graph, dem Alkohol. Dies lässt sich damit erklären, dass sich das Curcumin in Alkohol sehr gut lösen kann, allerdings bindet es sich nicht an den Alkohol, sondern diffundiert in das Isopropanol-Wasser-Gemisch mit höherem Alkoholgehalt.

## Vergleich der Modelle

JULIA KAUPA, LAURA KREUZWIESER

Da wir mit beiden Modellen Versuche durchführten, stellten wir uns die Frage, welches Modell besser war. Dazu wurden beide Modelle verglichen, indem jeweils die Vor- und Nachteile genannt wurden.

Der Nachteil bei dem statischen Modell war, dass es realitätsferner war, da man alles, außer dem Vorgang im Dünndarm, in einem Messbecher durchführte. Die Vorteile sind, dass es zeitsparender war, weil die Einwirkzeiten sehr verkürzt wurden und somit der Ablauf im Verdauungstrakt bis zum Dünndarm höchstens eine Stunde dauerte. Außerdem konnte man im Vergleich zu dem dynamischen Modell mehr Versuche in kürzerer Zeit durchführen, da die Vorbereitungen sehr viel schneller gemacht werden konnten. Zudem war die Handhabung des statischen Modells simpel, da man den Nahrungsbrei in die Dialyseschläuche füllte und diese danach entsorgte. Die Dialyseschläuche wurden am Anfang noch wiederverwendet, da das Säubern leicht und schnell erledigt war.

Der Vorteil bei dem dynamischen Modell war, dass es realitätsnäher war, weil es verschiedene Gefäße für die einzelnen Schritte gab. Zudem wurde der Nahrungsbrei mit Hilfe einer Peristaltikpumpe durchgehend durch den Dialyseschlauch gepumpt, was die Bewegung im Dünndarm nachstellte. Der größte Nachteil war jedoch, dass das Modell durch seine Realitäts-nähe deutlich zeitaufwendiger war. Dadurch konnten insgesamt weniger Versuche durchgeführt werden, da die einzelnen Abläufe länger dauerten. Das dynamische Modell war außer-

dem anfälliger für Fehler. Hinzu kam, dass es in der Handhabung komplizierter war. Es war schwerer zu bedienen, schwieriger zu reinigen und umständlicher zu befüllen.

Abschließend kann man sagen, dass beide Modelle Vor- und Nachteile hatten und es uns so ermöglichten, unser Ziel von verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten.

## Fehlerdiskussion und Probleme

FABIENNE WEBER, MARISA HENSEL

Beim Bau unserer Modelle und der Durchführung unserer Versuche gab es jedoch auch einige Schwierigkeiten und Probleme.

Ein großes Problem waren Messungenauigkeiten, so war zum einen die von uns verwendete Präzisionswaage nicht mehr ganz genau, wodurch es zu Ungenauigkeiten bei der Abwaage der Curcuma kam. Durch alle anderen Messeinrichtungen wie beispielsweise Messzyylinder oder Pipetten kam es zu minimalen Messunge-nauigkeiten. So konnte bei den Messzylindern mit dem Auge nicht exakt bestimmt werden, wann die gewünschte Menge an Flüssigkeit eingefüllt war. Somit kam es zu geringen Schwankungen in der Menge des Isopropanol-Wasser-Gemischs oder dem Anfertigen des Lösungsmittels. Durch die Pipetten kam es ebenfalls zu Ungenauigkeiten in der Menge der abgemessenen Substanzen. Diese Ungenauigkeiten lassen sich nur schwer vermeiden, hatten aber dennoch Auswirkungen auf unsere Ergebnisse. Auch das UV-Vis-Gerät konnte die Absorptionswerte nicht exakt messen.

Des Weiteren wurde zunächst mit einer falschen Wellenlänge die Absorption der Proben bestimmt, da das UV-Vis-Gerät vermutlich durch Schwebeteilchen, welche sich in der Probe, mit der das Spektrum aufgenommen wurde, gefunden hatten, gestört wurde. Somit hatten wir bei unseren ersten Versuchen, wie dem Versuch mit der Gurke, die Absorptionswerte mit einer Wellenlänge von 424 nm gemessen. Diese Werte konnten, nachdem der Fehler aufgefallen war, leider nicht neu gemessen werden, da hier die Versuche schon abgeschlossen waren und wir nicht in jedem Zwischenstand extra Proben zur Nachmessung der Absorption gezogen

hatten. Aus diesem Grund konnten leider einige Vorversuche nicht in die Auswertung mit einfließen.

Dazu kam, dass wir aufgrund dieser Schwebeteilchen von Curcuma in unserer Lösung eine falsche Kalibriergerade erstellt hatten und so einige Zeit mit den falschen Werten rechneten. Nachdem uns dieser Fehler aufgefallen war, erstellten wir eine neue Kalibriergerade, bei der die Stammlösung zuerst mit einem Filterpapier gefiltert wurde. Hierbei blieben alle Schwebeteilchen und ein Großteil der Curcuma im Filter hängen. Zunächst hatten wir das nicht mit eingerechnet. Nachdem wir jedoch ausgerechnet hatten, dass über 150 % des Curcumins, dass sich im Dialyseschlauch befand, in das Isopropanol-Wasser-Gemisch diffundierte, wurde von uns erneut eine Kalibriergerade angefertigt, bei der die Stammlösung zunächst gefiltert wurde. Hierbei notierten wir uns das genaue Gewicht des eingewogenen Curcumins und des Filterpapiers und anschließend wogen wir das Filterpapier zurück. Zuvor trockneten wir es einige Zeit im Trockenschrank, wobei das Isopropanol-Wasser-Gemisch verdampfte, um nur die Curcumarückstände im Filterpapier rückwiegen zu können. Wir konnten dann die Werte, bei denen die Konzentration mit der falschen Kalibriergerade errechnet wurde, aber einfach mit der neuen Kalibriergerade neu berechnen.

Zudem war die genaue Einstellung der Temperatur auf den Heizplatten problematisch. Diese waren nicht dafür geeignet, auf eine spezifische Temperatur eingestellt zu werden. Das führte dazu, dass die Temperatur manchmal deutlich unter oder über 37 °C (Körpertemperatur) lag. Folglich konnten die Werte aus den einzelnen Versuchen nicht mehr so gut verglichen werden, da die Temperaturen zeitweise stark voneinander abwichen. Bei zu hohen Temperaturen kam es auch dazu, dass Isopropanol verdampfte, wodurch der Curcumingehalt in der übrigen gebliebenen Lösung viel höher war. Dies war auch bei unserem Melonen-Vorversuch ein Problem. Hier lief eine der Heizplatten für längere Zeit auf 40 °C. Dadurch verdampfte so viel Isopropanol, dass der Dialyseschlauch am Ende nicht mehr in der Lösung hing und kein Curcumin mehr durch die semipermeable Membran diffundieren konnte.

Ein weiteres Problem, das für Messungenauigkeiten sorgte, war, dass wir die Bechergläser beim statischen Modell nicht abdeckten. So verdunstete vermutlich auch bei 37 °C ein Teil des Isopropanols.

Abschließend können wir zusammenfassen, dass unsere Ergebnisse aufgrund von Messungenauigkeiten und Fehlern keine exakten Werte darstellen. Jedoch sieht man trotz dieser Ungenauigkeiten deutliche Unterschiede zwischen den Versuchen, die nicht nur auf Messungenauigkeiten zurückzuführen sind. Man kann an unseren Ergebnissen also erkennen, wie sich das Curcumin mit verschiedenen Lebensmitteln verhält und dies auch annähernd mit der menschlichen Aufnahme von Curcumin vergleichen. Jedoch kann man aus unseren Versuchen keine exakten Werte übernehmen, da es einige Messungenauigkeiten gab und es sich nur um Modelle handelte, die nur einen geringen Teil der Wirklichkeit darstellen.

## Zusammenfassung

ERIK BAUHAMMER, IVAN VELEV,  
MORITZ THEN

Wir hatten viel Spaß am Bau unserer Modelle und haben insbesondere durch die Probleme viel gelernt. So lernten wir, unsere Ideen vor dem Bau genau zu entwickeln und den Bau genau zu planen. Im Laufe des Projekts lernten wir, besser zu kommunizieren und so effizient wie möglich zu arbeiten. Mit Hilfe der guten theoretischen Planung konnten wir unsere Modelle mit wenigen Hürden aufbauen und schließlich plausible Ergebnisse erzielen. Bei all dem Professionellen kam bei uns auch der Spaß nicht zu kurz.

## Theorie, Praxis und Gemeinschaft

### Der Kursalltag

JOY SARPONG

Der Kurs „Pharmazie – Tabletten, Snacks und Turbulenzen im Darm“ begann zunächst mit einer umfassenden theoretischen Einführung. Wir erlernten alle notwendigen Grundlagen,

um unser Ziel – die Beantwortung unserer Leitfrage – systematisch erreichen zu können. Auch wenn es zunächst sehr viele Informationen auf einmal waren, erklärten uns Jana und Christian alles Schritt für Schritt, sodass wir die Zusammenhänge gut verstanden. Die Theorie bildete damit die Basis für die anschließende Praxis im Labor.

Ursprünglich war geplant, *ein* Darmmodell zu bauen. Im Laufe der Arbeit ergab sich jedoch, dass wir zwei verschiedene Modelle bauen würden: ein statisches Modell und ein dynamisches Modell. Deshalb teilten wir uns innerhalb des Kurses in drei Teams auf: Zwei Teams arbeiteten jeweils an einem der Darmmodelle, während das dritte Team die UV-Vis-Auswertung und -Analyse übernahm. So hatte jeder eine Aufgabe und wir konnten die gesamte Arbeit effizient auf die ganze Gruppe verteilen. Die meiste Zeit des Kurses verbrachten wir im Labor, wo wir unsere Modelle bauten und viele Versuche durchführten.

Die Stimmung im Kurs war außerdem sehr angenehm: Oft lief Musik, es wurde „Cotton Eye Joe“ getanzt, und es gab Kekse, von denen man sich zwischendurch nehmen konnte. So konnten wir konzentriert arbeiten und die Pausen waren besonders entspannt.

Alles in allem war der Kurs eine gute Mischung aus Theorie, Praxis, Teamarbeit und einer lockeren, freundlichen Atmosphäre. Genau richtig, um viel zu lernen und gleichzeitig Spaß zu haben.

### Der Apfelcrumbletag

LAURA KREUZWIESER

Während die anderen Kurse eine kursspezifische Exkursion machten, arbeiteten wir als Pharmazie-Kurs weiter an unserem Darmmodell. Als die anderen Kurse losfuhren, trafen wir uns wie gewohnt um 9 Uhr im Kurs. Dort führten wir unsere letzten Versuche durch.

Nach dem Mittagessen machten wir eine kursinterne KüA. Wiebke spielte mit uns in der KüA Volleyball, während ein paar Leute mit unserer Schülermentorin Nina und unserem Kursleiter Christian einen Apple Crumble backten. Dazu schälten wir die Äpfel, schnitten diese

und verteilten sie auf einer Backform. Dazu stellten wir noch Streusel her und verteilten diese großzügig auf den Äpfeln. Danach wurde alles noch goldbraun gebacken. Nachdem wir alle gemeinsam den Apple Crumble genossen, ging es für uns wieder in den Kurs zurück. In unserer Nachmittags-Kursschiene werteten wir die Versuche aus, räumten alles gemeinsam auf und vollendeten die Protokolle. Da es der letzte Tag war, an dem wir Versuche durchführen konnten, war die Freude bei allen besonders groß und alles wurde mit sehr viel Präzision umgesetzt.



Abb. 18: Momentaufnahme mit der Hand in der Streuselschüssel

### Das Sportfest

LAURA KREUZWIESER

Bevor wir in das Sportfest starten konnten, mussten wir uns erst einmal einen guten Schlachtruf überlegen. Es gab sehr viele gute Ideen, aber am meisten überzeugte der Vorschlag „Wir kommen wie der Knall, Attacke Durchfall“. Vormittags hatten wir eine ganz normale Kursschiene. In dieser bereitete Nina uns auf das Sportfest vor, indem wir Liegestütze übten. Auf dem Sportplatz angekommen

wärmten wir uns gemeinsam auf, bevor wir feststellten, dass es vielleicht doch nicht viel mit Leichtathletik zu tun hatte. Die folgenden Aufgaben lösten wir alle gemeinsam gut als Kurs. Die Stimmung bei allen war immer sehr gut und wir feuerten uns gegenseitig an und agierten sehr gut als Team.

## Kurszitate

- „Alk 20 %“ (alternative Bezeichnung für eine 20 % Isopropanol-Wasser-Lösung)
- „Finger raus aus meinem Darm!“
- „Das ist doch alles für den Darm ...“
- „Box—Kabel ⇒ Kabel—Stecker ⇒ Stecker—Steckdose ⇒ Box—happa, happa“ (Janas Anleitung fürs Laden einer Musikbox)
- „Darm unter falscher Verwendung“
- „Manko“ (Was auch immer das heißt)
- „Janas OP-Besteck“ (für regelmäßig notwendige Darm-Operationen)
- „Dusche erfolgreich getestet“ (Nina und Christian klatschnass – Notdusche funktioniert)
- „Verstopfung oder Durchfall? – Durchfall auf die 1!“ (Rewe-Kassierer in repräsentativer Umfrage zur Verdauung)
- „Ich fühle mich veräppelt. Wo sind die versteckten Kameras?“ (Andere Mitarbeiterin als Antwort auf die gleiche Frage)

Liste alternativer Namen für Kursteilnehmer\*innen:

- Putzfee (Aaron)
- Chewbacca (Fabienne)
- Buzzer Beater (Erik)
- Jasmin (Fabienne – von Naomi spontan umbenannt)
- Krümelmonster (Christian)
- Noomi Abi (Naomi)
- Happy Joy (Joy)
- Ronny Berger (Aaron)
- Ryan Gosling (Leopold)
- Nina Chuba (Nina)



Abb. 19: Ein Kurs – ein Sportfestteam

## Quellen

- Hewlings, S. J., Kalman, D. S. (2017): *Curcumin: A review of its effects on human health.* Foods, 6(10), 92. DOI: 10.3390/foods6100092.
- Kunnumakkara, A. B., Bordoloi, D., Padmavathi, G., Monisha, J., Roy, N. K., Prasad, S., Aggarwal, B. B. (2017): *Curcumin, the golden nutraceutical: Multitargeting for multiple chronic diseases.* British Journal of Pharmacology, 174(11), 1325–1348. DOI: 10.1111/bph.13621.
- Medizinfo: Aufbau und Funktion des Zwölffingerdarms. <https://www.medizinfo.de/gastro/anatomie/zwoelffingerdarm.shtml>. Abgerufen am 26.09.2025.
- netDoktor: Verdauung. <https://www.netdoktor.de/anatomie/verdauung/>. Abgerufen am 26.09.2025.
- Studyflix: Verdauungsorgane. <https://studyflix.de/biologie/verdauungsorgane-31060>. Abgerufen am 06.10.2025.
- Wikipedia: Membrantransport. <https://de.wikipedia.org/wiki/Membrantransport>. Abgerufen am 06.10.2025.
- Wikipedia: Verdauung beim Menschen. <https://de.wikipedia.org/wiki/Verdauung>. Abgerufen am 26.09.2025.



# Kurs 5 – Philosophie/Theater: Gedanken im Rampenlicht



## Vorwort

### LEITUNGSTEAM

Die folgenden Seiten dokumentieren eine besondere Reise: eine Reise, auf der sich 13 Teilnehmerinnen und Teilnehmer und ein dreiköpfiges Leitungsteam gemeinsam dem Denken und Darstellen, dem Reflektieren und Spielen gewidmet haben. Unser Kurs hatte sich zum Ziel gesetzt, zentrale philosophische Fragen nicht nur theoretisch zu erörtern, sondern sie auch erfahrbar zu machen.

Im Zentrum der Kursarbeit stand Bertolt Brechts Stück „Der gute Mensch von Sezuan“, das uns Anlass gab, über Grundfragen des Menschseins, des moralischen Handelns und des gesellschaftlichen Zusammenlebens nachzudenken. In Auseinandersetzung mit Aristoteles,

Kant, Schopenhauer und weiteren Denkern erarbeiteten wir gemeinsam philosophische und theatertheoretische Zugänge zu Themen wie dem guten Leben, dem Wesen der Moral, Eigentum und gesellschaftlicher Ordnung oder Religion und Projektion. Diese theoretischen Reflexionen fanden anschließend ihren Ausdruck auf der Bühne im gemeinsam inszenierten Theaterstück.

Die Kombination aus philosophischer Tiefenschärfe und theaterpraktischer Kreativität ermöglichte den Teilnehmerinnen und Teilnehmern neue Zugänge zu komplexen Inhalten und eröffnete ihnen die Chance, Theorie und Praxis miteinander zu verbinden. So entstand ein Lern- und Gestaltungsraum, in dem Wissen nicht nur vermittelt, sondern erlebt wurde. Der folgende Text gibt Einblicke in die Themen, Me-

thoden und Ergebnisse unserer gemeinsamen Kursarbeit und möchte zugleich zeigen, welches Potenzial in der Verbindung von Philosophie und Theater liegt: ein Potenzial, das zum eigenständigen Denken, zum kritischen Hinterfragen und zum kreativen Gestalten anregt.

## Philosophie und Theater

OSCAR KUCH



Das Kursmaskottchen: der Philotter

Formen und Funktionen des Theaters haben sich im Laufe der Zeit mehrfach grundlegend gewandelt. Seit seinen Ursprüngen in der griechischen Antike hat das Theater eine bemerkenswerte Transformation durchlaufen. Während es in seiner frühen Phase primär der Unterhaltung und der seelischen Reinigung – im Sinne der aristotelischen *Katharsis* – diente, verlagerte sich der Fokus in späteren Epochen zunehmend auf moralische und erzieherische Funktionen, wie sie etwa in Lessings aufklärerischem Theaterprogramm deutlich werden. Mit Bertolt Brecht schließlich erhielt das Theater eine neue Ausrichtung, die sich explizit mit gesellschaftlichen und philosophischen Fragestellungen auseinandersetzt.

Bei Brecht diente das Theater nicht mehr allein der emotionalen Ergriffenheit, sondern der intellektuellen Auseinandersetzung mit Begriffen wie Gerechtigkeit, Freiheit oder Glück – Themen, die auch in der Philosophie selbst schwer zu definieren sind. In dieser Hinsicht offenbart sich das Theater als ein Medium, das abstrakte Konzepte in konkrete Handlungen, Gesten und

Situationen übersetzen kann. Für die Theaterarbeit bedeutet dies, dass nicht lediglich eine Rolle „gespielt“ wird, sondern die dargestellten Themen inhaltlich und konzeptionell durchdrungen werden müssen. Ihre Darstellung erfordert das Verständnis der zugrunde liegenden philosophischen Ideen, um diese sowohl reflektierend als auch verkörpernd zum Ausdruck zu bringen. Die theatrale Praxis eröffnet so einen experimentellen Raum, in dem unterschiedliche Perspektiven, Denk- und Lebensformen erprobt werden können. Das Theater wird damit zu einem Ort ethischer und existentieller Erfahrungen. Darüber hinaus dient die Bühne als Übungsfeld für dialogische und argumentative Kompetenzen. Wer eine Rolle übernimmt, ist häufig gezwungen, Positionen zu vertreten, die den eigenen Überzeugungen widersprechen. Dadurch entstehen in der Theaterarbeit Prozesse, die an die Prinzipien des philosophischen Diskurses erinnern.

Das Theater fördert somit zentrale Fähigkeiten, die auch in der philosophischen Praxis von Bedeutung sind: Empathie, Perspektivübernahme und rationalen Dialog. Da Theaterarbeit in der Regel gemeinsam erfolgt, ist sie zudem auf Kooperation und Kommunikation angewiesen. Diese strukturelle Gemeinsamkeit macht deutlich, dass Philosophie und Theater an einer Schnittstelle operieren: Beide zielen auf Erkenntnis durch Reflexion und Dialog ab. In ihrer Verbindung entsteht ein Bildungsraum, der sowohl kognitive als auch emotionale Kompetenzen in gleicher Weise anspricht und weiterentwickelt.

## „Der gute Mensch von Sezuan“

SARINA BAUMGÄRTNER

Die Grundlage für diese Verbindung bildete, wie bereits erwähnt, unser Theaterstück „Der gute Mensch von Sezuan“, das vom deutschen Autor Bertolt Brecht (1898–1956) verfasst wurde. Brecht war der Begründer des epischen Theaters und regte das Publikum mit seinen Stücken zum kritischen Nachdenken an. Zu seinen bekanntesten Werken zählen außerdem „Die Dreigroschenoper“ und „Mutter Courage und ihre Kinder“.

„Der gute Mensch von Sezuan“ wurde 1943 in Zürich uraufgeführt. Die Provinz Sezuan steht dabei stellvertretend für alle Orte, die von gesellschaftlichen Missständen betroffen sind – darauf weist Brecht in seinem Vorwort ausdrücklich hin. Das Stück ist eine Parabel, die folglich aus zwei Ebenen besteht: Der Bildebene, also der erzählten Geschichte, und der Sachebene, der tieferen Bedeutung. Es handelt sich somit um eine lehrhafte Erzählung, die Bilder nutzt, um gesellschaftliche Zusammenhänge und die menschliche Natur zu veranschaulichen.

Zum Inhalt: Drei Götter begeben sich auf die Suche nach einem guten Menschen. Sie müssen sich selbst und den anderen Göttern beweisen, dass ihre Vorschriften unter den auf der Erde herrschenden widrigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedingungen erfüllbar sind. Sezuan ist dabei ihre letzte Gelegenheit, einen solchen Menschen zu finden. Sollten sie keinen entdecken, müssten sie abdanken.

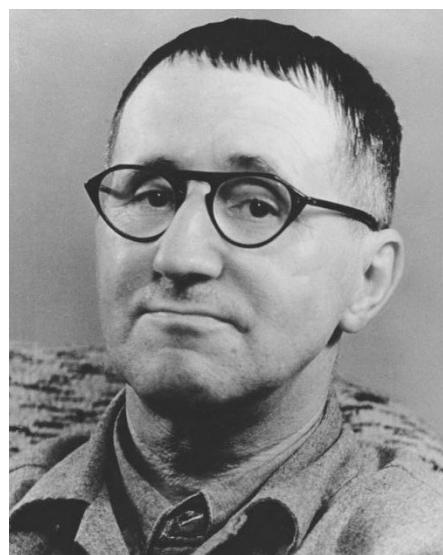
In der Stadt begegnen sie Shen Te, die versucht, allen Menschen zu helfen, obwohl sie selbst kaum etwas besitzt. Sie gewährt den Göttern Obdach und erhält im Gegenzug eine hohe Geldsumme. Mit dem Geld kauft sie sich ein kleines Tabakgeschäft, kommt wirtschaftlich jedoch nicht voran, da ihre Kundinnen und Kunden meist nicht zahlen können. Sie denkt nicht an sich selbst und bemerkt nicht, wie sehr sie ausgenutzt wird.

Um zu überleben, erfindet sie die Figur ihres Vetters Shui Ta, der sehr viel strenger, rücksichtsloser und profitorientierter ist. In seiner Rolle sorgt sie für Ordnung – das Geschäft scheint gerettet. Doch Shen Te verliebt sich in einen arbeitslosen Flieger, dem sie Geld gibt, damit er eine Stelle als Postflieger in Peking annehmen kann. Dabei stellt sie sich selbst erneut in den Hintergrund. Das Tabakgeschäft wächst unter Shui Tas Leitung schließlich zu einer Fabrik heran, in der Arbeiterinnen und Arbeiter ausgebeutet werden. Shui Ta muss sich letztendlich vor Gericht verantworten, dort beichtet Shen Te den Richtern – die zugleich die drei Götter sind –, dass sie selbst die Rolle des Shui Ta gespielt hat, „um gut zu sein und doch zu leben“.

Die Götter, zufrieden damit, ihren „guten Menschen“ wiedergefunden zu haben, sehen ihre Aufgabe als erfüllt an und lassen Shen Te nach ihrer Beichte ohne Lösung ihrer Probleme zurück.

Ob Shen Te tatsächlich ein guter Mensch ist, bleibt offen. Die Götter müssten ohne sie ihre Position aufgeben – was sie um jeden Preis vermeiden wollen. Sie drehen sich die Geschehnisse so zurecht, wie sie ihnen passen. Das Stück zeigt, welche Schwierigkeiten es mit sich bringt, unter belastenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedingungen ein guter Mensch zu sein und zugleich ein glückliches Leben zu führen.

Brecht verweist damit auf die Gesellschafts- und Wirtschaftskritik des Philosophen und Ökonomen Karl Marx, dessen Ansichten Brechts Werke stark geprägt haben. Marx argumentierte, dass das Kapital zur Klassenbildung führe, bei der die obere Schicht die untere ausbeute und dadurch soziale Ungleichheit und Ungerechtigkeit entstünden. Shen Te gehört dieser unteren Schicht an: Sie ist so sehr damit beschäftigt, das Leben anderer zu verbessern, dass sie ihr eigenes Glück nicht verwirklichen kann. Um zu überleben, muss sie in die Rolle des Shui Ta schlüpfen – die strenge, pragmatische Seite ihres Charakters, die sie letztlich am Leben hält.



Bertolt Brecht<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abb.: Wikimedia, Bundesarchiv / Jörg Kolbe, CC BY-SA 3.0.

Aus unserem Stück ergaben sich zahlreiche philosophische Fragestellungen. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage: Was ist ein guter Mensch – und was ein gutes Leben? Wir beschäftigten uns außerdem mit Religion, gesellschaftlicher Beeinflussung durch Besitz und der Bedeutung guten Handelns. Auch die Auseinandersetzung mit der Theatertheorie spielte eine wichtige Rolle, um zu verstehen, welches Ziel Brecht mit seinem Stück verfolgte.

Die Arbeit mit „Der gute Mensch von Sezuan“ ließ uns – sowohl im theoretischen als auch im praktischen Teil unseres Kurses – tief in die Welten des Theaters und der Philosophie eintauchen: zwei Perspektiven, die wir im Laufe der Akademie miteinander verbinden sollten.

## Eröffnungswochenende

HANNAH MITLACHER, CHARLOTTE  
ZUSCHLAG

Nach einem ersten Kennenlernen am Freitag des Eröffnungswochenendes erwartete uns in den nächsten Tagen eine Einführung in ebenjene zwei Welten unseres Kurses. Zu Beginn unserer Kursarbeit bekamen wir eine kurze Übersicht über die wichtigsten Theatertheoretiker und Philosophen, mit denen wir uns im Sommer beschäftigen würden. Wir lernten Aristoteles (384–322 v. Chr.), den Begründer der Theatertheorie, Gotthold Ephraim Lessing (1729–1781) und Bertolt Brecht (1898–1956), den Autor unseres Theaterstücks, kennen. Zur Philosophie stellte Nadia uns zusätzlich noch Immanuel Kant (1724–1804), Arthur Schopenhauer (1788–1860), Karl Marx (1818–1883), Friedrich Nietzsche (1844–1900) und Ludwig Feuerbach (1804–1872) vor.

## Hermeneutik

Damit wir in Zukunft in der Lage sein würden, die uns im Kurs erwartenden Texte möglichst allumfassend zu beleuchten und kritisch zu hinterfragen, lernten wir die hermeneutische Methode kennen. Das Wort Hermeneutik stammt vom altgriechischen Wort *hermēneúein* ab und bezeichnet das Erklären, Übersetzen und Auslegen einer Quelle. Die hermeneutische Methode

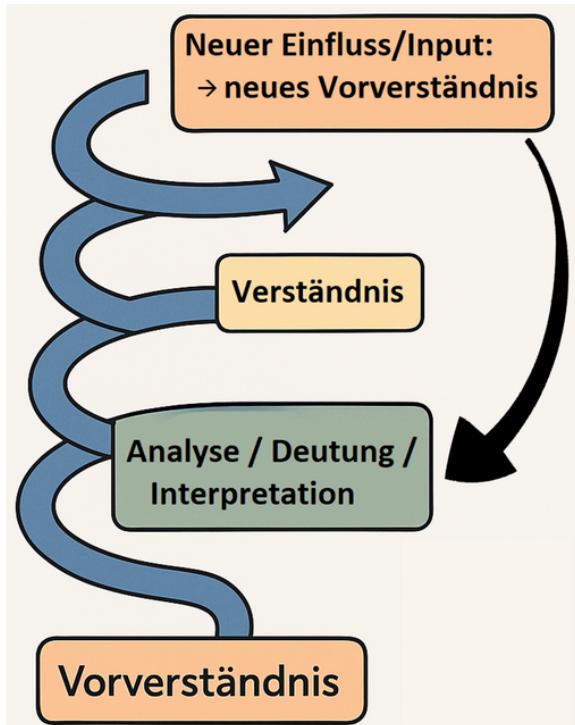


Konzentrierte Kursarbeit

ist also eine Theorie der Interpretation und des Verstehens, die in drei Phasen untergliedert ist: Zu Beginn hält man ein vorläufiges Verständnis der Quelle (beispielsweise eines Textes) fest, welches auf eigenem Vorwissen beruht, anschließend analysiert man beispielsweise sprachliche und inhaltliche Merkmale und gelangt schließlich durch die Verbindung der Einzelbeobachtungen zu einem neuen, vertieften Gesamtverständnis. Diese Methode wird benötigt, da jeder von uns Quellen aufgrund der Unklarheit und Mehrdeutigkeit unserer Sprache auf eine andere Weise versteht. Daher müssen wir unsere Sprache logisch und formal analysieren, um einen Text jeglicher Art richtig erfassen zu können. Ein solches differenziertes Verständnis benötigten wir besonders häufig in unserer Kursarbeit, um philosophische Texte sowie Textausschnitte aus unserem Theaterstück analysieren zu können.

Um dies zu üben und um aufzuzeigen, wie vielschichtig das Interpretieren sein kann und wie wichtig die Betrachtung aus verschiedenen Blickwinkeln ist, sollten wir unsere Gedanken zu einem uns vorher unbekannten Symbol formulieren. Alle erkannten Buchstaben, und viele deuteten das Zeichen als eine Darstellung der Seele oder des Gehirns mit verschiedenen Wegen, die zur Erkenntnis, der Wahrheit oder einem Ziel führen. Das Spannende dabei war, zu erkennen, dass die anderen Teilnehmerinnen und Teilnehmer jeweils andere Seiten des Symbols beleuchteten, die man selbst nicht berücksichtigt hatte. Ursprünglich war das Zeichen ein IHS-Monogramm, ein christliches Symbol, bestehend aus den ersten drei Buchstaben des

griechischen Wortes für Jesus. Es wird auch als Abkürzung für lat. *Iesus hominum salvator* (Jesus, Erlöser der Menschen) gedeutet. Durch diese Übung wurde uns bewusst, dass Interpretationen nie eindeutig sind, sondern vom Blickwinkel abhängen.



Hermeneutische Spirale

### Parabelübung

Mit der hermeneutischen Methode an der Hand beschäftigten wir uns mit dem „Lied vom achten Elefanten“, einer Parabel aus unserem Theaterstück. In dem Lied wird beschrieben, wie ein zahmer, achter Elefant sieben wilde Elefanten bewacht und im Auftrag von Herrn Dschin dazu bringt, dessen Wald vor Einbruch der Nacht zu roden. Der achte Elefant wird bevorzugt behandelt und setzt Gewalt gegen die sieben anderen ein. Brecht kritisiert mit dieser Parabel das kapitalistische System, in welchem Macht und Besitz auf Kosten der Moral gesichert werden. Dabei steht der achte Elefant exemplarisch für den Menschen, der im Streben nach seinem persönlichen Vorteil seine Menschlichkeit verliert, und die sieben Elefanten für die unterste Klasse, die systematisch ausgebaut wird. Herr Dschin symbolisiert die Macht-

habenden, die sich auf Kosten aller anderen bereichern, ohne ihre Handlungen moralisch zu hinterfragen. In dieser Gesellschaftskritik erkennt man deutlich Brechts Bezüge zu Marx.

An diesem Beispiel konnten wir auch noch einmal gut erkennen, wie nah Theater und Philosophie häufig zusammenspielen und wieso unser Kurs genau diese beiden Thematiken miteinander verband. Zusätzlich fanden wir mit diesem Textausschnitt auch einen Einstieg in unser Werk, mit dem wir uns, nachdem wir es in der Zeit zwischen dem Eröffnungswochenende und der Sommerakademie lesen sollten, im Sommer noch intensiver beschäftigten.

### Theater

Nach diesen theoretischen Einheiten beschäftigten wir uns auch mit der Theaterpraxis. Dazu bekamen wir erstmals die Bühne gezeigt und erhielten ein Gefühl dafür, wie es sich anfühlte, auf dieser zu stehen und zu wirken. Unsere Bühnenerfahrung im Kurs war sehr unterschiedlich: Manche waren zu der Zeit selbst schon aktiv in Theaterstücken, während andere noch nie auf einer Bühne gestanden hatten. Daher war das erste Improvisationsspiel für manche ungewohnt und für andere bereits vertraut. Beim Improvisieren geht es um das spontane Theaterspielen ohne vorgeschrivenen Text und ohne Vorbereitung. Die erste Übung bestand darin, dass eine Person aus dem Kurs einen Prominenten darstellte, der eine kuriose Tat begangen hatte und sich bei einer Pressekonferenz vor drei Journalisten verteidigen musste. Jedoch wusste der Prominente nicht, welche Tat er denn begangen hatte; diese kannten nur die anderen Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Das Ziel des Prominenten war es nun also, durch die Fragen der Presse herauszufinden, was geschehen war, und dies am Ende zu gestehen.

Durch solche Improvisationsübungen wurde uns bewusst, wie stark Theaterspiel von Spontanität, Zuhören und gegenseitigem Vertrauen abhängt – Fähigkeiten, die später auch im philosophischen Diskurs hilfreich waren. Das Improvisieren machte uns zudem allen großen Spaß und führte auch dazu, dass wir als Gruppe noch enger zusammenwuchsen.

## Philosophie

Mit der philosophischen Theoriearbeit beschäftigten wir uns am nächsten Tag. Zunächst stand die Frage im Raum, was Philosophie eigentlich sei. Der Begriff stammt aus dem Griechischen (*philosophía*) und bedeutet „Liebe zur Weisheit“. Er bedeutet das stete Streben nach Erkenntnis, beispielsweise über den Menschen selbst, die Welt oder moralisches Handeln. Philosophie bedeutet aber auch das Hinterfragen, Überdenken und Prüfen des Wissens. Durch diesen Prozess ist es möglich, zu neuem Wissen und neuen Erkenntnissen zu gelangen.



Grübeln über einen Text

Die Vielheit der Fragen in der Philosophie kann schnell überfordern und verwirren, daher ist es hilfreich, diese zu kategorisieren. Dazu formulierte Immanuel Kant die vier Fragen der Philosophie, die jeweils ein Feld von philosophischen Fragestellungen repräsentieren. Die Frage „Was kann ich wissen?“ berücksichtigt beispielsweise metaphysische Aspekte beziehungsweise die Erkenntnistheorie. Die Frage „Was darf ich hoffen?“ lässt sich der Glückslehre, Religion und Religionskritik zuordnen. Mit der Frage „Was ist der Mensch?“ beschäftigt sich die Anthropologie und die Frage „Was soll ich tun?“ wird in der Moralphilosophie, also der Ethik, zu beantworten versucht.

Zuletzt stellte sich noch die Frage, wozu die Philosophie und das Auseinandersetzen mit ihr überhaupt dienen. Einerseits können die Werte und Antworten der Philosophie Orientierung in einer immer komplexer werdenden Welt bieten. Das Nachdenken über diverse philosophische Theorien und das daraus folgende Zustimmen

oder Ablehnen dieser kann zu Selbsterkenntnis führen. Außerdem schult es die Urteilstatkraft und ist eine Möglichkeit, den eigenen Horizont zu erweitern. Wir neigen dazu, die Fragen zu verdrängen, auf die es keine einfache Antwort gibt. Doch beim Philosophieren versucht man, genau auf solche Fragen eine Antwort zu finden, auch wenn es zunächst wie eine nicht zu bewältigende Aufgabe erscheint. Durch die Auseinandersetzung mit solchen Fragen kommt man dem menschlichen Bedürfnis nach, die Welt zu verstehen und den Drang nach Antworten zu stillen. Philosophie erweitert unsere Vorstellung von den Dingen, die möglich sind, und regt uns dazu an, selbst nachzudenken, anstatt die Ideen und Vorstellungen der Gesellschaft immer als richtig anzusehen.

Zum Ende des Eröffnungswochenendes einigten wir uns auf vier konkrete Fragen, die unser Werk aufwarf und die wir im Sommer genauer untersuchen wollten: „Was ist ein gutes Leben?“, „Was ist bzw. wie handelt ein guter Mensch?“, „Wie beeinflussen Besitz und Reichtum eine Gesellschaft?“ und „Brauchen wir Götter?“. Diesen widmeten wir uns im Sommer nacheinander.

## Sommer

### Philosophische Theorien

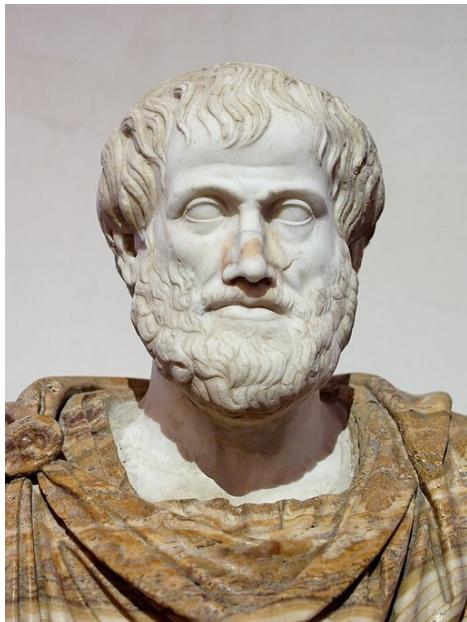
#### **Was ist ein gutes Leben? – Aristoteles**

STANISLAV JÖRG

Die Frage nach dem guten Leben gehört zu den ältesten und zugleich aktuellsten Themen der Philosophie. Sie stellt sich nicht nur in theoretischen Überlegungen, sondern prägt auch unser praktisches Handeln und unsere moralischen Entscheidungen im Alltag. Auch unser Werk kreist um genau diese Frage: Was bedeutet es, ein guter Mensch zu sein, und wie lässt sich ein gelingendes Leben führen – insbesondere unter schwierigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedingungen?

Eine der einflussreichsten Theorien dazu stammt von Aristoteles. Mit seiner Theorie der *Eudaimonia* lieferte er ein Konzept, das

das gute Leben nicht auf momentanes Glück oder äußerem Erfolg reduziert, sondern es als ein Leben der Vernunft und der Tugend versteht. Wir haben im Kurs diese Theorie näher betrachtet, um zu untersuchen, inwiefern sie auch heute noch Orientierung geben kann und ob sie uns dabei hilft, die Fragen zu beantworten, die Brechts Stück aufwirft.



Büste des Aristoteles<sup>2</sup>

Unter *Eudaimonia* verstand Aristoteles nicht bloß ein flüchtiges Gefühl des Glücklichseins, sondern ein gelungenes, erfülltes Leben, das aus vernunftgeleitetem und tugendhaftem Handeln besteht. Für ihn ist die *Eudaimonia* das höchste Gut, weil sie das Ziel ist, um dessen willen wir alles andere anstreben. Sie ist somit kein Mittel zu einem anderen Zweck, sondern der letzte Zweck allen menschlichen Handelns. Zur Veranschaulichung lässt sich ein einfaches Alltagsbeispiel heranziehen: Wenn wir ein gutes Essen genießen, tun wir dies, um uns wohlzufühlen – doch dieses Gefühl ist vergänglich. Dauerhafte Glückseligkeit entsteht nach Aristoteles nicht durch kurzfristige sinnliche Genüsse, sondern erst durch ein dauerhaft gutes und tugendhaftes Leben. Äußere Güter wie Reichtum oder Genuss können zwar zu unserem Wohlbefinden beitragen, sind aber nicht hinreichend, um wahre *Eudaimonia* zu erreichen.

<sup>2</sup>Abb.: Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.

Wie man diese *Eudaimonia* nun erreiche, beantwortete Aristoteles, indem er nach der spezifischen Funktion des Menschen fragte – also nach dem, was uns von anderen Lebewesen unterscheidet und unser eigentliches Wesen ausmacht. Er unterschied hierbei die Funktionen der Seele beziehungsweise Seelenteile, die jedes Lebewesen in sich trägt. Pflanzen verfügen ausschließlich über einen vegetativen Seelenteil, der auf Wachstum und Ernährung abzielt. Tiere hingegen verfügen zusätzlich über einen sensitiven Seelenteil, geprägt von Wahrnehmung und Emotionen. Der Mensch zeichnet sich als einziges Lebewesen zusätzlich durch die Vernunft aus; die Fähigkeit zu denken, zu urteilen und bewusst zu entscheiden. Diese Fähigkeit ist in der sogenannten Geistseele verortet.

Seelenteil	Anteil hat
Geist-/Vernunftseele (Denken und Vernunft)	Mensch
Sensitiver Seelenteil (Emotion und Verstand)	Tier, Mensch
Vegetativer Seelenteil (Wachstum und Entelechie)	Pflanze, Tier Mensch

Seelenmodell nach Aristoteles

Damit war für Aristoteles klar: Die menschliche Bestimmung liegt in der vernunftgeleiteten Tätigkeit der Seele gemäß der Tugend. *Eudaimonia* verwirklicht sich also in einem Leben, das sich dauerhaft darum bemüht, das sittlich Richtige zu tun. Aristoteles war sich jedoch bewusst, dass der Mensch nicht immer vollkommen tugendhaft handelt. Vollkommene Tugendhaftigkeit scheint fast etwas Göttliches zu erfordern und ist für Menschen schwer zu erreichen. Zudem gehören nach seiner Auffassung auch äußere Güter – etwa Gesundheit, Schönheit oder eine intakte Familie – zu einem gelingenden Leben dazu. Ohne sie lasse sich vollständige Glückseligkeit nicht verwirklichen.

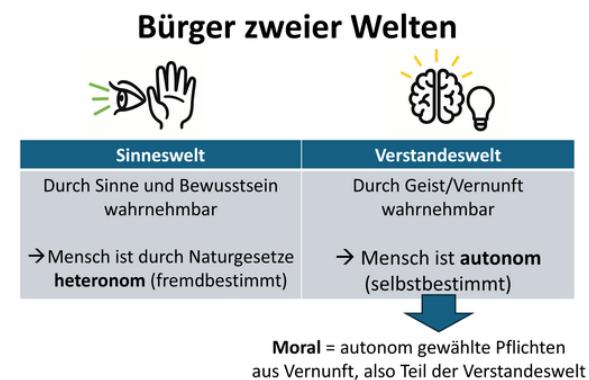
Eine moderne Deutung dieser Gedanken liefert etwa der Persönlichkeitscoach Harald Hutterer. Er beschreibt Tugenden als „Leuchttürme“, die man zwar nie ganz erreicht, die aber dennoch den Kurs des Lebens vorgeben und Orientierung bieten.

## **Was macht einen guten Menschen aus? – Immanuel Kant**

LETIZIA MACK

Während Aristoteles das gute Leben als ein tugendhaftes, vernunftgeleitetes Leben beschreibt, das auf die Verwirklichung der *Eudaimonia* zielt, stellt sich bei Brechts Werk noch eine weitere zentrale Frage: Was macht einen guten Menschen aus – unabhängig davon, ob sein Handeln zum Glück führt oder nicht? Diese Perspektive eröffnete der Philosoph Immanuel Kant (1724–1804), der sich nicht auf das Ziel oder Ergebnis des Lebens konzentrierte, sondern auf die Prinzipien, nach denen moralisches Handeln überhaupt möglich wird. Mit seiner Moralphilosophie entwickelte er ein Konzept, das bis heute maßgeblich prägt, wie wir über Freiheit, Verantwortung und moralisches Handeln nachdenken.

Kant beschrieb den Menschen als einen „Bürger zweier Welten“, wie er es in seinem Werk „Kritik der praktischen Vernunft“ formulierte: Einerseits gehört der Mensch der Sinneswelt an – der Welt der Naturgesetze, Triebe, Bedürfnisse und der Erfahrung („der gestirnte Himmel über mir“). In ihr ist er den Gesetzen der Natur und der Lust und Unlust unterworfen und damit heteronom, also fremdbestimmt. Andererseits ist der Mensch auch Teil einer Verstandes- oder intelligiblen Welt („das moralische Gesetz in mir“), die durch Vernunft, Persönlichkeit und Intelligenz geprägt ist. Als Vernunftwesen ist er dort autonom, also fähig, sich selbst moralische Gesetze zu geben.



Kants Menschenbild

Gerade diese Vernunft unterscheidet den Menschen von den Tieren und befähigt ihn dazu,

über moralisch richtiges und falsches Handeln zu urteilen. Moral, so Kant, kann daher nur in der Verstandeswelt verankert sein, denn sie entsteht allein durch den Gebrauch der Vernunft – niemals durch Emotionen oder Neigungen.

Auf dieser Grundlage entwickelt Kant seine Pflichtethik, auch Deontologie (griechisch *deon* = Pflicht) genannt. Im Zentrum steht nicht das Ergebnis einer Handlung, sondern der Beweggrund: Eine Handlung ist moralisch, wenn sie aus Pflicht geschieht und einem moralischen Gesetz folgt. So wäre beispielsweise eine Lüge selbst dann nicht pflichtgemäß, wenn sie zu positiven Folgen führte, da das moralische Gesetz „Du sollst nicht lügen“ gilt. Diese moralischen Gesetze müssen nach Kant allgemeingültig sein, also für alle Menschen und in allen Situationen gelten können. Dies bringt er im berühmten kategorischen Imperativ zum Ausdruck, der als Grundprinzip vernunftgeleiteten Handelns gilt:

„Handle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde.“

Damit vereint der kategorische Imperativ die wesentlichen Prinzipien moralischen Handelns: Eine Maxime ist nur dann moralisch, wenn sie ohne Ausnahme für alle Menschen gelten kann. Zugleich stellt Kant sicher, dass moralisches Handeln aus Vernunft entspringt und nicht aus Neigung oder Eigeninteresse. Jeder Mensch wird dabei als selbstständiges, vernunftbegabtes Wesen betrachtet, das fähig ist, moralische Gesetze zu erkennen und zu befolgen. Auf diese Weise soll eine moralischere Gesellschaft entstehen.

Kants Pflichtethik wurde jedoch auch kritisiert. Häufig wird ihm vorgeworfen, seine Theorie gehe an der Lebenswirklichkeit vorbei, da sie Emotionen, Mitgefühl oder persönliche Beziehungen kaum berücksichtigt und diesen keinen moralischen Wert zuschreibt. Kant war sich selbst bewusst, dass Moral und Glück häufig im Spannungsverhältnis zueinander stehen. Aus utilitaristischer oder konsequentialistischer Perspektive wird zudem bemängelt, dass Kant die Folgen einer Handlung vernachlässigt. Ein weiterer Kritikpunkt betrifft sein Menschenbild: Kant setzt voraus, dass Menschen zu autonomen, vernunftgeleiteten Entscheidungen fähig

sind – was jedoch nicht immer der Fall ist, etwa bei Menschen mit geistigen Beeinträchtigungen oder in extremen Ausnahmesituationen. Seine Ethik orientiert sich somit stark an einem idealisierten Bild des Menschen.



Immanuel Kant<sup>3</sup>

Letztlich lassen sich weder Menschen noch moralische Fragestellungen vollständig in starre Regelwerke oder universelle Maximen zwängen. In vielen Fällen spielt der konkrete Kontext eine entscheidende Rolle für moralisches Handeln. Dennoch bleibt Kants Moralphilosophie bis heute von grundlegender Bedeutung. Sein Bild des Menschen als freies, selbstverantwortliches Wesen und seine Forderung, dass der Mensch selbstständig moralisch urteilen und handeln kann und muss, erinnert uns daran, dass Freiheit und Verantwortung untrennbar miteinander verbunden sind – und wirft zugleich die Frage auf, ob Moral immer im Denken des Menschen selbst beginnt.

### **Was macht einen guten Menschen aus? – Arthur Schopenhauer**

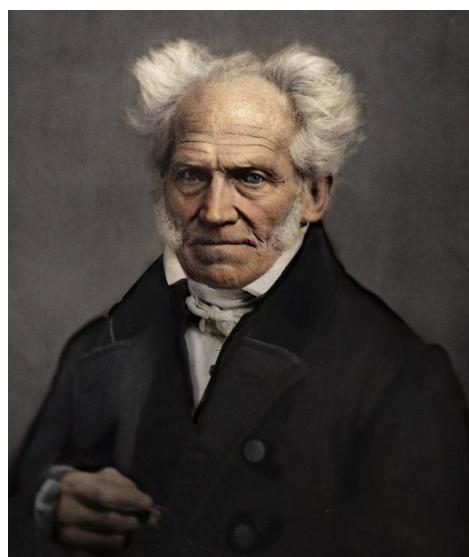
LOTTA BLAUKAT

Eine Gegenposition zu Kant vertrat der deutsche Philosoph Arthur Schopenhauer (1788–1860). Schopenhauers Moralphilosophie widerspricht Kants Annahme, dass der Ursprung der Moral im Verstand liege, radikal, denn er war der Ansicht, dass der Ursprung der Moral in

<sup>3</sup>Abb.: Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.

der Emotion liege. Er war Schriftsteller, Lehrer, Misanthrop und einer der bedeutendsten Denker des 19. Jahrhunderts. Der in Danzig geborene Philosoph ging mit einer negativen Einstellung gegenüber Menschen und dem Leben allgemein durch die Welt. Denn das Leben bedeutete für Schopenhauer grundlegend Leiden, woran man auch den Einfluss des Buddhismus auf Schopenhauers Werke erkennen kann. Aus diesem Leiden heraus entwickelte er aber nicht nur seine Einstellung gegenüber der Welt, sondern auch eine ganz eigene Moralphilosophie.

Seine Auffassung von der Gesellschaft und den Menschen machte er beispielsweise an einer Parabel deutlich, in welcher er das menschliche Zusammenleben mit einer Gruppe von Stachelschweinen verglich. Er beschreibt das Bedürfnis der Stachelschweine, sich gegenseitig zu wärmen, und das Problem, dass sie sich gegenseitig stechen, sobald sie sich zu nahe kommen. Nach einer Weile allerdings finden die Stachelschweine eine Entfernung, in der sie sich ein bisschen wärmen aber noch nicht stechen.



Arthur Schopenhauer<sup>4</sup>

Diese Parabel steht bezeichnend für das menschliche Zusammenleben und das Bedürfnis nach „Wärme“ (hier: Nähe, Gemeinschaft), das zugleich durch ihre vielen „widerwärtigen“ Eigenschaften und unerträglichen Fehler erschwert wird, die abstoßend wirken, sobald sie sich einander nähern. Ziel ist es laut Schopen-

<sup>4</sup>Abb.: Wikimedia, CC0 1.0.

hauer, genau wie die Stachelschweine eine mäßige Entfernung zu finden, in welcher sie zwar eine gewisse Nähe erhalten, sich aber gegenseitig nicht zu nahe kommen. Dieser Abstand, der laut Schopenhauer in einer Gesellschaft gewahrt werden muss, damit ein Beisammensein überhaupt bestehen kann, wurde von ihm als die „Höflichkeit und feine Sitte“ definiert.

Als Grundlage von Schopenhauers Philosophie steht seine Ansicht, dass die Welt im Kern nicht von Vernunft, sondern von einem irrationalen „Willen“ bestimmt sei – einer unwillkürlichen Kraft, die alles durchdringe und für ihn als metaphysisches Konzept der Welt gilt. Aber wie lässt sich dies nun auf eine Moralphilosophie übertragen? In welchem Zusammenhang steht das zu der Handlung eines Menschen? Schopenhauer hatte die Ansicht, dass der Mensch von Natur aus drei Triebfedern für seine Handlungen habe. Grundlegend handle der Mensch erst einmal aus Egoismus, denn er wolle die größtmögliche Summe an Wohl für sich selbst. Der menschliche Egoismus ist somit laut Schopenhauer zunächst grenzenlos. Stelle sich aber nun ein anderer diesem Egoismus entgegen, werde die Person, die dies tut, automatisch zum Feind. Im Menschen kämen dann Gefühle wie Zorn und Hass auf und so entstehe aus dem Egoismus die zweite Triebfeder für eine Handlung: Grausamkeit, welche in Bosheit resultiert. Schopenhauer merkte allerdings an: „Nichts empört so unsere moralischen Gefühle wie Grausamkeit.“

Daraus schloss er, dass der Mensch intuitiv erkennen könne, dass es unmoralisch und damit verwerflich sei, wenn anderen Leid angetan wird. Man leide automatisch mit dem anderen Wesen, welchem Leid angetan wird, mit. Und somit entstehe die dritte Triebfeder für eine Handlung: Mitleid. Mitleid ist laut Schopenhauer die Überwindung der Grenze zwischen zwei Wesen, denn durch das Mitleiden fühle man nicht mehr nur seine eigenen Gefühle, sondern auch die des Gegenübers. Dadurch werde der Egoismus zwar nicht aufgelöst, aber durch das „Mit-Fühlen“ auf die andere Person beziehungsweise das andere Wesen erweitert.

Diese Fähigkeit, Mitleid zu empfinden, ist laut Schopenhauer die grundlegendste Eigenschaft

des Menschen und er sagte: „Die Menschen wären nichts als Ungeheuer, hätte ihnen die Natur nicht das Mitleid gegeben.“ Er sagte zusätzlich: „Wenn es also der Mangel an Mitleid ist, der eine Tat zu einer abscheulichen und unmoralischen Tat werden lässt, dann ist Mitleid die eigentliche moralische Triebfeder des Menschen“. Moralisches Handeln bedeutet für ihn demnach nicht, abstrakten Geboten oder Gesetzen zu folgen und aus Vernunft heraus zu handeln (wie bei Kant), sondern aus der unmittelbaren Teilnahme am Leiden anderer. Für Schopenhauer besteht in der Teilnahme und in der Aufhebung von Leid also die Grundlage allen moralischen Handelns.

„Denn grenzenloses Mitleid mit allen lebenden Wesen ist die festeste und sicherste Verbindlichkeit für das sittliche Wohlverhalten [...]. Wer davon erfüllt ist, wird zuverlässig keinen verletzen, keinen beeinträchtigen, keinem wehe tun, vielmehr mit jedem Nachsicht haben, jedem verzeihen, jedem helfen, so viel er vermag, und alle Handlungen werden Gerechtigkeit und Menschenliebe in sich tragen.“

Aber in welchem Zusammenhang stehen Schopenhauers Theorien nun zu unserem Theaterstück? Die Hauptfigur Shen Te verkörpert das Ideal des mitleidigen Menschen, da sie stets versucht, anderen in Notsituationen zu helfen und damit Gutes zu tun. Sie entspricht so Schopenhauers Begriff von einem moralisch handelnden und damit guten Menschen.

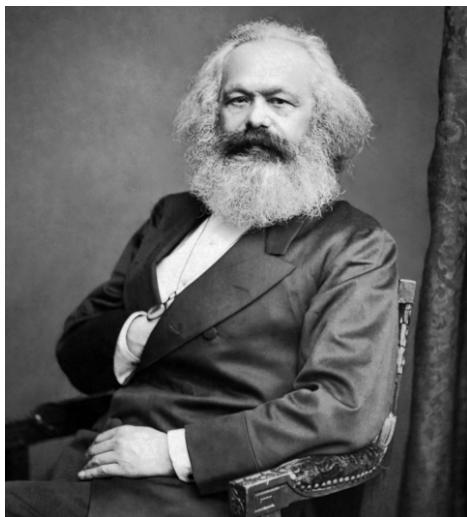
### **Wie beeinflusst Besitz eine Gesellschaft? – Karl Marx**

RAPHAEL SPECK

Shen Tes Bedürfnis, anderen zu helfen, entspringt vor allem der prekären gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Situation in Sezuan, welche von großer Armut geprägt ist. Nur wenigen gelingt es, sich durch Ausbeutung anderer zu bereichern. Dadurch wird eine weitere philosophische Frage aufgeworfen: „Wie beeinflussen Reichtum und Besitz eine Gesellschaft?“. Um dieser Frage nachzugehen, beschäftigten wir uns mit der Gesellschaftstheorie von Karl Marx (1818–1883), einem deutschen Philosophen und Ökonomen im Zeitalter der Industrialisierung,

der die damaligen sozialen Verhältnisse untersuchte.

Für Marx war die Geschichte der Menschheit eine Geschichte von Klassenkämpfen. Besonders in der neuen, industrialisierten Gesellschaft seiner Zeit standen sich zwei unversöhnliche Klassen gegenüber: die Bourgeoisie (Kapitalisten) und das Proletariat (Arbeiterklasse). Die Bourgeoisie besaß Produktionsmittel, also zum Beispiel Fabriken, Maschinen oder Werkzeuge, und kontrollierte damit die wirtschaftliche Grundlage der Gesellschaft, während die Arbeiter nur ihre eigene Arbeitskraft besaßen, die sie verkaufen mussten, um zu überleben. Es bestand also eine deutliche strukturelle Ungleichheit in Reichtum und Macht zwischen den Klassen.



Karl Marx<sup>5</sup>

Zentral für seine Theorie ist die Idee des Mehrwerts: Laut Marx schaffen die Arbeiter durch ihre Tätigkeit mehr Wert, als sie in Form von Lohn zurück erhalten. Sie stellen zum Beispiel aus Metall in den Fabriken der Bourgeoisie Fahrräder her. Diese fertigen Produkte werden von der Bourgeoisie verkauft, wofür sie mehr erhalten, als sie für die Produktionsgüter (Metall, Maschinen etc.) bezahlt haben. Diesen Mehrwert behält aber der Kapitalist, statt ihn dem Arbeiter zu gerechten Anteilen auszuzahlen. Das bezeichnete Marx als Ausbeutung.

Dies führt laut Marx dazu, dass sich die Schere zwischen arm und reich kontinuierlich weitet. Die steigende Konkurrenz zwischen den Kapi-

talisten verstärkt zudem die Ausbeutung, was für immer größere Spannungen zwischen den Klassen sorgt. Diese Spannungen führen laut Marx schlussendlich unweigerlich zu einer gesellschaftlichen Umwälzung, der „kommunistischen Revolution“.

Diese bilde den Übergang in eine kommunistische Gesellschaft. Während dieser Revolution solle es zur Enteignung der Bourgeoisie und der Umverteilung der Güter in eine zentrale Planwirtschaft kommen. Darauf folge die Auflösung der Klassengesellschaft. Ziel sei eine kommunistische Gesellschaft, in der Menschen ihre Angelegenheiten gemeinschaftlich regelten und keine Herrschaftsverhältnisse mehr beständen. Marx hält dabei gewaltsame Vorgehensweisen und „widerrechtliche“ Enteignung der Bourgeoisie für ein notwendiges „Mittel der Umwälzung“.

Brecht greift diese Gedanken in seinem Werk deutlich auf. Die Armut der einfachen Menschen, ihre Abhängigkeit von Besitzenden und die moralischen Konflikte, die daraus entstehen, spiegeln zentrale Aspekte der marxistischen Gesellschaftsanalyse wider. Figuren wie Shen Te stehen exemplarisch für das Dilemma des Proletariats: Sie wollen das Richtige tun, sind aber in einem System gefangen, das sie ausbeutet und zu unmoralischem Handeln zwingt. Brechts Stück macht so erfahrbar, was Marx theoretisch beschrieben hat: Gesellschaftliche Strukturen prägen menschliches Verhalten – und wirkliche Gerechtigkeit ist nur durch eine grundlegende Veränderung dieser Strukturen möglich.

### **Brauchen wir Götter? – Religionskritik**

SARINA BAUMGÄRTNER, CHARLOTTE ZUSCHLAG

Neben Shen Te erscheinen im Werk auch drei Götter. Sie sind nicht perfekt, sondern besitzen menschliche Schwächen. Um diese Darstellung zu verstehen, haben wir zentrale Theorien der Religionskritik der Neuzeit betrachtet. Die vier religionskritischen Theorien von Ludwig Feuerbach, Karl Marx, Sigmund Freud sowie Friedrich Nietzsche, mit denen wir uns beschäftigt haben, finden sich an einigen Stellen auch in Brechts Werk wieder.

<sup>5</sup>Abb.: Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.



Die drei Götter im Theaterstück

**Ludwig Feuerbach** (1804–1872), der Begründer der sogenannten „Projektionstheorie“, stellte die Grundidee von Gott als imaginärer Projektion menschlicher Wünsche und Bedürfnisse auf. Er war der Meinung, dass gewisse unerreichbare Eigenschaften, die der Mensch nicht hat, aber anstrebt (z. B. Unsterblichkeit, Allmacht) auf das Ideal einer göttlichen Macht übertragen würden, um die Angst und Ohnmacht, die aus menschlichen Schwächen wie Endlichkeit und Unvollkommenheit herrühren, zu überwinden. Feuerbach kritisierte, dass Religion dadurch zu einer Art Selbstentfremdung führe. Für Feuerbach war der entscheidende Schritt das Eingeständnis, dass Gott nur eine Projektion menschlicher Ideale sei. Der Mensch müsse erkennen, was er ist, dies auch akzeptieren und zum Menschlichen zurückkehren. Er solle lernen, zu lieben, was ihn ausmacht, und danach handeln.

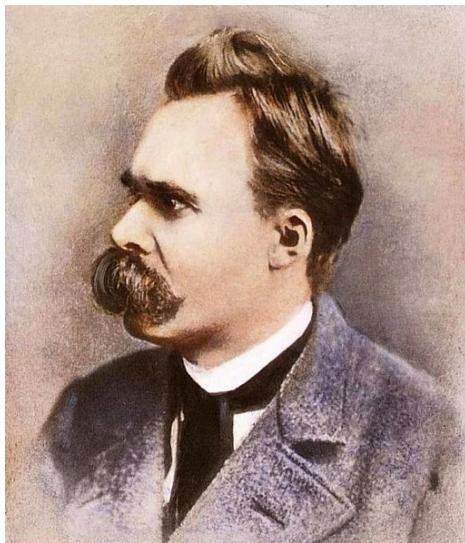
Während Feuerbach die Religion rein anthropologisch betrachtete, entwickelte **Karl Marx**, der sich nicht nur mit ökonomischen Aspekten, sondern auch mit Religion beschäftigte, seine Theorie in gesellschaftswissenschaftliche Richtung weiter: Im Mittelpunkt steht dabei die soziale Ungerechtigkeit, die sich laut Marx in der Religion zeige, zugleich jedoch durch sie verdrängt werden solle. Laut ihm gestalte der Mensch die Religion nach seinem gesellschaftlichen Bewusstsein. Das bedeutet, dass für Marx die Religion eine Projektion der sozialen Verhältnisse einer Gesellschaft darstellt. Wenn man nun Kritik an derselben ausübt, kritisiert man im Umkehrschluss die Gesellschaft. Marx beschrieb die Religion als „Opium des

Volkes“, da sie zum einen eine Illusion erschaffe, um der „unerträglichen“ Realität zu entfliehen. Zudem diene sie den Herrschenden einer Gesellschaft als Kontrollinstrument über die breite Masse. Dieser Betäubung beziehungsweise diesem Trostmittel müsse man sich aber widersetzen, um die Gesellschaft zu gestalten und zu verändern. Wenn die Welt so wäre, wie Marx sie sich im Idealzustand – dem Kommunismus – vorstellt, bräuchte man die Religion nicht mehr.

Ein psychologisch begründetes Verständnis entwickelte **Sigmund Freud** (1856–1939). Er war Arzt und Psychoanalytiker und gilt als Begründer der Psychoanalyse. Seine Religionskritik begründete er auf Grundlage der Erfahrungen seiner Arbeit und der Ergebnisse seiner Forschungen. Für ihn war Religion eine kollektive Illusion, die auf Wünschen basiert, die aus tiefliegenden psychologischen Bedürfnissen resultieren. Er führte diese Wunschvorstellung auf die Kindheit zurück, in der man sich aufgrund von Hilflosigkeit nach Schutz und Sicherheit durch Macht und Autorität der Eltern sehne. Freud vertrat die Ansicht, dass Menschen, die keine stabile Persönlichkeit haben und unbewusste Konflikte aus Kindheitstagen nicht aufarbeiten, das Erfüllen dieser Bedürfnisse über ihre Kindheit hinaus erstreben. Sie erkennen nicht, dass sie selbst für sich Verantwortung übernehmen könnten. Also erschaffen sie eine göttliche Figur, um die kindliche Angst vor Leid und den Drang, beschützt zu werden, zu befriedigen. Religion sei somit Ausdruck eines psychischen Mechanismus, der Angst und Unsicherheit zu bewältigen versuche. Dieses Festhalten an infantilen Mustern hindere die Menschen dann daran, sich weiterzuentwickeln. Dadurch bremse die Religion den Fortschritt der Menschheit.

Zuletzt beschäftigten wir uns mit dem deutschen Philologen und Philosophen **Friedrich Nietzsche** (1844–1900), der trotz seines Vaters, der Pfarrer war, ein bekannter Religionskritiker wurde. Er prägte den Satz „Gott ist tot“, denn für ihn waren die traditionellen religiösen Werte in der Neuzeit irrelevant geworden. Er beantwortete die daraus folgende Frage, warum trotzdem noch so viele Menschen sich der Kirche zuwandten, damit, dass die festen Werte

und Regeln der Kirche vielen Menschen Halt und Orientierung boten. Doch Nietzsche sah den Menschen nicht als von der Religion abhängiges Geschöpf, sondern als eigenverantwortliches Wesen, das die Fähigkeit und Aufgabe habe, sich selbst seine Moral zu schaffen. Der Mensch halte jedoch an den Traditionen der Kirche fest, da er es bevorzuge, die Verantwortung anderen zu überlassen und damit lieber einem vorgegebenen Wertesystem zu folgen, statt sich ein eigenes zu bilden. Dadurch war der Glaube an Gott und das Befolgen religiöser Regeln und Riten für ihn Ausdruck menschlicher Schwäche. Er bezeichnete dies als „Sklaventum“.<sup>6</sup> Für ihn war die Religion nicht nur veraltet, sondern schädlich für die Weiterentwicklung der Menschheit.



Friedrich Nietzsche<sup>6</sup>

Der „Tod Gottes“ müsse aber nicht moralischen Verfall herbeiführen, der Mensch solle endlich selbst Verantwortung für sein Handeln übernehmen, anstatt sie einer höheren Instanz zuzuschreiben. Er solle die Chance nutzen, eine neue, selbstbegründete Moral zu schaffen, indem er sich über das bestehende Wertesystem erhebe und sich seine eigenen Werte und Normen setze. Als Ideal entwarf Nietzsche die Idee des „Übermenschen“, der durch sein Verhalten und Handeln einen entscheidenden Beitrag zur Weiterentwicklung der Menschheit leistet. Er steht sinnbildlich für die neue Selbstbestimmung jenseits religiöser Moral. Nietzsches Kri-

<sup>6</sup>Abb.: Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.

tik an der Religion war also nicht ausschließlich gegen den Glauben an sich gerichtet, sondern gegen die Selbstentmündigung des Menschen, die er darin sah. Sein Ideal war ein Menschenbild, das auf Selbstbestimmung und schöpferischer Freiheit basiert.

Diese verschiedenen religionskritischen Theorien verbindet, dass sie alle vier Gott als menschengemachtes Konstrukt betrachten. Diese Idee finden wir in Brechts Theaterstück wieder. Die Götter stehen für ein gescheitertes System der Orientierungshilfe und Moralfindung. Als ursprüngliche Ideale versagen sie in ihrer Arbeit, da die Menschen genug damit zu tun haben, zu überleben. Sich zusätzlich an göttliche Normen und Gebote zu halten, würden sie nicht schaffen.

## Theatertheorien

### Aristoteles und Lessing

FELICIA BIHR

Neben der philosophischen Kursarbeit widmeten wir uns auch der Theatertheorie und ihrer historischen Entwicklung. Dabei lag der Fokus auf drei Theatertheoretikern – Aristoteles, Lessing und Brecht –, welche die Theaterwelt nachhaltig prägten und veränderten.

Zunächst befassten wir uns erneut mit dem griechischen Universalgelehrten **Aristoteles**, der um 335 v. Chr. mit der „Poetik“ das erste Werk der Theatertheorie überhaupt verfasste. Darin unterschied er zwischen Epos, Komödie und Tragödie, was die Systematik seines Ansatzes verdeutlicht. Zudem analysierte er die Struktur und Wirkung der Dichtung, wobei insbesondere die Tragödie in den Blick genommen wurde.

Für Aristoteles stand die Dichtung als Nachahmung menschlichen Handelns (*Mimesis*) – und nicht bloß als Abbild der Wirklichkeit – im Mittelpunkt des Theaters. Es ging ihm um eine strukturierte, künstlerische Darstellung menschlicher Handlungen, Emotionen und Charaktere. Zudem sollte die Tragödie beim Publikum eine Reinigung der Gefühle (*Katharsis*) hervorrufen, indem Mitleid (*Eleos*) und

Furcht (*Phobos*) erregt und verarbeitet werden. Doch jenseits der psychischen Entlastung konnte die *Katharsis* auch als intellektueller Lernprozess verstanden werden. Die Erfahrung einer Tragödie erfordere eine Auseinandersetzung mit komplexen moralischen Fragestellungen. Der Zuschauer werde dazu angeregt, über das Dargestellte nachzudenken, es zu reflektieren und schließlich auf eigene Lebenssituationen zu übertragen. Dieser Prozess sei nicht nur emotional, sondern auch kognitiv: Das Publikum lerne, sowohl mitzufühlen als auch mitzudenken.

Aristoteles entwickelte außerdem eine klare Struktur des Dramas mit Anfang, Mitte und Ende, um die Einheit der Handlung zu gewährleisten. Das Theaterstück sollte eine in sich geschlossene, zusammenhängende und logisch aufgebaute Handlung besitzen. Alles, was gezeigt wurde, musste zur Entwicklung dieser zentralen Handlung beitragen; Nebenhandlungen oder überflüssige Episoden lehnte Aristoteles ab. Eine Einheit von Ort und Zeit erwähnte er allerdings nicht ausdrücklich als Regel. Typische Themen wie Schicksal, Schuld, göttliche Einflüsse sowie moralische Konflikte wurden durch Könige, Helden und mythische Figuren dargestellt.

Darüber hinaus unterschied Aristoteles sechs Bestandteile der Tragödie, die man heute als „qualitative Teile“ bezeichnet: Handlung (*Mythos*), Charakter (*Ethos*), Gedanke (*Dianoia*), Sprache (*Lexis*), Gesang (*Melos*) und Schaubild bzw. Inszenierung (*Opsis*). Für den Philosophen stand die Handlung (*Mythos*) im Mittelpunkt, während die übrigen Bestandteile eine untergeordnete Rolle spielten.

Die aristotelischen Prinzipien wurden durch **Gotthold Ephraim Lessing** (1729–1781) in den Kontext der bürgerlichen Aufklärung übertragen. Mit der „Hamburgischen Dramaturgie“ – einem der bedeutendsten Werke der deutschen Literatur- und Theatergeschichte – verfolgte Lessing das Ziel, das Theater seiner Zeit grundlegend zu reformieren. Dabei griff er auf Aristoteles zurück und nutzte dessen Theorien als Argumentationsgrundlage gegen die französische Klassik (bspw. Corneille, Racine), die sich strikt an die Einheit von Ort, Zeit und Hand-

lung hielt. Lessing folgte dem griechischen Universalgelehrten zwar in zentralen Punkten, betonte jedoch, dass die Einheit von Ort und Zeit nicht zwingend erforderlich seien, solange die Handlung in sich stimmig bleibe. Auf diese Weise orientierte er sich an Aristoteles, nahm aber entscheidende Verschiebungen in der theoretischen Ausrichtung vor.



Gotthold Ephraim Lessing<sup>7</sup>

Die *Katharsis* wurde in Lessings Werk nicht mehr als bloße Reinigung oder Entladung von Affekten verstanden, sondern als Erziehung der moralischen Empfindungen. Er berief sich somit auf das aristotelische Modell, humanisierte jedoch dessen Bedeutung. Das Theater sollte die Fähigkeit zum Mitleid im Zuschauer wecken und stärken. Damit rückte das Mitleid an die Stelle der aristotelischen Spannung von Furcht und Mitleid als zentrale Emotion und wurde zur zentralen bürgerlichen Tugend.

Zugleich löste sich Lessing von der ständischen Begrenzung der Tragödie, die in der Antike Königen, Helden und mythischen Figuren vorbehalten war. Er ersetzte das heroische Pathos der Antike durch die moralische Sensibilität des Bürgertums und zeigte gewöhnliche Menschen – meist aus dem mittleren Stand – in moralischen Konflikten. Damit eröffnete er den Weg zum bürgerlichen Trauerspiel, wie es sich etwa in „Miss Sara Sampson“ und „Emilia Galotti“ zeigt. Hier können Menschen aus dem Bürger-

<sup>7</sup>Abb.: Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.

tum als tragische Figuren auftreten, weil moralische Größe nicht länger im gesellschaftlichen Rang, sondern in der Menschlichkeit begründet lag.

Auf diese Weise wurde die aristotelische Theorie der Tragödie, die ursprünglich eine bestimmte Form beschrieb, bei Lessing zu einer normativen Theorie des Theaters, das im Sinne der Aufklärung eine erzieherische Funktion erfüllte. Das Theater sollte das Publikum nicht nur erschüttern, sondern auch moralisch bilden, indem es Empathie und Mitgefühl einübt. Während Lessing den Aspekt moralischer Bildung betonte, erweiterte Bertolt Brecht diesen erzieherischen Anspruch später um politische und gesellschaftliche Dimensionen.

## Bertolt Brecht

GOTTLIEB DAMJAN SCHACHNER

Mit seiner Theorie des „epischen Theaters“ entwickelte Bertolt Brecht, einer der einflussreichsten Theatertheoretiker des 20. Jahrhunderts, eine grundlegend neue Theaterform, wie er sie in seinem „Kleinen Organon für das Theater“ darlegte. Diese grenzt sich bewusst sowohl von den Vorstellungen Lessings als auch vom traditionellen, aristotelischen Dramenmodell ab.

Im Gegensatz zum klassischen Theater, das nach Aristoteles auf eine *Katharsis* abzielte und die Identifikation des Publikums mit den Figuren anstrebte, verfolgte Brecht mit seinem epischen Theater ein entgegengesetztes Ziel: Statt emotionaler Einfühlung sollte das Publikum eine kritische Distanz zum Bühnengeschehen wahren.

Ein zentrales Mittel hierfür sind die sogenannten Verfremdungseffekte, auch als V-Effekte bezeichnet. Durch gezielte Brechungen der Illusion – etwa durch eingeschobene Lieder oder den Durchbruch der „vierten Wand“, bei dem Figuren das Publikum direkt ansprechen – verhindert Brecht, dass sich die Zuschauerinnen und Zuschauer zu stark in die Figuren einfühlen oder sich in der Handlung verlieren. Stattdessen sollen sie das Geschehen analytisch und reflektierend betrachten.

Auch auf struktureller Ebene grenzte sich das epische Theater vom traditionellen Theater ab.

Statt einer geschlossenen Handlung bevorzugte Brecht eine montierte Form, die aus lose miteinander verbundenen Episoden bestand. Die episodenhafte Struktur, die häufig durch Kommentare oder Zwischen spiele unterbrochen wird, widerspricht bewusst der aristotelischen Vorstellung eines einheitlichen Handlungsverlaufs. Durch die Aufspaltung in einzelne, abgeschlossene Szenen sollte das Publikum jede Episode isoliert betrachten und deren gesellschaftliche Aussage kritisch hinterfragen können.



Der Vorhang zu und alle Fragen offen

Im Stück „Der gute Mensch von Sezuan“ setzte Brecht seine Theaterkonzeption exemplarisch um – etwa in den Ortswechseln der Zwischen spiele, in denen die Götter den Wasserverkäufer Wang unter einer Brücke aufsuchen.

Brecht verstand das Theater nicht bloß als Mittel der Unterhaltung, sondern als Instrument politischer und gesellschaftlicher Veränderung sowie der Aufklärung. Die Bühne sollte zum Ort gesellschaftskritischer Reflexion werden, an dem Missstände nicht nur dargestellt, sondern in ihrer Veränderbarkeit sichtbar gemacht werden.

Die Wirkung seiner Theorie reicht bis in die Gegenwart: Sie hat die Theatergeschichte nachhaltig geprägt und beeinflusst bis heute moderne Theaterformen weltweit – insbesondere im Bereich des politischen und dokumentarischen Theaters.

## Praxisarbeit

KIM ZOE FRANK, HANNAH MITLACHER

Ein wesentlicher Teil unseres Kurses war die Theaterpraxis. Unter Thorstens Leitung inszenierten wir unser Stück. Bereits am Eröffnungswochenende erhielten wir unsere Rollen, sodass wir frühzeitig in die Rollenarbeit und Textanalyse einsteigen konnten. Da es über zwei Stunden dauerte, das gesamte Stück aufzuführen, bemühte sich Thorsten, es so weit wie möglich zu kürzen, ohne dass dabei wichtige Elemente verloren gingen. Diese Kürzung erforderte dramaturgische Entscheidungen, deren finale Strichfassung wir im Sommer erhielten. Unsere Kostüme stimmten wir zwischen dem Eröffnungswochenende und dem Sommer ab.

Größtenteils sollten wir „zerrissene“ Alltagskleidung tragen, um einen optischen Bezug zur heutigen Zeit herzustellen und zu verdeutlichen, dass das Thema auch heute noch aktuell ist. Die Götter sollten als Gegensatz einfarbig gekleidet sein und verspiegelte Sonnenbrillen tragen. Shen Te weißes Kostüm symbolisierte Unschuld, während Shui Ta als ihr Gegenpart in Schwarz auftrat. Damit unterstrichen die Kostüme den moralischen Dualismus zwischen Gut und Böse.



Shen Te und Shui Ta

Ein wichtiger Bestandteil der Theaterpraxis waren Theaterspiele, die wir regelmäßig spielten, um Atemtechnik, Artikulation und Bühnenpräsenz zu fördern. Mit dem Spiel „HaSuKa“, bei dem man die jeweilige Silbe so laut wie möglich rufen muss, trainierten wir unsere Stimme. Dabei lernten wir, laut zu sprechen, oh-

ne die Stimmbänder zu überlasten oder heiser zu werden. Entscheidend ist hierbei die Zwerchfell- bzw. Bauchatmung anstelle der flachen Brustatmung – ein theaterpädagogisches Grundprinzip.

Durch Improvisationstheater verbesserten wir unser Auftreten, unsere Spontanität und unsere Haltung. Spontane Textintegrationen förderten unsere Flexibilität, Reaktionsfähigkeit und sprachliche Kreativität im theatralen Kontext.

In einer weiteren Übung wurden Aufreten und Wirkung geschult: Jede Person erhielt eine Spielkarte und sollte anhand ihres Werts den gesellschaftlichen Stand darstellen. Diese Übung stellte eine Verbindung zu unserem Stück her, da wir so Brechts Gesellschaftskritik praktisch erfahrbar machten. Brecht kritisierte unter anderem den Kapitalismus als Ursache sozialer Ungleichheit, also die Ausbeutung des Proletariats (niedriger Kartenwert) durch die Bourgeoisie (hoher Kartenwert).

Unsere erste Probe war die Leseprobe. Dabei lasen wir den Text in unseren jeweiligen Rollen und gewannen so einen ersten Eindruck von der Länge des Stücks. Thorsten erklärte, wie er sich die Stimmung einzelner Szenen – beispielsweise in der Fabrik – vorstellte. Die Leseprobe unterstützte uns bei der Texteignung und ermöglichte eine gemeinsame Interpretation der Figureneinführung.



Probe mit Textheften

Darauf folgte die Stellprobe, die der Bühnenbildgestaltung diente. Ziel war es, einen Über-

blick darüber zu erhalten, wo wir die Bühne betreten, an welcher Stelle wir abgehen und wie wir uns auf der Bühne bewegen sollten. Thorsten als Regisseur verglich die Bühnenanordnung mit einem riesigen Puppenhaus, in dem er alle Schauspielerinnen und Schauspieler so positionierte, dass ein stimmiges Bühnenbild entstand. Damit betonte er die visuelle Komposition des Raumes.

Nach einiger Zeit spürten wir, wie wir uns mit unseren Rollen identifizierten und schließlich nicht mehr sagten: „Ich spiele xy“, sondern mit voller Überzeugung: „Ich bin xy“. Dieser Prozess beschreibt die Vertiefung der Rollenarbeit im Sinne des methodischen Schauspielens.



Bei der Durchlaufprobe

Einen Tag vor der Aufführung absolvierten wir die Generalprobe. Im professionellen Theaterprozess bezeichnet die Generalprobe die letzte vollständige Durchlaufprobe eines Bühnenstücks vor der Premiere. Sie ist damit ein zentraler Bestandteil der Entstehung eines Theaterstücks.

Als der große Tag gekommen war, mischten sich Aufregung und Freude – der emotionale Höhepunkt unseres Lernprozesses war erreicht. Unsere Kursleiter wünschten uns viel Spaß beim letzten Spiel des Stücks, denn unsere Premiere war zugleich auch die Derniere.

Wir sind als Theatergruppe unglaublich zusammengewachsen und haben nicht nur über das Theater und das Schauspielen viel gelernt, sondern auch über das Miteinander, den Zusammenhalt und uns selbst. Das gemeinsame Theatererlebnis stärkte unsere sozialen Kompetenzen und unsere Fähigkeit zur Selbstreflexion.

Alles in allem war es eine großartige Erfahrung und eine unvergessliche Zeit. Der Kurs verband künstlerische und persönliche Entwicklung auf besondere Weise.



Üben der Choreografie

## Exkursion

RAPHAEL SCHÖNBORN

Diese Gemeinschaft zeigte sich auch an unserem Exkursionstag, an dem wir viele gemeinsame Erlebnisse und Erinnerungen sammelten. Wir besuchten die Eberstadter Tropfsteinhöhle, wo wir uns intensiv mit dem berühmten Höhengleichnis des griechischen Philosophen Platon beschäftigten. Das Gleichnis veranschaulicht Platons Gedanken vom Weg des Menschen aus der Unwissenheit zur wahren Erkenntnis. Am Ende dieses Weges steht laut Platon „die Idee des Guten“, also das höchste Ziel allen Erkennens und die Grundlage für ein gutes und gecktes Leben.

Zu Beginn befinden sich die Menschen im Gleichnis gefesselt in einer Höhle. Sie können nur auf eine Wand schauen und ihre Blickrichtung nicht verändern. Auf diese Wand wirft ein Feuer Schatten von Menschen und Gegenständen, die hinter ihnen vorbeigehen. Da die Gefesselten nur diese Schatten sehen, halten sie sie für die Wirklichkeit. Sie deuten die Schattenbilder, stellen also eine Vermutung an, und glauben, sie entsprächen der realen Welt – ein Bild für unsere alltäglichen Vorstellungen, die oft nur Abbilder der Wahrheit sind.

Im nächsten Schritt wird ein Mensch von den Fesseln befreit und in einen oberen Teil der Höhle geführt. Dort kann er die wirklichen

Menschen und Gegenstände sehen, die er davor nur als Schatten wahrnehmen konnte. Allerdings blendet ihn die Helligkeit zunächst und er verlässt daher seinen gewohnten Aufenthaltsort in der Höhle nur widerwillig. Mit der Zeit aber gewöhnt er sich an das Licht und kann die Dinge klarer erkennen – eine erste Erfahrung echter Erkenntnis.



Exkursion in der Eberstadter Tropfsteinhöhle

Anschließend wird der gleiche Mensch mit Nachdruck zum Ausgang der Höhle gebracht und wird dort wieder vom Licht geblendet, dieses Mal vom Sonnenlicht. So erkennt er zuerst die Schatten am Boden und Spiegelungen im Wasser. Jedoch stammen diese von natürlichen Dingen und nicht von künstlichen Gegenständen. Diese Stufe nennt Platon Verstand. Dabei befindet sich der Mensch nicht mehr im Bereich der sinnlichen Wahrnehmung, sondern beginnt, denkend zu erkennen.

Auf der höchsten Stufe, der Einsicht, sieht der Mensch die Gegenstände im Licht der Sonne, so wie sie wirklich sind. Die Sonne steht dabei sinnbildlich für die Idee des Guten, die alles Erkennen ermöglicht und das Ziel aller Erkenntnis darstellt.

Der Weg bis zur Einsicht ist lang, mühsam und herausfordernd. Deshalb geht ihn der Mensch laut Platon nicht freiwillig, sondern es bedarf eines unausweichlichen Zwanges. Dieser wird von einem Philosophen ausgeübt, dessen Aufgabe es ist, anderen Menschen den Weg zur Erkenntnis und damit zur Wahrheit aufzuzeigen. Weil der Philosoph die höchste Erkenntnis erreicht hat, ist nach Platon auch nur der Philosoph fähig, einen Staat gerecht zu regieren.

Womit wir dann wieder bei unserem Thema des Kurses angelangt waren, was einen guten Menschen beziehungsweise moralisches Handeln ausmacht. Wenn nur der Philosoph zur höchsten Erkenntnis gelangen kann, ergibt sich daraus auch eine besondere Verantwortung für sein Handeln gegenüber der Gemeinschaft.

Um Platons Gleichnis besser nachvollziehen zu können, spielten wir die erste Stufe des Gleichnisses nach. Dabei versuchten wir, anhand von Schatten Gegenstände zu identifizieren – etwa einen Fisch oder eine Vase. Wir stellten fest, dass wir dies nur aufgrund bestimmter Merkmale tun konnten, die wir aus Erfahrung mit diesen Objekten verbanden. Dieser praktische Zugang verdeutlichte uns, wie sehr unser Wissen von Deutungen abhängt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass uns der Exkursionstag half, Platons Gedanken nicht nur theoretisch zu verstehen, sondern auch sinnlich erfahrbar zu machen. Er zeigte uns, wie Erkenntnisprozesse ablaufen können und dass wahres Wissen oft erst durch einen langen, mühsamen Weg erreicht wird – ein Gedanke, der auch für unser eigenes Lernen und unser Nachdenken über ein gutes Leben eine wichtige Rolle spielte.

## Fazit

VALENTINA BAUER, OSCAR KUCH

Am Ende fragt man sich natürlich immer, was man aus einem Ereignis wie der Akademie mitnimmt. Zunächst einmal lässt sich sagen, dass die Akademie einfach ein wundervolles Erlebnis war. Natürlich haben wir wahnsinnig viel gelernt – aber das ist nicht das Entscheidende, was wir aus dieser Zeit mitnehmen. Denn die Akademie besteht nicht nur aus der Ausstattung, dem Lernstoff oder den Aktivitäten, sondern vor allem aus den Menschen.

Aus ihr konnten wir eine Gemeinschaft mitnehmen, die von nahezu grenzenloser Akzeptanz, viel Spaß und einem beeindruckenden Zusammenhalt geprägt ist. Besonders im Kurs sind wir zu einer kleinen „Familie“ zusammengewachsen. Durch das gemeinsame Lernen, das alle mit Begeisterung angingen, sowie durch die

vielen interessierten und differenzierten Meinungen entstand eine Art Schwarmintelligenz, die uns gegenseitig weiterbrachte, das Lernen beschleunigte und niemals langweilig werden ließ. Alle waren hilfsbereit und gaben uns als Gemeinschaft ein großes Gefühl von Sicherheit.

Diese Verbindung – in Kombination mit den Inhalten unseres Kurses – brachte bei uns allen neue Stärken zum Vorschein. Für viele war mindestens einer der beiden Bereiche, entweder das Philosophieren oder das Theaterspielen, Neuland. Ob beim Überwinden der eigenen Schüchternheit auf der Bühne oder beim Hinterfragen philosophischer Theorien – wir alle sind über uns hinausgewachsen.



Voller Einsatz beim Sportfest

Natürlich gab es auch hitzigere und emotionale Diskussionen, in denen wir einsehen mussten, dass es nicht immer leicht ist, Kompromisse einzugehen (oder überhaupt einen zu finden). Auch der Stress war nicht zu unterschätzen – besonders in den Tagen vor den Präsentationen und der Abschlussaufführung, als der Schlaf drastisch zurückging. Vielleicht lag das auch ein bisschen an den regelmäßigen Festen auf dem Akademiegelände. Jedoch nahmen unsere kognitiven und kreativen Fähigkeiten trotz Schlafmangels stetig zu.

Abschließend – und das gilt wohl für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Akademie – können wir sagen: Die Akademie hat uns einen Raum geboten, der uns ganz im Hier und Jetzt leben ließ.

## Über uns

### **Charlotte:**

#MiTzü-Großvater  
#WerGottliebWerRaphael  
#Gaga  
#international  
#LächeltNie  
#HaSuKaChamp

### **Felicia:**

#SchreinerLinTo-FrauYang  
#Bayrerin  
#ähmLeudis  
#DasStehtMirNicht  
#DUHUND  
#SnapchatRoaster

### **Gottlieb Damjan:**

#Sun  
#arbeitslos  
#GottliebEphraimLessing  
#SiehtAusWieRaphael  
#KeineEhrlicheArbeit  
#Altgrieche

### **Hannah:**

#Polizistin-Aufseher-Teppichhändlerin  
#ZukünftigeBestsellerautorin  
#Hundefussball  
#Biotasse  
#AlleAbgeschleppt  
#GibMirMehr(Bühnenzeit)

### **Kim Zoe:**

#DieSchwägerin-derArbeitslose-  
derAbgerisseneMann-DerMannDieFrau  
#Französische Lieder  
#Kimsten  
#Nachzüglerin  
#StanisEndgegnerin  
#StilleWasserSindTief

**Letizia:**

#ShenTe  
#DieStrahlende  
#Kanada  
#TeamNavy  
#DerKranich  
#IstImRucksack

**Stani:**

#ShuiTa  
#Maschine  
#Alpha  
#VortragsGOAT  
#HerrDschinStandDahintenUndLachte  
#DasCrazy

**Lotta:**

#Shin  
#WillNeChoreo  
#Missioniert15%desKursesZumVeganSein  
#RationiertIhreColaÜberZweiWochen  
#MusicalMensch  
#Tischtennislegende(nicht)

**Valentina:**

#Gott1  
#Wuuuhuu  
#Würde!  
#Gruppenumarmung  
#Schuppenhauer  
#BROZZ

**Oscar:**

#Wang  
#ImmerGutDrauf  
#GebrocheneHand-GebrochenesHerz  
#Motivationscoach  
#GrößterReligionskritiker  
#BROZZ

**Sara:**

#RettungInDerNot  
#GemüseSchnipplerin  
#UngesundeSnacks  
#verschlafen  
#BestickerterComputer  
#Sportfestmaschine  
#GroßeSchwester

**Raphael Sch.:**

#ShuFu-DerBarbier-DerNeffe  
#DerTänzer  
#DerKnochenbrecher  
#Schlappen  
#Ab  
#KeinShakespeare

**Thorsten:**

#Werbeopfer(Holy)  
#ThorstenMachtThorsten-Dinge  
#Kimsten  
#Süßigkeitenhasser  
#IronieOderDochNicht?  
#EinerMussJa  
#Papa

**Raphael Sp.:**

#Gott2  
#SiehtAusWieGottlieb  
#ImmerAmEssen  
#IhrBrechtIchMarx  
#IchSchreiDochNicht  
#Krümelmonster

**Nadia:**

#Großartig  
#LetzteHoffnung  
#KrasseComputerskills  
#EinerMeinerLieblingsphilosophen  
#„Sarkasmus“  
#LaufenderDecken/KissenBerg  
#Mama

**Sarina:**

#Gott3  
#KrassePoetin  
#Umarmungen  
#ZuSpät  
#ZuFrüh  
#Aura

## Insider

Ungesunde Snacks gibt es erst, wenn ihr mental gebrochen seid!

Sorry, ich hatte einfach nur schlechtes Gras.

Ach Islamisten – die können wir resozialisieren!

Für was brauchen wir einen Pastor, wir haben doch einen Clown?

Aristoteles hätte unser Stück gehasst – und das ist gut so!

Das war mein zustimmender Stift.

Falsche Frau! Kann passieren – merk dir, in welche Frau du verliebt bist!

Schopenhauer – was ein Opfer!

Handle stets nach derjenigen Maxime, nach der Nadia glücklich ist und Thorsten nicht!

Wo ist Sara? – Im Unterzucker!

Oscar, geh auf die Dame!

Nietzsche sagt nein!





# Kurs 6 – Physik: Wie nutzen wir die Sonnenenergie am besten?



## Unser Kurs

**Avi** war nicht nur gefühlt in jeder einzelnen Sport-KüA, sondern war auch im Kurs immer ganz vorne mit dabei. Sie lässt ein Thema nicht auf sich ruhen, bis sie es komplett verstanden hat und kann ihre Erkenntnisse dann auch super erklären. Darüber hinaus ist sie zusammen mit Daphne unsere Expertin für das Programm, in welches sie sehr viel Zeit und Mühe gesteckt hat.

**Daniel** verbreitete von Anfang an immer Ruhe und gute Laune und wir haben ihm einige unserer Zitate zu verdanken, zum Beispiel findet er Dinge häufig ganz schön tuff. Nachdem er zu Beginn mit Jonas den Schaltplan entworfen hatte, war er Teil des Modellie-

rungsteams und half viel beim Löten, auch nachdem ihm dabei jemand den Finger verbrannt hatte.

**Daphne** – abgesehen davon, dass sie immer super motiviert morgens in den Raum gekommen ist und sich um das Arduinoprogramm gekümmert hat, war sie die einzige, die den Schaltplan am Ende wirklich verstanden hat. So konnte sie uns beim Zusammenlöten am letzten Tag dirigieren, damit am Ende nicht wegen eines falsch gelöteten Kabels nichts funktioniert.

**Eva** hat besonders bei den Experimenten vollen Einsatz gezeigt: Gemeinsam mit Lea nahm sie mit beeindruckender Geduld und Genauigkeit ganze 124 Datenpunkte für eine einzige Kennlinie auf. Auch in der Krei-

sel-KüA stellte sie ihr experimentelles Geschick unter Beweis und baute rekordverdächtige fünf Kreisel zusammen. In den Kurspausen sorgte sie als treuer Freiburg-Fan außerdem immer wieder für spannende Diskussionen.



**Franzi** bewahrt immer einen kühlen Kopf. Wenn es mal chaotisch wird, hat sie keine Scheu davor, für Ordnung zu sorgen. Dabei lässt sie aber Raum für andere Meinungen und ist immer offen für Alles. Mit Halbwissen gibt sie sich nicht zufrieden und fragt bei Unklarheiten immer nach, was sie zu einer sehr verlässlichen Anlaufstelle für Fragen macht. Bei der Projektarbeit arbeitete sie in mehreren Bereichen. Ob 3D-Modellierung oder Programm – man kann immer auf sie zählen.

**Jara** gibt es eigentlich nur im Doppelpack zusammen mit Svea (ein echtes Dreamteam), die Musikbox gehörte allerdings ihr. Besonders während der Präsentation merkten wir, wie super sie erklären kann, aber auch im Kurs brachte sie sich immer motiviert ein. In der Gruppenarbeit beteiligte sie sich am meisten beim 3D-Modellieren und war dort eine große Hilfe.

**Jonas** war von Anfang an investiert. Mit einer realistischen Sicht auf unser Projekt und

Expertise in Sachen Programmieren und 3D-Druck gab er ehrliche Kritik und ersparte der Planung viele Probleme. Während sich beim Arbeiten der Ausdruck von Motivation und Optimismus in Grenzen hielt, kriegte er in der entspannten Atmosphäre, für die er immer sorgte, (und manchmal mit etwas Hilfe aus dem Ausland) alles geschafft.

**Konstantin** war an allen Schritten für den physischen Teil des Solartrackers mehr als beteiligt. Zudem hat er ein enormes Wissen über Programmierung und 3D-Druck. Wenn wir mal nicht weiterkamen oder ein Problem hatten, war Konstantin zur Stelle, er war fast wie ein zweiter Schülermentor. Aber nicht nur in unserem Physikkurs „lieferte“ er, sondern auch in der BROZZ-Band sorgte er mit seiner Trompete für gute Stimmung.

**Lea** war, was Kennlinien und Experimente sowie Versuchsaufbauten angeht, immer höchst motiviert am Start. Sie war von den Kennlinien so begeistert, dass sie am liebsten die Präsentationen allein darüber gehalten hätten. Gemeinsam mit Eva hat sie ihre ganze Energie in die Kennlinien und in die Aufnahme der insgesamt über 200 Datenpunkte gesteckt. Während der Theorie-Phasen beeindruckt Lea mit ihrem tiefen Verständnis.

**Niklas** entdeckte während der zwei Akademiewochen in Adelsheim seine Leidenschaft für die 3D-Modellierung. Wir konnten ihn mit allen Fragen zu den technischen Details unserer 3D-Modelle löchern, außer er war mal nicht im Kursraum, weil er einen seiner zahlreichen Gänge zum 3D-Drucker absolvierte. Außerdem lockert Niklas mit seiner Ruhe und seinem Humor jede Arbeitsatmosphäre auf.

**Philipp** zeigte nicht nur in unseren Theorie-Phasen durch sein aktives Mitdenken seine Begeisterung für verschiedene physikalische Themen, sondern auch, indem er sich während der praktischen Arbeit nicht nehmen ließ, die Aufgaben jeder einzelnen Gruppe zu verstehen und mitzuhelfen. Philipp, oder auch Hanz-Günther, ist immer für einen Spaß zu haben. In den Pausen unserer Kurs-

arbeit war der treue Fan unserer Teeküche begeistert am Knobeln der magischen Zahlen.

**Svea** – ohne sie wäre der Kurs viel zu langweilig gewesen. Sie verbreitete immer gute Laune und brachte viele von uns zum Lachen. Mit ihrer Musikbox sorgte sie immer für gute Musik während den Arbeitsphasen, aber auch während unserer Exkursion in Stuttgart. Manchmal hatte Svea auch etwas zu viel Energie, aber sie war ein essentieller Teil unserer Kurses und hatte immer besonders kreative Ideen.

**Tom** ist der Sportliche in unserem Kurs. Nicht nur, dass er regelmäßig beim Frühsport am Joggen teilgenommen hat, sondern er lief auch den größten Teil der Kursschiene von den Kursräumen zum 3D-Druckraum – denn er war dafür zuständig, dass die fertig modellierten Teile unseres Solartrackers gedruckt wurden. Er ist stets gut gelaunt, zeigt hohe Motivation und nimmt auch größere Herausforderungen mit Engagement an.

**Emilia** – ein wahres Genie – übte ihre Rolle als Schülermentorin perfekt aus, und neben Erklärungen und Beiträgen zum Kursthema hielt sie uns auch dauerhaft durch die verschiedensten Teambuilding-Spiele bei guter Laune, was bei manchen unserer Herausforderungen eine echte Meisterleistung war. Emilia unterstützte uns nicht nur bei der Arbeit im Kurs, sondern auch bei der Suche nach funktionierenden Laptops, was erstaunlicherweise eine herausfordernde Aufgabe darstellte. Im Gegenzug beschützten wir sie weitestgehend vor Lorenz Wäscheklammern. Ebenfalls versorgte Emilia uns immerzu mit lebenswichtigem Gemüse und machte unsere Zeit auf der Science Academy zu einem unvergesslichen Erlebnis.

**Lorenz** war nicht nur unser Kursleiter, er war die gute Laune in Person und sorgte so jeden Tag für gute Stimmung im Kurs. Darauf hinaus hat er es geschafft, in den zwei Wochen eine echte Gemeinschaft im Kurs zu schaffen, in der sich jeder wohlfühlen konnte. Vor ihm und seinen Wäscheklammern galt allerdings ständige Vorsicht, da

man ansonsten schneller im Besitz von einer war, als man gucken konnte. Egal, was für eine Frage man hatte, Lorenz nahm sich stets die Zeit, sie geduldig und verständlich zu beantworten. Seine Begeisterung für unser Projekt war deutlich spürbar. Kurz gesagt: Ein Kursleiter, wie man ihn sich nur wünschen kann.



**Ole** war stets ein äußerst optimistischer und hilfsbereiter Kursleiter. Wann immer eine Website oder ein Programm nicht wie gewünscht funktionierte – was durchaus öfter vorkam – war Ole zur Stelle, um uns zu unterstützen. Seine Begeisterung für unser Projekt zeigte sich nicht zuletzt daran, dass er regelmäßig seine Mittagspause im 3D-Druckraum verbrachte, um dem Drucker zu signalisieren, das Richtige zu drucken. Als unser Projekt schließlich fertig war, sah man Ole förmlich die Freude und den Stolz an – sein breites Lächeln hielt vermutlich nicht nur für den Rest des Tages, sondern auch für den Rest der Akademie und darüber hinaus an. Nicht nur unser Projekt konnte Ole begeistern, sondern auch der Geschmack von Bananen. Man konnte sich sicher sein: Wenn es irgendwo Bananen gab, war Ole nicht weit. Und sonst hatte er welche dabei.

## Vorwort

EMILIA SOMMER

„Licht rein, Strom raus – wir gewinnen, Punkt, aus!“ So simpel wie möglich erklärt der erste Teil unseres Sportfest-Schlachtrufs das Prinzip einer Solarzelle, das wir in den zwei Wochen genauer verstehen und optimieren wollten. In den ersten Tagen in Adelsheim lernte der Physikkurs die Funktionsweise einer Solarzelle kennen. In Theorie und Praxis beschäftigten wir uns unter anderem mit dem Photoeffekt, dem Planckschen Wirkungsquantum, Halbleitern und den Bedingungen für die maximale Leistung einer Solarzelle.

Gerüstet mit diesem Wissen ging es an die Planung unseres eigenen Projekts. Im bald zur Routine gewordenen Halbkreis saßen wir alle um unsere Planungsstellwände herum, entwickelten und diskutierten Ideen und teilten uns schließlich die Arbeit auf.

Unser Ziel war ein sogenannter Solartracker, der die Solarzellen stets orthogonal zu den Sonnenstrahlen ausrichtet, sodass das einfallende Sonnenlicht optimal genutzt werden kann. Auf unserer Expedition zum funktionierenden Solartracker lief natürlich nicht alles sofort rund. Ob 3D-Druck, Programmierung oder Schaltung: Der Kurs meisterte gemeinsam jeden Fehldruck, jede Code-Fehlermeldung und jedes falsch gesteckte Kabel.

Zwischendurch stärkten wir uns in unserer Teeküche, auch Nervennahrung und die beliebten regelmäßigen Stimmungsbilder durften als Motivation nicht fehlen. Als der fertig gebaute Solartracker nach zwei Wochen jeder Bewegung des Baustrahlers vorbildlich folgte, konnten wir stolz auf unsere zweiwöchige Physik-Expedition zurückblicken.

## Der Photoeffekt

ANNE-VICTORIA ENANG SENGE

Schon recht am Anfang der Sommerakademie statteten wir uns mit der nötigen Theorie aus, um die Funktionsweise einer Solarzelle zu verstehen. Ein physikalischer Vorgang, der uns durch diese Zeit begleitete, war der Photoeffekt.

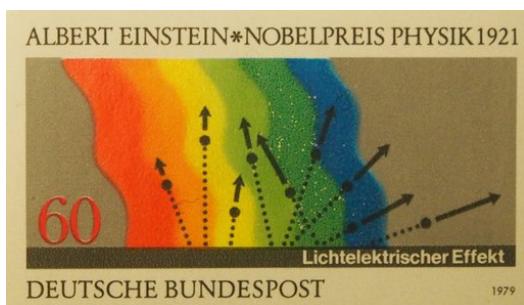
Der Photoeffekt ist ein physikalischer Vorgang, an dem sich viele renommierte Physiker den Kopf zerbrachen. Wilhelm Hallwachs und Heinrich Hertz beobachteten den Photoeffekt in Versuchen schon im 19. Jahrhundert. Erklären konnte ihn erst Albert Einstein 1905 und erhielt dafür im Jahr 1921 den Nobelpreis. Die Erklärung lautet wie folgt: Energieriche Photonen sind in der Lage, Elektronen aus einer Metalloberfläche zu lösen. Besonders war, dass Einstein die Beobachtungen erklären konnte, indem er das Licht als Strom von Energiepaketen, sogenannten Lichtquanten, beschrieb. Damit führte er den Teilchencharakter des Lichts ein und legte einen Grundstein für die Quantenphysik.



Versuchsaufbau zum Hallwachsversuch.

Auch wir beschäftigten uns im Physikkurs mit diesem Thema. Den Einstieg hierzu machte der Hallwachsversuch. Bei diesem Versuch lädt man ein Elektroskop negativ auf, indem man mit einem Stab, der zuvor mit einem Stück Fell elektrostatisch aufgeladen wurde, Elektronen über eine Zinkplatte auf das Elektroskop überträgt. Dies führt dazu, dass der Zeiger des Elektroskops ausschlägt, so kann mit dem Elektroskop Ladung nachgewiesen werden. Da man aber die Ladung, also ob positive oder negative Ladung vorliegt, beim Elektroskop nicht unterscheiden kann, weil in beiden Fällen der Zeiger ausschlägt, beschäftigten wir uns noch kurz mit den Elektronegativitäten von Materialien. Dadurch, dass Plastik eine höhere Elektronegativität als Fell hat, konnten wir darauf schließen, dass der Stab negativ aufgeladen ist und so auch negative Ladungsträger auf das Elektroskop überträgt. Anschließend wird die Zinkplatte mit einer Halogenlampe bestrahlt und nach kurzer Zeit beginnt der Zeiger des Elektroskops, sich zurückzubewegen: Das Elektroskop entlädt

sich. Nun war es unsere Aufgabe, darüber zu grübeln, was passiert war. Dabei kamen alle möglichen Theorien auf. Wir veränderten den Abstand der Lampe zum Elektroskop, doch der Effekt blieb derselbe: Das Elektroskop entlud sich, wenn auch langsamer. So konnten wir darauf schließen, dass die Intensität des Lichts keine Auswirkung auf den Effekt hatte. Also versuchten wir es mit anderen Lampen, um herauszufinden, ob dies einen Unterschied machen würde, und mussten hierbei feststellen, dass das Elektroskop sich nicht entlud. Es gab nämlich etwas Gravierendes, das die Halogenlampe von den anderen Lampen unterschied, und zwar die Wellenlängen, die sie ausstrahlte. Halogenlampen strahlen nämlich unter anderem UV-Licht aus. Dieses ist hochfrequent und kurzwellig. Um den Photoeffekt besser erklären zu können, hilft es, sich das Licht in Form eines Teilchenanstatt eines Wellenmodells vorzustellen. Es ist schwerer vorstellbar, da Licht keine Masse hat und sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen kann. Dennoch, wenn man sich die Energie im Licht als kleine Energiepakete, sogenannte Photonen, vorstellt, wird klarer, warum dieser Effekt überhaupt auftritt.



Briefmarke, die den Photoeffekt darstellt.<sup>1</sup>

Damit Licht nun also Elektronen aus einer Oberfläche lösen kann, müssen die Photonen darin genug Energie  $E_P$  haben. Ein Teil dieser Energie ist für die Elektronen notwendig, um aus dem Metall auszutreten und wird Austrittsarbeit  $W_{e^-}$  genannt. Daraufhin können sich die Elektronen mit der Bewegungsenergie  $E_{e^-}$  frei bewegen. Daraus ergibt sich der Zusammenhang:

$$E_P = W_{e^-} + E_{e^-} .$$

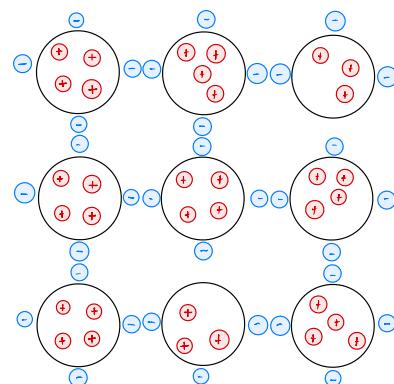
<sup>1</sup>Briefmarke der deutschen Bundespost zum lichtelektrischen Effekt. Foto: Lorenz Löffler.

Damit der Photoeffekt eintritt, brauchen die einzelnen Photonen mindestens die Austrittsarbeit. Ist diese aber nicht vorhanden, kann auch der Photoeffekt nicht eintreten. Dies ist auch an der abgebildeten Briefmarke zu sehen. Je ultravioletter das Farbspektrum, desto schneller bewegen sich die Elektronen, da sie mehr Bewegungsenergie haben. Dies wird durch die Länge der Pfeile dargestellt. Das rote Licht ist zu langwellig und kann keine Elektronen aus der Metalloberfläche lösen. Dadurch wird klar, warum sich das Elektroskop nur durch die Halogenlampe entlud, denn nur das UV-Licht war in der Lage, die überschüssigen Elektronen, die wir zuvor auf das Elektroskop übertragen hatten, loszulösen. Dieses Verständnis war für uns essenziell, um die Funktion der Solarzelle zu verstehen.

## Halbleiter

EVA KLAWITTER, JARA REICHENBACH

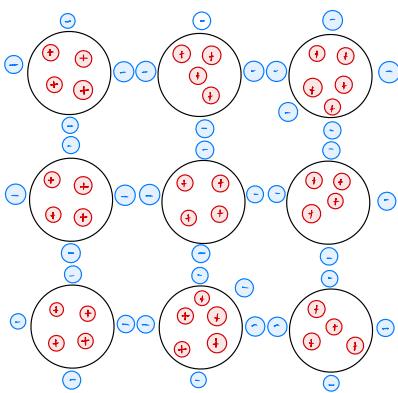
Ein weiterer wichtiger Bestandteil, um zu verstehen, wie eine Solarzelle funktioniert, sind die sogenannten Halbleiter. Beispiele für Halbleiter sind Materialien wie Silizium (Si) und Germanium (Ge), deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der von Leitern und Isolatoren liegt. Sie lässt sich unter anderem durch das Einbringen von Fremdatomen (Dotierung) gezielt steuern. Man unterscheidet hierbei zwischen der p-Dotierung und der n-Dotierung.



p-Dotierung: Das Silizium wird durch Atome mit 3 Valenzelektronen verunreinigt.

Bei der p-Dotierung wird ein Halbleitermaterial (z. B. Silizium) durch das Hinzufügen von

Akzeptoratomen mit 3 Valenzelektronen (z. B. Bor) verunreinigt. Die Valenzelektronen des Siliziums gehen Elektronenpaarbindungen mit den Valenzelektronen des Bors ein. Jedoch können die Boratome, anders als die Siliziumatome, zu diesem Zeitpunkt bloß 3 Elektronenpaarbindungen eingehen, da sie nur über 3 Valenzelektronen verfügen und daher keine Edelgaskonfiguration erreichen (die Edelgaskonfiguration beschreibt den Zustand einer vollständig mit Elektronen besetzten Außenschale). An den Stellen, an denen den Boratomen Elektronen zur Erfüllung der Edelgaskonfiguration fehlen, entstehen vermeintlich positive „Löcher“.



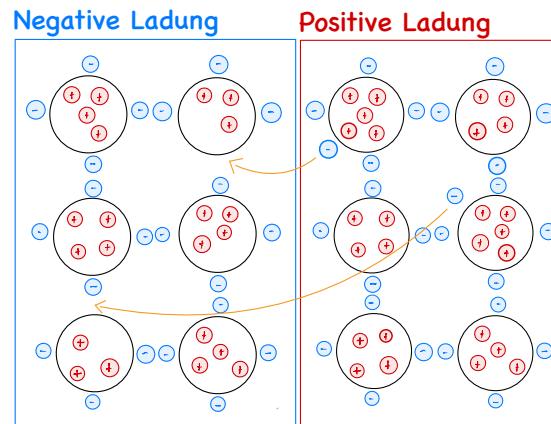
n-Dotierung: Das Silizium wird durch Atome mit 5 Valenzelektronen verunreinigt.

Bei der n-Dotierung ist das genaue Gegenteil der Fall: Das Halbleitermaterial (z. B. Silizium) wird durch das Hinzufügen von Donatoratomen mit 5 Valenzelektronen (z. B. Phosphor) verunreinigt. Vier der fünf Valenzelektronen des Phosphors gehen Elektronenpaarbindungen mit den Valenzelektronen des Siliziums ein und erreichen so die Edelgaskonfiguration. Das fünfte Valenzelektron ist nur noch sehr schwach an den Atomrumpf des Phosphors gebunden und kann sich schon bei geringer Energiezufuhr davon lösen. Das führt schließlich zum Auftreten positiv geladener Atomrümpfe des Phosphors und relativ frei beweglichen Elektronen.

Obwohl die beiden Schichten durch Fremdatome verunreinigt wurden, sind sie im Ganzen immer noch neutral geladen. In den beiden Abbildungen ist sowohl die p-Dotierung als auch die n-Dotierung anhand einer vereinfachten Darstellung abgebildet, wobei zu beachten

ist, dass bloß die zu den Valenzelektronen zugehörigen Protonen im Atomkern dargestellt sind.

Wenn man nun eine p-dotierte Schicht und eine n-dotierte Schicht zusammenfügt, wandern an der Stelle, an der die beiden Schichten aufeinander treffen, die frei beweglichen Elektronen aus der n-dotierten Schicht zu den vermeintlich positiven Löchern in der p-dotierten Schicht und füllen diese, was man auch Rekombination nennt und in der Abbildung zum pn-Übergang anhand von orangenen Pfeilen dargestellt wird. In diesem Fall führt die Rekombination dazu, dass nun alle Atome in diesem Bereich die Edelgaskonfiguration erreichen. Als Folge der Rekombination bildet sich eine Raumladungszone bzw. Sperrschiert mit einem sehr hohen Widerstand. Das Ganze bezeichnet man als den pn-Übergang. Nachdem die Elektronen von der n-dotierten Schicht zur p-dotierten Schicht gewandert sind, ist, da die beiden Schichten zu Beginn neutral geladen waren, die n-dotierte Schicht positiv und die p-dotierte Schicht negativ geladen.



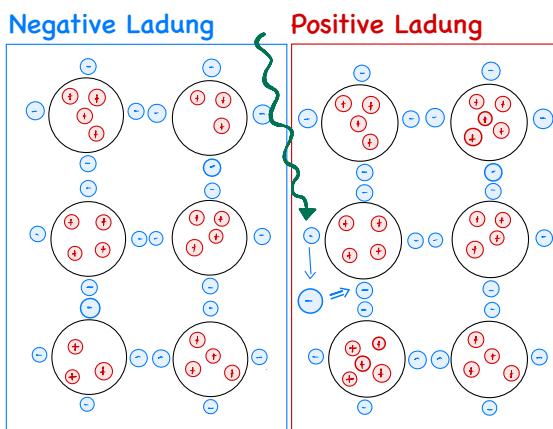
pn-Übergang: Die frei beweglichen Elektronen der n-dotierten Schicht wandern zur p-dotierten Schicht, wo sie rekombinieren.

## Solarzelle

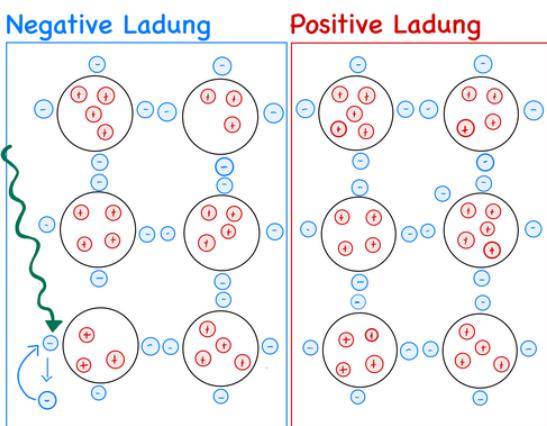
JONAS WEINMANN, PHILIPP ZERLIN

Die einzigartige Ladungsverteilung in einer Halbleiterheterostruktur und der Photoeffekt bilden die Grundlagen einer Solarzelle. Wie beim Hallwachsversuch wird auch in einer So-

larzelle ein Elektron herausgelöst, diesmal aus einem Halbleiter und nicht aus einer Zinkplatte. Hier findet dann, im Gegensatz zum Hallwachsversuch, der innere Photoeffekt statt, die Elektronen verlassen nur ihre Position und nicht das Medium. Werden die Elektronen nun in der Grenzschicht des pn-Übergangs herausgelöst, werden sie von der positiv geladenen n-dotierten Schicht angezogen. Dadurch wird das Elektron von seinem Loch getrennt und es entsteht eine Ladungstrennung, welche wir als nutzbare Spannung abgreifen können.



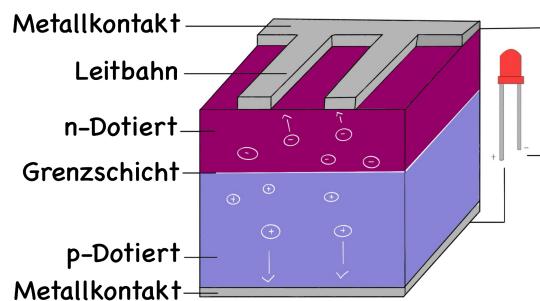
Ein Photon, dargestellt als grüner welliger Pfeil, löst ein Elektron innerhalb der Grenzschicht. Das Elektron wird von dem zugehörigen Loch abgetrennt und trägt zu einer abgreifbaren Spannung bei.



Ein Photon löst ein Elektron außerhalb der Grenzschicht. Das Elektron rekombiniert mit dem Loch und trägt nicht zur Spannung bei. Abstand zur Grenzschicht ist nicht maßstabsgetreu.

Falls ein Elektron aber weiter weg von der Grenzschicht durch ein Photon herausgelöst

werden sollte, verlässt es zwar im ersten Moment seine Position, kehrt aber wieder zurück, da weder ein anderes Loch, noch die positive Ladung der n-dotierten Schicht in der Nähe sind. Bei diesem Prozess können wir die Energie nicht für uns nutzbar machen, jedoch werden Wärme und Infrarotstrahlung freigesetzt. Wie wir bei unserer Exkursion erfahren haben, wird an einer effizienteren Lösung geforscht, um diese Energie ebenfalls nutzbar zu machen.



Schematischer Aufbau einer Solarzelle.

Wenn wir uns die Solarzelle nun auf makroskopischer Ebene ansehen, dann sehen wir, dass die n-dotierte Schicht über der p-dotierten liegt und die n-dotierte auch dünner ist als die p-dotierte. Dass die n-dotierte Schicht dünner ist als die p-dotierte, liegt daran, dass viel Licht auf die für die Stromerzeugung relevante Grenzschicht treffen soll. Außerdem kann die zusätzliche p-dotierte Schicht dann auch noch den kleinen Rest des nicht-absorbierten Lichts aufnehmen.

## Kennlinien

LEA VÁCLAVÍK, TOM PFINGST

Nachdem wir in den Theoriestunden nun Solarzellen verstanden hatten, konnten wir uns unserem Projekt widmen, um Solarzellen effizienter zu nutzen.

Schon beim ersten Entwickeln von Ideen waren wir uns sicher, dass ein optimaler Winkel die Leistung einer Solarzelle erhöhen würde. So entstand dann schnell die Idee des Solartrackers, der die Solarzelle immer in diesem optimalen Winkel zur Sonne ausrichten soll. Dennoch blieb dabei die Frage offen, wie groß

die Leistungssteigerung sein würde. Außerdem waren gerade für die Rotationspräsentation tatsächliche Daten auf jeden Fall nötig, um die Motivation für den Solartracker Außenstehenden zu veranschaulichen. Deshalb stand fest, dass wir Messwerte von Solarzellen aufnehmen werden.

### Entwicklung des Versuchsaufbaus

Der Versuchsaufbau unterlag über die ganze Zeit viel Wandel: Da es wegen der variierenden Spannung nicht möglich war, Solarzellen draußen aufzustellen und Akkus aufladen zu lassen, konnten wir nur die Leistung zu verschiedenen Zeitpunkten messen. Um dafür nicht auf die Sonne warten zu müssen, entschieden wir uns stattdessen für Tests unter Laborbedingungen. Hierfür wollten wir weiterhin einen Tag simulieren, indem wir einen Baustrahler als Sonne innerhalb von Sekunden um eine Solarzelle bewegten, was sich letztendlich auch als zu ungenau herausstellte. Schließlich wollten wir einfach die Solarzelle in einer Halterung befestigen und mit einem Arduino bei verschiedenen Einfallswinkeln des Lichts vom Baustrahler die Leistung messen.

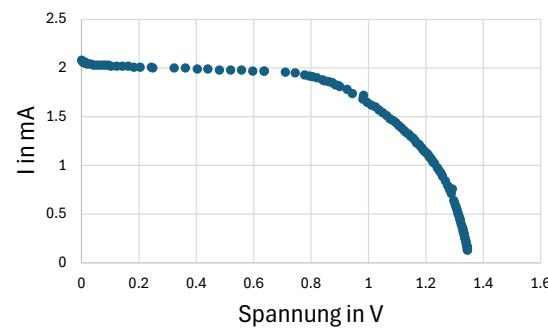


Versuchsaufbau zur Aufnahme der Kennlinien.

Hier entwickelten wir aufgrund der Arduino-Messgeräte einen großen Frust, die zum Beispiel niedrigere Werte bei erhöhter Strahlungsintensität ausgaben oder deren Messwerte mit der Zeit sanken, obwohl wir nichts veränderten. Nach einigen Versuchen mit Arduino entschieden wir uns also, stattdessen Multimeter zu nutzen, die zwar nicht automatisiert laufen, aber für kleine Werte viel besser geeignet

sind, und mit denen wir die Kennlinien für die Präsentation innerhalb kurzer Zeit aufstellten. Unser finaler Versuchsaufbau sah dann so aus: Ein Baustrahler stellte die Sonne dar. Die kleine Solarzelle befestigten wir in einer flexiblen Halterung und drehten sie so in die verschiedenen Winkelpositionen. Wir nutzen ein Potentiometer, also einen variablen Widerstand, als Verbraucher. Zwei Multimeter, eins für Strom und eins für Spannung, wurden verwendet, um letztendlich die Kennlinie aufzunehmen.

### Auswertung der Daten

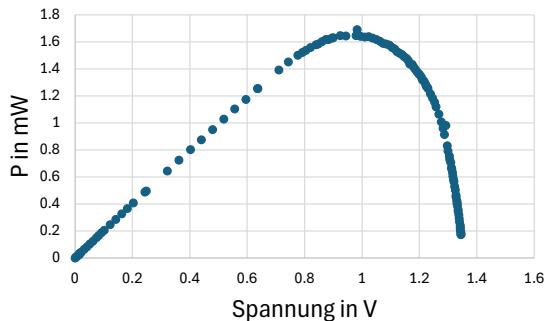


U-I-Kennlinie einer unserer Solarzellen.

Nachdem wir die Werte aufgenommen hatten, ging es darum, diese auszuwerten. Das Bild oben zeigt eine U-I-Kennlinie, auf welcher man das Verhältnis zwischen Strom und Spannung erkennt. Diese Art von Kennlinie nimmt man typischerweise bei elektrischen Bauteilen auf und sie zeigt, bei welcher Spannung die Solarzelle welche Stromstärke liefert. So kann man dann auf die Leistung schließen. Wir versuchten natürlich, den Punkt mit der größten Leistung zu finden. Diesen Punkt fanden wir heraus, indem wir ein Rechteck von einem Punkt auf der Kennlinie zur y-Achse und zur x-Achse spannen. An dem Punkt, bei dem das Rechteck den größten Flächeninhalt hat, liefert die Solarzelle am meisten Leistung. Diesen Punkt nennt man dann Maximum-Power-Point. Als Verbraucher versucht man, immer diesen Punkt zu halten, der bei dieser Solarzelle bei einer Spannung von ungefähr einem Volt liegen würde.

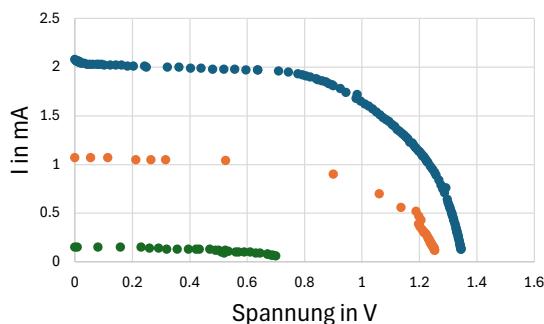
Da man allerdings diesen Punkt auf dieser Grafik etwas schlecht erkennt, haben wir noch die folgende Kennlinie berechnet: Hier ersetzen

wir die Stromstärke mit der Leistung. Nun muss man kein Rechteck mehr spannen und man erkennt den Maximum-Power-Point sehr viel besser, nämlich dort, wo der Wert am höchsten ist (kurz vor dem Abfall).



Leistung der Solarzelle als Funktion der Spannung.

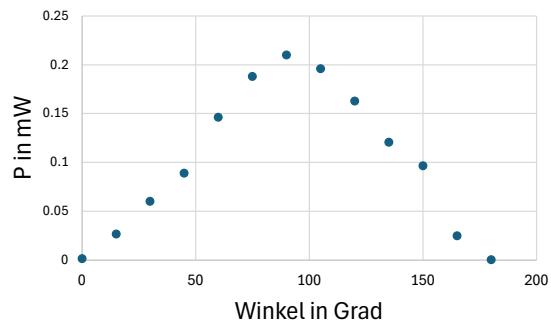
Außer den Maximum-Power-Point zu treffen, wollten wir die Solarzelle noch auf anderen Weisen effizienter gestalten. Auf der Abbildung unten erkennt man drei verschiedene U-I-Kennlinien. Ebenfalls sieht man, dass die Leistung von Kennlinie zu Kennlinie immer geringer wird. Das liegt daran, dass wir die einzelnen Kennlinien mit verschiedenen Einstrahlwinkeln des „Sonnenlichts“ aufgenommen haben. Während es bei der blauen Kennlinie noch ein Winkel von  $90^\circ$  war, waren es bei der orangenen noch  $45^\circ$  und bei der grünen schließlich  $0^\circ$ .



Kennlinien bei unterschiedlichem Einfallswinkel:  
senkrechter Einfall (blau), Einfall unter  $45^\circ$  (orange)  
und parallel zur Solarzellenoberfläche (grün).

Schaut man sich die grüne Kennlinie bei  $0^\circ$  an, erkennt man, dass die Leistung zwar niedrig, aber nicht ganz null ist. Das liegt daran, dass Licht vom Baustrahler auf verschiedene andere Flächen traf und so auf die Solarzelle reflektiert wurde.

Wir nahmen noch mehr Einfallswinkel auf, sodass wir im folgenden Graphen praktisch die Einfallswinkel auf die Solarzelle über den Tag darstellen konnten. Als Ersatz für die ursprünglich angedachten Vergleichsmessungen über den ganzen Tag verwendeten wir dann auch diese Werte, um später den Faktor der Leistungssteigerung zu berechnen. Dort ist wieder klar zu erkennen, dass um Mittag herum, wenn die Sonne am höchsten steht, die Leistung tatsächlich bei Weitem am größten ist, da sich der Einfallswinkel bei ca.  $90^\circ$  befindet. Zu anderen Tageszeiten erreicht die Leistung hingegen teilweise weniger als ein Zehntel davon. Alleine an dieser Kennlinie ist die riesige Effizienzsteigerung zu erkennen, die sich ergäbe, wenn der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen auf die Solarzelle immer bei  $90^\circ$  liegen würde und man somit auch immer die Leistung erreicht, welche man sonst nur mittags hat.



Leistung der Solarzelle als Funktion des Einfallswinkels.

Am Ende rechneten wir den finalen Steigerungsfaktor aus: Da die Sonne sich im Laufe des Tages über den Himmel bewegt und dabei alle Winkel ungefähr gleichmäßig vertreten sind, ergab sich folgender Rechenweg: Wir addierten für die fest ausgerichtet Solarzelle alle Leistungspunkte, die über den Tag verteilt auftraten:

$$P(0^\circ) + P(15^\circ) + P(30^\circ) + \dots + P(180^\circ).$$

Für die bewegliche Solarzelle musste man die Anzahl der gemessenen Werten mit dem maximalen  $P(90^\circ)$ -Wert multiplizieren, da sie ja zu jedem Messzeitpunkt so ausgerichtet ist. So errechneten wir, dass die gesamte Leistung über den Tag hinweg sich verdoppeln würde, hätten

wir von morgens bis abends diesen Einfallswinkel von  $90^\circ$  anstatt der vielen verschiedenen Winkel von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$ .

### Vergleichsmessung des Endprodukts

Um das Projekt weiter mit Daten zu untermauern, wollten wir eigentlich einen Test des fertigen Solartrackers während des Exkursions-tages ansetzen, gemeinsam mit normalen Solarzellen zum Vergleich. Da alle vorherigen Tests mit einem Baustrahler im Physiksaal durchgeführt wurden, wollten wir sehr gerne noch Daten unter Realbedingungen aufnehmen, um die tatsächliche Leistungssteigerung in der Praxis zu testen.

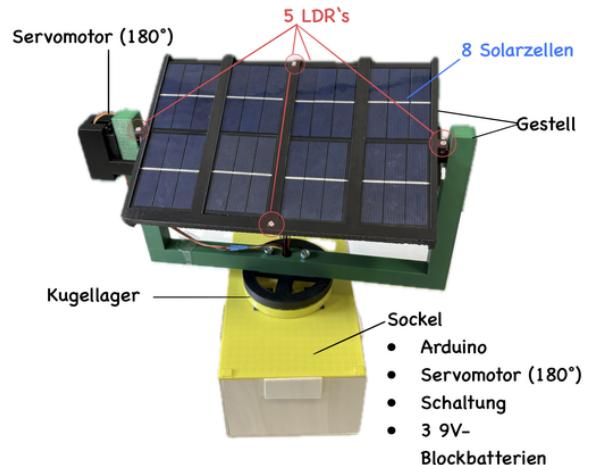
Also entwickelten wir ein Programm zur automatischen Messung mit Arduino, wobei man Werte mittelt, um Ungenauigkeiten zu vermeiden. Mit einem Kondensator als „automatisiertem Potentiometer“ wurden in bestimmten Intervallen ganze Kennlinien der Solarzellen zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen und auf einer SD-Karte gespeichert. Dass es eine ganze Kennlinie ist, war in diesem Fall sehr wichtig, da sich bei unterschiedlicher Einstrahlung der Maximum-Power-Point ändert und unsere Daten in der finalen Messung so genau wie möglich sein sollten.

Daran arbeiteten wir also einige Tage, allerdings stellte sich heraus, dass Arduino nur mit bestimmten SD-Karten funktioniert, von denen wir nicht genug hatten, um auch eine Vergleichsmessung automatisiert laufen zu lassen. Da auch der Solartracker erst am Tag vor der Abschlusspräsentation fertig wurde, fand diese Messung leider gar nicht mehr statt. Trotzdem zeigten die Daten des ersten Experiments schon eindeutig die Leistungssteigerung, die es auch unter Realbedingungen gegeben hätte.

### Überblick Tracker

NIKLAS WEITZEL MARRODÁN

Die Kennlinienmessungen hatten uns gezeigt, dass es sich auf jeden Fall lohnen würde, die Solarzelle immer in einem Winkel von  $90^\circ$  zur Sonne auszurichten, daher setzten wir dies mit einem Solartracker praktisch um. Unser Gestell



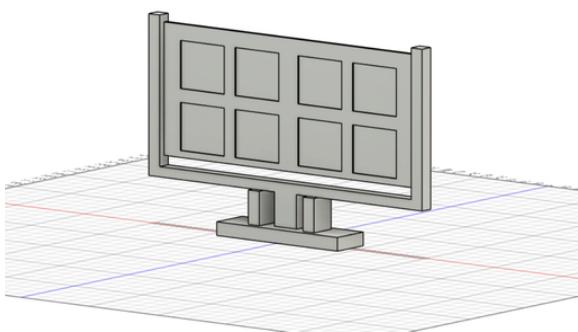
Das ist ein Abbild unseres gesamten Trackers. Der Tracker muss messen, wo die Sonne steht, die Solarzellen bewegen und den Ablauf steuern. Dazu sind zwei Servomotoren zum Bewegen und fünf LDRs zum Messen eingebaut. Im Holzkasten (unten) ist die Technik mit dem Arduino untergebracht, der die Programme abspielt und steuert.

für den Tracker bauten wir außer den Kugeln im Kugellager und dem Sockel aus Holz ausschließlich aus 3D-gedruckten Bauteilen.

Im Sockel befindet sich unsere gesamte Technik mit dem Arduino, der die Motoren zum Neigen und Drehen steuert. Eine externe Stromquelle (bei uns: 9V-Blockbatterien) versorgt den Arduino und die Motoren mit Strom. Die Solarzellen oben auf dem Tracker wurden in Reihe geschaltet, auch wenn wir den Strom der Solarzellen noch nicht nutzten.

Die Grundlage des Programms bilden die Werte, die der Arduino von den LDRs (Light Dependent Resistor – Lichtabhängiger Widerstand) bekommt. Diese wurden miteinander verglichen. Aus den Ergebnis schlossen wir dann, ob und, wenn ja, wie sich der Solartracker drehen muss.

Zuallererst überlegten wir uns, wie wir den Tracker sowohl zum Drehen als auch zum Neigen bringen könnten und fertigten eine erste Zeichnung an. Diese wandelten wir, wie man auch auf dem Bild oben auf der nächsten Seite sieht, in ein 3D-Modell um, was die Veranschaulichung um einiges leichter machte.



3D-Modell unseres Trackers, modelliert in Fusion.

## Programm

DAPHNE ROTH

Damit sich der Solartracker von selbst drehen und neigen kann, schrieben wir ein Programm mit dem Arduino, welches die Lichtintensität, also die Stärke der Sonneneinstrahlung, messen und das Modell entsprechend mit Motoren bewegen konnte. Wir zogen vorerst in Erwägung, den Tracker ohne Messungen und stattdessen nach einem vorher berechneten Tagesplan zu bewegen, entschieden uns aber dagegen, da wir unseren Arbeitsprozess so unnötig verkompliziert hätten. Wir hätten so nämlich aufgrund der Jahreszeiten für jeden Tag eigene Berechnungen gebraucht. Auch hätte der Solartracker nicht auf seine Umgebung wie zum Beispiel Wetterereignisse oder Schatten umliegender Bauten reagieren können.

Mit diesem Gedanken im Kopf erstellten wir zunächst eine Programmskizze, in der wir grundlegende Ideen ordneten und anschließend festlegten. Um das Programm von Anfang an übersichtlich zu gestalten, definierten wir für jeden Anschluss der Bauteile am Microcontroller Arduino Variablen, damit wir bei späteren Änderungen nicht im gesamten Programm nach den jeweiligen Werten suchen mussten, sondern dies ganz einfach ändern konnten. Basierend auf der Überlegung, jeweils einen LDR an allen vier Seiten der sich später neigenden Platte und einen an der Rückseite der Platte anzubringen, schrieben wir das Programm aufbauend auf If-Verzweigungen, welche den in ihnen enthaltenen Code nur dann ausführen, wenn eine vorher definierte Bedingung zutrifft, und While-Schleifen, welche den Code ausführen, solan-

ge die gegebene Bedingung erfüllt ist. While-Schleifen können, anders als eine If-Verzweigung, mehrmals durchlaufen werden, bevor es im Programm weitergeht.

```

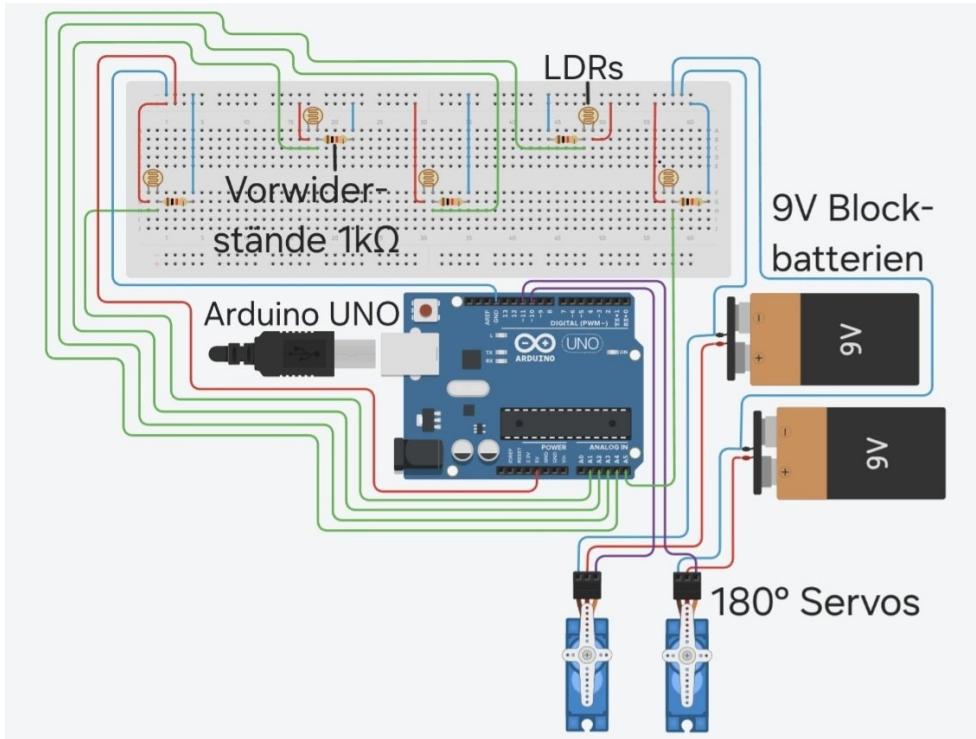
1 if (diff_ob_un > minimale_diff) {
2 // Differenz oben-unten größer als die vorher definier-
te Schwelle?
3     if (sensor_oben > sensor_unten) {
4         // oberer Sensor größerer Wert als unterer?
5             if (va_neigung >= 180) {
6                 // schon 180° geneigt?
7                     va_neigung = 180;
8                     neigungTo(va_neigung);
9                     // Bleibt die Neigung bei 180°
10            } else {
11                va_neigung = va_neigung + 2;
12                neigungTo(va_neigung);
13                // Erhöht sich die Neigung um 2°
14            }
15        }
16    }

```

Hier ist ein Ausschnitt unseres Programms zu sehen. Es handelt sich um die erste If-Verzweigung. Sie besagt, dass der für die Neigung zuständige Motor sich nach oben dreht, wenn die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren LDR über einer gewissen Schwellenwert steigt, und der obere LDR einen größeren Wert misst als der untere.

Unser Konzept war, das gesamte Gestell nach oben zu drehen, wenn der obere LDR eine größere Sonneneinstrahlung misst als der untere (siehe Codezeile 3). Bei umgekehrten Messwerten funktionierte der Code genau andersherum. Für die Sensoren links und rechts, also die Drehung, kopierten wir das Programm und änderten nur die Richtungen und den Motor.

Mit diesem Code bewegte sich der Solartracker jedoch dauerhaft ein wenig, da die Sensoren nicht perfekt genau messen und bauartbedingt geringe Unterschiede zwischen ihnen auftraten. Deshalb definierten wir eine Differenz, die mindestens zwischen entgegengesetzten Sensoren gegeben sein musste, damit sich der Solartracker bewegte (siehe Codezeile 1). Sollten alle Werte annähernd gleich sein, sollte der Solartracker an seiner Position verweilen. Wir ließen die Motoren falls zutreffend immer abwechselnd drehen und dann neigen, je um zwei Grad (siehe Codezeile 10f.), sodass das Programm im Falle eines Defektes der Technik nicht in einer der beiden Schleifen hängen bliebe, sondern wenigstens noch eine der beiden Ausrichtungen funktionieren würde.



Schaltung auf einem Breadboard.

Da unsere Motoren (Servos) sich nur um  $180^\circ$  drehen konnten, programmierten wir ebenfalls eine Schleife, die bewirkte, dass der Motor nicht an den Polen feststecken bleiben würde. Die Schleife veranlasste, dass, wenn ein Motor bei  $0^\circ$  bzw. bei  $180^\circ$  angekommen war, jedoch weiter in die entsprechende Richtung wollte und die gemessene Intensität des hinteren Sensors nicht größer als die der vorderen war, der Motor bei der vorigen Position verweilte (siehe Codezeilen 5–7). Der andere Motor richtete sich währenddessen weiter aus.

Lieferte der hintere Sensor dann aber größere Werte als ein vorderer, drehte sich der Motor um  $180^\circ$  in die entgegengesetzte Richtung, damit wir weiterhin die maximale Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen garantieren konnten. Vor allem für die Morgenstunden machten wir uns dies zunutze, denn so konnte sich der Motor direkt beim Sonnenaufgang wieder zur Sonne drehen.

Nach einigen Anpassungen wie zum Beispiel der minimalen Differenz oder des Winkels, um den sich die Motoren bei jeder Ausrichtung drehen, funktionierte der Solartracker schlussendlich reibungslos.

## Schaltplan

DAPHNE ROTH

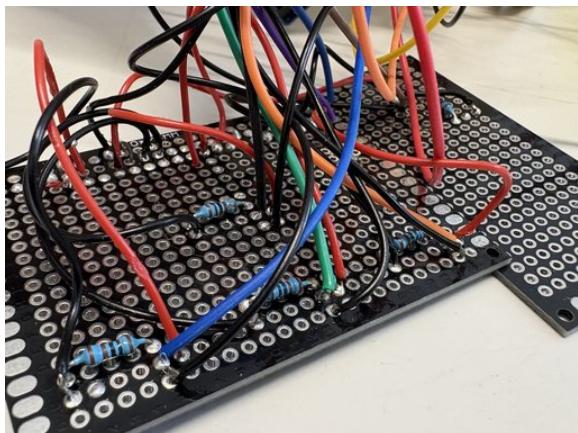
Um unser geschriebenes Programm zu testen, bevor wir den Solartracker zusammenbauten, steckten wir eine Schaltung in Breadboards. Das sind Platinen, in denen man (Jumper-)Kabel und weitere elektrische Bauteile schnell und einfach ein-, aus- und umstecken kann (siehe Schaltplan). Unsere Schaltung besteht aus fünf LDRs und zwei Servomotoren, die wir vorläufig mit zwei 9V-Blockbatterien betrieben, bis wir Solarzellen hätten anschließen können. Die Sensoren und Aktoren schlossen wir an einen Arduino UNO an und probierten das Programm aus. Als dieses funktionierte und die restliche Hardware des Solartrackers fertiggestellt war, löteten wir die Bauteile entsprechend des Schaltplans fest auf Platinen und bauten diese ein.

## Neigung

KONSTANTIN HAAS

Die Sonne verändert mit der Zeit ihre Position am Himmel in zwei Richtungen. Deshalb än-

dert sich der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zum gleichen Punkt auf der Erde. Zum einen ändert sich die vertikale Position („Die Sonne steht hoch/tief am Himmel“). Außerdem ändert sich ihre horizontale Position („Die Sonne wandert von Osten nach Westen“). Deshalb war klar, dass sich unser Solartracker auf jeden Fall drehen und neigen soll. Weil die Sonne von oben sowie der Seite und nicht von unten scheint, reicht je ein  $180^\circ$  Servomotor um alle relevanten Winkel anzufahren. Dieser ist stark genug, um die Solarzellenhalterung in Position zu halten oder zu bewegen. Da diese auf einen ausgeglichenen Schwerpunkt optimiert wurde und damit eine sehr geringe Kraft nötig ist um die Achse zu bewegen, genügte hier ein Servomotor.



Teil der gelötenen Schaltung auf einer Lochplatine.

Die Solarzellenhalterung hängt an zwei T-Stücken, deren Achsen wiederum direkt auf der markanten Halterungsstange („U-Stange“) gelagert sind. Der Servomotor wirkt direkt auf eine Achse des T-Stücks, die eine Ausbuchung für den Antriebskopf des Servomotors hat. Die Achse wird einfach auf den Antriebskopf gesteckt. Für den Servomotor wurde eine passgenaue Halterung designet, diese kann den Servomotor aufnehmen und wird über zwei Holme direkt an die U-Stange geschoben. Hier ist eine Halterung in Drehrichtung des Servomotors ausreichend, eine Schraubverbindung in Längsrichtung zur Drehachse des Servomotors ist nicht vornötig. Das macht die Neigungsmechanik sehr wartungsfreundlich: Alle Teile sind nur gesteckt und können (wie beim restlichen Modell) einfach ausgetauscht werden.

## Drehung

DANIEL PINTER

Neben der Neigung des Solartrackers haben wir auch eine Drehung ermöglicht. Handelsübliche Kugellager sind für unseren Zweck ungeeignet, da sie für Kräfte orthogonal zur Achse ausgelegt sind. Wir benötigten aber ein Kugellager, welches den Druck parallel zur Achse einfängt. Das von uns entwickelte Kugellager besteht aus zwei Ringen und etwa 25 Metallkugeln.



Aufbau des Kugellagers.

Durch das Kugellager verläuft eine Achse, an deren Ende der  $180^\circ$ -Servomotor angebracht ist, der für die Drehung verantwortlich ist. Ein  $180^\circ$ -Servomotor ist für den Solartracker vollkommen ausreichend, denn durch die Kombination des  $180^\circ$ -Servomotors für die horizontale Drehung und des  $180^\circ$ -Servomotors für die Neigung kann die Solarzelle insgesamt in alle Richtungen ausgerichtet und somit vollständig gedreht werden.

Dank des Kugellagers lastet das Gewicht des Solartrackers nicht auf der Achse oder dem Servomotor, sondern auf dem vertikal montierten Kugellager. So wird der Motor entlastet, die Drehbewegung effizienter ausgeführt und elektrischer Strom eingespart. Das liegt daran, dass der Motor weniger Reibung und Gewicht überwinden muss, wodurch er ein geringeres Drehmoment aufbringen muss und somit weniger Strom benötigt.

## 3D-Modellierung

KONSTANTIN HAAS

Die 3D-Druck-Arbeitsgruppe war ein zentraler Bestandteil unseres Projekts, da ohne diese Gruppe keine Sensoren kalibriert und reale Messungen durchgeführt werden konnten, da es keinen Solartracker gab, an dem man testen konnte. Außerdem sollte nahezu jedes Teil unseres Solartrackers 3D-gedruckt werden. Das hat den Vorteil, dass man in relativ kurzer Zeit sehr detaillierte, präzise, stabile und leichte Teile herstellen kann. Deshalb war es essenziell, dass zeitweise über die Hälfte der Kursmitglieder mit 3D-Modellierung beschäftigt war. Die Aufgabe der Gruppe bestand darin, alle Teile für den Solartracker zu konstruieren und die 3D-Drucker (die zahlreiche Kurszitate prägten) mit den entsprechenden Dateien zu füttern. Später wurde dann unter Anleitung dieser Gruppe der Solartracker zusammengebaut.

Am Anfang fertigten wir erste Skizzen, Entwürfe und mehrere technische Zeichnungen für die ersten zwei Teile auf Papier an, bevor die 3D-Modellierung am Computer mit den Programmen Fusion360 und FreeCAD begann. Auch für alle weiteren Teile, die im Laufe der Zeit modelliert wurden, wurde zuvor eine technische Zeichnung oder eine Skizze erstellt. Wir merkten auch, wie wichtig die Kommunikation war. Man musste sich sowohl mit anderen Gruppenmitgliedern über die Maße der Teile absprechen, als auch mit anderen Arbeitsgruppen korrespondieren, um zum Beispiel die Position der LDRs zu übernehmen. Schnell war die Idee geboren, einen modularen Aufbau zu designen. Alle Teile sind unabhängig voneinander austauschbar und können somit zur Wartung, Reparatur oder bei (sehr seltenen) Konstruktionsfehlern ausgetauscht werden. Das hat den Vorteil, nicht ein großes Teil neu drucken zu müssen. Es reicht, ein paar Schraub- oder Steckverbindungen zu lösen und das auszutauschende Teil neu zu drucken und einzubauen.

Wir fingen mit dem zentralen Teil an: Der Solarzellenhalterung. Auch hier kam sehr schnell der Gedanke, die Solarzellen einschieben zu können, sodass sie austauschbar sind. Danach folgte die Neigungsmechanik mit Halterungen für den Servomotor und der Aufhängung für

die Solarzellenhalterung. Da wir für die Drehmechanik nicht das gesamte Gewicht unserer Konstruktion auf die Achse des Servomotors geben wollten, wurde ein vertikales Kugellager benötigt, welches wir selbst konstruierten. Hier war die Herausforderung, eine umlaufende Nut zu schaffen, in welche die 10 mm großen Kugeln optimal passten. Sie sollten genau so viel Spiel haben, dass die Reibung so gering wie möglich ist, die Kugeln aber trotzdem gut in der Nut geführt sind. Nach einem Test für Nuttiefe und Durchmesser funktionierte unser Kugellager dann auch beim ersten Versuch. Es war ein unvergesslicher Moment, als Ole mit einem breiten Grinsen auf dem Gesicht und dem über Nacht gedruckten Teil zum Frühstück kam. Wie ein Lauffeuer verbreitete sich die Nachricht über das Kugellager – nicht nur kursintern.

Eine weitere nennenswerte Konstruktion ist die Achse, auf die der Dreh-Servomotor wirkt und die Konstruktion zum Drehen bringt. Diese wurde irgendwann „Kabelführungsstange“ getauft, weil sie nicht nur innen hohl sein sollte, um Kabel zu führen, sondern auch zusätzlich die ganze Konstruktion drehen sollte. Ganz zum Schluss bauten wir noch eine Holzbox, in der die komplette Steuerungstechnik für unseren Solartracker untergebracht wurde.

## Organisation

ANNE-VICTORIA ENANG SENGE

Um zwischen den einzelnen Teams und Bauteilen den Überblick zu behalten, haben wir uns jeden Morgen organisiert, wofür wir zwei Orga-Pinnwände nutzten. Auf der einen waren alle Akademietage tabellenartig in Vor- und Nachmittagskursschienen eingeteilt, während sich auf der anderen Wand ein rotes Kabel entlang zog. Schon am Ende des Eröffnungswochenendes hatten wir uns überlegt, wie wir beim Bau unseres Solartrackers vorgehen wollten. Im Sommer setzten wir diesen Gedankengang fort und versuchten, jeden einzelnen Schritt festzuhalten. Hierfür schrieben wir die einzelnen Schritte auf Zettel und hängten sie an die Pinnwand. Mögliche

Aufgaben waren 3D-Modellieren, Programmieren oder die Aufnahme von Kennlinien. Die zugehörigen Zettel hängten wir zusammen mit den Namen der Personen, die sie erledigten, in die Tabelle mit den jeweiligen Kursschienen. So wussten alle, was sie zu tun hatten.

Die Aufgabenzuteilung ereignete sich wie folgt: Jeder verfügte über zwei Zettel mit dem eigenen Namen, je einen in gelb und blau, und konnte so die Präferenz für das Erledigen einer Aufgabe angeben. Jeden Morgen besprachen wir, was es für den jeweiligen Tag zu erledigen gab und auf welchem Stand die einzelnen Gruppen waren. So behielt jeder den Überblick. Auch bei den Vorbereitungen zum Rotationstag und zur Dokumentation war die Pinnwand uns eine große Hilfe. Mit ihr ordneten wir die Präsentation in eine chronologische Reihenfolge und bestimmten, wer was vorbereitete. Dies taten wir mit Hilfe des roten Kabels, welches uns eine strukturierte und geordnete Herangehensweise ermöglichte.



Morgendliches Orga-Treffen

## Eröffnungs- und Dokumentationswochenende

SVEA GOMM

Als ich bei der Akademie angenommen wurde, war da vor allem eins: Aufregung. Ich wusste nicht genau, was mich erwartet, wer die anderen Teilnehmer:innen sein würden oder ob ich mich in der Gruppe wohl fühlen würde. Gleichzeitig war da diese große Neugier auf neue Menschen, spannende Themen und die Möglichkeit, etwas Eigenes auf die Beine zu stellen. Bevor die Akademie aber so richtig starten konnte, begann alles mit einem besonderen Wochenende – dem Eröffnungswochenende.

Dieses diente nicht nur dem organisatorischen Einstieg, sondern vor allem dazu, anzukommen, sich gegenseitig kennenzulernen, erste Hemmungen abzubauen und ein Gefühl für das Leben bei der Akademie zu bekommen. Für viele von uns war dieser Start mit gemischten Gefühlen verbunden: Neben Vorfreude und Neugier standen auch Unsicherheiten und Ängste im Raum. Wie wird die Gruppe sein? Werde ich Anschluss finden? Kann ich mit den Aufgaben mithalten? Gleichzeitig waren da aber auch große Hoffnungen auf eine inspirierende Zeit, neue Freundschaften und spannende Projekte, die uns herausfordern und wachsen lassen würden.

Schon bald war klar: Wir alle sind ein Team – offen, neugierig und bereit, gemeinsam etwas zu schaffen. In unserem Kurs entschieden wir uns, das spannende Thema „Solarzellen“ zu erforschen. Der Einstieg begann mit den physikalischen Grundlagen: Was sind Elektronen? Wie entsteht Strom? Wie misst man Spannung und Stromstärke? Nach und nach erarbeiteten wir uns das nötige Wissen, um uns ein tieferes Verständnis für die Solarenergie anzueignen. Mit dem gesammelten Grundlagenwissen begannen wir, zu überlegen, welches Projekt wir umsetzen möchten. Schnell war klar: Wir wollen nicht nur verstehen, wie eine Solarzelle funktioniert – wir wollen sie verbessern. Wir setzten uns als Ziel, einen Solartracker zu entwickeln – ein System, das die Solarzelle automatisch zur Sonne ausrichtet, um ihre Effizienz zu steigern. Die Idee war geboren, der Ehrgeiz geweckt.

In den darauffolgenden Tagen erstellten wir eine erste Materialliste, planten unser Vorgehen und bereiteten alles dafür vor, dass wir unser Projekt acht Wochen später in die Tat umsetzen konnten. Der Grundstein war gelegt – voller Motivation und mit einem klaren Ziel vor Augen starteten wir als Gruppe im Sommer in eine aufregende und lehrreiche Zeit bei der Akademie.

Ein weiteres wichtiges Element für die Akademie war das Dokumentationswochenende. Fünf Wochen nach den zwei Wochen im Sommer kamen alle von Freitag bis Sonntag nochmal zusammen, um die Dokumentation, welche Sie gerade lesen, zu schreiben. Das Doku-Wochen-

ende diente aber natürlich auch dazu, alle nochmal wiederzusehen und von den geschehenen Erlebnissen in den vergangenen fünf Wochen zu berichten.

Nachdem wir in den ersten beiden Tagen die Dokumentation unseres eigenen Kurses fertig geschrieben hatten, ging es am Abend nach der Abgabe weiter mit einer Nachtwanderung. Den Abend haben alle Teilnehmer:innen gemeinsam am Lagerfeuer ausklingen lassen, mit Tanzen, mit tiefgründigen Gesprächen, dem ein oder anderen Lachflash und vielen Snacks und Getränken. Am nächsten und letzten Tag haben wir uns nochmal zum Abschluss ein allerletztes Mal innerhalb unseres Kurses getroffen, um über die vergangene und richtig coole Zeit zu reden. Nach der Ausgabe der Zertifikate ging es dann leider auch schon wieder nach Hause.

Ich glaube, ich schreibe hier für alle, wenn ich sage, dass wir zusammen als Kurs eine richtig coole und lehrreiche Zeit hatten und dass wir mehr als stolz auf uns alle sein können. Zum Abschluss kann man sagen: Wir werden diese unvergessliche Zeit immer in unseren Herzen behalten und alle Erfahrungen und Erlebnisse gesammelt in diesem Dokument aufbewahren.



bestand darin, an uns verteilte Bilder in eine chronologisch richtige Reihenfolge zu bringen – allerdings ohne uns die Bilder gegenseitig zu zeigen, sondern ausschließlich durch Kommunikation.

Diese Übungen stärkten unser Miteinander und ließen uns zu einer richtig coolen Gruppe zusammenwachsen. Sie halfen uns nicht zuletzt auch dabei, uns auf das bevorstehende Sportfest vorzubereiten, wo genau diese Fähigkeiten auf die Probe gestellt wurden – denn dort stand Teamarbeit deutlich über sportlichem Können. Eines fehlte jedoch noch: ein passender, energiegeladener Schlachtruf für unseren Kurs. Nach langen Überlegungen und mehreren „Schrei-proben“ stand er schließlich fest: „Licht rein, Strom raus – wir gewinnen, Punkt aus!“ Aber nicht nur unser Schlachtruf begleitete uns das gesamte Sportfest über, sondern auch unsere engagierte Schülermentorin Emilia. Bei den Aufgaben, an denen sie nicht selbst teilnehmen konnte, feuerte sie uns mit voller Energie an. Unsere beiden Kursleiter machten sich ebenfalls für uns stark, indem sie uns mit einer selbst choreographierten Cheerleader-Performance in passender Montur anfeuerten.

Gestartet sind wir mit einer „Polarexpedition“, gefolgt vom sogenannten „laufenden A“ – bei uns besser bekannt als das „joggende A“. Emi-

## Teambuilding und Sportfest

JARA REICHENBACH, SVEA GOMM

Wie in jedem Jahr bei der Science Academy fand auch bei uns zu Beginn der zweiten Woche das traditionelle Sportfest statt. Bis dahin hatten wir genügend Zeit, aus einer Gruppe von „Fremden“ ein echtes Team zu schaffen. Damit uns das gelang, legten wir während unserer Kurszeiten regelmäßig Pausen ein, in denen wir uns gemeinsam mit unserer Schülermentorin und unseren Kursleitern verschiedenen Teambuilding-Spielen stellten. Von kreativen Aufgaben bis hin zu kommunikativen Herausforderungen war alles dabei.

So bekamen wir beispielsweise einen Feuerwehrschlauch und einen Minigolfball mit der Aufgabe, gemeinsam als Team eine Lösung zu finden, wie wir den Ball durch den Schlauch transportieren könnten – dabei entstanden viele kreative Ideen. Eine weitere Herausforderung

lia stellte sich dabei mutig in eine große Holzkonstruktion in Form eines A, die wir mithilfe von daran befestigten Seilen als Team fortbewegen mussten. Kommunikation und eine gute Absprache waren hier entscheidend, damit das A – samt Emilia – nicht umkippte. Zum Glück meisterten wir auch diese Aufgabe erfolgreich.

Unsere Teamstärke zeigte sich besonders bei der letzten Station: Gemeinsam zogen wir ein Auto in rekordverdächtiger Zeit einen Hügel hinauf. Selbst die verletzten Teammitglieder trugen zum Erfolg bei, indem sie uns lautstark und motivierend von außen unterstützten.



Als engagierter Kurs hatten wir natürlich nicht nur einen, sondern zwei Schlachtrufe. „Strom, Sonne, Energie – Lorenz der Lauch siegt wie nie!“ – dieser Spruch spielt darauf an, dass unser Kursleiter Lorenz in seiner gesamten Akademie-Zeit, die bereits neun Jahre andauert, noch nie mit einem Kurs das Sportfest gewonnen hat. Wir setzten uns daher als Ziel, dies zu ändern, weshalb uns der Spruch eine extra Portion Kraft gab. Letztendlich konnten wir ihn auch mit einem zweiten Platz mehr als stolz machen und wurden mit ganzen zwei Kästen Paulaner Spezi überrascht, die uns für die restliche Zeit der Akademie stärkten.

## Exkursion ins ZSW

FRANZISKA HÜTHER

Dieses Jahr besuchten wir im Physikkurs das ZSW (Zentrum für Solarenergie und Wasserstoffforschung) in Stuttgart. Dazu trafen wir uns morgens vor der Mensa und

fuhren mit der Bahn nach Stuttgart, was überraschend reibungslos funktionierte.



Nach einer kurzen Essenspause durften wir dann gegen 12 Uhr in einen für uns bereitgestellten Seminarraum. Dort wurde uns ein Vortrag über das ZSW sowie über die neusten Technologien in der Photovoltaik-Forschung gehalten. Beispiele hierfür sind Perowskit- oder Tandemsolarzellen. Diese sind allesamt Alternativen zur klassischen Silizium-Solarzelle.

Wir wissen, dass Solarzellen aus pn-Übergängen aufgebaut sind, also aus Halbleitern. Meist ist das dotiertes Silizium, womit wir auch im Kurs arbeiteten. Es können aber auch andere Halbleiter sein – wie etwa Perowskite, eine Art von Mineralen. Perowskit-Solarzellen bestehen, wie der Name schon sagt, aus Perowskit und können deutlich höhere Wirkungsgrade als Silizium-Solarzellen erreichen. Zudem sind sie deutlich dünner und flexibler und können sogar auf Folien aufgetragen werden.

Mehrschicht-Solarzellen können sogar noch deutlich höhere Leistung erbringen. Sie bestehen aus zwei oder mehr unterschiedlichen Solarzellen, die aufeinander geschichtet sind. Dabei absorbieren die Teile jeweils einen bestimmten Teil des Lichtspektrums, wodurch man insgesamt ein deutlich breiteres Spektrum als bei gewöhnlichen Einfachsolarzellen nutzen kann. Das führt dazu, dass während der höchste gemessene Wirkungsgrad für eine Silizium-Solarzelle mit Konzentrator im Jahr 2019 bei 30 Prozent lag, bei einer Mehrschichtsolarzelle

mit Konzentrator zur selben Zeit ein Wirkungsgrad von 48 Prozent gemessen wurde.<sup>2</sup>

Nach diesem spannenden Vortrag kleideten wir uns in Schutzanzüge und legten Handschuhe und Schuhüberzüge an. In diesem Outfit durften wir dann die Labore besuchen und sogar einigen Forscher:innen beim Arbeiten über die Schulter schauen.



Anschließend endete unsere Zeit im ZSW auch schon und nach einem kurzen Abstecher in die Königstraße ging es für uns wieder zurück nach Adelsheim, wo wir pünktlich zum Abendessen ankamen. Für uns ging so ein sehr interessanter und lehrreicher Tag zu Ende, der uns einige spannende Einblicke in die aktuelle Forschung im Bereich Photovoltaik gewährte. Dafür bedanken wir uns natürlich auch beim ZSW für diese tolle Gelegenheit.

## Fazit

FRANZISKA HÜTHER

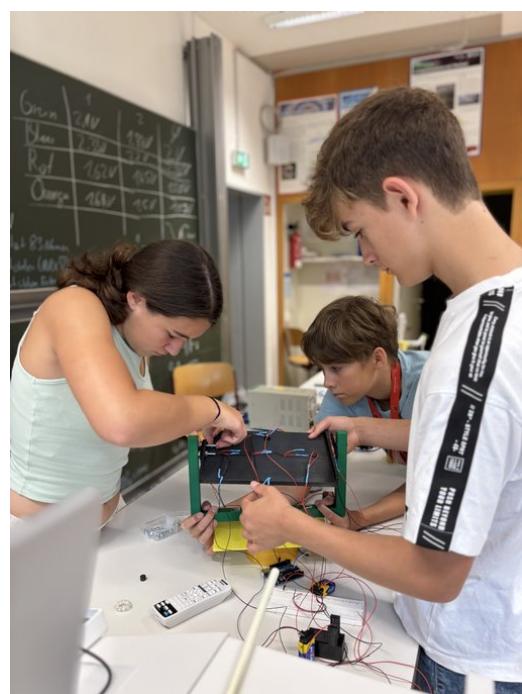
Während der gesamten Zeit, in der wir an unserem Solartracker arbeiteten, beschäftigte uns besonders eine Frage: Lohnt sich so ein

<sup>2</sup>Quelle: Sze, S. M., Li, Y., Kwok, K. N., Smoliner, J. (Hrsg.) (2021): *Physik der Halbleiterbauelemente*. Wiley-Vch. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12708/24857>

Nachführungssystem wirklich? Kann man so die Sonnenenergie tatsächlich effizienter nutzen?

Diese Frage stellten wir während unserer Exkursion auch den Forscher:innen am ZSW. Die Antwort brachte uns zum Nachdenken: Wie wir auch berechnet hatten, erhöht ein Nachführungssystem die Effizienz einer Solarzelle enorm. Allerdings ist der größte Kostenpunkt bei Photovoltaikanlagen heutzutage nicht das Modul selbst, sondern die Installation. Ein Nachführungssystem würde diese Installationskosten noch steigern und deshalb rentieren sich Solartracker nicht wirklich. Einige Ausnahmen gibt es jedoch: Bei besonders hochwertigen Solarzellen, wie beispielsweise den oben beschriebenen, könnten Nachführungssysteme durchaus sowohl wirtschaftlich als auch leistungstechnisch sehr lohnend sein. Auch im ZSW findet ein Solartracker seinen Einsatz, dort dient er dazu, beschleunigte Alterungstests durchzuführen.

Darüber hinaus war es ja auch nicht unser Ziel, eine Firma zu gründen. Uns ging es eher darum, gemeinsam herauszufinden, wie wir die Leistung unserer Solarzellen weiter erhöhen können, und das ist uns definitiv gelungen. Wir hatten im Kurs eine wirklich schöne Zeit, an die wir mit Sicherheit immer gerne zurückdenken werden.



## Zitate

JONAS WEINMANN

Neben vieler Stunden Arbeit an unserem Solartracker hatten wir über die zwei Wochen hinweg in der Kurszeit auch eine Menge Spaß. Da wir nicht jedes Detail aus den zwei Wochen erzählen können, Ihnen jedoch auch nicht einen kleinen Einblick in unseren Kurs verwehren wollen, sind hier die aus unserer Sicht besten Zitate:

- „Die Solarzelle mobbt mich, sie macht nicht das, was ich will.“
- „Der 3D-Drucker hat gekocht, er hat uns Spaghetti gemacht.“
- „Ich werde nach 15 Minuten schon vermisst, bei ihm juckt es nach 30 Minuten nichtmal.“
- „Das ist tuff.“
- „Weil ich eine Bombe bin!“
- „R = Punkt“
- „Alles eine Katastrophe!“
- „Im Fachraum bitte nicht schnupfen.“

- „Mein Lehrer ist gerade auf den Kanarien ...“
- „Und ich bin der Hanz-Günther. Ne Spaß, Philipp“
- „Schröders Katze: War das nicht so ein CSU-Politiker?“
- „Eine **SICHTBARE** Veränderung“
- „17 Sekunden!“
- „Wir gehen jetzt zum Mittagesessen“ (19:41 Uhr)
- „Kurzes Stimmungsbild bitte“
- Lorenz: „Das Känguru und ich haben eine ganz *besondere* Beziehung“
- Lorenz: „Vielleicht komme ich auch mal zur Gute-Nacht-Geschichte.“
- „Das ist eine sehr gute Frage, die werden wir sicher im Kurs nochmal aufgreifen.“
- „Deutsche Ingenieurskunst!“
- „ $5 \pm 5$  Wäscheklammern“
- „Mama Löffler“
- „Der lässt sich nicht hochladen, der Fett-sack“





# Kursübergreifende Angebote (KüAs) und weitere Veranstaltungen

## Musik-KüA und Dirigieren

RISHI NAIR

Während der diesjährigen Akademie trafen sich rund 25 Teilnehmerinnen und Teilnehmer, um gemeinsam zu musizieren. Wir hatten dabei eine vielseitige Besetzung mit verschiedenen Blas-, Schlag-, Streich- und Tasteninstrumenten und einen Chor. Wir probten in unserem Orchesterraum Stücke aus der Filmmusik wie „Jurassic Park“ oder „Raider’s March“, aber auch Stücke aus Musicals und sogar einem Videospiel wie „Rhythm of Life“ oder „Alicia“. Die zwei ersten Stücke, beide von John Williams komponiert, passten perfekt zum diesjährigen Akademietraining „Expeditionen“ wie auch „Alicia“ aus dem Videospiel „Clair Obscur: Expedition 33“.



Wir trafen uns täglich in der Nachmittagsschicht und probten entweder tutti oder in einzelnen Registern. Wegen verschiedener Veranstaltungen hatten wir jedoch nicht jeden Tag Zeit zum Proben. Trotz der begrenzten Zeit konnten wir es aber schaffen, schöne Aufführungen zu geben, nicht zuletzt dank unserer Dirigenten Tobias und Daniel.

Wir haben bei einem einmaligen Angebot auch die Grundlagen des Dirigierens gelernt und

hatten viel Spaß dabei zu verstehen, wie Dirigenten ihr Orchester als „eigenes Instrument“ verwenden. Wir durften dabei selbst die anderen dirigieren und den berühmten Taktstock der Dirigenten in den Händen halten.

Der krönende Abschluss für die Musik-KüA war dann die Aufführung der Stücke am Hausmusikabend und am Abschlussabend.



Die Zeit in Adelsheim wurde durch das gemeinsame Musizieren noch schöner, und wir sind sehr stolz auf unsere Ergebnisse.

## Sport-KüA

ELENA ZWINGMANN

Neben der akademischen Herausforderung erwartete uns auf der Akademie auch eine sportliche Herausforderung: die große Sport-KüA.

Schon am Eröffnungswochenende startete der Morgen mit Frühsport, und auch während der zweiwöchigen Sommerakademie trafen wir uns fast täglich morgens um sieben Uhr. Wiebke dachte sich für alle, die sich so früh aus dem Bett quälten, ein buntes Programm mit verschiedenen sportlichen Herausforderungen zum Auspowern aus: Wir joggten durch den Adels-

heimer Wald oder trafen uns in der Turnhalle zu diversen Fitnesszirkeln oder Zumba.

Eine besondere Challenge war AMRAP (As Many Rounds As Possible). Dabei geht es darum, in 15 Minuten möglichst viele Runden von anstrengenden Übungen wie Situps, Liegestütze oder Burpees mit vorgegebener Wiederholungszahl zu schaffen – jeder auf seinem Level und in seinem Tempo. Frisch ausgepowert konnte man danach in den Akademietag einsteigen. Schon nach kurzer Zeit klagten einige über heftigen Muskelkater, der sich vor allem beim vielen Treppensteigen im LSZU II bemerkbar machte.

Auch in der Mittags-KüA-Schiene erwartete uns täglich ein vielfältiges sportliches Angebot, meistens diverse Ballspiele auf dem Sportplatz. Am liebsten spielten wir Beachvolleyball – und das sogar schon am EWE und auch außerhalb der Sport-KüA. Oft waren alle vier Felder mit sechs oder mehr Leuten besetzt. Beim „Goodminton“ vergnügten wir uns bei diversen Spielformen mit Badmintonschlägern und -bällen, wie zum Beispiel „Beachminton“, einer selbstkreierten Beachvolleyball-Variation mit Badmintonschlägern und -bällen. Auch die übrigen angebotenen Sportarten bereiteten uns viel Spaß.



Für diejenigen, die abends noch Energie und Motivation übrighatten, wurde einige Male Zumba oder STRONG Nation angeboten, ein langes Hardcore-Workout zu extra dafür geschnittener und mit Soundeffekten versehener Musik in voller Lautstärke. STRONG Nation beinhaltet verschiedenste Muskelkiller sowie eine Liegestütze-Challenge und jede Menge Sprünge. Wiebke riet uns nicht zu Unrecht, ein

Handtuch zum Schweißabwischen mitzubringen.

Dank Wiebke kamen wir während der Akademie in den Genuss eines breitgefächerten sportlichen Angebots und konnten auch immer selbst Vorschläge machen, die von Wiebke meist schon am nächsten Tag in die Tat umgesetzt wurden. So war für alle etwas dabei. Wiebke war sehr motivierend und begeisternd und erinnerte uns immer daran, dass jede und jeder einzelne von uns auf seine Weise perfekt ist und wir stolz auf uns sein sollen. Sie ermutigte uns außerdem, auch weiterzumachen, wenn es anstrengend wurde. Dabei baute sie aber nie Leistungsdruck auf. Bei der Sport-KüA stand immer der Spaß im Vordergrund. Vielen Dank, Wiebke!

### Brazz Band

VALENTINA BAUER, FRANZISKA HÜTHER

Als Jonas und Oscar im Plenum ihre Idee vorstellten, eine „Brazz Band“ zu gründen, waren sich viele von uns noch nicht sicher. Eine weitere Langzeit-KüA, für viele noch zusätzlich zur Musik-KüA? Wie sollte das funktionieren?

Dass es die richtige Entscheidung war, wurde uns schon beim ersten Treffen klar: Zwar waren wir eine bunt zusammengewürfelte Gruppe aus verschiedenen Kursen mit unterschiedlichsten Instrumenten, aber irgendwie passte es trotzdem und klang von Anfang an einfach cool. Wir starteten mit „Viva La Vida“, und Daniel war so nett, uns auch „Major Tom“ umzuschreiben. Mit diesen beiden Stücken präsentierten wir uns das erste Mal beim Bergfest.

Eine Woche später und mit erweitertem Repertoire ging es dann weiter zu unserem zweiten Auftritt, dem Hausmusikabend. Dabei stellten wir neue Stücke vor und hatten viel Spaß.

Unser größter Auftritt war aber der Abschlussabend. Dort spielten wir den Rausschmeißer für die Eltern mit dem Stück „Tequila“ in Kooperation mit den Leitern, die uns mit ihren Kazoos tatkräftig unterstützten.

Abgerockt wurde dann letztendlich beim inoffiziellen Teil (ohne Eltern), bei dem wir unser

komplettes Repertoire spielten. Das kam sehr gut an, und man sah viele dazu die Linedances „Cotton Eye Joe“, „Eye of the Tiger“ und „Marella“ tanzen. Auch unsere Stücke „Sound of Silence“ und „Böhmisches (Alb-)Traum“ waren ein Hit.



Wir wollen uns auch noch einmal bei Tobi und Daniel bedanken, die uns viele Stücke umgeschrieben haben, und bei Ole, der uns mit der Technik geholfen hat. Ohne euch wäre das nicht möglich gewesen!

Und natürlich auch nicht ohne:

- Jannick (Schlagzeug)
- Rishi (E-Bass)
- Mariya (E-Gitarre)
- Franzi (Altsaxophon)
- Jonas (Tenorsaxophon)
- Valentina (Trompete)
- Oscar (Trompete)
- Konstantin (Trompete)

Eure BROZZ (oder wie Tobi uns nennt: Blas- und Rhythmusportgruppe Odenwald-Zentrum)

## Gipsen

LETIZIA MACK

Während einer Mittags-KüA-Schiene durften alle, die einen der heiß begehrten Plätze ergattert hatten, gipsen. Der Kreativität waren dabei keine Grenzen gesetzt: So wurden einige Hände, aber auch ganze Gesichter sorgsam in Gipsverbände eingewickelt.

Im ersten Schritt schnitten wir die Gipsbinden in passende Stücke. Danach musste eine gründliche Schicht Vaseline aufgetragen werden, was stellenweise zu Verwirrung führte: Sollte sie nun als Arbeitsschutz für die Handflächen dienen oder lieber direkt auf die später gegipsten Stellen aufgetragen werden?

Dann konnte es endlich losgehen. Sobald ein Gesicht vollständig eingewickelt war, konnten sich die betroffenen Personen nur noch pantomimisch verständigen – sehr zur Freude der Umstehenden. Am Ende lohnte sich die Mühe jedoch, denn es entstanden wirklich tolle und natürlich einzigartige Masken.



Auch das Gipsen von Händen machte großen Spaß. Viele versuchten sich an Schmuckhaltern, andere an kreativen kleinen Skulpturen. Die Ergebnisse waren mal mehr, mal weniger erfolgreich, aber eines hatten alle gemeinsam: Wir gingen mit guter Laune – und dem ein oder anderen Gipskrümel auf dem T-Shirt – aus der KüA-Schiene.

## Tichu

CONG-SIN MA

Für alle, die Lust auf eine spielerische Herausforderung hatten, boten Emilia und Avaneesh im Rahmen des Abendprogramms einen Einblick in das Kartenspiel Tichu. Dabei handelt es sich um ein klassisches Stichspiel mit Ursprüngen in China, das mit vier Spielenden in zwei Teams gespielt wird. Ziel ist es, als Erstes alle Karten auszuspielen und gleichzeitig Punkte durch Stiche zu sammeln. Eine Partie

endet, sobald ein Team 1.000 Punkte erreicht hat.

Zu Beginn nahm sich Emilia etwa zehn Minuten Zeit, um uns die zahlreichen Regeln zu erklären. Praktischerweise lagen auch ausgedruckte Übersichten bereit, die das Verständnis erleichterten. In den ersten Runden rauchten zwar noch die Köpfe, und Avaneesh und Emilia mussten uns anfangs häufig zur Seite springen, wenn Regeln vertauscht, vergessen oder kurzerhand neu erfunden wurden. Doch mit der Zeit lief alles deutlich flüssiger – und am Ende sorgte die gelungene Mischung aus Teamarbeit, strategischem Denken und der spannenden Angst vor Sonderkarten für großen Spielspaß.

## Domino

JANNICK BÖSERT

Bei der Science Academy haben wir an zwei Abenden im Forum des Eckenberg-Gymnasiums mit Dominosteinen Kettenreaktionen gebaut.



Gemeinsam wurden mehrere tausend Steine zu langen Schlangen und kreativen Bauwerken – von Raketen bis zu Barbie-Häusern – verbaut. Nebenbei konnten auch essenzielle Domino-Techniken erlernt werden.

Die Reaktionen auf die wackligen Steine waren vielfältig: Die einen liebten es, ihre ruhige Hand unter Beweis zu stellen, die anderen bekamen beinahe Anfälle – was auch für mich äußerst unterhaltsam war.

Am Ende ließen wir alles in Sekundenschnelle umfallen.



Ich hatte sehr viel Spaß, mein Hobby mit anderen zu teilen, und es waren zwei wirklich schöne Abende.

## Mathematische Zaubertricks

RAPHAEL SPECK

Bei der KüA „Mathematische Zaubertricks“ zeigte uns Birgit vier Zaubertricks, die wir anschließend mit Mathematik erklären sollten und auch selbst durchführen konnten.

Zuerst zeigte sie uns den Vier-Stapel-Trick. Der Zauberer gab einer anderen Person neun Karten. Die vom Zuschauer gewählte Karte wurde unten an den Stapel gelegt, die restlichen darunter. Der Zauberer legte viermal einen Stapel ab. Dabei zählte er bei jeder Karte von zehn herunter. Wenn der Wert der Karte dem gesagten Wert entsprach, wurde der nächste Stapel angefangen. Stimmten die Zahlen nie überein, wurde auf den Stapel eine umgedrehte Karte gelegt. Daraufhin zählte man alle Werte der oben liegenden Karten zusammen und teilte so viele Karten aus, wie ausgerechnet wurde. Die letzte ausgeteilte Karte war die gewählte. Das funktioniert deshalb, weil die gesuchte Karte immer die 44. Position einnahm. Auf jedem der vier Stapel liegen (11 minus Kartenwert) Karten. Die bisher ausgeteilten Karten sind al-

so 4 x (11 minus Kartenwert). Um also zur 44. Karte zu kommen, fehlen noch die Kartenwerte. Teilt man diese aus, erhält man die gewählte Karte.



Anschließend zeigte sie einen Trick, bei dem man erraten konnte, ob eine verdeckte Münze Kopf oder Zahl zeigte. Der Zauberer sieht einige Münzen und dreht sich anschließend um. Die andere Person dreht immer zwei Münzen auf einmal um und verdeckt dann eine Münze – im Beispiel die Zahl. Der Zauberer kann nun erkennen, dass die verdeckte Münze Zahl zeigt. Wenn man zwei Münzen auf einmal umdreht, kann man nicht ändern, ob die Anzahl an Kopf bzw. Zahl gerade oder ungerade ist. Somit muss sich der Zauberer merken, ob die Anzahl an Zahl gerade oder ungerade ist. Wenn die Münze verdeckt ist, schaut der Zauberer, ob die Anzahl an Zahl weiterhin gerade oder ungerade ist. Wenn das nicht mehr der Fall ist, weiß der Zauberer, dass die verdeckte Münze Zahl zeigt.

Für den 21-Karten-Trick wird eine zufällige Karte aus 21 beliebigen Karten gewählt. Diese Karte wird an beliebiger Stelle in den Stapel gesteckt. Nun werden die Karten abwechselnd in drei Reihen gelegt. Die Person, die die Karte gewählt hat, zeigt nun die Reihe, in der sich

die Karte befindet. Diese Reihe wird nun in die Mitte gelegt, und dieser Vorgang wird zwei weitere Male wiederholt. Am Ende befindet sich die Karte immer an der 11. Stelle. Dadurch, dass die Reihe immer in die Mitte gelegt wird, wandert die Karte Stück für Stück in die Mitte.

Der 27-Karten-Trick funktioniert ähnlich. Statt der 21 Karten werden jedoch 27 Karten verwendet. Außerdem fragt der Zauberer die andere Person nach einer beliebigen Zahl zwischen 1 und 27. Ähnlich wie beim 21-Karten-Trick werden die Karten in drei Reihen gelegt, und es wird die Reihe erfragt. Statt diese in die Mitte zu legen, wird sie nach einem bestimmten System hingelegt: Man subtrahiert 1 von der gewählten Zahl und wandelt diese ins Ternärsystem, also ins Dreiersystem, um. Dann beginnt man mit der letzten Ziffer: Für eine 0 legt man den Stapel nach oben, für eine 1 in die Mitte und für eine 2 nach unten. Dadurch landet die Karte an der gewünschten Stelle.

Es hat sehr viel Spaß gemacht zu knobeln, wie diese Tricks funktionieren!

## Wildhüten

SARA LINDE, ANGELA SCHÄFER

Nachdem Jörg im Plenum Werbung für diese „ganz besondere KüA“ gemacht hatte und weil sie von vielen aus dem Leitungsteam als wichtige Tradition bezeichnet wurde, beschlossen einige der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, dort hinzugehen. Fraglich war nun, warum so ein großer Wirbel um ein scheinbar langweiliges Umweltprojekt des LSZU gemacht wurde. Wie sich herausstellte, war das Projekt alles andere als langweilig – und sogar ziemlich anstrengend, da wir eine Prüfung mit sechs Stufen ablegen mussten, um Wildhüter zu werden. Unsere Aufgabe bestand darin, die Wildtierpopulation anhand verschiedener Datensätze möglichst genau zu bestimmen.

Da alle angehenden Wildhüter zu Beginn einen Schwur ablegen mussten, nichts Genaues über die KüA zu verraten, sind weitere Informationen streng geheim.

Eines können wir allerdings noch verraten: Es hat sehr viel Spaß gemacht!

## Seifenherstellung

STANISLAV JÖRG

Bevor wir mit der Herstellung unserer eigenen, individuellen Seifen beginnen konnten, ging Jana noch einmal mit uns die notwendige Sicherheitsbelehrung durch. Anschließend ging es direkt los: Wir zogen Laborkittel und Schutzbrillen an und begaben uns in Zweierteams an unsere Arbeitsplätze.

Wir folgten der Anleitung:

- 25 g destilliertes Wasser
- 27,5 g Kokosöl
- 22,5 g Olivenöl
- 20 g Sonnenblumenöl
- 5 g Kakaobutter
- 10,5 g Natriumhydroxid

Zuerst maßen wir alle Zutaten sorgfältig ab und füllten sie in die entsprechenden Gefäße. Danach erwärmen wir die festen Öle und gaben anschließend die flüssigen hinzu. Die Basis war hergestellt – es fehlte nur noch die wichtigste Zutat. Mit Schutzhandschuhen leerten wir das Natriumhydroxid vorsichtig in die Öl-mischung und mixten alles gut durch, bis die Masse aussah wie Ananassaft.

Diese Mischung verteilten die Teams anschließend gleichmäßig in Muffinformchen aus Papier. Nun war die Seife fast fertig: Jeder konnte seine persönliche Lieblingskombination aus Duft und Farbe gestalten. Zur Auswahl standen etwa Lavendel, Rosmarin oder Zitrone sowie Farben wie Rot, Blau, Lila oder Grün. Nachdem man beides miteinander verrührt hatte – tada! – war die eigene Seife fertig und konnte nach dem Verfestigen am nächsten Tag abgeholt werden.

## Wikingerschach

MATZ VON ASCHERADEN

Habt ihr schon einmal von Wikingerschach gehört? Obwohl der Name etwas anderes vermuten lässt, hat dieses Teamspiel weder viel mit Schach noch mit Wikingern zu tun. Das Ziel ist es, mit Holzstäben zuerst alle Klötze des gegnerischen Teams abzuräumen – und zum Schluss

den König in der Mitte zu treffen. Trifft der Gegner dabei einen eigenen Klotz, darf man erst wieder gegnerische Klötze abwerfen, wenn man den eigenen zurück ins gegnerische Feld geworfen und mit dem Holzstab getroffen hat. Gelingt das nicht, darf die gegnerische Mannschaft beim nächsten Wurf näher heranrücken. Dieses spannende Spielprinzip sorgte bei uns jedes Mal für jede Menge Spaß und Spannung.



Besonders schön war, dass auch unsere beiden Akademie-Assistenten Melli und Julian mit dabei waren – und wer die beiden kennt, weiß, dass es garantiert lustig wird! Insgesamt spielten wir drei Partien und merkten schnell: Die eine Gruppe fühlte sich auf dem weichen Rasen am wohlsten, während der anderen die feste Tartanbahn besser lag. Es wurde viel gelacht, angefeuert und voller Begeisterung mitgefiebert.

Das Spiel war aber nicht nur unterhaltsam – als eine der ersten KüAs brachte es uns näher zusammen, stärkte den Teamgeist und sorgte für ein wunderbares Gemeinschaftsgefühl.

## Häkeln

LINA BANGERT, AMALIA LEMMER

Ein weiteres KüA-Highlight war die Häkel-KüA, die von Cara in einer Abendschiene angeboten wurde. Dafür hatte sie extra eine ganze Tasche voller Wolle und einige Häkelnadeln mitgebracht, die alle frei benutzen durften. Wir trafen uns in Gebäude 6 in einem kleinen Raum, um das Häkeln zu lernen.

Zu Beginn stellte uns Cara drei verschiedene Projekte mit unterschiedlichen Schwierigkeits-

graden vor, zwischen denen man auswählen konnte: eine Biene, eine Rose und ein Männchen. Für diejenigen, die noch wenig bis keine Häkelerfahrung hatten, erklärte Cara zunächst die Grundtechniken des Häkelns. Währenddessen begannen die Erfahreneren bereits mit ihren Projekten.



In der restlichen Zeit hatte Cara viel damit zu tun, einzelne Fragen zu beantworten und die nächsten Schritte zu zeigen. Viele Projekte waren am Ende der KüA noch nicht ganz fertig, doch die Motivation, sie zu vollenden, blieb groß. Deshalb trafen wir uns auch in den folgenden Tagen, um unsere Projekte abzuschließen oder sogar noch weitere zu beginnen.

Cara stand uns während der gesamten Zeit stets helfend zur Seite und erklärte geduldig alles, was wir wissen wollten. Dafür ein ganz herzliches Dankeschön!

## Improtheater

JASPER BOERSMA

In der Improtheater-KüA konnten auch diejenigen, die nicht im Theaterkurs waren, ein wenig Bühnenluft schnuppern.

Es war ein interessanter Abend, an dem wir durch Improvisationen spontan Geschichten

entwickeln oder auf Pressekonferenzen auftreten mussten – ohne zu wissen, was wir angeblich getan hatten.

So entstanden skurrile Szenen über Dackel-Weitetreten, Raketen-Diebstahl bei Elon Musk und sogar einen Einbruch ins Erdmännchen-Gehege – in Boxershorts.

Insgesamt hatten wir unglaublich viel Spaß!

## Luftartistik

DAPHNE ROTH

Uns in einem Aerial Hoop drehen, die verschiedensten Figuren am Vertikaltuch erlernen und eine atemberaubende Choreografie von einer echten Artistin sehen – all das konnten wir in zwei KüA-Schienen unter der Leitung von Elena.



Zu Beginn der KüA erklärte sie uns zunächst die nötigen Grundtechniken, danach durften wir uns direkt ausprobieren. Dabei merkten wir schnell, dass all die Figuren und Wicklungen des Tuches – die bei Elena so mühelos aussahen – in Wirklichkeit viel Kraft und Geschick

erforderten. Nach einigen Versuchen gelang es uns jedoch, die meisten Figuren schön nachzubilden. Dabei jagten wir Wiebke vielleicht den ein oder anderen kleinen Schrecken ein oder sind gelegentlich in etwas ungünstige Situationen geraten, hatten aber die ganze Zeit einen riesigen Spaß. In der Turnhalle herrschte zudem eine wunderbar entspannte Atmosphäre.

Gegen Ende der KüA-Schiene waren wir alle mächtig stolz auf unsere Leistungen. Zum Abschluss zeigte uns Elena noch einmal ihre Choreografie vom Bergfest – und es war erneut faszinierend anzusehen.



### Werwolf

LETIZIA MACK, CHARLOTTE  
ZUSCHLAG

Eines Abends begann für uns die KüA-Schiene, in der wir gemeinsam Werwolf spielten. Nachdem wir uns aufgrund der vielen Teilnehmenden in zwei Gruppen aufgeteilt hatten, die Regeln erklärt und die Karten ausgeteilt worden waren, konnte es auch schon losgehen. In beiden Dörfern wurde parallel versucht, die Werwölfe

zu vernichten beziehungsweise – je nach Rolle – das Dorf.

Dabei machten es die vielen Sonderrollen, wie zum Beispiel der Süßigkeiten- oder der Dönermann, manchmal ein bisschen kompliziert, aber dafür umso witziger. So wurde etwa mit „Wählt mich nicht, hier, dann kriegt ihr alle Freibier!“ für die eigene Unschuld plädiert. (Diese Strategie funktionierte übrigens sehr gut.) Während mehrerer Runden mit hitzigen Diskussionen, in denen mal die Werwölfe und mal das Dorf gewannen, verging die Zeit schnell, und die Abendschiene war leider bald vorbei.

### Keramik

DAPHNE ROTH

An mehreren Nachmittagen und Abenden konnten wir unter der Anleitung von Georg unsere Kreativität ausleben und in der Werkstatt des LSZU getöpferte Akademie-Andenken herstellen.

Zunächst zeigte er uns die gängigsten Techniken, etwa das Herstellen von Schalen oder das Verbinden zweier Tonstücke. Danach ging es direkt an die Ideenfindung, und wir begannen, unsere ersten Werkstücke zu formen. In der Keramik-KüA entstanden unter anderem Akademie-Tassen, bunte Anhänger, zahlreiche Müslischüsseln sowie Skulpturen – zum Beispiel von unserem Känguru-Maskottchen.

Nach der Fertigstellung der Tonbasis mussten die Werke zunächst trocknen, bevor wir sie in einer weiteren KüA-Schiene mit Engobe, also flüssigem, farbigem Ton, bemalen konnten. Anschließend wurde die Keramik zum ersten Mal gebrannt. Wer wollte, durfte seine Stücke danach noch glasieren, um sie glänzend und waserdicht zu machen. Nach dem zweiten Brand konnten die meisten Kunstwerke – noch warm – am Abschlusstag mitgenommen werden. Da wir jedoch so fleißig waren, reichte der Platz im Ofen nicht für alles aus, sodass einige Stücke erst am Doku-Wochenende abgeholt werden konnten.

Egal ob beim konzentrierten Töpfen, beim Plaudern zwischendurch oder beim spielerischen Auslassen kleiner Frustrationen am Ton –

wir hatten alle große Freude am gemeinsamen kreativen Arbeiten und bewunderten gegenseitig unsere Kunstwerke.



## Gruppendynamik und Stressbewältigung

CHARLOTTE ZUSCHLAG

Während der Akademie durften wir gleich zweimal Liselotte bei uns als Gast begrüßen, die uns spannende Workshops zu den Themen Gruppendynamik und Stressbewältigung anbot.

Im ersten Workshop stand die Zusammenarbeit mit verschiedenen Menschentypen im Fokus. Nach einem Austausch über unsere persönlichen positiven sowie negativen Erfahrungen in Gruppenarbeit stellte Liselotte uns ein Kreismodell vor, das verschiedene Menschentypen und ihre jeweiligen Stärken im Team aufzeigte. Anschließend ordneten wir uns alle selbst darin ein und konnten so über unsere eigenen Stärken und Vorlieben bei Gruppenarbeit reflektieren. Außerdem lernten wir Strategien, um Probleme in Gruppen einfacher zu erkennen und zu lösen. Am Ende blieb noch genügend Zeit für unsere Fragen, und nach der Mittagsschiene konnten wir unser neu erlangtes Wissen direkt in den Kursen anwenden.

Der zweite Workshop griff das für uns alle sehr passende Thema Stressbewältigung auf. Wir

starteten den Workshop gemeinsam mit einer Meditationsübung und tauschten uns dann mit den anderen über unsere eigenen Erfahrungen und Strategien im Umgang mit Stress aus. Danach erklärte Liselotte uns die verschiedenen Arten von Stress und wie wir unsere inneren und externen Anforderungen und Ressourcen anpassen können, um uns nicht zu überfordern. Am Ende konnten wir das neu Gelernte mithilfe eines Arbeitsblatts direkt auf unsere momentane Situation in der Akademie übertragen und somit unseren Stress effektiv reduzieren.

Vielen Dank noch einmal an Liselotte für die beiden KüAs. Die Workshops haben super viel Spaß gemacht, und wir konnten alle viel Neues lernen.

## Zeitung

JOHANNA SPITZER

Die Zeitungs-KüA fand jeden Morgen zeitgleich mit dem Frühspor vor dem Frühstück statt. Wir trafen uns im Eckenberg-Gymnasium und lasen dort in der Sitzecke zuerst einmal die Zeitungen, die fast jeden Morgen neu geliefert wurden. Wer wollte, konnte aber auch mit dem Handy oder anderen digitalen Geräten im Internet recherchieren, und nachdem wir die Zeitungen durchgelesen hatten, suchte sich jede/r ein paar besonders interessante oder wichtige Artikel heraus, über die wir uns kurz austauschten und dann eine Reihenfolge besprachen, in der wir die Artikel später präsentieren wollten. Denn nachdem wir alle gefrühstückt hatten, konnten diejenigen, die wollten, ihre ausgesuchten Artikel allen anderen im Plenum vortragen, sodass die ganze Akademie darüber informiert wurde, was außerhalb passierte.

## Schach

VATSAL PRAKASH

An zwei Abenden fand eine Schach-KüA statt, bei der wir zusammen Schach spielten. Es herrschte eine entspannte Atmosphäre, auch an dem Abend, an dem das epische Duell zwischen

Julian, dem zukünftigen Weltmeister, und den anderen Teilnehmern der KüA stattfand. Leider musste sich Julian geschlagen geben. Aber egal – so etwas passiert den Besten!

Auf jeden Fall hatten hier sowohl Schachprofis als auch Schachanfänger und alle dazwischen eine Menge Spaß.



## Fotografie und Bildgestaltung

LOTTA BLAUKAT

Unsere Ausrüstung – nur ein Handy oder eine Kamera, unser Ziel – Kunstwerke erschaffen.

In der KüA zum Thema Fotografie und Bildgestaltung erklärte uns Julian zunächst, welche verschiedenen Elemente wie Licht, Schärfe, Farben, Formen oder Perspektive bei einem Foto Wirkung erzeugen können und wie wir diese nutzen können, um den Bildern unterschiedliche Ausdrucksformen zu verleihen.

Denn in dieser KüA ging es nicht um die Technik hinter dem Foto, sondern ausschließlich um den Prozess des Fotografierens und die Bildgestaltung – also die Anordnung verschiedener visueller Elemente, um verschiedene Wirkungen zu erzeugen.

Nachdem wir die wichtigsten Punkte besprochen hatten, ging es auch schon an die Praxis.

Unserer Kreativität war keine Grenze gesetzt, und wir begaben uns auf eine Fotoexpedition auf dem Campus. Unter dem Motto „Linien und außergewöhnliche Perspektiven“ fotografierten wir alles, was uns vor die Linse kam, und merkten dabei schnell, dass so vieles das

Potential für ein großartiges Foto hat, wenn wir mit offenen Augen durch die Welt gehen.

Im Anschluss setzten wir uns noch einmal zusammen und schauten uns gemeinsam die entstandenen Kunstwerke an.

## Tanzstunde mit den Raf/phael

OSCAR KUCH

An einem – für Adelsheim in diesem Jahr typischen – kalten und nebligen Abend fand in der Abendschiene eine KüA statt, die für mich persönlich ein Highlight war. Nachdem der gesamte Jungsflur Raphael zugeredet hatte – und er selbst natürlich auch Lust darauf hatte – gaben er und Rafael einen Tanzkurs. Dieser fand im Forum des EBG statt.

Eine unserer größten Befürchtungen war, dass nur Jungs teilnehmen würden und der Abend dadurch vielleicht etwas langweilig werden könnte. Dass sich am Ende fast die gesamte Akademie ins Forum drängen würde, hätte von uns zu diesem Zeitpunkt niemand erwartet. Die Kombination aus einem Profitänzer, seiner Tanzpartnerin und einem gelegentlich aushelfenden Tanzlehrer machte den Kurs zu einem großartigen Erlebnis.



Wir lernten die Grundschritte von Cha-Cha-Cha und Rumba sowie eine Figur aus der Samba. Außerdem übten wir die richtige Körperhaltung beim Tanzen („Stell dir vor, du hast eine Medaille umgehängt“). Im Laufe des Abends wiederholten und vertieften wir die Schritte und durften am Ende – gnädigerweise sogar noch bis nach 21 Uhr – weitertanzen.

Zum krönenden Abschluss präsentierte Raphael allein in seiner Tanzausrüstung eine seiner Profiküren, bei der er durch den Raum zu fliegen schien.



## Challenges

NIKLAS WEITZEL MARRODÁN

Bei den Challenges mit Lorenz wurden wir auf eine sehr anspruchsvolle und abwechslungsreiche Art und Weise herausgefordert. Wir mussten sowohl ein bisschen nachdenken als auch gut im Team zusammenarbeiten.



Dazu haben wir uns in sechs Gruppen mit jeweils etwa fünf Personen aufgeteilt. Die Challenges waren so vielseitig, dass nie dasselbe Team gewonnen hat, und es war auch nicht schlimm, wenn man eine Challenge mal nicht geschafft hat.

Als wir ankamen, hatte Lorenz schon sein unverkennbares Grinsen im Gesicht – und das nicht ohne Grund: Wir mussten mit Spaghetti

und Marshmallows einen hohen Turm bauen und aus Papier eine Brücke konstruieren, über die ein Modellauto fahren sollte. Bei einer anderen Aufgabe haben wir es sogar geschafft, sieben Zimmermannsnägel auf einem einzigen Nagel, der in einem Holzklotz steckte, zu stapeln. Am Ende der KüA haben wir noch einen Golfball (erfolgreich) durch einen 15 Meter langen Feuerwehrschauch gestopft.



Alle Challenges waren so gestaltet, dass es nahezu unmöglich gewesen wäre, sie alleine zu lösen – auch wenn acht Hände an einem Nagel eine Challenge für sich sind.

Alles in allem war es eine tolle KüA, die sehr viel Spaß gemacht hat und bei der viel gelacht wurde. Wir danken Lorenz vielmals dafür!

## Kreatives Schreiben

SARINA BAUMGÄRTNER

Gedanken erfassen, Gefühle ausdrücken, in einer anderen Welt versinken, eine kleine Auszeit von allem um einen herum: Das war die KüA „Kreatives Schreiben“, die an einem Sonntagabend unter der Leitung von Sarina und Hannah stattfand.

Nach einer kurzen Einführung, in der Anregungen und Tipps zum Schreiben gegeben wurden, hatten die Teilnehmenden genügend Zeit, ihre Gedanken aufs Papier zu bringen. Es wurde am Tablet, Handy oder klassisch auf Papier

geschrieben. In ruhiger Atmosphäre entstanden viele verschiedene literarische Textformen – darunter Gedichte, Gedankengänge, Kurzgeschichten sowie ein Buch, das weitergeschrieben wurde. Schließlich konnte jede und jeder, der wollte, die eigenen Ergebnisse mit der Gruppe teilen. Es war beeindruckend zu sehen, welche tollen Texte in so kurzer Zeit entstanden sind.

## Hausmusikabend

ARINA SKOPIUK-STETSENKO

Am neunten September fand der Hausmusikabend statt – ein Abend, auf den nicht nur die Musikerinnen und Musiker, sondern auch alle anderen Teilnehmenden der Akademie gespannt gewartet hatten.

Eröffnet wurde das Konzert von BROZZ, die mit ihrem Auftritt sofort den Ton für den Abend vorgaben. Ein großer Dank gilt Franziska, Jannick, Jonas, Konstantin, Mariya, Oscar, Rishi und Valentina, die großartige Stücke wie „Eye of the Tiger“, „The Sound of Silence“ und „Major Tom“ darboten. Begleitet vom rhythmischen Klatschen des Publikums herrschte schon zu Beginn eine ausgelassene Stimmung im Saal.

Etwas ruhiger wurde es danach mit Felicias Klavierstück „Bohemian Rhapsody“. Mit ihrer Interpretation, die sowohl energiegeladene als auch sanfte Passagen umfasste, gelang ihr ein außergewöhnlicher Vortrag, der das Publikum berührte.

Anschließend spielte Lea „Sinner's Finale“ aus dem Spiel „Genshin Impact“ – ein gefühlvolles und zugleich nachdenkliches Stück über eine Göttin, die sich opfert, um ihr Land zu retten. In Leas Vortrag war diese tragische Geschichte deutlich spürbar. Es folgte „Hochzeit auf Troldhaugen“, gespielt von Jasper. Das mehrteilige Werk wechselt zwischen lebhaften und sanften Passagen. Jaspers ausdrucksstarkes Spiel und sein feines Tempogefühl sorgten für eine beschwingte und heitere Atmosphäre im Raum.

Ein bekanntes Werk war Chopins „Nocturne op. 9 Nr. 2“, interpretiert von Vatsal. Dieses ohnehin wunderschöne Stück gewann durch sein einfühlsames Spiel nochmals an Tiefe. Dar-

auf folgte Alina mit Tschaikowskys „Barcarole“. Durch ihr präzises Legato gelang es ihr, die sanfte, fließende Melodie hervorragend zum Ausdruck zu bringen.

Evelyn begeisterte im Anschluss mit Liszts „Liebestraum Nr. 3“ – einer großartigen Melodie, die sie mit viel Gefühl und einem feinen Gespür für das temperamentvolle Wesen des Stücks vortrug. Mit „Scars to Your Beautiful“ brachte Emilia neue Klangfarben in den Abend: Sie sang und begleitete sich selbst und vermittelte mit ihrer Stimme eindrucksvoll die Botschaft des Liedes.



Neben den Soloauftritten präsentierten auch Chor und Orchester gemeinsame Stücke, die im Rahmen der Musik-KÜA einstudiert worden waren. So etwa der „Raider's March“ aus dem Film „Indiana Jones: Jäger des verlorenen Schatzes“, bei dem Orchester und Chor gemeinsam auftraten.

Anschließend folgten drei weitere gemeinsame Stücke: „Rhythm of Life“ – ein dynamisches, rhythmisch mitreißendes Lied –, das berühmte „Jurassic Park“-Thema sowie „Alicia“ aus dem Videospiel „Clair Obscur: Expedition 33“, das von einer Fantasiewelt erzählt, die eine Apokalypse überlebt hat.

Ein besonderer Dank gilt Alina, Johanna, Jonas und Rishi für die charmante Moderation des Abends.

Und natürlich geht ein riesiges Dankeschön an Tobi und Daniel, die Chor und Orchester in nur sieben Proben mit großartigem Engagement und viel Herzblut zusammengeführt und geleitet haben.

Von allen Teilnehmenden der Musik-KüA – Anne-Victoria, Arina, Cong-Sin, Emilia, Evelyn, Johanna, Lea, Louisa, Valentina, Jannick, Manuel, Jonas, Franzi, Sara, Alina, Jasper, Rishi, Avaneesh, Estée, Fabienne, Konstantin, Eva und Mariya – ein herzliches Dankeschön: Es war eine unglaublich schöne Zeit, die wir gemeinsam erleben durften!

## Sportfest

ELENA ZWINGMANN

Niemand von uns wusste genau, was es mit dem Sportfest auf sich hatte, doch es kursierten immer mehr Gerüchte von Disziplinen wie 4000-Meter-Lauf, 800 Meter Hürden oder Liegestütze und Klimmzüge in einer Minute. Und dann wurde eine Liste mit zum Teil scheinbar unbrechbaren Rekorden in den oben genannten Disziplinen und weiteren Disziplinen in der Art ausgehängt. Manche hatten daher etwas Bedenken vor dem Sportfest und versuchten, sich gegenseitig die Disziplinen beizubringen.

Als wir dann auf den Sportplatz kamen, waren allerdings nirgendwo Hürden oder Diskusnetze zu sehen, stattdessen ein merkwürdiger Parcours aus Hütchen und jede Menge Gegenstände in den Toren. Nach einem kurzen Warm-Up stellte sich heraus, dass die ganze Geschichte mit den schwierigen Disziplinen nur inszeniert worden war und wir in Wirklichkeit sportliche und lustigste Teamaufgaben lösen mussten. Dabei dürfen ermutigende Schlachtrufe natürlich nicht fehlen:

- Genetik: „Veni Vici Ziegi!“
- Mikrogravitation und Raketenphysik: „Mit Spitzen und Finnen werden wir gewinnen!“
- Pharmazie: „Wir kommen wie der Knall: Attacke, Durchfall!“
- Klimaphysik: „Phi r Quadrat – wir sind am Start, unser Batch gewinnt das Match! (huh)“
- Philosophie/Theater: „Ihr Brecht! Ich Marx!“
- Physik: „Licht rein! Strom raus! Wir gewinnen. Punkt. Aus.“

Natürlich wurden die Kurse nicht nur von ihren Schlachtrufen ermutigt, motiviert und unterstützt, sondern vor allem von ihren Schülermentor/-innen.



Folgende Disziplinen haben wir zusammen bewältigt:

- Ein großes Holz-A mit unserem Schülermentor / unserer Schülermentorin darauf möglichst schnell an vier langen Seilen über das Spielfeld, um ein Hütchen herum und wieder zurück bewegen, und möglichst ohne dass der-/diejenige herunterfällt.
- Den Schülermentor / die Schülermentorin in einer Schubkarre im Hütchenparcours „einkaufen“ fahren und dabei möglichst schnell alle benötigten Gegenstände aus den Toren holen, aber dabei trotzdem die Verkehrsregeln beachten. Bei Nichtbeachtung kam es zu einer Aufaddierung zur benötigten Zeit.
- Als Gruppe ein Zelt aufbauen, während eine Hälfte der Gruppe die Augen verbunden hat und die andere Hälfte das Zelt nicht anfassen darf (das Zelt war nachher leider kaputt).
- Dosenwerfen, aber statt mit Bällen mit einem Ring, an dem zwei unterschiedlich lange Seile befestigt sind. Die Seile müssen von zwei Leuten genommen werden, und zusammen müssen die beiden versuchen, den Dosenstapel zu treffen. Diese Disziplin erwies sich als sehr schwierig.
- Einen Kleinbus möglichst schnell ein Stück den Berg hochziehen und -schieben.
- Das Spiel „Eisscholle“, bei dem die Kurse in der Turnhalle eine „Expedition im

„Polarmeer“ unternahmen. Ziel war es, mit dem „Schiff“ (einer umgedrehten Turnbank), das sich rollend auf Holzstäben fortbewegte, möglichst schnell zur anderen Seite der Turnhalle und wieder zurück zu gelangen. Dabei saß ein Teil des Kurses auf dem Schiff. Dieser Teil durfte die Holzstäbe allerdings nicht von hinter dem Schiff holen und vor das Schiff legen. Das musste der andere Teil des Kurses übernehmen. Die konnten aber nicht auf dem kalten Polar meer laufen, weshalb sie sich auf „Eisschollen“ (Stofffetzen) fortbewegen mussten. Die kalten Eisschollen durften sie aber nur mit dicken Handschuhen anfassen.

- Am Ende sind die Kurse gegeneinander bei einem Staffellauf angetreten, bei dem immer zwei Personen zwei Luftballons zwischen sich klemmen und so um ein Hütchen am anderen Ende des Spielfelds und wieder zurück laufen mussten. Wenn ein Luftballon runterfiel, musste das Zweierteam neu starten, platzte ein Luftballon, musste sich der Kurs einen neuen Luftballon bei Wiebke holen. Jeder musste zwei- bis dreimal laufen. Die Kurse setzten dabei auf ganz unterschiedliche Strategien. Wenn ein Kurs fertig war, wurde das mit lautem Jubel gefeiert.



Durch das Sportfest und das gemeinsame Bewältigen der Disziplinen sind die Kurse noch enger zusammengewachsen.

Nach dem Sportfest konnten wir uns beim Grillabend mit Leckereien vom Buffet und vom Grill stärken. Nachher haben wir an selbstgeschnittenen Stöcken Stockbrot über dem Lagerfeuer gebacken. Für die gute Stimmung durfte natürlich Musik nicht fehlen, zu der viele von

uns begeistert tanzten. Als Abschluss hörten wir dann noch den „Vegetarischen Krimi“ von Willy Astor.



## Bergfest

EVELYN HATKO, LEA VÁCLAVÍK,  
SOPHIA HERBEL, EMILIA PAUL

Zur Mitte der Akademie haben wir ein Fest gefeiert, welches den Höhepunkt eines Aufstiegs auf den Berg unserer Expedition symbolisiert. Deswegen heißt das Fest: Bergfest.

Es sollte uns daran erinnern, wie weit wir schon gekommen sind, aber auch, dass wir noch einiges vorhatten.

Bevor die Festivität allerdings starten konnte, mussten eine große Menge Wasserbomben aufgepustet werden. Dabei entstand die Regel: „Wenn dir nicht schwarz vor Augen wird, machst du was falsch.“

Noch während die letzten bunten Luftbehälter mit mehr oder weniger haftendem Klebeband befestigt wurden, startete die Band „Brozz“ mit ihrem Startlied „Major Tom“ und noch einigen anderen Liedern und stimmte damit alle auf den kommenden Abend ein.

Das Fest begann mit zwei großartigen Shows von Elena in der Luftartistik, in welcher sie uns atemberaubende Elemente zeigte, und Raphael im Lateintanz, welcher uns eine Samba getanzt hat, gefolgt von einem Vortrag von Professor Feldmann über die Wichtigkeit der korrekten Verwendung der deutschen Sprache.

Darauf folgten ein paar Fragen wie „Müsli oder Milch zuerst?“, „Akademie-Pullis Burgunder oder Waldgrün?“ und „Sind die Tiere Schafe oder Ziegen?“, welche teilweise heftige Diskussionen und Spaltungen auslösten.



Nach diesen sehr beeindruckenden Eröffnungsbeiträgen ging dann die richtige Party los: Über die Halle verteilt waren verschiedene Stationen aufgebaut, jede spaßiger als die andere.

Gleich vor dem Eingang fand man – besonders wichtig – das Buffet und nur ein paar Schritte weiter ein Glas Schokolinsen, dessen Inhalt fleißig geschätzt wurde. Der Preis: das ganze Glas für den Gewinner. Direkt daneben war das Süßigkeiten-Pong zu finden, welches sich auch ohne den klassischen Alkoholanteil großer Beliebtheit erfreute.

Eine Station weiter befand sich eine teilweise absurd niedrige Limbostange, die dennoch mehrfach bewältigt wurde. Ob die bevorzugte Aktivität hier Teilnehmen oder Zuschauen war, musste jeder selbst entscheiden.

Rechts neben der Bühne fand man dann das Salzbrezel-Wettessen, für die, die beim Buffet noch nicht genug hatten, und zu guter Letzt die wunderschöne Fotowand.

Ebenfalls erwähnenswert: die inoffiziellen Volleyballrunden mit Ballons über die Girlande in

der Mitte der Halle, beziehungsweise größtenteils eher darunter hindurch, aber das störte keinen.

Als diese exquisite Auswahl an Aktivitäten für das Sportfest-Special unterbrochen wurde, waren die Erwartungen von Natur aus hoch, aber wir wurden nicht enttäuscht.

Eine Quizshow mit Fragen zu allseits bekannten Kursinsidern sorgte schon am Anfang für viele Lacher. Sogar die Werbepause bot gute Unterhaltung mit der ersten, aber nicht letzten Erwähnung von „RALF SCHUMACHER?!“ und der koordinatorisch höchst imposanten Seitenbacher-Bergsteigermüsli-Pyramide der Schülermentoren.

Nur überboten werden konnte das durch Lorenz, den innovativen Buzzer der nächsten Fragerunde, geliefert und unsanft aus der Schubkarre abgelegt von Jörg, woraufhin die Schülermentoren auf Zeit noch mehr Fragen zu r Akademie und den Kursen beantworteten und nacheinander ausschieden, bis nur noch die Siegermentorin des Sportfests übrig war.

Anschließend ging es weiter mit der Party und nicht gerade schlechter Stimmung. Zur Musik wurde ausgelassen gefeiert, manchmal mit Tänzen, manchmal mit Mitsingen und manchmal einfach mit guter Laune und Energie.

So oder so ist ein Kreis von rund 100 Leuten, die alle tanzen und „Griechischer Wein“ singen, etwas, das man nicht alle Tage sieht. Und es steht im starken Kontrast zu dem Lied, was wahrscheinlich alle bis zu einem gewissen Grad überraschte und von dem manche von uns sicher schon Alpträume entwickelt hatten: „Kommt ihr bitte“, ein klares Zeichen dafür, dass die Gutenachtgeschichte anstand.

An diesem Tag waren es nicht wie normalerweise die Känguru-Chroniken, sondern eine Version des Sketches „Das verrückte Radio“, in dem sich verschiedene Radiosender zu lustigen Sätzen vermischen. Diese Geschichte, deren bester Humor es war, nicht selten Babys zu kochen oder gegen Torpfosten fliegen zu lassen, bildete doch den perfekten Abschluss für den vorhergegangenen verrückten Abend. Der Schlafmangel am nächsten Tag war zwar unvermeidlich, aber definitiv jede Minute wert.

## Themenabend

KONSTANTIN HAAS

Beim Themenabend hörten wir einen Vortrag über die mathematische Fairness von Wahlsystemen. Den (sehr spannenden) Vortrag hielt Dr. Michael Winckler vom Interdisziplinären Zentrum für wissenschaftliches Rechnen in Heidelberg. Im Verlauf des Vortrags lernten wir fünf unterschiedliche Wahlsysteme kennen.

Zu Anfang war es schwierig, die objektive mathematische Fairness von unserer eigenen, subjektiven Vorstellung politischer Fairness zu trennen – und wie wir lernten, lagen diese in manchen Punkten weit auseinander. Danach lernten wir die Definition der mathematischen Fairness kennen.



Wir thematisierten unter anderem das deutsche, das französische und das US-amerikanische Wahlsystem und stellten fest, dass sogar das Punktesystem der Formel 1 ein Wahlsystem ist. Auch in anderen Bereichen des Alltags – in denen man es oft nicht vermutet – kommen Wahlsysteme zum Einsatz.

Der verblüffendste Teil des Vortrags kam am Ende, als alle Wahlsysteme nacheinander auf eine Tabelle mit Wählerstimmen angewendet wurden. Überraschenderweise gab es bei fünf Wahlsystemen fünf unterschiedliche Sieger.

Das Problem ist jedoch, dass keines der Wahlsysteme mathematisch fair ist. Damit sind diese Systeme nicht allein; es wurde mittlerweile bewiesen, dass kein Wahlsystem allen Kriterien für mathematisch faire Wahlsysteme entspricht bzw. je alle Kriterien erfüllen kann.

## Spiele für Viele

LOTTA BLAUKAT

Egal ob Teilnehmer:innen, Schülermentor:innen oder Leitungsteam – „Spiele für Viele“ war eine KüA, in der alle großen Spaß hatten und zusammen lustige Spiele spielten. Die einzige Voraussetzung: Je mehr mitmachen, desto lustiger!

Der Abend startete damit, dass Störche schreiend vor Bären wegrannten, ging über Mäuse, die sich in einem aus Menschen bestehenden Käse vor der Katze versteckten, und endete damit, dass wir uns mithilfe von Schere-Stein-Papier-Spielen innerhalb der Evolutionskette hochkämpften.

Zwischendurch waren dann auch noch unser Denkvermögen und unsere Teamfähigkeit gefragt, denn wir mussten uns zuerst nach Größe sortieren, allerdings ohne zu kommunizieren. Danach stellten wir uns in dieser Reihenfolge auf ein Seil – und dann kam erst die richtige Herausforderung, denn nun mussten wir uns nach Alter sortieren, ohne das Seil zu verlassen. Mit Hilfe von gegenseitigem Festhalten, Ausweichen und Klettern konnte auch diese Herausforderung gemeistert werden.

## Pralinenherstellung

ALINA SCHWALBE

Nachdem im Plenum die Pralinen-KüA verkündet worden war, leuchteten zu der frühen Stunde selbst die Augen der müden Teilnehmer und Teilnehmerinnen der letzten Reihe auf. Denn was gibt es besseres, als Pralinen zu naschen – und dann auch noch selbst hergestellte?

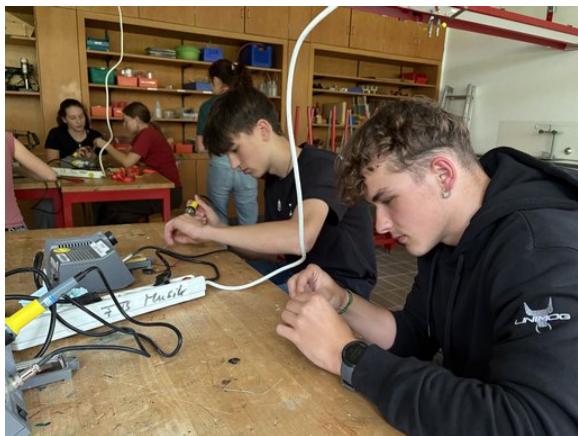
Diese KüA, angeboten von Jana, war ein riesiger Erfolg, denn bereits nach einigen Minuten war die Liste, die unten im LSZU II aushing, voller Interessenten. Bei der Rezeptauswahl war von Nutella-Erdnuss-Pralinen und Schoko-Crossies bis hin zu Nougat-Marzipan-Pralinen für alle was dabei. Nach einer etwas chaotischen und doch lustigen Zubereitung unserer Pralinen, kam letztendlich der beste Teil – das Vernaschen des übrig gebliebenen Nougats. Jana hatte jede Menge Kuvertüre bestellt, so-

dass nach dem letzten Treffen der Pralinen-KüA mehrere aus dem Leitungsteam ebenfalls Pralinen kreieren konnten. Am nächsten Tag konnten wir unsere fertig abgekühlten Pralinen dann mitnehmen und auch gleich vernaschen oder, falls das bei solchen leckeren Pralinen überhaupt möglich war, einige Tage warten und sie dann nach Hause mitnehmen. Ich würde diese KüA auf jeden Fall – besonders an Schokoliebhaber und Schokoliebhaberinnen – weiterempfehlen und meine Familie kann sich jetzt schon sicher sein, dass es die Nutella-Erdnuss-Pralinen mindestens einmal pro Woche wieder bei uns geben wird!

## **Elektronik-Löten**

CARA ROULLET

In der Mittags-KüA-Schiene bekamen wir die Möglichkeit, mit der Studentin Melissa Bauer, liebevoll Melli genannt, einen Wechselblinker zu bauen.



Nach einer kurzen Theorieeinführung konnte es auch schon losgehen. Wir besorgten uns zuerst alle benötigten Materialien: eine selbstdesignete Platine von Melli, zwei Kondensatoren, zwei beliebig farbige LEDs, vier Widerstände, zwei Transistoren, einen Stromanschluss und etwas Lötzinn. Nachdem unsere Lötkolben 280 °C erreichten, fingen wir an, entweder allein oder zu zweit die Bauteile an die Platine zu löten.

Warum und wie lötet man eigentlich? Man lötet etwas an eine Platine, um einen Kontakt zu bilden, damit der Strom geleitet werden kann. Beim Löten muss man wegen der hohen

Temperaturen stets vorsichtig vorgehen. Diese Temperaturen werden jedoch auch gebraucht, um die Bauteile zu erhitzen und danach das Lötzinn an der Verbindungsstelle zuzuführen, damit dieses schmilzt. Dabei darf man nicht zwei Verbindungsstellen miteinander verbinden, sonst funktioniert der Wechselblinker am Ende nicht. Sollte dies versehentlich doch geschehen, eilte uns Melli mit ihrer Wunderwaffe, der Entlütsaugpumpe, auch „Zauberstab“ genannt, zu Hilfe. Mit Melli oder einem Partner und etwas Geschick kann man mit ihr im richtigen Moment geschmolzenes Lötzinn absaugen und falsche Verbindungen so einfach „wegzaubern“.



Wenn am Ende alles gut läuft, hat man einen funktionierenden Wechselblinker.

Vielen Dank an Melli für diese wunderbare KüA!

## **Blood on the Clocktower**

LOUISA SAAL

Lügen, Verwirrung, Misstrauen – das vielseitige Spiel „Blood on the Clocktower“ ermöglichte uns allen dank Lea einen witzigen und abwechslungsreichen Abend. Das Spiel ist ähnlich aufgebaut wie Werwolf, hat allerdings komplexere Spielregeln und Rollen. Es gibt ein böses und ein gutes Team sowie eine Spielleiterin, die von Lea übernommen wurde. Das Spielende tritt entweder ein, wenn der Dämon, der Anführer des bösen Teams, stirbt oder wenn dieser bis zum Ende durchhalten kann und somit das gute Team verliert. Am Anfang bekam jeder von

uns eine Rolle mit einer besonderen Fähigkeit verliehen. Danach konnte das Spiel mit einem sich wiederholenden Ablauf beginnen: Zunächst brach die Nacht ein und der Dämon bestimmte eine Person, die sterben sollte. Anschließend konnten alle Rollen ihre Fähigkeiten nacheinander im Geheimen ausüben. Darauffolgend begann die Tagphase mit dem Austausch von Informationen, die wir mithilfe unserer Fähigkeiten erhalten hatten, oder mit dem Verteilen von Fehlinformationen, um die anderen zu verwirren. Zum Schluss dieser Phase bestimmten alle per Abstimmung eine Person, die „exekutiert“ werden sollte und somit nur noch als Geist teilnehmen durfte. Geister hatten keine Fähigkeiten, durften allerdings trotzdem noch am Austausch teilnehmen und hatten für das gesamte Spiel noch eine Stimme.

Nach ein paar Runden ging uns leider die Zeit aus und Lea nannte uns zwei Spieler, darunter den Dämon. Leider stimmten wir für die falsche Person ab und das böse Team hatte gewonnen.

„Blood on the Clocktower“ ist ein sehr interessantes und spannendes Spiel, unter anderem wegen der verwirrenden Informationslage und der besonderen Tagphase mit dem Austausch untereinander. Dieses Spiel ist sehr empfehlenswert und eine gute Alternative zum typischen Werwolf, solange man von der arbeitsreichen Vorbereitung absieht. An dieser Stelle nochmal ein großes Dankeschön an Lea, die sich so viel Mühe bei der Vorbereitung dieses amüsanten Abends gemacht hat.

### Keksstempel designen

KILIAN ERNST

In der zweiteiligen KüA, die von Christian, Katharina und Klaus angeboten wurde, haben wir erst mit Tinkercad, einem 3D-Design-Programm, Keksstempel designt und dann mit den 3D gedruckten Keksstempeln auch Kekse gebacken.

Los ging der erste Teil mit einer kurzen Einführung in das 3D-Designen und der Vorgabe des Grundgerüsts der Keksstempel. Anschließend konnte jeder individuell seine Stempel gestalten. Dabei wurden neben allen Kurslogos auch Initialen von einzelnen Personen, Symbole und

private Teamlogos als Keksstempel verpackt und anschließend mit 3D-Druckern gedruckt. Da die 3D-Drucker aber vom Physikkurs fast die ganze Zeit über belegt waren, ist bis zum zweiten Teil der KüA, dem Backen, so gerade eben ein Stempel von jedem Teilnehmer fertig geworden.



Für das Backen war die Idee eigentlich, dass die Keksstempel erst in mit unterschiedlichen Lebensmittelfarben versetzten Puderzucker gehalten werden, um dann das Gestempelte farbig noch besser hervortreten zu lassen. Allerdings hat dies nicht so gut funktioniert. Zum Glück konnten wir aber mit Kakaopulver färben, und die Lebensmittelfarben haben dann in den Teigen Anwendung gefunden, sodass wir am Ende dann doch bunte Kekse hatten.

### Discgolf

AARON FETZER

Als ich zum ersten Mal „Discgolf“ hörte, dachte ich an lockeres Frisbee-Werfen im Grünen. Doch schon beim ersten Wurf war schnell klar: So einfach ist es nicht. Die sechs Körbe auf dem Gelände der Akademie waren zwar schnell gefunden, aber die Scheiben dort reizubekommen – das war die eigentliche Herausforderung. Ziel ist es, die Frisbee mit möglichst wenigen Würfen in einen sogenannten „Basket“ zu treffen – ein Metallkorb mit Ketten, der die Scheibe auffangen soll.

Anfangs flogen die Scheiben eher quer übers Gelände als Richtung Ziel. Aber mit der Zeit und ein paar Tipps zu Wurftechniken – etwa Rückhand oder Vorhand, von KüA-Leiter Ole sehr gut erklärt und beeindruckend vorgeführt, wurde es besser. Je mehr Würfe saßen, desto größer wurde der Ehrgeiz. Einige zählten ihre Würfe ganz genau, andere wollten einfach nur weiter werfen als alle anderen.



Die KüA fand zweimal statt, das erste Mal abends, wodurch es am Ende schwierig war, die Körbe zu sehen, und das zweite Mal mittags, wodurch wir mehr Zeit (auch für Technik) hatten. Beim zweiten Mal haben wir dann am Ende auch noch eine Runde Ultimate Frisbee gespielt, ein Spiel ähnlich dem American Football, nur mit Frisbee, und bei dem man mit der Frisbee nicht laufen darf. Am Ende waren alle ein bisschen überrascht, wie viel Spaß das Ganze gemacht hat – und wie sehr man sich plötzlich über einen einzigen guten Wurf freuen kann.

## Jugend-JVA-Vortrag

EMILIA SOMMER

Daniel, der zusammen mit Tobi die Musik-KüA leitete, ist in seinem Leben außerhalb der Science Academy Schöffe am Jugendgericht. In dieser Rolle durfte er während der zwei Akademiewochen im Sommer die Justizvollzugsanstalt (JVA) für Jugendliche in Adelsheim besuchen. Von diesem Besuch und seinen Erfahrungen als Schöffe am Jugendgericht erzählte er uns im Rahmen einer KüA.

Zunächst berichtete Daniel eindrücklich von den Abläufen in der Justiz, von den Strafen für Jugendliche sowie davon, wie man Schöffe beziehungsweise Schöffin wird und was dieses Amt in der Praxis bedeutet. Anschließend berichtete er uns von seinem Besuchstag in der Jugend-JVA Adelsheim. Wir sprachen über den Alltag der Jugendlichen und diskutierten die Härte der Jugend-JVA. Trotz des zum Teil vielleicht erdrückenden Themas erzählte Daniel sehr lebendig von auf den ersten Blick vielleicht trocken wirkenden Rechtsthemen, und der anschließende Austausch war sehr anregend.

## Kettenbrüche

EMILIA SOMMER

Wenn zu einer ganzzahligen Zahl ein Bruch addiert wird, in dessen Nenner eine ganzzahlige Zahl steht, zu der wiederum ein Bruch addiert wird, in dessen Nenner eine ganzzahlige Zahl steht, und so weiter, dann spricht man von einem sogenannten Kettenbruch. Um die Funktionsweise und die Schönheit solcher Kettenbrüche ging es in Jörgs KüA.

Wenn bei diesen Kettenbrüchen im Zähler immer eine Eins steht, spricht man von einem regulären Kettenbruch. Diese haben wir uns vertieft angeschaut. Zunächst stellten wir einige Kettenbrüche mit Stift und Papier dar, um die grundlegende Funktionsweise zu verstehen. Anschließend wechselten wir in den Computerraum, um mit Tabellenkalkulationsprogrammen Kettenbrüche deutlich einfacher darzustellen. Speziell schauten wir uns die Darstellung von Wurzeln und dem goldenen Schnitt als Kettenbruch an. Dabei entdeckten wir periodische Zahlenreihen und überraschende Regelmäßigkeiten in den Kettenbruchdarstellungen. Kurzum bot uns Jörg einen zweistündigen Einblick in die Schönheit mathematischer Strukturen.

## Sportfestrekorde schlagen

ELENA ZWINGMANN

Einige Teilnehmer:innen hatten sich schon darauf gefreut, die Rekorde der vergangenen Sportfeste zu schlagen und sich zu verausgaben.

Deshalb waren sie enttäuscht, als herauskam, dass die Rekorde nur erfunden waren und sie sie nicht beim Sportfest würden schlagen können.

Julian kam daher auf die gute Idee, eine Sportfestrekorde-schlagen-KüA anzubieten. Als erstes haben wir zusammen die Rekorde in Liegestütze pro Minute geschlagen. Dann haben einige Leute an den Toren versucht, die Klimmzugrekorde zu schlagen. Der Mädchenrekord wurde gebrochen, der Jungsrekord war anscheinend zu hoch. Schließlich wurde der Rekord im 4000-Meter-Lauf geschlagen.



## DNA isolieren

IVAN VELEV

An einem Abend boten Katharina und Klaus eine KüA zum Thema DNA-Isolation an. Dabei durften vierzig Leute ihre eigene DNA sichtbar machen und in kleinen Behältern mit nach Hause nehmen.

DNA enthält unglaublich viele Informationen und ist extrem lang: Würde man die DNA aus einer einzigen menschlichen Zelle vollständig ausstrecken, wäre sie über einen Meter lang! Mit bloßem Auge können wir einzelne DNA-Moleküle aber nicht sehen – sie sind einfach zu dünn. Was wir jedoch sehen können, sind große Mengen DNA. Ähnlich wie man einen Zuckerwürfel leichter erkennt als ein einzelnes Zuckerkorn, können wir DNA sichtbar machen, wenn wir genug davon isolieren. Genau das war Ziel dieses Experiments.

Die DNA befindet sich im Zellkern jeder menschlichen Zelle. Für unsere Aufgabe ha-

ben wir Zellen der Mundschleimhaut verwendet. Dazu haben wir sanft auf die Innenseite unserer Wange gebissen, damit sich Zellen lösen, ohne dass es weh tut. Die so gewonnene Spucke wurde von jedem Teilnehmer in ein eigenes Reagenzglas gefüllt.

Beim Aufbrechen der Zellen werden Enzyme freigesetzt – darunter DNasen, die DNA abbauen können. Damit unsere eigene DNA nicht zerstört wird, haben wir dem Reagenzglas drei Tropfen einer Protease-Lösung zugegeben. Proteasen sind Enzyme, die Proteine wie die DNAsen zerschneiden und dadurch unwirksam machen. Danach wurde die Probe fünfmal invertiert, also vorsichtig auf den Kopf gedreht, um die Flüssigkeiten zu mischen, ohne Schaum zu erzeugen. Anschließend haben wir das Reagenzglas im Wasserbad auf etwa 55 °C erwärmt, damit die Protease besonders gut wirken kann.

Die Zellmembran und die Membran des Zellkerns bestehen überwiegend aus Fett. Um sie aufzubrechen, haben wir 1 ml eines Tensids hinzugegeben – Tenside sind fettlösende Stoffe, wie man sie auch in Spülmittel findet. Jetzt wurde die Probe im Wasserbad auf etwa 4 °C gekühlt, um die DNA zu stabilisieren und die spätere Sichtbarmachung zu erleichtern.

Da DNA wasserlöslich ist, sieht man sie im Speichel nicht. Wenn man jedoch eiskalten Alkohol hinzugibt, wird die DNA unlöslich. Es entstehen zwei Phasen: unten der Speichel, oben der Alkohol. An der Grenzschicht erscheinen langsam weiße Fäden, die in den Alkohol aufsteigen. Die niedrige Temperatur erleichtert die Ausfällung, weil die DNA-Moleküle weniger Bewegung haben und sich leichter zu sichtbaren Strängen zusammenlagern.

Zum Schluss haben wir die sichtbare DNA mit einer Pipette in einen kleinen Behälter gefüllt, der als Anhänger getragen werden kann.

Das gesamte Experiment war sehr spannend – es war, als würde man einen Blick in eine sonst unsichtbare Welt werfen. Die KüA hat uns allen großen Spaß gemacht und uns einen faszinierenden Einblick in die Welt der Genetik gegeben.

## Kreiselbau

ANNE-VICTORIA ENANG SENGE

Ob groß oder klein – Kreisel können jeden faszinieren! Während einer Abend-KüA-Schiene bot Lorenz, Kursleiter des Physikkurses, eine Kreiselbau-KüA an. Diese fand in der Werkstatt des LSZU I statt und ermöglichte uns, uns dieser Faszination hinzugeben.



Bevor wir loslegten, bekamen wir eine Sicherheitseinweisung, und Lorenz erklärte uns das weitere Vorgehen. Wir sägten Holzstäbe und bohrten mit Hilfe des Standbohrers Kreisscheiben aus. Die beiden Einzelteile verbanden wir miteinander. Anschließend spitzten wir die untere Spitze unseres Holzstabes an, auf der sich der Kreisel später drehen würde.

Zum Schluss durften wir die Kreisel noch mit Wasserfarben bemalen. Eine besondere Vorgehensweise hierbei war, den Kreisel anzudrehen und die Pinsel spitze dranzuhalten. Das Ergebnis: Ein perfekter Kreis auf der Kreiseloberfläche, der beim Drehen die schon fast hypnotische Wirkung der Kreisel verstärkte. Aber nicht nur das – es gab die unterschiedlichsten Designideen, sodass am Ende kein Kreisel dem

anderen glich. Während der KüA wurde viel gelacht und erzählt.

Mir persönlich hat der Workshop besonders gefallen, da wir unserer Kreativität freien Lauf lassen konnten und die Kreisel am Ende alle auf ganz unterschiedliche Weise einzigartig waren. Es ist immer wieder schön, einem Kreisel beim Drehen zuzusehen. Wir bedanken uns herzlich bei Lorenz für diese tolle KüA.

## Bridge und Klaverjassen

JASPER BOERSMA, AARON FETZER

In dieser KüA wurden Kartenspiele gespielt. Zum einen Klaverjassen, ein niederländischer Kartenspiel-Klassiker, und Bridge, das „richtig tuffe“ Kartenspiel.

Beim Klaverjassen geht es darum, mit seinem Teampartner so viele Stiche wie möglich zu ergattern. Hierbei gibt es mehrere Farben, Trumf, Ruhm, usw. Wir hatten viel Spaß, auch wenn wir nur wenige waren.

Bridge dagegen bezeichnet man auch als Schach der Kartenspiele, als faszinierendstes Kartenspiel der Welt. Das Spiel funktioniert so, dass wirklich zählt, was man aus seinen Karten macht, und nicht, wie gute Karten man hat. Bridge ist ein Kartenspiel, bei dem 4 Leute 2 gegen 2 mit 52 Karten (13 pro Person) darum spielen, möglichst viele Stiche zu bekommen und die Anzahl möglichst genau anzusagen. In der KüA haben wir eine vereinfachte Version gespielt: Mini-Bridge. Es hat allen viel Spaß gemacht und es gab auch Interessenten für einen Kurs in einem Bridge-Club.

## Persisch

AYLIN ÜNAL

In einer KüA stellte uns Helia das persische Alphabet vor. Zu Beginn erhielten wir einen Einblick in die Kultur des Iran sowie in die historische Entwicklung der persischen Schrift. Dabei befassten wir uns vor allem auch damit, welche Rolle der Iran gespielt hat oder auch heute noch spielt. Anschließend wurden die Buchstaben des Alphabets genauer betrachtet: Gleiche Buchstaben wurden identifiziert und

die Aussprache jedes einzelnen Buchstabens geübt.

Danach erfolgte ein Vergleich der persischen Schreibweise mit der eigenen Schrift, um die Besonderheiten der Schriftzeichen besser zu verstehen wie etwa das Schreiben und Lesen von rechts nach links statt links nach rechts.



Zum Abschluss hatten wir die Möglichkeit, unseren eigenen Namen auf Persisch zu schreiben. In dieser KüA war aber natürlich die ganze Zeit über für Stimmung gesorgt: Wir ließen passende Musik laufen und hörten uns beispielsweise persischen „Gangster-Rap“ an. Insgesamt war der Kurs abwechslungsreich und bot neue Erfahrungen.

### Wandertag

LOUISA SAAL

Der Freitag in der zweiten Woche, der 5. September, war als Wandertag vorgesehen, und somit trafen wir uns am Morgen nach dem gewohnten Plenum in zwei Gruppen, in die wir uns am Vortag eingetragen hatten.

Mit den jeweiligen Gruppenleitenden machten wir uns anschließend – ausgerüstet mit Vesper und Regenklamotten, denn der Wetterbericht sagte nichts Gutes voraus – auf den 13 Kilometer langen Weg.

Um noch mehr Spaß bei der ganzen Sache zu haben, stellten uns die Betreuenden fleißig Rätsel, die uns immer wieder fast in den Wahnsinn trieben. Vor allem der rote Punkt und die magischen Zahlen ließen viele Köpfe rauchen, selbst noch mehrere Tage später.

Die Knobelei wurde nur einmal kurz unterbrochen, als uns die andere Gruppe entgegenkam und wir kurz darauf auf einer gespannten Slackline über einen Bach klettern mussten. Doch das Hindernis konnten alle mit Leichtigkeit überwinden, und die Wanderung konnte ohne weitere Zwischenfälle fortgesetzt werden.

Wegen der Rätsel ging die Wanderung ziemlich schnell vorüber, und auch der kurze Regenschauer machte niemanden wirklich etwas aus. Trotzdem waren die meisten froh, wieder anzukommen und sich pünktlich um die Mittagszeit mit dem leckeren Essen in der Mensa zu stärken.



### Abschlussabend

ARINA SKOPIUK-STETSENKO

Am Ende der Akademie fand der Abschlussabend statt – ein großes Konzert, bei dem die Teilnehmenden der Musik-KüA und von BROZZ gespielt und gesungen haben.

Der Abend begann mit einem Orchesterstück: dem „Raider’s March“ – einer energiegeladenen Melodie, bei der sowohl das Orchester als auch der Chor mitwirkten. Danach trat der Theater- und Philosophiekurs mit dem Stück „Der gute Mensch von Sezuan“ auf, in dem die Frage behandelt wurde, was einen guten Menschen ausmacht. Durch das engagierte und ausdrucksstarke Spiel der Schauspielerinnen und Schauspieler wurde das Stück zu einem besonderen Erlebnis.

Anschließend traten Chor und Orchester mit dem Stück „Alicia“ aus dem Videospiel „Clair

Obscur: Expedition 33“ auf. Die langsame, gefühlvolle Musik verwandelte die Stimmung im Saal von ausgelassen in ruhig und besinnlich.



Mit „Rhythm of Life“ folgte ein weiteres gemeinsames Stück von Chor und Orchester, das die Atmosphäre erneut wandelte – diesmal zurück zu mitreißender, rhythmischer Energie.

Das darauffolgende „Jurassic Park“-Thema, gespielt vom Orchester und begleitet vom Chor, verband ruhige und schwungvolle Passagen zu einem beeindruckenden Klangbild.

Zwischen den Musikstücken gab es Danksagungen, zum Beispiel vom Förderverein an die Akademieleitung. Vor allem aber wurden alle, die an der Akademie teilgenommen hatten, auf die Bühne gerufen und erhielten ein Geschenk: einen Kompass, der das Motto der Akademie – Expeditionen – symbolisierte.

Zum Abschluss trat die Akademie-Band BROZZ auf und spielte „Eye of the Tiger“, „The Sound of Silence“ und „Major Tom“. Den krönenden Abschluss bildete das letzte Stück „Tequila“, bei dem das Leitungsteam die Band tatkräftig mit Kazoos unterstützte.





## Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 22. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt erst möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Dieter Schwarz Stiftung, die Vector Stiftung, die Hopp Foundation for Computer Literacy & Informatics und den Förderverein der Science Academy gefördert. 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, sowie dem Referat 35 „Allgemein bildende Gymnasien“ am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, namentlich Herrn Jan Wohlgemuth und seiner Nachfolgerin Frau Dr. Margret Fetzer.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Leiterin des Bereichs Akademien Frau Dr. Ulrike Leikhof, der Referentin für die Deutschen JuniorAkademien und die Deutschen SchülerAkademien Dr. Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Wir waren 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 Klaiber sowie dem Leiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Oberstudiendirektorin Dr. Andrea Merger, Leiterin des Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg, und Herrn Oberstudiendirektor Stefan Ade, Leiter des Schwetzinger Hebel-Gymnasiums, wo wir bei vielfältiger Gelegenheit zu Gast sein durften.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit dem Schülermentorenteam 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 12, Abbildung DNA-Aufbau:

Von Wikipedia-User Matt bearbeitet nach einer Abbildung von Wikipedia-User Madprime,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chemische\\_Struktur\\_der\\_DNA.svg?lang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chemische_Struktur_der_DNA.svg?lang=de)  
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 13, Abbildung DNA-Replikation:

Ausschnitt aus einer Abbildung von Wikimedia-User VWALevi2020,  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Replikation#/media/Datei:DNA-Replikation.png>  
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)

Seite 15, Abbildung Ablauf einer PCR:

Bearbeitet nach einer Abbildung von Wikimedia-User Enzoklop,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polymerase\\_chain\\_reaction.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polymerase_chain_reaction.svg)  
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 54, Abbildung ISS:

Roskosmos/NASA, <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/projekte-und-missionen/iss/die-internationale-raumstation-iss-forschung-im-all-mit-nutzen-fuer-alle>

Seite 62, Abbildung DLR in Lampoldshausen:

DLR, <https://www.dlr.de/de/das-dlr/standorte-und-bueros/lampoldshausen/>  
CC BY-NC-ND 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode>)

Seite 70, Menschlicher Verdauungstrakt:

Bearbeitet nach einer Abbildung von Wikimedia-User LadyofHats,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digestive\\_system\\_diagram\\_de.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digestive_system_diagram_de.svg)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 71, Aufbau des Dünndarms:

Bearbeitet nach einer Abbildung von Wikimedia-User McorNGHH,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villi\\_%26\\_microvilli\\_of\\_small\\_intestine.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villi_%26_microvilli_of_small_intestine.svg)  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 71, pH-Skala:

Wikimedia-User Palmstroem, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PHscala.png>  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 74, elektromagnetisches Spektrum:

Wikimedia-User Horst Frank / Phrood / Anony,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic\\_spectrum\\_-de\\_c.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_-de_c.svg)  
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 89, Fotografie von Bertolt Brecht:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild\\_183-W0409-300,\\_Bertolt\\_Brecht.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-W0409-300,_Bertolt_Brecht.jpg)  
Bundesarchiv, Bild 183-W0409-300 / Jörg Kolbe  
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 93, Büste des Aristoteles:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle\\_Altemps\\_Inv8575.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_Altemps_Inv8575.jpg)  
Teil der Ludovisi Collection, Foto von Jastrow (2006)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 95, Gemälde von Immanuel Kant:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant\\_gemaelde\\_3.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg)  
Johann Gottlieb Becker (1768)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 95, Fotografie von Arthur Schopenhauer:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur\\_Schopenhauer\\_colorized.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur_Schopenhauer_colorized.jpg)  
CC0 1.0 (<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode.en>)

## BILDNACHWEIS

Seite 97, Fotografie von Karl Marx:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl\\_Marx\\_by\\_John\\_Jabez\\_Edwin\\_Mayall\\_1875\\_-\\_Restored\\_%26\\_Adjusted\\_%283x4\\_cropped\\_b%29.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_Marx_by_John_Jabez_Edwin_Mayall_1875_-_Restored_%26_Adjusted_%283x4_cropped_b%29.png)  
John Jabez Edwin Mayall (1875)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 99, Gemälde von Friedrich Nietzsche:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait\\_of\\_Friedrich\\_Nietzsche.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_Friedrich_Nietzsche.jpg)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 100, Gemälde von Gotthold Ephraim Lessing:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gotthold\\_Ephraim\\_Lessing.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gotthold_Ephraim_Lessing.jpg)  
Nach einem Gemälde von Carl Jäger (ca. 1870)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet

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\\_Note/Images](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Copyright_Note/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>