

## JuniorAkademie Adelsheim

# 19. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2022



**Astronomie** 



**Biologie** 



Mathematik/Informatik



Pharmazie/Chemie



Philosophie/Ethik



**Physik** 

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung





## Dokumentation der JuniorAkademie Adelsheim 2022

19. Science Academy Baden-Württemberg

#### Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2022:

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 –Schule und Bildung– Hebelstr. 2 76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245 Fax.: (0721) 933 40270 www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de birgit.schillinger@scienceacademy.de rico.lippold@scienceacademy.de

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

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2022 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

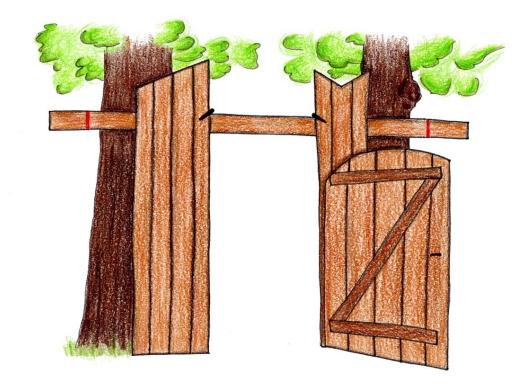
#### Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

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

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

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



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

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

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

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

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

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

Eure/Ihre Akademieleitung

Merit Neibig (Assistenz)

Henriette Neuschwander (Assistenz)

Merit Keilig Henriette Neuschwander Tobins vom Lier

Tobias van Lier (Assistenz)

Jörg Richter

Dr. Birgit Schillinger

Biget Sililizer

### Inhaltsverzeichnis

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

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



#### **Unser Kurs**

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

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

Der Erdeball allerdings litt unter seiner Anwesenheit, da er anscheinend nicht ausgelegt war, als Volleyball genutzt zu werden. Bei Süßigkeiten war Josch auch immer zur Stelle.

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

Mit Katze konnte man aber nicht nur gut lachen, sondern auch wunderbar arbeiten. Einmal ein Thema für sich entdeckt, steckte sie Herzblut in die Arbeit und wollte etwas schaffen. Ihr schwäbischer Dialekt brachte jeden zum Schmunzeln und gab den Präsentationen das gewisse Etwas.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Moritz Moritz war nicht nur ein guter Mentor, sondern auch ein toller Freund (das ist er natürlich immer noch). Mit viel Geduld ging er gerne auch auf schwierige Fragen ein; er sollte wirklich mal unseren Lehrern klarmachen, wie man komplizierte Dinge erklärt ... Und dann sorgte er noch immer für gute Stimmung und zugleich dafür, dass wir nicht den Fokus verloren. Es gab keine Idee, die zu verrückt war, um sie mit ihm zu besprechen.

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

JONATHAN WEIHING

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

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

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

Obwohl wir uns viel mit Energie beschäftigt haben, war die Motivation, in den Frühsport zu gehen, nicht immer vorhanden – was uns den Sieg im Sportfest gekostet hat! Jedoch waren während der Theorieeinheiten, bei der Anwendung der Theorie, bei der Planung der eigenen Mission TOFFIFEE, bei Versuchen und bei der gesamten Kursarbeit alle voller Elan und Energie dabei, und wir haben zusammen viel gelernt und Spaß gehabt.

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

#### Sternentwicklung

MARIA KOPETZKI

#### Protosterne

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

Während der Protostern Masse ansammelt, wird er im Inneren immer heißer. Erreicht die Temperatur in seinem Kern eine Million Kelvin<sup>1</sup>, zündet die Kernfusion, und er wird zu einem Stern. Kann ein Protostern jedoch nicht genügend Masse ansammeln, wird es in seinem Inneren nicht heiß genug, um Kernfusion zu betreiben. Da er so nur wenig Energie gewinnen kann, wird er niemals zu einem Stern. Er

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

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

#### Sterne der Hauptreihe

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

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

#### Kernfusion und Rote Riesen

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

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

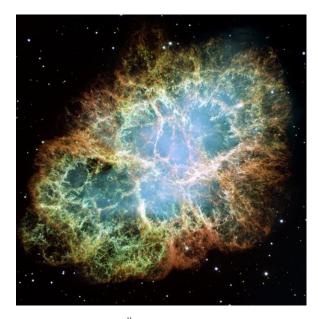
#### Weiße Zwerge

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

#### Supernovae

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

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



Der Krebsnebel, Überrest einer Supernova um  $1054~\mathrm{n.~Chr.^2}$ 

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

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

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Bild: Hubblesite, NASA, ESA, J. Hester und A. Loll (Arizona State University)

#### Neutronensterne

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

#### Schwarze Löcher

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

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

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

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



Ein Schwarzes Loch mit Ereignishorizont<sup>3</sup>

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

#### Himmelsglobus

SEBASTIAN CONRAD

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

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Abbildung: NASA/JPL-Caltech

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

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



Darstellung des Himmelsglobus. Die Rektaszension ähnelt den Längengraden des Erdkoordinatensystems, die Deklination den Breitengraden.<sup>4</sup>

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

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

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

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

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

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Abbildung: Wikipedia (Wikimedia-User Cmglee, Ulrich.fuchs und Sverdrup, CC BY-SA 4.0)

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

Rektaszension der Sonne im Verlauf des Jahres

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

Unser Beobachtungspunkt: Adelsheim, Breitengrad ca. 49°

Blickweite:  $-16^{\circ}$  sonnenabgewandte Seite über den Himmelsnordpol bis  $66^{\circ}$  sonnenzugewandte Seite

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

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

#### **Teleskope**

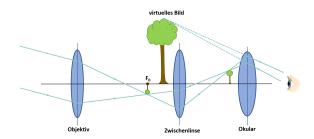
Jona Schnirch

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

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

#### **Funktionsweise**

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



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

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

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

#### Unterschiedliche Teleskoparten

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

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

Name	RA	dec	Sichtbarkeit	Bemerkung
Andromeda	0 h 42 min	41° 16'	+	ungefähr gegenüber der
111101 01110 00	0 11 12 11111	11 10	'	Sonne
				geht nur ca. 1 h früher als
Kreuz des Südens	11 h 56 min	-64° 41'	_	die Sonne auf; zu weit
				südlich
Zentr. d. Milchstraße	$17 \mathrm{h}\ 45\mathrm{min}$	-29° 0'	_	zu weit südlich
Algol	3 h 8 min	40° 57'	+	geht viel früher als die
				Sonne auf
Rigel	5 h 14 min	−8° 12'	+	knapp über dem Horizont,
nigei		-6 12		da sehr südlich
				trotz ähnlicher RA wie die
Giausar	11 h 31 min	69° 20'	+	der Sonne nachts sichtbar
				(über den Nordpol hinüber)

Sichtbarkeit verschiedener Sterne und Konstellationen im Oktober von Adelsheim aus.

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

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



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

#### Eigene Beobachtungen

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



Unser selbstgebautes Keplerteleskop

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



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

#### Satelliten und Raumsonden

Josch Krämer

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

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



Der GOCE Satellit zum Vermessen des Erdschwerefelds $^5$ 

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

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



Aufbau und Test der New Horizons-Sonde<sup>6</sup>

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

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

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

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

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Abbildung: ESA

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>Abbildung: NASA

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



Darstellung des Anflugs von DART auf Dimorphos<sup>7</sup>

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

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

Durch das Nachvollziehen, welche Funktion ein bestimmtes Teil der Sonde erfüllt und weshalb es verbaut wurde, konnten wir eine Menge über diese lernen. Die Kriterien, an denen wir die Funktion der Sonde bestimmen können, halfen uns dabei, unsere Mission zu planen.



Rückkehrkapsel Spionagesatellit Zenit<sup>8</sup>

#### Weltraumschrott

YANNICK LEUTE

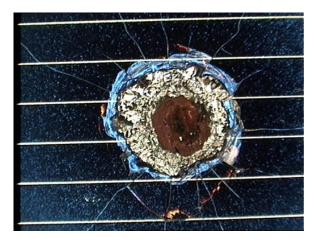
Unsere Sonde würde auf ihrem Flug zu Europa vielen Gefahren ausgesetzt sein, das war uns schon von Anfang an klar. Es könnten zum Beispiel wichtige Systeme auf dem weiten Flug zu Europa kaputt gehen oder die Bremstriebwerke beim Einschwenken in den Orbit oder bei der Landung nicht zünden. Aber eine externe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

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

 $<sup>^7{\</sup>rm Abbildung:}$  NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben

 $<sup>^8{\</sup>rm Abbildung:}$  Wikimedia (Maryanna Nesina, CC BYSA 3.0)

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



Einschlagskrater eines Weltraumschrotteilchens in Solarpanel $^9$ 

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

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

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



Darstellung von Weltraumschrott um unsere Erde<sup>10</sup>

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

#### Entfernung

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

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup>Abbildung: ESA

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup>Abbildung: ESA

gung ist, dass man eine "Drehschleuder" ins All schicken könnte, die größeren Weltraumschott einsammelt und dann Richtung Erde schleudert, sodass er in der Atmosphäre verglüht.



Darstellung von ClearSpace 1<sup>11</sup>

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

#### Keplersche Gesetze und Ellipsen

KATHARINA FRONECK

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

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

Um die Gesetze besser zu verstehen, muss man zunächst wissen, was Ellipsen sind. Eine Ellipse ist eine geschlossene Kurve, welche die Form eines gestauchten Kreises hat. Jede Ellipse hat zwei Brennpunkte (siehe die zwei Stöckchen in Abbildung). Ein Punkt liegt auf der Ellipsenlinie, wenn die Summe der Abstände zu den zwei Brennpunkten immer denselben Wert besitzt.

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



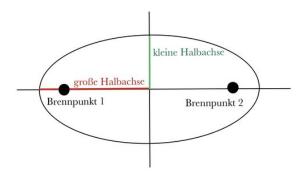
Ellipse im Sand: Unsere Ellipsen im Volleyballfeld in Adelsheim; die zwei Stöckchen in der Mitte bilden die zwei Brennpunkte

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

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup>Abbildung: ESA

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

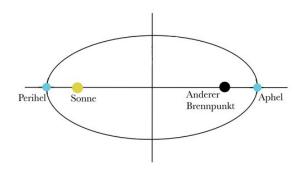
Mit diesem Verständnis kommen wir zurück zu Keplers Gesetzen.



Ellipse mit kleiner und großer Halbachse und zwei Brennpunkten

#### Das erste Keplersche Gesetz

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

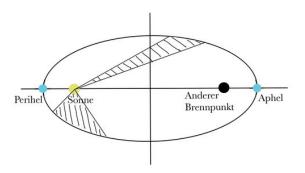


Erstes Keplersches Gesetz: Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen um die Sonne. Die Sonne ist dabei in einem Brennpunkt der Ellipse.

Am Perihel (kleinster Abstand zwischen Erde und Sonne) ist die Erde 5.000.000 km dichter an der Sonne als am Aphel (größter Abstand zwischen Erde und Sonne, s. Abb.). Die mittlere Entfernung von der Erde zur Sonne beträgt etwa  $150\,\mathrm{Mio\,km}$ .

#### Das zweite Keplersche Gesetz

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



Zweites Keplersche Gesetz: Strahl überstreicht in gleicher Zeit gleiche Fläche

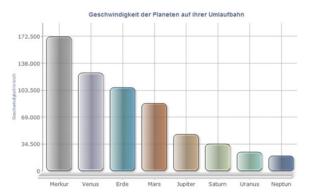
#### Das dritte Keplersche Gesetz

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

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

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

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



Geschwindigkeit der Planeten auf ihrer Umlaufbahn: Sonnennähere Planeten bewegen sich schneller. $^{12}$ 

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

Große Halbachse Mond:  $380.000 \,\mathrm{km} \ (= a_1)$ Umlaufzeit Mond: ca.  $30 \,\mathrm{d} \ (= T_1)$ Umlaufzeit geostationärer Satellit:  $1 \,\mathrm{d} \ (= T_2)$ 

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

Also folgt durch Einsetzen:

$$a_2 = 380.000 \,\mathrm{km} \sqrt[3]{\frac{(1 \,\mathrm{d})^2}{(30 \,\mathrm{d})^2}}$$
  
= 39 300 km

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

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

#### **Einleitung Mission**

LILLY CAMMANN

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

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

Um genau das herauszufinden, rufen wir unsere Mission TOFFIFEE ins Leben. Das steht für Transfer eines Orbiters und Fantastisch Fahrenden, Interplanetaren Fahrzeugs zum Eismond Europa. Bei TOFFIFEE wird die Sonde Toffifee 1 mit einer Trägerrakete in einen Erdorbit geschossen, wo sie von dort aus durch eine ausgeklügelte Flugbahn zu Jupiter, dem größten Planeten im Sonnensystem, gelangt. Hier schwenkt sie in eine Umlaufbahn um Europa ein und wirft einen Lander ab, der, sobald er auf der Oberfläche gelandet ist, einen Rover freisetzt. Dieser Rover, genannt Tofflife, kann sich frei auf Europa bewegen, wird Bohrungen machen und mit verschiedensten Messgeräten mehr über die Zusammensetzung des Mondes herausfinden und nach möglichem Leben forschen.

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

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup>Abbildung: Astrokramkiste

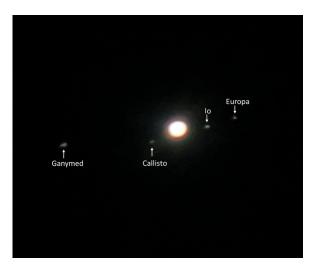
#### Jupiter und Europa

LEONARD WELDI

#### **Jupiter**

Europa.

Jupiter ist der Planet, um den unser Ziel Europa seine Bahnen zieht. Mit einem Sonnenabstand von 778.500.000 km ist er rund fünfmal so weit von der Sonne entfernt wie unsere Erde. Er hat, wie auch Saturn, Uranus und Neptun, keine feste Oberfläche und zählt daher zu den Gasplaneten. Die schon mit einem Fernrohr erkennbaren, fast parallelen Streifen sind farbige Wolkenbänder. Sie entstehen durch ungleichmäßige Verteilung von Helium und Wasserstoff. Die vier größten der insgesamt 79 Monde heißen der Größe nach Ganymed, Callisto, Io und



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

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

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

#### **Der Eismond Europa**

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



Mineralienablagerungen auf der Oberfläche Europas  $^{13}$ 

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

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

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup>Abbildung: NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

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

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

#### Flugbahn

SIMON GEISLER

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

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

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

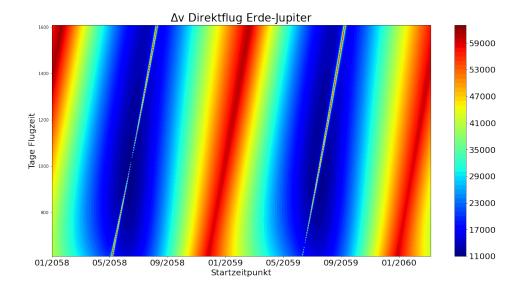
treffen. Mithilfe dieser Informationen konnten wir die Flugdaten der Mission erfassen.

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

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

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

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



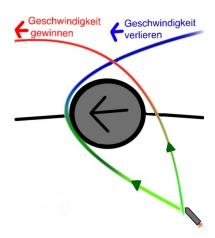
Benötigte Geschwindigkeitsänderung beim Transfer zwischen Erde und Jupiter. Die Farben stellen die Geschwindigkeitsänderung von Dunkelblau bis dunkelrot grafisch dar. Dunkelblau steht dabei für  $11\,\mathrm{km/s}$  und dunkelrot für einen Wert von über  $60\,\mathrm{km/s}$ .

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

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

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

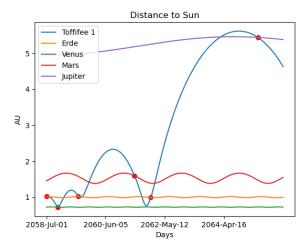
Bei Missionen Richtung Jupiter und weiter werden die Sonden durch Gravity Assists beschleunigt und, um in einen Orbit bei beispielsweise Jupiter eintreten zu können, wieder abgebremst. Wenn eine Sonde jedoch zu Merkur oder Sonne in das Innere des Sonnensystems fliegt, werden Gravity Assists meist verwendet,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



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

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

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



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

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

#### Antriebe/Treibstoff

Luise Fretz

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

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

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

 $\Delta v$ steht für die Geschwindigkeitsänderung,  $m_{\rm start}$ ist die Gesamtmasse der Rakete mit Treibstoff,

 $m_{\rm final}$  ist die Masse, die wir hochtransportieren müssen und

 $v_{\text{Ausstoß}}$  ist die Ausstoßgeschwindigkeit.

Durch Umformungen der Raketengleichung kommt man auf:

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

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

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

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

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

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

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

#### 1. Solarsegel

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

#### 2. Kaltgastriebwerke

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

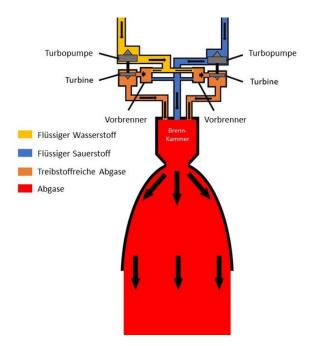
#### 3. lonentriebwerke

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

#### 4. Chemische Triebwerke

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

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



Schema zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks, hier RS- $25^{14}$ 

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

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

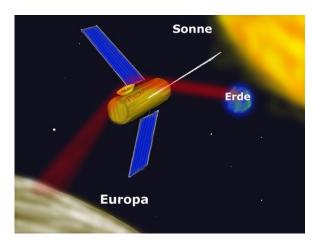
#### Sonde und Lander

LILLY CAMMANN

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

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Abcde1248163264, eigene Bearbeitung, CC BY-SA 4.0)

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



Kommunikationsschema der Sonde mit dem Rover und der Erde

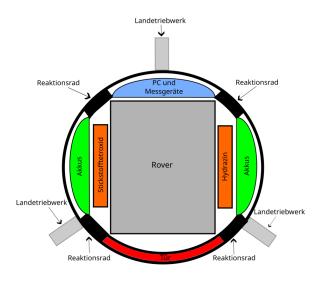
Am Ende ergaben sich für die Sonde insgesamt ca. neuneinhalb Tonnen Treibstoff, die sich nach dem Volumen nahezu gleich auf die beiden Treibstoffkomponenten Hydrazin und Distickstofftetroxid verteilen. Sie werden in zwei getrennten Tanks in der zylinderförmigen Sonde gelagert. Diese hat außer der Bordelektronik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

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

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

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

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



Draufsicht auf den Lander und den damit transportierten Rover

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

ten und in der Mitte ein großes. Je schneller

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

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

#### Rover - Tofflife

LEAH BEAN

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

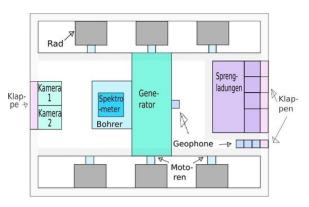
Solange sich der Rover im Lander befindet, schauen die 40 cm (Durchmesser) hohen Reifen nur 10 cm unter dem Rover hervor. Sobald er vom Lander abgesetzt und ausgesetzt wurde, werden die Räder ausgefahren. Dadurch ist die Gefahr, die Unterseite des Rovers durch Unebenheiten der Mondoberfläche zu beschädigen,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

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

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

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

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



Der schematische Aufbau unseres Rovers

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

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

#### Wissenschaftliche Instrumente

SYLVIA PAPE

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

#### **Optische Kamera**

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

#### Bohrer

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

genug Wärme vorhanden, um das Eis zu durchdringen.

#### Lichtspektrometer

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



Beispiel für Absorptionsspektrallinien  $^{15}$ 

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

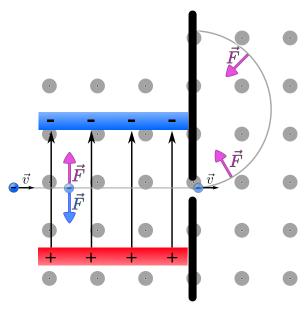
#### Massenspektrometer

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

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

 $<sup>^{15}{\</sup>rm Abbildung:}$  Wikimedia (Wikimedia-User Stkl, als gemeinfrei gekennzeichnet)

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



Schematischer Aufbau eines Massenspektrometers<sup>16</sup>

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

#### Geophon

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



Empfängerbox des Geophons  $^{17}$ 

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

#### **Zum Abschluss**

Jonathan Weihing, Moritz von Looz, Franziska Hömke

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

 $<sup>^{16}\</sup>mathrm{Abbildung}:$  Wikimedia (Wikimedia-User Sgbeer, CC BY 3.0)

 $<sup>^{17}{\</sup>rm Abbildung:}$  Wikimedia (Wikimedia-User Balaji, CC BY-SA 3.0)

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

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

#### **Zitate**

- "Wir können die kinetischen Elemente eines Bibers rausholen." (Leonard)
- "Das war die Sicherheitsbelehrung, und jetzt stecken wir Gurken in die Steckdose." (Jonathan)
- "Man kann mit 120 Litern Toffifee ein Auto befeuern." (Yannick)
- "500 Höhenmeter Luftlinie" (Jonathan)
- "Jonathan ist der Toffifeesektenführer." (Simon)
- "Wie kann man die ISS hacken? Könnte man die ISS dann abstürzen lassen?" (Sylvia)
- "Ich kann euch gerne erzählen, wie man alles Mögliche hacken kann!" (Moritz)

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

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

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

"Scheiß Autokorrektur! Was macht die immer Wasserraketen zu Wasserratten?!"(Leonard) "Wasserratten in die Luft zu schießen wäre doch bestimmt auch interessant geworden."(Lilly)

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

"Ich seh immer so aus." (Josch)

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

"Was ist dein Problem?" (Simon zu Leonard) "Ich lese gerade 12 Seiten Bildlizenzen!" (Leonard)

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

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

"Jonathan! Hilfe!" (Luise und Lilly)

"Du schaust irgendwie verpeilt aus" (Simon zu Jonathan)

"Was?" (Jonathan)

"Ich schüttel' jetzt auch Gummibärchen!" (Yannick)

"Äh, was mach' ich grad?" (Yannick)

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

"Karottenknacken hallt durch den Raum." (Luise)

"Du läufst schon 'rum, als hättest du was eingeworfen …" (Lilly zu Jonathan)

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

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

"Ihr solltet irgendwie wieder normal werden. Ich glaub', ihr müsst in Quarantäne." (Josch) "Johannes!" (Alle)



### **Danksagung**

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 19. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Schwarz-Stiftung, die Hopp-Foundation und den Förderverein der Science Academy unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 – Schule und Bildung des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 – Allgemein bildende Gymnasien, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin, und Herrn Jan Wohlgemuth, Regierungsschuldirektor und Stellvertretender Leiter des Referats 35 – Allgemein bildende Gymnasien am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.

Dieses Jahr konnte sich die Regierungspräsidentin Sylvia M. Felder bei ihrem Besuch der Science Academy von der Begeisterung der Teilnehmenden überzeugen. Sie wollte sich ein Bild dieser Form der Begabtenförderung machen. Bei ihrem Rundgang war sie von dem hohen Niveau der Kurse und dem außergewöhnlichen Engagement der gesamten Akademieleitung beeindruckt.





In Gesprächen erfuhr Frau Felder, wie nachhaltig diese Akademie wirkt. Es entstehen Freundschaften mit Gleichgesinnten, und gemeinsam werden weitere Herausforderungen bei Wettkämpfen oder anderen Akademien gesucht. Einige ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer kommen als Schülermentoren und Kursleiter gerne wieder nach Adelsheim. Frau Felder konnte bei ihrem Besuch die Freude und den Eifer der hochmotivierten Jugendlichen spüren und erahnen, dass hier alle vom "Akademiefieber" angesteckt sind.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Koordinatorin der Deutschen Schüler- und JuniorAkademien Frau Ulrike Leithof, der Referentin für die Akademien Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Lange war nicht klar, in welchem Format die Akademie in den Zeiten der Pandemie stattfinden kann. Umso mehr hat es uns gefreut, dass wir uns dieses Jahr wieder in Präsenz in Adelsheim treffen

konnten. Dort waren wir wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU). Für die herzliche Atmosphäre und die idealen Bedingungen auf dem Campus möchten wir uns stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums Herrn Oberstudiendirektor Martin Klaiber sowie dem Abteilungsleiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit den Schülermentoren und der Assistenz des Leitungsteams diejenigen, die mit ihrer hingebungsvollen Arbeit das Fundament der Akademie bilden.

Diejenigen aber, die die Akademie in jedem Jahr einzigartig werden lassen und sie zum Leben erwecken, sind die Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Deshalb möchten wir uns bei ihnen und ihren Eltern für ihr Engagement und Vertrauen ganz herzlich bedanken.

#### **Bildnachweis**

Seite 11, Abbildung Krebsnebel:

 $Hubble site, \ https://hubble site.org/contents/media/images/2005/37/1823-Image.html$ 

NASA, ESA, J. Hester und A. Loll (Arizona State University)

Seite 12, Darstellung Schwarzes Loch:

NASA, https://www.jpl.nasa.gov/images/pia16695-black-holes-monsters-in-space-artists-concept NASA/JPL-Caltech

Seite 13, Darstellung des Himmelsglobus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial\_coordinates.svg

Wikimedia User Cmglee, basierend auf einer Version von Ulrich Fuchs und Sverdrup

CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode)

Seite 16, Abbildung GOCE-Satellit:

ESA, https://www.esa.int/ESA\_Multimedia/Images/2018/08/The\_satellite\_on\_the\_edge\_of\_space

Seite 16, Bild der New Horizons-Sonde:

 $NASA, \ https://www.nasa.gov/image-feature/new-horizons-spacecraft-in-the-clean-room-at-nasas-kennedy-space-center$ 

Seite 17, Darstellung des Anflugs von DART auf Dimorphos:

NASA, https://www.nasa.gov/specials/pdco/images/mitigate.jpg

NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben

Seite 17, Rückkehrkapsel Spionagesatellit Zenit:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zenit\_space\_vehicle.jpg

Maryanna Nesina

CC BY-SA 2.5 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode)

Seite 18, Darstellung von Weltraumschrott um unsere Erde:

 $ESA, \ https://www.esa.int/ESA\_Multimedia/Images/2008/03/Weltraumschrott\_in\_der\_erdnahen\_Umlaufb \ ahn\_LEO\_-\_ueber\_dem\_Nordpol$ 

Seite 18, Bild Einschlagskrater in Solarpanel:

 $ESA, \ https://www.esa.int/ESA\_Multimedia/Images/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_impact\_damages/2020/04/Hubble\_solar\_cell\_i$ 

Seite 19, Darstellung von ClearSpace 1:

 $ESA, \ https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa\_multimedia/images/2020/11/clearspace-1\_captures\_vespa/22334324-1-eng-GB/ClearSpace-1\_captures\_Vespa\_pillars.jpg$ 

Seite 21, Diagramm Umlaufzeiten der Planeten:

 $A strokramkiste, \ https://astrokramkiste.de/planeten-geschwindigkeit \ and \ https://astrokramki$ 

Zur Nutzung freigegeben

Seite 22, Abbildung Mineralienablagerungen auf der Oberfläche Europas:

NASA, https://europa.nasa.gov/resources/29/europas-stunning-surface

NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

Seite 26, Schema zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified\_diagram\_of\_RS-25\_rocket\_engine(SSM\_E)\_,\_Jan\_2021\_.png

Wikimedia-User Abcde1248163264, eigene Bearbeitung

CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode)

Seite 29, Absorptionsspektrum:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectral-lines-absorption.svg

Wikimedia User Stkl

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 30, Schema Massenspektrometer:

 $Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File: Wienscher\_geschwindigkeitsfilter\_massenspektroskopie.svg$ 

Wikimedia User Sgbeer

CC BY 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode)

Seite 30, Abbildung Geophon:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geophone\_SM-24.jpg

Wikimedia User Balajijagadesh

CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode)

Seite 34, Hauptbestandteile unserer Nahrungsmittel:

Erstellt mit BioRender

Seite 43, Aufbau der pflanzlichen Zelle:

Erstellt mit BioRender

Seite 44, Aufbau der Geschmacksknospe:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1402\_The\_Tongue.jpg

Wikimedia-User OpenStax, Ausschnitt, bearbeitet

CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)

Seite 45, Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:

EMBL Science Education and Public Engagement Team

CC BY-NC-ND 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode)

Seite 46, Human oesophagus (Darstellung der Speiseröhre):

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human\_oesophagus;\_A.E.\_Schaffer\_Wellcome\_L0022 090.jpg

A. E. Schaffer. Wellcome Collection, bearbeitet

CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)

Seite 49, Abbildung Darm:

Erstellt mit BioRender

Seite 49, Dünndarmstoma:

Wikimedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ileostomy\_2017-02-20\_5349.jpg

Wikimedia-User Salicyna

CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode)

Seite 53, Abbildung Leber:

Erstellt mit BioRender

Seite 54, Abbildung Emulsion:

Erstellt mit BioRender

Seite 54, Gallenblase:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder (organ).png

Wikimedia-User BruceBlaus, bearbeitet

CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode)

Seite 60, Die Nieren im Körper:

Erstellt mit BioRender

Seite 54, Warming Stripes:

ShowYourStripes, https://showyourstripes.info/s/globe

Ed Hawkins, University of Reading

CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)

Seite 100, Schematischer Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluoreszenzmikroskopie\_2017-03-08.svg

Krzysztof Blachnicki, Bearbeitungen Henry Mühlpfordt, Wikimedia-User Dietzel65

CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode)

Seite 109, Trolley-Probl<br/>mem:  $\,$ 

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trolley\_Problem.svg

Wikimedia-User McGeddon, Zapyon

 ${\it CC~BY-SA~4.0~(https://creative commons.org/licenses/by-sa/4.0/legal code)}$ 

Seite 111, Büste Sokrates:

 $Wikimedia, \ https://commons.wikimedia.org/wiki/File: Socrates\_Louvre.jpg$ 

Eric Gaba

CC BY-SA 2.5 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode)

Seite 113, Büste Aristoteles:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle\_Altemps\_Inv8575.jpg

Wikimedia-User Jastro, Ludovisi Collection

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 115, Büste Zenon:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo\_Monti\_-\_Servizio\_fotografico\_(Napoli,\_1969)\_--\_BEIC\_6353768.jpg

Paolo Monti

CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode)

Seite 117, Portrait Augustinus:

 $Wikimedia, \ https://commons.wikimedia.org/wiki/File: Saint\_Augustine\_Portrait.jpg$ 

Directmedia, The Yorck Project

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 118, Anselm von Catebury:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anselm\_of\_Canterbury.jpg

Unbekannter Maler

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 120, Gemälde Kant:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant\_gemaelde\_3.jpg

Gemälde von Johann Gottlieb Becker

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 122, Portrait-Photo Rawls:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John\_Rawls\_(1971\_photo\_portrait).jpg

Aufnahme von Alec Rawls

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 124, Organspendeausweis:

BZgA, https://www.bzga.de/presse/pressemotive/organspende

© Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), Köln

Seite 133, Opazität der Atmosphäre für elektromagnetische Strahlung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric\_electromagnetic\_opacity-de.svg

Wikimedia-User Mysid/Ariser, Originalbild NASA

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 135, Abbildung der Fraunhoferlinien:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fraunhofer\_lines\_DE.svg

Wikimedia-User Saperaud

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 139, Kennlinie einer Diode mit Bestimmung der Schwellspannung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioden-Kennlinie\_1N4001\_differentiell.svg

Wikimedia-User Stündle

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 155, Start der Artemis-1-Mission:

 $NASA,\,https://www.nasa.gov/image-feature/we-are-going-artemis-i-launches$ 

NASA/Bill Ingalls

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bilder unter eine CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.

Abbildungen der Europäischen Weltraumagentur (ESA) werden gemäß der ESA Standard License für Bildungszwecke verwendet: https://www.esa.int/ESA\_Multimedia/Copyright\_Notice\_Images

Abbildungen der National Aeronautics and Space Administration (NASA) können für Schulen und Lehrbücher ohne explizite Erlaubnis verwendet werden: https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html