

# JuniorAkademie Adelsheim

20. SCIENCE ACADEMY  
BADEN-WÜRTTEMBERG  
2023



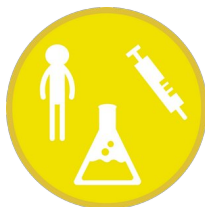
**Astronomie**



**Mathematik/Informatik**



**Medizin/Physik**



**Pharmazie/Chemie**



**Philosophie**



**Physik**

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung



**Dokumentation der  
JuniorAkademie Adelsheim 2023**

**20. Science Academy  
Baden-Württemberg**

**Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim:**

Regierungspräsidium Karlsruhe

Abteilung 7 –Schule und Bildung–

Hebelstr. 2

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

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

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

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

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

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 20. JuniorAkademie Adelsheim 2023 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2023 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

# Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen zu einem Bericht über die vielseitigen Erlebnisse der diesjährigen 20. Science Academy Baden-Württemberg!

Eine neue Höchstzahl von 76 Teilnehmerinnen und Teilnehmern und ein 27-köpfiges Leitungsteam haben sich in diesem Jahr zu einer wundervollen Akademie verbunden. Bei unserem ersten Treffen – dem Eröffnungswochenende – am Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) durften wir uns kennenlernen und dabei erste fachliche, aber vor allem auch persönliche Anknüpfungspunkte finden. Im Lauf der zwei Akademiewochen im Sommer verknoteten wir diese zu einem ganzen Teppich aus voneinander Gelerntem, wertvollen Erfahrungen und neuen Freundschaften.

Wichtigen Anteil daran hat 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 Kursleiterinnen und Kursleiter verschiedene spannende Themen vorbereitet:

Der Astronomiekurs reiste gedanklich zu weit entfernten Planeten, die um andere Sterne kreisen, während der Mathematik/Informatikkurs versuchte, den optimalen Energiemix zu berechnen, der unser Leben auf der Erde weiter ermöglicht. Unterdessen beschäftigte sich der Philosophiekurs mit der grundlegenden Frage: „Was ist der Mensch?“ Dieser näherte sich der Medizin/Physikkurs von einer naturwissenschaftlichen Seite, indem er den Transport des Blutes durch unseren Körper erforschte. Auch der Pharmazie/Chemiekurs untersuchte den menschlichen Körper, nämlich wie man die Aufnahme von Medikamenten steuern kann, und der Physikkurs arbeitete an der Steuerung von Uhren via Funksignal.



Doch auch die Zeit außerhalb der Kurse war mit kursübergreifenden Angeboten (KüAs) abwechslungsreich gestaltet. Hier konnten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in zwei KüA-Schienen täglich bei so bunten Angeboten wie Kampfsport, kreativem Schreiben, Elektroniklötten oder Pralinenmachen austoben oder -ruhen – und sich vor allem auch selbst einbringen, indem sie andere an ihrer Leidenschaft teilhaben ließen. Wenn so viele motivierte und interessierte Menschen zusammenkommen, ergeben sich viele spannende Gespräche und Aktivitäten.

So gab es in jeder Hinsicht umfassende Möglichkeiten, an bestehende Interessen anzuknüpfen, sich einzubinden und in neuen Faszinationen zu „verstricken“. Passenderweise führte uns daher das Motto „Knoten“ mit verschiedenen Aktionen und Denkanstößen als roter Faden durch die Akademie. Es steht für diese einmalige Erfahrung, die uns alle verbindet, für die Verknüpfung von Wissensbereichen, die zu einem tieferen Verständnis führt, und vor allem für die neu entstandene Vernetzung zwischen allen Beteiligten der Akademie, an die sich sicher auch in Zukunft immer wieder anknüpfen lässt. Es steht aber auch für jeden ganz persönlich für das, was er oder sie mit

der Akademie verbindet und was in der Erinnerung „hängenbleibt“ wie die Zettelchen an unserem symbolischen roten Faden.

Jedes Jahr bietet die Science Academy diese tollen Möglichkeiten neuen begeisterten Schülerinnen und Schülern, von denen ihr viele noch lange verbunden bleiben. Deshalb freuen wir uns besonders, dass wir gemeinsam mit den Ehemaligen dieses Jahr bereits das zwanzigjährige Bestehen der Akademie feiern konnten!

Zu sehen, wie viele Alumni zu diesem Anlass zusammenkamen, reicht schon aus, um zu vermuten, dass wir als Akademie 2023 tatsächlich „für immer verbunden“ bleiben werden, auch wenn sich unsere Wege nun nach dem Dokumentationswochenende vorerst trennen. Kein Wunder, haben wir doch alle Fäden unseres Akademierteppichs gut vernäht.

Vor dem Abschied entstand ein umfangreicher Bericht der fachlichen Ergebnisse und persönlichen Erlebnisse aus dieser intensiven Akademiezeit, der nun vor Ihnen liegt. Liebe Eltern, Akademiebegeisterte, interessierte Leserinnen und Leser – und vor allem liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer: Viel Spaß beim Lesen der Dokumentation!

Eure/Ihre Akademieleitung

*Merit Neibig*    *Henriette Neuschwander*    *Tobias van Lier*

Merit Neibig  
(Assistenz)

Henriette Neuschwander  
(Assistenz)

Tobias van Lier  
(Assistenz)

*Jörg Richter*

Jörg Richter

*Birgit Schillinger*

Dr. Birgit Schillinger



## 20 Jahre Science Academy

Dieses Jahr gab es einen erfreulichen Anlass für eine Feier: Die Science Academy fand bereits zum 20. Mal statt.

In den 20 Jahren ihres Bestehens ist die Akademie ein fester Bestandteil der Bildungslandschaft Baden-Württembergs geworden. Im Jahr 2003 wurde sie als „Science Academy“ unter anderem auf Initiative des Heidelberger Deutschen Krebsforschungszentrums DKFZ ins Leben gerufen. Auch in anderen Bundesländern gab es ab 2003 vergleichbare Initiativen, heute sind sie unter dem gemeinsamen Namen „Deutsche JuniorAkademien“ bekannt.

In diesen Jahren erhielten über 1400 besonders begabte und motivierte junge Menschen in Baden-Württemberg die Chance auf diese einmalige Förderung.



Zur Feierstunde ließ es sich Frau Staatssekretärin Sandra Boser nicht nehmen, ein Grußwort zu sprechen. Auch Martin Klaiber, der immer gastfreundliche und hilfsbereite Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums, richtete nette Worte an das Publikum. Die Turnhalle war gut gefüllt: Viele Ehemalige waren gekommen, dazu Förderer, Wegbegleiter und interessierte Freunde der Akademie.

Amüsant war der Rückblick in Bildern, auf denen einige Personen aus dem diesjährigen Leitungsteam noch als Teilnehmerin bzw. Teilnehmer zu sehen waren. Ein Film über die Akademie, der während der Akademie 2017 von Teilnehmern eigenständig konzipiert und umgesetzt wurde, war die Überleitung zu einer Gesprächsrunde, in der die Begeisterung und die Nachhaltigkeit dieses Projekts deutlich wurden. Denn die Akademie vermittelt unschätzbare Erlebnisse: Die Schülerin-



nen und Schüler lernen Teamwork und schließen Freundschaften mit Gleichgesinnten. Sie sehen, es gibt noch andere interessierte Jugendliche, die Freude am Lösen unbekannter Aufgaben haben. Die Akademiekontakte bestehen teils viele Jahre, auch über ein Studium hinaus. Die Gesprächsbeiträge zeigten, wie die Akademie Selbstbewusstsein und den Mut zu einem MINT-Studium stärkt.



Abgerundet wurde die Jubiläumsfeier durch eindrucksvolle Textbeiträge einiger Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Diese Gedichte und Gedanken, mit denen die jungen Schreibtalente ihre Gefühle und Erfahrungen sowie die Stimmung der Akademie in sehr poetischen, intensiven Bildern eingefangen hatten, waren während der Akademie entstanden.





# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b>	<b>3</b>
<b>20 JAHRE SCIENCE ACADEMY</b>	<b>5</b>
<b>KURS 1 – ASTRONOMIE</b>	<b>9</b>
<b>KURS 2 – MATHEMATIK/INFORMATIK</b>	<b>49</b>
<b>KURS 3 – MEDIZIN/PHYSIK</b>	<b>71</b>
<b>KURS 4 – PHARMAZIE/CHEMIE</b>	<b>99</b>
<b>KURS 5 – PHILOSOPHIE</b>	<b>125</b>
<b>KURS 6 – PHYSIK</b>	<b>151</b>
<b>KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE</b>	<b>177</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>205</b>
<b>BILDNACHWEIS</b>	<b>206</b>



## Kurs 1 – Exoplaneten: Wie selten ist unsere Erde?



### Unser Kurs

**Hannah** Hannah, auch bekannt als die Zeichenqueen, war unsere Schmelzerin der Herzen und mit ihrem weltoffenen und witzigen Charakter eine Person, die man einfach nur mögen konnte. Ob bei der Organisation des coolen Mörderspiels oder als Technikerin im Theater war sie immer gut gelaunt und hoch motiviert. Beim Entwerfen unserer Sonde zeigte sie ihr künstlerisches Talent, indem sie gemeinsam mit Valerie und Annina innerhalb kürzester Zeit ein ganzes Konzerndesign erstellte, das richtig krass aussah. Die selbstbewusste Zeichnerin konnte so gut mit 3D-Programmen umgehen, dass wir unsere Sonde sogar in 3D drucken konnten.

**Annika** Höchst motiviert und begeistert vom Kurs war Annika immer mit Spaß bei der

Sache und überraschte uns mit ihren coolen Ideen und ihrer unglaublichen Kreativität. Nicht nur unseren Kurs begeisterte sie mit ihrer empathischen, hilfsbereiten, selbstbewussten und sehr fröhlichen Art, sondern auch Monja von den Philos, mit der sie den ganzen Tag unterwegs war. Feedback konnte der Wasserschlachten-Profi immer sehr gut und schnell umsetzen und das nicht nur wegen ihrer super netten Ausstrahlung. Eine weitere ihrer Stärken ist die Fähigkeit, Themen sehr gut zu strukturieren.

**Vincent** Sehr motiviert und ambitioniert an der Arbeit brachte sich Vincent bei jedem Thema aktiv ein und wollte immer etwas Neues sagen, da er einfach alles weiß. Er verfügt über ein so breites Fachwissen, dass er selbst Kursleiter hätte sein können. Nicht

nur mit seinem wahnsinnigen Vorwissen über gefühlt alle Themen der Astronomie und Astrophysik begeisterte er uns, sondern auch mit seiner erstaunlichen Schnelligkeit im Schubkarrenfahren. Während Vincent das Orchester mit seinen Klavierskünsten unterstützte, blieb er gleichzeitig konsequent an Aufgaben dran, bis sie gelöst wurden. Außerdem konnte man sich mit ihm dabei über alles unterhalten.

**Radu** Der Swiftie und Sänger unseres Kurses, Radu, verbreitete mit seiner guten Laune und witzigen Art stets eine gute Stimmung, sodass er im Nu alle unsere Herzen erreichte. Das ließ sich auch nicht dadurch ändern, dass er während der Kursarbeit zu unserem Entsetzen Weihnachtslieder abspielte. Der Badmintonprofi demonstrierte sein sportliches Talent nicht nur in der Sport-KüA, sondern auch, als er auf Pias Befehl hin aus weiter Entfernung eine Bananenschale in den Mülleimer warf und sogar traf. Der Mitfinder des Astro-Handschlags war stets wissbegierig und mit Spaß dabei und ergänzte unseren Kurs mit seinen umwerfenden sozialen Kompetenzen. Sein Gesangstalent stellte er ebenfalls am Hausmusikabend unter Beweis.

**Valerie** Unsere JJG-Beauftragte Valerie war nicht nur am Sportfest die krasseste Motivationskanone, die dafür sorgte, dass unser Kampfschrei oft genug gerufen wurde, sondern ist auch sonst eine super lustige und liebe Person, bei der man sich direkt wohlfühlt. Immer offen und gut gelaunt war sie sehr gut darin, in der Gruppe zu arbeiten, und meisterte Präsentationen souverän. Ihre kreative Ader zeigte sie nicht nur darin, dass sie gemeinsam mit Hannah und Annina unser Konzerndesign erstellte, sondern auch in ihrem regen Engagement im Theater und bei der Mitgestaltung des Thorsten-Kults.

**Annina** Annina ist eine sehr liebe Person, mit der man sehr viel Spaß haben kann. Sehr viel Begeisterung zeigte sie, als wir uns abends für die Beobachtung des Nachthimmels trafen. Beim Sportfest passte sie sehr gut auf unser Maskottchen JJG auf und

trug ihn verantwortungsbewusst von Station zu Station. Sie lernt sehr schnell und hat sich innerhalb von kürzester Zeit in ein ihr komplett unbekanntes Graphikprogramm eingearbeitet.

Außerdem ist sie ein extremes Talent im Zeichnen und entwarf so zusammen mit dem Rest des Design-Teams ein ganzes Konzerndesign für unsere Raumsonde. Zusätzlich gestaltete sie in einem 3D-Programm ein sehr süßes Rover-Design. Annina kümmert sich um alle um sich herum und verbrachte viel Zeit mit ihnen.

**Isabella** Isabella ist eine sehr nette und empathische Person, die immer neugierig und motiviert alle Projekte angeht. Mit ihr kann man über alles lachen, und sie hat mit ihrer Persönlichkeit stark dazu beigetragen, wie wir als Kurs zusammengewachsen sind. Sie war stets motiviert, egal ob bei der Sport-KüA, die sie auch nach der Akademie noch online anbot, oder zu Hause, wo sie ein ganzes Planetensystem bastelte.

Isabella lässt sich durch nichts aus der Ruhe bringen, sodass sie spontan dazu in der Lage war, dem SWR ein Interview zu geben. Sie ist jedoch auf eine sehr sympathische Art und Weise manchmal ein wenig verpeilt und vergaß mehrmals ihre Birkenstock-Schuhe im Kursraum. Trotzdem zeichnet sie sich durch eine starke Organisation und Vorbereitung aus. So war sie nicht nur der PowerPoint-Profi des Kurses, sondern sorgte auch dafür, dass die Tee-Versorgung immer aufrechterhalten wurde.

**Paul** Paul war die gute Seele des Astro-Kurses, da er stets freundlich und offen ist. Bei den Themen des Kurses zeigte er sich begeistert und interessiert, und er glänzte gleichzeitig mit enormem Wissen. Er verfügt über ein ruhiges Selbstbewusstsein und eine klare Art zu kommunizieren, was seine Präsentationen extrem fesselnd machte. Durch seine sympathische Art fühlte man sich immer so, als wäre man schon ewig mit ihm befreundet, und man konnte sich sehr gut mit ihm unterhalten. Paul ist auch für seine stetige Aufmerksamkeit bekannt und war immer sofort bereit, den Mars zu fangen.

Außerdem ist er sehr hilfsbereit und half so auch anderen im Kurs gerne beim Bau ihrer Handspektroskope.

**Daniel** Daniel ist ein herzenguter Mensch, in dessen Nähe man sich sofort wohlfühlt. Er strahlt eine extreme Ruhe aus, die er auch beim Präsentieren beibehält. Das sorgt dafür, dass man ihm sehr gerne und lange zuhört. Man kann sich gut mit ihm unterhalten, und er verhält sich allen anderen gegenüber stets nett und ist eine sehr offene Person. Vor allem bei der Arbeit mit Python im Kurs blühte er auf und zeigte überragendes Wissen auf diesem, aber auch auf anderen Gebieten und konnte das auch immer gut einbringen. Daniel war gerne dazu bereit, anderen damit zu helfen, und konnte dies auch sehr gut, da seine Art zu erklären sehr verständlich ist.

**Victor** Victor war immer voll motiviert – und das nicht nur im Kurs, wo er jede Gruppenarbeit bereicherte und auch gerne etwas mal öfter erklärte, sondern auch bei allen Aktivitäten außerhalb des Kurses: Er hat beim Sportfest immer an uns geglaubt, beim Bergfest mitorganisiert und war wohl bei allen Festen das krassste Partyanimal und ständig am Tanzen (Victor + „Griechischer Wein“ = Best Friends). Mit der Ruhe und Gelassenheit, die Victor ausstrahlt, kann man ihn einfach nur mögen, und mit seiner Professionalität war er perfekt geeignet, das Marketing für unsere Sonde zu machen. Er hat aber auch noch viele andere Talente: Zum Beispiel ist er außergewöhnlich kompetent im Schubkarrenfahren.

**Milla** Milla ist einfach eine coole Socke, super lustig, und sie bringt mit ihrer sympathischen Art alle zum Grinsen. Sie ist immer locker drauf und bei Verhandlungen darüber, was man zu Präsentationen anzieht, gewinnt sie so gut wie immer (Victor HAT das Hemd angezogen). Gleichzeitig war Milla aber auch sportlich voll dabei – sie hat über die Akademie nicht nur ihre Tischtennis-Skills verzehnfacht, sondern hat auch sehr häufig den Astrokurs beim Frühspor vertreten und so fürs Sportfest trainiert. Sie war sowohl bei der Tanz-KüA,

als auch bei den Partys eine sehr motivierte Tänzerin und war einfühlend immer für uns da.

**Emma** Emma, unsere freundliche und selbstbewusste Powerfrau, hatte voll den Durchblick bei Präsentationen. Apropos Präsentationen – Emma hat ein riesiges Talent fürs Präsentieren und Erklären. Sie ist super lieb und süß und gleichzeitig mega intelligent. Ohne sie wäre der Kurs lange nicht so toll gewesen. Ihre Hilfsbereitschaft wurde von vielen sehr wertgeschätzt. Sie war motiviert und engagiert bei der Sache und hat immer Ideen und neue Lösungsansätze, und kein Problem kann sie stoppen. Mit ihr kann man sich super über Gott und die Welt unterhalten, ohne dass es jemals langweilig wird. Emma versteht sich mit allen super – außer mit ihrem PC. Sie war außerdem Teil des großartigen Theaterstücks!

**Yannik** Yannik, unser Baum im Raum, hat immer die besten Sprüche rausgehauen und damit für gute Stimmung gesorgt. Seine Sitznachbarn sind zu beneiden, weil sie seine ganzen One-Liner mitkriegen, die ein viel größeres Publikum vertragen könnten. Er hinterfragt Dinge immer kritisch, so zum Beispiel auch, was Gyroskope mit Gyros zu tun haben. Aber auch fachlich war unser Teleskop-King tief im Thema, er hat sein eigenes Teleskop mitgebracht, man hat ihm die Astronomie-Faszination, sein großes Wissen und seine Fähigkeit, schnell auf andere Denkweisen umzuspringen, angemerkt. Dazu hat er dann auch noch immer das passende T-Shirt getragen. Seine ruhige Ausstrahlung vor den Präsentationen hat uns sehr gut getan.

**Franzi** Franzi war unsere wandelnde Wikipedia – sie könnte, stets gut gelaunt, spontan einen Kurzvortrag über jedes beliebige Thema halten und weiß einfach alles. Das Gute ist, dass es bei ihr auch noch so viel Spaß macht zuzuhören und sie die komplexesten Themen so erklärt, dass jeder Dulli es verstehen würde. Man sieht, wie sie in Begeisterungstürme ausbricht, wenn ihr etwas gefällt, was sie unfassbar cute macht. Mit Franzi zu reden fühlt sie ein bisschen so



an, wie eine tolle große Schwester zu haben. Ihre Geschichten und ihr Wissen werden vielen von uns ein Leben lang in Erinnerung bleiben, genauso wie ihr Feedback zu den Präsentationen, das on point war – sehr ausführlich, todehrlich, aber überhaupt nicht verletzend und extrem hilfreich.

**Moritz** Moritz gibt nicht nur den besten Life-Advice, sondern kennt auch die besten Eselsbrücken, um sich Größenordnungen merken zu können. Er ist eine lustige und empathische Person, die gefühlt alles weiß, was im Weltraum gerade abgeht. Man kann mit ihm auf so einer lockeren Ebene reden, dass man schnell vergisst, dass man mit einer Person, die einfach bei der ESA gearbeitet hat, über gottverdammte TOFFIFEE redet. Bei seinen Witzen denkt man zuerst, er würde es ernst meinen, er hat uns immer vollkommen überrascht und wir hatten viel Spaß. Moritz gibt eine glasklare, perfekte Antwort auf jede noch so komplexe Frage. Seine Art, Kritik zu üben, ist extrem toll und lehrreich: konstruktiv, auf den Punkt und ehrlich, ohne jemanden zu stressen. Nimmt man sich seine Anmerkungen zu Herzen, macht man direkt riesige Fortschritte. Als großer Metal-Fan hat er sich bei der Song-Auswahl für die Kurs-Playlist sehr zurückgehalten, konnte aber trotzdem ein paar echte Juwelen unterbringen.

**Pia** Das Herz des Astronomiekurses. Ohne sie, die alles am Leben hält, funktioniert unser Kurs nicht. Sie hat nicht nur dafür gesorgt, dass wir durch von ihr geschnippeltes Gemüse und ihren Energizern alle stets motiviert waren, sondern auch dafür, dass wir zu einer kleinen Familie aufblühen konnten. Mit ihr kann man Astro-Handsclläge machen, sehr kompetente Gespräche führen oder vor einer Präsentation weinen. Sie nahm sich sogar die Zeit, um mit allen einzeln über unser Wohlbefinden an der Akademie und im Kurs zu sprechen. Alle Gefühle sind erlaubt. Pia hat uns beigebracht, wie man zivilisiert Bananen essen kann und nebenbei Gespräche führen kann, wie man die richtige Farbwahl in PowerPoint trifft und sich beim Sportfest die Seele aus dem Leib schreit. Sie ist unser „Astronomie“ zu un-

serem „für JJG“, das, woran wir denken, wenn wir erzählen, wie toll die Akademie war, weil wir von Anfang an von ihr aufgefangen wurden und auf dem Weg nie verloren gehen konnten. Unser großes Herz, Pia. Sie schlägt für uns und wir schlagen für sie.

## Ab ins All

PIA KLINGERT

Ob bei der Kursarbeit die Geschwindigkeit eines Kekses mit Keksantrieb berechnet wurde, bei der Präsentationsvorbereitung Anfang September laut Weihnachtsmusik lief, ob der Mars durch die Gegend geworfen und mehr oder weniger zuverlässig gefangen wurde oder wir beim Sportfest begleitet von unserem Kampfschrei und unserem Maskottchen, dem Bärtierchen JJG (sein vollständiger Name lautet Johann Johann Gerald der I. von Adelsheim), von Station zu Station zogen – eins hat dem diesjährigen Astronomiekurs nie gefehlt: Die gute Stimmung.

Von dieser begleitet begaben wir uns auf eine Reise durch die Astronomie: Von den Keplerschen Orbits über die Sternentstehung und die habitable Zone bis hin zur Programmiersprache Python erarbeiteten wir uns das nötige Hintergrundwissen und Handwerkszeug, um unserer Kursfrage auf die Spur zu kommen. Alles drehte sich um Exoplaneten und die Frage, wie selten unsere Erde mit ihren lebensfreundlichen Bedingungen ist.

Mithilfe der neu gewonnen Erkenntnisse plante der Astronomiekurs schließlich eine eigene Weltraum-Mission, die „Interstella 1“, die uns zum Exoplaneten Teegarden b bringen sollte. Dafür wurde nicht nur ein schickes Sonden-Design entworfen, das schließlich sogar 3D-gedruckt wurde, sondern ebenso die nötige Flugbahn berechnet und ein passender Antrieb ausgetüfelt. Natürlich durfte auch die Ausstattung mit den richtigen wissenschaftlichen Instrumenten nicht fehlen.

Sie dürfen also gespannt sein, was in den nächsten Jahren vom Astronomiekurs zu hören sein wird – wenn die wissenschaftliche Karriere so steil nach oben geht wie das kurseigene Stim-

mungsbarometer, wird er an kommenden Weltraummissionen sicher nicht unbeteiligt sein.

Jetzt wünsche ich Ihnen aber erst einmal viel Spaß mit dieser Dokumentation, die einen kleinen Einblick in das ermöglicht, womit der Kurs sich in der wundervollen Zeit in Adelsheim beschäftigt.

## Entstehung von Planetensystemen

ISABELLA IVAN

Ein Planetensystem besteht aus mehreren Planeten, die meistens um einen Zentralstern kreisen. Das uns bekannteste und am besten erforschte Planetensystem ist unser Sonnensystem: Es besteht aus unserer Sonne und acht Planeten, die ihren Orbit um die Sonne führen. Als Orbit wird dabei die Bahn bezeichnet, auf der sich ein Objekt aufgrund der Gravitation periodisch bewegt.

Unsere acht Planeten können in drei Kategorien unterteilt werden: Gesteinsplaneten (Merkur, Venus, Erde, Mars), Gasriesen (Jupiter, Saturn) und Eisriesen (Uranus, Neptun). Auch die Planetensysteme außerhalb des Sonnensystems haben oft einen ähnlichen Aufbau. Daher stellt sich nun die Frage, wie genau solche Planetensysteme entstehen. Dafür wird im Folgenden die Entstehung eines Planetensystems chronologisch erläutert.

### Die interstellare Molekülwolke

Der Ursprung eines Planetensystems ist eine rotierende, interstellare Molekülwolke im Weltall, wie beispielsweise Chamaeleon 1. Molekülwolken bestehen aus kalten molekularen Gasen, vor allem Wasserstoff, und eisüberzogenem Staub. Mit Hilfe des James-Webb-Teleskops konnten auch weitere Moleküle in dichten Regionen der Molekülwolke entdeckt werden, wie beispielsweise Methan<sup>1</sup>.

Wenn das kompakte, kühle Gas unter seiner Gravitation kollabiert, verdichtet sich die Molekülwolke und es entsteht aufgrund des steigenden Drucks eine immer heißer werdende Kugel,

die als Protostern bezeichnet wird. Der Protostern übt Gravitation auf die Masse aus, die in seinem Gravitationsfeld liegt, sodass sie auf den Stern stürzt. Diesen Prozess nennt man „Akkretion“.

Die Masse, die von dem Protostern nicht akkretiert wird, bildet die „Protoplanetare Scheibe“. Sie rotiert um den Protostern. Dass sie rotiert, liegt am Drehimpuls der Molekülwolke, der an den Protostern und die protoplanetare Scheibe weitergegeben wurde. Aus dieser protoplanetaren Scheibe entstehen die uns bekannten Planeten.



Region der dunklen Molekülwolke Chamaeleon 1, 630 Lichtjahre entfernt<sup>2</sup>

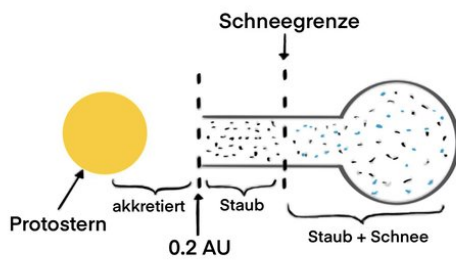
### Gesteinsplaneten

Gesteinsplaneten sind Planeten, die aus festem Material bestehen und deutlich kleiner sind als Gasriesen oder Eisriesen. Sie entstehen im innersten Bereich der protoplanetaren Scheibe, die nur aus mikroskopischen Staubteilchen besteht. Die Staubteilchen treffen aufeinander, bleiben aneinander haften und bilden Staubklumpen. Diese Staubklumpen kollidieren wiederum miteinander und bilden immer größere Klumpen, bis sie einen Durchmesser von etwa einem Kilometer erreicht haben. Dann nennt man sie „Planetesimale“.

Diese Art des Wachstums der Staubteilchen zu einem Planetesimal wird „Runaway-Prozess“ genannt. Ein Runaway-Prozess beschreibt einen Prozess, bei dem die Änderung der Wachstumsrate größer als null ist. Das heißt, dass das Objekt mit zunehmender Masse immer schneller wächst, seine Masse also unkontrollierbar schnell zunimmt. Deshalb nennt man dieses

<sup>1</sup><https://www.mpe.mpg.de/7922551/news20230123>

<sup>2</sup>Abbildung: NASA via Wikimedia



Protoplanet und protoplanetare Scheibe

Wachstum auch „unkontrolliertes Wachstum“. Ist die Änderung der Wachstumsrate kleiner als null, bezeichnet man diesen Wachstumsprozess als kontrolliert. Dies wird bei dem Wachstumsprozess von Planeten an einem späteren Zeitpunkt wichtig.

### Planetesimale zu Protoplaneten

Jeder Körper mit Masse besitzt ein Gravitationsfeld. Dieses Gravitationsfeld ist umso stärker, je größer die Masse des Körpers ist. Das gilt auch für Planetesimale: Sie können Materie, die sich nicht in ihrer unmittelbaren Flugbahn befindet, über ihr Gravitationsfeld anziehen. Sie akkretieren also zusätzliche Masse aus ihrer Umgebung.

Die Massenzunahme ist hierbei zunächst wieder unkontrolliert (siehe Runaway-Prozess) und wird mit abnehmender Materie im Umfeld kontrolliert, bis sie gleich null ist. Dann werden die Teilchen so stark angezogen, dass sie aufgrund ihrer Relativgeschwindigkeit zum Protoplaneten abgelenkt werden, statt haften zu bleiben. Diese Endmasse eines Objekts, wenn seine Massenänderung gleich null ist, wird als *Isolationsmasse* bezeichnet.

### Protoplaneten zu Planeten

Die Protoplaneten haben oft instabile Bahnen und kollidieren miteinander, wodurch sie zu Planeten verschmelzen. Die Gesteinsplaneten sind diejenigen Planeten, die am Ende der Planetenentstehung dem Stern am nächsten sein werden.

### Gasriesen

Gasriesen entstehen jenseits der sogenannten Schneegrenze. Die Schneegrenze ist der Bereich, ab dem Wasserdampf und andere Gase gefrieren und zu Eis werden. Deshalb befindet sich ab der Schneegrenze viel mehr Masse in der Scheibe, die akkretiert werden kann, was sich stark auf die endgültige Größe der Planeten auswirkt.

Gasriesen unterscheiden sich bei ihrer Entstehung anfangs nicht wesentlich von Gesteinsplaneten: Zunächst entstehen aus den verfügbaren festen Materialien Planetesimale, die durch die protoplanetare Scheibe pflügen. Der Unterschied zu den Gesteinsplaneten liegt nun darin, dass die Planetesimale viel massereicher werden können, weil sich mehr festes Material in der protoplanetaren Scheibe befindet. Die Protoplaneten von Gasriesen erreichen ihre Isolationsmasse dementsprechend bei ganzen fünf bis neun Erdmassen<sup>3</sup>.

Des Weiteren zeichnen sich Gasriesen auch durch ihre riesigen Atmosphären aus. Diese häufen sie bereits während der Planetenentstehung an. Dabei akkretiert Gas in einer Scheibe auf den festen Protoplaneten, der Gasriese hat also später einen festen Kern. Dieser Prozess nennt sich „Core Accretion“ und kann gigantische Atmosphären entstehen lassen. In der Scheibe um den Protoplaneten können sich auch Monde bilden.

Bei der Core Accretion wird nicht das gesamte Gas aus der Scheibe akkretiert. Ab einer bestimmten Größe des Proplaneten entstehen Schockwellen, die die restliche Masse in der Scheibe von ihm wegschieben. Diese Schockwellen kommen vom Gasriesen selbst, wenn er durch die protoplanetare Scheibe pflügt, vergleichbar mit der Bugwelle eines Schiffes. Nach etwa einer Million Jahre haben sich ca. jupitergroße Gasriesen gebildet.

### Eisriesen

Eisriesen entstehen nach demselben Wachstumssprinzip wie Gasriesen, bloß im äußeren Teil

<sup>3</sup>Eine Erdmasse beträgt ca.  $6 \cdot 10^{24}$  kg.

der protoplanetaren Scheibe. Dort ist die Materialdichte deutlich geringer als im Bereich direkt hinter der Schneegrenze. Deshalb entstehen kleinere Planetenkerne, die weniger Gas akkretieren können. Es entstehen also Gasplaneten, die aber im Vergleich zu Gasriesen deutlich kleiner sind.

## Super-Jupiter

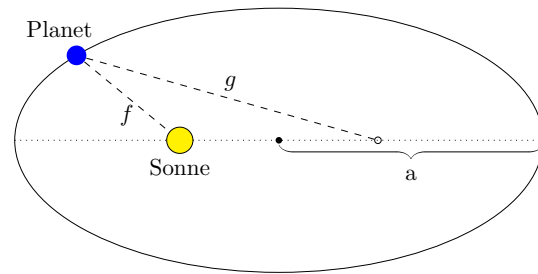
Exoplaneten, die mehr als eine Jupitermasse<sup>4</sup> schwer sind, werden als Super-Jupiter bezeichnet. Von dieser Art von Exoplaneten wurden schon überdurchschnittlich viele Exemplare gefunden, da man sie aufgrund ihrer Größe besonders gut entdecken kann. Deshalb sind sie aber auch für die Auseinandersetzung mit Exoplaneten von großem Interesse. Man vermutet, dass Super-Jupiter durch den gravitativen Kollaps in sehr schweren protoplanetaren Scheiben entstehen. Man nimmt an, dass dann in dieser protoplanetaren Scheibe stellenweise eine Eigengravitation entsteht, die den Kollaps eines Teils der Scheibe in riesige Planeten, die Super-Jupiter, verursacht.

## Orbits

EMMA VON OW

Um Exoplaneten zu untersuchen, ist es von großer Bedeutung, sich ebenfalls mit ihren Orbits, das heißt mit ihren Umlaufbahnen um ihren Stern, zu beschäftigen. Grundlegend für die Beschreibung von Orbits sind dabei die Keplerschen Gesetze. Sie beschreiben, dass Orbits ellipsenförmig sind, weshalb wir Ellipsen genauer definieren: Im Gegensatz zu einem Kreis hat eine Ellipse nicht einen Mittelpunkt, sondern zwei Brennpunkte. Während jeder Punkt auf einem Kreis denselben Abstand zum Kreismittelpunkt hat, hat jeder Punkt auf einer Ellipse die gleiche Summe der Abstände zu den beiden Brennpunkten. Die Achse, die durch beide Brennpunkte verläuft, heißt *große Achse* und ihre Hälfte wird als große Halbachse (meist mit  $a$ ) bezeichnet, welche in den Keplerschen Gesetzen von hoher Bedeutung ist. In der Ab-

bildung ist an einem Brennpunkt der Ellipse die Sonne, der andere ist leer.



1. Keplersches Gesetz. Ein Planet umkreist seinen Stern auf einer Ellipse. Die Abstände  $f$  und  $g$  sind die Abstände des Planeten zu den Brennpunkten;  $a$  ist die große Halbachse.

Die Keplerschen Gesetze lauten wie folgt:

1. Gesetz: Die Bahn eines jeden Planeten ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt ein Stern steht.
2. Gesetz: Ein von dem Stern zum Planeten gezogener Fahrstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen.
3. Gesetz: Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich zueinander wie die Kuben (die dritten Potenzen) der großen Halbachse ihrer Bahnellipsen.

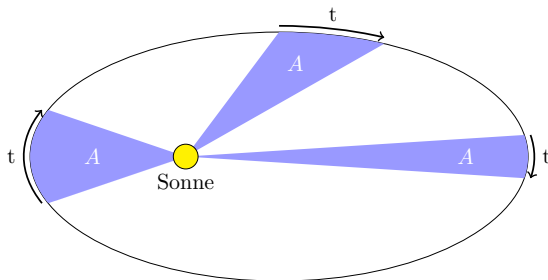
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Das 1.Keplersche Gesetz beschreibt die geometrische Form der Orbits und sagt aus, dass alle Orbits Ellipsen sind. Damit löst es die antike Vorstellung ab, dass Orbits Konstrukte aus Kreisen seien. Genau genommen sind Kreise ebenfalls Ellipsen, da bei ihnen die beiden Brennpunkte auf einen Punkt zusammenfallen. Demzufolge können Orbits auch kreisförmig sein, müssen es aber nicht.

Das 2. Keplersche Gesetz beschreibt, dass ein Strahl, welchen man von dem Planeten zum Stern (bzw. allgemein dem Zentralkörper) zieht, in einer gleichen Zeitspanne  $t$ , eine gleich große Fläche  $A$  überstreicht. Da die Entfernung des Planeten zum Stern auf einem nicht-kreisförmigen Orbit nicht konstant bleibt, muss die Bahngeschwindigkeit ebenfalls variieren, um die gleiche Fläche zu überstreichen. Wenn sich der Planet in Sonnennähe befindet (Periapsis), dann ist sein Abstand zur Sonne

<sup>4</sup>Eine Jupitermasse beträgt ca.  $2 \cdot 10^{27}$  kg

kleiner, als wenn er sich in der Sonnenferne (Apoapsis) befindet. Das bedeutet dementsprechend, dass sein Fahrstrahl in der Periapsis kürzer ist. Um dennoch in einer gleichen Zeitspanne, z. B. in 10 Tagen, die gleiche Fläche zu überstreichen, wie wenn sich der Planet in der Apoapsis befindet, muss der Planet eine höhere Bahngeschwindigkeit besitzen. Daraus folgt, dass die Bahngeschwindigkeit in der Periapsis (Sonnennähe) am größten und in der Apoapsis (Sonnenferne) am kleinsten ist.



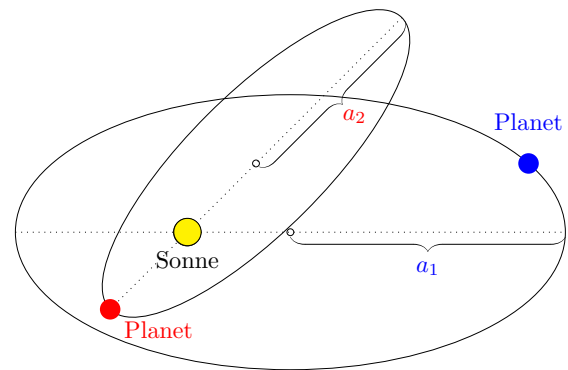
2. Keplersches Gesetz.

Besitzt ein Planet jedoch einen kreisförmigen Orbit, so variiert seine Bahngeschwindigkeit nicht, da er immer denselben Abstand zu seinem Zentralgestirn hat.

Das 3. Keplersche Gesetz drückt aus, wie das Verhältnis der Umlaufzeiten  $T$  zweier Planeten, die um dasselbe Zentralgestirn kreisen, und das Verhältnis ihrer großen Halbachsen  $a$  zusammenhängen. Es besagt, dass die dritten Potenzen der großen Halbachse den zweiten Potenzen der Umlaufzeiten entsprechen. Diese Formel ermöglicht es beispielsweise, die große Bahnhalbachse des einen Planeten zu berechnen, wenn seine Umlaufzeit, sowie Umlaufzeit und die große Bahnhalbachse des andern Planeten bereits bekannt sind.

### Die Gravitationskraft

Der Grund, weshalb die Planeten in Orbits um ihr Zentralgestirn, also z. B. die Sonne kreisen, ist die Gravitationskraft, die Massenanziehung zwischen zwei Körpern. Sie hängt einerseits von der Masse der beiden Körper ab und ist stärker je größer diese Masse ist. Andererseits hängt sie vom Abstand der beiden Körper zueinander ab und nimmt ab, je weiter diese voneinander entfernt sind. Dabei ist sie proportional zu den



3. Keplersches Gesetz.

Massen und umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung, hier bezeichnet als  $F_G$ :

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Dabei ist  $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2)$  die Gravitationskonstante,  $m_1$  und  $m_2$  sind die Massen beider Körper und  $r$  entspricht der Entfernung ihrer Massenmittelpunkte.

In vielen Situationen ist die Masse eines Körpers so überwiegend, dass die Masse des anderen im Vergleich vernachlässigt werden kann. Es bietet sich dann an, das Produkt aus der Masse des schwereren Körpers (auch Zentralkörper genannt) und der Gravitationskonstante direkt zu verwenden, da es genauer gemessen werden kann als jede der Komponenten:

$$\mu = G \cdot m_1$$

Die Gravitationskraft verhält sich in Keplerischen Orbits als Zentripetalkraft, also als Kraft, die einen Körper auf seiner Kreisbahn hält und zum Kreismittelpunkt hin gerichtet ist. Wenn man die Gravitationskraft mit der notwendigen Zentripetalkraft für eine Kreisbahn gleichsetzt und anschließend nach der Geschwindigkeit  $v$  auflöst, ergibt sich die Formel zur Berechnung der Kreisbahngeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{r}}.$$

### Energie in der Orbitalmechanik

Aus dem Energieerhaltungssatz folgt, dass die Bahnenergie eines Planeten auf seinem Orbit erhalten bleibt. Diese Energie ist die Summe



aus kinetischer Energie aus der Geschwindigkeit und potentieller Energie im Gravitationsfeld. Die kinetische Energie ändert sich allerdings mit der Geschwindigkeit, falls der Orbit nicht kreisförmig ist. Daraus folgt, dass sich bei gleichbleibender Summe auch die potentielle Energie ändern muss: Ist die kinetische Energie eines Planeten in der Periapsis sehr hoch, ist die potentielle Energie sehr klein. Umgekehrt verhält es sich in der Apoapsis.

Diese Erkenntnisse ermöglichen es uns nun, die Orbits von Exoplaneten nachzuvollziehen.

## Gezeiten

ANNIKA MÖBUS

### Gezeitenkräfte

Gezeitenkräfte sorgen bei uns auf der Erde regelmäßig für Ebbe und Flut. Sie verursachen eine Verformung von Körpern, auf die sie wirken. Gezeitenkräfte entstehen, wenn sich ein ausgedehnter Körper in einem Gravitationsfeld befindet, da deren Stärke räumlich variiert. Die Erde beispielsweise ist ein ausgedehnter Körper, da sich nicht ihre gesamte Masse am Ort ihres Massenmittelpunkts befindet. Die Erde ist im Gravitationsfeld des Mondes und seine Gravitationskraft nimmt mit zunehmender Entfernung zu diesem ab. Daraus folgt, dass die Gravitationskraft des Mondes auf nahe Massepunkte der Erde stärker wirkt, als auf weiter entfernte. Die Gravitationskraft, also die Anziehung beider Körper, berechnet sich, wie bereits eingeführt, mit:  $F_G = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$ . Die Gravitationskraft wirkt auf den Massenmittelpunkt und weiter oder weniger weit entfernte Punkte verschieden. Die Differenz dieser beiden Kräfte ist die Gezeitenkraft.

Über die Gravitationskraft lässt sich auch die Gravitationsbeschleunigung des ersten Körpers (mit Masse  $m_1$ ) auf den zweiten (mit Masse  $m_2$ ) darstellen:

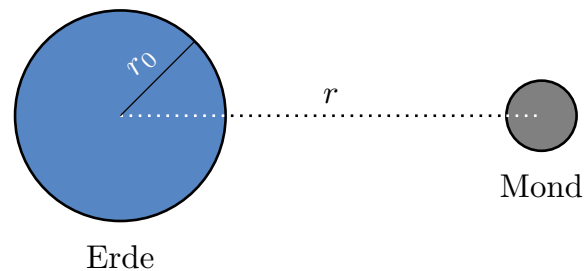
$$a_G(r) = G \cdot \frac{m_1 m_2}{m_2 r^2}$$

Die Gravitationsbeschleunigung nimmt genauso wie die Gravitationskraft mit zunehmender Entfernung zum anderen Körper ab. Damit

wirkt sie auf den Massenmittelpunkt und einen beliebigen anderen Punkt des Körpers unterschiedlich. Die sogenannte Gezeitenbeschleunigung ergibt sich aus der Differenz dieser beiden Beschleunigungen. Dementsprechend beträgt die Gezeitenbeschleunigung, je nachdem, auf welchen Punkt sie wirkt:

$$a_{gez}(r, r_0) = a_G(r \pm r_0) - a_G(r).$$

Der Radius  $r$  ist wieder die Entfernung der Massenmittelpunkte beider Körper. Der Radius des Körpers, auf den die Gezeitenbeschleunigung wirkt, wird mit  $r_0$  bezeichnet und wir nehmen an, dass  $r$  deutlich größer ist als  $r_0$ :  $r \gg r_0$ . Dieser Wert wird für den nächsten Punkt des Körpers subtrahiert, für den entferntesten addiert.



Erde und Mond.

Vereinfacht ergibt das:

$$\begin{aligned} a_{gez}(r, r_0) &= -G \cdot m_1 \left( \frac{2r_0/r + \left(\frac{r_0}{r}\right)^2}{r^2 + 2r \cdot r_0 + r_0^2} \right) \\ &\approx \left( \frac{2 \cdot r_0 \cdot G \cdot m_1}{r^3} \right) \end{aligned}$$

Aufgrund unserer Annahme  $r \gg r_0$  ist der rot markierte Teil verschwindend klein und kann ignoriert werden.

Aus der Gleichung folgt, dass die Gezeitenkräfte im Gegensatz zur Gravitationskraft mit der dritten Potenz der Entfernung abnehmen. Das heißt, sie wirken sie bei Objekten mit geringer Entfernung zueinander besonders stark.

### Tidal Locking

Die Gezeitenkräfte wirken sich auf die Rotation der beteiligten Körper aus und können zur gebundenen Rotation führen, auch Tidal

Locking genannt. Die Kräfte sorgen dafür, dass der Körper auf der Linie zwischen seinem und dem Schwerpunkt des anderen Körpers in die Länge gezogen wird. Rotiert der Körper, so wird er dabei „durchgeknetet“. Dabei wird Rotationsenergie in Wärmeenergie umgewandelt und der Körper rotiert immer langsamer, bis er dem anderen Körper schließlich immer die gleiche Seite zuwendet. Das nennt man gebundene Rotation. In unserem Sonnensystem ist das bei allen Monden bereits der Fall. Planeten, deren Rotation vollständig gebunden ist, sind, mit Ausnahme des Merkur, nur außerhalb unseres Planetensystems zu finden. Wie viele Jahre vergehen, bis die Rotation eines Körpers gebunden ist, lässt sich folgendermaßen abschätzen:

$$t_{lock} = 6 \cdot \frac{a^6 R \beta_s}{m_s m_p^2} \cdot 10^{10} \text{ Jahre}$$

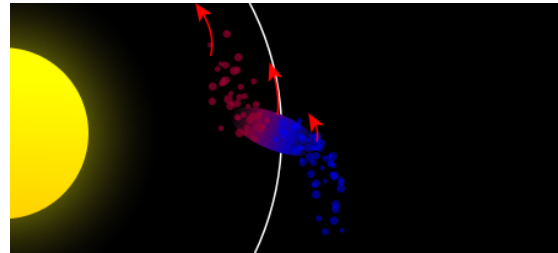
Hier umkreist ein Körper mit Radius  $R$  und Masse  $m_s$  einen Körper mit Masse  $m_p$  im Abstand  $a$ .  $\beta_s$  ist die Festigkeit des Körpers, für die wir immer  $3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$  einsetzen.

Der Effekt der gebundenen Rotation hat bei der Suche nach Leben auf Exoplaneten große Bedeutung. Ist die Rotation eines Planeten gebunden, ist fast immer nur eine Seite dem Stern zugewandt. Auf einer Seite herrscht immer Nacht, auf der anderen ist immer Tag. Das wirkt sich auf die Temperaturen auf der Oberfläche aus. So ist es möglich, dass auf der sternabgewandten Seite Wasser und auch die gesamte Atmosphäre einfrieren. Die Lebensfreundlichkeit der Umgebung verringert sich also drastisch. Bedingungen ähnlich denen auf der Erde können, wenn überhaupt, nur an einem schmalen Rand existieren, auf dem immer Dämmerung herrscht.

## Roche-Grenze

Ein Himmelskörper, beispielsweise ein Planet, wird von seinen eigenen Gravitationskräften innerlich zusammengehalten. Die Gezeitenkräfte des Zentralkörpers, um den er kreist, wirken dem entgegen und ziehen ihn auseinander. Um die Stabilität, also den inneren Zusammenhalt des Planeten zu beurteilen, werden diese beiden Kräfte miteinander verglichen.

Die Roche-Grenze eines Himmelskörpers beschreibt einen Radius um den Zentralkörper. Dieser Radius ist die Grenze für die Umlaufbahn des anderen Körpers. Kreist er außerhalb der Grenze, kann seine Gravitationskraft die Gezeitenkräfte dominieren. Innerhalb der Roche-Grenze wird der Körper aufgrund der Gezeitenkräfte zerrissen.



Darstellung eines flüssigen Satelliten, nachdem er die Roche-Grenze durchquert<sup>5</sup>

Das bedeutet auch, dass innerhalb der Roche-Grenze eines Planeten keine Monde entstehen können. So bilden Gase und Staub, die bei dessen Entstehung übrig geblieben sind und sich innerhalb der Roche-Grenze befinden, Ringe um den Planeten, da die Gezeitenkräfte die Entstehung von Monden verhindern. Unterschreitet ein Mond die Roche-Grenze, bleiben nur noch Partikel übrig, die den Planeten als Ring umkreisen.

So gibt es auch Planeten, die innerhalb der Roche-Grenze ein Ringsystem und außerhalb der Grenze Monde besitzen, wie es beispielsweise beim Saturn der Fall ist.

Die Roche-Grenze  $d$  lässt sich wie folgt berechnen:

$$d = 1,26 \cdot R \cdot 2 \left( \frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Hierbei entspricht  $R$  dem Radius und  $\rho_M$  der Dichte des Hauptkörpers.  $\rho_m$  ist die Dichte des Körpers, der um ihn kreist. So lässt sich beispielsweise auch die Roche-Grenze des Mondes bestimmen:

$$R = \text{Erdradius} = 6371 \text{ km}$$

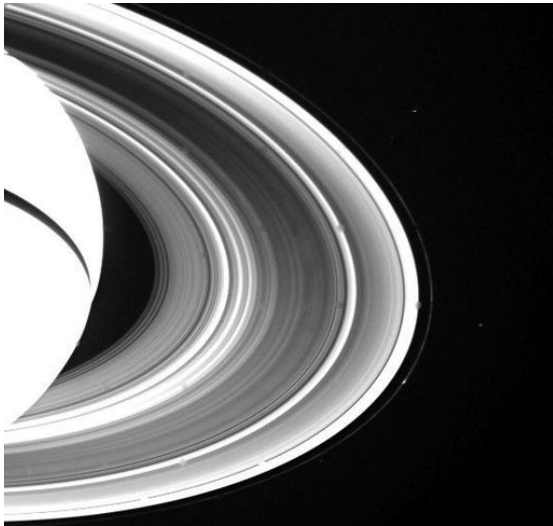
$$\rho_{\text{Erde}} = 5,51 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{Mond}} = 3,34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

<sup>5</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Theresa Knott and Rehua, CC BY-SA 3.0

$$d = 1,26 \cdot 6371000 \text{ m} \cdot 2 \cdot \left(\frac{5,51}{3,34}\right)^{\frac{1}{3}} \approx 18970 \text{ km}$$

Sie liegt weit innerhalb seiner Bahn, der Mond läuft also keine Gefahr, von Gezeitenkräften zerrissen zu werden.



Ringe des Saturn, aufgenommen von der Voyager-2-Sonde<sup>6</sup>

## Exoplaneten finden

VINCENT BOUCLIAS

In einem Sternensystem mit einem oder auch mehreren Planeten umkreisen Planet(en) und der Stern einen gemeinsamen Masse-schwerpunkt. Die Bewegung ist beim Stern deutlich geringer als die der Planeten in ihren Umlaufbahnen, aber dennoch messbar. Zwei Beobachtungsmethoden nutzen diese Bewegung des leuchtenden Sterns: Die Erkennung über die Radialgeschwindigkeit und die Astrometrie.

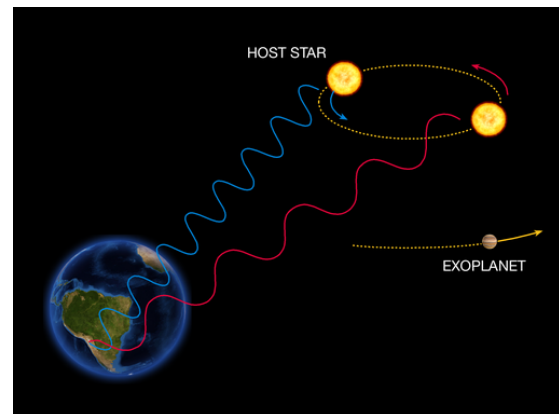
### Astrometrie

Bei der Astrometrie wird die Position des Sternes im Vergleich zu umliegenden Sternen vermessen. Werden regelmäßige, beispielsweise ellipsenförmige Bewegungen festgestellt, so ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der beobachtete Stern von einem Begleiter umkreist wird. Der größte Nachteil dieser Methode ist, dass die

vermeintliche Bewegung des Sterns auch eine atmosphärische Störung sein kann. Auch von Weltraumteleskopen werden mit dieser Methode allerdings primär Doppelsternsysteme anstatt Planeten gefunden. Das liegt daran, dass die Massen der Sterne in einem Doppelsternsystem ähnlich sind. Dadurch ist der Massenschwerpunkt sehr weit von den Mittelpunkten der Sterne entfernt, was zu einer größeren Kreisbewegung führt, welche besser beobachtbar ist. Bis jetzt wurden mit dieser Methode nur zwei bestätigte Exoplaneten gefunden.

### Radialgeschwindigkeit

Zeigt die Orbitebene eines Planetensystems zu uns (wir sehen das System von der Seite), bewegt sich der Stern aus unserer Sicht vor und zurück. Bewegt sich der Stern auf uns zu, dann werden die Wellenlängen, die er abstrahlt, „gestaucht“. Das ist die *Blauverschiebung* des *optischen Dopplereffekts*. Wenn sich der Stern von uns wegbewegt, dann werden die Wellenlängen des Lichts „gestreckt“. Das ist die *Rotverschiebung*.



Finden von Exoplaneten mit der Radialgeschwindigkeitsmethode, schematische Darstellung<sup>7</sup>

Misst man die Veränderung der Wellenlängen, kann man die Geschwindigkeit des Sterns auf bis zu 3 m/s genau bestimmen. Diese Messung der Radialgeschwindigkeit ist eine sehr erfolgreiche Methode und hat viele Vorteile, vor allem ihre hohen Messgenauigkeit. Der Exoplanet *Pegasi 51 b* wurde 1995 entdeckt und war der erste Exoplanet, der mithilfe der Radialgeschwindig-

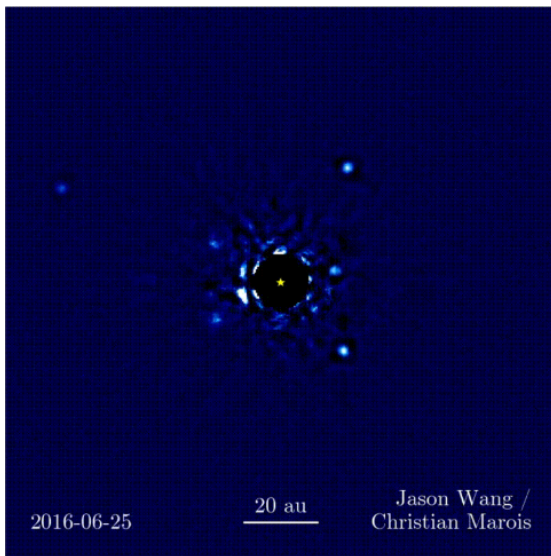
<sup>6</sup>Abbildung: NASA/JPL

<sup>7</sup>Abbildung: ESO, CC BY 4.0

keit gefunden wurde. Auch das Ziel unserer Mission, der Exoplanet *Teegarden b*, wurde mit der Radialgeschwindigkeitsmethode entdeckt.

### Direkte Beobachtung

Exoplaneten können auch durch direkte Beobachtung gefunden werden. Da der Stern alle seine Planeten überstrahlt, wird eine Abdeckung, ein sogenannter *Koronograph*, an das Teleskop angebracht. Der Koronograph verdeckt den Stern und ermöglicht so die Beobachtung der Planeten. Damit können vor allem große und junge Planeten beobachtet werden, die im Infrarotbereich strahlen.



System HR 8799, mittig in schwarz der Koronograph, außen die Planeten<sup>8</sup>

Mit dieser Methode wurden über 130 Exoplaneten entdeckt, ihre Masse kann allerdings nur ungenau bestimmt werden.

### Transit

Die Transitmethode ist die mit Abstand erfolgreichste Methode, um Exoplaneten zu finden. Mit ihr wurden bisher über 70 % der bekannten Exoplaneten entdeckt. Spezialisierte Teleskope für den Transit sind beispielsweise das James-Webb- und das Kepler-Teleskop sowie der Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). In unserem Kurs haben wir uns besonders mit

den Daten des Kepler-Teleskopes befasst. Ein Planetentransit ist das Vorüberziehen eines Planeten vor einem Stern. Dadurch verdunkelt der Planet geringfügig den Stern und der Planet erscheint als schwarzer Kreis.



Venustransit vor der Sonne 2012<sup>9</sup>

Die Verdunklung kann gemessen werden, indem die Helligkeit eines Sterns beobachtet wird und die Daten in einer *Helligkeitskurve* dargestellt werden.

### Lightkurve

DANIEL KRETZ

Aufgrund der hohen Effizienz der Transitmethode war diese auch die Methode, die wir im Kurs verwendeten, um selbst Daten von Teleskopen nach Exoplaneten zu durchsuchen. Dafür verwendeten wir die Programmiersprache Python und das Pythonpaket „Lightkurve“. Es kann Helligkeitsdaten von Sternen auswerten, die von den Weltraumteleskopen TESS und Kepler gesammelt wurden. Im folgenden Text wird beschrieben, wie wir dabei vorgehen.

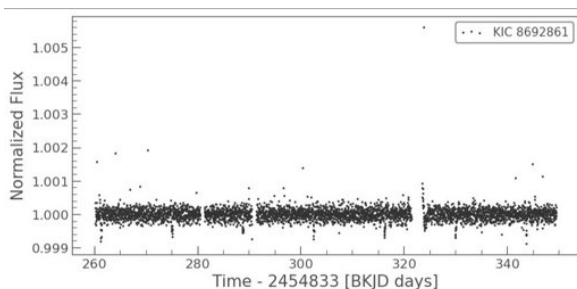
### Helligkeitskurve erstellen

Wir untersuchten mit dem Programm verschiedene Sternensysteme. Hier wird der Prozess

<sup>8</sup>Abbildung: NASA/Jason Wang/Christian Marois

<sup>9</sup>Wikimedia, Wikimedia-User Tom Ruen, CC BY-SA 3.0

am Beispiel des Systems Kepler 69, das vom Kepler-Teleskop von 2009 bis 2013 beobachtet wurde, beschrieben. Zunächst importieren wir die Helligkeitsdaten. Diese ergeben dann graphisch dargestellt eine sogenannte „Helligkeitskurve“, wie man sie auf dem ersten Diagramm sehen kann. Dabei wird auf der x-Achse die Zeit angegeben, auf der y-Achse der Fluss<sup>10</sup>. Der Fluss gibt an, wie viel Strahlung des Sterns beim Teleskop ankommt. Zudem entfernen wir alle Messwerte, die zu weit vom Durchschnitt abweichen, da es sich dabei wahrscheinlich um Messfehler handelt. In der ersten Abbildung sieht man mehrere Verringerungen der Helligkeit in periodischen Abständen. Diese deuten darauf hin, dass ein Objekt regelmäßig vor dem Stern vorbeizieht und dabei die für uns sichtbare Helligkeit verringert.

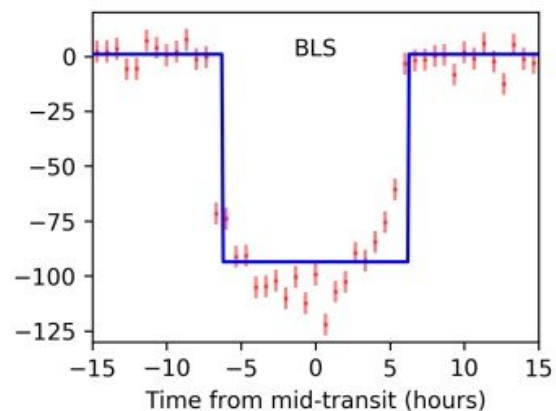
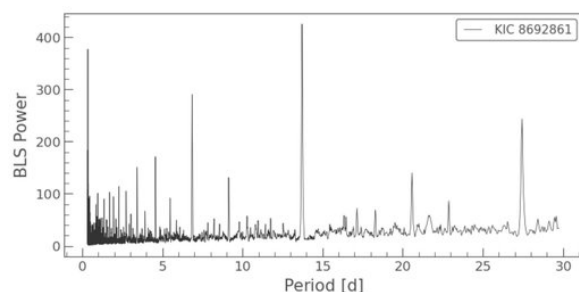


Helligkeitskurve

## BLS-Methode

Um aber festzustellen, ob es sich dabei wirklich um einen Planeten handelt und in welchem Abstand er den Stern umkreist, verwenden wir die sogenannte Box Least Square-Methode. Dabei wird die Wahrscheinlichkeit für einen Exoplaneten-Transit berechnet, indem der Verlauf der Helligkeitskurve simuliert wird. Lightkurve erstellt hierbei Boxen mit verschiedenen Größen. Diese sollen die Helligkeitsverringerungen der Sterne bei den Transits von Planeten mit verschiedenen Größen simulieren, da hierbei die Helligkeitskurve in etwa der Form einer Box einbricht (vgl. Abschnitt „Transitmethode“). Je größer der Planet ist, desto stärker sinkt die Helligkeit und die Box wird größer. Um herauszufinden, ob die Verringerungen in unserem Diagramm damit über-

einstimmen, werden diese Boxen dann über die Helligkeitskurven gelegt (siehe Abbildung „BLS-Methode“). Je besser die Verringerung zur Form der Box passt, desto wahrscheinlicher handelt es sich dabei um einen Planetentransit. Das ist dann ein guter Indikator für einen Exoplaneten. Die Übereinstimmung der Boxen mit den tatsächlichen Messwerten wird in der sogenannten BLS-Power<sup>11</sup>, also der Übereinstimmung der Erwartungen mit den Messdaten, angegeben und in einem Diagramm graphisch dargestellt. Am Diagramm kann man erkennen, dass diese Wahrscheinlichkeit nach ca. 14 Tagen am höchsten ist.

BLS-Methode<sup>12</sup>

BLS-Power

## Transit erkennen

Zuletzt untersuchen wir genau den Abstand, an der die BLS-Power, also die Wahrscheinlichkeit für einen Transit, am höchsten ist. Dazu legen wir die Daten von jeweils 14 Tagen übereinander (da der Transit vermutlich alle vierzehn

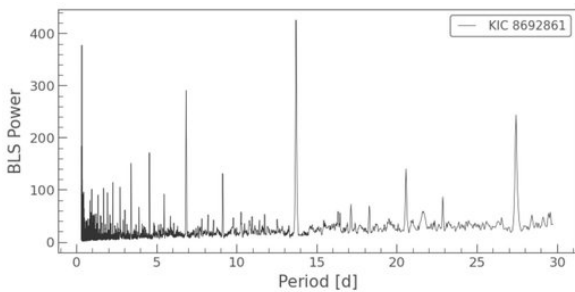
<sup>10</sup>Siehe Abschnitt zur *Habitablen Zone* auf Seite 23

<sup>11</sup>Siehe auch die astropy-Dokumentation

<sup>12</sup>Hippke & Heller, MIT-Lizenz



Tage stattfindet, denn dort ist die BLS-Power am höchsten), um einen möglichst deutlichen Verlauf der Helligkeitskurve zu erhalten. Dadurch erhält man dann die vierte Abbildung, die erneut den Fluss darstellt. Hier ist eine deutliche Verringerung sichtbar, bei der der Fluss für kurze Zeit geringer ist als sonst. Die Verringerung stimmt auch damit überein, was man bei dem Transit eines Planeten erwarten würde.



Finale Helligkeitskurve

Mit Python haben wir also nun einen Planeten entdeckt, der eine Umlaufzeit von ca. 13,7 Tagen hat. Bei dem Planeten handelt es sich um den Exoplaneten Kepler 69b und die von uns errechnete Umlaufzeit stimmt mit den Daten der NASA überein.

## Die habitable Zone

RADU BUZOIANU

Nicht auf allen Planeten eines Planetensystems herrscht die gleiche Temperatur. Grundsätzlich ist es auf einem Planeten heißer, wenn er dichter um seinen Stern kreist und kälter, wenn sein Orbit weiter vom Stern entfernt ist. Das ist in unserem Sonnensystem deutlich erkennbar: Auf dem Merkur herrscht „tagsüber“ eine Temperatur von bis zu 460 °C, auf dem Neptun dagegen sind es ca. –200 °C. Unter solchen Bedingungen würde man nicht mit Leben rechnen. Als die „habitable Zone“ bezeichnet man nun den Bereich in einem Planetensystem, in dem die Temperaturen auf einem Planeten flüssiges Wasser erlauben. Dieser Bereich befindet sich in einer bestimmten Distanz zum Stern.

Flüssiges Wasser ist ein wichtiger Faktor für die Bewohnbarkeit eines Planeten, denn es er-

leichtert chemische Prozesse und ist für Leben, wie wir es kennen, essenziell. Dementsprechend ist es sinnvoll, die Suche nach außerirdischem Leben auf die habitablen Zonen von Sternen zu konzentrieren. Es können mehrere Planeten eines Systems innerhalb der habitablen Zone zu finden sein. In unserem Sonnensystem befindet sich nur die Erde darin. Die Position der habitablen Zone lässt sich für ein beliebiges Planetensystem mithilfe einfacher Überlegungen herleiten.

## Sterntypen und Leuchtkraft

Die habitable Zone ist nicht in allen Planetensystemen gleich weit von ihrem Stern entfernt. Ihr Abstand ist abhängig von der Leuchtkraft des Sterns und es gibt verschiedene Arten von Sternen, die unterschiedlich hell leuchten. Man unterscheidet hierbei zwischen den Spektralklassen O, B, A, F, G, K und M. Sterne der O-Klasse gehören, leuchten am hellsten, während Sterne der M-Klasse am schwächsten leuchten. Unsere Sonne gehört zur G-Klasse, bei der K- und der M-Klasse handelt es sich um rote Zwerge.



Größen- und Farbvergleich der verschiedenen Sternklassen<sup>13</sup>

Die Leuchtkraft eines Sterns hängt von seiner Temperatur und seiner Größe ab. Das lässt sich mithilfe der Formel zur Berechnung der Leuchtkraft  $L$  veranschaulichen:

$$L_{\text{Stern}} = 4\pi \cdot R_{\text{Stern}}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{Stern}}^4$$

$R$  ist in diesem Fall der Radius des Sterns,  $\sigma$  die Stefan-Boltzmann-Konstante<sup>14</sup> und  $T$  die Temperatur.

Da der Radius und die Temperatur zusammen mit der Masse steigen, ist die Leuchtkraft auch

<sup>13</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Omnidoom 999, CC BY-SA 3.0

<sup>14</sup> $\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

abhängig von der Masse des Sterns. Für Sterne auf der Hauptreihe (d. h. Sterne, die in ihrem Kern Wasserstoff zu Helium fusionieren) gilt: Die Leuchtkraft  $L$  ist proportional zur Masse  $m$  potenziert mit 3,5 ( $L \propto m^{3,5}$ ). Für die praktische Anwendung dieser Regel wird der Vergleich zur Sonne aufgestellt und man erhält die folgende Formel:

$$\frac{L_{\text{Stern}}}{L_{\text{Sonne}}} = \left( \frac{m_{\text{Stern}}}{m_{\text{Sonne}}} \right)^{3,5}$$

Schwere Sterne leuchten also heller.

Zur besseren Veranschaulichung werden die Leuchtkräfte beliebiger Sterne oftmals in der Einheit „Sonnenleuchtkräfte“ ( $L_{\odot}$ ) angegeben.

### Der Fluss

Mithilfe der Leuchtkraft kann man den Fluss herausfinden, um anschließend die Entfernung der habitablen Zone zum Stern zu berechnen. Der Fluss  $F$  beschreibt die Energie pro Zeit, die durch eine Fläche strömt. Der Fluss eines Sterns, der einen Planeten im Abstand  $d$  durchströmt, ergibt sich daher als:

$$F = \frac{L_{\text{Stern}}}{4\pi \cdot d_{\text{Stern-Planet}}^2}$$

$d$  ist hierbei die Distanz zwischen dem Stern und dem Planeten. Bei geringerer Distanz ist der Wert des Flusses höher, somit auch die Energie, die ein Körper in ihm absorbiert. Je heißer ein Körper ist, umso mehr Energie wird als Wärmestrahlung wieder abgegeben. Die Temperatur eines Körpers strebt einen Zustand an, in dem die absorbierte und abgegebene Energie im Gleichgewicht sind, das sogenannte „Equilibrium“. Kurz:

$$\text{Absorption} = \text{Emission}$$

Zur Berechnung dieser Temperatur nehmen wir vereinfachend an, dass ein Planet perfekt schwarz ist (ein sogenannter Schwarzer Körper), er also alle ihn erreichende Strahlung gleichermaßen absorbiert. Für die Absorption gilt die bereits erklärte Formel:

$$F_{\text{abs}} = \frac{L_{\text{Stern}}}{4\pi \cdot d_{\text{Stern-Planet}}^2}$$

Für die Emission des Planeten gilt das Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$F_{\text{emis}} = \sigma \cdot T_{\text{Planet}}^4$$

Dabei bezeichnet  $T_{\text{Planet}}$  die Durchschnittstemperatur der Planetenoberfläche. Durch das Gleichsetzen von Absorption und Emission erhält man folgende Gleichung:

$$d_{\text{Stern-Planet}} = \sqrt{\frac{L_{\text{Stern}}}{4\pi \cdot \sigma \cdot T_{\text{Planet}}^4}}$$

Setzt man nun die Leuchtkraft eines beliebigen Sterns und die zwei Grenztemperaturen ( $T_1 = 273\text{ K} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 373\text{ K} = 100^\circ\text{C}$ ) ein, so erhält man zwei Abstände ( $d_1$ ,  $d_2$ ), welche die Grenzen der habitablen Zone als Distanz vom Stern beschreiben.

### Korrektur durch die Albedo $\alpha$

Testet man diese Gleichung mit den Werten von unserem Sonnensystem, so erhält man für die Grenzen der habitablen Zone  $d_1 \approx 1,1\text{ AU}$  und  $d_2 \approx 2,0\text{ AE}$ . AU steht hierbei für Astronomische Einheit und beschreibt die durchschnittliche Distanz zwischen der Erde und der Sonne ( $\approx 150.000.000\text{ km}$ ). Diese Ergebnisse sind zu groß, weil die Erde innerhalb der habitablen Zone liegt und sie etwa 1 AE von der Sonne entfernt ist.

Die Abweichung kommt daher, dass ein Planet nicht, wie zuvor angenommen, die ganze Strahlungsenergie des Sterns absorbiert. Je nach Oberfläche und Material der Planeten wird ein Teil der Strahlung zurückreflektiert anstatt absorbiert. Diesen Reflexionsfaktor nennt man Albedo  $\alpha$ . Mithilfe dieses Wertes lässt sich der Anteil an Wärmestrahlung berechnen, der von einem Planeten wirklich aufgenommen wird. Jeder Planet hat seine eigene Albedo  $\alpha$ . Die Albedo der Erde beträgt zum Beispiel  $\alpha_{\text{Erde}} = 0,37$ , also 37 %. Folglich werden von der Erde nur 63 % der ankommenden Strahlung absorbiert. Die Formel zur exakten Berechnung der habitablen Zone ist also:

$$d_{\text{Stern-Planet}} = \sqrt{\frac{(1 - \alpha) \cdot L_{\text{Stern}}}{4\pi \cdot \sigma \cdot T^4}}$$

Damit ergeben sich für unser Sonnensystem nun Werte von  $d_1 \approx 0,88$  AE und  $d_2 \approx 1,61$  AE. Die Erde liegt also – wie erwartet – innerhalb der habitablen Zone.

### Weitere Probleme am Modell

Diese Werte und Überlegungen sind immer noch nur Annäherungen an die Wirklichkeit. Neben der Albedo gibt es noch zahlreiche weitere Korrekturfaktoren: Planeten bewegen sich auf elliptischen Orbits, sodass es, je nachdem, wo sich der Planet gerade befindet, um einiges wärmer oder kälter sein kann. Hinzu kommt, dass viele Planeten eine Atmosphäre haben, welche höhere Temperaturen verursacht.

Neben der Temperatur können für Leben auch noch andere Faktoren eine Rolle spielen: Zum Beispiel ist es auch wichtig, dass der Stern ruhig und das Planetensystem dadurch stabil ist, weil die Entstehung von Leben teilweise Milliarden von Jahren dauern kann. Sterne der O-, B- und A-Klasse haben wegen ihrer hohen Leuchtkraft schon nach wenigen Millionen Jahren ihre Energieversorgung aufgebraucht und explodieren in Supernovae. Damit scheiden Planetensysteme um solche Sterne für Leben, wie wir es kennen, zunächst aus.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die habitable Zone eine wichtige Komponente eines Planetensystems ist, wenn man die sich darin befindenden Planeten auf Leben untersuchen will oder man sogar in der Zukunft fremde Planeten besiedeln möchte. Man sollte aber mit abweichenden Werten rechnen, da es unzählige kleine Faktoren gibt, die zusammen einen größeren Unterschied bewirken können.

## Bedingungen und Definition von Leben

MILLA UNTERHALT

### Definition von Leben

Bevor wir Leben suchen, müssen wir Leben definieren. Dabei ist wichtig zu verstehen, dass das Leben, das wir suchen, nicht unbedingt Leben

sein muss, wie wir es kennen. Im Kurs lernen wir anstelle der allbekannten Kennzeichen von Leben, wie Bewegung, Reizbarkeit, Wachstum, Stoffwechsel und Fortpflanzung, eine neue, generellere Definition kennen: Die **Homöostase**. Sie beschreibt ein System, das einen inneren Zustand in einem geschlossenen Raum gegen den äußeren Raum verteidigen kann. Ein Beispiel dafür ist die Thermoregulation beim Menschen: Der Mensch kann seine Körpertemperatur unabhängig von der Raumtemperatur halten. Um die Differenz zwischen Körpertemperatur und Umgebungstemperatur aufrechtzuerhalten, braucht der Mensch durchgehend Energie. Menschen verwenden dafür chemische Energie, die durch die Nahrung aufgenommen wird. Prinzipiell kann jedoch jegliche Art von Energien verwendet werden.

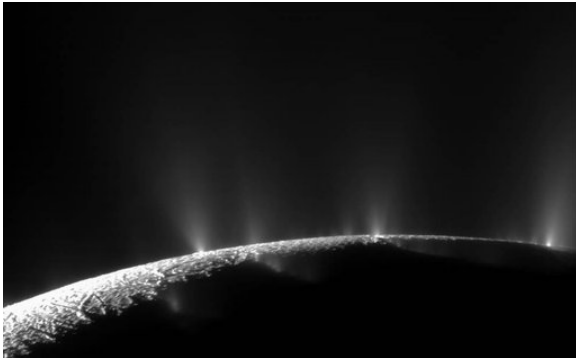
Damit ein homöostatisches System als Leben zählt, muss es sich zusätzlich reproduzieren können. Dafür muss es Informationen über seinen Aufbau codieren und weitergeben können. Das Leben auf der Erde verwendet hierfür DNA oder RNA, jedoch kann es natürlich auch sein, dass außerirdisches Leben eine andere Art von Erbgut oder auch gar kein Erbgut besitzt. Leben entsteht, laut jetzigen Erkenntnissen, in günstigen Bedingungen, kann sich aber durch Evolution an Extrembedingungen anpassen.

### Bedingungen für Leben

Für unsere Mission wählten wir einen Planeten aus, auf dem im Vergleich zu anderen Exoplaneten Leben wahrscheinlicher ist. Damit ein Planet lebensfreundlich genannt werden kann, muss er verschiedene Kriterien erfüllen: Er braucht erstens eine **Energiequelle** irgendeiner Art. Sie ist einerseits für die Reproduktion der homöostatischen Systeme notwendig, andererseits für die Erhaltung von inneren Zuständen.

Eine weitere essenzielle Bedingung für Leben ist die Möglichkeit für **Komplexität**, um Information zu kodieren. Im Falle des Lebens auf der Erde sind das DNA und RNA, die aus Kohlenstoffketten bestehen. Möglicherweise könnte es auch Leben geben, dessen Erbgut aus Phosphor besteht, weil das Element wie Kohlenstoff einfache Bindungen eingehen kann

und lange Molekülketten bildet. Zusätzlich gibt es noch Bedingungen, die nicht strikt notwendig sind, aber die Lebensentstehung erleichtern. Eine **Flüssigkeit** vereinfacht chemische Prozesse und die Molekülbildung, auf der Erde ist es das Wasser. Eine Temperatur zwischen 0°C und 100°C würde flüssiges Wasser ermöglichen, weshalb der Planet vorzugsweise in der habitablen Zone um seinen Stern kreist. Außerdem ist eine **Atmosphäre** vorteilhaft. Die Atmosphäre der Erde schützt uns vor UV- und Röntgenstrahlung der Sonne und sorgt für eine stabilere Temperatur, was man an der geringen Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht sehen kann.



Saturnmond Enceladus mit Geysiren, in denen organische Moleküle nachgewiesen wurden.<sup>15</sup>

## Risiken für Leben

### Gefährdung der Voraussetzungen

Neben den genannten Voraussetzungen für Leben, gibt es auch Zustände, die dieses gefährden. Wenn ein Planet starker kosmischer Strahlung ausgesetzt ist, erschwert das die Bildung von Leben oder macht Leben sogar unmöglich. Ein weiteres Problem für Leben sind sogenannte Sonnenstürme. Sie entstehen durch Eruptionen auf der Sternoberfläche, die dann eine Plasmaexplosion verursachen. Gelangen die geladenen Teilchen nun in die Orbits um den Stern, spricht man von Sonnenwinden, die Atmosphären über lange Zeit abtragen können. Schutz bietet der Erde hierbei ihr Magnetfeld.

<sup>15</sup>Abbildung: NASA/JPL/Space Science Institute

## Massenaussterben

Doch selbst, wenn auf einem Planeten schon Leben entstanden ist, gibt es auch Faktoren, die schon bestehendes Leben aussterben lassen können. Supernovae stoßen weitreichende tödliche kosmische Strahlung aus, die Leben schlagartig auslöschen würde. Asteroideneinschläge können ebenfalls einen großen Teil des Lebens auslöschen. Wie zum Beispiel schon auf der Erde Cretaceous-Paleogen, welcher vor 66 Millionen Jahren für das Aussterben von 75 % aller Tier- und Pflanzenspezies sorgte. Das heißt: Wenn ein Planet öfter von Asteroiden getroffen wird, verringert das die Wahrscheinlichkeit für Leben. Trotzdem kann es auf einem Planeten, der diese Faktoren erfüllt, Leben geben, unter der Voraussetzung, dass er früher einmal lebensfreundlich war. Denn Homöostase kann in günstigen Bedingungen entstehen, sich aber durch Evolution an lebensfeindliche Lebensräume anpassen.



Erdatmosphäre<sup>16</sup>

## Extremophile

VALERIE HECK

### Extremophile in der Übersicht

Der Begriff „extremophil“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet übersetzt „Freund der Extreme“. Als Extremophile bezeichnet

<sup>16</sup>Abbildung: NASA Johnson Space Center, Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center

man Lebewesen, die unter extremsten Bedingungen leben können. Viele Extremophile gehören zu den Mikroorganismen und sind in Lebensräumen, wie dem ewigen Eis, der Antarktis, Wüsten oder der Tiefsee zu Hause.

### Eigenschaften von Extremophilen

Extremophile Lebewesen können über verschiedene „Talente“ verfügen, sodass sie sich in eine Reihe von Unterarten einteilen lassen, je nach Eigenschaften und Fähigkeiten. Wenn es um extreme Temperaturen geht, gibt es zum einen die Thermophilen und zum anderen die Kryophilen. Die Thermophilen halten besonders hohe Temperaturen aus, über 80 °C und heißer. Die Kryophilen dagegen fühlen sich in besonders kalten Umgebungen wohl und sind angepasst an Temperaturen unter -10 °C. Ein Beispiel für thermophile Lebewesen ist „*Sulfolobus solfataricus*“. Das ist ein Organismus, der bei etwa 80 °C am besten wächst und erstmals in den Vulkanquellen des Solfatara-Vulkans in Italien entdeckt wurde. Die optimale Lebens-temperatur von „*Pyrococcus furiosus*“, liegt sogar bei 100 °C. Ein kryophiles Lebewesen ist zum Beispiel „*Corwellia*“, eine Bakterienart, die bei -20 °C in der Tiefsee lebt.

„*Thermococcus gammatolerans*“ ist ein gutes Beispiel für eine andere extremophile Eigenschaft, nämlich das Aushalten starker radioaktiver Strahlung. Dieses Lebewesen erträgt eine Strahlung von bis zu 30.000 Gray und gehört damit zu den sogenannten „Radiophilen“. Zum Vergleich: Ein Mensch stirbt, wenn er einer Strahlung von 5 Gray ausgesetzt ist, diese Lebewesen dagegen überleben ohne Probleme die 6000-fache Menge dieser Strahlung.

Zwei weitere Arten von Extremophilen sind die Alkalophilen und die Acidophilen. Ihre spezielle Eigenschaft hängt mit dem pH-Wert in den Gebieten zusammen, in denen sie leben. Der pH-Wert gibt an, wie sauer oder basisch eine Flüssigkeit ist. Alkalophile leben in basischen Gebieten, in denen der pH-Wert besonders hoch ist, während die Acidophilen beispielsweise in sauren, schwefelhaltigen Gebieten zu finden sind, in denen der pH-Wert der Umgebung besonders niedrig ist.

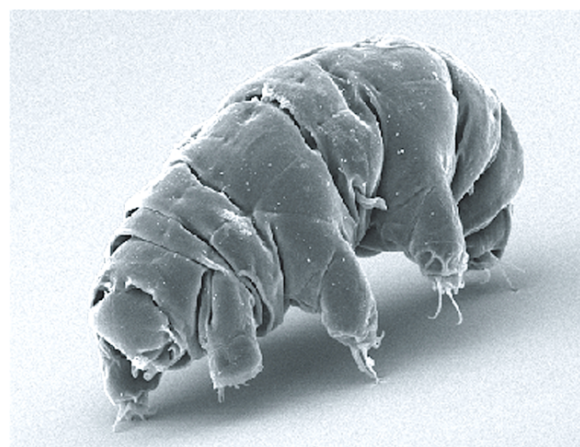
Eine ebenfalls recht weit verbreitete Art sind die anaeroben Extremophile. Ihre Fähigkeit besteht darin, dass sie völlig ohne Sauerstoff überleben können. Hierbei unterscheidet man allerdings zwischen zwei Arten von Anaeroben: Diejenigen, die statt Sauerstoff andere Energiequellen wie Schwefel nutzen, und diejenigen, die über einen gewissen Zeitraum ihren Stoffwechsel so weit herunterfahren können, dass sie für diese Zeit keine Energiequelle benötigen.

### Archaeen

Viele Extremophile gehören zu den Archaeen. Archaeen sind Mikroorganismen, die zu den Prokaryoten gehören und neben den Bakterien und den Eukaryoten (Lebewesen mit Zellkern), eine der drei Domänen des Lebens bilden. Prokaryoten sind Einzeller, die über keinen Zellkern verfügen.

Charakteristisch für Archaeen ist, dass sie je nach Art sehr unterschiedliche Zellwände ausbilden und eine sehr gute DNA-Selbstreparatur haben. Dadurch sind sie besonders geeignet für das Leben unter extremen Bedingungen. Manche Archaeen verfügen über gar keine Zellwand, andere wiederum über hochkomplexe Zellwände, die mehrere Schichten umfassen.

### Bärtierchen



Bärtierchen<sup>17</sup>

<sup>17</sup>Abbildung: Wikimedia, Schokraie E, Warnken U, Hotz-Wagenblatt A, Grohme MA, Hengherr S, et al. (2012), CC BY 2.5)



Viele Extremophile verfügen über mehr als eine extreme Fähigkeit. Diese Lebewesen werden Polyextremophile genannt. Ein besonders faszinierendes Polyextremophil ist das Bärtierchen, welches so viele extremophile Eigenschaften vereinigt, wie sonst kaum ein anderes Lebewesen. Bärtierchen sind nicht nur thermophil, sondern auch kryophil, radiophil und anaerob. Sie halten bis zu 90 °C aus und Wissenschaftler fanden im Zuge verschiedenster Forschungen heraus, dass Bärtierchen bis zu 30 Jahre Frost oder zehn Tage Vakuum überleben können. Das funktioniert allerdings nur in einem Zustand, in dem sich die Bärtierchen „einkapseln“. In dieser Form sind sie extrem widerstandsfähig. Bärtierchen leben in feuchten Regionen wie Wäldern oder Ufergebieten auf der ganzen Welt verteilt.

## LUCA

Es ist zu vermuten, dass auch das Leben auf der Erde in für uns extremen Bedingungen seinen Ursprung hat. LUCA, („Last Universal Common Ancestor“), der letzte gemeinsame Verwandte allen Lebens auf der Erde, war ein polyextremophiles Lebewesen und lebte vor 3,5 Milliarden Jahren bei schwarzen Rauchern in der Tiefsee. Diese schwarzen Raucher sind hydrothermale Quellen, die große Mengen an heißem Wasser, Sulfiden, Salzen und weiteren Stoffen ausstoßen. LUCA ernährte sich von dem ausgestoßenen Sauerstoff und Stickstoff, sowie dem Kohlendioxid. Er war ein zellkernloser Einzeller, der sowohl anaerob, als auch thermophil war.

## Extremophile in der Raumfahrt

Die Untersuchung von Extremophilen hilft, die Grenzen zu bestimmen, in denen Leben vorkommen kann. Leben in den habitablen Zonen zwischen 0 °C und 100 °C ist wahrscheinlicher, aber muss nicht darauf beschränkt sein. Extremophile Lebewesen auf der Erde entwickeln sich meist erst in lebensfreundlichen Umgebungen und breiten sich erst später in extremere Gebiete aus, an die sie sich anpassen. Eine extreme Möglichkeit besteht darin, dass Extremophile durch Asteroideneinschläge von ihrem

Planeten hochgeschleudert und zu neuen Planeten gebracht werden könnten, wobei sie die Zeit im All durch ihre Widerstandsfähigkeit überstehen.

Ein ähnliches Problem ergibt sich in der Raumfahrt: Weltraummissionen müssen aufpassen, dass sie keine irdischen Extremophilen, die den Flug durchs All auf den Hüllen der Raumschiffe überleben, auf andere Planeten bringen. Um genau das zu verhindern, verfügen sowohl die ESA als auch die NASA über *Reinräume*, in denen die Raumschiffe sterilisiert werden. Es gibt jedoch mittlerweile Lebewesen, die gegen diese Sterilisierung resistent sind. So wurden im Jahre 2012 extremophile Lebewesen in Reinräumen festgestellt, was noch aufwändigere Vorichtsmaßnahmen notwendig macht.

## SETI

YANNIK WITZENS

SETI ist eine private Organisation, die sich mit der Suche nach außerirdischem Leben befasst. Genau dafür steht auch die Abkürzung: **S**earch for **E**xtraterrestrial **I**ntelligence. Die Organisation wurde am 20. November 1984 vom amerikanischen Astrophysiker und -biologen Frank Drake gegründet und finanziert sich durch Sponsoren wie die NASA sowie private Geldgeber.



Frank Drake, 2017<sup>18</sup>

Die Organisation möchte das Leben und dessen Beginn im Universum erforschen. Die Hauptarbeit von SETI besteht darin, nach Nachricht-

<sup>18</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Amalex5, CC BY-SA 4.0)

ten von außerirdischem, intelligentem Leben zu suchen. Dazu werden Radioteleskope wie das Green-Bank-Observatorium oder das Allen Telescope Array verwendet. Letzteres ist ein Zusammenschluss von 42 Radioteleskopen, der von unter anderem Frank Drake selbst konzipiert und speziell für die SETI-Forschung gebaut wurde.



Das Allen Telescope Array<sup>19</sup>

Der Vorteil, ein großes Teleskop in mehrere kleinere aufzuteilen (also als Array zu bauen), liegt darin, dass mehrere Himmelsbereiche gleichzeitig beobachtet werden können. Soll allerdings eine höhere Auflösung erreicht werden, können auch mehrere Teleskope zusammengeschaltet werden, sodass diese gemeinsam den gleichen Bereich beobachten. Bisher konnte noch kein Signal empfangen werden, bei dem sicher ist, dass es von außerirdischem Leben kommt. Die Suche dauert noch an.

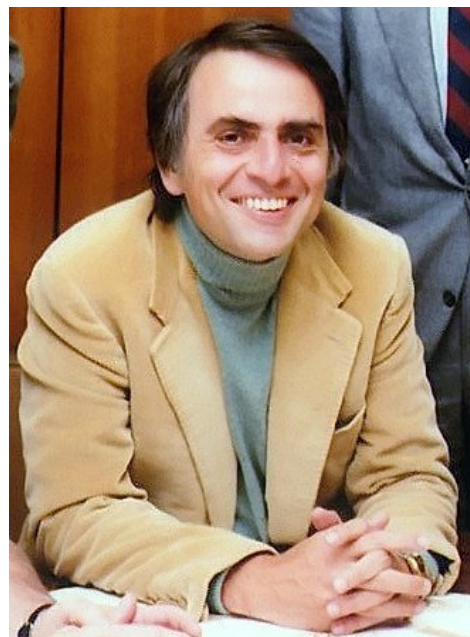
Das SETI Institute veranstaltet außerdem regelmäßig Konferenzen, bei denen sich Wissenschaftler über die aktuelle Forschung austauschen. Bei einer Konferenz im Jahr 1961 wurde beispielsweise die berühmte Drake-Gleichung vorgestellt.

Von 1999 bis 2020 lief das Projekt SETI@home, bei dem auch Nichtwissenschaftler:innen und Privatpersonen an der SETI-Forschung mitwirken konnten. Dafür wurde ein Programm angeboten, mit denen Freiwillige ungenutzte Rechenleistung ihrer Computer zur Verfügung stellten. Damit wurde nach Signalen in bestimmten Frequenzbereichen gesucht. Insgesamt konnten über die 21 Jahre, in denen das Projekt aktiv war, eine Rechenleistung koor-

diniert werden, für die ein einzelner Rechner über zwei Millionen Jahre Rechenzeit benötigt hätte. Zwar konnten keine direkten Beweise für außerirdisches Leben erzielt werden, aber man konnte einige Himmelsabschnitte ermitteln, die noch genauer untersucht werden müssen.

Ein wichtiger Name, der im Bezug zu SETI genannt werden sollte, ist Carl Sagan. Er lebte von 1934 bis 1996 und war unter anderem Astronom, Astrophysiker und Exobiologe. Neben seiner hohen Beteiligung bei SETI trug er viel zum Entwurf von Botschaften bei, die wir ins All gesendet oder zusammen mit Raumsonden dorthin befördert haben (siehe kommender Abschnitt zur goldenen Schallplatte). Zudem war er ein Gründungsmitglied des „Committee of the Scientific Investigation of Claims of the Paranormal“. Dieses Komitee befasste sich damit, paranormale und übernatürliche Erlebnisse, Phänomene und Sichtungen aus der Gesellschaft wissenschaftlich und objektiv anzugehen, zu untersuchen und (bisher immer) zu widerlegen.

Außerdem schrieb er mehrere Sachbücher und war bekannt für die Moderation der Fernsehserie Cosmos.



Carl Sagan, 1980<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup>Abbildung: Seth Shostak/SETI Institute

---

<sup>20</sup>Abbildung: NASA via Wikimedia, NASA/JPL

## Botschaften an Außerirdische

### Die Arecibo-Botschaft:

Die Arecibo-Botschaft ist ein Radiosignal, das im Jahr 1974 vom Arecibo-Observatorium in Puerto Rico ausgesendet wurde. Da damals noch keine Exoplaneten entdeckt waren, wurde als Ziel der Herkuleshaufen (M13), ein Kugelsternhaufen im Sternbild Herkules ausgewählt. Durch die hohe Sterndichte sah man dort eine höhere Chance, einen bewohnten Planeten zu treffen.



Das Arecibo-Observatorium<sup>21</sup>

Die Botschaft wurde binär versendet, das heißt, es gab nur die Signale 1 und 0, die in der Botschaft als Pixel auf einem leeren Hintergrund zu sehen sind. Die abgebildeten Farben dienen hier zur Übersichtlichkeit und sind nicht in der originalen Botschaft enthalten.

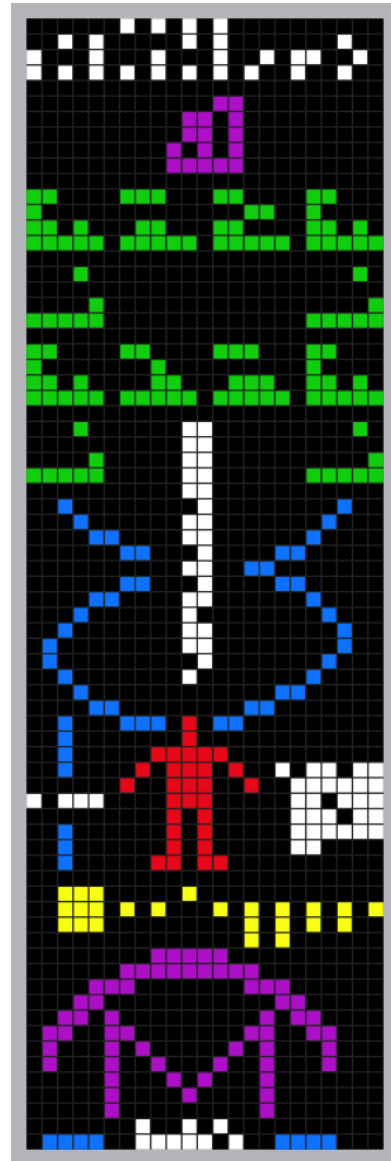
Die Botschaft besteht insgesamt aus 1679 Bits. Zur Decodierung muss diese Zahl in ihre Primfaktoren zerlegt werden, in diesem Fall 23 und 73. Diese Zahlen stellen die Seitenlängen der Botschaft in Pixeln dar, die notwendig sind, um sie korrekt abzubilden. Es wurden absichtlich Primzahlen gewählt, da diese Zahlen mathematisch besonders sind und jeder höher entwickelten Zivilisation bekannt sein sollten, was die Verständlichkeit verbessern soll.

Der Inhalt der Botschaft kann in sieben Teile unterteilt werden:

Ganz oben in weiß sind die Zahlen von eins bis zehn im Binärcode geschrieben, wobei die

<sup>21</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Juan.Alcaide231, CC BY-SA 4.0

unterste Zeile nicht dazugehört, da diese die Position des kleinsten Bits (1) darstellt. Dies gilt auch für alle späteren dargestellten Zahlen im Binärsystem. Diese Zahlen sind besonders wichtig, da sie im Rest der Nachricht oft benutzt werden.



Die Arecibo-Botschaft (eingefärbt)<sup>22</sup>

Darunter in violett sieht man die Ordnungszahlen der wichtigsten chemischen Elemente dargestellt: Wasserstoff (1), Kohlenstoff (6), Stickstoff (7), Sauerstoff (8) und Phosphor (15). Sie sind notwendig, um den nächsten Teil der Botschaft zu verstehen.

In grün sind die Nukleotide, aus denen unse-

<sup>22</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Arne Nordmann (norro), CC BY-SA 3.0



re DNS besteht, dargestellt. Dabei bleibt die Reihenfolge der Elemente im Vergleich zum Teil darüber gleich, sodass nun die Anzahl der Elemente in dem Molekül angegeben werden kann.

Darunter sieht man in blau eine Doppelhelix – die Struktur unserer DNS – von der Seite, in der in weiß die ungefähre Anzahl der Nukleotide in unserem Genom angegeben ist.

Der Teil darunter soll den Menschen erklären. Links in blau und weiß wird eine Größenskala angegeben, die benötigt wird, um die Größe des Menschen einschätzen zu können, dessen grober Umriss in rot abgebildet ist. Rechts davon ist die Erdbevölkerung zum damaligen Zeitpunkt angegeben: ca. 4,3 Milliarden.

In gelb ist das Sonnensystem dargestellt, das auch ungefähr auf die Größenverhältnisse eingeht. Die Sonne ist links zu sehen, unter dem Menschen ist die Erde hervorgehoben, und rechts steht Pluto, der damals noch als Planet galt.

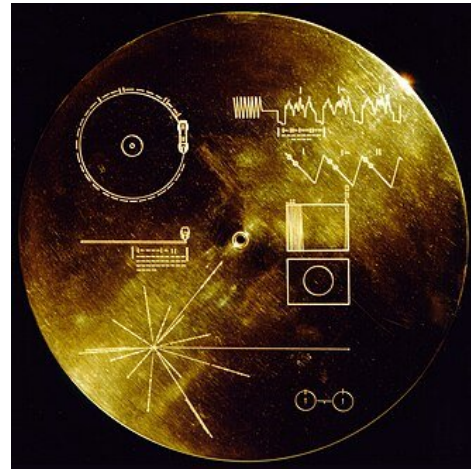
Zuletzt sieht man unten in violett die Teleskopschüssel, mit der die Botschaft gesendet wurde, mit einem eingezeichneten Strahlengang und darunter in weiß und blau Daten zum Durchmesser der Schüssel.

### Die Goldene Schallplatte:

Auch bekannt als *Voyager Golden Record*, handelt es sich hierbei um Datenplatten mit Bild- und Tonaufnahmen. Insgesamt gibt es zwei identische Versionen, die auf Voyager 1 und 2 angebracht sind. Diese beiden Raumsonden wurden 1977 gestartet und sind die am weitesten von der Erde entfernten menschengemachten Objekte. Obwohl sie mittlerweile (je nach Definition) das Sonnensystem verlassen haben, haben wir immer noch Kontakt zu ihnen.

Die Datenplatten wurden als Nachfolger der Pioneer-Plaketten entworfen, welche ebenfalls Schallplatten waren, die mit Pioneer 10 und 11 ins Weltall flogen. Das Forscherteam, das für den Entwurf der Platten zuständig war, wurde auch von Carl Sagan geleitet, was ein gutes Beispiel für sein Engagement bei der Suche nach außerirdischem Leben ist.

Jede der beiden Datenplatten besteht aus einer vergoldeten Schallplatte aus Kupfer, einer Nadel zum Abspielen und einer Kassette, alles zusammen in einer Schutzhülle aus Aluminium.



Die Schutzhülle der goldenen Schallplatte mit den Gravuren<sup>23</sup>

Auf der Schutzhülle befinden sich Gravuren, die eine Anleitung zum Decodieren der Platte sind. Dazu gehören Angaben wie die Anzahl der Umdrehungen der Schallplatte, damit der Inhalt korrekt ausgelesen wird. Die Zahlen werden binär angegeben und beziehen sich auf die charakteristische Frequenz eines Wasserstoffatoms, das unten rechts abgebildet ist. Außerdem ist links oben die korrekte Position der Nadel abgebildet und unten links sieht man die räumliche Position der Erde im Vergleich zu 14 Pulsaren, damit eventuelle Empfänger der Platte den Ursprung dieser Botschaft herausfinden können.

Im Inneren dieser Schutzhülle befindet sich die eigentliche Datenplatte. Darauf sind 116 Bilder von den Planeten unseres Sonnensystems, vom Menschen und seiner Anatomie, von der Natur, Tieren, Bauwerken, unserer Kultur und mehr abgespeichert. Diese Bilder sollen die Erde und ihre Bewohner möglichst gut beschreiben. Auf dem Rest der Schallplatte befinden sich 87 Minuten Ton, darunter Musik aus vielen Epochen und Genres und Grüße in 55 verschiedenen Sprachen. Die deutsche Grußbotschaft lautet beispielsweise „Herzliche Grüße an alle“.

<sup>23</sup>Abbildung: Wikimedia, NASA/JPL, als gemeinfrei gekennzeichnet

## Die Drake-Gleichung

Die Drake-Gleichung ist eine Gleichung, mit der abgeschätzt werden kann, wie viele Zivilisationen es aktuell in der Milchstraße gibt, die mit uns kommunizieren können und wollen.

Die Gleichung wurde 1961 bei einer SETI-Konferenz vorgestellt und ist nach ihrem Entwickler Frank Drake (dem SETI-Gründer) benannt. Sie lautet wie folgt:

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

- $N$  gibt den Schätzwert an, also alle Zivilisationen in der Milchstraße, die gerade mit uns kommunizieren wollen.
- $R_*$  gibt die durchschnittliche Sternentstehungsrate pro Jahr an.
- $f_p$  gibt den Anteil der Sternensysteme mit Planeten an.
- $n_e$  gibt den Anteil dieser Planeten in der habitablen Zone an.
- $f_l$  gibt den Anteil dieser Planeten an, auf dem es tatsächlich Leben gibt.
- $f_i$  gibt den Anteil dieses Leben an, das intelligent ist, also Radiosignale versenden und empfangen kann.
- $f_c$  gibt den Anteil dieses intelligenten Lebens an, das Interesse hat, mit uns zu kommunizieren.
- $L$  gibt die Lebensdauer einer solchen Zivilisation in Jahren an (bzw. die Zeitspanne, in der sie mit Radiosignalen kommunizieren kann).

Die Gleichung besteht also aus einer Reihe von Faktoren, die miteinander multipliziert werden, da aus einer größeren Menge immer nur ein kleinerer Anteil infrage kommt. Auf den ersten Blick sieht es also so aus, als ließe sich der Schätzwert sehr einfach ermitteln, doch leider sind die meisten ihrer Faktoren noch unbekannt.

Die durchschnittliche Sternentstehungsrate und den Anteil dieser Sterne, die von Planeten umkreist werden, lassen sich inzwischen durch astronomische Beobachtungen recht gut abschätzen. Die durchschnittliche Anzahl von Planeten pro Planetensystem ist unsicherer,

wird aber durch zukünftige Beobachtungen genauer einschätzbar.

Die letzten vier Faktoren sind allerdings kaum bekannt. Das liegt zu einem großen Teil auch daran, dass wir bisher nur Leben auf der Erde entdeckt haben und damit keinen Vergleich haben, um sie abschätzen zu können.

Trotzdem kann man sich mit Schätzungen an die Gleichung wagen und einen Wert spekulieren. Das sind zum Beispiel die Werte, die Drake und seine Kolleg:innen 1961 annahmen:

$$R_* = 1, f_p = 0,5, n_e = 2, f_l = 1, f_i = 0,01, f_c = 0,1, L = 10000$$

Wenn man diese Faktoren einsetzt, kommt man auf zehn Zivilisationen in der Milchstraße, die gerade jetzt miteinander kommunizieren können und wollen.

Je nach Veränderung der Faktoren können aber auch ganz andere Ergebnisse aus der Gleichung interpretiert werden. Optimistische Schätzungen kommen auf mehrere Tausend Zivilisationen, pessimistische auf nur eine einzige – die wir selbst sind.

Es gibt zahlreiche Varianten und Optimierungen dieser Gleichung, die teilweise mehr Faktoren einbeziehen um das Ergebnis realistischer zu machen oder anderen Fragestellungen auf der gleiche Weise nachzugehen, doch letztendlich stehen sie alle vor dem gleichen Problem: zu wenig Daten.

## Fermi-Paradoxon

Wenn es nach der optimistischen Schätzung mehrere andere Zivilisationen geben sollte, die mit uns kommunizieren wollen und es demnach auch tun müssten – wieso hören wir dann nichts von ihnen? Wo bleiben die Radiosignale, die wir eigentlich empfangen sollten – und es doch nicht tun?

Dieser Frage geht das berühmte Fermi-Paradoxon auf den Grund. Es bezeichnet die Überlegungen des italienischen Physikers Enrico Fermi, der sich genau die gleichen Fragen gestellt hatte, schon bevor es die Drake-Gleichung gab.

Die einfachste Auflösung dieses Paradoxons besagt, dass es es kein intelligentes außerirdisches Leben gibt. Zu Ehren von Pionieren des



Felds wurde das als „Sie sind nicht hier, also existieren sie nicht.“ zugespitzte Motto *Hart-Tipler-Argument* benannt.

Das Paradoxon lässt sich aber auch über die riesigen Abstände erklären, die wir zu allen anderen Sternensystemen und damit potentiell außerirdischen Leben haben, sowie über die gewaltigen Zeitspannen, die für die Entstehung von Sternen, lebensfähigen Systemen, Leben und Zivilisationen notwendig sind. Wir sind erst seit Ende des 19. Jahrhunderts in der Lage, Radiowellen zu empfangen, ein im Vergleich verschwindend kurzer Zeitraum. Selbst wenn wir eines Tages Botschaften einer Zivilisation empfangen, gibt es keine Garantie, dass sie zu diesem Zeitpunkt überhaupt noch existiert.

## Das Bohrsche Atommodell

VINCENT BOUCLIAS

### Annahmen

Das Bohrsche Atommodell nimmt an, dass Atome aus einem positiv geladenen Kern und negativ geladenen Elektronen bestehen, die diesen Kern umkreisen. Am besten beschreibt es das Wasserstoffatom, welches jeweils ein Proton und ein Elektron hat. Hierbei wird angenommen, dass das Elektron das Proton in einem stabilen, kreisförmigen Orbit umkreist. Das Elektron stürzt weder Richtung Proton ab, noch fliegt es davon.

### Ansatz

Ähnlich wie bei Planetenorbits braucht es eine nach innen gerichtete Kraft, um das Elektron auf der Kreisbahn zu halten. Diese Kraft, Zentripetalkraft genannt, ist in unserem Fall die Coulomb-Kraft  $F_C$ , also die elektrostatische Anziehung:

$$F_C = \frac{e^2}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2}.$$

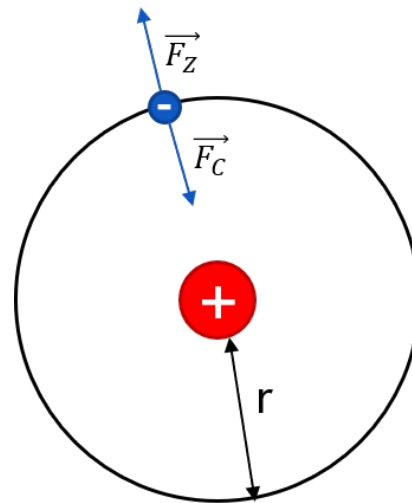
Hierbei bezeichnet  $e$  die Ladung eines Elektrons und  $r$  den Radius des Orbits. Diese Kraft zeigt Richtung Kern, weil Proton und Elektron sich gegenseitig anziehen, da beide unterschiedliche Ladungen haben. Die Zentripetalkraft

des Elektrons hängt von seiner Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$  ab:

$$F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r}.$$

Damit ein stabiler Orbit möglich ist, müssen diese Kräfte gleich stark sein:

$$F_Z = F_C.$$



Das Wasserstoffatom im Bohrschen Atommodell

### Quantenphysik

Ein Vorteil des Bohrschen Atommodells gegenüber älteren Modellen ist, dass Teile der Quantenphysik beachtet werden. Der Drehimpuls des Elektrons ist daher gequantelt. Der Drehimpuls  $L$  ist wie folgt definiert:

$$L = m \cdot v \cdot r$$

Im Bohrschen Atommodell kann der Drehimpuls des Elektrons nicht beliebige Werte annehmen, sondern nur Werte von ganzzahligen Vielfachen des reduzierten Planckschen Wirkungsquantums  $\hbar^{24}$ , also:

$$L = n \cdot \hbar, n \in \mathbb{N}.$$

### Orbit und Radius

Da der Drehimpuls  $L$  nur bestimmte Werte haben kann, ist es für das Elektron nur möglich,

<sup>24</sup> $\hbar = \frac{h}{2\pi}, h \approx 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

in bestimmten Orbits um das Proton zu existieren. Der Radius ist also ebenfalls gequantelt.

$$r_n = \frac{\hbar^2 \cdot 4\pi \cdot \epsilon_0}{e^2 \cdot m} \cdot n^2$$

Der kleinste Radius, mit dem das Elektron das Proton umkreisen kann, ist bei einem Drehimpuls von genau einem  $\hbar$ ,  $L = 1 \cdot \hbar$ . Der kleinste Radius für  $n = 1$  ist:

$$r_1 = a_0 \approx 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,5 \text{ \AA}$$

Dieser Radius wird auch als „Bohr-Radius“ bezeichnet und ist 0,5 Ångstrom lang. Damit ist ein Wasserstoffatom ca. 1 Å breit. Ångstrom wird in der Physik und Chemie für Längen in der Größenordnung von Atomradien verwendet. Ein Å entspricht  $10^{-10}$  m.

### Orbit und Energie

Je nachdem, in welchem Orbit sich das Elektron befindet, hat es eine unterschiedlich hohe potentielle Energie. Je höher der Orbit um das Atom ist, desto höher ist die potentielle Energie. Je näher der Orbit um das Atom ist, desto geringer ist die potentielle Energie. Vergleichbar ist das mit dem Abstand zu der Erde: Je weiter weg etwas von der Erde ist, desto länger kann es fallen und seine potentielle Energie in kinetische umwandeln. Für Wasserstoffatome lässt sich die potentielle Energie jedes Orbits  $n$  näherungsweise bestimmen:

$$E_n = - \left( \frac{e^2}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{m}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \right)$$

Die potentielle Energie  $E_1$  des ersten und engsten Orbits  $n = 1$  um den Kern heißt „Rydberg Energie“,  $E_R$ .

$$E_1 = E_R \approx 2 \cdot 10^{-18} \text{ J} = -13,6 \text{ eV}$$

Demnach kann ein Elektron in einem Wasserstoffatom laut dem Bohrschen Atommodell nicht weniger potentielle Energie als  $-13,6 \text{ eV}$  haben. Die potentielle Energie ist negativ, da angenommen wird, dass die potentielle Energie bei unendlichem Abstand des Elektrons von dem Proton  $0 \text{ J}$  beträgt. Je näher das Elektron dem Proton kommt, desto mehr nimmt

die potentielle Energie ab, weil immer weniger potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt werden kann. Da alle Zahlen kleiner als 0 negativ sind, ist die potentielle Energie aller Orbits negativ. Dementsprechend steigt die potentielle Energie  $E$  der Orbits mit größerem  $n$  an.

$$E_n = E_R \cdot \frac{1}{n^2}$$



### Energiedifferenzen

Zwischen zwei Orbits  $n$  und  $m$  gibt es eine Energiedifferenz  $\Delta E$ . Diese wird wie folgt berechnet.

$$\begin{aligned} \Delta E_{n \Rightarrow m} &= E_m - E_n \\ &= E_R \cdot \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \\ &= \mathbf{E_R} \cdot \left( \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{m}^2} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}^2} \right) \end{aligned}$$

Die Energiedifferenz  $\Delta E$  zwischen den ersten beiden Orbits wäre zum Beispiel:

$$\begin{aligned} \Delta E_{1 \Rightarrow 2} &= E_2 - E_1 \\ &= \frac{E_R}{2^2} - \frac{E_R}{1^2} \\ &= -\frac{\mathbf{3}}{\mathbf{4}} \cdot \mathbf{E_R} \end{aligned}$$

$E_2$  ist die potentielle Energie des ersten und  $E_1$  die des zweiten Orbits. Da die Rydberg Energie  $E_R$  negativ ist, ist  $-E_R$  positiv. Folglich ist auch die Energiedifferenz positiv. Damit das Elektron in einen höheren Orbit, also einen höheren Energiezustand kommt, muss es exakt die Energiedifferenz zwischen beiden Orbits aufnehmen. Um von einem höheren in einen

niedrigeren Orbit zu kommen, muss das Elektron die Energiedifferenz  $\Delta E$  zwischen beiden Orbits abgeben. Dazu emittiert das Elektron ein oder mehrere Photonen, deren Energie zusammen genau der Energiedifferenz zwischen beiden Orbits entspricht.

## Spektrallinien

HANNAH ABDALLAH

### Spektren

Ein Stern strahlt sein Licht in unzähligen Wellenlängen aus, von denen wir nur einen winzigen Anteil, das visuelle Spektrum, sehen können. In unserem Auge überlagern sich alle diese Wellenlängen zu weißem Licht. Um einzelne Wellenlängen zu untersuchen, kann man das Licht in einen regenbogenfarbenen Streifen aufspalten – ein sogenanntes Spektrum.



Kontinuierliches Spektrum des sichtbaren Lichts<sup>25</sup>

### Lichtbrechung

Um das Licht (für uns) in einem Spektrum sichtbar zu machen, also in seine verschiedenen Wellenlängen aufzuteilen, kann man es zum Beispiel in einem Prisma brechen. Bei der Lichtbrechung tritt ein Lichtstrahl von einem transparenten Medium in ein anderes Medium mit anderem Brechungsindex über und ändert dabei an der Grenze beider Stoffe seine Richtung. Jede Wellenlänge hat einen etwas anderen Winkel der Richtungsänderung, sodass man am Ende alle Wellenlängen – also alle Farben – ordentlich nebeneinander aufgereiht sehen kann.

### Spektroskope

Die Instrumente, mit denen man Spektren erzeugt und untersucht, nennt man Spektroskope. Spektroskope funktionieren folgendermaßen:

1. Durch einen schmalen Spalt fällt ein Lichtstrahl ins dunkle Innere des Spektroskops.
2. Der Lichtstrahl trifft auf eine Linse, welche dafür sorgt, das die einzelnen Lichtstrahlen begradigt werden, also nun parallel sind.
3. Der Lichtstrahl fällt auf ein Prisma oder ein Beugungsgitter und wird gebrochen.
4. Das gebrochene Licht wird im Inneren des Spektroskops als regenbogenfarbiger Streifen sichtbar – man hat ein Spektrum.

Eben diese Spektroskope (mit Beugungsgitter) haben wir im Kurs gebastelt und damit das Licht der Sonne untersucht.



Selbstgebautes Spektroskop aus dem Kurs

### Spektrallinien

Bei unseren Beobachtungen fielen uns mehrere schwarze Linien im Spektrum auf, die bei allen ungefähr an den gleichen Stellen zu sehen waren. Dabei handelt es sich um sogenannte Spektrallinien.

Spektrallinien entstehen z.B., wenn Licht durch ein beliebiges Material hindurchscheint und dabei einige Farben absorbiert werden. Dafür verantwortlich sind die Quantensprünge der Elektronen, also der Sprünge von einer Schale zur anderen in den Atomen des Materials. Wenn die Energie eines Photons genau der Energiedifferenz zwischen zwei Schalen entspricht, kann es absorbiert werden und ein Elektron auf ein höheres Energieniveau heben.

<sup>25</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User: Stkl, gemeinfrei

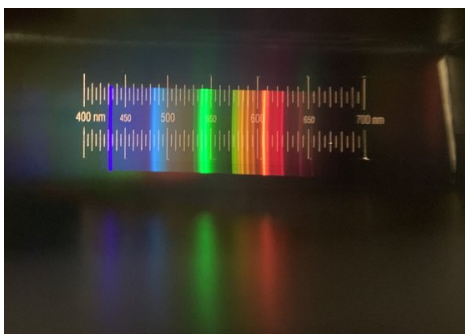
Wenn bei einem solchen Quantensprung ein Elektron ein Photon absorbiert, das wir als blau wahrnehmen würden, dann sieht man im Spektrum einen dünnen, schwarzen Strich an der Stelle sehen, an der sonst dieses Blau gewesen wäre. Zwar wird dieses Photon ein paar Nanosekunden später wieder abgegeben, aber meist nicht in dieselbe Richtung, in die es vorher geflogen ist. Demnach sehen wir also trotzdem die Linie. Diese Art von Spektrum nennt man Absorptionsspektrum. Es ist ein Regenspektrum mit schwarzen Linien.

Absorptionsspektrum<sup>26</sup>

Die zweite Art von Spektrum ist das Emissionsspektrum. Emissionsspektren zeigen die Abgabe der Photonen bei Quantensprüngen auf ein niedrigeres Energielevel. Man kann sie beobachten, wenn eine andere Energiequelle als Licht (zum Beispiel elektrischer Strom) Elektronen auf höhere Schalen hebt. Wenn die Elektronen dann zurückfallen, senden sie Photonen aus.

Emissionsspektrum<sup>27</sup>

Ein Emissionsspektrum ist demnach komplett schwarz mit einzelnen bunten Linien an den Stellen, an denen die Farbe des Photons der Energiedifferenz der beiden Schalen entspricht.



Emissionsspektrum einer Halogenlampe, aufgenommen durch unser Spektroskop

<sup>26</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Stkl, gemeinfrei

<sup>27</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Stkl, gemeinfrei

## Nutzen für die Astronomie

Die Spektrallinien sind von großem Nutzen wenn es darum geht, die Zusammensetzung einer Atmosphäre zu bestimmen. Der Grund dafür ist, dass die verschiedenen Elemente immer dieselben, einzigartigen Wellenlängen absorbieren. Dadurch entsteht für jedes Element eine charakteristische Verteilung der Spektrallinien.

Wenn nun ein Exoplanet mit Atmosphäre vor seinem Stern vorbeizieht, kann man beobachten, welche Wellenlängen von der Atmosphäre absorbiert werden und damit die enthaltenen Elemente und Moleküle feststellen. Anschließend kann man beurteilen, ob gefundene Stoffe eine lebensfreundliche Umgebung zulassen könnten oder vielleicht sogar von Leben stammen.

## Missionsplanung

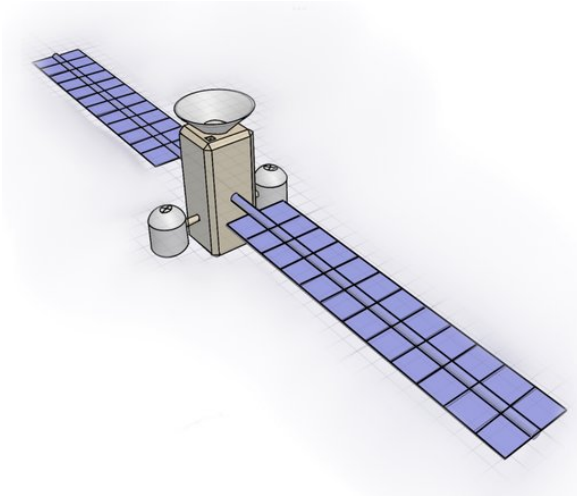
ANNINA HEB

Als Teil des Kurses planten wir eine eigene Weltraummission zu einem Exoplaneten. Wir recherchierten dazu vielversprechende, reale Exoplaneten und stimmten über unser Ziel ab. Wir entschieden uns für das *Teegarden-System*, ein Planetensystem mit zwei Planeten, die um einen roten Zwergstern kreisen. Unser Missionsziel war es, herauszufinden, ob auf Exoplaneten, deren Stern ein roter Zwerg ist, Leben existieren kann.

Dazu planten wir eine Raumsonde, die zum Exoplaneten *Teegarden b* geschickt werden könnte.

## Die Teams

Um die Planung zu strukturieren, teilten wir uns in vier Gruppen auf: Die erste Gruppe war für die Auswahl des Antriebs und der Energieversorgung zuständig. Eine zweite Gruppe berechnete die Flugbahn innerhalb des Teegarden-Systems. Die dritte Gruppe kümmerte sich um die Messgeräte an Bord und darum, welche Daten für uns relevant sind. Die vierte Gruppe gestaltete das Design. Hier wurde der Sondaufbau geplant, Werbeplakate entworfen und die Sonde selbst als 3D-Modell konstruiert.



Unser Sonden-Design

## Reise zu Teegarden b

Da Starts von der Erdoberfläche in den Orbit bereits alltäglich sind, konzentrieren wir uns auf die Reise vom Erdorbit zum Zielplaneten. Wir gehen im Abschnitt zur Flugbahn noch ausführlicher darauf ein. Die Reise planen wir mit 0,02-facher Lichtgeschwindigkeit, umgerechnet ca. 216 Millionen Kilometern pro Stunde. Trotz dieser hohen Geschwindigkeit dauert unsere Reise voraussichtlich um die 600 Jahre.

Für die Beschleunigung der Sonde nutzen wir ein Sonnensegel, das mit Lasern beschienen wird. Für die Navigation im Zielsystem einigten wir uns nach langer Recherche auf Ionenantriebe, näheres dazu im Abschnitt zur Flugbahn. Für die Energieversorgung der Instrumente in der Nähe des Sterns planen wir Solarpaneele.

## Ankunft

Angekommen in der Nähe des Teegarden-Systems nutzen wir eine Reaktion von mitgebrachter Materie und Antimaterie um abzubremsen. Danach fliegen wir mehrere Fly-By-Manöver, um weiter abzubremsen und in den Orbit unseres Zieles zu gelangen. Dabei sammeln wir zusätzlich Daten von Teegarden c und Teegarden's Star. Bei Fly-By-Manövern nutzt man die Gravitationskräfte umliegender Körper, um eine Sonde in die richtige Richtung zu lenken und auf die passende Geschwindigkeit zu bringen. Sobald die Sonde im Orbit um

Teegarden b kreist, startet der zweite Teil der Mission.

## Landung von CubeSats

Sobald unsere Sonde im Zielorbit angekommen ist, wollen wir Miniatursatelliten, sogenannte CubeSats auf dem Planeten absetzen. Das sind Mini-Satelliten, die durch ihr geringes Gewicht und Größe weitaus einfacher zu transportieren und kostengünstiger sind als herkömmliche Satelliten. Wir planen, dass sie nach einiger Zeit auf dem Planeten landen, um dort genauere Daten zur Temperatur und Zusammensetzung einer eventuellen Atmosphäre zu messen sowie eventuell auch Material zu analysieren. Das soll uns dabei helfen zu ermitteln ob und inwiefern der Planet gute Voraussetzungen für Leben bieten könnte, wie zum Beispiel flüssiges Wasser und Plattentektonik oder auch bestimmte Chemikalien wie Kohlenstoff zur Bildung von komplexeren Strukturen. Womöglich gibt es sogar Hinweise auf aktuelles oder vergangenes Leben, in Form von Fossilien oder organischen Molekülen. Im Abschnitt zur Sonde selbst gehen wir ausführlicher auf die wissenschaftlichen Instrumente ein, um diese Messungen zu machen.

Die Daten werden dann zur Sonde gesendet und von dort aus mit einem Kommunikationslaser zurück zur Erde geschickt. Ist unsere Mission erfolgreich, würde sie unseren Wissensstand zu Exoplaneten um rote Zwerge stark weiterbringen, denn zum jetzigen Zeitpunkt geht man davon aus, dass sie stark lebensfeindlich sind.

Nach aktuellem Stand der Technik sind einige Aspekte der Mission, so zum Beispiel die Nutzung von Antimaterie, noch nicht umsetzbar. Trotzdem haben wir die umsetzbaren Bestandteile so realistisch wie möglich recherchiert.

## Unser Missionsziel: Teegarden b

ANNINA HEB

Das Ziel unserer Mission ist es, einen Exoplaneten genauer zu untersuchen. Exoplaneten sind Planeten, die außerhalb unseres Sonnensystems liegen, meist in fremden Sternensystemen. Unser Zielplanet Teegarden b liegt im sogenannten



*Teegarden-System.* Das System ist nach seinem Zentralstern *Teegarden's Star* oder kurz *Teegarden* benannt. Bei Teegarden's Star handelt es sich um einen roten Zwerg.

## Rote Zwerg

Rote Zwerg sind vergleichsweise kühle und leichte Sterne. Sie sind der am häufigsten vorkommende Sterntyp: In unserer Milchstraße machen sie einen Anteil von ca. 70% aus. Ihre Temperatur liegt bei 2200–3800 Kelvin, deutlich geringer als die unserer Sonne. Die geringe Temperatur und Leuchtkraft führt dazu, dass die habitable Zone sehr nah am Stern liegt. Das ist ein Problem für potentiell Leben, da rote Zwerg sehr aktiv sind:



Teegarden's Star, künstlerische Darstellung<sup>28</sup>

Auf roten Zwergen toben oft starke Sonnenstürme, deren Eruptionen, auch genannt *Flares*, bis in die habitable Zone hineinreichen und dort Planeten treffen können. Außerdem besitzen sie sehr starke Magnetfelder, die die planeteneigenen Magnetfelder in ihrer Umgebung beeinflussen. Unser Erdmagnetfeld hält einen Großteil der kosmischen Strahlung ab und schützt uns somit vor ihr. Würde es nun durch den Einfluss eines stärkeren Magnetfeldes, wie das eines roten Zwerges, gestört, wäre der Planet hohen Strahlungen ausgesetzt.

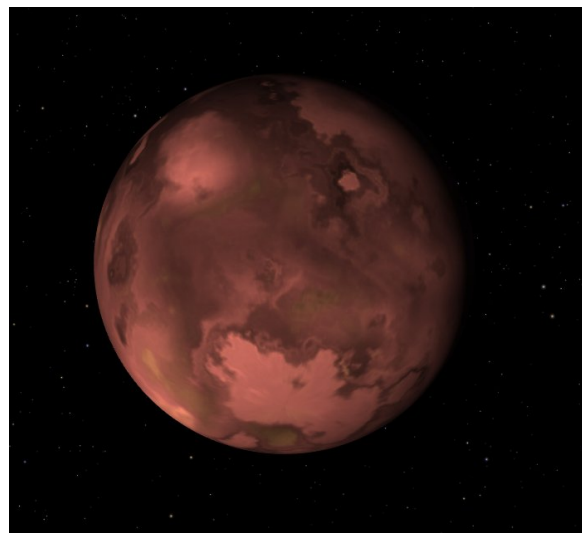
## Teegarden's Star

Teegarden's Star hat nun eine wichtige Besonderheit: Er ist weitaus ruhiger als die meisten anderen roten Zwerg. Das liegt unter anderem an seiner auch für rote Zwerg recht niedrigen Temperatur von 2900 Kelvin. Dadurch hat er

<sup>28</sup>Abbildung: NASA

ein vergleichsweise schwaches Magnetfeld und produziert auch weitaus mildere Flares. Diese Entdeckung hat viele weitere Forschungen in diesem Bereich angestoßen, da man nun nicht mehr strikt davon ausgehen muss, dass alle Planetensysteme mit roten Zwergen als Zentralstern lebensfeindlich sind. Teegarden's Star ist nicht der einzige ruhige rote Zwerg, den man entdeckt hat, ein weiteres Beispiel ist Luyten's Star.

## Unser Zielplanet



Der Planet Teegarden b, künstlerische Darstellung<sup>29</sup>

Teegarden b wurde im Juni 2019 entdeckt und liegt ca. 12,5 Lichtjahre entfernt von uns, was ihn zu einem der nächstgelegenen Exoplaneten macht. Neben Teegarden b gibt es noch einen weiteren Planeten im System, Teegarden c. Beide Planeten liegen in der habitablen Zone von Teegarden's Star, was bedeutet, dass die Temperaturen auf den Planeten zwischen 0 und 100 Grad Celsius liegen, ein Temperaturbereich in dem flüssiges Wasser existieren kann. Hierbei liegt Teegarden c eher in der äußeren habitablen Zone, während Teegarden b näher am Stern liegt. Teegarden b umkreist seinen Stern einmal innerhalb von 4,9 Tagen. Er könnte potentiell eine eigene Atmosphäre und flüssiges Wasser haben. Das sind zwei der Faktoren, die ihn zu einem der erdähnlichsten Exoplaneten überhaupt machen.

<sup>29</sup>Abbildung: NASA

## Flugbahn – Projekt „INTERSTELLA“

VICTOR NOHE

Nachdem die grundlegenden Missionsziele und Fragestellungen in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben wurden, geht es jetzt um die praktischen Umsetzung.

Dafür planen wir unsere Mission mit einer Sonde, also einem unbemannten Flugkörper für wissenschaftliche Messungen, welche alle benötigten Instrumente zur Erforschung unseres Zielsternsystems mit sich führt. Hierzu werden nun die Abschnitte „Start“, „Reise“ und „Ankunft im System“ des Flugkörpers theoretisch berechnet.

### Startphase

Zum Beginn unserer Mission bietet es sich an, die Sonde mithilfe einer der schon bekannten Orbital-Trägerraketen (z. B. aus dem Ariane 6 Programm) in einen stabilen Erdorbit zu befördern. Von dieser Position aus wird ein vereinfachter Einsatz von Lasern ermöglicht, die im Anschluss zum Beschleunigen auf Reisegeschwindigkeit eingesetzt werden.

### Reisephase

#### Beschleunigung

Vom stabilen Erdorbit aus muss im nächsten Schritt die Sonde auf ihre Reisegeschwindigkeit beschleunigt werden.

Zu diesem Zweck werden Sonnensegel genutzt. Hierbei wird eine speziell für die Raumfahrt entwickelte Folie auf einer Fläche von ca. 7.140 Quadratmetern aufgespannt, was der Fläche eines Fußballfelds entspricht. Das „Segel“ wird hierfür durch eine weitere Trägerrakete in denselben Erdorbit wie unsere Sonde befördert und an die Sonde montiert.

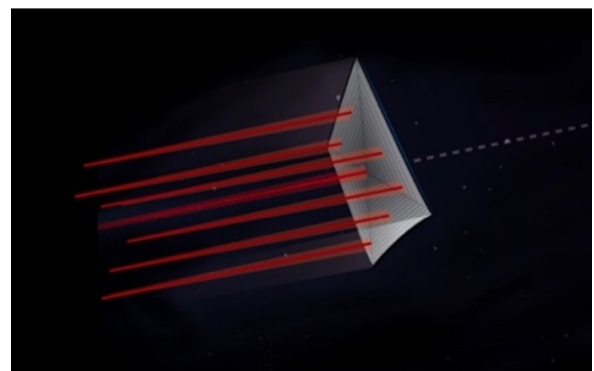
Zur Beschleunigung wird das Segel nun von einer großen Anzahl an Lasern bestrahlt, die im Zuge des Raketenstarts in eine parallele Umlaufbahn zur Sonde befördert wurden. Um sich die dabei erzeugte Schubkraft verständlicher

zu machen, muss man sich Licht als Strom von Photonen, also Lichtteilchen, vorstellen. Jedes dieser Photonen besitzt Energie und bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit. Trifft ein Photon auf das Sonnensegel überträgt es einen winzigen, positiven Impuls. Dieser versetzt das Sonnensegel und die an ihm befestigte Sonde in die gewünschte Bewegung.

Die Sonde wird durch die Laser über einen Zeitraum von 4 Wochen kontinuierlich beschleunigt. Am Ende dieses Zeitraums soll unsere 2,5 Tonnen schwere Sonde eine **Geschwindigkeit von 6.000.000 m/s** erreichen, was 2 % der Lichtgeschwindigkeit entspricht. Um diese Geschwindigkeit zu erreichen, müssen die Laser über den oben genannten Zeitraum eine Leistung von  $P_{aufg} = 4,19 \cdot 10^{10}$  W liefern, damit die Sonde innerhalb des Zeitraums trotz eines Energieverlustes von 50 %<sup>30</sup> eine kinetische Energie von  $E_{kin} : 4,5 \cdot 10^{16}$  J erreicht und somit laut der Gleichung für die kinetische Energie

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

( $m$  in kg ;  $v$  in m/s) ebenfalls ihre Reisegeschwindigkeit von 6.000.000 m/s erreicht hat. Zum Zeitpunkt der tatsächlichen Umsetzung dieser Mission muss an diesen Daten eine Anpassung vorgenommen werden. Die Entwicklung von Sonnensegeln ist zurzeit noch aktuelle NASA-Forschung und die genauen Werte hängen von zukünftigen Entwicklungen ab.



Schematische Abbildung eines Sonnensegels während der Bestrahlung durch Laser.

<sup>30</sup>Wirkungsgrad: Anteil der zugeführten Energie, der bei einer Umwandlung in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Hier: 50 %

## Transfer

Trotz der erreichten enorm hohen Reisegeschwindigkeit (zum Vergleich: das schnellste menschengemachte Objekt, die Raumsonde „Parker Solar Probe“, ist 163.000 m/s schnell) wird die Sonde **600 Jahre** brauchen, um ihr Ziel zu erreichen: das **Teegarden-System**. Während sie die Distanz zum Zielsystem überbrückt, ist die Sonde einer hohen Kollisionsgefahr ausgesetzt. Hierbei können Kleinpartikel oder selbst einzelne Atome der Sonde gefährlich werden. Das Risiko dafür steigt mit der Annäherung an das Zielsystem. Deshalb werden einige Bauteile der Sonde (wie zum Beispiel die Solarpaneele) während des Flugs eingeklappt, um sie vor Kollisionen zu schützen, und erst kurz vor dem Zielsystem entfaltet.

## Abbremsen

Damit die Sonde aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit nicht an unserem Zielsternsystem vorbeifliegt, muss sie unter die Fluchtgeschwindigkeit des Teegarden-Systems abbremsen. Die *Fluchtgeschwindigkeit* bezeichnet die Geschwindigkeit, die ein Objekt besitzen muss, um die Gravitation des Sternsystems zu überwinden und es zu verlassen. Die Fluchtgeschwindigkeit ist gegeben durch:

$$v_{\text{flucht}} = \frac{(2 \cdot G \cdot m_{\text{ges}})^{\frac{1}{2}}}{r}$$

( $m_{\text{ges}}$  entspricht hier der Masse des Teegarden-Systems) Mit einer Geschwindigkeit von ca. 80.000 m/s ist die Sonde langsam genug, dass sie nicht durch die Gravitation des Sternsystems abgelenkt wird, sondern den Anflug auf Teegarden b einleiten kann.

Hier stellt sich die Frage, wie die enorme Energie, die benötigt wird, um die Sonde so stark abzubremesen, gewonnen wird. Wir planen dafür Reaktionen zwischen Materie und Antimaterie. Bei einer kontrollierten Reaktion zwischen Materie und Antimaterie wird die gesamte Masse der Reaktionspartner in Energie umgewandelt. Berechnen kann man die freigesetzte Energie mit der wohl bekanntesten Gleichung der Wissenschaft:  $E = mc^2$

Bei der Reaktion von Materie und Antimaterie entsteht Strahlungsenergie. Diese nutzt die Sonde als Schockwelle, durch die sie ihre Geschwindigkeit auf den angestrebten Wert verringern kann. Um aufgrund der enormen freigesetzten Energie die Sicherheit der Sonde und des Sternensystems Teegarden zu garantieren, werden weit außerhalb des Systems mehrere kleine Materie-Antimaterie-Behälter in periodischen Zeitabständen von der Sonde aus in Flugrichtung vorausgeschickt und in sicherer Entfernung gezündet. Die entstandenen Schockwellen werden dann für das Bremsmanöver benutzt.

Während des Flugs ist ein starkes Magnetfeld nötig, um Materie und Antimaterie getrennt voneinander stabil zu lagern. Hierfür bietet sich folgende Lösung: Während des Fluges wird ein kleiner Teil der Materie und Antimaterie zur Stromerzeugung genutzt. Trotz dieses Aufwandes bietet sich die Reaktion von Materie und Antimaterie als effizienteste Methode an, da für das gesamte Bremsmanöver und die Magnetfelderzeugung insgesamt lediglich 1kg an Materie und Antimaterie im Verhältnis von 1:1 vorhanden sein muss.

Es gibt bereits Studien der NASA über solch eine Art des Bremsmanövers, dennoch benötigt dieser Ansatz noch große Fortschritte in seiner Entwicklung, bevor er sich tatsächlich umsetzen lässt.

## Ankunft im System

### Stromversorgung

Die Sonde gelangt mit einer Ausgangsgeschwindigkeit von 80.000 m/s ins Teegarden-System. In einen Abstand von 193.700.000 km (1,3 Astronomische Einheiten) zum Stern des Teegarden-Systems können die Instrumente hochgefahren werden. Die Intensität der vom Stern ausgesendeten Strahlung ist nun hoch genug, um mit den an der Sonde montierten, ausfahrbaren Solarpaneelen die elektrische Startleistung von 28 Watt zu erzeugen.

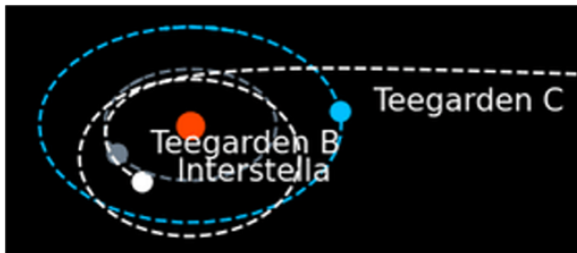
Einmal in der habitablen Zone des Sterns angelangt, wird die Sonde über die 72 m<sup>2</sup> großen Solarpaneele eine elektrische Gesamtleistung

von 28 kW erreichen. Diese Zahl basiert auf der ähnlichen Lichtintensität, die zwischen der habitablen Zone um Teegarden's Star und der habitablen Zone um unsere Sonne besteht. Beide Male bewegt sie sich in dem Größenbereich, in welchem Wasser auf der Oberfläche eines um den Stern kreisenden Planeten flüssig sein kann. Deshalb entspricht die pro Quadratmeter erzeugte Leistung der Solarpaneele ca.  $400 \text{ W/m}^2$ , genauso wie auf der Erde.

## Flugbahn

Für unsere wissenschaftlichen Untersuchungen muss die Sonde nahe genug an die Planeten Teegarden b und Teegarden c herannavigieren. Eine entsprechende Flugbahn konnten wir über die Gravitationskraft, Fluchtgeschwindigkeit und Vis-Viva-Gleichung in der Programmiersprache Python berechnen.

Eine solche Flugbahn ermöglicht es der Sonde mithilfe von Fly-by-Manövern zum einen, den Instrumenten die benötigte Position für Messungen und Datensammlung von Teegarden b und Teegarden c zu verschaffen. Zum anderen wird die Sonde weiterhin abgebremst, um am Ende den Zielplaneten Teegarden b in einem stabilen Orbit von 700 km Entfernung zu umkreisen und Langzeit-Experimente zu ermöglichen.



Eigene Darstellung der angestrebten Flugbahn der Sonde im Teegarden-Sternsystem (Teegarden's Star wird dargestellt durch einen roten Punkt, Teegarden b durch einen grauen, Teegarden c durch einen blauen und die Sonde durch einen weißen).

## Navigation innerhalb des Systems

Zur Vollführung dieser Flugbahn werden zu einigen Zeitpunkten noch Bahnkorrekturen benö-

tigt. Die Sonde besitzt zwei zusätzliche Ionentriebwerke. Das sind Triebwerke, die Edelgase ionisieren, und mithilfe eines elektromagnetischen Feldes einzelne Ionen und Elektronen beschleunigen und den Rückstoß zur Schubgewinnung nutzen. Mithilfe der Raketengleichung:

$$\left( \exp \left( \frac{\delta v}{V_e} \right) - 1 \right) \cdot m_{dry} = m_{fuel}$$

lassen sich für die bei unserer Mission vorkommenden Geschwindigkeitsdifferenzen eine Treibstoffmenge von 200 kg berechnen. (Hierbei entspricht  $\delta v$  der Gesamtgröße an Flugmanövern,  $V_e$  der Austoßgeschwindigkeit des Treibstoffes und  $m_{dry}$  der Masse der Sonde ohne Treibstoff.)

## Ergänzungen zur Berechnung der Reisegeschwindigkeit

Zur Berechnung der Reisegeschwindigkeit der Sonde, sowie der dafür benötigten Leistung wurde wie folgt vorgegangen:

1. Es wird festgelegt, welche Masse das Objekt (die Sonde) hat:
  - In diesem Fall ist das eine Masse von  $m=2500 \text{ kg}$
2. Es wird eine Geschwindigkeit gewählt, welche es der Sonde erlaubt, die Distanz zu unserem Ziel-Sternsystem in einem zeitlich überschaubaren Rahmen zu überbrücken:
  - Entfernung zum Ziel-Sternsystem: 12,5 Lichtjahre
  - Geschwindigkeit:  $v= 6.000 \text{ km/s}$  (2 % der Lichtgeschwindigkeit)
  - Flugzeit: ca. 600 Jahre
3. Es wird die kinetische Energie (Bewegungsenergie) der Sonde bei einer Geschwindigkeit von  $6.000.000 \text{ m/s}$  berechnet:
  - Kinetische Energie:  $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$  ( $m$  in kg ;  $v$  in m/s)
  - Berechnen:
 
$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot 2500 \text{ kg} \cdot \left( 6.000.000 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$
  - Ergebnis:  $E_{kin} = 4,5 \cdot 10^{16} \text{ J}$

4. Den Wirkungsgrad (Anteil der zugeführten Energie, der bei einer Umwandlung tatsächlich in die gewünschte Energieform umgewandelt wird) mit einberechnen:
  - Wirkungsgrad:  $0,5 \Leftrightarrow 50 \%$
  - Die aufgebrachte Energie muss somit doppelt so groß sein, wie die kinetische Energie der Sonde:  $E_{aufg} : 9 \cdot 10^{16} \text{ J}$
5. Zuletzt wird die Leistung berechnet, die von den Lasern insgesamt aufgebracht werden muss, um die Sonde über einen Zeitraum von vier Wochen auf die gewünschte Geschwindigkeit zu beschleunigen:
  - $P_{aufg} = E_{aufg} / \delta_s$
  - $P_{aufg} : \frac{10^{16}}{2.419.200} \text{ J/s}$   
(Sekunden in vier Wochen)
  - $P_{aufg} = 4,19 \cdot 10^{10} \text{ J/s}$

## Interstella: Aufbau und Funktion

HANNAH ABDALLAH

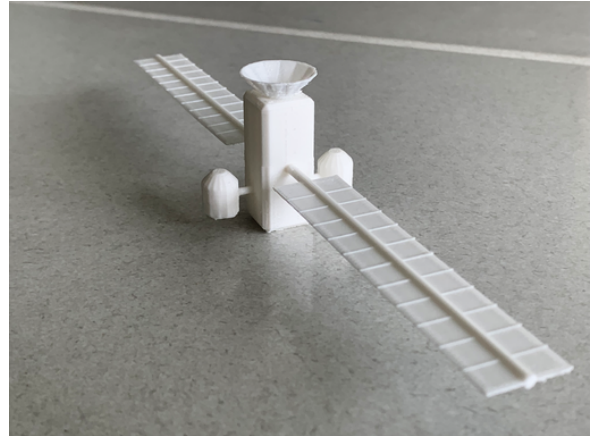
Im Rahmen unserer Mission ins Teegarden-System gestalteten wir auch die Sonde, die wir dort hinschicken wollen.

### Der äußere Aufbau

Die „Interstella“ besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: Dem Körper, den Ionenantrieben und den Solarpaneelen.

#### Körper

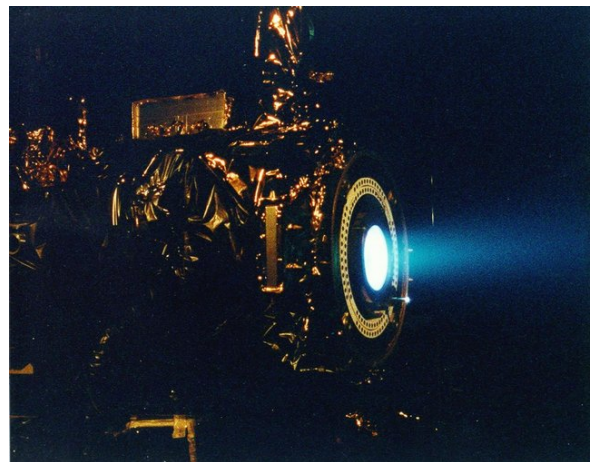
Der Körper ist quaderförmig mit den Maßen  $7 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ . In ihm befinden sich alle nötigen Instrumente sowie der Treibstoff. Vorne, also an der  $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  großen und in Flugrichtung zeigenden Seite, ist eine große Funkenschüssel mit einem Durchmesser von ca.  $3,2 \text{ m}$  angebracht, die für die Kommunikation mit Subsonden und während naher Distanz zur Erde zuständig ist. Die spätere Kommunikation zur Erde läuft über einen Kommunikationslaser.



3D-gedruckter Sondenkörper

### Ionenantriebe

Die nächsten Komponenten sind die Ionenantriebe, die an zwei gegenüberliegenden, langen Seiten der Sonde platziert sind. Die Ionenantriebe werden für Manöver im Zielsystem verwendet. Ionenantriebe nutzen den Rückstoß eines Ionenstrahls. Das bedeutet, dass sie ihren Treibstoff nicht verbrennen, sondern elektrisch aufladen. Die Ionen werden in elektrischen Feldern beschleunigt, sodass ein hochenergetischer Teilchenstrahl aus Ionen entsteht, dessen Rückstoß das Raumfahrzeug nach vorne treibt.



Xenon-Ionenantrieb der NASA<sup>31</sup>

Ein Ionenantrieb benötigt weniger Treibstoff als andere Antriebsarten, ist aber dafür schwächer. Wir entschieden uns dennoch für ihn, da wir genügend Zeit für alle Manöver haben und der eingesparte Treibstoff mehr wissenschaftliche Instrumente ermöglicht. Wir haben zwei Ionen-

<sup>31</sup>Abbildung: NASA



antriebe, um im Falle eines Ausfalls trotzdem noch den zweiten Antrieb nutzen zu können.

### Solarpaneele

An den beiden anderen Seiten der Sonde sind Solarpaneele befestigt. Während des Flugs sind sie eingefaltet und werden erst beim Anflug ans Teegarden-System ausgeklappt. Sie haben eine Größe von jeweils  $18\text{ m} \times 2\text{ m}$  und sind damit größer als die Solarpaneele herkömmlicher Sonden. Mit diesen 72 Quadratmetern könnte man beispielsweise in den Anden bis zu 130.000 kWh im Jahr erzeugen. Bei Teegarden b ist das nicht viel weniger, denn Teegarden hat zwar eine geringere Leuchtkraft als die Sonne, die Planeten kreisen aber auch in einer viel geringeren Entfernung um den Stern.

Die Instrumente an Bord brauchen tatsächlich nur einen kleinen Teil dieser Energie, der größte Teil wird für das Signal zur Erde aufgewendet. Dieses Signal muss nämlich sehr stark sein, um die hohe Distanz zur Erde zu überwinden.

### Die goldene Schallplatte

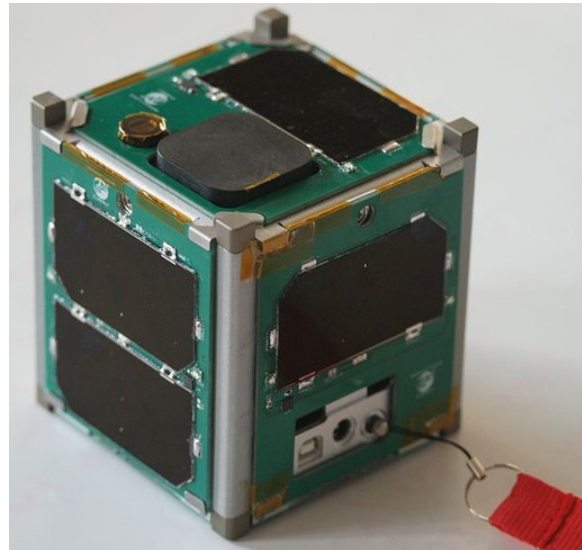
Zu guter Letzt haben wir an der Oberseite, direkt neben der Satellitenschüssel eine goldene Schallplatte befestigt, auf der wir eine codierte Botschaft aufzeichnen wollen, bestehend aus Bild- und Tonaufnahmen. Die Idee basiert auf der Voyager-Mission, zwei Raumsonden, die seit 1977 im All sind. An Bord der Voyager 1 und der Voyager 2 befinden sich ebenfalls solche goldenen Schallplatten. Sollte der unwahrscheinliche Fall eintreten, dass intelligentes außerirdisches Leben unsere Sonde findet, so könnte es mithilfe der Informationen auf der Platte viel über unsere Welt erfahren und auch unsere Position im All bestimmen.

### Das Innenleben der Sonde

Im Inneren der Interstella befinden sich verschiedene Instrumente, die dafür benötigt werden, Messungen vor Ort durchzuführen.

1. **CubeSats:** CubeSats sind Kleinstsatelliten von wenigen Kilogramm Gewicht, die kleinsten davon sind ca.  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$

große Würfel. Durch Minituarisierung lassen sich dennoch wir Unmengen an kleinen Instrumenten in ihnen unterbringen.



CubeSat<sup>32</sup>

2. **Teilchenmesser:** Der Teilchenmesser dient dazu, die Strahlung im Orbit unseres Exoplaneten zu messen. Planeten um Rote Zwerge wie Teegarden's Star müssen oft eine sehr hohe Strahlungsbelastung aushalten, weshalb es wichtig ist, diese zu messen. Eine hohe Strahlung verringert nämlich die Wahrscheinlichkeit von Leben.
3. **Optische Kamera:** Mithilfe der optischen Kamera werden herkömmliche Bilder vom System und den Planeten gemacht. Dadurch können wir sehen, wie das System aussieht und wichtige optische Hinweise fotografieren, wie zum Beispiel Wasser.
4. **Spektroskop:** Wenn Teegarden b tatsächlich eine Atmosphäre haben sollte, können wir mit dem Spektroskop ihre Zusammensetzung erforschen und so feststellen, ob sie lebensfreundlich ist. Sollte es auf dem Planeten bereits Leben geben, würde das ebenfalls die Zusammensetzung der Atmosphäre beeinflussen. Womöglich fände man sogar molekulare Verbindungen, die von fremden Organismen produziert wurden.
5. **Höhenmesser:** Der Höhenmesser misst die Entfernung zwischen dem festen Orbit der

<sup>32</sup>Abbildung: Wikimedia, Wikimedia-User Cbrandovt, CC BY 3.0

Sonde und der Planetenoberfläche. So kann aufgezeichnet werden, wo sich auf dem Planeten Berge und Spalten befinden.

6. **IR-Kamera:** Die Infrarotkamera zeichnet die Temperaturen auf der Planetenoberfläche auf und kann somit möglichst lebensfreundliche Gebiete finden, an denen auch die CubeSats für weitere Messungen abgeworfen werden können. Außerdem kann man mit ihrer Hilfe ermitteln, ob und wo auf dem Planeten flüssiges Wasser existieren könnte.
7. **Autonomes Computersystem:** Da die Kommunikation mit der Erde mindestens 24 Jahre dauert, muss die Interstella auch über einen autonomen Bordcomputer verfügen, der selbst manövriert und Messungen vornehmen kann.



Unsere Version des Golden Record

## Exkursion zum DLR

PAUL KELLER

Der Astronomiekurs besuchte am 4. September 2023 das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Lampoldshausen. Der Fokus dieses DLR-Standortes liegt auf dem Testen von Raketenantrieben. Das DLR\_School\_Lab ermöglicht Besucherinnen und Besuchern, an verschiedenen Stationen Experimente, Vorträge und eine Führung durch die Ausstellung zu erleben. Hierfür wurden wir in kleine Gruppen aufgeteilt.

Insgesamt besuchten wir sechs Stationen. Sehr passend zu unserer geplanten Mission zu Teegarden's Star, wurden folgende Themen in den Stationen eingeführt: Die Internationale Raumstation (ISS), Raketenantriebe, Fallturm, Vakuum, Infrarot-Strahlung sowie ein Rundgang durch die Ausstellung, die den Aufbau von Raketen und Raketenantrieben, z. B. an Modellen von Ariane-Raketen erklärte.



DLR-Lampoldshausen<sup>33</sup>

## Station ISS

An der Station zur Internationalen Raumstation (International Space Station, **ISS**) wurde uns zunächst ein Quiz zu allerhand Daten der ISS gestellt. Es wurden technische Daten erfragt, nämlich das Gewicht der ISS (455 Tonnen) und ihre Größe (110 m Länge und 73 m Breite), ihre Bauzeit (10 Jahre), ihre Kosten (\$ 150 Mrd.) sowie ihre Flughöhe (350 bis 420 km) und ihre Geschwindigkeit um die Erde (7,6 km/s, d. h. sie benötigt 92 Minuten pro Erdumrundung).

Danach wurde uns der Tagesablauf eines Astronauten erklärt. Wir erfuhren, dass die Astronauten pro Tag bis zu 10 Stunden forschen. Zudem machen sie 4 Stunden Sport, um die Muskeln und Knochen zu trainieren, da diese sich wegen fehlender Belastung in der Schwerelosigkeit stark abbauen.

Zum Schluss durften wir mit einem VR-Headset und zwei Controllern einen virtuellen Rundgang durch die ISS machen. Damit konnten wir uns durch große Teile der ISS frei bewegen und auch einen Weltraumspaziergang (Spacewalk) außerhalb der ISS durchführen.

<sup>33</sup>Abbildung: DLR, CC BY-NC-ND 3.0

Mit der Steuerung konnten wir nicht nur durch die Gänge der ISS schweben, sondern auch Gegenstände wie einen Hammer oder Ketchup-Packungen aufsammeln und durch die ISS werfen. Das fühlte sich manchmal so echt an, dass man schnell vergaß, dass man gar nicht wirklich im All war und aufpassen musste, den Controller nicht auch wegzuerwerfen. Auch lustig waren die kleinen „Herzinfarkte“, die jeder von uns bekam, als er oder sie gemütlich um eine Ecke in der ISS bog und plötzlich von einem riesigen, einschüchternden Astronauten-Anzug angeschaut wurde, der die Hand nach einem ausstreckte. Bei den Weltraumspaziergang außerhalb der ISS war es sehr beeindruckend, aber auch sehr beängstigend, die Welt so klein „von oben“ zu sehen.



International Space Station<sup>34</sup>

## Station Raketenantriebe

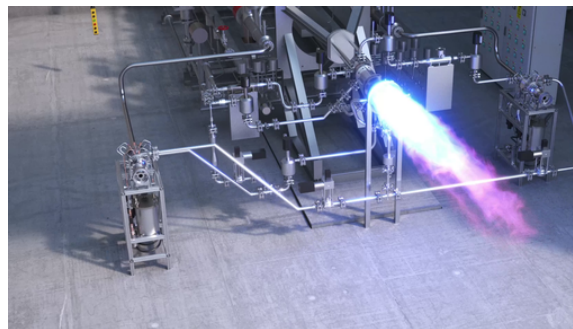
Der Schwerpunkt des Standortes Lampoldshausen liegt bei den großen Testvorrichtungen zur Überprüfung von Raketentriebwerken. An der Station **Raketenantriebe** wurden uns die zwei grundlegenden Arten, nämlich Flüssig- und Feststoffantriebe, erklärt, sowie deren Funktionsweise.

Das grundlegende physikalische Prinzip, das allen Raketenantrieben zugrunde liegt, ist das

Rückstoßprinzip. Es besagt, dass wenn eine Kraft in eine Richtung wirkt, eine genauso große Kraft in die entgegengesetzte Richtung wirkt. Daher gilt: Wenn Treibstoff mit einer gewissen Kraft aus der Rakete strömt, dann wirkt eine entgegengesetzte, gleichgroße Kraft auf die Rakete und die Rakete hebt ab.

Feststoffantriebe haben den Vorteil, dass sie billig sind und eine kurze Entwicklungszeit haben. Allerdings ist ihre Schubkraft kaum steuerbar: Hat man den Feststoffantrieb einmal angeschaltet, kann man ihn nicht wieder abschalten. Oxidator (Sauerstoff) und Treibstoff (Aluminium) lagern zusammen in einem Behälter. Einmal gezündet lässt sich die chemische Reaktion nicht mehr aufhalten.

Flüssigantriebe haben den Vorteil, dass man ihre Schubkraft genau steuern kann, das heißt, man kann sie an- und ausschalten. Allerdings sind die Kosten hoch und die Herstellung kompliziert. Flüssigtriebwerke bestehen aus zwei separaten Tanks, die über Leitungen mit der Brennstoffkammer verbunden sind. Will man mehr Schub erhalten kann man durch die Oxidatorleitung mehr Sauerstoff fließen lassen. Man kann den Schub sogar durch Schließen der Oxidatorleitung komplett abstellen, und zum Neu-Zünden wieder öffnen.



Raketentest am DLR Lampoldshausen<sup>35</sup>

Um die Vorteile von Feststoff- und Flüssigtriebwerken gleichermaßen nutzen zu können, wurden beide Triebwerksarten kombiniert und das Hybridtriebwerk entwickelt. Dabei gibt es einen Tank mit flüssigem Oxidator und einen Behälter mit festem Treibstoff. Der Oxidator ist über eine Leitung mit diesem Feststoffbehälter verbunden. Somit ist das Hybridtriebwerk

<sup>34</sup>Abbildung: NASA via Wikimedia

<sup>35</sup>Abbildung: DLR, CC BY-NC-ND 3.0



in der Schubkraft steuerbar und die Kosten sind ausgewogener.

### Station Fallturm

An dieser Station **Fallturm** konnten wir Experimente an einem ca. 2,5 m hohen Fallturm durchführen. Dafür befestigten wir zuerst eine kleine Box mit einer High-Speed-Kamera darin oben am Fallturm. Auf Knopfdruck löste sich die Befestigung, die Box fiel zu Boden und befand sich währenddessen für ca. 1 Sekunde im freien Fall.



Station Fallturm

In dieser Zeit kann man in der Box Experimente unter Schwerelosigkeit durchführen. Zum Beispiel beobachteten wir drei sich abstoßende Magnete: Im Ruhezustand lag der unterste auf dem Boden der Box und die oberen beiden schwebten darüber. Im freien Fall wurde der Abstand zwischen den Magneten noch größer. Das liegt daran, dass die fallenden Magnete nun keine Gravitationskräfte mehr spüren und die Magnete somit während des Falls nicht mehr zusammengedrückt werden.

### Station Vakuum

Als „Vakuum“ bezeichnet man einen komplett leeren Raum, in dem es (fast) keine Teilchen, also auch keine Luft gibt. Im Weltraum herrscht ein solches Vakuum, weshalb es so relevant für die Raumfahrtforschung ist.



Station Vakuum

An der Station **Vakuum** konnten wir einige Experimente dazu durchführen. Um das Vakuum herzustellen, war eine Vakuumpumpe über Ventile an eine Glasglocke angeschlossen. Schaltete man die Pumpe an, pumpte sie die Luft aus der Glasglocke ab und es entstand dort ein Vakuum. Vor Anschalten der Pumpe legten wir das zu untersuchende Objekt, z. B. einen aufgeblasenen Luftballon, in die Glasglocke. Dieser blähte sich beim Herstellen des Vakuums immer mehr auf und platzte schließlich. Der Grund dafür ist der folgende: Unter Normaldruck (also ohne Vakuum) herrscht außerhalb des Luftballons ein Druck von ca. 1000 mbar; innerhalb beträgt der Druck (je nach Luftballon) ca. 1020 mbar. Diesen Druckunterschied von ca. 20 mbar kann der Luftballon aushalten.

ten. Herrscht um den Ballon ein Vakuum, fehlt der Gegendruck der Luft. Bei einem Außen- druck von 0 mbar im Vakuum müsste der Luft- ballon nun einem Druckunterschied von fast 1020 mbar standhalten. Also bläht er sich immer weiter auf, bis das Gummi des Luftballons schließlich zu weit gedehnt ist, der Spannung nicht mehr standhält kann und platzt.

Einen weiteren Versuch machten wir mit den „Magdeburger Halbkugeln“. Dabei stellt man ein Vakuum zwischen zwei hohlen Halbkugeln her, die über eine Dichtung verbunden sind. Danach ist es für eine einzelne Person fast un- möglich, diese zwei Halbkugeln zu trennen. Das Prinzip ist hier entgegengesetzt wie beim Luft- ballon: der Luftdruck drückt von außen auf die Halbkugeln, jedoch fehlt aufgrund des Vaku- ums der Gegendruck von innen.

### Station Infrarot-Strahlung

An der Station **Infrarot-Strahlung** lernten wir alles über die Entstehung und das Mes- sen von Infrarot-Strahlung. Die Mitarbeiterin erklärte uns als erstes, wie William Herschel die Strahlung vor 220 Jahren entdeckte, dann stellten wir sein Experiment mit modernen Ge- räten nach. Dafür nahmen wir eine Lampe und teilten ihr Licht durch ein Prisma in die un- terschiedlichen Wellenlängen auf. Dann ließen wir diesen Regenbogen auf eine Reihe von Thermo- metern fallen. Wir bemerkten, dass nicht nur die Thermometer, auf die das sichtbare Licht fiel, heißer wurden, sondern insbesondere auch diejenigen, auf die kein sichtbares Licht fiel: nämlich jene neben dem roten Licht, dort, wo das Infrarotlicht hinfallen müsste.

### Rundgang durch die Ausstellung

Beim **Rundgang durch die Ausstellung** wurden uns Modelle der Ariane-Raketen 1–6 gezeigt. Wir erfuhren viel über die Bestandtei- le, ihr Baujahr, ihren Zweck und für wie vie- le Missionen sie genutzt wurden. Alleine die Ariane-5-Raketen wurden zum Beispiel für 112 erfolgreiche Missionen genutzt. Es gab auch einige Originalteile zu bestaunen. Zum Schluss wurden uns noch die Turbopumpen anhand ei- nes Modells erklärt. Diese befördern den Treib-

stoff aus den Tanks in die Brennstoffkammer und müssen somit extrem schnell und unter ho- hem Druck arbeiten. Für diese Leistung brau- chen sie sogar noch eigene, kleinere Brennstoff- kammern, um die Pumpen mit genug Energie zu versorgen. Das war sehr beeindruckend, aber auch kompliziert.



Ariane-5-Rakete<sup>36</sup>

### Zitate

„Da sieht man, dass ein bisschen Katastrophe ganz gut sein kann.“ – Moritz

„Kaba ist wie Tesa.“ – Paul

„Je größer der Dachschaden, desto besser sieht man die Sterne.“ – Victor

„Gruppen, die mitkommen, bitte mitkommen.“ – Moritz

„Das ist ein Wenn, kein Falls.“ – Moritz

„Also die Philos klauen bestimmt“ – Yannik, als wir beschlossen haben, den Raum nicht abzuschließen

<sup>36</sup>Abbildung: ESA



Yannik redet über die Missionsplanung, Radu scrollt zu einer komplexen Formel – „Ach du Scheiße, mach schnell weiter!“ – Yannik

„Wisst ihr, was ein Teilchenspektrometer ist?“ – Isabella „Ein Spektrometer für Teilchen ... es gibt eine tolle Erfindung, die nennt sich Google.“ – Yannik

„Wir können Magnum und Gyros messen ... mit einem Magnummeter und einem Gyroskop.“ – Yannik

„Zerstreitet euch mal!“ – Pia

„Raduuu, du hast jetzt keine Zeit, um Bananen zu essen!“ – Isabella

„Was, das ist nicht auf den Millimeter genau?! Voll unwissenschaftlich, was wir hier machen!“ – Pia

„Wie sagt man das ... Yannik ist der Baum im Raum.“ – Pia

An einem anderen Tag: „Hey, ich bin der Baum!“ – Yannik

„Unsere Erde strahlt wie ein Weihnachtsbaum.“ – Franzl

„Wir nehmen Wolf 1069 b (Exoplanet) – da leben Wölfe.“ – Yannik

„Jupiter und seine Affären.“ – Franzl

„Aber wenn jeder zweimal für seinen Planeten abstimmt, haben wir wieder das gleiche Problem.“ – Annika

„Kann man die Gurken auf Abo bestellen?“ – Moritz

„Wer nicht trifft, wird kollektiv ausgebuht.“ – Pia

„Wenn die Hälfte der ISS aus Schokokeksen bestehen würde, könnten sie die verbrennen.“ – Moritz

„Und was ist mit den diversen Monden?“ – Yannik, nachdem wir Mond:in gegendert haben

„6 ist ungefähr 10“ – Moritz

„Sie können mein Blut ja haben, aber nicht, wenn ich dafür leiden muss.“ – Franzl über Mücken

„Wir können ja so 'nen kleinen Astrofriedhof aufmachen.“ – Yannik

„Ich war mit vier nicht im Iran.“ – Vincent

„Christian hat Chicorée gebacken.“ – Franzl

„Wie hieß das Mädels, das call me maybe gesungen hat?“ – Radu

„Call me Mädels.“ – Yannik

„Wir landen nicht. Wenn da Aliens leben, sehen wir die auch von oben.“ – Milla

„Aber dann können wir kein Selfie machen!“ – Radu

„Wollt ihr auch was von mir oder wollt ihr nur Tee?“ – Moritz

„Du hast keine Höhenangst, oder?“ – DLR-Betreuer, kurz bevor Annika aus der ISS steigt

„Ne ... ? Whoah!“ – Annika

„Ach, weißt du was? Ich schreib das jetzt neu! Du kannst mich mal kreuzweise!“ – Emma (zu PowerPoint)

„Radu, ich versteh dich. Es macht Spaß, Sachen durch die Gegend zu werfen.“ – Valerie

*Weihnachtslieder schallen durch den Kursraum*

„Was ist das eigentlich für ein scheiß Weihnachtslied? Das habe ich noch nie gehört!“ – Isabella

„Ich krieg gleich auch eine Schockwelle!“ – Isabella

„Annika, Daniel und ich müssen noch was Lustiges sagen.“ – Hannah

„Franzis USB-Stick schließt Paul und mich strukturell aus.“ – Annika

„Der USB-Stick ist Republikaner.“ – Franzl

„Ich verteile Schokoküsse an die Armen!“ – Hannah

„Hast du die alle geschrieben?“ – Isabella

„Nee, nur die, die ich geschrieben habe.“ – Valerie

„Ich muss ein emotionaler Schneemann werden.“ – Pia

„Vincent, keine Kekse essen, du hast zu tun“ – Moritz



## Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 20. 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 Dieter Schwarz Stiftung, die Vector Stiftung, die Hopp Foundation for Computer Literacy & Informatics, den Förderverein der Science Academy sowie durch den Fonds der Chemischen Industrie unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken. Besonders gefreut hat uns, dass sich Frau Luger von der Vector Stiftung die Zeit genommen hat, uns zu unserem Jubiläum und den Abschlusspräsentationen zu besuchen.

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. Ein besonderes Dankeschön geht an Frau Staatssekretärin Boser, die das Jubiläum mit uns feierte und beim Festakt ein Grußwort sprach.

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 Dr. Ulrike Leithof und ihrem Team. Dieses Jahr besuchte uns anlässlich des Jubiläums Frau Dr. Dorothea Brandt, die Referentin für die Schüler- und JuniorAkademien bei Bildung und Begabung, und zeigte sich von der Stimmung in Adelsheim sehr beeindruckt. Auch hier ein herzliches Dankeschön für die Unterstützung, den Besuch und die nette Rückmeldung.

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

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

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

## Bildnachweis

Seite 13, Molekülwolke Chamaeleon 1:

NASA via Wikimedia,

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Chamaeleon\\_I\\_Molecular\\_Cloud\\_\(NIRCam\\_Image\)\\_01.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Chamaeleon_I_Molecular_Cloud_(NIRCam_Image)_01.jpg)

NASA

Seite 18, Roche-Grenze:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roche\\_limit\\_\(top\\_view\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roche_limit_(top_view).svg)

Wikimedia-User Theresa Knott and Rehua

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

Seite 19, Ringe des Saturn:

NASA, <https://images.nasa.gov/details/PIA01955>

NASA/JPL

Seite 19, Darstellung Radialgeschwindigkeitsmethode:

ESO, <https://www.eso.org/public/unitedkingdom/images/eso0722e/>

ESO

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

Seite 20, System HR 8799:

NASA, <https://exoplanets.nasa.gov/news/1404/a-four-planet-system-in-orbit-directly-imaged-and-remarkable>

NASA/Jason Wang/Christian Marois

Seite 20, Abbildung Venustransit:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venus\\_transit\\_2012\\_Minneapolis\\_TLR1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venus_transit_2012_Minneapolis_TLR1.jpg)

Wikimedia-User Tom Ruen

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

Seite 21, Box-Least-Squares-Methode:

Hippke/Github, <https://github.com/hippke/tls>

Michael Hippke & René Heller

MIT-Lizenz, <https://github.com/hippke/tls/blob/master/LICENSE>

Seite 22, Größenvergleich Sternklassen:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dwarf\\_Stars.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dwarf_Stars.png)

Wikimedia-User Omnidoom 999

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

Seite 25, Saturnmond Enceladus mit Geysiren:

NASA, <https://solarsystem.nasa.gov/news/476/complex-organics-bubble-up-from-ocean-world-enceladus>

NASA/JPL/Space Science Institute

Seite 25, Erdatmosphäre:

NASA, <https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS013&roll=E&frame=54329>

NASA Johnson Space Center

Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center

Seite 26, Abbildung Bärtierchen

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SEM\\_image\\_of\\_Milnesium\\_tardigradum\\_in\\_active\\_state\\_-\\_journal.pone.0045682.g001-2.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SEM_image_of_Milnesium_tardigradum_in_active_state_-_journal.pone.0045682.g001-2.png)

Schokraie E, Warnken U, Hotz-Wagenblatt A, Grohme MA, Hengherr S, et al. (2012)

CC BY 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/legalcode>)

Seite 27, Abbildung Frank Drake:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frank\\_Drake\\_at\\_Cornell,\\_October\\_2017.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frank_Drake_at_Cornell,_October_2017.jpg)

Wikimedia-User: Amalex5

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

Seite 28, Allen Telescope Array:

SETI, <https://www.seti.org/allen-telescope-array-gallery>

Seth Shostak/SETI Institute

Seite 28, Carl Sagan:

NASA via Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl\\_Sagan\\_Planetary\\_Society.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl_Sagan_Planetary_Society.JPG)

NASA/JPL

Seite 29, Aceribo-Observatorium:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Arecibo\\_Observatory's\\_main\\_reflector\\_and\\_platform.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Arecibo_Observatory's_main_reflector_and_platform.jpg)

Wikimedia-User Juan.Alcaide231

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

Seite 29, Arecibo-Botschaft:

Wikimedia [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arecibo\\_message.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arecibo_message.svg)

Wikimedia-User Arne Nordmann (norro)

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

Seite 30, Goldene Schallplatte:

NASA via Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Sounds\\_of\\_Earth\\_Record\\_Cover\\_-\\_GPN-2000-001978.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Sounds_of_Earth_Record_Cover_-_GPN-2000-001978.jpg)

NASA/JPL

Seite 42, CubeSat:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vermont\\_Lunar\\_CubeSat.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vermont_Lunar_CubeSat.jpg)

Wikimedia-User Cbrandonvt

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

Seite 43, DLR Lampoldshausen:

DLR, <https://www.dlr.de/de/das-dlr/standorte-und-bueros/lampoldshausen>

CC BY-NC-ND 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode>)

Seite 44, Goldene Schallplatte:

NASA via Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS\\_on\\_20\\_August\\_2001.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS_on_20_August_2001.jpg)

NASA

Seite 44, Raketentest am DLR Lampoldshausen:

DLR, <https://www.dlr.de/de/das-dlr/standorte-und-bueros/lampoldshausen>

CC BY-NC-ND 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode>)

Seite 46, Ariane-5-Rakete:

ESA Image Gallery, [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2002/02/Ariane\\_5\\_V119](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2002/02/Ariane_5_V119)

ESA

Seite 75, Idealisierte Stromröhre:

LEIFIphysik, <https://www.leifiphysik.de/mechanik/stroemungslehre/grundwissen/kontinuitaetsgleichungen>

Benedikt Flurl

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

Seite 76, Stromröhre zur Veranschaulichung der Bernoulli-Gleichung:

LEIFIphysik, <https://www.leifiphysik.de/mechanik/stroemungslehre/grundwissen/bernoulli-gleichung>

Benedikt Flurl

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

Seite 89, Auskultationsorte am menschlichen Brustkorb:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Auskultation.jpg>

Wikimedia-User Ickle

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 106, Schematische Darstellung eines UV-Vis-Spektrometers:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Funktionsprinzip\\_eines\\_Diodenarray-Spektrometers.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Funktionsprinzip_eines_Diodenarray-Spektrometers.png)

Wikimedia-User OrgChemist

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

Seite 120, Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:

EMBL Science Education and Public Engagement Team, <https://www.embl.org/about/science-education-public-engagement>

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

Seite 121, Laktase Mechanismus:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LactaseMechanism2.png> (bearbeitet)

Wikimedia-User Piccfa, Christian Raab

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

Seite 127, Büste des Sokrates:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socrates\\_Louvre.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socrates_Louvre.jpg)

Wikimedia-User Sting (Eric Gaba)

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



Seite 132, Büste des Aristoteles:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle\\_\\_Altemps\\_\\_Inv8575.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle__Altemps__Inv8575.jpg)

Wikimedia-User Jastro, Ludovisi Collection

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 133, Der Mensch als Wolf:

Eigene Abbildung, erstellt mithilfe von DreamStudio (<https://dreamstudio.ai>)

Seite 133, Thomas Hobbes, Gemälde von John Michael Wright:

National Portrait Gallery, <https://www.npg.org.uk/collections/search/portrait/mw03164/Thomas-Hobbes>  
NPG 225

CC BY-NC-ND 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode>)

Seite 134, Jean-Jacques Rousseau:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean-Jacques\\_Rousseau\\_\(painted\\_portrait\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean-Jacques_Rousseau_(painted_portrait).jpg)

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 136, Jean-Paul Sartre:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sartre\\_1967\\_crop.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sartre_1967_crop.jpg)

Government Press Office (Israel) / Moshe Milner

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

Seite 137, Clarence Darrow:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clarence\\_Darrow\\_during\\_Scopes\\_Trial\\_cph.3a44036.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clarence_Darrow_during_Scopes_Trial_cph.3a44036.jpg)

Underwood & Underwood

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 139, René Descartes:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frans\\_Hals\\_-\\_Portret\\_van\\_Ren%C3%A9\\_Descartes.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frans_Hals_-_Portret_van_Ren%C3%A9_Descartes.jpg)

André Hatala

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 141, Immanuel Kant:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant\\_gemaelde\\_3.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg)

Unbekannter Künstler

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 141, Friedrich Nietzsche:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait\\_of\\_Friedrich\\_Nietzsche.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_Friedrich_Nietzsche.jpg)

Johann Gottlieb Becker

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 143, Arthur Schopenhauer:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur\\_Schopenhauer\\_colorized.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur_Schopenhauer_colorized.jpg)

Johann Schäfer, Wikimedia-User Artistosteles

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 144, Platon:

Wikimedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Platon.png>

Wikimedia-User RaphaelQS

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

Seite 146, Der vitruvianische Mensch:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vitruvian.jpg>

Leonardo da Vinci

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 170, Codierung des DCF77-Signals:

Abbildung aus: A. Bauch, P. Hetzel, D. Piester: Zeit- und Frequenzverbreitung mit DCF77: 1959–2009 und darüber hinaus. PTB-Mitteilungen 119, Heft 3, 217–240 (2009)

[https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung\\_4/4.4\\_zeit\\_und\\_frequenz/pdf/2009\\_Bauch\\_PTBM\\_\\_DCF77.pdf](https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_4/4.4_zeit_und_frequenz/pdf/2009_Bauch_PTBM__DCF77.pdf)

Mit freundlicher Genehmigung

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bildern unter einer CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.

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