

# JuniorAkademie Adelsheim

## 21. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2024



**Astronomie**



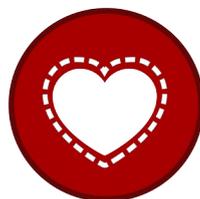
**Literatur/Philosophie**



**Mathematik/Informatik**



**Mathematik/Physik**



**Medizin**



**Meteorologie/Physik**

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung



**Dokumentation der  
JuniorAkademie Adelsheim 2024**

**21. 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 21. JuniorAkademie Adelsheim 2024 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter, Tobias van Lier

Copyright © 2024 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

# Vorwort

„Völlig losgelöst ...“

... vom Schulalltag schwebten 76 Jugendliche schwerelos durch den „Kosmos“ – unser diesjähriges Motto – der 21. JuniorAkademie Adelsheim. Wie auch Major Tom im gleichnamigen Sommerhit von Peter Schilling begaben sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der diesjährigen Science Academy auf eine Reise in neue Welten – eine Reise in die Weiten der Wissenschaft. Begleitet von unserem 28köpfigen Leitungsteam sollten sie schon bald neue Interessen entdecken, wissenschaftliche Erfahrungen sammeln und Freundschaften knüpfen.

Der Startschuss für diese Mission fiel Mitte Juni auf dem Gelände des Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim. Am Eröffnungswochenende kam unsere Crew das erste Mal zusammen und lernte sich kennen – alle mit ganz eigenen Vorerfahrungen, Talenten und Erwartungen. Was sie auf ihrem Flug so alles erleben würden, stand zu diesem Zeitpunkt noch in den Sternen.



Im Sommer dann nahm unsere Reise so richtig Fahrt auf. Über zwei Wochen hinweg arbeiteten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den sechs Kursen und entdeckten und gestalteten gemeinsam den Mikrokosmos Akademie.

Der Philosophiekurs verglich dystopische und utopische Welten, im Kurs Mathematik/Informatik wurde der Energiemix der Zukunft analysiert und optimiert, und die Medizinerinnen und Mediziner

fragten sich, was „Gesundheit“ eigentlich bedeutet. Unterdessen schickte der Meteorologiekurs einen Wetterballon in den Himmel, die Astronominnen und Astronomen richteten ihren Blick auf Meteoriden im Weltall und Meteoriten auf der Erde, und der Kurs Mathematik/Physik ging nochmal einen Schritt weiter und erforschte gleich die Unendlichkeit.

Neben der Kurszeit haben sich die Crewmitglieder bei Ausflügen und in den KüAs, beim Morgensport, im Theater oder als Teil des Orchesters, bei Wanderungen und Grillabenden besser kennengelernt und ihre Interessen ausgelebt. So verging die Zeit wie im Flug, und der große Abschlussabend kam viel zu früh.

Am Dokumentationswochenende im Herbst bot sich dann die Möglichkeit, auf die schöne gemeinsame Zeit zurückzublicken und über die Entdeckungen aus dem Trip durch den Akademie-Kosmos zu reflektieren. Zwar war damit nun die Zeit in Adelsheim vorbei, doch unsere Reise ist noch lange nicht zu Ende.

Losgelöst und schwerelos schweben wir weiter, doch anders als Major Tom melden wir uns zurück – hier und heute, mit dieser Dokumentation. Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Eure/Ihre Akademieleitung



Melissa Bauer (Assistenz)



Mathis Bußhoff (Assistenz)



Jörg Richter



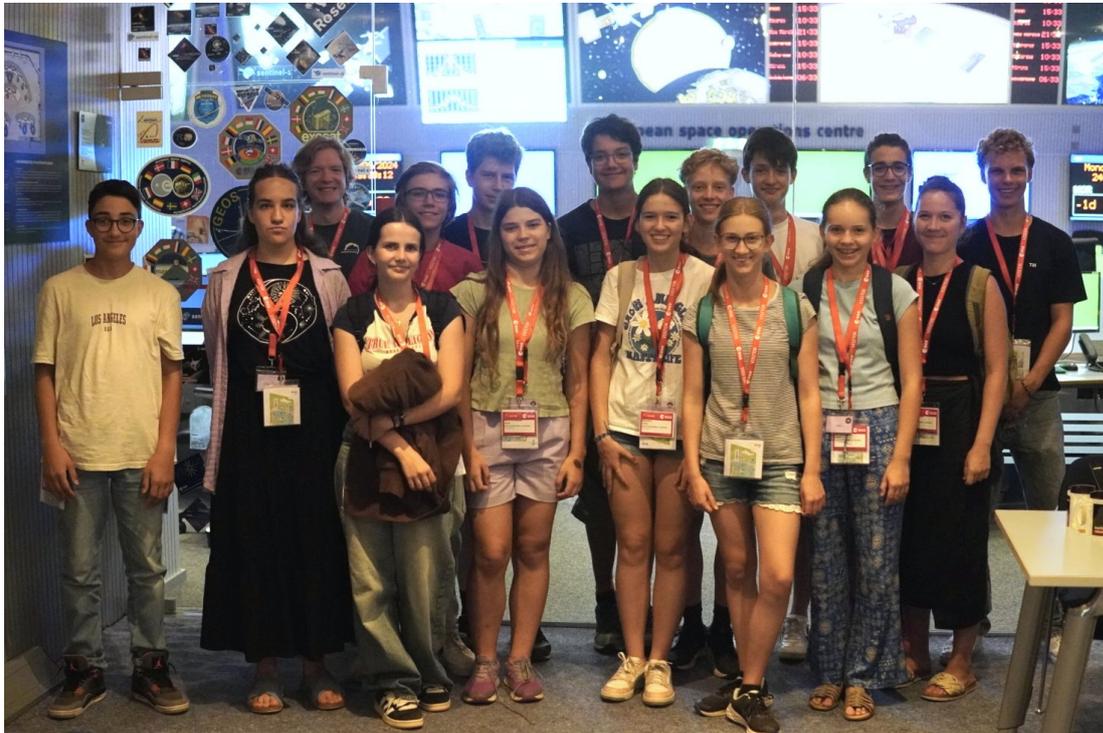
Dr. Birgit Schillinger

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b>	<b>3</b>
<b>KURS 1 – ASTRONOMIE</b>	<b>7</b>
<b>KURS 2 – LITERATUR/PHILOSOPHIE</b>	<b>33</b>
<b>KURS 3 – MATHEMATIK/INFORMATIK</b>	<b>53</b>
<b>KURS 4 – MATHEMATIK/PHYSIK</b>	<b>73</b>
<b>KURS 5 – MEDIZIN</b>	<b>97</b>
<b>KURS 6 – METEOROLOGIE/PHYSIK</b>	<b>115</b>
<b>KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE</b>	<b>135</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>151</b>
<b>BILDNACHWEIS</b>	<b>152</b>



## Kurs 1 – Asteroiden: Forschungsziele, Rohstoffquelle und Gefahren



### Unser Kurs

**Maia** Maia ist einfach ein Sonnenschein. Mit ihr kann man über alles reden, sie hat immer ein offenes Ohr und unterstützt einen, wo sie kann. Sie ist sehr kreativ, wissbegierig und eine tolle Teamplayerin.

**Nicolas** Nur er schafft es, das Amöbenspiel zu gewinnen, obwohl er eigentlich verlieren wollte. Nicolas ist sehr organisiert, ein Talent im Programmieren und immer hilfsbereit. Er hat die lustigsten Ideen und zu (fast) allem einen spannenden Fakt parat.

**Felix** Mit Felix braucht man nie wieder einen Wetterfrosch! Doch er kann nicht nur das Wetter präsentieren. Außerdem ist er sehr kreativ, versetzte sich gerne in Science-Fiction-Szenarien, hat viel Humor und ein sehr großes Herz – nicht nur für James.

**Oskar** Gefühlte merkt sich Oskar alles – auch Entfernungen und andere Zahlen, die andere beim ersten Hören schon wieder vergessen haben. Er trägt den ehrenwerten Titel als bester James-Aufpasser, ist für jede lustige Aktion zu haben, immer hilfsbereit und ein guter Teamleader.

**Katharina** Katharina ist eine super Ansprechpartnerin bei Fragen oder auf der Suche nach einer ehrlichen Meinung. Dabei hat sie nicht nur in ihrer Rolle als Barkeeperin immer einen guten Spruch auf Lager. Ihre gute Laune und Energie sind ansteckend, und auch nach zwei anstrengenden Wochen hat sie ihren klaren Kopf und ihre super Organisation nicht verloren.

**Ada** Zuerst etwas schweigsam, aber bei Präsentationen überrascht sie mit sicherem Auftreten und tiefem Wissen. In ihrer Nähe fühlt man sich immer wohl. Sie ist hilfsbereit, sehr vertrauenswürdig, offen und eine super Gesprächspartnerin für interessante Unterhaltungen. Eine tolle Sitznachbarin und Freundin!

**Miguel** Miguel ist die Sportskanone im Kurs. Ohne seine Motivation wäre unser Punktabstand beim Sportfest deutlich größer gewesen. Danke für deine vielen Witze, deine Hilfsbereitschaft und deine ansteckend gute Laune jeden Tag!

**Alexander** Wenn sich Alexander in ein Thema einarbeitet, ist er so schnell nicht aufzuhalten. Seine erarbeiteten Themen kann er anderen dann super erklären. Er ist immer freundlich, organisiert, verlässlich und motiviert.

**Jana** Jana ist offen und nie ohne ihre Arschkarten unterwegs. Sie erzählt einem alles und viel, so als würde man sie schon ewig kennen – genau das macht sie so sympathisch. Mit ihr kann man viel lachen, sie ist hilfsbereit und herzlich und eine tolle Schauspielerin!

**Violetta** In ihrem Kleiderschrank ist ihr Name Programm! Sie ist eine super Pianistin und kann gefühlt auch noch zwanzig andere Instrumente spielen. Mit Violetta kann man über jedes Problem reden, sie verbreitet überall gute Laune und bringt einen zum Lachen. Ihr Herz schlägt für James!

**Katerina** Ohne sie wäre unser Kurs-T-Shirt ganz bestimmt nicht so schön geworden – Danke dafür! :) Katerina ist kreativ und engagiert. Sie versteht, was sie tut, und wenn das einmal nicht so ist, hakt sie so lange nach, bis sie es verstanden hat. Mit ihr kommt man schnell in interessante – oft sehr ironische – Gespräche.

**Jakob** Poker, Black Jack und die Bing-Image-AI gehören einfach zu Jakob. Er ist kreativ und selbstbewusst und hat es immer geschafft, das Team zu motivieren.

**Matthias** Der Alleskönner im Bereich IT – ein Blick auf den Code genügt und der Fehler ist

beheben. Matthias ist ein Talent im Präsentieren (wer braucht schon Karteikarten?), sehr freundlich, immer hilfsbereit, motiviert und verlässlich.

**James** Unser Kursmaskottchen hüpfte auf Asteroiden und Teleskopen, behält den Kurs im Blick und wurde überall hin mitgenommen.

**Moritz v. L.** Moritz hat immer spannende Geschichten von der ESA parat und kann beim Thema Raumfahrt stets etwas ergänzen. Er ist ein sehr begeisterter Astronom und gibt die besten Buch- und Filmempfehlungen sowie kreative Schlachtruf-Vorschläge. Zusätzlich dazu kennt er gefühlt jeden SHELL-Command. Egal ob Fermi-Abschätzungen oder hochkomplexe Bahnelemente, er kann alles verständlich erklären.

**Katharina S.** Katharina kann alles sehr verständlich erklären und findet immer passende Beispiele, wie verdrehte Gummibänder für das Magnetfeld der Sonne oder Obst für die Planeten unseres Sonnensystems. Sie weiß sehr viel über Mikrometeoriten und andere Bereiche der Astronomie. Man merkt ihr ihre Begeisterung für die Astronomie an. Sie hört sehr aufmerksam zu und ist eine tolle Gesprächspartnerin, die auch sehr gute Tipps bei Präsentationen gibt.

**Till S.** Till hat immer eine super Stimmung, was auch an seiner Playlist erkennbar ist. Er sorgte für besseres Teamwork im Kurs und hat viel Energie zum Anfeuern, was er am Sportfest gezeigt hat. Außerdem kann man immer mit ihm reden und er zaubert dabei jedem zu jeder Zeit ein Lächeln ins Gesicht.

## Der kleine und der große Kosmos

TILL SALOMON

Man mag vielleicht denken, der Weltraum sei weit entfernt. Doch uns trennen gerade einmal 100 km von ihm – vergleichbar mit einer Fahrt von Adelsheim nach Stuttgart. Dabei ist er den meisten nicht zugänglich, jedoch können wir jederzeit Artefakte des Weltraums in den eigenen Händen halten. Und so begaben wir uns auf die Suche ...

Aber starten wir die Reise doch erstmal von vorne: Im beschaulichen Adelsheim traf sich der Astronomiekurs, im Segen der Akademie, um den Kosmos näher zu beleuchten. Dabei bildete sich schnell ein eigener Kosmos: einer aus Fixpunkten im Sand, der mal ruhigen, lang klingenden Instrumentalmusik oder den schnellen Beats und einem großen Ziel – Bewegung im Weltraum zu verstehen.

Den Kosmos erweiterten wir durch einen Blick ins All. Durch Teleskope können Sterne, Planeten oder andere sonst nicht sichtbare Himmelskörper betrachtet werden. So beobachteten wir an zwei Tagen den Adelsheimer Nachthimmel, am zweiten mit der ganzen Akademie. So zeigten die Astros den anderen Teilis die bemerkenswerten Ringe des Saturn.

Zum Abschluss des Kurses gab es unsere eigene Mission: In wenigen Tagen planten wir – ein Kurs, ein Team, was sich beim Sportfest durch die Schlagkräftigkeit der Schlachtrufe zeigte – die Rettung der Erde.

## Begriffe

JANA SEIDELMANN

Viele Begriffe aus der Astronomie sind aufgrund ihrer Ähnlichkeit leicht zu verwechseln. Aus diesem Grund folgt ein kurzer Überblick über die zentralen Begriffe rund um das Kursthema Asteroiden:



Asteroid 243 Ida als Beispiel für einen Gesteinsasteroiden.<sup>1</sup>

**Asteroid:** Ein *Asteroid* ist ein astronomischer Kleinkörper, der sich auf einer keplerschen Umlaufbahn um die Sonne bewegt. Seine Größe

<sup>1</sup>Abbildung: NASA/JPL

variiert zwischen wenigen Metern und mehreren hundert Kilometern. Ein Asteroid ist also zu klein, um als Zwergplanet zu zählen, aber er ist größer als ein Meteoroid. Häufig bestehen Asteroiden nicht nur aus einem Objekt, sondern sind Geröllhaufen, die durch die Gravitation lose zusammengehalten werden. Die meisten Asteroiden gehören zum *Asteroidengürtel*, der sich zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter befindet.



Beispiel für einen Meteor.<sup>2</sup>

**Meteor:** Ein *Meteor* ist eine helle Lichterscheinung, die entsteht, wenn außerirdische Körper (z. B. Weltraumschrott, Gesteinsbrocken) in die Atmosphäre eindringen und dabei verglühen. Meteore sind auch ohne Teleskope leicht am Himmel zu erkennen, da sie hell leuchten und somit gut mit dem menschlichen Auge zu entdecken sind.



Steinmeteorit Knyahinya (280 kg, mittig im Bild) im Naturhistorischen Museum Wien.<sup>3</sup>

**Meteorit:** Ein *Meteorit* ist ein Bruchstück eines kosmischen Körpers, das durch die Atmo-

<sup>2</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Michael Eberth, CC BY-SA 4.0)

<sup>3</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Dr. Bernd Gross, CC BY-SA 4.0)

sphäre gedrungen und auf der Erdoberfläche eingeschlagen ist. Die Größe von Meteoriten liegt zwischen einigen Zentimetern und mehreren Metern. Meteoriten, die in einem Größenbereich zwischen Mikro- und Millimetern liegen, nennt man *Mikrometeoriten*.

**Meteoroid:** Bevor ein Meteorit auf der Erdoberfläche ankommt und so lange er sich noch im All befindet, nennt man ihn *Meteoroid*. Meteoroiden sind kleiner als Asteroiden und um sie entdecken zu können, braucht man Teleskope. Daher wurden sie von der „Dreiergruppe“, bestehend aus Meteoren, Meteoriten und Meteoroiden, als letztes entdeckt.

## Umlaufbahnen

KATHARINA JÖRG

### Himmelsmechanik: Umlaufbahnen und Ellipsen

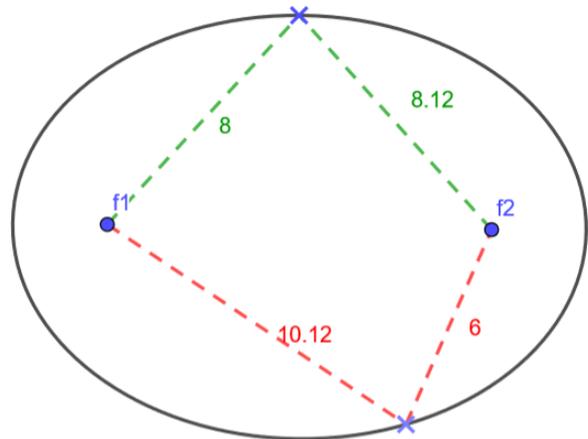
Die Bewegung von Himmelskörpern im All, insbesondere die der Asteroiden, ist vorhersehbar und berechenbar, wenn man die Form ihrer Flugbahnen kennt. Beim Blick in die Geschichte der Astronomie lässt sich jedoch feststellen, dass sich die Vorstellung von Umlaufbahnen über die Zeit verändert hat.

Nachdem die im Altertum verbreitete Vorstellung, dass sich Sonne und Planeten in Kreisen um die Erde drehen (*geozentrisches Weltbild*), abgelöst war, dachte man zunächst, dass sich die Planeten kreisförmig um die Sonne bewegen.

Johannes Kepler hat allerdings Anfang des 17. Jahrhunderts aus Beobachtungen geschlossen, dass die Umlaufbahnen von Planeten einer *Ellipse* gleichen. Das bedeutet, dass der Abstand der Himmelskörper zu ihrem Mittelpunkt nicht immer gleich ist. Er variiert, je nachdem, wo sich der Körper befindet.

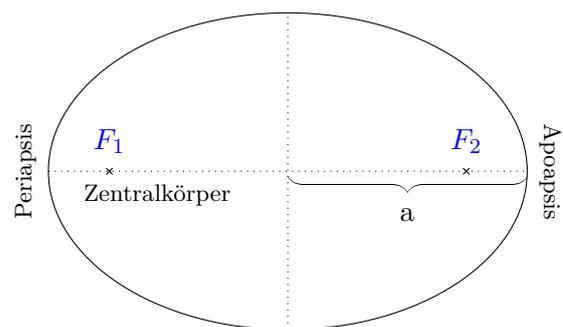
Das liegt daran, dass Ellipsen im Gegensatz zu Kreisen zwei *Brennpunkte* besitzen, die als  $F_1$  und  $F_2$  bezeichnet werden. Die charakteristische Eigenschaft einer Ellipse ist, dass die Summe der Abstände von den Brennpunkten

zu einem beliebigen Punkt auf der Ellipse immer gleich ist. In der Abbildung zur Definition einer Ellipse ist somit die Summe der Abstände in rot ( $10,12 + 6,0 = 16,12$ ) gleich die Summe der Abstände in grün ( $8,0 + 8,12 = 16,12$ ).



Definition einer Ellipse (eigene Abbildung).

Ellipsen haben zwei Achsen, dabei ist die *große Halbachse*  $a$  die Hälfte der größeren Achse. Bei der Umlaufbahn der Erde entspricht die große Halbachse dem Abstand zur Sonne von einer *Astronomischen Einheit* (1 AE). Der Punkt, der sich am nächsten am *Zentralkörper* in einem der beiden Brennpunkte befindet, ist die *Periapsis*, und der vom Zentralkörper am weitesten entfernte Punkt wird als *Apoapsis* bezeichnet.



Wichtige Bahnelemente (eigene Abbildung).

Die *Exzentrizität*  $e$  ist eine weitere Eigenschaft der Ellipse. Sie gibt an, wie „elliptisch“ beziehungsweise wie gestreckt die Ellipse ist. Sie lässt sich aus dem Abstand der Brennpunkte  $F_1$  und  $F_2$  sowie der großen Halbachse bestimmen:

$$e = \frac{\overline{F_1 F_2}}{2a}.$$

Dabei ist die Exzentrizität als Zahl zwischen 0 und kleiner 1 festgelegt. Liegt die Exzentrizität bei 0, hat die Ellipse die Form eines Kreises, weil dann die Brennpunkte aufeinander fallen. Die Flugbahn der Erde hat eine Exzentrizität von circa 0,02, das heißt, sie hat eine nahezu kreisförmige Umlaufbahn.

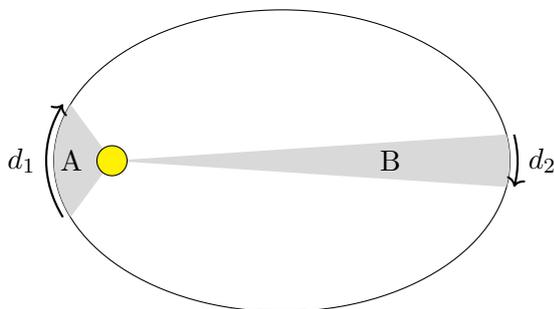


Ellipsen zeichnen auf dem Volleyballfeld.

### Keplersche Gesetze

Johannes Kepler hat seine Erkenntnisse zu Umlaufbahnen in drei wichtigen Gesetze zusammengefasst:

1. „Planeten bewegen sich auf Ellipsen, wobei in einem der Brennpunkte die Sonne steht.“
2. „Der Fahrstrahl zwischen Planet und Sonne überstreicht in gleicher Zeit gleiche Flächen.“



2. Keplersches Gesetz: Fläche A ist genauso groß wie Fläche B, aber  $d_1$  größer als  $d_2$  (eigene Abbildung).

Dieses Gesetz erklärt, dass die Geschwindigkeit der Planeten, die um den Zentralkörper kreisen, variiert, je nachdem, wo sich der Planet

auf der Bahnlinie befindet. So ist ein Planet an der Periapsis am schnellsten, während er an der Apoapsis am langsamsten ist. Das liegt daran, dass die überstrichene Fläche des Fahrstrahls (Strecke zwischen Planet und Sonne) in der Ellipse äquivalent ist, der Fahrstrahl an der Periapsis allerdings kürzer ist als an der Apoapsis. So legt der Planet an der Periapsis einen größeren Abschnitt der Bahnlinie in der gleichen Zeit zurück und hat dadurch an dieser Stelle eine höhere Geschwindigkeit.

3. „Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich zueinander wie die Kuben (3. Potenzen) der großen Halbachsen.“

Stellt man diesen von Kepler beschriebenen Zusammenhang als Formel auf, erhält man:

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

wobei  $T_1$  die Umlaufzeit von Planet 1 ist und  $a_1$  die große Halbachse von Planet 1.

Im 3. Gesetz stellt Kepler somit fest, dass die *Umlaufzeit* nur abhängig von der Entfernung und Masse des Zentralkörpers ist. Mit dem 3. Keplerschen Gesetz ist es möglich, die Umlaufzeit eines Himmelskörpers zu berechnen, wenn man dessen große Halbachse sowie die Umlaufzeit und die große Halbachse eines anderen Himmelskörpers, der um den gleichen Zentralkörper kreist, kennt. Wenn man diese Parameter eines anderen Himmelskörpers nicht zur Verfügung hat, kann man mithilfe der *Gravitationskonstante*  $G$  und der Masse des Zentralkörpers  $m$  die gesuchte Umlaufzeit  $T$  eines Himmelskörpers bestimmen:

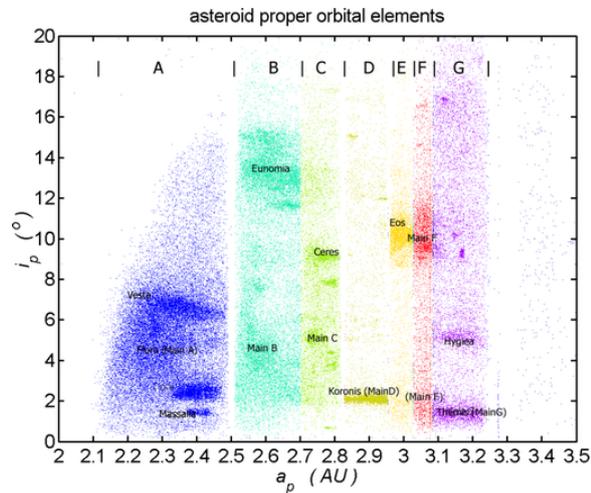
$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{a^3}{G \cdot m}},$$

wobei  $a$  = große Halbachse des Himmelskörpers.

### Asteroidenfamilien

*Bahnelemente*, wie zum Beispiel die große Halbachse, dienen der genauen Beschreibung des Orbits eines Himmelskörpers. Damit lassen sich

die Umlaufbahnen verschiedener Himmelskörper vergleichen. So bestehen *Asteroidenfamilien* etwa aus Asteroiden mit ähnlichen Bahnelementen und ähnlichen mineralogischen Gesteinszusammensetzungen.



Asteroidenfamilien und Kirkwood Gaps.<sup>4</sup>

Die Grafik zeigt auf der x-Achse die Halbachsen der Orbits und auf der y-Achse die Neigung dieser an. Die Häufungen der Punkte stellen Asteroidenfamilien dar.

Auffällig sind die Lücken zwischen den farbigen Sektoren, die sogenannten *Kirkwood Gaps*. In diesen Bereichen im Asteroidengürtel entsprechen die Umlaufzeiten der Asteroiden einem ganzzahligen Teiler der Umlaufzeit des Jupiters. Es entstehen gesetzte Verhältnisse, auch *Resonanzen* genannt. Das bedeutet, dass ein Asteroid sich beispielsweise in einem Jupiterjahr dreimal um die Sonne bewegt und dem Jupiter mehrmals an der gleichen Stelle sehr nahe kommt. Somit addieren sich Störungen in eine Richtung durch die Anziehung des Jupiters über die Zeit, was sehr instabile Bahnen zur Folge hat, weshalb heute in diesen Bereichen keine Asteroiden mehr zu finden sind.

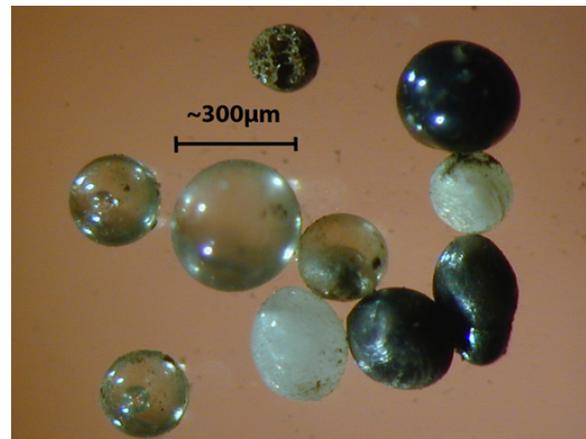
## Mikrometeoriten – Grundlagen

JAKOB WALTER

Mikrometeoriten sind winzige Meteoriten, die im Größenspektrum von einigen Mikrometern

bis zu mehreren Millimetern liegen. Sie bestehen meist aus Metallen wie Eisen oder Nickel, Kohlenstoff und Silikatmineralen, wie zum Beispiel Olivin oder Pyroxen. Pro Jahr fallen etwa 0,5 Mikrometeoriten auf einen Quadratmeter, was etwa 1500 bis 5000 Tonnen im Jahr auf der gesamten Erde ergibt. Zur besseren Vorstellung sind das circa 50 Mikrometeoriten auf einem Beachvolleyballfeld.

Mikrometeoriten entstehen entweder bei Kollisionen von Meteoroiden mit anderen Himmelskörpern oder wenn Kometen auf ihrer Umlaufbahn der Sonne so nahe kommen, dass ihr Eis sublimiert, das heißt gasförmig wird. Durch das Ausgasen werden Gesteinspartikel mitgerissen, die später in die Erdatmosphäre gelangen können.



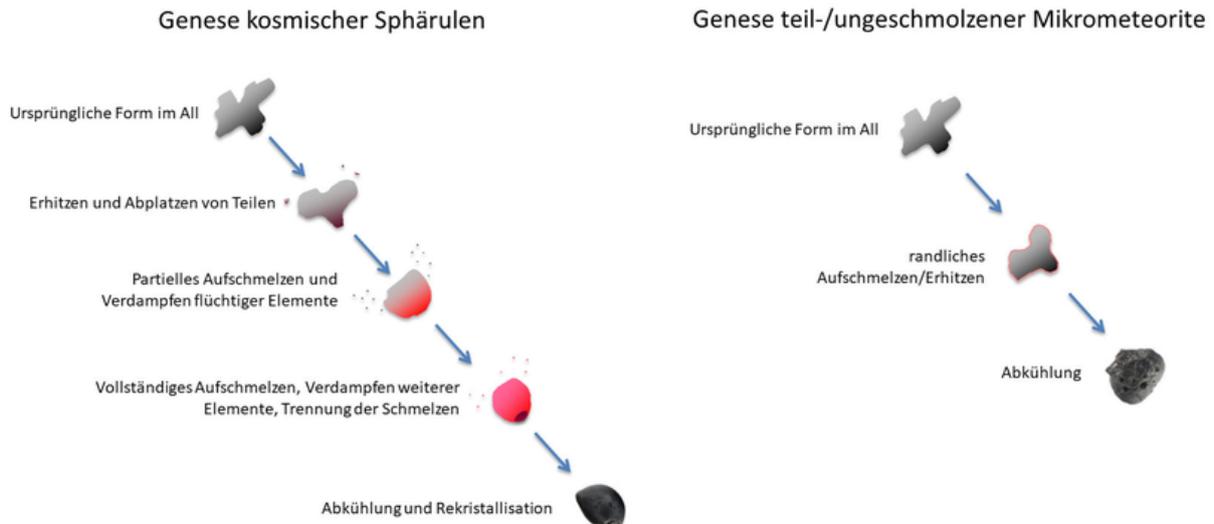
Mikrometeoriten unter einem Lichtmikroskop.<sup>5</sup>

Beim Eintritt in die Erdatmosphäre verändern Mikrometeoriten ihre Form maßgeblich. Haben sie vor dem Eintritt in die Atmosphäre noch eine kantige und abgebrochen aussehende Form, so ändert sich diese beim Eintritt bis hin zu einer nahezu perfekten Kugel.

Doch wie kommt es dazu? Beim Atmosphärenereintritt werden die Mikrometeoriten abgebremst. Dabei wandelt sich in kurzer Zeit viel kinetische Energie in Wärme um. Die Mikrometeoriten erhitzen sich, bis sie vollständig aufschmelzen. Einige Bestandteile verdampfen, sodass schlussendlich nur noch Elemente wie Eisen, Nickel oder Kohlenstoff zurückbleiben, deren Siedetemperatur höher ist als die Tem-

<sup>4</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Dreg743, CC BY-SA 3.0)

<sup>5</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Shaw Street, CC BY-SA 3.0)

Die Genesis von Mikrometeoriten.<sup>6</sup>

peratur, die der Mikrometeorit beim Erhitzen erreicht. Dichtere Elemente wie zum Beispiel Eisen sinken in der geschmolzenen Masse ab und bilden eine markante, kugelförmige Auswölbung an der Spitze des Mikrometeoriten.

## Mikrometeoriten – Suche

OSKAR HERZOG

Bereits am Eröffnungswochenende starteten wir unser erstes großes Projekt – die Suche nach Mikrometeoriten.

Die Suche nach Mikrometeoriten erfordert einiges an Sorgfalt und Geduld, da sie in mehreren Schritten erfolgt, die alle präzise ausgeführt werden müssen, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen. Als ersten Schritt wählten wir einen geeigneten Ort zur Probenentnahme aus. Um die besten Chancen auf Erfolg zu haben, suchten wir nach einer möglichst glatten Fläche, die selten betreten wird, damit sich Staub ansammeln kann. Besonders Flachdächer eignen sich dafür hervorragend. Leider hatten jedoch nicht alle von uns Zugang zu einem Flachdach. Deshalb entschieden wir uns auch dafür, Proben aus Regenrinnen zu sammeln. Da der Staub sich auf den Dächern sammelt und mit dem nächsten Regen in die Regenrinne gespült wird, hatten wir so eine einfache Alternative.

<sup>6</sup>Abbildung: <https://www.micrometeorites.org>, mit freundlicher Genehmigung von Thilo Hasse

Mit Besen und Schaufel bewaffnet fegten wir die gesammelten Staubpartikel sorgsam zusammen und füllten sie in Plastiktüten ab. Zu Hause oder an einem anderen windgeschützten Ort breiteten wir die Proben dann auf einer glatten Oberfläche aus.



Beispiel für ein geeignetes Flachdach.

Der nächste Schritt bestand darin, die magnetischen von den nichtmagnetischen Partikeln zu trennen. Da viele Mikrometeoriten Eisen enthalten, sind sie magnetisch, was uns bei der Sortierung half. Mithilfe eines starken Magneten, den wir in eine Plastiktüte eingewickelt hatten, fuhren wir vorsichtig über die Proben. Sobald sich magnetische Partikel am Magnet gesammelt hatten, konnten wir die Tüte einfach umstülpen und die magnetischen Anteile getrennt auffangen.

Zur Reinigung wuschen wir die Proben sorgfältig in einer Schale mit Wasser und etwas

Spülmittel. Anschließend ließen wir die Proben komplett trocknen.

Der nächste Schritt erforderte etwas feinmotorische Arbeit. Wir verwendeten Siebe mit unterschiedlichen Maschenweiten: 200  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$  und 1,4 mm. Zuerst siebten wir mit dem 1,4 mm-Sieb die gröberen Teilchen aus, dann folgte das 400  $\mu\text{m}$ -Sieb, um die noch etwas zu großen Partikel zu entfernen. Zuletzt siebten wir die ganz feinen Teilchen mit dem 200  $\mu\text{m}$ -Sieb aus, sodass wir schließlich eine Probe mit Körnern zwischen 200  $\mu\text{m}$  und 400  $\mu\text{m}$  erhielten. Das ist die ideale Größe, denn obwohl Mikrometeoriten in einer Spannweite von 1  $\mu\text{m}$  bis 1 mm vorkommen, befinden sich die meisten in diesem Größenbereich.

Nun kam der spannendste Teil – die Untersuchung der Probe unter dem Mikroskop. Bei einer niedrigen Vergrößerung suchten wir nach sehr rundlichen Partikeln. Auf folgendem Bild erkennt man gut, dass nicht alle metallischen Kugeln, die man auf der Erde findet, Mikrometeoriten sind.



Eine unserer Proben unter dem Lichtmikroskop.

Die Kugel rechts oben im Lichtkreis ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Mikrometeorit, zu erkennen an dem nasenförmigen Auswuchs und an der gut erkennbaren, runden Form. Bei den anderen handelt es sich sehr wahrscheinlich um irdische Partikel, zum Beispiel geschmolzene Metalltropfen, die bei Flex- oder Schweißarbeiten entstanden sein können. Diese haben bei

genauerem Betrachten kleine scharfe Kanten, da sie im Gegensatz zu Mikrometeoriten nicht vollständig aufgeschmolzen wurden. Um jedoch sicherzustellen, dass es sich bei den gefundenen Teilchen wirklich um Mikrometeoriten handelte, wäre ein spezielles Elektronenmikroskop und eine Spektralanalyse erforderlich.

Durch die sorgfältige Vorbereitung und die verschiedenen Schritte machten wir einige vielversprechende Funde und lernten dabei auch viel über die Geduld und Präzision, die das wissenschaftliche Arbeiten erfordert.

## Beobachtung – Koordinaten

ADA KAUTZLEBEN

Wir wollten astronomische Objekte nicht nur am Boden finden, sondern natürlich auch am Nachthimmel beobachten.

Um die Position von Sternen am Nachthimmel genau zu bestimmen, gibt es verschiedene Koordinatensysteme, von denen hier zwei beschrieben werden.

Das einfachere der beiden ist das *Azimuthsystem*, auch *Horizontsystem* genannt. Der eigene Horizont dient hier als Referenzebene und der Punkt am Himmel senkrecht über der Beobachtungsstelle als Zenit. Somit beträgt der Winkel zwischen Zenit und Horizont  $90^\circ$ . Über diesen Zenit wird nun gedanklich eine Kuppel gespannt, wobei die Referenzebene die Grundfläche und der Zenit den Höhepunkt bildet.

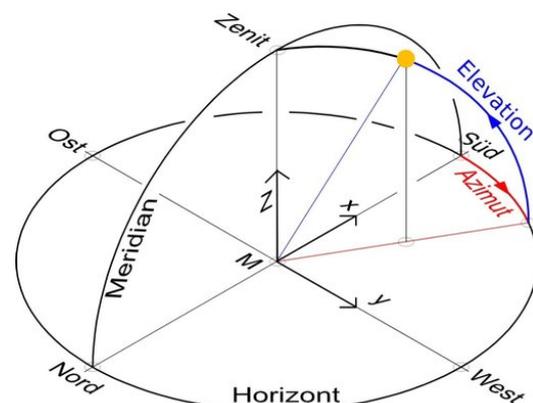


Schaubild des Azimutsystems.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User S.Wetzels, CC BY-SA 4.0)

Um die Koordinaten des Objekts zu bestimmen, wird zunächst der Winkel entlang des Horizonts von Süden aus im Uhrzeigersinn gemessen. Diesen Winkel nennt man *Azimut*. Anschließend wird die *Elevation*, das heißt der Höhenwinkel, vom Horizont entlang der Kuppel zum Objekt ermittelt. Beide Werte gibt man in Grad an.

Das Azimutsystem ist unkompliziert, da man sich an der eigenen Umgebung orientiert und sich nicht erst ausrichten muss. Allerdings ist es durch die Orientierung am eigenen Horizont ortsabhängig, wodurch es nicht international benutzbar ist. Außerdem ist dieses System zeitabhängig, weil sich der Sternenhimmel über uns durch die Erdrotation scheinbar bewegt. Die scheinbare Bewegung des Sternenhimmels erkennt man gut auf langzeitbelichteten Bildern: Sterne sind hier nicht als Punkte, sondern als Striche, sogenannte Sternspuren, zu sehen. Für Beobachtungen am selben Ort, beispielsweise um die Veränderungen des Sternenhimmels über einen langen Zeitraum zu betrachten, ist dieses System aufgrund seiner Einfachheit dennoch geeignet.



Sternspuren um den Himmelsnordpol bei einer Belichtungszeit von 45 Minuten (eigenes Foto).

Um das Problem der Orts- und Zeitabhängigkeit zu lösen, gibt es das *rotierende Äquatorsystem*, das allerdings etwas komplizierter ist. Auf der Nordhalbkugel richtet man sich bei diesem Koordinatensystem nach dem Himmels-

norden, das heißt entlang der Erdachse, aus. Als Referenzebene dient diesmal der Himmelsäquator, dabei wird der Erdäquator auf den Himmel projiziert. Abermals spannt man gedanklich eine Kuppel, wobei nun der Äquator die Grundfläche und der Himmelsnorden den Höhepunkt bildet.

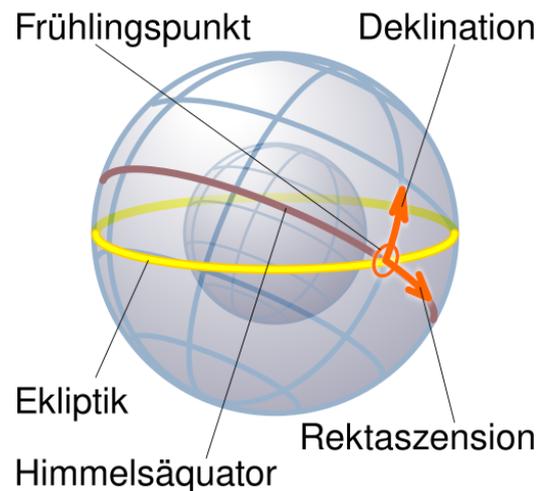


Schaubild des rotierenden Äquatorsystems.<sup>8</sup>

Auch bei diesem System gibt es zwei Koordinaten, um die Position eines Sterns genau zu bestimmen. Die *Rektaszension* entspricht dem Längengrad des Erdkoordinatensystems. Sie wird entlang des Himmelsäquators vom *Frühlingspunkt* aus gegen den Uhrzeigersinn gemessen. Der Frühlingspunkt ist die Stelle, an der die Sonne den Äquator zu Frühlingsbeginn, das heißt am 20. März, schneidet. Für Beobachtende auf der Erde dreht sich der Sternenhimmel mit dem Frühlingspunkt täglich einmal um die Erde. Damit ist die Rektaszension eine zeitunabhängige Koordinate. Sie wird nicht in Grad, sondern als Zeitmaß angegeben. Dabei orientiert man sich nicht am Zeitpunkt der Beobachtung, stattdessen stellt man sich die Ebene des Himmelsäquators als Ziffernblatt vor und liest daran die Zeit ab. Eine Stunde auf diesem Ziffernblatt entspricht dabei einem Winkel von  $15^\circ$ .

Die *Deklination* ist das Analogon zum irdischen Breitengrad. Man misst sie, indem man den Winkel auf der Strecke zwischen Himmels-

<sup>8</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Cmglee, CC BY-SA 4.0)

äquator ( $0^\circ$ ) und Himmelsnorden ( $90^\circ$ ) zu dem Objekt misst. Die Deklination wird in Grad angegeben. Sie ist durch die Ausrichtung und Orientierung an Himmelsnorden und -äquator ortsunabhängig.

Insgesamt ergibt sich so ein Koordinatensystem, das sowohl zeit- als auch ortsunabhängig ist, wodurch es international nutzbar und auch am geläufigsten ist.

Für praktische Himmelsbeobachtungen benutzt man drehbare Sternkarten, die sich leicht selbst basteln lassen. Um sie richtig zu verwenden, stellt man zunächst die Ortszeit des gewünschten Beobachtungszeitpunktes auf den entsprechenden Tag am Rand der Scheibe ein. Die Ortszeit orientiert sich am Stand der Sonne. Es ist 12:00 Uhr, wenn die Sonne am höchsten steht. Man ermittelt die aktuelle Ortszeit immer aus der jeweiligen Zonenzeit.

Hierfür geht man in Deutschland zunächst von der *mitteleuropäischen Zeit (MEZ)* aus, die der *Weltzeit (UTC)*, welche der mittleren Sonnenzeit in Greenwich (London) entspricht, eine Stunde voraus ist. Das heißt, wenn es in Greenwich 8:00 Uhr ist, können wir auf unseren Uhren 9:00 Uhr ablesen. Nun wird die mitteleuropäische Zeit in vielen mittel- und westeuropäischen Ländern genutzt, orientiert sich aber am Sonnenstand des 15. Längengrades Ost. Dieser verläuft durch Görlitz, die östlichste Stadt Deutschlands. Da alle anderen Städte in Deutschland westlich von Görlitz liegen, entspricht an diesen Orten die mitteleuropäische Zeit nicht dem Sonnenstand. Deshalb muss man für jedes Grad westlich des 15. Längengrades vier Minuten von der mitteleuropäischen Zeit abziehen. Subtrahiert man noch während der Sommerzeit eine Stunde, erhält man die *mittlere Ortszeit (MOZ)*, wie sie auch angegeben werden muss.

Am Beispiel von Adelsheim, das auf  $9^\circ 39'$  östlicher Länge liegt, beträgt die Differenz zum 15. Längengrad  $5^\circ 21'$ . Daraus ergibt sich, dass etwa 22 Minuten abgezogen werden müssen. Somit beläuft sich die mittlere Ortszeit in Adelsheim anstelle von 9:00 Uhr MEZ auf 8:38 Uhr. Anschließend richtet man sich nach Norden aus und hält die Karte über sich, wobei die Seite mit den Sternbildern nach unten zeigt. Nun

sieht man über sich die Position der Sterne, die einen zum Beobachten erwarten.



Eine unserer selbstgemachten Sternkarten.

Allerdings ist es auch möglich, die Sternkarte frontal vor sich liegend zu betrachten, um zu erkennen, wann welche Sterne oder Sternbilder wo am Himmel zu sehen sind.

## Beobachtung – Praxis

KATERINA TANEVA

Um außer den Sternbildern auch einzelne Objekte zu beobachten, benutzen wir mehrere Teleskope. Die meisten Teleskope (auch diejenigen, die wir zur Verfügung hatten) benutzen Spiegel oder Linsen, um Licht einzufangen und zu bündeln. Im Verhältnis zur Pupille des Auges haben Teleskope eine viel größere Eintrittsfläche, weshalb mehr Licht einfallen kann, das dann auf das Okular des Teleskops gebündelt wird. Durch diese verstärkte Helligkeit kann man mit Teleskopen viel lichtschwächere Objekte beobachten als mit dem bloßen Auge, zum Beispiel den Ringnebel oder die Andromedagalaxie. Zusätzlich werden die Bilder von Objekten durch das Okular am Ende des Teleskops vergrößert, wodurch sie größer und näher wirken und feinere Details erkennbar sind.

Tagsüber beobachteten wir, ebenfalls mit Teleskopen, die Sonne. Um das Auge zu schützen, sind für Beobachtungen der Sonne spezielle Sonnenfilter notwendig. Sonnenfilter lassen

nur einen schmalen Spektralbereich des Lichts durch und nur ein Bruchteil des Lichts kann durch den Filter gelangen. Mithilfe eines Teleskops mit Sonnenfilter konnten wir mit unseren eigenen Handykameras Bilder von der Sonne schießen.

Auf dem Bild sieht man die typischen Sonnenflecken, die wie dunkle Stellen auf der sichtbaren Sonnenoberfläche aussehen. Die Ursache der Sonnenflecken sind Ausbrüche sehr starker Magnetfelder, die heiße Sonnenmaterie in die Sonnenatmosphäre transportieren und zeitweise den Wärmetransport vom Inneren der Sonne an die Oberfläche behindern. Die daraus resultierende Abkühlung der Oberfläche (bis zu 1500 K kühler als die Umgebung) wird als Fleck sichtbar. Die Anzahl der Sonnenflecken variiert je nach Sonnenaktivität in einem Zyklus von durchschnittlich elf Jahren.



Eigenes Foto der Sonne durch ein Sonnenteleskop.

Die meisten Beobachtungen aber machten wir vom Nachthimmel. Durch die ländliche Lage von Adelsheim gab es dabei nur wenig störende Lichtverschmutzung. Lichtverschmutzung entsteht durch künstliche Lichtquellen wie Straßenbeleuchtungen oder natürliche Lichtquellen wie dem Vollmond.

Nachdem die Teleskope nach dem Himmelsnorden ausgerichtet waren, konnten wir das Koordinatensystem des Nachthimmels und eine Sternkarte benutzen. Wir beobachteten Sterne, Sternbilder und Saturn. Von Saturn konnten wir einige Bilder mit der Handykamera durchs Teleskop machen, wobei die bunte Erscheinung durch Fehler der Kamera zustande kam.

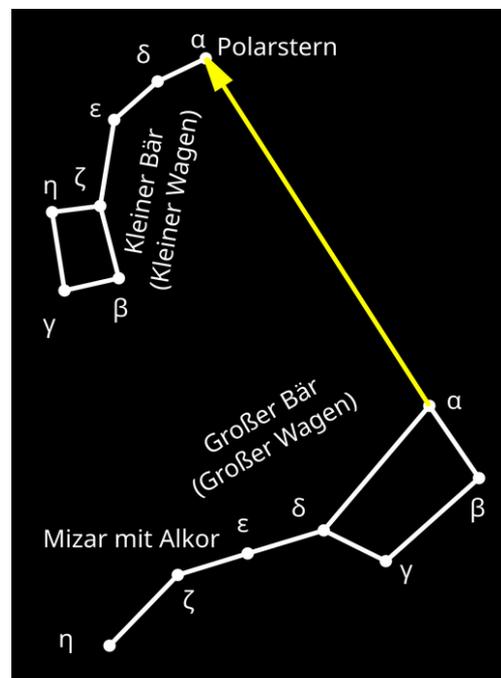
Die Sichtbarkeit von Sternen variiert je nach Jahreszeit durch die Erdposition. Die für



Eigenes Foto des Saturn.

Deutschland winterlichen Sternbilder liegen während des Sommers am Tag über dem Horizont und sind wegen der Helligkeit der Sonne nicht zu sehen. Gute Beispiele sind das Sommerdreieck, Herbstviereck, Wintersechseck und Frühlingsdreieck. Das sind jeweils Sternbilder mit den hellsten Sternen, die zu dieser Jahreszeit zu sehen sind.

Es gibt aber auch Sternbilder, die das ganze Jahr über zu sehen sind. Diese nennt man *zirkumpolare Sternbilder*. Bekannte Beispiele sind der Große und Kleine Wagen, Kassiopeia, Kepheus, der Drache und weitere.



Funktion des großen Wagens als Polarsternzeiger.<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Flups, gemeinfrei-ähnlich lizenziert)

Für die Navigation auf der Nordhalbkugel sind die zirkumpolaren Sternbilder sehr wichtig – besonders ein Stern: der Nordstern. Der Nordstern, auch Polarstern genannt, liegt fast genau auf dem Himmelsnorden und zeigt somit die nördliche Richtung an. Er ist auch gleichzeitig der hellste Stern im kleinen Wagen. Man findet ihn, indem man die Hinterachse des Großen Wagens fünfmal verlängert.

Ein Ereignis, das wir während der Akademiezeit sehen konnten, war ein sehr heller Meteor, der ungefähr 10 bis 15 Sekunden am westlichen Nachthimmel zu sehen war. Später stellte sich heraus, dass es sich bei dem Meteor um den verglühenden Starlink-Satelliten 2382 gehandelt hatte. Neuere Satelliten sind so programmiert, dass sie nach Ende ihrer aktiven Phase in die Erdatmosphäre stürzen, um zu verglühen. So soll Weltraumschrott verhindert werden. Es ist wichtig, dass ausgediente künstliche Satelliten verglühen und nicht als Schrott im All bleiben, da sie sonst weitere Missionen behindern und es zu Kollisionen kommen kann.

Die praktische Beobachtung war eine gute Gelegenheit für uns, den Himmel besser kennenzulernen. Dieses Erlebnis war äußerst spannend und lehrreich.

## Missionsplanung – Was den Dinosauriern fehlte

NICOLAS FARCHMIN

Ein weiterer besonders spannender Teil unseres Kurses war die Planung unserer eigenen Weltraummission zu einem Asteroiden. Wir hatten alle sehr viel Spaß an dem Projekt und hätten gerne auch mehr Zeit damit verbracht.

Alle bisherigen Weltraummissionen waren Forschungsmissionen, wir suchten uns aber ein weitaus dringenderes Ziel aus. Das Ziel der von uns geplanten Mission war es, die Erde vor einem Asteroiden, der sie in einigen Jahren treffen wird, zu schützen.

Die Mission drehte sich um den fiktiven Asteroiden Erinyes. Nach einer Tradition für gefährliche Asteroiden ist er nach Gottheiten der Unterwelt benannt. In unserem Fall sind das die Erinnyen, die griechischen Rachegöttinnen.

Der Asteroid ist etwa dreißigmal kleiner als der, der die Dinosaurier auslöschte. Träfe Erinyes die Erde, würde er trotzdem die größte Katastrophe auslösen, die die Menschheit je gesehen hat. Dies beinhaltet einen 10 Kilometer großen Krater und ein Erdbeben viermal so stark wie das von Fukushima im Jahre 2011.



Missionsplanung im Astrokurs.

Um die Erde davor zu bewahren, wollten wir wie bei der Dart-Mission der NASA vorgehen und eine Raumsonde zu einem günstigen Zeitpunkt mit dem gefährlichen Asteroiden kollidieren lassen. Das soll seine Umlaufbahn um die Sonne so verändern, dass er die Erde verfehlt und somit für sehr lange Zeit keine Gefahr mehr besteht.

Die Mission taufte wir auf den Namen *ALWA-17*. Der Name stammt von einem Nachmittag, als wir im Kurs verschiedene Objekte mit einem Apparat ähnlich einer Luftpumpe über den Sportplatz des Eckenberg-Gymnasiums schossen. Darunter befand sich unter anderem eine Alwa-Mehrwegflasche, die beinahe mehrere Kursteilnehmer über den Haufen geflogen hätte. Außerdem waren einschließlich unseres Kursmaskottchens 17 Personen an der Planung beteiligt, weshalb wir diese Zahl an den Missionsnamen anhängten.

Die Planung einer Raummission hat sehr viele Facetten, weshalb wir uns in Gruppen aufteilten, die sich alle mit einem speziellen Teilgebiet der Mission auseinandersetzten.

Zuerst ermittelte eine der Gruppen, welcher der uns gegebenen Asteroiden mit der Erde kollidieren wird, und befasste sich anschließend mit den Flugbahnen des Asteroiden sowie der Sonde und dem benötigten Manöver.

Eine weitere Gruppe setzte sich mit dem Antrieb der Sonde auseinander, hierbei verglichen

wir verschiedene Arten von Triebwerken und berechneten sowohl den benötigten Treibstoff als auch die benötigte Energie. Zudem bestimmten wir, auf welche Art wir diese Energie im All gewinnen wollten und welche Bauteile wir dafür benötigten.

Da bei solchen Missionen sehr häufig Probleme und Fehler auftreten, bestimmte die dritte Gruppe die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten dieser Probleme und fand verschiedene Sicherheitsvorkehrungen, um das Risiko zu minimieren.

Die vierte Gruppe wendete sich der Sonde selbst zu. Wir legten die Architektur der Sonde fest, suchten die benötigten Instrumente an Bord aus, aber brachten auch die für Energie und Antrieb relevanten Bauteile in der Sonde unter und erstellten dazu ein 3D-Modell.

Da die Mission hinsichtlich der zeitnahen Kollision mit Erinyes eine gewisse Dringlichkeit besaß, wies sie einige Unterschiede zu regulären Missionen auf. Aufgrund der verheerenden Folgen des Einschlags wäre die Mission im Interesse der ganzen Weltbevölkerung, weshalb wir Kosten und politische Hintergründe vernachlässigten. Obwohl wir im Falle eines Scheiterns der Mission Ersatzpläne anfertigten, verzichteten wir auf die Planung einer sekundären Mission oder auf den Start eines Raumfahrtprogramms. Außerdem war das Sammeln von Daten bei der Mission zweitrangig, weshalb wir auf bestimmte Forschungsinstrumente wie Spektrometer verzichteten.



Sonnenbeobachtung.

Besonders wichtig für das Gelingen der Planungen war neben einer klaren Aufgabenverteilung auch der Austausch zwischen den einzelnen

Gruppen, da am Ende alles aufeinander abgestimmt sein musste. So war zum Beispiel die Gruppe, die die Länge des Flugs bestimmte, in ständiger Zusammenarbeit mit der zweiten Gruppe bezüglich der benötigten Beschleunigung und dem Bedarf an Treibstoff. Der Austausch klappte sehr gut und die Gruppen arbeiteten einwandfrei zusammen. Die Aufgaben der einzelnen Gruppen und die Überschneidungen der Aufgaben waren:

### Flugbahn

- Identifizieren des gefährlichen Asteroiden
- Simulieren der Flugbahn der Sonde
- Berechnen des Manövers, sowie Weitergabe an Energie und Antrieb
- Berechnen des Sonnenabstands für die Solarpaneele, in Absprache mit Energie und Antrieb
- Berechnen der benötigten Masse und Weitergabe an Team Sonde

### Energie und Antrieb

- Energiebedarf der Nutzlast bestimmen
- Größe der Solarpaneele errechnen
- Ein Antriebssystem auswählen
- Tankgröße bestimmen
- Antrieb und Tank recherchieren und an die Sondennguppe weitergeben

### Sonde

- Nutzlast bestimmen und Instrumente recherchieren
- Form bestimmen
- Startmasse berechnen
- Sonde als 3D-Modell visualisieren

### Risiko

- Fehlerrate von Raketenstarts recherchieren und Rakete auswählen
- Mögliche Probleme nach dem Start bestimmen

- Mögliche Mitigationen oder Lösungen für Probleme finden
- Probleme im Orbit identifizieren und einen Sicherheitsabstand an das Flugbahnteam weitergeben
- Gesamtwahrscheinlichkeit für den Missionserfolg berechnen

Gerade aufgrund dieser Teamleistung schaffen wir es innerhalb von nur zwei Tagen, die Planung abzuschließen. Im Folgenden stellen wir unser Vorgehen, unsere Arbeitsweisen und unsere Ergebnisse vor.

## Missionsplanung – Flugbahn

MATTHIAS WARKEN

Wir, das Flugbahn-Team, hatten während der Missionsplanung drei Aufgaben: Die Berechnung/Simulation der Flugbahnen, sowohl der Sonde als auch des Asteroiden, die Unterstützung der anderen Teams durch das Bereitstellen von Daten und die Visualisierung der Mission.

Zur Berechnung der Flugbahnen benutzten wir `pykep`, eine von der ESA entwickelte Python-Bibliothek. Zusätzlich dazu bekamen wir eine Liste von sowohl erfundenen als auch bekannten Asteroiden. Mithilfe der Bibliothek simulierten wir dann, welche der Asteroiden aus der Liste sogenannte *Erdbahnkreuzer* sind, was bedeutet, dass ihre Apoapsis über und ihre Periapsis unter 1 AE liegt (siehe Umlaufbahnen). Um herauszufinden, welche dieser potenziell gefährlichen Asteroiden die Erde tatsächlich zeitnah treffen würden, schrieben wir einen Algorithmus, der für jeden der Asteroiden für jeden Tag der nächsten 20 Jahre die geringste Entfernung zur Erde ausrechnet. Dabei kam heraus, dass der fiktive Asteroid Erinyes, der etwa die Größe des realen Asteroiden Bennu hat (circa 500 m Durchmesser am Äquator), die Erde am 25. August 2032 treffen wird.

Nachdem wir das herausgefunden hatten, mussten wir uns darauf einigen, wie wir den Asteroiden abwehren wollen. Zur Auswahl standen:

1. Eine Sonde wie bei der Dart-Mission der NASA mit dem Asteroiden kollidieren zu lassen, um ihn abzulenken.

2. Eine Atombombendetonation auf dem Asteroiden auszulösen, um diesen in mehrere kleinere Teile zu sprengen, sodass diese alle in der Atmosphäre der Erde verglühen.
3. Ein Triebwerk auf dem Asteroiden landen zu lassen, das diesen dann langsam weit genug wegschiebt, bis er uns nicht mehr trifft.

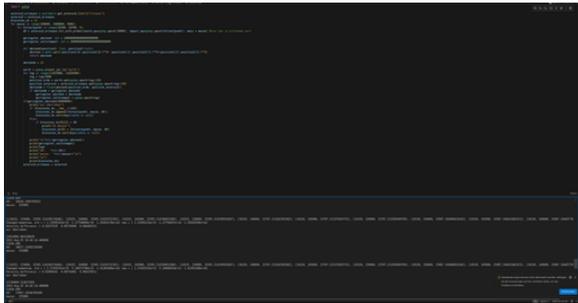
Weil nukleare Einsätze im Orbit international verboten sind und wir uns bei Möglichkeit 3 zusätzlich noch um eine gelungene Landung hätten kümmern müssen, entschieden wir uns letztendlich für Möglichkeit 1.

Um unserem Namen gerecht zu werden, fingen wir nach der Entscheidung über das Vorgehen bei der Abwehr direkt damit an, die bestmögliche Flugbahn für die Sonde auszurechnen. Als frühesten Abflugzeitpunkt einigten wir uns auf den 19. Mai 2027, weil wir dann genug Vorbereitungs- und Pufferzeit hätten. Außerdem rechnen Astronomen, und damit unsere Bibliothek, häufig mit der „*Modified Julian Date*“-*Zeitrechnung*, in der der 19. Mai netterweise als 10000 dargestellt wird, da diese Zeitrechnung die Tage nach dem 1. Januar 2000 zählt. Vorteil davon ist, dass man Schalttage vernachlässigen kann.

Dann machten wir uns daran, das eigentliche Programm zu schreiben. Um dieses zu verstehen, muss man wissen, dass die Python-Bibliothek mithilfe eines Start-, eines Endzeitpunkts und der Masse der gestarteten Sonde ausrechnen kann, wie viel Energie man für den Flug braucht und wie viel die Kollision den Asteroiden ablenken würde. Wenn die Zeitpunkte weiter auseinander liegen, muss man weniger beschleunigen, hat aber eine geringere Ablenkung. Um dort das perfekte Mittelmaß zu finden, legten wir den Startzeitpunkt wie gesagt als den 19. Mai 2027 fest, variierten die Masse der Sonde und den Kollisionszeitpunkt und ließen alle Szenarien speichern, bei denen Erinyes mit einem gewissen Sicherheitsabstand an der Erde vorbeifliegen würde.

Da wir 180 unterschiedliche Gewichte für die Sonde (von 100 t bis 1000 t in 5er-Schritten) und 120 mögliche Kollisionszeitpunkte simulieren wollten (von August 2027 bis April 2029), musste das Programm insgesamt 21 600 Szenarien simulieren und nach Energieeffizienz sor-

tieren. Nachdem wir das Programm ein paar Stunden hatten laufen lassen, war eine beinahe perfekte Flugbahn erkennbar: Mit dem Kollisionsdatum 27. Juli 2028, also 435 Tagen Flugzeit, könnten wir den Asteroiden mit nur 200 t Masse und Manövern im Umfang von 5870 m/s ausreichend ablenken, um die Erde knapp zu verfehlen.



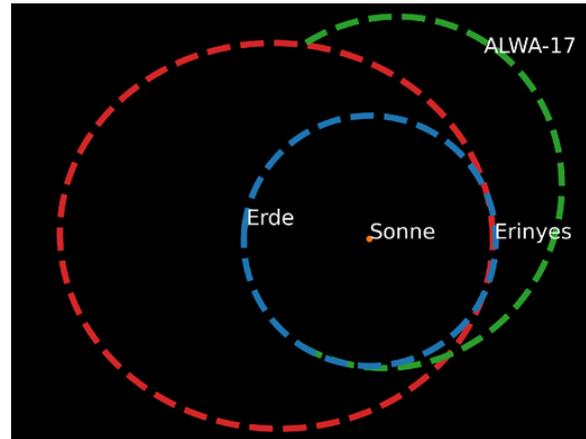
Laufendes Flugbahnen-Optimierungsprogramm.

Mithilfe dieser wichtigen Daten konnten das Energie- und das Sonden-Team so richtig durchstarten. Im Verlauf der gesamten Missionsplanung mussten wir immer mal wieder einem anderen Team Daten liefern oder etwas simulieren, um anderen Gruppen zu helfen – zum Beispiel berechneten wir den Abstand der Sonde zur Sonne, damit das Energieteam die Effizienz der Solarpaneele bestimmen konnte.

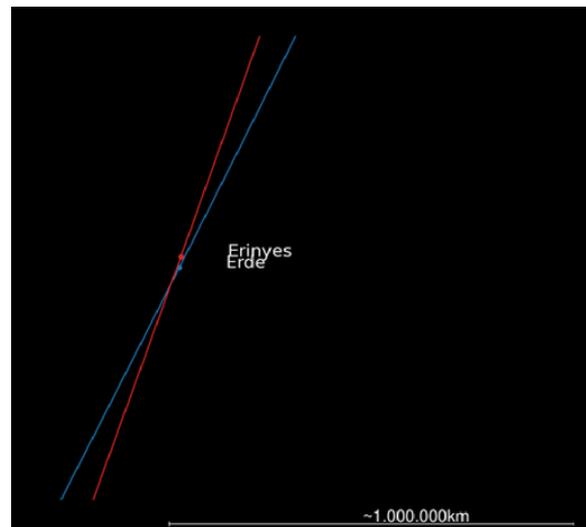
Außerdem gaben wir den Zeitraum und die Daten der Mission an das Risikoteam weiter, damit es genug Pufferzeit mit einberechnen konnte. Das Energieteam benötigte von uns die Masse und den Energieverbrauch der Sonde, um sie so zu designen, dass sie genug Treibstoff für den ganzen Weg aber trotzdem am Ende noch genug Masse übrig hat, um Erinyes ausreichend abzulenken. Das ist besonders wichtig, da selbst bei den effizientesten Sonden (siehe Dart-Mission der NASA) die Sonde immer noch aus 8% Treibstoff besteht. Und weil wir noch einen Puffer mitnehmen wollten, lag unser Treibstoffanteil sogar deutlich höher.

Unsere dritte Hauptaufgabe bestand dann in der Visualisierung des Plans. Wir wollten sowohl die Flugbahn der Sonde *ALWA-17* als auch eine Visualisierung der abgelenkten Umlaufbahn von Erinyes, bei der die Erde knapp verfehlt, für die Abschlusspräsentationen zur Verfügung haben.

Für das erste GIF, die Simulation der Flugbahn der Sonde, machten wir für den Zeitraum von zehn Tagen vor dem Abflug bis zehn Tage nach der Kollision mit dem Asteroiden aus jedem Tag einen *Frame*, also ein Bild. Auf diesen Bildern ist immer die Sonne im Zentrum und die Positionen und Umlaufbahnen der Erde, der Sonde *ALWA-17* und Erinyes zu sehen. Diese Einzelbilder mussten wir dann nur noch aneinanderreihen und als GIF speichern.



Fertige Animation der Flugbahn mit der Sonne im Zentrum. Sichtbar sind die Erde (blau), der gefährliche Asteroid Erinyes (rot) und unsere Sonde *ALWA-17* (grün).



Der fiktive Asteroid Erinyes, der in die Erde hätte einschlagen sollen, fliegt nach der Ablenkung durch unsere Sonde wenige tausend Kilometer an der Erde vorbei.

Beim zweiten GIF gibt es zusätzlich zu den Effekten aus GIF 1 noch einen Zoom, der so stark

vergrößert, dass man die Erde als Punkt mit dem Faktor 2:1 zur eigentlichen Größe in dem Maßstab sieht. Deshalb streift der Punkt des Asteroiden den Punkt der Erde in der Animation. Daran sieht man sehr gut, wie knapp der Asteroid im kosmischen Maßstab an uns vorbeifliegen würde, obwohl wir seine Bahn über 10.000 km abgelenkt haben.

Abschließend können wir alle sagen, dass wir in den zwei Tagen ein großartiges Endprodukt produziert und dabei viel lernen durften.

## Missionsplanung – Energie und Antrieb

FELIX HEINE

In der Missionsplanung sind Energie und Antrieb ein entscheidender Faktor. Soll eine Mission gelingen, braucht man einen Antrieb, der die Sonde so schnell beschleunigt, dass sie in einer angemessenen Zeit den Zielort erreicht und dabei den nötigen Ausgleich zwischen Risiko, Effizienz und auch Kosten mit sich bringt. Ebenso braucht man eine Energieversorgung, die wichtige Gerätschaften an Bord, wie Kamera, Funk oder Bordcomputer, sowie gegebenenfalls den Antrieb mit genügend Strom versorgt. Dies gilt insbesondere auch bei unserer Mission.

Für die gesamte Mission samt Planung haben wir nur acht Jahre Zeit. Die Flugzeit selbst sollte wesentlich kürzer sein und bei höchstens zwei Jahren liegen, um genügend Zeit für Notfallpläne zu haben. Viele reale Missionen fliegen ein ganzes Jahrzehnt lang und benutzen dabei *Swing-by-Manöver*, die die Schwerkraft eines Planeten nutzen, um die Geschwindigkeit der Satelliten zu erhöhen, ohne zusätzlichen Treibstoff zu verbrauchen. Diese wären für unsere Mission viel zu zeitintensiv.

Dabei müssen wir nicht nur an einem Ziel ankommen, wir müssen dieses Ziel auch noch mit einem ausreichend großen Impuls treffen, damit es ausreichend abgelenkt wird. Das sind anspruchsvolle Vorgaben, was eine Menge Arbeit für die *ALWA-17*-Mission bedeutete.

Fangen wir an mit den genauen Anforderungen: Wegen der begrenzten Zeit, die wir zur Verfügung hatten, war auch die Zeit begrenzt, die

wir zur Beschleunigung nutzen konnten. Ein effizienter Antrieb mit einem relativ schwachen Schub könnte ein ähnliches Manöver zwar fliegen, bräuchte dabei aber eine zu große Zeit, um die erforderliche Geschwindigkeit zu erreichen. Um den Zeitplan zu erfüllen, sollten wir mit einer Beschleunigungszeit von nicht über 150 Tagen auskommen.

Die gewählte Flugbahn ergibt die Menge an nötigen Geschwindigkeitsänderungen. In diesem Fall benötigten wir einen Geschwindigkeitsunterschied von 5870 m/s.

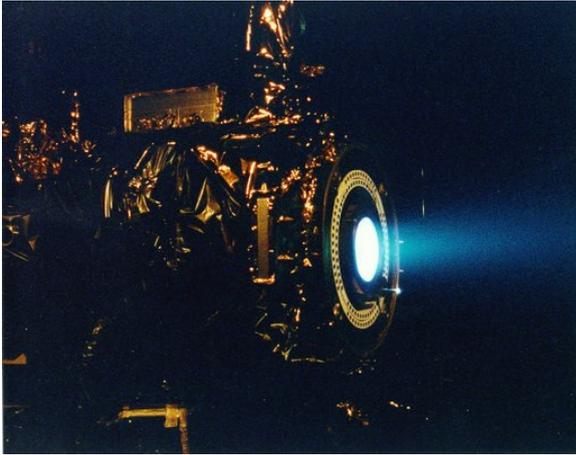
## Antrieb

Die Fortbewegung im All erweist sich als schwieriger als in der Atmosphäre. So müssen Antriebe in der Raumfahrt auf das *Rückstoßprinzip* setzen: Dies besagt, dass für jede Aktion eine gleich große entgegengesetzte Reaktion entsteht.

Angewandt auf die Raumfahrt: Der Schub, der durch den Ausstoß von Abgasen aus einer Rakete erzeugt wird, kann genutzt werden, um eine gleich große Kraft in die entgegengesetzte Richtung zu erzeugen, die unsere Sonde im Weltall vorwärts treibt. Hierbei hängt der Schub von der ausgestoßenen Masse und der Geschwindigkeit der austretenden Masse ab.

Klassische *chemische Raketenantriebe* nutzen dabei die Verbrennung von Treibstoffen, um eine große Menge an Gasen zu erzeugen, die mit hoher Geschwindigkeit ausgestoßen werden. Das bringt eine sehr hohe Beschleunigung mit sich, verbraucht aber auch viel Treibstoff.

*Ionentriebwerke* funktionieren anders. Hierbei wird ein Gas, wie zum Beispiel *Xenon*, ionisiert, wobei negativ geladene Ionen entstehen, die aus dem Gas austreten. Folgend werden die Ionen mit einem starken elektrischen Feld auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt. Diese sehr hohe Geschwindigkeit erfordert einen geringeren Ausstoß von Treibstoff. Andererseits geht diese Technologie mit einem hohen Energieverbrauch für das elektrische Feld einher und hat einen vergleichsweise geringen Schub, verbraucht dafür aber kaum Treibstoff, was in vielen Missionen einen großen Vorteil bietet.

Xenon-Iontriebwerk.<sup>10</sup>

## Energie

Wie bereits beschrieben, benötigen viele Geräte an Bord der Sonde eine Versorgung mit elektrischer Energie. Ebenso würde ein möglicher Ionenantrieb eine hohe Leistung fordern. Dafür ist es nötig, die elektrische Leistung direkt in der Sonde zu gewinnen, da sich elektrische Energie über lange Zeiträume und in großen Mengen nicht effizient speichern lässt.

So setzte man in der Raumfahrt bis jetzt vor allem auf zwei Typen, einmal Solarenergie und zum anderen Kernenergie. Zur Nutzung von Solarenergie werden Solarpaneele seitlich an der Sonde installiert, die dann zur Sonne ausgerichtet werden. Dazu ist es auch nötig zu berechnen, wie weit sich die Sonde während der Mission von der Sonne entfernt, da je nach Sonnendistanz ein Solarpaneel mehr oder weniger Leistung liefert. Diese verbrauchen viel Platz, sind allerdings auch in der aktuellen Raumfahrttechnik sehr erprobt.

Die zweite Möglichkeit wäre, ein kleines „Atomkraftwerk“ in die Sonde einzubauen.<sup>11</sup> Das ist auch schon bei einigen älteren Missionen, zum Beispiel von der Sowjetunion in den 60er bis 80er Jahren, verwendet worden. Es bietet den Vorteil eines relativ geringen Platzverbrauchs. Allerdings gibt es kaum aktuelle Modelle und so kann man auf keine getesteten Bauteile zu-

<sup>10</sup>Abbildung: NASA/JPL

<sup>11</sup>Alle heutigen Missionen, die Nuklearenergie nutzen, erzeugen Strom nur passiv aus der Zerfallswärme von radioaktivem Material. Das würde für unseren Stromverbrauch allerdings kaum ausreichen.

rückgreifen, was ein erhöhtes Risiko mit sich bringt.

## Berechnung

Nachdem wir unsere Möglichkeiten sondiert hatten, machten wir uns an die Berechnung im Einzelnen, angefangen mit den Triebwerken: Die Formel, um die benötigte Kraft der Triebwerke zu errechnen, lautet wie folgt:

$$F = \frac{dv \cdot M}{t}.$$

Dabei steht  $dv$  für die nötige Geschwindigkeitsänderung,  $M$  für die zu bewegende Masse,  $t$  für die Beschleunigungszeit in Sekunden und  $F$  für die Kraft in Newton. Für unsere Mission ergibt sich:

$$F = \frac{5870 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 310\,000 \text{ kg}}{1,296 \cdot 10^7 \text{ s}} \approx 140 \text{ N}.$$

Ein kleines chemisches Triebwerk, das auch real in Satelliten verbaut wird, hat zum Beispiel eine Masse von 3,6 Kilogramm und bietet alleine etwa 400 Newton, damit wäre also die Mission in der gegebenen Zeit zu schaffen.

Im Gegensatz dazu würde ein momentan erforschtes Modell eines Ionentriebwerks (14 Kilogramm), mit einem Energieverbrauch von sieben Kilowatt, gerade einmal 0,25 Newton bieten. Davon bräuchte man also 560 Triebwerke mit einem Gesamtverbrauch von 3920 Kilowatt, um die Mission in der gegebenen Zeit zu schaffen.

Jedoch muss man auch berechnen, wie viel Treibstoff der chemische Antrieb verbraucht. Dazu brauchen wir die *Raketengleichung*:

$$dv = v_e \cdot \ln \left( \frac{m_s}{m_f} \right).$$

Hierbei steht  $v_e$  für die Austrittsgeschwindigkeit des Gases,  $m_s$  für die Startmasse,  $m_f$  für die benötigte Endmasse und  $\ln$  ist der natürliche Logarithmus mit der Eulerschen Zahl  $e$  als Basis.

Wenn wir nun die Treibstoffmenge wissen wollen, müssen wir nach  $m_s$  umstellen:

$$m_s = e^{\frac{dv}{v_e}} \cdot m_f.$$

Bei einer typischen Ausstoßgeschwindigkeit von chemischen Antrieben und den erforderlichen Parametern für unsere Mission führt das auf:

$$m_s = e^{\frac{5870}{5000}} \cdot 300\,000 \text{ kg} \approx 970\,472 \text{ kg}.$$

Zieht man die Masse der Sonde ohne Treibstoff ( $m_e$ ) ab, kommt man so auf über 670 Tonnen Treibstoff, eine Menge, die alleine mehrere Raketenstarts erfordern würde.

Bei Ionenantrieben sähen die Zahlen eher so aus:

$$m_s = e^{\frac{5870}{200\,000}} \cdot 300\,000 \text{ kg} \approx 308\,935 \text{ kg},$$

es genügen also knapp 9 Tonnen Treibstoff. Damit können wir auch berechnen, wie groß der benötigte Tank sein müsste:

$$V = \frac{m}{\rho},$$

mit der Masse  $m$ , Dichte  $\rho$  und Volumen  $V$ . Mit der entsprechenden Dichte von Xenon würde das bedeuten:

$$V = \frac{8935 \text{ kg}}{1080 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8,27 \text{ m}^3,$$

wir benötigen also einen Tank mit einem Volumen von  $8,27 \text{ m}^3$ .

Ein Quadratmeter Solarpaneel bietet bei einer Entfernung von 1,5 AE etwa 150 Watt Leistung. Um die Triebwerke und alle anderen Geräte ausreichend zu versorgen (etwa 3920 Kilowatt für die Triebwerke und zehn Kilowatt für den Rest) benötigen wir also:

$$\frac{3930 \text{ kW}}{0,15 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = 26\,200 \text{ m}^2 \text{ Solarpaneele.}$$

## Fazit

So nutzen wir für unsere *ALWA-17*-Mission 560 Iontriebwerke mit einer Masse von insgesamt acht Tonnen. Sie verbrauchen wenig Treibstoff (9 Tonnen) und lassen uns so trotz ihres hohen Energieverbrauchs die Mission realisieren.

Für den Fall, dass schnelle Kurskorrekturen notwendig werden, kalkulieren wir Ersatztriebwerke ein. Hierfür nutzen wir vier chemische

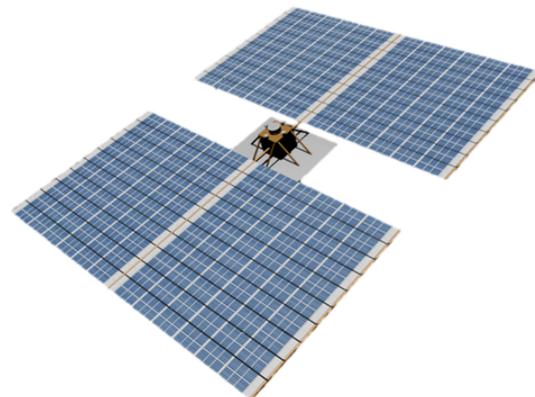
Antriebe (jeweils 400 Newton), die uns innerhalb von zwei Tagen einen Schub von 500 m/s garantieren. Der Treibstoff hierfür besteht aus 6 Tonnen Hydrazin mit Stickstofftetroxid.

Für die Energieversorgung nutzen wir eine  $26\,200 \text{ m}^2$  große Photovoltaikanlage (Größe von drei Fußballfeldern). Sie stellen ausreichend Energie für die Triebwerke und andere Gerätschaften bereit und sind häufiger getestet als Kernenergie, die zwar Platz sparen würden, aber ein höheres Risiko birgt.

## Missionsplanung – Sonde

ALEXANDER PROBST

Dieses Team befasste sich damit, wie die Sonde aussieht und welche Subsysteme eingebaut werden. Die Sonde besteht aus einem kubischen Körper, in dem die Subsysteme (z. B. Kameras; Liste mit Erklärungen siehe unten) verbaut sind.



Das 3D-Modell der Sonde, das wir mit Blender erstellt haben.

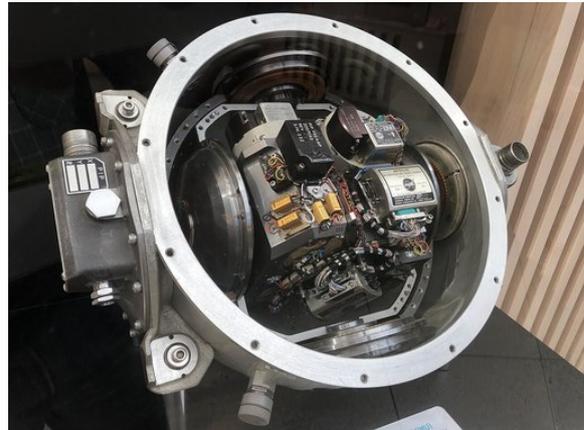
Wir mussten alle Subsysteme in Abstimmung mit dem Risiko-Team mehrmals verbauen, um bei Ausfällen Reserven zu haben (siehe Kapitel zum Risiko-Team). Von den Subsystemen recherchierten wir im Internet immer das genaue Modell. All diese Teile könnte man jetzt bei den Herstellern bestellen. Wir verwendeten nur etablierte, verfügbare Modelle, da wir es uns in unserer Mission nicht leisten konnten, noch Zeit einzuplanen, um neue Modelle zu entwickeln und zu testen. Das Risiko von Fehlern wäre dann auch größer.

Auf der Unterseite der Sonde befinden sich die 560 Ionentriebwerke, die die nötige Beschleunigung für den Einschlag erzeugen, wie das Antriebsteam berechnet hat. Am Körper sind viele kleine, einrollbare Solarpaneele befestigt, die sich nach dem Abschuss ins All ausrollen und die nötige Energie für den Antrieb und die Subsysteme bereitstellen. Ihre Fläche beträgt insgesamt 26 000 m<sup>2</sup>. Wir visualisierten die Sonde auch im 3D-Programm *Blender*, wie in der Abbildung zu sehen. Dafür mussten wir die Größe der Komponenten kennen und entscheiden, wo und wie wir sie in der Sonde am besten unterbringen.

Folgende Subsysteme sind in der Sonde verbaut:

1. Antenne: Die Antenne empfängt Steuerungssignale von der Erde und sendet alle Daten der Subsysteme zur Erde, z. B. Bilder von den Kameras.
2. Kameras: Mit den Kameras kann man die aktuelle Flugbahn der Sonde bestimmen. Außerdem werden sie den Einschlag auf den Asteroiden filmen.
3. Gyroskope: Gyroskope bestehen aus einer rotierenden Scheibe, die reagiert, wenn sich die Sonde dreht. Wenn man drei Stück davon im richtigen Winkel zueinander platziert, kann man die Ausrichtung und Rotation der Sonde dreidimensional erfassen.
4. Bordcomputer: Der Bordcomputer verarbeitet die eingehenden Signale von den Kameras, den Gyroskopen und den Triebwerken und gibt diese mithilfe der Antenne an die Erde weiter. Er empfängt auch Steuerungssignale von der Erde über die Antenne und gibt diese an die Triebwerke oder die Subsysteme weiter.
5. Reaktionsräder: Reaktionsräder sind schwere, rotierende Scheiben, die dazu benutzt werden, die Sonde zu drehen und den Motor auszurichten.
6. Kühlpaneele: Die Kühlpaneele leiten die Wärme, die beim Betrieb der Triebwerke und der elektrischen Systeme entsteht, in den Weltraum ab, damit die Sonde nicht überhitzt. Davon haben wir vier Stück mit einer Fläche von je 22 × 10 m, die bei der

Beförderung in den Weltraum noch eingeklappt sind.



Ein Beispiel für eine Kombination von Sensoren, enthalten sind u. a. ein Beschleunigungs-, und ein Rotationssensor (Gyroskop).<sup>12</sup>

Das war eine Zusammenfassung der Architektur und der Teile der Sonde, doch diese sind im Weltall verschiedenen Risiken ausgesetzt. Diese Risiken analysierte das nächste Team.

## Missionsplanung – Risiko

MAIA BUTZ

Bei Missionen in den Weltraum ist immer wichtig, im Vorfeld eine Risikobewertung durchzuführen. Das wird besonders wichtig, wenn ein Scheitern der Mission gefährliche Folgen hat, was auch bei unserer Mission *ALWA-17* der Fall wäre. Bei unserer Mission liegt die Erfolgswahrscheinlichkeit ohne Vorkehrungen und Reserven bei nur 14,5 %. Das ist eindeutig zu wenig, wenn das Leben tausender Menschen davon abhängt. Deshalb ist es wichtig, dass wir einige Maßnahmen ergreifen. Hierzu ist es notwendig, zu wissen, zu welchen Zeitpunkten der Mission es welche Risiken gibt, wie wahrscheinlich sie sind und wie man sie minimieren kann.

Das erste Problem ergibt sich schon vor dem Start: Um eine solche Sonde zu bauen, benötigt man normalerweise circa zehn Jahre, aber in drei Jahren soll die Mission *ALWA-17* schon starten. Wenn Kosten nicht relevant sind und

<sup>12</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Arnold-Reinhold, CC BY-SA 4.0)

	Risiko	Wahrscheinlichkeit	Beheben
<b>Vor dem Start</b>	Entwicklung/ Bauzeit	X (Normale Bauzeit 10 Jahre!)	bereits vorhandenes Raketenmodell & Zusammenarbeit
<b>Start</b>	Raketenausfälle & generelle Probleme	5–30 % 10 %	Ersatzraketen, keine Erstfliegenden
<b>Atmosphärenaustritt</b>	Weltraumschrott	0,1 %	ausweichen/passende Flugbahn wählen
<b>Weltraum</b>	Sonnenstürme	ca. 1 %	flexibles Startdatum, Abschirmung der Elektronik

Zusammenfassung der berücksichtigten Risikofaktoren.

alle Weltraumfahrtorganisationen zusammenarbeiten, um mehr Personal und Montagehallen zu bündeln, sollte dies jedoch realisierbar sein. Allerdings ist die Sonde zu schwer und zu groß, um mit einem aktuell vorhandenen Raketenmodell in einem Stück ins All gebracht zu werden. Für die Entwicklung eines neuen Raketenmodells fehlt jedoch die Zeit, das bedeutet, wir müssen ein bereits entwickeltes Modell verwenden, die Sonde in mehreren Schritten ins All bringen und dort zusammenbauen.



Einer der Testflüge des *Starship*.<sup>13</sup>

Raketen haben bei Erst- und Zweitflügen ihres Modells eine deutlich höhere Ausfallrate (30 %) als ab dem zehnten Flug (5 %). Ein zusätzliches Risiko bilden grundlegende Pro-

bleme, die bei Raketenflügen auftreten können, wie zum Beispiel *Underperformance*, wobei die Flugbahn selbst nach vollständigem Verbrauch des Treibstoffes zu niedrig ist, oder unzureichender Druck in der Turbopumpe des Raketenmotors. Darum bauen wir insgesamt neun Raketen, vier benötigt man und fünf dienen als Ersatz. Das Raketenmodell lassen wir mindestens zehnmal vor der Mission starten.

Wir verwenden das Raketenmodell *Starship* von *SpaceX*, da es eine große Nutzlast hat, einfach und schnell zu bauen ist und sich bereits im Ende der Testphase befindet. Zudem sind die Raketen dieses Modells wiederverwendbar, was für uns eine besondere Hilfe darstellt, da wir mehrere Starts benötigen.

Bei Austritt der Rakete aus der Erdatmosphäre ist Weltraumschrott ein weiteres Problem, jedoch liegt die Wahrscheinlichkeit einer Kollision momentan bei lediglich 0,1 %. Größeren Teilen kann man ausweichen und eine passende Flugbahn wählen. Für den Fall, dass die Elektronik der Sonde von kleineren Teilen beschädigt wird, sind Backupsysteme vorhanden.

Zusätzlich herrscht im Weltraum das Risiko von Sonnenstürmen. Dieses beträgt circa 1 %. Glücklicherweise finden momentan sehr viele Sonnenstürme statt und da die Sonne einen Elfenjahresrhythmus verfolgt, sollten in drei Jahren schon deutlich weniger Sonnenstürme vorkommen. Außerdem ist ein flexibles Startdatum hilfreich, sodass der Missionsstart auch um einige Tage verschoben werden könnte, sollten

<sup>13</sup>Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Osunpokeh, CC BY-SA 4.0)

direkt beim Start Sonnenstürme auftreten. Die Sonde selbst ist mit einer Schutzverkleidung für die Elektronik ausgestattet.

Außerdem ist wichtig, welche Ausfallrate die verbauten Teile in der Sonde jeweils haben und wie viele deshalb jeweils mitgenommen werden müssen, um möglichst sicher zu sein, dass diese funktionieren (z. B. fünf Kameras, vier Gyroskope, ...).

Bei Beachtung der kalkulierten Risiken und den getroffenen Maßnahmen ergibt sich eine Erfolgswahrscheinlichkeit der Mission *ALWA-17* von 99 %. Es kann natürlich noch weitere, uns unbekannte Risiken geben – bei realen Missionen waren häufig die Risiken relevant, an die niemand gedacht hatte.

## Exkursion – DLR

VIOLETTA STEIGER

Am 02.09.2024 fand unser Exkursionstag nach Darmstadt statt. Auf dem Programm standen das *DLR\_School\_Lab* und das Kontrollzentrum der ESA.

Als wir am *DLR\_School\_Lab* in Darmstadt ankamen, bekamen wir zuerst einen kurzen Einblick, wofür das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR) zuständig ist. Besonders überraschend war dabei, dass das DLR nicht nur für Technologien bei der Luft- und Raumfahrt verantwortlich ist, sondern auch stark bei der Entwicklung von Transportmöglichkeiten auf der Erde, zum Beispiel Zügen, Autos oder Schiffen, mitwirkt. Zusätzlich ist das DLR auch für GPS und Kartensysteme zuständig.

Nach der kurzen Einführung teilten wir uns in drei Gruppen auf, die jeweils an verschiedenen Stationen arbeiteten. Es wurde so rotiert, dass jede Gruppe zu jeder Station kam. Die Experimente wurden unter Aufsicht von Studierenden des jeweiligen Fachbereichs der TU Darmstadt durchgeführt und auch erklärt.

Passend zu unserer Missionsplanung im Kurs sollten wir an einer der Stationen eine Satellitenmission vom Kontrollzentrum aus durchspielen. Dabei wurden wir zuerst auf die verschiedenen Positionen eingeteilt. Unser Missionsziel war es, einen Satelliten so zu steuern, dass er

ein Luftbild vom Frankfurter Flughafen macht. Bevor es losging, wurden uns die Aufgaben der Positionen *SOM*, *SOE-1*, *SOE-2* und *SPACON* und das phonetische Alphabet erklärt. Das phonetische Alphabet entspricht dem lateinischen Alphabet, aber damit keine Buchstaben verwechselt werden, wurden Wörter mit den Anfangsbuchstaben des Alphabets festgelegt. Das phonetische Alphabet wird verwendet, wenn man Codes oder Befehle weitergibt, damit dabei keine falschen Befehle ausgeführt werden.

Dann ging es auch schon los. *SOM* (Spacecraft Operations Manager), der Leiter der Mission, hatte eine Aufgabenliste vor sich, auf der stand, wer welche Befehle wann ausführen muss. *SOE-1* (Spacecraft Operations Engineer 1), *SOE-2* (Spacecraft Operations Engineer 2) und *SPACON* (Spacecraft Controller) führten die Befehle aus. Dabei empfangen *SOE-1* und *SOE-2* die Daten des Satelliten und überprüften sie. *SPACON* war dafür zuständig, den Satelliten zu steuern und die Befehle an ihn zu senden. Während der Simulation sprachen wir wie in einem echten Kontrollzentrum. Aber nicht nur die Sprache, sondern auch die Umgebung war sehr realitätsnah. Am Ende bekamen wir das Luftbild des Frankfurter Flughafens als Ergebnis.



Die Kontrollraumsimulation.

Bei einer weiteren Station ging es um *Spektroskopie*. Um Spektroskopie zu verstehen, muss man wissen, dass sich Licht in Wellen im Raum ausbreitet. Jede Farbe hat eine andere Wellenlänge. Weißes Licht ist die Mischung aus Licht aller Farben des Regenbogens, das heißt vieler Wellenlängen. Dabei ist der Bereich des Lichts, der für Menschen sichtbar ist, sehr klein. Zum Beispiel können Menschen keine Infrarotstrahlung

len oder ultraviolette Strahlung sehen, das sind die Lichtbestandteile, die die nächstgrößere und die nächstkleinere Wellenlänge zu rotem beziehungsweise blauem Licht haben.

Mit *Spektroskopen* lässt sich das Licht in seine Bestandteile zerlegen. Im Inneren befindet sich dafür ein Prisma, das das einfallende Licht in seine einzelnen Farbkomponenten aufspaltet. Unsere Aufgabe war es, verschiedene Lampen durch die Spektroskope anzuschauen und dann zu bestimmen, um welches Element es sich handelt. Denn jedes Element hat sein einzigartiges *Spektrum*, durch das es sich eindeutig zuordnen lässt.



Die Spektroskopiestation.

Bei der Station zur Robotik machten wir uns zuerst klar, warum Marsroboter nicht ferngesteuert, sondern programmiert werden: Die Übertragung von Funksignalen würde aufgrund der großen Entfernung 10 bis 20 Minuten dauern und es ist deshalb sicherer, Marsroboter zu programmieren. Um unseren eigenen Marsroboter zu programmieren, simulierten wir zuerst eine Marsumgebung und programmierten dann einen *LEGO-Mindstorms*-Roboter so, dass er auf dieser nachgebildeten Marslandschaft einer weißen Linie folgt.

Dafür mussten wir zuerst herausfinden, welcher Motor welchen Anschluss hat, und uns überlegen, welcher Motor verwendet werden muss, wenn zum Beispiel der linke Sensor rot und der rechte weiß anzeigt. Wenn der eine Sensor rot anzeigt, bedeutet es, dass er sich über der Marslandschaft befindet und wenn er weiß anzeigt, heißt es, dass er über der weißen Linie ist. Dann hatten wir auch alle Informationen, die wir brauchten, um den Roboter zu programmie-

ren. Am Ende konnte man noch ein bisschen ausprobieren, bei welcher Geschwindigkeit der Roboter besonders gut an der weißen Linie entlangfährt.



Die Robotikstation.

## Exkursion – ESA

MIGUEL MÜLLER CERQUEIRA

Nach dem Aufenthalt im *DLR\_School\_Lab* machten wir uns direkt auf den 30-minütigen Fußweg zum *ESOC*, dem *European Space Operation Centre*. Dabei durften wir natürlich nicht die kurze Vesperpause und den Abstecher zu einer Eisdiele vergessen.

Angekommen vor den Toren des *ESOC* bekamen wir zuerst einen Besucherausweis, mit dem wir uns alle wie echte Astronauten fühlten, nur auf der Erde – leider ... Nach einer sehr kurzen Gepäckkontrolle folgte auch schon das Kennenlernen mit unserem Guide und einem Studenten, der bei der *ESA* sein Praktikum absolvierte. Sie begleiteten uns durch den gesamten Aufenthalt. Da unser Guide kein Deutsch sprach, war unsere Tour hauptsächlich auf Englisch, aber bei Rückfragen standen Moritz und der Student natürlich immer für uns bereit. Verwirrend wurde es eigentlich nur dann, wenn auf einmal unser Guide, der Student und Moritz anfangen, mit uns Englisch zu reden. Nach einer kurzen Begrüßung und Einführung ging es dann aber direkt schon los mit der Führung.

Die erste Station war ein Modell des Satelliten *XMM-Newton*, der 1999 ins All geschickt wurde, um Bilder vom Weltall im Röntgenstrahlenbereich aufzunehmen. Das Besondere

an den Satelliten aus dieser Zeit ist, dass sie ohne nennenswerte Rechenleistung – weniger als jedes moderne Handy – ihre Aufgaben im All erfüllen. Dieser Satellit kann nicht einmal Daten speichern, das heißt, dass er immer, wenn er eine Aufnahme macht, im Kontakt mit der Erde stehen muss, weil das Bild sonst einfach verloren ginge.

Als nächstes ging es in unserer Tour zur nächsten Weltraummission und zwar *Rosetta*. Hier erfuhren wir, dass es für jede Weltraummission eine Eins-zu-eins-Kopie auf der Erde gibt. Das dient dem Lösen von Problemen auf der Erde, bevor man es im All versucht, ein sogenanntes *Engineering Model*. Wir standen hier vor einem Engineering Model der Weltraummission *Rosetta*, welche den Lander *Philae* zu einem sonnennahen Kometen brachte, um diesen genauer zu untersuchen.

Da der Komet eine zu geringe Gravitation hatte, musste sich der Lander an dem Kometen „festhalten“. Leider fielen beide Systeme, die den Lander auf dem Kometen hätten befestigen sollen, aus ungeklärten Gründen aus. Deshalb kam der Lander auf dem Kometen auf, prallte wieder ab und sprang mehrfach auf dem Kometen auf. Als er schließlich in einer Felsspalte aufkam und dort hängen blieb, kam nicht mehr genug Sonnenlicht an die Solarpaneele, um ihn mit Strom zu versorgen. Da die Sonde aber während ihrer Runden um den Asteroiden noch Informationen zur Erde senden konnte, kennen wir die Gravitation des Asteroiden nun sehr genau, was uns zeigt, dass das Scheitern einer Mission nicht immer nur Nachteile hat.

Um mit solchen Satelliten zu kommunizieren, gibt es Antennen. Diese stehen an allen möglichen Orten auf der Welt, wie zum Beispiel auf dem Dach des Parkhauses des ESOC. Wenn wir nun einen Satelliten, der im *Low Earth Orbit* (LEO, weniger als 10 000 km über der Erdoberfläche) kreist, anfunken wollen, haben wir aber nur eine bestimmte Zeitspanne, bis er wieder am Horizont aus der Reichweite der Antenne verschwindet. Deshalb muss man die kurze Zeit effizient nutzen.

Wenn der Satellit nicht über den Zenit der Antenne geht, verkürzt sich nochmals die Zeit, die eine Antenne mit einem Satelliten kommunizie-

ren kann, auf wenige Minuten. Wenn man eine 24-Stunden-Verbindung haben möchte, müsste eine andere Antenne die Kommunikation mit dem Satelliten aufnehmen, sobald der Satellit aus der Reichweite der letzten verschwunden ist. Die einzige Ausnahme sind Satelliten im *Geostationary orbit (Geo)*, wo sie mit der Erde mitrotieren und immer über einem Punkt des Äquators stehen. Manche Antennen können einen Durchmesser von bis zu 30 Metern haben. Diese sind stärker und können schwächere Signale empfangen.

Danach ging es endlich rein in das Gebäude der ESA, wo auch schon das größte Highlight des Tages (der ganze Tag war ein Highlight) auf uns wartete: der *Mission Control Room* oder auch MCR. Das ist der Raum, den man sieht, wenn man einen Raketenstart im Internet mitverfolgt. Hier sitzen während eines Missionsstarts die SOMs, SOEs und SPACONS (siehe Abschnitt „Exkursion – DLR“). Aber auch die Profis trainieren – so wie wir – mit Simulationen, um sich an den Druck zu gewöhnen und zu lernen, in jeder Situation den Überblick zu behalten. Denn um hier zu arbeiten, muss man sich nicht nur sehr gut auskennen, sondern auch die richtigen Softskills haben.

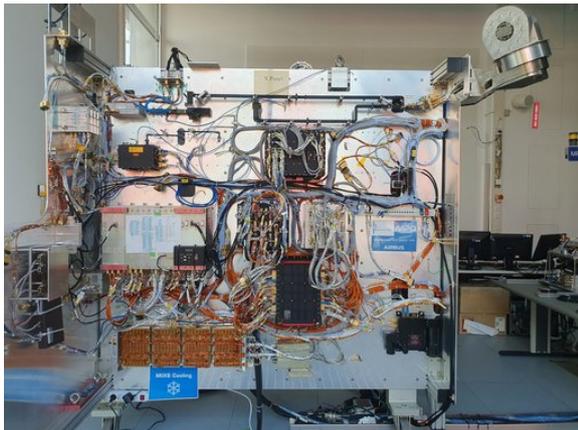


Mission Control Room ESOC Darmstadt  
(eigenes Foto).

Nach einem kurzen eiskalten Wasser im Vorraum des MCR ging es auch schon direkt weiter mit unserer Führung. Da eine Mission/Satelliten nicht nur beim Start und in den ersten Tagen danach kontrolliert werden müssen, sondern auch im weiteren Verlauf ihres Aufenthalts im All, gibt es die *Dedicated Control Rooms*.

Wenn nun also der Start und die zahlreichen Checks aus dem MCR erfolgreich durchgeführt wurden, wird die Kontrolle und Überwachung in einen Dedicated Control Room verlegt. In diesen DCRs wird nun auf Monitoren die ganze Zeit gecheckt und kontrolliert, ob alles in Ordnung ist. Von diesen Dedicated Control Rooms gibt es mehrere, wobei ein Raum meistens einen bestimmten Bereich von Missionen abdeckt.

Beim folgenden Bewundern von weiteren Engineering Models durch die Fenster wurde es nicht weniger spannend. Die Vorstellung, dass man ein 1:1-Modell von der Mission, die gerade zum Jupiter unterwegs ist (*Juice*) oder um den Merkur kreist (*BepiColombo*), vor seinen Augen hat, ist einfach surreal. Und das alles durch eine Art Schaufenster wie bei einem Laden zu beobachten, ist einfach ein cooles Gefühl.



Engineering Model von *BepiColombo*  
(eigenes Foto).

Auf dem Weg zum letzten Punkt liefen wir noch an einem Modell der Ariane 5 vorbei und Moritz, der selbst mal bei der ESA gearbeitet hatte und immer noch leidenschaftlich dabei ist, verlor ein paar Worte darüber. Zuletzt erfuhren wir noch ein paar Kleinigkeiten über die ISS, während wir das von der Decke hängende Modell beobachteten.

Ein bisschen wehmütig, dass der ESA-Shop für heute schon geschlossen war, mussten wir uns leider auf den Rückweg machen. Am Ausgang mussten wir unsere Umhängeschilder wieder abgeben. Auf Rückfrage von Till erlaubte uns der Sicherheitsmann zum Glück, etwas mitzunehmen, wenn auch nicht die ganz große Technik,

so doch die Kärtchen, auf denen unser Name als ESA-Visitor steht. Ein schönes Andenken an unseren gemeinsamen Ausflug!

Als wir alle draußen standen, kam der Bus auch schon – perfektes Timing! Da jetzt alle ein bisschen erschöpft von den vielen Informationen und dem frühen Aufstehen waren, aber überglücklich über die Erfahrung beim ESOC, fuhren wir auf direktem Weg zurück nach Adelsheim, wo schon das Abendessen auf uns wartete.

## Das war unser Astrokurs

KATHARINA JÖRG, ADA KAUTZLEBEN

Für viele Menschen ist das Universum unvorstellbar groß und oftmals unbegreiflich. Auch uns ging es am Anfang so, dass wir uns die Dimensionen kaum vorstellen konnten, in denen wir uns bewegen. Doch Moritz und Katharina zeigten uns mit vielen praktischen Aufgaben, dass das Universum gar nicht so unnahbar ist, wie es zu sein scheint.

Oft hieß es dann: raus aus unserem aussichtsreichen Klassenzimmer, runter zum Sportplatz! Dort legten wir zum Beispiel gemeinsam das Sonnensystem als Modell aus Nüssen, Samen und Früchten nach und kamen trotz des sehr großen Geländes nur bis zum Mars.

Deshalb nahmen wir uns Teleskope zu Hilfe, um auch die weiter entfernten Planeten und Sterne zu beobachten. An dem Abend spürten wir alle unsere Begeisterung für den Weltraum und so kamen uns die Sterne nicht mehr ganz so unvorstellbar und groß vor. Diese Erfahrung wollten wir auch mit den anderen Kursen teilen und so zeigten wir ihnen beim Grillabend den Sternhimmel.

Oft von uns besucht wurde das Volleyballfeld, wo wir Ellipsen zeichneten oder berechneten, wie viele Mikrometeoriten jährlich auf das Volleyballfeld fallen. Direkt daneben starteten wir unsere legendären Wasserraketen, wo wir verschiedene Mischverhältnisse und Startwinkel ausprobieren. Zusätzlich zu den vorgefertigten Plastikraketen schossen wir auch spaßeshalber eine Mehrwegflaschen-Rakete der Marke Alwa in die Luft. Zwar war die Flugbahn der Alwa-

Rakete nicht ganz so präzise, da es gut vor- kommen konnte, dass sie Loopings oder mitten in die Menge flog, dennoch nannten wir unsere Mission *ALWA-17*. Wir konnten es ja nur besser machen.



Der Astrokurs beim ESOC.

Die Stimmung im gemütlichen Kursraum war jedenfalls immer bestens, manche schlürften selbst noch bei 30 °C heißen Tee und Tills Playlist lief in Dauerschleife. Auch wenn wir beim Sportfest nicht ganz so erfolgreich waren, zeigten wir dann bei der Missionsplanung deutlich, dass wir gut als Team zusammenarbeiten können und es als Astro-Kurs schaffen, die Welt zu retten.

Von Anfang an begleitete uns ein Känguru namens James, das liebevoll umsorgt und überallhin in einer eigenen Beuteltasche umhergetragen wurde. Es soll uns Astros auch in Zukunft verbinden, indem es zwischen uns hin- und herreisen wird. Wir hoffen, dass es viele Sprünge zwischen uns schafft!

## Kurszitate

Moritz: Zwischen 1500 und 5000 – also 1000.

Alle: Oh James!

Nicolas: Wann wandern wir zur ISS?

Katharina: Lasst keine Planeten zurück!

Jakob im Sand, Jordan 4: Wollt ihr Fixpunkte sein?

Oskar: Bin ich übergewichtig, wenn ich den Merkur esse?

Moritz: Hier haben wir eine Liste von Planeten, aber ich will nicht alle Planeten aufschreiben, deshalb nenne ich die Liste „gute Planeten“.

Moritz: Wenn die Asteroiden kommen, müssen wir nur schnell genug einen Tunnel graben.

Oskar: Okay, ich korrigiere mich auf 48.000 t Schwungräder.

Till: Wenn man schnell ist, ist man schnell.

Oskar: Die Stimmung ist gekippt.

Miguel: Schreibt man dich Herzog, so wie König?

Till: Ich habe Entenhaut.

Violetta: Hier sehen Sie ein explodierendes Starship – das war die Aufgabe der Risikogruppe.

Matthias: Ey, wir gehen während der Nacht zur Sonne um Helium anzuzapfen.

Miguel: Ich hatte mal sechs. – Du hattest mal Sex?

Violetta: Ich bin NICHT der Technik-Typ!

Maia: Ich habe kein Plan von irgendwas.

Jana: (Taste: „Alt Gr“) Ich dachte immer, das heißt alt-griechisch.

Jana: Oha, ich kann ja scrollen!

Jakob: buchfreund2020 (Matthias)

Moritz: Für weitere Fragen fragen sie ihren Arzt oder Astronomen.

Till/Oskar: Die Stimmung ist im Keller.

## Schlachtrufe beim Sportfest

Houston – They have a problem!

Astros – heben ab!

Astro – wir kicken euch aus dem Orbit!



## Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 21. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt erst möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Dieter Schwarz Stiftung, die Vector Stiftung, die Hopp Foundation for Computer Literacy & Informatics und den Förderverein der Science Academy unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

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

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Leiterin des Bereichs Akademien Frau Dr. Ulrike Leikhof, der Referentin für die Deutschen JuniorAkademien und die Deutschen SchülerAkademien Dr. Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

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

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Oberstudiendirektorin Dr. Andrea Merger, Leiterin des Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg, und Herrn Oberstudiendirektor Stefan Ade, Leiter des Schwetzingen Hebel-Gymnasiums, wo wir bei vielfältiger Gelegenheit zu Gast sein durften.

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

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

## Bildnachweis

Seite 9, Abbildung Asteroid (Ausschnitt des Originalbildes):

NASA, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00135>  
NASA/JPL

Seite 9, Abbildung Meteor:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteor,\\_8.5.2016.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteor,_8.5.2016.jpg)  
Wikimedia-User Michael Eberth  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 9, Abbildung Meteorit Knyahinya:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steinmeteoriten\\_NHM\\_Wien.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steinmeteoriten_NHM_Wien.JPG)  
Wikimedia-User Dr. Bernd Gross  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 12, Abbildung Kirkwood Gaps:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AsteroidIncAu.png>  
Wikimedia-User Dreg743, Piotr Deuar  
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 12, Abbildung Mikrometeoriten unter dem Lichtmikroskop:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light\\_microscope\\_images\\_of\\_stony\\_cosmic\\_spherules.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_microscope_images_of_stony_cosmic_spherules.png)  
Wikimedia-User Shaw Street  
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 13, Abbildung Genese von Mikrometeoriten:

urbane Mikrometeorite, <https://www.micrometeorites.org/einfuehrung>  
Dr. Thilo Hasse, mit freundlicher Genehmigung

Seite 14, Abbildung Azimutsystem:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HorSys.svg>  
Wikimedia-User S. Wetzel  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 15, Abbildung Äquatorsystem:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial\\_coordinates.svg?lang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg?lang=de)  
Wikimedia-User Cmglee  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 17, Abbildung Funktion des großen Wagens als Polarsternzeiger:

Wikimedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:PolarsternFinden.svg>  
Wikimedianutzer Flups

Der Urheber erteilte ein unentgeltliches, bedingungsloses Nutzungsrecht für jedermann ohne zeitliche, räumliche und inhaltliche Beschränkung (gemeinfrei-artige Nutzungslizenz).

Seite 23, Abbildung Ionentriebwerk:

NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia04247-deep-space-1s-ion-engine>  
NASA/JPL

Seite 25, Abbildung Messeinheit:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo\\_IMU\\_at\\_Draper\\_Hack\\_the\\_Moon\\_exhibit.agr.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_IMU_at_Draper_Hack_the_Moon_exhibit.agr.jpg)  
Wikimedia-User ArnoldReinhold  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 26, Abbildung Testflug Starship:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StarshipLaunch\\_\(crop\\_2-3\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StarshipLaunch_(crop_2-3).jpg)  
Wikimedianutzer Osunpokeh  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 33, Kursbild:

Foto des Literatur/Philosophie-Kurses  
Isabella Flick

- Seite 34, Utopiebegriff:  
Darstellung der Utopiebegriffe  
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 35, Thomas Morus:  
Bildnis des Thomas Morus, UB Leipzig  
openverse, <https://openverse.org/image/a00ea616-6192-4377-91c4-60710389e7ff>  
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 36, Hermeneutische Spirale:  
Darstellung der Hermeneutik als Methode  
Laura Treptow
- Seite 37, Grundkonzept des Kursaufbaus:  
Schaubild der grundlegenden Überlegungen zum Kursaufbau, angelehnt an ein Schaubild aus: Susann Vollert:  
Utopien – nicht hier, nicht jetzt, nicht möglich?, Beitrag 33 aus: RAAbits Ethik/Philosophie Nr. 37, Raabe  
Verlag, Dezember 2013.
- Seite 38, Kursarbeit:  
Henriette Neuschwander
- Seite 39, Portrait von Hobbes, Künstler John Michael Wright, ca. 1670  
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thomas\\_Hobbes\\_by\\_John\\_Michael\\_Wright.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thomas_Hobbes_by_John_Michael_Wright.jpg)  
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 41, George Orwell (1940)  
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:George\\_Orwell,\\_c.\\_1940\\_\(41928180381\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:George_Orwell,_c._1940_(41928180381).jpg)  
Cassowary Colorizations  
CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>)
- Seite 42, Vereinfachte Darstellung des idealen Staatsaufbaus nach Platons Idee des Philosophenkönigs  
Antonia Schneider
- Seite 42, Platon:  
Ausschnitt aus dem Fresko „Philosophenschule von Athen“, Künstler Raffael, ca 1510  
Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Platon.png>  
Wikimedia-User RaphaelQS  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 43, Immanuel Kant:  
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant\\_gemaelde\\_3.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg)  
Johann Gottlieb Becker, 1768  
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 45, Bildnis des Gotthold Ephraim Lessing, UB Leipzig  
openverse, <https://openverse.org/image/c311d14c-7e57-4b62-83b1-c0eb5bf45350>  
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 45, Die Ebenen der Ringparabel:  
Schaubild der Text- und Bedeutungsebene von Lessings Ringparabel in seinem Werk „Nathan der Weise“  
Letitia Bindert
- Seite 46, Hans Jonas an der Universität St. Gallen (1983):  
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans\\_Jonas\\_an\\_der\\_Universität\\_St.\\_Gallen\\_\(1983\)\\_H\\_SGH\\_022-001945.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Jonas_an_der_Universität_St._Gallen_(1983)_H_SGH_022-001945.jpg)  
Universitätsarchiv St.Gallen, Regina Kühne, HSGH 022/001945  
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 47, KI-generierte virtuelle Welt:  
Beispielhafte Darstellung einer virtuellen Utopie, angelehnt an Beschreibungen aus dem Buch „Cryptos“ von  
Ursula Poznanski  
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 48, Der voll digitalisierte Mensch:  
Beispielhafte Darstellung eines „gläsernen“ Menschen in einer voll digitalisierten Welt  
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 49, Exkursion:  
Foto des Kurses bei der „experimenta“ in Heilbronn  
Nadia Serotek

Seite 50, Spaß beim Planendreihen:

Kursteilnehmer zwischen Arbeit und Vergnügen  
Tobias Flick

Seite 52, Design des Kursshirts:

Gemeinsam im Kurs erstelltes Design für das Kurs-T-Shirt  
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet

Seite 111, Abbildung Ernährungspyramide:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plakat\\_Ern%C3%A4hrungspyramide\\_7Stufen\\_ohne\\_Rand\\_cutted.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plakat_Ern%C3%A4hrungspyramide_7Stufen_ohne_Rand_cutted.png)

Wikimedia-User Magnus Manske

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>) Seite 119, Abbildung Temperaturverlauf in der Atmosphäre:

[www.eskp.de/en/pollutants/forschungsthema-atmosphaere-935771/#images-1](http://www.eskp.de/en/pollutants/forschungsthema-atmosphaere-935771/#images-1)

Wissensplattform eskp.de

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

Seite 125, Abbildung Schematischer Aufbau der Erdatmosphäre:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosphäre\\_Stufen.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosphäre_Stufen.svg)

Niko Lang, Wikimedia-User Ladyt

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

Seite 126, Abbildung Lichtspektrum:

Wikipedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Spektrum.svg>

Matthias Matt

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

Seite 126, Abbildung Streuung des Sonnenlichts:

<https://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/himmelsblau-und-abendrot>

LEIFIphysik – mit freundlicher Genehmigung

Seite 133, Abbildung: Vergleich mit Daten anderer Sonden

Dr. Tobias Kerzenmacher, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung am KIT (Karlsruhe Institute of Technology), unter Verwendung der Daten von:

<https://doi.org/10.24381/cds.6860a573>

<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>

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>