

(Direkter) Blick auf fremde Welten

In Bezug auf den Beitrag „Planet um Alpha Centauri A entdeckt“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 11/2025, Rubrik: Nachrichten, S. 10, WIS-ID: 1571302, Zielgruppe: Mittelstufe

Talha Coktasar

Weit entfernte Exoplaneten sind im hellen Licht ihrer Sterne selbst mit leistungsstarken Teleskopen kaum zu erkennen. Die meisten bisher bekannten Welten wurden deshalb nur indirekt nachgewiesen. Dank technologischer Fortschritte und geeigneter Methoden zur Abschirmung des Sternenlichts können inzwischen immer häufiger Exoplaneten direkt abgebildet werden. Dieser WIS-Beitrag vermittelt Grundlagen und Herausforderungen der direkten Beobachtung von Exoplaneten und greift dabei auf bekannte Phänomene aus dem Physikunterricht zurück. Als Lernpfad konzipiert, wird das Material von einer fortlaufenden Geschichte begleitet, in der Versuche und Analogien den Weg zu einem (direkten) Blick auf fremde Welten bereiten.

| Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag | | |
|-------------------------------------|--|--|
| Astronomie | Planeten, Sterne, Geschichte der Astronomie, Astropraxis | Exoplanet , Direkte Beobachtung , Helligkeit , Temperatur , Habitable Zone , Koronograph , Adaptive Optik , Sonnenfinsternis |
| Physik | Optik, Wellenoptik, Thermodynamik | Strahlenoptik , Wellenoptik , Lichtspektrum , Schwarzer Körper , Farbzerlegung |
| Fächer-verknüpfung | Astro-Geografie Astro-Kunst Astro-Musik | Atmosphäre Künstlerische Darstellungen |
| Lehre allgemein | Kompetenzen Unterrichtsmittel Lehr-/Sozialformen | Fachwissen, Recherche , Kommunikation Arbeitsblätter , Versuche , Aufgaben , Bilder , Lesetexte , Spiele Lernpfad, Stationenarbeit |



Abb. 1: Experiment zum Prinzip eines Koronographen © Talha Coktasar

Überblick

30 Jahre ist die Entdeckung des ersten Exoplaneten um einen sonnenähnlichen Stern nun her. Seitdem wurden über 6000 Exoplaneten entdeckt. Obwohl davon ausgegangen wird, dass es in der Milchstraße zahlreiche Planeten gibt, bleibt ihre Entdeckung – sowohl von der Erde aus als auch aus dem Weltraum – eine Herausforderung. Große Distanzen und helle Heimatsterne erschweren die Suche enorm. Die meisten dieser Planeten wurden deshalb nur indirekt nachgewiesen, beispielsweise über die Radialgeschwindigkeits- (19 %) oder Transitmethode (74 %). Dagegen konnten nur 1,4 % der bisher entdeckten Exoplaneten direkt beobachtet werden. Das liegt vor allem daran, dass sie Sterne umkreisen, die um ein Vielfaches heller sind als sie selbst. Mit sogenannten Koronographen kann jenes Sternenlicht blockiert und so die Planeten sichtbar gemacht werden. Bei erdgebundenen Beobachtungen kommt zusätzlich der störende Einfluss der Atmosphäre hinzu, die aber durch den Einsatz adaptiver Optik minimiert werden kann.

In diesem WIS-Beitrag lernen Schülerinnen und Schüler die Grundlagen und Herausforderungen der direkten Beobachtung von Exoplaneten kennen. Dafür wurde ein Lernpfad konzipiert, in dem Arbeitsblätter durch aufeinander aufbauende Aufgaben, Schaubilder und Versuche führen. Für einen roten Faden und anschauliche Analogien sorgt eine begleitende Geschichte um den Jungen Elias, der ein kleines Alien-Baby findet und mit ihm gemeinsam nach dessen Heimatplaneten sucht.

Das Material ist sowohl in seinem Stil als auch in der didaktischen Reduktion auf die Mittelstufe ausgerichtet. Für das Verständnis ist es hilfreich, wenn die Schülerinnen und Schüler bereits mit den Grundlagen der Optik aus dem Physikunterricht vertraut sind.

Hinweise zu den Arbeitsblättern

Die Arbeitsblätter sind im gleichen Stil aufgebaut: Ein Abschnitt der Geschichte führt in das jeweilige Thema ein, darauf aufbauend folgen Aufgaben, Schaubilder oder Versuche.

Im Folgenden werden zu den einzelnen Arbeitsblättern inhaltliche und didaktische Hinweise gegeben, bei denen auch mögliche Alternativen aufgezeigt werden.

Tab. 1: Überblick über die einzelnen Arbeitsblätter

| | | Aufgaben | Versuche | Aktivitäten |
|-------|---------------------|--------------------|--|-------------|
| I. | Direkte Beobachtung | I.1, I.2, I.3 | - | - |
| II. | Kandidaten | II.1 | Leuchten Planeten? | - |
| III. | Helligkeit | III.1, III.2 | - | - |
| IV. | Koronograph | IV.1, IV.2 | Prinzip eines Koronographen | - |
| V. | Atmosphäre | V.1, V.2, V.3, V.4 | „Twinkle, twinkle, little star!“, „Twinkle, twinkle, little planet?“ | - |
| VI. | Adaptive Optik | VI.1 | - | - |
| VII. | Ausblick | - | - | - |
| VIII. | Exoplanet Triplets | - | - | Spiel |

Hinweise zu den Arbeitsblättern „I. Direkte Beobachtung“

Im ersten Arbeitsblatt werden die Schülerinnen und Schüler sowohl in die Handlung als auch in das Thema eingeführt. Dabei wird ein kreativer Ansatz verfolgt, bei der die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellung einer fremden Welt zeichnerisch festhalten. Daraufhin folgt eine vermeintliche Überprüfung mit populärwissenschaftlichen Abbildungen, bei der sich jedoch herausstellt, dass es sich nicht um echte Aufnahmen, sondern um künstlerische Darstellungen handelt. Diese Sensibilisierung fördert einen reflektierten Umgang mit (populär)wissenschaftlichen Artikeln und schärft das Bewusstsein dafür, wie wissenschaftliche Erkenntnisse kommuniziert und visualisiert werden. Die Geschichte regt nicht nur den Protagonisten, sondern auch die Schülerinnen und Schüler zu einer eigenen Recherche an. Durch eine selbstständige Begriffsschließung bereiten sie sich auf die folgenden Arbeitsblätter vor.

Hinweise zum Arbeitsblatt „II. Kandidaten“

Das Arbeitsblatt „II. Kandidaten“ soll die Leuchteigenschaften möglicher Kandidaten bzw. bereits direkt beobachteter Exoplaneten herausarbeiten. Hierzu ist ein Versuch angedacht, bei der mit einer Beugungsbrille das Lichtspektrum einer Glühbirne bei unterschiedlichen Helligkeitsstufen untersucht wird (vgl. Abb. 3). Zwar werden Beugung und Interferenz erst in der Kursstufe behandelt, doch die Farbzerlegung mit einem Prisma sollte bereits aus dem Physikunterricht bekannt sein. Ergänzend kann mit einer Wärmebildkamera bzw. einem Thermometer gearbeitet werden, um einen Bezug zwischen Temperatur, Strahlung und Helligkeit der Glühbirne herzustellen. Letzteres würde an den letzten Aufgabenteil anknüpfen, in dem ein Zusammenhang zur Schwarzkörperstrahlung hergestellt wird.

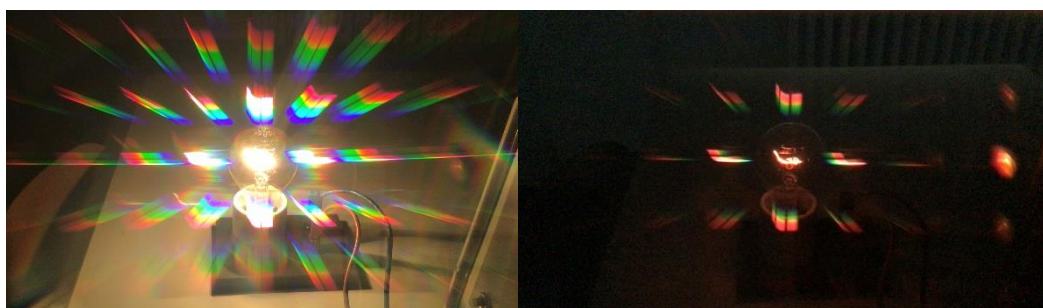


Abb. 3: Versuch zum Arbeitsblatt „II. Kandidaten“ © Talha Coktasar

Hinweise zum Arbeitsblatt „III. Helligkeit“

In diesem Arbeitsblatt sollen die Schülerinnen und Schüler ein Gefühl für unterschiedliche Helligkeiten entwickeln, indem sie bekannte Lichtquellen aus dem Alltag miteinander vergleichen. Dadurch lassen sich die enormen Helligkeitsunterschiede zwischen einem potenziellen Exoplaneten und seinem Heimatstern besser einordnen. Außerdem erfolgt an dieser Stelle ein erster direkter Bezug zum Beitrag „Planet um Alpha Centauri A entdeckt“ in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ (11/2025). Als Exkurs bieten sich das invers-quadratische Abstandsgesetz oder das Thema Auflösungsvermögen an, wobei beide Inhalte eher der Oberstufe zuzuordnen sind.

Hinweise zu den Arbeitsblättern „IV. Koronograph“

Das vierte Arbeitsblatt bildet einen zentralen Bestandteil des Lernpfads, da hier das Prinzip der Abschirmung des Sternenlichts mithilfe eines Koronographen erarbeitet wird. Sowohl die Geschichte als auch die Aufgaben orientieren sich an der historischen Entwicklung, die auf die Beobachtung der Sonnenkorona bei Sonnenfinsternissen zurückgeht. Finsternisse sind den Schülerinnen und Schülern sowohl aus dem Alltag als auch aus dem Physikunterricht bekannt und bieten einen anschaulichen Einstieg in die Thematik. Um das Prinzip eines Koronographen selbst erfahrbar zu machen, ist ein Versuch vorgesehen, bei dem das Licht einer Glühbirne (hier: Sternenlicht) durch eine Blende verdeckt wird, sodass die winzigen Punkte (hier: Exoplaneten) auf einer präparierten Schablone um den „Stern“ sichtbar werden (vgl. Abb. 4). Die Verwendung einer roten Glühbirne hat rein didaktische Gründe: In „II. Kandidaten“ wurde erarbeitet, dass (junge) Planeten selbst glühen und vor allem im Infrarotbereich leuchten. Bilder von Exoplaneten können im sichtbaren Wellenlängenbereich nicht aufgenommen werden, da sie dort sehr schwach leuchten und kein eigenes Licht aussenden, sondern lediglich Wärmestrahlung. Deshalb sind Instrumente zur direkten Beobachtung speziell für diesen Wellenlängenbereich ausgelegt. Der Versuchsaufbau lässt sich bei Bedarf erweitern, etwa durch den Einsatz von Linsen, um dem ursprünglichen Aufbau nach Bernard Lyot näherzukommen.



Abb. 4: Versuch zum Prinzip eines Koronographen © Talha Coktasar

Hinweise zu den Arbeitsblättern „V. Atmosphäre“

Das fünfte Arbeitsblatt thematisiert den Einfluss der Atmosphäre auf die Beobachtung von Sternen und Planeten. Die Geschichte eröffnet dabei auf zwei Ebenen den Zugang zu den folgenden Versuchen: Zum einen verweisen die beschriebenen Lichtreflexionen auf das Funkeln der Sterne und zum anderen deutet das Wiegenlied „Twinkle, twinkle, little star“ darauf hin. In den Versuchen wird dieses Phänomen experimentell nachvollzogen: Punktförmige Lichtquellen bzw. schmale Lichtbündel werden durch Luftunruhen stärker gestört und „funkeln“ beim Auftreffen auf dem Schirm, während breitere Lichtbündel nahezu ungestört den Schirm erreichen. Simuliert wird dieser Effekt mithilfe eines Behälters mit kochendem Wasser, dessen aufsteigende warme Luft die Bedingungen der Erdatmosphäre nachbildet. Alternativ können aber auch andere Aufbauten genutzt werden, etwa ein Wasserbehälter, durch den das Lichtbündel verläuft, oder eine Kochplatte, über der das Licht geführt wird. Für den zweiten Versuch muss – wie zuvor erwähnt – das Laserlicht verbreitert werden. Hierzu bietet sich ein Strahlaufweiter nach Galilei an, der aus einer konkaven und einer konvexen Linse besteht (vgl. Abb. 5). Je nach Ausstattung und Sicherheitsaspekten kann entschieden werden, ob die Versuche von den Schülerinnen und Schülern selbst durchgeführt oder als Demonstrationsexperimente gezeigt werden. Auch die Wahl der Lichtquelle kann variieren. Abschließend sollen die Schülerinnen und Schüler mithilfe der Beobachtungen und eines Schaubilds den Einfluss der Atmosphäre erarbeiten.

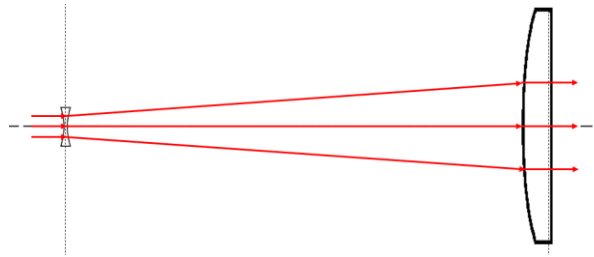


Abb. 5: Strahlaufweiter nach Galilei

Hinweise zu den Arbeitsblättern „VI. Adaptive Optik“

In diesem Arbeitsblatt werden die Grundprinzipien der adaptiven Optik thematisiert. Ausgehend von der Erkenntnis, dass das Licht ferner Planeten bei der direkten Beobachtung durch die Erdatmosphäre entscheidend beeinflusst wird, sucht Elias in der Geschichte Antworten bei seinem Opa – einem Wissenschaftler der Exoplanetenforschung. Diese Figur ist bereits aus dem WIS-Beitrag „Planet X – ein Ort für Leben?“ (11/2023) bekannt, wo er nach lebensfreundlichen Planeten sucht. In der Geschichte wird zudem eine Dusch-Analogie aufgegriffen, die in der anschließenden Aufgabe passend eingeordnet werden soll. Zur Bearbeitung der Aufgabe soll auch ein Schaubild hinzugezogen werden, bei dem das Funktionsprinzip einer adaptiven Optik vereinfacht dargestellt wird. Auf die Erwähnung des Kontrollsystems bei einer adaptiven Optik wurde bewusst verzichtet, da der Schwerpunkt für die Zielgruppe auf dem Verständnis der Bildentstehung liegt.

Hinweise zum Arbeitsblatt „VII. Ausblick“

Das siebte Arbeitsblatt umfasst drei inhaltlich unterschiedliche Schwerpunkte. Zunächst wird erneut ein Bezug zum SuW-Beitrag „Planet um Alpha Centauri A entdeckt“ hergestellt, auf den sich dieser WIS-Beitrag bezieht. Darin wird die direkte Beobachtung des Kandidaten vorgestellt, die die Schülerinnen und Schüler nun einordnen und besser verstehen können. Im zweiten Teil wird das alternative „starshade“-Projekt zur Abschirmung des Sternenlichts vorgestellt. Als ergänzendes Material eignet sich hierzu die Anleitung „Space Origami – Make Your Own Starshade“ der NASA (<https://www.jpl.nasa.gov/edu/resources/project/space-origami-make-your-own-starshade/> ; Zugriff: 04.10.2025). Im abschließenden Abschnitt wird aufgegriffen, dass mithilfe direkter Beobachtungen auch die Atmosphären von Exoplaneten untersucht und nach Lebensspuren gesucht werden können – ganz so, wie Elias und das Alien-Baby nach dem Heimatplaneten suchen.

Hinweise zu den Arbeitsblättern „VIII. Exoplanet Triplets“

Zum Abschluss des Lernpfads schließt sich sowohl erzählerisch als auch didaktisch der Kreis: Der Heimatplanet des Alien-Babys bleibt zwar unentdeckt, doch die Suche geht weiter. In dem Memory-Spiel „Exoplanet Triplets“ lernen die Schülerinnen und Schüler weitere direkt beobachtete Exoplaneten kennen und ordnen sie ihren künstlerischen Darstellungen sowie charakteristischen Merkmalen zu.



Arbeitsblätter

(Direkter) Blick auf fremde Welten

I. Direkte Beobachtung (1/3)

Ob Mars, Jupiter oder Saturn – Elias beobachtet liebend gerne den Nachthimmel. Eines Tages bemerkt er ein glühendes Objekt, das auf die Erde abstürzt. Völlig überrascht rennt er zur Absturzstelle und findet dort eine Minikapsel vor. Die Kapsel scheint nicht leer zu sein. Ein für ihn unbekanntes grünes Lebewesen schaut Elias ebenso überrascht an. Es scheint sich um ein Baby zu handeln. Elias beschließt ihm zu helfen. Er nimmt es heimlich mit nach Hause. Gemeinsam versuchen sie herauszufinden, woher es kommt – ganz bestimmt nicht von hier!



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Aufgabe I.1

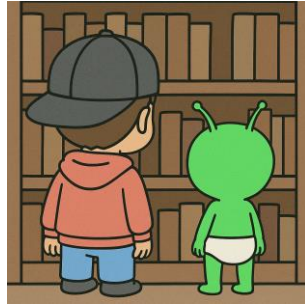
Elias versucht herauszufinden, wie wohl der Heimatplanet des Baby-Aliens aussieht. Dabei schaut das Baby aufmerksam zu. Zeichne einen Planeten, von dem es stammen könnte.



(Direkter) Blick auf fremde Welten

I. Direkte Beobachtung (2/3)

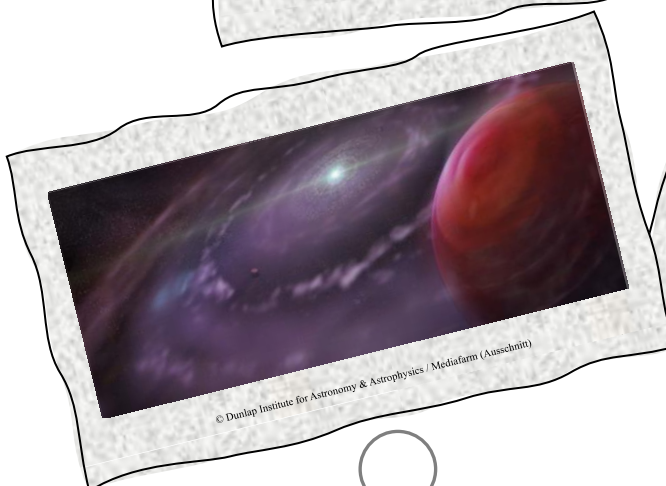
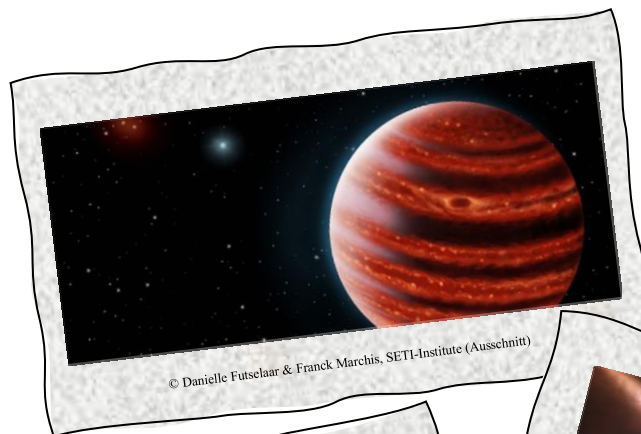
Irgendwie scheint das Baby mit Elias' Vorschlag nicht zufrieden zu sein. Zum Glück ist sein Opa ein Wissenschaftler, der Planeten sucht und erforscht. Elias hofft in seiner großen Bibliothek echte Aufnahmen zu finden – vielleicht sogar vom Planeten des Baby-Aliens.



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Aufgabe I.2

Elias und das Baby-Alien stöbern in dutzenden Zeitschriften und finden einige Bilder von Planeten außerhalb unseres Sonnensystems (Exoplaneten). Kreuze diejenigen Bilder an, von denen du denkst, dass es sich um eine echte Aufnahme handelt.



(Direkter) Blick auf fremde Welten

I. Direkte Beobachtung (3/3)

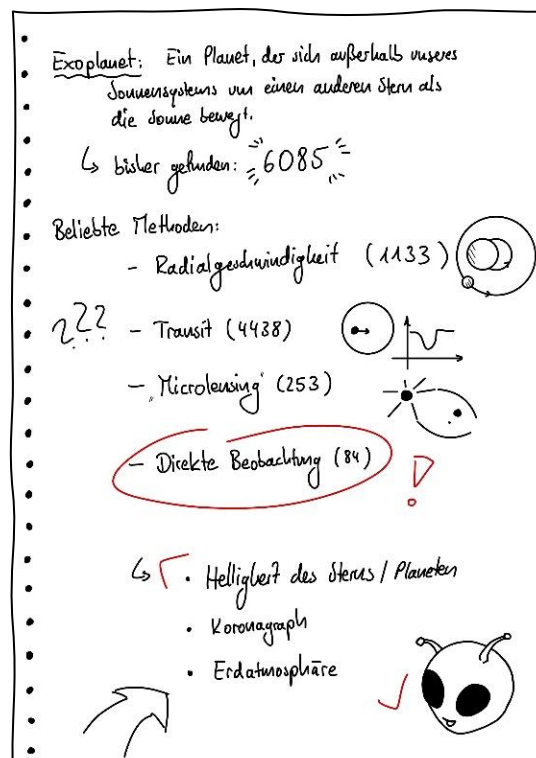
Bei genauem Lesen stellt Elias fest, dass keines der Bilder echt ist. In den Bildunterschriften steht, dass es sich lediglich um künstlerische Darstellungen handelt. Er findet es äußerst seltsam, dass er noch keine echten Aufnahmen finden konnte. Davon lässt er sich aber nicht entmutigen. Wie spannend wäre es, wenn er nicht nur den Heimatplaneten des Aliens finden, sondern auch noch ein Bild davon machen könnte? Seine Aufnahmen vom Mond, Saturn und Jupiter kamen bisher immer gut an und sogar das uns nächstgelegene Sonnensystem Alpha Centauri konnte er mit seinem Teleskop beobachten. Einen Exoplaneten hatte Elias aber noch nie gesehen und fotografiert. Beide durchforsten entschlossen Opas Bibliothek und notieren sich alles Wichtige in einem Notizblock...



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Aufgabe I.3

Lies dir Elias' Notizen durch und recherchiere gegebenenfalls die dir unbekannten Begriffe.



(Direkter) Blick auf fremde Welten

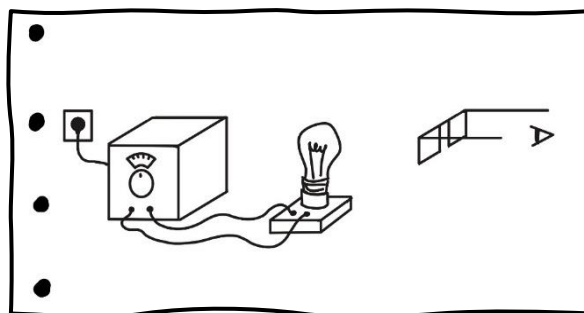
II. Kandidaten (1/1)

Die Planeten unseres Sonnensystems sind alle auf ihre eigene Weise unterschiedlich und besonders – voller Stürme, umgeben von Ringen oder von rotem Staub bedeckt. Elias fragt sich, wie wohl der Heimatplanet des Baby-Aliens aussieht. Riesig wie Jupiter? Klein wie der Mars? Glühend heiß oder eiskalt und dunkel? Beim Stöbern in Opas Bibliothek fällt ihm auf, dass es bisher nur wenige Exoplaneten gibt, die Astronominen und Astronomen überhaupt direkt beobachten konnten. Fast alle haben Gemeinsamkeiten: Sie sind eher groß, kreisen weit entfernt um ihren Stern und sind oft noch jung und heiß.



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Versuch – Leuchten Planeten?



Elias' Notizen: Versuchsaufbau „Leuchten Planeten?“ © Talha Coktasar

Material: Netzgerät, Kabel, Glühlampe (dimmbar) mit Fassung, Beugungsbrille

Durchführung: Die Glühbirne wird in die Fassung gedreht und an das Netzgerät angeschlossen. Man beobachtet das Licht der Glühbirne durch die Beugungsbrille. Anschließend dimmt man das Licht.

Aufgabe II.1

- Führe den Versuch *Leuchten Planeten?* durch und notiere deine Beobachtungen.
- Fülle mit den Begriffen „stark“ und „schwach“ folgende Tabelle aus:

| | Helles Licht | Schwaches Licht |
|------|--------------|-----------------|
| Blau | | |
| Rot | | |

- Die nicht-gedimmte Glühlampe repräsentiert das Leuchten eines Sterns, wobei das Licht der stark gedimmten Glühlampe für den Planeten steht. Bewerte mit folgender Simulation, in welchem Bereich des Lichtspektrums ein Planet am ehesten strahlt. Scanne hierzu den QR-Code:



(Direkter) Blick auf fremde Welten

III. Helligkeit (1/1)

Elias grübelt. Selbst wenn ein Planet ein wenig glüht, überstrahlt sein Stern ihn doch um ein Vielfaches. Wie soll man da den winzigen Lichtpunkt neben einem gleißenden Feuerball entdecken? In diesem Moment flattert im Garten ein Glühwürmchen vorbei. Neugierig laufen Elias und das Alien-Baby hinaus – er mit einer Taschenlampe, das Baby mit einer Kamera. Zwischen den Sträuchern entdecken sie das Glühwürmchen wieder. Sein schwaches Leuchten erinnert Elias sofort an einen Planeten, der im hellen Strahlen seines Sterns untergeht. Das Baby richtet die Kamera auf das Insekt und drückt ab. Doch jedes Mal, wenn Elias die Taschenlampe einschaltet, erscheint auf dem Bild nur ein greller weißer Fleck – vom Glühwürmchen keine Spur...



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Aufgabe III.1

Die Einheit Lumen (kz. lm) gibt an, wie viel Licht eine Quelle insgesamt abstrahlt. Folgende Tabelle gibt einige Lichtleistungen an:

| Lichtquellen | Lichtleistung [lm] |
|--|--------------------|
| Glühwürmchen | 0,0006 |
| Kerze | 12 |
| Taschenlampe | 2000 |
| Flutlichtmast (einfacher LED-Strahler) | 50000 |
| Trainingsplatz-Flutlichtanlage | 1000000 |
| Fußballstadion-Flutlichtanlage | 7500000 |



Flutlichter © Talha Coktasar

- Berechne, wie viel heller die einzelnen Lichtquellen im Vergleich zu einem Glühwürmchen sind.
- Erdähnliche Planeten, die einen Stern umkreisen, sind etwa 10 Milliarden Mal schwächer als sein Stern. Gib an, welchem Alltagsvergleich aus a) dieses Verhältnis am ehesten entspricht.

Aufgabe III.2

Der Stern Alpha Centauri A ist 4,37 Lichtjahre (Lj) entfernt. Ein kürzlich entdeckter Planetenkandidat, der auch direkt beobachtet werden konnte, umkreist den Stern in einem mittleren Abstand von ca. 2 AE.

- Berechne den Winkelabstand θ in Bogensekunden (").

(Tipp: $1 \text{ Lj} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$, $1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, $1 \text{ rad} = 206265''$, $\frac{1}{3600}^\circ = 1''$)

- Berechne, in welcher Entfernung R du stehen müsstest, um denselben Winkel zu sehen, wenn das Glühwürmchen $s = 10 \text{ cm}$ (1 m) neben einem Flutlicht schwebt.

(Tipp: $R \approx \frac{s}{\theta}$)

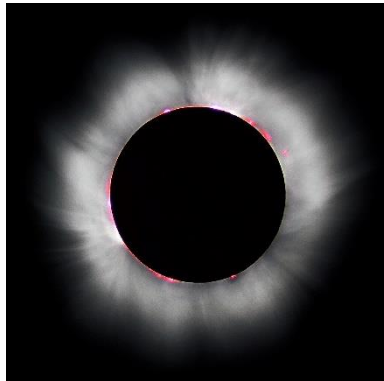
(Direkter) Blick auf fremde Welten

IV. Koronograph (1/2)

Wieder zurück in seinem Zimmer blättert Elias in seinem Notizblock. Zwischen all den Skizzen und Notizen fällt sein Blick auf das Wort „Koronograph“. Er erinnert sich, dass er in Opas Büchern und Zeitschriften darüber gelesen hat. Astronomen standen in den 1930er-Jahren nämlich vor einem ähnlichen Problem wie er und das Baby-Alien: Das helle Licht der Sonne überstrahlte alles, was daneben lag. Um trotzdem die Sonnenkorona beobachten zu können, nutzten die Astronomen Sonnenfinsternisse. Elias stellte sich vor, wie die Forscher damals regelrecht den Finsternissen hinterherreisten, um für ein paar Minuten Bilder der verdunkelten Sonne zu machen. Beide hatten noch nie eine Sonnenfinsternis erlebt – nur in Videos gesehen...



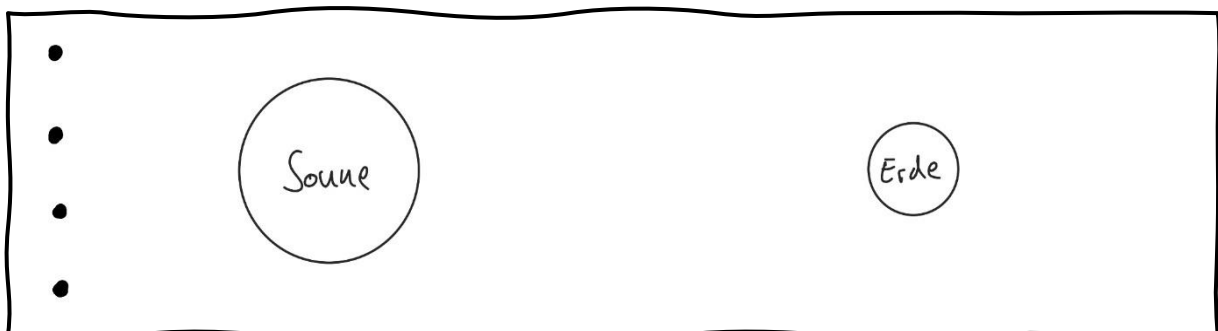
© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)



Die Sonnenkorona während der Sonnenfinsternis 1999 © Luc Viatour

Aufgabe IV.1

Zeichne die Stellung des Mondes bei einer Sonnenfinsternis, sowie die zugehörigen Lichtstrahlen und Schatten ein. Vervollständige Elias' Notizen.



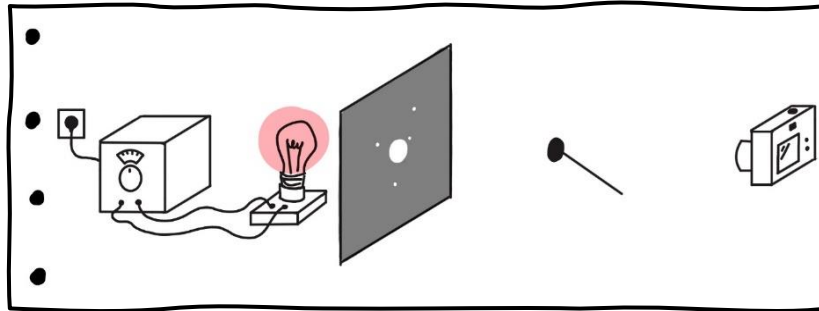
Elias' Notizen: Sonnenfinsternis (unvollständig) © Talha Coktasar

Doch ständig auf die nächste Finsternis zu warten, war für die Wissenschaftler viel zu unpraktisch. Der französische Astronom Bernard Lyot entwickelte deshalb den sogenannten Koronographen. Damit konnte er das Licht der Sonne künstlich verdecken – und 1937 sogar den Planeten Merkur im hellen Glanz der Sonnenkorona tagsüber sichtbar machen.

(Direkter) Blick auf fremde Welten

IV. Koronograph (2/2)

Versuch – Prinzip eines Koronographen



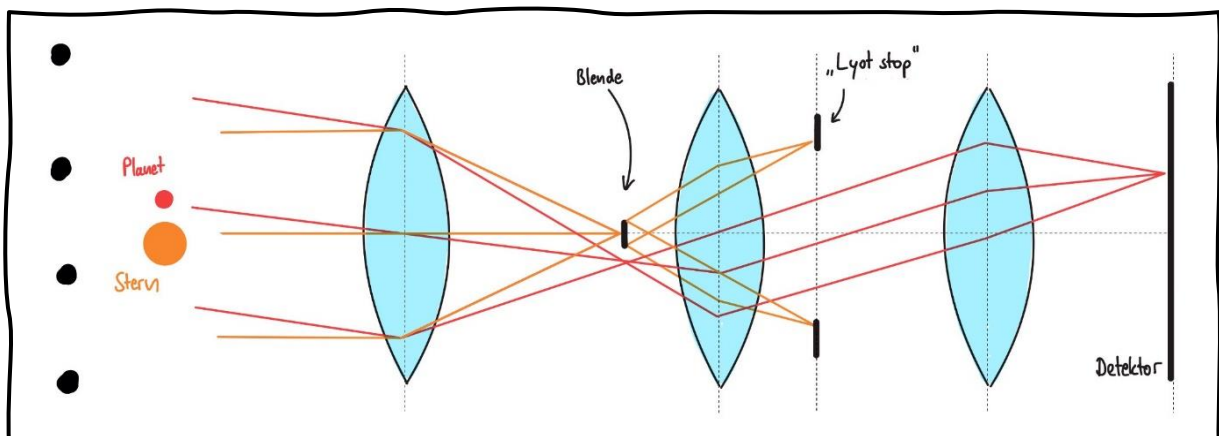
Elias' Notizen: Versuchsaufbau zum Prinzip eines Koronographen © Talha Coktasar

Material: Netzgerät, Kabel, Glühlampe (z.B. rot) mit Fassung, schwarzer Karton (mind. DIN A4), Holzstab, Nadel, Schere, Kamera

Durchführung: In der Mitte des Kartons wird mit der Schere ein Loch ausgeschnitten, sodass das Licht der Glühlampe durchscheinen kann („Stern“). Mit einer feinen Nadel werden außenherum in beliebiger Anzahl einzelne Löcher gestochen („Exoplaneten“). Die Glühlampe wird in die Fassung gedreht und an das Netzgerät angeschlossen. Die Kamera schaut dabei frontal auf den Karton mit den Löchern. Um das „Sternenlicht“ blockieren zu können, wird eine beliebig große, schwarze Kartonscheibe auf den Holzstab geklebt. Nun kann man ein Foto mit und ohne Blende aufnehmen. Außerdem kann man die Größe der Blende variieren.

Aufgabe IV.2

Führe den Versuch *Prinzip eines Koronographen* durch und notiere deine Beobachtungen.



Elias' Notizen: Schematische Darstellung eines Koronographen © Talha Coktasar

(Direkter) Blick auf fremde Welten

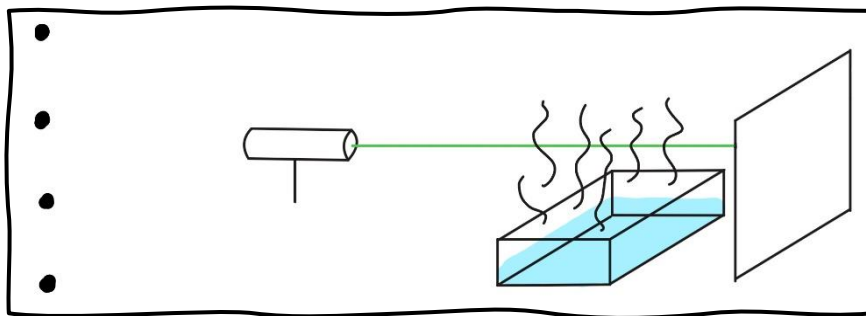
V. Atmosphäre (1/3)

Elias bemerkt, dass das Alien-Baby langsam müde wird, sich die Augen reibt und leise gähnt. Leise beginnt Elias ein Lied zu summen, das er schon seit seiner Kindheit kennt: *Twinkle, twinkle, little star* Seine mittlerweile vertraute Stimme wirkt beruhigend, und schon nach wenigen Augenblicken schläft das Baby angelehnt an das Aquarium friedlich ein. Elias bleibt noch eine Weile sitzen. Sein Blick fällt zufällig auf den Boden des Aquariums. Dort tanzt förmlich das Licht der Deckenlampe unruhig hin und her. Während er fasziniert auf die flackernden Muster schaut, wird ihm plötzlich etwas klar: So ähnlich muss es auch mit den Sternen sein!



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Versuch – „Twinkle, twinkle, little star!“



Elias' Notizen: Versuchsaufbau zum Einfluss der Atmosphäre auf Sternenlicht © Talha Coktasar

Material: Laser (z.B. grün), Heizplatte, Behälter mit kochendem Wasser, Schirm

Durchführung: Mit der Heizplatte das Wasser im Behälter zum Kochen bringen. Den Laser fixieren und auf den Schirm leuchten. Dicht unter dem Laserstrahl und vor dem Schirm den Behälter mit kochendem Wasser platzieren und den Laserstrahl am Schirm beobachten. Das Laserlicht repräsentiert das Sternenlicht.

Aufgabe V.1

Führe den Versuch „Twinkle, twinkle, little star!“ durch und notiere deine Beobachtungen.

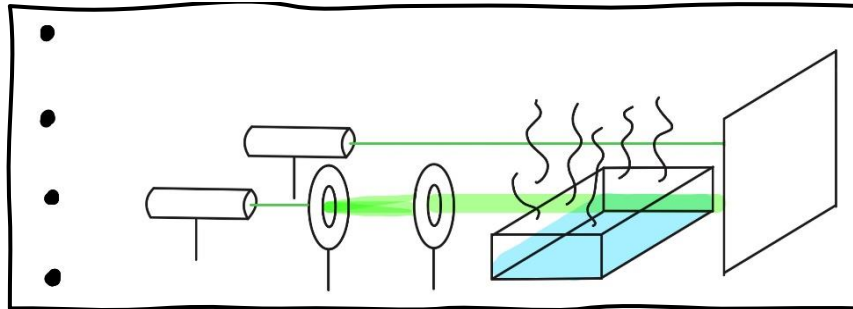
Aufgabe V.2

Anders als Sterne erscheinen uns die Planeten unseres Sonnensystems nicht als Punktquellen. Um dessen Auswirkung mithilfe des Versuchs nachzuvollziehen, müssten wir den Laserstrahl verbreitern. Überlege mit welchen zwei Linsenarten uns das gelingt. Zeichne anschließend den Strahlenverlauf durch die beiden Linsen mit drei repräsentativen Strahlen.

(Direkter) Blick auf fremde Welten

V. Atmosphäre (2/3)

Versuch – „Twinkle, twinkle, little planet?“



Elias' Notizen: Versuchsaufbau zum Einfluss der Atmosphäre auf Planetenlicht in unserem Sonnensystem © Talha Coktasar

Material: Zwei Laser (z.B. grün), zwei Linsen unterschiedlicher Brennweite (bikonkav mit z.B. $f_1 = -100$ mm und konvex mit z.B. $f_2 = +500$ mm), Lineal, Heizplatte, Behälter mit kochendem Wasser, Schirm

Durchführung: Mit der Heizplatte das Wasser im Behälter zum Kochen bringen. Nach dem zweiten Laser beide Linsen so platzieren, dass deren Abstand $f_1 + f_2$ beträgt. Beide Laser fixieren und auf den Schirm leuchten. Dicht unter beiden Laserstrahlen vor dem Schirm den Behälter mit kochendem Wasser platzieren und die Strahlen am Schirm beobachten.

Aufgabe V.3

Führe den Versuch „Twinkle, twinkle, little planet?“ durch und notiere deine Beobachtungen.

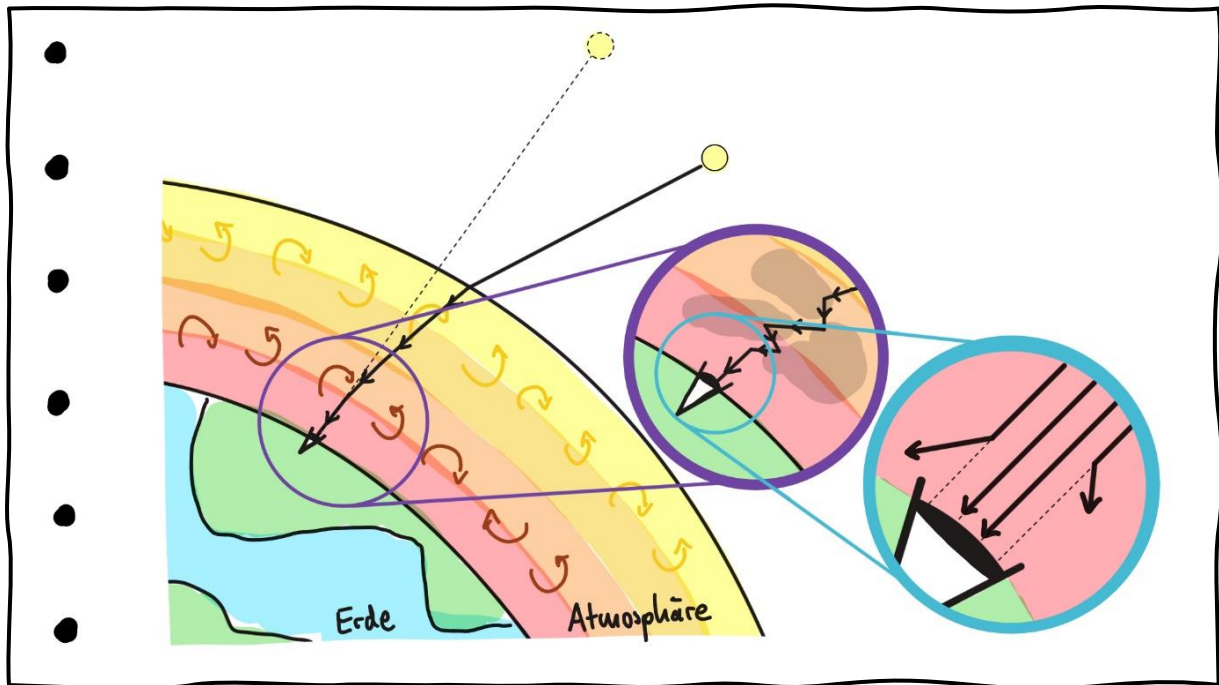
Aufgabe V.4

Exoplaneten sind im Gegensatz zu den Planeten unseres Sonnensystems so weit entfernt, dass sich ihr Licht ähnlich wie das Licht von den Sternen verhält.

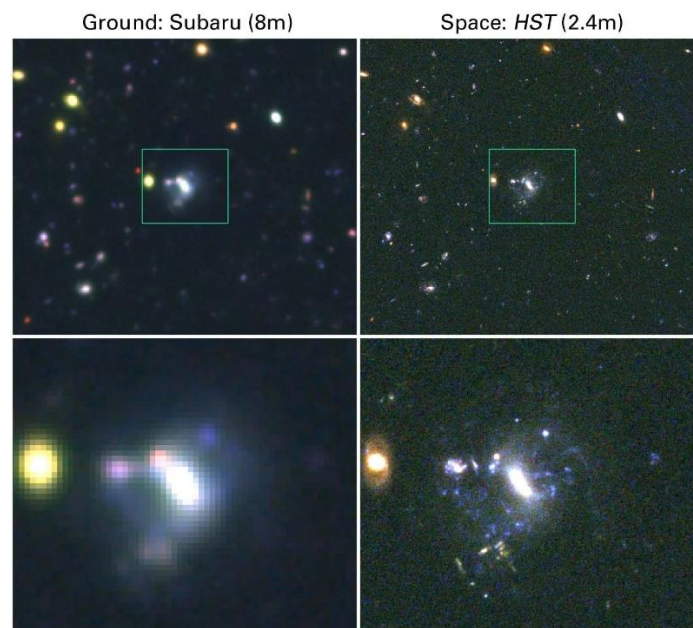
Bewerte mithilfe dieser Aussage, Elias' Notizen zum Einfluss der Atmosphäre auf Licht und den beiden Versuchen die Auswirkung der Atmosphäre auf das Licht, welches uns von Exoplaneten erreicht.

(Direkter) Blick auf fremde Welten

V. Atmosphäre (3/3)



Elias' Notizen: Einfluss der Atmosphäre auf Licht © Talha Coktasar



Vergleich von Bildaufnahmen aus dem Boden (links) und aus dem Weltraum (rechts) © NASA, Mauro Giavalisco, Lexi Moustakas, Peter Capak, Len Cowie and the GOODS Team

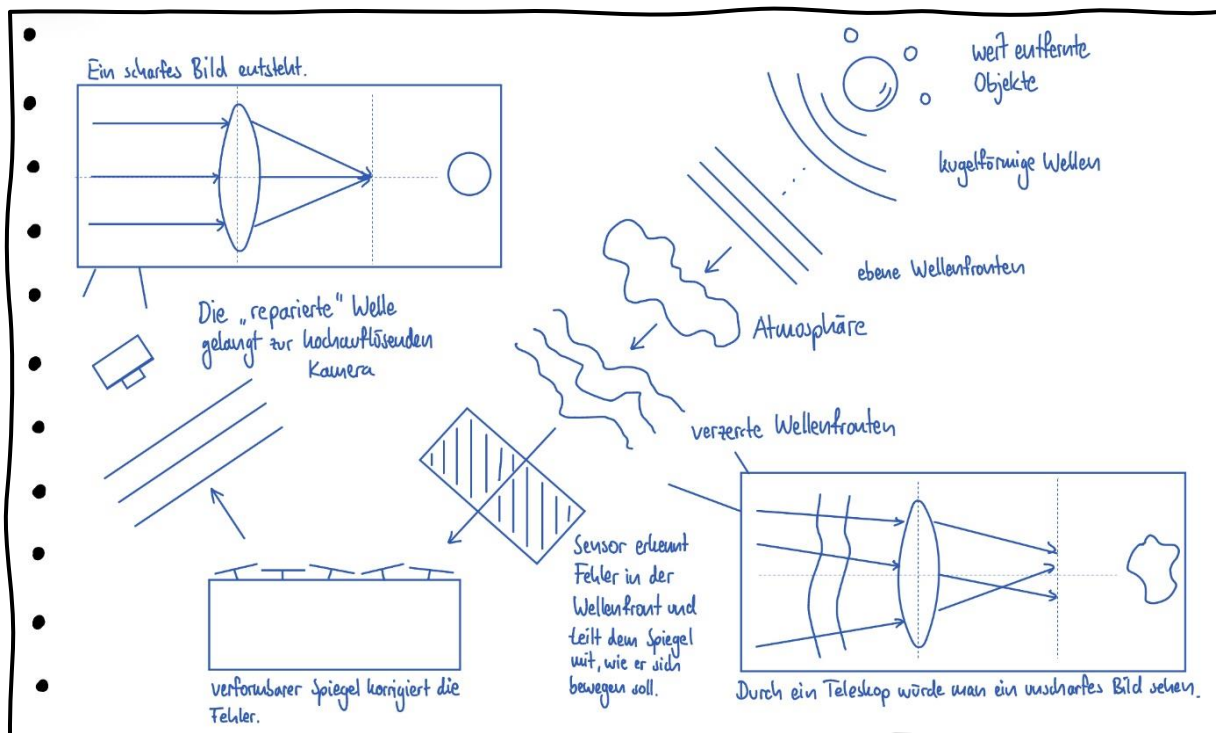
(Direkter) Blick auf fremde Welten

VI. Adaptive Optik (1/2)

Elias ist sich sicher, dass sein Opa am besten weiß, wie man die Probleme mit der Atmosphäre in den Griff bekommt. Deshalb beschließen Elias und das Baby, ihn in seiner Forschungseinrichtung zu besuchen. Doch bevor sie loskönnen, hat Elias ein anderes Problem: Das Baby-Alien fängt langsam an zu stinken. Ob man sich auf seinem Planeten überhaupt wäscht, weiß er nicht, aber er zeigt ihm die Dusche. Während Elias draußen wartet, hört er plötzlich einen lauten Schrei. Er stürzt zur Tür und erfährt, dass das Wasser viel zu heiß war. Das Baby hat sich erschrocken, aber seine kleinen Hände haben sofort die Wassertemperatur reguliert. Elias ist erleichtert, dass nichts Schlimmes passiert ist. Auch wenn der Kleine noch etwas verdutzt wirkt, riecht er nun deutlich besser. In einen dunklen Mantel gehüllt, damit ihn niemand bemerkt, macht sich das Baby gemeinsam mit Elias auf den Weg zur Forschungseinrichtung. Dort hofft Elias, Antworten auf seine vielen Fragen zu finden. In der Forschungseinrichtung angekommen, werden Elias und das Baby von Opa herzlich begrüßt. Noch bevor er etwas sagen kann, erzählt Elias aufgeregt alles, was er über die direkte Beobachtung von Exoplaneten gelernt hat. Elias will unbedingt wissen, wie man das Problem mit der Atmosphäre löst. Sein Opa lächelt erstaunt, nimmt Elias' Notizblock und beginnt mit seinem blauen Kugelschreiber zu zeichnen ...



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

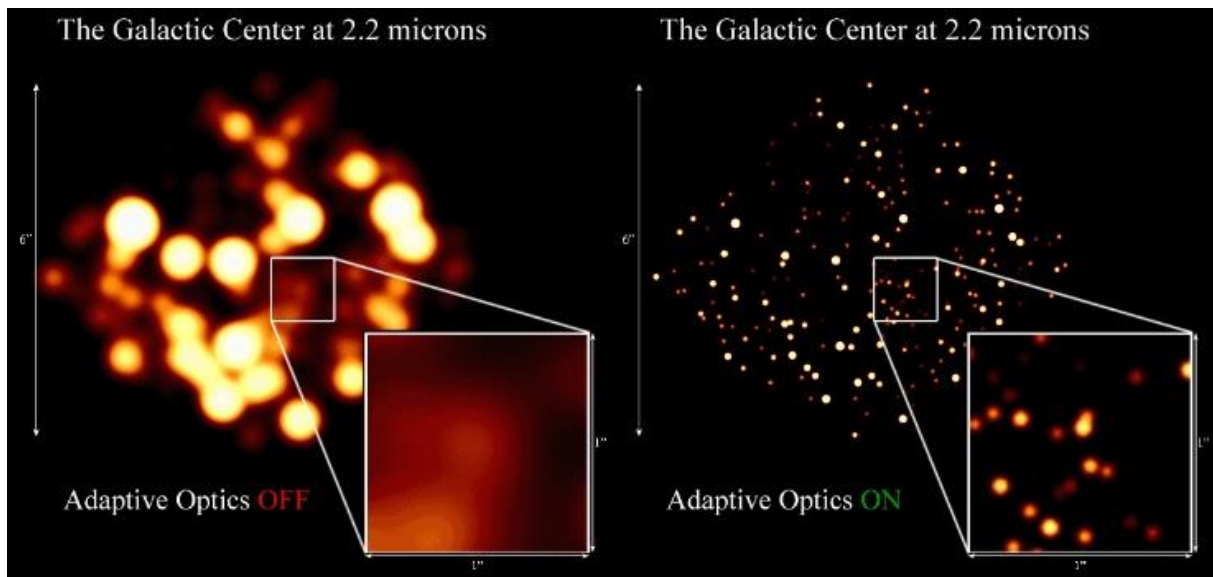


(Direkter) Blick auf fremde Welten

VI. Adaptive Optik (2/2)

Aufgabe VI.1

Was könnte das Duschen des Baby-Aliens mit dem Funktionsprinzip einer adaptiven Optik zu tun haben? Erkläre. Berücksichtige hierbei Opas Notizen.

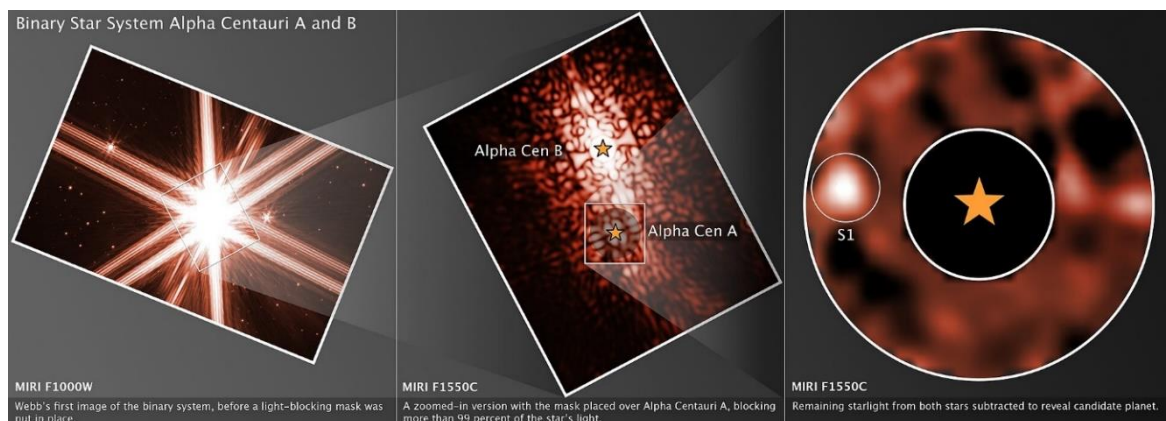


Mit (rechts) und ohne (links) Adaptive Optik © Andrea Ghez, UCLA Galactic Center Group – W.M. Keck Observatory Laser Team

(Direkter) Blick auf fremde Welten

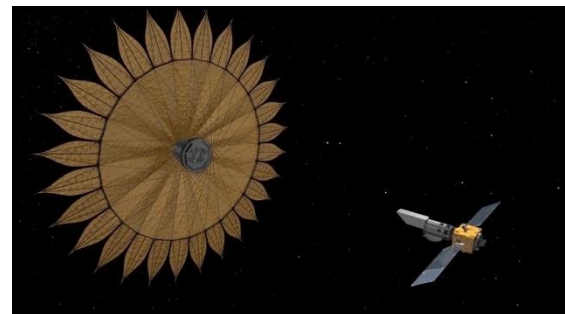
VII. Ausblick (1/1)

Elias' Opa bemerkt sofort die Neugier der beiden und führt sie zu einem Bildschirm, auf dem aktuelle Beobachtungen zu sehen sind. Ein Bild des Sterns Alpha Centauri A erscheint – aufgenommen mit dem James-Webb-Teleskop. Elias erinnert sich, wie er denselben, vierthellsten Stern des Nachthimmels schon selbst durch sein Teleskop beobachtet hatte. Neben dem Stern ist ein winziger, kaum wahrnehmbarer Lichtpunkt zu erkennen – ein möglicher Exoplaneten-Kandidat. Elias versteht inzwischen, wie solch ein Bild zustande kommt und staunt über die Präzision der Aufnahme. Das Baby-Alien starrt lange auf den Bildschirm, als würde es etwas Vertrautes darin wiederfinden. Vielleicht ist es tatsächlich ein direkter Blick auf eine fremde Welt?



Exoplanet um den Stern Alpha Centauri A entdeckt © NASA, ESA, CSA, STScI, A. Sanghi (Caltech), C. Beichman (JPL), D. Mawet (Caltech), J. DePasquale (STScI)

Elias' Opa zeigt den beiden weitere Aufnahmen und Konzepte, die Forscherinnen und Forscher derzeit entwickeln. Besonders fasziniert ihn ein Projekt namens „starshade“. Es verfolgt eine ähnliche Idee wie der Koronagraph, nur im Weltall. Dabei soll eine riesige, blütenförmige Blende zwischen einem Weltraumteleskop und einem Stern positioniert werden. Dieser gewaltige Schirm könnte das grelle Sternenlicht so abschirmen, dass selbst extrem lichtschwache Planeten sichtbar würden. Auf diese Weise ließen sich Planeten ähnlich der Erde direkt beobachten und auf Lebensspuren untersuchen.



**Ein Weltraumteleskop, das auf einen Starshade ausgerichtet ist (Künstlerische Darstellung)
© NASA/JPL-Caltech**

Als Opa von möglichen Lebensspuren erzählt, wird Elias plötzlich unruhig. Der Gedanke, dass der kleine Lichtpunkt bei Alpha Centauri A vielleicht eine bewohnte Welt ist, lässt ihn nicht mehr los. Während Elias darüber nachdenkt, richtet das Baby-Alien seinen Blick gespannt auf Opa, als würde es die Antwort ebenso dringend wissen wollen. Opa sieht die beiden an und lächelt. Niemand könne sicher sagen, ob dort Leben existiert, doch genau dafür seien solche direkten Aufnahmen wichtig. Die Daten können nämlich helfen, die Atmosphäre des Planeten zu untersuchen – vielleicht sogar auf Anzeichen von Leben. Der Kandidat, den sie auf dem Bildschirm gesehen hatten, befindet sich in der sogenannten habitablen Zone, also in jenem Bereich, in dem flüssiges Wasser existieren könnte. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass dort wirklich Leben existiert...

(Direkter) Blick auf fremde Welten

VIII. Exoplanet Triplets (1/3)

Opa freut sich über das große Interesse seines Enkels und dessen ungewöhnlichen kleinen Freund. Zum Abschied überreicht er ihnen ein Spiel, auf dem einige direkt beobachtete Exoplaneten abgebildet sind. Seit dem Bild des Kandidaten bei Alpha Centauri A wirkt das Baby-Alien nachdenklich, fast ein wenig abwesend. Elias bemerkt es, lächelt und schlägt vor, das Spiel gemeinsam auszuprobieren – vielleicht ist ja einer dieser fernen Welten seine Heimat ...



© Talha Coktasar (bearbeitet mit KI)

Spiel – Exoplanet Triplets

Ziel:

Finde immer drei Karten, die zusammengehören: ein echtes Bild, eine künstlerische Illustration und einen Infotext zum Exoplaneten.

Ablauf:

1. Alle Karten mischen und verdeckt auf den Tisch legen.
2. In deinem Zug darfst du nacheinander drei Karten aufdecken. Passen sie zusammen, darfst du die drei Karten behalten und noch einmal aufdecken. Passen sie nicht zusammen, drehst du alle drei Karten wieder um und der nächste Spieler ist dran. *
3. Das Spiel geht so lange, bis alle Drillinge gefunden wurden.

Gewinner:



Wer die meisten Drillinge hat, gewinnt das Spiel!

* Alternative Variante zu 2.: In deinem Zug darfst du nacheinander zwei Karten aufdecken. Passen sie zusammen, darfst du eine dritte Karte versuchen. Wenn alle drei stimmen, darfst du die drei Karten behalten und noch einmal aufdecken. Passen sie nicht zusammen, drehst du alle drei Karten wieder um und der nächste Spieler ist dran.

(Direkter) Blick auf fremde Welten

VIII. Exoplanet Triplets (2/3)


Vorlage 1

| | | |
|--|--|--|
|  <p>2014-12-18 10 au © Jason Wang (Caltech)/Gemini Planet Imager Exoplanet Survey</p> |  <p>2021-01-23 20 au © Jason Wang (Northwestern)/William Thompson (UVic)/Christian Marois (NRC Herzberg)/Quinn Konopacky (UCSD)</p> |  <p>© ESO/A.-M. Lagrange et al.</p> |
|  <p>© ESO</p> |  <p>© NASA, ESA, CSA, A Carter/UCSC, the ERS 1386 team, and A. Pagan/STScI (Ausschnitt)</p> |  <p>© ESO/R. F. van Capelleveen et al.</p> |
|  <p>© Danielle Futselaar & Franck Marchis, SETI-Institute (Ausschnitt)</p> |  <p>© University of Warwick/Mark Garlick</p> |  <p>© ESO L. Calçada/N. Rasinger</p> |
|  <p>© NASA/ESA/G. Bacon/STScI</p> |  <p>© NASA's Goddard Space Flight Center / S. Weissinger</p> |  <p>© Joseph Olmsted/STScI/NASA</p> |

(Direkter) Blick auf fremde Welten

VIII. Exoplanet Triplets (3/3)

Vorlage 2

| | | |
|---|---|---|
| <p>51 Eridani b</p> <p>Gemini Planet Imager (Chile)</p> <p>Kältester und leichtester mit direkter Beobachtung entdeckter Exoplanet</p> | <p>HR 8799 b-e</p> <p>Keck Observatorium (Hawaii)</p> | <p>Beta Pictoris b</p> <p>Very Large Telescope (Chile)</p> |
| <p>2M1207b</p> <p>Very Large Telescope (Chile)</p> <p>Der erste Exoplanet, der direkt abgebildet wurde</p> | <p>HIP 65426 b</p> <p>Very Large Telescope (Chile)</p> <p>Der erste Exoplanet, der mit dem JWST direkt abgebildet wurde.</p> | <p>WISPIT 2b</p> <p>Very Large Telescope (Chile)</p> <p>Die erste Beobachtung eines Exoplaneten, der aktiv eine Lücke in einer protoplanetaren Scheibe bildet.</p> |
| | | |
| |  | |

Lösungshinweise zu den Arbeitsblättern

I.1 individuelle Lösung.

I.2 keine Aufnahme ist echt.

I.3 individuelle Lösung

II.1 s. Hinweise zum Arbeitsblatt „Kandidaten“.

II.2

| | Helles Licht | Schwaches Licht |
|------|--------------|-----------------|
| Blau | Stark | Schwach |
| Rot | Schwach | Stark |

II.3 Infrarot

- III.1** a)
- $$\frac{\text{Kerze}}{\text{Glühwürmchen}} = \frac{12 \text{ lm}}{0,0006 \text{ lm}} = 20000$$
- $$\frac{\text{Taschenlampe}}{\text{Glühwürmchen}} = \frac{2000 \text{ lm}}{0,0006 \text{ lm}} \approx 3,3 \cdot 10^6$$
- $$\frac{\text{Flutlichtmast}}{\text{Glühwürmchen}} = \frac{50000 \text{ lm}}{0,0006 \text{ lm}} \approx 8,3 \cdot 10^7$$
- $$\frac{\text{Trainingsplatz}}{\text{Glühwürmchen}} = \frac{1000000 \text{ lm}}{0,0006 \text{ lm}} \approx 1,7 \cdot 10^9$$
- $$\frac{\text{Fußballstadion}}{\text{Glühwürmchen}} = \frac{7500000 \text{ lm}}{0,0006 \text{ lm}} = 1,25 \cdot 10^{10}$$
- b) Fußballstadion : Glühwürmchen

- III.2** a) Entfernung zu Alpha Centauri A: $d = 4,13 \cdot 10^{13} \text{ km}$
 Abstand Alpha Centauri A – Exoplanet: $a = 2,99 \cdot 10^8 \text{ km}$
 Der Winkelabstand θ zwischen Stern und Exoplanet ergibt sich aus:

$$\theta \approx \frac{a}{d} = \frac{2,99 \cdot 10^8 \text{ km}}{4,13 \cdot 10^{13} \text{ km}} = 7,24 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \approx 1,5''$$

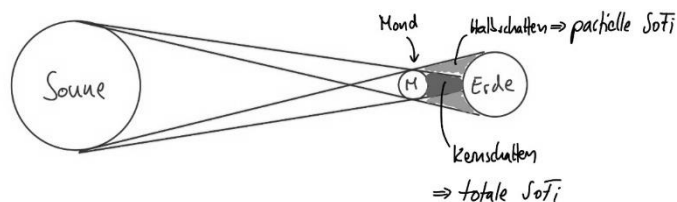
- b) Ein Winkelabstand der Größe aus a) entsteht auch, wenn man eine Strecke s aus einer großen Entfernung R sieht:

$$\theta \approx \frac{s}{R} \text{ bzw. } R \approx \frac{s}{\theta}$$

Abstand zwischen Flutlicht und Glühwürmchen: 10 cm (1 m)

Notwendige Entfernung, um denselben Winkelabstand zu sehen: 13,8 km (138 km)

IV.1



IV.2 s. Hinweise zum Arbeitsblatt „Koronograph“.

V.1 s. Hinweise zum Arbeitsblatt „Atmosphäre“.

V.2 konkav und konvex. Für den Strahlengang s. Hinweise zum Arbeitsblatt „Atmosphäre“.

V.3 s. Hinweise zum Arbeitsblatt „Atmosphäre“.

V.4 Das Licht, welches uns von einem Exoplaneten erreicht, „funkelt“, da Wind, Temperaturunterschiede und Feuchtigkeitsveränderungen zu Fluktuationen beim Brechungsindex führen. Die Lichtstrahlen werden unterschiedlich gebrochen. Je nach Lichteinfall variiert die Helligkeit des wahrgenommenen Objekts. Das Blockieren des Sternenlichts wird dadurch zusätzlich erschwert.

VI.1 Das Duschen des Baby-Aliens lässt sich als Analogie zur direkten Beobachtung mit Adaptiver Optik verstehen:

Adaptive Optik

Dusch-Analogie

Wellenfront-Sensor

-

Der Körper spürt die Temperatur.

(Kontrollsystem

-

Das Gehirn sendet Signale an die Hände, um die Temperatur zu regulieren.)

Verformbarer Spiegel

-

Hände handeln entsprechend.

VIII. Exoplanet Triplets

| | | |
|------------------------|--|--|
| 51 Eridani b | | |
| HR 8799 b-e | | |
| Beta Pictoris b | | |
| 2M1207b | | |
| HIP 65426 b | | |
| WISPIT 2b | | |

Quellen

- Bozza, Valerio; Mancini, Luigi; Sozzetti, Alessandro (Hrsg.) (2016): Methods of Detecting Exoplanets. Springer International Publishing Switzerland
- Perryman, Michael (2018): The Exoplanet Handbook. Cambridge: Cambridge University Press
- Zinth, Wolfgang; Zinth, Ursula (2011): Optik. München: Oldenburg Verlag
- Althaus, Tilmann (2025): Planet um Alpha Centauri A entdeckt. In: <https://www.spektrum.de/news/planet-um-alpha-centauri-a-entdeckt/2281713> (Zugriff: 07.10.2025)
- Pössel, Markus (2017): Planeten und Asteroiden besser sehen dank Infrarot. In: <https://scilog.spektrum.de/relativ-einfach/planeten-und-asteroiden-besser-sehen-dank-infrarot/> (Zugriff: 07.10.2025)
- Pössel, Markus (2016): Exoplaneten = Glühwürmchen neben Flutlicht. In: <https://scilog.spektrum.de/relativ-einfach/exoplaneten-gluehwuermchen-neben-flutlicht/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://static.spektrum.de/fm/912/f2000x857/macintosh1HR.jpg> (Zugriff: 29.09.2025)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/51_Eridani_b#/media/File:51_Eridani_b_orbit_animated_\(2014-2018\).gif](https://en.wikipedia.org/wiki/51_Eridani_b#/media/File:51_Eridani_b_orbit_animated_(2014-2018).gif) (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.fr.de/assets/images/26/376/26376029-kuenstlerische-darstellung-der-stern-hr-8799-und-seine-vier-planeten-die-sich-synchron-um-den-stern-bewegen-On73.jpg> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://static.spektrum.de/fm/912/f2000x857/konopackyl1HR.jpg> (Zugriff: 29.09.2025)
- [https://de.wikipedia.org/wiki/HR_8799#/media/Datei:HR_8799_orbits_animated_\(2009-2021\).gif](https://de.wikipedia.org/wiki/HR_8799#/media/Datei:HR_8799_orbits_animated_(2009-2021).gif) (Zugriff: 29.09.2025)
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:HR_8799_\(NIRCam_Image\)_ \(2025-114\).png](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:HR_8799_(NIRCam_Image)_ (2025-114).png) (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.spektrum.de/news/james-webb-teleskop-beobachtet-die-exoplaneten-von-hr-8799/2257363> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.eso.org/public/images/eso1414a/> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.eso.org/public/images/eso0842a/> (Zugriff: 29.09.2025)
- https://www.eso.org/public/germany/images/26a_big-vlt/ (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://exoplanets.nasa.gov/news/250/let-the-great-world-spin/> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.sciencenews.org/article/james-webb-space-telescope-first-exoplanet-image#:~:text=Exoplanet%20HIP%2065426%20b%20shines,in%20particular%20its%20hexagonal%20mirror.> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.sci.news/astronomy/super-jupiter-hip-65426-05023.html> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/09/250908175506.htm> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.eso.org/public/images/potw2534a/> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://apod.nasa.gov/apod/ap250827.html> (Zugriff: 29.09.2025)
- <https://www.jpl.nasa.gov/news/starshade-would-take-formation-flying-to-extremes/> (Zugriff: 03.10.2025)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha_Centauri_Ab#/media/File:Alpha_Centauri_3_Panel_\(Webb\)_ \(weic2515c\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha_Centauri_Ab#/media/File:Alpha_Centauri_3_Panel_(Webb)_ (weic2515c).jpg) (Zugriff: 03.10.2025)
- <https://www.ipac.caltech.edu/news/nasa-s-jwst-finds-new-evidence-for-planet-around-closest-solar-twin> (Zugriff: 07.10.2025)
- https://youtu.be/_Z5JiRhjEzA?si=Hqn8rVQQsNqvrdl (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://youtu.be/1q00jx5ouuM?si=t433tkqMK-MG2uhy> (Zugriff: 07.10.2025)
- https://youtu.be/XilfCOBZLyY?si=Yz9eq6l5_wpqubBe (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://youtu.be/kWigf0M5VnE?si=sYbCgsOpwQJeQOUe> (Zugriff: 07.10.2025)

- <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740013383/downloads/19740013383.pdf> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://scienceinschool.org/article/2015/starlight-inside-light-bulb/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://demos.smu.ca/demos/astronomy/25-non-twinkling-planets> (Zugriff: 07.10.2025)
- https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_directly_imaged_exoplanets (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://science.nasa.gov/astrophysics/programs/exep/technology/coronagraph-video/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://science.nasa.gov/mission/roman-space-telescope/coronagraph/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://science.nasa.gov/exoplanets/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://science.jpl.nasa.gov/projects/starshade/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://elt.eso.org/telescope/adaptiveoptics/> (Zugriff: 07.10.2025)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Alpha_Centauri (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://what-if.xkcd.com/151/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://de.infralumin.com/blogs/how-many-lumens-are-needed-to-properly-light-a-football-field> (Zugriff: 07.10.2025)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Korona_%28Sonne%29#/media/Datei:Solar_eclipse_1999_4.jpg (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://science.nasa.gov/image-detail/stsci-01evt8r6zk496t0y0zarxjybah-1/> (Zugriff: 07.10.2025)
- https://www.astro.ucla.edu/~ghezgroup/gc_edit/currentMay22/images/research/technology/ao_on_off_still_2panel.jpg (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://omsi.edu/explore/do-stars-twinkle/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://science.nasa.gov/exoplanets/discoveries-dashboard/> (Zugriff: 07.10.2025)
- <https://www.nasa.gov/universe/exoplanets/nasas-tally-of-planets-outside-our-solar-system-reaches-6000/> (Zugriff: 07.10.2025)

Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen finden Sie unter der Adresse www.wissenschaft-schulen.de (Fachgebiet Astronomie). Wir würden uns freuen, wenn Sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an die Kontaktadresse des Autors (t.coktasar@hotmail.de) senden könnten.