

Leben auf Planeten und Exoplaneten

Klasse 10 - 13

Materialheft



Lehrstuhl für Astronomie

Fakultät für Physik und Astronomie

Version vom 31. Oktober 2020

Kontakt

Dieses Materialheft wurde von Priv.-Doz. Dr. Kerstin Weis und B.Sc. Anna Enders unter Mitwirkung von M.Sc. Marianne Langener und Priv.-Doz. Dr. Dominik Bomans erstellt. Es umfasst das Begleitmaterial für das Schülerprojekt „Leben auf Planeten und Exoplaneten“, dessen Entwicklung vom Alfred-Krupp- Schülerlabor Geisteswissenschaften der Ruhr-Universität Bochum unterstützt und dort auch getestet wurde. Die Grundlagen zum astrophysikalischen Teil gehen zurück auf Schülerprojektwochen die die Fakultät für Physik und Astronomie der Ruhr-Universität Bochum halbjährlich durchführt.

Bei Fragen und Anmerkungen wenden Sie sich bitte an ESERO@astro.rub.de oder an die aktuelle Kuratorin des Projekts Kerstin Weis.

Vorwort

Dieses Heft umfasst das Begleitmaterial zum physikalischen Teil des Projekts „Leben auf Planeten und Exoplaneten“ für die Oberstufe. Das Projekt ist aus einer gemeinsamen Idee von evangelischen Theologen und Astrophysikern der RUB entstanden und soll interdisziplinäre wissenschaftliche Einblicke in die Frage nach der Erkennung bzw. Klassifizierung von Leben als Solchem und der Suche nach extraterrestrischem Leben liefern. Dabei liegt ein Fokus auch auf der Vermittlung der Methodiken, derer sich die verschiedenen Wissenschaftszweige bedienen und ihrer jeweiligen Grenzen bzw. Ergänzungsmöglichkeiten. Das vorliegende Materialheft konzentriert sich auf den naturwissenschaftlichen Teil, wirft aber auch Fragen auf, die auch in Zusammenarbeit mit Religion oder Philosophie diskutiert werden können. Dieser interdisziplinäre Teil ist im Zeitplan vorgesehen, aber gegenüber dem ursprünglichen Konzept etwas gekürzt worden.

Das Materialheft soll bei der Arbeit während des Projekts begleiten und liefert Hilfestellungen für die Durchführung und Protokollierung der Experimente. Gleichzeitig dient es als Nachschlagewerk über den Projekttag hinaus. Die einzelnen Kapitel vermitteln einen Überblick über die wichtigsten physikalischen Grundlagen der Experimente damit jeder, unabhängig vom Vorwissen, mitarbeiten kann.

Copyright

©ESERO Germany (CC BY-NC- ND 2.0 DE)

Ablauf des Projekttag

Der Projekttag ist für sechs Stunden angesetzt, inklusive einer Stunde Mittagspause. Der folgende Plan soll einen Überblick des Ablaufs geben, die Zeiten sind als Richtwerte zu verstehen.

geplante Zeitspanne	Aktion
15 min	Begrüßung
60 min	Textarbeit mit anschließender Diskussion Theologie/Philosophie
15 min	Einführung Experimente
90 min	Durchführung der Experimente & Erstellung der Präsentationen
60 min	Mittagspause
45 min	Citizen Science (Planet Hunters)
60 min	Präsentation & Diskussion der Experimente
15 min	Abschluss

Hinweis zu Forschung und Experimentieren

Will man etwas Erforschen würde man sich natürlich intensiv mit seinem Thema und dem aktuellen Stand der Forschung auseinandersetzen, um eine **Arbeitshypothese** aufzustellen. Idealerweise liefert diese dann Vorhersagen, die im nächsten Schritt, dem **Experiment**, überprüft werden können. Stehen die Ergebnisse des Experiments im Widerspruch zur Hypothese, gilt diese als *falsifiziert*. Können die erwarteten Ergebnisse jedoch wiederholt reproduziert werden und haben sie wissenschaftliche Aussagekraft, kann die Hypothese zur **Theorie** erhoben werden. Ist das der Fall, wird auf Basis dieser Theorie solange Wissenschaft betrieben, bis ein Widerspruch aufgedeckt wird, der eine neue Theorie als Grundlage benötigt und der Prozess beginnt von Neuem. Dies ist die methodische Grundlage der Wissenschaft¹ und ein weiteren interessanten Punkt für interdisziplinäre Diskussionen. Im Zuge dieses Projekttag werdet ihr jeweils in kleinen Gruppen mehrere Experimente durchführen. Für eine gute Durchführung ist es wichtig ein gutes Protokoll zu schreiben. Versuchsaufbau und Durchführung (jeden Arbeitsschritte sollte dokumentiert werden) sind

¹Popper, (1935): „Logik der Forschung“, Julius Springer Verlag, Wien

dabei ein Teil, die Aufzeichnung der Parameter und Ergebnisse ein weiterer. Auch gilt es mögliche Fehlerquellen zu finden und notieren wie deren Effekt auf die Ergebnisse ist. Nach Abschluss des Versuches werden die Ergebnisse analysiert und interpretiert. Dann gilt es, eine Möglichkeit zu finden die Ergebnisse darzustellen. Wie geht es am besten, mit Bildern, Graphen und oder Tabellen? Zuletzt bleibt eine Art der Präsentation zu finden. In unserem Fall soll dies eine computergestützter Vortrag sein. Vorlagen dazu werden Euch gestellt.

Equipped with his five senses,
man explores the universe around him
and calls the adventure Science.
Edwin Hubble

Inhaltsverzeichnis

1	Fremde Welten	1
1	Fremdes Leben ?	1
2	Exoplaneten	2
2	Was ist Leben?	5
1	Naturwissenschaften und das Leben	5
2	Aktueller Wissensstand	7
3	Spektroskopie	10
1	Die Entdeckung des Lichtspektrums	10
2	Die Fraunhofer-Linien und der Weg zur Spektralanalyse	11
3	Atomphysikalische Grundlagen	13
4	Anwendung in der Astronomie	15
5	Das Experiment	21
4	Infrarotbildgebung	22
5	Chemischer Nachweis von Leben?	28
6	Citizen Science – Mit Planet Hunters auf der Jagd nach Exoplaneten	31

1 Fremde Welten

Die Suche nach Leben im All ist in unserem Alltag präsenter denn je. Neue technologische Entwicklungen ermöglichen es, die Suche nach Exoplaneten, d.h. Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, nun auch auf erdähnliche Planeten zu erweitern.

1 Fremdes Leben ?

Nachrichten über Entdeckungen neuer erdähnlicher Planeten sind immer häufiger auch in den Medien präsent. Was würde die Entdeckung einer zweiten Erde für unsere Gesellschaft bedeuten? Ist es derzeit wissenschaftlich überhaupt möglich, Leben auf einem anderen Planeten zu finden?

In diesem Projekt soll das in den Medien so stark vertretene und oft einseitig und unvollständige beleuchtete Thema in einem breiteren Kontext diskutiert werden. Nicht nur die astronomische Forschung mit der Entdeckung anderer Planeten und Exoplaneten mit möglicher konkreten Hinweisen auf Leben werden behandelt sondern wir berühren Fragen, die sich auch die Geisteswissenschaften stellen. Was ist eigentlich Leben? Gibt es sichere Bestimmungsmerkmale? Welchen Stellenwert hat irdisches (und vor allem menschliches) Leben in einem Universum, in dem wir plötzlich von unzähligen anderen Planeten wissen? Wie können wir Signale, die unsere Teleskope detektieren, eindeutig Leben zuordnen?

Geistes- und Naturwissenschaftler nutzen viele verschiedene Techniken und Methoden, um zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. In diesem Heft wollen wir uns hauptsächlich dem experimentellen Teil des Projekts etwas näher widmen aber auch Diskussionsanstöße für Kurse in Theologie und oder Philosophie geben. Wir haben drei verschiedene Experimente mit Bezug zur Erforschung von Planeten bzw. Leben geplant, an denen ihr prüfen könnt, wie wir wissenschaftliche Erkenntnisse aus Experimenten gewinnen und welche Schwierigkeiten es dabei möglicherweise gibt. Wir beschäftigen uns in den Experimenten mit Spektroskopie, Infrarotbildgebung und der Frage, ob man lebende Organismen an einfachen chemischen Reaktionen erkennen kann.

Bevor die Experimente beschrieben werden, beschäftigen wir uns mit der ganz grundsätzlichen Frage danach, was lebende Organismen ausmacht und welche Schwierigkeiten bei der wissenschaftlichen Definition von Leben auftreten. Danach werden zu jedem Experiment einige Grundlagen und die Durchführung erklärt.

2 Exoplaneten

Schon seit 3000-5000 Jahren ist klar das unsere Erde nicht der einzige Planet im Sonnensystem ist. Die Entdeckung der grössten Monden von Jupiter und Saturn durch Galileo Galilei zeigte dann vor etwa 400 Jahren auch das Erde-Mond System ist nicht einzigartig. Kepler erkannte daß die Planeten inklusive der Erde in elliptischen statt wie bisher angenommen runden Bahnen um die Sonne kreisen. Er postulierte die nun als drei Kepler'schen Gesetzen mit denn er die genauen Umlaufbahnen berechnen und vorhersagen konnte. Inzwischen wissen wir das es 8 Planeten (Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun) und mehr als 5 Zwergplaneten (bisher: Pluto, Eris, Ceres, Makemake, Haumea) im Sonnensystem gibt.

Die Sonne ist eine sehr typischer und häufig vorkommender Stern. Allein in unserer Galaxie, der Milchstrasse, gibt es derzeit etwa 40-80 Milliarden weiterer Sterne wie die Sonne. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß es auch erdähnliche Planeten um andere Sterne gibt. Auch nicht sonnenähnliche Sterne können Planeten haben und je nach Abstand des Planeten vom Stern kann auch dieser erdähnliche sein. Der Planet befindet sich dann in der sogenannten **habitablen Zone** des Sterns, diese Zone beschreibt den Abstandsbereich Stern-Planet, innerhalb dessen Wasser - wenn es existiert - in flüssiger Form vorliegt.

Flüssiges Wasser ist nach heutigem Stand eine wichtige Grundlage, damit Leben wie wir es kennen möglich ist. Mit den modernen Teleskopen und/oder trickreichen Suchmethoden ist es inzwischen fast an der Tagesordnung neue Planeten um andere Sterne zu finden, sie bezeichnen wir als Exoplaneten. Um weitere Erden, also erdähnliche Planeten zu finden - die eventuell auch wie die Erde Leben beherbergen - ist es nahe-

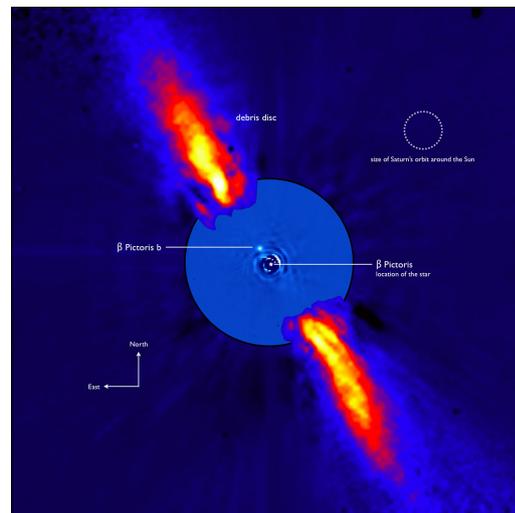


Abbildung 1.1: Direktaufnahme des Exoplaneten β Pictoris b um den Stern β Pictoris. (Quelle: ESO)

liegend sonnenähnliche Sterne zu überprüfen. Doch wie finden Wissenschaftler heraus ob ein Stern wie die Sonne ist. Ein Teil des Projektes ist das wir lernen wie sich Sterne unterscheiden. Am wichtigsten dabei sind die Gesamt-Helligkeit und Tem-

peratur des Sterns. Wie aber finden wir nun Exoplaneten. Die erste erfolgreiche Detektion war erst 1995 mit der Entdeckung des Exoplaneten 51 Peg b. Das liegt nicht zuletzt daran das Planeten fast ausschliesslich nur das Licht des Zentralsterns reflektieren und nicht von selber leuchten. Sie sind damit viel schwächer und schwerer zu finden. Doch die meisten Methoden verwenden gar nicht die Strahlung des Planeten direkt, sondern den Effekt das der Planet bei einem Transit Licht des Sterns abschwächt. Die zweite wichtige Methode ist nach Bewegungsunterschieden beim Stern zu suchen, die ein Planet verursacht.

Die Transit- und Radialgeschwindigkeitsmethode sind die wichtigsten Detektionstechniken um Exoplaneten zu finden. Weitere Techniken, die hier über den Lernstoff hinausgehen und darum nur namentlich erwähnt werden sind die: Astrometrische Methode, Gravitations-Microlensing-Methode, Lichtlaufzeit-Methode. Es bleibt auch die einfache Methode durch direkte Beobachtung (also einem Bild) den Planeten zu messen was aber durch Helligkeitsunterschied von Planet und Stern sehr schwierig. Am 10. September 2004 ist Beobachtern an der Europäischen Südsternwarte (ESO) aber in der Tat so eine schwierige Direktaufnahme des Exoplanet 2M1207b gelungen. Unser Beispielbild zeigt den Exoplaneten β Pictoris b um den Zentralstern β Pictoris. Das Bild ist sehr interessant da es auch Reste der Scheibe aus der Planet und Stern entstanden sind zeigt (gelb-roter Bereich). Zum Vergleich ist auch die Umlaufbahn von Saturn um die Sonne als Skala eingezeichnet.

Die Transitmethode

Bei der Transitmethode wird nicht der Planet beobachtet, sondern die Änderungen der Helligkeit des Zentralsterns. Die Messung kann zur Detektion eines oder mehrerer Planeten führen. Voraussetzung für die Transitmethode ist daher die passende Ausrichtung des Systems relativ zu uns. In unserem Sonnensystem sind eine Venus- oder Merkurtransit eine direkter Vergleich für die Transitmethode. Wenn Venus oder Merkur von der Erde gesehen direkt vor der

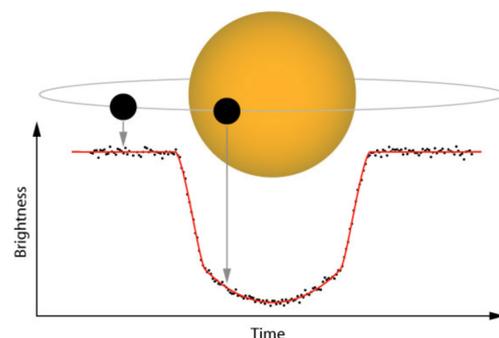


Abbildung 1.2: Skizze Planetentransit
Quelle: NASA

Sonne vorbeiziehen erzeugen sie einen Schatten auf der Sonne und schwächen deren Helligkeit ab. Auch eine Sonnenfinsternis basiert auf dem selben Prinzip - hier zieht er Mond

vor der Sonne vorbei. Der Schatten auf der Sonne ist hier durch die Nähe des Mondes an die Erde erheblich grösser und kann die Sonne (gesehen von der Erde) komplett Verdunkeln. Bei der Transitmethode wird der Helligkeitsverlauf eines Sterns gemessen und nach periodisch wiederkehrenden Signaturen durch den Vorbeigang eines Planeten gesucht (siehe Abb. 2.2). Je nach Größe des Planeten ist der Helligkeitsabfall unterschiedlich stark und lang, somit kann bei einer Detektion auch der Radius des Planeten bestimmt werden. Der Kepler Satellit der NASA hat auf diese Weise in den Jahren 2009-2018 Sternensystemen untersucht und 2662 bis dato unbekannte Exoplaneten entdeckt. Tatsächlich fand die Kepler-Mission heraus, dass es in unserer Galaxie sehr wahrscheinlich mehr Planeten als Sterne gibt. Wir gehen derzeit davon aus, dass 20-50% der Sterne erdähnliche Planeten haben.

Ihr selber könnt an der Exoplaneten-Forschung sogar selber teilnehmen und mit der Transit Methode arbeiten. Infos dazu findet ihr hier im letzten Kapitel (Ciziten Science – auf der Jagd nach Exoplaneten).

Die Radialgeschwindigkeitsmethode

Die Methode basiert darauf dass wenn ein Planet vorhanden ist Planet und Stern um den gemeinsamen Schwerpunkt kreisen, der Stern also mal etwas auf und zu kommt, mal von uns weg bewegt. Die Komponente der Bewegung die in unsere Richtung zeigt, die Radialgeschwindigkeit, ist in Spektren durch die der Blau- und Rotverschiebung (Doppler-Effekt) der Linie messbar. Hat der Stern keinen Planeten verharret er seinem eigenen Schwerpunkt. De-
sto massereicher der Planet umso

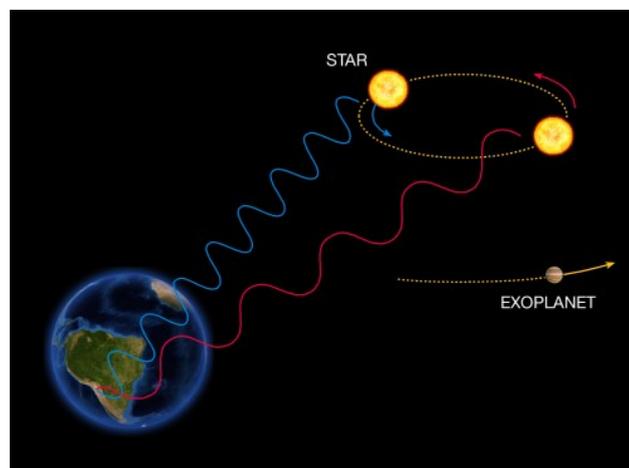


Abbildung 1.3: Skizze Radialgeschwindigkeitsmethode
Quelle: ESO

tiefer ist das Gravitationspotential und der Schwerpunkt somit ist die Veränderung der Radialgeschwindigkeit stärker. Die Methode werden auch Doppelsternsystem gefunden.

2 Was ist Leben?

Um etwas über das Leben auf unserem Planeten aussagen zu können oder gar im restlichen Universum danach zu suchen, sollten wir zunächst überlegen, was Leben eigentlich ist. So banal diese Frage auch klingt, sie zu beantworten ist gar nicht so einfach. Tatsächlich gibt es keine einheitliche Definition dafür, was man als „Leben“ bezeichnet. Insofern ist es nicht überraschend, dass die Frage bis heute Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beschäftigt.

1 Naturwissenschaften und das Leben

Während des 20. Jahrhunderts machte die Naturwissenschaft in vielen Bereichen große Fortschritte, die unser heutiges Weltbild prägen. Die Entwicklung der Quantenmechanik in der ersten Jahrhunderthälfte, die unter anderen Werner Heisenberg, Max Planck und Erwin Schrödinger voran getrieben haben, hat beispielsweise unser Verständnis vom Aufbau der Atome und damit der Materie revolutioniert. Die Genetik, welche sich um die Jahrhundertwende als Teilbereich der Biologie herausgebildet hatte, sammelte in dieser Zeit etliche Erkenntnisse über die Fähigkeiten des Erbmaterials, tappte jedoch im Dunkeln, was die Natur des Gens an sich anging. Dies änderte sich 1927, als Hermann Muller in Experimenten Fliegen intensiver Röntgenstrahlung aussetzte und daraufhin Gen-Mutationen bei diesen Fliegen beobachtete. Man erkannte, dass Gene nichts anderes als Moleküle im Inneren von Zellen sind. Dadurch hatte man allerdings noch nicht erklärt, wie aus ihnen die Vielfalt irdischen Lebens entstehen konnte und Muller war klar, dass es für die weitere Erforschung dieser speziellen Moleküle der Zusammenarbeit mit Physikern und Chemikern bedurfte.

Einer von ihnen war der bereits erwähnte Erwin Schrödinger, ein theoretischer Physiker, der vor allem für seine bahnbrechenden Beiträge zur Quantenmechanik bekannt ist. Er verfasste jedoch auch einige philosophisch motivierte Schriften, immer getrieben durch die grundlegende Frage nach der Natur der Dinge. So hielt er um die Jahrhundertmitte eine Vortragsreihe, in der er sich der Frage „Was ist Leben?“ aus Sicht eines Physikers näherte. Seine Überlegungen schrieb er später in einem gleichnamigen Buch nieder. Darin beschrieb er zum Beispiel, wie die Quantentheorie beim Verständnis spontaner genetischer Mutationen helfen kann und prägte nebenbei den Begriff des „genetischen Codes“, um die

Weitergabe von Information durch Vererbung zu erklären.

Ein Problem, welches ihn besonders beschäftigte, war die Vereinbarkeit von Leben mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Dieser besagt, dass Wärme niemals von allein von einem Körper niedriger Temperatur zu einem Körper höherer Energie übergeht¹ oder anders ausgedrückt: Die Natur strebt grundsätzlich dem Zustand größtmöglicher Entropie (Unordnung) entgegen. Man stelle sich eine Tasse heißen, dampfenden Tees auf dem Küchentisch vor. Da die Zimmertemperatur in der Küche immer viel kühler ist als heißer Tee, gibt der Tee Wärme an die Umgebung ab und wird dadurch selbst kühler. Der Wärmeaustausch hält so lange an, bis das thermodynamische Gleichgewicht erreicht ist, d.h. die Temperatur des Tees ist gleich der Umgebungstemperatur. Dieser Prozess würde niemals umgekehrt ablaufen, der kalte Tee könnte sich bei gleicher Umgebungstemperatur von alleine nicht erwärmen. Der Gleichgewichtszustand ist der mit der höchsten Entropie oder dem geringsten Maß an geordneten Strukturen. Lebende Organismen scheinen diesem Streben nach Entropie erstaunliche lange widerstehen zu können, nämlich genau so lange, wie sie am Leben sind. Der Gleichgewichtszustand mit der maximalen Entropie wird bei ihnen erst nach dem Tod erreicht, da der den Zerfall der Ordnung bedeutet. Doch wie schaffen es Organismen vorher, dem Verfall zu entgehen, durch Vererbung sogar eigene Strukturen an die nächste Generation weiterzugeben? Im Verlauf der Evolution haben sich immer komplexere Organismen herausgebildet, die dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik immer stärker zu widersprechen scheinen. Schrödinger ging also der Frage nach, wie das Leben vermeintlich den physikalischen Gesetzen entgeht.

Um lebendig zu bleiben muss sich ein Organismus auf irgendeine Weise ernähren, beispielsweise wie wir Menschen oral oder wie Pflanzen durch Photosynthese. Die in der Nahrung enthaltene Energie nutzt er, um seine eigene Ordnung zu erhalten und ständig zu erneuern und damit den Verfall aufzuhalten. Da bei diesem Prozess der Umwelt eine geordnete Struktur entnommen und ihr die Reste in weniger geordneter Form zurückgegeben werden, hat der Organismus zusätzlich die Unordnung in seiner Umgebung erhöht und seine Entropiebilanz somit verbessert. Um der Entwicklung zur maximalen Entropie und damit dem Tod zu entgehen, ernährt sich der Organismus gewissermaßen von „negativer Entropie“.

Trotz dieser und weiterer spannender Überlegungen, die zum Teil Denkanstöße für die biologische Forschung lieferten, kommt Schrödinger am Ende zu dem Ergebnis, die uns bekannten physikalischen Gesetze könnten nicht ausreichen, um die Eingangsfrage „Was

¹Mehr zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik: <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/zweiter-hauptsatz-der-thermodynamik>

ist Leben?“ zu beantworten. Das liegt daran, dass unsere physikalischen Gesetze stets statistisch zu verstehen sind; sie erlauben es, Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten oder Nichteintreten eines bestimmten physikalischen Ereignisses zu bestimmen. Daher ist es beispielsweise bei chemischen Prozessen möglich vorherzusagen, wie viele Moleküle nach einem bestimmten Zeitraum reagiert haben. Allerdings kann man für ein bestimmtes Molekül keinerlei Aussagen darüber treffen, ob es zu einem bestimmten Zeitpunkt reagiert haben wird oder nicht. Leben ermöglicht jedoch mit Hilfe verhältnismäßig weniger, aber dafür hochorganisierter Komponenten den Ablauf komplexer Prozesse. Um diese zu verstehen genügen Schrödingers Ansicht nach unsere bisherigen Erkenntnisse nicht und er stellt grundsätzlich in Frage, ob die Erklärung schließlich allein aus der Physik kommen wird:

Wir müssen bereit sein, hier physikalische Gesetze einer ganz neuen Art am Werk zu finden. Oder sollten wir lieber von einem nichtphysikalischen, um nicht zu sagen überphysikalischen Gesetz sprechen?²

2 Aktueller Wissensstand

Seit Schrödingers Zeilen 1944 erschienen sind hat sich natürlich viel getan, gerade auch im Bereich der Molekularbiologie. Dennoch bleibt es bis heute schwierig, eine eindeutige Definition für Leben zu geben, obwohl sich Wissenschaftler und Künstler aus den verschiedensten Disziplinen bereits mit dieser Frage beschäftigt und das Gesamtbild um ihre Perspektive ergänzt haben. Biologen sind weiterhin auf bestimmte Kriterien angewiesen, die es ihnen erlauben, mit ausreichender Sicherheit Lebewesen zu erkennen. Zu den „Mindestanforderungen“, die ein System erfüllen muss, um als lebender Organismus angesehen zu werden, gehören unter anderem folgende Kriterien³

- Es muss mindestens eine Zelle geben und einen Bauplan, der bestimmten Molekülen, den Proteinen, ihre Funktionen zuweist.
- Es muss ein Stoffwechsel erkennbar sein, das heißt es findet ein ständiger energetischer Austausch mit der Umgebung statt.
- Es ist eine Form der Reproduktion erkennbar, es wird also genetische Information an folgende Generationen weitergegeben.

²Schrödinger (1987): *Was ist Leben?*, München: Piper

³Quelle: Max-Planck-Institut für synthetische Biologie, <https://www.synthetische-biologie.mpg.de/17480/was-ist-leben>

- Das System zeigt auf großen Zeitskalen Anpassungsfähigkeit, es gibt also eine Evolution. Evolution bedeutet hier, dass zufällig weitergegebene Genmutationen den Nachkommen einen Vorteil verschaffen, der ihnen eine höhere Lebenserwartung und bessere Fortpflanzungschancen bringt.

Trotz dieser und weiterer Kriterien gestaltet sich eine eindeutige Abgrenzung von lebenden Organismen und nichtlebendiger Materie manchmal schwierig. Bei Viren herrscht zum Beispiel bis heute keine Einigkeit, ob man sie zu den Lebewesen zählen sollte oder nicht. Bisher haben wir mit „Leben“ immer organisches, kohlenstoffbasiertes Leben gemeint, welches uns von der Erde bekannt ist. Es ist aber denkbar, dass Leben unter anderen Umweltbedingungen auch auf Basis von anderen Elementen entstehen kann, zum Beispiel auf einer Siliziumbasis. Nach heutigem Stand ist es nicht möglich, weitere Aussagen über solch ein Leben zu machen, da wir bisher kaum Daten über die Umweltbedingungen auf Planeten außerhalb unseres Sonnensystems (Exoplaneten) sammeln konnten. Das wird sich wahrscheinlich mit dem James-Webb-Space-Telescope (JWST) und der neuen Generation bodengebundener Riesenteleken in den nächsten 5-10 Jahren ändern.

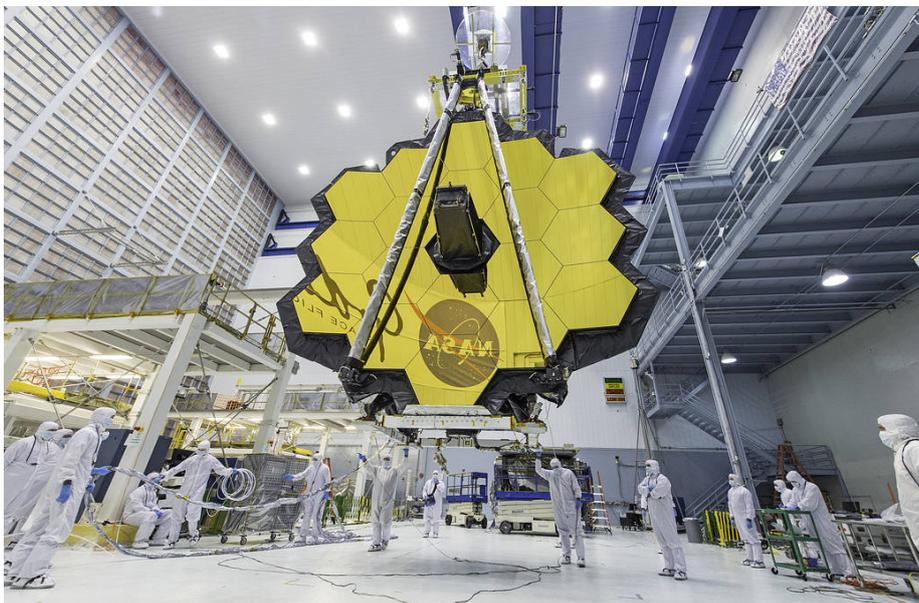


Abbildung 2.1: Das James-Webb-Space-Telescope im Reinraum (Quelle: NASA)

Die Teleskope werden durch die Kombination von Spektroskopie mit der Transitmethode, Atmosphären von Exoplaneten untersuchen und Messungen zu Lebensfreundlichkeit/Habitabilität durchführen.

Leben in All: Erste Voraussetzungen sind schon da

Ein der wichtigsten Bestandteile die wir für Leben brauchen ist wie wir aus der Molekularbiologie wissen das vorhanden sein gewisser Moleküle und molekulare Verbindungen. Tatsächlich haben Astronomen schon sehr komplexe Moleküle gefunden. In den sogenann-



Abbildung 2.2: Herschel Weltraumteleskop Infrarot Aufnahme vom der Rosette Molekülwolke (Quelle: ESA/NASA)

ten Molekülwolken - das sind sehr kalte und dichte Gebiete aus denen auch die Sterne und Planeten entstehen - gibt es komplexe organische wie auch anorganische Verbindungen. Darunter z.B.: Ammoniak, polyzyklischen aromatischen Kohlenstoffs (PAH), Naphthalin, Formaldehyd, Essigsäure sowie Glykol⁴ und es kommen jährlich eine handvoll neue Entdeckungen dazu.

Es wurden tatsächlich schon Aminosäuren, die Grundbausteine für Leben, in Molekülwolken detektiert !

⁴kennen wir als Frostschutzmittel gegen das Einfrieren des Kühlwassers im Auto

3 Spektroskopie

Licht ist in der Regel der einzige Informationsträger, der Forschern in der Astronomie zur Verfügung steht, um die Phänomene des Universums zu studieren. Die Spektroskopie ermöglicht es, den maximalen Informationsgehalt der elektromagnetischen Strahlung zu extrahieren und ist daher eine sehr wichtige Methode und Technik in der Astronomie.

1 Die Entdeckung des Lichtspektrums

Neben der Entdeckung der Schwerkraft und der Formulierung der drei Bewegungsgesetze, gelangte Sir Isaac Newton auch im Bereich der Optik zu bahnbrechenden Erkenntnissen. Im Jahre 1676 er fand mit einem einfachen Experiment: weißes Licht ist die Überlagerung aller sichtbaren Wellenlängen. Er verwendet dazu nur ein Lichtstrahl den er durch einen Spalt, wo er gebündelt wurde, auf ein Prisma lenkte.

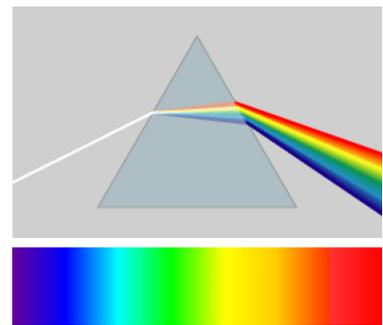


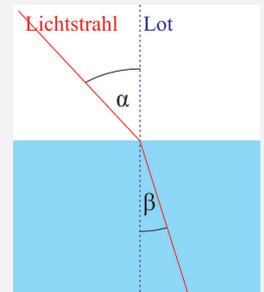
Abbildung 3.1: Brechung im Prisma und das kontinuierliche Spektrum

Beim Übergang in ein anderes Medium wird Licht gebrochen, zunächst also beim Eintritt ins Prisma und ein weiteres Mal beim Austritt. Die **Brechung** ist unterschiedlich stark je nach Wellenlänge. Im Prisma werden die verschiedenen Farben des Lichts so getrennt. Man beobachtet daher ein **kontinuierliches Spektrum** wie in Abbildung 4.1. ¹ Ein Gerät, mit dem man Licht in sein Spektrum zerlegen kann, bezeichnet man als **Spektroskop / Spektrograph oder Spektrometer**. Prismen waren die ersten bekannten Spektroskope, heute verwendet man auch Spalte oder sehr feine **Gitter**. Das Licht wird durch ein Gitter jedoch nicht gebrochen, sondern gebeugt. **Beugung** entsteht durch Überlagerung oder Auslöschung von Lichtwellen (**Interferenz**) und hängt, wie die Brechung, von der Wellenlänge ab. Aufgrund dieses Effektes zerlegt auch die Rillen (\leftrightarrow Gitter) auf der Rückseite einer CD oder DVD Licht in seine Spektralfarben.

¹Quelle: https://lehrerfortbildung-bw.de/st_digital/medienkompetenz/gestaltung-farbe/physik/spektrum/

Brechung von Licht

Wenn Licht auf die Grenzfläche zwischen zwei Materialien trifft, ändert es seine Ausbreitungsrichtung \leftrightarrow Licht wird gebrochen. Der Einfallswinkel α bezeichnet den Winkel, unter dem der Lichtstrahl einfällt. Dieser wird zwischen Lichtstrahl und Lot gemessen. Der Brechungswinkel β zwischen Lot und gebrochenem Lichtstrahl. Wie stark die Brechung ist hängt vom Brechungsindex n der Medien ab und wird durch das **Snellius'sche Brechungsgesetz** beschrieben:



$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta) \tag{3.1}$$

Abbildung 3.2: Brechung an einer Grenzfläche.

Bei senkrechten Einfall ($\alpha = 0$) gibt es keine Brechung.

Brechungsindizes: $n_{Vakuum}=1, n_{Luft}=1,0003, n_{Wasser}=1,33, n_{Quarzglas}=1,46$

2 Die Fraunhofer-Linien und der Weg zur Spektralanalyse

1802 bemerkte der englische Chemiker William Hyde Wollaston bei der Beobachtung der Sonne, dass ihr kontinuierliches Spektrum durch schmale dunkle Linien unterbrochen wird (Abbildung 4.6). Unabhängig fand fast zeitgleich auch der deutsche Optiker Joseph von Fraunhofer die Linien, die er sorgfältig dokumentierte und auch ihre Wellenlängen bestimmte. Zu seinen Ehren werden sie heute als **Fraunhofer-Linien** bezeichnet werden.

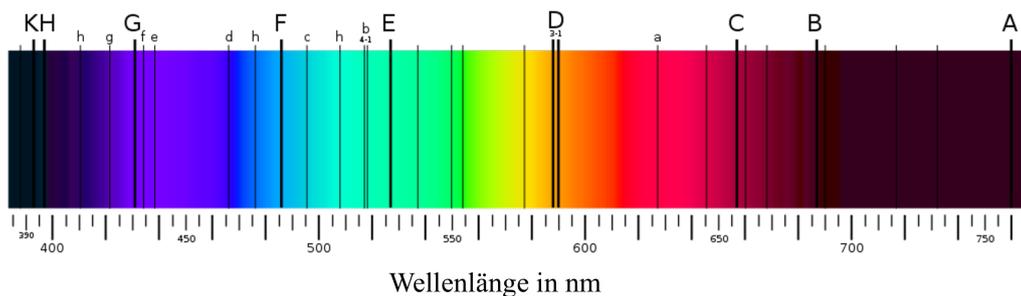


Abbildung 3.3: Spektrum der Sonne. Die schwarzen Linien markieren die Fraunhofer-Linien genannt. Die Zuordnung der Elemente zu den Fraunhofer-Linien ist in Tabelle 3.1 gegeben.

Fraunhofer hatte aber noch keine Idee was für ein physikalischer Prozess diese Linien im Sonnenspektrum erzeugte. Es waren der Physiker Gustav Kirchhoff und der Chemiker Robert Bunsen, die 1860 in Heidelberg gemeinsam herausfanden, dass zu jedem Ionisationszustand eines Elements eine spezifische Spektrallinien gehört. Diese liefert einen unverwechselbaren „Fingerabdruck“ zur eindeutigen Identifikation. Kirchhoff und Bunsen verwendeten Salze verschiedener Element die sie in eine Flamme hielten und die helleren Linien im Flammenspektrum erzeugten. Ein Vergleich mit den Fraunhofer-Linien erhab übereinstimmungen. So konnten sie nachweisen, dass die D-Linie im Sonnenspektrum bei etwa 589 nm mit der durch Natriumsalze in einer Flamme erzeugten Linien übereinstimmt, es gibt also Natrium in der Sonne. Die Spektrallinien sind also eine Nachweismethode für die Elemente unabhängig ob sie in Salzen, als Gas oder sonstigen Zustand vorliegen.

Tabelle 3.1: Zuordnung der Absorptionslinien der Sonne (Fraunhofer-Linien) zu Elementen. Die Sauerstofflinien A, B, a, y und Z sind nicht solaren, sondern terrestrischen Ursprungs, das heißt sie entstehen durch Absorption in der Erdatmosphäre.

Symbol	Element	Wellenlänge [nm]	Symbol	Element	Wellenlänge [nm]
y	O ₂	898,765	c	Fe	495,761
Z	O ₂	822,696	F	H β	486,134
A	O ₂	759,370	d	Fe	466,814
B	O ₂	686,719	e	Fe	438,355
C	H α	656,281	G'	H γ	434,047
a	O ₂	627,661	G	Fe	430,790
D1	Na	589,594	G	Ca	430,774
D2	Na	588,997	h	H δ	410,175
d	He	587,562	H	Ca+	396,847
e	Hg	546,073	K	Ca+	393,368
E2	Fe	527,039	L	Fe	382,044
b1	Mg	518,362	N	Fe	358,121
b2	Mg	517,270	P	Ti+	336,112
b3	Fe	516,891	T	Fe	302,108
b4	Mg	516,733			

Nur mit der Information des Lichtes lässt sich also die stoffliche Zusammensetzung untersuchen - auch auf die Ferne. Die Spektralanalyse war entdeckt und Bunsen und Kirchhoff erkannten sofort ihr enormes Potential:

Bietet einerseits die Spectralanalyse, wie wir im Vorstehenden gezeigt zu haben glauben, ein Mittel von bewunderungswürdiger Einfachheit dar, die kleinsten Spuren gewisser Elemente in irdischen Körpern zu entdecken, so eröffnet sie andererseits der chemischen Forschung ein bisher völlig verschlossenes Gebiet, das weit über die Grenzen der Erde, ja selbst unseres Sonnensystems, hinausreicht.²

Sie sollten Recht behalten, denn die Spektralanalyse ist bis heute eine der wichtigsten Methoden der Astronomie, aber auch anderer naturwissenschaftlich-technischer Bereiche. Sie führte sogar zur Entdeckung einiger Elemente. Bei einer Sonnenfinsternis 1868 die zwei Astronomen Teams nutzen um ein Spektrum der Sonnencorona zu machen entdeckten sie unabhängig voneinander eine unbekannt gelbe Spektrallinie. In Anlehnung an deren Ursprungsort bezeichneten Sie diese Linien mit Helios, griechisch für Sonne. Sie gehörte zu dem bisher unbekannt Element das dann als Helium bekannt wurde und erstmals 1882 von Palmieri in der Lava des Vesuv auf der Erde nachgewiesen wurde. Heute weiß man, dass Helium nach Wasserstoff das zweithäufigste Element im ganzen Universum ist.

Die neue Analyseverfahren eröffnete ein breites Feld wissenschaftlicher Anwendungsmöglichkeiten und gab erste Anstöße in Richtung der Formulierung der Quantenmechanik. Um nämlich zu verstehen, wie die charakteristischen Spektrallinien entstehen, benötigt man Kenntnisse über die Wechselwirkung von Atomen mit Photonen, die erst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit der Quantenmechanik verstanden und formalisiert wurden.

3 Atomphysikalische Grundlagen

Um zu verstehen, warum jedes Element ein anderes Spektrum hat, muss man zuerst einmal wissen, wie Elemente bzw. Atome aufgebaut sind. Dafür ist in diesem Fall das einfache Bohr'sch Atommodell am anschaulichsten. Atome bestehen aus einem Kern (der Protonen und Neutronen enthält) und Elektronen, die sich um den Kern bewegen. Jedes Elektron kann dabei nur bestimmte energetische Zustände annehmen, zwischen denen es aber durch Abgabe oder Aufnahme der passenden Energiemenge wechseln kann.

²Kirchhoff & Bunsen (1860): Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. *Annalen der Physik* 168, S. 186f.

Springt ein Elektron von einem höheren Energieniveau auf ein niedrigeres wird dabei Energie in Form eines Photons frei, das emittiert wird \leftrightarrow **Emission**. Bekommt ein Elektron durch ein Photon genügend Energie, in dem es dies absorbiert geht es auf ein höheres Energieniveau \leftrightarrow **Absorption**. Beides Prozesse sind schematisch in Abbildung 4.6 dargestellt. In einem Atom sind für die Elektronen aber nur ganz bestimmte Energieniveaus möglich. Übergänge kann es nur geben wenn Photonen eine Energie haben die genau der Differenz zweier Energieniveaus entspricht. Ein solches „Energiepaket“ in Form eines Photons wird auch Quant genannt. Es gibt eine Beziehung der Photon-Energie mit Frequenz und Wellenlänge :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.2)$$

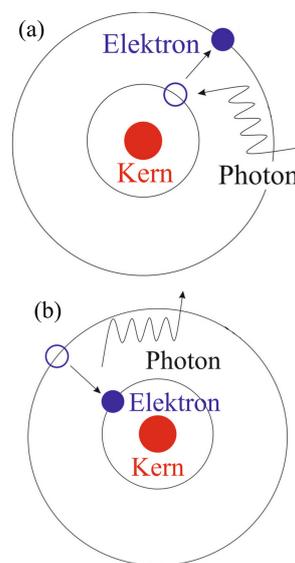


Abbildung 3.4: Absorption (a) und Emission (b) von Photonen.

Dabei steht h für das Plancksche Wirkungsquantum ($h=6.62607015e^{-34}$ in Js) und c für die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ($c_{\text{Vakuum}} = 299\,792\,458$ in m/s). Wenn ein Elektron vom Energieniveau E_2 auf ein niedrigeres Niveau E_1 fällt wird ein Photon der Frequenz die der Energie $E = \Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$ entspricht emittiert. Die erlaubten Energieniveaus in einem Atom sind von Element zu Element verschieden. Da nur bestimmte Übergänge möglich sind bilden diese charakteristischen Spektrallinien der Elemente entweder in Form von **Absorptionslinien** oder **Emissionslinien**.

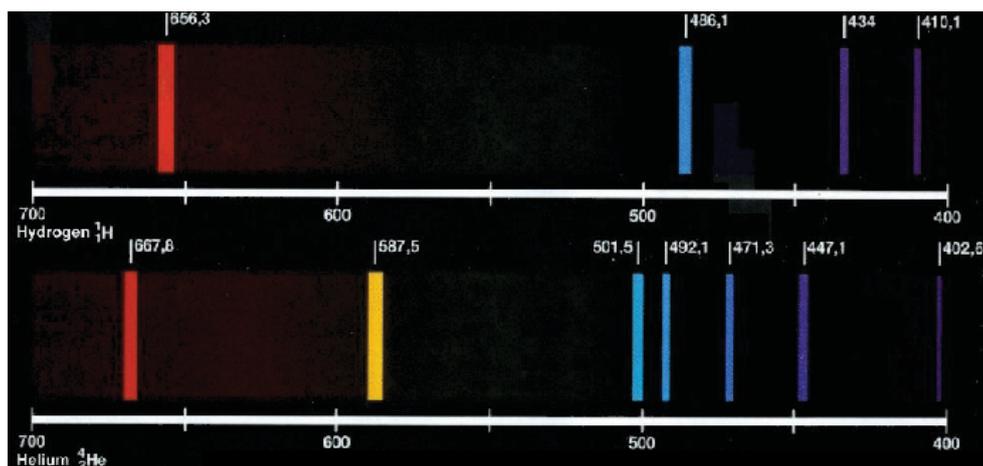


Abbildung 3.5: Ein Spektrum mit Emissionslinien von Wasserstoff und Helium im sichtbaren Bereich. (Quelle: <https://qudev.phys.ethz.ch/content/science/BuchPhysikIV/PhysikIVch8.html>)

4 Anwendung in der Astronomie

Genau genommen unterscheiden sich die möglichen Übergänge nicht nur von Element zu Element sondern auch der Ionisationszustand spielt eine Rolle. So sind die Übergänge in einem Element das nicht ionisiert ist (=atomar) anders als die beim selben Element das einfach, zweifach oder noch höher ionisiert ist. In der Astronomie gibt es eine eindeutig festgelegte Bezeichnung für die Linien. Zuerst das Kürzel für das jeweilige Element aus dem Periodensystem (Beispiel Wasserstoff H, Stickstoff N, etc.). Danach wird nach dem Ionisationszustand mit

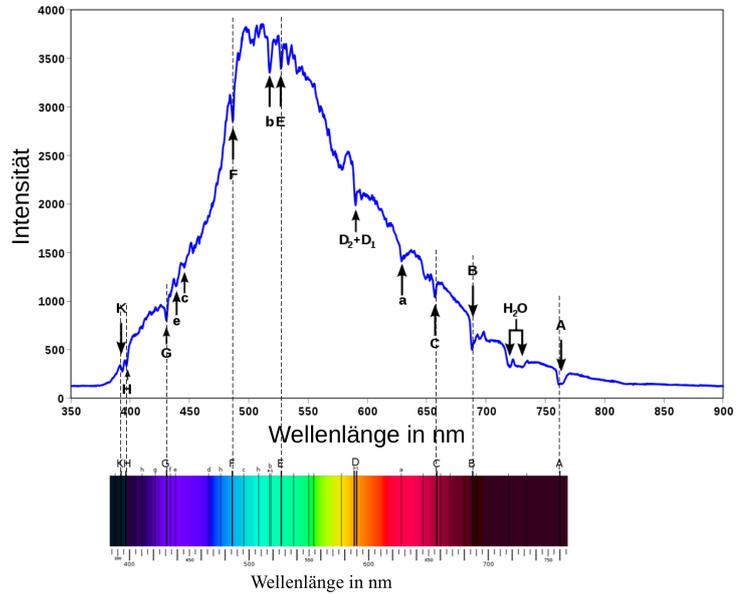


Abbildung 3.6: Sonnenspektrum in verschiedenen Darstellungen

römischen Buchstaben unterschieden. I nicht ionisiert, II einfach ionisiert, III zweifach ionisiert, IV dreifach usw. Dies bedeute die NII Linie kommt von einfach ionisiertem Stickstoff. HI ist nicht ionisierter, atomarer Wasserstoff.

Abb. 4.6 zeigt das Spektrum der Sonne. Es zeigt eine Kontinuumsstrahlung die durch die hohe Oberflächentemperatur erzeugt wird. Aus dieser Kontinuumsstrahlung werden durch die verschiedene Elementen einzelnen Linie bei den entsprechenden Wellenlängen absorbiert. Das führt zu den bereits bekannten Fraunhofer-Linien, die genutzt werden können um die Elemente zu bestimmen, die in den äußeren Schichten der Sonne enthalten sind. Auf diese Weise gewinnt man also Erkenntnisse über die Zusammensetzung von Sternen, Staub- und Gaswolken und Galaxien. Aus spektroskopischen Daten lassen sich in der Astronomie aber je nach beobachtetem Objekt noch weitere wichtige Informationen ableiten. Dies sind z.B. die Temperatur und der Druck an der Sternoberfläche. Spektren zeigen mit der Radialgeschwindigkeits-Methode, das Vorhandensein von Planeten und finden Doppelstern oder Mehrfachsternsysteme. Die Spektroskopie bietet sogar die Möglichkeit Exoplaneten genauer zu untersuchen und Erkenntnisse über die Beschaffenheit des Planeten und seiner Atmosphäre zu bekommen und damit zu sehen ob Leben dort möglich ist.

Spektren von Sterne - Sternklassen

Sterne unterscheiden sich nicht nur in ihrer Helligkeit sondern wie ihr selber in einer wirklich dunklen Nacht testen und sehen könnt auch ihrer Farbe. Farben von Sternen sind aber gleichbedeutend mit Spektren. Das Kontinuuiertlich Spektrum hat je nach Temperatur des Stern sein Maximum im roten, orangen, gelben, blauen Bereich. Die Temperatur bestimmt weiter welche Linien erzeugt werden können, denn desto heisser ein Stern ist umso höher ionisierte Elemente kann er haben. Mit Hilfe von Spektren können Sterne so genau klassifiziert werden.

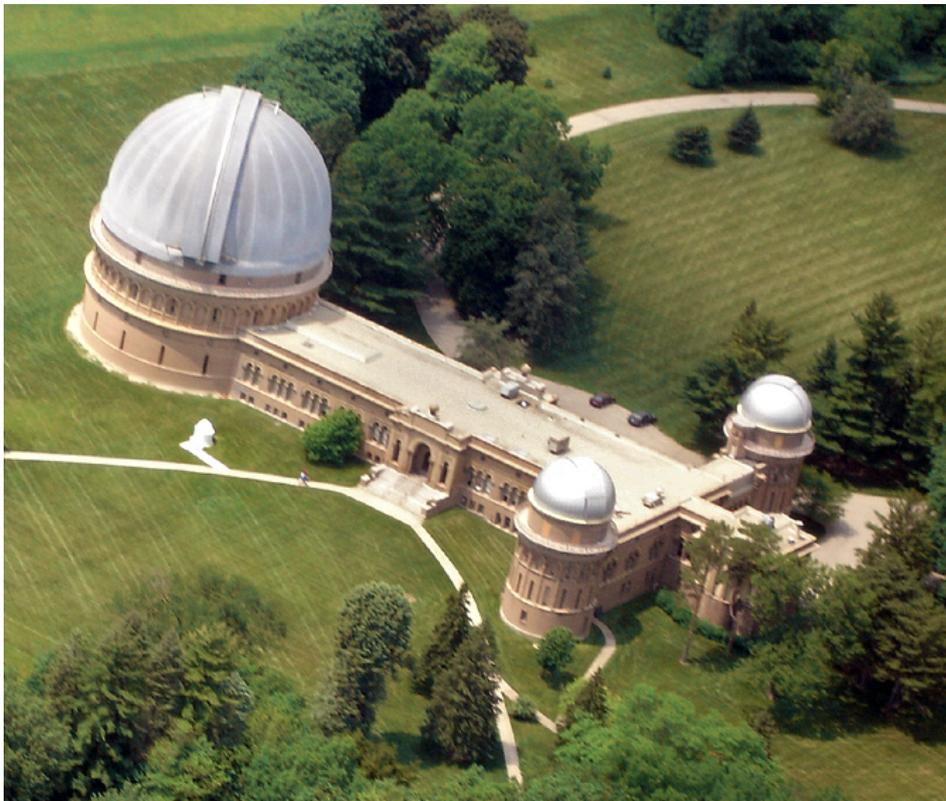


Abbildung 3.7: Das Yerkes Observatorium

Sternen wird zunächst je nach absoluter Helligkeit eine Leuchtkraftklasse zugeordnet, danach je nach Spektrum eine Spektralklasse. Diese Klassifikation erfolgt aufgrund von Spektrallinien (Absorptions- und Emissionlinien, s.o.). Historisch hat sich hierbei die MK-Klassifikation – aus den Anfangsbuchstaben der Nachnamen von William Wilson Morgan und Philip C. Keenan, die das System eingeführt haben. Es wird mitunter auch als Yerkes-Klassifikation bezeichnet, nach dem Yerkes-Observatorium siehe Abbildung 3.7 an dem diese Beobachtungen und Arbeiten der Klassifikation durchgeführt wurden.

Diese Benennung der Spektralklassen, die auch heute noch verwendet wird, ist durch Großbuchstaben gekennzeichnet: O, B, A, F, G, K, M. (Bsp. ein O Stern etc.). Innerhalb der einzelnen Spektralklassen wird dann von 0 bis 9 weiter differenziert (B2, B3, B9, A0, A2 etc.). Die Identifikation der Spektralklassen erfolgt über die Spektrallinien im Spektrum und sind wie folgt festgelegt:

O Sterne Die heißesten blauen Sterne, $T \simeq 30000 \text{ K} - 50000 \text{ K}$

Spektrallinien vor allem HI (Balmer-Serie), He I & HeII , z.T. CIII, NIII, OIII

B Sterne Blau-weiße Sterne, $T \simeq 10000 \text{ K} - 28000 \text{ K}$

HeI, K-Linie von CaII wird sichtbar, OII, SiII, MgII, HI (Balmer-Serie) wird stärker

A Sterne Weiße Sterne, $T \simeq 7500 \text{ K} - 9800 \text{ K}$

HI Balmer-Linien stärker, H- und K-Linien von CaII werden stärker, neutrale Metall-Linien (z.B. FeI & MnI) erscheinen

F Sterne Gelb-weiße Sterne, $T \simeq 6000 \text{ K} - 7500 \text{ K}$

HI-Linien lassen in Intensität nach, CaII-Linien werden weiter stärker, viele neutrale und einfach ionisierte Metall-Linien, G-Band des CH-Moleküls noch extrem schwach

G Sterne Gelbe Sterne, $T \simeq 5000 \text{ K} - 5900 \text{ K}$

CaII Linien sehr stark, G-Band des CH-Moleküls erscheint, viele neutrale Metall-Linien (FeI etc.) werden deutlich sichtbar

K Sterne Gelb-orange Sterne, $T \simeq 3500 \text{ K} - 5000 \text{ K}$

Dominiert von Metall-Linien(z.B. FeI & MnI), Wasserstoff unwichtig, CaII noch stark, CaI wird stark, G-Band stark, erstmals TiO

M Sterne Kühle, rote Sterne, $T \simeq 2000 \text{ K} - 3500 \text{ K}$

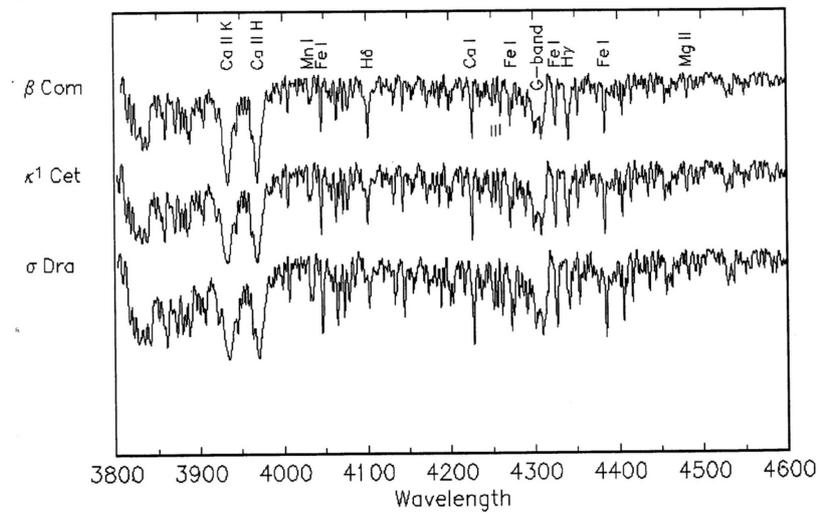
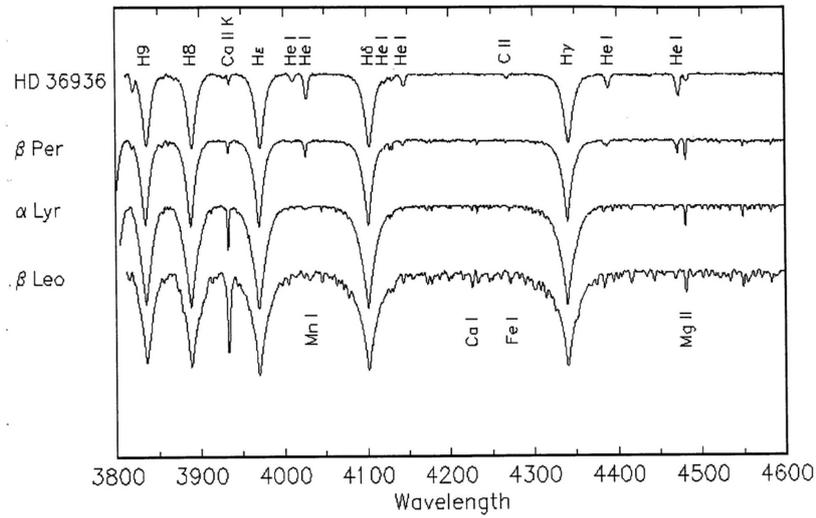
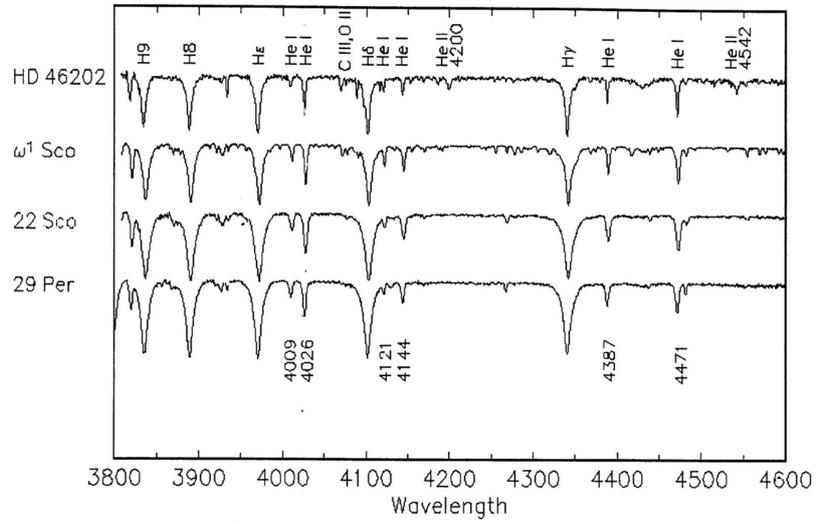
Molekulare Absorptionsbanden dominant (TiO), viele neutrale Metall-Linien, darunter CaI

Unsere Sonne ist nach dieser Klassifikation ein G oder genauer G2 Stern !

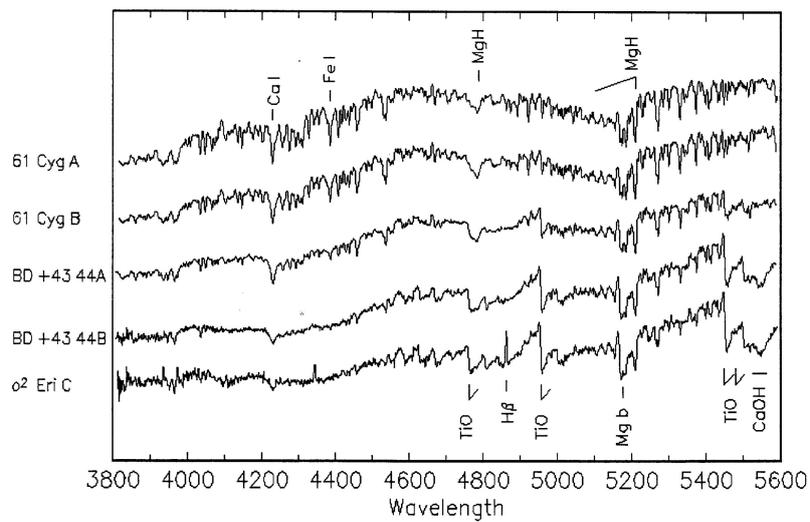
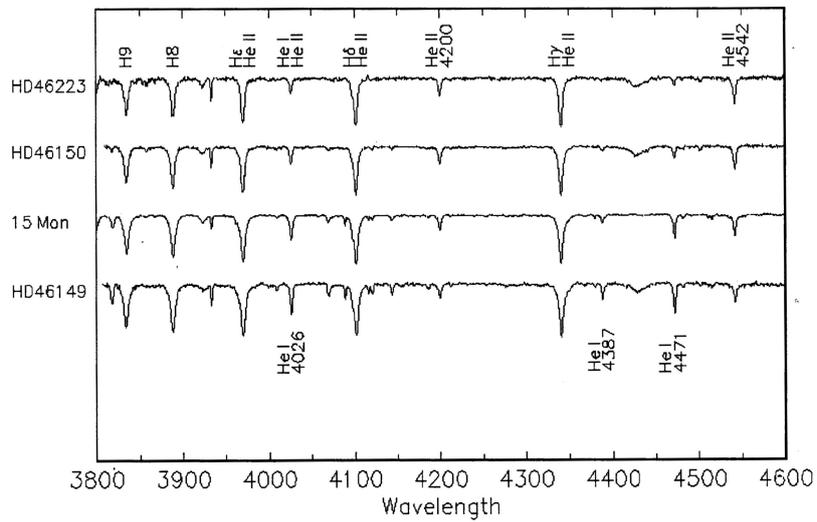
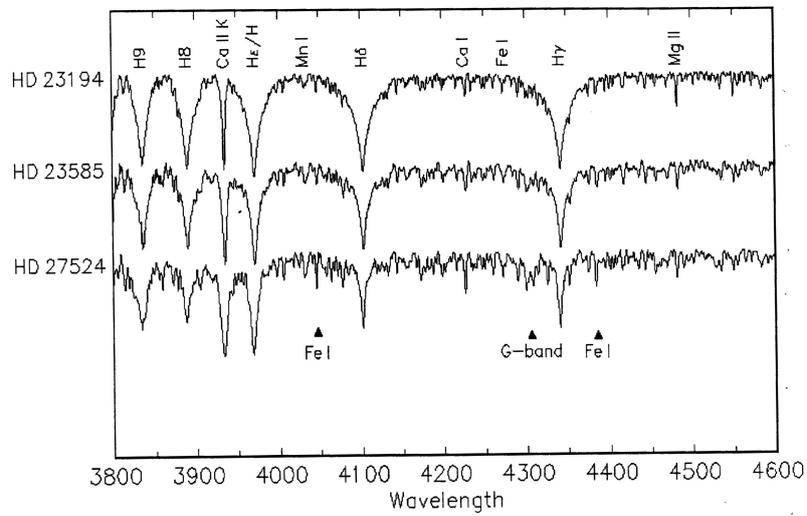
Spektralklassifikation von Sternen

Ordne jedem Stern aus den Abbildungen in den nächsten zwei Seiten eine Spektralklasse (O,B,F, etc.) zu. Verwende dazu die oben genannten Kriterien der Spektralklassen.

Stern	populärer Name	Spektrallinien	Spektraltyp	Platz für Notizen
HD46202		He II, CIII, OIII	O	Beispiel
ω^1 Sco				
22 Sco				
29 Per				
HD 36936				
β Per	Algol			
α Lyr	Vega			
β Leo	Denebola			
β Com				
κ^1 Cet				
σ Dra	Alsafi			
HD 23194				
HD 23585				
HD 27524				
HD 46223				
HD 46150				
15 Mon				
HD 46149				
61 Cyg A				
61 Cyg B				
BD+4344 A				
BD+4344 B				
\circ^2 Eri C				



4 ANWENDUNG IN DER ASTRONOMIE



5 Das Experiment

Ziel/Fragestellung Woraus besteht der Dampf in den Dampfampfen?

Vorgehensweise Euch stehen Spektrallampen zur Verfügung. Jede Lampe erzeugt Licht, das wie im Kapitel oben erklärt charakteristisch für ein bestimmtes Element ist. Nutzt die Handspektrometer, um die Linienspektren der Lampen zu untersuchen.

Aufgaben 1. Messt und notiert die Wellenlängen der einzelnen Linien so genau wie möglich.

2. Vergleicht die Messung mit den Lösungshilfen verschiedenster Spektrallampen. Könnt ihr den Lampen ihre Elemente zuordnen?

3. Richtet das Handspektroskop auf die Raumbeleuchtung. Erkennt ihr Stoffe wieder?

4. Wie leicht ist euch die Aufgabe gefallen und worin lagen die Schwierigkeiten?

5. Reflektiert über Vor- und Nachteile um diese Methode bei Exoplaneten einzusetzen.

Kommentare/Notizen *Hier ist Platz für die Beantwortung der Fragen und Anmerkungen, die ihr für die Diskussion nutzen könnt*

4 Infrarotbildgebung

Spektren (siehe Kapitel 4) von astronomischen Objekten aufzunehmen ist zwar sehr informativ, aber auch zeitaufwendig, da viel Licht vom untersuchten Objekt benötigt wird. Damit das Signal stark genug ist um es auf viele spektrale Auflösungselemente zu verteilen (das Spektrum), muss oft außerdem sehr lange beobachtet werden. Deshalb versucht man in der Astronomie so viele Informationen wie möglich aus fotografischen Verfahren zu extrahieren, da auf diese Weise sehr viele Objekte mit einer einzigen Aufnahme untersucht werden können. Dazu werden verschiedene Filter vor den Detektor montiert die nur bestimmte Wellenlängen durch lässt. Ein UV-Filter lässt so beispielsweise das energiereiche Ultraviolette Licht massereicher heißer OB Sterne durch. Ein roter Filter das Licht kühleren A bis M Sternen deren maximale Abstrahlung in roten oder sogar Infraroten Bereich liegt. Wenn man weit ins UV oder den Infrarotbereich messen will ist das nur ausserhalb unserer Atmosphäre (also mit Satelliten) möglich, da die Atmosphäre der Erde viele Teile es elektromagnetischen Spektrums absorbiert (siehe Abb. ??).

Wir möchten unter anderem herausfinden, was man auf der Erde mit einem Infrarot-Filter sehen kann und wie eine Wärmebildkamera Informationen schnell nutzbar machen kann. Ein interessanter und für uns besonders relevanter Aspekt des Lichts im Infraroten ist, dass es für das Leben wichtige Prozesse sichtbar machen kann.

1 Die Entdeckung der Infrarotfotografie

Robert Williams Wood (1868-1955) war ein amerikanischer Physiker, der in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts internationale Bekanntheit durch seine Arbeit auf den Gebieten der Optik und Spektroskopie erlangte. Er war der Erste, der Fotografie mittels nicht sichtbarer Strahlung betrieb, viele Jahre bevor diese Technik Einzug in die bildgebende Medizin halten würde. Stattdessen wandte Wood seine Erkenntnisse zunächst auf die astronomische Fotografie an und erfand Methoden, die sichtbares Licht filterten und ihm so ermöglichen, Ultraviolettaufnahmen¹ der Sonnenoberfläche zu machen. Um zu verstehen wie solche Filter funktionieren, machen wir einen kleinen Exkurs in die Grundlagen der Fotografie.

¹im von der Erde zugänglichen UV Bereich

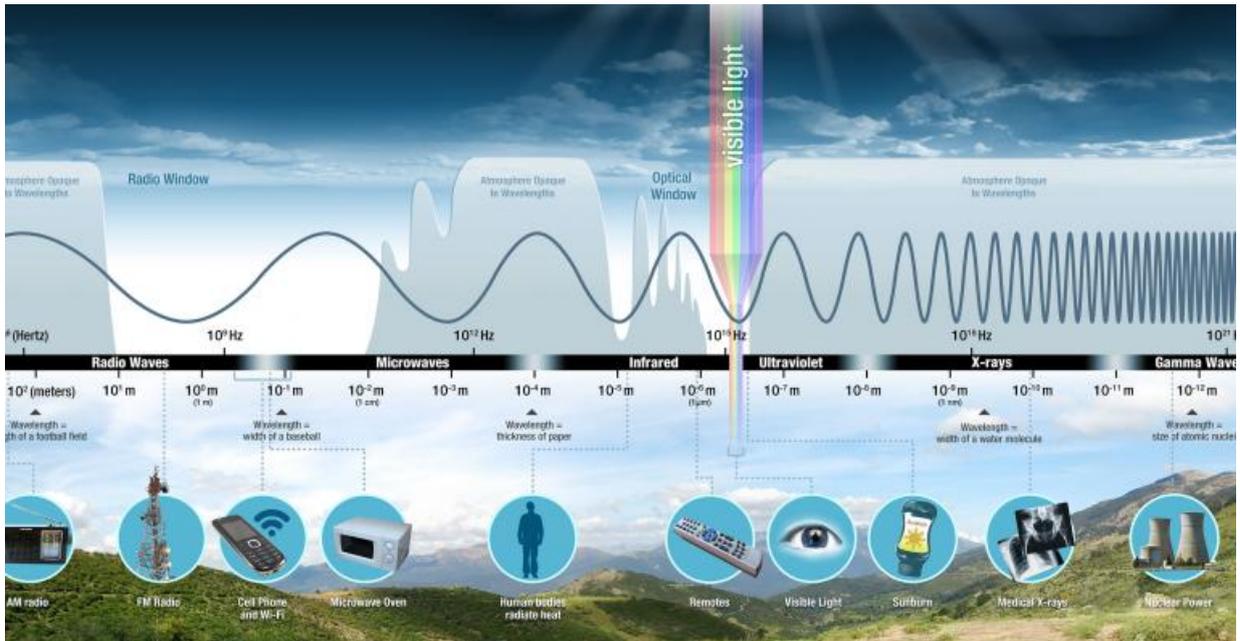


Abbildung 4.1: Das elektromagnetische Spektrum und der Durchlass der Erdatmosphäre. Quelle: <https://science.nasa.gov/ems/>

Exkurs: Analogfotografie

Die Fotografie wurde um 1840 erfunden. Eine Aufnahme benötigte damals noch lange Belichtungszeiten (bis zu Stunden), doch die grundlegende Technik der Analogfotografie war bereits vorhanden. Um eine Aufnahme zu machen, wurde eine lichtempfindliche Schicht, die Fotoemulsion, auf ein Trägermaterial aufgebracht. Die Träger waren anfangs oft Papier oder Glas, bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts der Film erfunden wurde und als Trägermaterial zunächst Karton und schließlich verschiedene Sorten von Plastik diente. Auch heute wird noch teilweise analog fotografiert, die digitale Fotografie ist aber inzwischen viel weiter verbreitet.² Allerdings ist in den letzten Jahren ein neuer Trend zurück zur Nutzung analoger Photographie im künstlerischen Bereich zu beobachten.

Eine Fotoemulsion besteht aus Gelatine und darin eingebetteten Silberhalogenid Kristallen, die auf unterschiedliche Arten behandelt („sensibilisiert“) werden können, zum Beispiel so, dass sie für den gesamten sichtbaren Spektralbereich empfindlich sind. Trifft ein Photon auf einen Kristall, kann sich ein Fotoelektron herauslösen und falls es auf ein Silberion trifft, mit ihm ein Silberatom bilden. Die Silberatome sind instabil und würden sich normalerweise direkt wieder trennen, doch in der Fotoemulsion lagern sie sich an während

²Quelle: <https://klexikon.zum.de/wiki/Fotografie>, zuletzt aufgerufen am 03.12.2019.

der Herstellung entstandenen makroskopischen Partikeln ab. So werden nach und nach alle ausreichend belichteten Kristalle zu metallischem Silber und durch chemische Entfernen aller nicht belichteten Kristalle (“entwickeln”) entsteht schließlich das Negativ, von dem dann (auch stark vergrößerte) Abzüge erstellt werden können. Durch unterschiedliche Behandlung der Kristalle und Zugabe verschiedener Farbstoffe können bestimmte Effekte hervorgerufen und gezielt Farben hinzugefügt oder herausgefiltert werden. Ein Film ganz ohne Sensibilisierung, wie es Anfang des 20. Jahrhunderts üblich war, fängt nur violettes und blaues Licht ein.

Ein Blick in neue Welten

Wood experimentierte mit unterschiedlichen Zusammensetzungen von Fotoemulsionen und beschreibt 1903 erstmals eine Beschichtung, die ausschließlich ultraviolettes Licht durchlässt, also mit anderen Worten das rote bis blaue und violette Licht herausfiltert, was normalerweise in der Fotoemulsion reagiert hätte. UV-Strahlung nennt man Photonen mit Energien, die Wellenlänge entsprechen die länger als die von sichtbarem Licht. Der UV Bereich reicht von 390 bis 100 nm.

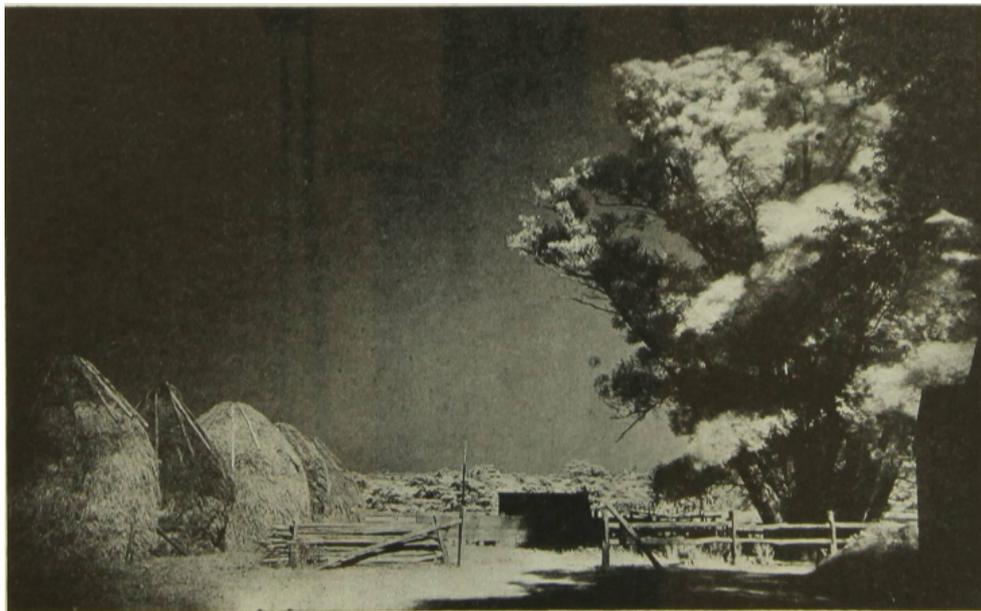


Abbildung 4.2: Eine der ersten Landschaftsaufnahmen im Infrarotbereich. Wood (1910): „Photography on invisible rays“, *Photographic Journal* 50, 329-338.

Der sichtbare Bereich des Spektrums liegt bei Wellenlängen von ca. 400-700 Nanometern ($\text{nm} \leftrightarrow 10^{-9} \text{ m}$), daran schliesst sich der langwellige IR-Bereich an ($>700\text{nm}$ über den Mikrometern ($1 \mu\text{m} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) Bereich zu fast einem Millimeter 1mm, siehe Abb. 5.1). Ein Jahr später machte Wood wie oben schon gezeigt auch den niederfrequenten Bereich sichtbar und wurde einer der ersten Infrarotfotografen. Um 1910 veröffentlichte er IR-Landschaftsaufnahmen (siehe Abb. 5.2) und wurde dafür geehrt, die Grenzen menschlicher visueller Wahrnehmung überwunden und uns damit neue Welten eröffnet zu haben.³

Heute nutzen Astronomen viele unterschiedliche Techniken, um Einblick in weitere „Welten“ des elektromagnetischen Spektrums zu erhalten, auch unter Nutzung von Satelliten Observatorien. Absorptionsfilter ganz ähnlich wie der von Wood sind auch in der modernen Astronomie grundlegende Hilfsmittel für Beobachtungen im sichtbaren, infraroten und ultravioletten Spektralbereich.

Die Experimente

Diese Experiment zur Visualisierung von Infrarotstrahlung (IR) besteht aus zwei Teilen, die unabhängig voneinander durchgeführt werden können.

Experiment A

In Teil A erkunden wir mit einem IR-Fotofilters den nahen IR-Bereichs (700-900 nm).

Ziel/Fragestellung Was zeigt das mit dem IR-Filter geschossene Bild physikalisch? Was für einen Effekt können wir sehen? Stellt eine Theorie auf!

Vorgehensweise Kombiniert die IR-Filter mit eurer Handy-Kamera und macht Fotos von belebten und unbelebten Dingen. Probiert verschiedene Motive aus.

Aufgaben

1. Könnt ihr mit etwas Übung voraussagen, welche Motive auf IR-Fotos hell erscheinen?
2. Was für einen Effekt beobachtet ihr? Stellt eine Theorie auf und versucht, diese mit den Bildern zu prüfen/erklären.
3. Wie seid ihr zu eurer Theorie gekommen?
4. Wählt für die Präsentation Bilder aus, anhand derer ihr euer Ergebnis erklären könnt.

³Quelle: http://medicalphotography.com.au/Article_04/06.html

Kommentare/Notizen *Hier ist Platz für die Beantwortung der Fragen und Anmerkungen, die ihr für die Diskussion nutzen könnt*

Experiment B

In Teil B kommt eine Wärmebildkamera zum Einsatz (mittlere IR-Bereich 3-15 μm). Dieser Bereich ist typisch für Wärmestrahlung, so können Temperaturunterschiede in unserer Umgebung visualisiert werden. Das geschieht mit Falschfarbenbildern, die euch auf der Wärmebildkamera zusammen mit einer Skala für die Temperaturen angezeigt werden.

Ziel/Fragestellung Lässt sich mit der Wärmebildkamera belebte von unbelebter Materie unterscheiden.

Vorgehensweise Haltet die Wärmebildkamera auf alles, was euch interessant erscheint!

Aufgaben

1. Was zeigt euch die Wärmebildkamera? Wie funktioniert das Messen mit der Kamera?
2. Wieso ist es sinnvoll, die Temperatur in Farben darzustellen?
3. Welche Möglichkeiten bietet die Kamera zur Suche nach Leben, wo liegen die Grenzen?
4. Wie objektiv ist euer Ergebnis und welche Störfaktoren gibt es?
5. Reflektiert mögliche Vor- und Nachteile, um diese Methode bei Exoplaneten einzusetzen.
6. Wählt einige Bilder für die Präsentation aus.

Kommentare/Notizen *Hier ist Platz für die Beantwortung der Fragen und Anmerkungen, die ihr für die Diskussion nutzen könnt*

5 Chemischer Nachweis von Leben?

Die Frage nach der Definition des Lebens ist nicht leicht zu beantworten. Widmet man sich dieser Frage aus der Perspektive des Forschers, würde man sie vermutlich so umformulieren: Gibt es Eigenschaften, die alle Lebewesen gleichermaßen besitzen und wie kann ich das im Experiment überprüfen?

Arbeitshypothese

Eine gute Arbeitshypothese könnte zum Beispiel sein, dass man auf Basis von bereits bekannten Tatsachen nach einer Eigenschaft, die vielen Lebewesen gemein ist, sucht. Nach unserem heutigen Wissensstand gibt es Indizien dafür, dass das Leben vor etwa 4 Milliarden Jahren am Grund des Ozeans entstand. Diese ersten, einzelligen Lebewesen konnten dort an Hydrothermalquellen (s. Abb.6.1) gedeihen, wobei ihr Stoffwechsel im Wesentlichen dadurch möglich war, weil es mit der heißen Quelle einen externen Energielieferanten gab. Mit der Zeit hat sich das Leben weiterentwickelt. Es hat immer komplexere, an wechselnde Umweltbedingungen angepasste Organismen hervorgebracht, die immer neue Lebensräume erschließen konnten. Auch unter uns lebensfeindlich erscheinenden Bedingungen können Lebensformen gedeihen. Trotz der beobachteten Vielfalt scheinen alle Organismen eine Gemeinsamkeit aufweisen: Auf die ein oder andere Art betreiben sie Stoffwechsel, um sich am Leben zu erhalten und zu reproduzieren. Natürlich kann ein solcher Prozess nicht stattfinden, ohne dass dafür Energie aufgewendet wird. Aus diesen Informationen lässt sich bereits eine überprüfbare Arbeitshypothese erstellen. Man könnte beispielsweise behaupten, dass ein lebender Organismus daran zu erkennen ist, dass er sich unter Zufuhr von Energie vermehrt oder vergrößert. Dies ist natürlich nur ein Vorschlag -

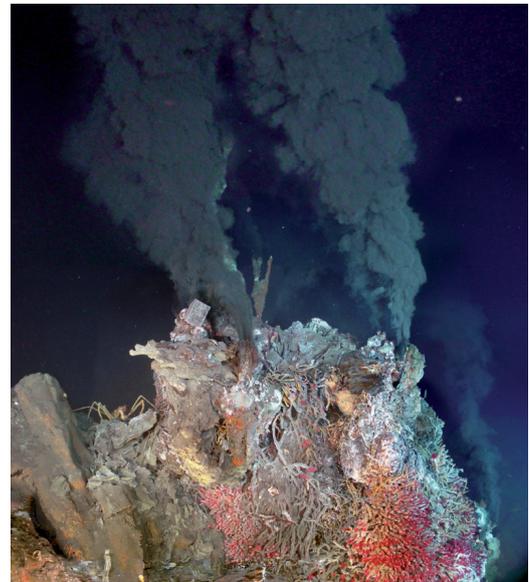


Abbildung 5.1: Ein „Black Smoker“, einer Tiefsee-Hydrothermalquelle, die das umgebende Wasser auf bis zu 360° C erhitzt. Quelle *Biologie unserer Zeit*, 03/2009.

seht euch die zur Verfügung gestellten Materialien genau an und überlegt, ob ihr die Hypothese noch etwas verfeinern wollt. Vielleicht liefern ja auch erste Experimente Indizien dafür, dass man gewisse Einschränkungen vornehmen sollte?

Das Experiment

Für die Vorbereitung eines Experiments sollte man sich zunächst genau überlegen, welche Objekte man wie überprüfen möchte. Ihr bekommt einige an sich alltägliche Substanzen zur Verfügung gestellt und könnt mit den vorhandenen Materialien frei experimentieren. Könnt ihr experimentell bestimmen, welche der Proben lebendig sind? Mit Blick auf unsere Arbeitshypothese wird klar, dass wir einen Energielieferanten brauchen. Aus den Überlegungen zu den Anfängen des Lebens wissen wir, dass zugeführte Wärmeenergie Leben begünstigen oder ermöglichen kann. Im Experiment steht daher eine Wärmequelle (z.B. ein Bunsenbrenner) zur Verfügung. Ein Blick in die Natur verrät uns, dass das Erwärmen nur einer von vielen möglichen Energiezufuhrprozessen ist. Beispielsweise ist Zucker ein hervorragender Energiespeicher für Pflanzen, die so die durch das Sonnenlicht aufgenommene Energie einlagern können. Gleichmaßen ist Zucker damit ein potenzieller Energielieferant, und eine große Zahl von Lebewesen nimmt durch Nahrungszufuhr Zucker auf, der daraufhin aufgespalten und die so gespeicherte Energie freigesetzt wird. Fallen euch noch weitere mögliche Energielieferanten ein?

Von enormer Wichtigkeit bei der Durchführung eines Experiments ist die Kontrolle bzw. Berücksichtigung der relevanten Parameter. Hierbei gilt es zunächst natürlich, sich Gedanken über die/den zentralen Parameter des Versuchs zu machen, in unserem Fall also die Energiezufuhr. Dass uns verschiedene Möglichkeiten zu Verfügung stehen, haben wir bereits gesehen, aber gibt es noch weitere Möglichkeiten der Variation? Darüber hinaus lohnt es sich auch, sich Gedanken über äußere Einflüsse zu machen. Welche äußeren Gegebenheiten können das Experiment beeinflussen? Kann ich diese kontrollieren? Im Idealfall schafft man es im Experiment, die äußeren Einflüsse möglichst gering zu halten, um maximale Kontrolle über die Versuchsbedingungen zu erhalten. Man spricht dann von einem Experiment unter „Laborbedingungen“. Und fragt Euch ob die gewählten Bedingungen für die anfängliche Fragestellung zielführend sind. Muss ich gezielt bestimmte äußere Einflüsse zulassen? Denkt darüber nach, welche Rolle hier das Wasser und das Spülmittel, aber auch beispielsweise Luft und Licht spielen könnten. Probiert verschiedene Kombinationen aus Stoffen aus, variiert deren Temperatur, versucht alles, was euch interessant erscheint,

verliert dabei aber die Hauptfrage nicht aus den Augen. Mindestens genauso wichtig wie das Experimentieren an sich ist außerdem die Dokumentation. Die folgenden Punkte sollen euch helfen, euer Experiment zu protokollieren, um die Beobachtungen hinterher interpretieren und präsentieren zu können.

Ziel Was ist Leben? Wie finden wir heraus, ob etwas belebt ist?

Vorgehensweise Euch stehen verschiedene Substanzen zur Verfügung. Eine ist belebt, die anderen aber nicht. Entwickelt Strategien um herauszufinden, welche Probe Leben enthält. Ihr dürft mit dem vorhandenen Material alles ausprobieren, was euch in den Sinn kommt. Es ist wichtig, dass ihr jeden Schritt und eure Vorgehensweise dokumentiert.

Aufgaben Euch stehen folgende Substanzen und Hilfsmittel zur Verfügung:

- Sand, Trockenhefe, Backpulver
- Spülmittel, Essig
- kaltes/warmes Wasser, auch destilliert
- Bunsenbrenner, Schnappdeckelgläser, Löffel, Magnesiumröhren

Kommentare/Notizen *Hier ist Platz für die Beantwortung der Frage und Anmerkungen, die ihr für die Diskussion nutzen könnt*

6 Citizen Science – Mit Planet Hunters auf der Jagd nach Exoplaneten

Planet Hunters ist ein sogenanntes Citizen Science Projekt. Citizen Science bedeutet, dass alle interessierten Bürger die Möglichkeit bekommen, aktiv an Wissenschaft teilzunehmen – vom zu Hause aus über das Internet! Die Großteleskope und Forschungssatelliten der Astronomie generieren so viele Daten, dass es unmöglich ist, alle Aspekte nur von professionellen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen auswerten zu lassen. Das menschliche Auge ist derzeit noch für bestimmte Aufgaben besser geeignet als Computeralgorithmen, zum Beispiel gerade im Bereich der Strukturerkennung. Daher wurde eine Organisation gegründet, die solche Citizen Science Projekte koordiniert <https://www.zooniverse.org/>

Für ein Citizen Science Projekt werden die Daten so aufbereitet, dass sie auch von interessierten Laien geprüft bzw. analysiert werden können. Damit wird es möglichst viele Menschen an der Datenauswertung beteiligen können. Derzeit nutzt Planet Hunters Daten des aktuellen Forschungssatelliten TESS für die Suche nach Exoplaneten: <https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-tess>

Ein Tutorial auf der Webseite von Planet Hunters erklärt anfangs genau das Vorgehen. Man bekommt Bilder gezeigt und muss dazu Schritt für Schritt Fragen beantworten oder Bereiche erkennen, bis ein Objekt abschließend klassifiziert werden kann. Dabei ist wichtig, dass es dabei keine falschen Antworten gibt. Solange man nach bestem Wissen antwortet, hat man einen wichtigen Beitrag geleistet. Die Idee ist, daß viele Menschen ihre Einschätzungen über dieselben Objekte abgeben und am Ende entscheiden Methoden der Statistik, welches die beste Klassifikation des Objekts ist. Solche Bürgerwissenschaftsprojekte gibt es inzwischen in vielen Bereichen, wer möchte findet also immer etwas, was ihn oder sie interessiert, siehe z.B. eben <https://www.zooniverse.org/>

Ziel Erkennt die Schwierigkeiten bei der Datenauswertung!

Vorgehensweise

Folgt den Anleitungen in Planet Hunters und findet echte Exoplaneten! Es geht hier speziell um die Transitmethode, die im Abschnitt Fremde Welten - Exoplaneten erklärt wurde.

Aufgaben

1. Wie leicht ist euch die Klassifikation gefallen?
2. Was ist problematisch an dieser Form der Auswertung?
3. Wieso ist dies wohl die erfolgreichste aller Techniken um Exoplaneten zu finden?

Kommentare/Notizen *Hier ist Platz für die Beantwortung der Fragen und Anmerkungen, die ihr für die Diskussion nutzen könnt*