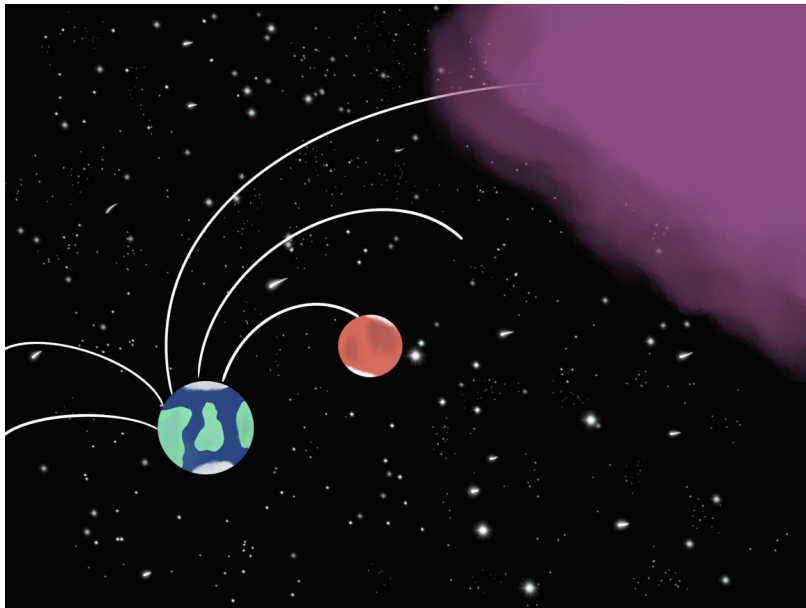


Das Humboldtgynasium in Kooperation mit dem
Schülerforschungszentrum Wuppertal am Carl-Fuhlrott-Gymnasium
Projektbetreuer: Herr Koch

Arbeit im Rahmen des
Projektkurses

Weltraumkolonisation

Unterschiedliche Perspektiven für die Kolonisation
und Ausbreitung der Menschen



Geschrieben von:

Jonas Jacobs (17 Jahre)
Jahrgangsstufe: Q1
jonas.jaco06@gmail.com

Abgabedatum:

08.05.2023

Einleitung

Diese Arbeit befasst sich mit der Weltraumkolonisation in der Vergangenheit, heutzutage und in der Zukunft (Bild 0.1). Zu Beginn werde ich einen Überblick über die Vergangenheit und die Anfänge der Weltraumkolonisation geben und dabei vor allem auf die Mondgeschichte eingehen. Ich werde klären was man unter der Weltraumkolonisation überhaupt versteht (Weltraumkolonisation: Kapitel 5). Mit der Verwendung von selbst erstelltem Material an der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums (Praktischer Teil: Kapitel 3 und 4) werde ich mich mit der Gegenwart der Weltraumkolonisation mit dem Fokus auf den Mond und den Mars beschäftigen (Mond: Kapitel 6 und Mars: Kapitel 7). Nach dem praktischen Teil meiner Projektarbeit werde ich einige Fragen und Behauptungen nach eigenen Erfahrungen oder Recherchen bewerten und beurteilen, um einen Überblick über die Schwierigkeiten der Weltraumkolonisation geben zu können. Außerdem möchte ich einen Blick in die Zukunft geben und über die Weltraumkolonisation von morgen sprechen, durch einen Abstecher zu interstellaren Reisen (Kapitel 8). Wichtig zu erwähnen ist, dass ich mich in der folgenden Arbeit nicht immer an die genaue Definition der Weltraumkolonisation halte, sondern auch das Vordringen des Menschen in unbekannte Weiten als den ersten Schritt zu einer Kolonisation sehe. Als nächsten Schritt zu einer richtigen Kolonisation sehe ich nach der Entdeckung und dem Erkunden, einen kurzweiligen Aufenthalt auf einem fremden Himmelsobjekt oder in den Weiten des Universums. Deshalb erwähne ich nach einer etwas veränderten Auffassung der Kolonisation auch die „Weltraumkolonisation von damals“ (Kapitel 2), unter der ich allerdings nur temporäre Aufenthalte im Weltraum erwähnen kann, die aber trotzdem als Meilenstein für eine zukünftige Weltraumkolonisation gesehen werden müssen.

„Exploration is in our nature. We began as wanderers, and we are wanderers still. We have lingered long enough on the shores of the cosmic ocean. We are ready at last to set sail for the stars.“ - Carl Sagan, 1990 (Astronom und Astrophysiker)

Ein inspirierendes Zitat von Carl Sagan. Mehr zu der Idee in dem Kapitel Motivation (Kapitel 1).

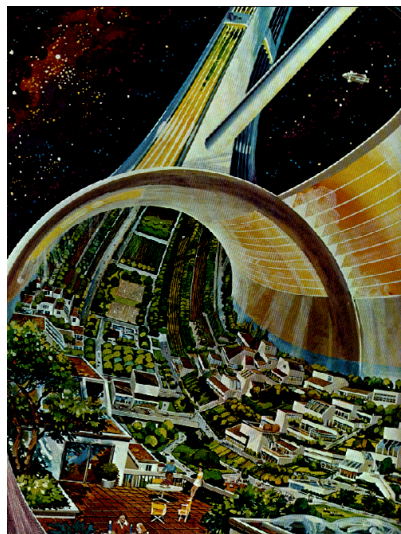


Abb. 0.1: Eine Illustration einer zukünftigen Weltraumkolonisation?

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Motivation	1
2 Geschichte der Kolonisierung des Weltraums	3
2.1 Mondgeschichte	3
2.1.1 Mondstaubverkauf	5
3 Erstellung einer Fotolapse	6
3.1 Aufnahme der Videos	6
3.2 Ausarbeitung der Videos	8
4 Spektroskopie	11
4.1 Aufnahme der Spektren	12
4.2 Ausarbeitung der Spektren	13
4.3 Ergebnisse beim Vergleich zwischen Marsspektrum und Sonnenspektrum	15
4.4 Diskussion der Ergebnisse	16
5 Die Weltraumkolonisation	18
5.1 Was bedeutet überhaupt Weltraumkolonisation?	18
5.2 Unser Platz im Universum - Was führt uns zur Weltraumkolonisation?	19
5.3 Weltraumkolonisation als die Lösungen unserer Probleme auf der Erde?	20
6 Mondkolonisation	21
6.1 Unser Erdtrabant	21
7 Marskolonisation	22
7.1 Wie überlebt man auf dem Mars?	22
7.2 Der Film: „Der Marsianer - Rettet Mark Watney“	23
7.3 Was findet man auf dem Mars?	25
7.3.1 Weltbilder	25
8 Interstellare Reisen	26
8.1 Voyager Sonden	26
8.2 Reisegeschwindigkeit	27
8.3 Galaktische Wurmlöcher	28
8.4 Minicomputer auf großer Reise	29
9 Fazit	30
Anhang, Abbildungs -, Tabellen - und Softwareverzeichnis	31
Literatur	33
Danksagung und Selbstständigkeitserklärung	35

1 Motivation

Zuallererst zu meiner Motivation den praktischen Teil meiner Arbeit dem Mars zu widmen. Denn zuerst könnte man sich die Fragen stellen: Warum beschäftigen wir uns immer noch mit dem Mars oder dem Mond? Ist das im 21. Jahrhundert nicht schon längst langweilig geworden? Das trifft auf keinen Fall zu. Gerade mit dem Blick auf die Weltraumkolonisation ist der Mars sehr interessant, da er nach der Erde von allen Planeten in unserem Sonnensystem für eine Kolonisation am geeignetsten ist. Mehr dazu im Kapitel 5. Deshalb habe ich mich mit dem Mars näher befasst, einmal mit der Erstellung einer Photolapse (Kapitel 3) und der Aufnahme und Verarbeitung eines Spektrums (Kapitel 4).

Die Menschen streben schon immer nach der Entdeckung des Neuen. Der Forscherdrang ist in jedem von uns vorhanden. Was ist hinter der nächsten Ecke - hinter dem Horizont? Was befindet sich auf den nächsten Himmelsobjekten im Weltraum - dem Mond - dem Mars? Was liegt dahinter? Früher reiste Kolumbus über den Atlantik und entdeckte Amerika. Eine Reise dem Forscherdrang folgend und woraufhin sich ein großes Interesse an dem neuen Kontinent entwickelte, weil er neue Möglichkeiten eröffnete.

Ähnlich war es 1969 bei der Mondlandung bei der Apollo 11 Mission (Kapitel 2.1). Die Menschheit überschreitet die Barriere der Erde und betritt ein fremdes Himmelsobjekt. Doch waren die Apollo-Missionen des Forscherdranges wegen durchgeführt worden, oder welche Rolle spielte die Politik bei der Mondlandung und wie sieht es heute aus? Welche Rollen spielt heutzutage die Politik bei den Zielen und Ideen der Raumfahrt?

Meine Motivation ist die Vorstellung von den unterschiedlichen und neuen Welten, die in unserem Universum entdeckt und erkundet werden können. Doch was für Möglichkeiten haben wir wirklich? Werden wir jemals die Weiten erkunden können oder sogar besiedeln? Die Ideen zu diesem Thema sind schon in vielen Science-Fiction-Filmen umgesetzt worden. *Science-Fiction*, weil es Filme der (nahen oder fernen) Zukunft sind, da sie nicht die Realität widerspiegeln.

Jeder Mensch fragt sich mehr oder weniger oft, was für einen Sinn eine Aktion oder Handlung hat oder hatte. Doch manchmal denkt man größer und fragt sich, was der Sinn des Lebens ist? Was ist der Sinn der Menschheit? Haben wir eine Aufgabe? Ist es unsere Aufgabe unser Überleben für unsere Nachkommen zu sichern? Ist es unsere Aufgabe weiter zu expandieren? Über unsere Erde hinaus? Diese Fragen habe ich mir gestellt und denke, dass die Weltraumkolonisation darauf vielleicht die Antwort ist.

Was passiert, wenn wir unsere Erde (Abb. 1.1) nicht vor Auswirkungen von negativen Einflüssen schützen können, die von Menschen verursacht worden sind? Der Begriff des Klimawandels sollte heutzutage jedem Menschen ein Begriff sein. Was passiert, wenn das Eis der Erde schmilzt, Lebensraum zerstört wird, Lebewesen sterben und aussterben? Wir zerstören unseren Lebensraum! Doch warum sollten wir uns Sorgen machen? Haben wir nicht unendliche Weiten vor uns liegen? So einfach ist es nicht. Ich spiele gerade mit der Frage, ob der Weltraum und Weltraumkolonisation eines Tages die Rettung der Menschheit sein könnte. Nach Stephen Hawking müssen sich die Menschen eine neue Heimat suchen und in den Weltraum expandieren um zu überleben (Hawking 2018).

„I don't think the human race will survive the next thousand years unless we spread into space.“ - Stephen Hawking, 2014 (Astrophysiker)

Ist es dann der Mond, der Mars oder noch weiter entfernte Objekte? Wenn man vermutet, dass der Mensch erst versucht Himmelsobjekte zu kolonisieren, wenn er dazu gezwungen wird, dann kann man sich die Frage stellen:

Werden wir unserer Sonne oder anderen fremden Einflüssen zuvorkommen und unsere Erde selbst unbewohnbar machen?



Abb. 1.1: Ein Bild der Erde. Alles erscheint so friedlich.

Was bedeutet diese Frage? Die Sonne kann nicht durch den Menschen beeinflusst werden. Unser Handeln können wir jedoch beeinflussen. Die Sonne brennt schon etwa fünf Milliarden Jahre und genauso lange wird sie laut Wissenschaftlern noch für uns durchhalten (DLR o. D.). Solange bis der Wasserstoffvorrat der Sonne aufgebraucht ist. Dann vergrößert sich die Sonne zu einem roten Riesen. Das ist ungefähr so groß, dass sie die inneren Planeten Merkur und Venus verschlucken wird und es wird eine Todeszone entstehen, die auch bis zur Erde reicht, da die Sonnenwinde extrem zunehmen werden und für uns auf der Erde tödlich sein würden. Fünf Milliarden ist vielleicht eine Zahl, welche man sich schwer vorstellen kann. Deswegen hier ein Vergleich: Wie lange würde es dauern bis eine Milliarde zu zählen bei einer Zahl pro Sekunde? Um bis eine Milliarde zu zählen, bräuchte man mehr als 30 Jahre (Junkes 2022). Also braucht man um bis zu der Zahl fünf Milliarden durchgängig zu zählen mehr als 150 Jahre. Damit möchte ich zeigen, uns bleibt schon noch einige Zeit. Diese Zeit verkürzen wir aber rapide, wenn wir uns selbst nicht beherrschen und durch den Klimawandel und andere Einflüsse unsere eigene Erde zerstören. Meine Motivation ist es dort nach Alternativen zu suchen. Deshalb kläre ich auch, ob die Weltraumkolonisation eine Lösung für unsere Probleme auf der Erde sein könnte (Kapitel 5.3).

2 Geschichte der Kolonisierung des Weltraums

Die Geschichte der Kolonisierung begann mit dem Wettlauf ins All. Wir befinden uns in den Jahren um 1960. Denn der erste menschliche Schritt in den Weltraum war der russische Satellit Sputnik, der gleichzeitig auch den Startpunkt für den Wettlauf ins All zwischen der Sowjetunion und der USA setzte. Der Satellit Sputnik wurde am 04. Oktober 1957 ins All geschossen und umkreiste die Erde in 98 Minuten (ESA 2017). Doch die ersten richtigen Versuche der Kolonisation geschahen durch den Start der ersten russischen Raumstation Saljut 1 am 19. April 1971 (Redaktion 2009). Dazwischen werde ich mich gleich noch auf den ersten Menschen im Weltraum und natürlich das Betreten eines fremden Himmelskörpers von Menschen beziehen. Die Raumstation sollte ein (kurzes) Leben der Menschen in der Erdumlaufbahn ermöglichen. Doch konnte die erste Besatzung aufgrund technischer Probleme die Raumstation nicht betreten. Erst durch die Mission Sojus 11 am 06. Juni 1971 (contributors 2023) konnte eine Besatzung die Raumstation betreten und nach 23 Tagen wieder zurück zur Erde aufbrechen. Diese erreichten sie allerdings nicht, da sie bei der Landung verunglückten. Die technischen Fortschritte und Errungenschaften waren zu dieser Zeit enorm. Das lag an der Rivalität zwischen den beiden Großmächten. Dies hat aber auch dazu geführt, dass nicht nur aus der forschenden Sicht das Weltall erkundet werden sollte, sondern auch aus machtpolitischen Gründen. Wer ist der Erste im All oder dann später der Erste auf dem Mond? Das waren die großen Fragen zu dieser Zeit und diese haben dazu geführt, dass es auch zu einer Militarisierung des Weltraums kam. Die Sowjetunion hat durch die Saljut-Missionen nicht nur Forschungsstationen, sondern auch Spionageposten und Waffenstationen im Weltraum aufgebaut. Der erste Mensch im Weltraum war der russische Juri Gagarin, der am 12. April 1961 die Erde umrundete und dabei 108 Minuten im Weltraum verbrachte (Rundfunk 2023). Natürlich ist es schön, dass man nur neun Jahre nachdem der erste Mensch im Weltraum gewesen ist, den Mond betreten konnte. Jedoch führte dieser Druck zu einigen Verlusten von Menschenleben.

Außerdem sieht man, dass dieser Zeitplan auch nicht mehr eingehalten werden kann. Jetzt fast fünfzig Jahre nachdem die ersten Menschen den Mond betreten haben, gab es keine einzige Mission, die den Mond als Reiseziel eingetragen und Menschen an Bord hatte. Deswegen ist es wichtig in die Vergangenheit zu schauen, um vielleicht die Zukunft der Weltraumkolonisation besser abschätzen zu können. Dafür werde ich im Folgenden die amerikanischen Apollo-Missionen vorstellen, da sie die ersten Mondlandungen ermöglichen. Gleichzeitig auch etwas über die Beschaffenheit unseres Mondes erzählen, weil sich ein Mondwanderer auf seine Reise einstellen muss.

2.1 Mondgeschichte

In diesem Kapitel geht es um die Landung auf dem Mond. Doch was ist der Mond überhaupt? Der Mond ist unser steter Begleiter. Man könnte sagen auf ihn kann man sich verlassen. Er ist verantwortlich für die Naturphänomene, sowie die Gezeiten. Die Erforschung der Entstehung des Mondes war eines der Ziele der Apollo-Missionen, hinter welchen Namen sich erfolgreiche Mondlandungen verbergen. Damals gab es drei aufgestellte Theorien zur Entstehung des Mondes. Die Apollo-Missionen brachten Mondgestein mit auf die Erde und sollten Gewissheit um die Entstehung des Mondes bringen. Damals konkurrierten diese drei Theorien: die „Geschwistertheorie“, die „Einfangtheorie“ und die „Abspaltungstheorie“. Die „Geschwistertheorie“ behauptet, dass die Erde und der Mond mit kaum einem zeitlichen Unterschied entstanden sind. Bei der „Einfangtheorie“ soll

der Mond nach einiger Zeit von der Erde durch Anziehungskräfte angezogen worden sein. Die letzte Theorie war die „Abspaltungstheorie“, bei der man von einer zähflüssigen Erde in frühen Jahren ausgeht, aus der sich dann der Mond gebildet hat (DLR 2018). Durch die Analyse des Mondgesteins fand man heraus, dass wahrscheinlich keine der bis dahin aufgestellten Theorien zutrifft. Die heute vorherrschende Theorie ist, dass eine Kollision in jungen Jahren unseres Sonnensystems zu der Bildung des Mondes geführt hat. Dabei soll ein Mars-großes Himmelsobjekt mit der Erde kollidiert sein und Gestein in die Umlaufbahn der Erde geschleudert haben. Aus diesem Gestein soll sich der Mond verdichtet haben. Dies ist die vorherrschende Theorie seit den 1980er Jahren nach der Apollo 11 Mission, bei der die ersten Menschen auf einem fremden Himmelsobjekt in unserem Sonnensystem landeten. Der Mond ist unser nächstes Himmelsobjekt und ist deshalb für eine Reise am leichtesten geeignet. Nicht nur damals, sondern auch heutzutage ist der Mond das Reiseziel Nummer eins für die Weltraumkolonisation und Reisen in unser Sonnensystem. Ganz einfach, weil Reisen zum Mond bekannt sind und schon erfolgreich gemeistert wurden und weil aus technischer Sicht der Mond das realistischste Ziel für nächste bemannte Raumfahrtmissionen ist. So scheint es zumindest, aber wie schon gesagt, gab es trotzdem seit über 50 Jahren keine bemannte Mission zum Mond. Zwölf Menschen betraten bisher den Mond und brachten kiloweise an Mondgestein mit zur Erde. Unter anderem den „Genesis-Stein“, der vier Milliarden Jahre alt ist und viel älter als die Steine auf der Erde sind, da sie durch Wind und Wetter dauerhaft verändert werden. Doch die 17 Apollo-Missionen waren nicht nur aus Neugier oder aus wissenschaftlichen Absichten, wie die Erforschung der Entstehung des Mondes, durchgeführt worden. Es war in den 1970er Jahren ein Wettlauf zwischen der USA und der Sowjetunion. Wer wird zuerst einen Menschen auf den Mond schicken? Jetzt weiß man, dass es Neil Armstrong und Buzz Aldrin sind. Neil Armstrong setzte den ersten Fuß am 21. Juli 1969 um 3 Uhr und 56 Minuten und 20 Sekunden (MEZ) mit den bekannten Worten auf den Mond:

„That’s one small step for man, one giant leap for mankind“ - Neil Armstrong (DLR 2019)

Nur kurze Zeit später betrat auch Buzz Aldrin den Mond (Abb. 2.1)

Doch nochmal ein genauerer Blick in die 1970er Jahre. Dieses Jahrzehnt war ein sehr bedeutsames Jahrzehnt für die Weltraumgeschichte. Denn in diesen Jahren erfolgten die ersten Schritte der weiterführenden Weltraumkolonisation. In den Jahren starteten die Apollo-Missionen und im Jahr 1969 die erste Mondlandung von Menschen. Der Wettlauf zum All war von politischen Zielen geprägt worden. Nach dem Krieg liefern sich die Sowjetunion und die USA einen Wettlauf ins All. Sie war von Höhen und Tiefen geprägt, doch in dieser Zeit wurde der Name der Weltraumkolonisation unter der Bevölkerung ein Thema. Vor allem durch die Publikationen von Wernher von Braun aus den 1950er Jahren in der Zeitschrift „Colliers“ interessierten sich die amerikanischen Bürger für die Raumfahrt, da in den Artikeln die Vorstellungen von Weltraumkolonisation ausgedrückt wurden. So auch eine Reise zum Mond. Das führte auch zur Gründung der NASA („National Aeronautic and Space Agency“), welche im Jahr 1958 nach dem Antrag des damaligen Präsidenten von Amerika Eisenhower gegründet wurde. Die letzte Reise zum Mond war die Apollo 17 Mission im Jahr 1972. Besonders an dieser Mission war, dass der Geologe Harrison Schmitt während der Apollo 17 Mission allergische Symptome bekommen hat, wie Niesen und geschwollene Augen, nachdem er in Kontakt zu Mondstaub gekommen ist. Harrison entwickelt allergische Symptome gegen den Mondstaub und

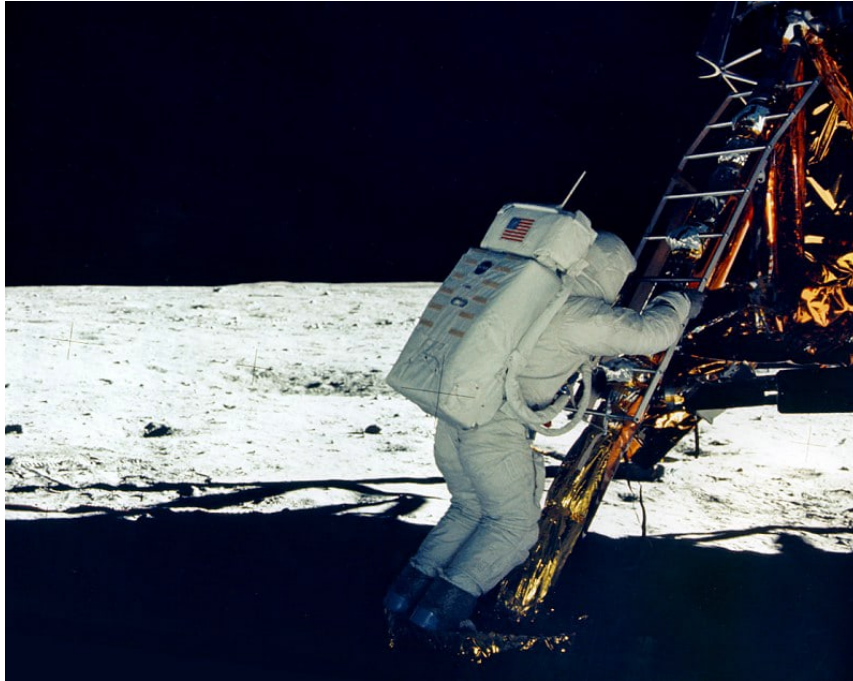


Abb. 2.1: Aufgenommen von Neil Armstrong. Buzz Aldrin steigt an der Leiter aus dem „Lunar Module“, mit dem die beiden Astronauten auf dem Mond gelandet sind

ist somit allergisch gegen den Mond (Aeronautics und Administration 2020). Könnte es vielen so gehen?

2.1.1 Mondstaubverkauf

Als Astronaut auf dem Mond möchte man wahrscheinlich keinen Mondstaub mehr sehen. Doch hier auf der Erde ist der Mondstaub eine sehr seltene Besonderheit. Das denken sich wahrscheinlich auch einige reiche Leute, weshalb sie in der Vergangenheit wahrscheinlich auf eine Mondstaubauktion angesprungen wären. Bei einer Auktion im Jahr 2022 sollte Mondstaub, der von einer Apollo-Mission mitgebracht wurde, versteigert werden. Dieser wurde an Kakerlaken verfüttert, um herauszufinden, was für Auswirkungen Mondstaub auf Lebewesen hat. Der Mondstaub wurde den Mägen der Kakerlaken wieder entnommen, nachdem das Experiment in der Universität von Minnesota durchgeführt wurde. Die Entomologin Marion Brooks fand heraus, dass der Mondstaub für Lebewesen keine Gefahr darstellte und der Mondstaub für Organismen nicht giftig war. Nach den durchgeführten Experimenten behielt die Forscherin die Kakerlaken und den Mondstaub. Als diese im Jahr 2007 verstarb, wollte ihre Tochter die Forschungsgegenstände weiter verkaufen und übergab sie einem Auktionshaus. Mitte der Jahres 2022 forderte die NASA das Auktionshaus auf die Proben wieder in die Hand der Regierung zu geben, da ihr Verkauf nicht erlaubt ist. Gesammelt von dem ersten Menschen auf dem Mond während der Apollo 11 Mission, hatte der Mondstaub mit den Kakerlaken auf der Auktionsseite einen geschätzten Verkaufswert von 400.000 USD (GmbH 2022, Auction 2022, Beste 2022).

3 Erstellung einer Fotolapse

Da ich das Thema Weltraumkolonisation habe und der Mars einer der ersten Planeten ist, den man damit verbindet, habe ich mir diesen Planeten näher angeschaut. Mit den Möglichkeiten der Sternwarte auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums habe ich an zwei Tagen Aufnahmen vom Mars gemacht. In diesem Abschnitt beschreibe ich diesen Weg zu einer kleinen Animation (Fotolapse) vom Mars. Ich habe zwei Videos erstellt.

Im Endergebnis sieht man eine Verbesserung der Qualität der Videos, im Gegensatz zu den Videos direkt nach der Aufnahme durch das Teleskop. Das liegt daran, dass man in der Verarbeitung der Videos viele verschiedene Einstellungen vornehmen kann, welche das Ergebnis verbessern können, wenn man sie genau einstellt. Vor allem werden durch das „Stacking“ die besten Bildanteile aus allen Teilbildern von der Software erkannt und verarbeitet und zu einem deutlich schärferen Gesamtbild wieder zusammengefügt. Mein Vorgehen der Verarbeitung werde ich im Kapitel 3.2 beschreiben.

3.1 Aufnahme der Videos

Doch erste einmal zum Beobachtungsabend am 30.01.2023. Wir arbeiteten am großen Teleskop der Sternwarte, das Planewave CDK 20 (Abb. 3.1) und benutzten die ZWO ASI183MCPRO Kamera (Abb. 3.2)



Abb. 3.1: Teleskop Planewave CDK 20 - Öffnung: 50,8 cm, f/6.8, Brennweite: 3454 mm



Abb. 3.2: CMOS-Astrokamera
Pixelgröße: 2.4 μm
Auflösung: 5496 \times 3672

Für das erste Video habe ich Material von Lukas Spriß benutzt, welche er am 14.12.2022 aufgenommen hat. Für das zweite Video waren meine eigenen Aufnahmen Material für das Video, welche ich am 30.01.2023 zwischen 19 und 21 Uhr aufgenommen habe. Zuallererst bevor man Aufnahmen machen kann, muss man das Aufnahmebild scharf stellen. Dies konnten wir aus dem Kontrollraum über eine Remoteverbindung über den Computer zu dem Teleskop durchführen. Wir versuchten das Teleskop durch den Mond zu fokussieren, damit wir beim sehr weit entfernten und relativ dunklen Mars nicht mehr fokussieren mussten. Doch das Scharfstellen war schon beim Mond durch die sehr schnellen Schleierwolken schwierig. Beim Aufnehmen des Videos war es schwierig die Belichtung richtig einzustellen.

Eigentlich würde man an so einem Abend wegen der Wolken nicht beobachten wollen, doch wir versuchten es trotzdem. Deshalb saßen wir längere Zeit vor dem Bildschirm und hofften, dass eine Wolkenlücke kommen würde, um den Mars zu erwischen. Es stellt sich jedoch als schwierig heraus, die richtige Belichtung zu finden. Wir warteten und wenn der Mars erschien, versuchten wir die Belichtung zu verändern, damit er heller erscheint, doch meistens war er dann schon wieder weg, oder im nächsten Moment viel zu überbelichtet, weil die Wolken plötzlich ganz weg waren. So versuchte ich dauerhaft die richtige Einstellung zu finden, um wenigstens ein paar Sekunden gutes Material zu bekommen. In der Abbildung (Abb. 3.3) sieht man die Software auf dem Computer, die ich benutzt habe, um den Mars aufzunehmen.

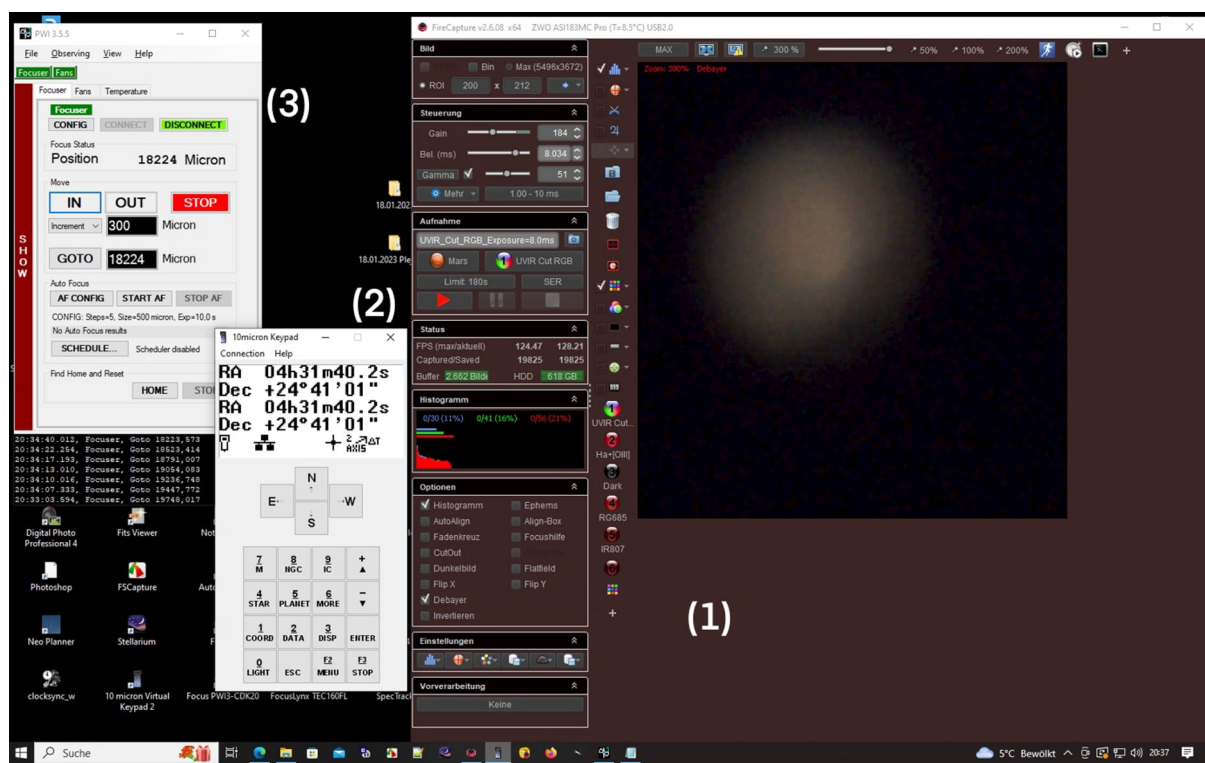


Abb. 3.3: (1) FireCapture, (2) Keypad der Kamera, (3) PWI (Telescope Controll Surface)

Die Software FireCapture benutzt man, um die Fotos oder genauer gesagt Videos aufzunehmen. Zugleich dient die Software auch als Live View¹. Remote fokussieren oder das Bild scharfstellen kann man über die Oberfläche PWI (Telescope Controll Surface). Das Teleskop kann man über die Remoteversion der 10Micron Handsteuerung bewegen und sehr präzise steuern.

¹Live View: „Aktuelles Bild“

3.2 Ausarbeitung der Videos

Die Ausarbeitung von Videos sieht im Allgemeinen wie folgt aus:

1. Aussortieren und verbessern der Videos
2. Analyse der einzelnen Bilder
3. Stacking (summieren, übereinanderlegen) der besten Bilder
4. Bilder schärfen

1. Den ersten Schritt übernimmt die Software SER-Player. Den SER-Player benutzte ich, um die Videos gegebenenfalls leicht in ihrer Sättigung und Helligkeit anzupassen (Abb. 3.4). Verbessert habe ich die Videos in unterschiedlichen Einstellungen in der Signalverstärkung, welche das Bild im Allgemeinen heller oder dunkler machen konnte. Außerdem kann man auch mit der Gammakorrektur die Helligkeit in dunklen und hellen Bereichen im Bild verändern. Zusätzlich kann man auch die Sättigung des Bildes verändern, um ein aussagekräftigeres Bild zu erhalten.

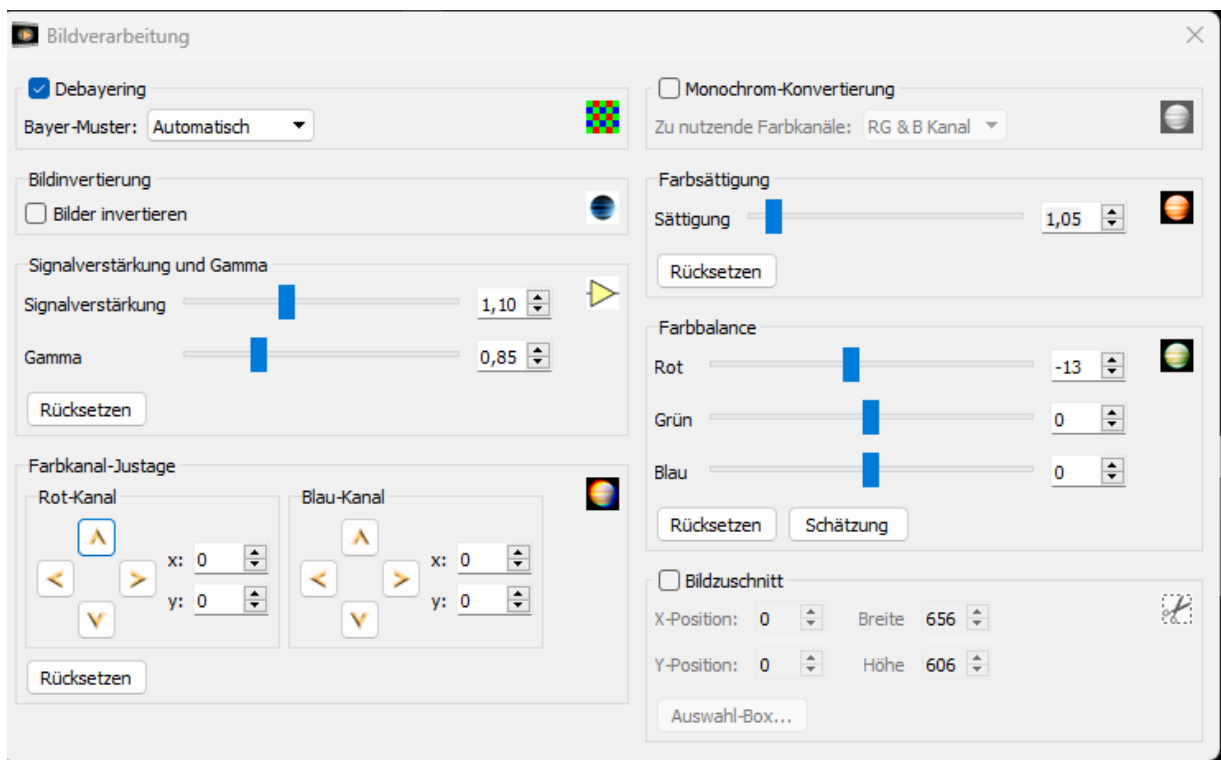


Abb. 3.4: SER-Player Konfigurationen zu Bildverarbeitung

Außerdem konnte ich dort alle Abschnitte, wo wir nur die Wolken gefilmt haben, rausschneiden und hatte am Ende Videos, die dauerhaft den Mars zeigten und eine gute Helligkeit hatten.

2. Dann ging es in den zweiten Schritt und die App Autostakkert, welche die Videos vom Mars in die einzelnen Bilder teilt und nach einem Analyseverfahren die Bilder nach den besten sortiert und diese „stackt“ (übereinanderlegt). Dies führt zu einem Detailreicheren und besseren Bild.

Im Folgenden erkläre ich konkrete Einstellungen in Autostakkert und beziehe mich dabei auf das beiliegende Bild (Abb. 3.5). Die Software ist in zwei Fenster geteilt: in ein Einstellungsfenster und ein Anzeigefenster. Die Bearbeitung ist, wie man im Einstellungsfenster der Software sieht, in drei Schritte eingeteilt. Zuerst lädt man das Video in die Software - 1) *Open*. Danach sortiert die Software jedes einzelne Bild des Videos nach der Qualität - 2) *Analyse*. Vor dem Sortieren setzt man aber noch so viele Alignment Points (AP), wie die Software zulässt. Die Alignment Points sieht man in dem Anzeigefenster auf dem Rohbild. Diese Alignment Points dienen dazu, alle Rohbilder anhand von markanten Stellen in dem Bild genau aufeinander zu platzieren. Also desto mehr Alignment Points man setzt, desto genauer kann die Software die Bilder so platzieren, dass sie im Stapelbild übereinanderliegen.

3. Wenn die Bilder dann nach Qualität sortiert sind, kann man unter *Stack Options* festlegen, welche Anzahl der besten Bilder man gestackt haben möchte. Meistens habe ich mir, wie man in dem Bild sehen kann, die besten 2 % und die besten 5 % der Bilder zu einem Stapelbild ausgeben lassen.

Um die Bilder zu stacken wählt man wieder im Einstellungsfenster (1) die Funktion - 3) *Stack*.

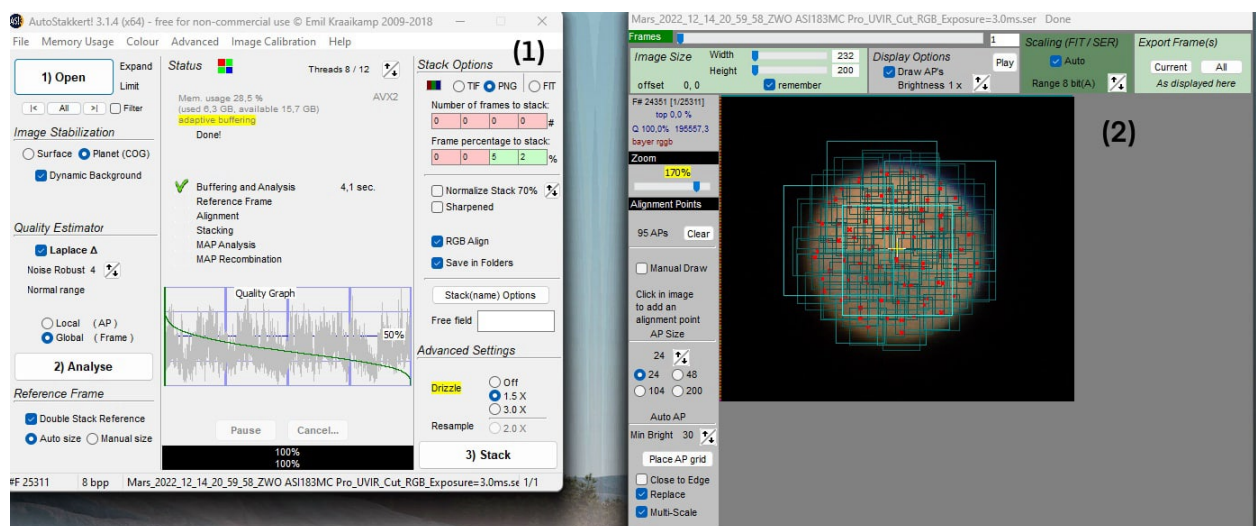


Abb. 3.5: (1) Einstellungsfenster, (2) Anzeigefenster

Diese gestapelten Bilder sind aber noch nicht fertig, da sie noch sehr verschwommen sind und in der Software zur astronomischen Bildverarbeitung Giotto (Abb. 3.7) noch geschärft werden müssen.

4. In Giotto verwendet man einen Filter, der die Marsbilder schärft. Einzelheiten und Konturen werden dadurch deutlicher, da vor allem der Kontrast verbessert wird. Den Filter kann man in der *Rauschfiltergröße*, *Filtergröße* oder *Filterwirkung* einstellen. In dem Filterfenster der Software (Abb. 3.6) hat man ein Vorschauenfenster, welches sehr praktisch ist, da nicht immer die eingestellte *Rauschfiltergröße*, *Filtergröße* oder *Filterwirkung* zu jedem Bild gepasst hat. Also musste ich diese Werte einige Male ein bisschen verändern. Bei den meisten Bildern habe ich dann auch versucht sie nachzuschärfen. Dies bedeutet, dass ich versucht habe die Bilder zweimal zu schärfen, wenn die Bildqualität nicht darunter litt.

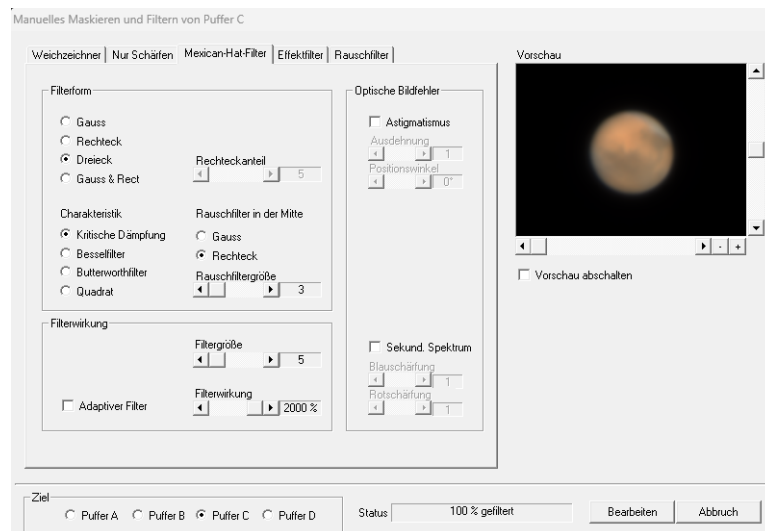


Abb. 3.6: Das Filtermenü in der astronomischen Bildverarbeitungssoftware Giotto

In Giotto hat man den Vorteil, dass man bis zu vier Bilder nebeneinanderlegen kann (siehe Abb. 3.7). Dies ist besonders für das Erstellen einer Fotolapse nützlich, da man dort besonders darauf achten muss, dass die Bilder möglichst den gleichen Kontrast und die gleiche Helligkeit haben, sonst fällt das störend in der Animation auf. Oft war es der Fall, dass ich ein Foto schon vollständig

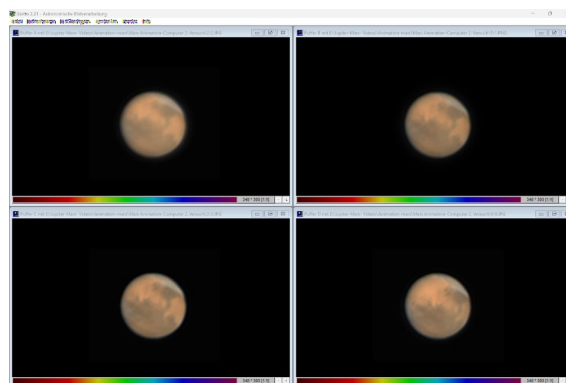


Abb. 3.7: Die astronomische Bildverarbeitungssoftware Giotto

bearbeitet habe, dann aber im Vergleich zu den anderen Fotos gesehen habe, dass es viel zu hell oder zu dunkel ist. Dann musste ich wieder zum ersten Schritt übergehen und konnte im SER-Player die Signalverstärkung, das Gamma oder die Sättigung verändern.

Die Ergebnisse sind zwei Fotolapse. Beide Videos sind hier² und im Anhang verlinkt und können durch die QR-Codes (Abb. 9.1 und 9.2 (Anhang)) aufgerufen werden. In dem zweiten Video habe ich meine eigenen Aufnahmen verwendet. Im ersten Video habe ich Aufnahmen von Lukas Spieß verwendet, aufgenommen am 14.12.2022 und habe sie nach dem oben genannten Prinzip bearbeitet. Ich stellte fest, dass das zweite Video besser gelungen ist, da ich einige Einstellungen ausprobiert habe und ich einige Verbesserungen gefunden habe, die ich auch kurz nennen kann:

Erst einmal habe ich ein größeres Bildformat verwendet, damit der Mars nicht mehr so groß erscheint. Die Auflösung reicht nicht, dass man den Mars im ersten Video schön darstellen kann. In

²<https://youtu.be/DycmN1iQmXQ> - Video (1)

²<https://youtu.be/Mx56jkM-TGA> - Video (2)

Autostakkert habe ich mir die besten 5 % der Bilder zu einem Bild zusammenführen lassen, was denke ich zu einem besseren Bild geführt hat. Außerdem habe ich versucht, als Referenzpunkte für die Sortierung der Qualität der Bilder so viele wie möglich zu setzen. Allerdings sieht man in dem zweiten Video die Rotation des Mars nicht so schön. Das liegt daran, dass ich nicht lange genug an dem Abend aufnehmen konnte, da Wolken irgendwann die Sicht zum Mars versperrten. Ein Marstag ist einem Tag auf der Erde sehr ähnlich. Ein Tag auf dem Mars ist 24 Stunden und 37 Minuten lang (Katzur 2023). Ich habe noch einige augenfällige Orte auf dem Mars in dem Video beschriftet. Das Bild mit den Beschriftungen sieht man auch hier (Abb. 3.8)

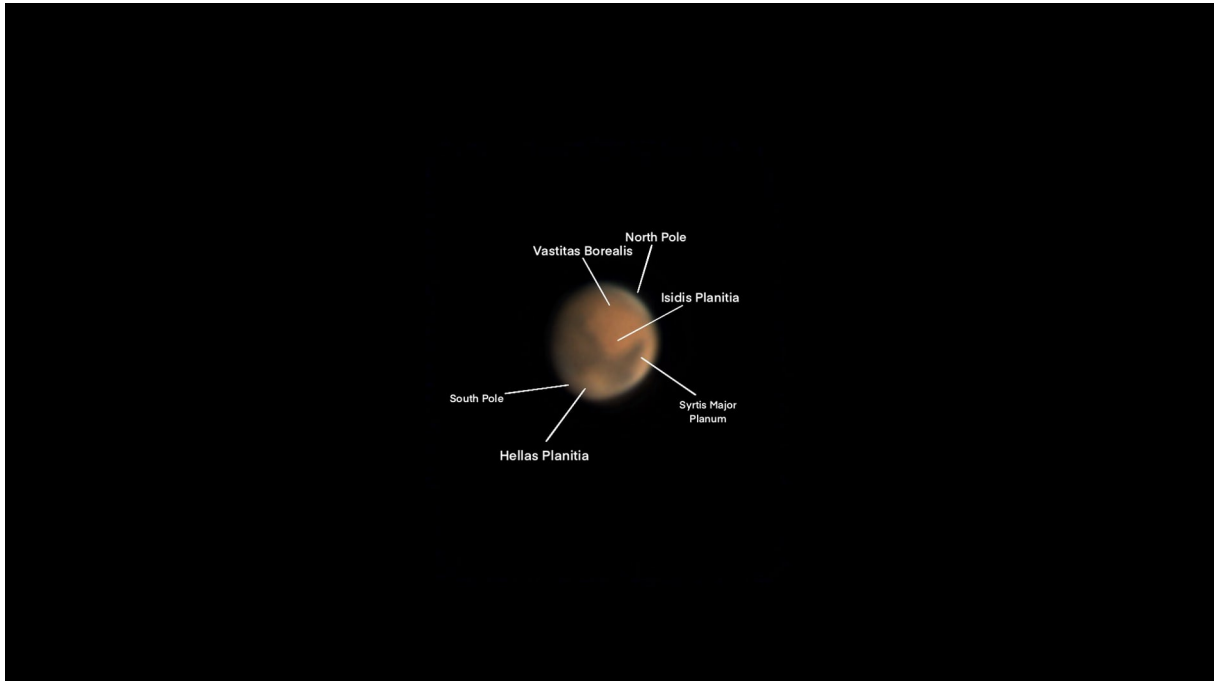


Abb. 3.8: Eine meiner Mars-Aufnahmen beschriftet (Auch im Video zu sehen (Vgl. Fußnote 2))

4 Spektroskopie

In einem Spektrum sieht man das Licht aufgeteilt in seine Bestandteile und kann dieses im Spektrum nach den Wellenlängen sortiert, bestimmten Molekülen zuordnen. Licht besteht aus Photonen und jedes Molekül absorbiert die Photonen in einer bestimmten Wellenlänge und Intensität. Diese Ausprägungen kann man in einem Spektrum untersuchen. Nachdem ich den Spektroskopie-Kurs des zdi-BeST abgeschlossen habe, habe ich mir die Frage gestellt, wie wohl das Spektrum vom Mars aussieht? Ich möchte herausfinden, ob man möglicherweise einen Unterschied zu einem Sonnenspektrum sieht? Denn der Mars besteht vor allem aus rotem Staub, also Eisen. Kann man in dem Marsspektrum im Vergleich zur Sonne ausgeprägte Eisenlinien sehen? Meine Beobachtungen zu dieser Frage beschreibe ich in dem Kapitel Ergebnisse (4.3) und diskutiere sie im Kapitel Diskussion der Ergebnisse (4.4).

4.1 Aufnahme der Spektren

Die Spektren habe ich am 08.02.2023 zusammen mit Lukas Spieß aufgenommen. Zur Verfügung standen uns das Refraktor-Teleskop TEC160 FL, als Kamera die monochrome SBIG STF-8300M und als Spektrographen benutzten wir den DADOS mit einem Gitter 200 L/mm (Abb. 4.1). Des Weiteren standen uns als Kalibrierlampe die Neon Argon Lampe von der Firma Shelyak zur Verfügung.

Genau wie bei der Aufnahme des Mars muss man sich erst einmal darum kümmern, dass das Bild des Spektrums scharf dargestellt wird. Dies konnte wieder über Remote Control vom Computer aus geschehen (siehe Abb. 3.3 (3)). Außerdem musste man darauf achten, dass das optische Gitter, welches das Licht in seine Bestandteile zerlegt, genau auf das Objekt gerichtet ist, dass wir aufnehmen wollen. Dafür haben wir uns auf dem Computer, über den wir das Teleskop mit einer Verbindung steuern konnten, ein Fadenkreuz genau mittig auf den Spalt gelegt. Hierfür haben wir mit einer Lampe in das Teleskop geleuchtet, damit wir die Spalten sehen konnten. So war es kein Problem das Teleskop genau auf dem Mars auszurichten und die Erdrotation mit nachsteuern auszugleichen. Unten habe ich ein Bild (Abb. 4.2) eingefügt, auf dem man den Desktop mit der Oberfläche der Software sieht, die wir verwendet haben, um unsere Spektren aufzunehmen. Bei der Spektroskopie braucht man für die Aufnahme eine Software mehr, als bei der Fotografie (Kapitel 3.1). Diese Software ist MaximDL, durch welche man das Spektrum aufnimmt. FireCapture diente diesmal als Live View³, durch das man zusammen mit dem Fadenkreuz den Mars zentriert halten und die Erdrotation über das Keypad des Teleskops ausgleichen konnte.

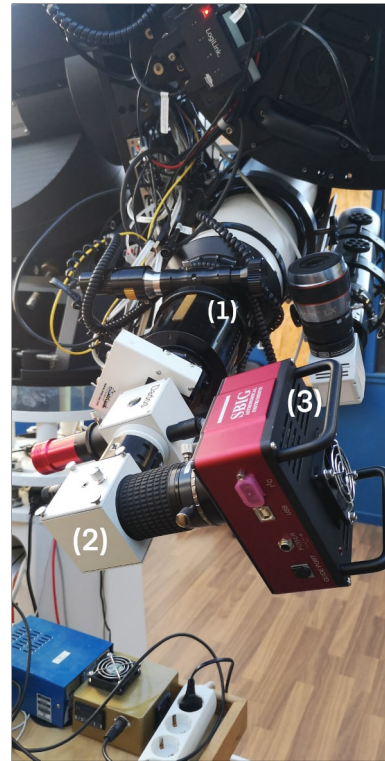


Abb. 4.1:
 (1) Refraktor TEC160 FL,
 (2) Kamera SBIG STF-8300M,
 (3) Spektrograph DADOS

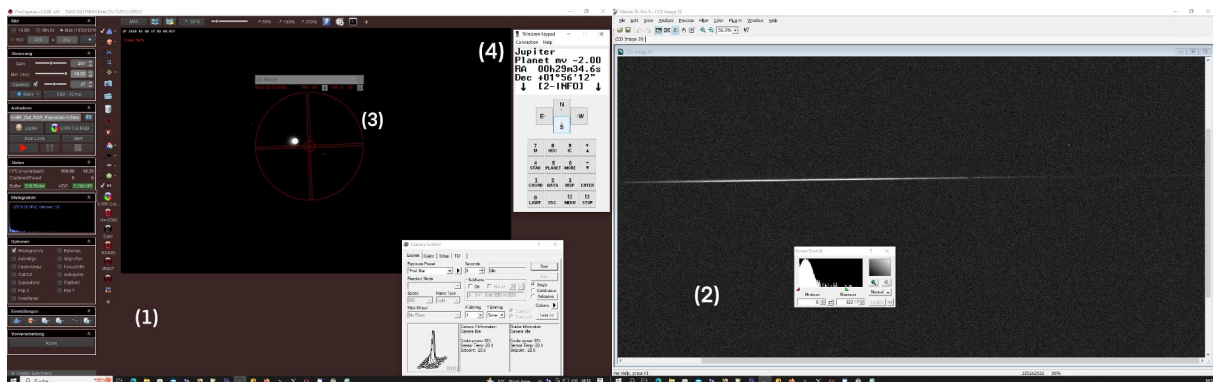


Abb. 4.2: (1) FireCapture, (2) MaximDL, (3) Fadenkreuz, (4) Keypad des Teleskops

³Vgl. Fußnote 1

4.2 Ausarbeitung der Spektren

Die Referenzlampe dient später in der Ausarbeitung der Kalibrierung der Spektren. Das Spektrum, welches entsteht, wenn man die Referenzlampe vor den Spektrographen hält, ist ein Emissionslinienspektrum. Dies hat den Vorteil, dass das Spektrum der direkt angeschlossenen Lampe immer gleich aussieht und durch keine Faktoren beeinflusst wird. Die Spektren werden in der Software BASS (Basic Astronomical Spectroscopy Software) bearbeitet. Wir haben zehn Marsspektren aufgenommen und deshalb habe ich diese Fotos, ähnlich wie bei der Mars Fotolapse, zuerst in der Software gestackt. Danach musste ich eine Rotate Correction durchführen, damit das Spektrum gerade ist, da es ein wenig schief aufgenommen wurde. Als nächstes habe ich das Spektrum zugeschnitten, weil alles andere außer dem Spektrum benötigt man nicht und muss die Software nicht beachten. Sonst verfälscht es das Ergebnis. Im nächsten Schritt habe ich der Software angegeben, welcher Bildteile relevant ist und das Spektrum abbildet. Dieser Schritt heißt in der Software „Set Active Binning Region“. Danach habe ich den Bereich der Himmelsanteile angegeben, also alles außer dem Spektrum. Diesen Bereich rechnet die Software aus dem Ergebnis aus und der Schritt wird „Set Subtraction Region“ genannt. Danach erhält man ein Spektrum mit Linien, welche aber noch nicht auf die korrekten Wellenlängen kalibriert sind. Um Spektren vergleichen zu können, muss man sie kalibrieren, damit das Spektrum korrekte Wellenlängen angibt. Dies macht man unter dem Punkt „Calibration Reference Points“ (Bild 4.3) in der Software.

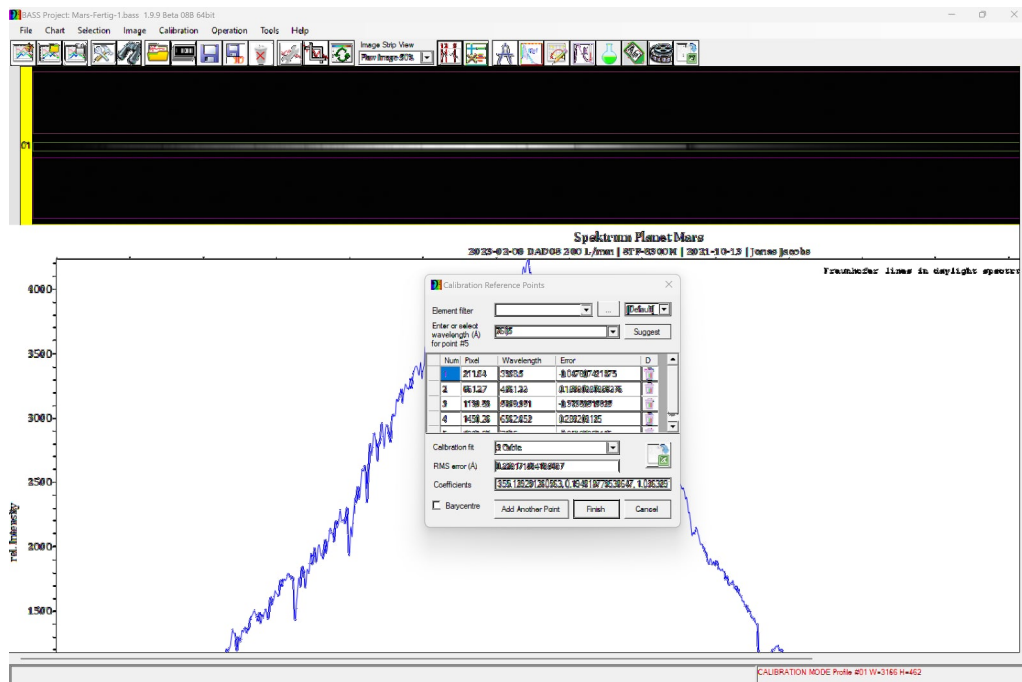


Abb. 4.3: Die Software BASS zur Verarbeitung von Spektren. Hier im Menü für die „Calibration Reference Points“

Dafür habe ich folgenden Referenzpunkte genommen, da jetzt schon deutlich aufgefallen ist, dass das Marsspektrum große Ähnlichkeiten mit dem Sonnenlicht- oder Tageslichtspektrum hat. In der Software kann man in dem Menü „Calibration Reference Points“ bestimmte Linien in dem Spektrum angeben und bekannten Molekülen oder Atomen zuordnen. Wenn man dies an etwa fünf markanten Stellen im Spektrum macht, berechnet die Software die Wellenlängenkalibrierung. Als Referenzlinien

bieten sich die in der Tabelle (Tab. 1) zu sehenden Moleküle und Atome an, bei denen man sehr genau die Wellenlängen kennt und den Ort im Spektrum erkennen kann.

Molekül/Atom	Wellenlänge (Å)
O ₂	7605
H _α	6562,852
Na ⁽⁴⁾	5892,94
H _β	4861,33
Ca + H	3966,468

Tab. 1: Tabelle der Referenzlinien mit dem dazugehörigen Molekül/Atom und ihrer Wellenlänge in Ångström (Å).

Nach der Kalibrierung und der Kontrolle, dass der Restfehler, welcher die Ungenauigkeit bewertet, befriedigend ist, hat man ein fertiges Spektrum. Nun habe ich nur noch zwei kleine Veränderungen vorgenommen. Einmal habe ich durch die Funktion „Continuum & Responce Shaper“ das Spektrum normiert (Abb. 4.4). Dadurch wird ein wahrer Kontinuumsverlauf dargestellt, der nicht durch Faktoren wie Instrumentenfunktionen von Teleskop, Spektograph oder Kamera verfälscht wurden. Außerdem wird eine Verfälschung durch die Absorption und Streuung des interstellaren Staubs und Molekülen in der Erdatmosphäre entfernt. Das nennt man ein Pseudokontinuum. Diese Einflüsse beseitige ich durch die Funktion „Continuum & Responce Shaper“ und „Normalise Flux Scale“. Zum zweiten habe ich durch die Funktion „Normalise Flux Scale“ das Spektrum auch auf eine Y-

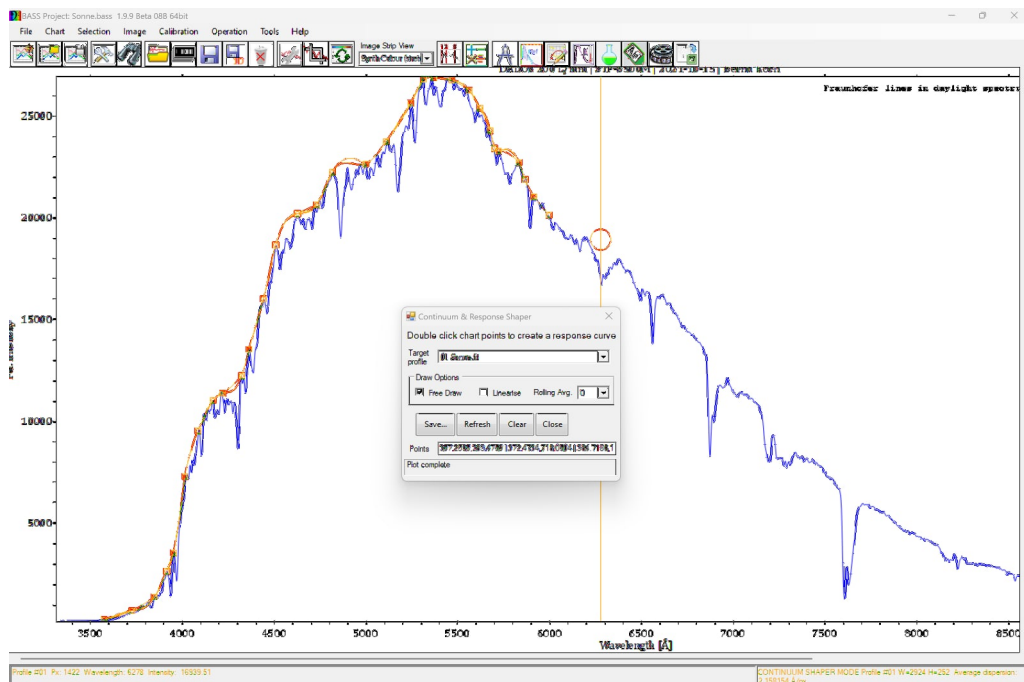


Abb. 4.4: Die Software BASS zur Verarbeitung von Spektren. Hier im Menü für „Continuum & Responce Shaper“

Linie kalibriert, was auch dazu beiträgt, dass das Spektrum auf eins normiert ist. Nun hat man ein normiertes Spektrum mit einem fast horizontalen Kontinuum. Dieses Spektrum kann nun mit anderen Spektren verglichen werden. Das Sonnenspektrum oder Tageslichtspektrum habe ich nach dem gleichen Vorgehen bearbeitet, wie in diesem Kapitel (4.2) gerade beschrieben.

⁴Natrium Dublett (Mittelwert)

4.3 Ergebnisse beim Vergleich zwischen Marsspektrum und Sonnenspektrum

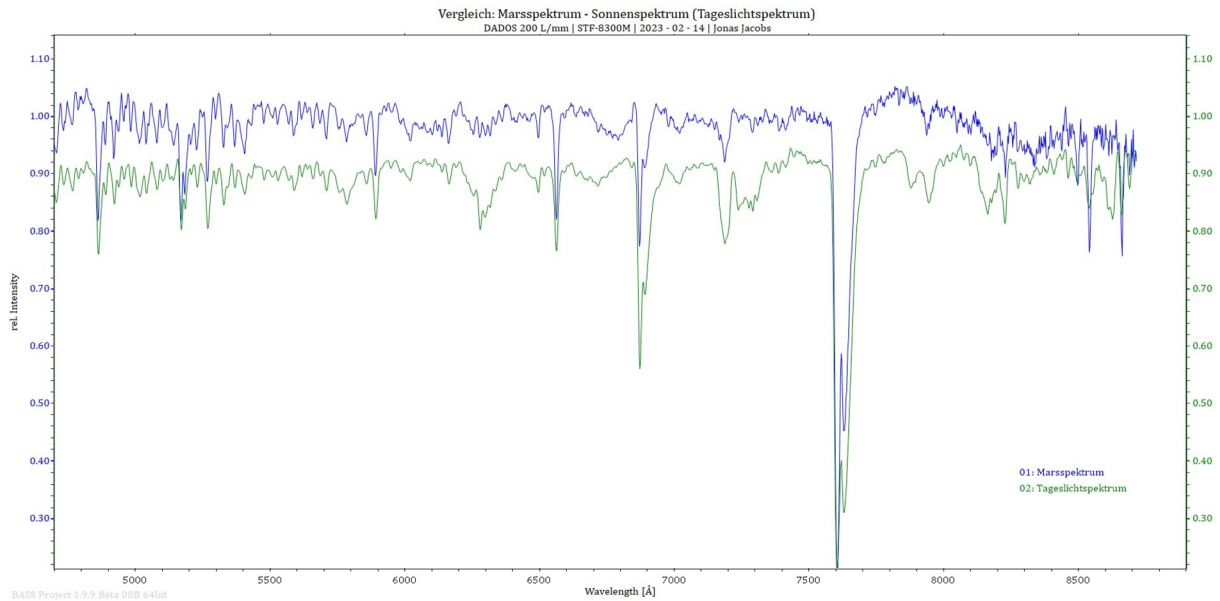


Abb. 4.5: Ergebnis: Marsspektrum (blau) und Tageslichtspektrum (grün)

In dem Bild (Abb. 4.5) sieht man das Marsspektrum und das Tageslichtspektrum. Die beiden Spektren scheinen an den meisten Stellen fast identisch zu sein. Die Referenzlinien sind in beiden Spektren sehr deutlich zu sehen. Doch unterscheiden sich vielleicht die Intensitäten der Linien? Dies könnte an Eisenlinien untersucht werden, da auf der Oberfläche des Mars sehr viel Eisen durch den roten Sand und Staub aufzufinden ist. Dafür muss man das Spektrum vergrößern, damit man genauer beurteilen kann, ob sich die Linien unterscheiden. Das Spektrum habe ich in dem Bild (Abb. 4.6) vergrößert. In dem Bild (Abb. 4.6) ist zu erkennen, dass die Eisenlinie bei etwa 4960 Å etwas ausgeprägter ist, als die Linie beim Sonnenspektrum. Die nächste Linie, bei etwa 5170 Å, ist beim Marsspektrum deutlich weiter ausgeprägt als die Linie im Sonnenspektrum.

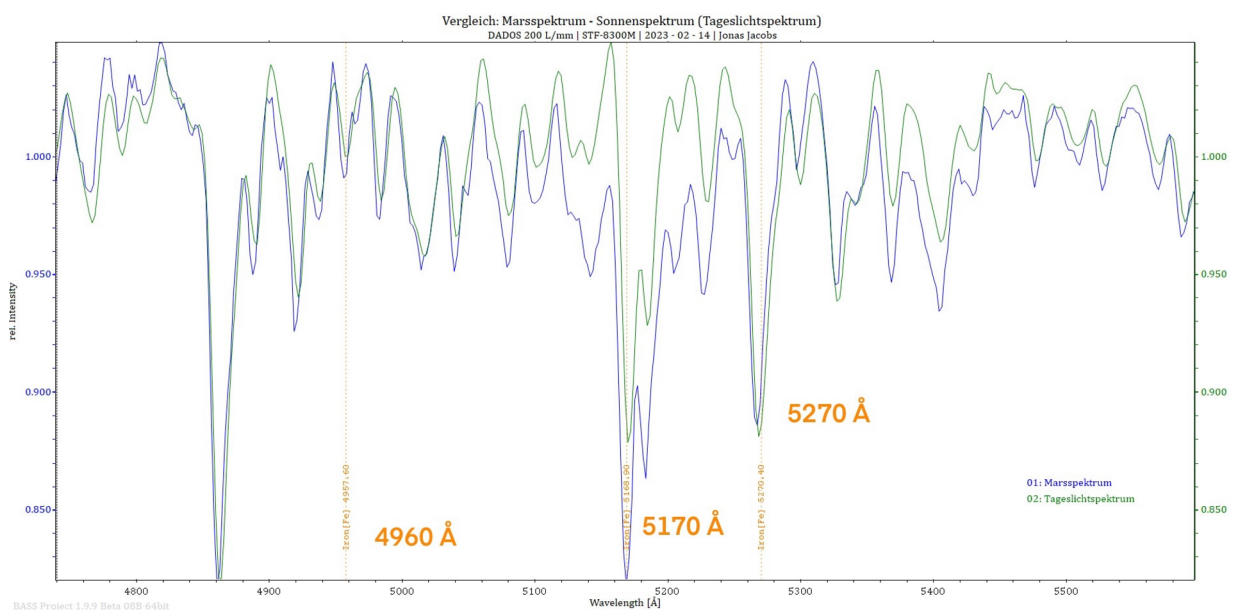


Abb. 4.6: Ergebnis: Marsspektrum (blau) und Tageslichtspektrum (grün) - vergrößert

Schließlich ist bei der letzten Linie (ungefähr 5270 \AA) kein großer Unterschied zwischen den beiden Spektren zu erkennen. Abschließend lässt sich sagen, dass sich beide Spektren kaum unterscheiden und nur an einigen Stellen Unterschiede aufweisen. Außerdem sind nicht alle Eisenlinien, die ich ausgewählt habe, in dem Marsspektrum ausgeprägter als bei dem Sonnenspektrum. Weshalb dort auch keine direkte Verbindung zur einem erhöhten Eisenvorkommen gezogen werden kann.

4.4 Diskussion der Ergebnisse

Woran liegt es, dass sich die beiden Spektren kaum unterscheiden? Es ist zu beachten, dass das Marsspektrum und das Tageslichtspektrum durch die gleiche Atmosphäre aufgenommen wurden. Außerdem ist der Mars auch nur zu erkennen, weil er das Sonnenlicht reflektiert. Deshalb sehen sich beide Spektren so ähnlich. Doch beim genaueren hinschauen fällt einem auf, dass sich die Spektren zwischen den markanten und großen Linien im Kleinen unterscheiden. Das könnte dann auf die unterschiedliche Beschaffenheit der beiden Himmelsobjekte zurückzuführen sein.

Bei der weiteren Recherche bin ich auf eine wissenschaftliche Arbeit aus dem Jahr 1964 von Lewis D. Kaplan und Hyron Spinrad gestoßen (Kaplan, Münch und Spinrad 1964). In dem Artikel geht es um die Bestimmung von Wasserstoff und Kohlenstoff in der Atmosphäre des Mars. Da habe ich mich gefragt, ob ich diese Linien auch in meinem Spektrum erkennen kann. In diesem Bild (Abb. 4.7) sieht man die Spektren vergrößert in dem Bereich, den die Forschungsarbeit behandelt hat. In dem Bild daneben (Abb. 4.8) ist ein Bild eines Marsspektrums aus der Forschungsarbeit zu sehen. Dieses Bild zeigt den Bereich, welche die Arbeit behandelt hat. Die mit *J* markierten Linien sind die Linien, welche in der Arbeit untersucht wurden. Zu bemerken ist, dass der verwendete Spektrograph nicht hochauflösend genug für den m\AA Bereich ist, weshalb die Wasserstoff und Kohlenstofflinien nicht zu erkennen sind. Interessant ist allerdings, dass die Forschenden zwei Eisen (Fe) Orientierungslinien verwendet haben. Diese Eisenlinien liegen bei 8688.44 \AA und bei 8699.46 \AA (Abb. 4.8). Die Linien habe ich auch in meinem Spektrum eingezeichnet (Abb. 4.7).

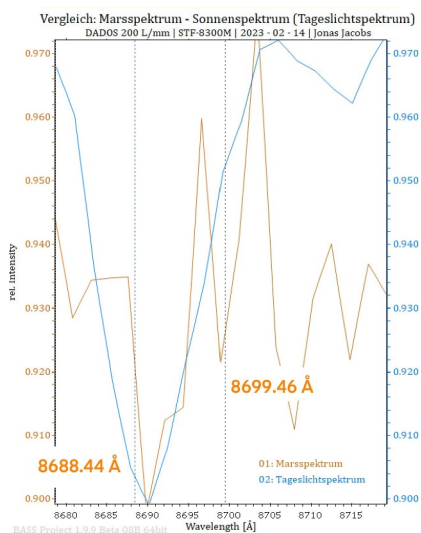


Abb. 4.7: Marsspektrum (orange) und Tageslichtspektrum (blau) - vergrößert - Wellenlängen (8688.44 \AA und 8699.46 \AA) mit einer vertikalgestrichelten Linie markiert

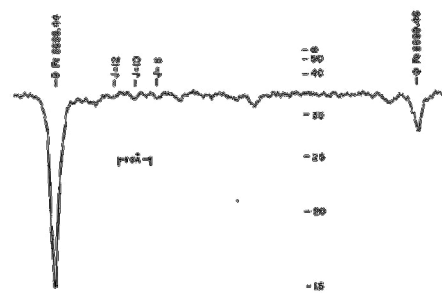


Abb. 4.8: Bild aus der wissenschaftlichen Arbeit (Kaplan, Münch und Spinrad 1964) - Von links nach rechts: Eisenlinie bei 8688.44 \AA , *J*-Linien, Eisenlinie bei 8699.46 \AA

Zu erkennen ist, dass die Linien nicht perfekt auf den Ausprägungen der Linien liegen, trotzdem kann man aber diese Ausprägungen, auch aufgrund ihrer Intensität diesen Linien zuordnen. Das Spektrum des Mars zeigt die zweite Eisenlinie, doch in dem Sonnenspektrum ist die Linie nicht zu sehen.

Woran könnte das liegen? Irgendetwas in dem Sonnenspektrum muss die Linie verschlucken, weil man sieht in dem Sonnenspektrum eine große und breite Ausprägung. Dies deutet darauf hin, dass es sich um mehrere Linien handeln könnte, die dort übereinanderliegen und zu einer großen Ausprägung führen. Die Fragen, die ich mir stellte, sind: Was ist da? Um was kann es sich handeln, wenn man es beim Marsspektrum nicht sehen kann? Wie sich herausstellte, sind Antworten auf diese Fragen zu finden, gar nicht so einfach. Ich habe recherchiert, um vielleicht Antworten auf diese Fragen zu bekommen und wenn man nicht davon ausgeht, dass es sich um einen Kalibrierungsfehler oder eine Ungenauigkeit in der Aufnahme handelt, bin ich zu folgenden Erklärungsmöglichkeiten gekommen:

Durch die Datenbank NIST, auf welcher man alle Wellenlängen mit den dazugehörigen Elementen und ihrer Intensität angezeigt bekommt, war meine Idee, dass Linien mit einer starken Intensität den Bereich des Sonnenspektrums überschatten und sozusagen ungenau machen könnten. Vielleicht könnte es sein, dass Vanadium die restlichen Linien mit einer relativen Helligkeit/Intensität von 5900 verdeckt. Vanadium liegt bei genau der Wellenlänge der Ausprägung (bei ungefähr 8690 Å) (Abb. 4.9). Zum Vergleich die Eisenlinie bei ungefähr 8688.44 Å hat eine relative Intensität von 8100 und die Eisenlinie bei ungefähr 8699.46 Å, welche im Sonnenspektrum nicht zu sehen ist, hat eine Intensität von 890 (NIST).

Ion	Observed Wavelength Air (Å)	Unc. (Å)	Ritz Wavelength Air (Å)	Unc. (Å)	Rel. Int. (?)	A_{KI} (s ⁻¹)	Acc.
Ni XIV			8 690	40		1.14e+01	C+
F VI			8 690	80		1.39e+07	B
Ni XIV			8 690	40		2.6e-04	E
<u>V I</u>	8 690.081	0.003	8 690.0817	0.0015	5900		
Kr II	8 690.19	0.10	8 690.18+	0.08	100hs		
Hf I	8 690.370	0.015	8 690.349	0.008	14		

Abb. 4.9: Vanadium (rot markiert) auf NIST

Wenn man sich jetzt fragt, warum diese Linie aber im Marsspektrum nicht vorkommt, kam mir die Idee, dass es etwas in der Sonnenatmosphäre geben könnte, was nur da vorkommt und nicht in der Atmosphäre der Erde oder des Mars liegt. Dazu passt Vanadium. Vanadium ist ein Metall und kommt so auch in der Sonne vor (contributors 2021). Ich bin auf eine Arbeit gestoßen, die sich mit Sonnenwinden beschäftigt, in der es um den Solar-Wind-Sputtering-Prozess geht (Barghouthy, Adams Jr, Meyer u. a. 2010). Bei dem Solar-Wind-Sputtering-Prozess geht es um die Verbreitung von ionisierten Teilchen, die von der Sonnenoberfläche in den Weltraum geschleudert werden, was auch unter Sonnenwinde bekannt ist. Dabei ist es auch möglich, dass geringe Mengen an Vanadium in den Weltraum gelangen.

Es könnte eine mögliche Erklärung dafür sein, warum dieser Bereich in dem Sonnenspektrum nicht so ausgeprägt und detailliert ist, wie in dem Marsspektrum. Doch am Ende sind dies nur Vermutungen,

welche nicht stichfest belegt werden können, da man für genauere Untersuchungen ein genaueres Spektrum benötigen würde. Also bleibt es bei diesen Vermutungen, die aber nach dieser Beurteilung so zutreffen könnten.

5 Die Weltraumkolonisation

5.1 Was bedeutet überhaupt Weltraumkolonisation?

Weltraumkolonisation bedeutet das Erschaffen von menschlichen Kolonien im Weltraum. Dafür benutzt man den technischen Fortschritt um lebensfähige Orte - Habitate - für den Menschen aufzubauen. Weltraumkolonisation bedeutet, dass in der neuen Heimat gelebt werden soll: „eine zweite Erde“. Dies heißt, dass sich das Habitat entwickeln kann und in der Zukunft durch „Terraforming“ erdähnliche Lebensbedingungen erschaffen werden. Wenn man die Weltraumkolonisation in Stufen einteilen würde, könnte man nach der Lebensfeindlichkeit des zu kolonisierenden Ortes sequenzieren. Jedoch auch nach der technischen Umsetzbarkeit und Schwierigkeiten. Denn, wenn auf einem Exoplaneten wie Kepler-22b erdähnlich Bedingungen vermutet werden, ist er trotzdem nicht auf der ersten Stelle der Kolonisierungsliste, da er 600 Lichtjahre entfernt ist. Bei solchen Entfernungen befinden wir uns in der interstellaren Raumfahrt. Dazu mehr in dem Kapitel 8. In einer Liste der Kolonialisierungsschritte wäre der erste Schritt bereits erreicht. Die Erdumlaufbahn ist der erste Schritt zu einer Weltraumkolonisation. In der internationalen Raumstation (Abb. 5.1) leben bereits Menschen in der Erdumlaufbahn.

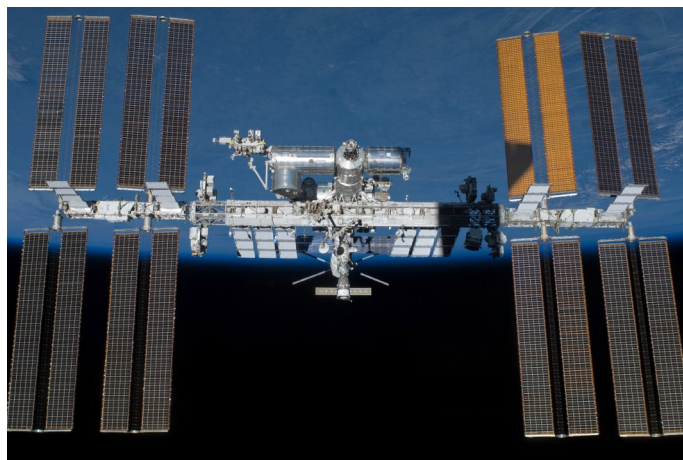


Abb. 5.1: Die Internationale Raumstation (ISS) - leben in der Erdumlaufbahn von Menschen realisiert

Eine Kolonisation müsste man von da an in weiteren Schritten angehen.

1. Leben in der Erdumlaufbahn
2. Kolonisierung des Mondes
3. Kolonisierung des Mars
4. Kolonisierung unseres Sonnensystems
5. Interstellare Kolonisierung („Science Fiction“ - siehe Kapitel 8)

Die Einteilung in diese Schritte ist sinnvoll, da so Herausforderungen schrittweise bewältigt werden können und Erfahrungen gesammelt werden können. Auf die Mondkolonisation (Kapitel 6) und Marskolonisation (Kapitel 7) werde ich im Folgenden näher eingehen, da ich denke, dass sie in Zukunft eine wahre Umsetzungschance haben.

Doch warum aber eine Einteilung in diese Schritte? Eine feste Station in unserer Erdumlaufbahn könnte als Zwischenstation dienen, um Weltraumreisende eine Weiterreise zu ermöglichen. Außerdem könnte in einer vergleichsweise nahen Distanz zur Erde neue Technologien und Entwicklungen für das Überleben im Weltraum getestet werden. Die gleichen Punkte treffen auch auf den Mond zu. Der Mond ist das nächste Himmelsobjekt und kann als Zwischenstation genutzt werden, um die Menschen auf eine Weiterreise vorzubereiten und zu versorgen. Auf dem Mond könnten auch erste Konzepte für das Überleben auf einem anderen Himmelsobjekt (Planeten) getestet werden. Genaues zu den Voraussetzungen für ein Überleben auf dem Erdtrabanten in dem Kapitel 6. Wenn diese Schritte erledigt sind, kann man sich auf eine sichere Reise zum Mars machen. Der Mars ist in der Hinsicht die erste Wahl für die Kolonisation eines Planeten, nicht nur, weil es schon immer Spekulationen über die „Marsmenschen“ gab, sondern auch weil er sich im Gegensatz zu Planeten, die man schneller erreichen könnte, eigenschaftlich besser eignet. Eine Reise zum Mars dauert ungefähr 258 Tage. Eine Reise zu den sonnennäheren Planeten Merkur (ca. 105 Tage) und Venus (ca. 146 Tage) sind kürzer. Jedoch wären Besiedlungen aufgrund ihrer hohen Oberflächentemperatur und beim Merkur aufgrund sehr niedrigen Druckes, wegen technischer Aspekte schwierig zu gestalten (Meike 2017). Der nächste Planet in Reihenfolge ist der Mars, welcher bessere Bedingungen aufweist, als die anderen Planeten. Dennoch gibt es einige Herausforderungen. Mehr dazu im Kapitel 7.

Als letzter Punkt in meiner Liste steht die interstellare Raumfahrt. Wie schon in der Liste verweise ich dazu zu dem Kapitel 8.

5.2 Unser Platz im Universum - Was führt uns zur Weltraumkolonisation?

Im Folgenden möchte ich auf die Rolle des Menschen auf der Erde eingehen und was uns zur Weltraumkolonisation führen könnte. In dem Bezug auf die Weltraumkolonisation möchte ich im nächsten Kapitel auf die Anregung Bezug nehmen, dass die Kolonisation des Mondes oder des Mars möglicherweise eine Lösung der Probleme wäre, die wir auf der Erde haben. Außerdem werde ich den Lebensraum des Menschen, mit dem im Weltraum vergleichen. Ich fange bei uns Menschen auf der Erde an und dazu was uns zur Weltraumkolonisation treiben könnte. Wir Menschen leben die meiste Zeit in unseren selbst erstellten Lebensräumen. Wir befinden uns aber trotzdem in einem größeren Ökosystem, der Erde. Ich würde nicht behaupten, dass wir eine feste Rolle in diesem System haben, da auch ohne die Menschen Biotop (Lebensräume) und die Biozönose (Lebensgemeinschaften) weiter existieren. Deshalb haben wir die Pflicht, dass wir uns selbst Grenzen setzen und beherrschen und für eine sichere Zukunft der Erde sorgen. Denn wie viele heutzutage wissen tragen die Menschen nicht unbedingt zu einer Förderung der Erde bei. Wir verändern das Klima, schränken den Lebensraum von Tieren ein. Wir zerstören Biotop, damit wir ein bestmögliches Leben führen können. Natürlich ist es unsere Pflicht das Leben auf der Erde und unser Ökosystem so wenig wie möglich zu beeinflussen. Doch das gelingt uns nicht so ganz. Ein großer Faktor dafür ist, dass wir einfach so viele sind.

Wir Menschen vermehren uns und expandieren. Bei vielen von uns Menschen geht es nicht mehr um das Überleben. Wir Menschen stehen ganz oben auf der Räuberliste. An uns kommt kein Tier

heran. Die meisten Menschen haben eine gute Lebensqualität, was auf der Erde aber nicht unbedingt für vielen Nachkommen essenziell ist. Im Weltraum braucht man aber eine lebensnotwendige Grundausrüstung. Die Lebensqualität im Weltraum ist dennoch nicht mit der auf der Erde zu vergleichen, weil wahrscheinlich auch bei den ersten Missionen der Kolonisation keine gleichwertige Lebensqualität erreicht werden kann. Bei solch einem Bevölkerungswachstum ist es fast nicht aufzuhalten, dass neuer Wohnraum geschaffen werden muss, neue Fabriken gebaut werden müssen, mehr Autos unterwegs sind. Wir Menschen versuchen dagegen etwas zu unternehmen. Wir wollen elektrische Autos, versuchen bei so vielem wie möglich nachhaltiger zu werden. Doch das hat oft nicht die direkten Auswirkungen, die man sich erhofft. An dem Punkt muss man sich die Frage stellen: Warum macht man sich solche Sorgen? Die Antwort ist ganz einfach. Es gibt nur eine Erde, es gibt nur diesen einen Ort, an dem wir leben können. Daraus schließend könnte uns aber die Zerstörung der Erde unweigerlich zur Weltraumkolonisation führen. Gerade im Moment spekuliert man viel über Exoplaneten, die möglicherweise Leben beherbergen könnten, oder auf dem Leben möglich wäre. Doch wenn man sich die Entfernungen anschaut, dann stellt man fest, dass es schwierig ist, solch einen weit entfernten Punkt in unserem Universum zu erreichen.

5.3 Weltraumkolonisation als die Lösungen unserer Probleme auf der Erde?

Im Weiteren Verlauf werde ich nur die reine Idee hinter der Frage beurteilen, ob die Weltraumkolonisation eine Lösung für unsere Probleme auf der Erde ist und Auswirkungen herausarbeiten. Die Idee dahinter ist, dass man Bevölkerung auf einen anderen Planeten umsiedeln könnte, damit weniger Menschen die Erde beeinflussen würden. Dazu müsse man hunderttausende Menschen ins All bringen. Schnell kommt man zu dem Entschluss, dass diese Idee nur in großen Zahlen eine Auswirkung haben wird. Denn was würden nur ein paar Menschen weniger auf der Erde gegen den Klimawandel beitragen? Aber vielleicht ist es genau das Problem. Die Menschen sind sich nicht bewusst, wie wertvoll das Leben auf der Erde ist und wie lebensfeindlich es im Weltraum ist. Das wird bei der Ausarbeitung solcher Fragen sehr schnell deutlich. Dann bleibt mir jetzt auch nichts anderes übrig, als auch über die Realisierbarkeit zu sprechen. Eindeutig sprengen solche Projekte unsere Möglichkeiten. Aber vielleicht ist die Weltraumkolonisation das, worauf wir hinarbeiten sollten. Wie gerade herausgefunden ist die Weltraumkolonisation aus Sicht der Umsiedlung von Menschen kein lohnender Punkt auf kurze Sicht. Obwohl das Erhalten unserer Erde nie zuvor so wichtig war. Die Weltraumkolonisation kann dafür aber keine schnelle Lösung sein.

Wie ist es aus der Sicht der Wirtschaft? Was gibt es auf dem Mars oder Mond zu holen, was eine Kolonisierung befürworten oder nötig macht? Ich habe schon über die ersten Mondlandungen und die Apollo-Missionen geschrieben, wo deutlich wurde, dass es sich um einen politischen Wettkampf gehandelt hat (Kapitel 2). Heutzutage **sollte** man nicht mehr davon ausgehen, dass es wieder solche Machtspiele gibt. Also, was gibt es auf dem Mond oder dem Mars? Der Mars ist ein felsiger Planet, der vor allem aus Basalt besteht. Die Oberfläche ist sehr sandig und hat eine staubige Schicht aus oxidiertem Eisen (NASA 2023). Also gibt es auf dem Mars keine frei zugänglichen wertvollen Rohstoffe. Wenn natürlich nur geringe Mengen an Marsstaub auf die Erde gebracht werden, dann könnte man damit wieder riesigen Profit machen. Wie ich in Kapitel 2.1.1 beschrieben habe. So bleibt uns am Ende nur unser Entdeckerdrang, der die Weltraumkolonisation rechtfertigen würde? Die Weltraumkolonisation kann vielleicht damit begründet werden, dass es schon immer das Ziel

des Lebens war, die entlegensten Punkte der Erde zu erreichen, um das Leben zu verbreiten. Das Leben hat schon immer einen Weg gefunden. Auch auf der Erde bis zu den entlegensten Stellen.

6 Mondkolonisation

6.1 Unser Erdtrabant

Die Mondkolonisation. Das bedeutet das Errichten einer menschlichen Siedlung auf dem Mond. Doch was ist der Mond überhaupt? Dies wird im Verlauf dieses Kapitels beschrieben. Es scheint im Moment das „einfachste“ Ziel der Weltraumkolonisation zu sein. Wir Menschen waren schon einmal auf dem Mond, welcher etwa 380000 Kilometer von der Erde entfernt ist. Alles zu den Apollo-Missionen in dem Kapitel 2.1. Die Apollo-Missionen brauchten drei Tage und vier Stunden bis sie den Mond erreichten. In aktuellen Programmen, wie dem Artemis Programm, könnte die Flugzeit ähnlich lange dauern. Da man versucht so treibstoffsparend wie möglich zu fliegen, damit man für die chemischen Antriebe nicht Unmengen an Treibstoff mitnehmen muss. Deshalb nutzt man die Rotation der Erde aus und fliegt nach der Hohmann-Bahn, die schon 1925 von Walter Hohmann in seinem Buch „Die Erreichbarkeit der Himmelskörper“ beschrieben wurde (Hohmann 1925). Das Artemis Programm der Nase in Zusammenarbeit mit anderen Nationen möchte im Jahr 2025 Menschen auf dem Mond landen lassen und bis dahin testen und Erfahrungen sammeln. Das dann, wie auch schon von mir herausgearbeitet, durch die Erfahrung und technische Sicherheit ein großer Schritt zum Mars realisierbar wäre (Kapitel 5.1) (NASA 2020).

„Then, we will use what we learn on and around the Moon to take the next giant leap: sending the first astronauts to Mars.“ (*Artemis* o. D.)

Eine richtige Kolonisierung unseres Mondes ist aber noch nicht in Sicht. Denn bei der Artemis 3 Mission (Abb. 6.1) im Jahr 2025 soll sich die Mannschaft nur eine Woche auf dem Mond aufhalten.

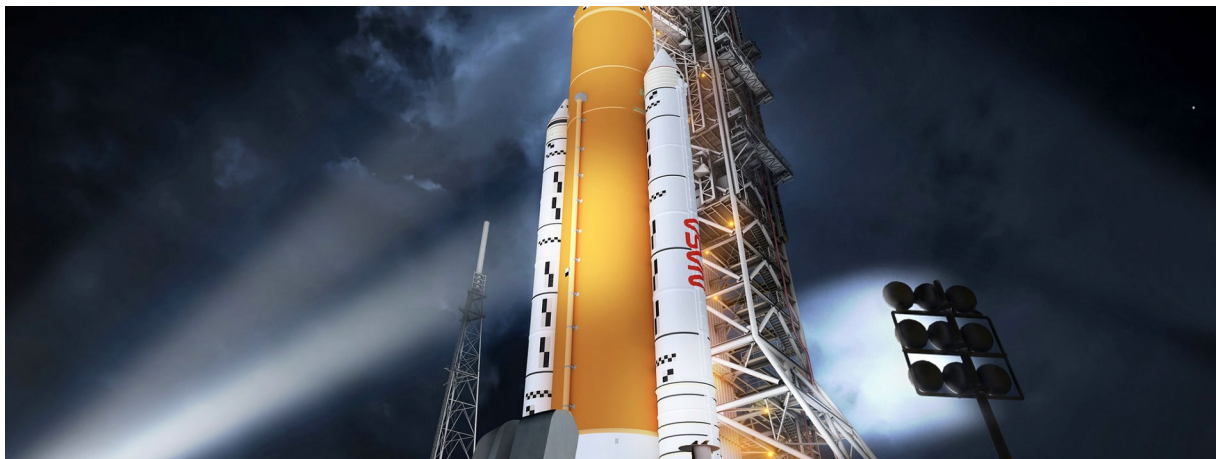


Abb. 6.1: Digital erstelltes Bild der SLS Mondrakete der Artemis Mission

Aber was findet man auf dem Mond und wie ist er aufgebaut? Sind die Bedingungen ähnlich wie zu dem Planeten Mars? Ja, sie sind ähnlich wie auf dem Mars (Kapitel 7), denn sie sind mindestens genauso lebensfeindlich. Ich werde in dem folgenden Kapitel zum Mars noch etwas zu lebensnotwendigen Bedingungen erzählen. Deshalb hier nur eine kurze Beschreibung unseres Mondes: Ein Tag-Nacht-Zyklus auf dem Mond dauert vier Wochen. Es herrscht zwei Wochen lang

Tag und zwei Wochen lang Nacht. Je nachdem auf welcher Seite man sich auf dem Mond befinden, herrschen bis zu 130 Grad Celsius oder auf der Erde abgewandten Seite bis -160 Grad Celsius. Die Atmosphäre besteht aus Neon, Helium, Wasserstoff und Argon. Sie ist aber so dünn, dass sie fast nicht da ist. Also besteht fast ein Vakuum. Die Atmosphäre ist etwa ein Hundertbillionstel der Erdatmosphäre (*Mondatmosphäre* 2023). Vielmehr hat der Mond auch kein globales Magnetfeld, wie die Erde, weshalb man sich besonders vor der Strahlung schützen muss. Die Anziehungskräfte sind sechsmal geringer als auf der Erde. Aufgrund des Vakuums ist der Druck auch extrem niedrig, was bei einem Leck im Raumanzug bei einem Astronauten in wenigen Minuten zum Tod führen würde. Außerdem ist die Oberfläche des Mondes nur etwa so groß wie die von Afrika und Europa zusammen und seine Masse beträgt nur etwa ein Prozent der Erdmasse (Geo 2003, Kayser 2022). Das ist unser steter Begleiter; der Mond.

Ich denke, dass der Mond in Zukunft eine wichtige Rolle für die Weltraumkolonisation spielen wird, weshalb ich ihn in meiner Projektarbeit thematisiert habe.

7 Marskolonisation

7.1 Wie überlebt man auf dem Mars?

Im Folgenden werden Fragen beantwortet, die man sich stellen sollte, bevor der Mensch vorhat den Mars zu besuchen oder sogar zu kolonisieren. Nun kann ich mich, bei dem Versuch die Fragen, um das Überleben auf dem Mars zu erläutern, auf das selbst erstellte Video beziehen. Außerdem werde ich mich auf den Film *Der Marsianer - Rettet Mark Watney* beziehen, weil in dem Film auch Lösungen auf wissenschaftliche Fragen gegeben werden, wie Menschen auf dem Mars überleben könnten. Diese Fragen werde ich auf ihre Realisierbarkeit beurteilen.

Wie überlebt man auf dem Mars? Lebensnotwendig für einen Menschen ist der Sauerstoff zum Atmen, Nahrung zum Essen, Trinken und Schlaf. Auf dem Mars müsste ein eigenes Biotop aufgebaut werden. Ein Biotop bedeutet ein Lebensraum für Organismen (Lebewesen) erschaffen. Dabei muss man sich auf die Lebensfeindlichkeit des Mars einstellen und vorbereiten. Wie zum Beispiel der sehr geringe Luftdruck oder die hohe Strahlenbelastung. Gegen den geringen Luftdruck ist eine gute Unterkunft nötig, die den Lebensraum der Besucher ist. Für außerhalb dieser wird ein guter Raumanzug benötigt, welcher luftdicht ist. Es gibt die Idee des „Terraforming“ schon seit 1973 von Carl Sagan, bei der man einen ganzen Planeten verändert, um erdähnliche Bedingungen zu erschaffen. Dies kann aber nur durch Technologien der fernen Zukunft passieren, da um beispielsweise die Atmosphäre eines Planeten zu verändern braucht man neben der Technik und Energie auch Zeit, da eine Veränderung der Atmosphäre kein schneller Prozess ist, sondern mehrere hundert Jahre dauert. Deshalb müssen sich erste Kolonisten erst einmal auf ein Überleben unter den vorherrschenden Bedingungen einstellen.

Wie atmet man auf dem Mars? Auf dieses Problem gibt es eine Antwort, denn die Marsatmosphäre besteht größtenteils aus Kohlenstoffdioxid. Also könnte der Kohlenstoff gebunden werden, um Sauerstoff zu erhalten. Oder man versucht Sauerstoff durch Pflanzen zu erhalten. Denn über die Photosynthese geben Pflanzen Sauerstoff ab. Dafür brauchen die Pflanzen Kohlenstoffdioxid und die Sonne, welche auf dem Mars noch ausreichend Energie spendet. Damit wäre auch das Problem mit der Nahrung geklärt, denn wenn Pflanzen angebaut werden können, ergibt sich daraus eine natürliche und vor allem gesunde Nahrungsquelle. Wie kann das Problem der Strahlung gelöst wer-

den? Der Mars besitzt kein Magnetfeld wie die Erde, weshalb Sonnenstürme und Strahlung nicht absorbiert werden, wie auf der Erde. Gegen dieses Problem gibt es einige Ideen, eine davon ist, dass man sich in den Sand des Mars einbuddelt (Abb. 7.1). Tief genug, damit die Strahlung nicht lebensgefährlich ist. Ohne angenehme Temperaturen ist gar nichts auf dem Mars möglich. Die Pflanzen könnten nicht wachsen und der Mensch hätte kaum eine Chance zu überleben. Mit einer durchschnittlichen Temperatur von -50 °C wird viel Strom benötigt, um sein Zuhause warmzuhalten. Dazu kommen noch andere Lebenserhaltungssysteme, die durch Strom betrieben werden müssen. Wie der Sauerstoffgenerator und etliche Überwachungssysteme. Diesen Strom könnte man durch irdische Methoden gewinnen. Zum Beispiel durch den Wind oder die Sonne (Weir 2014).

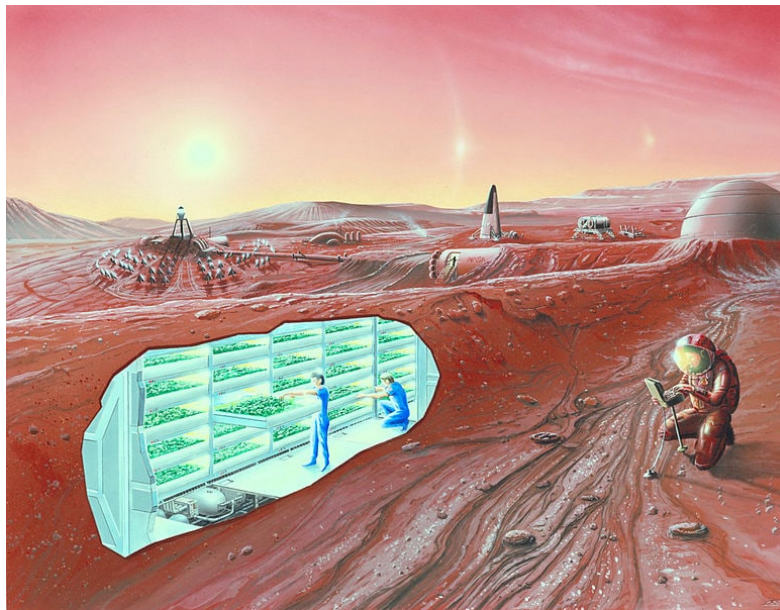


Abb. 7.1: Eine künstlerische Darstellung eines Konzepts einer Marskolonie unter dem Sand der Marsoberfläche

Eine Frage habe ich noch nicht geklärt, wie bekommt man Wasser, welches für einen Menschen und für die Pflanzen lebensnotwendig ist? Das Wasser kann man aus dem Boden filtern. Der Marsrover Curiosity entdeckte Wassereis im Boden des Mars. Er fand heraus, dass im Boden rund 2 % Wasser enthalten sind, welches gefiltert und verwenden werden könnte (Rundfunk 2022). Je nachdem an welcher Stelle man auf dem Mars landet, gibt es vielleicht geologische Vorteile, denn der Nordpol des Mars, wie auch auf meinen eigenen Aufnahmen zu erkennen ist, besteht aus Eis.

Also scheint es ja gar nicht so schwierig zu sein, auf dem Mars zu überleben. So ist es auch in dem Film der Marsianer, um den es im folgenden Kapitel geht.

7.2 Der Film: „Der Marsianer - Rettet Mark Watney“

Der Science-Fiction-Film der Marsianer, welcher auf dem Roman „Der Marsianer“ von Andy Weir basiert, aus dem Jahr 2015 handelt von einer Mars Mission, die fehlschlägt. Ein Mars-Astronaut wird auf dem Mars zurückgelassen. Dann heißt es für den Astronauten Mark Watney, welcher durch ein Unglück nicht mehr die Rakete zum Verlassen des Mars erreicht hat, dass er versuchen muss 549-Sol⁵ Tage auf dem Mars mit begrenztem Proviant zu überleben. Solange bis ein großes Welt-

⁵Sol: Ein Marstag (24 Stunden 39 Minuten)



Abb. 7.2: Mark Watney aus dem Film „Der Marsianer“

raumschiff die „Hermes“ in der Umlaufbahn des Mars ist und er durch die Rakete „Ares 4“ zu ihr gelangen kann. Mark Watney (Abb. 7.2) ist in dem Film konfrontiert mit dem Problem des Überlebens und der Herausforderung den Landepunkt der „Ares 4“ Rakete zu erreichen, da diese in einiger Entfernung im Schiaparelli Krater gelandet ist. Mehr zu Schiaparelli im Kapitel 7.3. Dieser Kampf um das Überleben und die Rücksichtslosigkeit des Mars für das Wohl von biologischem Leben wird in dem Film sehr deutlich. Mark Watney gelingt es zu überleben, aber nur weil er Methoden verwendet, die im Film sehr realitätsnah erscheinen. Diese Methoden basieren auch tatsächlich auf Entwicklungen der NASA zum Überleben auf dem Mars. Ideen zum Überleben auf dem Mars werden natürlich dauerhaft verändert und verbessert. Der Film erschien im Jahr 2015 und damals waren die Methoden im Film auf aktuelle Methoden der NASA abgestimmt. Das Wohnmodul, in welchem Mark Watney überlebte, basiert auf realen Wohnmodulen in denen Astronauten das Überleben auf einem fremden Planeten trainieren. Außerdem wird in dem Film Sauerstoff produziert, indem Kohlenstoffdioxid über den Marsrover aufgenommen wird und Sauerstoff abgespaltet wird. Die NASA verwendet zwar auf der ISS (Internationale Raumstation) eine andere Methode der Sauerstoffgewinnung durch den Prozess der Elektrolyse, doch wäre eine Sauerstoffgewinnung durch die Umwandlung von Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre des Mars mit heutiger Technologie möglich (Pitcher 2015). Als Düngemittel werden in dem Film Extremitäten der Marsonauten verwendet. Mark Watney kann auf ein reichliches Lager an Düngemittel zugreifen, da alle Ausscheidungen der Marsonauten in Beuteln gesammelt wurden. Dies trägt reichlich zu seinen Überlebenschancen bei, da er dadurch eine effizientere Anpflanzung der Kartoffeln ermöglicht bekommt. Für Marsmissionen ist dies auch ein großer Punkt bei der Bestrebung einer effizienten Wiederverwendung von Ressourcen. Deshalb ist es sehr schlau mögliches Wasser aus dem Urin zu filtern, wie es bereits auf der ISS geschieht. Dazu gehört auch alles andere Aufzubewahren, was als Düngemittel verwendet werden könnte. Denn die Ressourcen, die auf dem Mars nicht zu finden sind, sollten sparsam behandelt werden.

Aber gibt es vielleicht ein paar Marsmenschen, die einen Aufenthalt verschönern könnten?

7.3 Was findet man auf dem Mars?

„Die zahllosen Welten im Universum sind nicht schlechter und nicht weniger bewohnt als unsere Erde“ - Giordano Bruno, 1584 (Astronom, Philosoph)

Das ist eine Frage, die Menschen schon seit langer Zeit gestellt haben. Wahrscheinlich schon seit der Antike. Schon die Babylonier beobachteten den Mars und nannten ihn „Nergal“ nach dem Kriegsgott mit einem Vorbild an der griechischen Bezeichnung. Viele Völker nannten den Mars den „Rötlichen“ oder die „Rötung“. Der berühmte Astronom Ptolemäus, der für seine frühen sehr ausführlichen Sternkataloge und genaue Ausarbeitung des geozentrischen Weltbilds (Exkurs zu Weltbildern Kapitel 7.3.1) bekannt ist, schien auf dem Mars eine „dörrnde Glut“ zur erkennen. Ptolemäus entdeckte auf dem Mars eine „dörrnde Glut“ und er war nicht der einzige, der (falsche) Interpretationen zu Entdeckungen verbreitet hat. Auf dem Mars schien es nach dem italienischen Astronomen Giovanni Schiaparelli im Jahr 1877 Marskanäle („canali“) (Abb. 7.3 nächste Seite) zu geben. Er hielt das für durch Wasser verursachte Kanäle von mehreren Tausend Kilometern Länge und 100-200 Kilometer Breite. Doch eine fehlerhafte Übersetzung ins Englische ließ viele Leute denken, dass es sich um eine Entdeckung von errichteten Kanälen handelt und nicht um etwas, was umweltbedingt entstanden sein könnte. Deshalb gab es zu dieser Zeit einen großen Hype um die angeblichen „Marsmenschen“. Es entstand ein hartnäckiger Mythos und viele Science-Fiction-Romane, die diesen Hype aufgriffen (Günter Bräuhöfer 2012).

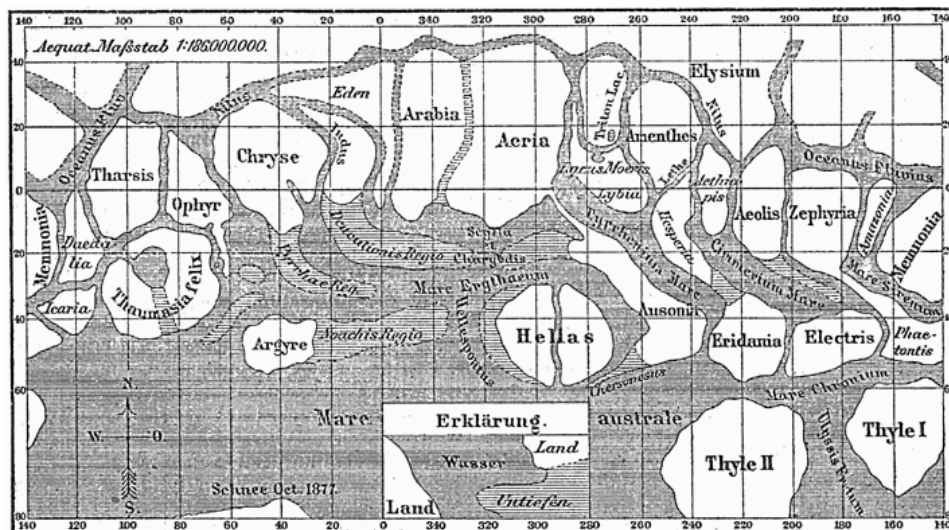


Abb. 7.3: Karte vom Mars, erstellt von Schiaparelli (1888)

7.3.1 Weltbilder

Ein kurzer Exkurs zu den Weltbildern. Claudius Ptolemäus (ca. 100-160 n. Chr.) entwickelte das geozentrische Weltbild, welches das europäische Weltbild für fast 1500 Jahre festsetzte. Dies liegt daran, dass die katholische Kirche sehr auf dieses Weltbild bestanden hat. Das geozentrische Weltbild besagt, dass sich alles um die Erde dreht, die Erde der Mittelpunkt des Universums ist. Nikolaus Kopernikus (1473-1543) beschrieb als erster sehr detailliert das heliozentrische Weltbild. Er gab seine Entdeckungen und Forschung aber erst auf seinem Sterbebett bekannt. Vermutlich aus Angst vor der katholischen Kirche, da die katholische Kirche Menschen, die das geozentrische Weltbild nicht anerkannten, oft verfolgten. Dies war aber trotzdem der Beginn der kopernikanischen Wende. Die

Zeit, in der das geozentrische Weltbild langsam vom heliozentrischen ausgetauscht wurde. Tycho Brahe (1546-1601) entwickelte auch Ansätze des heliozentrischen Weltbild und widersprach damit aber kopernikanischen Weltbild, da sein sogenanntes Tychonisches Weltmodell aussagt, dass die Erde im Mittelpunkt steht, aber die anderen Planeten um die Sonne kreisen. Des Weiteren seien die Sterne am Himmel Fixsterne, die als feste Punkte am Himmel liegen. Für sein Weltbild hatte Tycho aber erstmal keine Belege. Deshalb lud Tycho den Mathematiker Johannes Kepler (1571-1630) zu sich ein, weil er sich erhoffte, dass er sein System belegen könne. Kepler bewies aber auch durch seinen Keplersche Gesetze, dass die Sonne im Mittelpunkt stehen muss und auch die Erde um die Sonne kreist. So, wie es auch Kopernikus beschrieben hat und das „wahre“ heliozentrische Weltbild ist. Isaac Newton (1642-1727) arbeitete das heliozentrische Weltbild 50 Jahre später durch seine Gravitations-Gesetze weiter aus.

8 Interstellare Reisen

8.1 Voyager Sonden

Interstellare Reise bedeutet eine Reise über die Grenzen unseres Sonnensystems. Räume in die bis heute nur unsere Blicke und eine zwei Sonden gelangt sind. Den interstellaren Raum hat man erreicht, wenn man die Heliosphäre unserer Sonne verlassen hat. Die Heliosphäre ist der Bereich, in dem noch die Sonnenwinde, also geladenen Teilchen von der Sonne, wirksam sind. In der Darstellung (Bild 8.1) ist der Aufbau des interstellaren Raumes dargestellt. Dargestellt sind die beiden Voyager Sonden und die Grenzen der unterschiedlichen Bereiche des interstellaren Raumes. In Blau illustriert ist in dem Bild der Bereich, in dem die Sonnenwinde noch eine Geschwindigkeit von 300 bis 700 Kilometer die Sekunde erreichen können. An der Grenze wird der Punkt des „Termination Shock“ erreicht. An diesem Punkt nimmt die Geschwindigkeit der Sonnenwinde stark ab, da interstellare Winde vortan gegen die Sonnenwinde wirken. Die „Heliosheath“ ist ein Bereich gleich nach dem „Termination Shock“, an dem die Sonnenwinde sich gegen die interstellaren Winde stauen und verdichten. Darauffolgend bildet sich bei der „Heliopause“ ein Bereich, in dem die Sonnenwinde

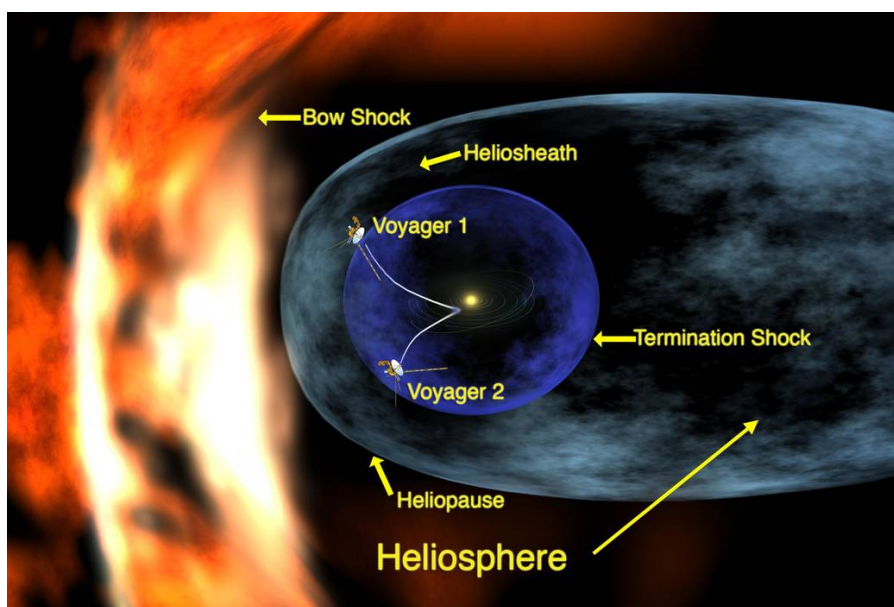


Abb. 8.1: Künstlerische Darstellung der Heliosphäre

und interstellaren Winde im Ausgleich liegen. Das bewirkt, dass die Sonnenwinde am Rand der Heliosphäre entlangfließen (in dem Bild nach rechts). Zu beachten ist, dass sich unser Sonnensystem zusammen mit unserer Galaxy der Milchstraße, in der wir liegen, durch den Weltraum bewegt. In der Illustration muss man sich vorstellen, dass sich unser Sonnensystem bildlich nach links bewegt und dabei auch einen „Bow Shock“ bildet. Bei dem „Bow Shock“ muss man sich vorstellen, dass die Heliosphäre durch den interstellaren Raum pflügt, wie ein Schiff durch die Wellen (Bazilevskaya u. a. 2013). Diese interstellaren Veränderungen könnten auch Herausforderungen für menschliche Technik bedeuten, da sie immer andere Bedingungen bedeuten, an den zum Beispiel eine Sonde angepasst sein muss. Aus der Hinsicht ist es sehr erstaunlich, dass die Voyager Sonden schon so weit kommen konnten. Der Ort der Sonden ist in dem Bild nicht aktuell. Inzwischen haben beide Sonden den interstellaren Raum betreten. Voyager 2 zuletzt am 05. November 2018 (NASA o. D.). Voyager 1 ist etwa 159,69 AE⁶ weit entfernt. Das ist fast 160-mal die Distanz von der Erde bis zur Sonne. Für diese Distanz ist die Sonde seit dem Start im Jahr 1977 geflogen, also hat sie ungefähr 46 Jahre gebraucht. Weitere Sonden, die auch den äußeren Bereich unseres Sonnensystems erreicht haben, sind die Pioneer 10 (133.25 AE) und Pioneer 11 (109.86 AE) Sonden, welche aber nicht mehr in Betrieb sind. Wie sieht es aus mit einer interstellaren Reise von Menschen? Können Menschen solch große Distanzen und vielleicht sogar noch größere bewältigen?

8.2 Reisegeschwindigkeit

Nach der Relativitätstheorie ist es theoretisch möglich, die entferntesten Punkte im Universum in einem Menschenleben zu erreichen. Es heißt, dass wenn man mit einer konstanten Beschleunigung von $a = 9.81\text{m/s}^2$ auf der ersten Hälfte der Reise fliegen kann, könnte jede beliebige Stelle im Universum in einer Lebensspanne erreichbar sein. Dies hört sich im ersten Moment perfekt an.

Doch so ist es nicht ganz:

Es gibt mehrere Schwierigkeiten, die eine solche Reise mit sich bringt, als dass sie realisierbar wäre. Allein technisch ist es schwierig sich vorzustellen, eine so hohe Beschleunigung zu erreichen. Eine Reise im Weltraum hat den Vorteil, dass nicht durchgängig beschleunigt werden muss, da man nicht langsamer wird. Das liegt daran, dass wenn eine Geschwindigkeit erreicht wurde, diese Geschwindigkeit nicht mehr abnimmt. Ein Raumschiff wird nicht abgebremst, da es sich im Vakuum befindet. Jedoch würde man bis in alle Ewigkeit durch das Universum reisen, wenn man nicht abbremst. Also wird für einen Stopp an einem *Reiseziel* nicht nur enorme Energie benötigt, um anzukommen (beschleunigen), sondern auch um abzubremsen. Bei einer Reise mit einer so hohen Geschwindigkeit muss auf andere Objekte, interplanetaren und interstellaren Staub geachtet werden, welche eine Gefahr darstellen könnten. Des Weiteren muss bedacht werden, dass das Universum expandiert. Deshalb werden die Entfernungen der Reisedaten niemals exakte sein. Das Zentrum unserer Milchstraße ist ungefähr 26000 Lichtjahre entfernt. Zum Zentrum der Milchstraße (Abb. 8.2 nächste Seite) soll der Raumfahrer aufgrund der Zeitdilatation in 19,8 Jahren kommen, wenn die Höchstgeschwindigkeit des Raumschiffes fast 299.792,457 km/s beträgt (Blome 2022a). Also fast Lichtgeschwindigkeit. Auf der Erde würden dann 26000 Jahre vergehen. Die Zeitdilatation bewirkt, dass sich ein schnell bewegtes Objekt im Weltraum im Gegensatz zu dem Beobachter auf der Erde, aufgrund relativistischer Effekte, langsamer bewegt (die Zeit langsamer vergeht) als auf der Erde. Diese Geschwindigkeiten sind aber unrealistisch, da beachtet werden muss, dass die Höchstgeschwin-

⁶AE = Astronomische Einheit (Entfernung von der Erde zur Sonne oder etwa 149.597.870 Kilometer)

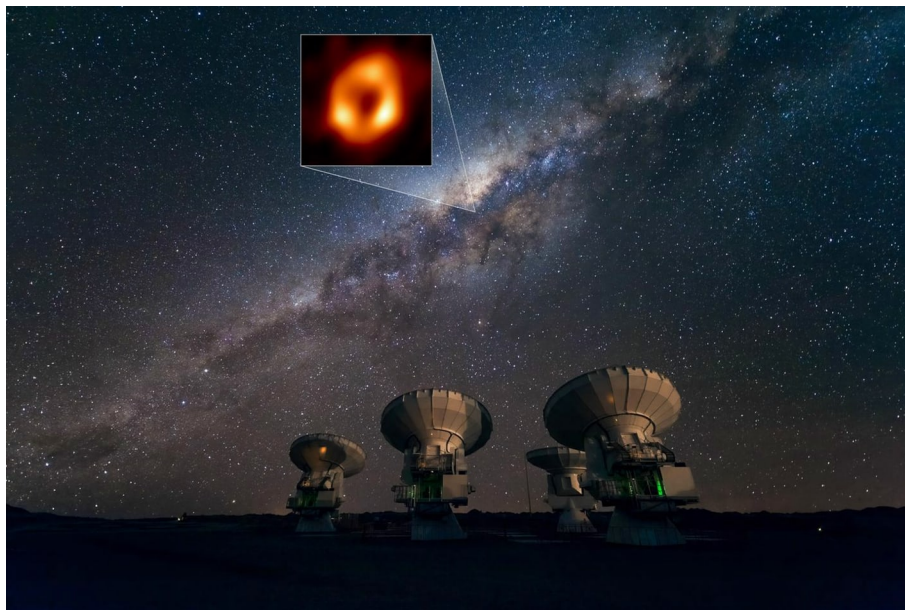


Abb. 8.2: Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße. Erstmals aufgenommen durch einen Zusammenschluss von acht Radio-Sternwarten auf vier Kontinenten zu einem „Superteleoskop“

Fotolizenz: CC BY 4.0

© ESO/José Francisco Salgado (josefrancisco.org), EHT Collaboration

digkeit für ein Objekt mit Materie begrenzt ist. Das bedeutet, dass für ein Objekt mit Masse es unmöglich ist fast oder gar Lichtgeschwindigkeit zu erreichen, da nach der Relativitätstheorie die Masse abhängig von der Geschwindigkeit eines Objektes ist und deshalb bei Geschwindigkeiten, nahe an der Lichtgeschwindigkeit, die Masse von Objekten auf dem Blatt der Berechnung Richtung unendlich läuft (Blome 2022b). Außerdem hat nach der Relativitätstheorie, wie schön erläutert, die Bewegung einen Einfluss auf die Zeit. Weshalb für einen Menschen mit sehr hohen Geschwindigkeiten die Zeit langsamer vergeht als auf der Erde.

Abschließend lässt sich also sagen, dass eine menschliche Reise weiter als bis zu unseren Planeten im Sonnensystem kaum möglich sein wird. Das liegt daran, dass eine Reise die zeitliche Lebensspanne eines Menschen überschreitet. Es sind andere Ideen untersuchenswert, wie eine Reise über mehrere Generationen. Ein Generationen-Raumschiff ist ein Begriff für diese Idee. Dazu muss gesagt sein, dass eine Umsetzung solcher Ideen technische Fortschritte benötigt, die nicht gegeben sind und auch nicht in Aussicht stehen. Wie zum Beispiel die Frage nach dem Treibstoff oder wer würde überhaupt sein restliches Leben im Weltraum verbringen wollen? Dazu muss sich jeder dann auch die moralische Frage stellen, ob man die Entscheidung für den Antritt der Reise auch für alle restlichen Generationen übernehmen kann? Schwierige Fragen, die wir uns wahrscheinlich auch direkt nicht absolut beantworten müssen.

8.3 Galaktische Wurmlöcher

Bei dem Thema der Wurmlöcher begibt man sich in die theoretische Physik. Die Wurmlöcher stellt man sich als Tunnel zwischen weiten Entfernungen vor, die zwischen zwei Schwarzen Löchern entstehen. Schwarze Löcher entstehen nach dem Sterben von sehr Massereichen Sternen, nachdem die Energievorräte für die Kernfusion erschöpft sind. Oder sie entstehen nach einer großen Anhäufung

von sehr viel Materie. Schwarze Löcher (Abb. 8.3) sind extrem Massereich und haben deshalb ein sehr starkes Gravitationsfeld. Dieses Gravitationsfeld ist so stark, dass es alles einsaugt und noch nicht einmal Licht entweichen kann.

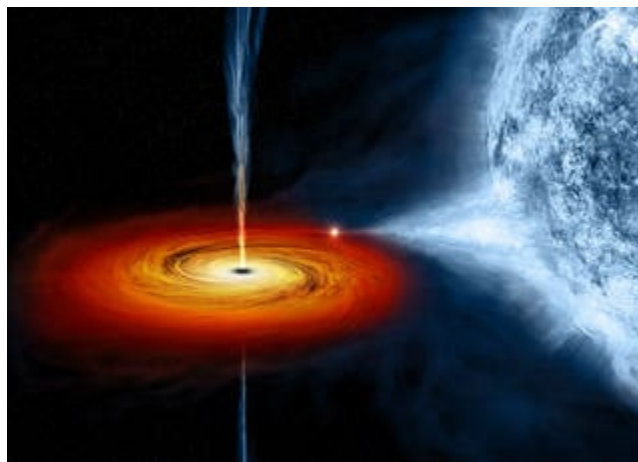


Abb. 8.3: Eine künstlerische Darstellung eines Schwarzen Loches. Um das Schwarze Loch entweicht das Licht nicht mehr und es zieht die Materie von einem nahen Stern

In dem Zentrum jeder Galaxie (Abb. 8.2) befindet sich wohl immer ein massereiches Schwarzes Loch, welches auch die Galaxie „zusammenhält“. Diese Massekonzentration und sehr starken Gravitationsfelder können zur Deformation der Umgebung der Geometrie des Raumes führen. Bis hin zum „Riss“. Dies ist dann der Tunnel, den man Wurmloch oder Einstein-Rosen-Brücke nennt. Nach Albert Einstein und Nathan Rose, die dieses Phänomen 1935 entdeckten. Theoretisch besteht eine Chance, dass man sich zwischen zwei Schwarzen Löcher durch ein Wurmloch bewegen kann. Aber wie und wo man genau rauskommt ist völlig unklar. Neuste Studien zeigen, dass die Stabilität der Wurmlöcher möglicherweise gar nicht für ein Raumschiff ausreicht. Diese Theorie ist bisher technisch eine reine Utopie in der Physik und interstellaren Raumfahrt (Blome 2022c). Eine vielleicht nicht ganz so utopische Möglichkeit interstellare Objekte zu erreichen stelle ich im nächsten Kapitel vor.

8.4 Minicomputer auf großer Reise

Eine unbemannte Raumfahrtmission mit Raumschiffen in der Größe von Briefmarken. Das ist die Idee des Projektes Breakthrough Starshot, welches im Jahr 2016 von Milner, Hawking und Zuckerberg aufgestellt wurde. Die Idee ist der Bau eines Licht- oder Lasersegels, wobei durch Laser von der Erde die Nano-Computer auf etwa 20 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden sollen. Jeder Minicomputer soll ein $4 \times 4m^2$ großes Segel besitzen, welches die gebündelte Laser reflektiert und durch diese Kraft auf das 10000 - fache der Erdbeschleunigung beschleunigt werden soll. Mit diesen Minicomputern sollen ferne Planetensysteme erkundet werden. Dafür müssen sie mit Kamera, Energieversorgung und einer autonomem Steuerung ausgestattet sein und dies alles auf etwa Briefmarkengröße. Etwas, was bis jetzt noch nicht entwickelt wurde. Hinzu kommen andere Schwierigkeiten, wie interstellarer Staub oder andere Hindernisse. Weshalb für eine echte Erfolgchance mehrere hundert Miniraumschiffe losgeschickt werden müssten (Seboldt 2022).

9 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass selbst mit den einfallsreichsten Ideen der Raumfahrt noch lange nichts in der Realität umgesetzt ist. Selbst, wenn wir von der Möglichkeit über die Überwindung von Distanzen sprechen, sind wir uns nicht bewusst, wie groß das Universum wirklich ist. Wenn man sich darüber bewusst wird, erscheint es auch mit visionären Ideen oder Technologien aufgrund der enormen Distanzen und Reisezeiten immer noch unmöglich weiter als bis zu den Planeten in unserem Sonnensystem zu reisen. Deshalb wird sich die Weltraumkolonisation erstmal auf unser Sonnensystem und vor allem dem Mond und den Mars beschäftigen. Mehr ist einfach nicht umsetzbar und selbst Missionen in unserem Sonnensystem sind mit enormem Aufwand und Kosten verbunden und die Technologien sind dafür auch noch nicht ausgereift und verlässlich. Also sollten wir froh sein, dass wir auf der Erde nicht damit zu kämpfen haben, über Jahre auf engen Raum zu reisen, damit wir ein Ziel erreichen. Die Erde erscheint im großen Kosmos vielleicht klein. Doch deshalb sollten wir die Erde nicht verlassen und uns den Bedingungen auf dem Mond oder Mars anpassen. Dass die Menschen sich auf der Erde auch anpassen können, wissen viele nicht, oder wollen viele nicht wissen. Doch Lebewesen passen sich dauerhaft ihren Lebensbedingungen an. So ist die Evolution. Der Mensch denkt, dass er über der unkontrollierten Entwicklungen stehen würde und alles kontrollieren müsste, wie zum Beispiel die Temperatur auf unserer Erde. Das fällt mir im Moment besonders auf. Jeder gesteht sich ein, dass jeder zu der Veränderung des Klimas und der Veränderung der Erde beiträgt. Doch die Erde und das Klima haben sich schon immer verändert. Dies heißt nicht, dass es gut ist, dass wir noch weiter zu einer Verschlimmerung beitragen. Die Erde hat sich schon immer verändert und Lebewesen zur Anpassung gezwungen. Wir Menschen sind aber nicht so anpassungsfähig, da wir immer alles Wissen und Vorhersehen wollen und erst recht nicht von einer „höheren Macht“ zum Beispiel die Temperatur bestimmen lassen wollen. Da hilft uns auch nicht die Kolonisation anderer Planeten, wie eine Ausbreitung auf den Mars, oder die Vision von einem Leben in den Sternen. Es funktioniert nicht. Wir Menschen müssen meiner Meinung nach mit gewissen Anpassungen leben und mit unseren Problemen erstmal auf der Erde bleiben und nicht versuchen diese auf andere Planeten auszulagern.

Wenn wir uns daran halten, dauert es immer noch viele Jahre, bis die Technologie weiterentwickelt wurde und wahrscheinlich braucht es auch neue Generationen, die einen andern Blick auf die Weltraumkolonisation haben und auf unseren Platz im Universum, um wahre Fortschritte in dem Verständnis unseres Universums zu erreichen und eine Ausbreitung der menschlichen Spezies zu ermöglichen. Wenn wir die Probleme auf der Erde gelöst haben und sich die politische Lage verändert, kann man darüber nachdenken, wie man andere Planeten zerstört, wenn es noch nicht zu spät ist.

„Intelligenz ist die Fähigkeit, sich dem Wandel anzupassen.“ - Stephen Hawking (Quelle)

Anhang



Abb. 9.1: QR-Code zur 1. Fotolapse



Abb. 9.2: QR-Code zur 2. Fotolapse

Abbildungsverzeichnis

0.1	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 18.04.2023): Hier klicken für die Internetseite	I
1.1	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 18.04.2023): Hier klicken für Internetseite	2
2.1	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 24.04.2023): Hier klicken für die Internetseite	5
3.1	Teleskop Planewave CDK 20 - eigene Aufnahme	6
3.2	Kamera ZWO ASI183MCPRO - eigene Aufnahme	6
3.3	Software zur Fotografie des Mars - Screenshot	7
3.4	SER-Player - Screenshot	8
3.5	Autostakkert - Screenshot	9
3.6	Filter Fenster der Software Giotto - Screenshot	10
3.7	Software Giotto - Screenshot	10
3.8	Mars: Beschriftet - eigene Aufnahme	11
4.1	Refraktor TEC160 FL, Kamera SBIG STF-8300M, Spektograph DADOS - eigene Aufnahme	12
4.2	Software zur Aufnahme eines Marsspektrums - Screenshot	12
4.3	Software zur Verarbeitung eines Spektrums (BASS) - Screenshot	13
4.4	Software zur Verarbeitung eines Spektrums (BASS) - Screenshot	14
4.5	Marsspektrum und Tageslichtspektrum - Screenshot	15
4.6	Marsspektrum und Tageslichtspektrum, Eisenlinien - Screenshot	15
4.7	Marsspektrum und Tageslichtspektrum, fehlende Linie - Screenshot	16
4.8	Forschungsarbeit (Bild) - Screenshot	16
4.9	Vanadium von der NIST Seite - Screenshot	17
5.1	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 25.02.2023): Hier klicken für Internetseite Seite - Screenshot	18
6.1	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 24.04.2023): Hier klicken für Internetseite	21
7.1	Nasa Bild - Internet (Abgerufen: 01.05.2023): Hier klicken für Internetseite	23
7.2	Auf der Seite des DLR Bild - Internet (Abgerufen: 19.04.2023): Hier klicken für Internetseite	24
7.3	Wikipedia Bild - Internet (Abgerufen: 18.04.2023): Hier klicken für Internetseite	25

8.1	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 18.04.2023): Hier klicken für Internetseite	26
8.2	Foto (Keine Veränderung des Originalbildes) - Internet (Abgerufen: 24.04.2023): Hier klicken für Internetseite	28
8.3	NASA Bild - Internet (Abgerufen: 24.04.2023): Hier klicken für Internetseite	29
9.1	QR-Code - 1. Video	31
9.2	QR-Code - 2. Video	31

Tabellenverzeichnis

1	Tabelle der Referenzlinien mit dem dazugehörigen Molekül/Atom und ihrer Wellenlänge in Ångström (Å).	14
---	--	----

Softwareverzeichnis

Software aus dem Kapitel Fotolapse (Kapitel 3)

FireCapture : <http://www.firecapture.de/>

PWI (Telescope Controll Surface) :

<https://www.astroshop.de/a,Zubehoer.Besonderheiten.PC-Steuerbarkeit=Celestron+PWI>

10Micron :

<https://10micron.eu/zubehoer/elektrik-und-kabel/10micron-professionelle-4-zeilen-stand-alone-handsteuerung>

SER-Player : <https://sites.google.com/site/astropipp/ser-player>

Autostakkert : <https://www.autostakkert.com/>

Giotto : <http://www.giotto-software.de/>

Software aus dem Kapitel Spektroskopie (Kapitel 4)

MaximDL :

<https://www.astroshop.de/software/diffraction-limited-software-maxim-dl-pro/p,20933>

BASS : Basic Astronomical Spectroscopy Software - keine Internetseite zum Referieren

Literatur

- Aeronautics, National und Space Administration (Jan. 2020). URL: <https://sservi.nasa.gov/articles/video-the-dangerous-truth-behind-lunar-dust/>. (Abgerufen: 07.02.2023).
- Artemis (o. D.). URL: <https://www.nasa.gov/specials/artemis/index.html>. (Abgerufen: 05.04.2023).
- Auction, R. R. (2022). *Apollo 11 Lunar Soil Experiment (Cockroaches, Slides, and Post-Destructive Testing Specimen)*. URL: <https://www.rrauction.com/auctions/lot-detail/li/345900206383032/cat/0>. (Abgerufen: 07.02.2023).
- Barghouty, AF, JH Adams Jr, F Meyer u. a. (2010). „Solar Wind Sputtering of Lunar Surface Materials: Role and Some Possible Implications of Potential Sputtering“. In: *18th International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collision (IISC-18)*. M10-0778.
- Bazilevskaya, Galina A. u. a. (Jan. 2013). „Solar cycle in the heliosphere and cosmic rays“. en. In: *Space science reviews* 186.1–4, S. 409–435. ISSN: 0038-6308. DOI: 10.1007/s11214-014-0084-0. URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/Heliosphere.html. (Abgerufen: 20.02.2023).
- Beste, Alexandra (Juli 2022). „Nasa: Anwälte fordern Mondstaub-Proben zurück – und drei Kakerlaken“. In: *Die Welt*. ISSN: 0173-8437. URL: <https://www.welt.de/kmpkt/article239642449/Nasa-Anwaelte-fordern-Mondstaub-Proben-zurueck-und-drei-Kakerlaken.html>. (Abgerufen: 04.01.2023).
- Blome, Hans-Joachim (Nov. 2022a). „Expedition zu anderen Sternen und Galaxien“. de. In: *Expedition ins Sternenmeer*. Hrsg. von Harald Zaun. Berlin: Springer, S. 164–165.
- (Nov. 2022b). „Kosmische Geschwindigkeitsbegrenzung“. de. In: *Expedition ins Sternenmeer*. Hrsg. von Harald Zaun. Berlin: Springer, S. 160.
- (Nov. 2022c). „Reise durch den Einstein-Rosen-Tunnel - Schleichweg zu entfernten Sternen?“ de. In: *Expedition ins Sternenmeer*. Hrsg. von Harald Zaun. Berlin: Springer, S. 165–167.
- contributors, Wikipedia (2021). *Vanadium*. URL: <https://www.chemie.de/lexikon/Vanadium.html>. (Abgerufen: 04.04.2023).
- (März 2023). *Liste der Sojus-Missionen*. URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_der_Sojus-Missionen&oldid=232367089. (Abgerufen: 04.04.2023).
- DLR (Mai 2018). *Wie entstand der Mond?* de. URL: https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6573/10789_read-24353/. (Abgerufen: 09.02.2023).
- (März 2019). *Die Apollo-Missionen*. de. URL: https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-13656/23715_read-54407/. (Abgerufen: 07.02.2023).
- (o. D.). „Wie lange scheint die Sonne noch?“ de. In: (). URL: https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6572/10788_read-24352/. (Abgerufen: 11.04.2023).
- ESA (Sep. 2017). „Sputnik - mehr als bloß ein Satellit“. In: *Esa.int*. URL: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Sputnik_-_mehr_als_bloss_ein_Satellit. (Abgerufen: 04.04.2023).
- Geo (Okt. 2003). de. URL: <https://www.geo.de/wissen/weltall/10470-rtkl-astronomie-die-wichtigsten-fakten-zum-mond>. (Abgerufen: 16.04.2023).
- GmbH, Frankfurter Allgemeine Zeitung (Juni 2022). *Skurrile Auktion: An Kakerlaken verfütterten Mondstaub kaufen?* Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH. URL: <https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/wollten-sie-schon-immer-einmal-an-kakerlaken-verfuetterten-mondstaub-kaufen-hier-koennen-sie-es-18094219.html>. (Abgerufen: 07.02.2023).

- Günter Bräuhöfer, PD Mag. DDr. Thomas Posch und (2012). *Marsglobus*. URL: https://bibliothek.univie.ac.at/sammlungen/objekt_des_monats/003825.html. (Abgerufen: 04.03.2023).
- Hawking, Stephen (2018). „Kurze Antworten auf große Fragen“. de. In: *Sollten wir den Weltraum besiedeln?* 9. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta, S. 189–205.
- Hohmann, Walter (1925). *Die Erreichbarkeit der Himmelskörper*. URL: https://epizodyspace.ru/bibl/inostr-yazyki/nemets/hohman/Hohmann_Die_Erreichbarkeit_1925.pdf.
- Junkes, Norbert (Nov. 2022). „Expedition zu anderen Sternen und Galaxien“. de. In: *Expedition ins Sternenmeer*. Hrsg. von Harald Zaun. Berlin: Springer, S. 128.
- Kaplan, Lewis D, Guido Münch und Hyron Spinrad (1964). „An analysis of the spectrum of Mars“. In: *Astrophysical Journal* 139.1, S. 1–15.
- Katzur, Nils (Feb. 2023). *Mars: Wie lange dauert ein Tag auf dem roten Planeten?* de. URL: <https://www.futurezone.de/science/article276026/mars-wie-lange-dauert-ein-tag-auf-dem-roten-planet.html>. (Abgerufen: 26.03.2023).
- Kayser, Rainer (Aug. 2022). *Wie fliegt man zum Mond?* de. URL: <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/wie-fliegt-man-zum-mond/>. (Abgerufen: 08.03.2023).
- Meike, Schuffenhauer (Juli 2017). *Weltraumkolonisierung*. de. <https://studienart.gko.uni-leipzig.de/weltraum/2017/07/01/weltraumkolonisation/>. (Abgerufen: 12.11.2022).
- Mondatmosphäre* (Apr. 2023). de. URL: <https://www.deutschlandfunk.de/mondatmosferaere-102.html>. (Abgerufen: 16.04.2023).
- NASA (Sep. 2020). *Artemis Plan*. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf.
- (2023). URL: <https://mars.nasa.gov/>. (Abgerufen: 04.03.2023).
- (o. D.). *Voyager Mission Timeline*. URL: <https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/timeline/#event-nasas-voyager-2-probe-enters-interstellar-space>. (Abgerufen: 04.03.2023).
- Pitcher, Jenna (Aug. 2015). *Die echten NASA-Technologien von The Martian*. de. URL: <https://de.ign.com/the-martian/107300/news/die-echten-nasa-technologien-von-the-martian>.
- Redaktion, Raumfahrer Net (Okt. 2009). *Saljut: Der Weg zur russischen Raumstation*. URL: <https://www.raumfahrer.net/saljut-der-weg-zur-russischen-raumstation/>. (Abgerufen: 04.04.2023).
- Rundfunk, Bayerischer (Juli 2022). *Mars-Rover Curiosity: Der Detektiv auf dem roten Planeten*. de. URL: <https://www.ardalpha.de/wissen/weltall/raumfahrt/mars-rover-curiosity-nasa-weltraum-104.html>. (Abgerufen: 01.11.2022).
- (März 2023). *Juri Gagarin, am 12. April 1961 der erste Mensch im All*. de. URL: <https://www.ardalpha.de/wissen/geschichte/historische-persoennlichkeiten/juri-gagarin-erster-mensch-weltraum-kosmonaut-weltall-100.html>. (Abgerufen: 07.02.2023).
- Seboldt, Wolfgang (Nov. 2022). „Licht- oder Lasersegel“. de. In: *Expedition ins Sternenmeer*. Hrsg. von Harald Zaun. Berlin: Springer, S. 150–151.
- Weir, Andy (Okt. 2014). *Überleben auf dem Mars*. URL: <https://diezukunft.de/feature/science/ueberleben-auf-dem-mars>. (Abgerufen: 04.01.2023).

Danksagung

Ich bin sehr dankbar für die Möglichkeit an der Teilnahme des Projektkurses, welcher durch Herr Koch geleitet wurde. Dabei möchte ich mich auch besonders bei Herr Koch bedanken. Er hat den Projektkurs gestaltet, die Astronomische-Ausrüstung bereitgestellt und eingeführt. Außerdem danke ich für seine tatkräftige Unterstützung bei Fragen und Anregungen für die Projektarbeit. Zum Schluss auch noch ein Dank an meine Familie, die mir ermöglicht hat in Ruhe an meiner Projektarbeit zu arbeiten.

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Arbeit

„Weltraumkolonisation

- Unterschiedliche Perspektiven für die Kolonisation und Ausbreitung der Menschen“

selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die in der Arbeit angegebenen Links wurden zum Zeitpunkt des Aufrufs überprüft und enthielten keine illegalen Inhalte. Für jegliche Änderungen der Inhalte übernehme ich keine Verantwortung.

Solingen, den 08. Mai 2023

Jonas Jacobs