

„Zinnie im Weltall“

Hausarbeit

LEA SOPHIE KREMPIN

Technologie 3

Biogene Stoffe

Frederic Kreutzer

Sommersemester 2022

6. Fachsemester

Matrikel-Nr. 2941

Inhaltsverzeichnis

1	Gliederung	3
2	Apollo Missionen - Mondstaub	4
2.1	Gründung der NASA	4
2.2	Apollo 11 - Erste Mondproben	4
2.3	ANGSA - Gestein auf dem Mond	6
2.4	Mondstaub - Pflanzenwachstum	7
2.5	„Scientists grow plants in Lunar Soil“	7
2.6	Zielsetzung	8
3	Rückkehr zum Mond	9
3.1	NASA Artemis Ära	9
3.2	Warum brauchen Astronauten Pflanzen im Weltraum?	10
3.3	Pflanzen im Raumschiff	10
3.4	Veggie Pflanzkammer	11
3.5	Wie funktioniert Veggie?	11
3.6	Biogenerative Lebenserhaltung und Photosynthese	12
3.7	Zinnie und Radieschen	13
3.8	Advanced Plant Habitat	14
4	Schluss	15
	Literaturverzeichnis	17

Kapitel 1

Gliederung

Ziel dieser Hausarbeit zum Seminar “Technologie 3 – Biogene Stoffe” ist es, die im Seminar besprochenen Aspekte der unterschiedlichen biogenen, organogenen Stoffe mit den Grundideen der wissenschaftlichen Arbeit “Raketen sind kompliziert” zum Seminar “Technologie 4 – digitale Technologie und Elektronik” zu verknüpfen und einen differenziert vertiefenden Blick auf biologische und organische Experimente im Weltall zu werfen.

Diese Arbeit soll den aktuellen Stand der Wissenschaft zum Themenkomplex „Ernährung im extraterrestrischen Raum“ analysieren.

Zu Beginn wird die Gründung der National Aeronautics and Space Administration und der Start der Apollo Weltraummission dargestellt. Im Anschluss hieran wird erläutert, wie aufbauend auf den einzelnen Missionserfolgen wissenschaftliche Forschungsreihen und Experimente durchgeführt wurden, die den bis dato nur aus der Ferne erforschten lunaren Himmelskörper im Fokus haben. Gesteinsproben, die vor über 50 Jahren von den Astronauten auf dem Mond gesammelt wurde, bilden heute die Grundbausteine für die nächsten Schritte in der Erforschung des Weltalls. Das danach vorgestellte Artemis Programm der NASA erforscht als Vorbereitung das Wachstum von Pflanzen in Mondstaub und Regolith. Abschließend werden die jüngsten wissenschaftlichen Forschungen zu einer Reihe von Versuchen, Pflanzen ohne Sonnenlicht und Erdgravitation in der Schwerelosigkeit auf der International Space Station anzubauen, vorgestellt. Die erfolgreichen Pflanzversuche bilden die nächsten wichtigen Grundbausteine für länger dauernde Weltraummission durch unsere Galaxy.

Kapitel 2

Apollo Missionen - Mondstaub

2.1 Gründung der NASA

Am 29 Juli 1958 wurde vom US-amerikanischen Präsident Eisenhower die National Aeronautics and Space Administration (NASA) als Nachfolger des National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) gegründet. Das erste Projekt der NASA war das „Mercury Programm“, welches das Ziel verfolgte, einen Menschen in den Orbit der Erde zu bringen, gefolgt vom „Gemini Programm“, in welchem die Technologien für die Reise zum Mond und im darauffolgenden „Apollo Programm“ mit bemannten Raumflügen getestet wurden.¹

„I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the moon and returning him safely to the Earth. John F. Kennedy 25. Mai 1961“

2.2 Apollo 11 - Erste Mondproben

Die Rede des Präsidenten Kennedy startete das Apollo Programm der NASA. Heute erinnert sich die Weltbevölkerung immer noch an die Apollo 11 Mission, die erstmals Menschen mit einer Saturn V Rakete auf dem Mond landen ließ. Hinter den Apollo Saturn Missionen standen circa 20.000 einzelne Unternehmen und über 300.000 forschende Menschen. Mit der Apollo 11 Mission landeten Menschen, die Astronauten Buzz Aldrin und Neil Armstrong, mit der Mondlandefähre “Eagle”

¹[Pearson, 2020, vgl. S.29]

das erste Mal in der Geschichte der Menschheit auf einem anderen Planeten. Zusammen mit dem ersten Betreten der Mondoberfläche und den ersten Fotografien des fremden Himmelskörpers, wurden drei wissenschaftliche Experimente auf der Oberfläche aufgebaut. Darunter waren ein Sonnenwindmesser, ein Seismometer zur Messung von Mondbeben und ein Laserreflektor mit Pieps-Kommunikation zur Erde.²

Sonnenwinde sind auf der Erde durch unsere Atmosphäre und das Magnetfeld nicht präsent, auf dem Mond mit der sehr dünnen Atmosphäre und einem nicht vorhandenen Magnetfeld konnten Sonnenwinde allerdings nachgewiesen werden. Das aus der Schweiz stammende Experiment "Solar Wind Composition Experiment" sollte als hauchdünnes Metallsegel feine Partikel an Helium, Neon und Argon aus den Sonnenwinden filtern. Neben den Partikeln wurde Mondstaub, den die Astronauten aufwirbelten, auf dem Metallsegel gefunden.³

Neben den drei wissenschaftlichen Experimenten sammelten die Astronauten der Apollo 11 Mission auch insgesamt 22 Kilogramm Mondproben in Form von Gestein und Regolith Pulver auf der Oberfläche und brachten diese mit zurück zu Erde, um sie hier weiter untersuchen zu können. Durch die ungeschützte Oberfläche des Mondes kommt es durch Sonneneruptionen, Ionenstrahlen der Sonne und dem Einschlag von Meteoriten zu einer Zertrümmerung der oben liegenden Gesteinsschicht. Diesen Effekt findet man auch in den Proben aus feinem Mondstaub und größere Mineral- und Gesteinsfragmente.⁴

Die darauffolgenden Missionen sammelten immer mehr Proben:

- Apollo 12, 1969: 34 Kilogramm
- Apollo 14, 1971: 43 Kilogramm
- Apollo 15, 1971: 77 Kilogramm
- Apollo 16, 1972: 95 Kilogramm
- Apollo 17, 1972: 111 Kilogramm

Insgesamt wurden in den Apollo Missionen 381 Kilogramm Proben zur Erde zurück transportiert. Ursprünglich gab es 2.200 einzelne Probeteile, die mit den Jahren für wissenschaftliche Analysen in 110.000 einzelne Proben geteilt

²[NPO, 2019]

³[Spiegel, 2019]

⁴[Dreibus, 1999]

wurden.⁵ Sie ermöglichten den ersten Kontakt zwischen der terrestrischen Biologie und außerirdischen Komponenten für die Forschung. Mondgestein und Proben der Oberfläche wurden bis heute durch die Apollo Missionen der NASA, den chinesischen Chang'e-3 bis 5 Missionen und den sowjetischen Luna-Missionen gesammelt. Auf natürliche Weise kann Mondgestein auch durch Meteoriten auf die Erde gelangen, wird beim Eintritt in die Erdatmosphäre jedoch unweigerlich stark erhitzt und damit ggf. verändert.

2.3 ANGSA - Gestein auf dem Mond

Die wissenschaftlichen Methoden und Techniken zur Erforschung von Bodenproben der NASA haben sich in den letzten 50 Jahren sehr stark weiterentwickelt. Die Forschenden in den Apollo Laboren haben den größten Teil der Proben für spätere, vor allem heutige Erforschungen zurückbehalten. Unter dem Apollo Next-Generation Sample Analysis (ANGSA) Programm der NASA wurden zuletzt 2019 zwei der im Vakuum verpackten, stark gekühlten oder in Helium gelagerten Proben für die Forschung geöffnet. Die beiden Proben 73001 und 73002 sollen unter anderem Hinweise auf Vorkommen von Wasser im Mondpolareis, Krankheitserregern und Aufschlüsse über die mögliche Entstehungsgeschichte des Himmelskörpers Mond geben.⁶

In den Mond Gesteinen wurden Sauerstoff-Isotope, Spurenelemente wie Iridium, Gold, Nickel sowie Silikate wie z.B. Ilmenit (Titaneisen), Pyroxen und Kalzium gefunden. Sie setzten sich zudem aus Magnesium, Aluminium, Eisen, Cobalt, Nickel und Natrium zusammen. Die Zusammensetzung ähnelt Gesteinen, die auf der Erde durch Gesteinsschmelze oder Lava zu Basaltgestein kristallisiert wurde.⁷

„Die Analyse dieser Proben wird den wissenschaftlichen Ertrag von Apollo maximieren und es einer neuen Generation von Wissenschaftlern und Kuratoren ermöglichen, ihre Techniken zu verfeinern und zukünftige Entdecker auf Mondmissionen vorzubereiten, die in den 2020er Jahren und darüber hinaus erwartet werden“, sagt die ANGSA Projektwissenschaftlerin Dr. Sarah Noble Anfang 2022 im NASA-Hauptquartier.⁸

⁵[futurezone, 2019]

⁶[Michelson, NASA, 2019]

⁷[Dreibus, 1999]

⁸[Michelson, NASA, 2019]

2.4 Mondstaub - Pflanzenwachstum

Menschen brauchen Wasser, Nahrung, eine Unterkunft, Kleidung und Sauerstoff, um außerhalb der terrestrischen Zone auf dem Mond oder auch dem Mars, wenn sie dort überleben wollen. Die Suche nach Wasser und Möglichkeiten der Nahrungsversorgung der Astronauten ist seit Beginn der Weltraumforschung die oberste Priorität der NASA.

2.5 „Scientists grow plants in Lunar Soil“

Forscherteams der Universität Florida gaben im Mai 2022 mit ihren Ergebnissen mehrerer Experimente eine Antwort auf die wichtige Frage, ob Pflanzen im Regolith und somit auch auf dem Mond wachsen könnten. Drei der von den Apollo Astronauten gesammelten Proben wurden für die Erforschung des Pflanzenwachstums in Mondstaub geöffnet und verwendet. In Reagenzgläsern wurden Samen der *Arabidopsis thaliana* Pflanze mit 1 Gramm Regolith pro Samen, Wasser und einer täglichen Nährstofflösung gepflanzt. Die Pflanzen wurden in eine Terrarien Box unter blaue und rote LED-Wachstumslampen gestellt.⁹

Das Wildgewächs *Arabidopsis thaliana*, auch Ackerschmalwand genannt, wurde ausgewählt, da es als genetischer Modellorganismus häufig in der Biologie herangezogen wird. Verwandte der afrikanischen Pflanze sind Brokkoli, Blumenkohl und Rosenkohl. Das Gewächs hat einen kurzen Keimungszyklus, wirft sehr viele Samen ab und das Gen lässt sich in wenige Chromosomen aufteilen.¹⁰

Schon nach zwei Tagen waren die ersten Keimergebnisse zu sehen. Dennoch wirkten die Pflanzen ab Tag sechs schwächer und zeigten mehr Stressmorphologien als die Pflanzen der Kontrollgruppe in terrestrischem Lavabasalt JSC-1A-Mondsimulanz. Um diese Beobachtung zu verifizieren, wurde die DNA der Pflanzen in RND transkribiert und in die einzelnen Proteinsequenzen übersetzte. Das Ergebnis zeigt, dass das Mond-Regolith die Entwicklung der Wurzeln hemmt, es allerdings Schwankungen in den Ergebnissen gibt, wenn die Proben an unterschiedlichen Entnahmestellen auf dem Mond gesammelt wurden.¹¹

⁹[Michelsohn, NASA, 2019]

¹⁰[Spektrum, 2001]

¹¹[Paul, 2022]

2.6 Zielsetzung

Die Forschungsergebnisse zu Pflanzen in Mond Regolith ebnet nicht nur den Weg auf der Suche nach Nahrungsquellen auf dem Mond, sondern auch den der Wassersuche durch die Photosynthese der Pflanzen. Als Ziel wird die Entwicklung robuster, im nährstoffarmen Regolith wachsender, nährstoffreicher Pflanzen gesetzt. Der Einsatz von Gentechnik zur Pflanzentransformation und Mutagenese der Gene, um sie an den Mond anzupassen, spielt bei einer langfristigen Besiedlung der Mondoberfläche eine große Rolle.¹²

Darüber hinaus werden die Forschungsergebnisse auch Hinweise und neue Methoden der Entwicklung für die terrestrische Nahrungsmittel Knappheit in weiten Teilen der Erde geben. Die Entdeckung der unterschiedlichen Stressmorphologien der Pflanzen sind wichtig für ein Leben auf dem Mond.¹³

¹²[Paul, 2022]

¹³[Paul, 2022]

Kapitel 3

Rückkehr zum Mond

3.1 NASA Artemis Ära

Die Abteilung Biological and Physical Sciences Division (BPS) der NASA ermöglicht mit ANGSA eine breite Erforschung physikalischer und biologischer Meilensteine auf dem Weg zur nächsten bemannten Mondmission Artemis.

Im November dieses Jahres soll die Artemis 1 Mission mit einer Super-schwerlastrakete (SLS) und einer Orion Kapsel als Raumschiff zur zwei-fachen Umrundung des Monds, nach drei abgebrochenen Startterminen, starten.

Artemis ist ein bemanntes Weltraumprojekt der NASA in direkter Zusammenarbeit mit der europäischen Weltraumagentur (ESA) und SpaceX. Spätestens im Jahr 2024 möchte die NASA mit einer SLS-Rakete, zwei Einheiten des „Lunar Orbital Plattform-Gateway“ (LOP-G) und einer Flacon Heavy Rakete von SpaceX Astronauten und Astronautinnen auf den Mond landen lassen.¹

Die BPS setzt sich unter anderem mit den NASA-Forschern des Goddard Space Flight Center zum Ziel, die Gesteinsproben der Apollo Missionen bis ins Jahr 2024 ausgiebig weiter zu erforschen. Die Ergebnisse sollen dann die Versuche den Mond wieder zu betreten stützen, sowie die Forschung und den Stand der Technik erweitern, um die noch folgenden Artemis Proben leichter zu analysieren.²

Auf Artemis wird sich auch durch Experimente an Pflanzen und deren Wachstum ohne Sonnenlicht und Erdanziehungskraft vorbereitet. Um eine längere

¹[Jones, NASA, 2022]

²[Herranz, NASA, 2021]

Zeit und Entfernung zurückzulegen, müssen die Astronauten und Astronautinnen ohne eine mögliche Nahrungslieferkette leben. Daher sucht die NASA nach möglichen Pflanzkandidaten, die die Ernährung der Astronauten/Astronautinnen sichern könnten.³

3.2 Warum brauchen Astronauten Pflanzen im Weltraum?

Zunächst bilden frische Pflanzen wie Salat und Gemüse eine wichtige Nährstoff-, Antioxidantien- und Vitaminquelle für den Körper. Pflanzen, in erster Linie ihr Geruch, ihr Anblick und ihr Geschmack beeinflussen zudem positiv die psychische Gesundheit der Astronauten/Astronautinnen und reduzieren wissenschaftlich nachgewiesen Stress und die Anfälligkeit von Weltraum Depressionen. Sie sind auch mit Erinnerungen und Bezugspunkte an das Leben auf der Erde verbunden.⁴

3.3 Pflanzen im Raumschiff

Aktuell bekommen Astronauten und Astronautinnen auf der International Space Station (ISS) immer wiederkehrende Lieferungen von gefriergetrockneten Nahrungsbeuteln von der Erde aus. Dies funktioniert, da die Lieferkette sehr kurz ist. Für die Planung länger datierter oder auch permanenter Aufenthalte außerhalb der terrestrischen Erde, ist die weitere Forschung der Pflanzenproduktion essenziell, da die Lieferung von Nahrungsmitteln und Wasser bspw. zum Mars ansonsten zu großen logistischen Problemkomplexen anwächst. Daher ist eine Selbstversorgung der Astronauten/Astronautinnen unumgänglich.⁵

An Bord des Raumschiffes müssten so entweder genug Nahrungsportionen gelagert sein oder frisches Obst und Gemüse wird vor Ort angebaut. Option eins würde für die Astronauten und Astronautinnen bedeuten, dass sie immer weniger Mineralien und Nährstoffe aufnehmen, da sich diese in der Nahrung in den

³[Herranz, NASA, 2021]

⁴[Petranke, 2016, vgl. S. 57-59]

⁵[Dufour, NASA, 2022]

luftdichtverpackten Beuteln minimieren. Kalium, Vitamin K, Vitamin B12 und Vitamin B1 sind dann bspw. in einer unzureichenden Menge vorhanden. Option zwei setzt weitere Forschungen und Experimente unter Mikrogravitation voraus. Dabei steht neben den Forschungszielen Pflanzen in Mond Regolith anbauen zu können, die Frage im Raum, unter welchen Voraussetzungen Pflanzen in der Schwerelosigkeit und Mikrogravitation wachsen würden. In den Pflanzen reichert sich auch eine Schwerionen Strahlung an, die überwacht werden muss.⁶

3.4 Veggie Pflanzkammer

Für die Vorbereitung auf Langstrecken Flüge und die Entwicklung eines autarken Lebenserhaltungssystem in der Schwerelosigkeit widmet sich die NASA bereits seit 30 Jahren der Erforschung von Pflanzenschutzsystemen. Noch vor diesen Experimenten baute die NASA 1980 die erste vertikale Landwirtschaftsanlage mit einem hydroponischen System, das Wasser und Dünger einsparen und automatisieren konnte. Auf der ISS werden seit April 2014 mit dem Pflanzenwachstumssystem „Veggie“ die Einwirkungen anderer Umwelteinflüsse auf Pflanzen, deren Wachstum und Nährstoffgehalt erforscht. Im Zentrum steht die Untersuchung von Wachstumsanomalien im Vergleich zu auf der Erde gezüchteten Gegenproben.⁷

“Veggie will provide a new resource for U.S. astronauts and researchers as we begin to develop the capabilities of growing fresh produce and other large plants on the space station,” said Gioia Massa, NASA payload scientist for Veggie.”⁸

3.5 Wie funktioniert Veggie?

Die Pflanzenkammer Veggie ist circa 50x40 Zentimeter groß, wiegt 8 Kilogramm und kann bis zu sechs Pflanzen gleichzeitig aufnehmen. Für die erste Versuchsreihe Veg-01 wurden im Jahr 2014 oberflächendesinfizierte Samen von rotem Römersalat, sowie 18 Pflanzkissen, die auch als Wurzelkissen bezeichnet werden, zur ISS gebracht. Die Kissen für den hydroponischen Prozess bestehen aus dem kalzinierten

⁶[Piper, 2019, vgl. S. 122-123]

⁷[Herridge, NASA, 2014]

⁸[Herridge, NASA, 2014]

Tonmaterial Argillite und sind für den Einmalgebrauch konzipiert, um eine mögliche Kontamination zu verhindern und mikrobielle Daten aus den Kissen ablesen zu können.⁹

Über mehrere programmierbare Ventilatoren und Partikelsiebe wird die Einheit durchlüftet, ein Balggehäuse trennt innen und außen und verbindet die Lichteinheit mit der Kevlar Grundplatte der Kissen. Ein ebenfalls programmierbares Beleuchtungssystem mit bunten LEDs ist oberhalb der Pflanzenkissen an der Decke befestigt und strahlt in Magenta Rosa. Grünes und neutral weißes Licht beeinflussen die Gestaltentwicklung der Pflanzen im All eher negativ, da sie grün und neutrales Licht reflektieren und blau und rot absorbieren. Energetisch ist nur Rotlicht wirksam. Die Experimente starten mit dem Einkleben und Fixieren der Samen in die Kissen und einer Injektion von Wasser und Dünger.¹⁰

3.6 Biogenerative Lebenserhaltung und Photosynthese

Erste Tests liefen über mehrere Wochen hinweg mit den Salatsamen, um die Umweltbedingungen Licht, Temperatur und CO₂ Konzentration zu erforschen und um die Ernährung der Astronauten/Astronautinnen, mit frischen Produkten zu erweitern.¹¹ Die ersten Ergebnisse zeigen, dass das Licht als Wachstums- und Orientierungspunkt von den Pflanzen genutzt wird und sich die Wurzel auch ohne Gravitationskraft und Magnetfeld in die entgegengesetzte Richtung entwickeln. Es wurden weitläufige Testreihen gemacht, um die richtige Dosierung an Wasser, Dünger und Substratzufuhr zu finden. Der Anteil der Mikroorganismen auf und in den Pflanzen wird ebenfalls überwacht und ausgewertet.¹²

Als problematische stellte sich u.a. heraus, dass Wasser in der Schwerelosigkeit Kugeln ausformt und sich nicht mit Sauerstoff vermischt. Die Wurzeln der Pflanzen benötigen jedoch eine Mischung aus den beiden Elementen, die sie durch die porige Struktur der Wurzelkissen getrennt erhalten können. Auch hat die erforderliche Düngermasse ein hohes Eigengewicht, weshalb Biodünger bei längeren

⁹[Dufour, NASA, 2022]

¹⁰[Wheeler, NASA, 2017]

¹¹[Massa, NASA, 2021]

¹²[Herridge, NASA, 2014]

Missionen durch Recycling der Pflanzenreste selbst hergestellt werden muss. Kombinieren die Wissenschaftler bestimmte Pflanzen und Technologien, entsteht ein sich gegenseitig beeinflussendes System. Mit der Photosynthese $12\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ binden und fixieren Pflanzen CO_2 aus der Luft und produzieren atembaren Sauerstoff. Durch die Photolyse, der Lichtreaktion, entsteht aus dem Wasser der atembare Sauerstoff. Der 21% Sauerstoffanteil der Atmosphäre der Erde ist durch die Photosynthese in circa 3,5 x 10⁹ Jahren entstanden. Ohne den Sauerstoff der Pflanze hätten sich viele Organismen nicht bilden können und somit ist dieser chemische Prozess auch für die Raumfahrt von hohem Stellenwert.¹³

3.7 Zinnie und Radieschen

Im August 2015 wurden im Experiment Veg-01B neben den Salatpflanzen Samen der Zinnien Blume angepflanzt. Die Einstellungen des Lichts, des Wasser- und Düngermenge, übernahm die NASA von der Erde aus. Die Automation stellte diese Parameter jedoch fehlerhaft ein, sodass die Blumen in Staunässe standen und sich Schimmelpilz innerhalb weniger Tage ansiedeln und verbreiten konnte. Da die Luft innerhalb der Veggie Krammer mit der Luft in der ISS zirkuliert wird und sich so die Keime schnell verbreiten konnten, wurde die Automation abgestellt. Die Pflanzen wurden vom Astronauten Scot Kelly gegen die Anweisungen der NASA desinfiziert und nach Gefühl weiter gegossen und gedüngt. So konnte die Mannschaft wenige Tage später bunte Blumen auf der ISS begutachten.¹⁴

Weitere Pflanzen, die nach dem Salat angebaut wurden, waren bspw. Pak Choi, Reis, Zwiebeln, Mizuna, Weizen, Kartoffeln, Paprika und Weißkohl. Beim Verzehr einiger Pflanzen muss darauf geachtet werden, ob es Kulturpflanzen, die durch Züchtung als neue Nutzpflanze entwickelt wurde, oder Wildpflanzen sind. Kulturpflanzen wie bspw. Radieschen haben von Natur aus einen erhöhten Mikroorganismen Anteil. Diese Konzentration muss vorher überprüft werden und dann durch einen Zyklus an Produkthygiene und Desinfektion vor dem Verzehr gemindert werden.¹⁵

¹³[Dunbar, NASA, 2021]

¹⁴[Tertilt, 2016]

¹⁵[Wheeler, NASA, 2017]

3.8 Advanced Plant Habitat

Neben Veggie gibt es auf der ISS seit 2018 die vollautomatisierte Advanced Plant Habitat (APH) Pflanzenkammer, welche im Vergleich zu Veggie verschlossen ist, von Kameras und 180 unterschiedlichen Sensoren überwacht wird und in der vollständigen Kontrolle eines Teams auf der Erde liegt. Wasserzufuhr, Nähstoffmenge, Lichtfarbe und Luftgehalt wird automatisch eingestellt. Die ersten Tests wurden, wie die Experimente zu dem Pflanzenwachstum in Mond Regolith der Apollo Missionen, mit *Arabidopsis thaliana* Samen und Zwergweizen gemacht.¹⁶

Es werden zudem von den Forscherteams gentechnisch veränderte Pflanzen untersucht. Das Ziel ist ein höherer Nährstoffgehalt und eine bessere Kompostierbarkeit der anfallenden Pflanzenabfällen. Da die Forschung an der *Arabidopsis thaliana* als Modelorganismus auf der Erde schon zahlreiche Testläufe und Gen Sequenzierungen durchgeführt hat, kann auf diese Datenbank aufgebaut werden und mit den Genen der im Weltraum gewachsenen Pflanzen und den im Mond Regolith verglichen werden. Ergebnisse dieser Vergleiche zeigen zum Beispiel, dass die Gene, die für die Pflanzenabwehrkräfte zuständig sind, sich im Weltall verändert haben und geschwächt sind. Dies würde die Frage aufwerfen, ob Pflanzen im Weltall einfacher krank werden können und dies auch Auswirkungen auf die Nahrungsquelle von frischen Pflanzen hat.

“The patterns will tell us whether the plant defense system is operating correctly or not.”¹⁷

¹⁶[Dunbar, NASA, 2021]

¹⁷[Dunbar, NASA, 2021]

Kapitel 4

Schluss

Die von den Astronauten der Apollo Missionen seit der ersten Mondlandung gesammelten Proben der Mondoberfläche, dem Mondstaub und dem Regolith, bilden nach über 50 Jahren immer noch ein wichtiges Forschungsglied für bspw. die bevorstehenden NASA Artemis Missionen zum Südpol des Mondes. Neuartige Ansätze, Technologien und wissenschaftliche Experimente mit den Proben können heute erforscht und direkt oder zukünftig angewendet werden. So auch die erfolgreichen Versuche biologische Modellorganismen in den Mondproben anzupflanzen. Die gesamte Menschheit profitiert von vergangenen und zukünftigen Arbeiten der NASA, bspw. von den Schritten bis hin zu permanenten Mondbasen und einer Erforschung des Mars.

Bis Weltraumreisende diese Missionen erfolgreich leisten können, fehlt noch eine erweiterte und tiefer greifende Entwicklung der Technik. Die komplexen Systeme der Wasser- und Nahrungsherstellung sollten jetzt im Fokus der Wissenschaft liegen. Die Reaktion und das Wachstum von Pflanzen in reduzierter oder sehr geringer Schwerkraft, sowie ohne Sonnenlicht und nur mit LED-Leuchten, sind noch nicht ausreichen erforscht. Dabei ist der Nahrungssuche und der Erkenntnisgewinnung über Wachstumsanomalien unter anderen extraterrestrischen Einflüssen eine hohe Bedeutung zugeschrieben. Die Forschung auf der ISS und auf der Erde sind noch nicht so weit, um Menschen längerfristig ohne Lieferkette von der Erde aus, ernähren zu können und am Leben zu halt.

Während NASA Forschende die Vorbereitungen auf ein Leben außerhalb der Erde treffen und Lebensräume erforschen, gewinnen wir auch neue Erkenntnisse, die auf der Erde vielseitig eingesetzt werden können, bspw. in der Biologie und Physik. Die Ergebnisse der Pflanzenkammern Veggie und APH, in denen

automatisiert Pflanzen wie Salat oder Kartoffeln ohne Sonnenlicht und nur mit Mikrogravitation wachsen, können mit Daten von der Erde verglichen werden, um so DNA-Veränderungen feststellen zu können und mit Gentechnik den Prozess der Pflanzentransformation und Mutagenese der Gene zu starten, um sie an den Mond, an den Mars oder an noch entferntere Planeten und Lebensräume zu adaptieren.

Durch all diese Experimente und Forschungsziele entsteht schlussendlich ein komplexes System einer biogenerativen Lebenserhaltung zwischen Menschen, Mikroorganismen und Pflanzen, die den nächsten großen Sprung Astronauten zum Mars fliegen zu lassen, ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- [Piper, 2019] Piper, Sven: „Space – Die Zukunft liegt im All“, Springer Berlin, Heidelberg, 2019
- [Petranke, 2016] Petranke, Stephen: „Unser Leben auf dem Mars“, Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main, 2016
- [Kaku, 2019] Kaku, Michio: „Abschied von der Erde: Die Zukunft der Menschheit“, Rowohlt Buchverlag, Reinbek, 2019
- [David, 2017] David, Leonard: „Der Mars: Wie wir den Roten Planeten besiedelten“, National Geographic Buchverlag, München, 2017
- [Pearson, 2020] Dr. Pearson, Ezzy: „Robots in Space: The Secret Lives of Our Planetary Explorers“, The History Press, Cheltenham, 2020
- [Massa, NASA, 2021] Massa, Gioia: „Growing Plants in Space“, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210013168>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2021, Stand 22.10.2022
- [NASA, 2019] NASA: „Researching Plant Growth in Amended Martian Regolith“, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190002674/downloads/20190002674.pdf>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2019, Stand 22.10.2022
- [Wheeler, NASA, 2017] Wheeler, Raymond: „Plants for Space Travel“, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170011105/downloads/20170011105.pdf>, University Florida, United States, 2017, Stand 22.10.2022
- [Dunbar, NASA, 2021] Dunbar, Brian: „Growing Plants in Space“, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170011105/downloads/20170011105.pdf>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2021, Stand 22.10.2022

- [NASA, 2021] NASA: „Veggie“, https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/veggie_fact_sheet_508.pdf, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2021, Stand 22.10.2022
- [Wheeler, NASA, 2012] Wheeler, Raymond: „Food Production for Space“, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120016665/downloads/20120016665.pdf>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2012, Stand 22.10.2022
- [Keeter, NASA, 2022] Keeter, Bill: „Scientists Grow Plants in Lunar Soil“, <https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2022, Stand 22.10.2022
- [Dufour, NASA, 2022] Dufour, NF: „Veggie hardware validation test“, <https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2022, Stand 22.10.2022
- [Herridge, NASA, 2014] Herrifge, Linda: „Veggie Will Expand Fresh Food Production on Space Station“, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/veggie, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2014, Stand 22.10.2022
- [Michelsohn, NASA, 2019] Michelsohn, Noah: „NASA Opens Previously Unopened Apollo Sample Ahead of Artemis Missions“, <https://www.nasa.gov/feature/nasa-opens-previously-unopened-apollo-sample-ahead-of-artemis-missions>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2019, Stand 22.10.2022
- [Plain, NASA, 2022] Plain, Charlie: „NASA Studies ‘New’ 50-Year-Old Lunar Sample to Prep for Return to Moon“, <https://www.nasa.gov/feature/nasa-studies-new-50-year-old-lunar-sample-to-prep-for-return-to-moon>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2022, Stand 22.10.2022
- [Herranz, NASA, 2021] Herranz, Raul: „GLDS-314“, <https://genelab-data.ndc.nasa.gov/genelab/accession/GLDS-314>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2021, Stand 22.10.2022
- [Bolles, NASA, 2022] Bolles, Dana: „NASA Biological & Physical Sciences“, <https://science.nasa.gov/biological-physical>, Kennedy

- Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2022, Stand 22.10.2022
- [Jones, NASA, 2022] Jones, Nancy: „NASA Goddard Scientists Begin Studying 50-year-old Frozen Apollo 17 Samples“, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2022/apollo-17-lunar-samples>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2022, Stand 22.10.2022
- [Khodadad, NASA, 2020] Khodadad, Christina: „GLDS-267“, <https://genelab-data.ndc.nasa.gov/genelab/accession/GLDS-267>, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2020, Stand 22.10.2022
- [Rainey, NASA, 2014] Rainey, Kristine: „Veggie Will Expand Fresh Food Production on Space Station“, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/veggie, Kennedy Space Center Merritt Island, Florida, United States, 2014, Stand 22.10.2022
- [Spektrum, 2001] Spektrum: „KOMPAKTLEXIKON DER BIOLOGIE: Arabidopsis thaliana“, <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/arabidopsis-thaliana/815>, 2001, Stand 22.10.2022
- [Dreibus, 1999] Dreibus, Gerlind: „Chemismus und Bildung des Erdmondes“, https://www.spektrum.de/fm/976/SUW_1999_S742.pdf, 1999, Stand 22.10.2022
- [Althaus, 2013] Althaus, Tilmann: „Potenziell lebensfreundliche Bedingungen“, <https://www.spektrum.de/news/potenziell-lebensfreundliche-bedingungen/1187308>, 2013, Stand 22.10.2022
- [Williamson Smith, 2017] Williamson Smith, Amelia: „Staying True to Your Roots: Plants on the ISS“, <https://www.issnationallab.org/iss360/staying-true-to-your-roots/>, ISS National Laboratory, 2017, Stand 22.10.2022
- [Williamson Smith, 2018] Williamson Smith, Amelia: „Plant Research in Space is Cropping Up“, <https://www.issnationallab.org/iss360/plant-research-in-space-is-cropping-up/>, ISS National Laboratory, 2018, Stand 22.10.2022

- [ntv, 2016] ntv: „Erste Weltraum-Blume blüht auf“, <https://www.ntv.de/wissen/Erste-Weltraum-Blume-blueht-auf-article16789106.html>, 2016, Stand 22.10.2022
- [Tertilt, 2016] Tertilt, Mathias: „Weltraum-Blume“, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/iss-weltraum-blume-1.2823057>, 2016, Stand 22.10.2022
- [Spiegel, 2019] Spiegel: „Hier liegt der Mond-Schatz der Nasa“, <https://www.spiegel.de/fotostrecke/mondlandung-hier-liegen-die-apollo-proben-der-nasa-fotostrecke-169403.html>, 2019, Stand 22.10.2022
- [Rother, 2022] Rother, David: „20. April 1972 - Apollo 16 landet auf dem Mond“, <https://www1.wdr.de/radio/wdr5/sendungen/zeitzeichen/zeitzeichen-apollo-sechzehn-100.html>, 2022, Stand 22.10.2022
- [futurezone, 2019] futurezone: „NASA öffnet Mondgestein-Probe zum ersten Mal nach 47 Jahren“, <https://futurezone.at/science/nasa-oeffnet-mondgestein-probe-zum-ersten-mal-nach-47-jahren/400669424>, 2019, Stand 22.10.2022
- [Paul, 2022] Paul, Anna-Lisa: „Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration“, <https://www.nature.com/articles/s42003-022-03334-8>, 2022, Stand 22.10.2022
- [NPO, 2019] NPO: „Apollo 11 – die erste Mondlandung“, <https://www.wissen.de/apollo-11-die-erste-mondlandung>, 2019, Stand 22.10.2022
- [Hummerick, 2020] Hummerick, Mary E. Et al: „Microbiological and Nutritional Analysis of Lettuce Crops Grown on the International Space Station“, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00199/full>, 2020, Stand 22.10.2022
- [Zabel, 2016] Zabel, Paul: „Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme für zukünftige bemannte Missionen“, <https://elib.dlr.de/110850/>, 2016, Stand 22.10.2022