

Hygiene in der unbemannten Raumfahrt

Sebastian Gorton-Hülgerth

8B

Betreuer: Prof. Norbert Steinkellner

Graz

01.03.2018

Abstract

Die vorliegende VWA informiert über Hygienemaßnahmen, die in der Raumfahrt schon seit der ersten Mission zu einem fremden Himmelskörper durchgeführt werden.

Diese Arbeit verschafft Einblick in Vorkehrungen, die jeglichen Transport von Organismen zu und von fremden Himmelskörpern vermeiden sollen.

Es wird erläutert, warum diese Maßnahmen erforderlich sind, wie sie durchgeführt werden und wie sich diese seit dem Beginn der Raumfahrt entwickelten. Dazu wurde Literatur und ein Interview mit einem Mitarbeiter des Grazer Weltrauminstituts verwendet.

Zurzeit werden Missionen abhängig von Missionstyp und ihrem Zielobjekt in 5 Kategorien unterteilt. Die durchgeführten Maßnahmen können den Kategorien entsprechend von wenigen Dokumenten bis zur mehrmaligen Sterilisation der Sondenbauteile in Cleanrooms reichen. Die stärksten Vorkehrungen, um den Transport von Organismen zu fremden Himmelskörpern zu vermeiden, wurden bisher bei Mars-Missionen getroffen. Maßnahmen, um den möglichen Transport von fremden Organismen anderer Himmelskörper zur Erde so gut es geht zu verhindern, wurden bisher erst bei den bemannten Apollo-Missionen durchgeführt.

Vorwort

Mit dem Thema meiner Arbeit stieß ich im Vorfeld auf interessante Reaktionen. Bei den Personen, welchen ich ein eher größeres physikalisches Interesse zutrauen würde, lief die Reaktion zumeist ungefähr so ab: „Okay, und jetzt erkläre mir bitte einmal wieso das überhaupt wichtig ist.“ Das was ich in den meisten Fällen hörte war aber eher etwas in die Richtung von: „Was ist denn das für ein merkwürdiges Thema, und warum sollte sich eigentlich irgendjemand ernsthaft damit befassen?“ Demnach für alle: Hygiene in der Raumfahrt ist nicht etwas, dass uns alle etwas angeht, aber etwas, dass diejenigen, welche daran beteiligt sind, unglaublich stark betreffen sollte, - sogar betreffen muss. Denn sonst könnte es uns doch ALLE etwas angehen.

An dieser Stelle möchte ich mich noch einmal besonders bei Norbert Steinkellner, dem Betreuer meiner VWA, welcher mir von der frühesten Fassung an zur Seite stand, bei Günter Kargl, Mitarbeiter des IWF-Graz, welcher sich die Zeit genommen hat mir in einem Interview etliche Fragen zu beantworten, sowie bei Roman Werner, welcher mir im Wahlpflichtfach „Vorbereitung auf Wissenschaftliches Arbeiten“ bei der effizienten Vorbereitung meiner Arbeit geholfen hat, herzlich bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Vorwort.....	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung.....	6
2 Warum Planetary Protection	8
2.1 Vorwärts Kontamination.....	8
2.2 Warum wir fremde Umwelten schützen sollten.....	8
2.3 Rückwärts Kontamination.....	9
2.4 Was fremde Mikroorganismen auf unserem Planeten auslösen könnten.....	10
2.5 Welchen Einfluss hatte Science-Fiction Literatur auf die Entstehung von Planetary Protection Vorschriften?	10
3 Die Historische Entwicklung von Planetary Protection	11
3.1 Die Notwendigkeit von Hygienevorschriften wird erkannt.....	11
3.1.1 1956.....	11
3.1.2 1957.....	11
3.1.3 1958.....	11
3.1.4 1959.....	13
3.2 Erste Vorschriften und damit verbundene Verfahren werden entwickelt.....	13
3.2.1 1959.....	13
3.2.2 1960.....	14
3.2.3 1961.....	15
3.2.4 1963-1970.....	16
3.2.5 1970-1974.....	20
3.2.6 1975-1976.....	20

3.3	1976-heute	22
3.3.1	1984	23
3.3.2	2003	23
3.4	Nahe Zukunft.....	23
4	Die heutigen Vorschriften.....	24
4.1	COSPAR.....	24
4.2	Kategorie I	25
4.3	Kategorie II	26
4.4	Kategorie III	28
4.5	Kategorie IV.....	29
4.6	Kategorie V.....	30
5	Fazit.....	32
6	Literaturverzeichnis	34
	Selbstständigkeitserklärung	36

1 Einleitung

Die Astronomie und die damit verbundene Raumfahrt zählen zu den derzeit größten und umfangreichsten Forschungsgebieten der Menschheit. Wir befinden uns in einem (hoffentlich) sehr frühen Forschungsstadium und können dabei nur eines mit Sicherheit sagen: Unser Wissen ist spärlich, beruht auf Annahmen und wenig Informationen. Daher führen wir Maßnahmen durch, die uns vor möglichen negativen Auswirkungen aufgrund dieses wenigen Wissens bewahren sollen.

Hygienemaßnahmen zählen zu eben diesen Maßnahmen. Diese Vorkehrungen, welche unter Planetary Protection bekannt sind, dienen nicht dazu die Bedürfnisse einiger peniblen, neurotischen Mitarbeiter an Raumfahrtmissionen zu stillen, sondern um den Transport von Organismen der Erde auf fremde Himmelskörper, sowie von fremden Organismen auf die Erde, zu verhindern. Demnach erfordern diese auch weit mehr als das regelmäßige Verwenden von Seife.

In meiner Arbeit versuche ich verständlich zu machen, warum diese Maßnahmen notwendig sind, wie diese Maßnahmen durchgeführt werden und warum bei unterschiedlichen Missionen unterschiedlich starke Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Weiters beschäftige ich mich mit der Entstehung und der historischen Entwicklung dieser. Ich spezialisiere mich dabei auf die unbemannte Raumfahrt, betrachte an einer Stelle jedoch auch bemannte Missionen.

Den größten Teil meiner Arbeit stütze ich auf hauptsächlich von Weltraumagenturen selbst veröffentlichte Literatur. Ich berufe mich auch auf verlässliche Internetquellen sowie auf ein ca. 15 Minütiges Interview, in welchem mir IWF-Mitarbeiter Günter Kargl am 5.12.2017 einige Fragen beantworten konnte. Anfangs halfen mir auch etliche Power-Point Präsentationen, gehalten von leitenden Angestellten in diesem Gebiet, einen guten Einblick in das Thema zu bekommen. Ich konnte auch sehr gut eigenes Wissen einfließen lassen, welches ich aus jahrelangem eigenem Interesse an der Astronomie und der damit verbundenen Raumfahrt beziehe, sowie der insgesamt 6-jährigen Teilnahme am Freifach Astronomie am BRG Kepler.

Im ersten Kapitel beschäftige ich mich damit, warum Planetary Protection notwendig ist. Ich unterscheide bei dem Transport von Organismen zwischen dem von der Erde auf fremde Himmelskörper und umgekehrt, anschließend erläutere ich die möglichen

Folgen eines solchen Transports. Ich baue dieses Kapitel hauptsächlich auf Wissen auf, welches ich mir bei der Vorrecherche zum Thema angesammelt habe. Das letzte Unterkapitel bildet hierbei eine Ausnahme, da ich mich hier stark von einem Kapitel des von der NASA selbst veröffentlichten Werks „When Biospheres Collide“ von Michael Meltzer beeinflussen ließ.

Das zweite Kapitel befasst sich mit dem Entstehen und der Entwicklung der Maßnahmen. Darin befasse ich mich nicht nur mit Änderungen der Forderungen selbst, sondern beschreibe auch die Struktur unter welcher diese durchgezogen werden. In diesem Kapitel beschreibe ich auch die Durchführung von Hygienemaßnahmen an drei ausgewählten Beispielen. Als Grundlage dieses Kapitels verwende ich „When Biospheres Collide“ von Michael Meltzer, sowie einige zu den jeweiligen Zeiten veröffentlichte wissenschaftliche Artikel und Arbeiten, auf welche ich größtenteils durch dieses Buch gestoßen bin.

Anschließend befasst sich das dritte Kapitel mit dem heutigen Stand der Maßnahmen, sowie warum diese in ihrer jeweiligen Form für die unterschiedlichen Missionen gelten. Dazu berufe ich mich auf die derzeit aktuelle weltweit geltende Version der Planetary Protection Vorschriften, auf das Interview mit Günter Kargl, Internetquellen und eigenes Wissen.

2 Warum Planetary Protection

Unter Planetary Protection versteht man in der Raumfahrt geltende, schützende Maßnahmen, welche die Anwesenheit von blinden Passagieren in Form von Mikroorganismen verhindern sollen. Ungewollt mitreisende Organismen könnten der Auslöser für eine stattfindende Vorwärts oder Rückwärts-Kontamination sein. Da die unbemannte Raumfahrt den Großteil aller Missionen ausmacht und da es bisher nur unbemannte Missionen zu Objekten von größerem Interesse bezüglich ihrer Biologie gab, ist bisher hauptsächlich dieser Teil der Raumfahrt betroffen.

2.1 Vorwärts Kontamination

Wenn irdische Organismen einen fremden Himmelskörper erreichen und diesen kontaminieren, wird dies als Vorwärts Kontamination bezeichnet. „Als Kontamination bezeichnet man in der Medizin die unerwünschte Verunreinigung von Flächen oder Volumen durch Pathogene oder Toxine.“¹ Da diese Gefahr bei jeder Mission besteht, welche die Erdumlaufbahn verlässt und einen anderen Himmelskörper ansteuert, gelten für all diese Missionen Vorschriften, um Vorwärts Kontamination zu vermeiden. Es wird versucht, die auf fremden Himmelskörpern herrschenden Verhältnisse zu bewahren.

2.2 Warum wir fremde Umwelten schützen sollten

Hauptgrund dafür, warum wir fremde Systeme schützen und warum in der Raumfahrt Hygienebedingungen zur Vermeidung von Vorwärts Kontamination existieren, ist um die derzeit dort herrschenden Bedingungen für zukünftige Missionen zu bewahren. Wir können zwar unmöglich genau wissen, wie eine fremde Lebensform aufgebaut ist und mit von uns mitgebrachten Formen reagieren würde, jedoch wissen wir von der Erde, dass nur die Einführung weniger Mikroorganismen in ein fremdes Biosystem große Folgen haben kann. Da es eines der derzeit größten wissenschaftlichen Anliegen ist, eine außerirdische Lebensform zu finden und genauer zu erforschen, ist es notwendig,

¹ Wikipedia (2017): Kontamination (Medizin). URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kontamination_\(Medizin\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kontamination_(Medizin)). Stand:18.07.2017

diese in ihrem Grundzustand zu erhalten. Weiters gilt es sogenannte „false positive“ Ergebnisse zu vermeiden. So ein Ergebnis wäre der Fall, wenn die irdischen Organismen nicht als solche erkannt werden würden und man von einer neuen Entdeckung ausgehen würde, obwohl wir selbst für den Organismus verantwortlich wären.

Ebenfalls wird die ethische Frage aufgeworfen, wie streng und wie lange man fremde Objekte schützen muss, nicht im Zuge der Wissenschaft, sondern bezüglich der am Himmelskörper herrschenden Bedingungen und der möglicherweise vorhandenen Organismen. Dies betrifft auch jene Körper, auf welchen wir die Möglichkeit von Leben schon beinahe komplett ausschließen können. Ist es unsere Pflicht, die Verhältnisse auf jenen Planeten zu bewahren, auch wenn es wissenschaftlich gesehen nicht mehr notwendig ist?

So, wie Planetary Protection Vorschriften derzeit existieren, schützen sie den jeweiligen Himmelskörper nur soweit, um ihn weiterhin als Ziel für außerirdische biologische Erforschung zu erhalten.²

2.3 Rückwärts Kontamination

Wenn außerirdische Organismen in die Biosphäre der Erde gelangen und dort eine Kontamination herbeiführen, wird dies als Rückwärts Kontamination bezeichnet. Unter außerirdischen Lebensformen sind jedoch nicht die uns aus Science-Fiction Filmen bekannten intelligenten Außerirdischen gemeint, welche es sich zumeist zum Ziel gesetzt haben die Menschheit auszulöschen. Vielmehr ist hier die Rede von extrem überlebensfähigen Mikroorganismen, welche mithilfe von durch uns gestarteten Missionen, die von fremden Himmelskörpern wieder auf die Erde zurückkehren, auf unseren Heimatplaneten gelangen würden. Um dies zu verhindern gibt es für all jene Missionen noch zusätzliche Maßnahmen. Bisher haben aber noch keine Missionen von einem anderen Objekt als dem Mond, auf welchem wir Organismen fast komplett ausschließen können, den Rückflug zur Erde angetreten. Dadurch wird die Vermeidung von Rückwärts-Kontamination und damit verbundene Verfahren erst in der Zukunft eine größere Rolle spielen.

² Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 1-6

2.4 Was fremde Mikroorganismen auf unserem Planeten auslösen könnten

Die Einführung von fremden Organismen auf der Erde könnte fatale Folgen haben. Mikroorganismen machen einen großen Bestandteil des Ökosystems aus. Wenn man jenem nun komplett neue Organismen hinzufügt, könnte das erhebliche Änderungen herbeiführen, welche für den Menschen genauso gravierende, unter Umständen katastrophale Auswirkungen haben könnten.

Komplett fremde Organismen könnten auch Auslöser von Krankheiten sein, gegen die sich unser Körper kaum bis gar nicht wehren kann.

2.5 Welchen Einfluss hatte Science-Fiction Literatur auf die Entstehung von Planetary Protection Vorschriften?

Bei genauerem Betrachten der Vorschriften zur Vermeidung von Vorwärts sowie Rückwärts-Kontamination stellt sich die Frage, inwieweit dies ein tatsächliches ernstes Problem darstellt, und inwieweit wir uns von verschiedenster Science-Fiction Literatur schon beeinflussen ließen. Wir haben bisher noch keine Anzeichen von jeglicher Lebensform außerhalb unseres Heimatplaneten gefunden. Wissenschaftler, welche sich mit außerirdischen, uns komplett unbekannt Formen von Leben beschäftigen müssen daher vor allem eines sein: kreativ. Ebenfalls kreativ, jedoch meist in einem unterhaltenden und dramatischen Sinn sind die Autoren von sämtlichen Büchern, in welchen es um den Kontakt mit außerirdischem Leben geht. Dass wir Menschen uns sehr leicht von so einer Art von Literatur beeinflussen lassen, zeigt z.B. das extreme Beispiel von H.G. Wells „Krieg der Welten“, in welchem Marsianer das Vereinigte Königreich angreifen, mit dem Ziel die Erde zu erobern. Eine im Radio abgespielte Hörbuchversion des Buches zog eine Massenpanik hinter sich, da etliche Personen die versuchte Eroberung für real hielten. Da Wissenschaftler auch nur Menschen sind, könnten sie sich in Bezug auf die Befürchtung einer stattfindenden Kontamination genauso leicht beeinflussen lassen.³

³ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 68

3 Die Historische Entwicklung von Planetary Protection

3.1 Die Notwendigkeit von Hygienevorschriften wird erkannt

3.1.1 1956

Die mögliche Gefahr einer Kontamination fremder Himmelskörper wurde schon während der ersten Raumfahrtforschungen erkannt. Im September 1956, ein Jahr bevor mit dem Start von Sputnik 1 am 4. Oktober 1957 das sogenannte Weltraumzeitalter überhaupt erst eingeleitet wurde, wurde am 7. Kongress der 1951 gegründeten International Astronautical Federation (IAF) in Rom erstmals auf eine mögliche Kontamination fremder Himmelskörper, veranlasst durch die geplanten Missionen, aufmerksam gemacht.⁴

3.1.2 1957

Nach dem erfolgreichen Start von Sputnik 1 gegen Ende des Jahres wurde höchst wahrscheinlich, dass weitere Weltraummissionen stattfinden würden. Joshua Lederberg (1925-2008), US-Amerikanischer Mikrobiologe und Genetiker sowie Träger des Begriffs Exobiologie, war einer der ersten, der die Notwendigkeit von Hygienebedingungen in der Raumfahrt erkannte und auf seine Sorgen aufmerksam machte. Zu der sowieso schon vorhandenen Kontaminationsmöglichkeit fürchtete er weiters, dass diese während des Wettlaufs ins All zwischen den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion komplett außer Acht gelassen werden würde. Die Beweggründe der beiden Nationen waren laut ihm nicht aus wissenschaftlichem Interesse, sondern um das weltweite Ansehen der jeweiligen Nation zu steigern.⁵

3.1.3 1958

Die National Academy of Sciences (NAS), durch Ledbergs Warnungen aufmerksam geworden, wies nun selbst auf die bestehende Kontaminationsgefahr hin. Ab dem

⁴ Vgl: PHILLIPS R. Charles: The Planetary Quarantine Program, Origins and Achievements 1956-1973. Washington: NASA. 1974. S.3

⁵ Vgl: LEDERBERG, Joshua: Exobiology: Approaches to Life beyond the Earth. Nice, Frankreich 1960 S. 6-7

Februar des Jahres versuchte sie gemeinsam mit dem International Council of Scientific Unions (ICSU) auch international darauf aufmerksam zu machen. Dieses Council gründete kurz daraufhin das Committee on Contamination by Extraterrestrial Exploration (CETEX), welches die Aufgabe hatte, die Möglichkeit einer Kontamination auf dem Mond, der Venus und dem Mars genauer zu untersuchen. Die erste Konferenz dieses Komitees, bei jener auch schon die ersten Ergebnisse präsentiert wurden, fand am 12.-13. Mai 1958 in Den Haag statt.⁶ Dieser Konferenz folgten einige Empfehlungen für die weitere Planung der nächsten Weltraumflüge. Bezüglich der Missionen zum Mond empfand man es ratsam seine Atmosphäre mit Orbitern genauer zu untersuchen, bevor man mit der Planung der ersten in seine Atmosphäre eintretenden Sonde begann. Die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination auf der Mondoberfläche durch Erd-Organismen wurde aufgrund der dortigen Bedingungen für extrem klein empfunden. Dennoch hielt man es für sinnvoll die Landezonen einzuschränken, um im möglichen Fall einer Kontamination diese lokalisieren zu können. Am Mars und auf der Venus hielt man die dort herrschenden Bedingungen für möglicherweise ausreichend, dass sich irdische Organismen ausbreiten könnten, sogar eine eigene Form von Leben wäre möglich. Daher wurde für jene Missionen, welche eines dieser beiden Objekte ansteuern sollten, empfohlen diese vor dem Start von allen lebenden Organismen durch Sterilisation zu befreien.⁷ Zusätzlich wurden zwei Artikel veröffentlicht, welche das Ziel hatten auf die Notwendigkeit von festen Verhaltensregeln in der Raumfahrt aufmerksam zu machen. CETEX selbst fehlten laut eigenen Angaben die wissenschaftlichen und technischen Mittel um einen festen Verhaltenskodex aufzustellen. Daher schlug sie vor, dass ISCU hierzu Interessierte und Fachkundige versammeln könnte, welche dieses Problem übernehmen würden. ISCU übernahm diese Aufgabe; bei einer Konferenz in Washington DC von 2.-4. Oktober 1958 wurde dann auch das Committee on Space Research (COSPAR) gegründet, welches heute noch

⁶ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 19,20

⁷ Vgl: News of Science: Development of International Efforts to Avoid Contamination of Extraterrestrial Bodies. 19. Oktober 1958. S.887-889

für die in der Raumfahrt herrschenden Hygienebedingungen verantwortlich ist.⁸
COSPARs erste Sitzung fand am 14. und 15. November 1958 in Loudon, Schweiz, statt.

Zusätzlich wurde im Dezember 1958 das Committee on the Peaceful uses of Outer Space (UNCOPUS) gegründet, welches ebenfalls auf die vorhandene Kontaminationsgefahr aufmerksam machte.

3.1.4 1959

Im März des Jahres 1959 beschloss CETEX bei ihrer zweiten und zugleich letzten Konferenz die Arbeit niederzulegen und diese an COSPAR weiter zu geben, welches nun hauptverantwortlich war mit dem Kontaminationsproblem umzugehen. Trotz kleiner Schwierigkeiten und der damaligen Spannung zwischen Ost und West schaffte es das Komitee weltweit akzeptiert zu werden. Eine der ersten Forderungen an die Vereinigten Staaten sowie die UdSSR war es ihre Herangehensweise bei Weltraumprojekten komplett zu überprüfen und bei Notwendigkeit zu überarbeiten, um den unabsichtlichen Transport von Organismen besser vermeiden zu können.⁹

3.2 Erste Vorschriften und damit verbundene Verfahren werden entwickelt

3.2.1 1959

Von nun an hielt COSPAR jedes Jahr in unterschiedlichen Nationen eine Sitzung ab. In diesen besprachen die Teilnehmer grundsätzlich einerseits den technischen Stand in Bezug auf eine Kontaminationsvermeidung sowie den biologischen Stand in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Kontamination der einzelnen Objekte.¹⁰
COSPAR erkannte sehr früh, dass eine komplette Sterilisation von allen vorhandenen Organismen fast unmöglich wäre. Auch gäbe es ein paar spezielle Stellen der Sonden, deren Reinigung extrem aufwändig wäre. Dies warf sehr früh die Diskussion auf,

⁸ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. S.22,23

⁹ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 25

¹⁰ MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S.2,27

inwieweit die Minimierung der Organismen dann überhaupt sinnvoll wäre, wenn es immer ein paar überlebende Organismen gäbe.¹¹ Später kam man zu dem ersten Entschluss, dass alle Raumsonden bis zu einem „Akzeptablen Grad“ gereinigt werden müssen, sodass die Sonden vom Wesentlichen gesäubert wären, die Sterilisation aber auch in einem zumutbaren Kostenradius wäre.¹²

Die USA und die UdSSR unterschieden sich sehr in der Art, wie sie Raumfahrtforschungen betrieben. Während die Vereinigten Staaten sämtliche Informationen zu ihren Erfolgen und Misserfolgen veröffentlichten, hielt die UdSSR ihren gesamten Forschungsprozess bis auf den schlussendlichen Ausgang geheim. Daher war man im Westen sehr beunruhigt, als die Sowjetunion im September 1959 bekanntgab, dass ihre Raumsonde Luna 2 geplant an der Oberfläche des Mondes aufschlug. Man befürchtete, dass diese Mission den Mond schon verunreinigt haben könnte. An der Mission beteiligte Wissenschaftler gaben nur an, Sterilisationsverfahren durchgeführt zu haben, jedoch nichts Genaueres.¹³ Daher ist nicht sehr viel über die Entwicklung und Durchführung von Sterilisationsverfahren des Sowjetischen Raumfahrtprogramms bekannt, weshalb ich mich im Lauf dieses Kapitels auf die NASA spezialisieren werde.

3.2.2 1960

Mit den ersten Bedenken stieß man sehr früh auf die ersten Probleme. Bisher kannte man Sterilisationsverfahren hauptsächlich aus der Medizin. Hierzu wurden medizinische Instrumente in Druckbehältern mit Dampf bei ca. 1,7 bar über dem Atmosphärendruck von Mikroorganismen gereinigt. Dies war für eine in der Raumfahrt viel genauere benötigte Sterilisation jedoch ziemlich ungeeignet. Zusätzlich müssen in der Medizin nur die den Patienten berührenden Enden steril sein, in der Raumfahrt kann es sehr leicht zu unbeabsichtigten Aufprällen kommen, daher muss die ganze Sonde steril sein.

Viel besser geeignet schienen vom biologischen Labor der US-Armee entwickelte

¹¹ MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 39

¹² MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 30

¹³ MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 62

Sterilisationsverfahren mithilfe von Gasen, hauptsächlich verwendete man Ethylen Oxid. Dies hat keine negativen Auswirkungen auf die Materialien der Sonde, konnte sich aber dennoch gut in die kleinsten Verwinkelungen ausbreiten. Sehr empfindliche elektronische Bauteile müssen aber durch spezielle Schutzhüllen abgedeckt werden, welche für jegliche Art von den zur Sterilisation verwendeten Gasen undurchdringlich waren. Diese Bauteile könnten bei einem zu heftigen Aufprall aber auch in Kontakt mit der Oberfläche des Himmelskörpers kommen. Auch wenn alles planmäßig verläuft, wird die Sonde an der Oberfläche des jeweiligen Himmelskörpers zu zerfallen beginnen, wodurch etliche Teile aus dem inneren unmittelbaren Kontakt zur Oberfläche haben werden. Weitere mögliche Sterilisationsverfahren wären Strahlung und Hitze. Strahlung kann sehr effizient sein, vor allem wenn es darum geht, sehr schwer zu erreichende Stellen zu reinigen. Der Einsatz von Strahlung hat jedoch das Problem, dass diese eine sehr viel kleinere Auswirkung auf Mikroorganismen hat als auf höhere Lebensformen. Bei einer Sterilisation mithilfe von Strahlung würde man daher extrem hohe Mengen benötigen, welche wiederum eine negative Auswirkung auf Komponenten der Sonde haben könnten. Beim Einsatz von Hitze stieß man auf ähnliche Probleme. Etliche Mikroorganismen sind extrem hitzeresistent, in der Medizin wird für eine Sterilisation Hitze von ca. 160-170 °C für einige Stunden verwendet, was negative Auswirkungen auf etliche Geräte der Sonde haben könnte.

Nach etlichen Experimenten kam man bei der NASA zu dem Ansatz, trockene Hitze als Hauptsterilisationsmethode zu verwenden. Die Raumsonde würde 24 Stunden lang trockener Hitze von ca. 125 °C ausgesetzt werden.¹⁴ Bei dieser Hitze würde man die Sonde vom Großteil aller Organismen säubern und sämtliche technischen Geräte würden dies überstehen.

3.2.3 1961

Das von der NASA ins Leben gerufene und im August 1961 schlussendlich mit Ranger 1 gestartete Ranger Projekt war das erste, welches dokumentierte Hygienemaßnahmen

¹⁴ MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 41-42

durchzog.¹⁵ Neben dem Ziel, eine mögliche Kontamination zu vermeiden, versuchte man während des Ranger-Projekts so viel Informationen und Erfahrungen wie möglich zu sammeln, um für künftige Missionen zu lernen und bessere Verfahren entwickeln zu können.¹⁶ Zwischen 8 und 9 Monaten vor dem Missionsstart wurden alle Bauteile der Sonde gesammelt 24 Stunden lang trockener 125°C hoher Hitze ausgesetzt. Anschließend wurden sie einzeln nach ihrer Funktion getestet.¹⁷ Auf die ersten größeren Schwierigkeiten stieß man in der Zeit nach der ersten Sterilisation. Die Raumsonde wurde in dieser Zeit noch mehrmals getestet und daraufhin modifiziert, währenddessen wurde sie von einer Testeinrichtung zur nächsten verschickt.¹⁸ Dies machte eine erfolgreiche Sterilisation sehr schwierig. Die Sonde wurde immer wieder mit Alkohol gereinigt und nur in speziellen möglichst keimfreien Behältern verschickt, dennoch hielt man dies nicht für ausreichend. Daher begann man schon für zukünftige Missionen mit der Entwicklung von Verfahren in welchen flüssige oder fettige Sterilisationsmittel zum Transport verwendet werden. Nachdem alle Tests abgeschlossen waren, wurde die Sonde an der Spitze der Startrakete in einer Metallkammer untergebracht. Darüber war eine Kunststoffschicht angebracht, um eine zusätzliche Kontamination zu vermeiden. Danach wurde die Sonde in diesem Raum 11 Stunden lang mit Ethylen Oxid erneut sterilisiert. Dies fand an einer explosionsicheren Struktur in der Nähe der Startrampe statt.¹⁹

3.2.4 1963-1972

Da man nun auch begann Mondlandemissionen zu planen, stieg die Wichtigkeit, die man Planetary Protection, zu dieser Zeit von der NASA noch als Planetary Quarantine Program bezeichnet, gab, immer weiter. Lawrence B. Hall, zuvor leitender Angestellter

¹⁵ NASA: Planetary Protection History URL: <https://planetaryprotection.jpl.nasa.gov/organic-materials-archive>. Stand: 28.12.2017

¹⁶ Vgl. QUIMBY Freeman H.: Proceedings of Conference on Spacecraft Sterilization. Washington, DC: NASA. 1962 S. 20

¹⁷ Vgl. MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 48

¹⁸ Vgl. QUIMBY Freeman H.: Proceedings of Conference on Spacecraft Sterilization. Washington, DC: NASA. 1962 S. 5-6

¹⁹ Vgl. MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 49

im US Gesundheitswesen, wurde im August 1963 der erste Planetary Quarantine Officer der NASA. Das Planetary Quarantine Büro hatte recht wenige Mitarbeiter und konzentrierte sich hauptsächlich darauf ein breites Spektrum an Dienstleistern zu finden, welche die notwendige Forschung durchführten. Beispiele dafür sind:

- Das Illinois Institute of Technology erforschte das Überleben von terrestrischen Bakterien unter simulierten außerirdischen Bedingungen. Von besonderem Interesse war die Vermehrung von Bakteriensporen, nachdem sie einer simulierten Mars-Umgebung ausgesetzt wurden. Diese Daten halfen beim Berechnen der Kontaminationswahrscheinlichkeit am Mars und anderen Planeten.
- Das Massachusetts Institute of Technology führte eine ähnliche Studie durch, in der die Überlebensfähigkeit von Bakterien unter extremen Bedingungen genauer erforscht wurde. Zu diesen extremen Bedingungen zählten hohe Hitze, Ultraviolett- und Gammastrahlung sowie Ultra-high Vakuum. Dieses liegt ab einem Druck von unter 10^{-7} Pascal vor.
- Die Wilmot Castle Company of New York führte eine Studie durch, in der die Trockenhitzeresistenz von etlichen sporenbildenden Mikroorganismen untersucht wurde, um bessere Sterilisationsverfahren entwickeln zu können.
- Die Grumman Aircraft Engineering Corporation of New York führte ein für die Raumfahrt relevantes Experiment durch, in der Überlebensfähigkeit und Wachstum von terrestrischen Bakterien im Inneren einer geschlossenen, künstlichen Umgebung getestet wurde.
- Die Northrop Corporation of California erforschte die negativen Auswirkungen von Sterilisationsverfahren auf einen theoretischen Mars-Lander, im Speziellen die Resistenz etlicher Geräte der Raumsonde in Verbindung mit hohen Trockenhitzetemperaturen und dem Kontakt mit Ethylen Oxid.
- Die Florida State University entwickelte Wahrscheinlichkeitsmodelle zu verschiedenen Dekontaminationsverfahren bei speziellen Raumsonden.

- Das Stanford Research Institute in Kalifornien bewertete das damals verwendete Wahrscheinlichkeitsmodell zu den unterschiedlichen Kontaminationsgefahren.²⁰

Diese Forschungen erwiesen sich für die Sterilisationsverfahren, welche an den Apollo-Missionen angewendet wurden, als notwendig.

Die Apollo-Missionen waren zwar größtenteils bemannt, jedoch die bisher einzigen bei welchen Maßnahmen zur Vermeidung von Rückwärts Kontamination durchgeführt wurden. Um in die möglichen Vorkehrungen bei zukünftigen unbemannten Missionen einen besseren Einblick zu bekommen, werde ich die bei den Apollo Missionen durchgeführten Maßnahmen daher etwas genauer betrachten.

Im Rahmen des Apollo-Projekts der NASA landeten im Zeitraum von 1969 bis 1972 insgesamt 12 Personen in 6 Missionen am Mond, welche alle wieder auf die Erde zurückkehrten. Als man begann diese bemannten Missionen zu planen, wurden von verschiedenen Wissenschaftlern starke Kontaminationsbedenken geäußert. Man hielt die Möglichkeit einer Lebensform am Mond zwar für extrem unwahrscheinlich, dennoch konnte man die möglichen fatalen Folgen von vom Mond mitgebrachten Organismen nicht außer Acht lassen. Am 29. und 30. Juli 1964 wurde in Washington DC eine Konferenz gehalten, in welcher man besprach wie wahrscheinlich es wäre, dass zur Erde zurückkehrende Missionen für uns schädliche Organismen mittransportieren, sowie wie man damit umgehen sollte.²¹ Aus dieser Konferenz folgten Empfehlungen für sämtliche wieder auf die Erde zurückkehrende Gegenstände, Astronauten sowie mitgebrachte Proben. Diese Empfehlungen wurden später zu Richtlinien:

- Alle auf die Erde gebrachten Objekte müssen nach ihrer Ankunft sofort streng isoliert werden. Dort müssen sie dann gründlich nach biologischen Anzeichen untersucht werden, bis man eine Kontaminationsgefahr ausschließen kann.
- Die Astronauten sollen nach ihrer Rückkehr 3 Wochen lang unter Quarantäne gestellt werden, einige Wissenschaftler schlugen hierbei 4-5 Wochen vor.

²⁰ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S.55-57

²¹ Vgl: BROWN, Allan H.: Conference on Potential Hazards of back Contamination from the Planets. 29-30 July 1964. Space Science Board, National Academy of Sciences, 2101 Constitution Avenue, N.W. Washington DC. 1965. S.3 (Preface)

Weiters schlug man bei dieser Konferenz vor, dass die NASA so schnell wie möglich an der Umsetzung dieser Vorkehrungen arbeiten möge, sowie dass sie in ihren Apollo-Testflügen Planetary Protection Relevante Versuche durchführen sollten, um eine Kontaminationswahrscheinlichkeit weiter verkleinern zu können.²²

Die NASA kam diesen Empfehlungen nach und verbrachte die nächsten Jahre mit dem Entwickeln und Verbessern von Vorkehrungen.

Die bei den Missionen durchgeführten Maßnahmen um Rückwärts-Kontamination zu vermeiden, begannen kurz vor dem Start des Rückflugs. Die Astronauten versuchten bewusst so wenig unbeabsichtigtes Mondmaterial als möglich auf ihrem Equipment mitzunehmen und ließen ihre äußerste Schuhabdeckung und Rucksäcke am Mond zurück. Nach dem Start der Landekapsel reinigten die beiden Astronauten, die den Mond betreten hatten, jene mithilfe von Vakuumbürsten vor dem Andocken an dem den Mond umkreisenden Kommandomodul, in welchem sich der dritte Astronaut befand. Nach dem Andocken wurde die Landekapsel erneut gereinigt, dieses Mal mit ständig durch Lithiumhydroxid-Filterbetten geleitetem Gas über einen Zeitraum von 5 Stunden. Damit keine Partikel vom Landemodul in das Kommandomodul gelangen konnten, hielt man im Kommandomodul einen höheren Luftdruck als im Landemodul. Das Gas floss somit aus dem Landemodul hinaus, und nicht ins Kommandomodul hinein. Dennoch wurde auch das Innere des Kommando-Moduls während des Rückflugs mehrfach gereinigt. Dazu wurden ebenfalls Vakuumbürsten und Lithiumhydroxid-Filter verwendet.²³ Der erste Schritt nach der Landung war die Astronauten selbst in dem Mobile Quarantine Facility (MQF) unterzubringen, in welchem diese auch die nächsten 21 Tage verbrachten. Anschließend wurde der zur Erde zurückgekehrte Teil des Raumfahrzeuges mithilfe eines Schiffskrans angehoben und auf die Höhe des MQF gebracht, durch einen Plastiktunnel wurden dann sämtliche Proben und Aufnahmematerial in dieses gebracht. Das Raumschiff selbst wurde isoliert in das Lunar Receiving Laboratory (LRL) transportiert und dort untergebracht. Im MQF untergebrachte Proben wurden anschließend auch noch ins LRL gebracht. Die

²² Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 120-121

²³ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 195-196

Bergungsmannschaft verbrachte ebenfalls die anschließenden 21 Tage im MQF.²⁴ Die Funktionsweise des MQF was, dass im Inneren ein niedriger Druck aufrechterhalten wurde und jegliche zufließende Luft gefiltert wurde.²⁵ Im LRL wurde das Raumfahrzeug mit Desinfektionsmittel gereinigt, anschließend auf 43 °C erhitzt und 24 Stunden lang mit Formaldehydgas gesäubert. Die mitgebrachten Proben wurden in speziellen Containern in das LRL transportiert. Dort wurde das Äußere des Containers UV-Licht ausgesetzt und mit Peressigsäure gewaschen. Danach wurden die Behälter mit sterilem Wasser gespült und durch eine Vakuumschleuse in die Hauptvakuumkammer gebracht. In dieser fanden auch die ersten Untersuchungen der Mondproben statt. Ca. ein Monat später wurden die Proben nach genauer biologischer Untersuchung als frei von jeglichen Organismen erklärt und aus dem LRL entlassen.²⁶

3.2.5 1972-1974

Nach dem erfolgreichen Abschließen der Apollo Missionen und dem damit verbundenen Ende des Wettlaufs ins All wurde das Budget der NASA stark gekürzt. Dies hatte den damaligen kompletten Stopp von bemannten Raumfahrtmissionen zur Folge, da die unbemannte Raumfahrt in etlichen Aspekten, unter anderem auch bezüglich der Sterilisation, einfacher und günstiger war. Für diese unbemannten Missionen setzte sich die NASA nun andere weniger erforschte Himmelskörper zum Ziel, weshalb auch die Sterilisationsverfahren weiter verbessert werden mussten.

3.2.6 1975-1976

Mit den gegen Ende des Jahres 1975 gestarteten Raumsonden Vikings 1&2 gelangte Mitte 1976 erstmals eine von Menschen errichtete Sonde auf die Marsoberfläche. Da für den Mars sehr große Kontaminationsbedenken herrschen, und da die Vikings Sonden selbst nach einer Form von Leben suchten und somit „false positive“

²⁴ Vgl: HARRIS William (2018): Planetary Protection on Apollo 11. URL: <https://science.howstuffworks.com/nasa-planetary-protection6.htm>. Stand: 20.02.2018

²⁵ Wikipedia (2018): Mobile Quarantine Facility. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_Quarantine_Facility. Stand: 20.02.2018

²⁶ Vgl: HARRIS William (2018): Planetary Protection on Apollo 11. URL: <https://science.howstuffworks.com/nasa-planetary-protection6.htm>. Stand: 20.02.2018

Ergebnisse dringend vermieden werden sollten, musste man in Bezug auf die Sauberkeit von Organismen noch strenger sein.

Schon 1969 wurde 6 Jahre vor dem Start das heute immer noch bestehende Unternehmen „Bionetics“ gegründet, mit dem speziellen Zweck NASAs Planetary Quarantine Program bei den Viking Missionen zu unterstützen. Mit einem 1972 erhaltenen Budget von 1 Million \$ unterstützte es die NASA dabei die Sterilisationsmethoden zu verbessern.

Beide Viking Sonden bestanden aus einem Orbiter und einem Lander. Zusätzlich am Lander angebracht waren noch eine Landekapsel, welche diesen abbremste und vor Hitze schützte, sowie ein Bioshield, welches diesen kurz vor sowie während des Raketenstarts vor dem Eintreten von terrestrischen Organismen schützte. Am Lander waren etliche neu entwickelte Geräte untergebracht, welche alle sterilisiert werden mussten. Von COSPAR ausgehend durfte zur damaligen Zeit bei einer Sonde zur Marsoberfläche die Kontaminationswahrscheinlichkeit nicht höher als $4,4 * 10^{-4}$ sein. Um eine Kontamination an der Marsoberfläche einleiten zu können müsste ein Mikroorganismus Folgendes überstehen:

- Sämtliche Sterilisationsverfahren
- Vakuum sowie extreme Temperaturen im Weltraum
- Den Ultravioletten Strahlungsfluss im Weltall
- Den Eintritt in die Marsatmosphäre
- Die Landung an der Marsoberfläche

Nach dem Überleben all dieser Situationen, müsste der Organismus anschließend aus der Sonde austreten und müsste sich auf der Marsoberfläche tatsächlich ausbreiten.

Beim Berechnen der Kontaminationswahrscheinlichkeit werden alle diese Faktoren in Betracht gezogen.

Um diesen vorgegebenen Prozentsatz einhalten zu können, mussten nicht nur sämtliche Teile der Sonde sterilisiert werden, Lander und Orbiter eingeschlossen, sondern auch die oberste Raketenstufe, da für diese auch eine

Aufprallswahrscheinlichkeit an der Marsoberfläche bestand.²⁷ Nach längerer Forschung entschied man sich dazu, ein Trockenhitze-Sterilisationsverfahren, genannt DHMR stehend für dry heat microbial reduction, zu verwenden. Die Durchführung dieses Sterilisationsverfahrens besteht aus vier grundlegenden Schritten:

1. Für die Sonde müssen möglichst hitzeresistente Materialien ausgewählt oder neu entwickelt werden, damit diese die hohen Temperaturen des Sterilisationsverfahrens überstehen.
2. Für diese Materialien müssen eigene Fertigungsprozesse entwickelt werden, bei denen so wenig biologische Last als möglich anfällt.
3. Einige Bauteile, welche eine spezielle meist verstärkte Sterilisation benötigen, werden einzeln dieser unterzogen.
4. Die gesamte Raumsonde wird sterilisiert, anschließend wird sie bis zum Raketenstart hermetisch verschlossen.²⁸

Das bei den Vikings-Sonden angewendete Sterilisationsverfahren verwendete Hitze von 111,7°C über einen Zeitraum von 30 Stunden, einige einzelne Teile wurden zusätzliche bei Temperaturen zwischen 125 und 145°C sterilisiert.

3.3 1976-heute

Bis heute unterscheiden sich die zur Vermeidung von Vorwärts Kontamination durchgeführten Maßnahmen bei jenen Missionen, für welche die größte Kontaminationsgefahr besteht, kaum von denen der Viking-Sonden. Die hauptsächliche von COSPAR herbeigeführte Änderung ist eine klare Struktur, für welche Missionen welche Maßnahmen erforderlich sind. Dies erfordert auch zwangsläufig das Erstellen etlicher auf die Mission abgestimmter, spezifischer Dokumente, welche um einiges mehr an Zeit erfordern, als die wirkliche Sterilisation. Zwei Beispiele für Änderungen an den Vorschriften von COSPAR seitdem:

²⁷ Vgl: MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA's Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011 S. 247-258

²⁸ Vgl: HALL, Lawrence B. Sterilizing Space Probes. April 1966. S. 50-61

3.3.1 1984

Cospar führt erstmals Kategorien ein (I-IV), in welche Missionen bezüglich der zur Vermeidung von Vorwärts Kontamination notwendigen Maßnahmen eingeteilt werden. Diese beziehen sich auf das Missionsobjekt sowie den Missionstypen.²⁹

3.3.2 2003

COSPAR führt eine Unterkategorie der Kategorie IV ein, wonach für spezielle Marsregionen verstärkte Sterilisation notwendig ist. In diesen Regionen hält man entweder die Möglichkeit von Marsleben für wahrscheinlicher oder terrestrische Organismen könnten sich durch die dort herrschenden Bedingungen leichter vermehren.³⁰

3.4 Nahe Zukunft

Die NASA plant innerhalb der nächsten Jahrzehnte mithilfe der Mission „Mars Sample Return“ Proben von der Marsoberfläche auf die Erde zu bringen. Dies erfordert höchstwahrscheinlich das Entwickeln neuer Verfahren, um die Gefahr einer Rückwärts-Kontamination zu vermeiden. Durch die damit verbundenen Forschungen könnten etliche derzeit geltende Planetary Protection Maßnahmen komplett geändert oder überarbeitet werden.

²⁹ Siehe Kapitel 4 für eine genauere Erklärung

³⁰ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Office of Planetary Protection. Planetary Protection History URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/history>. Stand: 28.12.2017

4 Die heutigen Vorschriften

4.1 COSPAR

Planetary Protection ist derzeit ein UN-Abkommen, welches von COSPAR, stehend für Committee on Space Research, vollzogen wird. Dieses veröffentlicht auf Basis von regulären Begutachtungen vergangener Missionen Hygienevorschriften zur Vermeidung einer möglichen Kontamination, die Cospar Planetary Protection Policy, welche als Empfehlung für die Vorschriften der Weltraumagenturen gilt. Die durchgeführten Hygienemaßnahmen der NASA, sowie die der ESA stimmen größtenteils mit den von COSPAR veröffentlichten Vorschriften überein. Diesen zufolge gelten für die verschiedenen von diesen Agenturen gestarteten Missionen unterschiedliche Bedingungen, welche in 5 Kategorien unterteilt werden (I-V). Je höher die Kategoriennummer, desto größerer Wert wird auf die Vermeidung einer möglichen Kontamination gelegt und desto strenger sind somit die einzuhaltenden Bedingungen. Die Kategorien I-IV widmen sich der Vermeidung von Vorwärts-Kontamination, Kategorie V betrifft alle wieder auf die Erde zurückkehrenden Missionen und dient somit zur Vermeidung von Rückwärts-Kontamination. Welcher Kategorie eine Mission zugeteilt wird, hängt einerseits vom Himmelskörper ab, welchen sich diese zum Ziel gesetzt hat. Andererseits hängt die Zuteilung vom Missionstyp ab, also ob sie am Zielobjekt nur vorbeifliegt (Flyby), sich in dessen Umlaufbahn begibt (Orbiter) oder auf diesem landet (Lander). Die Verantwortung über die Einhaltung der Vorschriften liegt immer bei der missionsleitenden Agentur. Die Hygienemaßnahmen können aus Dokumenten und Durchführungsverordnungen bestehen. Jede Mission muss zu Beginn ein missionsbeschreibendes Dokument an den derzeitigen Planetary Protection Officer der jeweiligen Weltraumagentur schicken. Nach diesem werden missionspezifische Maßnahmen festgelegt, ebenfalls wird die Mission einer der 5 Kategorien zugeteilt.³¹

³¹ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Office of Planetary Protection. Mission Requirements. URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/requirements>. Stand: 28.12.2017

4.2 Kategorie I

Die erste Kategorie beinhaltet all jene Missionen, deren Objekte weder von Interesse bezüglich ihrer Biologie, noch von Interesse bezüglich ihrer chemischen Evolution, „als chemische Evolution oder Abiogenese bezeichnet man den nicht vollständig bekannten Mechanismus der Entstehung von Lebewesen aus anorganischen und organischen Stoffen“³², sind. Es besteht keine Kontaminationsgefahr.³³

Die Objekte, auf welche dies zutrifft, sind:

Venus: Obwohl die Venus in Aspekten wie Größe, Masse und Aufbau der Erde sehr ähnlich ist, herrschen derzeit keine großen Bedenken einer möglichen Kontamination. Dies liegt an ihrer Oberflächentemperatur von über 450°C, ihrer aus Kohlendioxid bestehenden und Schwefelsäure enthaltenden extrem dichten Atmosphäre und dem Nichtvorhandensein von Wasser. Dies sind viel zu rauhe Umweltbedingungen für eine Form von Leben wie wir es kennen. Einige Wissenschaftler haben dennoch spekuliert, dass mikrobakterielles Leben in der Atmosphäre der Venus überleben könnte, wodurch die NASA diese als Kategorie II Objekt handhabt, obwohl sie in der von COSPAR veröffentlichten Vorschrift in Kategorie I zu finden ist.³⁴

Mond: Seit der ersten erfolgreichen Mission 1959 durch Luna 1 gab es noch keine Anzeichen von flüssigem Wasser, sowie keine Hinweise auf eine existierende oder je existiert habende biologische Aktivität am Mond. Daher ist laut des derzeitigen wissenschaftlichen Standpunkts das Potenzial von heimischem Mondleben vernachlässigbar und somit liegen auch keine Bedenken möglicher Vorwärts oder Rückwärts-Kontamination vor. Die NASA jedoch handhabt auch jenen derzeit wie ein Kategorie II Objekt.³⁵

Asteroiden, mit Ausnahme von Typ C-Asteroiden: Auf Asteroiden, welche als Überreste

³² Wikipedia (2017): Chemische Evolution. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Chemische_Evolution. Stand: 26.11.2017

³³ Vgl: COSPAR Planetary Protection Policy (2005). URL: <http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 23.02.2018 S.1-2

³⁴ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Solar System Bodies. Venus. URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/solarsystem/venus/> Stand: 30.10.2017

³⁵ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Solar System Bodies. Earth's Moon. URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/solarsystem/luna/> Stand: 30.10.2017

der Entstehung unseres Sonnensystems gelten, besteht keine wirkliche Möglichkeit des Vorhandenseins von uns bekanntem Leben.³⁶ Dennoch werden nur Asteroiden, welche keine Zeichen von Kohlenstoff aufweisen, dieser Kategorie entsprechend behandelt.

Alle Missionstypen (Flyby, Orbiter und Lander) werden, wenn eines der genannten Himmelskörper das Missionsziel ist, und sie nicht wieder auf die Erde zurückkehren, dieser Kategorie entsprechend gehandhabt.³⁷

Für diese Missionen sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

4.3 Kategorie II

Kategorie II umfasst alle Missionen, deren Ziel von wesentlichem Interesse bezüglich der chemischen Evolution und einer Möglichkeit von Leben ist, aber nur eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit einer Kontaminationsgefahr durch mitgebrachte Organismen besteht.³⁸

Die entsprechenden Objekte sind:

Jupiter/Saturn/Uranus/Neptun: Die vier äußeren Planeten werden auch als Gasriesen bezeichnet, da sie rund um ihren meist festen Kern hauptsächlich aus Gasen wie Wasserstoff oder Helium bestehen. Dieser Aufbau macht eine Form von Leben wie wir sie kennen und einer damit verbundenen Kontamination nur schwer möglich. Sie alle besitzen jedoch eine große Anzahl von Monden, von denen manche, primär Jupiter und Saturnmonde, für Astrobiologen von großem Interesse sind.

Pluto/Charon: Pluto und sein größter Mond Charon sind zwar im Vergleich zu erdnahen Planeten noch recht wenig erforscht, man kann aber vor allem auf Grund von seinem großen Sonnenabstand Leben fast komplett ausschließen.

Kometen: Kometen, welche wegen ihrer Zusammensetzung auch als schmutzige

³⁶ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Solar System Bodies. Comets and Asteroids. URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/solarsystem/comets-and-asteroids/> Stand: 30.10.2017

³⁷ Vgl: COSPAR Planetary Protection Policy (2005). URL: <http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 23.02.2018 S.4

³⁸ Vgl: COSPAR Planetary Protection Policy (2005). URL: <http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 23.02.2018 S.2

Eisbälle bezeichnet werden (obwohl eisige Schmutzbälle eigentlich korrekter wäre), bestehen hauptsächlich aus Eis vermischt mit Staub und Gesteinen. Es wird zwar spekuliert, dass Kometen einst sogar wichtige Bausteine für unser Leben auf die Erde brachten, eigene Formen von Leben sind ihrem Aufbau zufolge jedoch sehr unwahrscheinlich.

Typ C-Asteroiden: Diese Art der Asteroiden machen ca. 75% aller Asteroiden aus und unterscheiden sich zu den restlichen darin, dass sie Formen von Kohlenstoff aufweisen.³⁹ Da Kohlenstoff als Grundlage des Lebens gilt, wird für Missionen zu diesem Asteroidentyp etwas mehr gefordert als von den restlichen, dennoch hält man irgendeine Form von Leben für kaum möglich.

Objekte des Kuiper-Gürtels: Der Kuiper-Gürtel ist ein sich außerhalb der Planeten unseres Sonnensystems befindender Asteroidengürtel. Da Typ-C Asteroiden seinen größten Bestandteil ausmachen und sich dort keine weiteren interessanten Objekte befinden, ist er in der gleichen Kategorie zu finden.

Ob Missionen dieser Kategorie zugeteilt werden, ist von Missionstypen unabhängig, sobald eines der genannten Objekte das Ziel ist, wird den Vorschriften dieser Kategorie entsprechend gehandelt.

Von diesen Missionen werden nur zusätzliche Dokumentationen zu den speziell für die jeweilige Mission vorgenommenen Maßnahmen gefordert. Das Erstellen eines kurzen Planetary Protection Plans ist notwendig, der hauptsächlich dazu dient, zu erläutern, wie die Mission die speziell vorgegebenen Schutzanforderungen erfüllen wird.

Dazu gefordert werden ein Pre-launch Report (= Bericht vor dem Start), der genau die Praktiken beschreibt, welche vollzogen werden, um die Forderungen einzuhalten; ein Post-launch Report (=Bericht nach dem Start) in welchem noch einmal die gesamten durchgeführten Schutzmaßnahmen analysiert werden, sowie einen End of Mission Report (=Bericht zum Missionsende) in welchem beschrieben wird, was mit der Mission nach dem Erreichen des Missionsziels geschieht, um z.B. den unerwünschten Aufprall auf einem anderen Himmelskörper von größerem biologischen Interesse zu vermeiden.⁴⁰ So wurde z.B. Cassini, eine in Kategorie II eingestufte Raumsonde, welche

³⁹ Vgl: Wikipedia (2017): C-type asteroid.URL: https://en.wikipedia.org/wiki/C-type_asteroid. Stand: 10.11.2017

⁴⁰ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Office of Planetary Protection. Mission Requirements. URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/requirements>. Stand: 28.12.2017

den Saturn mitsamt seinen Monden erforschte, nach dem erfolgreichen Abschließen der Mission geplant im Gasriesen Saturn versenkt, um sichergehen zu können, dass jene keinen der Monde verunreinigt, welche noch weniger erforscht und von größerem Interesse wären.

4.4 Kategorie III

Die Vorschriften der Kategorie III gelten für Missionen, deren angesteuerter Himmelskörper von großem Interesse betreffend seiner chemischen Evolution ist und/oder eine Möglichkeit von Leben besteht. Dadurch besteht eine signifikante Kontaminationsgefahr, welche einen Einfluss auf künftige Missionen haben könnte. Die immer zutreffenden Objekte sind:

Mars: Nach der Erde mit ihrem Mond ist der Mars das am besten erforschte astronomische Objekt. Lebende Organismen gelten derzeit für ziemlich unwahrscheinlich, dennoch kann man es noch lange nicht ausschließen, dass es dort einmal eine Form von Leben gab oder dass sogar eine existiert. Hauptgründe dafür sind der Sonnenabstand (Mars befindet sich in der habitablen Zone), das Vorhandensein einer Atmosphäre und Wassereis an seinen Polkappen, sowie seine ausgeprägte Geologie.

Europa: Europa ist einer der vier großen Jupitermonde und trotz seiner niedrigen Oberflächentemperatur von höchstens -150°C befindet sich unter seiner Oberfläche – einer Eisschicht – ein geschätzt 100 km tiefer Ozean aus flüssigem Wasser. Jegliche Lebensformen hält man zwar auch für eher unwahrscheinlich, gelten aber vor allem daher, dass er noch recht wenig erforscht ist, auf jeden Fall für möglich.⁴¹

Missionstypen sind hauptsächlich Flyby und Orbiter, also jene welche keinen direkten Kontakt zum jeweiligen Himmelskörper haben.

Die Maßnahmen fordern Dokumentation und ein paar Durchführungsverordnungen. Dokumentation wird dieselbe verlangt wie in Kategorie II mit den Zusätzen eines Contamination Control Berichtes, sowie falls notwendig ein Organics Inventory. Im Contamination Control Bericht wird genau analysiert wie und wo eine mögliche

⁴¹ Vgl: Wikipedia (2017): Europa (Mond).URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_(Mond)). Stand: 26.12.2017

Kontamination stattfinden könnte. Darauf aufbauend muss später auch praktisch die Flugbahn angepasst werden.⁴²

Oft werden beabsichtigt organische Materialien von der Erde mitgenommen. Sobald der organische Bestandteil größer als 1kg ist, ist dieser in einem Organics Inventory genau zu dokumentieren, um mögliche Änderungen erkennen zu können, aber auch um „false positiv“ Ergebnisse zu vermeiden.⁴³

Ab Kategorie III ist der Einsatz von Cleanrooms erforderlich, in welchen die hauptsächlich Sterilisationsarbeit verrichtet wird. Durch den Einsatz von Laminar-Flow Systemen und fortschrittlichen Filtersystemen können Faktoren wie die Partikeldichte der Luft, Temperatur, Feuchtigkeit und Druck sehr gut kontrolliert werden. Damit diese Werte nicht gestört werden, gibt es auch genaue Vorschriften zur Kleidung, welche in den Reinräumen getragen werden muss. Dies beinhaltet zumeist Haube, Maske, chirurgische Handschuhe, Stiefel und einen Schutzanzug. Die in den Reinräumen verrichtete Sterilisation besteht aus zwei Phasen. In der ersten Phase, DHMR, wird das jeweilige Bauteil und abschließend noch einmal die gesamte Sonde trockener Hitze ausgesetzt, wobei Temperatur und Dauer stark von der Mission abhängen. Der typische Bereich liegt bei ca. 100-150°C. Anschließend folgt die zweite Phase, VHP, in der Wasserstoffperoxid als Sterilisationsmittel der Sonde verwendet wird. Man unterscheidet Reinräume in verschiedene Klassen, welche Klasse mindestens verwendet werden muss, hängt immer von der Mission ab.⁴⁴

4.5 Kategorie IV

Die Vorschriften der Kategorie IV treffen auf dieselben Objekte wie die der vorherigen Kategorie zu - von großem Interesse bezüglich einer chemischen Evolution und einer Möglichkeit von Leben, zusätzlich besteht eine signifikante Kontaminationsgefahr.

⁴² Vgl: COSPAR Planetary Protection Policy (2005). URL: <http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 23.02.2018 S. 2

⁴³ Vgl: NASA (2017): Organic Materials Archive. URL: <https://planetaryprotection.jpl.nasa.gov/organic-materials-archive>. Stand: 28.12.2017

⁴⁴ Vgl: MOGUL, Rakesh (2017): Office of Planetary Protection. Mission Requirements. URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/requirements>. Stand: 28.12.2017

Die Himmelskörper sind somit auch hier: Mars, Europa.

Den Unterschied findet man bei den Missionstypen, die Maßnahmen dieser Kategorie treffen nur auf Lander zu. Da diese unmittelbaren Kontakt zur Oberfläche des Himmelskörpers haben, werden von ihnen verstärkte Maßnahmen gefordert.

Zu den bereits in der vorherigen Kategorie geforderten Maßnahmen kommen hier noch ein paar zusätzliche, welche primär auf den direkten Kontakt ausgelegt sind.

Die zusätzlichen Anforderungen beinhalten folgende Dokumente:

Pc(=probability of contamination) analysis Plan: Darin wird basierend auf dem derzeitigen Wissen über das Objekt die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination errechnet. Weiters ein Microbial reduction Plan sowie ein Microbial assay plan.⁴⁵

Praktisch ist für einige Bauteile des Landers, hauptsächlich jenen welchen direkten Kontakt zur Oberfläche des Himmelskörpers haben, eine genauere Sterilisation notwendig. Meist verlangt dies das Verwenden höherer Temperaturen oder eine längere Dauer bei einem Hitzesterilisationsverfahren. Ebenfalls notwendig ist ein Bioshield, eine um den Lander gebaute Schutzhülle, welche das Eintreten von terrestrischen Organismen vor und während des Raketenstarts verhindert.

4.6 Kategorie V

Kategorie V betrifft alle Missionen, welche nach ihrem Weltraumaufenthalt wieder auf die Erde zurückkehren und dient somit hauptsächlich zur Vermeidung von Rückwärts Kontamination. Ihr Zweck ist es die Erde mitsamt ihrer Biosphäre, sowie den Mond, vor ungewollt mitgebrachten Organismen zu schützen. Der Mond wird auch geschützt, um weiterhin ermöglichen zu können, dass für reine Erd-Mond Flüge keine bis kaum relevante Maßnahmen gelten. In Kategorie V wird zwischen „restricted“ und „unrestricted Earth return“, also eingeschränkter oder uneingeschränkter Rückkehr zur Erde, unterschieden.

„Unrestricted Earth return“ trifft auf Missionen zu, welche sich ein in unserem Sonnensystem befindendes Ziel gesetzt haben, auf welchem eine existierende Form von Leben nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft ausgeschlossen werden kann.

⁴⁵ Vgl: COSPAR Planetary Protection Policy (2005). URL: <http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 23.02.2018 S.2

Der Mond ist jedoch das einzige Objekt, bei welchem jede wieder auf die Erde zurückkehrende Mission automatisch „unrestricted“ ist.

Für diese Missionen gelten die Vorschriften so, als würden sie nicht zurückkehren. In so gut wie allen Fällen betrifft dies Kategorie I oder II.

Auf alle anderen Missionen trifft „Restricted Earth return“ zu. Die einzigen Objekte, die immer automatisch als „restricted“ zählen sind Mars und Europa. Bei den Missionen dieser Klassifizierung gilt der höchste Grad der Besorgnis. Für den Hinflug gelten noch genau dieselben Maßnahmen zur Vermeidung von Vorwärts-Kontamination, welche auch ohne Rückkehr gelten würden. Sobald die Sonde aber den Rückflug einleitet, muss sämtliche Hardware, welche direkten Kontakt zur Oberfläche des Himmelskörpers hatte, in einem Sicherheitsbehälter eingedämmt werden, damit sich für den Fall einer mitgenommenen außerirdischen Lebensform diese nicht weiter ausbreiten kann. Zurück auf der Erde muss diese schnellstmöglich unter Eindämmung und durch die strengsten Techniken genauer untersucht werden. Falls man irgendein Zeichen zur Existenz einer außerirdischen Lebensform findet, müssen die Teile weiterhin eingeschlossen bleiben.⁴⁶ Bisher fand jedoch noch keine einzige unbemannte „Restricted Earth Return“ Mission statt.

⁴⁶ Vgl: COSPAR Planetary Protection Policy (2005). URL: <http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 23.02.2018 S.2,3

5 Fazit

Verschiedenste Weltraumagenturen haben schon seit den ersten Raumfahrtforschungen beachtliche Bemühungen unternommen, um eine Kontamination durch Mikroorganismen so gut als möglich ausschließen zu können. Auch bei künftigen Missionen werden weitere Vorgehen notwendig sein, um eine Kontaminationswahrscheinlichkeit bei der jeweiligen Mission soweit es geht zu verringern.

Fremde Mikroorganismen können nach dem Transport in ein System verschiedenste Veränderungen in diesem herbeiführen, welche für dieses oft negativ sind. Die in der Raumfahrt herrschenden Bedingungen zur Hygiene, welche als Planetary Protection bekannt sind, sollen genau das auf unserem Heimatplaneten sowie auf fremden Himmelskörpern vermeiden. Dass solche Bedingungen notwendig sind, erkannte man schon vor dem Start der ersten Weltraummission, bei der ersten Mission zu einem fremden Himmelskörper wurden auch bereits Maßnahmen durchgeführt. Es musste eine weltweit geltende Struktur gefunden werden sowie Maßnahmen, welche die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination verringern. Die Maßnahmen änderten sich seitdem einige Male, wobei die größten Änderungen immer im Zusammenhang mit größeren Missionszielen standen, z.B. der ersten Mission zum Mond oder der Marsoberfläche.

Heutzutage ist Planetary Protection ein UN-Abkommen, welches von COSPAR, dem Committee of Space Research, vollzogen wird. Die bei einer Mission durchgeführten Hygienemaßnahmen müssen von COSPAR akzeptiert werden, das Komitee veröffentlicht hierzu als Empfehlung geltende Vorschriften. Diese Vorschriften unterteilen sich in 5 Kategorien. Die ersten 4 Kategorien sollen den Transport von Organismen von der Erde auf fremde Objekte vermeiden, daher dienen sie primär zum Schutz der fremden Himmelskörper. Die durchzuführenden Maßnahmen reichen abhängig von Missionstyp und Missionsziel vom Erstellen einiger Dokumente bis zur mehrmaligen Sterilisation aller Einzelteile, und abschließend der gesamten Sonde, in Cleanrooms. Als Sterilisationsverfahren verwendet man trockene Hitze (100-150°C über meist ca. 20-30 Stunden) sowie die Reinigung mit Wasserstoffperoxid (meist ~10 Stunden). Wichtig ist auch der sorgfältige Transport der Einzelteile nach der

Sterilisation.

Kategorie 5 widmet sich unserem Schutz und soll den Transport von fremden Organismen zur Erde verhindern. Diese Vorschriften sind zurzeit aber noch sehr vage formuliert und werden erst bei zukünftigen Missionen eine größere Rolle spielen.

Das Interesse an der Raumfahrt steigt ständig und wir setzen uns immer größere Missionsziele. Dementsprechend wird Planetary Protection auch eine immer größere Rolle spielen, wir haben mit dem Erkunden von Himmelskörpern, welche uns aufgrund ihrer Biologie interessieren, gerade erst begonnen. Mit der Weiterentwicklung sämtlicher Raumfahrtstechnologien und dem Erweitern unseres kosmischen Radius werden auch sämtliche Planetary Protection Maßnahmen verbessert werden müssen.

6 Literaturverzeichnis

COSPAR (2002) Planetary Protection Policy. URL:

<http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>. Stand: 24.03.2005

HALL Lawrence B.: Sterilizing Space Probes. April 1966

HARRIS William (2018): Planetary Protection on Apollo 11. URL:

<https://science.howstuffworks.com/nasa-planetary-protection6.htm>. Stand: 20.02.2018

LEDERBERG, Joshua: Exobiology: Approaches to Life beyond the Earth. Nice, Frankreich 1960

MELTZER, Michael: When Biospheres collide. A History of NASA`s Planetary Protection Programs. Washington: U.S. Government Publishing Office 2011

MOGUL, Rakesh (2017): Solar System Bodies. Comets and Asteroids. URL:

<https://planetaryprotection.nasa.gov/solarsystem/comets-and-asteroids/> Stand: 30.10.2017

MOGUL, Rakesh (2017): Office of Planetary Protection. Mission Requirements. URL:

<https://planetaryprotection.nasa.gov/requirements>. Stand: 28.12.2017

MOGUL, Rakesh (2017): Office of Planetary Protection. Planetary Protection History

URL: <https://planetaryprotection.nasa.gov/history>. Stand: 28.12.2017

MOGUL, Rakesh (2017): Solar System Bodies. Earth`s Moon. URL:

<https://planetaryprotection.nasa.gov/solarsystem/luna/> Stand: 30.10.2017

MOGUL, Rakesh (2017): Solar System Bodies. Venus. URL:

<https://planetaryprotection.nasa.gov/solarsystem/venus/> Stand: 30.10.2017

NASA (2017): Organic Materials Archive. URL:

<https://planetaryprotection.jpl.nasa.gov/organic-materials-archive>. Stand: 28.12.2017

News of Science: Development of International Efforts to Avoid Contamination of Extraterrestrial Bodies. 19. Oktober 1958

PHILLIPS R. Charles: The Planetary Quarantine Program, Origins and Achievements 1956-1973. Washington: NASA. 1974

QUIMBY Freeman H.: Proceedings of Conference on Spacecraft Sterilization. Washington, DC: NASA. 1962

Wikipedia (2017): Chemische Evolution.URL:
https://de.wikipedia.org/wiki/Chemische_Evolution. Stand: 26.11.2017

Wikipedia (2017): C-type asteroid.URL: https://en.wikipedia.org/wiki/C-type_asteroid.
Stand: 10.11.2017

Wikipedia (2017): Europa (Mond).URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_(Mond)).
Stand: 26.12.2017

Wikipedia (2017): Kontamination (Medizin). URL:
[https://de.wikipedia.org/wiki/Kontamination_\(Medizin\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kontamination_(Medizin)). Stand: 18.07.2017

Wikipedia (2018): Mobile Quarantine Facility. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_Quarantine_Facility. Stand: 20.02.2018

Interessante Präsentationen zum Thema:

CONLEY, Cassie: Planetary Protection for Sample Return Missions. 5. März.2011. URL:
<https://www.lpi.usra.edu/meetings/sss2011/presentations/conley.pdf>

DEBUS, Andre: Planetary Protection for Sample Return Missions. Toulouse, Frankreich:
Juni 2008. URL: [http://sci.esa.int/Conferences/MarcoPolo-
ws08/Planetary_Protection_-_Andre_Debus.pdf](http://sci.esa.int/Conferences/MarcoPolo-
ws08/Planetary_Protection_-_Andre_Debus.pdf)

KMINEK, Gerhard; CONLEY, Cassie: Introduction to Planetary Protection. URL:
[http://www.mrc.uidaho.edu/~atkinson/IPPW/IPPW-7/Short%20Course/IPPW7-SC1-2-
Kmineck-Introduction.pdf](http://www.mrc.uidaho.edu/~atkinson/IPPW/IPPW-7/Short%20Course/IPPW7-SC1-2-
Kmineck-Introduction.pdf)

Selbstständigkeitserklärung VwA

Name: Sebastian Gorton-Hülgerth

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich diese vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Zustimmung zur Aufstellung in der Schulbibliothek

Ich gebe mein Einverständnis, dass ein Exemplar meiner vorwissenschaftlichen Arbeit in der Schulbibliothek meiner Schule aufgestellt wird.

Ort, Datum

Unterschrift

Hinweis: Diese Erklärung ist mit der ausgedruckten Arbeit zu binden.