

# Die Existenz extraterrestrischer Zivilisationen und ihre Implikationen für die politische Philosophie

von  
Nikodem Jan Skrobisz

Hausarbeit zum Seminar:

Mathematische Philosophie in der politischen Theorie und Ökonomie

Dozent:

Dr. Thomas Meier

Sommersemester 2022

Ludwig-Maximilians-Universität München

Fakultät für Philosophie, Wissenschaftstheorie und Religionswissenschaft

# Inhalt

1. Einleitung.....	1
2. Warum wir nicht allein sind.....	2
2.1 Zahllose Welten .....	2
2.2 Die Unwahrscheinlichkeit menschlicher Einzigartigkeit.....	2
2.2.1 Die Drake-Gleichung.....	2
2.2.2 Die A-Form der Drake-Gleichung .....	3
3. Wo die anderen Zivilisationen sind.....	4
3.1 Das Fermi-Paradoxon .....	4
3.2 Great Filter.....	5
3.2.1 Warum wir hoffen sollten, dass es andere Zivilisationen gibt .....	5
3.3 Hard Steps.....	6
3.3.1 Die Habitabilität von Planeten .....	6
3.3.2 Das Hard Steps Modell.....	6
3.4 Das Auftreten fortgeschrittenen Lebens .....	7
3.5 Menschliche Frühzeitigkeit und Grabby Aliens.....	8
3.6 Das Grabby Civilizations Modell.....	8
3.7 Eine Anmerkung zu UFOs .....	9
4. Was wir sonst noch über die anderen annehmen können .....	10
4.1 Universelle Merkmale biologischer Intelligenz.....	10
4.2 Extraterrestrische Zivilisationen sind intern heterogen.....	10
4.3 Extraterrestrische Sprachen sind vermutlich nicht übersetzbar.....	11
4.4 Hobbesscher Naturzustand im Universum .....	12
5. Sollten wir die Große Stille brechen?.....	13
6. Sollten wir uns verstecken?.....	14
7. Sollten wir uns für einen Erstkontakt vorbereiten?.....	15
8. Wie sollen wir mit existenziellen Risiken umgehen? .....	16
9. Wie sollten wir versuchen zu expandieren?.....	17
10. Was ist der Wert von Leben? .....	18
11. Haben wir eine überproportional große Verantwortung?.....	19
12. Schlussbemerkung .....	20
13. Quellen .....	21

# 1. Einleitung

"Indessen sind doch die meisten unter den Planeten gewiss bewohnt, und die es nicht sind, werden es dereinst werden", schreibt Immanuel Kant 1755 in *Von den Bewohnern der Gestirne*. (vgl. Kant 1755) Heute wissen wir, dass Kant was das 'meiste' und paar weitere Annahmen angeht, irrte. Doch die Grundposition Kants und vieler Philosophen seit der Antike (vgl. Brinkhof 2022), dass große Ignoranz notwendig ist, um zu glauben, die Menschheit wäre die einzige Zivilisation in unserem Universum, ist aktueller denn je. Und doch, die philosophischen Konsequenzen unseres Nicht-Alleinseins bleiben in der philosophischen Fachliteratur erstaunlich untererforscht. Während in den vergangenen Jahrzehnten, insbesondere im Rahmen von SETI, Physiker, Astrophysiker, Astrobiologen und sogar Ökonomen zahlreiche Beiträge zu unserem Verständnis von der Möglichkeit anderer Zivilisationen und der Bedeutung unserer eigenen im kosmischen Kontext lieferten, ignoriert die akademische Philosophie dieses eng mit existenziellen und normativen Fragen verbundene Thema heute weitestgehend. (vgl. Mulgan 2017) Dies schlägt sich unter anderem darin nieder, dass nicht einmal die *Stanford Encyclopedia of Philosophy* Stand August 2022 einen Eintrag zu dem Themenfeld verzeichnet.

Philosophen denken viel über unsere Welt und die richtigen Normen und Politiken in ihr nach. Aber es scheint, dass sie heute selten über den Horizont unseres Planeten, geschweige denn unserer Spezies hinauszublicken wagen. Im Gegensatz zu ihren Vorgängern in der Antike und während der Aufklärung, beschränken sich heute die Konzeptionen von der Welt implizit vor allem auf die Erde. (vgl. Mulgan 2017) Einen winzigen Planeten, einen verschwinden kleinen Ausschnitt der ganzen Welt, des Kosmos, der circa  $10^{25}$  weitere Planeten beheimatet, die wie unserer einen Stern umkreisen. (vgl. Siegel 2022)

Genauso wie unser Denken meist auf unseren Planeten geheftet bleibt, bleibt es auch meist nur auf die Menschheit und menschliche Akteure beschränkt. Unser Platz im Universum spielt im philosophischen und politischen Denken kaum eine Rolle. Wenn, dann dreht es sich vor allem um zwischenmenschliche Interessenkonflikte wie die Nutzung erdnahe Ressourcen, während die Wände der Gefängniszelle, die unser Planet ist, unter dem Druck des neuen, kommerziellen Weltlaufs ins All zu bröckeln beginnen (vgl. Weinzierl und Sarang 2021) und die Menschheit immer mehr potentiell bewohnbare Welten innerhalb und jenseits unseres Sonnensystems entdeckt. (vgl. Dick 2018)

Mit an Gewissheit grenzender Wahrscheinlichkeit sind wir in den Weiten des Kosmos nicht die einzigen Akteure, nicht die einzige Zivilisation – oder werden zumindest nicht lange die einzige bleiben. Die komplette Ausklammerung von extraterrestrischen Akteuren in unseren aktuellen normativen und politischen Überlegungen ist bequem, schließlich hatten wir noch keinen Kontakt zu ihnen, sodass sie in unserer bewussten Wahrnehmung weder existieren noch sonst unser Leben zu tangieren scheinen – aber sie ist ein Fehler.

Das Ziel dieser explorativen Arbeit ist es, auf dieses Defizit in der philosophischen und politischen Theoriebildung hinzuweisen und mögliche Forschungsthemen aufzuzeigen. Zuerst soll sie daher in Abschnitt 2 aufzeigen, warum wir annehmen müssen, dass die Menschheit nicht die einzige Zivilisation in unserem Universum ist. In Abschnitt 3 wird der aktuelle Stand der Forschung aufgearbeitet dazu, was wir darüber annehmen dürfen, wo die anderen Zivilisationen zurzeit sind und warum wir bisher noch keinen Kontakt zu ihnen hatten. In Abschnitt 4 sollen die Eigenschaften diskutiert werden, von denen wir annehmen können, dass sie für extraterrestrische Zivilisationen universell oder zumindest überproportional häufig sind. Aufbauend auf den in den Abschnitten 2, 3 und 4 präsentierten Prämissen zu extraterrestrischen Zivilisationen, sollen in den folgenden Abschnitten 5 bis 11 mögliche philosophische und politische Fragestellungen aufgezeigt werden.

## 2. Warum wir nicht allein sind

### 2.1 Zahllose Welten

1584 stellte der Philosoph und Astronom Giordano Bruno in seiner Schrift *De l'infinito universo et mundi* (dt. *Über das Unendliche, das Universum und die Welten*) die Theorie auf, dass die meisten Fixsterne an unserem Himmel Sonnen sind, die wie unsere von Planeten umkreist werden und von denen man annehmen kann, dass nicht wenige wie die Erde bewohnt sind. Für diese Thesen der vielen Welten folterte die katholische Inquisition ihn sieben Jahre lang, bevor ihn schließlich die Behörden 1600 in Rom räderten und als Ketzer auf dem Scheiterhaufen verbrannten. (vgl. Martínez 2018)

Heute wissen wir, dass Bruno, zumindest was die Existenz ferner Welten angeht, recht hatte. Über 5.000 solcher Exoplaneten sind heute bestätigt und wir haben Hinweise auf fast neuntausend weitere. (vgl. Exoplanets NASA 2022) Aktuelle Schätzungen gehen von insgesamt bis zu rund  $10^{25}$  Sonnen umkreisenden Planeten in unserem Universum aus. (vgl. Siegel 2022) Von den Exoplaneten, deren Existenz bereits als bestätigt gilt, sind 188 erdähnlich, dh. sie sind ungefähr so groß wie die Erde, haben einen harten Eisenkern und befinden sich in der habitablen Zone, liegen also im richtigen Abstand zu ihrem jeweiligen Stern, um flüssiges Wasser und damit theoretisch Leben zu ermöglichen. (vgl. Exoplanets NASA 2022) Aktuelle Schätzungen gehen davon aus, dass es allein in unserer Milchstraße – die eine von rund zwei Billionen Galaxien in unserem Universum ist – rund 300 Millionen solcher erdähnlichen und damit potentiell bewohnbaren Exoplaneten geben könnte. (vgl. SETI Institute 2020)

### 2.2 Die Unwahrscheinlichkeit menschlicher Einzigartigkeit

Selbst wenn man davon ausgeht, dass intelligentes Leben etwas extrem Seltenes ist, erscheint es angesichts dieser großen Zahl erdähnlicher Planeten plausibel, dass unser Planet nicht der einzige sein kann, der von einer intelligenten und Zivilisation bildenden Spezies wie der Menschheit bewohnt wird. Doch wie plausibel? Wie unwahrscheinlich müsste die Entstehung einer Zivilisation wie der unseren sein, damit wir die einzige im Universum wären?

#### 2.2.1 Die Drake-Gleichung

1961 stellte der Astronom Frank Drake die berühmte Drake-Gleichung vor, die eine grobe Schätzung ermöglichen soll wie viele Zivilisationen es aktuell in unserer Milchstraße gibt, die wie wir Technologien wie Radiokommunikation entwickelt haben, deren elektromagnetischen Emissionen wir in der Lage wären aufzuspüren. (vgl. Veisdal 2019):

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Wobei:

$N$  Zahl der Zivilisationen in unserer Milchstraße mit denen wir kommunizieren könnten

$R_*$  mittlere Sternentstehungsrate pro Jahr in unserer Galaxie

$f_p$  Anteil an Sternen mit Planeten

$n_e$  durchschnittliche Anzahl der Planeten (pro Stern) innerhalb der habitablen Zone

$f_l$  Anteil an Planeten mit Leben

$f_i$  Davon Anteil mit intelligentem Leben

$f_c$  Davon Anteil mit elektromagnetischen Emissionen / Kommunikationswillen

$L$  Durchschnittliche Lebensdauer solch einer technischen Zivilisation in Jahren

Das Problem mit der Drake-Gleichung ist jedoch, dass während wir mittlerweile sehr gute empirische Daten haben, um die Variablen  $R_*$ ,  $f_p$ ,  $n_e$  zu bestimmen, wir für die Variablen  $f_l$ ,  $f_i$ ,  $f_c$ ,  $L$  nur spekulative Schätzungen formulieren können, da wir aktuell nur eine einzige Zivilisation in unserem Universum kennen: uns selbst, und damit nur einen einzigen Datenpunkt haben. Solange wir nicht tatsächlich Kontakt zu anderen Zivilisationen hatten und mehr empirische Daten erhoben haben, lässt sie sich im besten Fall mit grober Stochastik, aber vor allem Fantasie und Spekulation füllen – womit sie relativ nutzlos ist, außer um eben zur Suche nach anderen zu inspirieren.

### 2.2.2 Die A-Form der Drake-Gleichung

Die Drake-Gleichung bietet jedoch einen Ansatz, der uns ermöglicht zu errechnen wie Unwahrscheinlich das Entstehen einer Zivilisation wie der unseren sein müsste, damit wir die einzige wären, die bisher jemals im beobachtbaren Universum entstanden ist. Diese Umformung der Drake-Gleichung in diese A-Form wurde 2016 von den Astronomen Frank Adams und Woodruff T. Sullivan vorgeschlagen. Diese A-Form eliminiert den Aspekt der aktuellen Existenz und damit die Lebensdauer von Zivilisationen  $L$  von der Drake-Gleichung, um die „cosmic archaeological question“ How often in the history of the Universe has evolution ever led to a technological species, whether short- or long-lived?“ (Adams, Sullivan 2016, S.2) zu formalisieren. Des Weiteren wird dafür  $R_*$  durch  $N_*$ , die Anzahl der Planeten ersetzt.

$$A = [N_* f_p n_e] \cdot [f_l f_i f_c] = N_{ast} f_{bt}$$

Wobei:

$A$  Archaeology. Wenn  $A = 1$  dann ist die Menschheit die einzige Zivilisation, die jemals im beobachtbaren Universum entstanden ist

$N_{ast}$  Die Anzahl der habitablen Planeten im beobachtbaren Universum

$f_{bt}$  Die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Zivilisation wie der unseren auf solch einem Planeten

Wenn wir nun die A-Form der Drake-Gleichung nach  $f_{bt}$  auflösen mit  $A=0.01$ , um mit einem hohen Konfidenzintervall auszuschließen, dass jemals eine andere Zivilisation außer uns entstanden ist, und für  $N_{ast}$  aus aktuellen empirischen Daten  $4 \cdot 10^{21}$  einsetzen (vgl. Adams, Sullivan 2016, S.4):

$$\overline{f_{bt}} = \frac{A}{N_{ast}} = \frac{0.01}{4 \cdot 10^{21}} = 2.5 \cdot 10^{-24}$$

Dann ergibt sich laut Adams und Sullivan für das beobachtbare Universum, dass wir nur mit hoher Sicherheit davon ausgehen können, die einzige jemals entstandene Zivilisation zu sein, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass eine Zivilisation auf einem habitablen Planeten entsteht, bei weniger als  $2.5 \cdot 10^{-24}$  liegt. Nur auf unsere eigene Galaxie, die Milchstraße gerechnet ist  $\overline{f_{bt}} = 1.7 \cdot 10^{-11}$ . D.h. wir könnten nur die einzige jemals entstandene Zivilisation in unserer Galaxie sein, wenn die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen einer solchen Zivilisation auf einem habitablen Planeten wie der Erde bei weniger als ungefähr eins zu 60 Milliarden liegt. (vgl. Adams, Sullivan 2016, S.4)

Wenn die Menschheit tatsächlich die einzige Zivilisation sein sollte, die jemals in unserem mittlerweile 13.787 Milliarden Jahre alten Universum (vgl. ESA 2018) entstanden ist, dann wäre unsere einzigartige Existenz solch eine unwahrscheinliche Anomalie, dass sie ohne eine sehr gute alternative Erklärung eine Form übernatürlicher, göttlicher Intervention als Erklärung für ihr Auftreten suggerieren würde. Die durch Ockhams Rasiermesser naheliegendere Lösung ist, dass wir nicht die einzigen sind.

### 3. Wo die anderen Zivilisationen sind

#### 3.1 Das Fermi-Paradoxon

Wo sind sie? Wo sind all die außerirdischen Zivilisationen, deren Existenz angesichts der Weite des Universums so plausibel erscheint? Trotz der eigentlich scheinbar hohen Wahrscheinlichkeit, dass wir nicht allein sind, sehen wir in unserem Lichtkegel keine Hinweise auf extraterrestrische Zivilisationen. Weder empfangen wir elektromagnetische Emissionen in Form von zum Beispiel Radiowellen, wie wir sie selbst mittlerweile seit mehreren Jahrzehnten emittieren, noch hatten wir Kontakt zu Von-Neumann-Sonden oder sehen wir am Nachthimmel Veränderungen durch mehrere AU große und damit beobachtbare Megastrukturen wie zum Beispiel Dyson-Spheres, die theoretisch einer Zivilisation, die höher entwickelt ist als wir selbst, möglich wären. (vgl. Kardashev 1985, S.498)

Diese Abwesenheit wird in ihrer Sonderbarkeit durch die Tatsache verschärft, dass alles uns bekannte Leben durch den evolutionären Selektionsdruck die Eigenschaft entwickelt hat in jede mögliche ökologische Nische zu expandieren. So wie die Menschheit quasi die gesamte Erde kolonialisiert hat, ist es nur folgerichtig anzunehmen, dass eine technologisch noch fortschrittlichere Zivilisation versuchen würde über Sonnensysteme hinweg zu expandieren. Selbst eine Zivilisation, die aus Virtual-Reality-Junkies besteht, würde durch einen steigenden Bedarf an Energie und Rechenleistung zur Expansion getrieben – wenn nicht schon davor einzelne Individuen auf eigene Faust zu neuen Welten aufbrächen, um den Wettbewerbsvorteil zu haben als Erste in noch unbesiedeltem Territorium zu sein. (vgl. Hanson 1998) Sobald eine Zivilisation also die technologischen Möglichkeiten hat, über das eigene System hinaus zu expandieren, sollte sie eher früher als später sich explosiv über ihre Galaxie ausbreiten und diese innerhalb von einer kosmisch betrachtet relativ kurzen Spannen von wenigen Millionen Jahren komplett kolonialisieren - die dafür notwendigen Technologien wie Raumschiffe mit Solarsegeln oder Fusions- oder Antimaterieantriebe scheinen aus heutiger Sicht theoretisch möglich, auch wenn der Menschheit selbst noch die Ressourcen und konkreten Ingenieurwissenschaftlichen Fortschritte fehlen, um sie selbst praktisch umzusetzen. (vgl. Hanson 1998, vgl. Kaku 2018, S. 137) Angesichts des Alters des Universums, scheint es sonderbar, dass keine Zivilisation vor uns existieren haben soll, die das bereits getan hat. Und doch, von Außerirdischen und ihren Raumschiffen in unserer Nähe keine Spur. Nur wüste Leere.

Dieser scheinbare Widerspruch zwischen der Plausibilität der Existenz extraterrestrischer Zivilisationen und ihrer vollständigen Abwesenheit, der Großen Stille, um uns herum, wird als das Fermi- bzw. Fermi-Hart-Paradoxon bezeichnet. Es geht auf den Kernphysiker Enrico Fermi zurück, der 1950 bei einem Mittagessen mit befreundeten Kernphysikern dieses Paradoxon erstmalig formulierte, sowie auf den Astrophysiker Michael Hart, der die ernsthafte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Paradoxon in den 1970ern anstieß. (vgl. Wesson 1990, S.1)

Mittlerweile wurden dutzende von möglichen Erklärungsversuchen für das Fermi-Paradoxon vorgeschlagen. Es gibt ganze Bücher, die sich ausschließlich ihrer Auflistung widmen. Die meisten von ihnen sind jedoch nicht sehr überzeugend, weil sie entweder die Existenz außerirdischer Zivilisationen einfach kategorisch ausschließen (z.B. Rare-Earth-Hypothese), oder ein konsistentes Verhalten bei allen Individuen aller außerirdischen Zivilisationen postulieren (z.B. Cosmic-Zoo-Hypothese, SETI-Paradox, Selbstisoliations-Hypothese). (vgl. Bostrom 2008, Mulgan 2017) Die überzeugendsten beschreiben Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Zivilisationen so weit runterdrücken, dass die Menschheit sowohl eine der ersten Zivilisationen im Universum ist, als auch die anderen Zivilisationen aktuell noch zu weit weg und technologisch nicht weit genug entwickelt sind, um von uns detektiert zu werden. Diese Faktoren werden als Große Filter bezeichnet, nach dem 1998 erschienen Aufsatz *The Great Filter - Are We Almost Past It?* des Ökonomen Robin Hanson.

## 3.2 Great Filter

Die Tatsache, dass um uns herum das Universum tot und still ist, impliziert, dass der Pfad von toter Materie hin zu langanhaltenden, über Sonnensysteme hinweg expandierendem Leben in Form von Zivilisationen sehr unwahrscheinlich ist. Es muss einen Großen Filter oder eine Reihe von Filtern irgendwo auf diesem Pfad geben, die diese Entwicklung in den meisten Fällen verhindern. Die Frage ist: wo? (vgl. Hanson 1998)

Es könnte sein, dass dieser Filter irgendwo in der Vergangenheit für uns Menschen liegt. Vielleicht ist die Entstehung von Leben selbst extrem unwahrscheinlich – allerdings haben wir fossile Hinweise darauf, dass das Leben auf der Erde bereits 200 bis 800 Millionen Jahre nach dem Beginn ihrer Habitabilität entstand, was eine sehr kurze Zeit ist, wenn man bedenkt, dass erdähnliche Planeten recht zahlreich und in der Regel mehrere Milliarden Jahre lang habitabel sind. (vgl. Williams 2018)

Es könnte sein, dass der Sprung von einzelligen zu mehrzelligen Leben extrem unwahrscheinlich ist – die Spanne zwischen dem ersten Einzeller und der ersten mehrzelligen Lebensform betrug auf der Erde rund 2.9 Milliarden Jahre (vgl. Choi 2017). Andere Kandidaten für extrem unwahrscheinliche Faktoren sind Entstehung von Intelligenz und Sprache oder das Vorhandensein von fossilen Brennstoffen, die es ermöglichen intelligenten Lebensformen industrialisierte Zivilisationen zu bilden, bevor sie von einem Gammablitz oder Katastrophen wie Pandemien ausgelöscht werden.

Der Grund, warum unser Nachthimmel leer ist, könnte aber auch noch vor uns liegen. Es könnte sein, dass es irgendetwas gibt, das eine industrialisierte Zivilisation wie die unsere in der Regel auslöscht bevor sie die Technologien entwickelt, um sich auf mehrere Planeten auszubreiten. Es könnten Klimakrisen sein als Konsequenz von Industrialisierungsprozessen, wie die mit der die Menschheit sich gerade konfrontiert sieht. Es könnten aber auch Kriege mit Massenvernichtungswaffen, Kontrollverlust über KI-Systeme, Pandemien oder etwas sein, wovon ihr bisher noch gar keine Ahnung haben. Das ist eine der ersten politischen Konsequenzen, die wir aus Überlegungen über extraterrestrische Zivilisationen ziehen können: Wir sollen extrem wachsam sein und nach existenziellen Risiken für unser kollektives Überleben Ausschau halten, denn es gibt offensichtlich eine Hürde, die in unserem beobachtbaren Universum das langfristige Überleben von Zivilisationen wie der unseren bisher verhindert hat und wir wissen zum aktuellen Zeitpunkt nicht, ob sie schon hinter uns liegt. „if we can't find the Great Filter in our past, we'll have to fear it in our future.“ (vgl. Hanson 1998)

### 3.2.1 Warum wir hoffen sollten, dass es andere Zivilisationen gibt

Sollte die Menschheit Hinweise für Leben oder gar komplexere, intelligente Lebensformen und primitive Zivilisationen außerhalb der Erde finden, aber keine technologisierten, raumfahrenden Zivilisationen, wäre das eine sehr schlechte Nachricht für unser langfristiges Überleben. Genauso wie wenn wir Fossilien oder Leben auf den Mars finden sollten, der selbst eine Milliarde Jahre lang ein habitabler Planet war (vgl. Steigerwald 2022), wäre das eine sehr schlechte Nachricht fürs uns - sofern es nicht eine so ähnliche Struktur zu terrestrischen Leben aufweist, dass wir davon ausgehen können, dass es terrestrischen Ursprungs ist und dorthin durch eine Form von Lithopanspermie gelangte. (vgl. Hall 2013, Spall 2021) Dies wäre nämlich ein Hinweis darauf, dass die Entstehung von Leben an sich etwas sehr Häufiges im Universum ist - und damit der Große Filter, der Zivilisationen wie die unsere davon abhält zu expandieren und zu überleben, mit höherer Wahrscheinlichkeit erst vor uns liegt. Je komplexer das nicht-raumfahrende Leben, welches wir jenseits der Erde finden, desto schlechter unsere Karten, dass wir langfristig überleben. Wir haben keinen Grund anzunehmen, dass wir irgendwie besonders wären und einen Großen Filter, welcher alle anderen komplexeren Lebensformen auslöscht, bevor sie ihr langfristiges Überleben durch interstellare Expansion sichern können, sicher überwinden können. (vgl. Bostrom 2008, S. 7)

### 3.3 Hard Steps

#### 3.3.1 Die Habitabilität von Planeten

Der Große Filter ist vermutlich kein einzelner Faktor, sondern das Zusammenspiel mehrere Faktoren sowie zeitlicher Limitation. Der Prozess bei dem tote Materie sich zu raumfahrenden Zivilisationen entwickelt, muss nämlich mehrere Filter nacheinander passieren beziehungsweise „Hard Steps“ machen – und das innerhalb des Zeitraums, in welchem der Ausgangsplanet habitabel ist. Die Habitabilität eines Planeten ist zeitlich limitiert und ihr Ende stellt eine Deadline dar, vor der Leben entweder interstellar expandiert oder komplett ausstirbt. Der Mars war z.B. rund eine Milliarden Jahre lang habitabel. (vgl. Steigerwald 2022) Die Erde wird selbst nur insgesamt für nur rund 6.29 bis 7.79 Milliarden Jahre habitabel sein. Diese Zeitspanne ist allerdings bereits zu circa 70% vorbei und in circa 1.75 bis 3.25 Milliarden Jahren wird auf der Erde kein Leben mehr existieren, da die Sonne zu heiß wird. (vgl. Rushby et al. 2013, S.13) Komplexe Lebensformen wie Menschen werden jedoch bereits in spätestens circa 1.1 Milliarden Jahren auf der Erde unmöglich. (vgl. Ozaki und Reinhard 2021, S.2) Dies ist das maximale Limit, das die Menschheit hoffen kann zu überleben, sofern sie nicht selbst zu einer raumfahrenden, interstellaren Spezies wird.

Bei den uns bekannten Exoplaneten beträgt die Spanne, in der sie theoretisch habitabel sein könnten in der Regel 0.43 bis 18.8 Milliarden Jahre, wobei auch einige Exoplaneten bekannt sind, die bis zu 54.72 Milliarden Jahre lang habitabel sein könnten – also noch viel länger habitabel sein werden, als unser Universum bereits existiert (vgl. Rushby et al. 2013, S.1) Mathematisch lassen sich der Prozess von dem Zeitpunkt bei dem ein Planet habitabel wird bis hin zu dem Zeitpunkt, an dem er eine über ihn hinaus expandierende Zivilisation hervorbringt, mit seinen verschiedenen Schritten von einfachen zu komplexen bis zum zivilisationbildenden Leben etc. mit Hard Steps modellieren, einem statistischen Modell, welches erstmals in seinen Grundzügen 1983 von Brandon Carter vorgeschlagen wurde und seitdem von verschiedenen Forschern u.a. Robin Hanson weiterentwickelt wurde. (vgl. Hanson 2021, S.3) Es ermöglicht eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, dass dieser Prozess erfolgreich endet und auch auf Basis unserer Daten eine Einschätzung zur Zahl der Filter.

#### 3.3.2 Das Hard Steps Modell

Angenommen der Prozess von toter Materie bis hin zu einer raumfahrenden Zivilisation muss innerhalb des Zeitraums in dem der Planet habitabel ist, laut Hanson, eine Sequenz von „Hard Steps“  $i$  durchlaufen. Jeder Schritt  $i$  hat dann eine Erfüllungsrate von  $1/a_i$  pro Zeiteinheit, vorausgesetzt der vorangegangene Schritt war erfolgreich. Angenommen der Prozess startet bereits bei  $t = 0$ , wenn der Planet das erste Mal habitabel wird, und wir interessieren uns für die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Prozess mit allen seinen Schritten bzw. Sequenzen  $i$  abgeschlossen ist, bevor  $t = T$  wenn der Planet nicht mehr habitabel ist, also das Szenario  $\sum_i t_i < T$  während  $\sum_i a_i \gg T$ . Zusätzlich nehmen wir an, dass es leichtere Schritte  $a_i \ll T$  und schwerere  $a_i \gg T$  Schritte gibt. Unter der Voraussetzung, dass der gesamte Prozess innerhalb des Zeitraums  $T$  abgeschlossen wird, benötigt jeder leichte Schritt im Durchschnitt noch immer nur  $a_i$  zur Komplettierung, aber jeder harte Schritt (und auch die Zeit  $T - E - \sum_i t_i$  die am Ende übrig bleibt) benötigt im Durchschnitt  $(T - E)/(n + 1)$ , unabhängig von seiner Schwierigkeit  $a_i$ . Die Chance, dass der gesamte unwahrscheinliche Prozess abgeschlossen wird, ist damit proportional zu  $T^n$ , wobei  $n$  die Zahl der harten Schritte ist. (vgl. Hanson 2021, S.3) Das gleiche Modell wird tatsächlich seit 1953 benutzt, um das Auftreten von Krebs bei Zellen zu modellieren, da auch diese nur eine begrenzte Lebensdauer haben, und um zu Krebszellen zu werden, innerhalb dieser begrenzten Lebensdauer eine gewisse unwahrscheinliche Sequenz von Hard Steps in Form von Mutationen durchlaufen müssen. (vgl. Hanson 2021, S.4)

Ausgehend von unserer einzigen Stichprobe – der Erde – können wir laut Hanson nun die Zahl und durchschnittliche Komplettierungsdauer gleichschwerer Hard Steps abschätzen. Als zwei Schätzwerte



für die  $a_i$  können wir dabei das Erscheinen des Lebens auf der Erde annehmen, welches circa 0.4 Milliarden Jahre auftrat, nachdem die Erde das erste Mal habitabel wurde, sowie die verbleibende Habitabilität der Erde für komplexes Leben von circa 1.1 Milliarden Jahren. (vgl. Henson 2021, S.4, vgl. vgl. Ozaki und Reinhard 2021, S.2) Angenommen, dass (ohne Verzögerungen oder einfache Schritte) eine Zahl  $e$  von Hard Steps auf der Erde bisher abgeschlossen wurde, so ist der erwartete Wert  $a_i$  für diese  $\sim 5.4 \text{ Milliarden Jahre} / (e + 1)$ . Die Auflösung nach  $e$  ergibt dann laut Hanson plausible Werte zwischen 3.9 bis 12.4, was einen Mittelwert von mindestens 6 ergibt. (vgl. ebd.)

### 3.4 Das Auftreten fortgeschrittenen Lebens

Diese Schätzung der Zahl der Hard Steps ermöglicht uns laut Hanson ein realistischeres Model davon anzufertigen, mit welcher Wahrscheinlichkeit wir erwarten können, dass fortgeschrittenes Leben wie die Menschheit in einem bestimmten Raumvolumen wie z.B. unserem Universum zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  auftaucht. In diesem Model entstehen Sterne zu unterschiedlichen Zeitpunkten, die Lebensdauer von Planeten hängt von der ihrer Sterne ab und nur Planeten mit einer Lebensdauer von  $L < \bar{L}$  sind geeignet, um fortgeschrittenes Leben hervorzubringen. Dieses Modell formalisiert er als die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $\alpha(t)$  für das Auftreten fortgeschrittenen Lebens zum Zeitpunkt  $t$  (vgl. Hanson 2021, S.4):

$$\alpha(t) = q \int_{\max(0, t-\bar{L})}^t (t-b)^{n-1} \varrho(b) [H(\bar{L}) - H(t-b)] db$$

Wobei:

$n$  die geschätzte Zahl der notwendigen Hard Steps

$b$  das Geburtsdatum eines jeden Sterns

$\varrho(t)$  ist die Sternentstehungsrate für Sterne mit habitablen Zonen =  $t^\lambda e^{-t/\varphi}$

$H(L)$  ist eine kumulative Verteilungsfunktion über die Lebensdauer der Planeten

$q$  ist eine Normierungskonstante, damit  $\int_0^\infty \alpha(t) = 1$

Für  $\varrho(t)$  nimmt Hanson basierend auf aktuellen Schätzungen aus empirischen Daten eine konservative Annahme von einem Verfall  $\varphi = 4$  und einen Höhepunkt  $\chi = 12$  Milliarden Jahren an. (vgl. Hanson 2021, S.6) Wenn wir nun schätzen wollen, wie wahrscheinlich es ist, dass eine Zivilisation wie die Menschheit zum aktuellen Zeitpunkt existiert bzw. zu welchem Perzentil aller jemals im Universum entstehenden Zivilisationen sie gehört, setzen wir für  $t$  das aktuelle Alter unseres Universums ein. Nun bleiben zwei Variablen übrig:  $n$ , die Zahl der geschätzten Hard Steps, und die maximale Lebenszeit habitabler Planeten  $\bar{L}$ . Je größer diese beiden Variablen jeweils, desto unwahrscheinlicher wird es, dass eine Zivilisation bereits jetzt existiert bzw. desto früher ist sie erschienen. (vgl. Hanson 2021, S.6)

Wenn wir nun für  $n$  unseren geschätzten Mittelwert von 6 nehmen und einen eher niedrig angesetzten Wert von 10 Milliarden Jahren für  $\bar{L}$ , der ungefähr der Lebensdauer unserer Sonne entspricht, dann ergibt das Modell, dass die Menschheit zu den ersten 10.6% aller Zivilisationen gehört, die jemals in unserem Universum entstehen werden. Es ist jedoch plausibel anzunehmen, dass  $\bar{L}$  deutlich höher ist, da viele Sterne um ein tausendfaches länger existieren und damit habitable Planeten beherbergen können. Die zurzeit angenommene maximale Lebensdauer von Sternen liegt bei  $\sim 2 \cdot 10^4$  Milliarden Jahren, also ein zweitausendfaches der Lebensdauer unserer Sonne. Bereits kleine Erhöhungen von  $\bar{L}$  oder  $n$  führen zu extrem niedrigen Perzentilen. So ergibt  $n = 6$ ,  $\bar{L} = 20 \text{ Mrd}$  bereits, dass die Menschheit vermutlich zu den ersten 1% aller jemals entstehenden Zivilisationen gehört. Auch das modifizieren des Modells innerhalb plausibler Werte für  $\varrho(t)$  und  $H(L)$ , führt zu dem Ergebnis, dass die Menschheit zu den ersten Perzentilen an Zivilisationen gehört, die jemals in unserem Universum

entstehen werden. Der Großteil aller jemals entstehenden Zivilisationen werden in diesem Model im Laufe der kommenden mehreren Billionen Jahre vor allem auf Planeten entstehen, die um länger lebende Sterne kreisen, damit eine deutliche längere Zeit habitabel sein können und daher auch mehr Zeit haben, um alle  $n$  erfolgreich abzuschließen. (vgl. Hanson 2021, S.6)

### 3.5 Menschliche Frühzeitigkeit und Grabby Aliens

Auch wenn die Menschheit relativ spät im Vergleich zum Höhepunkt der Sternbildung erschienen ist, scheinen wir unverhältnismäßig früh im Vergleich zum Höhepunkt der Zahl und Lebensdauer von habitablen Welten in unserem Universum zu sein. (vgl. Hanson 2021, S.5)

Wenn wir die Menschheit als eine zufällige Stichprobe aus allen jemals entstehenden Zivilisationen betrachten, dann erscheint es erklärungsbedürftig oder zumindest sonderbar, warum wir solch eine frühe bzw. unwahrscheinliche Zivilisation „gezogen“ haben.

Robin Hansons Erklärung für unser scheinbare Frühzeitigkeit sind Grabby Civilizations. Demnach gibt es zwei Formen von fortgeschrittenen Zivilisationen in unserem Universum: Leise Non-Grabby Civilizations wie die Menschheit es gerade ist, und Grabby Civilizations, die über ihre eigenen Sternsysteme schnell expandieren, lange leben und sichtbare Veränderungen in den von ihnen kontrollierten Volumen des Universums verursachen – also die Art von interstellarer Zivilisation, zu der die Menschheit langfristig theoretisch werden kann und die sie innerhalb der kommenden 1.1 Milliarden Jahren werden muss, wenn sie nicht garantiert aussterben will. (vgl. Hanson 2021, S.3) Solche über Sonnensysteme hinweg expandierende Grabby Civilizations werden langfristig alle habitablen Planeten im Universum kolonialisieren und setzen damit eine Deadline für das Entstehen jeglicher anderer Zivilisationen. Unter Annahme dieser Deadline ist die Menschheit nicht mehr sonderbar früh im Universum, sondern eine typische Non-Grabby Civilization, da andere Zivilisationen wie die unsere in der Zukunft durch die Dominanz von GCs nicht mehr werden entstehen können, und daher alle Zivilisationen wie die unsere nur so früh erscheinen können. (vgl. Hanson 2021, S.6)

Dass solche Grabby Civilizations möglich sind, erscheint aus mehreren Gründen plausibel. Zum einen weil alle uns bekannten Lebensformen und auch Organisationen wie Institutionen grabby sind, in dem Sinne, dass sie dazu neigen nach Möglichkeit zu expandieren. Dies hat primär evolutionäre Gründe, da Expansion einen Selektionsvorteil bietet. Zum anderen scheint die Menschheit selbst eine non-triviale Chance zu haben in der nahen Zukunft jenseits der Erde zu expandieren. Die dafür notwendigen Technologien sind theoretisch machbar und teilweise bereits verfügbar. (vgl. Hanson 2021, S.6)

### 3.6 Das Grabby Civilizations Modell

Hanson schlägt ein Modell vor, mit welchem sich das Erscheinen und Ausbreiten von Grabby Civilizations simulieren lässt. Dafür sind lediglich drei Parameter notwendig, die wir alle aus empirischen Daten ableiten können, wenn wir davon ausgehen, dass die Menschheit innerhalb der kommenden  $< \sim 10$  Millionen Jahren eine GC wird und eine zufällige Stichprobe aus allen GCs ist (vgl. Hanson 2022), für eine Visualisierung der Simulation siehe <https://youtu.be/oLvzFJLLfCY>:

$k$  das durchschnittliche Erscheinungsdatum von GCs ergo  $\sim 13.787$  Milliarden Jahre

$n$  die Zahl der notwendigen Hard Steps bis ein habitabler Planet eine GC hervorbringt ergo 6

$s$  die Expansionsgeschwindigkeit von GCs, welche wir aus der Tatsache ableiten können, dass wir keine anderen Zivilisationen in unserem Lichtkegel registrieren können. Wenn die Menschheit eine durchschnittliche GC ist, dann ist anzunehmen, dass bereits jetzt  $\sim 2/5$  des Universums von GCs kontrolliert werden. Weil wir keine sehen können ist  $s \geq \sim c/2$  (vgl. Hanson 2022) Ein weiteres Ergebnis des GC-Modells ist, dass wenn die Menschheit eine hohe Chance hat eine GC zu werden, auch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass wir aktuell allein in unserer Galaxie sind. (vgl. Hanson 2021, S.14)

### 3.7 Eine Anmerkung zu UFOs

Im April 2020 sorgte das amerikanische Verteidigungsministerium für breite mediale Diskussionen über die Existenz außerirdischer Zivilisationen, als es offiziell Videoaufzeichnungen der US Navy von Unidentifizierbaren Flugobjekten (UFOs) freigab. (vgl. Yuhas 2020; vgl. Department of Defence 2020) Auch wenn die Aufnahmen dieser Videos Objekte zeigen, deren Existenz bisher von niemanden überzeugend erklärt wurde, sollte man nicht daraus schließen, dass sie extraterrestrischen Ursprungs wären. Eine Zivilisation, die die technologischen Mittel verfügt, um Raumschiffe zur Erde zu senden, würde in unserem Lichtkegel signifikante Spuren hinterlassen z.B. elektromagnetische Emissionen erzeugen und das Lichtspektrum kolonialisierter Sonnen verzerren.

Die Tatsache, dass wir solche Artefakte an unserem Nachthimmel nicht messen können, legt nahe, dass solch eine Zivilisation nicht in unserer Nähe existiert. Raumschiffe oder Sonden extraterrestrischen Ursprungs könnten nur unbemerkt zu uns gelangen, wenn sie in der Lage wären viel schneller als Licht zu reisen, etwas was zumindest zum aktuellen Stand der Wissenschaft nicht möglich ist oder nur mit solch einem unglaublich hohen Energieaufwand (vgl. Kaku S. 159), dass eine Zivilisation, die über solche FTL-Technologien verfügt, schon in ihrer Vergangenheit sichtbare Veränderungen erzeugt hätte, die wir in unserem Lichtkegel zwischenzeitlich bemerkt hätten.

Sollten wir in irgendeiner Form bisher Kontakt zu extraterrestrischen Zivilisationen gehabt haben ohne es zu bemerken, dann vermutlich in Form von Sonden, die eine vor vielen Millionen oder Milliarden Jahren bereits ausgestorbene Zivilisation, die ungefähr auf oder etwas über unserem technologischen Level war, einst in den Weltall entsandte. Solche Pendants zu unseren eigenen Voyager-Sonden könnten relativ unbemerkt unser Sonnensystem passieren und da ihre Erschaffer ausgestorben sind, würden wir von denen keine Artefakte mehr in unserem Lichtkegel beobachten können. Es gibt Spekulationen, die von dem Astronomen Avi Loeb angestoßen wurden, dass das interstellare Objekt 1I/2017 U1, 'Oumuamua, welches September 2017 unser Sonnensystem durchquerte und dabei eine anomale Geschwindigkeit und Form aufwies, solch eine extraterrestrische Sonde oder konkreter das Sonnensegel solch einer gewesen sein könnte. (vgl. Loeb und Bialy 2018, S.4)

Angesichts aber all unserer anderen empirischen Daten – oder konkret ihren Mangeln – bleiben Theorien darüber, dass extraterrestrische Zivilisationen in irgendeiner Form bereits in unserem Sonnensystem waren oder gar sind, eher wilde Spekulationen, die wenig glaubwürdig erscheinen. Insbesondere, da die Simulationen des Grabby Civilizations Modell nahelegen, dass wir in so einem Fall erstens nicht existieren würden und zweitens der erste Kontakt mit einer anderen GC wahrscheinlich erst in einigen hundert Millionen Jahren stattfinden wird. (vgl. Hanson 2021, S.14)

Wenn wir irgendwann erste Anzeichen von intelligenten Lebensformen oder Zivilisationen entdecken sollten, dann höchstwahrscheinlich in Form von Bio- oder Technosignaturen auf einem fernen Exoplaneten, die wir indirekt durch Veränderungen im Lichtspektrum des Sternes messen können. Wenn wir zum Beispiel bei einem Exoplaneten feststellen sollten, dass seine Atmosphäre sowohl hohe Mengen an Methan als auch Sauerstoff enthält – etwas, was nur möglich ist, wenn Lebewesen das Methan stetig erneuern, da es sonst mit dem Sauerstoff reagiert und schnell verschwindet - dann könnte wir daraus schließen, dass dort Leben existiert. Die Präsenz von Fluorchlorwasserstoffen z.B. wäre ein Hinweis auf eine industrialisierte Zivilisation. Alternativ sollten wir von einer höher entwickelten Zivilisation strukturierte Radiosignale empfangen können – oder schnelle Veränderungen in der Helligkeit eines Sternes durch die Konstruktion von komplexen Megastrukturen wie Dyson-Spheres. (vgl. Powell 2021) Alles in allem sollten wir damit rechnen, dass der erste Kontakt mit einer extraterrestrischen Zivilisation sich eher in einem an sich unspektakulären Flackern oder Rauschen in einem Messgerät äußert, und nicht wie in Hollywood mit einem Himmel voller fliegender Untertassen.

## 4. Was wir sonst noch über die anderen annehmen können

### 4.1 Universelle Merkmale biologischer Intelligenz

Allgemein kann man annehmen, dass außerirdisches Leben und damit auch außerirdische Zivilisationen extrem stark von dem abweichen könnten, was wir von unserer Erde gewohnt sind. Gänzlich von der Erde abweichende Klimabedingungen, planetare Rotationszyklen, Gravitationsstärken, Ressourcen und Monde könnten die Evolution über Pfade jenseits unserer Vorstellung führen. Sie könnten sogar ein komplett anderes genetisches System verfügen, welches nicht wie unsere DNA/RNA chemisch, sondern magnetisch funktioniert. (vgl. Schulze-Makuch 2021)

Doch es gibt einige universelle Merkmale, von denen wir plausibel ausgehen können, dass sie auf die meisten wenn nicht sogar alle biologischen Zivilisationen im Universum zutreffen. Sofern wir es nämlich nicht mit einer Zivilisation zu tun haben, die sich selbst extrem stark durch Gentechnik modifiziert oder durch synthetische Maschinen selbst ersetzt hat – etwas was für fortgeschrittenere Zivilisationen gar nicht so unwahrscheinlich ist, da solche technologischen Adaptionen interstellare Expansion signifikant erleichtern – dann können wir annehmen, dass sie das Ergebnis eines evolutionären Prozesses sind, der gewissen universellen Mustern folgt.

Eins dieser Muster, das bereits mehrmals in dieser Arbeit ausgeführt wurde, ist die Neigung zur Expansion, die Leben allgemein charakterisiert. (vgl. Hanson 1998)

Ein weiteres Muster ist der Zusammenhang zwischen Intelligenz, Aggressivität und Kooperation. So können wir annehmen, dass eine intelligente, Zivilisation bildende Spezies sich evolutionär aus sozialen Raubtieren entwickelt. Pflanzenfresser bzw. Beutetiere haben von einer hohen Intelligenz keinen großen Selektionsvorteil – ein grasendes Reh benötigt keine hohe Intelligenz, um zu grasen, es reichen scharfe Sinne und eine schnelle Reaktionszeit, um wegzulaufen, sobald ein Raubtier in der Nähe auftaucht. Ein solitäres Raubtier wie ein Bär hat hingegen einen Selektionsvorteil durch Intelligenz und Aggressivität, denn sie ermöglicht es ihm die richtigen Ziele zu wählen und das Verhalten der Beute wie zum Beispiel die Fluchtrichtung zu antizipieren. Soziale Raubtiere wie Delfine, Wölfe oder Primaten haben einen noch stärkeren Selektionsvorteil durch Intelligenz, denn sie ermöglicht es ihnen gemeinsame Strategien zu entwickeln um eine Flucht der Beute zu unterbinden und innerhalb des Rudels die Jagd zu koordinieren. Langfristig muss solch eine soziale Raubtierspezies jedoch stärkere soziale Kooperation entwickeln, um nachhaltiger zu jagen, die Nahrungsquellen durch zum Beispiel Landwirtschaft zu diversifizieren und durch Arbeitsteilung die Grundlagen für eine Zivilisation zu legen – was mit einem Selektionsvorteil sowohl für Intelligenz als auch kooperatives Verhalten einhergeht. Eine Spezies, die daher die Intelligenz entwickelt hat, um komplexe soziale Strukturen in Form einer Zivilisation zu bilden, wird höchstwahrscheinlich wie die Menschheit eine Neigung zu Aggressivität und Gewalt verfügen, als auch Mechanismen, um diese zugunsten von Kooperation zu regulieren. (vgl. Schulze-Makuch 2021)

Dies hat Implikationen für unseren Umgang mit einem potentiellen Erstkontakt mit extraterrestrischen Zivilisationen. Man gelangt nicht friedlich an die Spitze der Nahrungspyramide seines eigenen Planeten, und wir sollten daher extraterrestrischen Zivilisationen mit Vorsicht begegnen.

### 4.2 Extraterrestrische Zivilisationen sind intern heterogen

In Science-Fiction Romanen und Filmen sind extraterrestrische Zivilisationen oft vereinigte Imperien und auch die interstellare Zukunft der Menschheit wird oft als eine vereinigte Zivilisation in Form einer Galaktischen Republik o.ä. imaginiert. In der Realität ist es jedoch deutlich wahrscheinlicher, dass zumindest alle Grabby Civilizations intern heterogen sind.

Diese Annahme basiert auf drei Prämissen:

1) *Wettbewerb erhöht den Druck zur Expansion.* Wie wir selbst während der Kolonialzeit aber auch während des ersten und des aktuellen zweiten Wettlaufs zum All beobachten können, ist Wettbewerb zwischen Gruppen eine treibende Kraft für Expansion und Kolonialisierung. Ein intern heterogene und in friedlich konkurrierende Gruppen gesplante Zivilisation hat eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit, technologische Innovationen hervorzubringen und in den Weltraum auf der Suche nach neuen Ressourcen und Wettbewerbsvorteilen aufzubrechen. (vgl. Fridman und Hanson 2022)

2) *Monopolisierte Macht unterbindet Expansion.* Institutionen neigen dazu ihre Macht zu erhalten. Es ist jedoch schwierig bis unmöglich Macht über etwas zu erhalten, womit man selbst mit Lichtgeschwindigkeit nur durch die Verzögerung von mehreren Jahren kommunizieren kann. Eine zentralisierte Weltregierung, die eine Zivilisation eint, würde daher die Kolonialisierung mehrere Lichtjahre entfernter Welten tendenziell eher zu unterbinden versuchen, da sie sonst durch sie substanzial an Macht über ihre jeweilige Zivilisation verlieren würde. (vgl. Fridman und Hanson 2022)

3) *Anpassung an interstellare Expansion und Evolution.* Die Kolonialisierung vieler verschiedener Planeten mit unterschiedlichen Atmosphären und Gravitationsstärken, erfordert eine Anpassung. Diese kann entweder Innerhalb kurzer Zeit durch Gentechnik oder durch andere Technologien erfolgen, oder sie erfolgt evolutionär über längere Zeiträume durch Selektionsdruck und die relativ starke Isolierung verschiedener Planeten, die die großen Distanzen des Universums verursachen. So oder so, wäre das Ergebnis, dass innerhalb einer interstellaren Zivilisation sich aus der ursprünglichen Ursprungsspezies zahlreiche unterschiedliche Unterarten entwickeln würden mit jeweils unterschiedlichen physiologischen und kulturellen Eigenschaften. Selbst auf unserem Planeten gibt es heute eine Vielzahl von Kulturen, Ethnien und Regierungen, und es erscheint unmöglich eine kohärente Kultur und politische Ordnung über tausende von Planeten und Lichtjahre hinweg aufrechtzuerhalten. (vgl. Kaku 2018, S.262)

#### 4.3 Extraterrestrische Sprachen sind vermutlich nicht übersetzbar

Sollten wir jemals einer extraterrestrischen Zivilisation begegnen, dann können wir davon ausgehen, dass es fast unmöglich sein wird mit ihnen zu kommunizieren, weil wir zumindest heute keine Ahnung haben wie wir eine extraterrestrische Sprache übersetzen könnten. Dies liegt daran, dass die Übersetzung ihrer Sprache mehrere harten Hürden unterliegen würde:

1) *Mehrere Sprachen auf einmal.* Werden wir vermutlich nicht mit einer Sprache konfrontiert sein, sondern mit mehreren, die wir nicht werden auseinanderhalten können. Um das zu veranschaulichen, kann man sich vor Augen halten, was eine extraterrestrische Zivilisation wahrscheinlich von uns zuerst empfangen würde: Es wären Radiowellen aus den 1930er Jahren, höchstwahrscheinlich als erstes Übertragungen von den Olympischen Spielen 1936 in Berlin. (vgl. Rawden 2013) Sie würden also höchstwahrscheinlich zuerst eine deutsche Ansprache von Adolf Hitler hören, gefolgt von einem Konvolut an verschiedenen Sprachen, englische Reden von Roosevelt, französische, russische und japanische Radiosendungen etc.. Wie im vorherigen Abschnitt gezeigt, könnten wir nicht ausschließen, es mit einer heterogenen Zivilisation mit zahlreichen Kulturen und damit auch Sprachen zu tun zu haben.

2) *Fremde Medien.* Menschen kommunizieren miteinander in Tonfrequenzen von 85-255Hz und im Lichtspektrum von 430-770 THz, etwas, was wahrscheinlich auf die meisten Außerirdischen nicht zutrifft. (vgl. Carney 2021) Je nach den Ursprungsplanet könnten die Sinne von Außerirdischen und damit ihre Kommunikationsmedien komplett unterschiedlich sein – sie könnten Pheromone oder Ultraschall zur Kommunikation verwenden, oder sichtbares Licht könnte für sie in einem gänzlich anderen Spektrum liegen.

3) *Inkommensurable Grammatik*. Menschliche Sprachen folgen alle einer Universalgrammatik ergo sie folgen alle gemeinsamen grammatischen Prinzipien, die von angeborenen Strukturen im menschlichen Gehirn determiniert werden. (vgl. Kara 2018) Das macht es uns Menschen möglich uns fremde menschliche Sprachen zu lernen. Es ist jedoch stark zu bezweifeln, dass die Gehirne (oder das Äquivalent dazu) von Lebewesen, die auf ganz anderen Planeten entstanden sind, die gleichen Strukturen aufweisen und damit mit der gleichen Universalgrammatik operieren wie die von uns Menschen. Oder in den Worten des Linguisten Noam Chomsky: „The same structures that make it possible to learn a human language make it impossible for us to learn a language that violates the principles of universal grammar. If a Martian landed from outer space and spoke a language that violated universal grammar, we simply would not be able to learn that language the way that we learn a human language like English or Swahili.“ (vgl. Chomsky 1983; vgl. Carney 2021)

4) *Inkommensurable Referenzrahmen*. Die Wahrnehmung der Welt von Außerirdischen würde vermutlich deutlich anders strukturiert sein, als die unsere und daher andere Referenzrahmen benutzen. Die meisten Gegenstände und Konzepte, die wir benutzen wären ihnen fremd genauso wie uns ihre. Zusätzlich könnten wir nicht erkennen, worauf empfangene Nachrichten referieren oder ob sie überhaupt an uns gerichtet sind. (vgl. Carney 2021)

#### 4.4 Hobbesscher Naturzustand im Universum

Im Universum gibt es kein Gewaltmonopol. Zivilisationen liegen unzählige Lichtjahre auseinander und können kaum oder gar nicht miteinander zuverlässig kommunizieren, sodass die Bildung von Vertrauen zwischen Zivilisationen nur extrem schwierig bis unmöglich ist. Beim Entdecken einer anderen Zivilisation, kann nie ausgeschlossen werden, dass diese ein potentielles existenzielles Risiko darstellt oder durch technologische Entwicklungen und Konkurrenz um begrenzte Ressourcen wie habitable Planeten in der Zukunft zu einer werden kann. Die gleichen Technologien, die es ermöglichen interstellaren Raum effizient zu durchqueren, ermöglichen auch Massenvernichtungswaffen wie *Relativistic Kill Vehicel*, die die Zerstörungskraft von Nuklearwaffen um ein Vielfaches übersteigen (vgl. De Aquino 2013, S.2) – ganz abgesehen davon, dass selbst simple Mikroorganismen von einem fremden Planeten tödliche Biowaffen darstellen können, da Immunsysteme indigener Populationen aufgrund der divergierenden Evolution keine effektiven Verteidigungsmechanismen gegen sie verfügen sollten. Aus diesen Annahmen schlussfolgern einige Theoretiker, dass im Universum eine Art Hobbesscher Naturzustand herrscht -mit der Modifizierung, dass während bei Hobbes alle Menschen mehr oder weniger in ihrem Gewaltpotential gleich sind, dies bei interstellaren Zivilisationen nicht der Fall ist, da die Wahrscheinlichkeit eine Zivilisation mit einem deutlich höheren oder deutlich niedrigeren technologischen Niveau als dem eigenen zu begegnen deutlich höher ist als jemand mit ähnlichen Fähigkeiten zu treffen. Diese Diskrepanz von technologischen Niveaus und die Unfähigkeit zur Kommunikation machen so Gesellschaftsverträge zwischen interstellaren Zivilisationen unmöglich(vgl. Yu 2014 S.2) Die bekannteste Ausführung dieser Theorie ist die sogenannte *Dunkler-Wald-Hypothese*, die das Fermi-Paradoxon damit versucht zu erklären, dass angesichts dieses hobbesschen Naturzustands die spieltheoretisch besten Züge für eine Zivilisation daraus bestehen, sich selbst zu verstecken und andere Zivilisationen mit Präventivschlägen bereits in der Entstehungsphase auszulöschen. (vgl. Yu 2014, S.4) Die Hypothese kann das Fermi-Paradoxon nicht gänzlich plausibel erklären, da zum einen eine expandierende GC Zivilisation im Universum sich kaum verstecken könnte – und zum anderen, die einzige uns bekannte Zivilisation, die Menschheit, es zwar theoretisch könnte, es aber nicht tut. (vgl. Hendricks 2018; vgl. Kipping und Teachey 2016, S.7) Dennoch bieten die Konzeptionen des Universums als einen Hobbesschen Naturzustand und die spieltheoretischen Analysen von Erstkontakten als Gefangendilemma zwischen Kooperation oder Vernichtung erste Ansätze, um eine politische Philosophie interstellarer Beziehungen zu entwickeln.

## 5. Sollten wir die Große Stille brechen?

Seit mehreren Jahrzehnten betreiben mittlerweile Astronomen SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) – erfolglos. Wir konnten bisher keine überzeugenden Spuren einer anderen Zivilisation in unserem Lichtkegel beobachten. Das hat einige Wissenschaftler dazu gebracht anzunehmen, dass wir uns eventuell mit anderen Zivilisationen in eine Art Gefangenendilemma befinden – dem sogenannten SETI-Paradox - bei dem alle Zivilisationen einfach nur horchen, aber keine Zivilisation explizit versucht auf sich aufmerksam zu machen oder mit anderen eine Konversation zu initiieren. (vgl. Kerins 2020, S.2) Deswegen drängen einige Wissenschaftler und Privatpersonen darauf, dass die Menschheit gezielt in den Weltraum verstärkte Radiosignale aussenden sollte, um eine Antwort von anderen Zivilisationen zu provozieren und damit Kommunikation als Kooperation anzustoßen. Diese gezielten Kontaktversuche werden als METI (Messaging Extraterrestrial Intelligence) bezeichnet und ihre Notwendigkeit damit begründet, dass wir keine empirischen Gründe haben, anzunehmen, dass andere Zivilisationen für uns eine Bedrohung darstellen und wir von einem Kontakt nur profitieren könnten. (vgl. Zaitsev 2011, S.3) Mittlerweile gab es mehrere METI-Versuche und NGOs wie *METI International* organisieren private METI-Initiativen. (vgl. Pappas 2022)

Tatsächlich aber ist es äußerst fraglich, ob andere Zivilisation nicht ein existenzielles Risiko für uns darstellen. Wir wissen schlicht nix über sie, bis wir einen Kontakt hatten - und davor haben wir gute Gründe anzunehmen, dass zumindest eine nicht-triviale Chance besteht, dass solch eine fremde Zivilisation auf unsere Kontaktversuche mit Gewalt antwortet. Zum einen deuten unsere evolutionären Theorien darauf hin, dass intelligente Spezies sich in der Regel aus sozialen Raubtieren entwickeln und daher über eine Kapazität für Aggression und Gewalt verfügen sollten. (vgl. Schulze-Makuch 2021) Zu anderen, reicht der Blick auf unsere eigene Geschichte über Erstkontakte zwischen Zivilisationen - wie z.B. den zwischen den Europäern und den indigenen Völkern Amerikas - um zu sehen, dass solche Erstkontakte nicht unbedingt positiv verlaufen müssen. (vgl. Boyle 2017) Ein nicht unmögliches Szenario ist es, dass die Antwort auf gezielte Kontaktversuche ein Schwarm *Relativistic Kill Vehicles* oder eine andere Form von Auslöschungsversuchen wäre wie die *Dunkler Wald Hypothese* nahelegt. (vgl. Yu 2014, S.4) Das Problem ist, dass wir die *Dunkler Wald Hypothese* nicht testen können ohne das Risiko einzugehen, dass sie sich bewahrheitet und wir dann nicht mehr existieren. Das Risiko mag möglicherweise gering sein – es ist aktuell nicht quantifizierbar – aber die Frage die sich aufzwingt ist, ob es ethisch zulässig ist, dass eine kleine Gruppe von Wissenschaftlern oder anderen Privatleuten dieses Risiko für die gesamte Menschheit eingeht oder ob die Regierungen der Menschheit sich auf politische Maßnahmen einigen sollten, die gezieltes METI regulieren oder gar ganz verbieten.

An die Debatte, ob die Menschheit METI betreiben sollte oder ob einzelnen Gruppen erlaubt sein sollte, METI zu betreiben, schließen sich mehrere ethische Debatten rund um Konsens, Risiko und Verantwortung im SETI Kontext an, die bisher zwar stark unter Astronomen, Physikern und Astrobiologen diskutiert, aber innerhalb der Philosophie und Politik allgemein vernachlässigt werden, sodass es noch an rigorosen ethischen Analysen – ganz zu schweigen von einem Konsens oder politischen Leitlinien - fehlt. Was angesichts des potentiellen existenziellen Risikos, welches mit METI miteinhergeht ein nicht akzeptables Defizit ist, wie die Philosophin Chelsea Haramia und die Astrobiologin Julia DeMarines 2019 in ihrem Paper *The Imperative to Develop an Ethically-Informed METI Analysis* herausarbeiten. (vgl. Haramia und Demarines 2019, S.10)

## 6. Sollten wir uns verstecken?

Selbst wenn niemand zielgerichtetes METI betreibt und laut in den Kosmos unsere Anwesenheit herausschreit, ist die Menschheit für andere Zivilisation bereits theoretisch detektierbar. (vgl. Greshko 2018) Unsere Zivilisation emittiert elektromagnetische Emissionen wie Radiowellen und die Zusammensetzung unserer Atmosphäre deutet eindeutig auf die Präsenz von Leben hin – etwas, was ein Weltraumteleskop noch in vielen Lichtjahren Entfernung messen könnte anhand der Art und Weise, wie Sonnenlicht leicht in seinem Spektrum verändert wird, wann immer es unsere Atmosphäre passiert. Mit der gleichen spektroskopischen Methode erforschen wir selbst bereits die atmosphärische Zusammensetzung weit entfernter Exoplaneten. (vgl. NASA Video 2020)

Die Astronomen Kipping und Teachey schlagen in einem 2016 veröffentlichten Paper ein *Cloaking Device* vor, welches es einer Zivilisation wie der Menschheit ermöglichen würde die Bewohnbarkeit der Erde und die eigene Anwesenheit darauf vor solchen spektroskopischen Analysen extraterrestrischer Zivilisationen zu verstecken. Dafür würde es reichen von der Nachtseite in den Weltraum Laserstrahlen auszusenden, die die Veränderung des Sonnenlichts durch unseren Transit wieder ausgleichen. Die Biosignaturen, also die Anwesenheit von Leben auf unserer Erde, könnten wir dabei mit einem relativ geringen Energieaufwand von bereits rund ~160 kW verschleiern, die Existenz unseres Planeten mit bereits 30 Megawatt gegenüber Teleskopen wie denen, die dem menschlichen Kepler-Teleskop entsprechen. (vgl. Kipping und Teachey 2016, S.7) – was ungefähr dem Output von 2 bis 3 Offshore Windrädern entspricht. (vgl. Allnoch 2021) Für eine komplette Breitbandlaseranlage, die unsere Existenz auch vor deutlich fortgeschritteneren Teleskopen verstecken würde, wären bis zu 250 Megawatt notwendig (vgl. Kipping und Teachey 2016, S.1) oder das Äquivalent von noch immer relativ wenigen 17 bis 25 Offshore Windrädern.

Wenn wir wollten, könnte sich die Menschheit in unserem Universum für ferne Beobachter quasi unsichtbar machen. Neben solchen Laseranlagen, wäre dafür allerdings auch ein starker Eingriff in die von uns verwendeten Telekommunikationstechnologien notwendig d.h. wir müssten auf Langstrecken-Radiowellen verzichten und für Funkstille sorgen, indem wir uns stattdessen auf kurzwelligere Wellen, Laser und Glasfaserkabel beschränken.

Der erste Kontakt zu einer extraterrestrischen Zivilisation ist ähnlich wie Asteroideneinschlag oder eine Pandemie ein Ereignis, das niemand vorhersagen kann – aber es birgt ein potentielles existenzielles Risiko, weshalb die Menschheit vielleicht die Option haben sollte, zuerst die andere Zivilisation gründlich zu beobachten, bevor wir selbst entscheiden ob wir von der anderen gesehen werden wollen. Da Licht und Radiowellen über viele Tausende und Millionen von Jahren sich im Universum ausbreiten, hängt von der Entscheidung ob wir uns heute für ein aktives oder passives METI oder für ein Verstecken entscheiden, nicht nur unsere akute Sichtbarkeit ab, sondern auch die Sichtbarkeit von zukünftigen Generationen. Wenn wir wollen, dass unsere Nachkommen bei einem Erstkontakt den strategischen Vorteil der Unsichtbarkeit haben, dann sollten wir schon heute, während die Begegnung mit extraterrestrischen Zivilisationen noch fern und unwahrscheinlich wirkt, uns in Stille hüllen. So ähnlich wie es sinnvoll sein kann, schon lange vor einer Pandemie Schutzrüstung oder vor dem Auftauchen eines gefährlichen Asteroiden Abfangraketen zu bunkern, sollte solch ein Verhüllen der Menschheit als eine Präventivmaßnahme zumindest diskutiert werden.



## 7. Sollten wir uns für einen Erstkontakt vorbereiten?

Quasi alle Regierungen der Menschheit handeln – zumindest offiziell - so, als würden extraterrestrische Zivilisationen nicht existieren. Entsprechend gibt es kein ratifiziertes internationales Protokoll, keine gesetzliche Regulierung, was im Falle eines Erstkontakts mit einer außerirdischen Zivilisation die Reaktionen darauf regeln würde. Sollten wir morgen Signale von einer extraterrestrischen Zivilisation empfangen, wäre nicht klar, was von wem getan werden sollte und dürfte und auch nicht, wie dies der Menschheit kommuniziert wird. Abgesehen von einigen informellen und damit nicht-bindenden Protokollen innerhalb von Weltraumbehörden wie der NASA und ESA – die sich darauf beschränken, dass ein Erstkontakt mit dem Rest der Menschheit kommuniziert werden sollte und sonst keine weiteren Schritte vorsehen -, ist nicht klar, wie unsere Institutionen auf solch ein Ereignis reagieren würden. (vgl. Neal 2014, S.13)

Man kann argumentieren, dass der beste Umgang mit potentiellen existenziellen Risiken wie der Begegnung mit extraterrestrischen Zivilisationen, eine Art moderne Pascalsche Wette ist: Es ist besser davon auszugehen, dass sie stattfinden werden und sich auf sie vorzubereiten, selbst wenn sie nie eintreten – als nichts tun und dann unvorbereitet zu sein, wenn sie doch eintreten. Kritiker führen dagegen an, dass soetwas schnell ad absurdum geführt werden kann, da die Zahl an potentiellen existenziellen Risiken mit verschwindend geringen oder unquantifizierbaren Wahrscheinlichkeiten schier endlos ist. (vgl. Kovic 2020, S.6)

Der Erstkontakt mit einer extraterrestrischen Zivilisation ist jedoch ein Szenario, welches angesichts der Erkenntnisse aus der Astronomie und Astrobiologie der vergangenen Jahrzehnte, immer wahrscheinlicher erscheint. (vgl. Neal 2014, S.16) Manche Theorien wie zum Beispiel das Grabby Civilization Modell postulieren, dass es langfristig unvermeidbar ist. (vgl. Hanson 2021, S.14) Es erscheint daher nicht akzeptabel, dass die die Regierungen der Menschheit und internationalen Organisationen wie die UNO sich bisher nicht einmal auf ein Protokoll geeinigt haben, wie auf verschiedene Erst-Kontakt-Szenarien zu reagieren wäre. (vgl. Neal 2014, S.16)

## 8. Wie sollen wir mit existenziellen Risiken umgehen?

Eine der wichtigsten Erkenntnisse aus der Beschäftigung mit extraterrestrischen Zivilisationen ist die, dass Zivilisationen wie die unsere extrem selten sind und noch weiter entwickelte Zivilisationen als die unsere noch viel, viel seltener, da sonst unser Himmel schon längst voll mit ihnen wäre. Dies impliziert einen Großen Filter und damit das Vorhandensein von existenziellen Risiken, die es für die Menschheit wahrscheinlicher machen auszusterben, als langfristig zu überleben. (vgl. Hanson 1998)

In der politischen Philosophie spielt die Analyse von existenziellen Risiken, im Sinne der Möglichkeit der Auslöschung der gesamten Menschheit, traditionell eine eher marginalisierte Rolle und begann erst im Zuge der Aufklärung langsam Beachtung zu finden. (vgl. Moynihan 2020, S.1) In der Regel beginnen normative Überlegungen und Debatten zur Gestaltung von politischen Systemen mit der Grundlegung in moralischen Werten wie Fairness, Gerechtigkeit und Freiheit und danach mit Überlegungen, wie sich diese Werte durch Institutionen am besten realisieren lassen. Die von der Großen Filter Theorie nahegelegte Existenz von substantiellen existenziellen Risiken legt jedoch nahe, dass es ein besserer Ansatz wäre, statt bei den Werturteilen anzufangen, sich zuerst zu überlegen, was getan werden müsste, damit solche Werturteile überhaupt von Menschen gefällt werden können – ergo, die Sicherstellung des Überlebens der Menschheit sollte am Anfang stehen.

Der Philosoph Toby Ord schlägt daher vor, dass dem Konzept der *Existential Security* die oberste Priorität in der Politik und Moralphilosophie eingeräumt werden sollte. Unsere philosophischen Überlegungen und politischen Anstrengungen sollten sich darauf konzentrieren durch globale und intergenerationelle Kooperation insbesondere aktuell sehr hohe existenzielle Risiken auf ein möglichst niedriges, nachhaltiges Niveau zu reduzieren. (vgl. Ord 2021, S.6) Dabei sollte unser Fokus vor allem auf der Reduktion anthropogener Risiken liegen, da die Wahrscheinlichkeit, dass die Menschheit durch anthropogene Katastrophen wie Nuklearkriege, Biowaffen, Umweltzerstörung etc. sich selbst auslöscht innerhalb der kommenden hundert Jahre laut Ord auf 1/6 zu schätzen ist, während natürliche Katastrophen wie Supervulkane, Sternexplosionen oder Asteroideneinschläge ein existenzielles Risiko von 1/10000 darstellen. Das Risiko durch extraterrestrische Zivilisationen ist aktuell unquantifizierbar. (vgl. Ord 2021, S.167) Ein essenzieller, wenn auch nicht ausreichender Schritt, um einen Zustand von *Existential Security* zu erreichen, bei dem das Risiko des kompletten Aussterbens auf ein nachhaltiges Niveau gesichert wurde – da mehrere unabhängige, von Menschen bewohnbare Planeten nicht so einfach von der gleichen existenziellen Katastrophe heimgesucht werden können. (vgl. Ord 2021, S.193) Sobald die Menschheit es schafft diesen Status von existenzieller Sicherheit zu erreichen, wird sie laut Ord endlich die Zeit haben für eine *Long Reflection*, eine Epoche, in der wir ausdiskutieren können, wie die Menschheit ihr langfristiges Potential positiv nutzen sollte. (vgl. Ord 2021, S.191)

## 9. Wie sollten wir versuchen zu expandieren?

„‘The dinosaurs became extinct because they didn't have a space program. And if we become extinct because we don't have a space program, it'll serve us right.’ - Larry Niven“ (vgl. Kaku 2018, S.7) Die Tatsache, dass die Menschheit langfristig garantiert aussterben wird, wenn sie nicht jenseits der Erde expandiert, macht Expansion zu einem moralischen Imperativ (vgl. Reuter 2022) – schließlich hängen die meisten moralischen Theorien wie der Utilitarismus oder Verantwortungsethiken zumindest implizit von der kontinuierlichen Existenz von Menschen ab. Heißt das, wir sollten nun so viele Ressourcen und intellektuelle Kapazitäten wie möglich darin investieren, möglichst schnell eine interstellare Spezies zu werden? Vermutlich nicht.

Die politischen und normativen Fragen sollten sich nicht darum drehen, ob wir expandieren sollten, aber es braucht Debatten darum wie schnell und auf welche Art und Weise. Was die Geschwindigkeit angeht, so argumentiert der Philosoph Nick Bostrom, dass diese aus utilitaristischer Perspektive vor allem von der Möglichkeit zur Reduzierung existenzieller Risiken abhängt. Angesichts all der potentiellen menschlichen Leben die durch die Kolonialisierung mehrere Planeten existieren könnten, entspricht z.B. jede Sekunde, die wir später unser lokales Supercluster kolonialisieren, Opportunitätskosten von rund  $10^{13}$  Menschenleben. (vgl. Bostrom 2003, S.3) Allerdings wäre bereits eine Reduktion von existenziellen Risiken um 1% laut Brostrom eine Verzögerung dieser Kolonialisierung um 10 Millionen Jahr wert. (vgl. Bostrom 2003, S.5) Ergo wenn es z.B. darum geht, heute Ressourcen in Forschung und Entwicklung zu allokalieren, sollte die Reduktion existenzieller Risiken wie z.B. der Klimakrise unter Umständen stärker priorisiert werden, als eine Beschleunigung interstellarer Expansion. Des Weiteren könnte eine Beschleunigung unserer technologischen Entwicklung, die wir für eine schneller Expansion anregen, zu einer Steigerung von existenziellen Risiken durch technische und soziale Disruption führen. (vgl. Kovic 2020, S.10) Andererseits impliziert das GC Modell von Hanson, dass wenn wir uns zu viel Zeit mit der Expansion lassen, wir eventuell gar nicht mehr dazu kommen, weil andere Zivilisationen den Raum um uns kolonialisieren. (vgl. Hanson 2022)

Bei der Art und Weise, wie die Kolonialisierung des Weltraums – deren Anfänge wir aktuell im Zuge des zweiten Wettlaufs zum All erleben (vgl. Weinzierl und Sarang 2021) – ablaufen sollte, gibt es viel ethische, juristische und politische Unklarheiten. Abgesehen von dem Outer Space Treaty von 1966 (vgl. UNOOSA 2015) gibt es keine allgemeinen internationalen Abkommen, die die Nutzung extraterrestrischen Raumes und seiner Ressourcen umfassend regeln. Des Weiteren gibt es wenig philosophische Arbeiten dazu, wie die Menschheit damit ethisch umgehen sollte. Auch wenn aus den meisten anthropozentrischen und auch ananthropozentrischen Ethiken theoretisch keine Einwände gegen die Nutzung extraterrestrischer Ressourcen gibt, sind viele ethische Fragen gänzlich ungeklärt – insbesondere aus dem Ökologismus kommt die Kritik, die Menschheit sollte gar nicht in den Weltraum expandieren, sondern sich in erste Linie auf die Lösung von Umweltproblemen auf unserem Heimatplaneten beschränken. (vgl. Schwartz 2013, S.3) Von Vertretern der *Dunkler-Wald-Hypothese* wird des Weiteren manchmal die Position vertreten, dass gerade solch ein Expansion jenseits unseres Planeten uns zur Zielscheibe von Angriffen durch extraterrestrische Zivilisationen machen könnte. (vgl. Kovic 2020, S.21)

Des Weiteren würde eine Expansion zu neuen Welten mit einer grundlegenden Transformation unserer eigenen Zivilisation einhergehen – die Menschheit würde vermutlich durch eine interstellare Diaspora eine trans- bis posthumanistische Verschmelzung mit Technologien eingehen und langfristig in mehrere Arten fragmentieren – unsere interstellar reisenden Nachfahren wären möglicherweise für uns gar nicht mehr als Menschen wiederzuerkennen. (vgl. Kaku 2018, S.262) Diese radikale Transformation und ihre möglichen Konsequenzen stellen einen selten diskutierten Preis für die Expansion dar.

## 10. Was ist der Wert von Leben?

Was ist der moralische Status von extraterrestrischen Leben? Unterscheidet er sich von dem des terrestrischen Lebens? Was ist der Wert und Zweck der Menschheit, wenn sie nur eine Zivilisation unter vielen ist? Gibt es universelle ethische Werte, die von allen Zivilisationen akzeptiert werden könnten? Haben Außerirdische Menschenrechte? Oder können und sollten wir sie mit einem guten Gewissen auslöschen, wie es einige Vertreter der Dunklen-Wald-Hypothese vorschlagen? Und wenn Rechte für extraterrestrisches Leben gelten, dann für welches? Für jedes Kleinstlebewesen oder nur für jene, die wir als ebenbürtig betrachten? Die Beschäftigung mit dem extraterrestrischen Raum und seinen potentiellen Bewohnern, erweitert unseren ethischen Horizont um die Astroethik und regt zu einem Paradigmenwechsel bei moralphilosophischen Überlegungen an, weg von einem anthropozentrischen und hin zu einem kosmozentrischen Denken. (vgl. Dick 2018)

Wenn die Menschheit beginnt andere Himmelskörper – selbst innerhalb unseres Sonnensystems zum Beispiel Mars und Europa – zu erforschen oder gar terraformen und zu kolonialisieren, dann können wir zum einen nie gänzlich ausschließen, dass wir damit Leben auslöschen, welches wir schlicht nicht als solches erkennen, oder die zukünftige Entstehung von Leben durch das Einbringen terrestrischen Lebens verhindern. Unsere Kolonialisierung könnte die Entstehung von ganzen Zivilisationen und Kulturen verhindern. Auf der anderen Seite könnten wir auch zahlreichen bisher unbewohnten Planeten Leben einhauchen und so die Zahl der lebenden Wesen in unserem Universum steigern. Unsere etwaigen moralische Pflichten gegenüber realen und potentiellen extraterrestrischen Ökosystemen sind heute alles andere als klar. (vgl. Kaçar 2020)

Die Astrobiologin Betül Kaçar schlägt zum Beispiel vor, dass Protospermie als ein möglicherweise für die Menschheit ethisch gebotenes Unterfangen diskutiert werden sollte. Protospermie ist in dem Kontext das Entsenden von anorganischen Materialien aus denen sich Leben entwickeln kann zu bisher vermutlich unbelebten Exoplaneten, um die dortige Entstehung von Leben zu beschleunigen. Im Gegensatz zu einer gezielten Panspermie oder Kolonialisierung, bei der terrestrisches Leben ein neues Ökosystem erschließt, würden so die Entstehung neuer, eigener evolutionärer Pfade angeregt. Debatten hierzu könnten der Menschheit zu einem besseren Verständnis davon verhelfen, was der Wert von Leben ist. (vgl. Kaçar 2020)

## 11. Haben wir eine überproportional große Verantwortung?

Die Tatsache, dass im nahen Universum außer uns keine anderen Zivilisationen zu sehen sind und wir vermutlich eine der ersten Zivilisationen sind, die jemals in Universum entstehen wird, deutet darauf hin, dass die Handlungen von uns Menschen überproportional starke Konsequenzen auf die Zukunft eines großen Teils des Universums haben könnten. Wenn wir uns heute entscheiden mehr Ressourcen in die Entwicklung der Raumfahrt zu stecken, um überhaupt oder schneller zu einer interstellaren Spezies zu werden, kann das über lange Zeit den Unterschied machen, ob Billiarden von intelligenten Wesen, ganze Zivilisationen und evolutionäre Stammbäume überhaupt existieren werden oder nicht. Unsere Frühzeitigkeit impliziert großes Potential und eine große Verantwortung, mit der wir sorgfältig umgehen sollten. Wie wir mit dieser Verantwortung richtig umgehen, ist die Frage noch zu führender ethischer und politischer Debatten.

## 12. Schlussbemerkung

Die Beschäftigung mit extraterrestrischen Zivilisationen bleibt heute ein weitestgehend marginalisiertes und kaum bearbeitetes Thema in der Philosophie, Politik und Gesellschaft. Außerhalb von Fachgebieten wie der Astronomie oder Astrobiologie oder dem jungen Gebiet der Astroethik, gilt das Thema entweder als irrelevant oder etwas für Fanatiker. Während früher Philosophen wie Aristoteles, Huygens oder Kant das Thema äußerst ernst nahmen (vgl. Neal 2014, S. 1), wird heute in geisteswissenschaftlichen Fächern wie der Philosophie sich mehr mit Außerirdischen in Form von medialen Konstrukten oder verschwörungstheoretischen Archetypen beschäftigt, als realistisch mit den Implikationen die eine tatsächliche Existenz hat – eine Existenz, deren Wahrscheinlichkeit angesichts der Erkenntnisse der Astronomie in den vergangenen Jahrzehnten mittlerweile an Gewissheit grenzt. (vgl. Neal 2014, S. 4)

Ich hoffe, dass diese Arbeit überzeugend aufzeigen konnte, warum diese Marginalisierung falsch ist und sich eine ernsthafte Auseinandersetzung mit der Thematik lohnt. Zum einem, weil wir sehr viel daraus über uns selbst, unsere mögliche Zukunft und unseren Platz im Universum lernen können. Zum anderen, weil es besser ist auch bei unwahrscheinlich scheinenden Ereignissen wie der ersten Begegnung mit extraterrestrischen Zivilisationen, schon einen Plan und paar Theorien in der Schublade zu haben, bevor sie eintreten. Während die Menschheit beginnt die Weiten des Universums um unseren kleinen Planeten herum immer besser zu verstehen und zu erschließen, und ihr interstellares Potential zu entfalten, werden Themen der Astroethik wie der moralische Status von extraterrestrischen Ressourcen, Lebensformen und Zivilisationen für das politische Denken immer drängender.

Der sich vor der Menschheit auftuende Weg zu den Sternen und der ersten Begegnung mit anderen intelligenten Wesen ist gepflastert mit zahlreichen politischen und ethischen Problemen, die es noch zu identifizieren und zu lösen gilt.

## 13. Quellen

Allnoch, Norbert (2021): Vestas errichtet die mit 15 MW leistungsstärkste Windkraftanlage der Welt in Dänemark. In: *IWR.de GmbH*, 15.10.2021. Online verfügbar unter <https://www.iwr.de/news/vestas-errichtet-die-mit-15-mw-leistungsstaerkste-windkraftanlage-der-welt-in-daenemark-news37638>, zuletzt geprüft am 22.08.2022.

Aquino, Fran de (2013): Relativistic Kinetic Projectiles.

Bialy, Shmuel; Loeb, Abraham (2018): Could Solar Radiation Pressure Explain 'Oumuamua's Peculiar Acceleration? In: *ApJ* 868 (1), L1. DOI: 10.3847/2041-8213/aaeda8.

Bostrom, Nick (2003): Astronomical Waste: The Opportunity Cost of Delayed Technological Development. In: *Utilitas* 15 (3), S. 308–314. DOI: 10.1017/s0953820800004076.

Bostrom, Nick (2008): Where Are They? In: *MIT Technology Review*, 22.04.2008. Online verfügbar unter <https://www.technologyreview.com/2008/04/22/220999/where-are-they/>, zuletzt geprüft am 18.08.2022.

Boyle, Rebecca (2017): Why These Scientists Fear Contact With Space Aliens. In: *NBC News*, 08.02.2017. Online verfügbar unter <https://www.nbcnews.com/storyline/the-big-questions/why-these-scientists-fear-contact-space-aliens-n717271>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

Brinkhof, Tim (2022): Did ancient Greek philosophers believe in aliens? In: *Big Think*, 10.05.2022. Online verfügbar unter <https://bigthink.com/the-past/aliens-greek-philosophers-history/>, zuletzt geprüft am 19.08.2022.

Carney, James (2021): If we ever came across aliens, would we be able to understand them? Online verfügbar unter <https://theconversation.com/if-we-ever-came-across-aliens-would-we-be-able-to-understand-them-62856>, zuletzt aktualisiert am 06.10.2021, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

Carter, Brandon (1983): The anthropic principle and its implications for biological evolution. In: *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 310 (1512), S. 347–363. DOI: 10.1098/rsta.1983.0096.

Choi, Charles Q. (2017): How Did Multicellular Life Evolve? | News | Astrobiology. Online verfügbar unter <https://astrobiology.nasa.gov/news/how-did-multicellular-life-evolve/>, zuletzt aktualisiert am 13.02.2017, zuletzt geprüft am 19.08.2022.

Chomsky, Noam; Gliedman, John (2022): Things No Amount of Learning Can Teach, Noam Chomsky interviewed by John Gliedman. Online verfügbar unter [https://chomsky.info/198311\\_\\_/](https://chomsky.info/198311__/), zuletzt aktualisiert am 21.08.2022, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

Dick, Steven J. (2018): Astroethics and Cosmocentrism. *Scientific American*. Online verfügbar unter <https://blogs.scientificamerican.com/observations/astroethics-and-cosmocentrism/>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2018, zuletzt geprüft am 24.08.2022.

ESA (2022): ESA Science & Technology - From an almost perfect Universe to the best of both worlds. Online verfügbar unter <https://sci.esa.int/web/planck/-/60499-from-an-almost-perfect-universe-to-the-best-of-both-worlds>, zuletzt aktualisiert am 18.08.2022, zuletzt geprüft am 18.08.2022.

Exoplanets NASA (2022): Exoplanet Exploration: Planets Beyond our Solar System. Online verfügbar unter <https://exoplanets.nasa.gov/>, zuletzt aktualisiert am 16.08.2022, zuletzt geprüft am 16.08.2022.

- Frank, A.; Sullivan, W. T. (2016): A New Empirical Constraint on the Prevalence of Technological Species in the Universe. In: *Astrobiology* 16 (5), S. 359–362. DOI: 10.1089/ast.2015.1418.
- Fridman, Lex; Hanson, Robin (2022): Robin Hanson: Alien Civilizations, UFOs, and the Future of Humanity | Lex Fridman Podcast #292 - YouTube. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=KBZP4rLk6bk&t=793s>, zuletzt aktualisiert am 09.06.2022, zuletzt geprüft am 23.08.2022.
- Greshko, Michael (2018): Aliens Could Detect Life on Earth. Here's How. In: *National Geographic*, 26.03.2018. Online verfügbar unter <https://www.nationalgeographic.com/science/article/how-aliens-could-discover-life-on-earth-one-strange-rock-science>, zuletzt geprüft am 22.08.2022.
- Hall, Shannon (2013): Lithopanspermia: How Earth May Have Seeded Life on Other Solar System Bodies. Online verfügbar unter <https://www.universetoday.com/107268/lithopanspermia-and-how-earth-may-have-seeded-life-on-other-solar-system-bodies/>, zuletzt aktualisiert am 23.12.2015, zuletzt geprüft am 18.08.2022.
- Hanson, Robin (1998): The great filter-are we almost past it. Online verfügbar unter <https://mason.gmu.edu/~rhanson/greatfilter.html>.
- Hanson, Robin (2022): Overcoming Bias : The Coming Cosmic Control Conflict. Online verfügbar unter <https://www.overcomingbias.com/2021/07/the-coming-cosmic-control-conflict.html>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2022, zuletzt geprüft am 09.08.2022.
- Hanson, Robin (2022): Grabby Aliens – a simple model by Robin Hanson. Online verfügbar unter <https://grabbyaliens.com/>, zuletzt aktualisiert am 20.08.2022, zuletzt geprüft am 20.08.2022.
- Hanson, Robin; Martin, Daniel; McCarter, Calvin; Paulson, Jonathan (2021): If Loud Aliens Explain Human Earliness, Quiet Aliens Are Also Rare. In: *ApJ* 922 (2), S. 182. DOI: 10.3847/1538-4357/ac2369.
- Haramia, Chelsea; DeMarines, Julia (2019): The Imperative to Develop an Ethically-Informed METI Analysis. In: *Theology and Science* 17 (1), S. 38–48. DOI: 10.1080/14746700.2019.1557800.
- Hendricks, Scotty (2018): Dark Forest theory: A terrifying explanation of why we haven't heard from aliens yet. In: *Big Think*, 14.06.2018. Online verfügbar unter <https://bigthink.com/surprising-science/the-dark-forest-theory-a-terrifying-explanation-of-why-we-havent-heard-from-aliens-yet/>, zuletzt geprüft am 08.08.2022.
- Kaçar, Betül (2020-00-20): If we're alone in the Universe, should we do anything about it? | Aeon Essays. In: *Aeon Magazine*, 2020-00-20. Online verfügbar unter <https://aeon.co/essays/if-were-alone-in-the-universe-should-we-do-anything-about-it>, zuletzt geprüft am 22.08.2022.
- Kaku, Michio (2018): The future of humanity. Terraforming Mars, interstellar travel, immortality and our destiny beyond Earth. [London]: Penguin Books (Penguin science).
- Kant, Immanuel (2022): Allgemeine Naturgeschichte und Theorie Des Himmels. Online verfügbar unter <https://www.projekt-gutenberg.org/kant/naturg/chap05.html>, zuletzt aktualisiert am 16.08.2022, zuletzt geprüft am 19.08.2022.
- Kara, Stefanie (2018): Universalgrammatik: "Ich denke, dass er denkt, dass ...". In: *Die Zeit*, 01.05.2018. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/2018/18/universalgrammatik-sprache-kinder-gehirn-neuropsychologie>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.
- Kardashev, Nikolai S. (1985): On the Inevitability and the Possible Structures of Supercivilizations. In: *Symp. - Int. Astron. Union* 112, S. 497–504. DOI: 10.1017/S0074180900146893.



Kerins, Eamonn (2021): Mutual Detectability: A Targeted SETI Strategy That Avoids the SETI Paradox. In: *AJ* 161 (1), S. 39. DOI: 10.3847/1538-3881/abcc5f.

Kipping, David M.; Teachey, Alex (2016): A cloaking device for transiting planets. In: *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 459 (2), S. 1233–1241. DOI: 10.1093/mnras/stw672.

Kovic, Marko (2021): Risks of space colonization. In: *Futures* 126, S. 102638. DOI: 10.1016/j.futures.2020.102638.

Martin, Daniel (2021): The Grabby Aliens Model — 3D Sim - YouTube. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=oLvzFJLLfCY>, zuletzt aktualisiert am 08.02.2021, zuletzt geprüft am 20.08.2022.

Martínez, Alberto A. (2018): Was Giordano Bruno Burned at the Stake for Believing in Exoplanets? Online verfügbar unter <https://blogs.scientificamerican.com/observations/was-giordano-bruno-burned-at-the-stake-for-believing-in-exoplanets/>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2018, zuletzt geprüft am 16.08.2022.

Moynihan, Thomas (2020): Existential risk and human extinction: An intellectual history. In: *Futures* 116, S. 102495. DOI: 10.1016/j.futures.2019.102495.

Mulgan, Tim (2017-00-05): How the discovery of extraterrestrial life would change morality | Aeon Essays. In: *Aeon Magazine*, 2017-00-05. Online verfügbar unter <https://aeon.co/essays/how-the-discovery-of-extraterrestrial-life-would-change-morality>, zuletzt geprüft am 19.08.2022.

NASA Video (2022): How Webb Will Study Atmospheres of Exoplanets. YouTube. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=jbSXBbyWstE>, zuletzt aktualisiert am 22.08.2022, zuletzt geprüft am 22.08.2022.

Neal, Mark (2014): Preparing for extraterrestrial contact. In: *Risk Management* 16 (2), S. 63–87. DOI: 10.1057/rm.2014.4.

ORD, TOBY (2021): PRECIPICE. Existential risk and the future of humanity. [S.l.]: HACHETTE BOOKS.

Ozaki, Kazumi; Reinhard, Christopher T. (2021): The future lifespan of Earth's oxygenated atmosphere. In: *Nat. Geosci.* 14 (3), S. 138–142. DOI: 10.1038/s41561-021-00693-5.

Pappas, Stephanie (2022): Is it time to send another message to intelligent aliens? Some scientists think so. In: *Live Science*, 06.04.2022. Online verfügbar unter <https://www.livescience.com/new-seti-message>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

Powell, Corey S. (2021): Technosignatures are a sea change in the search for alien life | Aeon Essays. In: *Aeon Magazine*, 25.10.2021. Online verfügbar unter <https://aeon.co/essays/technosignatures-are-a-sea-change-in-the-search-for-alien-life>, zuletzt geprüft am 20.08.2022.

Randow, Gero von (2021): Aliens: Besuch aus einer anderen Welt. In: *Die Zeit*, 21.05.2021. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/kultur/2021-05/aliens-ausserirdische-intelligenz-existenz-weltraum/komplettansicht>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

Rawden, Mack (2013): Watch To Learn Why The First Human Voice Aliens Hear Could Be Hitler's. In: *Cinemablend*, 05.09.2013. Online verfügbar unter <https://www.cinemablend.com/pop/Watch-Learn-Why-First-Human-Voice-Aliens-Hear-Could-Hitler-58869.html>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

Reuter, Timothy (2022): Why the human race must become a multiplanetary species. World Economic Forum. Online verfügbar unter <https://www.weforum.org/agenda/2021/12/humans-multiplanetary-species/>, zuletzt aktualisiert am 23.08.2022, zuletzt geprüft am 23.08.2022.

Rushby, Andrew J.; Claire, Mark W.; Osborn, Hugh; Watson, Andrew J. (2013): Habitable zone lifetimes of exoplanets around main sequence stars. In: *Astrobiology* 13 (9), S. 833–849. DOI: 10.1089/ast.2012.0938.

Schulze-makuch, Dirk (2021): The Science of Aliens, Part I: Would They Be Friendly, or Threatening? In: *Smithsonian Magazine*, 06.04.2021. Online verfügbar unter <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/science-aliens-part-i-would-they-be-friendly-or-threatening-180977432/>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.

SETI Institute (2020): How Many Habitable Planets are Out There? Online verfügbar unter <https://www.seti.org/press-release/how-many-habitable-planets-are-out-there>, zuletzt aktualisiert am 09.10.2020, zuletzt geprüft am 16.08.2022.

Sierra, Leonor (2016): Are we alone in the universe? Revisiting the Drake equation, 19.05.2016. Online verfügbar unter <https://exoplanets.nasa.gov/news/1350/are-we-alone-in-the-universe-revisiting-the-drake-equation/>, zuletzt geprüft am 16.08.2022.

Spall, Nick (2021): Panspermia: Could life be delivered to a planet? In: *BBC Sky at Night Magazine*, 30.04.2021. Online verfügbar unter <https://www.skyatnightmagazine.com/space-science/panspermia-life-theory/>, zuletzt geprüft am 18.08.2022.

Staff, Space.com (2012): Star Formation Sputtering Out Across the Universe. In: *Space*, 07.11.2012. Online verfügbar unter <https://www.space.com/18370-universe-star-formation-rate-decline.html>, zuletzt geprüft am 20.08.2022.

Steigerwald, Bill (2022): NASA-Funded Study Extends Period When Mars Could Have Supported Life. In: *NASA*, 27.01.2022. Online verfügbar unter <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2022/mars-ocean>, zuletzt geprüft am 20.08.2022.

U.S. Department of Defense (2020): Statement by the Department of Defense on the Release of Historical Navy Videos. Online verfügbar unter <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2165713/statement-by-the-department-of-defense-on-the-release-of-historical-navy-videos/>, zuletzt aktualisiert am 27.04.2020, zuletzt geprüft am 18.08.2022.

UNOOSA (2015): The Outer Space Treaty. Online verfügbar unter <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html>, zuletzt aktualisiert am 08.06.2015, zuletzt geprüft am 23.08.2022.

Vakoch, Douglas A. (Hg.) (2014): Extraterrestrial Altruism. Evolution and Ethics in the Cosmos. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (The Frontiers Collection).

Veisdal, Jørgen (2019): The Drake equation - Cantor's Paradise. In: *Cantor's Paradise*, 06.10.2019. Online verfügbar unter <https://www.cantorsparadise.com/how-to-estimate-the-number-of-aliens-in-the-milky-way-3e9a43c17a5>, zuletzt geprüft am 16.08.2022.

Vladar, Harold P. de (2013): The game of active search for extra-terrestrial intelligence: breaking the 'Great Silence'. In: *International Journal of Astrobiology* 12 (1), S. 53–62. DOI: 10.1017/S1473550412000407.

Weinzierl, Matt; Sarang, Mehak (2021): The Commercial Space Age Is Here. Harvard Business Review. Online verfügbar unter <https://hbr.org/2021/02/the-commercial-space-age-is-here>, zuletzt aktualisiert am 12.02.2021, zuletzt geprüft am 09.08.2022.

Wesson, Paul S. (1990): Cosmology, Extraterrestrial Intelligence, and a Resolution of the Fermi-Hart Paradox. In: *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 31, S. 161.

Williams, Matt (2018): Estimating When Life Could Have Arisen on Earth. Online verfügbar unter <https://www.universetoday.com/139887/estimating-when-life-could-have-arisen-on-earth/>, zuletzt aktualisiert am 06.09.2018, zuletzt geprüft am 18.08.2022.

Wisian, Kenneth W.; Traphagan, John W. (2020): The Search for Extraterrestrial Intelligence: A Realpolitik Consideration. In: *Space Policy* 52, S. 101377. DOI: 10.1016/j.spacepol.2020.101377.

Yu, Chao (2014): The Dark Forest Rule: One Solution to the Fermi Paradox. In: *Journal of the British Interplanetary Society* 68 (5-6), S. 142–144. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/chao-yu-22/publication/283986931\\_the\\_dark\\_forest\\_rule\\_one\\_solution\\_to\\_the\\_fermi\\_paradox](https://www.researchgate.net/profile/chao-yu-22/publication/283986931_the_dark_forest_rule_one_solution_to_the_fermi_paradox).

Yugas, Alan (2020): The Pentagon Released U.F.O. Videos. Don't Hold Your Breath for a Breakthrough. In: *The New York Times*, 28.04.2020. Online verfügbar unter <https://www.nytimes.com/2020/04/28/us/pentagon-ufo-videos.html>, zuletzt geprüft am 18.08.2022.

Zaitsev, Alexander (2006): The SETI Paradox. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/physics/0611283>.

Zaitsev, Alexander L. (2011): Rationale for METI. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/1105.0910>.