

Stephen Webb

# Wo sind sie alle?

Fünfzig Lösungen  
für das Fermi-Paradoxon



SACHBUCH

 Springer

Wo sind sie alle?

Stephen Webb

# Wo sind sie alle?

Fünfzig Lösungen für das  
Fermi-Paradox

Mit einem Geleitwort von Martin Rees  
Aus dem Englischen übersetzt von Matthias  
Delbrück

 Springer

Stephen Webb  
DCQE  
University of Portsmouth  
Portsmouth, UK

*Übersetzt von*  
Matthias Delbrück  
Dossenheim, Baden-Württemberg  
Deutschland

ISBN 978-3-662-63289-5      ISBN 978-3-662-63290-1 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63290-1>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Deutsche Übersetzung der 2. englischen Originalauflage erschienen bei Springer International Publishing, 2015  
Translation from the language edition: *If the Universe Is Teeming with Aliens ... WHERE IS EVERYBODY?*  
by Stephen Webb, and Matthias Delbrück © Springer International Publishing Switzerland 2015. Published  
by Springer International Publishing. All Rights Reserved.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil  
von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht  
ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. Das  
gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und  
Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in  
diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur  
Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des  
jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in  
diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch  
die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des  
Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und  
Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Lisa Edelhäuser

Cover: deblik Berlin unter Verwendung eines Motivs von © Анна Лукина/stock.adobe.com

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von  
Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

# Geleitwort

„Sind wir allein im Universum?“ ist eine der ältesten und universellsten Fragen. Seit über 100 Jahren regt diese Frage brillante Science-Fiction an – und heute ist sie Gegenstand von Wissenschaft und Forschung. Aber immer noch fehlen uns Beweise – wir wissen zu wenig, um sagen zu können, ob die Existenz intelligenter Außerirdischer wahrscheinlich oder unwahrscheinlich ist. Deshalb brauchen wir alle Argumente, die wir aufreiben können. Und genau deshalb wird dieses Buch eine Anregung für alle wissbegierigen Geister sein.

Es könnte einfache Organismen auf dem Mars geben oder Überreste von Lebewesen, die in der Frühzeit des Roten Planeten gelebt haben. Leben könnte auch in den eisbedeckten Ozeanen des Jupitermonds Europa oder des Saturnmonds Enceladus vorhanden sein. Aber nur wenige würden wohl darauf wetten – und sicherlich würde man an solchen Orten keine komplexe Biosphäre erwarten. Dafür müssen wir zu den fernen Sternen blicken – weit jenseits der Reichweite jeder Sonde, die wir heute konstruieren können.

Die Aussichten sind hier viel besser. In den letzten 20 Jahren (und vor allem in den letzten fünf) ist der Nachthimmel viel interessanter und für Forscher deutlich verlockender geworden, als er es für unsere Vorfahren je war. Astronomen haben entdeckt, dass viele Sterne – vielleicht sogar die meisten – von Planeten umkreist werden, genauso wie die Sonne. Diese Planeten sind im Allgemeinen nicht direkt nachweisbar. Aber sie verraten ihre Anwesenheit durch Effekte auf ihren Mutterstern, die durch präzise Messungen nachgewiesen werden können: kleine periodische Bewegungen des Sternes, die durch die Schwerkraft eines umkreisenden Planeten hervorgerufen werden, und leichte, wiederkehrende Abschwächungen der Hellig-

keit eines Sternes, wenn ein Planet vor ihm vorbeizieht und einen winzigen Teil seines Lichtes blockt.

Besonderes Interesse besteht an möglichen „Zwillingen“ unserer Erde – Planeten gleicher Größe, die einen sonnenähnlichen Stern umkreisen, und das auf Bahnen mit Temperaturen, bei denen Wasser weder kocht noch gefriert. Die Kepler-Raumsonde hat viele solcher Planeten bereits identifiziert und wir können mit Sicherheit davon ausgehen, dass es in unserer Galaxis Milliarden davon gibt.

Innerhalb von 20 Jahren wird die nächste Generation von Teleskopen die nächstgelegenen dieser Planeten erfassen. Wird es auf ihnen Leben geben? Wir wissen zu wenig darüber, wie das Leben auf der Erde begann, um belastbare Vermutungen anzustellen. Was hat den Übergang von komplexen Molekülen zu stoffwechsel- und fortpflanzungsfähigem Leben ausgelöst? Bei diesem Prozess könnte es sich um einen Zufall handeln, der so selten ist, dass er in einer ganzen riesigen Galaxie nur einmal vorkommt. Andererseits könnte dieser alles entscheidende Übergang in der „richtigen“ Umgebung sogar zwangsläufig und häufig erfolgen. Wir wissen es einfach nicht – und wir wissen auch nicht, ob die DNA/RNA-Chemie des irdischen Lebens die einzige Möglichkeit dafür ist oder nur eine chemische Basis unter vielen Optionen.

Selbst wenn einfaches Leben weit verbreitet sein sollte, können wir nicht abschätzen, wie wahrscheinlich es ist, dass sich daraus eine komplexe Biosphäre entwickelt. Und selbst wenn dies der Fall wäre, könnte das Ergebnis für uns nicht erkennbar sein. Ich erwarte mir nicht allzu viel vom SETI-Programm, aber es ist einen Versuch wert – denn wäre die Suche erfolgreich, hieße das, dass Konzepte der Logik und der Physik (wenn nicht sogar des Bewusstseins) nicht auf die Hardware in menschlichen Schädeln beschränkt sind.

Außerdem ist es vielleicht zu anthropozentrisch, die Aufmerksamkeit nur auf erdähnliche Planeten zu beschränken. Science-Fiction-Autoren haben andere Ideen verfolgt – ballonartige Wesen, die in der dichten Atmosphäre von Jupiter-ähnlichen Planeten schweben, Schwärme von intelligenten Insekten, Roboter mit kleinsten Abmessungen im Nanobereich und so weiter. Vielleicht kann Leben auf Planeten gedeihen, die in die gefrorene Dunkelheit des interstellaren Raumes geschleudert wurden und deren einzige Wärmequelle die Radioaktivität in ihrem Inneren ist (ein Prozess, der auch den Erdkern aufheizt). Es könnte sogar diffuse lebende Strukturen geben, die frei in interstellaren Wolken schweben; solche „Wesen“ würden in Utra-Zeitlupe leben (und, wenn sie intelligent sind, denken), aber vielleicht in ferner Zukunft zu ihrem Recht kommen – wie die „Schwarze Wolke“

(The Black Cloud), die sich mein Mentor Fred Hoyle in Cambridge vorstellte.

Kein Leben könnte auf einem Planeten forbestehen, dessen zentraler sonnenähnlicher Stern sich zu einem Roten Riesen aufblähen und seine äußeren Schichten absprenge würde. Solche Überlegungen erinnern uns an die Vergänglichkeit bewohnter Welten (und den Drang des Lebens, ihren Fesseln irgendwann zu entkommen). Wir sollten auch bedenken, dass scheinbar künstliche Signale von superintelligenten (wenn auch nicht unbedingt bewussten) Computern stammen könnten, die irgendwann einmal von einer längst ausgestorbenen Rasse außerirdischer Wesen geschaffen wurden.

Vielleicht werden wir E.T. eines Tages finden. Andererseits erklären viele der in diesem Buch zusammengetragenen 50 Antworten auf die berühmte Fermi-Frage, warum die SETI-Suche scheitern und die komplizierte Biosphäre der Erde einzigartig sein könnte. Das würde die Suchenden enttäuschen, hätte aber einen Vorteil: Es würde uns Menschen dazu berechtigen, weniger „kosmisch bescheiden“ zu sein. Außerdem wäre das Leben auf der Erde damit nicht bloß ein kosmischer Nebenschauplatz. Die Evolution steht vielleicht noch ganz am Anfang und nicht am Ende. Unser Sonnensystem ist gerade mal mittelalt, und wenn die Menschen sich nicht selbst zerstören, ist sogar ein posthumanes Zeitalter möglich. Das Leben könnte sich von der Erde aus durch die Galaxis ausbreiten und zu einer wimmelnden Komplexität entwickeln, die weit über das hinausgeht, was wir uns überhaupt vorstellen können. Wenn dem so ist, könnte unser winziger Planet – dieser blassblaue, durch das All schwebende Punkt – der wichtigste Ort in der gesamten Galaxis sein, und die ersten interstellaren Reisenden, die von der Erde aufbrächen, hätten eine Mission, die in der gesamten Galaxis und vielleicht darüber hinaus einzigartig wäre.

Diese Debatte wird noch Jahrzehnte andauern. Und Stephen Webb hat in einem einzigen, höchst unterhaltsamen Buch einen äußerst intelligenten Schwarm an Argumenten und Spekulationen zusammengetragen, welche diese Debatte bereichern. Wir können ihm dafür dankbar sein!

Martin Rees, Königlicher Astronom

# Vorwort

Die Erfahrung, mit großen Augen in den unendlichen dunklen Nachthimmel zu schauen, lässt in uns einige fundamentale Fragen aufkommen. Wie ist das Universum entstanden? Wann hat es das getan? Wie wird es enden? Die Wissenschaft hat in den letzten Jahrzehnten einige große Fortschritte bei der Beantwortung dieser Fragen gemacht. Der Nachthimmel birgt aber noch ein weiteres großes Rätsel, für das bisher niemand eine allgemein akzeptierte Lösung gefunden hat: Unsere Galaxis enthält 100 Mrd. Planeten, vielleicht noch mehr. Da muss es doch auf einem oder sogar ziemlich vielen dieser kaum vorstellbar zahlreichen Planeten eine Zivilisation von Aliens geben, und diese Zivilisationen dürften angesichts des ebenfalls kaum zu ermessenden Alters des Universums der unseren technologisch weit überlegen sein. *Aber* – wir sehen nirgendwo etwas von ihnen. Wo sind die bloß alle?

Diese Frage hat seit Mitte des letzten Jahrhunderts, als sie von Enrico Fermi aufgeworfen wurde, viele Menschen fasziniert und dazu angestachelt, sich über die Jahre eine ganze Menge erstaunlich unterschiedlicher Antworten auszudenken. Im Jahr 2002 habe ich ein Buch publiziert, das 50 verschiedene Sichtweisen auf das Problem der Existenz oder Nichtexistenz von extraterrestrischem Leben zusammenstellt und diskutiert. Doch der wissenschaftliche Hintergrund entwickelt sich dynamisch und viele Disziplinen tragen dazu bei, sodass mich der Verlag zehn Jahre später um eine zweite Auflage des Buches bat. 2015 erschien dann das Update mit 75 Ansätzen zur Lösung des „Fermi-Paradoxons“.

Die schiere Menge an Literatur zu dieser Frage ist seitdem derart rasch angewachsen – wobei sowohl professionelle Naturwissenschaftlerinnen

als auch Amateurphilosophen, reine Mathematiker und bodenständige Ingenieurinnen gleichermaßen beigetragen haben –, dass eine dritte Auflage möglich wurde. Ich war mir allerdings nicht ganz sicher, ob die Leserschaft die Geduld aufbringen würde, sich nunmehr 100 Lösungsversuche am Stück anzutun ... So oder so kam das Projekt zu einem Halt, als im Frühjahr 2020 die globale Pandemie zuschlug.

Etwas zur selben Zeit kam die Idee auf, eine deutsche Übersetzung des Buches zu wagen. Ich war begeistert: Ich liebe Deutschland, meine Frau ist Deutsche und wir besuchen das Land, so oft wir können. Es galt allerdings ein paar Randbedingungen zu beachten: Alle 75 Lösungen der 2015er-Ausgabe zu übersetzen, hätte den Rahmen gesprengt, und selbst in den fünf Jahren seither ist wissenschaftlich derart viel passiert, dass eine sowohl kürzende als auch aktualisierende Neubearbeitung des Materials notwendig erschien. Das Ergebnis war ein Manuskript, das sich von beiden bisher vorliegenden englischen Versionen unterschied. Es war ein neues Buch.

Und selbst zwischen der Fertigstellung des (englischen) Manuskripts und der Publikation der deutschen Übersetzung hat sich noch eine ganze Menge getan: Meldungen über mikrobielles Leben auf der Venus wurden publiziert und verworfen, es gab neue Ideen zur Möglichkeit des „Warp-Antriebs“ und zu den Ursprüngen des Lebens auf der Erde. Offensichtlich bleibt kein Buch zu diesem Thema allzu lange aktuell ... Doch ich hoffe, dass Sie beim Lesen meines Buches genügend Informationen finden, um selbst Ihren Weg durch die immer wieder neuen verblüffenden Meldungen auf den Wissenschaftsseiten (und -websites!) zu finden. Sollten Sie dabei auf eine neue Antwort zur Frage „*Wo sind die bloß alle?*“ stoßen, die weder in diesem Buch noch anderswo verzeichnet ist, dann bitte schreiben Sie mir! Vielleicht bekommt diese Lösung ja einen Ehrenplatz in einer künftigen dritten Auflage der englischen Version.

Zum Schluss möchte ich meine Dankbarkeit ausdrücken gegenüber Dr. Lisa Edelhäuser vom Springer-Verlag, die dieses Projekt initiiert und immer mit Rat und Tat begleitet hat, Bettina Saglio, ebenfalls vom Springer-Verlag, die das Projekt so wunderbar effizient gemanagt hat, und Dr. Matthias Delbrück, der sich bereit erklärte, das Manuskript zu übersetzen. Matthias hat nicht nur eine sehr kompetente Übersetzung abgeliefert, sondern auch zahlreiche Verbesserungen vorgeschlagen.

Stephen Webb

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wo sind die bloß alle?</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Über Fermi ... und über Paradoxe</b>	<b>7</b>
	Der Physiker Enrico Fermi	8
	Paradoxe als solche	12
	Das Fermi-Paradox	15
<b>3</b>	<b>Sie sind (oder waren) schon hier</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Es gibt sie, wir haben sie bloß noch nicht gesehen (oder gehört)</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>Es gibt sie nicht</b>	<b>175</b>
<b>6</b>	<b>Des Paradoxes Lösung ...</b>	<b>283</b>
	<b>Anmerkungen</b>	<b>293</b>
	<b>Literatur</b>	<b>339</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>361</b>



# 1

## Wo sind die bloß alle?

Ich bin zum ersten Mal im Sommer 1984 auf das Fermi-Paradox gestoßen. Eigentlich sollte ich mich auf einen Physikkurs vorbereiten. Stattdessen habe ich das *Science Fiction Magazine* von *Isaac Asimov* studiert. (Ohne schlechtes Gewissen. Asimov war es gewesen, der überhaupt erst mein Interesse an den Naturwissenschaften geweckt hatte.<sup>1</sup>) In diesem Jahr erscheinen zwei Artikel in Asimovs Magazin,<sup>2</sup> die mich sehr zum Nachdenken angeregt haben: Der erste war von Stephen Gillett und hieß *The Fermi-Paradox*. Der zweite war eine kraftvolle Erwiderung von Robert Freitas und hieß *Fermi's Paradox: A Real Howler*.<sup>3</sup>

Gillett argumentierte folgendermaßen. Nehmen wir an, die Milchstraße sei das Heim von vielen extraterrestrischen Zivilisationen. (Um nicht so viel tippen zu müssen werde ich diese in der Regel als ETZ bezeichnen.) Da die Milchstraße ziemlich alt ist, stehen die Chancen gut, dass diese ETZs uns *weit* überlegen sind. Nikolai Kardaschow hatte damals bereits ein gutes Schema zur Klassifikation von ETZs vorgeschlagen: Eine Kardaschow-Typ-1-Zivilisation (oder KI-Zivilisation) wäre uns ein bisschen voraus und könnte die Energievorräte ihres Planeten effektiv nutzen. Eine KII-Zivilisation wäre schon viel weiter: Sie könnte die Energievorräte ihres Sternes (oder eines anderen) anzapfen. Eine KIII-Zivilisation schließlich wäre in der Lage, sich die Energievorräte einer ganzen *Galaxie* zunutze zu machen. Gillett zufolge wären dann die meisten ETZs in einer Galaxie vom Typ KII oder KIII. Terrestrisches Leben wiederum hat die Tendenz, sich in jede verfügbare Nische auszubreiten. Warum sollte das bei extraterrestrischem Leben in irgendeiner Weise anders sein? Sicherlich würden

doch ETZs von ihrer Heimatwelt aus in die Milchstraße expandieren? Allerdings – und genau dies ist der Punkt – eine KII- oder KIII-Zivilisation könnte unsere „Milchstraße“ oder „Galaxis“ genannte Galaxie<sup>4</sup> bereits in wenigen Millionen Jahren kolonisiert haben. Die Milchstraße sollte also vor technologisch hochstehenden Zivilisationen nur so brummen – sie sollten längst hier angekommen sein! Und doch sehen wir keinerlei Belege für ihre Existenz. Gillett nannte dies das Fermi-Paradox. (Ich erkläre später, warum Fermis Name mit diesem Argument verbunden ist.) Für Gillett führte das Paradox auf eine ernüchternde Schlussfolgerung: Die Menschheit ist allein im Universum (oder zumindest in unserer Heimatgalaxie).

Freitas hielt das für Unsinn. Er verglich Gilletts Logik mit dem folgenden Argument: Lemminge vermehren sich schnell. Richtig schnell – etwa drei Würfe pro Jahr und jeder Wurf enthält bis zu acht süße kleine Nager. In wenigen Jahren übertrifft die Gesamtmasse aller Lemminge die Gesamtmasse der irdischen Biosphäre. Die Erde muss vor Lemmingen brummen! Und doch haben die meisten von uns keine Belege für die Existenz von Lemmingen. Haben Sie schon mal einen gesehen? Die Argumentation des Fermi-Paradoxes würde uns also zu dem Schluss führen, dass Lemminge nicht existieren, was natürlich, wie Freitas herausstellte, absurd ist. Interessant ist auch sein Hinweis darauf, dass es gar nicht so klar sei, dass es keine Belege für die Existenz von ETZs gibt: Würden diese kleine Sonden im Planetoidengürtel oder größere in der Oortschen Wolke parken, dann hätten wir keine Chance, sie zu entdecken. Außerdem argumentierte er, dass die Logik hinter dem sogenannten Paradox nicht aufgeht. Die ersten beiden Schritte lauten:

1. Wenn Aliens existieren, dann sollten sie hier sein.
2. Und wenn sie hier sind, sollten wir sie beobachten.

Aber „sollten“ ist nicht „müssen“, also ist es logisch nicht korrekt, den Folgerungspfeil umzukehren. (In anderen Worten können wir aus der Tatsache, dass wir sie nicht sehen, nicht darauf schließen, dass sie nicht hier sind. Wir können also erst recht nicht darauf schließen, dass sie gar nicht existieren.<sup>5</sup>)

Ein Paradox ist interessant, weil wir – solange wir keine weiteren Informationen bekommen, mit denen es sich auflösen lässt – damit gedanklich auf ganz unterschiedliche Weisen umgehen können. In diesem Fall geht es um so viel (Sein oder Nichtsein von intelligenten Außerirdischen) und die experimentellen Fakten sind so dünn (selbst jetzt können wir nicht einmal sicher sein, ob die ETZs nicht schon längst hier sind), dass

die Diskussionen oft ziemlich hitzig werden. In der Gillett-Freitas-Debatte war ich ursprünglich auf der Seite von Freitas, vor allem wegen der schieren Größe der Zahlen: Unsere Heimatgalaxie enthält vielleicht 400 Mrd. Sterne und es gibt ebenso viele Galaxien im Universum wie Sterne in jeder Galaxie. Seit den Tagen von Kopernikus hat uns die Naturwissenschaft gelehrt, dass an der Erde einfach nichts Besonderes ist (man nennt dies auch das kopernikanische Prinzip). Daraus folgt sofort, dass unsere Erde einfach nicht der einzige Ort im gesamten Kosmos sein kann, an dem es intelligentes Leben gibt. Und doch ...

Gilletts Argument hatte bei mir verfangen. Seit meiner Kindheit habe ich über die Wunder von Raumfahrttechnik und Sternenreisenden gelesen; diese Science-Fiction-Legenden waren Teil meiner geistigen Wohnzimmer-einrichtung. Auch die ersten Flug- und Raumflugpioniere waren immer eine Inspiration (Abb. 1.1). SF-Autoren hatten mir Hunderte von möglichen Universen eröffnet, doch meine Astronomiedozenten machten mir klar, dass sich alles, was sich beim Blick in das reale Universum erkennen lässt, mithilfe kalter physikalischer Gleichungen erklärt werden kann. Einfach gesagt: Das Universum sieht rundum unbelebt aus. Je mehr ich über die Fermi-Frage „Wo *sind* die bloß alle?“ nachgrübelte, desto mehr zog mich das Paradox in seinen Bann.

Mir schien es so, als sei das Paradox letztlich ein epischer Wettstreit zwischen zwei unvorstellbar großen Zahlen: der Unmenge an potenziellen Entstehungsorten für Leben und dem genauso unvorstellbaren Alter des Universums.

Die erste Zahl ist schlicht die Anzahl der Planeten mit für die Entwicklung von Lebensformen geeigneten Umweltbedingungen. Wenn wir uns an das „Prinzip“ halten und weiterhin annehmen, dass an der Erde nichts Besonderes ist, muss es Millionen von potenziellen Brutstätten geben. Leben sollte etwas ganz Gewöhnliches sein. Dieses Argument geht zurück bis mindestens ins 4. Jahrhundert v. Chr., als Metrodoros von Chios schrieb, dass „ein einzelnes Weizenkorn in einem großen Feld genauso seltsam ist wie eine einzige Welt im unendlichen Raum“.

Die zweite Zahl ist heute mit großer Genauigkeit bekannt: Kosmologische Messungen<sup>6</sup> haben ergeben, dass das Universum 13,8 Mrd. Jahre alt ist (plus/minus etwa 37 Mio. Jahre). Um ein Gefühl für so eine Zeitspanne zu bekommen, lassen Sie uns das aktuelle Weltalter auf ein Erdenjahr zusammenquetschen: ein „kosmisches Jahr“ (Tab. 1.1). In den 365 Tagen dieses kosmischen Jahres entspricht eine Sekunde 437 realen Jahren. Demzufolge begann die Geschichte unserer modernen Naturwissenschaft etwa eine Sekunde vor Mitternacht am 31. Dezember. Die Gattung *Homo*

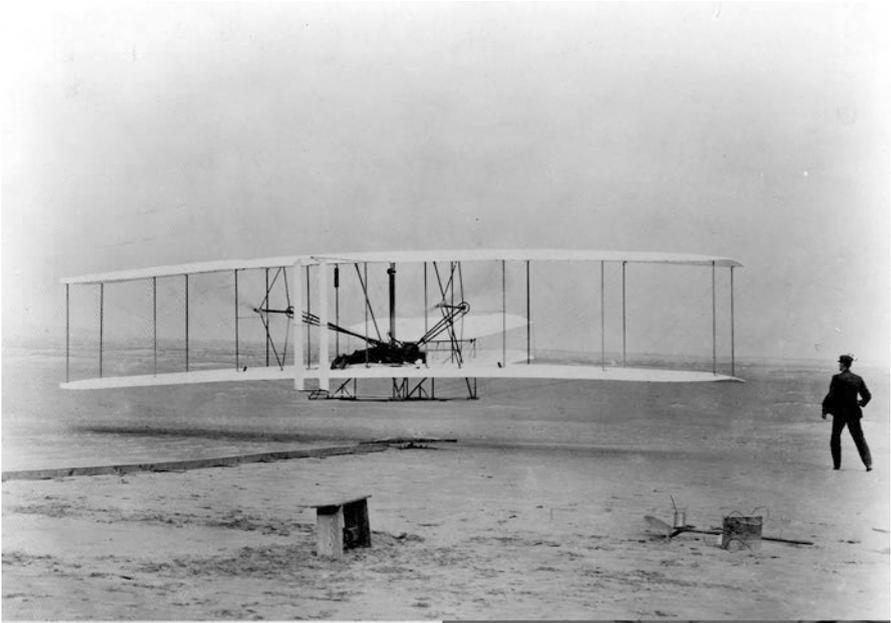
**Abb. 1.1** Oben: Orville Wright und einer seiner Flugapparate im Jahr 1903. Unten links: Die deutsche V2-Rakete war das erste menschliche Objekt, das einen sub-orbitalen Raumflug absolvierte. Unten rechts: Start der interplanetaren Raumsonde Voyager 1 im Jahr 1977 – ein gigantischer technischer Fortschritt in nur wenigen Jahrzehnten. Wie sehen unsere Raumfahrzeuge wohl in 1000 Jahren aus? (Credit: top--USAF; bottom left--Crown Copyright 1946; bottom right-NASA) ►

entstand etwa eineinhalb Stunden vorher. Die frühesten ETZs könnten Anfang des Sommers entstanden sein. Da die Kolonisierung unserer Galaxie vermutlich nur ein paar Stunden benötigen dürfte, hätte während der langen Sommer- und Herbstmonate sicherlich mindestens eine ETZ diesen Job hinbekommen. Und selbst wenn sich alle Zivilisationen aus irgendeinem Grund entschieden hätten, ihre Zeit mit etwas anderem als galaktischem Kolonialismus zu verbringen, müssten wir doch wenigstens irgendwelche Zeichen ihrer Anwesenheit sehen oder hören können. Aber das Universum ist still. Das Fermi-Paradox beweist zwar vielleicht nicht logisch, dass es keine Aliens gibt, aber es ist ganz bestimmt mehr als einen Gedanken wert. Viel mehr.

Bald entdeckte ich, dass ich nicht der Einzige war, der sich gerne über das Fermi-Paradox den Kopf zerbrach, und fing an, die verschiedenen Lösungen zu sammeln, die sich andere Fermi-Grübler ausgedacht hatten. So entstand dieses Buch. Es diskutiert – mal ziemlich locker, mal ernsthaft – 50 Antworten auf die Frage „Wo *sind* die bloß alle?“ und richtet sich damit an ein ganz allgemeines Publikum. Einer der großen Vorteile an

**Tab. 1.1** Wir quetschen 13,8 Mrd. Jahre in ein kosmisches Jahr à 365 Tage. Auf dieser Zeitskala währt die Lebensdauer eines Menschen eine Sechstelsekunde. Jesus lebte etwa 4,6 s vor Mitternacht am 31. Dezember. Die Dinosaurier starben in den frühen Morgenstunden des 30. Dezember aus

Reale Zeit	Kosmisches Jahr
70 Jahre	0,16 s
100 Jahre	0,23 s
437 Jahre	1 s
1000 Jahre	2,3 s
2000 Jahre	4,6 s
10 000 Jahre	23 s
100 000 Jahre	3 min 50 s
1 Mio. Jahre	38 min 20 s
2 Mio. Jahre	1 h 16 min 40 s
10 Mio. Jahre	6 h 23 min 20 s



der Fermi-Frage ist die Tatsache, dass sich über sie nachdenken lässt, ohne irgendwelche Mathematik jenseits von „Hochzahlen“ (Exponentialschreibweise) bemühen zu müssen. Dementsprechend kann auch so gut wie jede und jeder etwas zu der Debatte beitragen. Ich hoffe, dass mindestens eine Leserin oder ein Leser dieses Buches auf eine Lösung kommt, an die noch niemand gedacht hat. Wenn Ihnen das gelingt, dann schreiben Sie mir und teilen Sie Ihre geniale Idee!



# 2

## Über Fermi ... und über Paradoxe

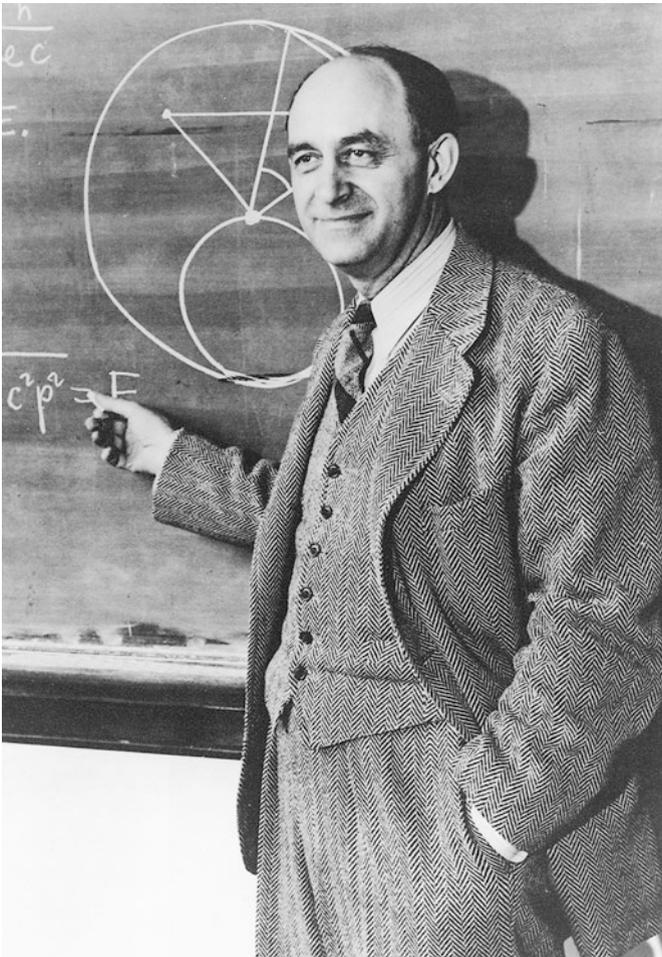
Bevor wir uns dem Fermi-Paradox zuwenden, möchte ich gern noch ein bisschen Hintergrund einbringen.

Am Anfang steht eine kurze Skizze von Enrico Fermis Leben. Diese ist notgedrungen ziemlich knapp gehalten. Um einen ersten Eindruck davon zu bekommen, was er erreicht hat, betrachten Sie einmal all die Dinge, die nach ihm benannt sind: Das Fermilab in der Nähe von Chicago ist eines der weltweit führenden Forschungszentren für Teilchenphysik. Physikstudierende lernen, wie man „Fermi-Fragen“ löst (oder sollten es zumindest, siehe Kasten). Das chemische Element mit der Ordnungszahl 100 heißt ... Fermium (Fm). Die typische Längenskala der Kernphysik,  $10^{-15}$  m, ist das Fermi, abgekürzt „fm“. <sup>7</sup> Fermi heißt weiterhin ein großer Krater auf der Rückseite des Mondes und „(8103) Fermi“ ist ein Planetoid des Hauptgürtels, der seine Bahn zwischen Mars und Jupiter zieht. Das *Fermi Gamma-ray Space Telescope* vermisst den Himmel im Licht kosmischer Gammastrahlung. Und mehrere Mitglieder des Enrico Fermi Institute der Chicago University haben einen Nobelpreis gewonnen.

Anschließend möchte ich die Idee eines Paradoxes als solches diskutieren. Und danach werde ich – sicherlich nicht gänzlich unerwartet – zum Fermi-Paradox zurückkommen und insbesondere erklären, wie es kam, dass Fermis Name mit einer Frage verbunden wurde, die älter ist, als viele Leute denken.

## Der Physiker Enrico Fermi

Enrico Fermi war der vielfältigste Physiker des letzten Jahrhunderts – ein Weltklassesetheoretiker, der auf höchstem Niveau experimentierte. Abb. 2.1 zeigt ihn in typischer Pose als inspirierenden akademischen Lehrer. Seit Fermi ist niemand mehr mit so viel Leichtigkeit zwischen Theorie und Experiment gewechselt, und dies wird wohl auch in Zukunft niemandem mehr gelingen. Das Wissensgebiet ist zu groß geworden, um eine solche Zweigleisigkeit noch zu erlauben.



**Abb. 2.1** Dieses Foto von Enrico Fermi findet sich auf einer US-amerikanischen Briefmarke, die am 29. September 2001 zu Ehren seines 100. Geburtstags ausgegeben wurde. (Credit: American Institute of Physics, Emilio Segrè Visual Archives)

Fermi wurde am 29. September 1901 in Rom geboren. Er war das dritte Kind von Alberto Fermi, einem Verwaltungsbeamten, und der Lehrerin Ida de Gattis.<sup>8</sup> Er zeigte bereits sehr früh außergewöhnliche mathematische Fähigkeiten und als Studienanfänger an der Scuola Normale Superiore in Pisa war er seinen Lehrern schnell überlegen.<sup>9</sup>

Sein erster wichtiger Beitrag zur Physik beschäftigte sich Ende der 1920er-Jahre mit dem Verhalten einer gewissen Gruppe von Teilchen, zu denen Protonen, Neutronen und Elektronen zählen und die heute *Fermionen* heißen. (Noch so ein Ding, das nach ihm benannt wurde.) Fermi zeigte, was passiert, wenn Materie aus identischen Fermionen sehr eng zusammengedrückt wird: Eine nur quantenphysikalisch zu erklärende repulsive Kraft verhindert die weitere Kompression. Diese fermionische Abstoßung spielt eine sehr wichtige Rolle in unserem Verständnis so unterschiedlicher Phänomene wie der thermischen Leitfähigkeit von Metallen oder der Stabilität von Weißen Zwergen und Neutronensternen.

Bald darauf, im Jahr 1934, zementierte Fermis Theorie des Betazerfalls (eine Form von Radioaktivität, in welcher ein Atomkern ein Elektron emittiert, das manchmal auch Betateilchen genannt wird) seine internationale Reputation. Diese Theorie erforderte die Existenz eines neuen Teilchens, das er *Neutrino* – „Neutrönchen“ auf Italienisch – nannte und das zusammen mit dem Elektron den Kern verlässt. Nicht jeder glaubte an dieses neuartige Fermion, doch Fermi behielt Recht: Im Jahr 1956 gelang die direkte Messung der nur äußerst schwach mit anderer Materie wechselwirkenden Neutrinos. Trotz ihrer scheuen Natur spielen Neutrinos eine wesentliche Rolle in heutigen astronomischen und kosmologischen Theorien.

### Fermi-Fragen

Fermi war unglaublich gut darin, im Kopf die Ergebnisse von physikalischen Rechenaufgaben zu überschlagen. Er versuchte diese Fähigkeit auch bei seinen Studierenden zu trainieren, indem er ihnen scheinbar unbeantwortete Fragen stellte: Wie viele Sandkörner gibt es an den Stränden der Erde? Wie weit können Krähen fliegen, ohne eine Pause einzulegen? Wie viele Atome von Cäsars letztem Atemzug gelangen bei jedem Luftholen in Ihre Lungen? „Fermi-Fragen“ erfordern grobe Schätzungen und Alltagswissen – und kein langes Herumstöbern in Lehrbüchern (oder heute in der Online-Welt).

Die klassische Fermi-Frage lautet: „Wie viele Klavierstimmer gibt es in Chicago?“ Wir bekommen einen guten Schätzwert, indem wir uns Folgendes überlegen:

1. Nehmen wir an, Chicago hat  $E_{\text{Ch}}=3$  Mio. Einwohner. (Ich habe nicht kontrolliert, ob das stimmt oder wenigstens zu Fermis Zeiten gestimmt hat, aber einfach drauflosschätzen ist ja der Witz an der ganzen Sache). Chicago

ist eine große Stadt, aber nicht die größte in Amerika, also liegen wir wohl kaum um mehr als einen Faktor 2 daneben. Da wir unsere Annahme explizit aufgestellt haben, können wir sie gegebenenfalls durch einen genaueren Wert ersetzen und die Rechnung neu aufstellen.

2. Nehmen wir weiter an, dass eine Familie nur ein Klavier besitzt und nicht eines für jedes Kind, und ignorieren wir zudem die verhältnismäßig wenigen Klaviere von Schulen, Universitäten und Orchestern.
3. Wenn eine typische Familie aus  $n_F=5$  Personen besteht, gibt es etwa 600 000 Familien in Chicago.
4. Wir schätzen, dass eine von  $B_{\text{Kl}}=20$  Familien ein Klavier besitzt, das macht dann 30 000 Stück in der Stadt. Jetzt fragen wir: Wie oft müssen 30 000 Klaviere im Jahr gestimmt werden?
5. Unmusikalisch, wie wir sind, nehmen wir einfach an, dass einmal pro Jahr reicht (und bezahlbar ist), das ergibt jedes Jahr 30 000 Klavierstimmungen in Chicago.
6. Ein gewissenhafter Klavierstimmer schafft  $n_T=2$  Klaviere pro Tag und arbeitet an  $n_J=200$  Tagen im Jahr (der übliche Schätzwert für die Zahl der Arbeitstage im Jahr, wenn Wochenenden und Urlaubstage frei bleiben). Dann stimmt der Stimmer 400 Instrumente im Jahr. Der Markt ernährt also  $30\,000/400=75$  Klavierstimmer in Chicago. Wir wissen, wie wild wir geschätzt haben, und runden die Zahl auf ganze Hunderter auf, also 100.

Fermis unvergleichliche Fähigkeit, das Wesentliche in einem Problem zu erkennen, kulminierte in seiner Frage: „Wo sind die bloß alle?“

1938 erhielt Fermi den Nobelpreis für Physik, unter anderem für eine Methode, die er entwickelt hatte, um Atomkerne zu untersuchen. Mithilfe dieser Methode entdeckte er neue radioaktive chemische Elemente, oder besser: Er stellte, indem er bekannte Elemente mit Neutronen beschoss, über 40 künstliche Radioisotope her, also Formen von Elementen mit unterschiedlichen Kernmassen. Der Preis belohnte weiterhin Fermis Entdeckung, wie sich Neutronen abbremsen lassen. Dies klingt nicht spektakulär, doch langsame Neutronen können viel besser Kernreaktionen auslösen als schnelle. Wozu man das benutzen kann? Für die Erzeugung neuer Elemente, Kernkraftwerke und Atombomben.

Die sich verschlechternde politische Lage in Italien überschattete die Freude über seine Auszeichnung. Der faschistische Diktator Benito Mussolini initiierte unter wachsendem Einfluss von Adolf Hitler eine antisemitische Kampagne. Seine faschistische Regierung erließ Gesetze, die direkt von den „Nürnberger Gesetzen“ der Nazis abgekupfert waren. Dies betraf zwar Fermi und seine beiden Kinder nicht direkt, die als „Arier“ galten; doch seine Frau Laura war Jüdin. Die Familie entschied sich, Italien zu verlassen, und Fermi nahm eine Stelle in den USA an.

Zwei Wochen nach ihrer Ankunft in New York erreichte Fermi die Nachricht, dass Forschern die erste künstliche Kernspaltung gelungen war. Albert Einstein schrieb – nach einigem Drängen von Kollegen – seinen historischen Brief an Präsident Roosevelt. Mit Verweis auf Arbeiten von Fermi und seinen Mitarbeitern warnte Einstein, dass eine Kettenreaktion in einer gewissen „kritischen“ Menge Uran entstehen könnte, welche eine gigantische Energiemenge freisetzen würde. Mit anderen Worten: eine Bombe. Roosevelt finanzierte ein entsprechendes Forschungsprogramm, das „Manhattan-Projekt“, und Fermi wurde zu einer der zentralen Figuren darin.

Am 2. Dezember 1942 gelang es Fermi in einem Behelfslabor eine erste, sich selbst erhaltende nukleare Kettenreaktion zu entfachen. Der „Reaktor“ war ein Haufen aus gereinigten Uranbrocken in einer Graphitmatrix. Das Graphit bremste die von gespaltenen Urankernen freigesetzten Neutronen, wodurch diese in der Lage waren, weitere Spaltungen auszulösen und so die Kettenreaktion aufrechtzuhalten. Kontrollstäbe aus Cadmium, das ein starker Neutronenabsorber ist, verhinderten eine zu große Reaktionsrate (das heißt eine nukleare Explosion). Der Haufen wurde um 14:20 „kritisch“. <sup>10</sup>

Fermi spielte mit seinem unübertroffenen kernphysikalischen Wissen eine wichtige Rolle im Manhattan-Projekt. Er war am 15. Juli 1945 in der Alamogordo-Wüste, nur 14,5 km vom Ort des „Trinity“-Atombombentests entfernt. Er hatte sich dort auf den Boden mit vom Explosionsort abgewandtem Gesicht gelegt, doch als er den Lichtblitz sah, stand er auf und ließ kleine Papierstückchen fallen. In der ruhigen Luft begannen diese zu seinen Füßen herabzufallen, doch als ihn die Schockwelle der Explosion erreichte, wurden die Papierfetzen horizontal davongerissen. Wie es für ihn typisch war, maß er die Flugstrecke der Papierstücke und konnte daraus unmittelbar die bei der Explosion freigesetzte Energie abschätzen.

Nach dem Krieg kehrte Fermi ins akademische Leben an der University of Chicago zurück und begann sich für die Natur und Herkunft von kosmischer Strahlung zu interessieren. 1954 wurde bei ihm Magenkrebs diagnostiziert. <sup>11</sup> Emilio Segrè, Fermis lebenslanger Freund und Kollege, besuchte ihn im Krankenhaus, als dieser nach einer diagnostischen Operation ruhte und intravenös ernährt wurde. Selbst in dieser Situation behielt Fermi, laut Segrès berührendem Bericht, seine Begeisterung für das Beobachten und Berechnen: Er schätzte den Fluss der Nährflüssigkeit, indem er die Tropfen zählte und die Zeit mit einer Stoppuhr maß.

Enrico Fermi starb am 29. November 1954 im Alter von nur 53 Jahren.

## Paradoxe als solche

Ein Paradox entsteht, wenn Sie mit einem Satz von scheinbar selbstverständlichen Aussagen starten und dann zu einer Schlussfolgerung kommen, welche diesen Aussagen widerspricht. Wenn Sie etwa sagen: „Es regnet und es regnet nicht“, dann widersprechen Sie sich einfach. Keine große Sache. Wenn Sie dagegen mit unbestechlicher Logik beweisen, dass es genau jetzt regnen *muss*, und Ihnen beim Blick aus dem Fenster die Sonne vom blauen Himmel ins Gesicht lacht, *dann* haben Sie ein Paradox, das es aufzulösen gilt.<sup>12</sup>

Ein schwaches Paradox oder ein *Trugschluss* lässt sich oft mit ein bisschen Nachdenken auflösen. Der innere Widerspruch entsteht normalerweise durch einen Fehler in der logischen Kette zwischen den Voraussetzungen und der Schlussfolgerung. Beispielsweise trifft man ab und zu auf „Beweise“ für die offensichtlich falsche Aussage „ $1 + 1 = 1$ “. In solchen Fällen besteht der Trugschluss häufig in einer Gleichung, die durch 0 geteilt wird, was mathematisch einfach gar nicht geht. In einem starken Paradox dagegen ist die Ursache der inneren Widersprüche bei Weitem nicht so unmittelbar einsichtig. Es können Jahrhunderte vergehen, bevor die Sache geklärt wird. Ein starkes Paradox hat das Potenzial, unsere meistgeschätzten Theorien und Glaubenssätze herauszufordern.

In der Philosophie wimmelt es nur so vor Paradoxen. Ein ganz altes stellt die Frage: „Wenn jemand sagt, dass er oder sie lügt, ist das dann gelogen oder nicht?“ Egal wie man den Satz dreht und wendet, es gibt einen Widerspruch. Wenn selbstbezügliche Aussagen wie diese erlaubt werden, sind Paradoxe fast unvermeidbar. Auch andere Paradoxe hängen von der Sprache ab, in der wir kommunizieren. Wenn wir etwa akzeptieren, dass das Zusammenbringen von zwei Sandkörnern keinen Sandhaufen macht und ein Korn erst recht keinen Haufen darstellt, dann müssen wir schließen, dass es unmöglich ist, einen Sandhaufen zu bilden.<sup>13</sup> Und doch sehen wir Sandhaufen in der Nachbarschaft. Die Wurzel des Paradoxes liegt in der ungenauen Definition des Wortes „Haufen“. Das sogenannte Paradox von Theseus – wenn Sie in einem hölzernen Schiff nacheinander jede Planke durch eine neue ersetzen, haben Sie dann hinterher noch dasselbe Schiff? – hängt an der Mehrdeutigkeit des Wortes „dasselbe“. Unseriöse Politiker bedienen sich gerne solcher linguistischer Tricks.

Auch die Naturwissenschaften haben ihr Päckchen an Paradoxen zu tragen.

Das Zwillingparadox ergibt sich, wenn ein Zwilling zu Hause auf dem Sofa bleibt, während der andere in einem Raumschiff mit nahezu Lichtgeschwindigkeit zu einem fernen Stern reist. Die Spezielle Relativitätstheorie

lehrt uns, dass für den Sofa-Zwilling die Uhr des Raumschiff-Zwillings langsamer geht und dieser daher langsamer altert als er. (Dies mag der Alltagserfahrung widersprechen, ist aber eine experimentell bestens belegte Tatsache.) Die Relativitätstheorie sagt aber auch, dass der Raumschiff-Zwilling alles Recht der Welt hat, sich selbst als in Ruhe anzusehen. Aus *seiner* Sicht altert der sich rasend schnell von ihm entfernende Sofa-Zwilling langsamer. Die spannende Frage lautete nun: Was passiert, wenn der Raumschiff-Zwilling ins gemeinsame Elternhaus zurückkehrt? Sie können nicht *beide* langsamer als der jeweils andere gealtert sein. Des Rätsels Lösung ist, dass die beiden Sichtweisen tatsächlich doch nicht einfach so vertauscht werden dürfen: Nur der reisende Zwilling beschleunigt zunächst, bremst dann kurz vor dem Ziel ab, kehrt um, beschleunigt wieder und bremst schließlich erneut. All das ist innerhalb der Speziellen Relativitätstheorie nicht vorgesehen, die nur gleich bleibende Geschwindigkeiten behandelt. Eine tiefeschürfende Analyse ergibt, dass der Raumschiff-Zwilling tatsächlich jünger ist, wenn er zu Hause ankommt. Auch dies widerspricht unserer Erfahrung, aber es ist kein Paradox – eher eine unschöne Begleiterscheinung des interstellaren Tourismus.<sup>14</sup>

Einstein äußerte sich nicht zum Zwillingsparadox (er verstand seine Theorie gut genug, um zu wissen, dass es hier eigentlich gar kein Problem gibt). Doch dafür stellte er mit zwei Kollegen ein fieses Paradox auf, womit er die vermeintliche Unvollständigkeit der Quantenphysik zeigen wollte. Dieses sogenannte EPR-Paradox ist selbst heute noch Thema von experimentellen Arbeiten auf dem vielversprechenden Gebiet der Quantentechnologie (auch wenn diese zeigen, dass Einstein in dieser Frage irrte).<sup>15</sup>

Etwas anders geartet ist das Feuerwand-Paradox, das in der aktuellen theoretischen Physik heiß diskutiert wird. Das Paradox tut sich auf, wenn Sie sich fragen sollten, was beim Sturz in ein Schwarzes Loch eigentlich mit Ihnen geschieht: Es ist zwar klar, dass es für Sie fatal ausgeht, doch drei fundamentale physikalische Theorien – die Quantentheorie, die Allgemeine Relativitätstheorie und die statistische Thermodynamik – geben unterschiedliche, sich widersprechende Antworten, auf welche Weise das geschieht.

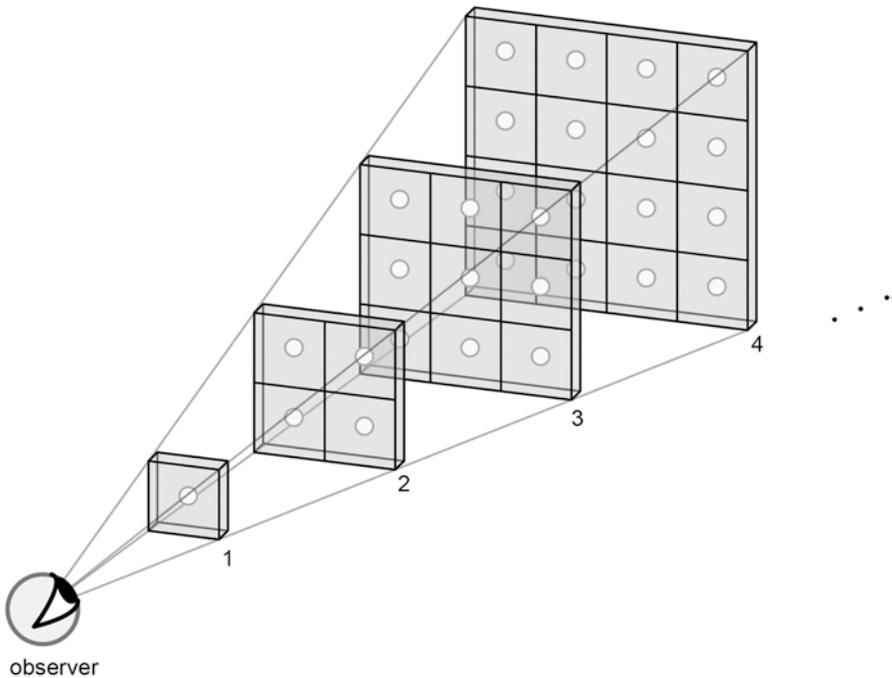
Schauen wir uns nun ein älteres Paradox etwas näher an, das etwas leichter zu analysieren ist als Zwillings-, EPR- und Feuerwandparadox: das Olberssche Paradox.<sup>16</sup>

Heinrich Wilhelm Olbers beschäftigte sich mit einer Frage, die sich unzählige Kinder auch schon gestellt haben: Warum ist es nachts dunkel? Er ging für seine Antwort von zwei Prämissen aus. Erstens: Das Universum ist unendlich ausgedehnt. Zweitens: Die Sterne sind zufällig und gleichmäßig über das gesamte Universum verteilt. (Olbers wusste noch nichts von Galaxien, die erst gut 75 Jahre nach seinem Tod entdeckt wurde, aber seine

Argumentation funktioniert genauso, wenn man Sterne durch Galaxien ersetzt.) Er gelangte zu dem Schluss, dass es alles andere als selbstverständlich ist, dass der Himmel in der Nacht dunkel ist.

Nehmen wir einmal an, dass alle Sterne dieselbe Helligkeit besitzen. (Dies vereinfacht die Argumentation, beeinflusst die Schlussfolgerung jedoch in keiner Weise.) Stellen wir uns nun eine dünne Schale von Sternen um uns herum vor (nennen wir sie Schale A), in deren Mittelpunkt sich die Erde befindet (Abb. 2.2). Eine zweite dünne Schale von Sternen (Schale B), wieder mit der Erde als Mittelpunkt, habe einen doppelt so großen Radius wie Schale A. Mit anderen Worten: Schale B ist doppelt so weit von uns entfernt wie Schale A.

Ein Stern in Schale B wird dann nur  $1/4$  so hell sein wie ein Stern in Schale A. (Dies ist das  $1/r^2$ -Gesetz: Wenn wir die Entfernung zu einer



**Abb. 2.2** Angenommen die Sterne sind gleichmäßig in einem unendlichen Welt-  
raum verteilt. Die Helligkeit eines Sternes nimmt mit dem Quadrat der Entfer-  
nung vom Beobachter (observer) ab. Die Anzahl der Sterne nimmt mit dem Quadrat der  
Entfernung vom Beobachter zu. Diese beiden Effekte gleichen sich aus, sodass von  
jedem Gitterquadrat in der Grafik gleich viel Helligkeit beim Beobachter ankommen  
sollte. Das es nach Voraussetzung unendlich viele solche Gitter gibt, sollte der Himmel  
Tag und Nacht unendlich hell strahlen. (Credit: Htykym)

Lichtquelle verdoppeln, nimmt ihre Helligkeit um das Quadrat von 2, also das 4-Fache ab.) Auf der anderen Seite ist die Oberfläche von Schale B 4-mal so groß wie die von Schale A, also enthält B 4-mal so viele Sterne wie A. Viermal so viele Sterne, die ein Viertel so hell sind – Schale A und Schale B haben dieselbe Gesamthelligkeit. Dies gilt übrigens für zwei beliebige Schalen. Eine weit entfernte Schale und eine ganz nah bei uns tragen gleich viel zur Helligkeit des Nachthimmels bei. Wenn das Universum wirklich unendlich groß wäre, dann sollte der Nachthimmel nicht nur nicht dunkel, sondern eigentlich sogar unendlich hell sein.

Dieses Argument ist nicht ganz korrekt: Das Licht von einem weit entfernten Stern könnte von einem Stern auf dem Weg verdeckt werden. Nichtsdestotrotz wird in einem unendlichen Universum mit gleichmäßig verteilten Sternen *jede* Sichtlinie letztlich bei einem Stern landen. Statt dunkel sollte der Nachthimmel (und der Taghimmel genauso!) gleißend, genauer gesagt unendlich hell sein.

Wie können wir dieses Paradox auflösen? Eine naheliegende Erklärung wäre, dass Staubwolken das Licht ferner Sterne verschlucken. Solche Wolken gibt es tatsächlich, doch sie retten uns nicht vor Olbers' Paradox: Wenn die Wolken das Licht absorbieren, heizen sie sich auf, bis sie dieselbe Temperatur haben wie die Sterne selbst – und dann strahlen sie ihrerseits wie Sterne. Nein, die Lösung ergibt sich aus einer der dramatischsten wissenschaftlichen Entdeckungen, die je gemacht wurden: Das Universum hat ein endliches Alter. Da es lediglich etwa 13,8 Mrd. Jahre alt ist, hat der Teil des Weltalls, den wir sehen können, eine endliche Größe. (Dass sich das Universum außerdem ausdehnt, hilft zusätzlich bei der Erklärung. Die grundsätzliche Lösung des Paradoxes rührt jedoch vom endlichen Weltalter.)

Es ist schon ziemlich faszinierend, dass man durch das Nachdenken über eine so simple Frage wie „Warum ist es nachts dunkel?“ darauf kommen könnte, dass sich das Universum ausdehnt und ein endliches Alter hat. Vielleicht führt ja die simple Frage von Enrico Fermi – „Wo *sind* die bloß alle?“ – eines Tages zu einer Folgerung von ähnlicher Tragweite.

## Das Fermi-Paradox

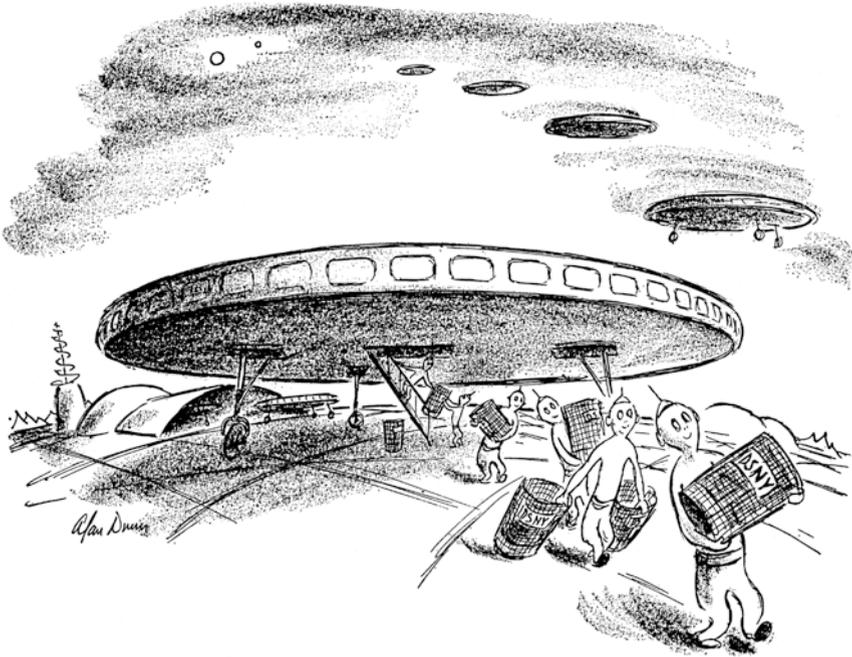
Dank der Detektivarbeit von Eric Jones, der 30 Jahre lang in Los Alamos geforscht hat und auf dessen Bericht<sup>17</sup> dieser Abschnitt im Wesentlichen beruht, wissen wir, wie das Fermi-Paradox zu seinem Namen kam.

Im Frühling und Sommer des Jahres 1950 beherrschte ein nur begrenzt mysteriöses Thema die New Yorker Zeitungen: das Verschwinden der

öffentlichen Abfalleimer. Ein weiteres, deutlich spektakuläreres Thema in diesem Jahr waren fliegende Untertassen. Am 20. Mai 1950 veröffentlichte daher *The New Yorker* einen Cartoon von Alan Dunn (Abb. 2.3), der die beiden „Threads“ auf amüsante Weise verband.

Fermi war in diesem Sommer mal wieder in Los Alamos. Eines Tages unterhielt er sich auf dem Weg zum Mittagessen mit Edward Teller und Herbert York über die jüngste Flut von Berichten über UFO-Sichtungen. Emil Konopinski schloss sich ihnen an und zeigte ihnen Dunns Cartoon. Fermi bemerkte daraufhin trocken, dass Dunn eine vernünftige Theorie aufgestellt hätte, denn sie kläre zwei unabhängige Phänomene auf: verschwindende Abfalleimer und die Berichte über fliegende Untertassen. Auf Fermis Witz folgte eine ernsthafte Diskussion über die Frage, ob irgendetwas schneller als das Licht sein kann.

Die vier gingen in die Cafeteria und setzten sich zum Essen, wobei sich ihre Konversation etwas weltlicheren Themen zuwandte. Und dann,



**Abb. 2.3** Die Aliens kehren zu ihrem Heimatplaneten zurück und laden die Abfalleimer aus, die eigentlich dem *Department of Sanitation* der Stadt New York gehören. (Credit: *The New Yorker* Collection 1950, drawn by Alan Dunn © Cartoon Bank/Condé Nast)

mitten im Gespräch und aus heiterem Himmel, fragte Fermi: „Wo *sind* die bloß alle?“ Seine hochbegabten Kollegen verstanden sofort, was er meinte: die außerirdischen Besucher. Und weil es Fermi war, der die Frage gestellt hatte, war ihnen vermutlich sofort klar, dass hinter dieser Frage mehr steckte, als es zuerst den Anschein hatte. York erinnerte sich später, dass Fermi eine Reihe von schnellen Berechnungen anstellte und dann schloss, dass wir schon längst und viele Male Besuch hätten bekommen müssen.

Keiner der drei Tischgenossen Fermis hat diese Berechnungen überliefert, aber wir können uns ganz gut vorstellen, wie sein Gedankengang lief. Er wird zuerst die Anzahl der ETZs in der Milchstraße geschätzt haben, die, wenn nicht zu interstellaren Reisen, dann zumindest zu einer fernmündlichen Kontaktaufnahme in der Lage sind. Diese Zahl können wir auch selbst ganz gut überschlagen. Schließlich ist die Frage „Wie viele interstellare kommunizierende extraterrestrische Zivilisationen gibt es in einer Galaxie?“ eine typische Fermi-Frage!

Schreiben wir  $N$  für die Zahl der kommunizierenden ETZs. Wir können dann den Wert von  $N$  abschätzen, indem wir die folgenden Größen miteinander multiplizieren: die Rate  $R$ , mit der sich pro Jahr Sterne bilden; den Bruchteil  $B_p$  aller Sterne, der Planeten besitzt; die Zahl  $n_E$  der Planeten, welche in einem Sternensystem lebensfreundliche Umweltbedingungen wie auf der Erde bieten; den Bruchteil  $B_L$  an Planeten, auf denen tatsächlich Leben entsteht; den Bruchteil  $B_I$  an Planeten, auf denen sich Lebensformen mit Intelligenz finden lassen; den Bruchteil  $B_K$  an Planeten, dessen intelligente Lebensformen eine kommunikationsfähige und -willige Kultur entwickeln, und schließlich die Zahl  $J$  der Jahre, während der sich diese Leute der interplanetaren Kommunikation widmen. (Fermi dürfte dies in seinem Kopf überschlagen haben. Die erste Person, welche die Gleichung aufgeschrieben hat, war Frank Drake. Deshalb heißt sie jetzt Drake- und nicht Fermi-Gleichung.<sup>18)</sup>)

Beachten Sie, dass

$$N = R \cdot B_p \cdot n_E \cdot B_L \cdot B_I \cdot B_K \cdot J$$

als Gleichung für die Zahl der kommunizierenden ETZs in einer Galaxie ein genauso sinniger oder unsinniger Ansatz ist, wie die Gleichung

$$N = E_{\text{Ch}} : n_F : B_{\text{KI}} : n_T : n_J$$

die Anzahl der Klavierstimmer in Chicago „berechnet“ (siehe Kasten). Nichtsdestotrotz, wenn wir den verschiedenen Faktoren halbwegs vernünftige Werte zuweisen – und diese bei verbessertem Hintergrundwissen gegebenenfalls anpassen –, bekommen wir einen groben, aber vernünftigen Schätzwert

für die Zahl der kommunizierenden ETZs in unserer Milchstraße. Die Schwierigkeit, vor der wir stehen, ist die schwer abzuschätzende Unsicherheit in unserem Hintergrundwissen. Fragen Sie eine Wissenschaftlerin oder einen Wissenschaftler, für wie genau sie/er die Zahlenwerte in Fermis Kopfrechnung hält, so reichen die Antworten von „Da sind wir uns ziemlich sicher“ (für  $R$ ) über „Ein paar Planeten haben wir gefunden, in zehn bis 20 Jahren ist die Statistik vielleicht gut genug“ (für  $n_E$ ) bis zu „Wie um alles in der Welt sollen wir das denn wissen?“ (für  $J$ ). Bei den Chicagoer Klavierstimmern können wir wenigstens davon ausgehen, dass unsere einzelnen Schätzwerte nicht völlig aus der Luft gegriffen sind und sich die jeweiligen Unsicherheiten vielleicht sogar gegenseitig ausgleichen. Davon können wir bei der Zahl der kommunizierenden ETZs definitiv nicht ausgehen. Wie kommen wir hier in Abwesenheit jeglichen belastbaren Hintergrundwissens weiter?

Fermi dürfte noch deutlich weniger über die verschiedenen Faktoren in der „Drake-Gleichung“ gewusst haben als wir heute. Aber er kann durchaus vernünftig geraten haben, sofern er sich an das kopernikanische Prinzip der Mittelmäßigkeit hielt: Wir sind nichts Besonderes – und die Erde und die Sonne schon gar nicht. Sehen wir uns die Faktoren an: Wenn er eine Sternbildungsrate von einem Stern pro Jahr geraten hat, dürfte er nicht zu sehr danebengelegen haben. Die Werte  $B_p = 0,5$  (jeder zweite Sterne hat Planeten) und  $n_E = 2$  (Sterne mit Planeten haben im Mittel zwei davon in der lebensfreundlichen Zone) klingen auch ganz vernünftig. Die übrigen Faktoren stehen dann schon auf wackligeren Füßen: Wenn er ein Optimist war, mag Fermi  $B_L = 1$  gewählt haben (jeder Planet, der Leben entwickeln *könnte, tut* das auch),  $B_I = 1$  (ist das Leben erst einmal entstanden, wird es auch schon irgendwie intelligent werden),  $B_K = 0,1$  (jede zehnte intelligente Lebensform wird eine Zivilisation aufbauen, die in der Lage und willens ist, mit Leuten wie uns zu kommunizieren) und  $J = 10^6$  (die letztgenannten Zivilisationen schaffen es, sich 1 Mio. Jahre lang nicht selbst zu vernichten, und bleiben auch von äußeren Katastrophen verschont). Hätte Fermi so gerechnet, wäre er bei  $N = 10^6$  herausgekommen. Einige von dieser Million, vielleicht auch mehr an kommunikationsfreudigen Zivilisationen müssten Technologien entwickelt haben, die den unseren überlegen sind. Warum also hören wir nichts von ihnen?

Spinnen wir diesen Gedanken weiter, sollten wir uns auch fragen, warum ETZs nicht schon längst hier aufgetaucht sind. Wenn einige dieser Zivilisationen so ausdauernd und findig sind, dann wäre eigentlich zu erwarten, dass sie während ihrer Schaffensperiode die gesamte Galaxis kolonisiert hätten – und das vermutlich bereits lange, bevor auf der Erde

vielzelliges Leben entstand. *Wo sind sie?* Sicherlich wird der eine oder die andere diese Frage rein rhetorisch oder auch ziemlich weit hergeholt finden. Aber die Argumentation formuliert sehr explizit ein Paradox<sup>19</sup> und wir können ziemlich sicher sein, dass Fermi das Paradoxe an der Sache sehr geschätzt hat ...

Beachten Sie, dass das Paradox nicht darin besteht, dass es keine extra-terrestrischen Zivilisationen gibt. Ich vermute, dass Fermi wie viele andere Physiker fest an die Existenz außerirdischer Intelligenzen geglaubt hat. Vielmehr liegt das Paradox darin, dass wir keinerlei Anzeichen von ihnen sehen, obwohl wir erwarten, dass wir welche sehen müssten. Eine mögliche Auflösung des Paradoxes ist natürlich die Annahme, dass wir tatsächlich die einzige fortschrittliche Zivilisation im All sind – aber das ist nur einer von mehreren möglichen Ansätzen, wie Sie im Laufe dieses Buches sehen werden.

Dass das Fermi-Paradox etwas Besonders ist, erkennen wir übrigens auch daran, dass es mindestens vier Mal unabhängig voneinander aufgedeckt wurde: Es sollte daher eigentlich besser das Ziolkowski-Fermi-Viewing-Hart-Paradox heißen.

Konstantin Ziolkowski, ein wissenschaftlicher Visionär<sup>20</sup>, der sich schon 1903 mit den theoretischen Grundlagen der Raumfahrt beschäftigte, glaubte an die monistische Lehre, nach der die Realität vollständig von einer einzigen Substanz bestimmt wird. Wenn aber alle Teile des Universums im Prinzip aus demselben Stoff sind, dann muss es auch anderswo Planetensysteme wie das unsere geben, und einige von diesen Planeten müssen Leben tragen. Weiterhin war Ziolkowski überzeugt – nicht unerwartet angesichts seines Interesses für die Raumfahrt –, dass die Menschen eines Tages sich selbst auf den Weg ins All machen würden: „Die Erde ist die Wiege der Intelligenz, aber man kann nicht ewig in der Wiege leben.“ Der Monist in ihm brachte ihn dann zu der Folgerung, dass, wenn *wir* in den Weltraum expandieren werden, *andere* dies ganz genauso tun. Er war sich bewusst, dass dies auf unser Paradox führt. 1933, lange bevor Fermi seine Frage stellte, wies Ziolkowski darauf hin, dass man die Existenz von ETZs verneinen kann, denn wenn solche Zivilisationen existieren, sollten ihre Repräsentanten die Erde bereits besucht oder zumindest kontaktiert haben. Ziolkowski bot folgende Auflösung des Paradoxes an: Fortschrittliche Intelligenzen – „perfekte göttliche Wesen“ – erachten uns Menschen als noch nicht reif genug für eine Visite (oder einen Anruf).

Im Jahr 1975 brachte David Viewing das Dilemma auf den Punkt.<sup>21</sup> Das folgende Zitat aus seinem Paper drückt es besonders gut aus: „Dies ist dann das Paradox: All unsere Logik, all unser Anti-Isozentrismus bestätigen uns, dass wir nicht einzigartig sind – dass es sie geben *muss*. Und doch sehen wir sie nicht.“ Viewing erkannte an, dass Fermi die wichtige Frage als Erster

gestellt hatte und dessen Frage auf ein Paradox führt. Meines Wissens ist diese Publikation die erste, die sich direkt und unter diesem Namen auf das Fermi-Paradox bezieht.

Mein eigenes Interesse an dem Paradox entzündete sich allerdings an einer Veröffentlichung von Michael Hart.<sup>22</sup> Dieser suchte nach einer Erklärung für die unbestreitbare Grundtatsache, dass sich zurzeit keine intelligenten Wesen aus dem Weltraum auf der Erde aufhalten. Er argumentierte, dass es vier Arten von Erklärungen hierfür geben kann:

- „Physikalische“ Erklärungen – irgendwelche Schwierigkeiten machen interstellare Reisen undurchführbar.
- „Soziologische“ Erklärungen – die ETZs sehen aufgrund gesellschaftlicher Erwägungen von Besuchen auf der Erde ab.
- „Temporale“ Erklärungen – die ETZs hatten bisher nicht genug Zeit, um uns zu erreichen.
- „Detektivische“ Erklärungen – also solche der Art, dass die Außerirdischen uns vielleicht bereits besucht *haben*, wir aber die Spuren davon übersehen.

Mit diesen vier Kategorien sollten alle denkbaren Ansätze abgedeckt sein. Hart zeigte dann, inwiefern nichts davon das Paradox zufriedenstellend auflösen kann. Dies führte ihn zu seiner eigenen Erklärung: *Wir sind die bisher einzige Zivilisation in unserer Galaxie.*

Harts Aufsatz stieß eine Debatte an, an der sich jede und jeder beteiligen konnte – einer der ersten Beiträge kam aus dem House of Lords<sup>23</sup> in Westminster! Einen kontroversen Vorschlag machte Frank Tipler in einem Paper mit dem unmissverständlichen Titel „Extraterrestrische intelligente Wesen gibt es nicht“. Tipler überlegte<sup>24</sup>, dass sich selbst replizierende Sonden die Galaxis preisgünstig und (relativ) schnell erkunden oder kolonisieren könnten. Im Abstrakt zu seinem Paper fasst er zusammen: „Es wird argumentiert, dass, wenn extraterrestrische intelligente Wesen existieren, ihre Raumschiffe bereits unser Sonnensystem erreicht haben müssten.“ Tipler behauptete, dass das SETI-Programm<sup>25</sup> keinerlei Erfolgchancen habe und somit eine reine Zeit- und Geldverschwendung sei. Seine Argumentation goss einiges Öl in das auch so schon lodernde Feuer der Debatte. Die coolste und beste Zusammenfassung dieser Streitigkeiten kam von David Brin<sup>26</sup>, der das Paradox das „Große Schweigen“ nannte.

1979 organisierten Ben Zuckerman und Michael Hart eine Konferenz über das Fermi-Paradox. Die Proceedings wurden in Buchform publiziert<sup>27</sup>, und obwohl der Band eine Vielzahl an Standpunkten enthält,