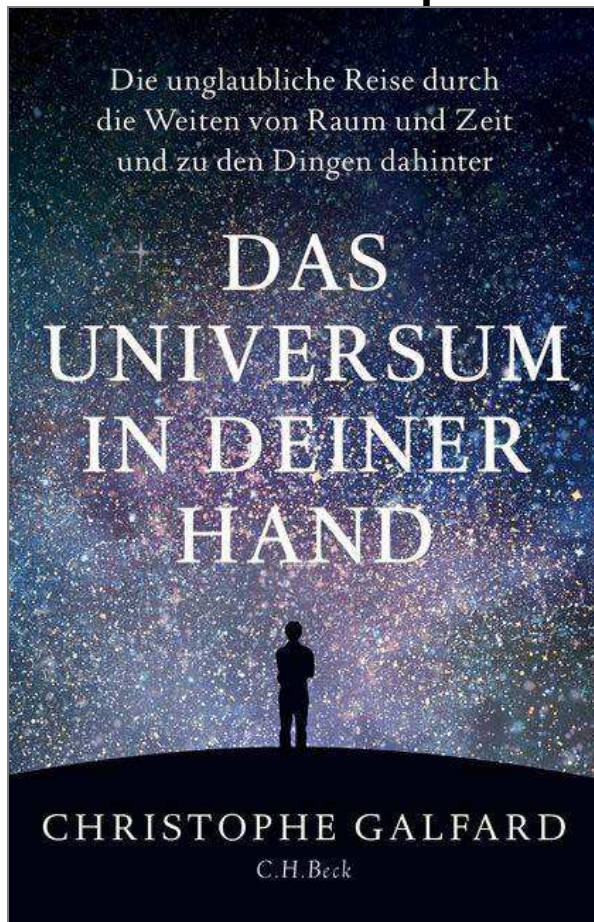


Unverkäufliche Leseprobe



Christophe Galfard
Das Universum in deiner Hand
Die unglaubliche Reise durch die Weiten von
Raum und Zeit und zu den Dingen dahinter

400 Seiten. Gebunden
ISBN 978-3-406-71448-1

Weitere Informationen finden Sie hier:
<http://www.chbeck.de/51017>

© Verlag C.H.Beck oHG, München

CHRISTOPHE GALFARD

**DAS
UNIVERSUM
IN DEINER
HAND**

*Die unglaubliche Reise
durch die Weiten von Raum und Zeit
und zu den Dingen dahinter*

– unkorrigierte Leseprobe –

Wir bitten Sie,
Rezensionen nicht vor dem 29. August 2017
zu veröffentlichen.

C.H.Beck

Erscheint am 29. August 2017

ca. 400 Seiten

Gebunden, ca. 24,95 Euro [D]

ISBN 978 3 406 71448 1

Ab 5. September 2017 auch als e-book

ISBN e-book 978 3 406 71449 8

CHRISTOPHE GALFARD

**DAS
UNIVERSUM
IN DEINER
HAND**

*Die unglaubliche Reise
durch die Weiten von Raum und Zeit
und zu den Dingen dahinter*

*Aus dem Englischen übersetzt
von Jens Hagedstedt
und Ursula Held*

C.H.Beck

Titel der Originalausgabe:
«The Universe in Your Hand. A Journey through Space, Time and Beyond»
© Christophe Galfard 2015, 2016. All rights reserved
Zuerst erschienen 2015 bei Macmillan, London

Für die deutsche Ausgabe:
© Verlag C.H.Beck oHG, München 2017
Gesetzt aus der Apollo MT im Verlag
Druck und Bindung: CPI – Ebner & Spiegel, Ulm
Umschlaggestaltung: Rothfos & Gabler, Hamburg
Umschlagabbildungen: © Getty Images (Silhouette); © shutterstock (Himmel)
Bildnachweis: Astrid di Crollanza/ © Flammarion: S. 5; Christophe Galfard: S. 6;
akg-images/Emilio Segre Visual Archives/American Institute of Physics/
Science Photo Library: S. 79
Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier
(hergestellt aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff)
Printed in Germany
Werbemittel-Nummer: 56879

www.chbeck.de



Liebe Leserin, lieber Leser,

mein Name ist Christophe Galfard.

Ich bin Physiker, Schüler von Stephen Hawking.
Ich möchte Ihnen mein Buch «Das Universum in deiner Hand»
vorstellen. Zwei Versprechen vorab.

Erstens: Das Buch enthält nur eine einzige Gleichung. Hier ist sie:

$$E = mc^2$$

Zweitens: Das Buch wird niemanden überfordern.

Sie stehen vor einer Reise durch das Universum nach dem heuti-
gen Erkenntnisstand der Naturwissenschaft. Ich bin zutiefst
davon überzeugt, dass das jeder verstehen kann.

Diese Reise beginnt sehr weit von Ihrem Zuhause entfernt,
auf der anderen Seite der Welt.

Viel Vergnügen bei der Lektüre wünscht Ihnen

Ihr Christophe Galfard



Dr. Christophe Galfard, geboren 1976, ist ein französischer Astrophysiker. Als Doktorand von Stephen Hawking hat er das sogenannte Informationsparadoxon Schwarzer Löcher erforscht und gemeinsam mit ihm ein Jugendbuch verfasst.

Weitere Informationen finden Sie auf der Website des Autors:

www.christophegalfard.com

Internationale Pressestimmen

«In **bester Hollywood-Manier** verwandelt Galfard
Wissenschaft in gute Geschichten.» *Livres Hebdo*

«Mit seinem **unverkrampten Konversationsstil** eignet
sich *«Das Universum in deiner Hand»* bestens für den Leser mit
geringen oder gar keinen wissenschaftlichen Vorkenntnissen.»
Jennifer Ouellette, The New York Times

«Die **schönste Reise**, die Sie je machen werden.» – *Elle*

«Christophe Galfard ist **ein zungengewandter Reise-
führer** mit einem spitzbübischen Sinn für Humor, wenn er etwa
die Ausrottung der Dinosaurier auf ihren Mangel an Kenntnissen
in theoretischer Physik zurückführt ... Ein Fest des Erzählens.»
Alan Hirshfield, Wall Street Journal

«Galfard ist der **neue Mister Universum.**» – *Le Point*

Der **Nr. 1-Bestseller** in Spanien, Italien
und Schweden,

Top 10-Bestseller in den USA
und Frankreich.

* * *

«Zahllose winzige Lichter flimmern
am unermesslichen Nachthimmel: Sterne. Überall Sterne.

Du kannst sie mit bloßem Auge erkennen.
Und dir fallen Fragen aus deiner Kindheit ein:
Was hat es auf sich mit diesen Sternen?

Warum flimmern sie?

Wie weit sind sie entfernt?

Aber dann fragst du dich:

Werden wir das jemals wissen?

Eine kleine Sternschnuppe streicht sanft
über den Himmel, und gerade als du dir etwas
wünschen möchtest, geschieht etwas höchst
Ungewöhnliches: Wie um deine letzte Frage zu
beantworten, sind im Nu fünf Milliarden Jahre
vergangen. Du liegst nicht mehr an einem Strand,
sondern gleitest im Weltall durch die Leere.
Du kannst sehen, hören und fühlen, aber dein Körper ist
verschwunden. Du bist ätherisch. Reiner Geist.
Und du hast nicht einmal Zeit, dich zu fragen,
was gerade geschehen ist, oder um Hilfe zu rufen,
denn du befindest dich in der befremdlichsten Situation,
die du dir vorstellen kannst.»

* * *

«Nach heutigem Wissen ist es unmöglich, innerhalb der Dauer eines Lebens – oder auch der Dauer von tausend Leben – von einem Bereich des Universums in einen anderen zu gelangen. Auch mit diesem Buch in der Hand ist es nur im Geiste möglich. Aber noch vor einigen Generationen war man von Europa nach Australien Monate unterwegs. Heute ist das eine Sache von einigen Flugstunden. Wir wissen nicht, was uns die Technologie von morgen bringen wird. Wir wissen auch nicht, wozu wir eines Tages dank der allgemeinen Relativitätstheorie imstande sein werden. Bisher hat sie uns nur GPS beschert. Morgen ermöglicht sie uns vielleicht, Abkürzungen in der Raumzeit zu finden, die sogenannten *Wurmlöcher*, die zwei voneinander weit entfernte Orte so miteinander verbinden könnten, dass man nicht die viel zu großen Entfernungen überbrücken müsste, die sie sonst voneinander trennen.»

* * *

«Die Dinosaurier haben die Oberfläche unseres Planeten ungefähr 200 Millionen Jahre lang beherrscht, wir dagegen bis heute nur einige hunderttausend Jahre. Sie hatten jede Menge Zeit, ihre Umwelt zu befragen und das eine oder andere herauszufinden. Doch sie haben es nicht getan, und so sind sie gestorben. Wir Menschen könnten heute zumindest hoffen, einen uns bedrohlich nahe kommenden Asteroiden früh genug zu entdecken, um dann zu versuchen, ihn von seinem Kurs abzubringen. Wir können also schon einiges, was die Dinosaurier nicht konnten. Es ist vielleicht unfair, das zu sagen, aber im Rückblick können wir das Aussterben der Dinosaurier mit ihren mangelnden Kenntnissen in theoretischer Physik in Verbindung bringen.»

*Wissenschaft ist weniger problematisch
als Drachen. Und unterhaltsamer.*

Interview mit Christophe Galfard

Warum soll ich mich für das Universum interessieren? Ist das Alltagsleben nicht schon hart genug?

Gerade weil das Leben sowieso schon hart ist, sollte sich jeder von uns ein wenig mit dem Universum und seinen Gesetzen beschäftigen. Oder, allgemeiner gesagt, mit der Wirklichkeit, wie sie heute von der Wissenschaft verstanden wird. Dabei handelt es sich um ein Wissen, das der Menschheit als Ganzer gehört, es ist unser Erbe, ein Wissen, das uns niemand nehmen kann. Ich will unsere Alltagsprobleme nicht kleinreden. Aber etwas über den Kosmos zu erfahren oder darüber, wie die Quantenwelt funktioniert, kann uns einen Augenblick von unseren Sorgen befreien, es kann uns von den Schönheiten der Natur träumen lassen und davon, was die Zukunft bringt. Kurz, ich glaube, dass die Erkenntnis des Universums, und überhaupt Bildung, bewirkt, dass wir uns gut fühlen. Leben ist kompliziert, und das ist ein Grund mehr, sich gute, schöne Dinge zu Gemüte zu führen. Wissenschaft ist eine davon.

Der erste Satz Ihres Buches lautet auf Englisch: «Picture yourself on a faraway volcanic island on a warm, cloudless summer night.» Mich erinnert das an: «Picture yourself in a boat on a river with tangerine trees and marmelade skies» – die Eingangsverse von Lucy in the Sky with Diamonds von den Beatles. Ist pop-science, Pop-Wissenschaft, ein guter Begriff für das, was Ihnen vorschwebt?

Ja, das ist genau der richtige Begriff. Ich liebe die Idee von *pop-science*, solange sie seriös gemacht ist. Die Ähnlichkeit meines ersten Satzes mit dem Beatles-Song hatte ich gar nicht bemerkt, aber mir gefällt auch das. Die Idee von Popmusik ist, dass sie für jeden zugänglich sein soll. Das Gleiche gilt für Pop-Wissenschaft. Und wie bei der Popmusik ist die Art, wie ich *pop-science* mache, unterhaltsam.

Viele glauben: Der Stoff, aus dem das Universum gemacht ist, ist zu anspruchsvoll, zu schwer für normale Menschen wie sie. Können wir die Dinge dahinter je verstehen?

Man kann sagen, Wissenschaft erzählt eine Geschichte, aber nicht irgendeine Geschichte. Für mich ist das die beste Geschichte, die wir uns heutzutage über die Realität erzählen können. Natürlich stimmt es, dass sich auch die Entdeckungen der Wissenschaft auf tausenderlei Art erzählen lassen. Es gibt tausend verschiedene Weisen, den Lesern oder Zuschauern die Schönheit wissenschaftlicher Funde vor Augen zu führen. Was ich aber möchte, ist, auf die Phantasie und zuweilen auch auf die Gefühle der Leser einzuwirken. Jeder kann eine Geschichte verstehen. Millionen lassen sich von Fernsehserien mit Drachen unterhalten. Soweit ich weiß, existieren Drachen gar nicht, und trotzdem sind Millionen davon fasziniert.

Ich glaube, Wissenschaft ist weniger problematisch als Drachen, denn sie ist real.

Die Geschichte, die die Wissenschaft zu erzählen hat, entwickelt sich, sie verändert sich von Generation zu Generation. Was wir heute wissen, war unseren Vorfahren nicht bekannt. Was wir wissen, beschreibt, wer wir sind. Es liegt in der Luft.

Kurz und gut: Ich glaube, Wissenschaft lässt sich wie eine Geschichte erzählen, und jeder kann eine Geschichte verstehen. Und wenn nicht, dann ist es die Schuld des Erzählers, nicht seines Zuhörers.

Ihr Buch ist voll von Gedankenexperimenten. Was hat es damit auf sich?

Wenn man an einen Ort nicht gelangen kann, kann man ihn sich trotzdem vorstellen, oder? Genau das ist ein Gedankenexperiment. Viele Wissenschaftler haben diesen Trick genutzt, um unkartierte, nicht erfasste Teile unserer Realität zu entdecken. Einstein zum Beispiel hat sich vorgestellt, auf einem Lichtteilchen, einem Photon, zu sitzen, und was dabei herauskam, war seine berühmte Formel $E = mc^2$ – übrigens die einzige Formel, die in meinem Buch auftaucht. Bei mir sind es die Leser, die in eine Welt der Gedankenexperimente reisen. Um herauszufinden, was ein schwarzes Loch ist, lasse ich sie in eines hineinfallen. Um zu verstehen, wie Atome reagieren und was es mit ihrer Magie auf sich hat, lasse ich die Leser auf die Größe eines Elementarteilchens schrumpfen, und so weiter. Dank solcher Gedankenexperimente kann ich mir Erklärungen sparen. Ich beschreibe, was man sieht. Das ist mein Weg, die Geschichte unseres Universums zu erzählen.

*Die Fragen stellte Stefan Bollmann,
der Lektor der deutschen Ausgabe.*

Inhaltsverzeichnis
des Buches

Vorwort

Teil eins
Der Kosmos

Teil zwei
Das Weltall verstehen

Teil drei
Schnell

Teil vier
Eintauchen in die Quantenwelt

Teil fünf
zum Ursprung von Raum und Zeit

Teil sechs
Rätsel tun sich auf

Teil sieben
Einen Schritt weiter

Epilog

Danksagung

Quellen

Teil eins

Der Kosmos

1

Ein lautloser Knall

Stell dir vor, du befindest dich in einer warmen, wolkenlosen Sommernacht auf einer fernen Vulkaninsel. Das Meer um die Insel herum ist so unbewegt wie ein See. Nur flache Wellen laufen auf den weißen Sand. Kein Geräusch ist zu hören. Du liegst am Strand und hast die Augen geschlossen. Der knochentrockene, sonnenwarme Sand heizt die mit süßen, exotischen Düften gesättigte Luft auf. Alles ist friedlich.

Plötzlich ein gellender Schrei in der Ferne. Du springst auf und starrst in die Dunkelheit.

Nichts. Was immer da aufgeschrien hat, ist jetzt still. Es gibt keinen Grund, sich zu fürchten. Vielleicht ist diese Insel für manche Geschöpfe gefährlich; für dich ist sie es nicht. Schließlich bist du ein Mensch, ein Individuum der mächtigsten Raubtierart. Nicht mehr lange, dann kommen deine Freunde, um dir bei einem Drink Gesellschaft zu leisten. Du bist im Urlaub, und so legst du dich wieder in den Sand, um dich Gedanken zuzuwenden, die deiner Spezies würdig sind.

Zahllose winzige Lichter flimmern am unermesslichen Nachthimmel: Sterne. Überall Sterne. Du kannst sie mit bloßem Auge erkennen. Und dir fallen Fragen aus deiner Kindheit ein: Was hat

es auf sich mit diesen Sternen? Warum flimmern sie? Wie weit sind sie entfernt? Aber dann fragst du dich: Werden wir das jemals wissen? Achselzuckend entspannst du dich und schiebst die dummen Fragen beiseite. Du denkst: Warum sollte uns das interessieren?

Eine kleine Sternschnuppe streicht sanft über den Himmel, und gerade als du dir etwas wünschen möchtest, geschieht etwas höchst Ungewöhnliches: Wie um deine letzte Frage zu beantworten, sind im Nu fünf Milliarden Jahre vergangen. Du liegst nicht mehr an einem Strand, sondern gleitest im Weltall durch die Leere. Du kannst sehen, hören und fühlen, aber dein Körper ist verschwunden. Du bist ätherisch. Reiner Geist. Und du hast nicht einmal Zeit, dich zu fragen, was gerade geschehen ist, oder um Hilfe zu rufen, denn du befindest dich in der befremdlichsten Situation, die du dir vorstellen kannst.

Vor dir, ein paar hunderttausend Kilometer entfernt, schwebt vor einem Hintergrund aus kleinen, noch weiter entfernten Sternen ein kugelförmiges Gebilde. Es leuchtet dunkel orangefarben und kommt, sich drehend, auf dich zu. Du erkennst schnell, dass seine Oberfläche von geschmolzenen Gesteinsmassen bedeckt ist und dass es sich um einen Planeten handelt. Um einen geschmolzenen Planeten!

Du bist geschockt, und eine Frage kommt dir in den Sinn: Welche monströse Wärmequelle konnte ihn schmelzen?

Aber dann taucht rechts von dir ein gewaltiger Stern auf. Seine Größe ist, verglichen mit der des Planeten, einfach erstaunlich. Auch er dreht sich und fliegt durchs All. Und er scheint größer zu werden.

Obwohl er viel näher ist, wirkt der Planet jetzt wie die kleine orangefarbene Murmel eines Kindes neben einer gigantischen Kugel, die in erstaunlichem Tempo weiterwächst: Sie ist jetzt schon doppelt so groß wie vor einer Minute. Sie hat eine rote Färbung angenommen und spuckt wütend ellenlange Fäden von einer Million Grad heißem Plasma aus, die anscheinend fast mit Lichtgeschwindigkeit durchs All schießen.

Alles, was du siehst, ist von einer monströsen Schönheit. Du

erlebst ja auch eines der gewaltigsten Ereignisse, die das Universum zu bieten hat. Und doch ist nichts zu hören. Alles ist still, denn Geräusche verbreiten sich nicht im luftleeren Raum des Weltalls.

Sicher, denkst du, wird der Stern nicht in diesem Tempo weiterwachsen. Und doch, er tut's! Er hat jetzt eine Größe, die du dir nicht hättest vorstellen können, und der geschmolzene Planet, zerstört von Energien, denen er nicht standhalten konnte, zergeht in Nichts. Der Stern nimmt davon nicht einmal Notiz. Er wächst weiter, bis zum Hundertfachen seiner ursprünglichen Größe, und explodiert dann plötzlich, wobei er die ganze Materie, aus der er bestand, ins Weltall feuert.

Eine Schockwelle geht durch deine geisterhafte Gestalt, dann ist der Stern zu Staub geworden, der in alle Richtungen geblasen wird. Der Stern existiert nicht mehr. Er hat sich in eine eindrucksvolle farbenprächtige Wolke verwandelt, die sich jetzt in einer Geschwindigkeit, die Göttern Ehre machen würde, in die interstellare Leere hinein verteilt.

Langsam kommst du wieder zu Sinnen, und du begreifst, was gerade geschehen ist. Eine furchtbare Wahrheit ergreift von dir Besitz: Der Stern, der da gestorben ist, war kein x-beliebiger. Es war die Sonne. Unsere Sonne. Und der geschmolzene Planet, der in ihrer gleißenden Helle verschwand, war die Erde.

Unser Planet. Deine Heimat. Weg!

Du hast das Ende unserer Welt miterlebt. Kein spekulatives Ende, keine weithergeholte, angeblich auf die Mayas zurückgehende Phantasie. Nein, das wirkliche Ende. Ein Ende, von dem die Menschheit schon einige Zeit vor deiner Geburt, also fünf Milliarden Jahre vor dem, was du gerade gesehen hast, wusste, dass es eintreten würde.

Als du versuchst, deine Gedanken zu ordnen, wird dein Geist jäh in die Gegenwart zurückversetzt, in deinen am Strand liegenden Körper.

Dein Herz rast, du setzt dich auf und siehst dich um, als wärest

du gerade aus einem seltsamen Traum erwacht. Die Bäume, der Sand, das Meer und der Wind sind noch da. Deine Freunde sind auf dem Weg, du kannst sie in der Ferne erkennen. Was ist geschehen? Warst du eingeschlafen? Hast du geträumt, was du gesehen hast? Ein unheimliches Gefühl kriecht in dir hoch, als dir andere Fragen in den Sinn kommen: Kann es sein, dass das real war? Wird die Sonne wirklich eines Tages explodieren? Und wenn, was wird dann aus der Menschheit? Kann irgendjemand eine solche Apokalypse überleben? Oder wird alles und jedes, auch die Erinnerung an unser Dasein, in kosmischer Vergessenheit versinken?

Du blickst wieder in den sternenklaren Himmel über dir und versuchst verzweifelt zu verstehen, was geschehen ist. In deinem tiefsten Innern weißt du, dass du das alles nicht nur geträumt hast. Obwohl dein Geist wieder auf dem Strand ist, wiedervereinigt mit deinem Körper, weißt du, dass du wirklich eine Zeitreise in eine ferne Zukunft getan und etwas gesehen hast, das niemand jemals sehen sollte.

Du atmest langsam ein und aus, um zur Ruhe zu kommen, als merkwürdige Geräusche an dein Ohr dringen, so als ob der Wind, die Wellen, die Vögel und die Sterne ein Lied flüsterten, das nur du allein hören kannst. Und plötzlich verstehst du, wovon sie singen. Es ist zugleich eine Warnung und eine Einladung. Egal, was die Zukunft bringen wird, murmeln sie, die Menschheit kann nur *einen* Weg beschreiten, um den unvermeidlichen Tod der Sonne und die meisten anderen Katastrophen zu überleben:

Den Weg des Wissens, der Wissenschaft. Auf einer Reise, die nur Menschen machen können.

Einer Reise, die du anzutreten im Begriff bist.

Wieder durchbohrt ein gellender Schrei die Nacht, aber diesmal hörst du ihn kaum. Als ginge schon ein Same auf, der gerade erst in deinen Geist gepflanzt wurde, verspürst du den Drang herauszufinden, was man weiß über das Universum.

Demütig richtest du den Blick wieder nach oben. Du betrachtest die Sterne jetzt mit den Augen eines Kindes.

Woraus besteht das Universum? Was liegt im Nahbereich der

Erde? Und was weiter entfernt? Wie weit kann man sehen? Weiß man etwas über die Geschichte des Universums? Hat es überhaupt eine?

Als die Wellen sanft über den Strand streichen und du dich fragst, ob man jemals in der Lage sein wird, diese kosmischen Geheimnisse zu lüften, beginnt das Blinken der Sterne dich einzulullen, deinen Körper in einen halbbewussten Zustand zu versetzen. Du kannst hören, wie deine näher kommenden Freunde sich unterhalten, aber seltsam, du empfindest die Welt schon nicht mehr so wie noch vor einigen Minuten. Alles scheint irgendwie reicher, tiefer, so als wären dein Geist und dein Körper Teil von etwas, was viel, viel größer ist als alles, woran du je gedacht hast. Deine Hände, deine Beine, deine Haut ... Die Materie ... Die Zeit ... Der Raum ... Überall Kraftfelder um dich herum, die ineinandergreifen ...

Ein Schleier, von dessen Existenz du nicht einmal wusstest, ist von der Welt gezogen worden und hat den Blick auf eine unerwartete geheimnisvolle Wirklichkeit freigegeben. Dein Geist verlangt danach, wieder unter den Sternen zu sein, und du fühlst, du wirst eine außergewöhnliche Reise machen, die dich weit weg führen wird von deiner heimischen Welt.

2

Der Mond

Wenn du dies liest, bist du schon fünf Milliarden Jahre in die Zukunft gereist. Ein guter Anfang! Du kannst also überzeugt sein, dass deine Phantasie funktioniert. Mehr wirst du auch nicht brauchen, um durch Raum und Zeit und Materie und Energie zu reisen und zu entdecken, was aus Sicht des frühen 21. Jahrhunderts bekannt ist über unsere Wirklichkeit.

Du hast gesehen, welches Schicksal die Menschheit, ja alle Erscheinungsformen des Lebens auf der Erde erwartet, wenn wir uns nicht bemühen zu verstehen, wie die Natur funktioniert. Wenn wir auf lange Sicht überleben wollen, statt von einer grimmigen sterbenden Sonne verschlungen zu werden, haben wir nur eine Chance: Wir müssen lernen, unsere Zukunft in die eigenen Hände zu nehmen. Dafür müssen wir die Naturgesetze entschlüsseln und lernen, sie uns zunutze zu machen. Vor uns liegt eine Menge Stoff, das solltest du wissen. Dafür wirst du aber auf den folgenden Seiten so gut wie alles erfahren, was bisher bekannt ist.

Auf deiner Reise durch unser Universum wirst du entdecken, was es mit der Schwerkraft auf sich hat und wie sowohl Atome als auch Elementarteilchen miteinander interagieren, ohne sich zu berühren. Du wirst erfahren, dass unser Universum zum größten Teil aus Geheimnissen besteht und dass man bei den Versuchen, sie zu entschlüsseln, auf zuvor unbekannte Formen von Materie und Energie gestoßen ist.

Wenn du dann alles Bekannte gesehen hast, springst du hinein ins Unbekannte und erfährst, woran einige der klügsten Köpfe unter den Physikern der Gegenwart arbeiten, um die überaus merkwürdigen Wirklichkeiten zu erklären, deren Teil wir sind. Von

Paralleluniversen, Multiversen und Extradimensionen wird die Rede sein. Danach werden deine Augen wahrscheinlich leuchten von dem Licht des Wissens, das die Menschheit in Jahrtausenden erworben hat. Du solltest aber auf einiges gefasst sein. Entdeckungen der letzten Jahrzehnte haben alles über den Haufen geworfen, was wir zu wissen glaubten: Danach ist unser Universum nicht nur unermesslich viel größer als erwartet, es ist auch unendlich viel schöner, als unsere Vorfahren es sich hätten vorstellen können. Eine weitere gute Nachricht: Dass wir imstande waren, so viel herauszufinden, unterscheidet uns Menschen von allen anderen Erscheinungsformen des Lebens, die es je auf der Erde gegeben hat. Das kann uns zugutekommen, denn die meisten anderen Lebensformen sind ausgestorben. Die Dinosaurier etwa haben die Oberfläche unseres Planeten ungefähr 200 Millionen Jahre lang beherrscht, wir dagegen bis heute nur einige hunderttausend Jahre. Sie hatten jede Menge Zeit, ihre Umwelt zu befragen und das eine oder andere herauszufinden. Doch sie haben es nicht getan, und so sind sie gestorben. Wir Menschen könnten heute zumindest hoffen, einen uns bedrohlich nahe kommenden Asteroïden früh genug zu entdecken, um dann zu versuchen, ihn von seinem Kurs abzubringen. Wir können also schon einiges, was die Dinosaurier nicht konnten. Es ist vielleicht unfair, das zu sagen, aber im Rückblick können wir das Aussterben der Dinosaurier mit ihren mangelnden Kenntnissen in theoretischer Physik in Verbindung bringen.

Du liegst am Strand und erinnerst dich lebhaft an die sterbende Sonne. Noch weißt du nicht viel, etwa von den flimmernden Punkten, die den Nachthimmel zieren und umgekehrt gar nichts von dir wissen. Das Leben und Sterben irdischer Spezies sind ihnen vollkommen schnuppe. Die Zeit scheint im Weltall Dimensionen zu haben, die dein Körper nicht fassen kann. Für so ferne leuchtende Götter wie diese Sterne währt das Leben einer ganzen Spezies auf Erden wahrscheinlich nicht länger als ein Fingerschnippen ...

Vor dreihundert Jahren glaubte einer der berühmtesten und brilliantesten Naturwissenschaftler aller Zeiten, der in Cambridge lehrende englische Physiker und Mathematiker Isaac Newton, dem wir die Kenntnis der Schwerkraft verdanken, es gebe zwei Arten Zeit: die Zeit der Menschen, von uns allen gefühlt und mit unseren Uhren gemessen, und die stehende, nicht vergehende Zeit Gottes. Aus Sicht von Newtons Gott ist der endlose Strahl der menschlichen Zeit, der sich rückwärts und vorwärts bis ins Unendliche erstreckt, nur ein Augenblick. Dieser Gott erfasst alles mit einem einzigen Blick.

Aber du bist nicht Gott. Als du in den Sternenhimmel schaust und einer deiner Freunde dir einen Drink reicht, kommt dir die Unermesslichkeit der Aufgabe beängstigend vor. Das ist alles zu groß, zu weit weg, zu fremd ... Wo beginnen? Du bist doch kein Physiker! Aber du bist auch nicht der Typ, der aufgibt. Du hast Augen im Kopf, und du bist neugierig. Also legst du dich in den Sand und machst einen Anfang, indem du dich auf das fokussierst, was du sehen kannst.

Du siehst den Himmel; der größte Teil ist dunkel. Und du siehst Sterne.

Du siehst aber noch etwas: Zwischen den Sternen erkennst du mit bloßem Auge einen schummrigen, blass weißlich leuchtenden Streifen.

Was immer dieses Leuchten ist, du weißt, dass der Streifen *Milchstraße* genannt wird. Sie scheint etwa zehnmal so breit wie ein Vollmond zu sein. Als du jünger warst, hast du oft zu ihr hinaufgeblickt. Sie ist so unübersehbar, dass du denkst, auch all deine Vorfahren müssten sie gekannt haben, und du hast recht. Männer und Frauen haben sogar jahrhundertlang zu ergründen versucht, was es mit diesem Streifen auf sich hat, und es liegt eine Ironie darin, dass wir heute die Antwort kennen – heute, da die Milchstraße aufgrund von Lichtverschmutzung von den meisten bewohnten Gebieten der Erde aus nicht mehr sichtbar ist.

Doch von deiner tropischen Insel aus ist sie überwältigend klar

zu erkennen, wobei sie aufgrund der Erddrehung mit fortschreitender Nacht, wie die Sonne bei Tag, von Ost nach West zu wandern scheint.

Du fängst an zu glauben, dass die Zukunft der Menschheit irgendwo da draußen liegen könnte, jenseits des irdischen Himmels, und findest diese Möglichkeit faszinierend. Du fokussierst deinen Blick und fragst dich, ob es möglich ist, alles, was es gibt im Universum, mit bloßem Auge zu erkennen. Aber du schüttelst den Kopf. Du weißt, dass die Sonne, der Mond, Planeten wie die Venus, der Mars und der Jupiter, einige hundert Sterne* und dieser verschwommene Streifen weißlichen Staubs namens Milchstraße nicht alles sind. Dort oben, außer Sichtweite, zwischen den Sternen, verbergen sich Geheimnisse, die darauf warten, enthüllt zu werden ... Wenn du das alles erforschen könntest, wie würdest du es anstellen? Du würdest natürlich mit dem Nahbereich der Erde beginnen, und dann – dann würdest du davonschießen, so weit wie möglich, und dann – dein Geist gehorcht!

So unglaublich es klingt, dein Geist fängt wirklich an, sich von deinem Körper zu entfernen – aufwärts, den Sternen entgegen.

Ein Schwindel befällt dich, alles dreht sich um dich, als dein Körper und die Insel, auf der er liegt, rasch unter dir zurückbleiben. Dein Geist, ein ätherisches Ich, fliegt auf- und ostwärts. Du hast keinen Schimmer, wie das möglich ist, aber du stehst jetzt höher als der höchste Berg. Ein tiefroter, über einem fernen Horizont hängender Mond taucht auf, und in Nullkommanichts befindest du dich außerhalb der Erdatmosphäre, durchfliegst die 380 000 Kilometer Leere, die unseren Planeten von unserem einzigen natürlichen Satelliten trennen. Vom All aus erscheint der Mond genauso weiß wie die Sonne.

Deine Reise durch die Welt des Wissens hat begonnen.

* Du glaubst vielleicht, du könntest in einer tiefschwarzen Nacht Millionen von Sternen sehen, doch in Wirklichkeit kann das menschliche Auge in der Stadt nur einige hundert, auf dem Land, also ohne Lichtverschmutzung, nur vier- bis sechstausend erkennen.

Du hast, wie nur ein Dutzend Menschen vor dir, den Mond erreicht. Dein Geistleib spaziert auf ihm herum. Die Erde ist unter dem Mondhorizont verschwunden. Du befindest dich auf der sogenannten *Nachtseite* des Mondes, von der aus unser Planet nicht zu sehen ist. Es gibt keinen blauen Himmel und auch keinen Wind, und die Sterne über dir – viel mehr, als du von irgend-einem Punkt der Erde aus sehen kannst – funkeln nicht. All das ist so, weil der Mond keine Atmosphäre hat. Auf dem Mond beginnt das Weltall einen Millimeter über dem Boden. Keine Witterung tilgt je die Schrunden, die seine Oberfläche zerklüften. Überall Krater, erstarrte Andenken an das, was einst diesen kargen Boden traf.

Als du dich zur erd zugewandten Seite des Mondes aufmachst, strömt die Geschichte seiner Geburt auf magische Weise in deinen wissbegierigen Geist, und du starrst sprachlos auf den Boden unter deinen Füßen.

Was für eine Urgewalt!

Vor ungefähr vier Milliarden Jahren wurde unser junger Planet von einem anderen Planeten – etwa von der Größe des Mars – getroffen, der ein riesiges Stück von ihm herausriss und ins All schleuderte. In den Jahrtausenden danach setzten sich die aus dieser Kollision stammenden Trümmer zu einer einzigen Kugel im Orbit der Erde zusammen. Der Mond, auf dem du jetzt stehst, war geboren.

Geschähe das heute, würde eine solche Kollision vollauf genügen, um alle Lebensformen auf der Erde auszulöschen. Damals jedoch war unsere Welt noch öde und leer, und es ist eine seltsame Vorstellung, dass wir ohne diesen katastrophalen Zusammenstoß weder einen Mond hätten, der unsere Nächte erhellt, noch nennenswerte Gezeiten und dass es auf unserem Planeten wahrscheinlich kein Leben gäbe, wie wir es kennen.

Jetzt taucht vor dir, über dem Mondhorizont, die blaue Erde auf, und du begreifst, dass katastrophale Ereignisse in kosmischem Maßstab auch ihr Gutes haben können.

Dein Heimatplanet, eine blaue, vor schwarzem, sternensäten Hintergrund schwebende Perle, ist von hier aus gesehen nur so groß wie vier Vollmonde.

Die wirkliche Größe unserer Erde im All ist ein Anblick, der demütig macht und immer machen wird.

Als du weitergehst, siehst du, wie die Erde am Mondhimmel aufgeht; alles scheint ruhig und geheuer. Aber du weißt schon, diesem scheinbaren Frieden ist nicht zu trauen. Zeit hat hier eine andere Bedeutung, und wenn du an die Äonen denkst, die noch kommen werden, dann scheint die Gewaltigkeit des Universums unvermeidlich. Die Krater, die den Mond entstellen, erinnern daran. Hunderttausende im All treibende Felsbrocken von der Größe eines Berges müssen seine Oberfläche im Laufe der Zeiten zerstampft haben.

Auch die Erde muss getroffen worden sein – aber die Wunden unseres Planeten sind verheilt, weil unsere Welt lebt und ihre Vergangenheit tief unter ihrer sich ständig verändernden Oberfläche verbirgt.

Dennoch wird dir plötzlich klar, dass deine heimische Welt, trotz ihrer Fähigkeit, ihre Wunden zu heilen, in einem solchen Universum fast schutzlos ist ...

Fast.

Nicht ganz. Denn sie hat jetzt uns. Sie hat dich.

Kollisionen wie die, die zur Geburt des Mondes geführt hat, gehören zum größten Teil der Vergangenheit an. Gegenwärtig gibt es keine verirrteten Planeten, die unsere Welt bedrohen, nur Asteroide und Kometen – und der Mond schützt uns zum Teil vor solchen Gefahren. Doch Gefahren lauern überall, und als du das bläuliche, am dunklen Himmel hängende Bild der Erde betrachtest, steigt hinter dir plötzlich ein ungemein heller Lichtball auf.

Du drehst dich um und erblickst einen Stern. Er ist das hellste und gewalttätigste Objekt, das sich in der Nähe unseres Heimatplaneten befindet.

Wir haben ihm den Namen *Sonne* gegeben.

Diese Sonne ist 150 Millionen Kilometer von unserer Erde entfernt.

Sie ist die Quelle all unserer Macht.

Überwältigt von der schieren Lichtmenge, die von dieser außergewöhnlichen kosmischen Lampe ausgeht, lässt du den Mond hinter dir, um zu ihr hinzufiegen, zu unserem Stern, der Sonne, und um herauszufinden, warum sie leuchtet, warum sie «scheint».

3

Die Sonne

Wenn die Menschheit die Energie speichern könnte, die die Sonne in einer Sekunde abstrahlt, würde diese Menge genügen, um den Energiebedarf der ganzen Welt für eine halbe Milliarde Jahre zu decken. Doch während du unserem Stern immer näher kommst, wird dir klar, dass die Sonne nicht so groß ist, wie du sie auf deiner Zeitreise fünf Milliarden Jahre später, als sie ihr Ende erreichte, gesehen hast. Natürlich *ist* sie groß. Um die Relation deutlich zu machen: Hätte die Sonne den Umfang einer Wassermelone, so wäre die kleine Erde gut 43 Meter von ihr entfernt – und du bräuchtest eine Lupe, um sie zu erkennen.

Du befindest dich jetzt ein paar tausend Kilometer oberhalb der Sonne. Die Erde hinter dir ist nur ein heller Punkt. Vor dir füllt die Sonne den halben Himmel. Überall brechen Plasmablasen hervor. Unmittelbar vor deinen Augen werden Milliarden Tonnen ultrahöher Materie ausgestoßen; sie schießen durch deinen ätherischen Leib, während sich im Magnetfeld der Sonne riesige Schleifen von scheinbar zufälliger Gestalt bilden. Die Szenerie ist grandios, um das Mindeste zu sagen, und erregt fragst du dich, was die Sonne im Vergleich zur Erde so besonders macht. Was macht einen Stern zu dem, was er ist? Woher hat er seine Energie? Und warum, um Himmels willen, muss er eines Tages sterben?

Um das herauszufinden, stürzt du dich in die ungemütlichste Umgebung, die sich denken lässt: ins Herz der Sonne, das mehr als eine halbe Million Kilometer unter ihrer Oberfläche liegt. Zum Vergleich: Die Oberfläche der Erde ist etwa 6500 Kilometer von ihrem Zentrum entfernt.

Als du kopfüber in den gleißend hellen Glutofen springst, erinnerst du dich, dass alle Materie, die wir ein- und ausatmen, sehen oder berühren – auch die Materie, die dein wirklicher Körper enthält –, aus Atomen besteht. Atome sind die Bausteine von allem und jedem. Sie sind, wenn du so willst, die Legosteine, aus denen deine Umwelt zusammengesetzt ist. Im Unterschied zu Legosteinen sind Atome allerdings nicht rechteckig, sondern meistens rund, und sie bestehen aus einem dichten, kugelförmigen Kern, den in relativ großer Entfernung kleine Elektronen umschwirren. Ebenso wie Legosteine kann man Atome jedoch nach ihrer Größe klassifizieren. Das kleinste ist das Wasserstoff-, das zweitkleinste das Heliumatom. Diese beiden machen etwa 98 Prozent aller bekannten Materie im bekannten Universum aus. Das ist eine Menge, aber es ist weniger, als es einmal war. Vor ungefähr 13,8 Milliarden Jahren, so glaubt man heute zu wissen, machten diese beiden Atome fast 100 Prozent aller bekannten Materie aus. Heute gibt es ja außer Wasserstoff und Helium zum Beispiel Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und Silber. Diese Atome müssen also später entstanden sein. Wie? Du bist dabei, es herauszufinden.

Du tauchst tiefer und tiefer in die Sonne ein; die Temperatur steigt und wird irre heiß. Im Zentrum unseres Sterns beträgt sie 16 Millionen Grad Celsius. Vielleicht sogar mehr. In diesem Zentrum befinden sich jede Menge Wasserstoffatome, allerdings ohne die sie normalerweise umgebende Energie: Ihre Elektronen sind frei, die Kerne liegen nackt. Der Druck ist so hoch, diese Kerne sind so dicht gepackt infolge des Gewichts, mit dem der Stern auf seinem Zentrum lastet, dass sie sich kaum bewegen können, sondern gezwungen sind, miteinander zu größeren Kernen zu verschmelzen. Das, die Erschaffung großer Atomkerne aus kleineren – wir bezeichnen sie als *Kernfusionsreaktion* –, geschieht direkt vor deinen Augen.

Wenn sie fertig sind und den Glutofen verlassen, dem sie ihre Geburt verdanken, tun sich diese schweren Kerne mit den einsamen, frei beweglichen Elektronen zusammen, die von den Wasserstoffkernen abgestreift worden waren. Auf diese Weise entstehen

neue, schwerere Atome: Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Silber und so weiter.

Damit eine Kernfusionsreaktion zustande kommt, ist eine gewaltige Menge Energie nötig, und diese Energie wird hier von der erdrückenden Schwerkraft der Sonne zur Verfügung gestellt, die Richtung Zentrum wirkt und alles ungeheuer komprimiert. Auf (oder in) der Erde ist eine solche Reaktion unter natürlichen Bedingungen nicht möglich, weil unser Planet dafür nicht groß und nicht dicht genug ist: weil seine Schwerkraft die nötige Temperatur und den nötigen Druck im Erdkern nicht erzeugen kann. Das ist auch der Hauptunterschied zwischen Planeten und Sternen: Sowohl diese als auch jene sind mehr oder minder runde kosmische Objekte, aber während Planeten klein sind und einen Kern aus Gestein haben, der manchmal von Gas umgeben ist, sind Sterne sozusagen gewaltige Kernfusionsreaktoren: Ihre Gravitationsenergie ist so groß, dass sie von Natur aus nicht anders können, als in ihrem Zentrum Materie zu schmieden. All die schweren Atome, aus denen die Erde besteht, all die Atome, ohne die es kein Leben gibt – also auch die Atome, die dein Körper enthält –, wurden einst im Zentrum eines Sterns geschmiedet. Wenn du atmest, atmest du welche ein. Wenn du deine Haut berührst oder die Haut eines anderen Menschen, berührst du Sternenstaub. Du hast dich gefragt, warum Sterne wie die Sonne sterben und explodieren müssen. Hier ist die Antwort: Sie müssen sterben, weil es sonst im ganzen All nur Wasserstoff und Helium gäbe. Weil die Materie, aus der wir bestehen, für immer in ewigen Sternen eingeschlossen und die Erde nicht entstanden wäre. Weil es Leben, wie wir es kennen, schlicht und einfach nicht gäbe.

Und da wir nicht nur aus Wasserstoff und Helium bestehen, sondern unsere Körper und alle anderen Dinge um uns herum auch Atome wie Kohlenstoff und Sauerstoff enthalten, wissen wir, dass unsere Sonne ein Stern zweiter oder gar dritter Generation ist. Eine oder zwei Generationen Sterne mussten explodieren, damit ihr Staub zu unserer Sonne, zur Erde und zu uns werden konnte. Was also ist es, was zu ihrem Tod geführt hat? Warum sind Sterne

dazu verurteilt, ihr glanzvolles Leben in einer spektakulären Explosion zu beenden?

Eine der verblüffenden Eigenschaften einer Kernfusionsreaktion ist es, dass sie, auch wenn noch so viel Energie dafür nötig war – das Gewicht eines ganzen Sterns! –, noch mehr Energie freisetzt.

Der Grund dafür mag seltsam erscheinen, aber da eine solche Reaktion direkt vor deinen Augen geschieht, bleibt dir gar nichts anderes übrig, als ihn zu akzeptieren: Wenn zwei Atomkerne zu einem größeren verschmelzen, verschwindet ein Teil ihrer Masse. Der aus der Verschmelzung hervorgegangene Kern hat weniger Masse als die beiden Kerne, die ihn erschaffen haben, zusammen besaßen. Es ist, als wenn das Vermischen von einem Kilo Vanilleeis mit einem anderen Kilo Vanilleeis nicht zwei Kilo Vanilleeis ergäbe, sondern weniger.

Was in unserer Lebenswelt nicht geschehen würde, geschieht in der Welt der Atome ständig. Doch zu unserem Glück geht die Masse nicht verloren. Sie wird in Energie umgewandelt, und Einsteins berühmte Gleichung $E = mc^2$ gibt dafür den Wechselkurs an.*

In unserer Lebenswelt sind wir mehr an Wechselkurse zwischen Währungen gewöhnt als an solche zwischen Masse und Energie. Stell dir also, um zu sehen, ob die Natur mit $E = mc^2$ ein gutes Geschäft macht, vor, derselbe Wechselkurs würde dir am John F. Kennedy Airport angeboten, um Euro (die Masse, die du hast und gibst) gegen US-Dollar (die Energie, die du dafür erhältst) einzutauschen. Der Wechselkurs wäre dann c^2 , wobei $\langle c \rangle$ für die Lichtgeschwindigkeit stünde und $\langle c^2 \rangle$ für die mit sich selbst multi-

* Du weißt es wahrscheinlich, aber sicherheitshalber sage ich es trotzdem: In $E = mc^2$ steht das $\langle E \rangle$ für \langle Energie \rangle , das $\langle m \rangle$ für \langle Masse \rangle und das $\langle c \rangle$ für \langle celeritas \rangle , das lateinische Wort für \langle Geschwindigkeit \rangle – gemeint ist die Lichtgeschwindigkeit. Diese Gleichung, die einzige, die du in diesem Buch zu Gesicht bekommen wirst, bedeutet also, dass man buchstäblich Masse in Energie und Energie in Masse verwandeln kann.

plizierte Lichtgeschwindigkeit. Für einen Euro würdest du 90 Millionen Milliarden Dollar erhalten. Nicht schlecht, würde ich sagen! Das ist der beste Wechselkurs, den es in der Natur gibt.

Natürlich ist die Masse, die nach jeder einzelnen Kernfusionsreaktion fehlt, ziemlich klein. Doch werden in jeder Sekunde so viele Atome im Herzen der Sonne miteinander verschmolzen, dass die freigesetzte Energie gewaltig ist und irgendwohin muss. Sie verlässt das Zentrum des Sterns und geht ins All, in alle Richtungen. Dadurch wirkt die aus dieser Kernfusion stammende Energie als Gegenkraft gegen die Schwerkraft, die alles ins Zentrum hinabdrückt, und stabilisiert so die Größe unseres Sterns. Wäre die Schwerkraft die einzige Kraft, würde die Sonne schrumpfen.

Bei Kernfusionen werden ungeheure Mengen Licht und Elementarteilchen emittiert, die alles um sie herum in sogenanntes *Plasma*, eine strahlende Suppe aus Atomkernen und Elektronen, verwandeln.

Diese Eruptionen von Licht, Hitze und Energie sorgen dafür, dass Sterne leuchten.

Als Stern ist die Sonne kein großer Feuerball, denn Feuer benötigt Sauerstoff, und obwohl die Sonne neben anderen schweren Elementen auch ihn erschafft, gibt es im Weltall nicht genügend freien Sauerstoff, der irgendein Feuer unterhalten könnte. Ein angerissenes Streichholz würde sich im Weltall nicht entzünden. Wie alle Sterne am Himmel ist die Sonne nur ein heller Ball aus leuchtendem Plasma, eine heiße Mischung aus freien Elektronen, aus Atomen, die *einige* ihrer Elektronen verloren haben (solche Atome werden *Ionen* genannt), und aus Atomen, die *all* ihre Elektronen verloren haben, aus nackten Atomkernen also.

Solange im Zentrum der Sonne ausreichend kleine Atomkerne vorhanden sind, die die Schwerkraft zusammendrücken kann, werden diese und die Fusionsenergie im Gleichgewicht bleiben. Wir haben das Glück, in der Nähe eines Sterns zu leben, der sich in einem solchen Zustand befindet.

Aber in Wirklichkeit hat das mit Glück natürlich nichts zu tun.

Befände unsere Sonne sich *nicht* in einem solchen Zustand, so gäbe es uns nicht.

Und wie du inzwischen weißt, wird die Sonne nicht ewig in diesem Zustand des Gleichgewichts bleiben: Eines Tages wird unserem Stern der atomare Brennstoff ausgehen. An diesem Tag wird es keine vom Zentrum ausstrahlende, nach außen drängende Kraft mehr geben, die es mit der Schwerkraft aufnehmen könnte. Die Schwerkraft wird übermächtig sein und den letzten Lebensabschnitt unseres Sterns einleiten: Die Sonne wird schrumpfen und an Dichte zunehmen, bis wieder eine Kernfusionsreaktion ausgelöst wird, aber nicht mehr im Zentrum, sondern näher an der Oberfläche. Diese neuerliche Fusionsreaktion wird nicht nur gleich stark sein wie die Schwerkraft, sondern stärker, so dass die Oberfläche der Sonne nach außen getrieben wird. Unser Stern wird größer werden – auf deiner Reise in die Zukunft hast du gesehen, wie das geschieht. Eine letzte Eruption von Energie wird dann den Tod ankündigen, den du miterlebt hast. Sie wird alle Atome, die die Sonne in ihrem Leben geschmiedet hat, ins Universum jagen und einige weitere erschaffen – die schwersten, zum Beispiel Gold. Schließlich werden sich diese Atome mit den Überresten anderer gestorbener Sterne in der Nähe vermengen und riesige Wolken Sternenstaub bilden, aus denen vielleicht in ferner Zukunft neue Planeten entstehen werden.

Aufgrund von Schätzungen der im Zentrum unseres Sterns noch vorhandenen Menge an Wasserstoff können die Wissenschaftler überschlagen, wann es zur Explosion kommen wird. Ihre Prognose: Die Sonne wird in ungefähr fünf Milliarden Jahren zerbersten – an einem Donnerstag oder bis zu drei Tage früher oder später.

4

Unsere kosmische Familie

Was du bisher über die Sonne erfahren hast, ist mehr, als irgendjemand vor der Mitte des 20. Jahrhunderts wusste. Alles Licht, das sich Tag für Tag über deinen Körper ergießt, stammt aus Atomen, die im Zentrum unseres Sterns geschmiedet werden, aus Teilen ihrer Masse, die in Energie umgewandelt werden. Die Erde ist jedoch nicht das einzige Objekt am Himmel, das von der Energie der Sonne profitiert.

In Nullkommacht ist dein Geist zurück auf der brodelnden, heißen Oberfläche der Sonne, und du siehst dich mit Adlernaugen um. Vor einem scheinbar unveränderlichen Hintergrund aus weit entfernten Sternen bewegen sich acht helle Punkte. Es sind Planeten: Kugeln aus Materie, die zu klein sind, um auch nur davon träumen zu können, eines Tages zum Stern zu werden. Die vier, die der Sonne am nächsten sind, sind klein und felsig. Dagegen bestehen die vier am weitesten entfernten zum größten Teil aus Gas. Verglichen mit der Sonne sind sie immer noch klein, aber verglichen mit der Erde, dem größten der vier kleinen, felsigen Planeten, sind sie Giganten. Abgesehen von der Erde jedoch ist keiner dieser Planeten und keiner ihrer mehreren hundert Monde eine mögliche Zuflucht für die Zukunft der Menschheit, obwohl sie alle derselben Staubwolke vor langer Zeit gestorbener Sterne entstammen. Sie alle unterliegen der Schwerkraft der Sonne und werden mit dem letzten Knall unseres Sterns dahin sein. Eine Zuflucht, wenn sich denn eine finden lässt, muss noch weiter entfernt liegen.

Daher drängt es deinen Geist, loszujagen und so weit wie möglich zu fliegen, um einen Blick auf das zu werfen, was außerhalb der Einflusssphäre der Sonne liegt. Unterwegs wirst du bei den vier entfernten Cousins unseres Planeten, den Giganten unserer kosmischen Familie, vorbeischaun.

Du bist jetzt ungefähr dreimal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde. Merkur, Venus, Erde und Mars, die vier kleinen, felsigen Planeten, die der Sonne am nächsten sind, hast du hinter dir gelassen. Unseren Stern siehst du als leuchtenden Punkt von der halben Größe einer auf Armlänge entfernt gehaltenen Cent-Münze. Ein Julitag in Deutschland, der heißeste Tag des Jahres, wäre kälter als der kälteste Winter in der Antarktis, wenn die Erde sich hier befände.*

Das Sonnenlicht wird schwächer und schwächer, während du dich von unserem Stern entfernst.

Du schießt an einigen Felsbrocken vorbei, Überbleibseln aus den frühen Tagen der Entstehung unseres Planeten. Die meisten sind kartoffelförmige Asteroide, die zusammen den von den Astronomen so genannten *Asteroidengürtel* bilden, einen gewaltigen Ring von Felsbrocken, der die Sonne umgibt und die vier kleinen, terrestrischen Planeten von einer Welt aus Giganten trennt. Die Felsbrocken selbst sind ziemlich weit voneinander entfernt; während du den Gürtel durchfliegst, merkst du, dass die Wahrscheinlichkeit, mit einem von ihnen zusammenzustoßen, minimal ist. Viele Satelliten von Menschenhand sind unfallfrei zwischen ihnen hindurchgeflogen.

Nachdem du den Asteroidengürtel hinter dir gelassen hast, fliegst du am Jupiter, am Saturn, am Uranus und am Neptun vorbei, an den Gasgiganten, riesigen Planeten mit relativ kleinen, felsigen Kernbereichen, die tief unter gewaltigen turbulenten Atmosphären verborgen sind. All diese Planeten scheinen mit einem

* Ein Wettersatellit der NASA hat 2013 eine Temperatur von $-94,7$ °C in der Antarktis gemessen – die tiefste Temperatur, die je auf der Erde registriert wurde. Wo du dich jetzt befindest im Weltraum, wäre es noch kälter.

großartigen Ringsystem gesegnet, wobei das des Saturn weit größer und schöner ist als die anderen zusammen.

Du fliegst an diesen Giganten vorbei und betrachtest sie dabei mit dem Respekt, den sie verdienen, auch wenn es auf ihnen kein Leben geben kann.

Wenn du erwartet hast, jenseits des Neptun, jenes Planeten, der die Sonne in der größten Entfernung umkreist, nichts mehr zu sehen, dann hast du dich getäuscht. Du stößt auf einen weiteren Gürtel! Er besteht aus schmutzigen Schneebällen aller Arten und Größen, die wahrscheinlich ebenfalls Nebenprodukte der Geburt unseres Sonnensystems sind, also aus der Zeit stammen, als sich seine gegenwärtigen Mitglieder aus dem Staub längst dahingegangener, explodierter Sterne zusammensetzten. Dieser Gürtel ist der sogenannte *Kuipergürtel*. Die Sonne ist von hier aus gesehen so groß wie ein Stecknadelkopf und nur noch ein Stern unter anderen. Wärme ist in diesen fernen Bereichen des Weltalls kaum noch spürbar, aber es tut sich etwas.

Von Zeit zu Zeit gerät einer dieser schmutzigen Schneebälle aufgrund einer Kollision oder einer anderen Erschütterung aus seiner stillen, fernen Bahn um die Sonne und wird unserem Stern zugetrieben. Er rast also auf die Sonnenstrahlung zu, kommt dadurch langsam in wärmere Gefilde und fängt an zu schmelzen. Dabei zieht er lange Schwänze aus kleinen, eisigen Felsbrocken hinter sich her, die in der Dunkelheit leuchten: Er wird zu einem jener Wunder am Himmel, die wir als *Kometen* bezeichnen. Auf einem von ihnen landete im November 2014 Philae, der robuste Roboter der Europäischen Weltraumorganisation ESA, mit dem Auftrag, seine Oberfläche zu untersuchen. Die Raumsonde Rosetta, die ihn dorthin gebracht hatte, folgt dem Kometen gegenwärtig auf seinem Weg Richtung Sonne, um zu beobachten, wie sich seine äußersten Schichten in Gas verwandeln.

Der arme Pluto, der seinen Planetenrang vor kurzem verlor und zu einem Zwergplaneten herabgestuft wurde, ist ebenfalls Teil dieses eisigen Gürtels, zusammen mit (mindestens) zwei weiteren Zwergen namens Haumea und Makemake. Es ist eine komische

Vorstellung, dass Pluto mit seinem Mond Charon so weit von der Sonne entfernt ist und für einen einzigen Umlauf um sie eine so große Strecke zurücklegen muss, dass zwischen dem Zeitpunkt, da er entdeckt und als Planet eingestuft wurde, und dem Zeitpunkt, da er, 76 Erdenjahre später, diesen Rang wieder verlor, weniger als eines seiner eigenen Jahre vergangen war. Die Astronomen hatten Jahrzehnte gebraucht, um zu erkennen, dass er nur ein Viertel mal so groß ist wie unser Mond. Natürlich hat die Degradierung den schmutziggelben Pluto, an dem du jetzt vorbeifliegst, nicht im Mindesten berührt. Während du dich weiter aus dem sicheren Schutz unseres leuchtenden Sterns entfernst,^{*} kreuzen noch mehr Zwergplaneten und Kometen deinen Weg, und du siehst gefrorene Planeten, die noch kein Mensch entdeckt hat. Aber dann gilt deine ganze Aufmerksamkeit einer gigantischen Sphäre, die alles in den Schatten stellt, was du bisher gesehen hast.

Alle Planeten, Zwergplaneten, Asteroiden und Kometen, die du gesehen hast, liegen mehr oder minder auf einer Scheibe mit der Sonne im Zentrum. Für das, was du jetzt siehst, gilt das nicht. Milliarden und Abermilliarden potentieller Kometen bilden eine gewaltige kugelförmige Wolke – die sogenannte *Oort'sche Wolke* –, die den ganzen Raum zwischen der Sonne und dem Bereich, in dem es andere Sterne gibt, einzunehmen scheint.

Die Größe dieser Wolke ist atemberaubend.

Sie markiert die Grenze der Einflussosphäre unseres Sterns, die alle Mitglieder unserer kosmischen Familie enthält, einer Familie, die als *Sonnensystem* bezeichnet wird.

Jenseits davon trittst du in unerforschte Bereiche ein und nährst dich jenem Stern, von dem du glaubst, er liege dem unseren am nächsten. Er wurde 1915 entdeckt, also vor gut hundert Jahren, als wir anfangen, unser Universum zu verstehen. Der Name dieses Sterns ist *Proxima Centauri*.

* Im Juli 2015 erreichte die NASA-Raumsonde New Horizons Pluto; sie soll ihn – ein Novum in der Geschichte der Raumfahrt – aus nächster Nähe unter die Lupe nehmen.

5

Jenseits der Sonne

Dein Körper liegt noch immer an einem Strand irgendwo auf unserem Planeten, aber dein Geist ist jetzt so weit von der Erde entfernt, wie es nur je ein Objekt von Menschenhand gewesen ist.* Als du den Rand der Oort'schen Wolke überschritten hast, hast du das Sonnensystem verlassen und bist in den Einflussbereich eines anderen Sterns eingetreten. Beim Überqueren dieser unscharfen Linie hast du gesehen, dass einige Kometen am äußersten Rand des Sonnensystems, wie um dir zu verstehen zu geben, was diese Grenze bedeutet, die Umlaufbahn wechselten: Aus einer weiten Bahn um die Sonne wurde eine weite Bahn um einen anderen Stern, auf den du jetzt zusteerst: Proxima Centauri.

Proxima Centauri gehört zu einer Familie von Sternen, die als rote Zwerge bezeichnet werden. Er hat nur ungefähr ein Siebtel des Umfangs und der Masse der Sonne und – daher sein Familienname – eine tiefrote Färbung. Rote Zwerge gibt es wie Sand am Meer; die Wissenschaftler glauben, dass die meisten Sterne am Himmel zu dieser Familie gehören.

Während du Proxima immer näher kommst, siehst du dramati-

* Das am weitesten gereiste Objekt von Menschenhand ist die NASA-Raumsonde Voyager 1, die 1977 ins All geschossen wurde und 2013 die Außengrenze des Sonnensystems erreichte. Sie funkt noch immer Daten zur Erde und reagiert auf neue Befehle. Ihre Batterien werden schätzungsweise noch bis 2025 Strom liefern. 2014 brauchte ein von Voyager 1 gesendetes Signal ungefähr 18 Stunden, um in Lichtgeschwindigkeit die Erde zu erreichen. Diese Übertragungsdauer vergrößert sich, da die Sonde sich von der Erde immer noch weiter entfernt.

sche Veränderungen seiner Helligkeit und gewaltige Mengen glühend heißer Materie, die er in unvorhersehbarer Weise ausstößt.

Gibt es Planeten um diesen cholerischen roten Zwerg herum?

Du siehst keine. Also anscheinend nicht.

Das ist eine Schande. Denn obwohl es sehr schwer wäre, auf einem Planeten, der Proxima umkreist, ein angenehmes Leben zu führen, könnte eine hier entstehende Zivilisation für eine sehr, sehr lange Zukunft planen. Wenn unser Stern, die Sonne, explodiert, wird sich Proxima noch kein bisschen verändert haben. Soweit wir wissen, wird er mit seiner jetzigen Leuchtkraft etwa 300-mal so lange leuchten, wie das Universum heute alt ist. Eine lange Zeit!

Aber warum dieses lange Leben?

Nun, da Proxima kleiner ist als die Sonne, verschmelzen die winzigen Atomkerne, die ihn ausmachen, sehr viel langsamer zu größeren Kernen als im Zentrum unseres Sterns. Bei Sternen kommt es durchaus auf die Größe an: je größer der Stern, umso kürzer sein Leben. Für die Planeten hingegen, die die Sterne umkreisen, ist Entfernung entscheidend. Ein Planet kann nur dann flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche haben und damit Leben, wie wir es kennen, ermöglichen, wenn er nicht zu kalt und nicht zu heiß ist. Und dafür darf er dem Stern, den er umkreist, weder zu nah noch zu fern sein. Die Zone um einen Stern herum, in der es permanent flüssiges Wasser auf der Oberfläche eines Planeten geben kann, wird als *habitable Zone* bezeichnet. Was wäre also, wenn du einen roten Zwerg fändest, den ein der freundlichen Erde ähnlicher Planet in der richtigen Entfernung umkreist? Dann könnte dieser Planet fast in alle Ewigkeit bestehen ...

Da du dich ein bisschen schuldig fühlst, diesen Gedanken gedacht zu haben, möchtest du einen Blick auf dein heimisches Sonnensystem, auf deine heimische Welt werfen und drehst dich um – in der Erwartung, dass die Sonne alle anderen hellen Punkte am Himmel überstrahlen werde. Aber sie tut es nicht, und mit einem Schlag wird dir die schiere Dimension der kosmischen Entfernungen klar.

Wenn du nicht reiner Geist wärest, sondern ein Astronaut aus Fleisch und Blut: Wie lange würde dann, fragst du dich, ein Signal von hier nach Hause unterwegs sein?

Hättest du ein interstellares Handy bei dir, so könntest du versucht haben, auf jeder deiner Stationen Freunde anzurufen, um ihnen von deinen Entdeckungen zu erzählen. Handys wandeln die menschliche Stimme in Signale um, die mit Lichtgeschwindigkeit dahinsausen und so den Anschein erwecken, Telekommunikation sei auf der Erde ohne jede Zeitverzögerung möglich. Doch im Weltall sind dafür in der Regel die Entfernungen zu groß. Vom Mond aus benötigt Licht ungefähr eine Sekunde bis zur Erde und eine weitere für den Weg zurück. Hättest du, als du auf unserem Trabanten warst, einen Freund auf der Erde gefragt, ob er dich mit einem Fernglas sehen könne, dann hätte dich seine Antwort zwei Sekunden später erreicht.

Nicht so auf der Sonne. Licht benötigt ungefähr acht Minuten und zwanzig Sekunden für den Weg von der Sonne zur Erde. Gespräche würden also schwierig werden, weil man nach einer Frage mehr als sechzehn Minuten auf die Antwort warten müsste. Aber in kosmischen Maßstäben liegt die Sonne immer noch nebenan. Ein Anruf von dort, wo du jetzt bist, nahe Proxima Centauri, würde zunächst ein Signal senden, das ein Telefon auf der Erde erst vier Jahre und zwei Monate später klingeln ließe. Eine Antwort auf eine Frage würde dich also nach sage und schreibe acht Jahren und vier Monaten erreichen!

Du bist erst bis zu dem Stern gekommen, der – nach der Sonne – der Erde am zweitnächsten ist, aber du hast das Gefühl, schon sehr weit weg zu sein von Zuhause. Um nicht verloren zu gehen, suchst du nach etwas, woran du dich orientieren kannst.

Du erinnerst dich an die schöne Milchstraße, die du vom Strand auf deiner tropischen Insel aus gesehen hast, und blickst dich nach ihr um. Wo mag dieser diffuse weiße Lichtfleck jetzt liegen? Du erkennst ihn sofort, aber zu deiner großen Überraschung stellt er sich nicht mehr als breite gerade Linie dar, son-

dern als verkanteter Ring, bei dem einige Bereiche heller sind als andere. Du selbst befindest dich irgendwo in seinem Innern, und dir wird klar, dass die Milchstraße von der Erde aus nur deshalb streifenförmig aussah, weil die Erde unter deinen Füßen den größten Teil von ihr verbarg.

Ohne weiter darüber nachzudenken, steuerst du, nachdem du keinen Planeten im Umkreis von Proxima Centauri gesichtet hast, direkt den hellsten Bereich der Milchstraße an.

Was du noch nicht weißt: Du reist jetzt ins Zentrum einer Ansammlung von um die 300 Milliarden Sternen, die als *Galaxie* bezeichnet wird.

6

*Ein kosmisches
Monster*

Im Zentrum einer 300 Milliarden Sterne umfassenden Ansammlung, das dürfte dir klar sein, muss etwas ganz Besonderes liegen. Denk an die Erde: Ihr Zentrum ist der dichteste, heißeste und ungemütlichste Bereich in ihr. Denk an das Sonnensystem: Sein Zentrum, die Sonne, ist der dichteste, heißeste und ungemütlichste Bereich in ihm. Vielleicht beweist das nichts, aber es deutet darauf hin, dass es wahrscheinlich auch mit dem Zentrum einer Galaxie etwas Besonderes auf sich hat. Etwas ganz Besonderes.

Du fliegst in Gedankenschnelle an zig Millionen Sternen vorbei. Einige sind viel größer als die Sonne und werden daher noch eher sterben müssen als sie, andere sind winzig und werden daher unvorstellbar lange leuchten. Du fliegst auch durch stellare Kinderstuben, Staubwolken, die aus den Überresten Hunderter explodierter Sterne bestehen, und durch stellare Friedhöfe, die darauf warten, sich zu vereinigen und zu stellaren Kinderstuben zu werden. Dann bist du plötzlich da, nahe dem galaktischen Zentrum, was immer darunter zu verstehen ist, und machst Halt. Unmittelbar vor dir befindet sich wieder ein Ring. Ein sich drehender, farbenprächtiger Ring aus verstreuter Materie. Bei näherem Hinsehen erkennst du, dass er aus Gas und aus Milliarden von Felsbrocken und Kometen besteht, die sich alle um eine dicke, Donut-förmige Quelle hellen, energiereichen Lichts bewegen.

Was ist hier los? Was sind das für Fels- und Eisbrocken? Du lässt deinen Blick etwas weiter schweifen und denkst plötzlich: Das kann nicht wahr sein! Nicht nur lose Felsbrocken kreisen da,

sondern auch Sterne. Ganze Sterne. Nicht Planeten, nein Sterne! Und sie bewegen sich schnell.

Einer von ihnen gilt heute als das schnellste bekannte Objekt im Universum. Sein Name: *S2* oder *Source 2*. Von der Erde aus haben Wissenschaftler festgestellt, dass er für einen vollständigen Umlauf um den Donut nur fünfzehneinhalb Jahre benötigt. Bei der Strecke, die er dafür zurücklegen muss, bedeutet das, dass er mit einer Geschwindigkeit von erstaunlichen 17,7 Millionen Kilometern pro Stunde unterwegs ist. Wie ist das möglich? Welche Bestie hat genug Schwerkraft, um ein solch blitzschnelles Objekt an sich zu binden? Ist es überhaupt *möglich*, eine solche Kraft zu entwickeln?

Stell dir eine Murmel und eine Salatschüssel vor.

Wenn du die Murmel zu langsam an der Innenwand der Salatschüssel entlanglaufen lässt, liegt sie wenig später auf deren Boden. Wenn du sie zu schnell laufen lässt, schraubt sie sich empor, verlässt die Schüssel und macht, wenn du Pech hast, in deiner Küche etwas kaputt. Wenn du sie aber mit der richtigen Geschwindigkeit laufen lässt, dreht sie zwischen Rand und Boden einige Runden, bis die Reibung zu viel von ihrer Geschwindigkeit in Wärme umwandelt und ihren Lauf verlangsamt.

Jetzt stell dir vor, die Murmel sei der superschnelle Stern *S2* und es gebe eine unsichtbare Schüssel, die ihn in der Umlaufbahn um das hält, was im Innern des hellen Donuts liegt. Im Weltall gibt es keine Reibung, also auch keinen Grund, warum der Stern irgendetwas von seiner Energie verlieren sollte.* Wir können daher aus der Geschwindigkeit von *S2* auf die Form der Schüssel schließen und auf die Masse, die auf ihrem Boden liegt.

Diese ziemlich einfache Rechnung ist von Wissenschaftlern viele Male gemacht worden, und sie hat immer zu einem unglaub-

* Für Wissenschaftlerkollegen, die dies lesen: Ich sehe an dieser frühen Stelle des Buches von den sogenannten Gravitationswellen ab.

lichen Ergebnis geführt: Um ein Gravitationsfeld zu schaffen, das stark genug ist zu verhindern, dass S2 ins Weltall geschleudert wird, ist die Masse von mehr als vier Millionen Sonnen nötig. Das wäre ein gigantischer Stern!

Aber es gibt da ein Problem: Im Zentrum der Umlaufbahn von S2 ist kein Stern zu entdecken. Du kannst noch so genau hinsehen, du wirst keinen finden.

Um herauszubekommen, was dieses Objekt mit der Masse von vier Millionen Sonnen ist, das S2 am Davonfliegen hindert, haben Wissenschaftler Teleskope entwickelt, die besondere, für das menschliche Auge unsichtbare Formen von Licht registrieren können, nämlich UV-Licht, und, um ein eindrucksvolleres Bild zu erhalten, Röntgenstrahlen, die nach den Gammastrahlen energiereichste Form von Licht, die wir kennen. Auch mit einem solchen Teleskop können sie kein Objekt sehen, wohl aber energiereiche Eruptionen von Licht, die von einem winzigen Ort innerhalb des Rings ausgehen. Was S2 am Davonschießen hindert, ist also nicht nur kein Stern, es ist auch nicht entfernt so groß, wie zu erwarten wäre. Daher haben die Wissenschaftler nur eine Antwort auf die Frage, was sich dort verbergen mag: ein schwarzes Loch. Und zwar ein supermassereiches.

Die Wissenschaftler bezeichnen es als *Sagittarius A** (sprich: Sagittarius A Stern). Leider können sie es von der Erde aus nicht präzise erforschen, da die Sterne und die Unmengen Staub und Gas, die zwischen ihm und unserem Planeten liegen, den Blick auf seine Umgebung verstellen.*

Du aber bist direkt vor Ort, und wenn du dich fragst, was diese Eruptionen energiereichen Lichts auslöst, die von Teleskopen auf der Erde entdeckt werden können, dann bist du kurz davor, es herauszufinden.

Doch fühlst du dich in unmittelbarer Nähe eines unsichtbaren

* Für geschichtlich Interessierte: *Sagittarius A** wurde im Februar 1974 von den amerikanischen Astronomen Bruce Balick und Robert Brown mit einem Radiowellenteleskop entdeckt.

Monsters verständlicherweise nicht sehr sicher. Wer weiß, wozu ein schwarzes Loch imstande wäre? Könnte es deinen Geist verschlingen, so dass er steckenbliebe in diesem Loch und, statt sich irgendwann mit deinem Körper wieder zu vereinigen, alles hinter sich lassen müsste, was dir vertraut ist? Oder könnte es einen verborgenen Durchgang geben, eine Tür, die zu einem anderen Universum, einer anderen Wirklichkeit führt, von der du manchmal Leute hast sprechen hören?

Da du nicht weißt, was du tun sollst, starrst du auf die Milliarden winziger Staubpartikel und kleiner Gesteinsbrocken, aus denen der helle Ring besteht.

Keine Minute später fliegt ein riesiger kartoffelförmiger Asteroid mit einer Geschwindigkeit von 1 Million Kilometern pro Stunde an dir vorbei. Du beobachtest ihn genau. Während er durch den Ring rast, siehst du, wie er infolge der vom Staub des Rings verursachten Reibung verglüht und sich in winzige Flocken geschmolzener Materie auflöst. Wie ein kleiner Felsbrocken, der in die Erdatmosphäre eintritt, zu einer Sternschnuppe werden und gänzlich verglühen kann, ohne die Oberfläche unseres Planeten zu erreichen, so verschwindet der Asteroid, lange bevor er erreichen konnte, was im Zentrum des Donuts liegt.

Als du dich wieder umdrehst, um zu sehen, was noch so geschieht, kommt wieder etwas auf dich zu, aber diesmal mehr als nur ein großes Stück Gestein: ein Stern! Ein großer, leuchtender, grimmiger Stern. Wie S2. Aber noch größer. Wird auch er verglühen, oder kommt er durch? Du siehst ihn in sein Schicksal eintauchen und den Donut schräg durchfliegen. Er befindet sich jetzt innerhalb des Rings und außer Sichtweite, erscheint aber sofort, nach einer halben Umrundung, wieder, wenn auch seltsam entstellt. Er fliegt weiter hinab und scheint dabei unter gewaltigen Spannungen zu stehen. Planetengroße Stücke werden aus ihm herausgerissen. Du versuchst, ruhig zu bleiben, und betest, dass nichts zu befürchten ist, aber du kannst nicht verhindern, dass deine Gedanken plötzlich matt und schwer werden und sich vorbereiten auf eine Katastrophe von unvorstellbaren Ausmaßen ...

Bisher warst du ätherisch, reiner Geist, und hast die Kräfte, die das Universum beherrschen, nicht wahrgenommen. Das ist jetzt anders. Beladen mit schweren Gedanken, bist du der Schwerkraft unterworfen und befindest dich im Machtbereich ihres Gebieters. Du wirst gegen deinen Willen nach innen gezogen, wirst eingesogen, als glittest du einen unsichtbaren glatten Abhang hinab. Du durchquerst den Ring aus erhitzter Materie und gelangst in die Nähe des stürzenden, jetzt in Stücke gerissenen Sterns, der zu einer gleißenden Schwinge aus weißglühendem Plasma zerplatzt. Die schraubt sich nach unten und reißt dich mit sich hinab, auf das noch immer unsichtbare schwarze Loch zu.

Natürlich sind all deine Ängste berechtigt. Hunderte von Milliarden und Abermilliarden Tonnen Plasma stürzen mit dir in die Tiefe. Dein Herz schlägt wie wild, während du dich schneller und immer schneller hinabschraubst, bis – bis eine ungeheure Kraft dich wieder hinauswirbelt. Was übrig geblieben ist von dem Stern, seine Materie, wird in reine Energie, in zwei Strahlen von außerordentlicher Kraft umgewandelt.

Verwirrt fragst du dich, ob du eben in eine Parallelwelt gerutscht warst, die sich in dem schwarzen Loch befindet, erkennst aber rasch, dass das nicht der Fall war und dass du dich entfernst von dem Monster, ausgestoßen oder verstoßen vom Gebieter der Masse. In weiter Entfernung ist jetzt wieder der gigantische Ring der Milchstraße sichtbar.

Wie jene Murmel, die zu schnell an der Wand einer Salatschüssel entlanglief, bist du – wie auch der Staub des zerfallenen Sterns – vor dem Erreichen dessen, woraus das schwarze Loch besteht, hinausgeschleudert worden. Du bist mit zu großer Geschwindigkeit hineingestürzt und daher hinauskatapultiert worden, bevor du das unsichtbare Monster erreichen konntest, und genau so ist es dem Stern geschehen, dessen Materie dabei in zwei Strahlen der energiereichsten Formen von Licht, die die Menschheit kennt, nämlich Röntgenstrahlen und Gammastrahlen, umgewandelt wurde. Der eine schießt hinauf, der andere hinab, wie die Lichter zweier Leuchtfeuer, die nicht nur die gähnende Leere

zwischen den Sternen der Milchstraße, sondern noch größere leere Räume weiter draußen erreichen sollen.

Die Geschwindigkeit, mit der die Strahlen dahinschießen, ist atemberaubend, und da du von einem der beiden fortgetragen wirst, ist es deine auch. Du fliegst an Millionen von Sternen vorbei, wobei ein gigantischer Finger, an dem die Milchstraße als Ring steckt, auf dein Ziel zu deuten scheint.

Vielleicht war die Zeit, in ein schwarzes Loch zu stürzen, für dich noch nicht reif. Vielleicht wollte die Natur dir mehr von den Schönheiten unseres Universums zeigen, bevor dir schließlich erlaubt sein sollte, im tödlichen Griff eines schwarzen Loches zu reisen ...

Was immer der Grund dafür sein mag, dass du einstweilen verschont worden bist, dein Herz kommt wieder zur Ruhe, und deine Gedanken werden wieder leicht, befreien deinen Geist aus dem festen Griff der Schwerkraft. Du bist weit weg und hast deine Bewegungsfreiheit wiedererlangt. Doch du reist noch einen Moment mit dem Strahl, um zu sehen, wohin er dich führt. Du brauchst nicht lange, um zu erkennen, dass etwas Merkwürdiges geschieht: Die Menge der Sterne um dich herum scheint immer mehr abzunehmen. Bald schon hast du überhaupt keine mehr vor dir. Zwar leuchten noch einige Lichtquellen in weiter Entfernung, aber sie sind viel weiter weg als alles, was du bisher gesehen hast. Seltsamerweise ist auch der Ring der Milchstraße verschwunden. Da du wissen möchtest, wohin, siehst du hinab und hältst angesichts des außerordentlichsten Anblicks, der dir je zuteilgeworden ist, den Atem an.

Kein Mensch und kein Objekt von Menschenhand hat je dergleichen schauen dürfen. Von der Erde aus hat man einige Bilder von der Umgebung des schwarzen Loches erhascht, dem du gerade entronnen bist, aber nicht hiervon. Solltest du von deiner gegenwärtigen Position aus die Erde anrufen, würde eine Antwort – wenn sie überhaupt käme – mehr als 90 000 Jahre brauchen, um dich zu erreichen.

Du befindest dich oberhalb der Milchstraße, deiner Galaxie.

Wenn du, von deinem Sandstrand zum Nachthimmel aufblickend, gedacht hast, sie müsse sich durchs gesamte Universum erstrecken, dann siehst du jetzt, dass das nicht der Fall ist. Weit davon entfernt, alles zu umfassen, ist die Milchstraße nur eine Insel von Sternen, verloren in der dunklen Unermesslichkeit einer ganz anderen Größenordnung.

7

Die Milchstraße

Die ersten Menschen, die im All gewesen sind, sind demütig geworden angesichts der Schönheit unseres Planeten und angesichts seiner Winzigkeit in einem Ozean der Schwärze. Aber das war nur der Anfang. Das, worauf du jetzt starrst, macht *noch* demütiger.

Du wusstest, dass die Milchstraße eine Galaxie ist, aber erst jetzt wird dir klar, was das bedeutet. Von oben (man kann auch sagen: von unten; das ist egal, denn im Weltall gibt es weder oben noch unten) sieht die weißliche Wolke am irdischen Nachthimmel überhaupt nicht wie ein Wolke aus, sondern wie eine dicke Scheibe aus Gas, Staub und Sternen. Direkt unter dir, verteilt über Entfernungen, die zu durchmessen das Licht Zehntausende von Jahren benötigen würde, drehen sich, durch die Schwerkraft aufeinander bezogen, 300 Milliarden Sterne um ein helles Zentrum.

Wenn das Sonnensystem mit seinen Planeten, Asteroiden und Kometen unsere kosmische Familie ist, wenn Proxima Centauri unser Nachbarstern ist, dann kann die Milchstraße als der kosmische Ballungsraum, als die kosmische Großstadt gelten, in der wir leben – als eine blühende Großstadt mit 300 Milliarden Sternen, von denen die Sonne nur einer ist.

Was die Wissenschaftler als *Galaxien* bezeichnen, das sind solche miteinander in einem wirbelnden Tanz begriffene und von Leere umgebene Ansammlungen von Sternen, Staub und Gas. Und wie wir unseren Stern «die Sonne» nennen, so ist «die Milchstraße» der Name, den wir dieser speziellen Galaxie, unserer Galaxie, gegeben haben.

Vier riesige helle Spiralarme wirbeln um das Zentrum der Milchstraße herum. Dieses Zentrum, in dem sie sich treffen, ist eine noch hellere Aufwölbung, ein sogenannter *Bulge* aus Gas, Staub und Sternen, der dem Blick bis zu dem schwarzen Loch, dem du gerade entkommen bist, alles entzieht, was hinter ihm liegt. Nur der Strahl in Energie umgewandelter Materie, den das Loch ausstößt, der Strahl, mit dem du gereist bist, ist von dort aus, wo du dich befindest, sichtbar.

Wenn du dich schwertust zu begreifen, was es bedeutet, dass 300 Milliarden Sterne unabhängig voneinander dahinschweben, mach dir nichts daraus: Niemand begreift das. Zahlen werden nichts ausrichten, wenn du versuchst, deinen Freunden nach deiner Rückkehr auf die tropische Insel zu beschreiben, was von dort oben zu sehen ist. Sag ihnen stattdessen, sie sollen einen würfelförmigen Karton mit einem Meter Kantenlänge nehmen und ihn bis oben mit grobkörnigem Sand füllen. Dann bitte sie, 299 weitere Kartons dieser Größe mit dem gleichen Sand zu füllen. Unsere Galaxie enthält so viele Sterne, wie all diese Kartons zusammen Sandkörner enthalten. Bitte deine Freunde weiter, nach London zu fliegen und diese 300 Kartons in eine flache runde Form zu entleeren, die den ganzen Trafalgar Square bedeckt, den Inhalt der Form zu vier Spiralarmen anzuordnen und sich dann auf die Schultern Admiral Nelsons zu setzen. Sein Denkmal steht auf einer Säule inmitten des Platzes, die mit 51 Metern die gleiche Höhe hat wie Nelsons Flaggschiff «HMS Victory» vom Kiel bis zur Mastspitze. Was sie von dort oben sehen werden, wird sich ausnehmen wie die 300 Milliarden Sterne der Milchstraße von deiner gegenwärtigen Position aus. Nun sag deinen Freunden noch, dass du eines dieser Sandkörner mit einem gelben Punkt markiert hast, bevor sie Nelsons Schultern bestiegen, und bitte sie zu sagen, *welches* Sandkorn das ist. Sie werden dann begreifen, wie schwer du dich dort oben, oberhalb der wirklichen Milchstraße, mit dem Unterfangen getan hat, die Sonne zu entdecken – von der Erde, die nur ein Hundertstel so groß ist, ganz zu schweigen. Einen Stern zu identifizieren ist schwer genug, aber wie schwer haben es Planetenjäger!

Wenn dein Geist versucht, die Sonne von oberhalb der Milchstraße aus zu identifizieren, hat er es allerdings leichter als deine Freunde: Du kannst dir alle je von Menschen, sei es von der Erde, sei es vom Weltraum aus, gemachte Bilder vom Nachthimmel vorstellen, um sie mit dem zu vergleichen, was du jetzt siehst. Die Wissenschaftler haben im Laufe der Jahre die Sterne der Milchstraße kartographiert und daher, obwohl sie unsere Galaxie nie verlassen haben, eine ziemlich genaue Vorstellung davon, wo die Sonne und die Erde liegen.

Zunächst konzentrierst du dich auf den Bereich um das galaktische Zentrum, den Bulge und das schwarze Loch, wo alles hell und schön und eindrucksvoll ist. Wäre es nicht natürlich, wenn eine so bedeutende Spezies wie die unsrige an diesem ganz besonderen Ort oder in seiner Nähe entstanden wäre? Wäre es angesichts unserer Bedeutung nicht logisch und also gerade recht, wenn die Sonne und die Erde Teil dieser galaktischen Herrlichkeit wären?

Sie sind es aber nicht. Unser Sonnensystem liegt ungefähr zwei Drittel des Weges vom schwarzen Loch im Zentrum zur Peripherie der Milchstraße entfernt, irgendwo auf einem der vier hellen Arme. Wirklich kein privilegierter Ort.* Und um noch Salz in die Wunde zu reiben: Wie gewaltig sie auch sein mag im Vergleich zu uns, im kosmischen Maßstab ist auch unsere Galaxie, wie du gleich sehen wirst, ziemlich unbedeutend.

Während du dich umdrehst nach dem, was es jenseits der Milchstraße zu sehen gibt, erblickst du einige leuchtende Kleckse, die die entlegenen Bereiche des Universums erhellen. Du fragst dich: Sind das einzelne Sterne? Aber dafür sind sie zu verschwommen und zu weit weg. Sind das etwa – kann es sein, dass das ebenfalls Galaxien sind? Und wenn ja: Kann man sie von der Erde aus mit bloßem Auge sehen?

Die Antwort auf die letzte Frage ist Nein.

Immer wenn du auf der Erde zum Nachthimmel aufgeblickt

* Aber vielleicht macht unsere Existenz ihn zu einem solchen.

hast, gehörten alle Sterne, von denen du ein Funkeln erhaschtest, zur Milchstraßengalaxie, zu der spiralförmigen Scheibe, die du gerade gesehen hast. Alle: auch die, die ziemlich weit entfernt schienen von dem weißlichen Streifen, der den Nachthimmel zierte. Die Milchstraße ist keine unendliche Kugel, sondern eine endliche Scheibe, und die Erde liegt ihrer Peripherie näher als ihrem Zentrum. Daher gibt es an verschiedenen Stellen des Himmels sehr verschieden viele Sterne, wie ja auch der Nachthimmel, von verschiedenen Orten der Erde aus betrachtet, sich verschieden ausnimmt: An jedem Ort hat man einen anderen Teil der Milchstraße vor Augen.

Um es an einem Beispiel deutlich zu machen: Die Erdachse ist so geneigt, dass die südliche Hemisphäre immer zum galaktischen Zentrum hin blickt, die nördliche aber von ihm weg, in die Richtung, in der es viel weniger Sterne gibt. Entsprechend sind die Nächte im Norden, verglichen mit denen im Süden, eher fad.

Was du von deinem Strand auf der tropischen Insel aus als die Milchstraße identifiziert hast, das war nur eine dünne Scheibe deiner Galaxie, ein Band mit Hunderten Millionen Sternen, die zu weit entfernt waren, um einzeln erkennbar zu sein, deren Lichter zusammen jedoch das diffuse Band bildeten. Und während du jetzt in das weit entfernte Unbekannte spähist, bereit, deinen Geist dorthin stürmen zu lassen, wo du das größte Geheimnis vermutest, wird dir plötzlich klar, dass all diese Lichtkleckse genauso verschwommen sind wie die Milchstraße.

Auch sie müssen Galaxien sein!

Bei diesem Gedanken erscheint plötzlich schräg unter dir der Umriss einer weiteren Galaxie. Der Anblick ist atemberaubend. *Andromeda*,^{*} unsere galaktische große Schwester, taucht unter der Milchstraße auf und wird schnell größer. Sie ist so groß, dass man kaum glauben kann, dass die Menschheit so lange gebraucht hat, um herauszufinden, was es damit auf sich hat.

* Nicht zu verwechseln mit dem gleichnamigen Sternbild. (Anm. d. Übers.)

Von der Erde aus gesehen bedeckt Andromeda einen Bereich des Nachthimmels, der ungefähr sechsmal so groß ist wie ein Vollmond, sie ist aber so weit weg, dass trotz ihrer 1000 Milliarden Sterne nur die Aufwölbung in ihrer Mitte mit bloßem Auge erkennbar ist. Und diese Aufwölbung ist winzig. Der erste Mensch, dem sie auffiel und dessen Aufzeichnungen uns überliefert sind, war der bedeutende persische Astronom Abd al-Rahman al-Sufi. Gegen Ende des ersten Jahrtausends, also vor mehr als tausend Jahren, als viele Menschen auf der ganzen Welt ihr kurzes Leben damit verbrachten, einander zu bekämpfen, raffinierte Folterinstrumente zu erfinden und sich vor dem Ende der Welt zu fürchten, beobachtete er die Sterne. Al-Sufi war einer der größten Astronomen des Goldenen Zeitalters von Bagdad, aber er beschrieb die Aufwölbung im Zentrum von Andromeda als schwache Lichtwolke, weil er nicht wissen konnte, dass es der Mittelpunkt einer anderen Galaxie war. Er wusste nicht einmal, was das ist, eine Galaxie. Diese Erkenntnis wurde der Menschheit erst ungefähr tausend Jahre später zuteil. Vor den 1920er Jahren und den Beobachtungen des estnischen Astronomen Ernst Öpik und seines amerikanischen Kollegen Edwin Hubble wusste niemand von jenen isolierten Ansammlungen von Sternen, die wir als Galaxien bezeichnen. Die beiden bemerkten als Erste, dass weite Räume diese anderen Sterngruppen von der Milchstraße trennten und sie damit zu eigenständigen Gebilden machten.*

Andromeda ist der nächstliegende kosmische Beweis dafür, dass die Milchstraße nicht das ganze Universum ist.

Während du sie betrachtest und begreifst, dass die Milchstraße und diese majestätische Spirale von einer Billion Sternen umeinanderwirbeln, wird dir auch klar, dass alle Galaxien im Universum ein kosmisches Ballett tanzen, dessen Tänzer einsame

* Immerhin, über die Möglichkeit hatte man schon vor Öpik und Hubble nachgedacht. Der Erste scheint der englische Astronom und Mathematiker Thomas Wright im 18. Jahrhundert gewesen zu sein. Ein paar Jahre später nahm Immanuel Kant seine Idee auf.

leuchtende Inseln sind, Ansammlungen von Milliarden von Sternen, die sich in der lichtlosen Leere des Weltalls bewegen.

Dein Geist fängt an, den kosmischen Horizont – die Milchstraße, Andromeda und andere Galaxien nah und fern – zu umspannen, und wird dabei von einem erhabenen Gefühl erfasst.

In einem Augenblick reinen Glücks siehst du plötzlich alles, was das Universum ausmacht: zig, Hunderte, Tausende, Millionen, Hunderte Millionen von Galaxien in Gruppen verschiedener Größe. Bizarre drahtige Strukturen, die sich kreuz und quer durch das ganze sichtbare All erstrecken.

Wer hätte das gedacht?

Vor ein paar Minuten noch – oder ist es schon Stunden her? – lagst du im Urlaub an einem Strand, und jetzt ist das ganze sichtbare Universum in deinem Geist enthalten. Aus dieser Perspektive sind die zahllosen Punkte im Universum nicht mehr einsame Sterne, sondern Gruppen von Tausenden von Galaxien, die ihrerseits aus Hunderten oder Tausenden von Millionen Sternen bestehen. Und du weißt, dass die Milchstraße nur eine dieser Galaxien ist.

Während du dieses unglaubliche Bild in dich aufnimmst, während du all diese Gegenden ins Auge fasst, kommt dir ein unabweislicher Gedanke: dass es dir genauso schwer fiele, deine heimische Galaxie von all den anderen zu unterscheiden, wie in der Milchstraße die Sonne zu identifizieren oder auf dem Trafalgar Square ein bestimmtes Sandkorn. Aber du lässt deinem Geist freie Bahn, lässt ihn mit der Geschwindigkeit der Gedanken davonschießen und mit ansehen, wie Galaxien sich drehen, tanzen und wirbeln, wie sie zerrissen werden und aufeinanderprallen, wie winzige Galaxien verschwinden, weil sie schlicht und einfach von einem gigantischen Nachbar verschluckt werden.

Einen Augenblick!

Sollte dich das nicht beunruhigen?

Im Nu bist du zurück in der Nähe der Milchstraße. Andromeda ist über dir. Sie ist riesig. Kann es sein, dass auch sie eines

Tages mit einer anderen Galaxie – nämlich der Milchstraße! – verschmelzen wird? Gewiss, die beiden Galaxien drehen sich umeinander, aber noch etwas geschieht. Du siehst genauer hin und machst plötzlich einen Satz, als dir klar wird, dass Andromeda und die Milchstraße aufeinander zustürzen, mit der erstaunlichen Geschwindigkeit von 100 Kilometern pro Sekunde, so dass nur noch vier Milliarden Jahre vergehen, bis sie zusammenstoßen.

Eine Milliarde Jahre bevor die Sonne explodiert, werden sie anfangen, miteinander zu verschmelzen.

Du musst schlucken, und du fragst dich, wie die Menschheit *davor* bewahrt werden kann. Doch zu deiner Erleichterung fällt dir ein, dass Galaxien so groß sind und dass so viel Raum zwischen ihren Sternen liegt, dass Kollisionen kaum je zum Zusammenstoß von Sternen führen. Sicher, die Gefahr besteht, aber einstweilen musst du damit leben.

Es ist völlig normal, wenn du in diesem Stadium durch eine kopernikanische Depression hindurchgehst. Vielleicht würdest du sogar lieber einige tausend Jahre früher gelebt haben, als man glaubte, die Erde sei eine Scheibe und – da wir Menschen uns gern für etwas Besonderes halten – sie liege im Zentrum des Universums. Wie beruhigend muss es gewesen sein zu glauben, dass sich alles um uns dreht, dass Engel die heiligen Räder eines kosmischen Uhrwerks und damit die Sonne und die Sterne bewegen! Warum um Himmels willen musste der polnische Mathematiker und Astronom Nikolaus Kopernikus im 15. Jahrhundert all dem ein Ende bereiten und verkünden, die Sonne drehe sich *nicht* um die Erde? Warum sah der Mathematiker und Astronom Galileo Galilei im 17. Jahrhundert, dass der Jupiter Monde hat, die *nicht* die Erde oder wenigstens die Sonne umkreisen, sondern ihn, den Jupiter, selbst? Warum sahen Öpik und Hubble, dass es da draußen weitere Galaxien gibt? Warum? Damit fing doch alles an!

Nun, abgesehen davon, dass sie recht hatten, wäre die Menschheit ohne Leute wie Kopernikus und Galilei dem Untergang geweiht, und – was wohl noch schlimmer wäre – ich hätte nie dieses

Buch geschrieben! Du hättest nie in Gedanken unsere kosmische Nachbarschaft bereist, geschweige denn, was du bald tun wirst, Bereiche, die noch weiter entfernt liegen. Und unter uns gesagt: Wäre es nicht eine Schande, wenn die ganze Schönheit dort draußen ungesehen oder unerforscht bliebe oder wenn sie gar – noch schlimmer – nur von anderen intelligenten Spezies aus deren ferner kosmischer Perspektive entdeckt würde?*

Andererseits, da wir gerade dabei sind und dir die schiere Größe des Universums langsam klar wird: Gibt es überhaupt andere Spezies? Gibt es in den Milliarden und Abermilliarden von Sterngruppen, mit denen ein ansonsten dunkles Universum gespickt ist, gibt es da rote Zwerge wie Proxima Centauri, die von Planeten umkreist werden? Gibt es weitere Sonnensysteme mit bewohnten Planeten? Gibt es mehr als eine Erde?

Für viele ist es schwer zu glauben, dass wir in diesem gigantischen Universum allein sind: «Wenn es darin nur uns gibt, dann ist das eine furchtbare Verschwendung von Raum», schrieb der amerikanische Astronom und Kosmologe Carl Sagan 1985, aber gut dreißig Jahre später ist man auf der Erde immer noch nicht schlauer. Dass es außerirdisches Leben gibt, ist immer noch eine erregende Möglichkeit (und, zugegeben, eine unheimliche), aber einstweilen ist es nur das: eine Möglichkeit. Da unsere Teleskope immer mehr Planeten im All entdecken, kann sich das sehr bald ändern, und ich jedenfalls hoffe, dass es sich ändert.

Selbst in den finstersten Jahren der chaotischen Geschichte der Menschheit gab es Leute, die den religiösen Autoritäten heroisch die Stirn boten, indem sie behaupteten, dass es außer der Erde wahrscheinlich weitere Welten gebe. Der italienische Mönch Giordano Bruno etwa wurde im Jahre 1600 in Rom bei lebendigem Leib verbrannt, weil er es gewagt hatte, einen solchen ketzerischen

* Von «anderen intelligenten Spezies»? Wie der englische Physiker und Kosmologe Stephen Hawking oft im Scherz sagt (im Scherz?), haben wir noch immer keinen Beweis für Intelligenz *hier auf Erden* gefunden ...

Gedanken auszusprechen: Er hatte behauptet, es gebe «zahllose Sonnen und zahllose Erden, die sich alle um ihre Sonne drehen». Für diesen Glauben starb er einen qualvollen Tod.

Wir wissen es heute besser als jede Inquisition, auch wenn es meiner Meinung nach viel zu viele Menschen gibt (selbst in den am weitesten entwickelten Ländern), die lieber die Augen und Ohren verschließen, als einige Tatsachen zur Kenntnis zu nehmen, die die Naturwissenschaft herausgefunden hat. Sie hat Planeten entdeckt, die vielleicht der Erde ähneln, und hat Leute wie Giordano Bruno im Überfluss bestätigt, wenn auch erst in jüngster Zeit.

Zwar weiß die Menschheit seit Ewigkeiten von der Existenz von Planeten wie dem Jupiter oder der Venus. Aber das erste Mal in der Geschichte, dass jemand einen Planeten auf der Bahn um einen Stern gesehen hat, der nicht die Sonne war, liegt erst gut zwanzig Jahre zurück: 1995 entdeckten zwei Schweizer Astronomen, Michel Mayor und Didier Queloz, einen gigantischen Planeten, der um einen ungefähr sechzig Lichtjahre von uns entfernten Stern kreist. Sie taufte ihn auf den Namen *51 Pegasi b*.

Der von Mayor und Queloz gesichtete Planet ist allerdings nicht bewohnbar, und sei es auch nur deshalb, weil er seinem Stern viel zu nah ist. Aber immerhin, es ist ein Planet. Nach dieser Entdeckung stieß man Monat für Monat auf weitere, so dass man schließlich eigens dafür entwickelte Satelliten ins All schoss. Das NASA-Teleskop Kepler, das seine Reise 2009 antrat, ist eines davon. Inzwischen sind mehr als sechstausend Kandidaten entdeckt worden. Bei zweitausend von ihnen hat sich bestätigt, dass es sich um Planeten handelt, die weit entfernte Sterne umkreisen. Man hat sogar Doppelsternsysteme identifiziert, bei denen die Planeten *zwei* Sonnen umkreisen, und mit Sicherheit werden viele weitere Überraschungen in Zukunft für Sondermeldungen sorgen. Um diese fernen Planeten von denen zu unterscheiden, die zur Familie unserer Sonne gehören, werden sie als *Exoplaneten* bezeichnet. Von den zweitausend ausgewiesenen Exoplaneten sind übrigens etwa ein Dutzend möglicherweise ähnlich beschaffen wie die Erde; einer von ihnen, dessen Existenz 2014 bestätigt wurde – er wird

als *Kepler 186f* bezeichnet –, weist sogar mit Sicherheit erstaunliche Ähnlichkeiten mit unserer Erde auf ...

Es kann natürlich sein, dass all diese anderen Planeten öde und leer sind. Aber wer weiß, vielleicht gibt es auf ihnen Leben! Ich bin bereit, darauf zu wetten, dass man etwa innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte direkte oder indirekte Hinweise auf außerirdisches Leben findet. Vielleicht auf einem dieser Kandidaten, vielleicht auf noch zu entdeckenden Planeten. Wir haben die Technologie, um Anzeichen für biologische Aktivität innerhalb der Atmosphären solcher entlegenen Welten aufzuspüren. Wäre es nicht wunderbar, eine solche Entdeckung noch zu erleben?

Alle bisher entdeckten Exoplaneten gehören zur Milchstraße, zu unserer Galaxie, und sind der Erde damit relativ nahe. Planeten, die es in anderen Galaxien geben mag, sind für unsere Teleskope viel zu weit entfernt, selbst wenn Hunderte von Milliarden davon existieren sollten.

Andromeda etwa könnte geradezu wimmeln von Leben. Sie ist die größte von all den Galaxien um die Milchstraße herum, und sie liegt sehr nahe – nach galaktischen Maßstäben. Nach menschlichen nicht. Von der Erde aus einen Ort auf irgendeinem ihrer 1000 Milliarden Sterne anzurufen wäre wenig sinnvoll: Zwischen dem Anruf und dem Klingeln würden ungefähr zweieinhalb Millionen Jahre vergehen. Um Kontakt aufzunehmen, sollten wir uns lieber eine intelligente Frage einfallen lassen. Und eine dafür geeignete Sprache.

8

*Die erste Wand
am Ende des Universums*

Wie groß ist das sichtbare Universum?

Was würde geschehen, wenn du immer weiterrasen würdest, immer geradeaus, so weit du sehen kannst?

Gibt es eine Grenze?

Da dir früher oder später, wenn du wieder mit deinem Körper zusammen bist, unvermeidlich jemand diese Frage stellen wird, solltest du versuchen, eine Antwort darauf zu finden.

Voller Zuversicht entscheidest du dich für eine Richtung und schießt los.

Schon bald, nachdem du begonnen hast, dich von deiner heimischen Galaxie zu entfernen, merkst du, dass die Milchstraße Teil einer kleinen Gruppe von 54 Galaxien ist, die durch die Schwerkraft miteinander verbunden sind. Die Wissenschaftler bezeichnen diese Gruppe als *lokale Gruppe*. Sie hat einen Durchmesser von ungefähr 8,4 Millionen Lichtjahren. Die Milchstraße ist das zweitgrößte Mitglied der Gruppe, nach Andromeda, der Königin.

Jenseits der lokalen Gruppe liegen andere Gruppen von Galaxien. Einige davon sind mehrere hundert Galaxien stark. Diese Ansammlungen, die viel größer sind als unsere, werden als *Galaxienhaufen* bezeichnet. Auf deiner Reise fliegst du auch an gigantischen Haufen, sogenannten *Superhaufen*, vorbei, mit Zehntausenden leuchtender Spiralen und ovaler Scheiben, die aus zahllosen Sternen bestehen, durch die Schwerkraft miteinander verbunden sind und sich durch Raum und Zeit ziehen.

Diese Superhaufen bilden irrsinnig große Strukturen.

Während du alles dir Bekannte hinter dir lässt und das Universum unter einem anderen Blickwinkel betrachtest, wird dir klar, dass du deine relative Größe im großen System der Dinge einmal mehr wirst neu bestimmen müssen. Ganz geistiges Auge, drehst du dich um die virtuelle eigene Achse und blickst nach allen Seiten, um auf der Suche nach einem Ende dieses gewaltigen Raumes aus allen Richtungen so viel Licht wie möglich einzufangen. Es gibt weder oben noch unten, weder rechts noch links. Du bist jetzt mehr als 1000 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt, und Milliarden und Abermilliarden leuchtender Galaxien sind in einer unfassbar großen Dunkelheit verteilt. Diese Galaxien und Gruppen von Galaxien, diese Haufen und Superhaufen nah und fern um dich herum sind durch Entfernungen voneinander getrennt, die noch größer sind als die, die du bisher durchmessen hast.

Kaum zu glauben, dass die Milchstraße nur einer von all diesen Punkten ist; aber du weißt, dass das, was du siehst, nicht Phantasie ist, sondern dem Kenntnisstand der Menschheit entspricht.

Angesichts dessen scheint die Idee, die Erde retten zu wollen, absolut hirnrissig. Warum sich Gedanken oder gar Sorgen machen? Alles hinter dir zu lassen und für immer in dieser superschönen gewaltigen Wirklichkeit dahinzuschweben – es ist nur allzu verständlich, wenn das zu einem verlockenden Traum wird. Warum nicht dein Leben hier oben verbringen? Ist das, was die Wissenschaftler in ihren Laboren tun, Tagträumerei?

Während du nachsinnst über die Idee, dein gewohntes Leben nicht wiederaufzunehmen, ergreift ein seltsames Gefühl Besitz von dir und fängt an, deinem Geist neue Energie zu injizieren: Was du jetzt siehst und was du bereist, ist das, was die Menschheit vom Universum zu wissen glaubt. Du bereist das Universum, wie menschlicher Geist es sich vorstellt, so dass diese ganze Unermesslichkeit das möglicherweise begrenzte Fassungsvermögen eines menschlichen Gehirns nicht überschreitet. So wunderbar das klingen mag, es ist ein beruhigender Gedanke, der dich wieder

Mensch sein lässt, wieder zum Angehörigen einer Spezies macht, die in der Lage ist, ihre Gedanken fliegen zu lassen, so weit das Auge reicht, und noch weit, weit darüber hinaus ... Beim Blick auf das Panorama fragst du dich: Könnte es nicht noch weiter sein? Könnte dein Geist nicht noch mehr umspannen? Du willst es wissen – egal, welches Schicksal der Erde bevorsteht. Mit virtuellem Herzklopfen – die wiedergewonnene Neugier! – stürmst du, zum Äußersten entschlossen, voran und fliegst an Milliarden weiterer Galaxien vorbei. Wie es bei Menschen immer der Fall ist, stellt sich rasch Vertrautheit ein, und nicht einmal die Unermesslichkeit des Universums kann dich schrecken. Was vor einer Sekunde Verzweiflung gewesen sein mag, hat sich in Begeisterung verwandelt.

Hier und da siehst du Galaxien miteinander kollidieren, du siehst Sterne zu Supersternen, sogenannten *Supernovae*, explodieren und dabei Milliarden ihrer Geschwister einen Augenblick lang grell überstrahlen. Im Universum dreht sich alles um alles – dir wird eine Show von staunenswerten Größenordnungen und übermenschlichen Schönheiten geboten.

Du jagst weiter, ohne zurückzublicken, und bist jetzt zehn Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt.

Dein Geist fliegt weiter voran, immer weiter.

Du bist elf Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt.

Zwölf.

Dreizehn Milliarden Lichtjahre, und es geht weiter.

Du bist freudig erregt und hältst Ausschau nach dem Ende unseres Universums. Vergeblich: kein Ende in Sicht. Aber dein Geist verliert etwas an Geschwindigkeit, denn die Galaxien um dich herum werden spärlicher. Dafür werden die Sterne, aus denen sie bestehen, größer. Sogar beträchtlich viel größer. Einige der Sterne, die du jetzt siehst, sind mehrere hundertmal so groß wie die mittelgroßen Sterne der heutigen Milchstraße. Du kommst weiter voran, wenn auch langsamer. Die Zahl der leuchtenden Lichtquellen vor dir ist jetzt drastisch gesunken. Und als du ungefähr 13,5 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt bist, sind sie so ziemlich alle verschwunden.

Du hältst an. Könnte es sein, dass du erreicht hast, wonach du suchtest? Dass das Universum wirklich ein Ende hat?

Dir fällt ein, dass ihr, du und deine Freunde, diese Frage ein paar Mal vor eurer Reise auf die tropische Insel aufgeworfen habt, dass der Gedanke für dich aber keine reale Bedeutung gewonnen hat. Jetzt fragst du dich, ob du etwa geglaubt hast, du könntest von der Erde aus ewig weiter ins Universum rasen und immer noch mehr Galaxien erblicken.

Da du durch das Universum reist, wie es aus der Perspektive der Erde aussieht, sei dir gesagt, dass unsere Teleskope uns etwas anderes gezeigt haben. Was wir sehen können, dank Licht, und immer werden sehen können, das ist in der Tat begrenzt. Dein Geist hat die Grenze noch nicht erreicht, wird sie aber bald erreichen. Im Augenblick befindet er sich in einer Gegend, die in Raum und Zeit so weit entfernt ist, dass nicht einmal die ersten Sterne geboren sind. Aus diesem Grund wird der Zeit-Raum, den du durchquerst, als das *finstere kosmische Mittelalter* bezeichnet. Alles Licht, das wir von dort empfangen, ist, wenn es uns erreicht, im Universum 13,5 Milliarden Jahre unterwegs gewesen. Damals, in einem Zeitraum von ungefähr 800 Millionen Jahren, fingen die ersten Sterne an, kleine Wasserstoff- und Heliumatome in die Materie umzuschmelzen, aus der wir, die Erde, die anderen Planeten und die heutigen Sterne bestehen. Es waren die Sterne der ersten Generation, während unsere Sonne der zweiten oder dritten angehört.

Während du in der Erwartung ewiger Finsternis weiterfliegst, kommst du plötzlich in einen Bereich, in dem sich Licht nicht mehr ausbreiten kann.

Vor dir scheint sich eine Wand in Raum und Zeit zu befinden. Jenseits davon ist das Universum nicht mehr dunkel, sondern lichtundurchlässig. Du machst unmittelbar vor ihr Halt und streckst eine virtuelle Hand aus, um vorsichtig zu ertasten, was jenseits liegt.

Dein nicht vorhandenes Fleisch kriegt eine Gänsehaut, als du

mit einer gewaltigen Energie in Berührung kommst. Diese Energie ist von so hoher Dichte, dass du plötzlich verstehst, warum sich Licht hier nicht ausbreiten kann: Es wäre, als wollte man eine Fackel innerhalb einer Wand anzünden. Es *gibt* Licht hinter der Fläche vor dir, aber es kann seinen Ort nicht verlassen.

Der Ort, den du erreicht hast, ist kein Produkt deiner Phantasie, sondern es ist der entlegenste Ort, den unsere Teleskope sehen können. Es ist der Ort in Raum und Zeit, an dem unser Universum lichtdurchlässig wurde. Kein Licht von jenseits dieses Ortes, kein Licht von vor diesem Zeitpunkt wird die Erde je direkt erreichen. Kein Licht von «davor» wird je von einem unserer Teleskope eingefangen werden. Die Physiker haben Jahrzehnte gebraucht, um zu verstehen, was das bedeutet. Schließlich warteten sie, wie du im nächsten Kapitel sehen wirst, mit einer ziemlich schlaunen Idee auf, die sich auf all das einen Reim machen sollte. Sie wird als *Urknalltheorie* bezeichnet.

Doch einstweilen musst du dich damit abfinden, dass du das Ende des sichtbaren Universums erreicht hast. Es ist ein Ort, der mithilfe unserer Teleskope entdeckt und lokalisiert wurde: die Fläche einer Wand, durch die kein Licht dringen kann. Sie wird als *Fläche der letzten Streuung* bezeichnet.

Aber genau in dem Moment, da dir klar zu werden beginnt, wie bizarr und überraschend all das klingt, verschwindet der ferne Ort des Universums um dich herum, du liegst wieder am Strand auf deiner tropischen Insel und blickst zum Nachthimmel auf. Die Sterne, die Bäume und das Meer sind noch da. Deine Freunde ebenfalls, aber sie sehen dich komisch an.

Du setzt dich auf und erzählst ihnen von der ungewöhnlichen Reise, die du gerade gemacht hast. «Die sterbende Sonne – wir müssen eine Lösung finden! – Dass das Universum so groß ist – einfach verrückt! Und die Wand erst! Die Wand, die den Übergang von der Lichtundurchlässigkeit zum finsternen kosmischen Mittelalter markiert!»

Die Blicke deiner Freunde nehmen einen besorgten Ausdruck an. Während die Jungs dir aufhelfen und dich zu deinem Ferien-

haus begleiten, hörst du, wie sie sich fragen, ob die gegrillten Shrimps vielleicht nicht frisch waren oder ob der Alkohol zu hochprozentig war.

«Was soll das, Leute», versuchst du sie zu überzeugen. «Ich kann mir das doch nicht alles eingebildet haben!»

Ein paar Stunden später beginnen im Osten einige Strahlen der aufgehenden Sonne (vor allem die, die der Farbe Blau entsprechen) den in der Erdatmosphäre enthaltenen Staub zu reflektieren, sich überall auszubreiten und dadurch das Weltall dem Blick zu entziehen. Als du, umzwitschert von frühmorgendlichem Vogelgesang, im Bett die Augen aufschlägst, siehst du direkt neben dir den Umriss einer Freundin von dir. Sie hat offenbar die ganze Nacht bei dir gewacht. Hast du alles nur geträumt?, fragst du dich. Oder ist dein Geist wirklich durch die Weiten des Alls gereist?

Als deine Freundin dich fragt, ob es dir besser geht, und dir ein Glas Wasser reicht, streicht eine frische Brise Morgenwind sanft über deine Stirn, und du lächelst. Jedenfalls ist es gut, denkst du, wieder auf der Erde zu sein.

Dein Lächeln wird sogar noch breiter, denn tief in deinem Inneren weißt du, dass du etwas ganz Besonderes erlebt und nichts davon geträumt hast; dass alles wahr war; dass du *sehen* durftest, ohne jahrelang studieren zu müssen. Du weißt nicht, warum, aber du hast das Universum gesehen, soweit es heute bekannt ist.

Erleichtert über dein Lächeln steht deine Freundin auf, um dir etwas zum Frühstück zu holen. Gleich als sie weg ist, versuchst du, dir in Erinnerung zu rufen, was du erlebt hast, um es nicht zu vergessen. Es war aber nur der Anfang eines merkwürdigen Abenteuers, sagt dir dein Gefühl.

Als du auf deinem Bett aus geflochtenen Palmenblättern sitzt und beobachtest, wie die Wellen den Strand überspülen, erinnerst du dich an die Erde, wie sie sich vom Weltall aus darstellt: als ein kleiner blauer Punkt, der die Sonne umkreist. Du erinnerst dich an die Milliarden anderen Sterne, die um das schwarze Loch, das sich nahe dem Zentrum der Milchstraße verbirgt, herumwirbeln.

Du erinnerst dich an Andromeda und die mehr als vier Dutzend Galaxien, aus denen die lokale Gruppe besteht, und schließlich an die anderen Gruppen, an die Galaxienhaufen und Superhaufen, die sich bis in die Unendlichkeit erstrecken.

Nein.

Nicht bis in die Unendlichkeit.

Bis zum finsternen kosmischen Mittelalter und zu der Wand. Bis zur Fläche der letzten Streuung, jenseits derer Licht sich nicht frei ausbreiten kann.

Und du weißt: Egal, welche Richtung dein Geist auf seiner Reise eingeschlagen hätte, er wäre schließlich auf diese Wand gestoßen.

Das klingt so, als ob die Erde, könnte man sie aus einer unvorstellbar großen Entfernung betrachten, in der Mitte einer Sphäre läge, die an ebenjener Wand ihre Grenze fände. Und was innerhalb dieser Sphäre läge, wäre das ganze sichtbare Universum, zu dem die Menschheit jemals Zugang haben könnte.

Verblüfft starrst du vor dich hin, als dieser Gedanke von deinem Geist Besitz ergreift.

Wenn die Erde in weiter Ferne von der Fläche der letzten Streuung umgeben ist, dann muss sie im Zentrum einer von dieser Wand begrenzten Sphäre liegen.

Klingt logisch.

Aber das bedeutet doch, dass die Erde *wirklich* im Zentrum des sichtbaren Universums liegt.

Geschockt und ungläubig schüttelst du den Kopf und murmelst: Das ergibt doch alles keinen Sinn.

Es ergibt überhaupt keinen Sinn.

Aber du weißt, was du gesehen hast, und wünschst plötzlich nichts sehnlicher, als dorthin zurückzukehren und noch einmal einen Blick auf all das zu werfen.

Das wirst du sehr bald schon, wenn auch aus einer anderen Perspektive.

Damit du vorbereitet bist, sage ich dir, dass die Fläche, die du gesehen hast, die Fläche der letzten Streuung, nicht das Ende der

Geschichte ist. Es gibt nämlich jenseits davon noch mindestens zwei weitere Flächen von Wänden. Die erste ist der sogenannte Urknall. Die zweite verbirgt, was den Urknall verursacht hat.

Bevor du dieses Buch zu Ende gelesen hast, wirst du zur zweiten Wand gereist sein und darüber hinaus.

Aber immer mit der Ruhe!

Schließlich bist du im Urlaub, und deine Freundin ist zurück mit dem Frühstück.

Während du dich stärkst, werde ich dir helfen, ein bisschen Ordnung in das zu bringen, was du erlebt hast.

Teil zwei

Das Weltall verstehen

1

Eherne Gesetze

Bist du jemals von einer Klippe gesprungen? Oder aus dem obersten Stockwerk eines Wolkenkratzers?

Wahrscheinlich nicht.

Warum nicht?

Weil du tot wärst.

Auch ich wüsste, dass ich es nicht überleben würde.

Wir alle wissen das.

Aber woher?

Die Antwort ist ebenso einfach wie geheimnisvoll und tiefsinnig. Weil wir sie kennen, ist es dem Menschengeschlecht gelungen, die Erde und einen kleinen Teil des Himmels zu erobern. Weil wir sie kennen, konnte ich dich im ersten Teil dieses Buches ins All schicken und einen Blick auf die Sterne werfen lassen. Sie hat mit der Natur und ihren Gesetzen zu tun.

Egal, wie gebildet wir sind, ob wir die naturwissenschaftlichen Fächer in der Schule mochten oder nicht, ob wir Naturwissenschaftler sind oder nicht: Bei genauer Prüfung wird jeder in

sich auf die Intuition stoßen, dass es in der Natur Gesetze gibt und dass diese Gesetze nicht durchbrochen werden können. Dass jeder, der von zu weit oben hinabspringt, sich beim Aufprall die Knochen brechen und sterben wird, ist nur eines von ihnen.

In den Jahrtausenden, die uns von unseren Jäger-und-Sammler-Vorfahren trennen, haben viele Männer und Frauen nach diesen Gesetzen geforscht. Mit Erfolg: Es ist ihnen gelungen, eine ganze Menge davon aufzudecken. Das Gebiet, auf dem diese Suche mit dem Ziel, die Geheimnisse der Natur zu enthüllen, heute fortgesetzt wird, ist die sogenannte *Theoretische Physik*. Die Tore ihres (nie konsolidierten und nie saturierten) Reiches werden sich jetzt für dich auftun.

Gegründet hat dieses Reich der englische Astronom, Physiker, Mathematiker und Naturphilosoph Isaac Newton durch die Erfindung einer neuen Sprache – der Sprache der mathematischen Analysis –, die es ihm ermöglichte, mehr oder weniger alles, was im Bereich der menschlichen Sinne liegt, in Formeln zu erfassen. Warum ein Mensch, der am Rand einer Klippe einen Schritt nach vorn macht, fällt, statt in der Luft zu stehen, diese Frage beantwortet seither eine Formel. Wenn wir wissen, wie der Fall beginnt, dann sagt uns Newtons Formel, wo er enden wird und wie schnell. Aus derselben Formel geht hervor, dass es keinen Unterschied macht, ob ein Mensch, ein Schwamm oder ein Felsbrocken von einer Klippe fällt, jedenfalls dann nicht, wenn wir die Reibung des Luftwiderstands unberücksichtigt lassen. Damit nicht genug, lässt sich mit Newtons Formel errechnen, dass der Mond die Erde in etwas weniger als 28 Tagen umkreist und dass die Erde für einen Umlauf um die Sonne ein Jahr benötigt. Bezeichnet wird diese Formel als *Newton'sches Gravitationsgesetz*. Weil er es entdeckt hat, gilt Isaac Newton noch heute als eines der größten Genies aller Zeiten.

Man braucht kein Naturwissenschaftler zu sein, um zu ahnen, dass es ein gutes Gefühl gewesen sein muss, dieses Gesetz gefunden zu haben, und dass Newton mit sich nicht unzufrieden war. Aber komisch, statt jeden Abend zur Feier seiner Entdeckung eine Party zu schmeißen (wie ich es getan hätte), wollte er sich lieber

vergewissern, dass er sich nicht geirrt hatte. Also fing er an zu untersuchen, ob seine Gravitationsformel wirklich verdiente, allgemeingültig genannt zu werden. Der Geltungsbereich des Gesetzes ist von höchster Bedeutung, weil die Erde, wie dir im ersten Teil des Buches klar geworden ist, verglichen mit dem Universum nicht der Rede wert ist, um es vorsichtig auszudrücken. Und was für ein winziges Staubkorn gilt, muss ja nicht auch für eine Galaxie gelten.

Doch zu Newtons Zeit war auf der Erde kein Experiment möglich, das seine Formel hätte als falsch erweisen oder auch nur in Frage stellen können. Ein Pfeil etwa landete immer dort, wo er landen sollte, und hätte jemand einen Berg werfen können, wäre es nicht anders gewesen.

Aber was ist mit Dingen, die größer sind als ein Berg? Was ist mit Himmelskörpern und anderen Schauplätzen im All, wo die Gravitationswirkungen stärker sind als auf unserem Planeten? Um das herauszufinden, müssen wir die Erde in Gedanken verlassen. Und da du schon deren Nahbereich bereist hast, weißt du, dass der naheliegendste Ort, um mit der Untersuchung zu beginnen, zugleich der hellste ist: die Sonne.

2

*Eine ärgerliche Kugel
aus Felsgestein*

Die Oberflächengravitation unseres Sterns – die Kraft, mit der er dich auf seine Oberfläche hinabzieht – ist zwar ungefähr 28-mal so stark wie die unseres Planeten, aber die Sonne ist nicht das Objekt mit der größten Schwerkraft, dem du bei deiner Entdeckung des Weltalls im ersten Teil des Buches begegnet bist. Schwarze Löcher etwa haben noch viel mehr Kraft. Gleichviel, die Sonne deklassiert die Erde, und sie ist viel leichter zu erforschen, als es schwarze Löcher sind. Also, bewährt sich Newtons Formel bei unserem Stern genauso wie bei unserem Planeten? Und wie könnten wir das herausfinden?

Wie du gesehen hast, gibt es acht Planeten im Sonnensystem: Von außen nach innen sind das Neptun, Uranus, Saturn, Jupiter, Mars, Erde und Venus. Sehen wir doch einfach genauer hin, wie sie durchs Weltall schießen, und untersuchen wir, ob die Sonne sie so anzieht, wie sie es Newtons Gesetz zufolge tun müsste, oder ob sie es nicht tut. Dank vieler Astronomen, die ihr Familienleben vernachlässigten, um des Nachts die Sterne zu beobachten, verfügte die Menschheit schon zu Newtons Zeit über genaue Beschreibungen einiger dieser Umläufe.* Und die Antwort ist fast zu schön, um wahr zu sein: Wenn man berücksichtigt, dass die Planeten auch einander anziehen, dann bewegen sich alle genannten** genau

* Uranus und Neptun wurden erst später entdeckt – übrigens dank Newtons Formel.

** Inklusive Uranus und Neptun.

nach Newtons Formel. Da fällt einem doch ein Stein vom Herzen! Die Formel ist wirklich allgemeingültig.

Aber halt, einen Moment! Da du gute Augen hast, wirst du zweifellos bemerkt haben, dass *ein* Planet in der Aufzählung oben fehlt. Ich habe nur sieben der acht Planeten genannt, die zum Sonnensystem gehören, habe also einen vergessen: den, der der Sonne am nächsten ist und der ihre Anziehungskraft daher stärker spürt als alle anderen. Ich spreche vom Merkur.

Und beim Merkur gibt es ein klitzekleines Problem. Eine leichte Abweichung. Nichts Großes. Etwas so Kleines, dass es sicher nicht von Bedeutung ist. Es ist aber leider von Bedeutung. In den Jahrhunderten nach Newton hat der kleine Unterschied alles verändert, was die Menschheit über Raum und Zeit zu wissen glaubte.

Der Merkur ist nicht sonderlich eindrucksvoll. Er ist der kleinste Planet des Sonnensystems, nur geringfügig größer als unser Mond. Er ist felsig, und seine Oberfläche ist von Kratern entstellt, die kaum in absehbarer Zeit verschwinden werden. Der Merkur hat keine Atmosphäre und daher keine Witterung, die Kratzer und unregelmäßige Konturen verwischen könnte. Kurz, der Merkur ist nicht die Art Planet, die man sich als Urlaubsziel aussuchen würde. Für eine volle Drehung um die eigene Achse benötigt er 59 Erdentage, was bedeutet, dass eine Nacht auf dem Merkur einen Erdenmonat dauert und dass darauf ein genauso langer Tag folgt. Tag und Nacht sind höllisch auf dem Merkur. Am Tag können die Temperaturen auf 430°C steigen, um dann in der Nacht vielleicht auf -180°C zu fallen. Newton kannte diese Details nicht, und wahrscheinlich konnte er sich nicht einmal vorstellen, wie ungemütlich es auf dem Merkur ist. Wir heute wissen es. Wir wissen auch, dass die Bahnen, die die Planeten um die Sonne ziehen, laut Newtons Formel wie leicht gequetschte Kreise aussehen sollten. Newtons Berechnung stimmte (und stimmt noch immer), wie gesagt, für alle Planeten vollkommen mit den Beobachtungen überein. Hinterließen sie eine Spur, so würden sie alle einen gequetschten Kreis, eine *Ellipse*, zeichnen und einen Weg gehen, den

sie Jahr für Jahr exakt wieder beschreiten würden, genau wie Newton behauptet hatte. Alle bis auf den Merkur. Seine elliptische Bahn um die Sonne scheint einen leichten Dreh zu haben, wie ein kopfüber purzelndes Ei, so dass Merkur den gleichen Weg nicht zweimal zurücklegt. Das liegt, wie schon Newton vermutete, *größtenteils* an den anderen Planeten, die den kleinen Merkur jedes Mal, wenn er ihnen nahe kommt, zu sich hinziehen. Aber eben nur *zum größten Teil*, nicht gänzlich. Die Abweichung ist winzig, aber sie ist da. Stell dir den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sekunden auf einer altmodischen Armbanduhr (mit einem großen und einem kleinen Zeiger) vor, und teile ihn durch 500. Eines dieser 500stel ist der Winkel, in dem der gequetschte Kreis des Merkur im Laufe eines Jahrhunderts von Newtons Berechnung abweicht.

Man möchte kaum glauben, dass die Wissenschaftler eine so winzige Abweichung feststellen konnten, ohne dass dafür ein paar hunderttausend Jahre vergehen mussten, aber so war es. Dabei wissen wir heute, dass der kleine Unterschied mit Newtons Formel nicht vorausberechenbar, geschweige denn erklärbar war, weil er etwas mit einem Aspekt der Schwerkraft zu tun hat, der weit jenseits dessen liegt, was Newton sich hätte vorstellen können.

Newtons Gleichung quantifiziert die wechselseitige Anziehung von Objekten infolge der Schwerkraft, sie sagt aber nichts darüber aus, was Schwerkraft *ist*. Der arme Isaac hat (wie viele andere Wissenschaftler) ungeheuer viel Zeit dem Versuch gewidmet, das Wesen der Schwerkraft zu verstehen. Ist das, was Objekte einander anziehen lässt, eine Eigenschaft der Materie? Sind alle Objekte im Universum auf diese Weise miteinander verbunden? Wenn ja, wodurch genau? Es gibt kein sichtbares oder unsichtbares elastisches Band, das unsere Füße mit dem Erdboden oder die Erde mit dem Mond verbände. Ist die Verbindung magnetischer Art? Unmöglich. Magneten haften nicht an unseren Füßen, weil unser Körper elektrisch neutral ist. Die Schwerkraft kann also keine magnetische Kraft sein. Was ist sie dann? Und warum er-

laubt sich ausgerechnet der Merkur, der kleinste Planet, andere Wege zu gehen als die anderen?

Newton starb 1727. Es war ihm nicht gelungen, eine Erklärung für den Eigensinn des Merkur zu finden. 188 Jahre vergingen, bis plötzlich jemand mit einer ziemlich skurrilen neuen Idee hervortrat.

3

1915

Das Angenehme an physikalischer Forschung ist, dass wir, wenn Beobachtungen nicht mit der Theorie übereinstimmen, zunächst sagen, die Beobachtung müsse falsch sein. Wir wiederholen dann das Experiment, wiederholen es, wenn nötig, auch mehrmals, und wenn es dann hartnäckig immer wieder zu einem Ergebnis führt, das wir für falsch halten, dann schauen wir, ob nicht irgendein Unbekannter dieses Ergebnis mit einer alternativen Theorie vorhergesagt hat. Wenn das nicht der Fall ist, müssen wir zugeben, dass wir keine Ahnung haben, warum die Natur sich so verhält. Das Sicherste ist dann, alles auszuprobieren, wobei «alles» die verrücktesten Ideen einschließt. Und die auszuprobieren macht wirklich Spaß! Wie wir später sehen werden, sind die Ideen, die heute geprüft werden, um herauszufinden, wie unser Universum entstanden ist, mit den besten Vorstellungen der Science-Fiction vergleichbar (und wie der britische Hofastronom Sir Martin Rees, Baron Rees of Ludlow, einmal gesagt hat, ist gute Science-Fiction besser als schlechte Wissenschaft). Natürlich sind die meisten dieser Ideen grundfalsch, aber das macht nichts. Es kommt darauf an, Untersuchungen anzustellen und zu sehen, was geschieht. Bisher war dieser Ansatz ziemlich erfolgreich.

Newtons Formel nun war nahezu zwei Jahrhunderte lang ohne Probleme verwendet worden, und für das Leben der meisten Menschen war der Fall Merkur ohnehin nicht groß von Bedeutung gewesen. Aber dann trat ein Wissenschaftler mit einer völlig irren Idee, was es mit der Schwerkraft auf sich haben könnte, an die interessierte Öffentlichkeit. Stell dir die Sonne im Weltall vor und

den sie umkreisenden Merkur, und vergiss alles andere. Nimm an, die beiden seien allein im Universum. Ein kleiner felsiger Planet auf der Umlaufbahn um eine riesige leuchtende Sonne. Drumherum Leere.

Jetzt denk dir den Merkur weg. Und denk dir auch die Sonne weg. Es ist nichts mehr da.

Wie, wenn die Schwerkraft etwas mit diesem «Nichts» zu tun hätte, das heißt mit dem wie auch immer beschaffenen Stoff, aus dem das Universum gemacht ist?

Denken wir uns, um herauszufinden, was passieren könnte, wenn das der Fall wäre, die Sonne zurück, und überlegen wir. Wenn wir für einen Augenblick annehmen, der Stoff, aus dem unser Universum besteht, könne verformt werden, dann bestünde eine der einfachsten Wirkungen, die die Sonne auf ihn ausüben könnte, darin, ihn zu krümmen. Nämlich wie? Versuch dir eine schwere Kugel vorzustellen, die auf eine dicke Gummimatte gelegt wird: Das Gummi gibt nach, bekommt unter der Kugel und um sie herum eine Delle. Wenn du es einseifst, gleitet alles in dem eingedellten Bereich nach unten auf die Kugel zu. Für eine Ameise etwa könnte sich das wie ein Effekt der Schwerkraft anfühlen.

Wenn alle Sterne und Planeten auf seifigem Gummi lägen, hätten wir das hoffentlich inzwischen gemerkt. Der Stoff, aus dem das Universum besteht, kann also keine flache, feste Gummimatte sein. Aber vielleicht ist er eine unsichtbare dreidimensionale oder gar vierdimensionale. Und woraus immer dieser voluminöse Stoff bestehen mag, ist es nicht vorstellbar, dass er sich um die in ihm enthaltene Materie herum krümmt? Natürlich nicht nur in einer Ebene, sondern in allen, so als würde eine Kugel im Meer das Wasser um sich herum krümmen.

Wenn wir diese Idee einen Moment lang ernst nehmen, dann wäre die Schwerkraft nur das Resultat jener Krümmung: Man fiel, wenn man fällt, nicht infolge einer Kraftwirkung, die einen hinabzieht, sondern weil man ein unsichtbares Gefälle im Stoff des Universums hinabgleitet (bis man auf festen Boden trifft, der weiteres Fallen verhindert).

Eine verrückte Idee, gewiss, aber warum sollte man es nicht mit ihr versuchen? Wie würden sich die Dinge in einem solchen Universum bewegen?

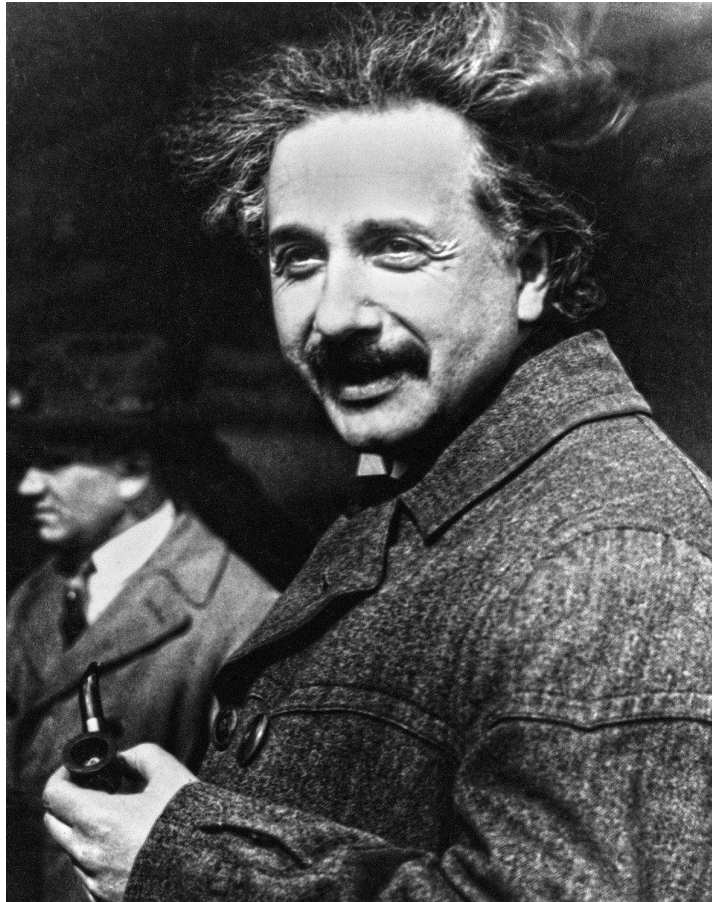
Für alle Planeten bis auf den Merkur führen geometrische Berechnungen auf der Grundlage dieser «Krümmungs»-Theorie zu exakt denselben Ergebnissen wie die Berechnungen Newtons. Was genauso beruhigend wie erregend ist. Aber was ist nun mit dem Merkur?

Der Mann, der mit dieser irren Idee der «Krümmung» hervortrat, kam zu dem Ergebnis, dass in einem Universum, wie er es beschrieb, sich die gequetschte Kreisbahn des Merkur um die Sonne in einer Weise herumdrehen müsse, wie es mit Newtons Berechnung nicht vereinbar sei. Um wie viel sich die Bahn verschiebe? Im Laufe eines Jahrhunderts um einen Winkel, der ungefähr einem 500stel einer Sekunde auf einer Armbanduhr entspräche. Erstaunlich! Mehr als hundertfünfzig Jahre lang nach Newtons Tod war niemand in der Lage gewesen, das zu erkennen. Er aber hatte es geschafft. Er hatte recht. Die Schwerkraft war plötzlich kein Rätsel mehr. Die Schwerkraft war eine Krümmung des Stoffs, aus dem das Universum besteht, verursacht durch die in ihm enthaltenen Objekte. Newton hatte das nicht gesehen. Niemand hatte es gesehen, und wir sind heute immer noch dabei, alle Konsequenzen dieser Vision zu erfassen.

Stephen Hawking hat mehrfach gesagt: «Ich würde die Freude über eine Entdeckung nicht mit Sex vergleichen, denn sie währt länger.» Das Foto des Mannes, der das Problem mit dem Merkur löste, bestätigt Hawkings Diktum schon auf den ersten Blick.

Sein Name ist Albert Einstein, und die Theorie, die ich gerade eingeführt habe, die Theorie, die die Materie und die lokale Geometrie des Universums zu einer Theorie der Schwerkraft verbindet, ist die sogenannte *allgemeine Relativitätstheorie*.

Veröffentlicht wurde diese Theorie 1915, also vor gut hundert Jahren, und die Wissenschaftler brauchten einige Zeit, um zu erkennen, dass Einstein mit ihr ganz nebenbei unsere Vorstellung



von so ziemlich allem revolutioniert hatte. Entgegen dem, was man vor ihm geglaubt hatte, hatte er im Grunde erkannt, dass unser Universum nicht nur eine Form hat, sondern dass es dynamisch ist, das heißt sich mit der Zeit verändert. Da die Sterne und die Planeten und alle anderen Phänomene, die es gibt, sich im All bewegen, bewegt sich mit ihnen auch die Krümmung, die sie im Stoff des Universums hervorrufen. Und was lokal für die Umgebung dieser Objekte gilt, gilt vielleicht auch für das Universum als Ganzes. Mit anderen Worten: Einstein hatte entdeckt (auch wenn er selbst nichts davon wissen wollte), dass unser Universum sich im Laufe der Zeit verändert; dass es eine Zukunft hat. Und wenn etwas eine Zukunft hat, dann hat es auch eine Vergangenheit, eine Geschichte, ja einen Anfang gehabt.

Vor Einstein glaubte man, das Universum sei immer so gewesen, wie man es sich vorstellte. Heute wissen wir, dass das nicht

richtig war. Es war nicht immer so, wie wir es kennen. Und das wissen wir jetzt seit gut hundert Jahren. Insofern ist das Universum, in dem wir leben, was unser *Wissen* von ihm betrifft, erst gut hundert Jahre alt.

4

*Schichten von
Vergangenheiten*

Deine Reise durch das bekannte Universum in Teil eins könnte man mit einem Spaziergang auf deiner tropischen Insel vergleichen: mit einem Waldspaziergang, auf dem du aus dem Staunen über die Schönheit der Bäume nicht herausgekommen wärest. Nach diesem Spaziergang wärest du zu deinem Ferienhaus zurückgekehrt, hättest deine Freunde auf einen Drink eingeladen und ihnen erzählt, wie wunderbar es war und wie gut es tat, die frische Meeresluft zu atmen. Deine Freunde aber hätten fragen können, warum die Bäume wachsen, warum ihre Blätter grün sind und warum all die Pflanzen so sind, wie sie sind ...

Wenn das Universum unser Wald ist, was gibt es daran zu erkennen? Wonach hätten deine Freunde fragen sollen in Bezug auf das große Ganze? Wonach hätten sie fragen sollen, statt nach der Frische der Shrimps, die du gegessen hattest? Kann man mehr tun, als das Universum zu betrachten? Gibt es daran etwas zu verstehen? Und ist es überhaupt möglich, persönlich dorthin zu reisen, wie du es getan hast?

Die letzte Frage ist einfach zu beantworten: Physisch, sei es mit, sei es ohne Raumschiff, ist es nicht möglich. Soweit wir (bisher) wissen, kann man persönlich durch Raum und Zeit nur im Geiste reisen. Nichts, was irgendeine Form von Information trägt, kann schneller als mit Lichtgeschwindigkeit reisen. Dein Geist ist in Teil eins durch ein 3-D-Standbild vom Universum, soweit wir dieses kennen, geflogen, durch eine Rekonstruktion, die durch Montage aller Bilder aller Teleskope, die je auf der Erde gebaut

wurden, zustande gekommen ist. Wenn du protestierst und behauptest, du habest die Dinge in Bewegung gesehen, es sei kein Standbild gewesen – geschenkt. Sagen wir also, es war «fast» ein Standbild. Aber was können wir damit anfangen? Gibt es ein Gesetz, das die Entwicklung von allem und jedem steuert?

An dem Morgen nach deiner Reise im Geiste, als deine Freundin, die die ganze Nacht an deiner Seite gewacht hatte, dein Ferienhaus verließ, um dir etwas zum Frühstück zu holen, da wusstest du doch intuitiv, dass sie immer noch da war, irgendwo draußen, auch wenn du sie nicht mehr sehen konntest, nicht wahr? Du hast nicht angefangen, dir vorzustellen, sie habe sich in Luft aufgelöst und eine Zeitreise in die Vergangenheit angetreten, um einen Dinosaurier zu erlegen, ein Bein des Reptils zuzubereiten und es dir zum Essen zu bringen. Das wäre zwar cool, aber so wie es unklug wäre, von einer Klippe oder von ganz oben aus dem Fenster eines Wolkenkratzers zu springen, so wäre es auch unklug anzunehmen, dass eine solche Zeitreise möglich ist. Einen letzten Grund anzugeben, *warum* sie niemals möglich sein soll, ist sehr schwierig, aber wenn wir versuchen wollen, die Geheimnisse unseres Universums zu enthüllen, dann müssen wir einige Dinge voraussetzen. Als Erstes setzen wir voraus – oder «postulieren» wir –, dass wir irgendwie fähig sind, die Natur zu verstehen, und zwar über das hinaus, was uns unsere Sinne verraten können. Dafür setzen wir außerdem voraus, dass die Natur unter gleichen Bedingungen immer denselben Gesetzen folgt, gefolgt ist und folgen wird, und zwar überall im Raum, ob hier auf der Erde oder draußen im Weltall, ob wir es sehen können oder nicht, ob wir die Gesetze kennen oder nicht. Wir bezeichnen das als unser **erstes kosmologisches Prinzip** – fett gedruckt, weil es wichtig ist. Setzen wir es nicht voraus, so wären uns die Hände gebunden. Wir wären nicht in der Lage zu erraten, was an Orten geschieht, die wir nicht im Blick haben, etwa weil sie zu weit von uns entfernt sind, oder was in Zeiten geschah, die zu weit zurück liegen. Setzten wir das Prinzip nicht voraus, so hätte deine Freundin sehr wohl eine Zeitreise machen können, um einen leckeren Dinosaurier zu jagen.

Es gibt viele Anzeichen dafür, dass dieses erste Postulat richtig ist, zumindest in dem Universum, das wir durch unsere Teleskope sehen.

Nehmen wir zum Beispiel die Sonne.

Wir wissen, was für Elementarteilchen, welche Lichtfrequenzen und welche Energieformen sie abstrahlt. Wir erkennen sie, wenn sie die Oberfläche unseres Sterns verlassen und wenig später auf der Erde ankommen. Aber was ist mit anderen, weit entfernten Sternen? Leuchten sie dank derselben Form von Kernfusionsreaktion, oder sind sie ganz anders beschaffen? Gleichen sie brennenden, von Feuer umgebenen Holzscheiten, oder bestehen sie wie die Sonne aus Plasma? Wir haben nicht viele Instrumente zur Verfügung, um solche Fragen zu untersuchen. Im Grunde haben wir nur eines: das Licht, das wir von diesen Sternen empfangen. In ihm sind viele ihrer Geheimnisse verschlüsselt, und eines, das wir entschlüsseln konnten, ist, dass die Gesetze der Physik überall dieselben sind.

Da Licht also der Schlüssel für unser Verständnis des Kosmos ist, sollten wir uns anschauen, was dieses Phänomen eigentlich ist.

Licht, auch bekannt als elektromagnetische Strahlung, kann als Elementarteilchen (als *Photon*) und als Welle gedacht werden. Wie du später sehen wirst, lässt sich mit beiden Vorstellungen arbeiten, ja wir *müssen* mit beiden arbeiten, wenn wir unsere Welt verstehen wollen. Aber einstweilen genügt es, wenn wir Licht als Welle betrachten.

Wer Wellen im Meer beschreiben will, muss zweierlei angeben: ihre Höhe und den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Scheitelpunkten. Dass die Höhe von Bedeutung ist, liegt auf der Hand: Es empfiehlt sich, einer sich nähernden 50 Meter hohen Welle anders zu begegnen als einer Welle, die nur 2 Millimeter hoch ist. Dasselbe gilt für Licht, wobei die Höhe einer Lichtwelle das bestimmt, was wir ihre *Intensität* nennen.

Es ist auch ein Unterschied, ob zwischen den Scheitelpunkten zweier Meereswellen mehrere hundert Meter liegen oder ob sie dicht aufeinanderfolgen. Der Abstand wird als *Wellenlänge* be-

zeichnet. Je größer sie ist, umso weniger Wellen folgen in einem gegebenen Zeitraum aufeinander; die betreffende Zahl ist die sogenannte *Frequenz* der Welle. Die Energie von Wellen ist umso größer, je kleiner die Wellenlänge (oder je höher die Frequenz) ist. Du kannst das intuitiv erfassen, wenn du dir vorstellst, du stündest hinter einem Damm: Während eine 5 Meter hohe Welle, die den Damm einmal im Monat träfe, kein Grund zur Sorge wäre, wäre dies anders bei einer ebenso hohen Welle, die den Damm zehnmal in der Sekunde träfe. Für Licht gilt dasselbe: je kleiner die Wellenlänge (oder je höher die Frequenz), umso größer die Energie, die die Wellen übertragen.

Entgegen dem, was unsere Vorfahren glaubten, sind unsere Augen *Lichtempfänger*, keine *Lichtquellen*. Sie sind aber nicht für alle existierenden Formen von Licht geschaffen, weder was die Intensität noch was die Wellenlänge betrifft. Das Starren in eine zu *starke* Lichtquelle – etwa die Sonne oder einen Laserstrahl – zerstört die Netzhaut und führt innerhalb von Sekunden zum Erblinden. *Sehen* können wir nur Lichtwellen, die weder zu stark noch zu schwach sind.

Subtiler ist das Sehvermögen unserer Augen bezüglich der Wellenlänge eingeschränkt. Die lichterfassenden Organe unserer Vorfahren (und hier schließe ich diejenigen ein, die noch keine Menschen waren) haben sich in den Jahrmillionen der Evolution dergestalt an die Umwelt angepasst, dass ihre «Besitzer» sehen und erkennen konnten, was sie zum Überleben am meisten benötigten. Um eine Frucht pflücken oder einen Säbelzähntiger bemerken zu können, mussten unsere Vorfahren die Farben Grün, Rot und Gelb gesehen haben können, nicht die Röntgenstrahlen stürzender Sterne in der Nähe weit entfernter schwarzer Löcher. Kurz, unsere Augen haben sich an jene Formen von Licht angepasst, die für uns im täglichen Leben am wichtigsten sind. Hätten wir einst nur Röntgenstrahlen wahrnehmen können, wären wir schon vor langer Zeit ausgestorben.

Was unsere Augen sehen können, ist also ziemlich begrenzt, verglichen mit der Gesamtheit der natürlichen Erscheinungsfor-

men von Licht. Das Universum aber schert sich darum nicht – es ist voll von ihnen allen. Licht, das wir sehen können, bezeichnen wir als *sichtbares Licht*. Einzelnen Gruppen davon haben wir weitere Namen gegeben: *Farben*. Die Unterscheidung zweier Farben mag manchmal willkürlich erscheinen, doch ist jede Farbe sehr präzise mathematisch definiert, nämlich auf der Basis eines Abstands: der Wellenlänge der betreffenden Erscheinungsform von Licht.

Es stimmt, dass sich die Augen einiger Tierarten anders entwickelt haben, weshalb diese zum Teil Formen von Licht sehen können, die für uns Menschen unsichtbar sind. Schlangen etwa können Infrarotlicht sehen und einige Vogelarten UV-Licht.* Aber keine Tierart hat Apparate konstruiert, um alle Formen von Licht zu erfassen. Keine außer uns. Und inzwischen sind wir ziemlich gut darin.

Die uns umgebenden Formen von Licht, von der energieärmsten zur energiereichsten, sind folgende: Radiowellen, Mikrowellen, Infrarotlicht, sichtbares Licht, UV-Licht, Röntgenstrahlen und Gammastrahlen. Radiowellen sind sehr lang, von 1 Meter bis zu 100 000 Kilometern und mehr, während die Wellen von Gammastrahlen kürzer sind als ein Milliardstel Millimeter. Aber alle genannten Phänomene sind Formen von Licht. Und alle Teleskope, die wir je gebaut haben, sind konstruiert worden, um sie einzufangen, woher sie auch kommen, wie stark sie auch sind, um so, durch all die verschiedenen Fenster, die unsere Technologien uns zur Verfügung stellen, ins Universum zu schauen. Jeder Blick in den Himmel, ob mit bloßem Auge oder durch ein Teleskop, fängt also Lichtwellen ein, die dann verarbeitet werden, Lichtwellen, die irgendwo von einer weit entfernten Quelle im Weltall ausgesandt wurden. Du bist in Teil eins, wie gesagt, durch eine 3-D-Rekonstruktion von Bildern gereist, die solche Teleskope eingefangen

* Jüngere Forschungen scheinen allerdings zu zeigen, dass unsere Augen sehr wohl ein wenig Infrarotlicht wahrnehmen. Unklar ist jedoch, was unser Gehirn damit macht.

haben. Was du dabei vielleicht nicht bemerkt hast: Deine Reise durch den Raum war auch eine Reise durch die Zeit, durch die Vergangenheit, da Licht sich nicht in Nullkommanichts ausbreitet.

Das führt zu einer interessanten, aber auch ein bisschen melancholischen Frage, die deine Freunde auf der tropischen Insel dir hätten stellen können: Wir haben doch alle mal, auf einer Party oder sonst wo, von der Behauptung gehört, die Sterne, die wir am Himmel sehen, seien alle längst tot – stimmt das?

Ja, stimmt das? Sind alle Sterne tot?

Nein. Nicht alle.

Sehen wir uns die Sache genauer an.

Nehmen wir an, eine Großtante von dir, eine entfernte Verwandte, die zu Weihnachten immer hässliche Kristallvasen schenkt, lebt in Sydney, Australien. Da sie ein bisschen altmodisch ist, lässt sie nie von sich hören, außer an ihrem Geburtstag im Januar, wenn sie allen Verwandten eine Fotopostkarte schickt, die sie selbst zeigt, wie sie neben dem Briefkasten steht, in den sie die Postkarte einwerfen wird. Auf die Rückseite schreibt sie immer:

Heute ist mein Geburtstag.

Ich würde mich freuen, Deine Stimme zu hören.

Liebe Grüße, Tantchen.

PS: Ich hoffe, die Vase, die ich Dir geschickt habe, gefällt Dir.

Das Problem ist, dass du dir zwar jedes Jahr vornimmst, sie an ihrem Geburtstag anzurufen, es aber nicht tust, und dass es, wenn du die Postkarte erhältst, für sie nicht mehr «heute» ist. Es ist vielleicht nicht mal mehr Januar. Wie immer hoffst du dann, dass sie nicht neben dem Telefon gesessen und gewartet hat ...

Worauf es mir ankommt bei dieser Geschichte, ist, dass das Foto, das sie von sich gemacht hatte, eine Minute bevor sie die Karte einwarf, das Foto, das du in der Hand hältst, wahrscheinlich nicht mehr ihrem *jetzigen* Aussehen entspricht. Vielleicht ist sie sogar tot, wie einige der Sterne, die du am Himmel siehst. Keine

Angst, es geht ihr gut, du wirst noch mehrere Vasen bekommen und deine Tante noch ein paar Mal zu überreden versuchen, E-Mails statt Postkarten zu schicken. E-Mails? Die würden dich zwar eher erreichen, aber ebenfalls nicht *sofort*. Nichts erreicht uns sofort. Per E-Mail würdest du das Foto deiner Großtante einen Sekundenbruchteil nachdem sie es abgeschickt hat, erhalten. Das heißt aber: Auch so könnte sie zu dem Zeitpunkt, da du das Foto erhältst, schon tot sein.

Ich will dich nicht paranoid machen: Du brauchst nicht zu befürchten, dass alle Leute, die du kennst, tot sind. Ich will dir nur zeigen, wie es im Weltall zugeht, wo der schnellstmögliche Lieferservice *Licht* als Transportmittel verwendet. Und Licht ist zwar schnell, aber weit davon entfernt, im selben Augenblick am Ziel zu sein. Im Weltall erreicht es die atemberaubende, konkurrenzlose Geschwindigkeit von 299 792,458 Kilometern *pro Sekunde*. Während du diesen Satz liest, kann Licht die Erde ungefähr 26-mal umrunden. Es ist schnell, das Schnellste, was es gibt, aber erstaunlich langsam, wenn man die intergalaktischen Entfernungen im All bedenkt.

Solange ein Stern leuchtet, überträgt sein Licht ein Bild von ihm. Dieses Bild schießt zwar mit Lichtgeschwindigkeit durchs All, kann aber dennoch sehr lange brauchen, bis es uns erreicht. Das bedeutet, dass die am weitesten entfernten Sterne, die wir am Himmel sehen, mit einiger Sicherheit tatsächlich tot sind. Aber nicht alle Sterne. Die Sonne etwa ist nicht tot. Genauer, in diesem Augenblick weiß das niemand. Aber vor acht Minuten und zwanzig Sekunden war sie es noch nicht.

Wie du in Teil eins erfahren hast, benötigt das Licht der Sonne ungefähr acht Minuten und zwanzig Sekunden für die 150 Millionen Kilometer, die uns von ihr trennen. Das bedeutet: Sollte die Sonne *jetzt* aufhören zu leuchten, dann wüssten wir von diesem (ziemlich großen) Problem in acht Minuten und zwanzig Sekunden. Es bedeutet auch, dass du die Sonne von der Erde aus immer so sehen wirst, wie sie vor acht Minuten und zwanzig Sekunden war. Niemals so, wie sie *jetzt* ist. Die Sonne, die an einem sonnigen

Tag scheint, ist nie wirklich so, wie du sie siehst, *wenn* du sie am Himmel siehst. Sie ist nicht einmal mehr *da, wo* du sie siehst. In den acht Minuten und zwanzig Sekunden, die ihr Licht benötigt, um deine Haut zu erreichen, kommt die Sonne auf ihrer Bahn um das Zentrum unserer Galaxie ungefähr 117 300 Kilometer voran.

Das Licht mit dem weitesten Weg nun, das wir im Universum wahrnehmen konnten, war unmittelbar von dem Zeitpunkt an, da das Universum lichtdurchlässig wurde, nicht weniger als 13,8 Milliarden Jahre unterwegs, bevor es auf unsere Teleskope traf.

Die riesigen Sterne, die einige hundert Millionen Jahre danach zu leuchten begannen, existieren mit großer Sicherheit nicht mehr, obwohl ihr Licht uns jetzt erreicht und sie uns auf diese Weise sichtbar macht. Dasselbe gilt wohl für viele andere Sterne zwischen der Sonne und jenen entlegenen Bereichen des Universums.

Am 24. Januar 2014 etwa sahen Astronomen am Nachthimmel, wie in einer weit entfernten Galaxie ein Stern explodierte. Sie sahen es live, als das von der Explosion ausgehende Licht ihr Teleskop erreichte. Für sie und uns starb jener Stern also am 24. Januar 2014. Jemand, der in seiner Nähe gelebt hätte, wäre aber Zeuge der Explosion geworden, als sie sich dort ereignete: vor 12 Millionen Jahren.

Niemand kann zur anderen Seite des Universums reisen. Niemand kann sich in Nullkommanichts dorthin beamen. In den Nachthimmel schauen ist letztlich wie Fotopostkarten erhalten von überall, abgestempelt zu verschiedenen Zeitpunkten und an verschiedenen Orten der Vergangenheit unseres Universums, je nachdem, wann und wo sie ihre Reise angetreten haben. Nur durch Aneinanderkleben all dieser Postkarten vom Rand der Ewigkeit können wir einen Abschnitt der Geschichte des Universums rekonstruieren, wie er sich von der Erde aus darstellt.

Durch einen solchen Abschnitt bist du in Teil eins gereist.

5

Expansion

Um es zu wiederholen: Alles, was wir über die fernen Bereiche des Universums wissen, das wissen wir von dem Licht, das uns erreicht.

Wenn wir es enträtseln, es verstehen wollen, müssen wir daher herausfinden, welche Informationen Licht überträgt und wie es mit der Materie und ihren Bausteinen, den Atomen, auf die es im Weltall trifft, interagiert.

Ins Zentrum der Atome wirst du im übernächsten Teil des Buches eintauchen; bis dahin brauchst du von ihnen nur zu wissen, dass Atome runde Kerne haben, um die Elektronen herumschwirren, und zwar nicht willkürlich, sondern in Lagen angeordnet.

Man könnte versucht sein, sich diese Elektronen wie Planeten vorzustellen, die um einen Zentralstern herumsausen, doch wäre das irreführend. Daher bezeichnen wir die Bahnen, auf denen die Elektronen ihren Atomkern umkreisen, im Unterschied zu den *Orbits*, den Umlaufbahnen der Planeten, als *Orbitale*.

Wenn ein Planet die richtige Geschwindigkeit hat, kann er seinen Stern theoretisch in jeder beliebigen Entfernung umkreisen. Ganz anders die Elektronen. Im Unterschied zu den *Orbits* der Planeten sind die *Orbitale* der Elektronen durch elektronische No-go-Zonen voneinander getrennt, durch Bereiche, in denen es keine Elektronen geben kann. Elektronen können diese verbotenen Bereiche aber leicht überspringen – von einem *Orbital* auf ein anderes springen –, und das sogar spontan.

Solche Sprünge sind aber – und das ist der entscheidende Punkt – nicht gratis zu haben.

Um von einem Orbital auf ein anderes umziehen zu können, müssen Elektronen entweder Energie aufnehmen oder Energie abgeben.

Und da ein Elektron umso mehr Energie hat, je weiter es vom Atomkern entfernt ist, muss es, um von einem Orbital auf ein weiter entferntes zu springen, Energie hinzugewinnen – ähnlich, wie man den Gasbrenner eines Heißluftballons aufflammen lassen muss, um zu steigen.

Umgekehrt muss ein Elektron, um dem Kern näher zu kommen, etwas von seiner Energie loswerden – so wie ein Ballon heiße Luft abgeben muss, um sich der Erde zu nähern.

Doch woher stammt diese Energie?

Hier kommt das Licht ins Spiel: Elektronen können von einem Orbital auf ein anderes springen, indem sie Licht aufnehmen oder abgeben. Aber nicht irgendwelches Licht.

Um von einem Orbital auf ein anderes zu gelangen, müssen Elektronen über mindestens eine der elektronischen No-go-Zonen, die die Orbitale voneinander trennen, hinwegspringen, ein Kunststück, das, wie gesagt, nur durch Aufnahme oder Abgabe eines bestimmten Quantums an Energie möglich ist, *und dieses Quantum entspricht einem ganz bestimmten Licht*. Werden Elektronen von Licht getroffen, das zu wenig Energie hat, so können sie nicht springen, sondern müssen bleiben, wo sie sind. Werden sie umgekehrt von Licht getroffen, das zu viel Energie hat, so können sie über mehrere solcher Zonen hinwegspringen oder gar hinausgeschleudert werden aus dem Atom, zu dem sie gehören.

Eine bahnbrechende Erkenntnis, auch wenn es auf den ersten Blick nicht so scheinen mag.

Gewonnen hat die Menschheit sie Anfang des 20. Jahrhunderts. Die Menschheit? Einstein, dieser Hansdampf in allen Gas-

sen! 1921 erhielt er dafür, für eine Arbeit über die Atome verschiedener Metalle,* den Physik-Nobelpreis.

Jahrzehntelanges Experimentieren mit allen bekannten Atomen des Universums hat den Wissenschaftlern gezeigt, dass die Energie, die ein Elektron für den Sprung von einem Orbital auf ein anderes benötigt, von dem Atom abhängt, zu dem es gehört. Das kommt uns sehr gelegen, da verschiedene Energiestufen verschiedenen Lichtquellen entsprechen – und mit unseren Teleskopen können wir natürlich Licht von so gut wie überallher einfangen.

Aufgrund all dessen können die Wissenschaftler angeben, woraus entlegene Objekte wie Sterne oder Gaswolken oder gar die Atmosphären ferner Planeten bestehen, ohne sich dorthin begeben zu müssen.

Und zwar so.

Stell dir eine vollkommene Lichtquelle vor, eine, die in alle Richtungen Licht aller möglichen Wellenlängen abstrahlt, vom energieärmsten Licht (Mikrowellen) bis zum energiereichsten (Gammastrahlen). Eine solche Lichtquelle schafft eine leuchtende Sphäre von Helligkeit um sich herum. Wenn sich in einiger Entfernung ein Atom befindet, kann es sein, dass seine Elektronen, berauscht und geblendet von all dem Licht, so viel schlucken, wie sie benötigen, um auf ein energiereicheres Orbital zu springen. Wenn sie das tun, erregt es sie.

Es erregt sie?

* Metalle geben Elektronen ab, wenn sie mit dem «richtigen» Licht angestrahlt werden. Dies ist der sogenannte *photoelektrische Effekt*. Einsteins Erklärung beinhaltet zum einen, was ich dir gerade erklärt habe (Elektronen können von einem Orbital auf ein anderes nur übergehen, indem sie Energiestufen hinauf- oder hinabklettern), zum anderen die Tatsache, dass Licht als kleines Energiepaket, als Elementarteilchen, begriffen werden kann. Über diesen Aspekt des Lichts wirst du an späterer Stelle in diesem Buch noch eine Menge erfahren. Aber da wir gerade bei Einstein sind: Einstein hat nur diesen einen Nobelpreis erhalten, er hätte aber wohl mindestens zwei weitere verdient gehabt.

Ja, es erregt sie. Das ist der technische Terminus für das, was geschieht.

Sie verhalten sich ein bisschen wie Kinder, die auf einer Party Süßigkeiten angeboten bekommen. Und so einfach es ist, hinterher festzustellen, welche Süßigkeiten die Kinder genommen haben – man braucht nur zu sehen, welche übrig geblieben sind –, so einfach lässt sich feststellen, welche Formen von Licht ein Atom verschluckt hat: indem man in Erfahrung bringt, welche in seinem Schatten fehlen. Alles nicht verwendete Licht geht ungehindert durch das Atom hindurch, und seine Wellenlängen sind leicht zu erkennen. Die fehlenden dagegen erscheinen als schmale dunkle Streifen auf einem ansonsten stetigen Regenbogen von Licht und Farben. Ein solches Diagramm ist ein *Spektrum*,* die dunklen Streifen sind sogenannte *Absorptionslinien*.

Die Wissenschaftler brauchen also nur festzustellen, welche Lichtwellenlängen in einem Spektrum fehlen, um sagen zu können, welche Atome einer Lichtquelle im Weg stehen.

Mit anderen Worten: Man kann anhand von Licht herausfinden, welche Art Materie an einer bestimmten Stelle des Weltalls vorhanden ist.

Und alle Teleskope, von denen die Menschheit bisher Gebrauch gemacht hat, um Licht zu sammeln, sagen uns, dass alle Sterne im Universum aus demselben Stoff gemacht sind wie die Sonne, die Erde und wir Menschen. Alle kosmischen Objekte am Nachthimmel bestehen aus denselben Atomen wie wir.

Wäre es anders, würden unsere Teleskope es uns verraten.

Wir können daher annehmen, dass die Naturgesetze überall dieselben sind.

Und darum hat niemand Zweifel an der Richtigkeit des ersten kosmologischen Prinzips.

Wie beruhigend!

* Genauer: ein *Absorptionsspektrum*. Ein Spektrum, das zeigt, welches Licht ein Material *emittiert*, statt es zu absorbieren, ist ein sogenanntes *Emissionsspektrum*.

Das ist eine so gute Nachricht, dass du beschließt, gleich noch einmal einen Blick auf ferne Galaxien zu werfen, um selbst herauszufinden, woraus sie bestehen. Sind sie nicht bezaubernd mit ihren wunderschönen Spektren aus Linien, die dem Wasserstoff, dem Helium und all den anderen Atomen entsprechen?

Doch warte!

Einen Moment!

Irgendwas stimmt nicht ...

Beim Blick auf die Spektren, die du gesammelt hast, erkennst du, dass in dem Licht von fernen Sternen in der Tat Linien fehlen – aber dass sie nicht dort fehlen, wo sie fehlen sollten ...

Während die Elektronen einiger chemischer Elemente hier auf der Erde von blauem Licht erregt werden, scheinen die gleichen Elektronen derselben chemischen Elemente im All, in den fernen Galaxien, von grünlicheren Farbtönen stimuliert worden zu sein, bevor sie von einem Orbital auf ein anderes sprangen.

Und Atome, die hier auf der Erde hungrig nach Gelb sind, scheinen überall sonst orangefarbenes Licht zu bevorzugen.

Und Atome, die sich hier nach Orange sehnen, mögen es im Weltall rot.

Warum? Wie kann das sein?

Haben sich alle Farben im All verschoben?

Oder haben wir einen Fehler gemacht?

Du schaust noch einmal auf verschiedene ferne Lichtquellen. Aber es besteht kein Zweifel: Alle Farben haben sich in Richtung Rot verschoben.

Und es kommt noch schlimmer: Je weiter die Lichtquelle entfernt ist, umso stärker die Verschiebung!

Verdammt. Es war zu einfach. Was geht hier vor?

Sind die Naturgesetze in verschiedenen Bereichen des Universums doch verschieden? Wenn du auf einem erdähnlichen Planeten herumspazieren könntest, auf einem Planeten, der Milliarden Lichtjahre entfernt einen Stern wie die Sonne umkreist, wären sein Himmel, seine Meere und seine Saphire grün, seine Pflanzen und seine Smaragde gelb und seine Zitronen rot?

Nein.

Wenn du hinreistest, würdest du die fremde Welt genau so vorfinden, wie die unsrige ist: als eine Welt mit gelben Zitronen und blauen Himmeln. Der Grund für die beobachtete Farbverschiebung ist nicht, dass die Naturgesetze in fernen Bereichen des Universums andere wären als bei uns. Er liegt tiefer. Ihn erkannt zu haben hat sogar alles verändert, was die Menschheit mehr als zweitausend Jahre lang geglaubt hatte.

Hast du jemals eine Gitarre oder ein anderes Saiteninstrument gestimmt? Dann hast du bemerkt, dass der Ton einer gezupften Saite plötzlich höher oder tiefer klingt, wenn man den Stimmwirbel dreht. Je strammer man die Saite spannt, umso höher der Ton.

Was du gerade am Himmel gesehen hast, ist im Grunde dasselbe Phänomen, nur dass Klang durch Licht ersetzt ist und die Saite keine Saite ist. Licht verbreitet sich im Weltall nicht auf einer Saite, sondern auf dem Stoff unseres Universums. Und zur Erklärung der Farbverschiebung, die du gerade entdeckt hast, muss dieser Stoff herangezogen werden.

Warum?

Weil nicht das Licht dafür verantwortlich sein kann, wenn die Verschiebung alle Farben in der gleichen Weise betrifft. Verantwortlich muss vielmehr das Medium sein, in dem das Licht sich verbreitet.

Zupfe eine Saite und spanne sie mit dem Stimmwirbel weiter an: Die Tonhöhe verschiebt sich nach oben. Das liegt aber nicht an dem Ton, sondern daran, dass du die Saite stärker spannst. Und eine Gitarrensaite wird für alle Töne gleichermaßen gespannt.

Jetzt stell dir vor, du könntest den Stoff unseres Universums ebenso spannen oder dehnen, wie du es mit einer Gitarrensaite tun würdest. Dehne ihn, und die Wellenlängen aller Formen von Licht, die sich in ihm ausbreiten, verschieben sich nach «oben». Warum? Weil man sich Licht als Welle vorstellen kann und weil das Dehnen den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Scheitel-

punkten derselben, also die Wellenlänge, vergrößert. Blau wird zu Grün. Grün wird zu Gelb, Gelb zu Rot und so weiter.

Das bedeutet, dass sich die wirklichen Farben des Universums auf einem Spektrum in Richtung Rot verschieben. Sie unterliegen einer *Rotverschiebung*.

Jetzt stell dir weiter vor, der Stoff unseres Universums sei nicht nur einmal gedehnt worden, sondern seit Anbeginn stetig. Das würde bedeuten: Je größer die Strecke, die Licht zurückgelegt hat, umso größer die Rotverschiebung, die es erfahren hat, bevor es die Erde erreichte. Bei einem solchen, in weiter Ferne beginnenden Szenario ist ein blauer Lichtstrahl erst nach und nach grün, dann gelb, dann rot und schließlich unsichtbar für unsere Augen geworden: erst zum UV-Licht, dann zur Mikrowelle. Wüsste man, um wie viel die Farben eines fernen Sterns von seinen anfänglichen Farben abweichen, wenn sie die Erde erreichen, so könnte man sagen, wie weit jener Stern entfernt ist.

Aber stimmt das? Dehnt sich der Stoff des Universums?

Es stimmt. Genau das ist es, was du am Himmel gesehen hast.

Aber was bedeutet das kosmologisch?

Es bedeutet, dass die Distanz zwischen fernen Galaxien und uns stetig größer wird. Es bedeutet, dass das Weltall sich zwischen den Galaxien ausdehnt, also wächst. Es bedeutet, dass sich unser Universum mit der Zeit verändert.

Zahllose Experimente haben das bestätigt, und die Wissenschaftler haben gelernt, diese Vorstellung zu akzeptieren. Wir leben wirklich in einem sich verändernden, wachsenden Universum.

Einstein indes gefiel diese Vorstellung nicht. Vor hundert Jahren gefiel sie niemandem. Für unsere Vorfahren, ob Wissenschaftler oder nicht, war das Universum sich immer gleich geblieben. Aber sie haben sich geirrt.

Damit kein Missverständnis entsteht: Es ist nicht so, dass die Galaxien sich entfernen. Sondern die *Distanz* wächst, die uns von den schon fernen Galaxien trennt. Die Leere des Weltalls wird gedehnt. Die Wissenschaftler haben dem Phänomen einen Namen gegeben: Sie bezeichnen es als die *Expansion des Universums*. Und

sie meinen damit nicht etwa, dass das Universum in «irgendetwas» hinein expandiere, sondern dass es aus sich heraus expandiert und wächst.

Aber statt voreilige Schlüsse zu ziehen oder die Frage zu stellen, was die Ursache dieser Expansion (gewesen) sein könnte, möchtest du all das vielleicht selbst überprüfen. Stell dir also vor, du seiest steinreich, hättest, sagen wir, 100 Milliarden Euro auf dem Konto und hättest außerdem hundert Freundinnen und Freunde. Da du neugierig bist auf unser Universum, gibst du jedem und jeder von ihnen eine Milliarde Euro, damit sie sich ein leistungsstarkes, modernes Teleskop kaufen und die ganze Erde bereisen, um das Licht von möglichst vielen fernen Galaxien einzufangen.

Monate später lädst du sie alle auf dein Schloss ein, damit sie ihre Ergebnisse präsentieren. Die Hälfte von ihnen sind wahre Freundinnen und Freunde und kommen (du kannst dich glücklich schätzen), die andere Hälfte hat es vorgezogen, das Geld zu behalten. Aber das macht nichts, denn die, die gekommen sind, erzählen alle die gleiche Geschichte. Egal, wo sie durch ihr Teleskop geschaut haben, ob in China, in Australien, in Europa, mitten auf dem Pazifik oder in der Antarktis, sie alle haben dasselbe Phänomen am Himmel gesehen: Die fernen Galaxien über ihren Köpfen zeigten eine merkwürdige Farbverschiebung. Das heißt, sie entflohen in die Weiten des Weltalls, und zwar umso schneller, je ferner sie waren. Sie bezeugten die Expansion des Universums.

Was ist daraus zu schließen?

Wenn du darüber nachdenkst, sollte eine sehr befremdliche Idee immer mehr von dir Besitz ergreifen.

Erst dieses seltsame sichtbare Universum, das kugelförmig war und dich zum Mittelpunkt hatte, und jetzt das!

Kann es sein, dass das wahr ist?

Wenn sich alles überall von der Erde entfernt, bedeutet das nicht, dass alle Mütter auf Erden recht haben, wenn sie glauben, ihr Kind sei der Mittelpunkt des Universums?

So wunderbar das klingt, es scheint so.

Was für eine tolle Neuigkeit! Was für ein wundervoller Tag!

Wenn gerade Freunde in der Nähe sind, während du dies liest, kannst du mit ihnen eine Flasche Champagner leeren. Wir sind *doch* etwas Besonderes – und vor allem gilt das für dich!

Das ist die Bestätigung: Kopernikus hatte unrecht. Er hätte auf seine Mutter hören sollen. Mütter haben immer recht.

Aber halt, warte, nicht so schnell!

Was ist mit den Müttern auf fernen Planeten, in anderen Galaxien?

Wenn es sie geben sollte und wenn sie denken sollten wie unsere Mütter, hätten sie dann etwa unrecht in Bezug auf ihre Kinder?

Oder ist das ein Beweis dafür, dass es woanders keine Mütter gibt? Natürlich nicht.

Ungeachtet dessen, was du gesehen hast, gehen heute die meisten, wenn nicht alle Naturwissenschaftler davon aus, dass unsere Position im Universum nicht privilegiert ist gegenüber irgendeiner anderen – womit sich auch bestätigen würde, was Kopernikus uns vor 400 Jahren gelehrt hat: dass wir *nicht* der Mittelpunkt des Sonnensystems sind. Das bedeutet merkwürdigerweise nicht, dass wir uns nicht im Zentrum des für uns sichtbaren Universums befänden. Das tun wir nämlich. Aber dasselbe gilt für *jeden* Ort im Universum: Jeder ist das Zentrum des von dort aus sichtbaren Universums.

Diese gut begründete Überzeugung hat die Wissenschaftler zur Formulierung zweier weiterer kosmologischer Prinzipien veranlasst: ^{*} Es gibt nirgends im Weltall eine privilegierte Position – **zweites kosmologisches Prinzip** –, und ein Beobachter, der im ganzen Weltall unterwegs wäre, sähe in allen Richtungen

* Das erste kosmologische Prinzip – du wirst dich erinnern – lautete, dass alle Naturgesetze überall dieselben sind.

das Gleiche: ferne Galaxien, die sich immer weiter von ihm entfernen, so wie sie sich von uns hier auf der Erde entfernen – **drittes kosmologisches Prinzip**.

Bevor deine Freunde den Champagner stehen lassen: Denk ruhig einen Moment lang über den dritten kosmologischen Grundsatz nach; erscheint er nicht auf geradezu triviale Weise falsch?

Die Welt bietet doch von dort aus, wo du dich jetzt, in diesem Buch lesend, befindest, eindeutig nicht den gleichen Anblick wie von deiner Badewanne aus! (Ich nehme an, du liegst nicht in der Badewanne ...) Stimmt, daher eine Klarstellung: Das dritte kosmologische Prinzip bezieht sich nicht auf das, was in deiner Nähe ist. Es gilt nur für das große Ganze: für Größenverhältnisse, die selbst Galaxien winzig erscheinen lassen. Das dritte kosmologische Prinzip besagt, dass das Universum *im größtmöglichen Maßstab* immer gleich aussieht, egal, in welche Richtung man schaut.

Aber klingt das nicht immer noch falsch? Hast du nicht in Teil eins das gesamte Universum bereist und dabei ferne Gegenden gesehen, die nicht so aussahen wie das Universum von der Erde aus? Hast du nicht sogar einen mehrere tausend Lichtjahre breiten Bereich des Weltalls durchquert – das sogenannte kosmische Mittelalter –, in dem kein Stern leuchtete? Wie kann das Universum von der Erde aus den gleichen Anblick bieten wie von einem Ort aus, an dem es keine Sterne gibt?

Es wird Zeit, dass du begreifst, was ich meine, wenn ich sage, du seiest in Teil eins nicht durch das Universum gereist, wie es ist, sondern durch das Universum, *wie es sich von der Erde aus darstellt*. Das ist nicht dasselbe. Denk daran, das Universum am irdischen Nachthimmel entspricht nicht dem, was es – es selbst – *jetzt* ist. Es entspricht einem Abschnitt seiner Vergangenheit, einer von der Erde aus betrachteten Vergangenheit, weil wir auf der Erde leben; es entspricht einem auf Fotopostkarten, wie wir sie täglich von überallher erhalten, dokumentierten Abschnitt seiner Vergangenheit. Gemäß dem dritten kosmischen Grundsatz nun müssten Außerirdische, die auf einem fernen Planeten leben, ein Universum sehen, das genauso wäre wie unseres. Natürlich nicht im Ein-

zeln, sondern im größtmöglichen Maßstab. Auch sie wären umgeben von der Gesamtheit der Informationen, die sie aus ihrer Vergangenheit erreichen, auch sie würden an ihrem Nachthimmel einem Abschnitt der Vergangenheit unseres gemeinsamen Universums sehen. Sie hätten ihr eigenes kosmisches Mittelalter und ihre eigene Fläche der letzten Streuung, auch wenn ihr Abschnitt sich mit unserem nicht überschneiden sollte.

Um unser Universum zu verstehen und das große Ganze zu erhalten, müsste man alle Vergangenheiten aller Punkte des Universums zusammensetzen. Während benachbarte Orte natürlich Vergangenheiten mit großen Schnittmengen haben, haben die Vergangenheiten von Orten, die durch große räumliche Entfernungen voneinander getrennt sind, vielleicht überhaupt keine Schnittmengen. Dennoch sollten sie alle als gleich betrachtet werden. Das ist es, was der dritte kosmische Grundsatz konkret bedeutet (darüber später mehr).

Er bedeutet übrigens auch, dass du, obwohl du keine privilegierte Position in diesem deinen Universum einnimmst, dennoch, wie deine Mutter zweifellos geglaubt hat, der Mittelpunkt des *für dich* sichtbaren Universums bist.

Und wenn du das Gefühl hast, das immer gewusst zu haben, dann lass die Freude darüber durch deinen Geist und deinen Körper strömen. Es ist eine großartige Nachricht.

Ich wiederhole also: Du *bist* der Mittelpunkt deines Universums.

Doch gilt – was sich vielleicht weniger gut anfühlt – Entsprechendes für deinen Nächsten: Er ist der Mittelpunkt des *für ihn* sichtbaren Universums.

Jeder ist es.

Wir alle sind – und alles ist – Mittelpunkt unseres – seines – Universums: des Universums, das wir mit dem Licht, das uns erreicht, erforschen können. Nur unter ganz besonderen Umständen können die sichtbaren Universen zweier Menschen genau zusammenfallen. Wann und wie das geschehen kann? Ich überlasse es dir, diese Frage zu beantworten.

Nach all dem ist es Zeit, uns diese Expansion, die das Universum ausdehnt, ein bisschen genauer anzusehen.

Geschieht das wirklich?

Ja. Die Distanzen zwischen weit voneinander entfernten Galaxien vergrößern sich stetig. Nicht die zwischen benachbarten Objekten, weil im lokalen Bereich die Schwerkraft stärker ist: Galaxien entwickeln eine Anziehungskraft, die die Tendenz zur Expansion ausgleicht, und zwar sowohl innerhalb ihrer Grenzen (die Distanzen zwischen der Sonne und benachbarten Sternen vergrößern sich nicht) als auch in ihrem Umkreis (benachbarte Galaxien kommen sich sogar immer näher). Über sehr weite Entfernungen jedoch behält die Tendenz zur Expansion die Oberhand.

Entdeckt hat die Expansion des Universums der amerikanische Astronom Edwin Hubble 1929, und das Gesetz, das das Zurückweichen der Galaxien mit ihrer Entfernung von uns in Zusammenhang bringt, ist die sogenannte *Hubble-Konstante*. Hubble kann aufgrund dieser Entdeckung als einer der Väter der modernen beobachtenden Kosmologie gelten. Gemeinsam mit Ernst Öpik hat er, wie bereits erwähnt, auch bewiesen, dass die Milchstraße nicht das ganze Universum ist, dass es vielmehr noch andere Galaxien gibt: zwei Entdeckungen, die, würden sie heute gemacht, zweifellos einen Nobelpreis wert wären. Damals aber galt die Beobachtung der Sterne samt dem Versuch, aus ihnen schlau zu werden, nicht als Teil der Physik – weder bei den Physikern selbst noch beim Nobelpreiskomitee. Das hat sich nach Hubbles Tod geändert. Daher sind, während er selbst noch leer ausgegangen ist, seither viele Kosmologen mit dem Nobelpreis ausgezeichnet worden. Einigen von ihnen wirst du in diesem Buch begegnen.

Du wirst jetzt von einer bemerkenswerten Konsequenz der Hubble-Konstante erfahren und dann höchstwahrscheinlich fassungslos sein, wie schlau Naturwissenschaftler manchmal sein können. Nachdem sie viel nachgedacht und doppelt so viel Kaffee getrunken hatten, ist ihnen nämlich eines Tages aufgegangen, dass alles, was in unserem Universum weit entfernt ist und sich

noch weiter von uns entfernt, in der Vergangenheit näher gewesen sein muss.

Wow!

Wenn das kein Durchbruch ist!

Aber Spaß beiseite: So belanglos der Gedanke erscheinen mag, er war eine Offenbarung.

Einstein jedoch war, wie gesagt, nicht bereit, an die Expansion zu glauben.

Warum nicht?

Warum ist es von Bedeutung, wenn ferne Galaxien sich weiter von uns entfernen, uns in der Vergangenheit also näher waren?

Zur Erinnerung: Hubbles auf Beobachtungen basierende Konstante besagt, dass die Distanz zwischen den Galaxien – sie selbst – expandiert, nicht nur, dass die Galaxien sich voneinander entfernen.

Mit anderen Worten: Der Stoff, aus dem das Universum besteht, expandiert.

Wenn man diesen Gedanken zu Ende denkt, besagt er, dass das Universum als Ganzes einst kleiner gewesen sein muss.

Aber wie war das möglich?

Und wenn es möglich war: Können wir es beweisen?

Wir können es beweisen: indem wir noch einmal einen Blick in die entferntesten Bereiche des Weltalls werfen. Dort liegt die Vergangenheit; wir brauchen nur ihre Botschaften zu empfangen. Die Wand, die du am Ende des sichtbaren Universums gesehen hast, bestätigt alles in glanzvoller Weise (obwohl sie dunkel ist): Warum, das wirst du im übernächsten Kapitel sehen. Zuvor jedoch musst du noch einmal ins Weltall reisen, um mit der Schwerkraft vertrauter zu werden.

6

Die Schwerkraft spüren

Von den vier Naturkräften, die unser Universum beherrschen,^{*} ist uns die Schwerkraft vielleicht am meisten bewusst. Jedes Mal, wenn du fällst, jedes Mal, wenn du deine Beinmuskulatur gebrauchst, um aufzustehen, jedes Mal, wenn du etwas hebst, wird dein Körper an die Existenz der Schwerkraft erinnert.

Alles unterliegt der Schwerkraft.

Aber alles *erzeugt* auch Schwerkraft. Auch du, auch jede Kristallvase, die deine Großtante in Sydney dir zu Weihnachten schenkt.

Apropos Kristallvase: Stell dir vor, du hast eine auf deiner Insel.

Sieh sie dir an.

Jetzt lass sie auf eine harte Oberfläche fallen.

Sie zerbricht in Stücke.

Stell dir vor, du lässt deine ganze Sammlung von Kristallvasen auf eine harte Oberfläche fallen – egal, an welchem Ort der Erde; wo immer du willst.

Verblüffenderweise würden die Vasen immer fallen. Und zerbrechen. Wo immer du wärst.

Gut so!

Dieses Experiment würde dich nicht nur von deinen Vasen befreien, es würde auch etwas beweisen: dass jedes Objekt, das eine höhere Dichte hat als Luft, fällt, wenn man es über der Erdoberflä-

* Von den drei anderen wirst du, beginnend in Teil drei, in Kürze erfahren.

che loslässt. Genau, wie Newton und alle, die bei Verstand waren, seit jeher geglaubt haben.

Aber was ist mit Objekten, die leichter* sind als Luft? Warum steigen Heliumballons in den Himmel, statt zu fallen? Unterliegen sie nicht der Schwerkraft der Erde?

Doch. Aber sie stehen in Konkurrenz.

Wann immer Objekte von der Erde angezogen werden, so kommt das mit der höchsten Dichte am weitesten unten zu liegen. Objekte, die leichter sind als Luft, scheinen nur deshalb emporzufliegen, weil die Luft über ihnen eine höhere Dichte hat und ihren Platz einnimmt. Wäre die Luft sichtbar, würdest du es sehen. Aber da sie nicht sichtbar ist, siehst du nur das Ergebnis: Objekte, die leichter sind als Luft, erhalten durch die unsichtbare Luft, die sich unter ihnen stapelt, einen Auftrieb. Schwerkraft zieht immer an und sorgt dafür, dass Dinge *fallen*. Die besagte Konkurrenz indes führt zur Bildung von Schichten, und um Platz für Objekte mit höherer Dichte zu machen, müssen einige steigen.

Du kannst dir die Erde als gewaltige Kugel vorstellen, an deren Oberfläche aufgrund der steilen Krümmung, die sie im Stoff des Universums um sich hervorbringt, jede Menge Zeug haftet. Alle Objekte, die du je gesehen hast, gleiten dieses Gefälle hinab, bis etwas mit höherer Dichte sie daran hindert, weiter hinabzugleiten (für *dich* gilt natürlich dasselbe!). Die Felsen der Erdkruste haben eine höhere Dichte als Wasser. Darum liegen die Meere auf dem harten Fels. Felsen und Wasser haben eine höhere Dichte als Luft. Darum liegt die Atmosphäre auf der felsigen oder flüssigen Oberfläche unseres Planeten.

Wir Menschen leben unter einer etwa 100 Kilometer dicken Luftschicht, die an der Oberfläche unseres Planeten haftet. Wir haben eine höhere Dichte als die Luft, darum fliegen wir nicht. Wir sind aber leichter als der Erdboden, darum bleiben wir über ihm. Manchmal gelingt es Objekten oder Tieren, sich vom Erd-

* «Leichter» heißt in diesem Kapitel «von geringerer Dichte».

boden in den Himmel zu erheben, aber dafür benötigen sie Energie, und normalerweise dauert es nicht lange, bis sie wieder herabfallen, es sei denn, sie sind leichter als Luft, was bei Tieren – sehr zu ihrem Vorteil – nicht der Fall ist.

Wohin aber würde alles fallen, wenn es keine Erde gäbe?

Es ist Sonntagmorgen auf deiner tropischen Insel. Seit deiner mysteriösen Geisterfahrt haben deine Freunde dir jeden Morgen das Frühstück gebracht, und natürlich hat deine Geschichte sie immer neugieriger gemacht. Einige von ihnen fragen sich sogar inzwischen, ob du wirklich gesehen hast, was gesehen zu haben du immer wieder behauptest. Andere konnten nachts lange nicht einschlafen, weil der Tod der Sonne sie beunruhigte. Leider haben diese nach Wegen gesucht, dich davon abzubringen, ständig darüber zu sprechen. Und sie scheinen einen gefunden zu haben.

Du schlägst die Augen auf.

Staubpartikel flimmern und tanzen in der Morgensonne, obwohl auch sie, wie du richtig annimmst, der Schwerkraft unterliegen. Da klopft jemand an deine Zimmertür.

«Herein», rufst du und richtest dich in deinem Bett auf, in der Erwartung eines lächelnden Gesichts und vielleicht eines Tablett mit Kaffee und Obst.

Die Tür geht auf. Und da ist sie – deine Großtante. Aus Sydney.

Sie hat drei Taschen voller Kristallvasen dabei, alle noch hässlicher – du hättest es nicht für möglich gehalten – als die, die du bei deinem Schwerkraftexperiment zerdeppern wolltest.

Sie kommt herein und steht schon neben dir, tätschelt dir – nicht im Geringsten beunruhigt, dich im Bett zu finden – die Wange und reicht dir eine der Vasen. Dabei lächelt sie still und verständnisvoll vor sich hin: Sie weiß, dass Worte nicht genügen würden, um deine Freude über ihren Überraschungsbesuch zum Ausdruck zu bringen.

Die Vase in den Händen, schließt du die Augen, um ruhig zu

bleiben; du wünschst plötzlich verzweifelt, irgendwo anders zu sein.

Als du die Augen wieder öffnest, *bist* du woanders.

Ganz woanders.

Im Weltall.

Das Ferienhaus, die Morgensonne, dein Bett, deine Großtante, alles ist verschwunden.

Du bist wieder inmitten der Sterne, wie in Teil eins dieses Buches, aber alles wirkt jetzt viel sicherer.

Ein breites Lächeln erscheint auf deinem Gesicht, als du um dich schaust.

Kein Anzeichen für eine drohende Explosion ist zu sehen.

Keine geschmolzene Erde.

Alle Sterne sind weit weg, alles ist ruhig.

Du schwebst in einer scheinbar unendlichen Dunkelheit, die mit winzigen Lichtern übersät ist.

Als du im ersten Teil des Buches im Weltall warst, da warst du nur Geist. Und außer in dem Augenblick, in dem du aus einem schwarzen Loch herausgeschleudert wurdest, warst du empfindungslos. Das wird diesmal anders werden. Du bist zwar wieder auf einer Art Geisterfahrt, hast aber deinen Körper nicht verlassen. Er ist da, in der schützenden Hülle eines Raumanzugs, und macht Erfahrungen mit der Schwerelosigkeit.

Alles wirkt so real, dass du dich benommen fühlst, aber du überwindest das schnell und merkst dann, dass du, obwohl deine Großtante nicht mehr da ist, immer noch die Vase in der Hand hältst, die sie dir gegeben hat.

Du lächelst wieder und siehst dich um, aber da ist nichts, woran du das gute Stück zerdeppern könntest. Keine Erde. Kein Stern.

Enttäuscht? Dann sieht man es dir nicht an. Du beschließt, ein anderes Schwerkraftexperiment zu machen.

Du öffnest bei ausgestrecktem Arm die Hand und lässt die Vase los. Soweit du sehen kannst, bleibt sie genau da, wo sie ist. Eine Minute vergeht. Noch eine. Und noch eine. Nichts ist geschehen!

Außer dass die Vase dir ein bisschen näher gekommen ist. Nicht viel. Nicht der Rede wert.

Schließlich bist du es leid, auf diese Missgestalt von Vase zu starren. Du gibst ihr mit der Fingerspitze einen Stoß und beobachtest, wie sie sich langsam in offenbar gerader Linie entfernt. Tschüss!

Hättest du ihr nicht einen Stoß gegeben, wäre die Vase geblieben, wo sie war – einen Meter vor deiner Nase. Sie wäre nicht gefallen. Wohin auch hätte sie fallen können? Wenn kein Planet oder Stern in der Nähe ist, dann gibt es kein oben und unten, wie es auch kein rechts und links gibt. Im Nichts sind alle Richtungen gleich. Es gibt keinerlei «Grund», auf den die Vase sich zubewegen könnte, es sei denn, du betrachtest *dich selbst* als einen solchen. Aber wäre das nicht eine Beleidigung für dich? Vorsicht! Du solltest nichts persönlich nehmen, wenn es um die Natur geht, denn nachdem du eine ganze Weile mit Nichtstun verbracht hast, siehst du die Vase zu deinem großen Entsetzen zu dir zurückkehren. Die Schwerkraft tut ihr Werk. Die Schwerkraft, die *du* hervorbringst.

Oder? Dir kommt eine komische Frage in den Sinn: Bewegt die Vase sich auf dich zu, oder bewegst *du* dich zu *ihr* hin? Soweit du erkennen kannst, ist es auch möglich, dass die Vase der «Grund» ist und dass *du* dich *ihr* näherst. Leider hast du keine Zeit, der Sache nachzugehen, weil ein Asteroid an dir vorbeischießt und dich und die dir jetzt ganz nahe Vase mit seinen unsichtbaren Schwerkraftfingern an sich reißt.

Wärest du gefragt worden, hättest du wahrscheinlich gesagt, dass du, weil du schwerer bist, auf dem Boden des Asteroiden zuerst auftreffen würdest. Aber nichts da. Du und deine Vase erreichen die staubige Oberfläche des Felsbrockens zugleich. Und sobald du Fuß gefasst hast auf dem weichen Boden, greifst du das missratene Kunstwerk, um es an der Oberfläche des Asteroiden zu zerdeppern.

Leider ist der Boden des Asteroiden nicht so massiv wie der der Erde; die Vase zerbricht nicht. Stattdessen bist du jetzt von einer großen Wolke kosmischen Staubs umgeben. Wütend nimmst

du die Vase und wirfst sie mit aller Kraft ins All, um sie ein für alle Mal loszuwerden. Diesmal kann sie unmöglich zurückkommen, denkst du, und bist erleichtert, als sie durch die Staubwolke hindurch in der Ferne verschwindet, dazu verurteilt, sich für alle Zeiten um sich selbst zu drehen.

Endlich allein!

Jetzt kannst du dich entspannen, die unverschandelte Aussicht genießen und überlegen, wie du die Schwerkraft intensiver erfahren kannst als irgendjemand vor dir.

Dabei merkst du, dass der Felsbrocken, auf dem du stehst, nicht mehr geradeaus fliegt. Seine Bahn hat sich plötzlich in Richtung auf einen dunklen, eisigen Planeten ohne Stern gekrümmt, der sich im Nirgendwo auf der wohl vergeblichen Suche nach einer neuen leuchtenden Heimat befindet. Es ist Gefahr im Verzug.

Als sich dein Felsbrocken dem Planeten immer schneller nähert, so dass deine Eingeweide in Aufruhr sind, wird es dir einen Moment lang fast zur Gewissheit, dass du dich auf Kollisionskurs befindest, drauf und dran, auf der Oberfläche des kalten und sehr toten Planeten aufzuschlagen. Du hast gehört, dass vielen Menschen angesichts ihres unmittelbar bevorstehenden Todes Erinnerungen an scheinbar längst Vergessenes in den Sinn kommen oder dass ihr Leben wie im Zeitraffer an ihnen vorüberzieht. Du erlebst aber nichts dergleichen. Du kannst nur an das Gesicht deiner Großtante denken, während du sie und ihre Vase für den sicheren Tod verantwortlich machst, der deinen Körper ereilen wird.

In einem heroischen Versuch, dein Leben zu retten, stößt du dich kräftig von dem Asteroiden ab und beginnst von dem Planeten wegzuschwimmen. Du erkennst aber augenblicklich zweierlei: Erstens, du befandest dich wider Erwarten nicht auf Kollisionskurs, und zweitens, es ist zwar möglich, von einem Asteroiden zu springen, nicht aber, im Weltall zu schwimmen.

Wie auf einer interstellaren Achterbahnfahrt saust du das Gefälle, das der Planet im Stoff des Universums hervorbringt, immer schneller hinab, verfehlst aber seine dunkle, kalte Oberfläche um

einige tausend Kilometer. Statt auf ihr aufzuschlagen, bewegst du dich an ihr entlang, um dann gemeinsam mit deinem Asteroiden, wie von einer Zwillie abgeschossen, wieder ins All geschleudert zu werden, und zwar mit einer viel höheren Geschwindigkeit als vor dem Fall. Warum dies? Weil ihr, du und dein Asteroid, dem Planeten Energie, kinetische Energie geklaut habt, wie ein Golfball, der auf einer Minigolfbahn ein sich raffiniert bewegendes Loch verfehlt und nur an dessen Rand entlangläuft, bevor er herauskatalpultiert wird und schneller, als er gekommen ist, wegrollt, um schließlich entmutigend weit entfernt von der Stelle liegen zu bleiben, von der du ihn geschlagen hattest. Nur ein Loch, das sich bewegt, kann diese Energie verleihen, und dasselbe gilt für einen Planeten.

Minuten später landest du, während der tote Planet in den Weiten des Alls verschwindet, wieder auf der Oberfläche deines Asteroiden. Seltsam: Er hatte, wie du jetzt erkennst, keinen Augenblick aufgehört, dich mit seiner Schwerkraft anzuziehen. Und was noch seltsamer ist: Ihr habt fast dieselbe Bahn um den Planeten beschrieben, der nun außer Sichtweite ist.

Dass eine Vase, die nicht mehr wiegt als ein Vierzigstel deines Körpergewichts, mit derselben Geschwindigkeit wie du auf einen Asteroiden fällt, mag überraschen; aber dass ein Asteroid, ein Felsbrocken von der Größe eines kleinen Berges, sich einem Planeten mit derselben Geschwindigkeit nähert wie du, das ist im höchsten Maße irritierend. Aber so war es. Es scheint so, dass alle Objekte sich Planeten oder einander mit derselben Geschwindigkeit nähern, egal, wie schwer sie sind. So merkwürdig es klingen mag, auch die Sonne und eine Feder würden sich einem Asteroiden, einem Planeten oder einem sonstigen Objekt mit derselben Geschwindigkeit nähern. Warum das so ist? Weil der Schwerkraft unterliegen bedeutet: die Gefälle hinabgleiten, die Materie und Energie im Stoff unseres Universums hervorbringen.

Damit sich dieser Gedanke setzen kann, nimmst du auf dem Felsbrocken erst einmal Platz.

Du starrst ins All.

Aber der Gedanke scheint keinen Sinn zu ergeben.

Du denkst weiter nach, und schließlich wird deine Beharrlichkeit belohnt: Ein außerordentlich schönes Bild entsteht vor deinem geistigen Auge.

Du beginnst überall um Felsbrocken, ferne Planeten, Sterne und Galaxien herum Krümmungen, Gefälle und Steigungen zu sehen. Strahlen von hellen fernen Lichtquellen scheinen an diesen Gefällen entlangzugleiten und flüchtige fluoreszierende Linien auf ihrem Weg zu hinterlassen, damit du sie sehen und die wirkliche Form dessen erkennen kannst, woraus das Universum gewoben ist. Du siehst, dass Licht sich im Weltall – genau wie Materie, genau wie du – nicht immer geradlinig fortbewegt, wie du vielleicht geglaubt hast, sondern dass es in der Nähe einer Galaxie, eines Sterns, eines Planeten oder auch nur eines kleinen Felsbrockens abgelenkt wird. Je dichter ein Objekt ist und je näher ein Lichtstrahl daran vorbeirauscht, umso stärker wird er abgelenkt. Wie die Planeten, Sterne und Galaxien, so bewegen sich auch die von ihnen hervorgebrachten Krümmungen und Gefälle und folgen ihnen, wenn sie umeinander tanzen und miteinander verschmelzen. Alles ist in Bewegung in unserem Universum, überall. Sogar der Stoff, aus dem es besteht.

Dieser Stoff, dessen Form du jetzt siehst, nachdem er bisher für dich unsichtbar war, kommt dir nun beinahe wie ein Lebewesen vor.

Während du, auf deinem Asteroiden sitzend, all dies siehst, gleitest du ein Gefälle hinab; ebenso jetzt beim Lesen in diesem Buch. Auf dem Asteroiden bringt der Felsbrocken selbst ihn hervor, beim Lesen die Erde. Auf dem Asteroiden ist das Gefälle sanft, und es würde dich nicht viel Energie kosten, davonzufiegen. Auf der Erde ist das Gefälle steiler.

Wenn du nicht den Eindruck hast, zu fallen, während du in diesem Buch liest, dann deshalb, weil du, sagen wir, auf einem Stuhl sitzt, jedenfalls Boden unter den Füßen hast, der dich am Fallen hindert. Wahrscheinlich aber hast du das Gefühl, dass deine Schultern, ja all deine Körperteile hinabgezogen werden. Perma-

nent. Und läsest du dieses Buch im freien Fall aus einem Flugzeug, so würdest du tatsächlich hinabfallen in dem Gefälle, das die Erde hervorbringt, obwohl die Luft deinen Fall verlangsamen würde. Ein solches Hinabfallen im Stoff des Universums ist für alle Objekte und um alle herum die natürlichste Bewegung, die es gibt.

Als du deine hässliche Vase von dir weggestoßen hast, kletterte sie langsam das unsichtbare Gefälle hinauf, das *du* hervorgebracht hattest, um dann dasselbe Gefälle wieder hinabzugleiten, genau so wie ein Objekt, das von der Erdoberfläche aus in die Höhe geworfen wird, erst, im Steigen, langsamer wird, um dann, im Fallen, wieder schneller zu werden.

Damit ein Objekt von der Erdoberfläche aus das Weltall erreichen kann, muss es mit einer Geschwindigkeit von mehr als 40 320 Kilometern pro Stunde vertikal nach oben geschossen werden. Erreicht es diese Geschwindigkeit nicht, stürzt es wieder herab.* Immer.

Um sich deiner Anziehungskraft zu entziehen, ist ebenfalls eine Minimalgeschwindigkeit erforderlich; dasselbe gilt, wenn eine Murmel eine Bodenwelle hinauf- und auf der anderen Seite wieder hinunterrollen soll.

Deine Vase kam zu dir zurück, weil du sie nicht schnell genug gestoßen hattest, denn auch du krümmst den Stoff des Universums.

Und als du später ein Stück weit um den Planeten herumgeflicht bist, um diese Bahn dann mit einem kleinen, aus der Bewegung des Planeten stammenden Extrakick wieder zu verlassen, hast du dich, ohne es zu wissen, einer Technik bedient, von der

* Jede Gewehrku­gel fliegt sehr viel langsamer und kommt daher zurück – auch wenn du sie senkrecht in den Himmel schießt. Das brauchst du also gar nicht zu versuchen. Die Geschwindigkeit von 40 320 Kilometern pro Stunde wird als die *Fluchtgeschwindigkeit* der Erde bezeichnet. Zum Vergleich: Die Fluchtgeschwindigkeit der Sonne liegt bei 2,2 Millionen Kilometern pro Stunde, während der Quetscheentchen-förmige Komet, auf dem 2014 die Raumsonde Philae der ESA landete, eine Fluchtgeschwindigkeit von nur 5,4 Kilometern pro Stunde hat. Ein kleiner Sprung würde genügen, um ihn zu verlassen.

die Raketentechniker Gebrauch machen, um Satelliten im Sonnensystem ohne Treibstoff weit weg zu schicken: Wenn sie sie im richtigen Winkel und in der richtigen Entfernung an Planeten vorbeifliegen lassen, werden die Apparate mit erhöhter Geschwindigkeit in tiefere Regionen unseres kosmischen Nahbereichs katapultiert.

Während dir diese Gedanken durchs Hirn gehen, begreifst du, dass auch auf der Erde immer alles hinabfällt in dem Gefälle, das die Materie, aus dem unser Planet gemacht ist, hervorgebracht hat. Darum ist unser Planet von seinem Himmel bis in sein Zentrum so geschichtet, dass die Partikel mit der geringsten Dichte oben liegen und die mit der höchsten tief in seinem Innern begraben sind. Bis dieses Gleichgewicht erreicht war, mussten Milliarden Jahre vergehen.

Ob du es bemerkt hast oder nicht: Du hast jetzt die Vorstellung, dass die Schwer-«Kraft» eine Kraft sei, vollständig hinter dir gelassen. Stattdessen betrachtest du sie nun als Landschaft aus Krümmungen, Steigungen und Gefällen. Vielleicht war das die Lektion, für die du noch einmal ins All gereist bist, denn im selben Augenblick, in dem dir dieser Gedanke kommt, befindest du dich plötzlich wieder in deinem Ferienhaus, in deinem Bett, und siehst deiner Großtante ins Gesicht. Sie scheint ziemlich verwirrt zu sein.

«Habe ich dir nicht gerade eine Vase gegeben?», fragt sie, da sie keine in deinen Händen sieht.

«Welche Vase?»

«Schon gut. Vergiss es.»

«Aber – du hier? Wie kommt's?», fragst du.

«Deine Freunde hatten mich angerufen und gesagt, du habest Halluzinationen. Es gehe um die Schwerkraft. Wenn du einmal so alt bist wie ich heute, wirst du sehen, dass sie eine echte Last ist. Aber du bist noch jung und solltest dir keine Gedanken darüber machen. Schau, was ich dir mitgebracht habe: Sind diese Vasen nicht wundervoll?»

«Es gibt keine Schwerkraft», erklärst du ihr schlecht gelaunt, und verfluchst im Stillen deine indiskreten Freunde. «Es gibt nur Gefälle.»

«Ja, Gefälle, ich weiß», antwortet sie unerwartet, während sie die Vasen auspackt.

Und zu deiner großen Überraschung fügt sie hinzu, was die Anziehungskraft der Erde betreffe, nie einen Unterschied zwischen «Kraft» und «Gefälle» gesehen zu haben. Man rufe doch nicht von ungefähr «Hilfe, ich falle!» statt «Hilfe, ich werde hinabgezogen!». Wie dumm von dir, davon so viel Aufhebens zu machen!

Und dann widmet sie sich wieder der Umdekorierung deines bis jetzt so geschmackvoll eingerichteten Ferienhauses mit dem Dutzend Vasen, das sie mitgebracht hat, während du ihr zusiehst und in Gedanken nach dem Sinn des Lebens fragst.

Als du am selben Abend endlich etwas Zeit findest, allein zu sein, verlässt du dein Ferienhaus, um der Zivilisation zu entkommen, am Strand entlangzugehen und die Sterne zu betrachten. Großtantschens Kommentar zur Schwerkraft lässt dir keine Ruhe, und du versuchst zusammenzufassen, was du gerade gelernt hast.

Es gibt Gefälle im Stoff des Universums.

Alles erzeugt ein Gefälle in jeder Richtung: ein unsichtbares Gefälle, das wir Schwerkraft nennen. Und je höher die Dichte des Objekts, das das Gefälle erzeugt, umso steiler ist dieses. Aber wenn alle massiven Objekte den Stoff unseres Universums krümmen, dann gilt das natürlich auch für das Licht, denkst du, da Energie auch Masse und Masse auch Energie ist, und zwar nach der Formel $E = mc^2$.

Aber ist das wirklich wahr?

Krümmt wirklich alles, auch das Licht, den Stoff des Universums? Und woraus zum Teufel könnte dieser Stoff bestehen?