

Olaf Fritsche



Glück gehabt!

Zwölf Gründe,
warum es uns überhaupt gibt



Springer Spektrum

Glück gehabt!



Olaf Fritsche hat an der Universität Osnabrück Biologie studiert und dort zu einem biophysikalischen Thema promoviert. Anschließend war er mehrere Jahre als Redakteur bei *Spektrum der Wissenschaft* tätig. Heute ist er freiberuflicher Wissenschaftsjournalist und Buchautor. Neben zahlreichen Sachbüchern hat er die Lehrbücher *Biologie für Einsteiger* und *Physik für Biologen und Mediziner* geschrieben, die ebenfalls bei Springer Spektrum erschienen sind.

Olaf Fritsche

Glück gehabt!

Zwölf Gründe, warum es uns
überhaupt gibt



Springer Spektrum

Olaf Fritsche
Mühlhausen
Deutschland
www.wissenschaftswissen.de

ISBN 978-3-642-41654-5 ISBN 978-3-642-41655-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-41655-2

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Frank Wigger, Imme Techentin

Redaktion: Bernhard Gerl

Cartoons: Salome Hunziker

Einbandabbildung: © fotolia.de

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-spektrum.de

Einmal Universum mit Menschheit zum Hierleben, bitte!

Das Schicksal versteht nichts von Wahrscheinlichkeitsrechnung. Sonst hätte es gar nicht erst angefangen mit dem Universum, dem Leben und dem ganzen Rest. Denn die Windungen und Wendungen, die nötig waren, bis aus einem punktförmigen Ur-Universum nach Jahrmilliarden voller Risiken und Gefahren schließlich der Mensch hervorgegangen war und sich zurückblickend über all dies wundern konnte, sind so abstrus, dass sich selbst Drehbuchautoren von Actionfilmen nicht getraut hätten, eine solch unglaubliche Handlung zu erfinden. Die Wirklichkeit kannte dagegen keinerlei Skrupel. Und sie war noch viel dramatischer. Glück gehabt!

Sind Sie sicher, dass es Sie überhaupt gibt? Ganz ernsthaft gefragt! Gut, Sie lesen zwar gerade diesen Satz, wundern sich vielleicht, was der Unfug soll, und vermuten, dass ich Sie womöglich veralbern will. Das sollte doch wohl reichen als Beweis Ihrer Existenz! Aber denken Sie einmal kurz darüber nach, wie wahrscheinlich es ist, dass Sie sich im Hier und Jetzt befinden. Dass der Faden aus der Vergangenheit in die Gegenwart für Sie kein einziges Mal gerissen ist. Obwohl genau dies an so vielen Stellen hätte passieren können.

Dabei meine ich keineswegs die unzähligen Augenblicke, in denen der Tod Sie nur knapp verpasst hat – sei es im Straßenverkehr, beim Auswechseln einer Steckdose oder in Form eines lebensbedrohlichen Krankheitserregers. Mir kommt es vielmehr auf die bedeutsamen Wendungen in Ihrer Familiengeschichte an. Wie groß, glauben Sie beispielsweise, ist die Chance gewesen, dass Ihre Eltern sich kennengelernt haben und ein Paar geworden sind? Immerhin waren da noch dieser andere fesche Jüngling aus der Parallelklasse und die kesse Kleine aus der Tanzstunde. Das hätte leicht eine ganz andere Konstellation geben können – und schon wären Sie nicht Sie! Vielleicht stammt ein Teil Ihrer Familie auch gar nicht aus Ihrem Heimatort, sondern ist zugezogen. Wie leicht hätte es Ihre Großeltern in eine andere Stadt verschlagen können, sodass Ihre Eltern sich niemals zu Gesicht bekommen hätten. Auch dann wäre die Geschichte nicht gut für Sie ausgegangen. Und außerdem mussten Ihre Ahnen zuvor eine erkleckliche Anzahl von Kriegen überstehen, Hungerwinter und Dürren aushalten und durften keiner Seuche zum Opfer fallen. Immer am Rande Ihrer Auslöschung entlang. Denn ein einziger Patzer hätte gereicht, und Sie wären nun nicht unter uns. Sagen Sie selbst: Vor diesem Hintergrund ist es doch mathematisch gesehen so etwas von unwahrscheinlich, dass Sie es tatsächlich ohne den kleinsten Ausrutscher in die Realität geschafft haben. Eigentlich praktisch unmöglich. Aber trotzdem halten Sie daran fest, existent zu sein. Bloß ... kann ein einzelner Mensch wirklich so viel Glück haben?

Jede Menge Gelegenheiten zum Scheitern

Nun, um Sie zu beruhigen: Er kann! Genau wie Sie haben auch alle anderen Menschen, die heute auf der Erde leben, ihr Dasein einer langen Reihe glücklicher Umstände zu verdanken. Und nicht nur jeder Einzelne. Die gesamte Menschheit hat unglaubliches Glück gehabt, dass der verworrene Weg vom Urknall vor 13,8 Mrd. Jahren bis ins Jetzt ausgerechnet zum *Homo sapiens* geführt hat. Wären die Ereignisse nur ein einziges Mal anders verlaufen, gäbe es niemanden von uns. Stattdessen würden womöglich ätherische Energiewesen diesen Teil der Raumzeit bevölkern oder schuppige Intellektuellen-Dinos in den Seiten eines anderen Buches blättern.

Gelegenheiten zum Scheitern hatte die Menschwerdung jedenfalls zur Genüge. Gleich am Anfang hätte alles schon zu Ende sein können, wenn aus dem Urknall dieselbe Menge Materie wie Antimaterie hervorgegangen wäre. In einem eindrucksvollen Feuerwerk hätten die beiden Kontrahenten sich gegenseitig ausgelöscht, und nichts wäre übrig geblieben außer reiner Energie. Ohne Materie aber keine Sterne, keine Planeten, kein Leben und kein Mensch. Unsere Geschichte wäre vorbei gewesen, bevor sie begonnen hat.

Doch wir haben Glück gehabt. Und das nicht nur einmal, sondern immer wieder. In einem guten Dutzend Fällen musste das Schicksal die Weichen richtig für uns stellen. Mitunter reichte es aus, die passenden Voraussetzungen zu schaffen und dann den Dingen ihren Lauf zu lassen – etwa mit den Werten der Naturkonstanten, die wie geschaffen

sind für ein reichhaltiges Universum mit allerlei physikalischen, chemischen und biologischen Kuriositäten. Einige Male durfte die Natur uns in kritischen Phasen nur nicht wieder alles kaputt machen – beispielsweise während des Großen Bombardements, als es Meteoriten vom Himmel regnete, während das Leben seine ersten chemischen Schritte wagte. Und dann war es wieder nötig, energisch zu unseren Gunsten einzugreifen und alles, was sich bis dahin etabliert hatte, auf den Kopf zu stellen – unter anderem, indem ein glücklicher Zufall die Dinosaurier kurzerhand ausrottete und Platz für putzige kleine Pelztierchen machte, die eigentlich überhaupt nicht wie zukünftige Herrscher der Erde aussahen.

Genau diese entscheidenden Momente in der Entwicklung des Universums, des Lebens und des Menschen sind Thema dieses Buches. Kapitel für Kapitel sehen wir uns die kritischen Augenblicke an, dank derer der Weg aus dem Nichts des Anbeginns schließlich zu uns geführt hat. Wir erleben Explosionen und Meteoritenhagel, Giftgasattacken und Massensterben, ewige Winter und tödliche Dürre, aber auch zündende Sterne und neues Leben. Kein Roman, kein Märchen und kein Blockbuster aus Hollywood bietet so viel Dramatik, so viel unendliches Leid, so viel Hoffnung und vor allem so viele ungelöste Rätsel wie unsere eigene Geschichte. Wir erfahren, was die Wissenschaft über die Gründe weiß – oder noch nicht weiß –, aus denen die Entwicklung so und nicht anders verlaufen ist. Und wir lernen einige der klugen Köpfe kennen, die hinter den Theorien stehen. Dabei lesen wir so Manches über ihre genialen Geistesblitze, kolossalen Irrtümer und liebenswerten Schrulligkeiten. Beispielsweise von dem Physiker, der mithilfe selbst

aufgestellter Gleichungen berechnen wollte, wie man am besten mit einer Frau flirtet. Von dem Geologen, den ein Crash berühmt machte und ein anderer Crash das Leben kostete. Und von dem Paläontologen, dem manche seiner besten Ideen kamen, wenn er sich infolge einer Chemotherapie übergeben musste.

13,8 Milliarden Jahre in 365 Tagen

Das alles ereignete sich innerhalb von 13,8 Mrd. Jahren – seit dem Urknall, mit dem alles anfing. Die Zahl ist so unheimlich groß, dass wir sie nur wirklich begreifen können, wenn wir sie mit alltäglichen Dingen aus unserer eigenen bescheideneren Erfahrungswelt vergleichen. Besonders beliebt sind in solchen Fällen kleine Gegenstände, die sich zu astronomischen Längen auftürmen. Legen wir beispielsweise 13,8 Mrd. 2-Euro-Münzen zu einer Kette hintereinander, wäre diese 355 350 km lang – und würde beinahe bis zum Mond reichen. Auch als Gewicht machen sich 13,8 Mrd. gut. In Form von Reiskörnern brächten sie 216 Tonnen auf die Waage – so viel wie 50 ausgewachsene Elefanten. Weil es sich bei unseren 13,8 Mrd. aber um eine Zeitspanne handelt, erhalten wir den besten Überblick, wenn wir bei der Zeit bleiben und sie einfach auf einen kürzeren Zeitraum umrechnen.

Beispielsweise ein Jahr. Wir quetschen die 13,8 Mrd. Jahre vom Urknall bis heute in 365 Tage und sehen, welches wichtige Ereignis an welchem Datum stattfinden würde (siehe Abb. 1).

Pünktlich am 1. Januar um Mitternacht entsteht dann das Universum in der gewaltigsten Explosion aller Zeiten. Selt-

X Glück gehabt!

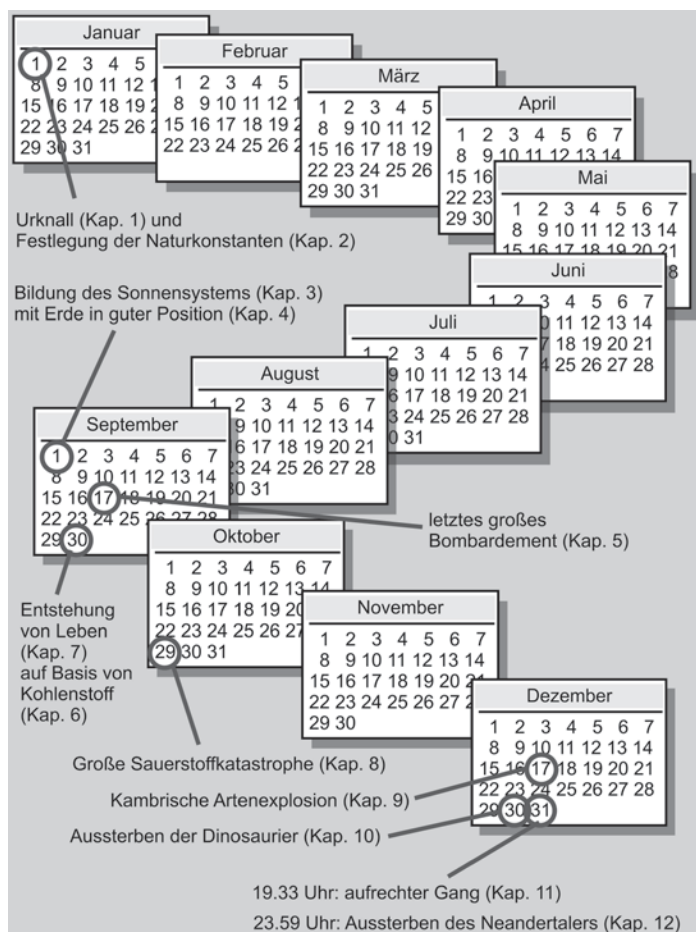


Abb. 1 Menschwerdung im Maßstab 13,8 Mrd. zu eins. Auf dem Weg vom Urknall zur einzigen Menschenform haben wir gleich zwölf Mal großes Glück gehabt, dass es uns überhaupt gibt. (© Olaf Fritsche)

samerweise bleibt dabei ein kleines bisschen mehr Materie als Antimaterie übrig, aus der in der Folge alles – wirklich alles – hervorgehen wird, was es im Kosmos gibt (Kap. 1). Die Naturkonstanten und die physikalischen Gesetze arrangieren sich zum Glück so, dass sie nichts einzuwenden haben gegen Sterne, Planeten und Leben. Das kommt vielen Wissenschaftlern verdächtig vor, denn eigentlich sollte ein strukturloses, langweiliges Universum viel wahrscheinlicher sein. Manche Kosmologen versuchen deshalb, das Dilemma mit Modellen zu lösen, die so abstrus erscheinen, als wären sie nicht von dieser Welt (Kap. 2).

In den folgenden Monaten probiert das Universum ausführlich mit Elementarteilchen, Atomen und Sternen herum. Die ersten Exemplare sind noch nicht sonderlich stabil und schleudern bei ihrem Tod große Mengen neuer chemischer Elemente in das Weltall. Zum Glück für uns, denn am 1. September ballt sich ein Teil davon zu einer Kugel zusammen, die unsere Sonne wird. Aus dem, was sie übrig lässt, formen sich die Planeten, darunter die Erde (Kap. 3). Im Gegensatz zu ihren Nachbarn hat sie einen besonders günstigen Platz gefunden, an dem es nicht zu heiß und nicht zu kalt ist (Kap. 4).

Aber ganz ohne Komplikationen läuft die Bildung eines Planetensystems nicht ab. Immer wieder gerät die Erde in einen großen Trümmerhaufen haushoher Krümel, die noch keinen Planeten gefunden haben. Am 17. September geht der letzte heftige Hagel nieder. Zum Glück fängt der Mond, der selbst bei einem ähnlichen Zusammenstoß entstanden ist, einen Teil der Brocken ab (Kap. 5). Erst nach dem Großen Bombardement ist es einigermaßen sicher auf der Erde,

und unsere Entwicklung kann aus der astrophysikalischen in die chemische Phase übergehen.

Um den 30. September herum ist es dann soweit: In einem stillen Winkel der jungen Erde finden sich ein paar seltsame Moleküle zusammen und starten ein chemisches Experiment, das bis zum heutigen Tag läuft (Kap. 7). Zum Glück hat sich der neue Zustand, den die Materie dabei einnimmt und den wir „Leben“ nennen, mit Kohlenstoff eine Grundlage ausgesucht, die so flexibel ist, dass sie vom Bakterium bis zum *Homo sapiens* alles mitmacht (Kap. 6).

Sonderlich klug geht das Leben aber schon in den ersten Tagen nicht vor. Einen knappen Monat später, am 29. Oktober, steht es kurz davor, sich selbst auszulöschen, weil eine neue Generation von Zellen einfach ihren Abfall in die Gegend pustet. Zum Glück finden andere Zellen rechtzeitig einen Weg, wie sie den giftigen Sauerstoff nicht nur tolerieren, sondern ihn sogar für die eigene Energieproduktion nutzen können (Kap. 8).

Danach geschieht eine ganze Weile lang erstaunlich wenig. Vermutlich sind die ständigen Eiszeiten daran schuld, dass es bis zum 17. Dezember dauert, bis das Leben in der Kambrischen Artenexplosion seiner Fantasie freien Lauf lassen kann (Kap. 9). Es ist der Startschuss für eine Artenvielfalt, die schließlich sogar das Land und die Luft erobert.

Die Situation spitzt sich schließlich kurz vor Jahresende dramatisch zu. Über mehrere Millionen Jahre hinweg haben die Dinosaurier alle lukrativen Posten auf der Erde fest in ihrer Hand. Bis sie am 30. Dezember um 6:44 Uhr von einer globalen Katastrophe hinweggefegt werden und Platz machen für die aufstrebenden Säugetiere (Kap. 10).

Für die nächsten Stunden sieht es nicht so aus, als würde sich eine spezielle Gruppe von Säugern besonders hervortun. Jede Art kuschelt sich in ihrer persönlichen Nische ein und ist zufrieden, wenn sie nicht dem ständig wechselnden Klima zum Opfer fällt. Doch insgeheim bahnt sich eine entscheidende Wendung an, die am 31. Dezember um 19:33 Uhr sichtbar wird. Die Frage, ob es zukunftssicherer ist, weiterhin auf allen Vieren durch die Bäume zu hangeln oder auf zwei Beinen über die freien Ebenen zu laufen, spaltet die Vorfahren der Menschenaffen und des Menschen voneinander (Kap. 11). Damit sind die Würfel endgültig gefallen. Nach einigem Hin und Her von verschiedenen Menschenarten stirbt um 23:58 Uhr und 51,6 s, nur ganz knapp vor Mitternacht, der Neandertaler aus. Ohne seinen letzten Konkurrenten ist der *Homo sapiens* zum ersten Mal der alleinige Herrscher auf Erden (Kap. 12). Glück gehabt!

Aber reicht Glück alleine aus, um diesen Platz mehr als ein paar Jahrtausende zu halten?

Inhalt

Einmal Universum mit Menschheit zum Hierleben, bitte!	V
1 Die Welt fängt schon unfair an	1
2 Auf den Punkt menschenfreundlich	21
3 Ein Platz an der Sonne – welche Sonne?	43
4 In gebührender Distanz	63
5 Mit Bodyguard und Türsteher	83
6 Der Stoff, aus dem das Leben ist	105
7 Ein Hauch von geordnetem Chaos	125
8 Giftgasanschlag auf das Leben	149
9 Achtung, fertig ... los!	171
10 Der König ist tot! Es lebe der König!	191
11 Kopf hoch!	207

12	Es kann nur einen geben!	227
-----------	---------------------------------------	------------

	Gestern, heute ... und morgen?	253
--	---	------------

	Index.	259
--	--------------------	------------

1

Die Welt fängt schon unfair an

Der Mensch war lange noch nicht in Sicht, da stand seine Existenz schon auf Messers Schneide. Als das Universum, die Zeit, der Raum und der ganze Rest vor rund 13,8 Milliarden Jahren entstanden sind, hätte eigentlich sofort wieder Schluss sein müssen mit dem Kosmos. Doch aus irgendeinem unerfindlichen Grund ging aus dem Anbeginn der Welt damals ein gutes Maß mehr Materie als Antimaterie hervor. Ohne diese Bevorzugung hätte es keine Atome gegeben, keine Sterne, keine Planeten und natürlich keine Menschheit. Glück gehabt!

Ausgerechnet Albert Einstein wollte den Anfang des Universums nicht wahrhaben. Doch als der Physiker mit den wilden Haaren und den nicht minder wilden Ideen seine Gleichungen im Jahr 1917 auf das gesamte Weltall anwandte, war es um den Kosmos geschehen. Den Formeln der Allgemeinen Relativitätstheorie zufolge war der Weltraum schlichtweg zu schwer, um auf Dauer zu existieren. All die Planeten, Sterne und Galaxien hätten schon längst unter der Wirkung ihrer Schwerkraft auf einen gemeinsamen Punkt zusteuern und in einem gigantischen Crash zusammenstoßen müssen. Die Welt, so wie Einstein sie kannte, hätte es gar nicht geben dürfen. Theoretisch.

In der Praxis war sich Einstein durchaus bewusst, dass der Kosmos – mitsamt ihm selbst – entgegen seinen eigenen Berechnungen durchaus existierte. Wie die meisten seiner Zeitgenossen war er sogar überzeugt, dass das Universum schon immer so war und auf Dauer auch bleiben würde. Der Kosmos war nach damaliger Ansicht ewig und statisch. Ein Weltall mit Ende – und daher zwangsläufig auch mit einem Anfang – war dem revolutionären Querdenker, der keine Schwierigkeiten damit hatte, in seinen Theorien Raum und Zeit zu verbiegen, schlichtweg zu abstrus. Um seine Rechnung mit der offensichtlichen Realität und der eher intuitiven Ewigkeitsvermutung in Einklang zu bringen, griff Einstein deshalb auf einen kleinen Trick zurück: Er postulierte eine „kosmologische Konstante“, die als abstoßende Kraft das Gegengewicht zur Gravitation darstellte und gerade so groß war, dass im Universum alles im schönen, dauerhaften Gleichgewicht blieb. Schon passte die Formel wieder. Einstein war zufrieden und die Ewigkeit gerettet. Vorerst.

Aber schnell stellte sich heraus, dass die kosmologische Konstante von Beginn an eine lahme Ente war. Edwin Hubble und andere Astronomen entdeckten Mitte der 1920er Jahre, dass sich die Galaxien im Universum voneinander entfernten und der Raum selbst sich daher ausdehnen musste. Der Kosmos konnte folglich nicht statisch sein. Und er war auch nicht ewig, wie der belgische Priester und Astrophysiker Georges Lemaître 1927 nachwies, indem er gedanklich die Expansion rückwärts ablaufen ließ. Ging man dabei ausreichend weit zurück in die Vergangenheit, dann musste alles – das gesamte Weltall mitsamt dem Raum und allem darin – einst in einem gemeinsamen Punkt

vereint gewesen sein. Aus diesem „Uratom“, wie Lemaître es nannte, war dann das Universum hervorgegangen.

Die Vorstellung von einem Universum, das gewissermaßen aus dem Ei schlüpft, hatte es anfangs im Kreise seriöser Wissenschaftler nicht leicht. Einen Urknall oder Big Bang mochte sich kaum jemand ernsthaft vorstellen. Dann schon lieber einen ewig wachsenden Kosmos, in dem zwar immer mehr Materie entsteht, der aber niemals wirklich klein war. Diese Idee hatte als Steady-State-Theorie weitaus mehr Anhänger als das Urknallmodell. Doch das Bild änderte sich, als die Radioastronomen Arno Penzias und Robert Wilson 1965 das Echo des Urknalls auffingen. Die Mikrowellenstrahlung, die aus allen Richtungen auf die Erde fällt, war beim besten Willen nicht mit einem Steady-State-Modell zu erklären. Beim Big Bang entstand sie hingegen zwangsläufig als langgezogener Rest der Strahlungsenergie, die zu Beginn des Urknalls entstanden war. Kopfschüttelnd strich Einstein die kosmologische Konstante wieder aus seiner Gleichung und bezeichnete den Kunstgriff als die „größte Eselei seines Lebens“. Das ewige Universum war tot – es lebte der Urknall.

Die neue Frage aller Fragen war aber: Wie konnte aus dem Nichts das Alles entstanden sein?

Am Anfang war ... etwas Unbeschreibliches

Um den Beginn der Welt, den Anfang von Allem, die Entstehung des Universums zu beschreiben, wäre es eigentlich sinnvoll, ganz vorne zu beginnen. Und als Autor dieses Bu-

ches hätte ich Ihnen gerne erzählt, wie aus einem Nichts, das so absolut war, dass es nicht einmal leeren Raum oder einen kosmischen Richtungsgeber wie die Zeit gab, urplötzlich der Kern für das zukünftige Weltall erschien. Welche Kräfte diesen Keim ins Leben riefen. Warum er ausgerechnet so und nicht anders ins Dasein trat. Das Problem ist nur: Wir wissen so gut wie nichts über den allerersten Moment des Universums. Nicht nur fehlen mir die Worte, vor allem fehlen der Wissenschaft bewährte oder auch nur überprüfbare Ideen, wie alles angefangen haben könnte. Wenn es um den frühesten Augenblick des Universums geht, tapen wir gegenwärtig sprichwörtlich im Dunkeln.

Denn Licht aus dieser Zeit können wir selbst mit den größten Teleskopen nicht auffangen. Es sollte noch Hunderttausende Jahre dauern, bis die ersten Lichtstrahlen das Weltall durchzogen. Darum bleiben uns nur Theorien und Berechnungen um herauszufinden, was damals geschah. In der Regel ist die Allgemeine Relativitätstheorie zuständig für Aufgaben mit kosmischen Ausmaßen. Sie beherrscht das Spiel mit großen Massen, die Planeten und Sterne auf ihre Bahnen zwingen, Galaxienhaufen und Superstrukturen zusammenhalten und Schwarze Löcher formen, in denen alle unglückliche Materie verschwindet, die ihnen unvorsichtigerweise zu nahe kommt. Die Allgemeine Relativitätstheorie sollte uns verraten, was passiert, wenn die Masse des gesamten Weltalls auf einen unendlich kleinen Punkt konzentriert ist, wie wir es uns für den Ursprung der Welt vorstellen. Wenn es um das Geschehen im Kleinsten geht, mischt sich aber sofort die Quantenphysik als Platzhirsch ein. Sie umfasst die Regeln, nach denen sich die Bausteine der Materie zusammensetzen, und beschreibt die Elementarteilchen, aus

denen letztlich vom Atom bis zum Pottwal und Petunientopf alles besteht. Beide Theorien – Relativität und Quantenphysik – werden zu den ausgefeiltesten Theorien der gesamten Naturwissenschaft gezählt. Beide Theorien haben zahllose experimentelle Tests über sich ergehen lassen und souverän bestanden, sodass praktisch kein ernstzunehmender Wissenschaftler mehr an ihnen zweifelt. Beide Theorien müssten gemeinsam die Zustände am Beginn des Universums berechnen können ... wenn sie sich denn miteinander vertragen würden. Aber allen Bemühungen der Theoretiker zum Trotz weigern sich Relativität und Quantenphysik, ihre Formeln zu neuen Gleichungen zu vereinen, die unter den extremen Bedingungen des Anfangs gültig bleiben. Kurz vor dem entscheidenden Moment in der Geschichte des Kosmos verabschieden sich die Theorien ins Unsinnige und lassen die ratlosen Wissenschaftler allein zurück.

Was ganz am Anfang war, wissen wir daher nicht, weil uns noch die passende Theorie fehlt. Wir wissen nur, dass es unvorstellbar, unbeschreibbar und eben unberechenbar war. Doch so schnell geben die Wissenschaftler nicht auf. Sie suchen weiter nach einer funktionierenden Theorie, und weil sie dabei schlecht vom „komischen Dingsbums von damals“ oder „Du-weißt-schon-was“ reden können, haben sie dem Unberechenbaren einen Namen gegeben, der ausgesprochen wissenschaftlich klingt, als hätten sie das Phänomen dahinter vollkommen im Griff. Sie nennen den Zustand zum Zeitpunkt Null – eine Singularität.

Motiv für den Urknall: unbekannt

Wie lange sich die Singularität vor Beginn des Universums ihrer Rätselhaftigkeit erfreute, ist ungewiss, denn so etwas wie Zeit existierte zu Beginn vermutlich noch nicht. Nur eines ist sicher: Es war nicht für ewig. Vor 13,8 Mrd. Jahren ereignete sich schließlich etwas Folgenschweres in diesem zeitlosen Mysterium. Etwas, das alles mit einem großen Wumms! verändern sollte. Etwas, dem wir es verdanken, dass es ein Universum, Galaxien, Sterne, Planeten, Leben – und uns – gibt. Etwas, das wir Urknall nennen.

Was den Urknall ausgelöst hat, ist ebenso unbekannt wie der Zustand, den er gesprengt hat. Manche Wissenschaftler mutmaßen, dass zwei „Branen“ genannte dreidimensionale Abschnitte einer mehrdimensionalen Struktur miteinander kollidiert sind und der Urknall gewissermaßen eine Art kosmischer Blebschaden ist. Andere glauben, in einer übergeordneten Ebene würden ständig Universen per Urknall entstehen wie Blasen in einer geöffneten Sprudelflasche. Und wieder andere meinen, dass derartige abstrakte Gedankenspielerien reine Zeitverschwendung seien, weil es extrem schwierig sein dürfte, eines der Modelle zu beweisen oder zu widerlegen, und diese damit den wissenschaftlichen Wert von fliegenden Spaghettimonstern oder unsichtbaren rosafarbenen Einhörnern haben.

Zum Glück ist der Blackout unserer Theorien aber bereits sehr kurz nach dem Start des Urknalls beendet, sodass wir lediglich die ersten 0,000 000 000 000 000 000 000 00 0000 000 000 000 000 000 1 s verpassen. Diese Zeitspanne vom Zehnmillionstel Milliardstel Milliardstel Milliardstel Milliardstel Teil einer Sekunde – oder in wissenschaftlicher

Schreibweise: 10^{-43} s – entspricht grob der sogenannten Planck-Zeit und stellt in der Quantenphysik die kleinste Zeiteinheit dar, mit der ihre Formeln arbeiten können. Diese Planck-Zeit ist gewissermaßen der Taktgeber der Wissenschaft und bezogen auf eine volle Sekunde sehr viel kleiner als ein einzelnes Wassermolekül im Vergleich zu den Wassermassen alle Weltmeere zusammen und weniger als ein Stecknadelkopf im Verhältnis zum Durchmesser des bekannten heutigen Universums. Die Planck-Zeit ist damit so unglaublich klein, dass nur ein besonders pedantischer Forschergeist überhaupt bemerkt, dass wir den eigentlichen Start des Urknalls verpassen. Für uns normale Hobbywissenschaftler setzen die Gesetze der Physik dagegen praktisch sofort ein.

Die dramatischste Sekunde aller Zeiten

Nach 10^{-43} s war das Universum also endlich so weit entwickelt, dass es sich mit unseren wissenschaftlichen Theorien beschreiben ließ. Allerdings nur mathematisch, denn die damaligen physikalischen Zustände wie der herrschende Druck und die Temperatur lagen weit außerhalb jeglicher apokalyptischer Hollywood-Szenarien. Immerhin dürfen wir davon ausgehen, dass es nun endlich Raum und Zeit gab. Nicht viel, denn das Universum war anfangs absolut winzig, sehr viel kleiner als ein Atom oder auch nur der Kern eines Atoms. Außerdem existierten weder Atome noch ihre Kerne. Alles war Energie, und das Universum war höllisch heiß. Die Temperatur lag wohl um die 10^{32} Grad

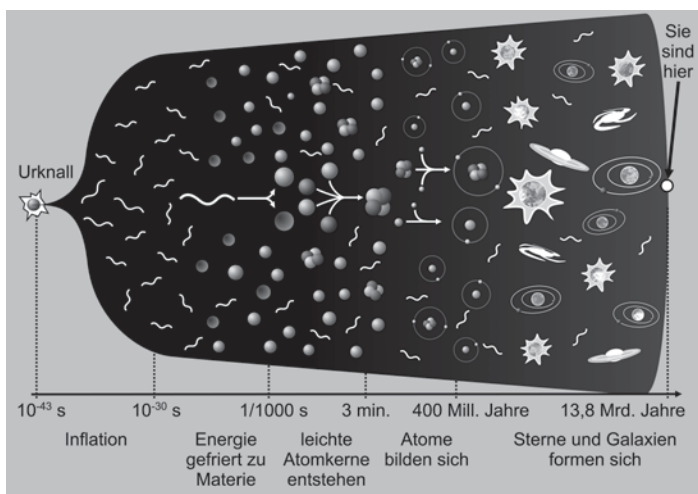


Abb. 1.1 13,8 Mrd. Jahre Universum auf einen Blick. Kurz nach dem Urknall dehnte der Kosmos sich dramatisch aus und schaffte Raum für die Materieteilchen, die sich in den nächsten Jahrtausenden bildeten. Erst danach entstanden Sterne, Planeten und Galaxien. (© Olaf Fritsche)

Celsius, was einer 1 mit 32 Nullen entspricht. Im Vergleich dazu ist das Innere der Sonne mit lediglich 15,6 Mio. Grad (rund 10^7 Grad) ein ausgesprochen kühles Plätzchen.

Die Ereignisse, die nun folgten, standen solchen gigantischen Zahlen aber in nichts nach (siehe Abb. 1.1). Innerhalb der nächsten rund 10^{-30} s blähte sich das Universum gewaltig auf. Eben noch winziger als alle Strukturen, die der Mensch selbst mit den stärksten Mikroskopen gerade sichtbar machen kann, hatte es den quintillionsten Bruchteil einer Sekunde später die Größe einer Orange erreicht. Nie zuvor und niemals danach war eine Explosion heftiger gewesen. Nicht der Inhalt des Universums flog in alle

Richtungen, sondern der Raum selbst dehnte sich aus. Mit einem Vielfachen der Lichtgeschwindigkeit expandierte er und riss alles in seinem Inneren mit sich.

Das hatte ernsthafte Konsequenzen. Während dieser Phase, die Kosmologen als Inflation bezeichnen, kühlte das Universum dramatisch ab, weil sich die Energie auf ein immer größeres Volumen verteilen musste. Dabei wurden minimale Schwankungen in der Energiedichte, die sich ohne Expansion sofort wieder ausgeglichen hätten, so sehr aufgebläht, dass sie nicht mehr auszubügeln waren. Wie beim Aufblasen eines billigen Luftballons zeigten sich in der Energieverteilung Streifen und Schlieren. Das Universum war trotz seiner Jugend faltig geworden. Und obendrein bekam es Pusteln aus Materie.

Wenn Energie gefriert

Bis hierhin war das Universum ausschließlich mit Energie in Form von intensiver Strahlung gefüllt. Als diese sich ausdünnte, machten Teile von ihr eine überraschende Veränderung durch: Sie gefroren zu Materie.

Die Erklärung für diesen Vorgang finden wir in der Speziellen Relativitätstheorie. Nach der berühmten Gleichung $E = mc^2$ sind Energie (E) und Materie (hier durch ihre Masse m repräsentiert) ineinander umwandelbar und damit eigentlich zwei Seiten der gleichen Medaille. Die Lichtgeschwindigkeit c ist in dieser Formel nur ein Faktor, der dafür sorgt, dass die Zahlenwerte und Einheiten auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens zueinander passen. Energiepakete mit der richtigen Größe lassen sich nach dieser For-

mel in Teilchen verpacken, so wie Luftfeuchtigkeit im Winter zu Schneeflocken gefriert. Bei zu hohen Temperaturen sind allerdings weder Schneeflocken noch Materieteilchen lange haltbar. Unmittelbar nach dem Urknall zerstrahlte die Materie deshalb augenblicklich wieder. Bei den rasch sinkenden Temperaturen während der Inflation gelang es aber einer zunehmenden Zahl von Teilchen, immer länger am Leben zu bleiben. Zuerst waren es nur Quarks, Gluonen und verschiedene Bosonen – Elementarteilchen, die sich heutzutage im Kern der Atome verstecken oder nach kurzer Zeit wieder ausgestorben sind. Wenig später kamen auch Elektronen und deren exotischere Verwandte wie Myonen und Neutrinos hinzu. Schnell bevölkerte den Kosmos ein ganzer Zoo von Teilchen, die entstanden und vergingen, sich ineinander umwandelten und jedes für sich seinem eigenen Weg folgte.

Es dauerte eine tausendstel Sekunde, bis die ersten Materieteilchen ihr Einzelgängerdasein aufgaben und kleine Grüppchen formten. Jeweils drei Quarks fanden sich zu Protonen und Neutronen zusammen, den Bausteinen unserer heutigen Atomkerne. Aber erst nach einer Minute hatte sich das Universum so weit abgekühlt, dass sich Protonen und Neutronen zu kleinen Atomkernen zusammenlagern konnten, ohne gleich wieder auseinandergerissen zu werden. Bei dieser primordialen, also „ursprünglichen“ Nukleosynthese entstanden die ältesten Elemente: zu 75 % Wasserstoff und etwa ein Viertel Helium, dazu geringe Mengen Lithium. Drei Minuten nach dem Urknall war das Starterpaket für ein Universum mit allem fertig geschnürt.

Aus Körnchen werden Galaxien

Eine Live-Schaltung in diese Ära des Kosmos hätte sich allerdings kaum gelohnt, denn zu sehen gab es damals nichts. Das Weltall war schlichtweg nicht durchsichtig, weil frei herumfliegende Elektronen alles Licht schluckten. Die Spezial-Sendung hätte geschlagene 300 000 Jahre laufen müssen, bis sich auf dem Monitor langsam die ersten Bilder des neuen Universums abgezeichnet hätten. Durch die andauernde Expansion des Raums war die Temperatur dann so weit gesunken, dass die frisch erschaffenen Atomkerne die freien Elektronen auf enge Bahnen zwingen und schließlich vollends einfangen konnten. An ihre neuen Herren gebunden, konnten die Elektronen nicht mehr jedes beliebige Photon aufnehmen, sondern mussten das meiste Licht unbehelligt ziehen lassen, sodass es im Weltall allmählich aufklarte.

Und zu sehen war ... Nebel. Ein Nebel, der immerhin nicht nur englische Astronomen entzückt hätte, sondern Liebhaber wachsender Galaxien auf der ganzen Welt. Der Nebel zu Beginn der Materie-Ära war nämlich keineswegs absolut gleichmäßig verteilt, sondern ein wenig klumpig. Schuld daran waren die geringen Dichteschwankungen aus der Inflationsphase, die nun gewaltig aufgeblasen waren und sich zunehmend bemerkbar machten. Mit ihrer Schwerkraft zogen sich die Teilchen in den dichteren Bereichen gegenseitig an und formten Materiewolken, zwischen denen später große Leerräume gähnten. Der Zusammenhalt durch die Gravitation war so stark, dass sich die Wolken sogar aus der allgemeinen Ausdehnung des Kosmos ausklinkten und sich stattdessen gegen den Trend

kontrahierten. Neben der normalen Materie war auch die rätselhafte Dunkle Materie an dem Prozess beteiligt, von der wir gerade einmal wissen, dass es von ihr fünfmal so viel wie herkömmliche Materie gibt und sie deshalb für einen Großteil der Gravitation verantwortlich ist, die Galaxien und Galaxienhaufen zusammenhält. Woraus Dunkle Materie besteht, wie und wann sie entstanden ist und ob sie vielleicht nach Vanille duftet, steht noch in den Sternen. Denn nur mithilfe der Dunklen Materie kollabierten die Gaswolken schließlich so weit, dass drei oder vier Millionen Jahre nach dem Urknall die ersten Sterne ihr Fusionsfeuer entzünden konnten (siehe Kap. 3). Das Universum hatte endlich begonnen zu funkeln.

Aber das war nur die halbe Wahrheit ...

Auf das Wesentliche konzentriert

Die andere Hälfte ist eine Geschichte zweier ungleicher Zwillinge, die einander bis auf den Tod bekämpft und sich gegenseitig ins Verderben gerissen haben. Der Schaden, den sie dabei anrichteten, war größer als in allen Teilen von „Stirb langsam!“, „Rambo“ und den „Blues Brothers“ zusammen. Und trotzdem hatten erst der Tod des einen und die fast vollständige Vernichtung des anderen unsere eigene Existenz möglich gemacht. Doch davon hatte die Menschheit nichts geahnt, bis 1928 einer der genialsten und zugleich merkwürdigsten Wissenschaftler aller Zeiten mit einigen Gleichungen der Relativitätstheorie herumspielte.

Sich mit Paul Dirac zu unterhalten, war Zeit seines Lebens nicht einfach. Am liebsten arbeitete der britische Phy-