





MARCUS CHOWN

# **Das Universum und das ewige Leben**

Neue Antworten auf elementare Fragen

Aus dem Englischen von  
Friedrich Griese

Deutscher Taschenbuch Verlag



Deutsche Erstausgabe

März 2009

Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG,

München

© 2007 Marcus Chown

Titel der englischen Originalausgabe: 'The Never-Ending Days of Being Dead.

Dispatches from the Frontline of Science' (Faber and Faber, London 2007)

[www.dtv.de](http://www.dtv.de)

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Sämtliche, auch auszugsweise Verwertungen bleiben vorbehalten.

Umschlagkonzept: Balk & Brumshagen

Umschlagbild: Tullio Pericoli/Margarethe Hubauer Illustration

Redaktion und Satz: Lektyre Verlagsbüro, Olaf Benzinger, Germering

Gesetzt aus der Bembo 10,5/13'

Druck und Bindung: CPI – Ebner & Spiegel, Ulm

Gedruckt auf säurefreiem, chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany · ISBN 978-3-423-24712-2

# Inhalt

Vorwort: Letzte Fragen, letzte Antworten . . . . .	7
ERSTER TEIL: Die Natur des Universums . . . . .	11
1 Elvis lebt . . . . .	13
2 Der kosmische Computer . . . . .	38
3 Das Jojo-Universum . . . . .	62
ZWEITER TEIL: Die Natur der Realität . . . . .	91
4 Rettung der Realität . . . . .	93
5 Keine Zeit wie die Gegenwart . . . . .	116
6 Gottes Zahl . . . . .	130
7 Muster in der Leere . . . . .	159
8 Das Massenmedium . . . . .	182
DRITTER TEIL: Das Leben und das Universum . . . . .	207
9 Ein Alien auf meinem Tisch . . . . .	209
10 Die Botschaft am Himmel . . . . .	226
11 Reise ans Ende der Physik . . . . .	237
Nachwort: Die letzte Frage . . . . .	277
Glossar . . . . .	279
Danksagung . . . . .	312
Vorschläge zur weiteren Lektüre . . . . .	313
Namenregister . . . . .	317



## **Vorwort: Letzte Fragen, letzte Antworten**

Wir haben einen weiten Weg hinter uns. Einst glaubten wir, die Welt ruhe auf dem Rücken einer Schildkröte und die Sonne sei eine Kugel aus geschmolzenem Eisen, »nicht viel größer als Griechenland«. Jetzt haben wir eine Theorie über kleine Dinge wie Atome – die Quantentheorie –, die uns nicht nur erklärt, warum die Sonne scheint und der Boden unter unseren Füßen fest ist, sondern uns auch Dinge wie Laser, Kernreaktoren und iPod-Nanos geschenkt hat. Außerdem haben wir eine Theorie über große Dinge wie das Universum als Ganzes – Einsteins allgemeine Relativitätstheorie –, aus der sich ergibt, dass es Schwarze Löcher gibt und einen Anfang der Zeit.

Noch weiß man nicht, wie die Theorie des Kleinen mit der Theorie des Großen zusammenpasst – daran arbeiten die Theoretiker noch –, aber das ist nicht wichtig. Entscheidend ist, dass frühere Generationen sich für das Wissen, das wir heute von der Welt haben, die Beine ausgerissen hätten. Es ist wirklich ein Vorzug, heute zu leben. Zum ersten Mal in der Geschichte haben wir eine brauchbare Vorstellung von der Größe des Universums – wir können bis zum »Lichthorizont« schauen, der die Grenze des beobachtbaren Raums darstellt –, und wir haben eine brauchbare Vorstellung vom Inhalt des Universums: Wir können die Bausteine des Kosmos zählen, rund hundert Milliarden Galaxien wie unsere Milchstraße. Und wir haben nicht nur eine Vorstellung von der Größe und dem Inhalt des Universums, sondern auch einen guten Anhaltspunkt dafür, wie es entstanden ist.

Das Universum ging vor rund 13,7 Milliarden Jahren aus einer riesigen Explosion hervor, dem Urknall, und seitdem dehnt es sich aus und kühlt sich ab. Unsere Milchstraße und die ande-

ren Galaxien haben sich einfach aus den sich abkühlenden Trümmern des Urknall-Feuerballs gebildet.

Zugegeben, wir wissen noch nicht genau, was der Urknall war, was ihn antrieb oder was vor dem Urknall war (und ob das überhaupt eine sinnvolle Frage ist). Das Bemerkenswerte ist aber, dass wir die erste Generation sind, die eine realistische Chance hat, solche »letzten Fragen« zu beantworten. Und nicht nur diese letzten Fragen, sondern auch eine Fülle anderer:

- Was ist hinter dem Rand des Universums?
- Woher rührt die Komplexität, die wir ringsum beobachten?
- Welches sind die Grenzen dessen, was wir »wissen« können?
- Kann das menschliche Gehirn mehr als ein Computer?
- Woher kommt die Alltagswelt?
- Warum erleben wir Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft?
- Warum sind volle Kühlschränke schwer zu verrücken?
- Werden wir jemals ET im Universum finden?
- Kann das Leben im Universum endlos weiterbestehen?

Auf all diese Fragen werde ich in diesem Buch eingehen. Um sie zu beantworten, habe ich mit einfallsreichen und mutigen Wissenschaftlern gesprochen. Aus ihren Antworten können Sie zum Beispiel erfahren, dass der Urknall die Folge eines Zusammenpralls zwischen »Inseluniversen« gewesen sein könnte; dass die Antwort auf jede Frage, die wir stellen können, in einer einzigen bemerkenswerten Zahl enthalten ist; dass sich aus der anerkanntesten Theorie über den Ursprung des Universums ergibt, dass Elvis in einem anderen Raumbereich (ja, sogar in unendlich vielen anderen Raumbereichen) putzmunter ist; dass niemand die Möglichkeit ausschließen kann, dass die Sterne technische Schöpfungen außerirdischer intelligenter Wesen sind; dass nur vier Befehlszeilen eines Computerprogramms ausreichen könnten, um Sie und mich und alles, was wir um uns sehen, zu erzeugen; und dass wir alle am Ende der Zeit in einer Computersimulation wieder auferstehen könnten.



Die letztgenannte Möglichkeit war bestimmend für den Argumentationsstrang dieses Buches. Ein umstrittener Physiker vertritt die These, dass wir, wenn wir sterben, im Schnellvorlauf in die letzten Tage des Universums befördert werden, um dort innerhalb der letzten Cyberrealität aufzuwachen. Dann liegt eine subjektiv endlose Zeit des Daseins vor uns – die niemals endenden Tage des Totseins.\*

Dass ich mich mit diesen letzten Fragen befasse, liegt einfach daran, dass sie mich persönlich faszinieren. Sie berühren jedoch Themen, in denen vieles zusammenkommt. Deshalb habe ich sie zu geeigneten Gruppen zusammengefasst. Die Antworten auf eine erste Gruppe von Fragen werfen Licht auf die »Natur des Universums«; dazu gehören etwa die Fragen »Was ist hinter dem Rand des Universums?« oder »Woher rührt die Komplexität des Universums?«. Zweitens gibt es Fragen, deren Antworten die »Natur der Realität« erhellen: »Woher kommt die Alltagswelt?« und »Warum erleben wir eine Gegenwart?« Schließlich gehe ich auf Fragen ein, in denen nach der Stellung des Lebens (und der Menschen) im Universum gefragt wird, zum Beispiel »Werden wir jemals ET finden?« und »Kann das Leben im Universum endlos weiterbestehen?«.

Die letzten Fragen, denen ich mich widme, mögen auf den ersten Blick abstrakt und esoterisch erscheinen. Solche Fragen haben es jedoch an sich, dass sie für unser prosaisches Alltagsleben bedeutsam sind. Die Frage »Woher kommt die Alltagswelt?« ist ja für jeden von uns elementar. Und auch bei der esoterischsten meiner Fragen – »Enthält eine einzige Zahl das Geheimnis des Universums?« – zeigt sich, dass sie für die Entstehung der menschlichen Phantasie und Kreativität und für das Problem, ob das Gehirn mehr kann als ein Computer, von Belang ist. Das liegt im Wesen der fortgeschrittensten Wissenschaft. Letztlich geht es um reale Dinge, die uns allen wichtig sind: Woher kommen wir? Wie ist das Universum entstanden? Was, zum Teufel, tun wir hier?

---

\* Ich beziehe mich hier auf Jim Crace und seinen glänzenden Roman *Being Dead*.

Eine letzte Bemerkung. Die von mir vorgetragenen Antworten sind nicht zwangsläufig miteinander verknüpft. So geht es nun einmal in der fortgeschrittenen Wissenschaft zu. Manche Ideen sind so neu, dass sie noch keinen Eingang in den Korpus der anerkannten Wissenschaft gefunden haben. Einige werden sich bewähren, andere nicht. Es sind sogar Fragen darunter, die sich gegenseitig ausschließen. Alle letzten Fragen sind schwierige Fragen, die schwierigsten sind immer die interessantesten. Sie zu beantworten, muss man sich in den vordersten Grenzbereich der Wissenschaft begeben, ja, sogar weit darüber hinausgehen. Viel Spaß!

Marcus Chown

ERSTER TEIL

# Die Natur des Universums



# I Elvis lebt

## Was ist hinter dem Rand des Universums? Eine Unzahl anderer Bereiche, in denen sich alle möglichen Geschichten abspielen

Zunächst einmal ... muss man sich  
darüber klarwerden, dass parallele  
Universen nicht parallel sind. Des  
Weiteren sollte man sich darüber  
klarwerden, dass sie streng genommen  
auch keine Universen sind.

Douglas Adams, *Per Anhalter durch die Galaxis*

Weit weg von hier, in einer Galaxie, die der Milchstraße nahezu gleich aussieht, befindet sich ein Stern, der eine große Ähnlichkeit mit der Sonne hat. Diesen Stern umkreisen Planeten, und auf dem dritten lebt jemand, der genauso aussieht wie Ihr eineiiger Zwilling. Er sieht nicht nur genauso aus wie Sie, sondern liest auch genau dieses Buch, ja, seine Aufmerksamkeit konzentriert sich auf genau diese Zeile. – In Wirklichkeit ist es unheimlicher, sogar noch sehr viel unheimlicher. Es gibt unendlich viele Galaxien, die genau wie unsere Galaxie aussehen und unendlich viele Versionen von Ihnen enthalten, deren Leben bis zu diesem Moment absolut mit Ihrem Leben identisch waren.

Wenn Sie das für schiere Science-Fiction halten, sollten Sie es noch einmal überdenken. Die Existenz Ihrer Doppelgänger ist kein Hirngespinnst. Sie ist eine unabwendbare Folgerung aus der Standardtheorie über unser Universum – eine Folgerung, die

durchaus nicht verstiegen ist. Wenn Sie weit genug im Universum herumkommen, müssen Sie zwangsläufig irgendwann einem Ihrer Doppelgänger begegnen. Man kann sogar beziffern, wie weit Sie reisen müssen, um Ihren nächsten Doppelgänger zu treffen. Es sind grob gerechnet  $10^{10^{28}}$  Meter (sprich: 10 hoch 10 hoch 28).

Die Zahl  $10^{10^{28}}$ , in der wissenschaftlichen Notierung  $10^{28}$ , ist eine Eins, gefolgt von 28 Nullen, und das sind zehn Milliarden Milliarden Milliarden.  $10^{10^{28}}$  ist demnach die Potenz einer Zahl mit zehn Milliarden Milliarden Milliarden Nullen. Das ist eine ungeheuer große Zahl. Die ihr entsprechende Entfernung geht weit über die äußersten Grenzen dessen hinaus, was mit den größten und stärksten Teleskopen erkundet werden kann. Aber lassen Sie sich nicht von der Größe der Zahl irritieren. Es geht nicht darum, dass Ihr nächster Doppelgänger wahnsinnig weit von der Erde entfernt ist. Wichtig ist, dass Sie überhaupt einen Doppelgänger haben.

Worin Sie soeben eingeweiht wurden, ist das peinliche kleine Geheimnis der Kosmologie. In der Öffentlichkeit reden die Kosmologen nur selten davon. Man kann es ihnen kaum verdenken. Doch weshalb ergibt sich aus der Standardtheorie des Universums eine so außergewöhnliche Folgerung? Aus zwei Gründen. Der eine ist die »Quantentheorie«, unsere beste Beschreibung des mikroskopischen Bereichs der Atome und ihrer Bestandteile. Der andere ist eine beliebte Theorie über den ersten Sekundenbruchteil der Existenz des Universums, die so genannte »Inflation«.

### **Schwachpunkte der gängigen Urknalltheorie**

Das Standardmodell des Urknalls muss von den Kosmologen um die Inflation erweitert werden, weil es sonst, offen gesagt, nicht funktioniert. Es sagt Dinge voraus, die wir nicht entdecken, wenn wir uns im Universum umschauchen. Folgt man dem Standardmodell, ist unser Universum vor rund 13,7 Milliarden Jah-

ren aus einem dichten, heißen Zustand hervorgegangen und hat sich seitdem ausgedehnt und abgekühlt. Den Hauptbeweis liefern die Galaxien, große Sternhaufen, unter denen unsere Milchstraße einer von mindestens hundert Milliarden ist. Sie stieben auseinander wie die Kugeln einer kosmischen Schrapnellgranate. Daraus muss man folgern, dass sie einmal näher beieinander waren. Wenn man sich vorstellt, dass die Expansion des Universums wie in einem umgekehrt abgespielten Film rückwärts verläuft, gelangt man an einen Punkt vor rund 13,7 Milliarden Jahren, an dem die gesamte Materie des Universums in einem winzigen Volumen zusammengepresst war. Das war der Moment, in dem das Universum geboren wurde – der Urknall.

Alles, was auf ein kleines Volumen zusammengepresst wird, beispielsweise die Luft in einer Fahrradpumpe, wird heiß. Der Urknall war daher ein »heißer« Urknall. Den Beweis dafür finden wir ringsum, denn die Hitze des Urknalls war im Universum eingesperrt und konnte nicht entweichen. Deshalb ist jede Pore des Alls bis heute von dem »Nachglühen« des Urknall-Feuerballs erfüllt.\* Da sich diese »Wärmestrahlung« im Laufe der 13,7 Milliarden Jahre durch die Expansion des Universums stark abgekühlt hat, strahlt sie nicht mehr als sichtbares Licht. Sie hat vielmehr die Form von »Mikrowellen«, eine Art von Licht, die mit bloßem Auge nicht zu sehen ist, die uns allen aber vertraut ist durch das Radar, durch Mobiltelefone und natürlich durch Mikrowellenherde.

Wenn Sie Ihren Fernseher nicht scharf auf einen Sender einstellen, sehen Sie »Schnee« auf dem Bildschirm. Von diesem Rauschen beruht etwa ein Prozent auf der »kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung«. Bevor sie von Ihrer Fernsehantenne aufgefangen wurde, war sie zum letzten Mal im glühend heißen Feuerball des Urknalls mit Materie in Wechselwirkung. Nimmt man die Tatsache, dass das Universum von allgegenwärt-

---

\* Siehe mein Buch *Afterglow of Creation* (University Science Books, Sausalito, California, 1996).

tiger Wärme durchstrahlt ist, und die Tatsache, dass es sich ausdehnt, zusammen, drängt sich der Schluss auf, dass die gesamte Schöpfung in einer sehr weit zurückliegenden Zeit aus einem superdichten, superheißen Zustand entstanden ist. Doch obwohl dieses »Urknall«-Modell so vieles erklärt, ist es doch nicht erschöpfend. Es erklärt nämlich nicht, was wir im Universum beobachten. Drei Tatsachen lassen sich nicht mit ihm in Einklang bringen.

Erstens folgt aus dem gängigen Urknall-Modell, dass es Galaxien wie unsere Milchstraße nicht geben sollte. Man nimmt an, dass Galaxien aus Regionen im Feuerball des Urknalls hervorgegangen sind, die geringfügig dichter waren als ihre Umgebung. Das verlieh ihnen eine geringfügig stärkere Gravitation, dank derer sie weitere Materie anziehen und stärker wachsen konnten als angrenzende Regionen. Der hier angenommene Prozess wäre jedoch quälend langsam verlaufen. Es ist undenkbar, dass die ausgewachsenen Galaxien, die wir heute ringsum beobachten, sich in nur 13,7 Milliarden Jahren aus der im Feuerball des Urknalls verteilten Materie gebildet haben.

Dieses Problem lösen Kosmologen mit der Annahme, dass es eine gewaltige Menge unsichtbarer oder »dunkler« Materie gibt. Sie sorgte für zusätzliche Gravitation. Die Materie ballte sich schneller zusammen, die Galaxienbildung wurde beschleunigt, und daher konnten die Galaxien innerhalb der verfügbaren Zeit entstehen.

Aber auch wenn wir das zugestehen, gibt es noch einen weiteren Umstand, der aus dem Urknall-Modell folgt, den wir aber nicht beobachten. Da jede Galaxie mit ihrer Gravitation auf jede andere Galaxie einwirkt, müsste die vom Urknall getriebene Expansion des Universums »abgebremst« werden. Doch wider alle Erwartungen entdeckten Physiker 1998, dass die Expansion des Universums sich zu beschleunigen scheint. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, nimmt man an, dass es »dunkle Energie« gibt, ein unsichtbares, »elastisches« Zeug, das das gesamte All erfüllt. Es soll mit seiner abstoßenden Gravitation der normalen



Gravitation entgegenwirken und so die Galaxien unbarmherzig auseinandertreiben.

Doch auch wenn man dunkle Energie und dunkle Materie hinzunimmt, gibt es einen dritten Umstand, der aus dem Urknall-Modell folgt, den wir aber nicht sehen. Dieses nicht so leicht zu erklärende Problem hängt damit zusammen, dass die kosmische Hintergrundstrahlung aus allen Himmelsrichtungen »gleichmäßig« zu sein scheint.

### **Wie es kam, dass das ganze Universum dieselbe Temperatur hat**

Wenn wir den Film des Universums rückwärtslaufen lassen, kommen wir schließlich zu dem Zeitpunkt, in dem die Urknall-Strahlung entstand, rund 450 000 Jahre nach dem Moment der Schöpfung.\* Damals hatte das beobachtbare Universum einen Durchmesser von rund 18 Millionen Lichtjahren.\*\* Das ist unerwartet viel für einen so frühen Zeitpunkt. Es ist tatsächlich unerwartet viel, und es wirft ein ernstes Problem für das Standardmodell des Urknalls auf. Um es zu begreifen, muss man sich klarmachen, was mit dem Universum geschah, als es sich in der unmittelbaren Folge des Urknalls abkühlte.

Dinge kühlen sich nie gleichmäßig ab. Daher haben sich gewisse Teile des rasch expandierenden Feuerballs wahrscheinlich

---

\* Tatsächlich stammt die kosmische Hintergrundstrahlung aus einer noch früheren Zeit. Sie ist ja die Restwärme des Urknall-Feuerballs. Doch erst rund 450 000 Jahre nach der Geburt des Universums, in der so genannten Epoche der letzten Streuung, löste sie sich von der Materie und konnte ungehindert durch den Raum fliegen. Sie hat Raum und fliegt seitdem ungehindert durch selbigen, als ältestes Fossil der Schöpfung, geprägt vom Universum in der Nähe des Beginns der Zeit.

\*\* Ein Lichtjahr ist die Strecke, die Licht in einem Jahr zurücklegt. Da die Lichtgeschwindigkeit etwa 300 000 Kilometer pro Sekunde beträgt, so dass ein Lichtstrahl von der Erde bis zum Mond etwa  $1\frac{1}{4}$  Sekunden benötigt, entspricht ein Lichtjahr rund zehn Millionen Millionen Kilometern.

etwas schneller abgekühlt als andere. Unter normalen Umständen – wenn wir zum Beispiel eine Tasse Kaffee stehen lassen – wird jeder entstehende Temperaturunterschied ausgeglichen. Weil Wärme von den heißen Regionen fortwährend zu den kühleren Regionen fließt, gleicht die Temperatur sich aus.

Die Geschwindigkeit des Wärmeflusses ist jedoch begrenzt. Die Grenze setzt die Lichtgeschwindigkeit, das kosmische Tempolimit. Nichts kann dieses Limit überschreiten, auch die Wärme nicht. Für etwas so Kleines wie eine Tasse Kaffee hat das Tempolimit keine Bedeutung. Es ist aber höchst bedeutsam für etwas so Großes wie das Universum, auch wenn es nur so groß ist wie das ursprüngliche Universum.

Licht legt definitionsgemäß in einem Jahr ein Lichtjahr zurück. Als das Universum 450 000 Jahre alt war, konnte das Licht folglich nicht mehr als 450 000 Lichtjahre zurückgelegt haben. Doch das Universum hatte, wie gesagt, zu diesem Zeitpunkt einen Durchmesser von 18 Millionen Lichtjahren. Licht und Wärme können daher nur wenige Prozent des Durchmessers des Universums durchwandert haben.

Daraus folgt: Wenn sich eine Seite des rasch expandierenden Feuerballs nur um einen Bruchteil schneller abkühlte als die andere, kann die Wärme unmöglich von der heißeren zur kühleren Seite geflossen sein, um die Temperatur auszugleichen. Dafür stand seit dem Anfang des Universums einfach nicht genügend Zeit zur Verfügung.

Aus dem Standardmodell des Urknalls folgt daher, dass das 450 000 Jahre alte Universum eine ungleiche Temperatur gehabt haben muss. Außerdem muss auch die kosmische Hintergrundstrahlung, da sie mit der Materie des Feuerballs vermischt war und deren Temperatur teilte, eine ungleiche Temperatur gehabt haben. Das entspricht aber überhaupt nicht den Beobachtungen der Astronomen. Wenn sie die Urknall-Strahlung aus weit voneinander entfernten Teilen des Universums betrachten, wenn sie also ihr Radioteleskop auf ganz verschiedene Himmelsrichtungen ausrichten, beobachten sie eine auffallende Konstanz ihrer

Temperatur. Bis auf eine Abweichung von weit unter einem Zehntausendstel ist die Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung nach allen Himmelsrichtungen exakt dieselbe – eisige 2,726 Grad Celsius über dem absoluten Nullpunkt.\*

Das Standardmodell des Urknalls besagt, dass im frühen Universum Wärme nicht hin- und hergeflossen sein kann, um etwaige Temperaturunterschiede auszugleichen. Unsere Beobachtungen zeigen jedoch deutlich, dass genau das der Fall war.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Konflikt aufzulösen. Sie alle verlangen eine Erweiterung des Standardmodells des Urknalls.

Man kann zum Beispiel annehmen, dass die Lichtgeschwindigkeit im frühen Universum weit höher war als heute. Dann hätte Wärme jede Menge Zeit gehabt, seit der Entstehung von allem das Universum zu durchqueren. Man kann außerdem eine lange Ära »vor dem Urknall« annehmen. Dann hätte das Universum reichlich Zeit gehabt, zu einer gleichmäßigen Temperatur zu kommen, so wie eine Badewanne, in der heißes und kaltes Wasser ist, schließlich gleichmäßig warm ist, wenn man sie lange genug sich selbst überlässt.

Doch die meisten Kosmologen sprechen sich für eine dritte Möglichkeit aus. Anfangs, sagen sie, war das Universum wahn-sinnig viel kleiner, als wir törichterweise annehmen, wenn wir den Film seiner Geschichte einfach rückwärtslaufen lassen. Weil es sehr viel kleiner war, kann Wärme ungehindert von einer Seite zur anderen geflossen sein und etwaige Temperaturunterschiede ausgeglichen haben.

Natürlich musste das Universum seine gegenwärtige Größe in 13,7 Milliarden Jahren erreichen. Wenn es anfangs kleiner war, kann es dies nur geschafft haben, wenn es sich am Anfang

---

\* Der absolute Nullpunkt ist die tiefste erreichbare Temperatur. Bei der Abkühlung eines Gegenstandes bewegen sich dessen Atome immer langsamer. Am absoluten Nullpunkt –  $-273,15$  Grad Celsius – stellen sie jegliche Bewegung ein (bis auf ein restliches Zittern, das eine Folge der Quantentheorie ist).

schneller ausdehnte als erwartet. Genau das nehmen die Kosmologen an. Sie glauben, dass das Universum im ersten Sekundenbruchteil seiner Existenz eine kurze Phase einer superschnellen Expansion durchgemacht hat, die so genannte »Inflation«. Wie die Inflation im Einzelnen ablief, ist ehrlich gesagt noch nicht recht verstanden.\* Die Mehrheit ist sich allerdings einig, wodurch die superschnelle Expansion des Universums verursacht wurde: durch das Vakuum.

### **Die bemerkenswerten Eigenschaften des Quantenvakuums**

Nach der Quantentheorie ist das Vakuum alles andere als leer. Es wimmelt von rastloser Energie. Energie kann aus dem Nichts entstehen – in völligem Widerspruch zum »Energieerhaltungssatz«, der einer der Grundsteine der Physik ist und besagt, dass Energie nicht erzeugt oder vernichtet, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden kann. Die Voraussetzung ist, dass die Energie entsteht und in sehr kurzer Zeit wieder verschwindet. Man kann sich das so vorstellen, dass es nicht auffällt, wenn ein Teenager sich über Nacht Papas Auto ausleiht, sofern es nur am nächsten Morgen früh genug wieder in der Garage steht, bevor Papa merkt, dass es weg ist. Wenn Energie geborgt und rasch genug zurückgezahlt wird, merkt der Energieerhaltungssatz es nicht.

Dass auf diese Weise fortwährend Energie erscheint und verschwindet, bedeutet, dass das Vakuum pausenlos in Aufruhr ist und im Durchschnitt mehr als die Nullenergie enthält, die man naiverweise erwartet. Und das Vakuum übt auch einen »Druck« aus, so wie die Luft in einem Ballon Druck auf die Ballonwand

---

\* Die Inflation wurde möglicherweise angetrieben von einer Kollision zwischen »Inseluniversen«, wenn unser Universum ein »4-Brane« in einem zehndimensionalen Raum ist. Siehe Kapitel 3, »Das Jojo-Universum«.