

Die Wiedergeburt des Kosmos

Wann erlöschen die letzten Sterne? Wird dann noch Leben im Weltall möglich sein? Versiegt der Zeitstrom? Astrophysiker haben jetzt entdeckt, wie es mit Sonnen und Galaxien in ferner Zukunft weitergehen wird. Viele Himmelsforscher glauben sogar, dass sich das Universum dereinst fortpflanzen könnte.



Spiralgalaxie M 74 (im Sternbild Fisch): Die Sternenpracht ist nur eine Art Sahnehäubchen auf dem Backwerk des Schöpfers

Es war ein Mann Gottes, der auf die Idee mit dem Urknall kam. Ende der zwanziger Jahre erfuhr der junge belgische Priester und Astronom Georges Lemaitre von einer rätselhaften Entdeckung. Sein amerikanischer Forscherkollege Edwin Hubble hatte beobachtet, dass sich alle

Galaxien rasend schnell von der Erde fortbewegen.

Die fernen Sterneninseln, so fiel Lemaitre auf, verhalten sich wie Granatsplitter nach einer Detonation. Kurz darauf veröffentlichte er im Wissenschaftsmagazin „Nature“ eine phantastisch klin-

gende Hypothese: Vor Äonen, so der Priester, explodierte ein „Uratom“, aus dem dann Raum, Zeit und Materie entstanden seien.

Die Himmelsforscher waren entsetzt. Ihr gottesfürchtiger Kollege musste sich irren. Unter allen Umständen wollten sie in ihren

kosmologischen Modellen so etwas wie einen Schöpfungsakt vermeiden.

Doch der Priester behielt Recht. Heute zweifelt kaum noch ein Astronom daran, dass alles einmal mit einem großen Knall angefangen hat. Vor 15 Milliarden Jahren glühte demnach eine winzige Kugel, bestehend aus der unvorstellbar dicht komprimierten Energie des gesamten Weltalls, plötzlich auf und explodierte – ein kosmischer Feuerzauber begann, der Galaxien, Sonnen, Planeten und am Ende Tiere und Menschen hervorbrachte.

Auch über das Ende der Welt machte sich der Gottesmann schon so seine Gedanken. Das Universum, so ahnte er, werde einen sanften Tod sterben. „Die Entwicklung der Welt könnte man mit dem Ende eines Feuerwerks vergleichen“, verkündete Lemaître (der später Präsident der Päpstlichen Akademie der Wissenschaften wurde). „Wir stehen auf einer gut gekühlten Schlacke und sehen das langsame Verschwinden der Sonnen.“

Der Priester scheint auch mit seiner zweiten Vermutung richtig zu liegen. Seine Idee vom allmählichen Erstarren des Weltraums deckt sich verblüffend mit den neuesten astronomischen Entdeckungen.

Generationen von Kosmologen haben sich darüber den Kopf zerbrochen, wie es mit den Sonnen und Galaxien in ferner Zukunft weitergeht. Wird das Weltall unaufhörlich expandieren, nach Art eines Luftballons, der immer weiter aufgeblasen wird? Oder wird es, wie ein Luftballon, aus dem die Luft entweicht, irgendwann wieder in sich zusammenfallen? Nach diesem zweiten Szenario würden die Galaxien am Ende aufeinander zu stürzen. Und in etwa 50 Milliarden Jahren vereinigte sich sämtliche Materie wieder in einem einzigen Klümpchen – das Universum endete in einem Endknall.

Kältetod oder Höllenfeuer? Nicht einmal der spekulationsfreudige, wegen einer unheilbaren Muskelerkrankung an den Rollstuhl gefesselte britische Kosmologe Stephen Hawking traute sich bislang eine Prognose über den Ausgang des kosmischen Spiels zu. „Ganz in der bewährten Tradition der Propheten“, erklärte der Gelehrte listig, „gehe ich auf Nummer Sicher und sage beide Möglichkeiten vorher.“

Nun jedoch haben seine Forscherkollegen die

Schicksalsfrage des Universums gelöst. Mit neuen Messungen konnten sie das Szenario eines kollabierenden Weltalls widerlegen. Für die meisten Astrophysiker gibt es kaum noch einen Zweifel: Das Universum wird niemals enden. Statt in einem Höllenfeuer zu verbrennen, werden die Sterne allmählich an Altersschwäche sterben. Der Weltraum aber besteht fort – bis in alle Ewigkeit.

Zu Grabe getragen haben die Forscher mit ihren neuen Befunden folglich den Weltuntergang. Die Urangst vor dem Jüngsten Tag, die sich tief ins kollektive Bewusstsein eingegraben hat, ist zumindest für das Weltall insgesamt unbegründet.

Schon die alten Germanen fürchteten sich davor, dass ihnen der Himmel auf den Kopf fällt. „Die Sonne wird schwarz“, heißt

Lauter Wunder sorgten dafür, dass aus dem Urknall die beste aller möglichen Welten hervorging

es in der „Edda“, der rund 1000 Jahre alten Heldensaga. „Es stürzen vom Himmel die strahlenden Sterne.“

Mit ähnlichen Worten erwartete auch der christliche Apokalyptiker Johannes das baldige Ende der Welt. Am Jüngsten Tag, prophezeit die Bibel in der Offenbarung des Johannes, werde ein „gewaltiges Beben“ die Welt erschüttern; sodann fallen die „Sterne des Himmels auf die Erde herab“.

Den Teufel werden sie tun. Vielmehr wird sich das Universum immer weiter und immer schneller ausdehnen. Unaufhaltsam entfernen sich die Galaxien voneinander. „Um uns herum“, sagt der Münchner Astrophysiker Gerhard Börner, „wird es immer einsamer werden.“

Was ist das bloß für ein Weltraum? „Etwas Trostloseres und Sinnloseres als dieses Ende kann man sich kaum vorstellen“, beklagt der australische Physiker und Buchautor Paul Davies.

Für viele dürfte das ein Schock sein. Ein Schöpfungsakt wie der Urknall, der immerhin bis zur Entstehung komplexen Lebens führte, scheint dem kosmischen Räderwerk ja noch so etwas wie einen Sinn zu verleihen. Mit dieser naturwissenschaftlichen Version der Schöpfungsgeschichte können auch religiöse Menschen gut leben. „Die Erkenntnis des Urknalls“, so formuliert es der vatikanische Astronom und Jesuitenpater William Stoeger, „hat das Bild Gottes nur veredelt.“

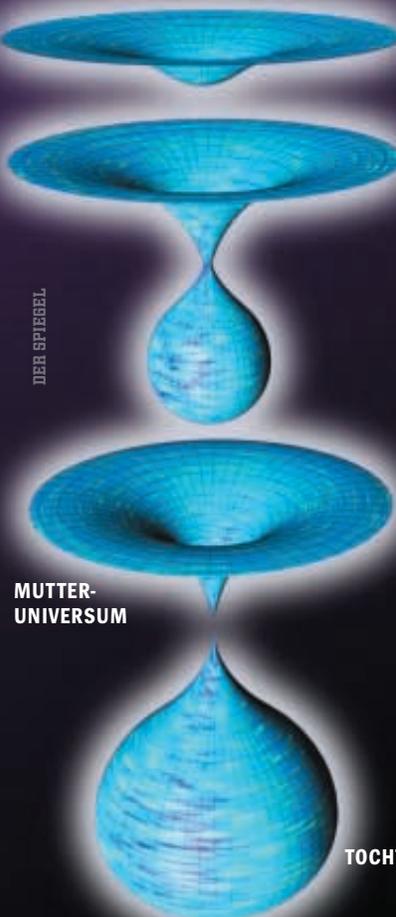
Warum aber sollte ein Gott ein Universum schaffen, das irgendwann einfach nur auskühlt und erstarrt? Worin kann der Sinn vollkommener Leere liegen? Gibt es etwas Sinnloseres als einen grenzenlosen Raum, in dem nichts mehr passiert? „Vielleicht

Wie ein Tochteruniversum entstehen könnte

Irgendwo im Universum bildet sich urplötzlich in einem winzigen Volumen eine Vakuumbase, in der eine extrem hohe Energiedichte herrscht („falsches Vakuum“).

Die Vakuumbase dehnt sich mit gewaltiger Geschwindigkeit aus und schafft sich dabei neuen Raum, der immer stärker vom übrigen Weltraum abgeschnürt wird.

Nach 10^{-37} Sekunden trennt sich das Tochteruniversum vom Mutteruniversum. Für einen Beobachter erschiene diese Abnabelung wie die Entstehung eines Schwarzen Lochs, das sofort wieder verschwindet.



DER SPIEGEL

MUTTER-UNIVERSUM

TOCHTERUNIVERSUM

STSCI / NASA / ASTROFOTO



ESO

Messballon „Boomerang“ in der Antarktis*: Echo des Urknalls aufgefangen

suchen wir aber nur verzweifelt nach einem Sinn, wo gar keiner zu finden ist“, meint der Schweizer Astronom Gustav Tammann.

Und im Übrigen haben manche Forscher auch die Hoffnung, dass am Ende ein neuer Anfang stehen könnte. In ferner Zukunft, so glauben viele Kosmologen, sei eine phantastisch klingende Wendung möglich: Das Weltall könnte sich fortpflanzen und vermehren, indem es Tochter-Universen auf die Welt bringt – dies wäre dann eine Art kosmische Wiedergeburt.

Die US-Astrophysiker Fred Adams und Greg Laughlin haben sogar schon detaillierte Berechnungen über die Ewigkeit angestellt. Das Ergebnis ihrer Forschungen ist die bislang umfassendste Untersuchung über die letzten Tage des Kosmos. Ihre Gedankenflüge führen in Räume und Zeiten, welche die menschliche Vorstellungskraft bei weitem übersteigen**.

Adams und Laughlin teilen die Geschichte des Weltalls in fünf Epochen ein: Sie reichen vom Zeitalter der Urmaterie bis zum Zeitalter der Dunkelheit. „In der Biografie des Universums“, so resümieren die beiden Forscher, bildeten die seit dem Urknall vergangenen 15 Milliarden Jahre nur „einen höchst unbedeutenden Zeitraum“. In ferner Zukunft werde das Weltall nicht mehr wiederzuerkennen sein: „Beim Übergang von einem Zeitalter zum nächsten verändern sich Inhalt und Wesen des Universums ziemlich drastisch.“

Zu einem erschreckend fremdartigen Schauplatz mutiert das All vor allem, wenn

die letzten Sterne erlöschen. Von diesem Zeitpunkt an bevölkern Himmelskörper den Weltenraum, die den wirren Träumen eines Riesen entsprungen scheinen: Tote Sonnen verwandeln sich in gläserne Kugeln aus Wasserstoffeis; Schwarze Löcher fressen die Überreste sterbender Galaxien; bizarre Atome umkreisen einander, jedes von ihnen größer als das gesamte heutige Universum.

Erst seit wenigen Monaten wissen die Astrophysiker, wie das kosmische Spiel ausgehen wird. Die Antwort auf diese Schicksalsfrage fanden sie über dem irdischen Südpol.

Von der Eiswüste der Antarktis aus ließen sie Messballons bis in die Stratosphäre aufsteigen. Dort bot sich den Instrumenten des „Boomerang“-Experiments ein ungestörter Blick bis tief in den Weltraum. Weitere Messballons wurden von der texanischen Wüste aus gestartet.

Die fliegenden Observatorien hatten den Auftrag, genauer als je zuvor die kosmische Hintergrundstrahlung zu untersuchen. Dabei handelt es sich um das Nachglühen des Urknalls; gleichsam als Echo des Schöpfungsdonners wabert die Reststrahlung bis heute durchs All. Mit nie da gewesener Genauigkeit registrierten die Ballon-Instrumente darin winzige Temperaturschwankungen.

Diese Kräuselungen, so glauben die Astrophysiker, entstammen jenen Regionen, in denen die Materie bereits in der Frühzeit des Universums dichter gepackt war als anderswo. Die Verklumpungen waren demnach die Saatkörner, aus denen später Galaxien und Sterne sprossen.

„Mit den Ballons konnte die Ausdehnung dieser uralten Strukturen so exakt wie nie zuvor vermessen werden“, erläutert der Garching Astrophysiker Matthias

Bartelmann. „Diese Beobachtungen ermöglichen uns Rückschlüsse, wie stark sich die Krümmung des Weltalls im Laufe der Zeit verändert hat.“

Das erstaunliche Ergebnis: Der Weltraum ist so gut wie gar nicht gekrümmt. Ein Lichtstrahl, der sich durch den leeren Raum fortbewegt, wird auch nach Jahrmilliarden praktisch nicht von seiner geradlinigen Bahn abgelenkt.

Dieses Ergebnis hat weit reichende Konsequenzen. So folgt daraus, dass der Kosmos bei weitem nicht so viel Materie enthält wie von manchen Wissenschaftlern erwartet. Denn gäbe es eine größere Stoffmenge im Kosmos, müsste der Weltraum stärker gekrümmt sein – dies ergibt sich jedenfalls zwingend aus Albert Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie, nach der jeder massetragende Körper den umliegenden Raum verformt.

Von der Dichte der im Weltall verteilten Materie wiederum hängt es ab, ob der Kosmos wieder zu einem komprimierten Feuerball zusammenschnürt – oder ob er in einer ewigen Leichenstarre dahinsiechen wird: Denn je mehr Sterne, Planeten und Staubwolken es im Weltall gibt, desto stärker bremst ihre gegenseitige Anziehungskraft den noch eine ganze Weile anhaltenden Schwung der Anfangsexplosion – ähnlich wie die Schwerkraft der Erde dafür sorgt, dass ein hochgeworfener Stein zurück auf den Boden fällt.

Doch wegen der nun ermittelten, viel zu geringen Materiedichte hat die Schwerkraft keine Chance mehr, die kosmische Aufblähung noch einmal umzukehren. „Das Universum wurde gewogen“, so Bartelmann, „und für zu leicht befunden.“



Kosmische Chronik

Geburt und Sterben des Universums

1 Das Universum entstand aus reiner Energie. Unmittelbar nach dem Urknall war das All kleiner als ein Atomkern. In der Verteilung der Energie gab es kleine Unregelmäßigkeiten.

* Vor dem Start zur Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung.

** Fred Adams und Greg Laughlin: „Die fünf Zeitalter des Universums. Eine Physik der Ewigkeit“. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart und München; 272 Seiten; 19,90 Euro.



WOLFGANG BERGER

Kosmologe Börner

„Um uns herum wird es immer einsamer“

Diese Entdeckung gibt der Himmelsforschung eine ganz neue Wendung. Denn in den letzten Jahren war das Universum eigentlich zunehmend schwerer geworden. Die Astrophysiker fanden immer mehr Hinweise darauf, dass im All gewaltige Mengen bislang unentdeckter, so genannter dunkler Materie vorkommen.

So muss es eine Art kosmischen Kitt geben, der mit seiner massiven Anziehungskraft verhindert, dass die mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Galaxien auseinander fliegen; die sichtbare Materie al-

lein wäre dazu viel zu schwach. Die Astrophysiker sind inzwischen überzeugt, dass unsichtbare Schattensubstanz die Galaxien zusammenhält; sie bildet gleichsam das Rückgrat des ganzen Universums.

Die den Nachthimmel erleuchtende Sternenpracht der Milchstraße ist nach dieser neuen Vorstellung nur noch eine Art Sahnehäubchen auf dem Backwerk des Schöpfers. Wie verlorene Inseln treiben die Sterne, Gaswolken und Spiralnebel in den unermesslichen Ozeanen des Kosmos dahin. Höchstens fünf Prozent der Gesamtmasse im All bestehen aus normaler Materie. „Es berührt mich schon sehr“, gesteht der Kosmologe Börner, „dass der überwältigende Teil des Universums aus ganz anderer Substanz besteht als wir selber.“

Offen war bislang jedoch, wie viel versteckte Materie sich wirklich zwischen den Sternen verbirgt. Nach neuesten Schätzungen könnte weit über 80 Prozent aller Materie aus dem ominösen Dunkelstoff bestehen. Die meisten Forscher vermuten, dass die unsichtbare Geistermaterie, die noch nie ein Mensch gesehen hat, sich vor allem aus exotischen Elementarteilchen zusammensetzt, die in Myriadenschwärmen durchs All schwirren.

Ist die dunkle Materie womöglich sogar schwer genug, um die galoppierende Ausdehnung des Universums aufzuhalten? Offenbar nicht. Nach den Ballonmessungen über dem Südpol spielt es für den weiteren Verlauf der kosmischen Ereignisse nun keine Rolle mehr, wie viel dunkle Materie es genau gibt. In keinem Fall wird es genug sein, um die Expansion des Weltalls noch stoppen zu können. Börner: „Der

Kampf um die Zukunft des Kosmos ist entschieden.“

Denn aus den Daten der Ballon-Beobachtungen errechneten die Astrophysiker eine weitere Überraschung: Im Universum wirkt offenbar eine unheimliche Gegenkraft, die Sterne und Galaxien immer schneller auseinander treibt. Schon heute wirkt die „kosmische Anti-Gravitation“ über große Entfernungen doppelt so stark wie die Schwerkraft. Und je mehr das Universum ausdünn, desto stärker wird sich die Anti-Schwerkraft bemerkbar machen – wie bei einer Lawine, die nicht mehr aufzuhalten ist.

Bereits das Jahrhundertgenie Albert Einstein hatte eine bizarre Energieform postuliert, die den Raum auseinander treiben sollte. Er brauchte einen solchen Gegenspieler zur Schwerkraft, um seine Idee eines statischen, ewig unveränderlichen Universums zu retten; als „Kosmologische Konstante“ führte er deshalb 1917 eine Art Anti-Schwerkraft in sein Formelwerk ein. Als sich aber herausstellte, dass das Universum einen Anfang hatte, störte die Kosmologische Konstante in den Gleichungen nur noch. Einstein bedauerte seine Kopfgeburt später als „größte Eselei meines Lebens“.

Vor vier Jahren aber tauchten zur Überraschung der Himmelsforscher erste Hinweise auf, dass es tatsächlich so etwas wie eine dunkle Energie gibt.

Als der australische Astronom Brian Schmidt und sein US-Kollege Saul Perlmutter das Licht explodierender Sterne, so genannter Supernovä, untersuchten, machten sie eine spektakuläre Entdeckung: Je jünger die kosmischen Leuchtfeuer sind,

10⁻³⁵ Sekunden

15 Milliarden Jahre
(gegenwärtiges Alter)

2 Innerhalb weniger als einer billionstel Sekunde dehnte sich das Universum schlagartig auf astronomische Größe aus. Die Unregelmäßigkeiten wuchsen entsprechend mit. Diese Phase wird Inflation genannt. Die Spuren der frühen Unregelmäßigkeiten sind heute als Flecken in der kosmischen Hintergrundstrahlung messbar, die wie ein Nachglühen des Urknalls das All erfüllt.

3 Erst nach der Ausdehnung kondensierte ein Teil der Energie zu Materie. Allmählich entstanden Elementarteilchen und Atome. Wegen der Unregelmäßigkeiten aus der Inflation war die Materie nicht ganz gleichförmig verteilt: Gaswolken entstanden, aus denen später Galaxien und Sterne wurden.

DER SPIEGEL

desto schneller rasen sie voneinander fort.

Erwartet hatten die Himmelforscher das genaue Gegenteil. Eigentlich waren sie davon ausgegangen, dass der Schwung der Urexplosion im Laufe der vergangenen Jahrmilliarden längst nachgelassen hätte. Stattdessen sah es nun ganz so aus, als wäre nur wenige Milliarden Jahre nach der Schöpfungsexplosion eine neue, abgemilderte Stufe des Urknalls gezündet worden. Schmidt: „Ich fürchtete, dass uns niemand glauben wird.“



Astrophysiker Bartelmann
„Das Weltall ist zu leicht“

„Andererseits glaubt kaum noch jemand, dass wir die dunkle Energie wieder aus der Welt kriegen“, sagt Kosmologe Börner. „Sie ist offenbar die treibende Kraft, die den Lauf der künftigen Ereignisse entscheidend prägen wird – bis zum bitteren Ende.“

Zum ersten Mal haben die Astronomen damit das Drehbuch entziffert, welches das weitere Schicksal des Universums vorherbestimmt. „Wir sind jetzt in der Lage vorherzusagen“, so Börner, „wie die Geschichte von Sonnen, Planeten und Galaxien weitergehen wird.“

Weltweit haben Physiker damit begonnen, die Chronik der Zukunft aufzuschreiben. Sie versuchen beispielsweise zu berechnen, in wie viel Milliarden von Jahren die Sternendämmerung anbricht, wann sich die Atome auflösen und wie groß das Universum zu diesem Zeitpunkt sein wird. Oder sie gehen der Frage nach, ob das sterbende Weltall auf wundersame Weise sogar Geburtshelfer eines neuen Universums werden könnte.

Für das Leben auf der Erde beginnt der Existenzkampf indes schon lange vorher. Deutsche Physiker haben kürzlich herausgefunden, dass die Erde viel früher unbewohnbar werden wird als gedacht.

Bislang erwarteten die Astronomen erst in fünf Milliarden Jahren eine Art solares

Fegefeuer: Dann nämlich bläht sich die Sonne, den Gesetzen der Sternphysik folgend, unaufhaltsam zu einem Roten Riesen auf und heizt ihren inneren Planeten noch einmal richtig ein. Merkur und Venus werden von ihr ganz verschluckt. Auf der staubtrockenen Erde schmelzen die Berge wie Butter. Was von ihr übrig bleibt, ähnelt der sterilen Oberfläche des Mondes.

Für die Menschen aber wird die Luft bereits vorher dünn. „In rund 500 Millionen Jahren“, erklärt der Physiker Siegfried Franck vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), „werden wir alle erstickten.“

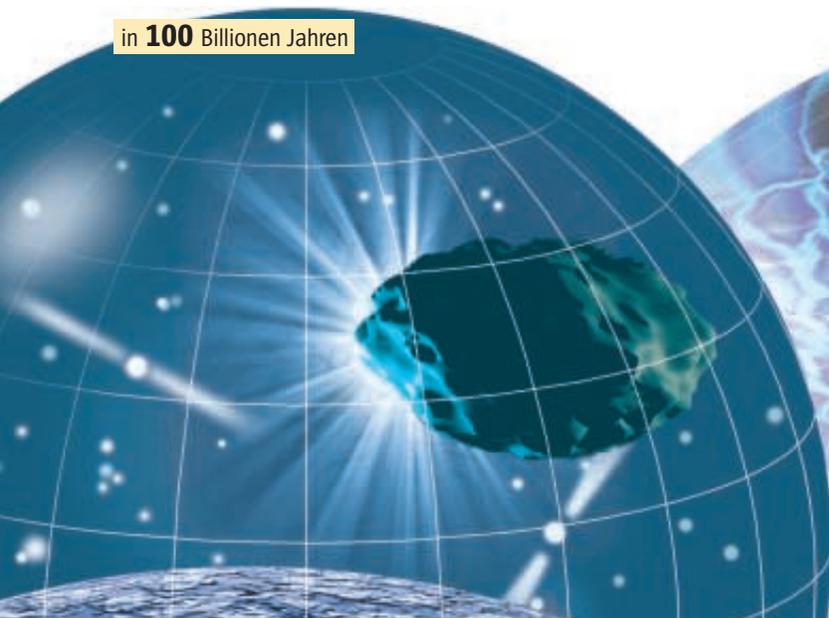
Auf diese böse Überraschung stießen Franck und seine Mitarbeiter, als sie mit ihren Computermodellen simulierten, wie sich das Klima der Erde in extrem langen

Die dunkle Energie im Kosmos ist die treibende Kraft, die den Lauf der Ereignisse bestimmt

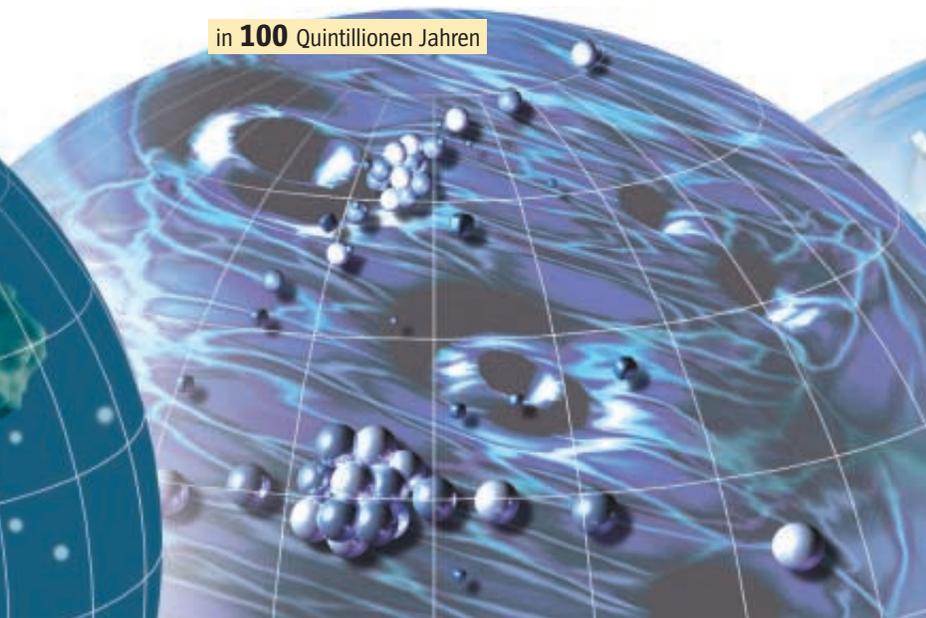
Zeiträumen verändert. Das Problem, das dabei sichtbar wurde: Schon vor ihrer Aufblähungsphase scheint die Sonne immer stärker. Alle einhundert Millionen Jahre nimmt ihre Leuchtkraft um ein Prozent zu.

Die stärkere Sonneneinstrahlung führt auf der Erde zu einer höheren Verdunstung und damit auch zu mehr Niederschlag. Dadurch wiederum wird immer mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre herausgewaschen, landet mit dem Regen in Seen

in **100** Billionen Jahren



in **100** Quintillionen Jahren



4 In den Galaxien sind sämtliche Gasvorräte zur Bildung neuer Sonnen verbraucht. Im Weltall verglühn die letzten Sterne. Übrig bleiben ihre ausgebrannten Überreste, die nur noch eine verschwindend geringe Leuchtkraft haben.

5 Die Atomkerne lösen sich auf. Es kommt zum totalen Zerfall der Materie. Damit verschwinden auch die matt leuchtenden Sternüberreste und die Planeten. Praktisch alle Lichtquellen im Kosmos erlöschen. Nur die Schwarzen Löcher bleiben von dem Exitus verschont.

und Flüssen und lagert sich schließlich als Kalkstein am Meeresgrund ab. In 500 Millionen Jahren ist das Treibhausgas vollständig aus der irdischen Lufthülle verschwunden.

Ohne eine Mindestkonzentration an Kohlendioxid in der Atmosphäre aber können keine Pflanzen gedeihen. Erst verkümmern alle Bäume und Sträucher, dann wächst auf der Erde auch kein Gras mehr. Menschen und Tieren geht die Luft zum Atmen aus.

„All diese furchtbaren Sachen passieren in so ferner Zukunft“, meint tröstend der kanadische Sternenforscher Arnold Boothroyd, „bis dahin können sich die Menschen längst woanders ein nettes Plätzchen gesucht haben.“

Von den rund 100 Milliarden anderen Sonnen der Milchstraße kämen in der Tat genug als Kolonien in Frage. Unter Verwendung ihres Klimamodells haben die PIK-Forscher schon mal für die verschiedenen Sternentypen der Galaxis durchgespielt, ob diese für ausreichend lange Zeit über „bewohnbare Zonen“ verfügen. Der erstaunliche Befund: „Nach unseren Berechnungen“, sagt Franck, „könnte es in der Milchstraße rund 50 Millionen bewohnbare Planeten wie die Erde geben.“

Langfristig als neue Heimat zu empfehlen sind all jene Planeten, die um Rote Zwergsterne kreisen. Rote Zwerge wiegen zwar bis zu zehnmal weniger als die Erdsonne und leuchten über hundertmal schwächer (deshalb sind sie, obwohl so zahlreich in der Galaxis vertreten, mit bloßem Auge nicht zu erkennen).

Sie haben aber einen großen Vorteil: Rote Zwerge gehen äußerst sparsam mit



Schwarzes Loch (Zeichnung): *Dunkle Insel in einem Meer der Düsternis*

ihren nuklearen Brennstoffvorräten um. Sie existieren folglich weit länger als größere und massereichere Sterne. So brennt ein Roter Zwerg bis zu 10 000-mal so lange wie die Sonne – ein Unterschied in der Lebenserwartung wie zwischen einer Eintagsfliege und einem Elefanten.

Doch wie lange wird es überhaupt noch Sterne in der Milchstraße geben? Wann werden die letzten von ihnen erlöschen?

An sich wird die Galaxis schon in rund zehn Milliarden Jahren ihren gesamten Vorrat an interstellarem Gas für die Bildung neuer Sonnen verbraucht haben. Aller-

dings steht noch eine gewaltige Reserve zur Verfügung: Jeder explodierende Stern liefert wieder neuen Rohstoff.

Wann immer irgendwo in der Milchstraße eine Sonne stirbt, schleudert sie einen Teil ihrer glühenden Hülle hinaus ins All. Aus diesen umherwabernden Schwaden können sich anderswo junge Sonnen zusammenballen – nichts geht verloren.

Dieses kosmische Recycling macht es möglich, dass noch ewig lange Sterne am Himmel funkeln. Erst in rund 100 000 Milliarden Jahren, so die aktuelle Schätzung, werden im Universum die letzten Sonnen verglühen – eine Zeitspanne, die schwer fällt sich vorzustellen: Würde man die gesamte Lebensdauer aller Sterne auf ein Erdenjahr herunterrechnen, dann wäre seit dem Urknall gerade die erste Stunde der Neujahrsnacht vorüber.

Selbst nach dem Verglühen der Sonnen wird das Weltall aber nicht vollkommen leer und düster sein. Überall vagabundieren dann noch die ausgebrannten Sternenkadaver und ihre tiefgefrorenen Planeten umher – nach dem Zeitalter der „leuchtenden Sterne“ folgt das Zeitalter der „entarteten Sterne“.

Die meisten Sonnen enden als so genannte Weiße Zwerge. Allein in der Milchstraße wird es schließlich fast eine Billion davon geben. Einer von ihnen wird der klägliche Überrest der Erdsonne sein.

Wenn sich die Sonne, nach einem langen feurigen Leben, zu einem Roten Riesen aufplustert, stößt sie einen großen Teil ihrer glühend heißen Gashülle ab; dann schrumpft sie zu einem Weißen Zwerg.

Ein solcher Sternenkadaver besteht zum großen Teil aus „entarteter Materie“, die sehr seltsame Eigenschaften aufweist: Je mehr Materie der Kadaver enthält, desto

in **10¹⁰⁰** Jahren

6 Schließlich verdampfen auch die Schwarzen Löcher. Im Weltall existieren keine Himmelskörper mehr. Der kalte und leere Raum dehnt sich immer weiter aus. Einen Endpunkt des Universums gibt es nicht – es kann aber dazu kommen, dass sich Tochteruniversen bilden und abnabeln.

stärker zieht er sich zusammen. Paradoxe Folge: Große Sterne verwandeln sich in kleine Weiße Zwerge; und kleine Sonnen in große Weiße Zwerge.

Die Sonne beispielsweise wird zu einem Gebilde, das nur unwesentlich größer ist als die Erde. In dem dadurch entstehenden Weißen Zwerg ist zwar Restwärme gespeichert, die er im Laufe vieler Jahrmilliarden in den Weltraum abstrahlen wird. Doch er leuchtet nur noch sehr schwach – ähnlich wie glühende Asche, die von einem lodernden Lagerfeuer übrig geblieben ist.

Aber die Weißen Zwerge haben Zeit, sehr viel Zeit. Irgendwann gelingt es ihnen sogar, die in der Milchstraße vorkom-

*Weiße Zwergsterne
leuchten so schwach wie
glühende Asche, die vom
Lagerfeuer übrig bleibt*

mende, äußerst scheue dunkle Materie einzufangen und in ihrem Innern zu verfeuern. Weil es gewaltige Mengen dieser Schattenmaterie gibt, erschließen sich die Weißen Zwerge einen schier unerschöpflichen Brennstoffvorrat.

„Das Einfangen und Vernichten dunkler Materie stellt für die Weißen Zwerge der Zukunft eine äußerst wichtige Energiequelle dar“, schreiben die amerikanischen Astrophysiker Adams und Laughlin in ihrer Untersuchung über die langfristige Entwicklung des Universums. Durch diesen Prozess erzeuge ein Weißer Zwerg immerhin eine Leistung von einer Billion Watt – so viel wie eine Million Atomkraftwerke.

In einem Gedankenexperiment spekulieren die beiden US-Forscher darüber, wie sich die Verbrennung der dunklen Materie nutzbar machen ließe: Eine hoch entwickelte Zivilisation, so ihre Idee, könnte eine Kugelschale um den Weißen Zwerg bauen, um die von ihm abgegebene Strahlungsenergie aufzufangen.

„Nehmen wir an, die Zivilisation in der Umgebung eines Weißen Zwergs habe eine Milliarde Mitglieder“, so Adams und Laughlin. „Jedes Mitglied hätte dann Zugang zu einem Megawatt Leistung – genug, um 10 000 Stereoanlagen mit voller Lautstärke laufen zu lassen.“

Die Verhältnisse in der Umgebung dieser glimmenden Kugel wären zudem über einen irrsinnig langen Zeitraum stabil: Ein Weißer Zwerg vermag schätzungsweise 100 Trillionen Jahre Energie aus der dunklen Materie zu gewinnen. Er brennt zwar nur auf Sparflamme, dafür aber lebt er milliardennal länger als die Sonne, aus der er einst hervorgegangen ist.

Auch die Erde wird es in dieser weit entfernten Zukunft wahrscheinlich noch geben – allerdings treibt unser Planet dann längst als tiefgefrorener, öder Gesteins-



Sternentstehungsgebiet im Orionnebel: Billard der Gestirne

brocken einsam durch düstere interstellare Weiten.

Zu einem solchen Schicksal kommt es unweigerlich durch einen Zusammenstoß oder Beinahe-Zusammenstoß des Überrests der Sonne mit einem anderen Stern der Milchstraße. Bis zum Erlöschen der Sonne beträgt die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Crash zwar nur eins zu vierzigtausend; aber weil der aus ihr hervorgehende Weiße Zwerg viel länger existiert, trifft das Ereignis irgendwann mit Sicherheit ein. Dabei werden dann sämtliche Planeten aus dem Sonnensystem hinausgeschleudert.

Durch dieses Billard der Gestirne gehen früher oder später alle Bindungen in der Milchstraße verloren. Sämtliche Planeten der Galaxis enden als Einsiedler, die heimatlos durch den lichtlosen Raum irren.

Jedoch erst in einigen Quintillionen Jahren gehen im Weltall endgültig die Lichter aus. Dann kommt es zum totalen Zerfall:

Die Materie selbst löst sich auf – und mit ihr alle Weißen Zwerge, alle Planeten und ihre Monde, alle Asteroiden, Kometen und Staubwolken.

Dieser Exitus wird zumindest von den aktuellen Theorien der Teilchenphysiker vorhergesagt. Demnach haben selbst Protonen und Neutronen, die Bausteine der Atomkerne, nur eine begrenzte Lebensdauer. In extrem langen Zeiträumen zerfallen nach und nach alle chemischen Elemente; dabei entsteht vor allem Strahlung.

Wenn die Atome zerfallen, fängt es auf der sterilen Erdoberfläche an zu spuken. Der alchimistische Totentanz beginnt damit, dass die schwereren Elemente sich in leichtere umwandeln: Gestein verdampft etwa zu Sauerstoff und Neon; Blei wird zu Gold. Schließlich verwandelt sich der gesamte Planet in eine durchsichtige Kristallkugel aus Wasserstoffeis. Und jedes Mal, wenn einige ihrer Atome mit einem Lichtblitz enden, versprüht diese Eisku-



ROGER RESSMEYER / CORBIS / PICTURE PRESS

Keck-Teleskop auf dem Mount Kea in Hawaii: *Forscher entdeckten eine unheimliche Gegenkraft, die alle Galaxien auseinander treibt*

gel ein paar Funken – bis von ihr nichts mehr übrig ist.

Bei diesem Abgang nach Art einer Wunderkerze erzeugt die Erde allerdings nur wenige Milliwatt; diese spärliche Leistung würde noch nicht einmal ausreichen, um eine Glühbirne zum Leuchten zu bringen. Mit diesem letzten Aufflackern endet die Epoche der entarteten Sterne.

Selbst danach wird das Weltall nicht völlig leer sein. Denn ausgerechnet die massivsten aller Himmelskörper bleiben zunächst von dem Zerfall verschont: die mysteriösen Schwarzen Löcher. Wie dunkle Inseln ragen sie fortan aus einem Meer der Düsternis.

Ein Schwarzes Loch entsteht immer dann, wenn ein ausgebrannter, besonders massereicher Stern unter dem Druck seiner eigenen Schwerkraft zu einem extrem hoch verdichteten Materiekumpen zusammenschnürt. Dabei verbiegt der Todesstern den Raum so stark, dass kein noch so flüchtiges Elementarteilchen und noch nicht einmal ein Lichtstrahl seinem düsteren Schlund zu entkommen vermag; deshalb erscheinen diese Gestirne unsichtbar.

Mit ihrem Schwerefeld verzerren die Monster aber auch den normalen Zeitablauf. Je näher man ihnen kommt, desto langsamer gehen die Uhren. Und nahe ihrer Oberfläche bleibt die Zeit sogar fast ganz stehen. Es ist also keine Hexerei, wenn Schwarze Löcher den Zerfall der Atome überleben: In ihrem Innern leben eben auch Protonen länger.

Doch irgendwann verlassen selbst diese letzten Darsteller die Himmelsbühne. Nach Verstreichen eines Zeitraums, der die menschliche Vorstellungskraft vollends sprengt (10 Milliarden Billiarden Billiarden Billiarden Jahre), platzen die Schwerkraftblasen und

ergießen die in ihnen gespeicherte Energie ins allumfassende Nichts – die Explosion eines Schwarzen Lochs entspricht der Sprengkraft von einer Milliarde Atombomben.

Nach dem Ende der Schwarzen Löcher folgt die letzte Epoche des Universums: das Zeitalter totaler Finsternis.

Auch ohne Himmelskörper dehnt sich der leere Raum, unerbittlich angetrieben von der ihm innewohnenden dunklen Energie, immer weiter aus. Am Ende wächst der Kosmos ins Grenzenlose. In Raumbereichen, die größer sind als das gesamte heute beobachtbare Universum, befindet sich buchstäblich nichts. Anderswo, ein paar Billionen Lichtjahre entfernt, huscht wenigstens noch ein einzelnes Lichtteilchen durch die Unendlichkeit.

Geradezu als deprimierend empfindet der amerikanische Kosmologe Edward

Harrison das sterbende Weltall: „Dutzende von Jahrtausenden vergehen in zunehmender Dunkelheit; gelegentlich durchdringt ein Lichtschimmer die sinkende kosmische Nacht und verzögert noch einmal den Untergang eines Universums, das zu einer Existenz als galaktischer Friedhof verurteilt ist.“

War's das wirklich? Selbst hartgesottene Wissenschaftler weigern sich zu glauben, dass dies alles gewesen sein soll. Aus der unheimlichen Welt der Teilchenphysik schöpfen sie Hoffnung, dass es auf wunderbare Weise doch irgendwie weitergehen könnte.

Die Spur führt in das geheimnisvolle Reich des Mikrokosmos. Nach den unbegreiflichen Regeln der Quantentheorie ist selbst so etwas wie das Vakuum nicht wirklich leer. So können darin aus dem Nichts Teilchen wie geisterhafte Wesen entstehen und sofort danach wieder vergehen.

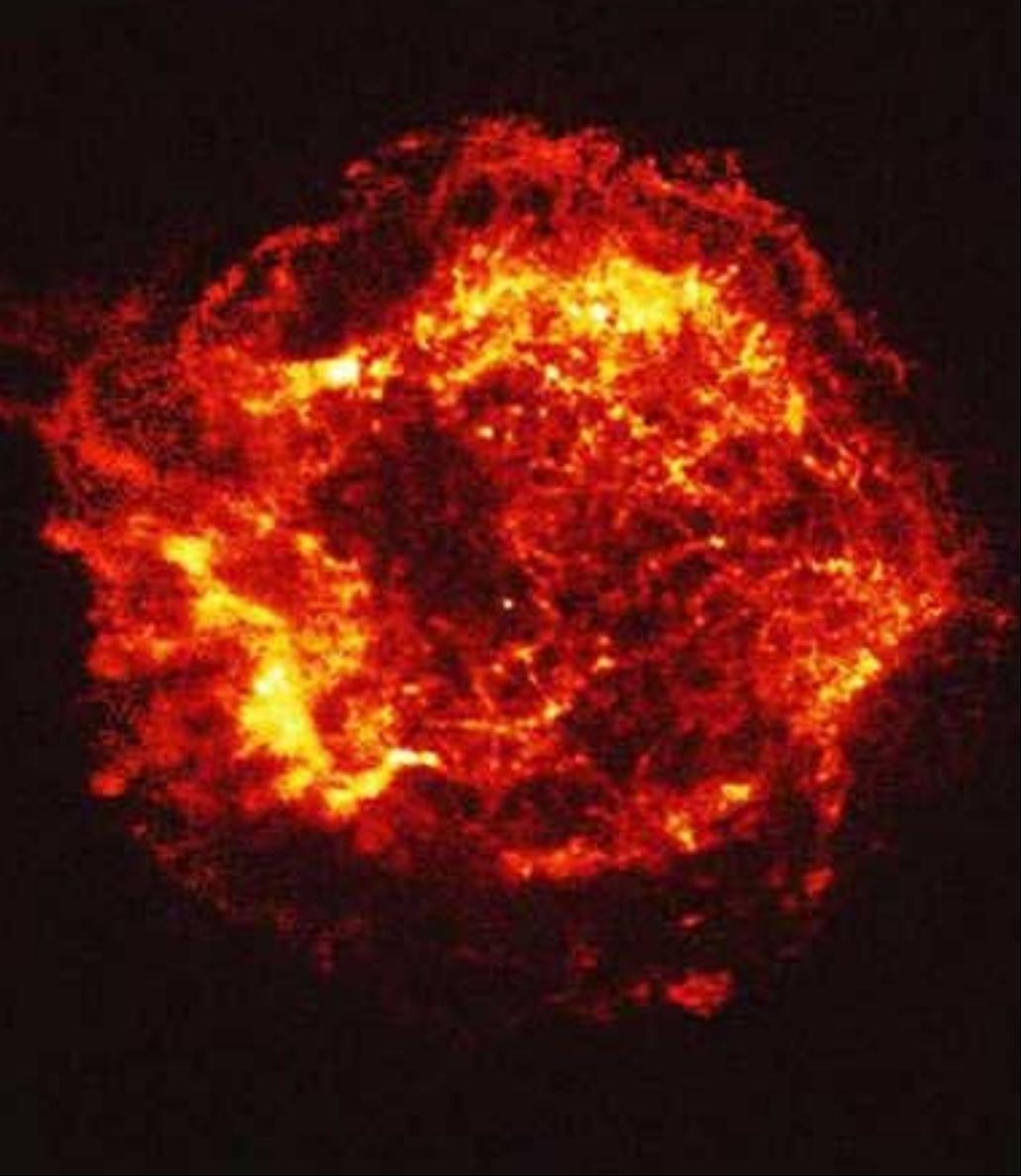
Der Kernphysiker Hans Christian von Baeyer hat das dynamische Vakuum mit poetischen Worten umschrieben: „Es ist wie ein stiller See in einer Sommernacht, dessen Oberfläche sich sanft kräuselt, während überall Paare von Elektronen und Positronen wie Glühwürmchen aufleuchten – ein geschäftiger und freundlicher Ort.“

Es kann aber auch passieren, dass eine winzige Kräuselung sich urplötzlich zu einer Flutwelle auftürmt: Ebenso wie Teilchen aus dem Nichts auftauchen, ist es nämlich möglich, dass das Vakuum selbst ohne erkennbare Ursache in einen höheren Energiezustand springt. Teilchenforscher nennen diesen energiegeladenen Zustand „falsches Vakuum“. Diese Vakuum-Energie führt zu einer Kraft, die den Raum blitzartig auseinander drückt: Der Mikro-



AKG

Himmelsforscher Einstein, Lemaître
Sanfter Tod des Kosmos



DPA

Supernova-Explosion*: Jeder sterbende Stern liefert Rohstoff für neue Sonnen

kosmos wächst sprunghaft zum Makrokosmos.

Genau so eine Eruption des Vakuums muss in ferner Vergangenheit schon einmal aufgetreten sein: als es zum Urknall kam. Innerhalb eines Bruchteils einer Sekunde pumpte sich damals ein Raumgebiet von der Größe eines Atoms auf die Größe des heute überschaubaren Universums auf. Am Ende dieser Expansionsphase verwandelte sich die im falschen Vakuum gespeicherte Energie in Materie – ähnlich wie Wasserdampf, der zu Regentropfen kondensiert.

Für den Schweizer Astronomen Tamman könnte diese kosmische Inflation auch das Rätsel lösen, woher die alles bestimmende dunkle Energie stammt: „Vielleicht handelt es sich bei ihr um den kümmerlichen Rest, der von der irrwitzig hohen Vakuum-Energie übrig geblieben ist.“

Viele Physiker sind überzeugt: Wenn man nur lange genug wartet, wird es wieder zu einem solchen Schöpfungsakt kommen. Der Urknall war kein Einzelfall.

Die Geburt eines neuen Universums, so die Theorie, würde damit beginnen, dass irgendwo im nicht enden wollenden leeren Raum erneut eine mikroskopisch kleine Blase falschen Vakuums entsteht und sich mit extrem hoher Geschwindigkeit aufbläht.

In weniger als einer Sekunde wird die expandierende Vakuum-Blase vom umliegenden Weltraum abgeschnürt und schließlich abgetrennt: Das „Tochter-Universum“ nabelt sich ab. Bildhaft ähnelt dieser Prozess einer Frucht, die von einem alten Apfelbaum fällt und einen neuen entstehen lässt.

„Von diesem Moment an wird das neue Universum stetig anwachsen und die üblichen Entwicklungsstadien durchlaufen“, erläutert der Theoretische US-Physiker Alan Guth, einer der Väter der Theorie vom inflationären Urknall. „Für einen Beobachter im Mutteruniversum würde das Ereignis so aussehen, als ob ein Schwarzes Loch entsteht – das gleich danach wieder verschwindet.“

Einige Forscher gehen in ihren Spekulationen noch einen Gedankenschritt weiter. Die Zukunfts-Chronisten Adams und Laughlin halten es sogar für möglich, dass eine extrem fortgeschrittene Zivilisation

im Stande sein könnte, eine solche Vakuum-Blase künstlich zu erzeugen; sie könnten sich, als letzten Ausweg aus einem dahinsiechenden Universum, einfach ein neues schaffen: „Wenn sie die Eigenschaften und physikalischen Gesetze vorherbestimmen könnte, würde die Zivilisation sicherstellen, dass das Kind-Universum die Entwicklung von Leben begünstigt.“

So aberwitzig diese Idee auch klingen mag: Sie würde zumindest erklären, warum unser eigenes Universum ein so gastlicher Ort ist. Kann es Zufall sein, dass von den unendlich vielen denkbaren Universen ausgerechnet ein solches entstanden ist, das die Bildung von Sternen, Planeten und sogar Leben ermöglicht?

„Wenn wir Gott spielen und die Werte für die Naturkonstanten und -kräfte frei wählen könnten“, sagt der Physiker Davies, „würden wir wohl entdecken, dass fast alle Einstellungen das Universum unbewohnbar machen würden.“

Wäre etwa die Schwerkraft, die schwächste aller Naturkräfte, nur geringfügig stärker, so hätten sich weder Sonnen noch Planeten bilden können; das Weltall wäre schon bald nach dem Urknall wieder in sich zusammengestürzt.

Lauter solche (scheinbaren) Wunder haben dafür gesorgt, dass aus dem Urknall die beste aller möglichen Welten hervorging. Hat also doch irgendjemand daran gedreht? Womöglich ein Schöpfergott? Oder gar eine gottgleiche Superzivilisation aus einem Vorgänger-Universum?

Wie bei einer kochenden Suppe, in der Blasen emporsteigen, könnten sich neue Universen entfalten

Es gibt auch eine einfachere Erklärung. Weil eine Quantenfluktuation im Vakuum immer wieder auftreten kann, gibt es wahrscheinlich nicht nur ein einziges Universum, sondern unendlich viele, die getrennt voneinander existieren.

„Wie bei einer kochenden Suppe, in der andauernd Blasen emporsteigen“, so stellt sich das der Münchner Physiker Wolfgang Wild vor, „könnten sich immer neue Universen entfalten.“

Ereignet sich folglich ständig irgendwo ein neuer Urknall? Dann wäre das Weltall, das die Menschheit beherbergt, eben doch nur ein statistischer Zufallstreffer. Fast alle anderen Universen hingegen kämen als Totgeburten auf die Welt – jedoch unbemerkt, denn niemand lebte dort, der die grenzenlose Ödnis wahrnehmen könnte.

In der kosmischen Lotterie hätten die Menschen mit ihrem Universum also einfach nur das große Los gezogen.

OLAF STAMPF

* Aufgenommen mit dem Röntgensatelliten „Chandra“; bei dem kleinen hellen Punkt in der Bildmitte handelt es sich vermutlich um den Überrest des explodierten Sterns.