

SPIEGEL-GESPRÄCH

„Warum ist nicht nichts?“

Der Teilchenphysiker und Buchautor Brian Greene über die Zersplitterung des Raums, das Wesen der Zeit und die Geburt des Universums aus einem unvorstellbar winzigen Korn

Als Physiker an der New Yorker Columbia University arbeitet Greene, 42, an der so genannten Superstring-Theorie, die den fundamentalen Aufbau aller Materie beschreiben soll. Dabei sieht er sich gezwungen, selbst das Fundament allen Denkens in Frage zu stellen: Raum und Zeit. Als Autor sorgte Greene bereits mit seinem Bestseller „Das elegante Universum“ für Aufsehen, in dem er den Stand der String-Theorie beschreibt. In seinem neuen Buch „Der Stoff, aus dem der Kosmos ist“ versucht er nun, seine Theorien in ein Szenario der Weltentstehung einzubetten**.

SPiegel: Herr Professor, Sie behaupten in Ihrem neuen Buch, dieser Raum hier veratere etwas über den Urknall?

Greene: Verblüffend viel sogar. Die bloße Tatsache, dass hier Ordnung herrscht ...

SPiegel: ... mehr als in den meisten Physikerbüros übrigens ...

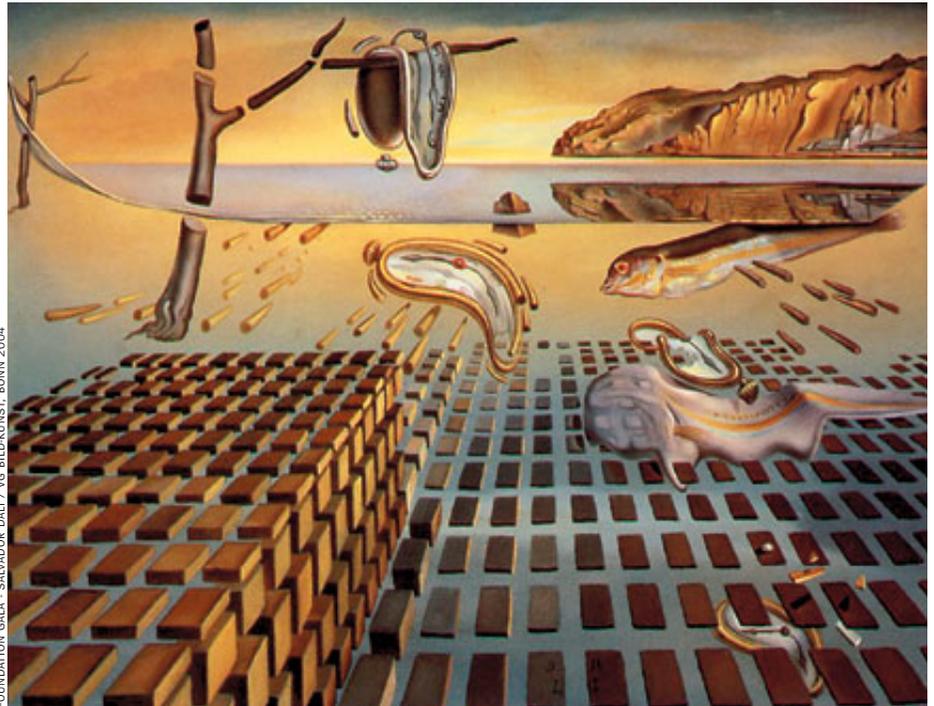
Greene: ... oh, danke. Aber ich meine nicht nur die Ordnung in meinem Zimmer. Ich spreche von jeder Art Ordnung, von biologischen Systemen wie Ihnen und mir zum Beispiel, oder von geordneten Objekten wie dieser Ledercouch oder diesem Tisch. Wie ist solche Ordnung möglich?

SPiegel: Und das soll etwas mit dem Urknall zu tun haben?

Greene: Ja. Letztlich hängt das mit dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zusammen. Er sagt aus, dass die Unordnung jedes abgeschlossenen Systems im Lauf der Zeit ansteigt. Auch die Welt als Ganzes hat folglich eine Neigung von der Ordnung weg, hin zur Unordnung. Wenn wir aber heute noch solch erstaunliche Ordnung beobachten, dann muss die Welt früher noch viel, viel geordneter gewesen sein. Beim Urknall selbst muss folglich eine kaum vorstellbare Ordnung geherrscht haben, sonst könnten wir hier 14 Milliarden Jahre später nicht in diesem Raum zusammensitzen.

SPiegel: Das Betrachten dieses Raumes lässt sich also als Experiment betrachten, das uns etwas über die Eigenschaften des Urknalls erzählt?

Greene: Über die Eigenschaften des Urknalls, aber auch über die Eigenschaften der Zeit. Seit Jahrhunderten fragen sich die Leute: Warum geht Zeit nur in eine Richtung? Im Raum kann man sich nach rechts oder links bewegen, nach vorn oder hinten, oben oder unten. Warum geht dann die



Zeit-Darstellung*: „Das Universum nimmt nicht Teil an unserer Idee vom Jetzt“

Zeit nur vorwärts und nie rückwärts? Auch das hat mit der Neigung von Systemen zu tun, sich vom Zustand der Ordnung in einen Zustand der Unordnung zu bewegen.

SPiegel: Weiß die Physik denn inzwischen zu beantworten, was Zeit eigentlich ist?

Greene: Letztlich nicht. Schon Newton kämpfte ja mit einer Definition. Als er seine Bewegungsgleichungen aufschrieb, um die Bahn von Kanonenkugeln zu beschreiben oder vom Mond, wie er sich um die Erde dreht, da merkte er, dass diese Gleichungen gar keinen Sinn ergeben, solange er nicht zuvor definierte, was eigentlich Zeit und Raum sind. Er gab eine Definition – aber eine nicht sehr befriedigende. Er sagte einfach: „Zeit ist, und sie tickt gleichmäßig von Moment zu Moment.“

SPiegel: Gibt es denn Zweifel daran, dass die Zeit existiert?

Greene: Die gab es schon damals. Leibniz etwa war anderer Meinung als Newton. Er glaubte, dass Zeit nichts ist als eine Sprache, die es uns ermöglicht, Ereignisse miteinander in Beziehung zu setzen. In einer

Welt ohne Veränderung gäbe es seiner Vorstellung zufolge keine Zeit.

SPiegel: Und der zweite Teil von Newtons Definition, dass nämlich die Zeit gleichmäßig fließe ...

Greene: ... ist schlichtweg falsch, sogar in zweierlei Hinsicht: Weder fließt die Zeit überhaupt, noch tut sie es gleichmäßig.

SPiegel: Was heißt: Sie fließt nicht?

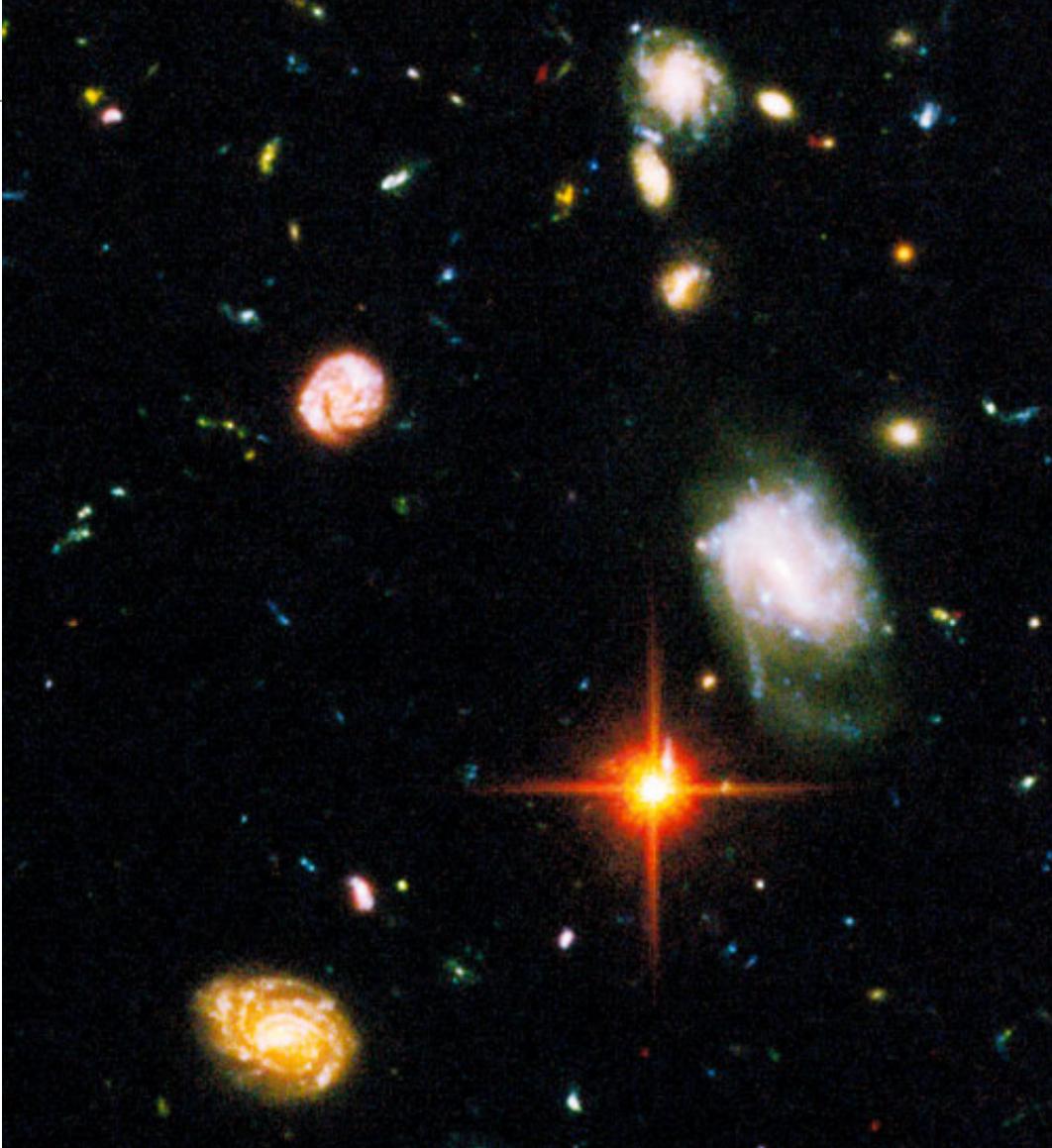
Greene: Es ist äußerst verstörend, dass wir in der Tat das Gefühl haben, das Verb „fließen“ beschreibe höchst genau, was die Zeit tut. In den Gleichungen der Physik jedoch gibt es nicht den allergeringsten Hinweis darauf. Wie schnell soll die Zeit denn fließen? Eine Sekunde pro Sekunde? Und was wäre, wenn sie doppelt so schnell fließt? Wir würden es gar nicht merken – eine solche Behauptung ergibt gar keinen Sinn. Aber das Dilemma ist weit mehr als nur ein semantisches.

SPiegel: Sondern, was noch?

Greene: Einsteins Relativitätstheorie hat uns gelehrt, dass, wenn wir beide uns relativ zueinander bewegen, die Zeit für uns unterschiedlich schnell tickt. Newtons Vorstellung einer absoluten Zeit, die genau die gleiche ist für jedermann, für Sie, für mich, auf Erde, Jupiter, Alpha Centauri und in

* „Die Auflösung der Erinnerung“ von Salvador Dalí, 1952 bis 1954.

** Brian Greene: „Der Stoff, aus dem der Kosmos ist“. Siedler Verlag, München; 640 Seiten; 28 Euro.



NASA / ESA

Galaxien am irdischen Himmel*: 3000-jährige Reise auf der Suche nach Wahrheit

der Andromeda-Galaxie, ist damit vollständig zerstört.

SPIEGEL: Und was folgt daraus?

Greene: Nun, wenn wir zu unterschiedlichen Ergebnissen darüber kommen, was zu einem bestimmten Zeitpunkt geschieht, dann stimmen wir auch nicht darin überein, was Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft sind. Was Zukunft für Sie ist, kann Vergangenheit für mich sein oder umgekehrt. Dass es ein „Jetzt“, ein „Vergangen“ und ein „Zukünftig“ gibt, ist nichts als Illusion. Das Universum nimmt

nicht teil an dieser unserer Idee vom „Jetzt“.

SPIEGEL: Und unser Glaube daran, dass die Vergangenheit festgelegt, die Zukunft aber offen ist – auch das nur eine Illusion?

Greene: Einstein jedenfalls hat es so gesehen. Unser Geist scheint zwar unfähig, sich die Welt vorzustellen, ohne ihr diese Struktur von Zukunft und Vergangenheit überzustülpen. Aber diese Begriffe sind so subjektiv, dass es schwer fällt, eine fundamentale Bedeutung darin zu erkennen.

SPIEGEL: Wollen Sie wirklich sagen: Der US-Präsident des Jahres 2100 liegt ebenso unverrückbar fest wie der des Jahres 1900?

Greene: Einige Physiker zumindest gehen so weit. Intuitiv haben wir ja das Gefühl: Zukunft ist die Richtung der Zeit, in der die Dinge noch offen sind; in Richtung Vergangenheit dagegen sind sie entschieden oder festgelegt. Es ist jedoch äußerst schwierig, für dieses Konzept von „festgelegt sein“ irgendeine Heimat innerhalb der Gesetze der Physik zu finden. Sosehr Sie auch suchen: Sie finden keinen Zeitpfeil in den fundamentalen Gesetzen der Physik. Deshalb ist

ja auch der freie Wille so ein problematisches Phänomen: Im Grunde lässt die Physik dafür keinen Platz.

SPIEGEL: Auch die Quantenmechanik hilft nicht heraus aus diesem Dilemma?

Greene: Leider nicht wirklich. Richtig ist: Die Gleichungen der Quantenmechanik sagen nicht eindeutig vorher, was in der Zukunft geschehen wird; sie geben nur Wahrscheinlichkeiten dafür an, dass etwas passieren wird. Deshalb liegt es nahe zu fragen: Hat sich die Unbestimmtheit der Zukunft vielleicht in diesen Gleichungen versteckt? Kommt also da der freie Wille ins Spiel? Das Problem ist nur: Sie dürfen nicht nur nach der Zukunft, Sie müssen auch nach der Vergangenheit fragen. Und da stellen Sie fest: Die Gleichungen der Quantenmechanik geben auch darüber nur Wahrscheinlichkeiten an.

SPIEGEL: Sie sind also wieder so klug wie zuvor?

Greene: Sie sagen es. Das Kardinalproblem besteht darin, dass die Gleichungen der Physik – die klassischen, aber auch die quantenmechanischen – in keiner Weise zwischen Zukunft und Vergangenheit unterscheiden. Deshalb ist es extrem schwierig zu erklären, warum Zukunft und Vergangenheit verschieden sind – es sei denn, wir könnten erklären, warum es einen Moment gegeben hat, zu dem das Universum sehr speziell, nämlich extrem ordentlich war, und alles, was wir heute sehen, ist die Folge dieser Ordnung.

SPIEGEL: Sie reden vom Urknall. Aber nun erklären Sie doch bitte, was daran so wahn-sinnig ordentlich ist. Eine heiße Suppe von Teilchen, die chaotisch durcheinander flitzen – was könnte unordentlicher sein?

Greene: Sie haben Recht. Das widerspricht der Intuition. Wenn Tinte in ein Glas Wasser tropft, wird sie sich gleichmäßig verteilen – und damit die Unordnung maximieren. Genau so scheint es auch im ganz frühen Universum auszusehen: ein heißes ganz gleichmäßig verteiltes Gas – also, wie bei der Tinte im Wasser, ein Zustand extrem hoher Unordnung? Die Antwort lautet: Nein. Denn wir haben die Schwerkraft vergessen. Bei der Tinte im Wasser spielt sie keine Rolle – im gesamten Universum dagegen sehr wohl.

SPIEGEL: Und wie wirkt sich die Schwerkraft aus?

Greene: Sie bedingt, dass jedes Stück Materie an jedem anderen Stück zieht. Deshalb neigt die Materie dazu, Klumpen zu bilden. Die Schwerkraft wirkt also einer gleichmäßigen Verteilung entgegen. Der heiße See aus Materie und Strahlung, wie er am Anfang existierte, ist folglich viel, viel



HOLGER KEIFEL

Theoretiker Greene

„Kaum vorstellbare Ordnung beim Urknall“

* Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops.

geordneter, als das Universum wäre, wenn man der Welt erlaubte, in ihren natürlichen Zustand zu finden.

SPIEGEL: Und wie hätte der ausgesehen?

Greene: Wie ein See aus lauter Schwarzen Löchern, also aus extrem dichten Materiekumpen. Warum die Welt anfangs nicht so ausgesehen hat, ist eines der zentralen Rätsel, die wir Physiker knacken müssen.

SPIEGEL: Und dazu müssen sie den Big Bang verstehen. In Ihrem Buch behaupten Sie, eines der großen Probleme sei, dass es sich um einen Urknall ohne Knall handelt.

Greene: In der Tat. Die meisten Leute glauben ja, die Urknalltheorie erkläre, wie das Universum begann – mit einem Knall, einer Art Explosion. Aber wenn Sie die Gleichungen sorgfältig studieren, dann stellen Sie fest, dass sie genau am Anfang, zum Zeitpunkt null, kollabieren. Über den Moment der Schöpfung sagen sie nichts aus. War da wirklich ein Knall? Oder was sonst? Und was war die Ursache? Angesichts dieser Fragen bleiben die Formeln stumm. Das heißt: Die Theorie vom Big Bang lässt das Wichtigste aus: den Bang.

SPIEGEL: Gibt es denn Ideen, was den Bang ausgelöst haben könnte?

Greene: Das Problem dabei ist wiederum die Schwerkraft. Sie ist eine anziehende Kraft. Sie zieht die Dinge zusammen. Im Urknall jedoch bewegt sich alles voneinander weg. Welche Kraft also könnte es sein, die die Dinge auseinandertrieb?

SPIEGEL: Und, haben Sie eine Antwort?

Greene: Es gibt eine Lösung: die so genannte inflationäre Kosmologie. Sie geht davon aus, dass die Schwerkraft nicht immer eine anziehende Kraft gewesen sein muss. Sie kann vielmehr auch abstoßend sein, sie kann die Dinge auseinander treiben – allerdings nur unter extrem exotischen Umständen, wenn nämlich das Universum anfangs mit einem so genannten Inflationfeld ausgefüllt war. Dann nämlich tritt in Einsteins Gleichungen eine Anti-Gravitation auf. Und diese wiederum könnten den Urknall angestoßen haben. Das fügt der Big-Bang-Theorie also den Bang hinzu, eine Kraft, die Raum und Zeit auseinander treibt und so das sich ausdehnende Universum gebar, das wir heute beobachten.

SPIEGEL: Mit anderen Worten: Sie zaubern dieses Inflationfeld her, und schon zündet der Urknall?

Greene: Korrekt.

SPIEGEL: Und woher kommt dieses seltsame Inflationfeld?

Greene: Wir brauchen es eben, damit der Urknall startet ...

SPIEGEL: ... sehr befriedigend klingt diese Erklärung nicht.

Greene: Zugegeben. Aber eine befriedigendere haben wir nicht. Immerhin aber scheint mir der gegenwärtige Stand unserer Theorie faszinierend genug: Alles, was Sie brauchen, ist ein winziges Körnchen, gefüllt mit einem Inflationfeld ...

SPIEGEL: Was heißt winzig?

Greene: Etwa 10 hoch minus 30 Zentimeter groß, das entspricht etwa einem Milliardstel eines Milliardstels eines Atomkerndurchmessers. Und dieses Körnchen füllen Sie mit einem Feld, dessen Energie vielleicht einigen Pfund Masse entspricht – und schon bekommen Sie eine wunderbar robuste Theorie unseres Universums!

SPIEGEL: Wie soll man sich das vorstellen? Was passiert denn mit Ihrem Inflationfeld-gefüllten Körnchen?

Greene: In den Einstein-Gleichungen tritt eine enorme Anti-Schwerkraft auf, die unser Körnchen wachsen lässt, und zwar unglaublich schnell: Binnen eines Milliardstels eines Milliardstels einer Milliardstel Sekunde schwillt es um einen gigantischen Faktor an. Am Ende dieser rasanten Ausdehnung – dieser „Inflation“, wie wir es nennen – ist unser Körnchen dann mindestens so groß wie eine Grapefruit.

SPIEGEL: Und dann?

Greene: Dann zerfällt die Energie des Inflationfeldes

in normale Materie: in Elektronen, Quarks und Neutrinos, wie wir sie heute kennen. Dieses mit Materie gefüllte Universum wird sich nun immer weiter ausdehnen. Andererseits wirkt die Schwerkraft von jetzt an anziehend und beginnt, die Materie zu verklumpen – zu Galaxien, Sternen und Planeten. So entsteht ein Universum mit genau den Eigenschaften, die wir mit unseren Teleskopen beobachten.

SPIEGEL: Das ganze klingt nach Taschenspielertrick: Am Anfang steht ein Feld, das nur die Energie weniger Pfunde enthält, am Ende ein ganzes Universum. Gibt es nicht so etwas wie Energieerhaltung?

Greene: O doch. Und das Verblüffende ist: Sie wird keineswegs verletzt. Denn da ist nicht nur die Energie des Inflationfeldes. Da ist auch die Energie der Schwerkraft, und die ist normalerweise negativ. Deshalb können Sie sozusagen Energie aus der



Philosoph Leibniz

Ist die Zeit nur eine Sprache?



Physiker Newton

Und wie schnell fließt sie?

Schwerkraft saugen: Je mehr negative Energie in Gestalt von Schwerkraft gebunden ist, desto mehr positive Energie kann die Gestalt von Materie annehmen. Und genau das ist es, was während der Inflation geschieht: Die Menge positiver Energie in Form von Strahlung und Materie wächst, aber die Menge negativer Energie in Form von Schwerkraft auch.

SPIEGEL: Trotzdem drängt sich der Eindruck auf, dass Sie da etwas aus dem Nichts schaffen.

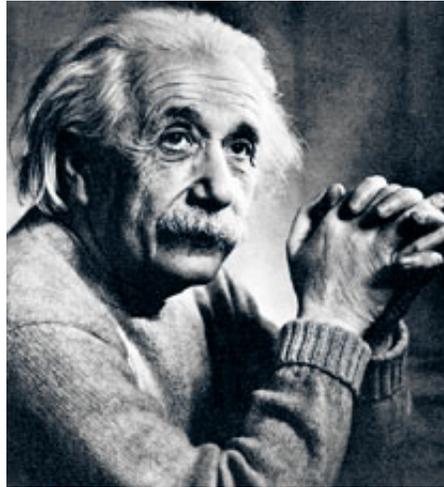
Greene: Aber genau das wollen Sie doch, wenn Sie Kosmologie treiben. Es geht ja darum, zu erklären, warum das Universum überhaupt da ist, warum es Energie enthält. Die Schlüsselfrage lautet: Warum ist überhaupt etwas und nicht nichts?

SPIEGEL: Nun starten Sie aber nicht aus dem Nichts, sondern nur aus dem Fast-Nichts. Am Anfang war offenbar Ihr kleines Körnchen. Wie darf man sich das denn vorstellen? Befand es sich schon in Raum und Zeit?

Greene: Ich wünschte, ich könnte Ihnen die Antwort sagen. Das Universum könnte sich auch in einem Zustand befunden haben, in dem unsere Begriffe von Raum und Zeit noch keinen Sinn hatten. In diesem Urchaos könnte das winzige, mit einem Inflatonfeld gefüllte Körnchen spontan entstanden sein. Alles, was wir kennen – Raum, Zeit, Materie, Energie –, wäre dann erst während der Phase der Inflation entstanden. Aber was, so werden Sie fragen, war dann dieses komische raumlose, zeitlose Chaos? Ich kann leider nur sagen: Ich weiß es nicht.

SPIEGEL: Aber Ihre Hoffnung besteht darin, dereinst eine Theorie zu finden, aus der die Zeit quasi von selbst hervorgeht?

Greene: Wir arbeiten daran. Das könnte uns zum Beispiel auch eine Antwort auf eine andere der großen Fragen liefern: In der Relativitätstheorie sind Raum und Zeit extrem nahe Verwandte, sie sind geradezu miteinander verschmolzen zur vierdimensionalen Raumzeit, und trotzdem erscheinen sie uns so gänzlich verschieden. Warum nur? Warum gibt es ein Ding namens Zeit, das ganz ähnlich ist wie der Raum und doch so gänzlich anders? Der Traum eines Phy-



TOSUF KARSH / JULIEN BILDERDIENST

Physikpionier Einstein

Kein Platz für den freien Willen

sikers wäre es, mit seiner Theorie in einem Bereich zu beginnen, wahrscheinlich noch vor dem Urknall, wo es noch keinen Unterschied gab zwischen Raum und Zeit. Und dann, durch irgendeine Form der Evolution – wobei natürlich noch unklar ist, was Evolution ohne Zeit überhaupt sein soll –, müsste man in den Gleichungen ablesen können, wie Raum und Zeit von selbst entstanden. Das wäre ein grandioser Triumph menschlichen Verstehens.

SPIEGEL: Hätte eine solche Theorie auch Konsequenzen für die Zeit, wie wir sie heute erleben?

Greene: Durchaus möglich. Ich bin zum Beispiel fest davon überzeugt, dass wir, wenn wir zu ganz, ganz winzigen Abständen vorstoßen, eine neuartige Bühne in unsere Theorien einführen sollten, die keinen Gebrauch macht von der uns vertrauten Zeit. Ich nehme an, dass wir ein viel fundamentaleres Prinzip finden müssen. Raum und Zeit sollten sekundäre Ideen sein, die aus einer tieferen Ebene hervorgehen.

SPIEGEL: Gibt es irgendwelche Vorstellungen, wie eine solche tiefere Ebene aussehen könnte?

Greene: Allenfalls in ersten Ansätzen. Einige Forscher zum Beispiel arbeiten mit et-

was, das sie Quantenschaum nennen. Aber das ist noch ziemlich unerforschtes Terrain.

SPIEGEL: Und was ist dieser „Schaum“?

Greene: Er enthält nur eine Ahnung von der uns vertrauten Raumzeit. Er ist so turbulent, dass man allenfalls Splitter und Scherben von Raum und Zeit in diesem Schaum sieht. Mit größerem Abstand jedoch erscheinen diese Splitter und Scherben wie eine schöne, glatte Raumzeit.

SPIEGEL: Klingt ziemlich verrückt. Nachdem die moderne Physik also erst die Atome in immer kleinere und kleinere Teilchen zerlegt hat, fängt sie nun auch noch an, Raum und Zeit zu zersplittern. Kommt dieser Prozess, hinter dem Fundamentalen immer das noch Fundamentalere zu suchen, eigentlich irgendwann an ein Ende?

Greene: Unbedingt. Irgendwann wird man die fundamentalen Bestandteile und die fundamentalen Gesetze der Wirklichkeit finden. Denn jeder Schritt zu einer tieferen Etage – von Newton zu Einstein zur Quantenmechanik und so weiter – war ein Schritt zu größerer Einfachheit ...

SPIEGEL: ... ehrlich gesagt, scheint „einfach“ nicht ganz der richtige Begriff für das, was Sie hier so ausführen.

Greene: Es mag für den Außenseiter so aussehen, als würde alles immer komplizier-



HOLGER KEIFEL

Greene, SPIEGEL-Redakteur*

Gab es ein raumloses, zeitloses Urchaos?

ter. Aber entscheidend ist, dass wir auf eine immer geringere Zahl fundamentaler Ideen und Prinzipien angewiesen sind. Und wer diesen Fortschritt zu wachsender Einfachheit betrachtet, der kann sich kaum gegen den Gedanken sperren, dass die Suche irgendwann an ein Ende kommen wird.

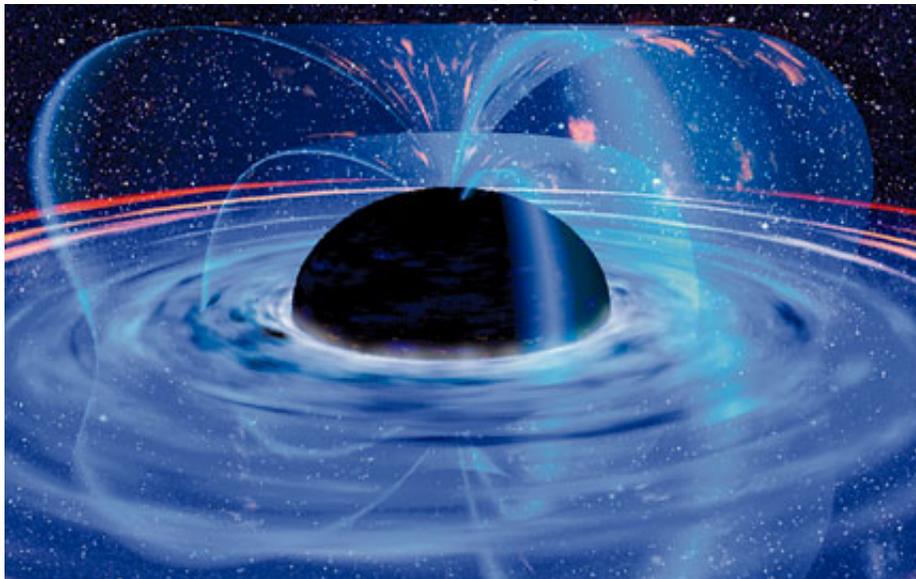
SPIEGEL: Werden Sie es überhaupt erkennen, wenn Sie beim fundamentalsten aller Prinzipien angekommen sind?

Greene: Wenn wir es einmal gefunden haben, dann wird das offensichtlich sein. Das befriedigendste aller denkbaren Ergebnisse der 3000-jährigen Reise auf der Suche nach der Wahrheit wäre die pure logische Konsistenz: der Nachweis, dass die Welt gar nicht anders sein kann, als sie ist.

SPIEGEL: Herr Professor, wir danken Ihnen für dieses Gespräch.

* Mit Johann Grolle auf dem Campus der Columbia University.

Schwarzes Loch (Computeranimation): „Verklumpung ist der natürliche Zustand der Welt“



DANA BERRY / NASA