

«SCHRECKLICHES ENDE IM NICHTS»

Astrophysiker Ben Moore modelliert mit einem Supercomputer die Entstehung und Entwicklung des Universums. Ein Gespräch über den Urknall, das Ende des Kosmos und die Erfindung von Gott. Von Thomas Gull und Roger Nickl

Ben Moore, weshalb sind Sie Astrophysiker geworden?

BEN MOORE: Das habe ich meinem Vater, der Förster war, zu verdanken. Obwohl nur ein einfacher Arbeiter, machte er sich Gedanken über die Natur und das Universum. Er fragte mich jeweils: «Was denkst du, wie dies alles entstanden ist – das Universum, die Erde, wir?» Er selbst konnte diese Fragen nicht beantworten und ermutigte mich, an die Universität zu gehen, statt im Wald zu arbeiten wie er. Von ihm bekam ich auch interessante Bücher, etwa die des Physikers Paul Davies. So wurde mein Interesse geweckt, und ich ging an die Universität, um Physik zu studieren und die Fragen meines Vaters zu beantworten.

Vor 400 Jahren entdeckte Galileo Galilei mit seinem Teleskop die Jupiter-Monde und Johannes Kepler berechnete die Gesetze der Planetenbewegung. Wie haben sich die Astronomie und die Astrophysik seit diesen Anfängen verändert?

MOORE: Galilei war der Erste, der mit einem Teleskop unsere Galaxie, die Milchstrasse, beobachtete. Mit blossen Auge betrachtet, ist sie nichts als ein Fetzen Licht am Himmel. Er war der Erste, der die Struktur der Galaxie entdeckte, der sah, dass sie aus Millionen von Sternen besteht. Eine der grossen Fragen der heutigen Astrophysik ist, wie Galaxien überhaupt entstehen konnten. Wir machen auf diesem Gebiet momentan grosse Fortschritte. Wir sind fast so weit zu verstehen, wie die Milchstrasse entstanden ist. Dazu brauchte es 400 Jahre Forschung.

Woran arbeiten Sie zurzeit?

MOORE: Im letzten Jahrzehnt haben wir nicht nur ein Modell des Urknalls entwickelt, der am

Ursprung des Universums steht. Wir haben auch herausgefunden, wie und unter welchen Bedingungen die Strukturen des Universums entstanden sind. Wir wissen heute sehr gut, in welchem Zustand das Universum ein paar Stunden nach dem Big Bang war. Und wir wissen, woraus die Sterne, Planeten, Galaxien entstanden sind. Wir kennen aber noch nicht alle Bestandteile unseres Universums, das gilt insbesondere für die Dunkle Materie und die Dunkle Energie. Aber es gibt Modelle dafür, die wir in unsere Kalkulationen integrieren können. Mit unserem Supercomputer können wir – ausgehend von ursprünglichen Bestandteilen – die Entwicklung des Universums simulieren. Am Schluss solcher Simulationen sehen wir dann hoffentlich Sterne, Planeten und Galaxien, wie wir sie heute tatsächlich beobachten können.

Welches waren denn die ursprünglichen Bedingungen?

MOORE: Mit dem Urknall wurden Zeit und Raum geschaffen. Weshalb sich der Big Bang ereignete und was davor war, wissen wir nicht. Das sind grosse, offene Fragen. Tatsache aber ist: den Big Bang hat es gegeben. Und heute wissen wir auch, in welchem Zustand sich das Universum unmittelbar danach befand. Zu Beginn war die Materie sehr fein verteilt. Wenn wir bis zu den Anfängen des Universums zurückblicken, sehen wir eine Art Meer mit vielen ganz kleinen Wellen. Diese Wellen entstanden, weil sich dort besonders viel Materie und Partikel angehäuften. Es gab also kleine Unregelmässigkeiten bei der Verteilung der Materie im frühen Universum. Dank der Schwerkraft haben diese Materieansammlungen dann weitere Materie angezogen. So sind die ersten Strukturen des Universums entstanden, aus denen sich später Sterne, Planeten, Galaxien formierten.



Das heisst, die Gravitation ist einer der entscheidenden Faktoren für die Entstehung der sichtbaren Strukturen im Universum?

MOORE: Ohne Gravitation wären wir nicht hier. Die Gravitation sorgt dafür, dass sich die Masse an bestimmten Orten konzentriert. Eigentlich expandiert das Universum. Die Gravitation verlangsamt diese Ausdehnung jedoch. An jenen Stellen, wo sich genügend Materie angesammelt hat, wird sie vollständig gestoppt; ist die Konzentration an diesen Stellen genügend gross, kollabiert die Materie und geht in neue Strukturen über. Wir vergleichen das mit Wellen, die grösser werden, schliesslich brechen und eine neue Form annehmen.

Im Universum wirken also zwei antagonistische Kräfte – auf der einen Seite die Gravitation, die die Materie zusammenhält, auf der anderen Seite die Dunkle Energie, die sie auseinandertreibt?

MOORE: Ja, die Dunkle Energie ist eine abstossende Kraft, die der Gravitation entgegenwirkt. Heute ist sie noch nicht sehr stark, sie wird in Zukunft aber immer stärker werden. Wir wissen noch nicht, weshalb das so ist. Schlussendlich wird die Dunkle Energie aber

dominieren. Sie wird dafür sorgen, dass das Universum sich immer schneller ausdehnt und sich die Galaxien immer weiter voneinander entfernen.

Sie sind dabei zu erklären, wie das sichtbare Universum entstanden ist und wie es sich in Zukunft entwickeln wird. Doch wie sieht es mit dem Big Bang aus – gibt es Theorien zu seinem Ursprung?

MOORE: Wir verstehen die Entwicklung des Universums bis zur ersten Sekunde nach dem Urknall. Damals war die Materie des gesamten Universums auf die Grösse eines Atoms komprimiert – alles war unvorstellbar dicht und heiss. Die Kräfte, die dazu geführt haben, kennen wir aber nicht.

Wird die Frage nach dem Grund für den Big Bang überhaupt je beantwortet werden können?

MOORE: Wir können nur das sichtbare Universum erklären, das mittlerweile 15,7 Milliarden Jahre alt ist und seit seinen Anfängen Licht ausstrahlt. Mehr können wir nicht beobachten: Wir können also nicht sagen, ob unser Universum sich nur auf das beschränkt,

was wir sehen können, oder ob es letztlich unendlich gross ist. Viele Wissenschaftler glauben heute, es gebe eine Art Multiversum.

Wie muss man sich ein Multiversum vorstellen?

MOORE: Die Wissenschaft steht vor einem philosophischen Problem. Denn unser Universum wird, wie gesagt, immer stärker von der Dunklen Energie angetrieben, die dafür sorgt, dass es sich immer schneller ausdehnt. Das Universum hat also einen klar definierten Ausgangspunkt, den Urknall, und ein schreckliches Ende im Nichts – die Galaxien lösen sich auf, die Sterne sterben, alles wird dunkel und kalt. Philosophisch betrachtet ist das doch sonderbar. Wenn nun aber das Universum unendlich wäre, gäbe es folglich auch die Möglichkeit einer unendlichen Vielfalt von Erscheinungsformen. Teile dieses unendlichen Multiversums könnten über genügend Materie verfügen, um erneut zu kollabieren. Andere Teile wiederum könnten gerade jetzt neu geschaffen worden sein und sich ausdehnen wie unser Universum.

Das heisst, unser Universum könnte Teil eines viel grösseren Universums sein?



«Die Zukunft des Universums sieht finster aus: Galaxien lösen sich auf, Sterne sterben, alles wird dunkel und kalt.»

MOORE: Eines unendlichen Universums, von dem wir nichts wissen, ja.

Gibt es nicht noch eine andere Erklärung für den Big Bang – Gott, der den Urknall schuf? Weshalb beschäftigen Sie sich nicht mit einer solchen Erklärung?

MOORE: Weil es keine Erklärung ist, sondern eine Frage des Glaubens – eine Erklärung, die sich mit der Physik nicht verifizieren oder falsifizieren lässt. God and physics don't mix – Gott und Physik gehen nicht zusammen.

Welche Rolle spielt denn Ihrer Meinung nach Gott in der Ordnung des Universums?

MOORE: Keine. Gott wurde von den Menschen erfunden, um Dinge zu erklären, die sie nicht verstanden haben. Die meisten dieser Fragen sind in der Zwischenzeit durch die Wissenschaft geklärt worden. Es sind ein paar Fragen geblieben, auf die wir noch keine Antworten haben. Das bedeutet aber nicht, dass wir sie früher oder später nicht auch beantworten können. Wenn wir wissenschaftlich erklären können, wie das Universum entstanden ist, brauchen wir keine mythischen Figuren wie Gott mehr. Es ist sehr schwierig, Wissenschaft

und Religion zusammenzubringen. Wissenschaft basiert auf Experimenten und Fakten – etwas ist beweisbar oder eben nicht.

Die Griechen hatten auch ihre Götter, trotzdem waren sie ziemlich abenteuerlustig und erfolgreich in ihren wissenschaftlichen Unternehmungen. Es gibt demnach nicht unbedingt einen Widerspruch?

MOORE: Die Griechen wussten alles – sie wussten, dass wir nicht im Zentrum des Universums stehen, sie wussten, dass sich die Erde um die Sonne dreht, sie kannten die Dimensionen des Sonnensystems. Sie spekulierten sogar darüber, ob unsere Galaxie eine rotierende Scheibe von Sternen sei. Auf die Griechen folgten dann Hunderte von Jahren religiöser Verblendung. Es wurde versucht, den Menschen weis zu machen, die Erde sei flach, die Sonne bewege sich um die Erde und der Mensch stehe im Zentrum des Alls. Alles Wissen der Griechen ging verloren – bis Galileo, Kepler und Newton erneut begannen, das Universum zu erforschen und zu berechnen. Deshalb würde ich sagen: Gott hatte einen schlechten Einfluss auf die Entwicklung der Mensch-

heit. Aber auch die Griechen hatten Fragen, die sie nicht beantworten konnten. Deshalb brauchten sie ihre Götter.

Wenn Sie sich die Entwicklung des Universums anschauen – ist es ein Zufall, dass die Erde als bewohnbare Oase in einer kalten und lebensfeindlichen Umgebung existiert?

MOORE: (lacht) Das klingt poetisch. Doch die Antwort ist deprimierend: Ja, es ist nur Zufall. In unserer Galaxie gibt es rund 10 Milliarden Sterne wie unsere Sonne. Sie alle werden von Planeten umkreist. Wenn sich diese in der richtigen Distanz zu ihrer Sonne befinden und auch die anderen Bedingungen stimmen, gibt es eine Chance, dass auf vielen dieser Planeten Leben entsteht. Ich halte das für sehr wahrscheinlich.

Mit Ihrem Kollegen Lawrence Krauss beschäftigen Sie sich in einem Projekt mit der Zukunft unserer Galaxie. Was wissen Sie über die Zukunft?

MOORE: Sie wird wie bereits angetönt sehr düster sein: Denn zumindest in unserem Teil des Universums wird früher oder später alles

«Gott wurde von den Menschen erfunden, um Dinge zu erklären, die sie nicht verstanden haben.»



Leben aussterben. Alle Sterne werden erlöschen, unsere Sonne wird explodieren und das Zentrum der Galaxie kollabiert in das Schwarze Loch, das sich in der Mitte befindet – der Rest driftet auseinander. Am Schluss bleibt nur das Schwarze Loch und sonst nichts übrig. Nichts ist stabil, nichts dauert ewig. Die Galaxie wird sich ausdehnen, bis die Gravitation sie nicht mehr zusammenhalten kann und sie von der Dunklen Energie vollends auseinandergerissen wird.

Doch bevor alles auseinanderdriftet, kollidiert die Milchstrasse noch mit der Andromeda-Galaxie?

MOORE: Genau. Das passiert kosmologisch betrachtet in vergleichsweise kurzer Zeit, in zwei bis drei Milliarden Jahren.

Die Kollision wird stattfinden, trotz der expansiven Kräfte der Dunklen Energie?

MOORE: Ja. Aber nach der Kollision, in fünf bis zehn Milliarden Jahren, wird die Dunkle Energie die Oberhand gewinnen, und die anderen Galaxien werden sich mit wachsender Geschwindigkeit von uns weg bewegen.

Das heisst, Milchstrasse und Andromeda werden zuerst kollidieren und eine neue Supergalaxie bilden, die dann mit der Zeit auseinanderdriftet?

MOORE: So ist es. Die Hälfte der Galaxie wird im Schwarzen Loch verschwinden. Wir sind dabei, die entsprechenden Berechnungen zu machen. Die andere Hälfte wird ins Nichts auseinanderdriften.

In welchen Zeiträumen müssen wir uns dieses Ende im Nichts vorstellen?

MOORE: Das wird etwa eine Milliarde Mal das bisherige Alter unseres Universums dauern.

Die Menschheit wird das wohl nicht erleben?

MOORE: Der Punkt ist, dass nichts und niemand das erleben wird, ganz egal, wie intelligent das Leben ist, das das Universum hervorbringt. Denn Leben braucht irgendeine Form von Energie und diese wird nicht mehr vorhanden sein. Am Schluss wird die ganze Materie zerfallen und es wird nichts mehr übrig bleiben.

EIN BUCH VOLLER IDEEN

«An der Universität Zürich gab es seit Albert Einstein keine Kosmologie mehr», sagt Ben Moore im Verlaufe des Gesprächs mit dem «unimagazin». Das änderte sich 2001 mit seiner Berufung als Professor für Theoretische Physik. In den letzten Jahren ist es Moore als Direktor des Instituts für Theoretische Physik gelungen, einen international beachteten Hotspot für Astrophysik aufzubauen. Ihn habe die Aufgabe gereizt, eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen, die sich mit den grossen Fragen der Kosmologie befasst, erzählt Moore: «Ich wollte mich nicht einfach einer etablierten Gruppe anschliessen. Hier in Zürich konnte ich die Mitarbeiter selber auswählen und die Forschungsziele festlegen. Als ich anfing, hatte ich ein Buch voller Ideen und nicht genug Zeit, um alle selber zu verwirklichen.»

Für seine Arbeit, die sich mit Berechnungen und Computersimulationen der Entstehung des Universums befasst, braucht Moore einen starken Computer. Den hat er zusammen mit seinem Kollegen Joachim Stadel selber entwickelt. Der Entwurf entstand in einem Pub auf einer Serviette. Stadel und Moore haben den Computer, die zBox, auch eigenhändig zusammengebaut. Der Supercomputer war deshalb unschlagbar günstig – 250 000 Franken hat der Hochleistungsrechner gekostet. «Als ich herkam, arbeiteten die Physiker an diesem Institut ausschliesslich mit Papier und Bleistift. Das genügt heute nicht mehr. Man kann beispielsweise nicht einfach in einer Gleichung festhalten, wie ein Stern entsteht und dann explodiert, weil diese Gleichungen nicht linear, sondern chaotisch sind. Das heisst, es gibt oft mehr als eine Möglichkeit. Diese muss man durchspielen», erläutert Moore seine Arbeitsweise. Er und seine Mitarbeitenden machen Modellrechnungen, die etwa die Entstehung einer Galaxie wiedergeben. Diese wird dann am Computer simuliert und mit den Galaxien verglichen, die es im Universum tatsächlich gibt. Wenn das Modell und die Realität nicht übereinstimmen, wird das Modell revidiert, bis es passt. «Dieses Vorgehen ist interessant, weil wir unsere Theorien

anhand der Realität testen können», betont Moore, räumt aber ein: «Wir können noch keine Vorhersagen machen und den Astronomen sagen, wonach sie suchen müssen.» Die Konstruktion einer Galaxie am Computer ist auch deshalb schwierig, weil es Milliarden von Galaxien mit zum Teil sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Erscheinungsformen gibt.

Die Zürcher Gruppe um Ben Moore ist auf zwei Gebieten weltweit führend: bei der Simulation und Berechnung der Entstehung von Galaxien und bei der Entwicklung von Modellen der Dunklen Materie. So hängt in Moores Büro das Bild einer Computersimulation, das die Verteilung der Dunklen Materie in der Milchstrasse wiedergibt. Solche Vorhersagen geben wichtige Hinweise für Experimentalphysikerinnen wie Laura Baudis von der Universität Zürich, die versucht, die Teilchen, aus denen die Dunkle Materie vermutlich besteht, direkt nachzuweisen.

Was ist aus Moores Buch voller Ideen geworden? «Wir haben es etwa zu einem Drittel durchgearbeitet», sagte der Astrophysiker und lächelt, «allerdings kommen immer neue Ideen dazu. Die Fragen werden oft detaillierter und schwieriger zu lösen, wenn man sich mit ihnen beschäftigt.» Doch Moore ist zufrieden mit seiner Gruppe von rund 30 Forschern – die grösste der Welt, die sich mit Computersimulationen des Universums befasst. Der Erfolg zieht weitere interessante Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an, die in Zürich arbeiten wollen. Moore, der ausgesprochen locker wirkt und auftritt, legt viel Wert auf eine gute Atmosphäre: Seine Türe ist immer offen, im Gang stehen Billiard- und Pingpongische für kreative Pausen und auch das Sozialleben kommt nicht zu kurz: «Heute Abend gehen wir zusammen Pizza essen und diskutieren. Doch vorher muss ich noch ein paar Projekteingaben bearbeiten», sagt Moore und lacht. *Thomas Gull*

KONTAKT Prof. Ben Moore, Direktor des Instituts für Theoretische Physik der Universität Zürich, moore@physik.uzh.ch