



Vor dem Urknall und jenseits des Universums

Von Kurt Bangert

Die Urknall-Theorie darf ohne weiteres als eine der größten wissenschaftlichen Errungenschaften des 20. Jahrhunderts angesehen werden. Sie bietet ein plausibles Erklärungsmodell für die Welt, wie wir sie sehen. Und sie hat sich in vieler Hinsicht empirisch bestätigen lassen. Alternative Kosmologien sind rar und wenig überzeugend. Und dennoch: Die Urknall-Theorie hat ihre Grenzen und vermag viele noch ungeklärte Fragen nicht zu beantworten. Fragen wie: Wo liegt der eigentliche Anfang des Kosmos? Was war vor dem Urknall? Gibt es eine Ursache für den *Big Bang*? Oder war in der Anfangssingularität der Ursache-Wirkungs-Mechanismus aufgehoben? Ging unser Universum aus einem Etwas hervor oder entsprang es dem Nichts? Und wenn dem Nichts, wie soll das vonstatten gegangen sein? Ist das Universum, das wir beobachten, das einzige und alleinige? Oder gibt es weitere unzugängliche Bereiche, die unserer Wahrnehmung verschlossen bleiben?

Die Urknalltheorie lässt nicht nur Fragen offen, sondern sie hat auch einige Schwächen und Probleme, welche die Forscher weiterhin nach Antworten suchen lassen.¹ So wissen wir ja nicht sicher, ob der Urknall wirklich mit einer Singularität begann, ob also die gesamte beobachtete Materie tatsächlich in einem singulären Punkt von unendlicher Dichte und Wärme zusammengepresst war. Wir wissen auch nicht, was zuerst da war: das Universum oder die Naturgesetze, die es regulieren? Auch haben jüngste Forschungsergebnisse ergeben, dass das Universum offensichtlich flach ist, was mit der Urknalltheorie auch nicht übereinzustimmen scheint. Überdies ist das Universum nach den mathematischen Berechnungen eigentlich viel zu groß. Auch die Verteilung der Materie entspricht nicht ganz dem Standardmodell der *Big Bang* Theorie.

Alle diese offenen Fragen und Probleme führten dazu, dass einige Forscher weiterdachten und auch die Frage nach dem „Woher“ und „Vorher“ stellten. Was war vor dem Urknall?

Es gibt sowohl Wissenschaftler als auch Theologen, die meinen, dass wir die Frage nach dem, was vor dem Urknall war, nicht stellen sollten und können, entweder weil sich diese Frage einer empirischen Untersuchung verweigert oder weil wir hier in einen metaphysischen Bereich eindringen, der allein Gott zusteht.

Stephen Hawking berichtet davon, dass noch Papst Johannes Paul XXIII 1981 einer Gruppe von Kosmologen riet, den Urknall nicht näher zu hinterfragen, weil dies das Schöpfungswerk Gottes gewesen sei.² Doch gerade zu jener Zeit hatten einige wenige Kosmologen bereits damit begonnen, sich mit dem Thema *Before the Beginning of the Big Bang* zu beschäftigen. Ich stimme Stephen Hawking zu, wenn er sagt: „Wir müssen uns bemühen,

¹ Bei dieser Aufzählung folge ich dem Quantenkosmologen Andrei Linde, siehe sein Aufsatz „The Self-Reproducing Inflationary Universe“, in: *Scientific American*, November 1994, S. 48f.

² Siehe: Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, Bantam Books, 1988, S. 116. Fairerweise sollte man aber auch sagen, dass der damalige Papst auch ganz anders zitiert wird, nämlich so, dass die Theologen den Urknall gerade nicht zum Beweis für die biblische Schöpfungslehre heranziehen sollten. Sieh dazu: Dieter Hattrup, *Der Traum von der Weltformel oder: Warum das Universum schweigt*, Herder, Freiburg, 2006, S. 29.



den Anfang des Universums mit den Mitteln der Naturwissenschaft zu begreifen. Das mag eine Aufgabe sein, die über unsere Kräfte geht, aber versuchen sollten wir es zumindest.“³

„Ein kostenloses Mittagessen“

Alan Guth, ein junger amerikanischer Quantenphysiker, wagte es in den achtziger Jahren, der Frage nach dem Woher des Urknalls nachzugehen. Er verstand die Quantenwelt als eine Art Kraftfeld, in der ganz andere Regeln herrschen als die von Newton und Einstein entdeckten klassischen Naturgesetze. Guth erkannte, dass dieses Quantenfeld – manche Forscher sprechen von „skalaren Feldern“ – die einzige in der Natur vorkommende Kraft ist, die auch im leeren Vakuum wirken kann. Guth vermutete, dass das Universum nicht mit einem ursprünglichen Knall entstand, sondern in einer noch früheren Phase mit einer kleinen Quantenfluktuation. Nach den modellhaften Berechnungen musste sich die Entwicklung des Universums in zwei Phasen vollzogen haben: eine Phase vor dem Urknall und eine weitere danach. Somit begann das Universum nicht mit einer gigantischen Explosion, sondern mit einem kleinen Säuseln, einem Flüstern, gleichsam mit dem Flügelschlag eines virtuellen Schmetterlings, nämlich einer winzigen, materiefreien Bewegung innerhalb eines Vakuums, eine flüchtige Bewegung, die nur den winzigen Bruchteil einer Sekunde andauerte (10^{-32} Sek.).

Gleichwohl hatte dieses Säuseln eine enorme Wirkung, denn es führte dazu, dass sich das Kraftfeld schlagartig ausdehnte, und zwar exponentiell – also nach Art eines auf Zins und Zinseszins angelegten Kontos, das je länger, je schneller wächst, aber nicht im Jahresrhythmus, sondern in winzigen Sekundenbruchteilen. Guth sprach von „Aufblähung“ oder „Inflation“ (lateinisch und englisch für „aufblasen“). Während dieses winzigen Bruchteils einer Sekunde wuchs das Universum auf seine vielbillionenfache Größe an und sammelte in dieser sich aufblähenden Vakuumblyase einen immer größeren Energievorrat an. Schließlich war ein Punkt erreicht, an dem der Inflationsprozess stoppte, so dass sich die in diesem Feld angestaute und eingesperrte, inzwischen unvorstellbar gewachsene Kraftfeldenergie im Urknall entlud. Nach dem Urknall bildete sich nach einer weiteren Phase der Ausdehnung und Abkühlung die Welt der Materie.

Dieser Wechsel von der Inflation zur Explosion stellte eine Art Phasenwechsel dar – ähnlich wie beim Wasser, das bei Erhitzen irgendwann den Punkt erreicht, an dem es zu kochen anfängt. An diesem Punkt wandelte sich der größte Teil der Kraftfeldenergie in Wärmeenergie und bald darauf in Materie um, aus der unser sichtbares Universum entstand.

Guth's Theorie hatte einen persönlichen und einen weltanschaulichen Effekt: Um seine Karriere brauchte er sich keine Sorgen mehr zu machen, wurden ihm doch gleich mehrere Professorenstühle angeboten. Weltanschaulich war seine Inflationstheorie eine Sensation, da es fortan keines unendlich heißen und unendlich dichten Urzustandes mehr bedurfte, dessen Auslöser niemand kannte. Ursache war vielmehr ein Quantenfeld, das seine Kraft und Energie quasi aus dem Nichts schöpfte.

Fairerweise muss man übrigens sagen, dass der Russe Alexei Starobinsky gleichzeitig oder sogar schon vor Guth ähnliche Ideen entwickelte, aber Guth erlangte besondere Bekanntheit, zumal ihm der oft zitierte Satz zugeschrieben wird: „It is said that there's no such thing as a free lunch. But the universe is the ultimate free lunch.“ (frei übersetzt: „Von

³ Stephen Hawking, Das Universum in der Nussschale, Hoffmann und Campe, S. 87.



nichts kommt nichts und auch ein Mittagessen ist nie umsonst; aber das Universum ist wie ein freies Mittagessen.“

Doch Guths Inflationstheorie hatte eine große Schwäche, da nach den Berechnungen ein recht inhomogenes Universum hätte hervorgehen müssen. Wir beobachten jedoch ein erstaunlich homogenes Universum, in dem die Materie sehr gleichmäßig verteilt ist.

Den Ausweg wies ein weiterer Russe: Andrei Linde aus Moskau, heute Professor der Stanford University, beschäftigte sich ebenfalls mit der Quantenwelt und der Geburt des Kosmos. Er brachte in die Diskussion das Konzept der „chaotischen Quantenfluktuationen“ hinein.

Urschaum

Gemäß Lindes Theorie muss man sich die dem Urknall vorausgehende inflationäre Phase wie einen „Urschaum“ mit vielen miteinander verbundenen, aber doch voneinander zu unterscheidenden Seifenblasen vorstellen, die sich – je nach den chaotischen Quantenbewegungen – unterschiedlich schnell entwickeln und vergrößern. Da gibt es Blasen, die schnell wachsen wie ein aufgeblasener Luftballon, andere bleiben klein, wieder andere schrumpfen oder zerplatzen relativ bald. Diese Unterschiede und Ungleichheiten sind auf die Unschärfe und Unbestimmtheit von Fluktuationen der Quantenwelt zurückzuführen. Stephen Hawking spricht von diesen Blasen als fluktuierenden „Raum-Zeit-Blasen“.

Jede Blase in diesem Szenarium, so Linde, wäre ein eigenes Universum, so dass man den gesamten Schaum als Multiversum bezeichnen könnte. Weil aber der Begriff „Universum“ eigentlich für die Totalität von allem steht, spricht Linde gerne von *Domains* oder Teilbereichen des Universums. Das für uns sichtbare Universum wäre demnach nur eine Domäne unter vielen – oder eben, wenn man so will, ein Universum innerhalb eines Multiversums.

„Gemäß der Quantenmechanik ist der leere Raum nicht hundertprozentig leer“, erklärt Linde den Vorgang. „Das Vakuum ist angefüllt mit kleinen Quantenfluktuationen. Diese Fluktuationen kann man als Wellen oder Wellenbewegungen eines physikalischen Feldes verstehen. Diese Wellen haben alle möglichen Wellenlängen und bewegen sich in alle möglichen Richtungen. Wir können diese Wellen nicht wahrnehmen, weil sie jeweils nur kurz aufleben und mikroskopisch klein sind.“⁴ Doch weil die Wellen durch die Inflation langgezogen werden, erstarren sie am Ende des Inflationsprozesses, wandeln sich in Wärmeenergie und später in Materie um.

Wenn man die Anfangsgröße des inflationären Multiversums nur in der Größenordnung der unvorstellbar winzigen Planck-Länge annimmt (nämlich 10^{-33} cm), so rechnet Linde vor, würde das Multiversum nach Ablauf des Inflationsprozesses von nur einem winzigem Sekundenbruchteil (von 10^{-35} Sek.) bereits eine vielfache Größe unseres sichtbaren Universums haben müsste. Daraus folgt, so Linde, dass wir heute nur einen winzigen Teil dieses Multiversums sehen können.

Die Inflation durchläuft, wie von Alan Guth bereits angenommen, einen instabilen Vakuum-ähnlichen Zustand mit hoher Energiedichte, aber ohne Elementarteilchen. Der Prozess würde jedoch aufgrund der Quantenmechanik in unterschiedlichen Teilen des

⁴ Andrei Linde, „The Self-Reproducing Inflationary Universe“, in: Scientific American, November 1994, S. 52f.



Universums unterschiedlich schnell und unterschiedlich intensiv ablaufen, so dass er sich in einigen Teilbereichen exponentiell bis zu einer Maximalgröße und Maximaldichte entfalten würde, während er in anderen Teilbereichen gar nicht so recht in Gang käme. Dort, wo er aber stattfindet und sich die entsprechende „Seifenblase“ exponentiell vergrößert und zu einer Planck-Dichte verdichtet, verfällt das Feld schließlich, heizt sich extrem auf und entlädt sich in einem Urknall. Man würde also die Urknalltheorie im Wesentlichen als gültig akzeptieren und sie in die Inflationstheorie integrieren. (Man könnte, umgekehrt, die Inflationstheorie auch als Teil der Urknalltheorie verstehen.)

In vielen der Blasen des Urschaumes käme es jedenfalls am Ende der Inflationsphase zu einem *Big Bang*, wie wir ihn für unser eigenes Universum annehmen, auch wenn die verschiedenen *Big Bangs* vermutlich zu ganz unterschiedlichen Zeiten und an unterschiedlichen Orten stattfänden. Welche Form von Nachbarschaft die verschiedenen Universen oder Domänen miteinander bilden, wissen wir nicht, wir können es uns zumindest nicht vorstellen; sie würden jedenfalls völlig unabhängig voneinander existieren, völlig unbeeinflusst voneinander und ohne die Möglichkeit des gegenseitigen Kennenlernens und Beobachtens.

Die Konsequenzen dieser Theorie sind erheblich: War früher die Erde unser Mittelpunkt und später die Sonne und hielten wir im 19. Jahrhundert unsere gigantische Milchstraße für das gesamte All, bevor wir im Verlauf des 20. Jahrhunderts unsere Heimatgalaxie nur noch als eine von vielen Milliarden Galaxien eines gigantischen Universums begriffen, so wird nun auch noch unser gesamtes Universum zu einer kleinen Seifenblase in einem überschäumenden Multiversum degradiert, zu einem *Bubble*, der sich kraft minimaler Quantenschwankungen im leeren Vakuum selbst erschaffen hat.

Aufgrund der je variierenden Fluktuationen und Expansionsraten hätte nach Linde jede Blase nicht nur ihre eigene Größe, Lebensdauer oder Expansionsrate, sondern höchstwahrscheinlich auch ihre je eigenen physikalischen Gesetze. Die physikalischen Gesetze, wie wir sie kennen, hätten nur einen begrenzten Geltungsbereich, während es andere Bereiche gäbe, in denen völlig andere Naturgesetze herrschen könnten. Es gäbe Domänen, in denen Leben, wie wir es kennen, gänzlich unmöglich wäre, andere wiederum, in denen es denkbar wäre, aber vielleicht nur unser eigenes, das eben gerade so beschaffen wäre, dass Leben, wie wir es kennen, darin gedeihen konnte.

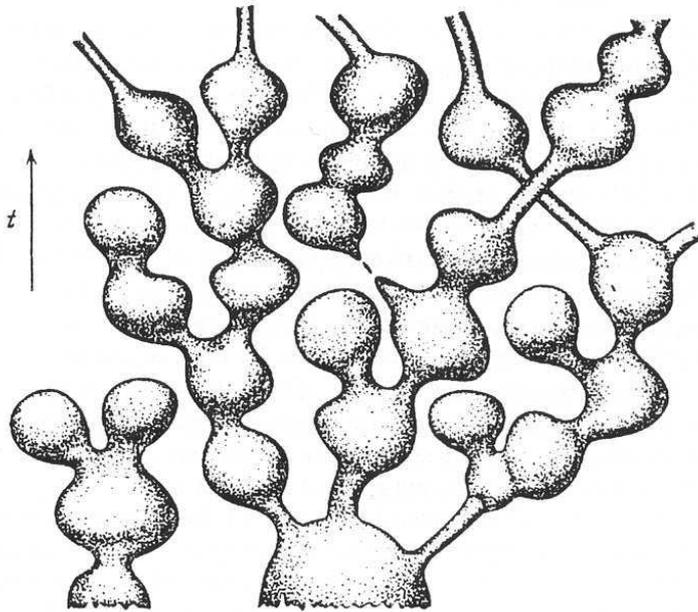
Doch nun fügte Linde der Theorie noch einen weiteren atemberaubenden Gedanken hinzu:

Das ewig sich selbst reproduzierende Universum

Hat eine „Seifenblase“ erst einmal begonnen, sich inflationär aufzublähen, so wird es nach Lindes Berechnungen viele weitere Seifenblasen, sprich: Universen oder Domänen, generieren. „Es läuft darauf hinaus, dass ein inflationäres Universum weitere inflationäre Seifenblasen aufkeimen lässt, die dann wiederum weitere inflationäre Seifenblasen produzieren.“⁵ Linde vergleicht dieses fortlaufende Wachstum des Universums mit Fraktalmustern, wie wir sie aus der mathematischen Computergrafik kennen und bei denen mikroskopisch winzige Strukturen sich unendlich ausweiten und dabei entweder immer wieder dieselben Strukturen reproduzieren oder auch ganz neue entfalten. Es ist ein Wechselspiel zwischen Chaos und Ordnung, zwischen Kausalität und Zufall. Und jede neu

⁵ Andrei Linde, „The Self-Reproducing Inflationary Universe“, S. 54.

entstehende und inflationär anwachsende Seifenblase würde in einem je eigenen Urknall münden.



Das sich selbst reproduzierende Universum dürfte wie eine Verzweigung von sich aufblähenden Seifenblasen erscheinen. In einigen dieser Raum-Zeit-Blasen würden die Naturgesetze wie in unserem Universum sein, andere *Bubbles* würden zu neuartigen Universen mit andersartigen Naturgesetzen mutieren. Das jeweilige Innenleben eines Universums würde durch die Urknalltheorie beschrieben werden können.

Zum anschaulicheren Verständnis greift Linde zu einer interessanten Analogie: „Ist das nicht ein Prozess ähnlich dem, was mit uns allen passiert?“ fragt er. „Vor einiger Zeit wurden wir geboren, irgendwann werden wir sterben und die Welt unserer Gedanken, Gefühle und Erinnerungen werden aufhören. Aber es gab jene vor uns, und es gibt andere nach uns, und die Menschheit als Ganzes wird, wenn sie clever genug ist, noch eine gute Weile fort dauern.“⁶

Das sich ständig selbst reproduzierende und sich weiter entwickelnde Universum oder Multiversum mit seinen je individuellen Domänen kann als ewig fort dauernd gedacht werden, als eine *neverending story* mit einer unendlichen Anzahl von Geschichten, die aber nur in ihrem jeweiligen Universum erzählt werden. Es gäbe kein Ende des Prozesses. Allenfalls könnte man über einen möglichen Uranfang des Prozesses nachdenken, der aber vermutlich sehr, sehr weit in der Vergangenheit zurückliegen würde. Entscheidend aber wäre, dass der für unser Universum postulierte Urknall nicht der Beginn von allem wäre, sondern nur einer von vielen *Big Bangs* im Verlaufe eines sehr alten Multiversums, für das die 14 Milliarden Jahre unseres sichtbaren Universums nur ein kleiner Ausschnitt wäre.

Auch andere namhafte Wissenschaftler sind inzwischen zutiefst von der Existenz eines Multiversums überzeugt, das durch Zyklen des Entstehens und Vergehens charakterisiert wäre und durch ganz unterschiedliche Bedingungen in den jeweiligen Teilbereichen.⁷ „Die Multiversumstheorie ist die beste Erklärung der Welt, die wir haben“, meint auch David Deutsch, ein britischer Oxford-Physiker.⁸ Auch er ist überzeugt davon, dass es eine

⁶ Andrei Linde, „The Self-Reproducing Inflationary Universe“, S. 55.

⁷ Siehe auch Marcus Chown, „Cycles of Creation“, in: New Scientist, 16 March 2002, S. 26-30.

⁸ Siehe Spiegel-Gespräch, Spiegel Nr. 11/14.03.05, S. 185ff.



unvorstellbar große Zahl parallel existierender Universen gibt. Professor Deutsch ist alles andere als ein Märchenerzähler, gilt er doch auch als der geistige Vater des Quantencomputers, mit dem die Computerindustrie hofft, ab etwa dem Jahr 2020 rechnen zu können.

Wurmlöcher und Zeitreisen?

Die Annahme multipler Universen verleitet häufig zu Frage nach Möglichkeiten, zwischen verschiedenen Universen hinüberzuwechseln. Da ist von Wurmlöchern und Zeitreisen die Rede, und es sind nicht nur Science-Fiction-Autoren, die sich damit befassen, sondern auch einige namhafte Physiker und Kosmologen. Über Zeitreisen denken Physiker schon seit Einstein nach, der gezeigt hatte, dass Raum und Zeit relative Größen sind, die gekrümmt und verzerrt werden können.

Die Spekulation über Wurmlöcher wurde angeheizt vor allem durch den Nachweis von Schwarzen Löchern, die als mögliche Durchgangsportale (eben Wurmlöcher) zu anderen Welten dienen könnten. „Wurmlöcher wären, wenn sie denn existieren, die Lösung für das Problem der Einsteinschen Geschwindigkeitsbegrenzung im All“, meint Stephen Hawking, „Es würde mehrere zehntausend Jahre dauern, um unsere Milchstraße mit einem Raumschiff zu durchqueren, das langsamer als das Licht vorankommt, wie es die Relativitätstheorie verlangt. Mit Hilfe eines günstig gelegenen Wurmloches könnten Sie sich jedoch zur anderen Seite der Milchstraße begeben und rechtzeitig zum Abendessen zurück sein.“ Es ließe sich sogar zeigen, dass man mit Hilfe eines Wurmlochs früher von einer solchen Reise zurückkehren könnte, als man aufgebrochen wäre – ein Paradoxon, das wir hier nicht lösen können.

Fakt oder Fiktion?

Was ist nun von diesen Inflationstheorien oder Multiversums-Theorien, insbesondere von der Theorie eines chaotischen und ewigen sich selbst reproduzierenden Multiversums zu halten? Haben wir es hier mit Fiktionen oder Fakten zu tun?

Einerseits handelt es sich immer noch um eine weitgehend spekulative Theorie, die noch viele unbewiesene Annahmen enthält, und eine Theorie, die sich im Wesentlichen einer empirischen Überprüfung entzieht. Denn selbst wenn es zahlreiche Universen geben sollte, würden wir nie Zugang zu diesen erhalten.

Gleichwohl gibt es gewisse Anhaltspunkte, die suggerieren, dass die Idee einer dem Urknall vorgeschalteten Aufblähungsphase zumindest in die richtige Richtung weist. Die Tatsache, dass das sichtbare Universum flach ist – was der Satellit COBE feststellen konnte – spricht jedenfalls für die Inflationstheorie. Auch die Tatsache, dass die kosmische Hintergrundstrahlung – eines der starken Indizien für den Urknall – keineswegs ganz gleichförmig ist, deutet auf die Richtigkeit dieser Theorie hin. Vielleicht kann der neue Hadron Collider im Forschungszentrum CERN weiteren Aufschluss liefern. Einige Zeit glaubten Experten, dass das erhoffte Auffinden des von dem Briten Higgs vorhergesagten Higgs-Teilchens ebenfalls ein Indiz für die Inflationstheorie sein würde. Inzwischen wird das von anderen jedoch bestritten.

Gibt es Alternativen zur Inflationstheorie? Es gibt inzwischen verschiedene Inflationstheorien mit unterschiedlichen Parametern, die durchgespielt und im Computer simuliert werden. Sie alle laufen mehr oder weniger auf dasselbe Ergebnis hinaus, was die



Theorie eher bestärkt als schwächt. Andere überzeugende Alternativtheorien gibt es kaum, wenn man einmal von modernen Stringtheorien absieht. Stringtheorien und Inflationstheorien waren ursprünglich nicht miteinander vereinbar, haben sich in den letzten Jahren aber angenähert, so dass einige Forscher heute davon überzeugt sind, dass die Inflationstheorie irgendwann in der Stringtheorie aufgehen könne.