



Der Urknall

Von Kurt Bangert

Das Weltbild des Menschen hat sich in den letzten 500 Jahren enorm geweitet. Glaubten wir zu Ende des Mittelalters noch, unsere Erde sei das Zentrum des Universums, so haben uns Galilei, Kopernikus und Kepler davon überzeugt, dass sich unsere Erde und das ganze Planetensystem um die Sonne als Mittelpunkt eines heliozentrischen Systems drehen. Inzwischen sind wir noch weitaus bescheidener geworden, wissen wir doch, dass die Sonne nur eine von mehr als 100 Milliarden Sonnen ist, die unsere Milchstraße ausmachen und die allesamt um ihr schwergewichtiges galaktisches Zentrum wirbeln. Doch so unvorstellbar groß unsere Heimatgalaxie auch sein mag, unser Hang, uns Menschen ins Blickfeld und ins Zentrum zu rücken, erhielt vor weniger als hundert Jahren noch einen weiteren Dämpfer, als Edwin Hubble nachwies, dass unsere Milchstraße nur eine von vielen ähnlichen Sternsystemen ist und das Universum ungleich größere Ausmaße hat als man bis dato angenommen hatte. Heute veranschlagen Astronomen die Zahl der Galaxien auf mindestens 100 Milliarden. Um also die Zahl der Sterne im Universum abzuschätzen, müsste man – mindestens – 100 Milliarden (Galaxien) mit 100 Milliarden (Sternen pro Galaxie) multiplizieren. Das ergäbe eine Zahl mit 22 Nullen. Stephen Hawking hat einmal vorgerechnet, dass, wenn ein Stern ein Salzkorn wäre, alle Sterne, die wir mit bloßem Auge sehen können, auf einen Teelöffel gingen, während alle Sterne im den Astronomen bekannten Universum eine Kugel von mehr als dreizehn Kilometer Durchmesser bildeten.¹ Da kann es einem schon schwer fallen, sich als etwas Besonderes im Universum zu betrachten.

Dass das Universum sehr groß ist, haben wir mittlerweile begriffen. *Wie* groß es tatsächlich ist, davon haben die wenigsten von uns einen Begriff, zumal die Längenmaße jedes menschliche Vorstellungsvermögen übersteigen. Um eine leise Ahnung davon zu bekommen, wie groß unser Universum ist, sei die folgende Rechnung aufgemacht:

- Um zum allernächsten Nachbarstern, Alpha Centauri, zu gelangen, bräuchten wir mit einer Apollo-Rakete, wie sie Neil Armstrong zum Mond brachte, rund 125.000 Jahre. Alpha Centauri ist „nur“ 4 Lichtjahre von uns entfernt.
- Innerhalb eines Radius von 12,5 Lichtjahren befinden sich 33 Sterne.
- Verzwanzigfachen wir diesen Radius um die Sonne auf 250 Lichtjahre, so befinden sich innerhalb dieses Raumes rund 260.000 Sterne.
- Vergrößern wir die Entfernung von der Sonne noch ein weiteres Mal um das Zwanzigfache, so beträgt der Radius dieses Raumes bereits 5000 Lichtjahre und enthält etwa 600 Millionen Sterne.
- Vergrößern wir die Entfernung noch ein weiteres Mal um das Zehnfache, so haben wir unsere ganze Heimatgalaxie im Blick – mit der sehr dicht besiedelten Scheibe (Milchstraße) und dem kugelförmigen Halo drum herum: Der Radius der ganzen Galaxie beträgt rund 50.000 Lichtjahre und die Zahl der Sterne wird auf 100 bis 200 Milliarden geschätzt.

¹ Stephen Hawking und Leonard Mlodinow, *Die kürzeste Geschichte der Zeit*, Rowohlt, 2006, S. 64.



- Verzehnfachen wir noch einmal die Distanz, so haben wir einen Raum im näheren Umfeld unserer Heimatgalaxie mit einem Radius von 500.000 Lichtjahren. Da es in diesem Raum außer unserer Galaxie nur noch einige Zwerggalaxien gibt, nämlich 12 an der Zahl, steigt die Population der Sterne jedoch nur mäßig auf 225 Milliarden.
- Verzehnfachen wir die Entfernung noch einmal, so haben wir vor uns unsere lokale Galaxiengruppe mit einem Radius von 5 Millionen Lichtjahren und einer Sternenspopulation von immerhin 700 Milliarden; in diesem riesigen Raum befinden sich außer der Milchstraße noch zwei benachbarte Großgalaxien: der fälschlich so benannte Andromedanebel und die Triangulum-Galaxie, dazu 46 Zwerggalaxien.
- Verzwanzigfachen wir die Distanz dieses kugelförmigen Raumes in einem weiteren Schritt, so haben wir den Supergalaxienhaufen „Virgo“ vor uns mit einem Kugelradius von 100 Millionen Lichtjahren; darin befinden sich 200 Galaxienhaufen mit 2500 großen Galaxien nebst vielen Zwerggalaxien und insgesamt 200 Billionen Sternen.
- Vergrößern wir den Raum noch einmal um das Zehnfache, so befinden sich in diesem vergrößerten Raum mit einem Radius von einer Milliarde Lichtjahre 100 Supergalaxienhaufen mit drei Millionen großen Galaxien und 250 Trillionen Sternen (das sind 250 Millionen Milliarden).
- Nun vergrößern wir den Raum noch ein allerletztes Mal, diesmal um das Vierzehnfache, und haben vor uns das gesamte für uns sichtbare Universum mit einer maximalen Entfernung² von rund 14 Milliarden Lichtjahren, innerhalb der sich mindestens 100 Milliarden (manche schätzen bis zu 350 Milliarden) große Galaxien mit 30 Milliarden Billionen Sternen befinden.³ Die Größe dieses Raumes und die Zahl der sich darin befindlichen Galaxien und Sterne sprengt jedes menschliche Vorstellungsvermögen.

Da es uns auf den vergangenen Seiten ja immer wieder um die „Mitte unserer Welt“ gegangen ist, taucht in Bezug auf das große Universum zwangsläufig die Frage auf, wo sich denn die Mitte dieses Weltalls befindet. Gibt es eine solche Mitte? Und wo könnten wir nach ihr suchen? Doch bevor wir den Versuch einer Antwort unternehmen, zuerst noch eine Vorbemerkung:

Je größer das astronomische Ordnungssystem ist, desto weniger wissen wir darüber. Wir haben sehr viel Wissen über unsere irdische Welt angesammelt, und wir wissen mittlerweile erstaunlich viel über unser Sonnensystem; unsere Kenntnis von unserer Milchstraße hat sich in den letzten Jahrzehnten ebenfalls enorm ausgeweitet, obwohl wir zugeben müssen, dass das Meiste noch im Dunkeln liegt – und bleiben wird. Was unser Wissen über das Universum als Ganzes betrifft, so fangen wir gerade an, die „Oberfläche“ anzukratzen, ohne die großen Zusammenhänge und die vielen uns nicht zugänglichen Details wirklich zu verstehen. In der astronomischen Rangordnung wissen wir umso weniger, je höher wir die hierarchische Struktur hinaufklettern. Unser Wissen ist also umgekehrt proportional zur Größe der Systeme, mit denen wir es zu tun haben. Gleichwohl wissen wir heute sehr viel mehr über unser Universum als noch vor 100 oder vor 50 Jahren. In diesem Kapitel geht es darum, was wir über das Weltall mit einiger Sicherheit wissen und worüber wir noch

² Wir können hier nicht mehr vom „Radius“ sprechen, da der „Radius“ praktisch identisch wäre mit dem „Durchmesser“, weil egal ob wir nach oben oder unten schauen wir immer in die Vergangenheit blicken, als der Raum noch viel kleiner war als heute.

³ Ich verdanke die hier aufgeführten Berechnungen der Entfernungen, Galaxien und Sterne der sehr anschaulichen Webseite „www.atlasoftheuniverse.com“



munter spekulieren können. Und, wie gesagt, es geht auch um die Frage nach der Mitte von allem.

Die Expansion des Universums

Wir haben bereits von dem amerikanischen Astronomen Edwin Hubble gehört, der 1924 den Andromedanebel und andere „Spiralnebel“ untersuchte und mit Hilfe des damals größten Teleskops, des Mount-Wilson-Teleskops nahe Los Angeles, in diesen Nebeln einzelne Sterne auflösen konnte. Damit hatte er schlagartig zeigen können, dass es neben unserer eigenen Galaxie noch eine Vielzahl anderer riesiger Sternsysteme gab, die offenbar weit außerhalb unserer Milchstraße zu verorten waren.

Nach Hubbles spektakulärer Entdeckung untersuchte er in den Folgejahren das Licht jener fernen Galaxien und stellte fest, dass dieses Licht, wenn es von einem Glasprisma in sein buntes Farbenspektrum gebrochen wird, zum rot hin verschoben ist. Um zu verstehen, was es mit der Rotverschiebung auf sich hat, muss man den „Doppler-Effekt“ erklären, der nach seinem Entdecker, dem österreichischen Physiker Christian Doppler (1803-1853), benannt wurde. Als in den frühen Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts die ersten Eisenbahnen gebaut wurden, beobachtete er den Effekt, wonach eine sich ihm nähernde Dampflok einen höheren Pfeifton ausstieß als wenn sich dieselbe Lok von ihm entfernte. Er erklärte sich dies so, dass die Schallwellen der sich herannahenden Lokomotive verdichtet und verkürzt wurden und deshalb als höhere Pfeiftöne wahrgenommen wurden, während die Schallwellen bei einer sich entfernenden Lok langgezogen wurden, so dass die Pfeiftöne dunkler wahrgenommen wurden. Doppler deutete dieses Phänomen so, dass es sich auf alle Arten von Wellen (Wasser, Schall und Licht) anwenden ließ. 1842 veröffentlichte er ein Werk darüber, und seither ist dieser Effekt als „Doppler-Effekt“ bekannt.

Da man das Licht nicht zu hören vermag, kann man den Doppler-Effekt des Lichts nur feststellen, indem man das Licht der Sterne durch ein Prisma in sein Farbspektrum zerlegt. Sterne, die sich von uns fortbewegen, zeigen eine Verschiebung zum roten Ende des Spektrums hin, Sterne, die sich uns nähern, eine Verschiebung zum blauen Ende des Spektrums. Als Hubble das Licht der Galaxien zu untersuchen begann, erwartete er, dass sich einige Galaxien von uns wegbewegen, andere sich uns nähern und wieder andere relativ zu uns als Beobachter unbeweglich wären, dass also das Licht der Galaxien teils zum rot, teils zum blau, teils gar nicht verschoben sein würde. Doch was Hubble dann tatsächlich beobachtete, überraschte ihn sehr: Das Licht aller Galaxien (bis auf einige wenige ganz nahegelegene) war stark zum rot hin verschoben. Das musste zwangsläufig bedeuten, dass sich *alle* fernen Galaxien von uns wegbewegen.

Hubble machte aber noch eine weitere sensationelle Entdeckung, die er 1929 veröffentlichte: Die Rotverschiebung war umso stärker, je weiter die Galaxien von uns entfernt waren. Die Entfernung schätzte er aufgrund der augenscheinlichen Größe der Galaxien ab: je kleiner die Galaxie, desto weiter musste sie entfernt sein (abgesehen von individuellen Größenunterschieden). Hubble stand vor einem Rätsel: Es war offenbar so, dass sich Galaxien, die weit von uns weg waren, mit größerer Geschwindigkeit von uns wegbewegten als Galaxien, die uns näher standen. Daraus leitete er den Grundsatz ab, wonach sich die Rotverschiebung der Galaxien proportional zu ihrer Entfernung verhält. Dieses physikalische Gesetz ist heute als die „Hubble-Konstante“ bekannt.

Wenn aber nun alle Galaxien sich von uns fortbewegen, und das auch noch mit desto größerer Geschwindigkeit je weiter sie von uns entfernt sind, so muss es uns doch zumindest



so erscheinen, als befänden wir uns geradezu im Zentrum des Universums. Sind wir vielleicht doch etwas Besonderes? Befinden wir uns also doch in der Mitte von allem?

Die ernüchternde Wahrheit ist: Es ist nur eine Illusion. Denn: Egal, an welchem Punkt im Kosmos wir uns befinden, es wird immer so aussehen, als bewegten sich die anderen Galaxien von uns weg, und zwar mit Geschwindigkeiten proportional zur Entfernung.

Die Erkenntnis, dass sich der Kosmos ausdehnt und er deshalb von jedem beliebigen Punkt des Universum immer gleich aussehen müsse, hatte noch vor Hubbles Beobachtungen ein junger russischer Physiker und Mathematiker theoretisch herausgefunden. Alexander Friedmann (1888-1925), der im Ersten Weltkrieg als Bomberpilot auf russischer Seite gekämpft hatte und sich danach, vom Krieg weidlich entzaubert, mit Einsteins Relativitätstheorie zu befassen begann, entdeckte sehr bald, dass die Jahrtausende alte Vorstellung eines unveränderlichen Universums nicht mehr aufrecht zu erhalten sei, sondern nach Einstein einer grundlegenden Revision bedurfte.

1922 veröffentlichte er, 34-jährig, in der deutschen „Zeitschrift für Physik“ seine Arbeit „Über die Krümmung des Raumes“. Darin wandte er die Allgemeine Relativitätstheorie Einsteins konsequent auch auf die Krümmung des Universums an und kam zu dem Schluss, dass das All veränderlich sei – und expandieren müsse. Er nahm damit theoretisch vorweg, was Hubble kurze Zeit später durch seine Beobachtungen herausfand.

Einstein, obwohl der eigentliche Schöpfer der Idee von der Krümmung des Raumes, ging zu jener Zeit, wie es den damaligen Vorstellungen entsprach, noch von einem großräumig unveränderlichen Kosmos aus. Als er Friedmanns Arbeit las, kam ihm der Gedanke eines veränderlichen Universums so suspekt vor, dass er die Arbeit des Russen kurze Zeit später in derselben Zeitschrift kritisierte. Daraufhin schrieb Friedmann an Einstein einen Brief, in dem er den inzwischen berühmten Begründer der Relativitätstheorie mit weiteren Berechnungen konfrontierte, die seine Theorie untermauerten. Gleichzeitig bat er Einstein, die „Zeitschrift für Physik“ zu informieren, sollte er (Einstein) Friedmanns Berechnungen für richtig halten.

Als Einstein den Brief gelesen hatte, schrieb er an die deutsche Fachzeitschrift, dass seine frühere Kritik an Friedmanns Artikel auf einem Rechenfehler (Einsteins) beruht hatte, dass er des Russen Kalkulationen nunmehr für richtig hielt und dass Friedmann zweifellos neues Licht in die Sache gebracht hätte. Was sich so unspektakulär und wie ein Expertenaustausch anhörte, bedeutete nicht weniger, als dass Friedmann eine wissenschaftlich-geistige Revolution angezettelt hatte. Hatte einst Kopernikus die Gemüter erschüttert, als er die Erde um die Sonne rotieren ließ, so ließ Friedmann nun den Kosmos expandieren. Einfach so!

Die Erschaffung des Raumes

Das Phänomen, das Friedmann theoretisch berechnet und das Hubble teleskopisch beobachtet hatte, war eine sich in der Rotverschiebung zeigende Expansion des Universums. Doch wäre es ein Irrtum zu meinen, diese Ausdehnung des Alls sei allein durch die Eigenbewegung der Galaxien zu begründen. Wie wir heute wissen ist die Expansion des Universums weniger auf die Fortbewegung der Galaxien zurückzuführen als vielmehr auf die Ausdehnung oder Erschaffung des Raumes. Es ist so ähnlich, wie wenn man Punkte auf einen Ballon aufmalt, diesen aufbläst und dabei beobachtet, wie sich die Punkte voneinander wegbewegen. Der Abstand zwischen den Punkten wird größer, ohne dass sich die einzelnen Punkte (Galaxien) von ihrem jeweiligen Platz wegbewegen müssen. Dabei wächst der Abstand umso schneller je weiter die Punkte voneinander entfernt sind: Wenn etwa der



Abstand zwischen zwei Punkten A und B, die ursprünglich fünf cm voneinander entfernt waren, sich (auf 10 cm) verdoppelt, so wächst in der gleichen Zeit der Abstand zwischen zwei Punkten (A und C), die ursprünglich 10 cm voneinander entfernt waren, ebenfalls um das Doppelte (nämlich auf 20 cm). Das bedeutet aber, dass sich Punkt C doppelt so schnell von A wegbewegt wie sich B von A wegbewegt.⁴ Mit anderen Worten: die proportional zur Entfernung zunehmenden Fluchtgeschwindigkeiten der Galaxien sind keine Bewegungen im Raum, sondern Bewegungen des Raumes. Somit rührt, genau genommen, die Rotverschiebung der fernen Galaxien gar nicht vom Doppler-Effekt her (also von ihrer Eigenbewegung), sondern von der Raumdehnung. Man spricht deshalb auch von der „kosmologischen Rotverschiebung“.

Leider wurde die ganze Tragweite der von Friedmann begründeten Erkenntnis erst sehr viel später offenbar, nachdem auch Hubble seine Beobachtungen veröffentlicht hatte. Friedmann selbst starb kurze Zeit nach seinen wichtigen Veröffentlichungen im Jahr 1925 im Alter von 37 Jahren an Typhus, so dass er den späteren Erfolg seiner Arbeiten nicht mehr erleben konnte.

Erst der isoliert lebende belgische Priester George Lemaître (1894-1966), der in Cambridge unter Arthur Eddington Physik studiert hatte, befasste sich Anfang der dreißiger Jahre wieder mit Friedmanns Gleichungen und machte dann den Vorschlag, das Universum müsse sich aus einem „Uratom“ gebildet haben, es müsse quasi aus der Explosion eines „kosmischen Eis“ hervorgegangen sei. Die großen Physiker seiner Zeit, darunter Eddington und Einstein, lehnten diese kühne Idee ab, schien sie ihnen doch allzu sehr nach einem gewollten christlichen Schöpfungsszenarium auszusprechen. Der britische Physiker Fred Hoyle (1915-2001) wertete Lemaîtres Idee despektierlich als „Big Bang“ ab. Doch die Idee war geboren und Lemaître gilt heute als erster Begründer der „Urknalltheorie“, einer neuen Astronomie, die sich nach und nach durchzusetzen begann. Der „Big Bang“ ist heute die anerkannte Theorie für die Entstehung des Universums, für die es kaum eine ernstzunehmende Alternative gibt. Und Fred Hoyle bedauert es etwas scherzhaft, dass er sich den Begriff „Big Bang“ nicht hat patentieren lassen.

Woher kommt das Universum und wie alt ist es?

Man kann sich durchaus eine Reihe von Möglichkeiten über das Zustandekommen unseres Universums vorstellen.

Eine vage Denkmöglichkeit wäre, dass das Universum, so wie wir es heute sehen, von jetzt auf nachher plötzlich da war, quasi aus dem Nichts entstand ohne geworden zu sein, vielleicht weil ein Schöpfergott es *ex nihilo* erschaffen hat, und zwar gleich so, wie es heute ist. Es gibt tatsächlich Menschen, die das für denkbar halten, und ich kenne einige von ihnen. Diese Denkmöglichkeit macht es freilich überaus schwierig zu erklären, warum Galaxien rotieren oder bestimmte Formen angenommen haben, die eigentlich nur dadurch zu erklären sind, dass man ihnen ein gewisses Alter und eine bestimmte Zeit der Entwicklung zugesteht. Hätte Gott die Galaxien beispielsweise genau so rotierend geschaffen, wie wir sie heute sehen, so sähe man sich genötigt zu fragen, weshalb er sie so und nicht anders erschaffen habe. Wollte er uns etwa glauben machen, die Galaxien existierten schon seit Millionen oder Milliarden von Jahren, obwohl sie in Wirklichkeit doch erst vor kurzem erschaffen wurden?

⁴ Eine vielleicht noch deutlichere Veranschaulichung ist ein Rosinenkuchen, der durch die reichlich bemessene Hefe während des Backvorgangs stark im Volumen wächst, wobei der Abstand zwischen den Rosinen proportional zu ihrer Entfernung voneinander zunimmt.



Warum diese Listigkeit? Der Atheist Bertrand Russel hat diese Denkmöglichkeit einmal auf die Spitze getrieben und damit *ad absurdum* geführt, indem er behauptete, die Welt sei erst vor einer halben Stunde erschaffen worden und niemand könne ihm das Gegenteil beweisen, weil jeder, der da meint, es habe das All und ihn selbst schon zuvor gegeben, nur einer Illusion unterliege. Die Welt sei halt so geschaffen, „als ob“ sie schon lange existiere – einschließlich unserer menschlichen Gedächtnisse.

Eine zweite Denkmöglichkeit wäre anzunehmen, das Universum habe es schon immer gegeben. Diese Möglichkeit hat in der Vergangenheit durchaus ihre ernsthaften Verfechter gehabt, etwa die Befürworter der *steady state theory*. Diese Möglichkeit entspricht dem menschlichen Bedürfnis nach Beständigkeit und Vertrautheit. Wir Menschen wünschen uns eigentlich nichts sehnlicher, als dass die Welt etwas Unvergängliches, Unveränderliches, Unaufhörliches und jederzeit Berechenbares und Vorhersehbares sei. Derartige Theorien hatten in den 50er und 60er Jahren Hochkonjunktur, finden heutzutage aber nur noch wenige Anhänger, weil man erkannt hat, dass das Universum in erheblichem Maße Veränderungen unterliegt, die wir beobachten und weitgehend nachvollziehen können.

Eine dritte Denkmöglichkeit ist die Annahme, dass das Universum, wie alles um uns herum, einer stetigen Veränderung unterliegt, dass das All einen Anfang hatte und sich im Laufe der Zeit bis zu seinem heutigen Zustand dank der ihm innewohnenden Gesetzmäßigkeiten beständig entwickelt hat. Diese Möglichkeit wird heute von nahezu allen ernsthaften Wissenschaftlern vertreten.

Unterstellt man, dass, wie nun zweifelsfrei festzustehen scheint, die Galaxien sich voneinander entfernen, so kann man von der heutigen Expansionsrate ungefähr auf den Anfangszeitpunkt des Auseinanderstrebens schließen. Das ist wie beim Krebsnebel im Sternbild des Stiers: Da wir die Geschwindigkeit kennen, mit der sich der Krebsnebel ausdehnt, können wir den Zeitpunkt der Supernova-Explosion, die diesen schnell expandierenden Nebel verursacht hat, errechnen. Beim Krebsnebel kommt man ungefähr auf die Zeit um 1050 n.Chr., und da es Berichte über eine Supernova aus dem Jahr 1054 n.Chr. gibt, die in der Richtung des Krebsnebels beobachtet wurde, liegt man damit erstaunlich richtig.

So ähnlich können wir auch mit der Ausdehnung des Universums verfahren. Insofern wir die Expansionsrate des auseinanderstrebenden Universums kennen, können wir zurückrechnen, um so den Anfangspunkt der Ausdehnung zu bestimmen. Die Expansionsrate wird als Hubble-Konstante bezeichnet, und ganze Generationen von Astronomen haben mit den unterschiedlichsten Methoden und Instrumenten versucht, die Hubble-Konstante zu berechnen. Sie ist deshalb so wichtig, weil sie Aufschluss geben kann über das Alter und die Größe des Universums sowie über andere Parameter, die für unser Verständnis des Weltalls von Bedeutung sind.

Die Methoden, die Hubble-Konstante zu messen, sind ebenso kompliziert wie unterschiedlich. Man hat die Hubble-Konstante mit Hilfe des Hubble-Weltraumteleskops ebenso berechnet wie mit dem Röntgensatelliten Chandra oder mit diversen Radioteleskopen. Immerhin haben diese völlig unterschiedlichen Methoden nahezu identische Ergebnisse hervorgebracht, so dass man dank der so berechneten Hubble-Konstanten das ungefähre Alter des Universums bestimmen kann. Auf diese Weise konnte das Alter des Alls auf ca. 13 Milliarden Jahre berechnet werden, bei einer Fehlerquote von plus oder minus einer Milliarde Jahre. Immerhin entspricht dieses Alter ungefähr den Ergebnissen anderer Methoden, die auf ähnliche Altersbestimmungen kommen. Eine dieser Methoden werden wir noch näher kennen lernen.



Aber was bedeutet diese Alterbestimmung? Sie bedeutet, dass wenn man die Expansion des Universums bis zu seinem Anfang zurückverfolgt, man unweigerlich an einen Punkt kommt, der räumlich und zeitlich „singulär“ ist. Das ist ein Punkt, an dem die gesamte Masse des Universums in einer Kugel von der Größe eines Balls, einer Kirsche, ja einem Stecknadelkopf zusammengedrängt ist. Dabei geht man davon aus, dass die Materie unendlich dicht und unendlich heiß sein muss. Es ist ein Zustand, an dem die herkömmlichen physikalischen Gesetze versagen und ihre Gültigkeit verlieren.

Singularitäten haben wir bereits bei Schwarzen Löchern kennen gelernt, bei denen sich der Raum zu einer Winzigkeit krümmt, die Zeit stehen bleibt und die Materie sich unendlich verdichtet. Unser Verständnis der Singularitäten von Schwarzen Löchern hilft uns jetzt, den wahrscheinlichen Anfangszustand des Universums zu verstehen. Allerdings mit einem Unterschied: Schwarze Löcher können wir inzwischen durch indirekte Beobachtungen und entsprechende Berechnungen (man spricht im Englischen von *circumstantial evidence*) nachweisen, während wir die kosmologische Singularität am Anfang des Universums nicht beobachten können, weil wir nicht in diese ferne Vergangenheit blicken können. Zwar können wir mit hochauflösenden Fernrohren inzwischen bis weit ins All und damit zurück in die ferne Vergangenheit blicken, aber eben nicht bis zum Urknall.

Selbst wenn wir mit unseren stärksten Teleskopen – etwa mit dem Keck-Teleskop auf Hawaii oder mit dem unter deutscher Beteiligung gebauten Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona – 12 oder 13 Milliarden Lichtjahre weit in den Raum hineinschauen und ebenso viele Jahre in die Zeit zurückblicken, so kommen wir zwar ziemlich nahe an den Ursprung heran, aber eben nicht ganz. Die Anfangs-Singularität wird uns für immer entzogen bleiben.

Aus diesem Grund sind Wissenschaftler genötigt, Erkenntnisse über den Anfang des Universums auf andere Weise zu gewinnen; und zwar – wie in der Forschung allgemein üblich – durch das Zusammenspiel von theoretischen Überlegungen und praktischen Experimenten. Wie kann man sich das vorstellen?

Die Physik hat inzwischen enorme Kenntnisse über das Wesen und die Eigenschaften von Elementarteilchen gewonnen, deren Verhalten für das Verständnis vom Anfang des Universum von Bedeutung ist, und die Wissenschaftler können deshalb schon erstaunlich viel über die vermutliche Entwicklung des Universums seit dem Beginn der Expansion aussagen. Besonders verdient gemacht haben sich Physiker wie der amerikanische Harvard-Professor Steven Weinberg (geb. 1933), dessen berühmtes Buch „Die ersten drei Minuten“⁵ die Entwicklung des Universums kurz nach dem Urknall beschreibt, wobei Weinberg von seiner großen Kenntnis der Elementarteilchenforschung Gebrauch machte. Allerdings vermochte seine Theorie keine Aussage über die ersten 0,01 Sekunden nach dem Urknall machen, weil es keinerlei Experimente gab, die uns Kenntnisse über den Zustand unendlicher Temperatur und Dichte vermitteln könnten.

Ihre Nahrung bezieht die theoretische Physik von der experimentellen Elementarteilchenforschung, die vor allem in den riesigen Teilchenbeschleunigern Amerikas und Europas vorangetrieben wird. Es gibt wohl kein Forschungsgebiet, das so hohe Investitionssummen verschlingt wie die Grundlagenforschung der Teilchenphysik. Wer einmal das europäische Kernforschungszentrum CERN in Genf besucht hat, wird nicht nur von den riesigen Ringbeschleunigern wie dem 150 Meter unter der Erde gebauten neuen *Large Hadron Collider* (LHC, früher LEP genannt) mit einem Umfang von 27 Kilometern

⁵ Steven Weinberg, Die ersten drei Minuten. Der Ursprung des Universums“, R. Piper & Co. Verlag München, 1977.

beeindruckt sein, sondern auch von den für die Teilchenkollisionen notwendigen Nachweisgeräten, von denen einige so groß sind wie mehrstöckige Häuser. Auch der Finanz- und Energiebedarf ist enorm. Der LHC, der fast bis auf den absoluten Nullpunkt gekühlt werden muss, hat einen Strombedarf, der so groß ist wie der Strombedarf der Stadt Genf.

In dieser mit modernster Technik umgebauten Urknallmaschine sollen die Big-Bang-Theorien der theoretischen Physiker anhand von künstlichen Teilchenkollisionen getestet werden, um experimentell nachzustellen, was sich beim Urknall oder wenigstens kurz danach abgespielt haben könnte. Pro Sekunde erzeugt die Höllenmaschine 600 Millionen Teilchenkollisionen, die aufgezeichnet und ausgewertet werden müssen.

Eine der Fragen, die beantwortet werden wollen, ist beispielsweise das Problem der Ungleichheit von Materie und Antimaterie, die nach der Big-Bang-Theorie eigentlich zu gleichen Teilen hätten entstehen müssen und die sich darum hätten gegenseitig vernichten müssen. Die Tatsache, dass es unser Universum und uns selbst tatsächlich gibt, beweist jedoch, dass es offenbar ein bislang nicht zu erklärendes Ungleichgewicht von Materie und Antimaterie gegeben haben musste, das zu einem kleinen Überschuss von Materie geführt hat, der immerhin noch so groß war, das daraus unser Kosmos entstehen konnte. Experten wollen errechnet haben, dass etwa ein Proton von drei Milliarden Protonen und Antiprotonen keinen Partner (oder Antikörper) hat finden dürfen, damit ein winziger Bruchteil der entstandenen Materie übrig bleiben konnte, um unseren Kosmos zu bilden.⁶



Der große Hadron-Ringbeschleuniger im Genfer Kernforschungszentrum CERN, in dem die „Urknalltheorien“ getestet werden. Er hat einen Kreisumfang von 27 Kilometern und kostete rund drei Milliarden Euro. (Quelle: CERN, LHC)

Wenn wir im Zusammenhang mit Schwarzen Löchern und dem Urknall von Singularitäten sprechen, so müssen wir uns vergegenwärtigen, dass es zwischen diesen beiden Arten von Singularitäten erhebliche Unterschiede gibt. Einen Unterschied haben wir oben schon kennengelernt: Schwarze Löcher lassen sich (indirekt) beobachten, der Urknall

⁶Wilhelm Raith (Hrg.), *Sterne und Weltraum*, Walter de Gruyter, Berlin, 2002, S. 527.



nicht. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass wir mittlerweile eine Vielzahl von Schwarzen Löchern kennen, aber bislang nur von einer einzigen kosmologischen Anfangs-Singularität ausgehen.

Ein weiterer Unterschied ist, dass die Schwarzen Löcher, die wir bislang kennen, zwar sehr viel Masse enthalten können, aber natürlich nicht die ganze Masse des Universums, was bei der kosmischen Singularität unterstellt werden muss. Nach der Urknallthese gibt es keine Materie im Weltraum, die nicht zuvor in der kosmischen Singularität vereint war.

Ein vierter Unterschied ist der, dass ein Schwarzes Loch eine End-Singularität darstellt, während der Urknall eine Anfangs-Singularität ist. Das heißt konkret, dass beim Schwarzen Loch die Materie aufgrund der Schwerkraft und durch die Überwindung der anderen physikalischen Kräfte nach innen implodiert und dabei einen Großteil der implodierenden Masse in Strahlenenergie und in Bewegungsenergie (kinetische Energie) verwandelt. Bei der Urknall-Singularität hingegen ist der Prozess umgekehrt, da sie ihren hochenergetischen Urzustand (unendliche Dichte und unendliche Temperatur) zunächst in Strahlungsenergie, dann in Masseenergie und schließlich in Materie umwandelt.

Gemäß den Berechnungsmodellen der Urknalltheorie geht man davon aus, dass das Universum in den ersten 100.000 Jahren vorwiegend ein Strahlen-Kosmos war und erst danach zu einem Materie-Kosmos überging. In einer Übergangszeit von etwa einer Million Jahren verwandelte sich die Strahlung zunächst in ein Materieplasma aus freien Elektronen und einfachen Atomkernen und später in gasförmige Materie von Wasserstoff und Helium, wobei die Strahlung zunehmend abnahm, bis sie vernachlässigbar wurde. Als sich Strahlung und Materie entkoppelten, wurde die Materie durchsichtig. Erst ab diesem Augenblick konnte sich die Strahlung ausbreiten, erst ab diesem Moment können wir das Universum „sehen“.

Das Nachglühen des Urknalls

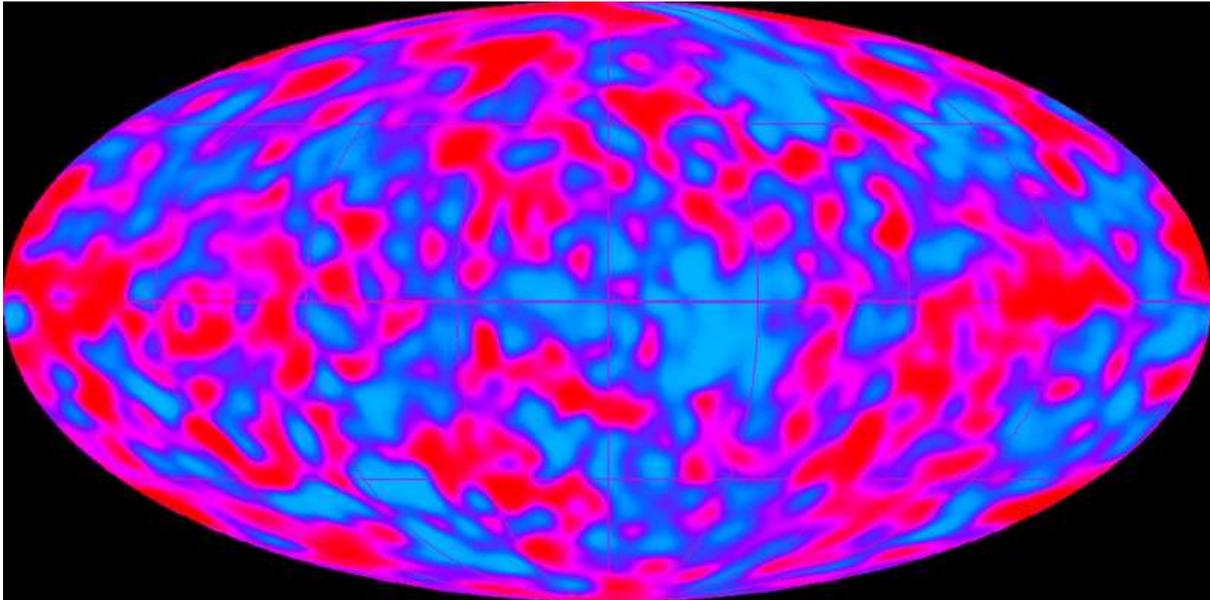
Einer der bedeutendsten Strahlenforscher des 20. Jahrhunderts war der Ukrainer Georg Gamov (1904-1968), ein Schüler von Alexander Friedmann. Er studierte in verschiedenen Städten Europas, darunter in Göttingen, und setzte sich später in die USA ab. Gamov wurde nicht nur für die Entdeckung der DNA-Struktur bekannt, sondern beschäftigte sich in den vierziger Jahren als Professor der George Washington University auch mit dem primordialen Materieplasma. Mit Hilfe seines Studenten Ralph Alpher schrieb er 1948 ein Papier über die Strahlungsabgabe nach dem Urknall, das in die Geschichte eingehen sollte. Humor bewies Gamov, indem er vor der Veröffentlichung dieser Arbeit noch den in Amerika forschenden deutschen Physiker (und späteren Nobelpreisträger) Hans Bethe bat, als dritter Koautor zu fungieren, so dass die Autorennamen Alpher, Bethe und Gamov in auffälliger Weise an die ersten drei Buchstaben des griechischen Alphabets sowie an die Alpha-, Beta- und Gammastrahlen erinnerten – durchaus passend für einen Artikel über die anfängliche Strahlungsphase des Universums.

In dem Artikel „The Origin of Chemical Elements“ stellten die Autoren ihre (als Alpher-Bethe-Gamov-Theorie) bekannt gewordene These auf, nach der die nach dem Urknall freigewordene hochintensive Strahlung sehr heiß gewesen war und noch bis heute im ganzen Universum „nachhallen“ müsse – und dass sie noch eine Resttemperatur zwischen 3 und 10 Grad Kelvin (also minus 276 bis 283 Grad Celsius) haben dürfte.

Die Amerikaner Bob Dicke und Jim Peebles, beide Physiker an der Princeton University, kamen fast 20 Jahre später auf die Idee, dass diese von Gamov und Alpher postulierte

KunstBilder

Strahlung, da sie aus dem ursprünglichen Kosmos stammte, heute noch tatsächlich zu sehen sein müsse, allerdings, da sie wegen der Expansion des Universums aus großer Vergangenheit und der tiefsten Tiefe des Raumes herrührte, äußerst stark nach rot verschoben sein dürfte, und zwar nunmehr bis in den Mikrowellenbereich. Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen von nur wenigen Zentimetern. Dicke und Peebles meinten, dass diese Wellen mit geeigneten Detektoren eigentlich zu entdecken sein müssten. Sie schickten sich an, einen Weg zu finden, wie sie diese Reststrahlung mit geeigneten Detektoren ausfindig machen könnten.



Das Bild, das der Satellit COBE von der kosmischen Hintergrundstrahlung machte, zeigt (von rot bis blau) winzige Strahlungsfluktuationen nach dem Urknall, die sich später in Variationen von Materiedichten und schließlich in die Formation von Galaxienhaufen niederschlugen.

Wie es der Zufall wollte, arbeiteten nicht weit von ihnen entfernt zwei Physiker der Bell Telephone Laboratories, Arno Penzias und Robert Wilson, gerade daran, einen Mikrowellendetektor zu testen. Als sie ihn zum ersten Mal einsetzen, bemerkten sie eine unangenehme Störung in Form eines beständigen Rauschens, dessen Ursache sie sich zunächst nicht erklären konnten. Sie suchten nach Fehlerquellen und nahmen eine intensive Säuberung des Detektors vor, doch das Rauschen blieb. In diesem Zusammenhang muss man wissen, dass Radioastronomen einer Strahlung mit einer bestimmten Wellenlänge und einer bestimmten Intensität eine so genannte (Äquivalenz-) Temperatur zuordnen. Die Bell-Forscher stellten fest, dass das von ihnen entdeckte Rauschen offenbar eine Temperatur von 3,5 Grad über dem absoluten Nullpunkt aufwies. Und zwar unverändert Tag und Nacht. Wenn es keine Störung war, woher, so fragten sich Penzias und Wilson, sollte dieses Rauschen, diese Strahlung, diese Temperatur kommen? Sie konnten sich keine Quelle vorstellen, die eine so homogene, aus allen Richtungen gleichförmige Strahlung hervorrufen würde. Auf der Suche nach einer Antwort stießen sie auf die Überlegungen ihrer Kollegen in Princeton und nahmen Kontakt mit ihnen auf. Konnte es sein, dass Penzias und Wilson die von Dicke und Peebles gesuchte Reststrahlung aus der Zeit des Urknalls bereits gefunden hatten? Für Dicke und Peebles war die Entdeckung von Penzias und Wilson von sehr gemischten Gefühlen begleitet, denn einerseits schienen sie die Antwort, die sie suchten,



urplötzlich vor sich zu haben, andererseits hatten nicht *sie* die Antwort gefunden, sondern Penzias und Wilson, die ihnen zuvorgekommen waren. Doch bevor man sich wirklich sicher war, ob die Bell-Wissenschaftler tatsächlich die kosmische Hintergrundstrahlung entdeckt hatten, sollten noch einige Jahre vergehen. Erst in den Siebziger Jahren waren sich die meisten Fachleute endlich einig, dass die von Penzias und Wilson gefundene Mikrowellenstrahlung wirklich nur vom Urknall herrühren konnte. Sie war einfach zu uniform und gleichförmig (man sagt auch „isotrop“), als dass sie von irgendeiner anderen Quelle als dem Urknall hätte herrühren können. Penzias und Wilson erhielten 1978 den Nobelpreis für Physik. Dicke und Peebles gingen ebenso leer aus wie Gamov und Alpher.

Weil es bis in die achtziger Jahre hinein aber immer noch einige wenige Forscher gab, die Zweifel daran hegten, ob die von Penzias und Wilson entdeckte Mikrowellenstrahlung wirklich vom Urknall herrührte, schickte die NASA im November 1989, im Monat des Falls der Berliner Mauer, den Satelliten COBE (*Cosmic Background Explorer*) ins All. Die Ergebnisse dieses Erkundungssatelliten waren sehr spektakulär. Denn:

1. Zum einen konnte COBE die Temperatur der Hintergrundstrahlung auf 2,7 Grad über dem absoluten Nullpunkt (oder 2,7 Kelvin) präzisieren; das stimmte erstaunlich gut mit den theoretischen Vorhersagen überein;

2. Zum andern zeigte COBE, dass die kosmische Hintergrundstrahlung völlig deckungsgleich ist mit der so genannten Schwarzkörperstrahlung des Universums, die nach dem Strahlungsgesetz von Max Planck ebenfalls 2,7 Kelvin betragen müsste. Diese erstaunliche Übereinstimmung gilt als weiteres, wichtiges Indiz für die Urknalltheorie, und seit diesem Befund sind auch die letzten ernstzunehmenden Kritiker verstummt.

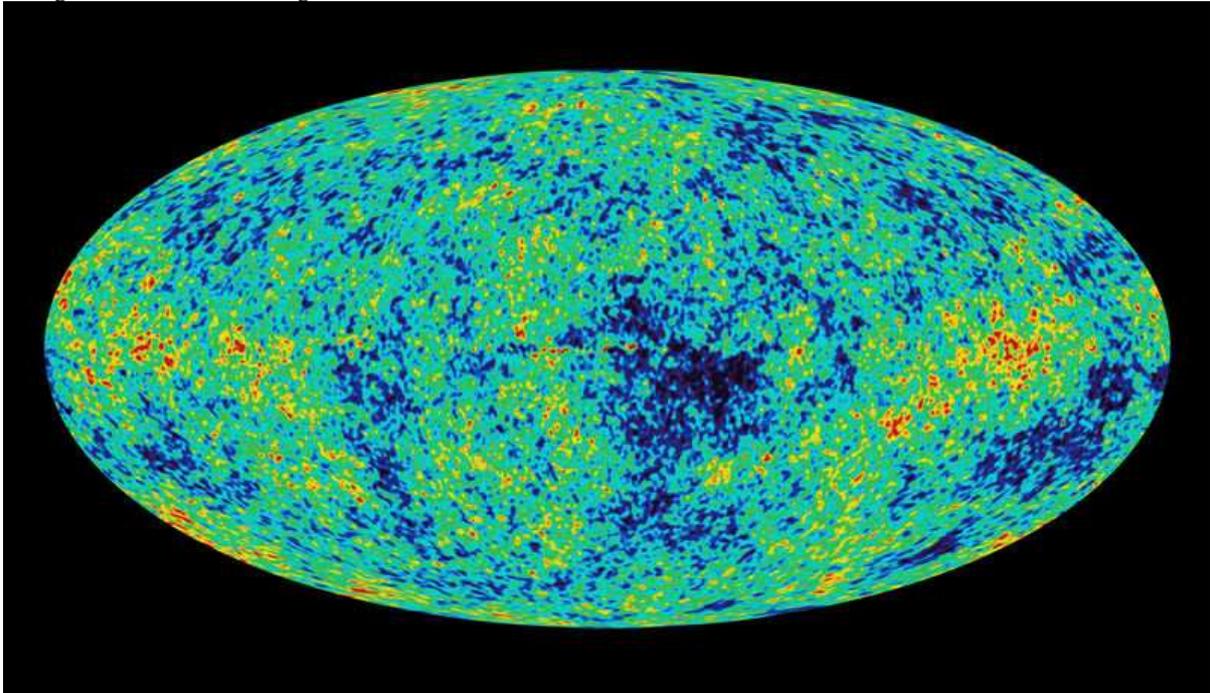
3. COBE brachte den Forschern aber noch eine weitere sensationelle Erkenntnis. Eigentlich hätte man erwarten müssen, dass das Nachglühen des Urknalls völlig uniform und gleichförmig („isotrop“) sein sollte, doch fand man heraus, dass es zu Beginn des Strahlungsuniversums doch ganz winzige Strahlungs- und Temperaturschwankungen gegeben hatte. Wo sollten diese Strahlungsunterschiede herrühren? Die einzig vernünftige Erklärung, die es für diese „anisotropen“ (d.h. richtungsabhängigen) Schwankungen zu diesem frühen Stadium des Universums gibt, sah man in der Unbestimmtheit der Quantenphysik: In der subatomaren Welt gibt es quantenmechanische Ereignisse, welche die Gleichförmigkeit stören können. Somit waren Quanteneffekte die Ursache für diese winzigen Strahlungsschwankungen, die sich in der Folge als eine ungleiche Verteilung der Materiedichte niedergeschlagen haben und schließlich aufgrund der Gravitationskräfte zur Zusammenballung von Galaxien und Galaxienhaufen führten. Das Sensationelle ist somit, dass wir die Existenz der Galaxien (und unsere eigene Existenz) quantenmechanischen Zufallsereignissen zu verdanken haben.

Für diese spektakulären Ergebnisse erhielten die beiden für die COBE-Mission verantwortlichen amerikanischen Wissenschaftler John Mather und George Smoot im Jahre 2006 den Nobelpreis für Physik. Allerdings nicht ohne dass ein weiteres Satellitenprojekt ihre Ergebnisse noch einmal bestätigt und weiter präzisiert hatte:

Die im Sommer 2001 gestartete WMAP-Raumsonde⁷ wurde nicht, wie COBE zwölf Jahre zuvor, in eine Erdumlaufbahn geschickt, sondern auf einen „Lagrange-Punkt“ platziert, wo sich die Anziehungskräfte von Erde und Sonne gegenseitig aufheben. Auf diese Weise

⁷ WMAP steht für: „Wilkinson Microwave Anisotropy Probe“, benannt nach dem 2002 verstorbenen Kosmologen David Wilkinson..

erhoffte man sich, noch störungsfreiere Resultate zutage fördern zu können. 2003 wurden einige sensationelle Ergebnisse veröffentlicht:



Eine gegenüber der COBE-Abbildung verfeinerte Kartographierung vom Nachglühen des Urknalls, also von der kosmischen Hintergrundstrahlung, wie sie von der Raumsonde WMAP gewonnen wurde. Es ist quasi ein Schnappschuss des Baby-Universums. Die hier sichtbar gemachten Strahlungs- und Wärmeungleichheiten (Anisotropien), die aus dem frühen Strahlungsuniversum bis heute nachhallen, wurden durch quantenmechanische Unschärfen hervorgerufen und verursachten später die Dichteschwankungen des Universums und die Bildung von Galaxien, Sternen und Planeten. Rote Punkte symbolisieren die wärmsten Regionen. Sie enthielten nur wenig Masse und dehnten sich zu großen Leerräumen im All aus. Blau signalisiert die kältesten Bereiche. Dort war das Urplasma verdichtet, so dass daraus die Galaxien und Galaxienhaufen hervorgingen, mit jeweils vielen Milliarden Sternen.

1. Das Alter des Universums konnte recht präzise auf 13,7 Milliarden Jahren genähert werden (bei einer Fehlerquote von nur +/- 200 Millionen Jahren);

2. Die kosmologische Hubble-Konstante, die für die Berechnung der Expansion des Universums wichtig ist, wurde auf 70 km/s pro 3,2 Lichtjahre berechnet, bei einer Fehlerquote von rund 3 Prozent;

3. Ferner wurde berechnet, dass das Universum nur zu 4 Prozent aus sichtbarer Materie besteht, zu 22 Prozent aus dunkler Materie und zu 74 Prozent aus dunkler Energie. Dunkle Materie und Dunkle Energie machen sich nur durch ihre Gravitationswirkung bemerkbar, ihre physikalische Natur ist weitgehend unbekannt.

Dunkle Materie wird vorausgesetzt, weil die sichtbare Materie von Galaxien nicht ausreicht, um die offenbar zu hohen Rotationsgeschwindigkeiten der äußeren Galaxienbereiche zu erklären. Dunkle Energie scheint nötig zu sein, um die beobachtete Dichte und Expansionsrate des Universums begrifflich zu machen. Allerdings weiß niemand bis heute genau, was dunkle Materie oder was dunkle Energie ist und niemand hat sie je beobachtet. Hier hat sich ein weites Forschungsfeld für die Astronomie der kommenden Jahre aufgetan.



Was können wir wissen?

Dies bringt uns noch einmal zurück zu der eingangs dieses Kapitels aufgeworfenen Frage, was wir über das Universum eigentlich tatsächlich wissen und worüber wir nur spekulieren können. Viele Laien können oft nicht auseinander halten, welche Fakten als gesichert gelten dürfen und was im Bereich der Wissenschaften als hypothetisch und spekulativ zu werten ist. Verwirrend ist für manche Laien, dass Wissenschaftler oft von „Theorien“ sprechen, gleich ob es sich um ziemlich spekulative Theorien handelt oder um solche, die inzwischen bestens belegt sind und sich in der alltäglichen Anwendung tausendfach bewährt haben. Wissenschaftliche Theorien zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Möglichkeit der experimentellen Falsifikation oder Verifikation bietet. Eine Theorie, die dies nicht leistet, muss in den Bereich der spekulativen Hypothesenbildung verbannt werden. Eine Theorie jedoch, die sich durch mehr und mehr Experimente und Beobachtungen immer wieder bestätigen lässt, verdichtet sich zu einem oft alternativlosen Erklärungsmodell, das aber – aufgrund der nach wie vor bestehenden Erkenntnislücken – weiterhin nur als „Theorie“ etikettiert wird.

Die Urknalltheorie ist heute im Vergleich zu den sechziger Jahren hervorragend belegt, obgleich es auch eine Reihe von Aspekten gibt, die noch recht unsicher sind und spekulativen Charakter haben. Als erwiesen gilt, dass sich die Galaxien voneinander wegbewegen, dass sich das Universum ausdehnt, dass diese Expansion einmal begonnen haben muss, nämlich vor rund 14 Milliarden Jahren, dass wir heute eine kosmische, weitgehend isotrope Hintergrundstrahlung beobachten, die wir nur als das Nachglühen eines frühen Strahlungsuniversum deuten können, und dass es bei diesem frühen Universum minimale Ungleichheiten gab, die später zum Herausbilden von Galaxien, Sternen und Planeten geführt haben.

Keineswegs bewiesen ist jedoch, dass es sich zu Beginn des Urknalls wirklich um eine absolute Singularität gehandelt habe, was wir zwar vermuten, aber nicht wirklich nachprüfen können. Wir können auch wenig darüber aussagen, was den Urknall hervorgerufen haben könnte. Viele – auch namhafte Wissenschaftler – sind der Meinung, dass egal, was den Urknall verursacht haben mag, dies nicht Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sein kann, weil es sich jedweder nachprüfbarer Untersuchung entzieht. Das ist zwar im Prinzip richtig, doch sind mehr und mehr theoretische Physiker der Überzeugung, dass es erlaubt sein müsse, sich im Rahmen von Hypothesen und theoretischen Überlegungen Gedanken über mögliche Ursachen des Urknalls zu machen.

Manche haben angesichts dieser Ungeklärtheiten noch die Möglichkeit gesehen, Gott als physikalischen Verursacher oder „Designer“ ins Spiel zu bringen. 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.⁸ Doch schon damals hatten Physiker wie Alan Guth und Stephen Hawking bereits damit begonnen, sich mit dem Thema *Before the Beginning of the Big Bang* zu beschäftigen. Natürlich kann man darüber nicht viel wissen, aber man darf darüber nachdenken. Denn irgendeine Ursache muss der Urknall ja gehabt haben. (Wir kommen darauf noch zurück.)

⁸ 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 dergestalt, 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.



Im spekulativen Bereich bleibt bis auf weiteres nicht nur die Ursache des Urknalls, sondern auch das ultimative Ende des Universums. Dehnt es sich weiter aus, bis in den unendlichen Raum und in die unendliche Zeit? Oder verlangsamt sich die Expansion des Alls am Ende doch, zieht sich das Universum eines Tages wieder zusammen, um zum Schluss mit einer Implosion erneut in einer finalen Singularität zu enden? Diese Fragen beschäftigen die Forscher schon seit Jahrzehnten, ohne dass sie darauf eine endgültige Antwort geben könnten. Die meisten Fakten sprechen inzwischen für die unendliche Expansion des Universums, aber kein Wissenschaftler würde sein Haus darauf verwetten wollen.

Die Mitte des Universums.

Hat das Universum eine Mitte? Wir haben gesehen, dass sich egal wohin wir blicken die Galaxien von uns wegbewegen, und zwar umso schneller je weiter sie von uns weg sind. Obwohl es so scheint, als befänden wir uns im Zentrum dieser Expansionsbewegung, haben wir gelernt, dass das Universum von jedem Punkt aus gleich aussieht. Egal also, wo im Weltraum wir uns befänden, die Galaxien würden sich immer von uns wegbewegen. Wir haben gelernt, dass dies nicht an der Eigenbewegung der Galaxien liegt, sondern daran, dass sich der Raum dehnt, dass also das Weltall seit seiner Entstehung expandiert, und zwar von einem ursprünglich sehr winzigen Raum zu einem unvorstellbar großen Raum. Wir haben gelernt, dass die Hitzestrahlung des primordialen Universums bis heute nachglüht, und zwar in Form der Strahlung, die inzwischen auf 2,7 Grad Kelvin abgekühlt und extrem nach rot in den Mikrowellenbereich verschoben ist. Die nur von winzigen Fluktuationsschwankungen gekennzeichnete Hintergrundstrahlung kommt aus allen Richtungen einschließlich unseres eigenen Standortes. Und das bedeutet: Entweder hat der Weltraum überhaupt keine Mitte oder seine Mitte ist überall. Wenn man davon ausgeht, dass der Urknall aus einer Singularität heraus entstanden ist, so könnte man diese Singularität zugleich als ihre eigene Mitte betrachten und auch die Expansion des Universums als Dehnung dieser Mitte verstehen. Indem sich der Raum bildete, blieb die Mitte überall. Überall – das heißt, dass sie auch genau hier und jetzt bei mir und in mir ist. Es gibt keine andere Mitte als „überall“. So unbedeutend ich mich zuweilen angesichts der Größe des kosmischen Raums empfinden mag, ich darf mich dennoch – auch und gerade aus kosmologisch-wissenschaftlicher Sicht – als den veritablen Mittelpunkt des Kosmos und das physikalische Zentrum des Alls betrachten. Ich bin die Mitte des Universums.