

Unverkäufliche Leseprobe



Hans-Joachim Blome, Harald Zaun
Der Urknall

Anfang und Zukunft des Universums

2018. 128 S., mit 9 Abbildungen
ISBN 978-3-406-72674-3

Weitere Informationen finden Sie hier:
<https://www.chbeck.de/25423580>

© Verlag C.H.Beck oHG, München
Diese Leseprobe ist urheberrechtlich geschützt.
Sie können gerne darauf verlinken.

Irgendwann und irgendwo, als Raum und Zeit noch in einem undefinierbaren Nichts gefangen waren, entstand in einer gewaltigen Explosion, dem *Big Bang*, innerhalb einer billionstel Sekunde aus einem unendlich kleinen Punkt von unvorstellbarer Energiedichte und Temperatur hochintensive Strahlung. Die Strukturen, die sich daraus entwickelten, offenbarten sich uns heute als Gas- und Staubwolken, als Galaxien und Galaxienhaufen. Sie sind der materielle Beweis dafür, dass alles, was im Kosmos entstanden und vergangen ist, seine Herkunft dem Urknall vor etwa 13,82 Milliarden Jahren verdankt.

Auch wenn die *Urknall-Theorie* Schwächen und Unklarheiten aufweist, gilt sie derzeit immer noch als die beste Erklärung für die Entstehung des Universums. Kompakt und sachkundig erläutern die beiden Autoren die wichtigsten Details dieser Theorie, vermitteln einen Einblick in die noch offenen Fragen und beschreiben ihre Auswirkungen auf unser Weltbild.

Hans-Joachim Blome ist Astrophysiker und Professor im Fachbereich Raumfahrttechnik an der Fachhochschule Aachen und war Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bonn und Köln.

Harald Zaun ist promovierter Historiker und schreibt als Wissenschaftsautor unter anderem für Die Welt, Frankfurter Rundschau, c't, Süddeutsche Zeitung, WAZ, Sterne und Weltraum, FAZ.net, Spiegel-online, astronomie.de, wissenschaft.de (bdw) und Telepolis.de.

Hans-Joachim Blome
Harald Zaun

DER URKNALL

Anfang und Zukunft des Universums

Verlag C.H.Beck

Mit 9 Abbildungen

1. Auflage. 2004
- 2., aktualisierte Auflage. 2007
- 3., aktualisierte Auflage. 2015

4., aktualisierte Auflage. 2018

Originalausgabe
© Verlag C.H.Beck oHG, München 2004
Satz, Druck und Bindung: Druckerei C.H.Beck, Nördlingen
Reihengestaltung: Uwe Göbel, München
Umschlagabbildung: © bigfoot/Fotolia
Printed in Germany
ISBN 978 3 406 72674 3

www.chbeck.de

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Einleitung: Kosmos und Mensch in der Gegenwart | 8 |
| I. Terminologie, Etymologie und Philosophie des Urknalls | 11 |
| II. Wegbereiter der modernen Kosmologie | 14 |
| 1. Philosophische Kosmogonen der Antike | 14 |
| 2. «Renaissance» und Aufklärung | 17 |
| 3. Aufkommen des Evolutionsgedankens | 21 |
| 4. Von Einstein bis Hawking | 24 |
| III. Materie | 31 |
| 1. Struktur und Verteilung der kosmischen Materie | 31 |
| 2. Bewegung der Materie – Flucht der Galaxien | 34 |
| 3. Atomare und subatomare Struktur der kosmischen Materie | 35 |
| 4. Materie statt Antimaterie | 36 |
| 5. Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente | 37 |
| 6. Virtuelle Materie – Weltraumvakuum | 41 |
| IV. Raum | 42 |
| 1. Absoluter Raum und Newton'sche Kosmologie | 42 |
| 2. Raumzeit-Geometrie der Minkowski-Welt | 43 |
| 3. Der expandierende Weltraum – dynamische Geometrie | 43 |
| 4. Urknall ad oculos: das Olbers'sche Paradoxon | 47 |
| V. Zeit | 49 |
| 1. Universelle Weltzeit | 49 |
| 2. Alter von Planeten, Sternen und Galaxien | 50 |
| 3. Expansionsalter | 52 |
| 4. Richtung der Zeit | 53 |

| | |
|--|-----------|
| VI. Friedmann-Lemaître-Weltmodelle | 54 |
| 1. Gravitation – Seele des Weltalls | 54 |
| 2. Relativistische Kosmologie | 55 |
| 3. Expansionsdynamik kosmologischer Modelle | 56 |
| 4. Strahlungs- und Materiekosmos | 58 |
| VII. Geschichte des Kosmos | 60 |
| 1. Fiat Lux | 60 |
| 2. Kosmologische Epochen – Inflation | 60 |
| 3. Ursprung der Galaxien | 70 |
| 4. Strukturentstehung und Zunahme der Entropie | 72 |
| VIII. Anthropisches Prinzip – War die Gegenwart das Ziel? | 75 |
| 1. Anthropisches Prinzip und Urknall | 75 |
| 2. Feinabstimmungen als Voraussetzung | 76 |
| 3. Die drei Varianten des Anthropischen Prinzips | 79 |
| 4. Teleologische Interpretationen | 80 |
| 5. Leben – nur ein Übergangsphänomen? | 81 |
| IX. Anfang des Kosmos | 84 |
| 1. Die Anfangssingularität – Creatio ex nihilo? | 84 |
| 2. Quantenkosmologie | 86 |
| 3. Nichtsingulärer Anfang – Big Bounce | 90 |
| 4. Zyklische Urknall-Modelle | 91 |
| 5. Multiversum – Babyuniversen aus Schwarzen Löchern? | 95 |
| 6. Stringkosmologie | 96 |
| X. Zukunft des Kosmos | 98 |
| 1. Nur vorübergehende Epoche des Universums? | 98 |
| 2. Naturgesetze und Prognose | 99 |
| 3. Deterministisches Chaos und Unbestimmtheit der Quanten | 100 |
| 4. Unbekannter gegenwärtiger Zustand der Welt | 102 |
| 5. Schicksal des Kosmos | 102 |

| | |
|---|------------|
| XI. Teleskop als Zeitmaschine | 107 |
| 1. Blick in den Raum durch das Prisma der Zeit | 107 |
| 2. Unsichtbarer Urknall mit Lichtecho | 108 |
| 3. Frühzeit des Materiekosmos – Universum incognitum | 109 |
| 4. Der Urknall im Visier | 110 |
| | |
| Anhang | |
| Anmerkungen | 115 |
| Literatur | 122 |
| Register | 124 |

Einleitung: Kosmos und Mensch in der Gegenwart

Die Zeit wird kommen, wenn eifriges Forschen über lange Zeiträume hinweg Dinge ans Licht bringt, die jetzt noch verborgen liegen. ... Es wird ... eine Zeit kommen, wenn unsere Nachfahren staunen, dass wir Dinge, die ihnen so einfach erscheinen, nicht wussten. ... Viele Entdeckungen aber sind künftigen Jahrhunderten vorbehalten, wenn wir längst vergessen sind. Unser Universum wäre betrüblich unbedeutend, hätte es nicht jeder Generation neue Probleme zu bieten. ... Die Natur gibt ihre Geheimnisse nicht ein für alle Mal preis. (Seneca, Naturales quaestiones, 7. Buch)

Irgendwann zu keinem Zeitpunkt und irgendwo an keinem bestimmten Ort, als Zeit und Raum noch nicht definiert waren, entsprang aus einem extrem heißen, extrem dichten Anfangszustand von unvorstellbar hoher Energiedichte und Temperatur das uns bekannte Universum. Obwohl diese so genannte «Anfangssingularität» selbst nicht der Raumzeit angehörte und obgleich besagter Anfangszeitpunkt selbst nicht das Datum dieses vermeintlichen «Ereignisses» war, trat bereits in dieser Phase die kosmische Materie als ein sich rasant, isotrop und nahezu homogen ausdehnendes Gemisch von Elementarteilchen unterschiedlichster Art – durchflutet von hochenergetischen Photonen und vermutlich auch Gravitationswellen – in die Welt. Diese Anfangssituation, die Astrophysiker als heißen «Urknall» (engl. *Big Bang*)¹ bezeichnen, ist die Ursache dafür, dass der gesamte Kosmos – die Entstehung und Strukturierung der Materie und die Geometrie der Raumzeit – einem Entwicklungsprozess unterliegt, der durch die vier fundamentalen Kräfte, insbesondere der Gravitation und der Expansion, geformt wird. Alles, was sich aus diesem kaum

definierbaren Etwas herauskristallisierte – ob Galaxien, Sterne oder Planeten –, hebt sich heute von der samteneen, mitunter entseelt wirkenden Schwärze des «kalten» Weltraums deutlich ab, lässt das All aber zugleich in pittoresker Schönheit erstrahlen. Gleichwohl ist dies nur eine punktuelle Momentaufnahme einer sich fortwährend im Wandel befindlichen kosmischen Evolution, dessen Ende unabsehbar ist. Heute sprechen alle Beobachtungen für einen Kosmos, der ewig expandiert² und dessen Ausdehnung dabei sogar beschleunigt wird – und in dem die Existenz einer bewohnbaren Zeitzone nur den Charakter einer Übergangszeit hat. Dabei ist aber die vermeintliche Geschichtslosigkeit des Universums, die scheinbare Ruhe und Unveränderlichkeit des Sternenhimmels, eine «optische Täuschung». Diese Einsicht, die auf Beobachtungen erdgebundener und satellitengetragener Teleskope basiert, führte zu neuen physikalisch fundierten Theorien, die in der Astrophysik den vielleicht wichtigsten Paradigmenwechsel des 20. Jahrhunderts markierten. Hieraus resultiert auch die Erkenntnis, dass der Homo sapiens – aus dem Blickwinkel der Naturgesetze – in einer Welt lebt, in der es sehr behutsam zugeht. Gefangen zwischen Makro- und Mikrokosmos, bewegt er sich mit Geschwindigkeiten, die erheblich kleiner sind als die Lichtgeschwindigkeit. Gefangen in der Gegenwart, vermag er beim Betrachten der am nächtlichen Firmament funkelnden Sterne immerhin ad oculos zu realisieren, dass jeder Blick ins All aufgrund der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts gleichzeitig auch ein Blick in die Vergangenheit ist. Weder der heutige Zustand noch die Entwicklung einzelner Objekte sind uns zugänglich; sie sind nur eine Mischung aus Zustands- und Entwicklungsdaten. Daraus resultiert eine weitere spezifische Schwierigkeit der Kosmologie. Raum-, Zeit- und Objektfragen sind miteinander verflochten: Wir können nicht in große Entfernungen schauen, ohne gleichzeitig in die Vergangenheit zurückzublicken. Insbesondere die Entdeckung von Edwin Hubble (1929), dass sich fast alle fernen Galaxien von uns fortbewegen, und die Messung eines kosmischen Strahlungsfeldes im Mikrowellenbereich durch Arno Penzias und Robert

Wilson (1964), worauf zu guter Letzt unser ganzes Weltbild der physikalischen Kosmologie beruht, in dem die Urknall-Theorie fest verankert ist, entlarvten die historische Dimension unseres Alls. Heute wissen wir, dass unser *Lebensraum* und der dem Menschen durch Raumfahrt zugängliche Teil des Weltraums im Vergleich zur räumlichen Erstreckung des Kosmos extrem winzig und dass die Welt außerhalb der Erde äußerst lebensfeindlich ist. Nur an einem speziellen Ort in unserem Sonnensystem hat eine große Zahl von besonderen Feinabstimmungen bestimmte Bedingungen geschaffen, die das heutige Leben und Bewusstsein sowie die gegenwärtige Intelligenz realisierten. All dies hat auf die moderne Kosmologie des 20. Jahrhunderts einen geradezu revolutionären Einfluss gehabt, änderte sich doch so die Perspektive auf die Stellung des Menschen im Kosmos fundamental. Angesichts der Erkenntnis, dass der Mensch in die Evolution der irdischen Biosphäre und diese wiederum in die planetarische Evolution der Erde eingebunden ist, wurde die materielle Verknüpfung mit der Geschichte des Kosmos evident. Denn die Atome und Moleküle, aus denen unser Körper besteht, existierten in der Geburtsstunde des Kosmos noch nicht, sondern sind erst im Laufe von Jahrmilliarden im Innern der Sterne aus dem anfangs alleinig vorhandenen Wasserstoff und Helium generiert worden. Wir sind – wie es Ernesto Cardenal umschreibt – samt und sonders Kinder der Sonne und tragen alle den Sternenstaub, der in unzähligen Supernovae-Explosionen in den Kosmos freigesetzt wurde, größtenteils in uns.³

I. Terminologie, Etymologie und Philosophie des Urknalls

Der Urknall ist in Wahrheit unser Horizont in der Zeit und im Raum. Wenn wir ihn als Nullpunkt unserer Geschichte betrachten, dann aus Bequemlichkeit und in Ermangelung eines Besseren. Wir sind wie Entdeckungsreisende vor einem Ozean: Wir sehen nicht, ob es hinter dem Horizont etwas gibt. (Hubert Reeves)

Wohl selten hat ein angesehener Wissenschaftler das Faszinosum und das Mysterium des Urknalls so treffend pointiert wie der frankokanadische Grandseigneur der Astrophysik, Hubert Reeves.⁴ Dabei dürfte die Frage nach dem Beginn und Ursprung des Universums, das wir erleben und zu verstehen versuchen, die im Verlaufe der Menschheitsgeschichte am häufigsten gestellte sein. Zu allen Zeiten, in allen Kulturen richteten die Menschen den Blick zu den Sternen und rätselten über den Anfang aller Materie und allen Seins. Seitdem am 2. Oktober 1608 der Brillenmacher Hans Lipperhey aus Middelburg in der flämischen Provinz Seeland ein Patent beantragte – für «ein gewisses Instrument, um in die Ferne zu sehen»⁵ –, ermöglichen uns die «klassischen» Fernrohre und ihre Nachfolger – von den hochsensiblen erdgebundenen Teleskopen bis hin zu Weltraumobservatorien – einen immer tieferen und zugleich faszinierenden Einblick in das Universum und führen uns dabei tagtäglich vor Augen, dass das All eine Geschichte hat, dass Astronomen und Kosmologen nichts anderes als fragende Historiker des Universums sind. Warum existiert der uns bekannte Kosmos überhaupt? Woher kam er – wohin geht er? Führt der Big Bang unweigerlich zum Big Crunch,⁶ oder expandiert der Kosmos bis in alle Ewigkeit? Gibt es eine deterministische Konstante, einen ersten Bewegter, eine erste Ursache, die alles bedingt hat?

All diese bewegenden Fragen, worüber sich Äonen zuvor bereits die Philosophen der Antike, die Gelehrten des Mittelalters und die Universalisten der Aufklärung – von Platon über Giordano Bruno bis hin zu Isaac Newton – die Köpfe zerbrachen, sind heute Gegenstand der physikalischen Kosmologie, die Hoimar von Ditfurth einmal als «Fortsetzung der Metaphysik» charakterisierte. Auf der Suche nach dem kosmischen Gral, dem Schlüssel zu allem, fokussiert sich die Kosmologie immer stärker auf den Big Bang, jene Ur-Sache aller Ursachen dieser Welt, die in unserem Sprachraum gerne mit der unzureichenden Metapher «Urknall» umschrieben wird. Aber ganz im Gegensatz zu dem in der Wissenschaft mittlerweile geflügelten und etablierten Wort «Big Bang», das auf den Verfechter der Steady-State-Theorie Fred Hoyle zurückgeht, lässt sich der Urheber der deutschen Translationsvariante namentlich nicht mehr ausmachen. Hoyle hatte diesen Ausdruck am 25. Februar 1950 während der BBC-Radiosendung «Man's Place in the Expanding Universe», die im Rahmen der sechsteiligen *Lecture*-Serie «The Nature of the Universe»⁷ ausgestrahlt wurde, erstmals zum Besten gegeben und damit den Urknall-Verfechtern keineswegs schmeicheln wollen. Dass das einheitlich anerkannte Standardmodell der Kosmologie, das den Beginn der Welt charakterisiert, mit einem derart deplatzierten Namen versehen wurde, überrascht umso mehr, als der Urknall im eigentlichen Sinne weder ein Ereignis – hierfür wären die Koordinaten Zeit und Raum eine entscheidende Voraussetzung gewesen – noch eine Explosion im herkömmlichen Sinne gewesen sein kann. Ebenso wenig ging er mit einem Knall einher, da ein solcher eine räumliche Dimension und zugleich einen Luftwiderstand erfordert hätte. Nein, der Urknall war alles andere als eine Explosion irdischer Art, da er sich eben nicht in einem bereits existierenden Raum «ereignete». Wenn überhaupt, dann «füllte» diese Explosion «im Gegenteil das gesamte Universum» aus.⁸ Folglich hat der Urknall zugleich an jedem Punkt dieses Universums und an einem bestimmten Ort stattgefunden. Egal, wo Sie dieses Buch im Augenblick auch lesen mögen, egal, wo Sie morgen sein

werden: An jedem dieser Punkte fand dereinst auch der Urknall statt, weil am Anfang dieser Welt alle Orte ein und derselbe Ort waren.⁹

Keineswegs ein und dasselbe vermitteln dagegen die mit dem Urknall in engem Konnex stehenden Begriffe *Universum* und *Kosmos*. Während Astrophysiker unter einem *Universum* das größtmögliche existierende Objekt, das «alles» umfassende System, quasi das Weltganze verstehen, das alle Materie und Antimaterie als Teilsystem(e) in sich vereint, betrachten sie den *Kosmos* (griech. = «Ordnung») allenfalls als theoretisches Konstrukt, als hypothetisches Abbild des Universums. Setzte man das Universum mit dem Planeten Erde gleich, dann wäre analog hierzu der Kosmos schlichtweg ein Atlas. Gänzlich anders verhält es sich mit der *Metagalaxis*, womit Astronomen ausschließlich jenen empirisch zugänglichen Teil des Universums verbinden, der im Rahmen astronomischer Beobachtungen perzeptorisch, also via Teleskop etc., observierbar ist. Möglicherweise ist aber auch der gesamte Kosmos nur einer unter vielen Welten – ein Objekt im Multiversum. Dann lebten wir in einem von vielen koexistierenden Universen, die alle in einen höherdimensionalen Raum eingebettet sind. Diese Hypothese gewinnt an Gewicht, wenn wir die Quantentheorie auf das Universum anwenden. Gehen wir nämlich von einem Quantenzustand am Anfang aus, dann gibt es in der Tat viele Möglichkeiten, ein Universum zu kreieren oder gar Universa zu bilden, die sich durch den konkreten Wert der Naturkonstanten, die Hierarchie der Wechselwirkungen oder das Massenspektrum der Elementarteilchen unterscheiden könnten. Ob solcherlei Universa tatsächlich parallel zu unserem Kosmos in einem höherdimensionalen Raum existieren, entzieht sich aber jeglicher Beobachtung und bleibt daher äußerst spekulativ.¹⁰

Wie dem auch sei – das Standardmodell jedenfalls beschreibt nicht die Entstehung, sondern nur die Entwicklung der Welt. Es vermittelt ein idealisiertes Bild einer Realität, die wir nicht direkt erfahren, sondern mit Teleskopen sondieren und mithilfe mathematischer Physik erschließen können.¹¹

Heute dringen die Astronomen auf ihren Zeitreisen immer tiefer in das unbegrenzte, möglicherweise endliche, aber stetig wachsende Universum vor und nähern sich zumindest der Grenze des Urknalls unaufhörlich. Ermutigt durch das immer besser werdende astronomische Instrumentarium, beflügelt von neuen oder optimierten Detektionsmethoden und fortwährend präziser arbeitenden Computersimulationen, kristallisieren sich dabei immerfort feinere Bilder und Modelle heraus. Und dennoch bleibt bis dato ungeklärt, wer oder was vor langer Zeit das Drehbuch schrieb, die Regie führte, das Theater baute, die Requisiten besorgte und die Mimen, die dort ihr Gastspiel zelebrierten, auf die Bühne platzierte und ob der Homo sapiens wirklich der einzige Zuschauer im Auditorium ist, der diesem unglaublichen kosmischen Schauspiel beiwohnen darf. Dies steht auch nicht in den Sternen, die der Urknall kreiert hat.

Mehr Informationen zu diesem und vielen weiteren Büchern aus dem Verlag C.H.Beck finden Sie unter: www.chbeck.de