

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**



# FRÜHES UNIVERSUM

Die Kinderzeit **des Kosmos**

## **Reionisation**

Der kosmische Nebel wird gelüftet

## **Rätselhaftes Leuchten**

Die ersten Quasare

## **Planck-Daten**

Inflationsmodell in der Kritik



Mike Beckers  
E-Mail: [beckers@spektrum.de](mailto:beckers@spektrum.de)

Liebe Leserin, lieber Leser,  
sollten in einer Billion Jahren intelligente Wesen das Universum studieren, werden sie lediglich ihre eigene Galaxie sehen. Alle anderen Bestandteile des Kosmos entfernen sich, sofern sich dessen Expansion weiter beschleunigt, schneller als mit Lichtgeschwindigkeit von ihnen. Die frühen Galaxien, deren rötliches Glimmen wir heute beobachten: längst unsichtbar. Das Nachleuchten des Urknalls, das wir aus allen Richtungen als Mikrowellenhintergrund detektieren: auf unmessbare Wellenlängen gedehnt. So eine ferne Zivilisation wird wohl schlussfolgern, der Raum jenseits der Sterne ihrer Galaxie sei völlig leer und statisch.

Vielleicht sind wir die letzten forschenden Lebensformen im Universum, die durch ihre glückliche Position auf dem kosmischen Zeitpfeil noch eine Chance haben, etwas über dessen Beginn herauszufinden.

Als einen wundervollen Auftrag begreift das Ihr

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 26.11.2018

**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)  
**REDAKTIONSLEITER:** Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL:** Antje Findekle, Dr. Michaela Maya-Mrschtik  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15-17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE229038528  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.), Michaela Knappe (Digital)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2018 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

Folgen Sie uns:





SEITE  
04

RÄTSEL DES KOSMOS  
Was wir über den  
Urknall wissen

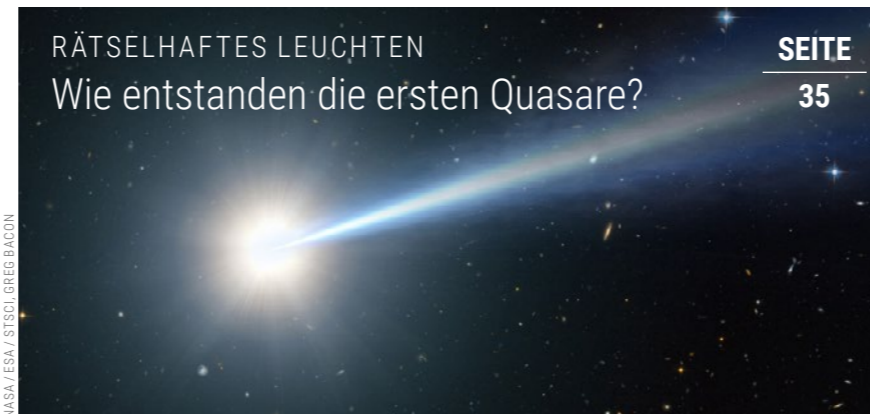
ISTOCK / KYOSHINO



SEITE  
26

DUNKLE MATERIE  
Die Schwarzen Löcher  
des Urknalls

PETER JURIK / STOCK.ADOBE.COM



RÄTSELHAFTES LEUCHTEN  
Wie entstanden die ersten Quasare?

SEITE  
35

NASA / ESA / STSCI, GREG BACON



PLANCK-DATEN  
Inflationsmodell in der Kritik

SEITE  
53

JAMIELAWTON / GETTY IMAGES / ISTOCK

04	RÄTSEL DES KOSMOS Was wir über den Urknall wissen
12	LESER FRAGEN - EXPERTEN ANTWORTEN Ein Problem mit dem Urknall
15	FREISTETTERS FORMELWELT Die universale Zukunftsformel
18	SIMULATION Galaxienhaufen aus dem Computer
19	KURIOSES PHYSIKEXPERIMENT Urknall im Labor
21	REIONISATION Forscher streiten um erstes Licht im Kosmos
26	DUNKLE MATERIE Die Schwarzen Löcher des Urknalls
35	RÄTSELHAFTES LEUCHTEN Wie entstanden die ersten Quasare?
44	ANTIMATERIE Der feine Unterschied wird greifbar
48	FRÜHE GALAXIEN Riesige Gashalos um frühe Sterneninseln
51	KOSMISCHE SCHWARZLICHTLAMPE UV-Strahlung bringt unsichtbare Galaxien zum Leuchten
53	PLANCK-DATEN Inflationsmodell in der Kritik
64	PLANCK-MISSION Aus für Urknall-Teleskop beendet Kosmologie-Ära



RÄTSEL DES KOSMOS

# Was wir über den Urknall wissen

von Dirk Eidemüller

Das Universum begann mit einem großen Knall. Davor war nichts.  
Oder doch etwas? Multiversen vielleicht oder die große Langeweile?

**P**eng! Und es ward Licht. Vor rund 13,8 Milliarden Jahren war auf einmal unser Universum da. Einfach so. Genau genommen war da erst einmal kein Licht, sondern eine unvorstellbare Menge an Energie, zusammengepresst auf kleinstem Raum. Innerhalb winzigster Sekundenbruchteile – Milliardstel von Milliardstel von Milliardstel von Sekunden – explodierte dieser Raum dann geradezu. Diese blitzartige Ausdehnung des Kosmos nennen Astrophysiker auch »Inflation« oder »inflationäre Phase«. In dem damals extrem heißen und dichten expandierenden Plasma entstanden zunächst vermutlich viele Teilchen, die wir heute nicht mehr im Universum finden. Diese schweren, instabilen Vorväter aller Partikel zerfielen dann in die uns heute bekannte Materie – und vermutlich auch in die rätselhafte Dunkle Materie, die deutlich häufiger vorhanden ist als die gewöhnliche.

Die normale Materie war noch immer extrem heiß – zu heiß, um stabile Atome zu bilden. Erst nach fast 400 000 Jahren der fortwährenden, immer langsamer verlaufenden Expansion und Abkühlung des Universums konnten sich aus dem heißen, undurchsichtigen Plasma Atome bilden. Auf einmal wurde das Universum durchsichtig. Gasmassen schlossen sich zu Galaxien zusammen. Sterne begannen zu leuchten. Diese ersten Sterne waren enorm groß, hitzig und kurzlebig. Sie verbrannten in ihrem Inneren Wasserstoff und Helium, die nach dem Urknall praktisch die gesamte Materie im Universum stellten. Dabei bildeten sie schwerere Elemente, die sie bei gigantischen Supernova-Explosionen wieder ins Weltall bliesen. Aus diesen Stoffen bildeten sich schließlich jüngere Sterne wie unsere Sonne und Planeten wie unsere Erde mitsamt allem, was auf solchen Planeten herumwuselt.

Dies ist die etablierte Theorie des Urknalls und passt so weit zu allen bekannten

Beobachtungen. Sie weist aber auch auf die enormen Lücken in unserem physikalischen Wissen hin. Denn wir sind heute nicht in der Lage, die enormen Energien kurz nach dem Ereignis zu reproduzieren, um herauszufinden, welche Teilchen es damals gab. Auch der weltstärkste Teilchenbeschleuniger, der Large Hadron Collider bei Genf, hat nur einen winzigen Bruchteil der Energie, die damals vorlag. Und je näher man sich an den Urknall herantasten will, desto höhere Energie benötigt man – eine angesichts der immens steigenden Kosten bei großen Beschleunigern schwierige Aussicht. Physiker versuchten deshalb in den letzten Jahren verstärkt, aus astronomischen Daten auf die Frühzeit des Kosmos zu schließen.

### **Kosmische Inflation – großer Blasebalg und großes Bügeleisen**

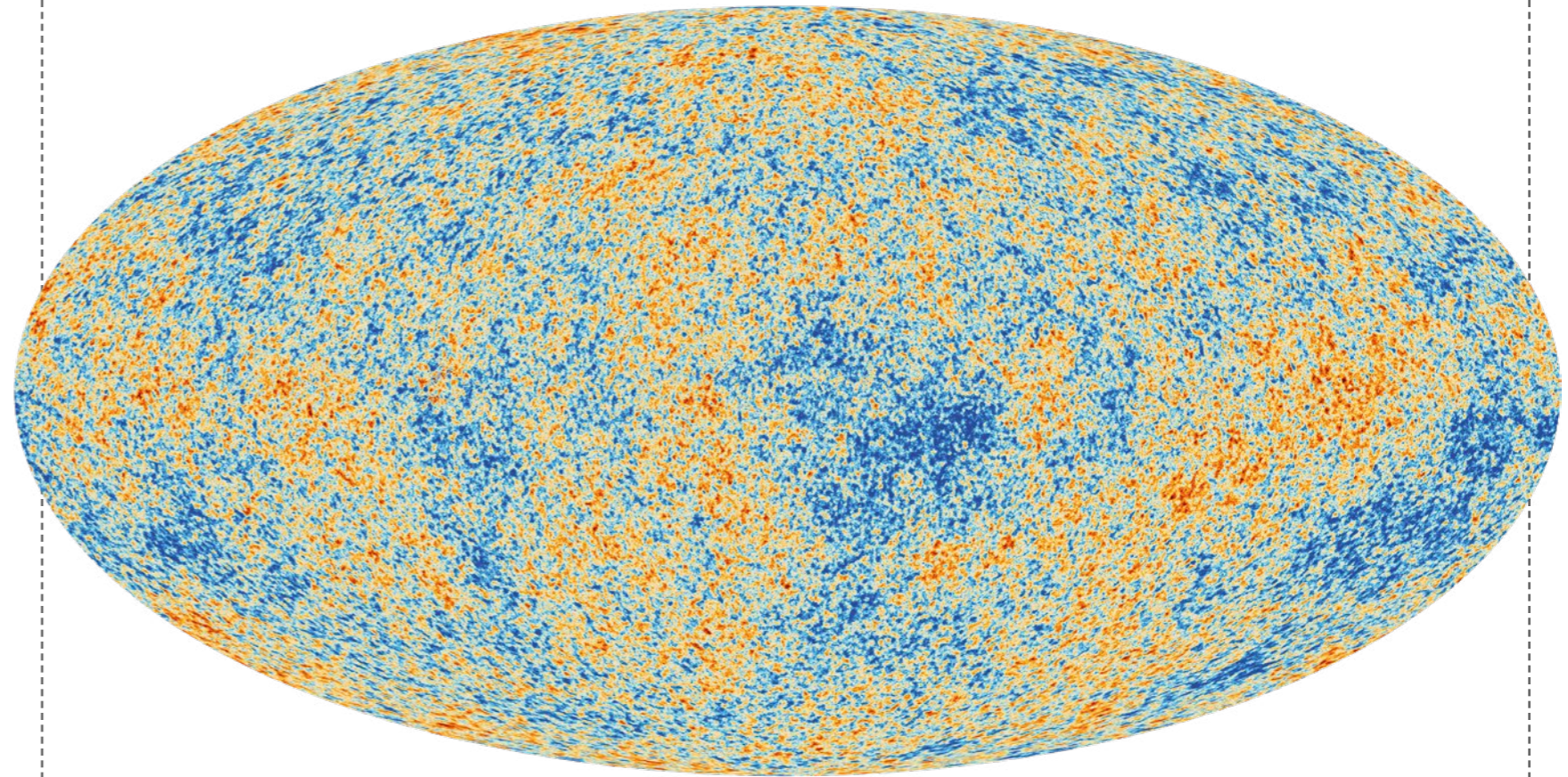
Ein wesentlicher neuer Baustein in der Urknalltheorie ist die kosmische Inflation. »Die kosmische Inflation erklärt, warum

unser Universum so gleichmäßig ist«, sagt Torsten Enßlin, Kosmologe am Max-Planck-Institut für Astrophysik. Egal in welche Richtung wir schauen, überall herrscht ungefähr die gleiche Dichte an Materie, die gleiche Anzahl an Galaxien in einem gewissen Raumbereich, fast die gleiche Temperatur.

Die Idee hinter der Inflation: Ganz zu Anfang, als alles noch ganz eng beieinander war, stand alles im Universum noch in engster Wechselwirkung. Wäre danach alles langsam expandiert, hätten sich minimale Schwankungen enorm verstärkt. Das Universum wäre dann von Ort zu Ort sehr unterschiedlich. Wenn sich der Raum aber explosionsartig »aufgeblasen« hat, wäre es gar nicht erst dazu gekommen und der Raum selbst wäre quasi »glatt gebügelt« worden, so wie er uns heute eben erscheint. Keine andere Theorie kann diese Probleme so elegant lösen wie die anfangs von vielen Wissenschaftlern als mathematischer Trick belächelte Theorie der Inflation.

Aber auch am Beginn der Zeit gab es winzige Quantenfluktuationen, die sich heute einerseits etwa in der Verteilung der Häufigkeit ganzer Galaxiengruppen niederschlagen. Andererseits drücken sie auch

## Finale Wand nach Urknall



Rund 380 000 Jahre nach dem Urknall war das Universum im Zuge seiner Expansion so weit abgekühlt, dass sich die Elektronen und die Atomkerne der Ursuppe zu Atomen verbanden. Es wurde damit durchsichtig. Von da an konnten Photonen ungehindert das Weltall durchfliegen. Sie zeigen nun, 13,8 Milliarden Jahre später, die ursprünglich 3000 Kelvin heiße Entkopplungsphase, wegen der fortschreitenden Expansion des Weltalls abgekühlt auf 2,7 Kelvin. Dieser Zustand erscheint uns als so genannte finale Wand. Sie ist hier in einer Gesamtansicht des Himmels dargestellt, die vom europäischen Durchmusterungssatelliten Planck aufgenommen wurde.

der kosmischen Hintergrundstrahlung ihren Stempel auf. Diese ist das Nachleuchten jener Zeit knapp 400 000 Jahre nach dem Urknall, als sich aus dem heißen Plasma stabile Atome bildeten. Mit Hilfe von Präzisionsmessungen durch Satellitenprojekte wie dem Planck-Weltraumteleskop können Forscher sogar Rückschlüsse auf sehr viel frühere Zeiten ziehen. »In der kosmischen Hintergrundstrahlung sehen wir Fluktuationen, die aus den allerersten Augenblicken unseres Universums zur Zeit der Inflation stammen«, so Enßlin. Durch die Inflation, die diese minimalen Schwankungen zu kosmischen Dimensionen »aufgeblasen« und dadurch konserviert hat, lassen sich also wichtige und sehr allgemeine Erkenntnisse über die absolute Urzeit unseres Universums gewinnen. Enßlin arbeitet deshalb mit seiner Arbeitsgruppe an neuen Analysemethoden, um Teleskopbildern bislang unsichtbare Informationen zu entlocken.

### **Schon immer da gewesen?**

Aber wie das in der modernen Physik mit ihrem Hang zur Abstraktion so ist, könnte das Bild vom Urknall vielleicht auch ganz anders aussehen. Das gängige Bild hat so

etwas wie einen Punkt null – einen Punkt, vor dem es keinen Raum und keine Zeit gab. In diesem Bild macht es keinen Sinn zu fragen, was vor dem Urknall kam oder woraus der Urknall entstanden ist. Denn wenn mit dem Urknall Raum und Zeit begannen, gibt es schlicht kein »Davor« und »Daraus«. Dies mag einer der Gründe sein, warum etwa der Vatikan nicht nur Galilei rehabilitiert hat – der italienische Gelehrte hatte ja mit der Behauptung, die Erde drehe sich um die Sonne, die Menschenwelt aus dem Zentrum der Schöpfung gerückt und dadurch seinerzeit den Bann der Kirchenoberen auf sich gezogen. Die Zeiten haben sich geändert: Der Vatikan hat auch die Theorie vom Urknall schnell akzeptiert. Schließlich war es nicht nur ein katholischer Priester und Astrophysiker, der Belgier Georges Henri Lemaître, der in den 1920er Jahren das erste Urknallmodell aufgestellt hatte. Die Vorstellung eines Urknalls ist schließlich auch hervorragend mit der Idee einer Schöpfung vereinbar.

Man kann aber natürlich trotzdem die Frage stellen, ob es vielleicht nicht doch so etwas wie ein Davor gegeben haben könnte. Selbstverständlich ist hier viel Raum für mutige Thesen und Theorien: Wenn man

sich an den strengen wissenschaftsphilosophischen Standpunkt hält, dass jede Theorie falsifizierbar sein muss, wird es für einige Theorien von Paralleluniversen und dergleichen eng. Dennoch lassen sich Gleichungen aufstellen, mit denen sich Strukturen ganzer Bündel von Universen beschreiben lassen.

Einige Forscher leiten aus der Theorie der Inflation die Idee ab, die Ausdehnung des Raums müsse nicht allein in den uns bekannten Dimensionen stattgefunden haben. Stattdessen könnten Myriaden von Universen entstanden sein und immer noch weiter entstehen – mit unterschiedlichen Naturkonstanten, Dimensionen oder sogar Naturgesetzen. Andere Forscher vertreten die These, es hätte schon immer andere Universen vor unserem gegeben. Diese wären expandiert und irgendwann in einem großen Knall wieder zusammengestürzt, dem so genannten »Big Crunch« – dem Gegenstück zum Urknall, dem »Big Bang«. So wie ein Jo-Jo den Faden immer wieder rauf- und runterläuft, würde dann ein Universum im Urknall entstehen, sich ausdehnen, wieder zusammenziehen und schließlich im großen Endknall enden, der zugleich der Urknall für das nächste Universum ist.