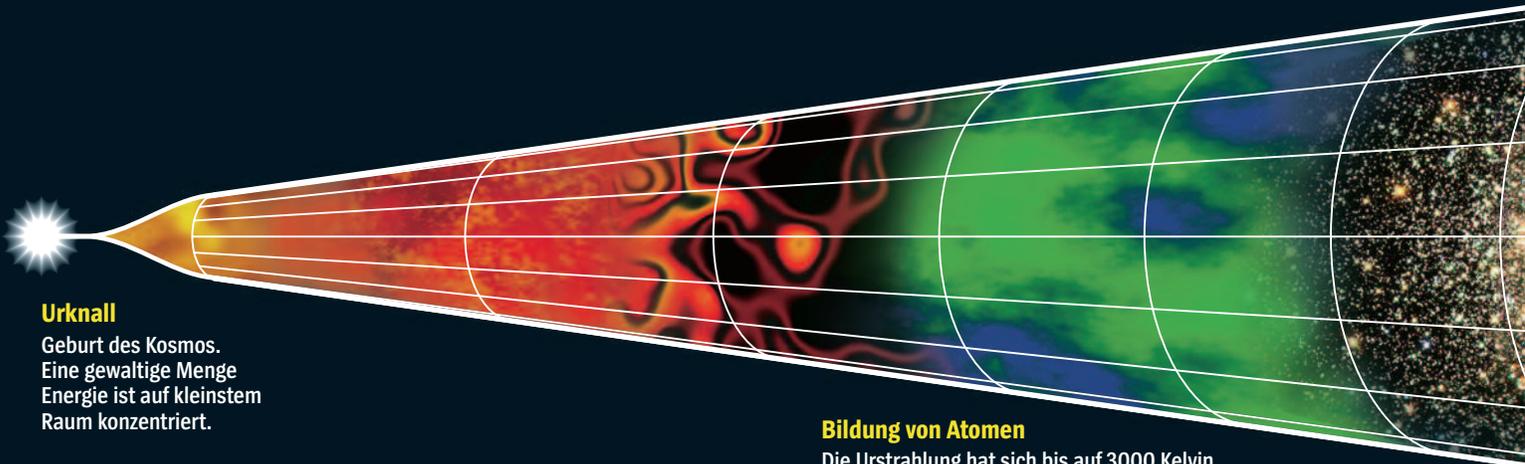


Bühne der Schöpfung

Kurze Geschichte des Weltenbeginns



Urknall

Geburt des Kosmos. Eine gewaltige Menge Energie ist auf kleinstem Raum konzentriert.

Inflation

Im Bruchteil einer Sekunde dehnt sich das Universum auf astronomische Größe aus, dabei kühlt es sich ab.

Bildung von Atomen

Die Urstrahlung hat sich bis auf 3000 Kelvin abgekühlt, so dass Wasserstoffatome entstehen können – was von der Urknall-Energie übrig bleibt, bildet fortan die kosmische Hintergrundstrahlung. Geringfügige Temperaturschwankungen in der Hintergrundstrahlung werden von der „Planck“-Sonde sichtbar gemacht – sie stehen für Dichteschwankungen in der Materie.

10⁻³⁵ SEKUNDEN

380 000 JAHRE

KOSMOLOGIE

Licht vom Anfang der Zeit

So exakt wie nie zuvor hat der europäische Forschungssatellit „Planck“ die Reststrahlung des Urknalls vermessen. Die Mission soll das Rätsel lösen, ob das Universum tatsächlich aus dem Nichts entstanden ist.

Am Anfang war die Energie. Als das Universum vor 13,7 Milliarden Jahren geboren wurde, war es viele Quintillionen Grad heiß. Doch je mehr sich der Raum ausdehnte, desto schwächer glomm das Schöpfungsfeuer.

Kurz darauf trat das junge, expandierende Universum in eine entscheidende Phase: Die gleißende Ursuppe war so weit abgekühlt, dass sich die Energie teilweise in Materie umwandelte. Aus den Myriaden dieser Atome gingen im Laufe der Zeit Galaxien, Sonnen, Planeten und schließlich Tiere und Menschen hervor.

Der Rest der Urstrahlung spielte für den Aufbau des Kosmos keine große Rolle mehr und wabert seither durch die Weiten des Weltalls – eine Art Echo des fernsten Schöpfungsdonners, sich immer weiter abkühlend. In jedem Kubikzentimeter Weltraum schwirren noch heute rund 400 der Ur-Photonen herum; ohne sie wäre es im All drei Grad kälter als ohnehin.

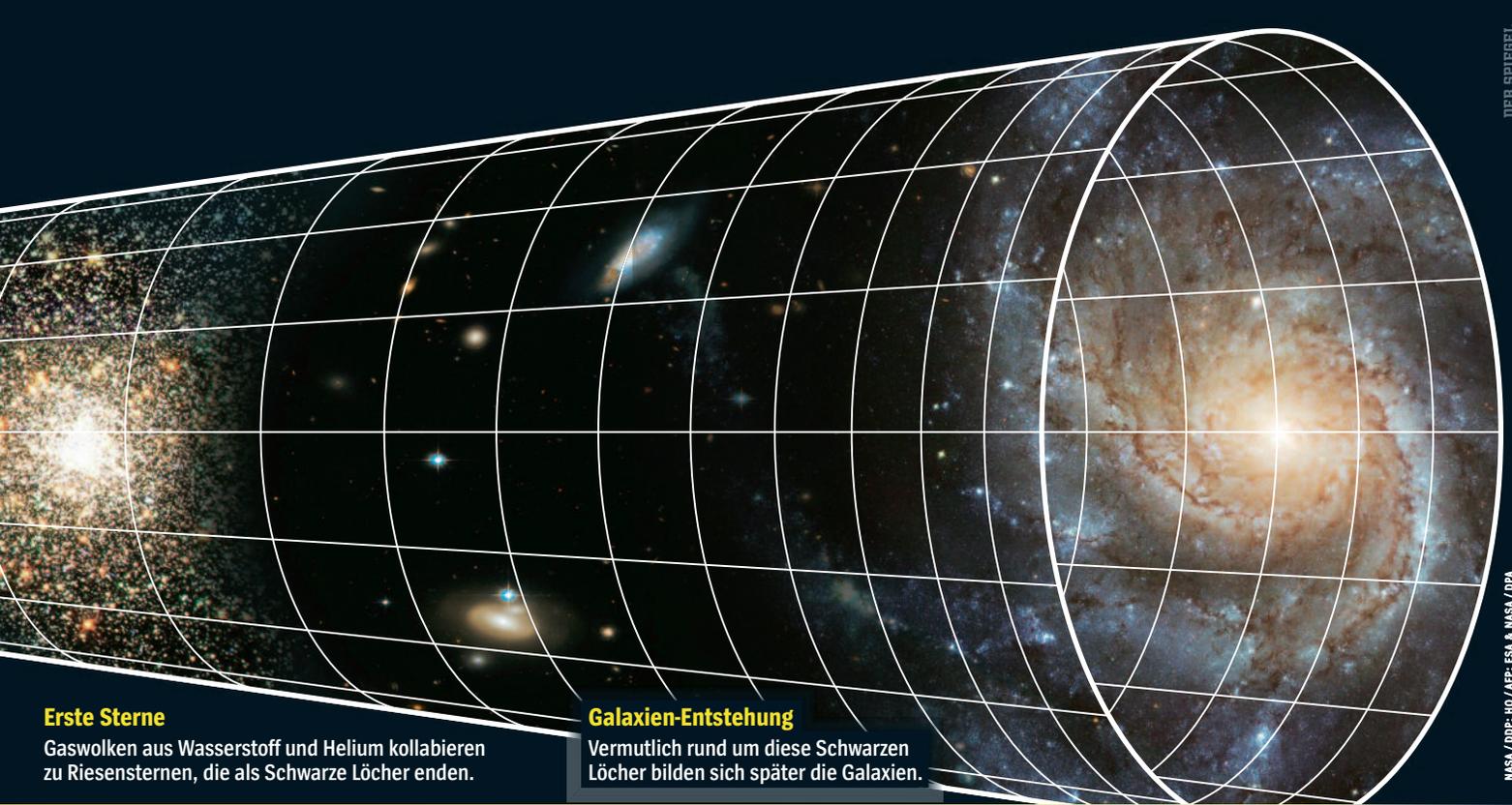
Auf das Licht vom Beginn der Zeit waren Astrophysiker erstmals in den sechziger Jahren gestoßen. Mit Hilfe ihrer Radioteleskope entdeckten sie damals eine Hintergrundstrahlung im Mikrowellenbereich, die gleichmäßig aus allen Richtungen empfangen wurde.

Jetzt, ein halbes Jahrhundert später, haben Himmelforscher diese Reststrahlung des Urknalls so exakt wie nie zuvor vermessen. Zum Einsatz kam dabei der europäische Forschungssatellit „Planck“, der 2009 mit einer Ariane-Rakete ins Weltall geschossen worden ist. Aus seinen Daten haben die Wissenschaftler eine Temperaturkarte der kosmischen Hintergrundstrahlung erstellt – ein farbenfrohes Fleckenmuster.

„Das ist eine Art Babyfoto des Universums“, sagt Torsten Enßlin vom Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching. „Es soll uns verraten, wie der Urknall wirklich ablief.“

Vor einem Jahr hat das Weltraumteleskop die Messungen abgeschlossen, seither wird gerechnet. Mit Spannung warten die Kosmologen auf die Auswertung der „Planck“-Daten, kommende Woche will die europäische Raumfahrtagentur Esa die Ergebnisse präsentieren. Doch egal wie sie aussehen, sie dürften die Zunft auf Jahre hinaus beschäftigen. Die klügsten Köpfe werden noch lange darüber brüten, wie sich das Bild aus dem Kreißsaal des Kosmos deuten lässt.

Was die Astrophysiker daran so fasziniert, erscheint aus Laiensicht eher unspektakulär: Vordergründig geht es nur um winzige, gerade eben noch messbare Temperaturunterschiede. Denn die Hintergrundstrahlung kommt zwar von überall her, aber sie ist nicht überall gleich. An einigen Stellen ist das Nachglühen des Urknalls ein paar Millionstel Grad wärmer, an anderen ein paar Millionstel Grad kälter.



Erste Sterne

Gaswolken aus Wasserstoff und Helium kollabieren zu Riesensternen, die als Schwarze Löcher enden.

Galaxien-Entstehung

Vermutlich rund um diese Schwarzen Löcher bilden sich später die Galaxien.

200 MILLIONEN JAHRE

13,7 MILLIARDEN JAHRE (Gegenwart)

Es sind diese Temperaturschwankungen, die den Unterschied ausmachen zwischen leerem Raum und Welteninsel.

Denn nach Vorstellung der Kosmologen entstammen einige der Photonen jenen Regionen, in denen die Materie bereits in der Frühzeit des Universums dichter gepackt war als anderswo. Genau diese Verklumpungen waren die Saatkörner, aus denen später Galaxien und Sterne sprossen. „In der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung sind somit die frühesten Strukturen des Kosmos eingefroren“, erläutert Astrophysiker Enßlin, der zur Auswertungsgruppe von „Planck“ gehört.

Gesucht werden auffällige Muster in der Temperaturverteilung. Sie liefern entscheidende Hinweise, wie die Schöpfung im Detail ablief – und auch beispielsweise darüber, wie schnell sich das Universum seither weiter ausgedehnt hat, wie viel normale Materie es enthält und wie viel unsichtbare Dunkle Materie, von der bisher niemand so genau weiß, woraus sie besteht. Alle bisherigen Vermessungen der Hintergrundstrahlung, die allerdings noch recht ungenau waren, schienen das Standardmodell vom Urknall – die Inflationstheorie – zu bestätigen. Nach diesem Szenario entstand das Universum buchstäblich aus dem Nichts.

Alles Sein, so die Idee, begann im Reich des Mikrokosmos. Nach den wunderbaren Gesetzen der Quantenphysik ist sogar das Vakuum nicht vollkommen leer. Ständig bilden sich dort geisterhafte Teilchen und verschwinden wieder. Mit poetischen Worten umschrieb der Kernphysiker Hans Christian von Baeyer das

dynamische Vakuum: „Es ist wie ein stiller See in einer Sommernacht, dessen Oberfläche sich sanft kräuselt, während überall Paare von Elektronen und Positronen wie Glühwürmchen aufleuchten.“

Aber im Mikrokosmos kann sich noch weit Dramatischeres ereignen. Nicht nur Teilchen tauchen dort aus dem Nichts auf; es kann auch geschehen, dass das Vakuum selbst in einen höheren Energiezustand springt, einfach so. Diese Vakuumenergie wirkt dann wie eine Anti-Schwerkraft, die den Raum explosionsartig auseinanderdrückt – genau das führt zum Urknall.



Weltraumteleskop „Planck“
„Babyfoto des Universums“

Innerhalb eines Bruchteils einer Sekunde, so die Inflationstheorie, wuchs ein Raumgebiet kleiner als ein Atom auf die Größe des heute überschaubaren Universums. Am Ende dieser inflationären Expansionsphase verwandelte sich die im Vakuum gespeicherte gigantische Energiemenge in Strahlung und Materie.

200 Millionen Jahre später zündeten dann die ersten Sterne.

Kaum ein Kosmologe rechnet ernsthaft damit, dass die Messungen von „Planck“ die Inflationstheorie widerlegen werden; es wäre eine große Überraschung. Doch die Satellitendaten könnten die Physiker dazu zwingen, sich umständlichere Gleichungen ausdenken zu müssen.

„Eine Theorie kann am Ende natürlich so kompliziert werden“, sagt Enßlin, „dass man nicht mehr recht an sie glauben mag.“

Nach dem Standardmodell sorgten rätselhafte Teilchen, sogenannte Inflatone, für die Expansion am Anfang des Universums. Sie müssten ein charakteristisches Muster in der Hintergrundstrahlung hinterlassen haben, welches in den „Planck“-Messungen sichtbar wäre. Doch womöglich stellt sich heraus, dass es unterschiedliche Inflatonen gegeben haben muss; und wie gleichzeitig mehrere Sorten dieser exotischen Partikel entstanden sein könnten, ist vollkommen unklar.

Skeptiker des Inflationsmodells hoffen, aus den „Planck“-Daten sogar Hinweise auf eine ganz andere Entstehungsgeschichte des Universums herauslesen zu können. Ihnen erscheint die Schöpfung

aus dem Nichts allzu sehr als mathematischer Zaubertrick.

„Die Idee, alles habe mit dem Urknall angefangen, überzeugt nicht mehr so recht“, meint Jean-Luc Lehnert, der am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam forscht. „Vieles spricht dafür, dass es ein Vorher gab.“

Eine mögliche Alternative zur gängigen Urknalltheorie ist das Modell eines „zyklischen Universums“. Danach würde der Kosmos immer wieder neu entstehen und vergehen, ein womöglich ewiger Zyklus aus Geburt, Tod und Wiedergeburt.

Jedes Mal am Ende des Universums, nach vielen Billionen Jahren, wenn die letzten Sterne erloschen sind und sich die Materie selbst aufgelöst hat, käme es zu einem dramatischen Ereignis: zu einem neuen Anfang. Der sich bis dahin unaufhörlich ausdehnende Weltraum, so die Theorie, zieht sich urplötzlich zusammen. Durch das Schrumpfen wird eine riesige Energiemenge aufgestaut – woraufhin sich die Spannung mit einer Ur-Explosion entlädt und der Raum wieder expandiert.

Ebenso wie im Inflationsmodell beginnt das neue Universum folglich mit einer gewaltigen Freisetzung von Energie, aus der später die Gestirne kondensieren. „Doch was nach der Inflationstheorie im Bruchteil einer Sekunde passiert“, sagt Kosmologe Lehnert, „dauert im zyklischen Universum eine Milliarde Jahre.“

Auch das Zusammenschnurren und erneute Ausdehnen eines zyklischen Universums würde eine verräterische Hintergrundstrahlung erzeugen, allerdings mit einem anderen Muster als bei einem inflationären Universum. „Es kommt deshalb jetzt sehr auf die Details an“, sagt Lehnert. „Wir werden uns die ‚Planck‘-Messungen genau ansehen müssen.“

Neben diesen beiden Theorien gibt es noch weitere Ideen, wie das Weltall auf die Welt gekommen sein könnte. Ein besonders bizarres Szenario besagt etwa, dass einst zwei benachbarte Universen miteinander kollidierten. Der Crash der Paralleluniversen habe den Urknall ausgelöst: die Geburt eines neuen Universums.

So aberwitzig es klingen mag – auch dabei käme es zur Entstehung einer Hintergrundstrahlung, wie sie sich tatsächlich beobachten lässt.

„Bei der Erforschung des Urknalls befinden wir uns in einer ähnlichen Lage wie einst bei der Entdeckung Amerikas“, resümiert Astrophysiker Enßlin. „Wir kennen die Route zum neuen Kontinent, und mit ‚Planck‘ fahren wir die Küstenlinie ab – aber die genaue Lage von El Dorado werden wir wohl noch nicht finden.“

OLAF STAMPF



Video: Die Planck-Mission der Esa

spiegel.de/app112013urknall
oder in der SPIEGEL-App



PAISAJES/PANORAMAS

Pionierstadt Santander: Der Bürgermeister will Amtsgeheimnisse lüften

STÄDTEBAU

Lebendes Versuchslabor

Tausende Sensoren erfassen Staus, Wetterdaten oder den Ausfall von Straßenlaternen – die spanische Hafenstadt Santander verwandelt sich in eine digitalisierte „Smart City“.

Überall auf der Welt haben Städte sich das Ziel gesetzt, künftig klüger zu sein. Ob Amsterdam, Barcelona, Birmingham, Dubai, Helsinki, San Diego, Stockholm, Nanjing, Wien oder Yokohama – sie alle möchten zu einer „Smart City“ werden.

Wenn Stadtplaner aber erklären sollen, wie genau sie ihre Metropolen in die digitale Zukunft führen wollen, klingen sie wenig überzeugend: Der eine will es so versuchen, der Nächste anders. Trotz vieler Kongresse herrscht keine Einigkeit. Fest steht nur: Die Vision der Smart City hat mit Sensoren zu tun, mit Computern, Smartphones, neuen Verwaltungsformen und einer kommunalen Offenheit wie nie zuvor. Digitaltechnik soll das städtische Leben sauberer, nachhaltiger, angenehmer machen. Und der Wohlstand soll natürlich auch wachsen.

Inmitten der Unsicherheit prescht eine alte Hafenstadt am Atlantik voran. Trotz leerer Kassen ist das spanische Santander, Geburtsort der gleichnamigen Großbank, schon heute ziemlich smart. „Dies ist die Zukunft“, sagt stolz der Bürgermeister Iñigo de la Serna, 42, Mitglied der konservativen Partei Partido Popular. „Keine Stadt kommt um dieses Thema herum.“

Der Ozean ist rau hier im Frühjahr. Surfer stürzen sich in Neoprenanzügen in meterhohe Wellen. Am Strand stehen Grandhotels und ein prunkvolles Casino. In Spanien gilt Santander immer noch als glamourös, denn vor fast genau hundert Jahren erwählte König Alfons XIII. diesen Ort zu seiner Sommerresidenz.

Seit kurzem aber pilgern ganz andere Schaulustige nach Santander. Sie stehen in Diensten von Giganten wie Google, Microsoft oder IBM. Kürzlich war eine

Delegation aus Japan hier. Eine andere flog herbei aus der Millionenstadt Wuxi in China. Für die Besucher ist diese Stadt ein lebendes Versuchslabor, das mit seinen etwa 180 000 Einwohnern weder zu groß noch zu klein geraten ist für das Smart-City-Experiment.

IT-Professor Luis Muñoz, 48, hat mit fast neun Millionen Euro Forschungsgeld, vor allem aus EU-Töpfen, den Prototyp der cleveren Stadt geschaffen. Im Zentrum von Santander hat Muñoz 10 000 fest installierte Sensoren angebracht. Auf einer Fläche von sechs Quadratkilometern verbergen sie sich, in kleine graue Kästchen verpackt, auf den Laternen, an Masten, an Hauswänden. Manche stecken sogar im Asphalt unter den Parkplätzen.

Tagaus, tagein messen die Sensoren, was es zu vermessen gibt: Licht, Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Lärm oder auch die Bewegung von Autos und Menschen. Die Daten schicken sie alle paar Minuten in das Labor von Muñoz' Hochschule, der Universität von Kantabrien.

Dort landen gewaltige Datenströme aus der ganzen Stadt an. Jeder einzelne Bus sendet Position, Kilometerstand und Geschwindigkeit, dazu Messwerte aus der Umgebung, etwa zur Belastung mit Ozon oder Stickoxiden. Die Taxis und Polizeiautos tun das ebenfalls, und wer als Bewohner von Santander eine spezielle App auf sein GPS-fähiges Handy lädt, kann sogar selbst zum Standortsensor werden.

Der Zentralrechner setzt diese Daten zu einem stets aktuellen Gesamtbild zusammen. Santander, die total vermessene Digitalstadt: hier ein Stau, dort schlechte Luft. Lärm- und Ozonkarten zeigen an, wo EU-Grenzwerte verletzt werden. Besonders spannend wird es, wenn eine Hauptver-