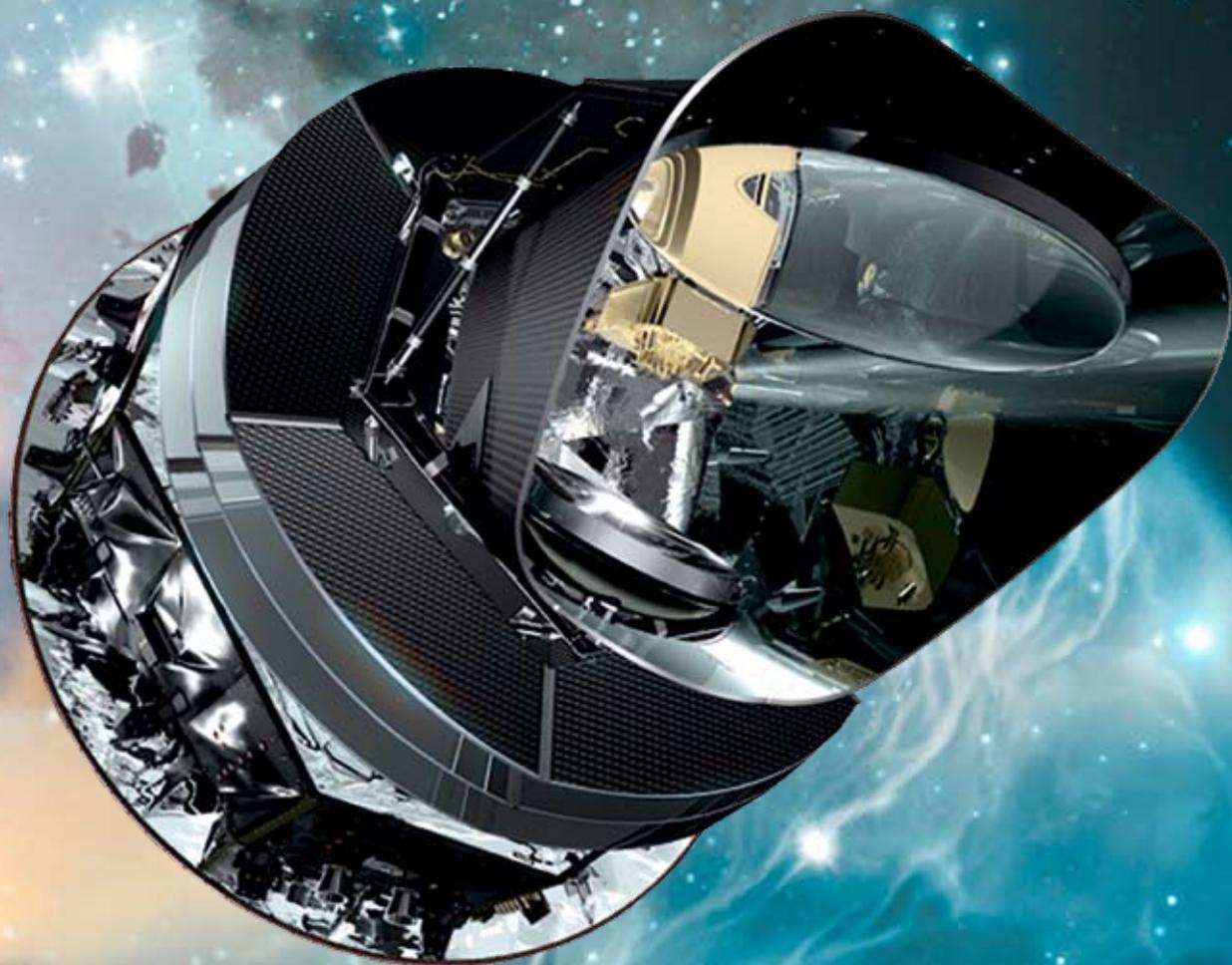


DER SCHLÜSSEL

zum Anfang von allem

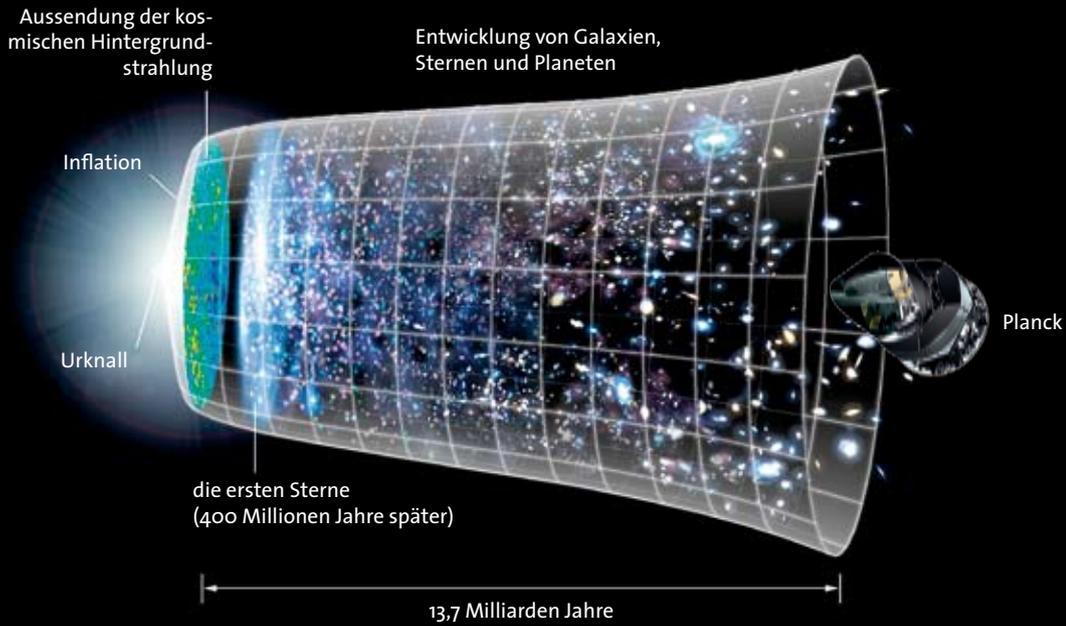
Der europäische Satellit Planck soll die kosmische Hintergrundstrahlung genauer als je zuvor vermessen. Wird er die Urknalltheorie bestätigen oder widerlegen?

VON RAINER KAYSER



WALLPAPER unter astronomie-heute.de/wallpaper

Rund 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt fängt der Satellit Planck das »Echo des Urknalls« ein. Sein Name geht auf Max Planck zurück, der als Mitbegründer der Quantenphysik gilt.



NASA, WMAP SCIENCE TEAM

Als Fingerabdruck Gottes bezeichnen Kosmologen mitunter fast ehrfürchtig das Muster jener Temperaturschwankungen, die sich im kosmischen Mikrowellenhintergrund eingepägt haben. Spiegelt es doch die Schöpfungsgeschichte des Kosmos wieder – und vielleicht seine Zukunft.

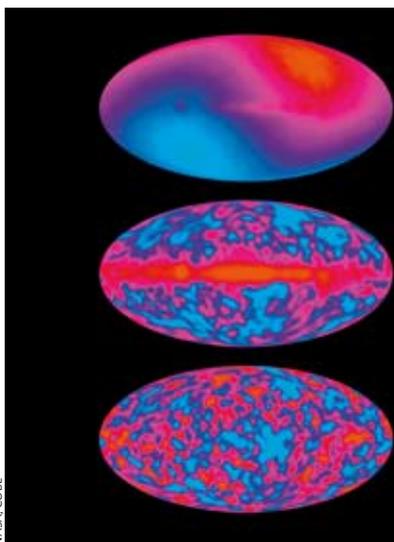
Entstanden ist die Mikrowellenstrahlung rund 370 000 Jahre nach dem Urknall. Damals war das Universum auf eine Temperatur von etwa 3000 Grad abgekühlt – kühl genug, um zuvor getrennt umherschwirrende Protonen und Elektronen zu elektrisch neutralen Wasserstoffatomen zu verbinden. Damit wurde das Universum zugleich für elektromagnetische Strahlung durchsichtig: Die Lichtquanten konnten sich nun nahezu ungehindert im All ausbreiten. Genau diese Photonen sind es, die heute gleichförmig aus allen Richtungen

auf die Erde treffen (siehe AH 3/2007, S. 9). Durch die Expansion des Weltalls ist die Strahlung im Verlauf der Jahrtausende allerdings langwelliger geworden, sodass wir sie im Mikrowellenbereich empfangen. Trotzdem stimmt sie noch immer exakt mit der Wärmestrahlung eines so genannten Schwarzkörpers überein: Das Spektrum zeigt eine charakteristische Form, die allein von der Temperatur des Körpers – in diesem Fall des frühen Universums – abhängt. Danach entspricht die Hintergrundstrahlung heute einer Temperatur von etwas weniger als drei Grad über dem absoluten Nullpunkt.

Zufallstreffer

Schon in den 1940er Jahren hatten George Gamow, Ralph Alpher und Robert Herman die Existenz dieser Strahlung als Über-

Kurz nach dem Urknall vor 13,7 Milliarden Jahren setzte eine Phase extrem schneller Expansion ein – Inflation genannt. Laut Theorie sollten sich ihre Spuren in der kosmischen Hintergrundstrahlung verankert haben.



Blick aufs Wesentliche

Die Messungen von Planck – oder auch von den früheren Missionen – liefern den Astronomen nicht sofort die kosmische Hintergrundstrahlung. Das schwache Signal aus der Frühzeit des Kosmos ist vielmehr von zahlreichen Störungen überlagert. So verzerrt beispielsweise die Eigenbewegung des Sonnensystems die Temperaturverteilung der Hintergrundstrahlung: In Flugrichtung erscheint sie durch den Dopplereffekt wärmer (blauverschoben), in entgegengesetzter Richtung kühler (rotverschoben, Bild oben). Die Forscher müssen dieses »Dipolmoment« ebenso aus den Daten herausrechnen wie die Mikrowellenstrahlung der Milchstraße (rotes Band um den »Äquator«, mittleres Bild). Störend wirkt sich auch das heiße Gas in Galaxienhaufen aus, denn es streut die Photonen der Hintergrundstrahlung zu kleineren Wellenlängen. Die große Frequenzabdeckung von Planck erleichtert es, Galaxienhaufen aufzuspüren: Bei kleinen Frequenzen schwächen sie die Hintergrundstrahlung ab, bei hohen Frequenzen verstärken sie sie. <<

NASA, COBE

bleibsel des heißen Urknalls vorhergesagt. Doch es dauerte noch fast zwei Jahrzehnte, bis ihre Vorhersage im Jahr 1963 durch Beobachtungen bestätigt werden konnte. Damals ahnten Arno Penzias und Robert Wilson allerdings nicht, dass sie vor einer der bedeutendsten Entdeckungen der Kosmologie standen. Im Gegenteil, sie ärgerten sich sogar. Die beiden Ingenieure der Bell Telephone Laboratories waren mit der Verbesserung einer Antenne beschäftigt. Doch der Empfänger lieferte ihnen ständig ein störendes Rauschen, das sich nicht beseitigen ließ und gleichmäßig aus allen Richtungen zu kommen schien.

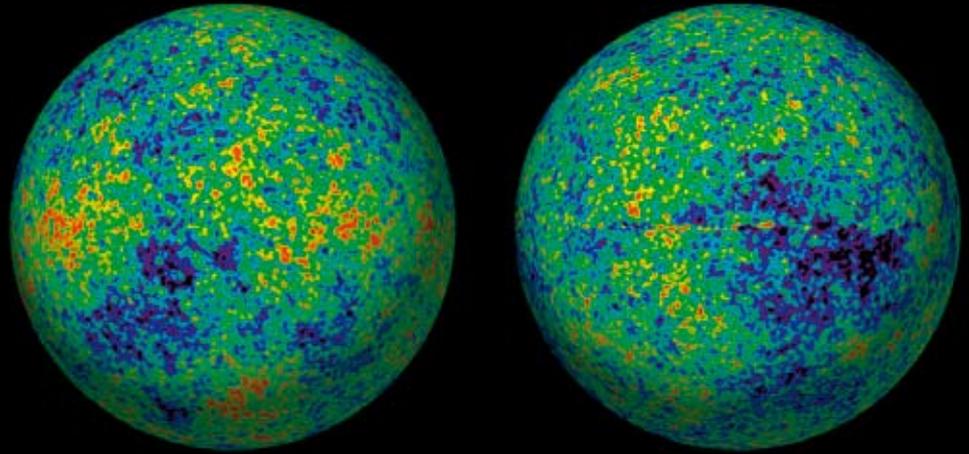
Völlig entnervt baten sie den Astrophysiker Robert Dicke um Hilfe. Dicke war perplex: Er saß gerade an Plänen für ein neues Radioteleskop, mit dem die Astronomen nach der kosmischen Hintergrundstrahlung suchen wollten. Penzias und Wilson waren ganz zufällig auf das von Gamow und seinen Kollegen prophezeite Strahlungsecho des Urknalls gestoßen.

Offenes Buch

Den beiden brachte die Entdeckung den Physik-Nobelpreis ein – und für die Kosmologie brach ein neues Zeitalter an. Die Hintergrundstrahlung bestätigte nicht nur die Urknalltheorie, laut der Raum und Zeit aus einem extrem dichten und heißen Anfangszustand hervorgingen. Sie entwickelte sich auch zu einem ihrer wichtigsten Werkzeuge: Die Vermessung der Hintergrundstrahlung liefert den Forschern Informationen über das frühe Universum, über Dunkle Materie und Dunkle Energie, über die Entstehung von Sternen und Galaxien und vieles mehr.

Bereits während der Rekombinationsphase gab es kleine Dichteschwankungen in der Materie, kosmische Saatkörner gewissermaßen, aus denen später die im heutigen Universum sichtbaren Strukturen wie Galaxien und Galaxienhaufen erwachsen. Die Schwankungen der Materiedichte führten auch zu Variationen der Temperatur, und diese sind in der Hintergrundstrahlung noch heute sichtbar. Mehr noch: Die genaue Verteilung der Temperaturschwankungen erlaubt es den Forschern, Rückschlüsse auf den genauen Ablauf des Urknalls zu ziehen.

Um aus ihr zu lesen, bedarf es allerdings einer geeigneten Technik. Die bislang bes-



Auf den beiden Hemisphären ist der gesamte kosmische Mikrowellenhintergrund abgebildet. Erst die Daten des Satelliten WMAP erlaubten eine derart hohe Auflösung. Neben dem Alter des Universums geben sie den Forschern beispielsweise auch wertvolle Hinweise auf dessen Expansionsgeschwindigkeit sowie auf Art und Dichte der Materie darin.

NASA, WMAP SCIENCE TEAM

ten Daten über die Hintergrundstrahlung lieferte die 2001 gestartete amerikanische »Wilkinson Microwave Anisotropy Probe« WMAP. Die Instrumente der Sonde konnten noch Temperaturunterschiede von wenigen millionstel Grad in der Hintergrundstrahlung aufspüren. Die von WMAP gemessene Verteilung der Schwankungen zeigt, dass das Universum 13,7 Milliarden Jahre alt ist und sich überwiegend aus mysteriösen, unsichtbaren Bestandteilen zusammensetzt: Die gewöhnliche Materie, aus der Sterne, Planeten und wir Menschen bestehen, macht lediglich vier Prozent des Kosmos aus. Dunkle Materie steuert 22, Dunkle Energie sogar 74 Prozent bei (siehe AH 4/2004, S. 22).

Bald soll der Satellit Planck, dessen Start für den 31. Juli 2008 vorgesehen ist, die Forschung vorantreiben. »Die Detektoren der europäischen Sonde sind zehnmals empfindlicher als die von WMAP«, erläutert Jan Tauber, der wissenschaftliche Leiter der Planck-Mission bei der Europäischen Raumfahrtorganisation Esa, »außerdem besitzt Planck eine zweifach bessere Winkelauflösung und erfasst einen wesentlich größeren Wellenlängenbereich.«

Darüber hinaus misst Planck nicht nur die Temperatur, sondern auch die Schwingungsebene oder Polarisation der Hintergrundstrahlung. »Mit WMAP konnten wir zwar eine ganze Reihe von kosmologischen Größen bestimmen«, so Tauber weiter, »doch die Genauigkeit reichte noch nicht aus, um wichtige kosmologische Fragen zu beantworten. Zum Beispiel, ob es beim Ur-

IM DOPPELPAK

Planck wird zusammen mit dem Satelliten Herschel (siehe AH 12/2007, S. 40) in einer Ariane-5-Rakete vom Guiana Space Centre in Kourou (Französisch-Guayana) ins All befördert. Rund zweieinhalb Stunden nach dem Start trennt sich Planck dann von seinem Begleiter und steuert separat den 1,5 Millionen Kilometer entfernten Lagrange-punkt 2 an. Dort umläuft die Sonde synchron mit der Erde die Sonne. Nach weniger als sechs Monaten soll sie ihr Ziel erreichen und dort für mindestens 15 Monate die kosmische Hintergrundstrahlung vermessen.

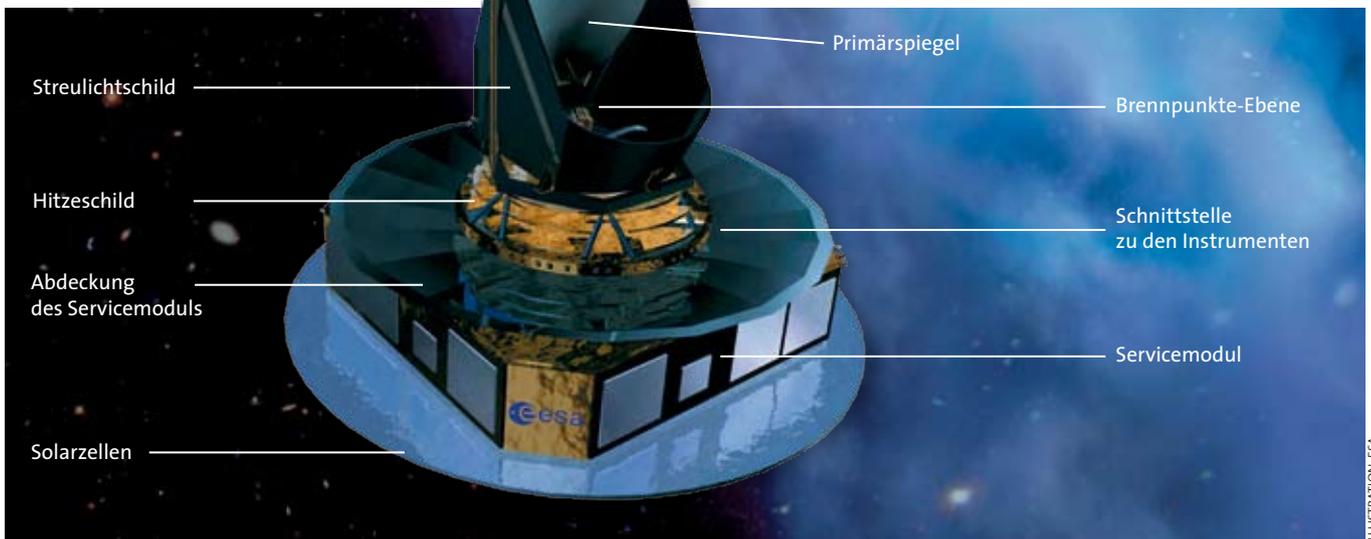


ILLUSTRATION: ESA

knall eine inflationäre Phase gab – und wenn ja, von welcher Art die Inflation war.« Als Inflation bezeichnen die Kosmologen eine nur Sekundenbruchteile währende Epoche unmittelbar nach dem Urknall, in der sich das Universum unvorstellbar rasant aufgebläht hat (siehe Illustration S. 46 und AH 1-2/2006, S. 24). Die Inflation sollte ihrerseits ein bestimmtes Muster in der Hintergrundstrahlung hinterlassen haben – ein Muster, das zu schwach für WMAP war, von Planck aber vielleicht nachgewiesen werden kann.

Innenleben

Planck ist mit einem 1,8 Meter großen ovalen Hauptreflektor ausgestattet, der die empfangene Strahlung über einen fünfzig Zentimeter großen Sekundärspiegel zu zwei Empfänger-Einheiten lenkt. Das Hochfrequenz-Instrument HFI misst die Strahlung bei sechs verschiedenen Frequenzen im Bereich zwischen 100 und 857 Gigahertz, in dem das Maximum der Hintergrundstrahlung liegt. Das Niederfrequenz-Instrument LFI erfasst zusätzlich die Intensität bei 30, 44 und 70 Gigahertz sowie die Polarisation der Hintergrundstrahlung.

Damit das schwache Signal des Mikrowellenhintergrunds nicht von der Wärmestrahlung des Teleskops überdeckt wird, bringen vier Kühlsysteme die Instrumente auf eine Temperatur von 0,1 Grad über dem absoluten Nullpunkt. Doch auch Sonne, Erde und Mond senden in dem beobachteten Frequenzbereich und würden die Instrumente von Planck stören. Deshalb stationiert die Esa die Sonde nicht in einer Um-

laufbahn um die Erde, sondern im so genannten Lagrangepunkt 2.

Dort, rund 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, heben sich die Anziehungskräfte von Sonne und Erde einerseits und die Fliehkraft der Bahnbewegung andererseits gerade so gegenseitig auf, dass die Sonde praktisch antriebslos gemeinsam mit der Erde synchron um die Sonne kreisen kann. Dabei zeigt Planck der Sonne – und damit auch dem Erde-Mond-System – stets ihre mit Solarzellen ausgestattete Rückseite, während das Teleskop ungestört in die andere Richtung blickt. Im Verlauf eines Jahres soll Planck den gesamten Himmel abtasten. Einschließlich Testphase ist eine Missionsdauer von 15 Monaten vorgesehen – bei einem guten Zustand des Geräts ist aber auch eine Verlängerung darüber hinaus denkbar.

»Insgesamt sollte Planck uns die zehnfache Menge an Informationen über das Universum liefern wie WMAP«, sagt Tauber. Bislang haben alle Messungen der kosmischen Hintergrundstrahlung die theoretischen Vorhersagen bestätigt und das Standardmodell der Kosmologie gestützt. »Für mich wäre es deshalb am aufregendsten, wenn Planck etwas ganz Neues entdecken würde«, so Tauber, »etwas, was uns dazu auffordern würde, unsere nahezu etablierten Vorstellungen vom Universum noch einmal zu überdenken.« <<

RAINER KAYSER arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Hamburg.

Links zum Thema unter [astronomie-heute.de/artikel/912317](#) und [astronomie-heute.de/kosmologie](#)

Planck misst rund vier mal vier Meter und wiegt 1900 Kilogramm. Der Primärspiegel fängt die Hintergrundstrahlung ein, dann wird sie zu Instrumenten im Innern weitergeleitet.



Wieso sehen wir die Hintergrundstrahlung heute noch, wenn sie vor 3,6 Milliarden Jahren entstanden ist? Und warum hat sie heute eine Temperatur von 2,7 Kelvin, wenn das Universum damals 3000 Kelvin heiß war? Fragen wie diese klären wir mit dem Material auf der Seite [www.wissenschaft-schulen.de](#). Das Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.