

# Ausgezeichnete Kosmologie am Südpol

Vor etwa zehn Jahren ließen Paolo de Bernardis und Andrew Lange ein Teleskop per Ballon in den antarktischen Himmel steigen. Nun würdigte die Balzan-Stiftung ihre Forschungsarbeit. ASTRONOMIE HEUTE traf die beiden Forscher bei der Preisverleihung in Rom. >> Maïke Pollmann

Die Dolmetscherin stockt, lässt Sätze unvollendet und wird immer hektischer, während sie die Ansprache von Paolo de Bernardis (48) und Andrew Lange (49) synchron übersetzt. Auch das Publikum, das sich in der Aula Magna der Universität La Sapienza in Rom versammelt hat, scheint den Faden verloren zu haben – selbst diejenigen, die nicht auf die überforderte Übersetzerin angewiesen sind.

Es liegt zweifelsohne am Thema des Vortrags: die kosmische Hintergrund-

strahlung. Ein Fachbegriff folgt dem nächsten. Von Energiedichten ist die Rede, von Anisotropien und von Inflation. Schwer verständlich für Laien. Nicht so für de Bernardis, Professor für Astrophysik und beobachtende Kosmologie an der Sapienza, und auch nicht für Physikprofessor Lange vom California Institute of Technology, die bereits seit 15 Jahren gemeinsam an ihrem Lieblingsthema forschen. »Es war ein Abenteuer, sowohl intellektuell als auch nicht selten physisch und emotional«, berichtet Lange seinen Zuhörern.

Angetrieben von den ältesten Fragen der Menschheit wie der nach dem Ursprung unseres Universums, seinen Bestandteilen und seinem Schicksal, erforschen sie die Strahlung, die aus allen

Richtungen gleichmäßig auf die Erde trifft. Dabei sei diese alles andere als schwach, erzählt Lange begeistert: Auf jeden Atomkern im Universum kommen etwa eine Milliarde Photonen der Kosmischen Hintergrundstrahlung. Damit stellt sie die Sterne buchstäblich in den Schatten.

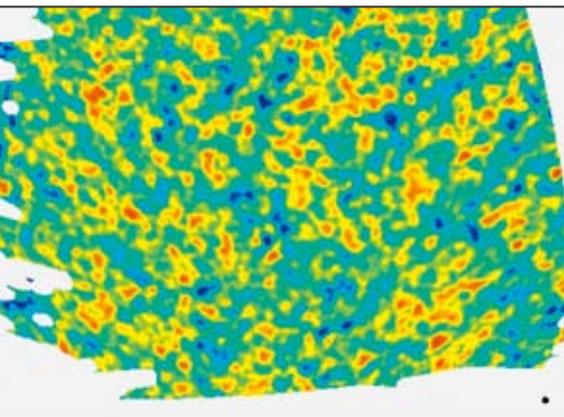
## Reise mit Hindernissen

Die Wissenschaftler vermuten, dass die Lichtquanten etwa 380 000 Jahre nach dem Beginn von Raum und Zeit ihre Reise durch das Weltall antraten. Sie existierten zwar schon wenige Minuten nach dem Urknall, doch stießen sie damals noch mit den ebenfalls umherschwebenden Elektronen zusammen und konnten daher keine weiten Strecken zurücklegen. Das Universum war damals ein undurchsichtiges, nahezu homogenes Gemisch aus Licht und ionisierter Materie.

Erst als sich dieses auf etwa dreitausend Grad abgekühlt hatte, formten sich aus den Kernen und Elektronen die ersten neutralen Atome – Wasserstoff und Helium, aber auch Spuren von anderen

## Die Temperaturverteilung

der Kosmischen Hintergrundstrahlung, wie sie Boomerang 1998 aufnahm. Der kleine, schwarze Punkt unten rechts entspricht der Größe des Mondes.



**Der riesige Ballon** bläht sich mitten in der Antarktis auf und lässt Menschen wie Zwerge erscheinen. Wenige Meter davon entfernt hängt das Teleskop bereits startklar an einem Kran.



BOOMERANG PROJECT

leichten Elementen. Fortan konnten sich die Photonen ungehindert im Weltall ausbreiten. Auch heute, etwa 14 Milliarden Jahre später, können Astronomen diese Strahlung noch in ihren Teleskopen nachweisen (siehe Leserbrief S. 8). Durch die Expansion des Raums ist ihre Wellenlänge allerdings in den Mikrowellenbereich verschoben. »Dennoch liefert sie uns ein exaktes Abbild vom Embryonalstadium des Universums«, veranschaulicht Lange die Vorteile seines exotischen Forschungsobjekts.

Die Wissenschaftler erwarteten keine vollkommen gleichmäßige Hintergrundstrahlung, denn verursacht durch kleine Dichteschwankungen von Energie und Materie im frühen Universum sollten sich auch die Energiewerte der Photonen minimal voneinander unterscheiden. Ansonsten wäre unverständlich, wie sich Sterne oder Galaxien hätten ausbilden können. Doch nachdem die Strahlung in den 1960er Jahren entdeckt worden war, suchten die Forscher zunächst vergebens nach Unregelmäßigkeiten darin. Andrew Lange erinnert sich an viele frustrierende

Jahre, in denen sie immer wieder neue Instrumente entwickelten, aber damit letztlich doch keinen Erfolg hatten.

In den 1980er Jahren begannen Forschungsgruppen in Italien und den USA mit der Entwicklung neuartiger Detektoren. Anders als bei vorherigen Missionen, bei denen Mikrowellenverstärker zum Einsatz kamen, verwendeten die Wissenschaftler nun eine direkte Methode: Sie brachten eine Mikrowellen absorbierende Fläche in die Brennebene eines Teleskops und koppelten diese mit einem empfindlichen Thermometer. Treffen Mikrowellen auf das Instrument, wird eine Temperaturerhöhung gemessen. Abgekühlt auf einige zehntel Grad über dem absoluten Nullpunkt dient es so als ideales Nachweisgerät, Bolometer genannt. Sowohl Lange als auch de Bernardis wandten sich nach ihrem Studium dieser neuen Technik zu.

Erst 1992 trafen die beiden in Rom zusammen. Lange erinnert sich besonders gut daran, lässt er uns wissen, denn einige Wochen zuvor lernte er dort seine Frau kennen. Unter der italienischen Sonne

diskutierten die Wissenschaftler über ihr neues Projekt – ein Ballonexperiment in der Antarktis, das sie auf den Namen Boomerang (Balloon Observations of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics) taufte. Gemeinsam entwarfen sie ein System, das an die unwirtliche Umgebung des Südpols angepasst war.

### Sturz in den See

Fünf Jahre vergingen, bis ein tausend Kilogramm schweres Hightech-Teleskop entstanden war. Bevor es allerdings in die kalten Gefilde entsandt wurde, sollte sich das Instrument zunächst bei einem Testflug über Texas bewähren. Die Jungfernfahrt demonstrierte sogleich die Risiken einer solchen Ballonfahrt, berichtet Lange. Denn der mit Helium gefüllte Ballon war undicht und ließ das Teleskop zum Ärger aller Beteiligten schon nach wenigen Kilometern in einen See stürzen.

Völlig durchnässt wurde Boomerang aus dem Gewässer gezogen. In dem verzweifelten Versuch, den Ballon erneut zu starten, solange der Wind noch günstig stand, bauten die Wissenschaftler den >



**Preisträger im AH-Interview** Paolo de Bernardis (Mitte) und Andrew Lange (rechts) im Gespräch mit Maïke Pollmann

vierzig Kilometern die Antarktis. Elf Tage später und nur achtzig Kilometer vom Startpunkt entfernt, landete die Gondel wieder sicher auf dem frostigen Boden. »Er tat genau das, was wir von ihm erwarteten«, merkt Lange voll Zufriedenheit an.

Während seines 8000 Kilometer langen Rundflugs über dem Südpol sammelte das Teleskop Daten von etwa vier Prozent des Himmels. Im Vergleich zu vorherigen Messungen des Satelliten Cobe, für die es im Jahr 2006 den Nobelpreis gab (AH 12/2006, S. 14), war die Winkelauflösung von Boomerang allerdings dreißigmal höher. Erstmals konnten nun die charakteristischen Strukturen im Mikrowellenhintergrund aufgelöst und kosmologische Parameter aus ihnen abgeleitet werden. Detailreiche Simulationen erlaubten es den Physikern, die winzigen räumlichen Schwankungen der Strahlung mit dem Inhalt oder der Dynamik des Universums zu verknüpfen.

Besonders waren die Forscher aber auf die Geometrie des Weltalls gespannt.

> Bordcomputer schnell auseinander und befreiten jeden Chip von Morast und Algen. Sie schafften es tatsächlich rechtzeitig, doch beim nachfolgenden Aufstieg des Ballons fiel der Computer aus. Nach dreißig für das Team zermürbenden Minuten setzte er seine Arbeit wie durch ein Wunder fort, erinnert sich Lange.

Etwa ein Jahr nach dem Testflug verfrachtete man Boomerang endlich zu seinem eigentlichen Einsatzort in die Ant-

arktis. »Ein wundervoller Ort«, schwärmt Lange. Und nicht einmal richtig kalt, ganz anders, als man denkt. Die Temperaturen lagen an manchen Tagen sogar über dem Gefrierpunkt – im antarktischen Sommer, versteht sich.

Am 28. Dezember 1998 hob Boomerang mit Hilfe seines fußballstadiongroßen Ballons vom ewigen Eis ab. Angetrieben von zirkumpolaren Winden umrundete er in einer Höhe von etwa

## Astronomische Experimente auf Ballons

**ASTRONOMIE HEUTE (AH):** Wo liegen die Vorteile eines Ballons gegenüber einem Satelliten?

**Bernardis:** Mit einem Ballon können wir stets die modernsten Instrumente nutzen. Bei einem Satelliten muss man die Technologie einige Jahre vor dem Start einfrieren. So wäre die Technik, die bereits 1997 mit Boomerang flog, erst elf Jahre später im All gewesen. Ein Ballon bringt Experimente schneller in die Luft und ist natürlich auch billiger als ein Satellit, aber er leistet auch nicht dasselbe. Ballonexperimente eignen sich zum Beispiel hervorragend, um neue Technologien zu testen. Will man die kosmische Hintergrundstrahlung systematisch untersuchen, braucht man einen Satelliten.

**AH:** Verursacht die Atmosphäre störende Effekte bei der Messung der Hintergrundstrahlung?

**Lange:** Ja, es gibt solche Effekte. Selbst wenn man in großer Höhe fliegt, füllt die Erde das Blickfeld nach unten und der Ballon die Hälfte des Sichtfelds nach oben aus. Also ist der Blick der wissenschaftlichen Experimente aus einem Ballon heraus sehr begrenzt. Erde und Ballon sind sehr helle Quellen in dem untersuchten Wellenlängenbereich. Ein Teil dieser ungewollten Strahlung kann in die Messinstrumente gelangen. Man muss damit sehr vorsichtig sein.

**AH:** Woher weiß man, wohin das Teleskop gerade schaut?

**Bernardis:** Nun, eine Ballongondel ist sicherlich nicht der ideale Ort für ein Teleskop. Im Fall von Boomerang haben wir eine Kombination verschiedener Sensoren benutzt, um jederzeit zu wissen, wie das Instrument relativ zum Boden orientiert ist. So waren zwei

Sonnensensoren und ein Sternsensor mit an Bord. Außerdem besaß Boomerang für diesen Zweck drei senkrecht zueinander stehende Gyroskope. Die Kombination der Sensorsignale mit diesem System von Schwungrädern erlaubte eine für die Messungen ausreichend hohe Präzision.

**AH:** Wie kam der Ballon zurück zur Erde? Etwa mit einer Leine?

**Lange:** Nein, eine Leine konnten wir nicht einsetzen – durch die starken Winde bewegte sich der Ballon nach dem Start zu schnell vom Abflugsort fort. Die Gondel mit dem Teleskop war mit Seilen am Ballon befestigt und mit einem Fallschirm ausgestattet. Mit einem Funksignal trennten wir am Ende der Mission die Seile zum Ballon und die Gondel sank am Fallschirm zu Boden. Der Ballon ging dabei allerdings verloren.

»Denn das war für nahezu hundert Jahre eine der elementaren Fragen der Kosmologie«, betont Lange. Je nachdem wie und ob der Raum gekrümmt ist, durch den die Photonen zu uns reisten, sollten die ursprünglichen Strukturen vergrößert oder verkleinert erscheinen. Wäre das Universum flach, besäße es also keine Krümmung, entspräche das den zwei Dimensionen einer flachen Ebene. In derselben Analogie wäre die Oberfläche einer Kugel positiv und die eines Sattels negativ gekrümmt (siehe dazu AH 1-2/2006, S. 28).

Die Wissenschaftler versuchten nun die gesammelten Daten mit verschiedenen theoretischen Modellen, die jeweils unterschiedliche Raumgeometrien zu Grunde legten, möglichst genau wiederzugeben. Etwa zwei Jahre dauerte die Auswertung der Daten. Bei einem Meeting in Santa Barbara bekamen die beiden Forscher eine erste Analyse ihrer Arbeit zu Gesicht. »Ein Kollege kam damals in den Raum, sagte kein Wort und legte eine Folie auf den Projektor. Wir saßen nur da und sagten: ›Wow!« Beide lachen ausgelassen und man merkt, warum sie für dieses Ergebnis so viele schwierige Jahre auf sich genommen haben.

### Beweis für ein dunkles Universum

Frühere Ergebnisse hatten zwar bereits Hinweise auf ein flaches Universum geliefert, doch Boomerang ließ nun keine Zweifel mehr daran, schildert Lange, ganz in seinem Element. Im April 2000 wurden schließlich die ersten Resultate des Antarktisflugs veröffentlicht. Ein weiteres Jahr verstrich, bis die Daten vollständig analysiert waren. Neben der Raumgeometrie ließen sich jetzt auch andere kosmologische Größen bestimmen.

So bestätigten sie die Existenz von exotischer Dunkler Materie, aus der wohl 25 Prozent der gesamten Materie und Energie im Kosmos bestehen. Noch merkwürdiger war die Erkenntnis, dass mehr als siebenzig Prozent in Form von Dunkler Energie vorliegt – ein mysteriöser Druck, der die Expansion des Universums beschleunigt.

»Mehr als 95 Prozent der Materie und Energie im Universum sind etwas, von dem wir keine Ahnung haben, was es eigentlich ist«, gibt Lange zu bedenken. Nachfolgende Experimente unterstützen die befremdliche Materie- und Energiezusammensetzung des Kosmos.

### Balzan-Preis



**Die Internationale Balzan Stiftung** verleiht alljährlich den Balzan-Preis alternierend in Bern und in Rom. Dieser gehört neben dem Nobelpreis zu den bedeutendsten Auszeichnungen für wissenschaftliche, kulturelle und humanitäre Leistungen. Im Gegensatz zu anderen Stiftungen legt die Balzan Stiftung die Preisgebiete jedes Jahr neu fest. Seit 1961 wurden weltweit 112 Persönlichkeiten und Hilfsorganisationen mit dem Balzan-Preis geehrt und mehr als 56 Millionen Schweizer Franken an Preisgeldern ausbezahlt.

Auch ein anderes Phänomen belegen die bisherigen Studien der Hintergrundstrahlung: die Inflation – die exponentielle Expansion des Universums nur wenige Sekundenbruchteile nach dem Urknall. In kürzester Zeit dehnte es sich, angefangen bei subatomaren Dimensionen, um mehrere dutzend Größenordnungen aus (siehe AH 1-2/2006, S. 24). »Um ehrlich zu sein, ich war anfangs sehr skeptisch, denn es ist ein außergewöhnliches Konzept«, gesteht Lange. Doch die Daten, die Boomerang und andere Experimente gesammelt haben, stimmen mit den Vorhersagen der Theorie überein. »Ich würde es als einen Indizienbeweis bezeichnen«, erläutert er.

Möglicherweise stelle sich aber auch heraus, dass Dunkle Materie, Inflation und Dunkle Energie in derselben Liga spielen wie der Äther. Vor etwa hundert Jahren hatten Forscher ihn als Ausbreitungsmedium des Lichts nachweisen wollen. »Eine Idee, die sich im Zuge eines neuen theoretischen Verständnisses verflüchtigte«, so Lange.

Besonders die Inflationstheorie hat es den beiden Wissenschaftlern angetan. An Hartnäckigkeit, weitere Indizien dafür im Mikrowellenhintergrund aufzuspüren, mangelt es ihnen jedenfalls nicht: »Ich werde den Rest meiner Karriere darauf verwenden, diesen Geist zu jagen«, versichert Lange, während er verschmitzt grinst. »Wenn wir etwas sehen, ist das großartig; und wenn nicht, dann beweist es noch gar nichts.« <<

**Maike Pollmann** ist freie Wissenschaftsjournalistin in Hamburg.

**astro.info**  
www.astro.info

Bei uns sind Sie umfassend und aktuell informiert. Der Internetservice für Astronomie und Raumfahrt.

http://www.astro.info/

Am Himmel | Astrolexikon | Finsternisse | Planetarium | Sternbilder

**Am Himmel**  
News und Monatsübersichten  
Monatlich stellen wir für Sie das Wichtigste zur Himmelsbeobachtung zusammen. Hier finden Sie z.B. die Planetenübersicht, Mondkalender, einen Spaziergang am Sternenhimmel und ein aktuelles Schwerpunktthema. Hier finden Sie natürlich Schlagzeilen aus Astronomie und Raumfahrt.

**Astrolexikon**  
Astronomie in Stichworten  
Unser Astrolexikon enthält Hunderte Stichwörter zu allen Themenbereichen der Astronomie. Sie finden hier alle Themenbereiche der Astronomie: A - B - C - D - E - F - G - H - I - J - K - L - M - N - O - P - Q - R - S - T - U - V - W - X - Y - Z. Auch Java-Applets und vieles mehr.

**Alle Finsternisse und Transits**  
Im Jahr 2007 ist von Mitteleuropa aus einzig eine totale Mondfinsternis zu sehen. Finsternisse sind ein Schwerpunkt von astro.info - deshalb haben wir Hunderte von Karten und Fotos erstellt um Ihnen die Erlebnisse Sonnenfinsternis und Transit möglichst nahe zu bringen. Sie finden aber auch Details über Bedeckungsveränderliche Sterne und Schattenspiele der Jupitermonde.

**Sternbilder**  
Diamanten am Nachthimmel  
Der Sternenhimmel ist voll von schönen Deep-Sky Objekten - finden Sie sie! In unserem Sternbildkatalog finden Sie Beschreibungen von einer Fülle von Deep-Sky Objekten! Natürlich ist jedes einzelne der 88 Sternbilder dargestellt.

**Calsky**

Der Astrokalender im Internet individuell konfigurierbar:

- Satelliten (z.B. ISS, Iridium)
- Planeten, Sonne und Monde
- Sonnen- & Mondfinsternisse
- Kometen, Asteroiden, Deep-Sky
- Polarlichtwarnungen
- Email-Warnservice

http://www.calsky.com/