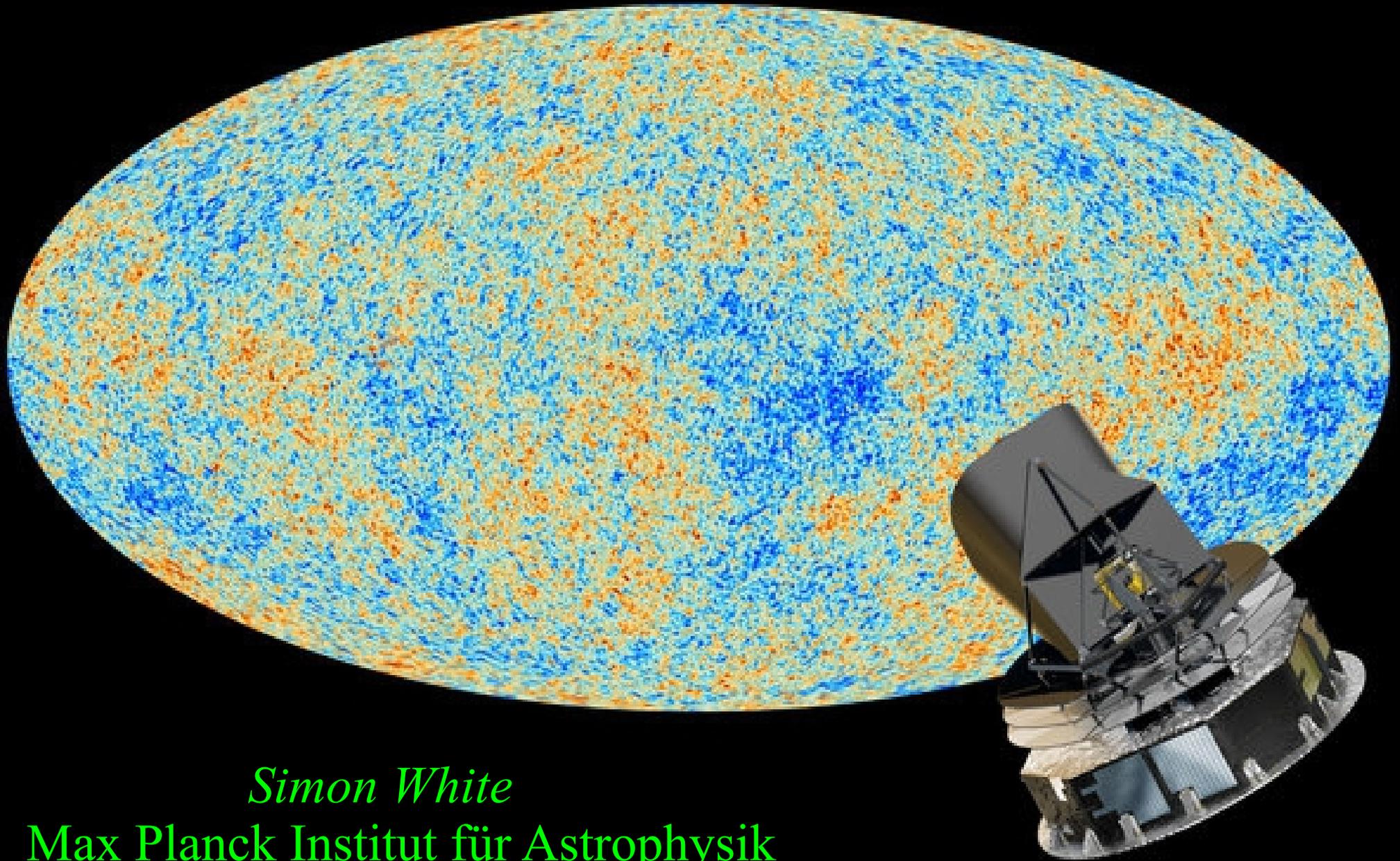


Lichtspur des Urknalls



Simon White

Max Planck Institut für Astrophysik



Georges Lemaître
Begründer der Urknalltheorie (1927)



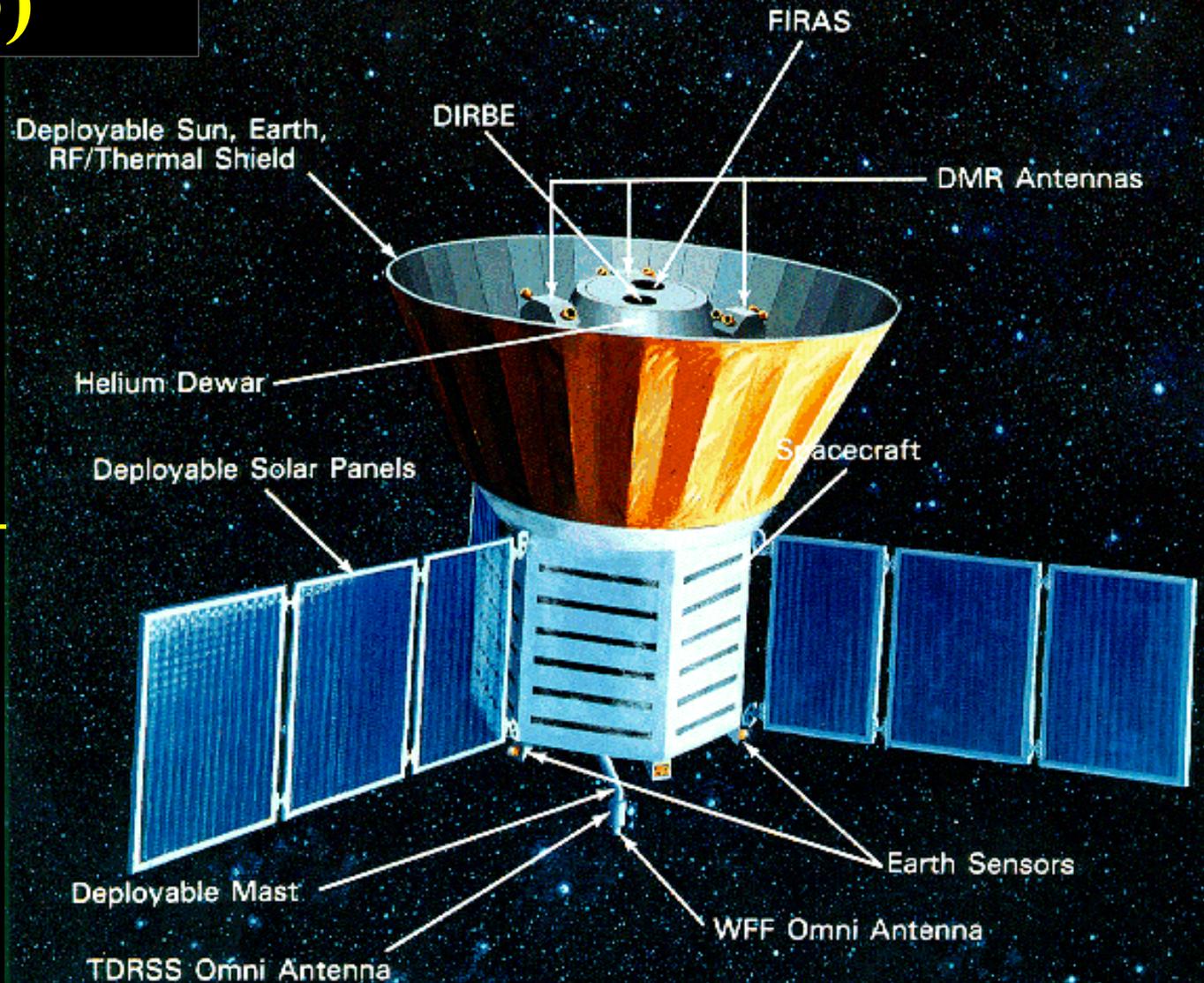
Ralph Alpher
Erklärt die Elemententstehung
—▶ Hintergrundstrahlung mit
Temperatur $\sim 5\text{K}$ (1948)

**Die kosmische Hintergrundstrahlung
entdeckt: Penzias+Wilson (1964)
Nobelpreis der Physik 1978**



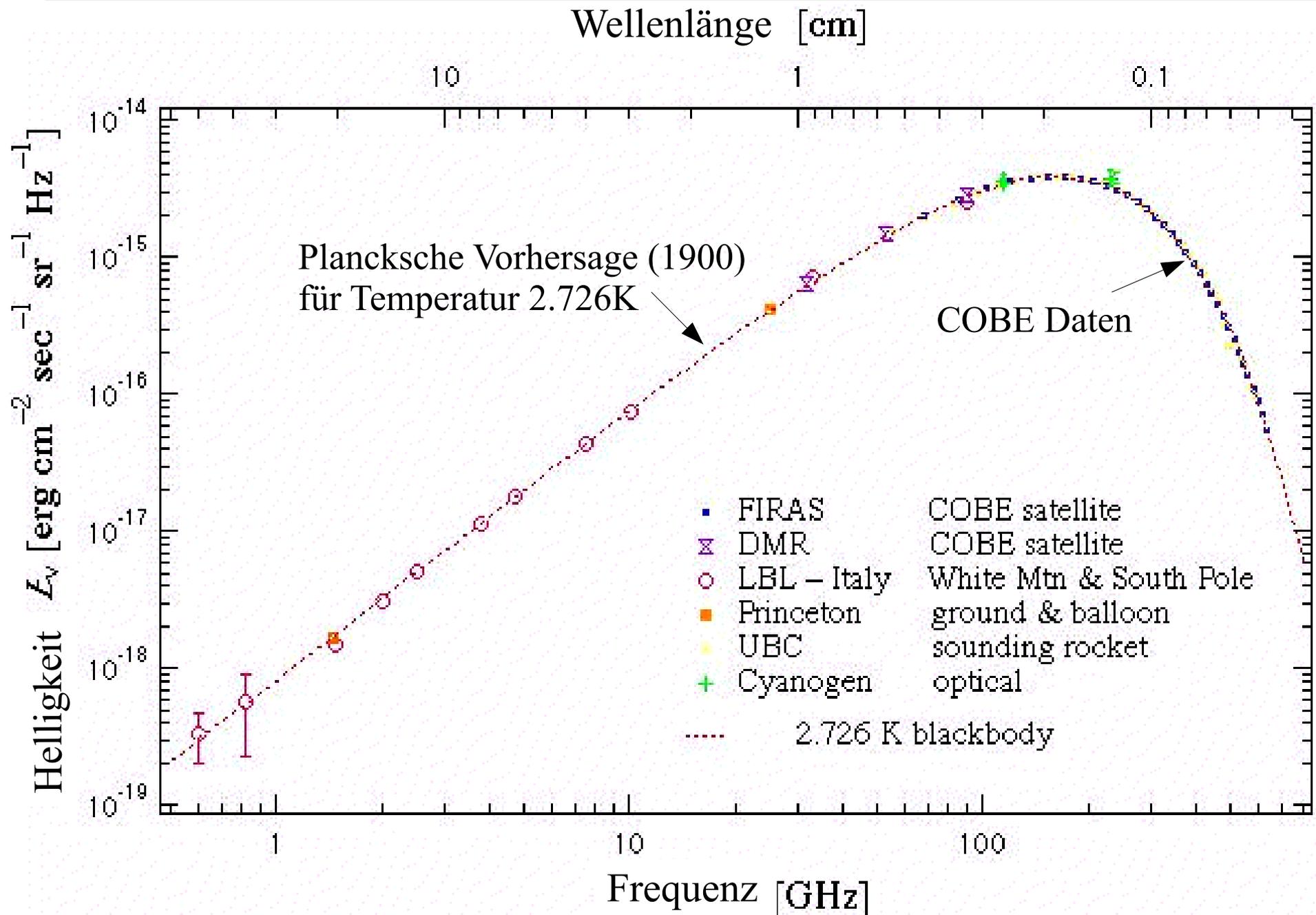
Die COBE Satellit (1989 - 1993)

- Zwei Instrumente haben den ganzen Himmel in Mikrowellen- und Infrarot-Bereiche kartografiert
- Ein Instrument hat ein Spektrum des Himmels im Mikrowellenbereich aufgenommen

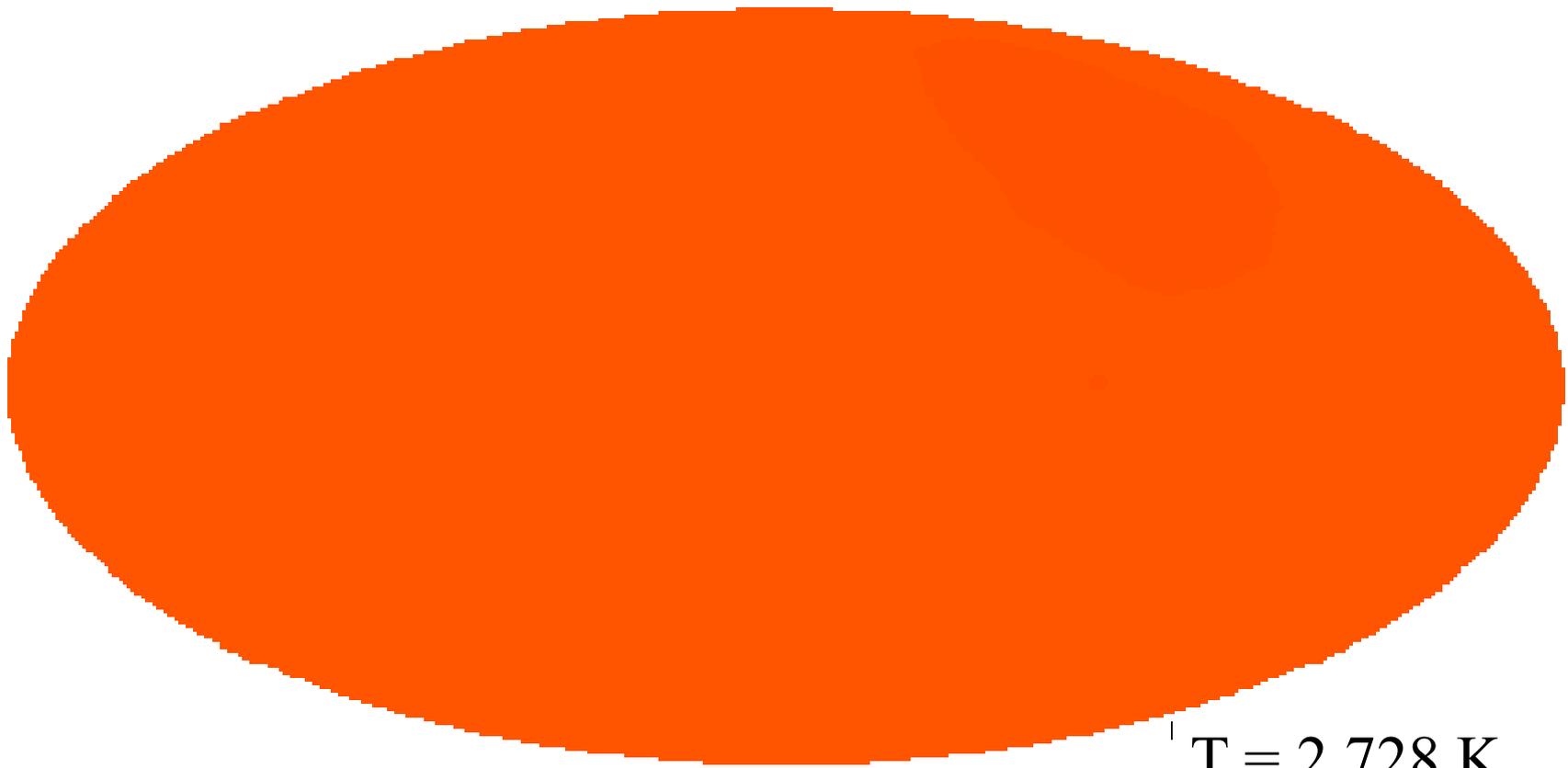


Nobelpreis der Physik 2006

COBE Spektrum des Mikrowellenhintergrund



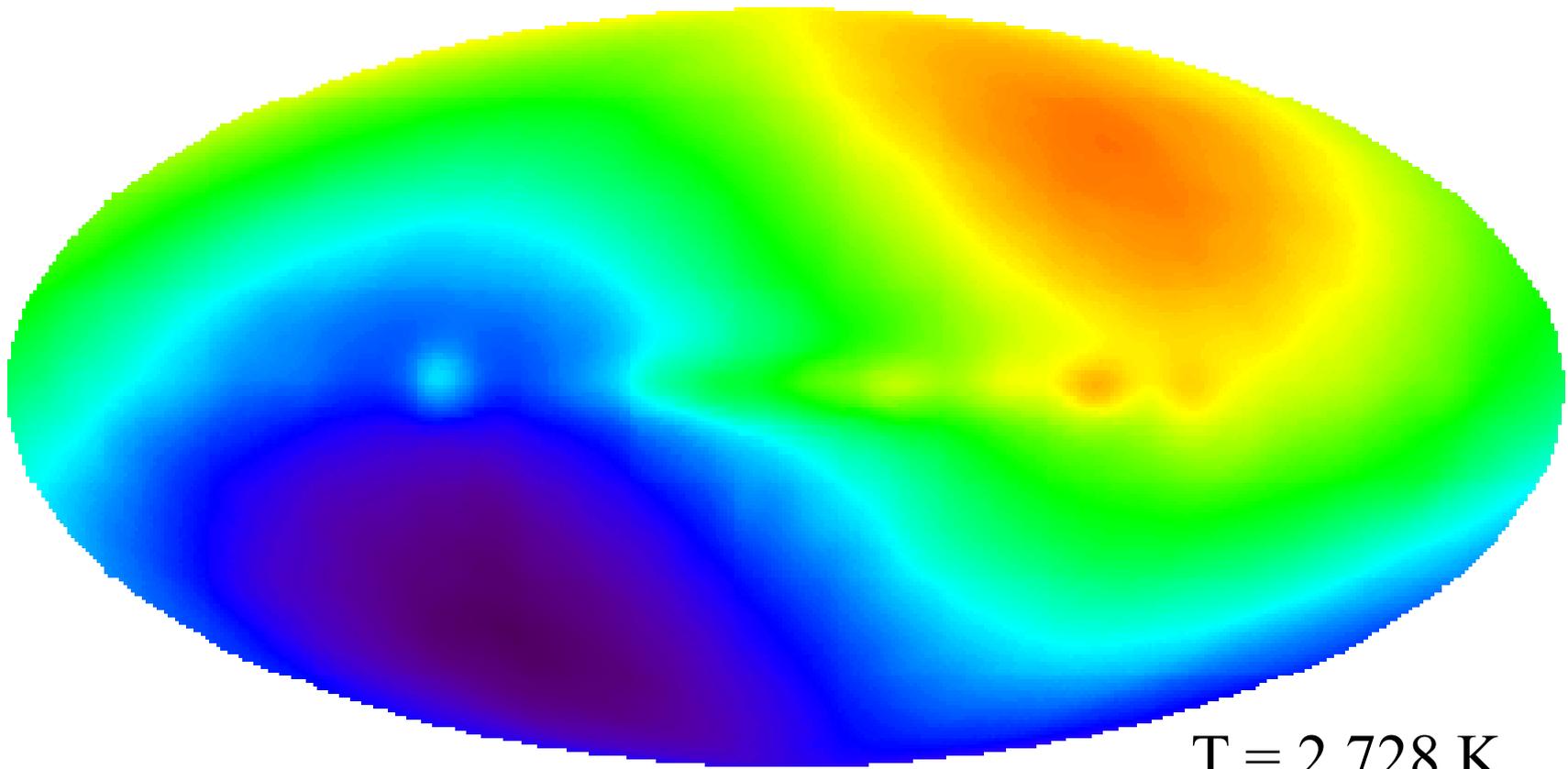
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



$T = 2.728 \text{ K}$

$\Delta T = 0.1 \text{ K}$

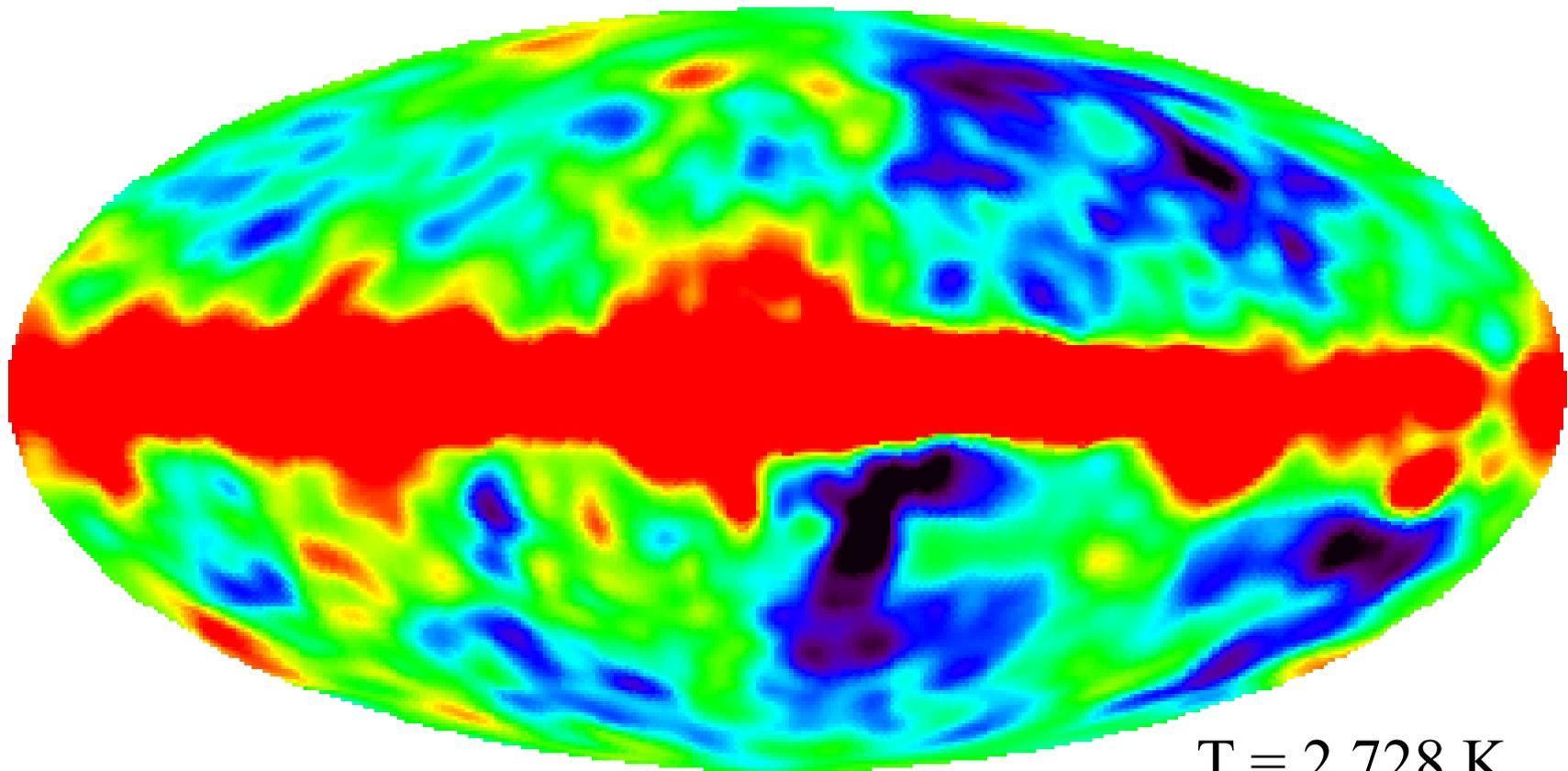
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



$$T = 2.728 \text{ K}$$

$$\Delta T = 0.0034 \text{ K}$$

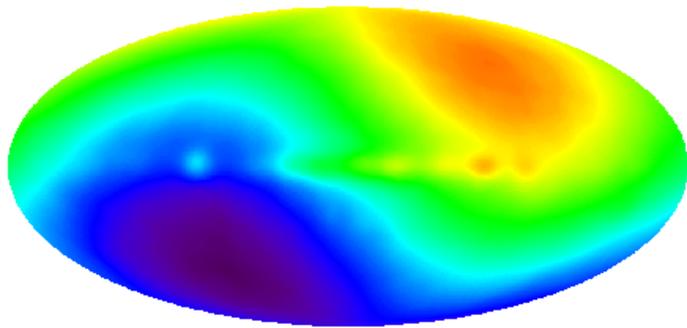
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



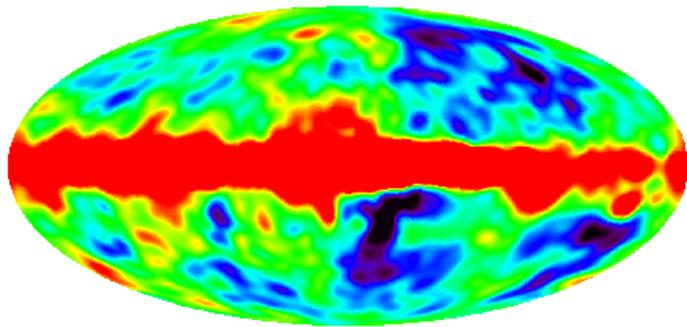
$$T = 2.728 \text{ K}$$

$$\Delta T = 0.00002 \text{ K}$$

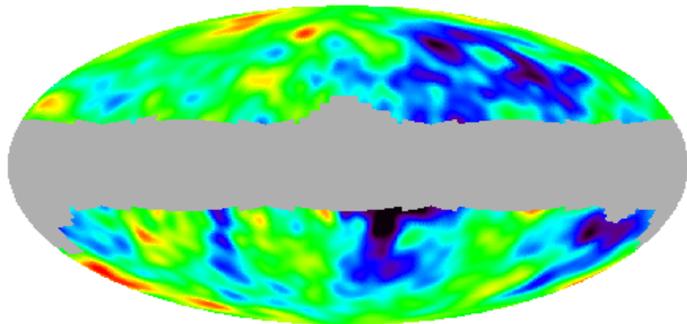
Struktur in der COBE Karte



- Eine Himmelsseite ist kalt, die andere heiss
die Bewegung unserer Erde durch den
Kosmos → $V_{\text{Milchstrasse}} = 600 \text{ km/s}$



- Strahlung von Staub und Gas in unserer
Milchstrasse



- Struktur im Mikrowellenhintergrund selbst

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Als das Universum 400,000 Jahre alt war, und 1,000 mal kleiner und 1,000 mal heisser als heute

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Als das Universum 400,000 Jahre alt war, und 1,000 mal kleiner und 1,000 mal heisser als heute

Wann fanden diese Strukturen ihre Ursprung?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Als das Universum 400,000 Jahre alt war, und 1,000 mal kleiner und 1,000 mal heisser als heute

Wann fanden diese Strukturen ihre Ursprung?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Als das Universum 400,000 Jahre alt war, und 1,000 mal kleiner und 1,000 mal heisser als heute

Wann fanden diese Strukturen ihre Ursprung?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

Was sind sie heute geworden?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Als das Universum 400,000 Jahre alt war, und 1,000 mal kleiner und 1,000 mal heisser als heute

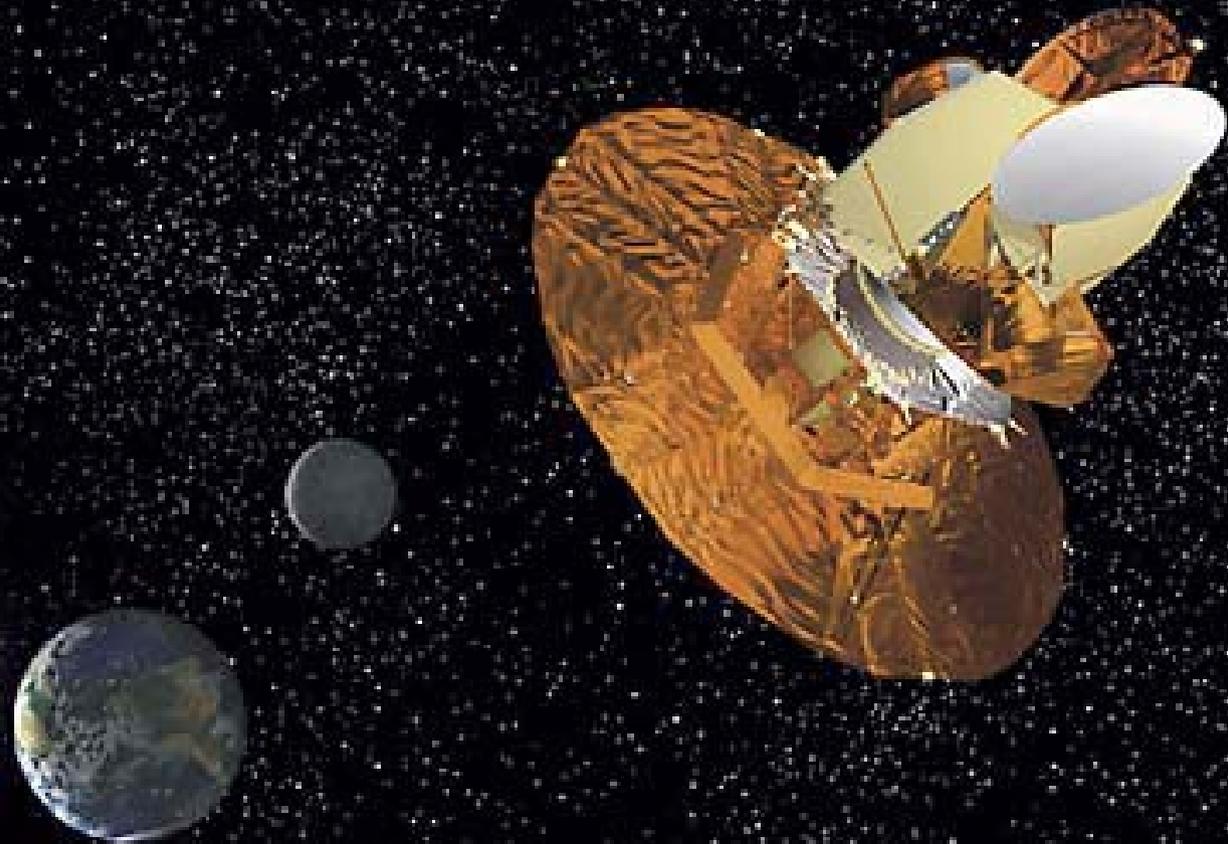
Wann fanden diese Strukturen ihre Ursprung?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

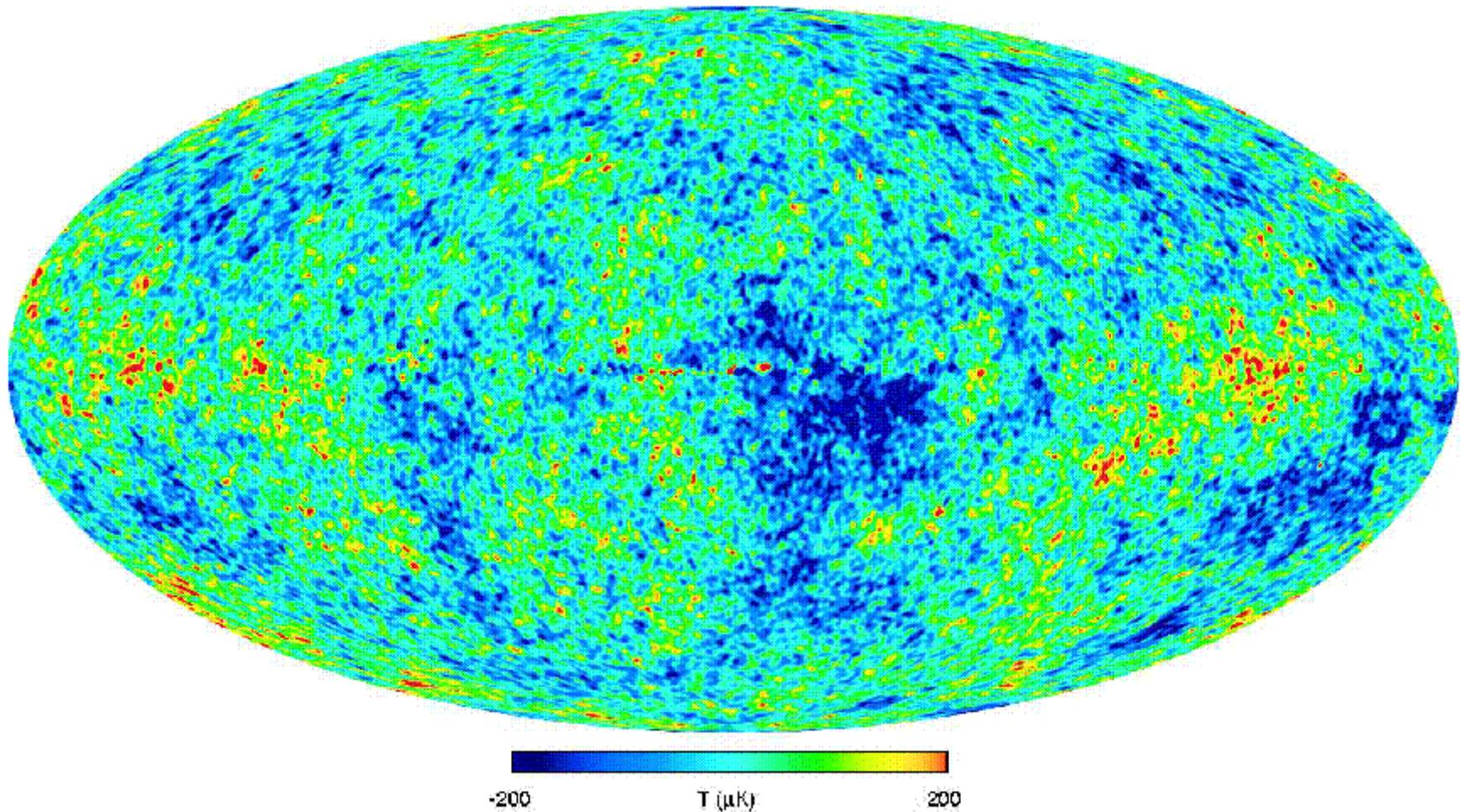
Was sind sie heute geworden?

Alles was wir um uns sehen (Galaxien, Sterne, Planeten, Menschen...)

Der *WMAP* Satellit am Lagrange-Punkt L2



Die *WMAP* des ganzen Himmels



Bennett et al 2003

Was lernen wir von diesen Strukturen?

Das Muster der Strukturen wird durch folgendes beeinflusst:

--die Geometrie des Universums

--den Inhalt des Universums

--den Ursprung der Strukturen

Was lernen wir von diesen Strukturen?

Das Muster der Strukturen wird durch folgendes beeinflusst:

--die Geometrie des Universums

endlich oder unendlich

ewig oder vergänglich

--den Inhalt des Universums

--den Ursprung der Strukturen

Was lernen wir von diesen Strukturen?

Das Muster der Strukturen wird durch folgendes beeinflusst:

--die Geometrie des Universums

endlich oder unendlich

ewig oder vergänglich

--den Inhalt des Universums: die Anteile von

Licht (jetzt Mikrowellen)

normaler (baryonischer) Materie

anderer “dunkler” Materie

dunkler Energie

--den Ursprung der Strukturen

Was lernen wir von diesen Strukturen?

Das Muster der Strukturen wird durch folgendes beeinflusst:

--die Geometrie des Universums

endlich oder unendlich
ewig oder vergänglich

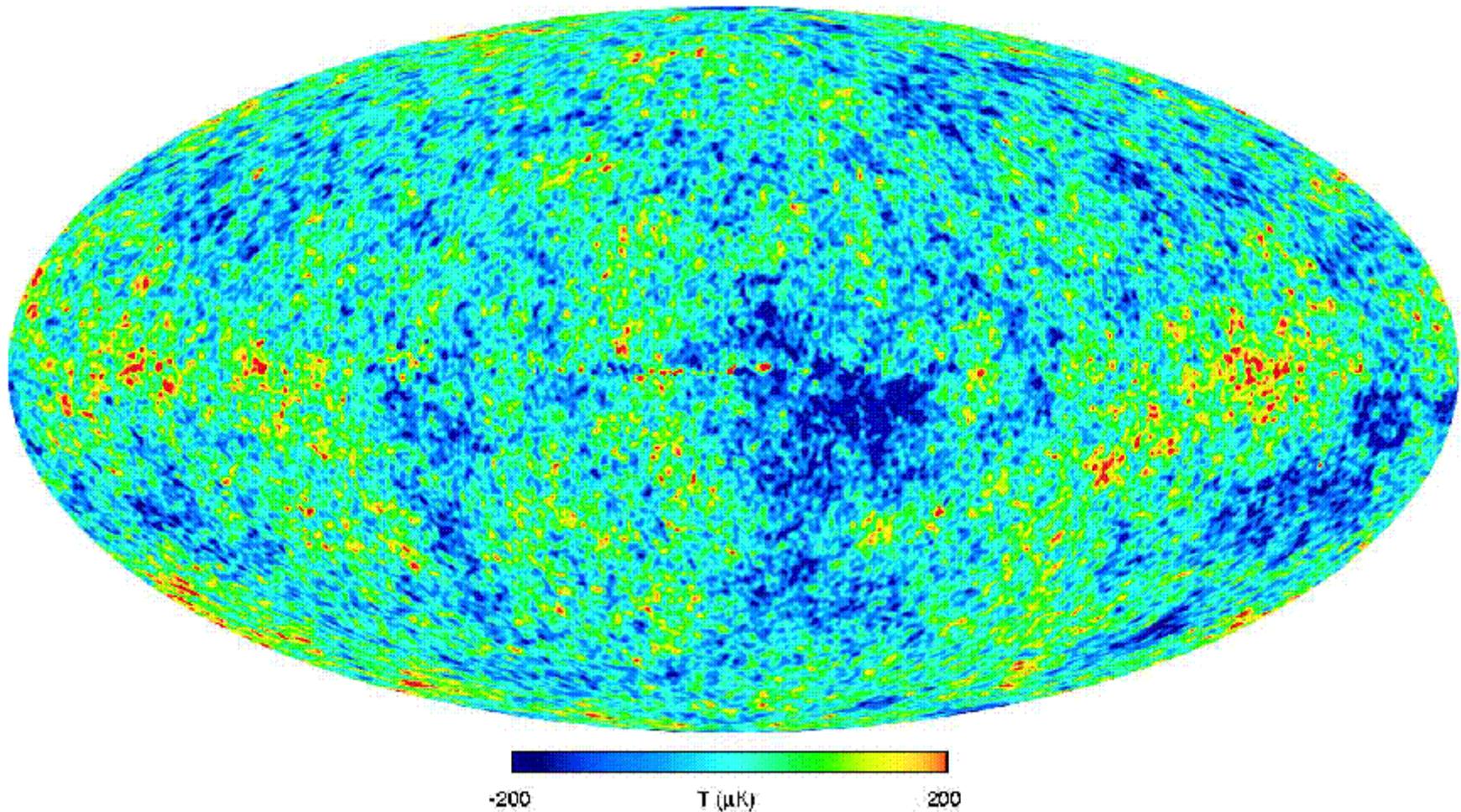
--den Inhalt des Universums: die Anteile von

Licht (jetzt Mikrowellen)
normaler (baryonischer) Materie
anderer “dunkler” Materie
dunkler Energie

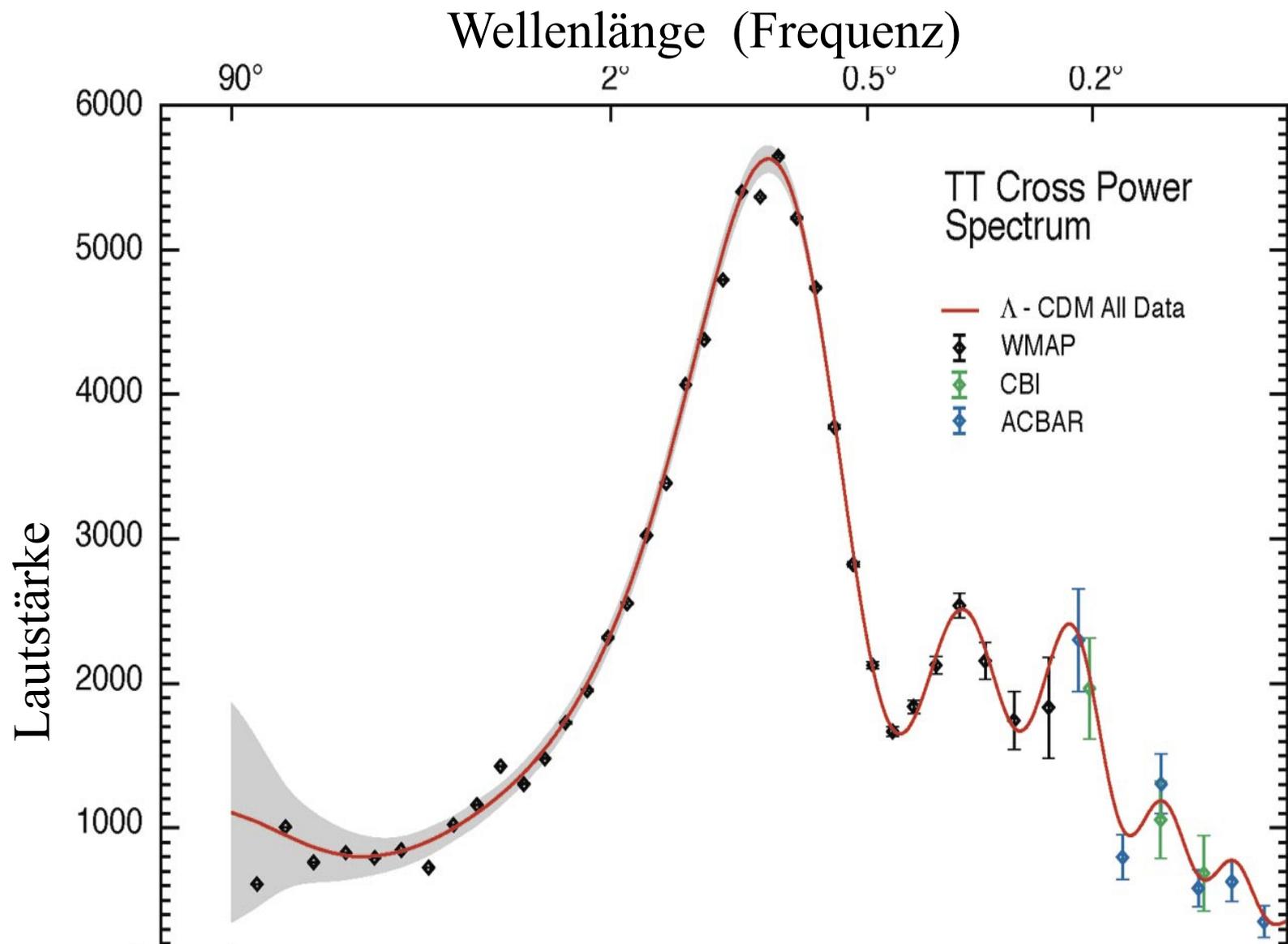
--den Ursprung der Strukturen

die erste Augenblicke der Schöpfung

Die *WMAP* des ganzen Himmels



Bennett et al 2003



Der Klinginhalt der Schallwellen in den frühen Wolken:
Vergleich der *WMAP* Ergebnisse mit theoretischen
Vorhersagen

Was haben wir von WMAP gelernt?

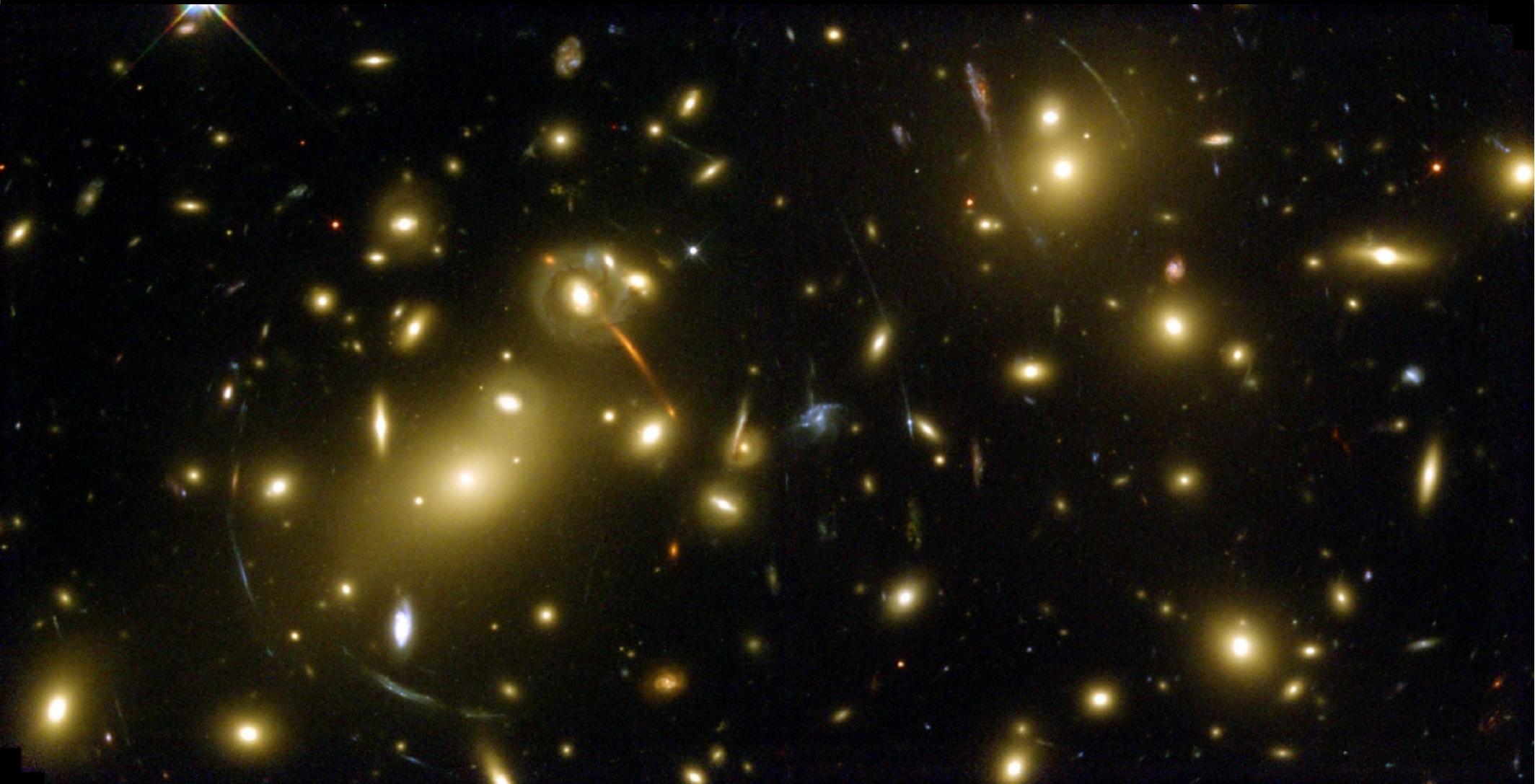
- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid

Was haben wir von WMAP gelernt?

- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid
- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – etwa 4%
 - es gibt viel nonbaryonische dunkle Materie (etwa 21%)
(durch Gravitationslinseneffekte “sichtbar”)

Ein Galaxienhaufen als gravitative Linse

Abell 2218



Was haben wir von WMAP gelernt?

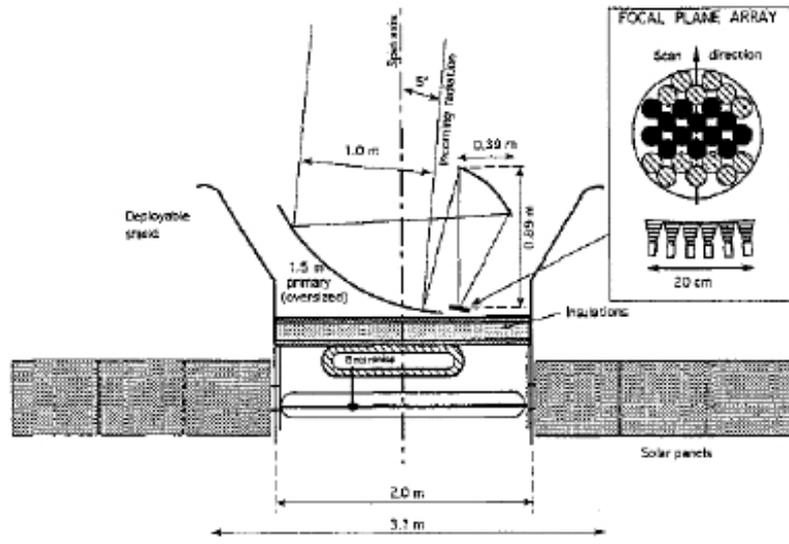
- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid
- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – etwa 4%
 - es gibt viel nonbaryonische dunkle Materie (etwa 21%)
(durch Gravitationslinseneffekte “sichtbar”)
- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie, die die heutige Ausdehnung des Universums beschleunigt

Was haben wir von WMAP gelernt?

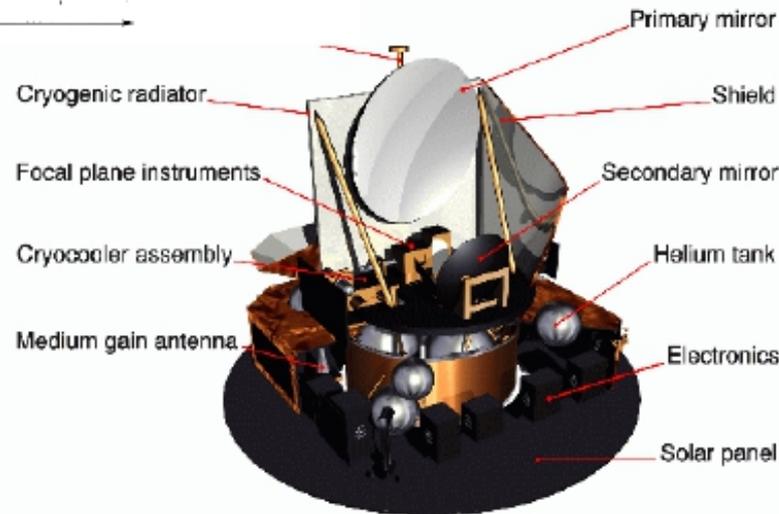
- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid
- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – etwa 4%
  es gibt viel nonbaryonische dunkle Materie (etwa 21%)
 (durch Gravitationslinseneffekte “sichtbar”)
- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie, die die heutige Ausdehnung des Universums beschleunigt
- Alle Strukturen im Universum sind aus Quantenfluktuationen des *Vacuums* 10^{-30} s nach dem Urknall gewachsen

Alles kommt aus Nichts!

Antrag (1992)



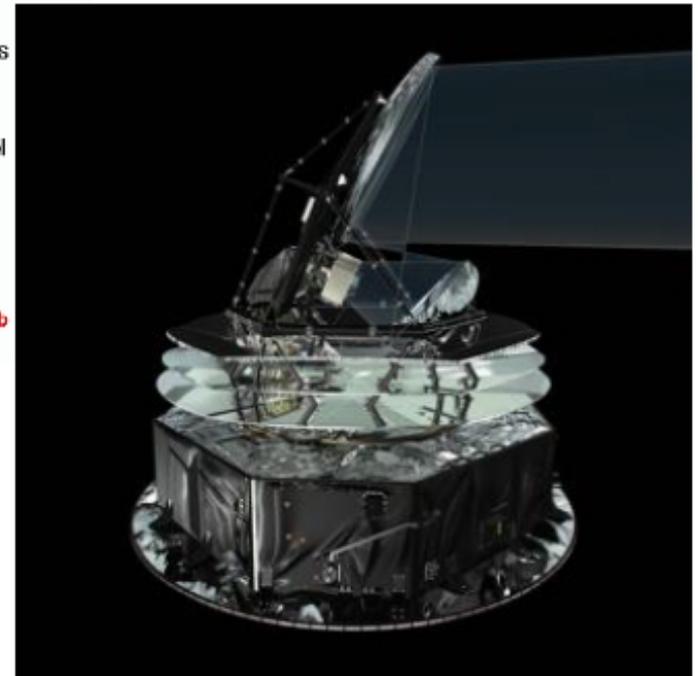
Auswahl (1996)



COBRAS/SAMBA

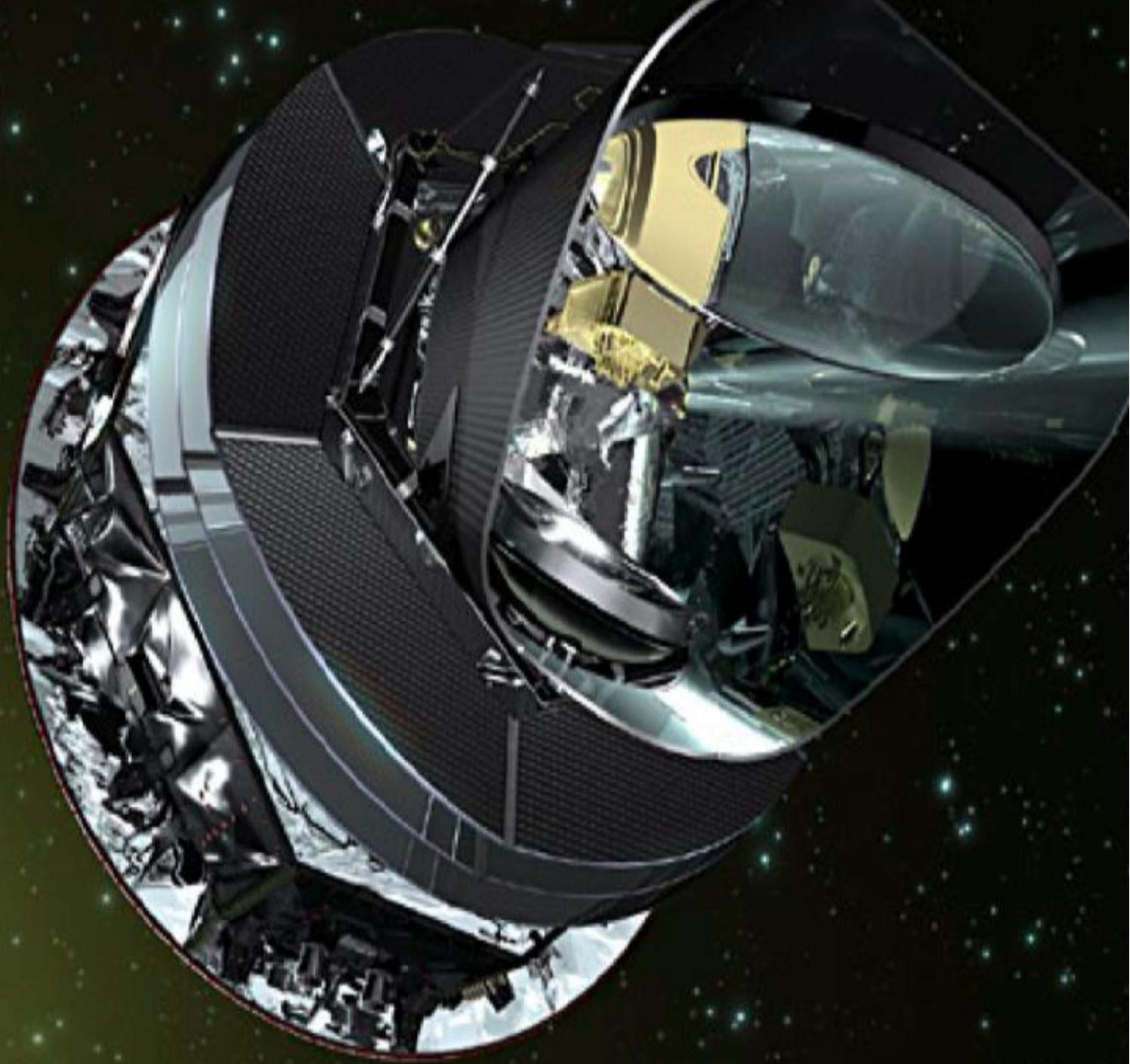
esa
ISD VisuLab

Start Mai 2009!!





Planck am L2



Die neun *Planck* Karten

30 GHz

44 GHz

70 GHz

100 GHz

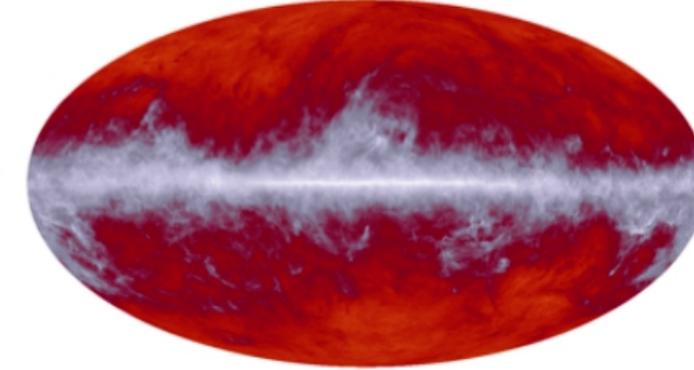
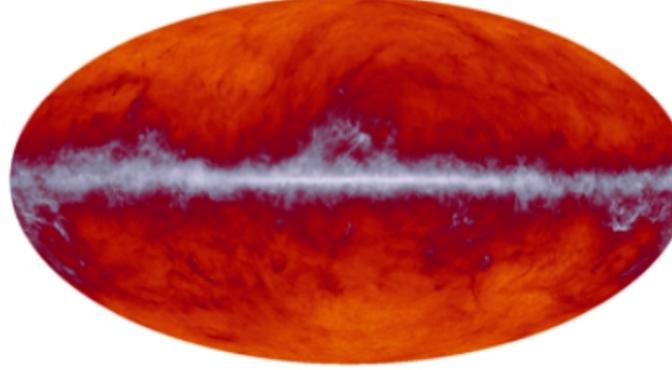
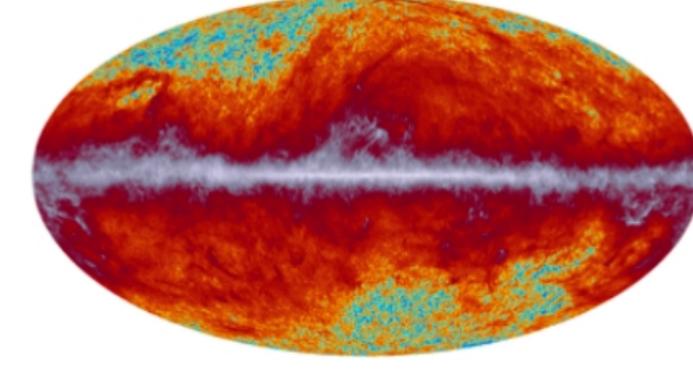
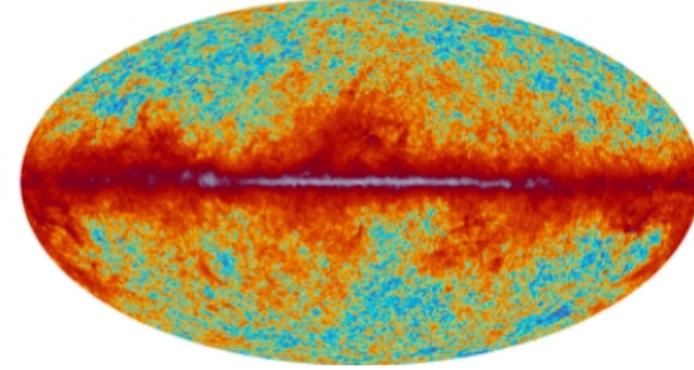
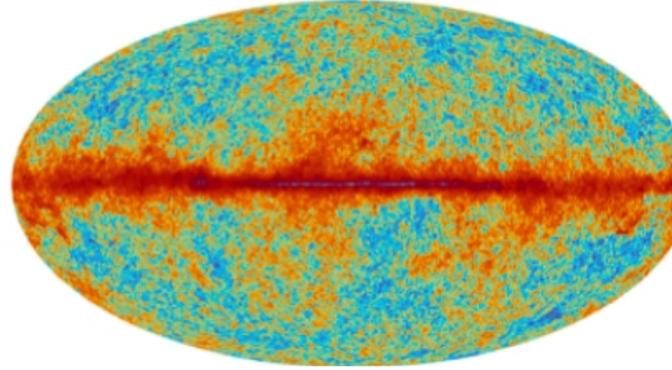
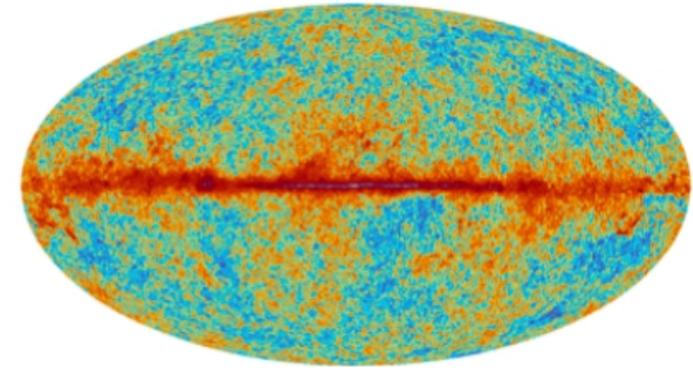
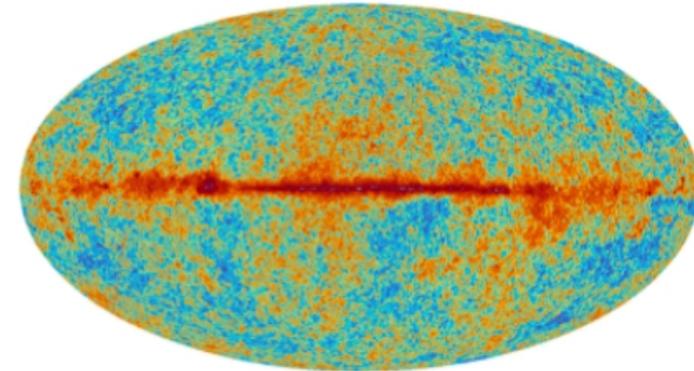
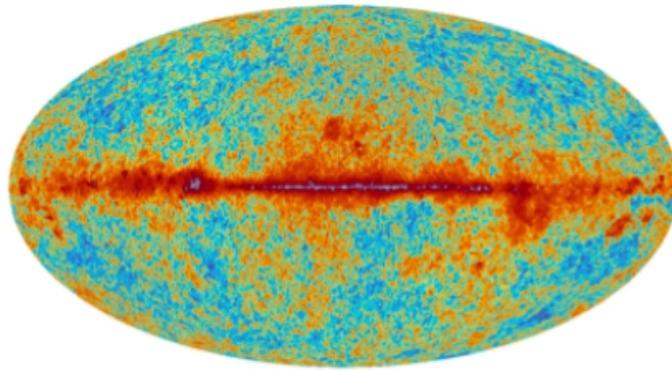
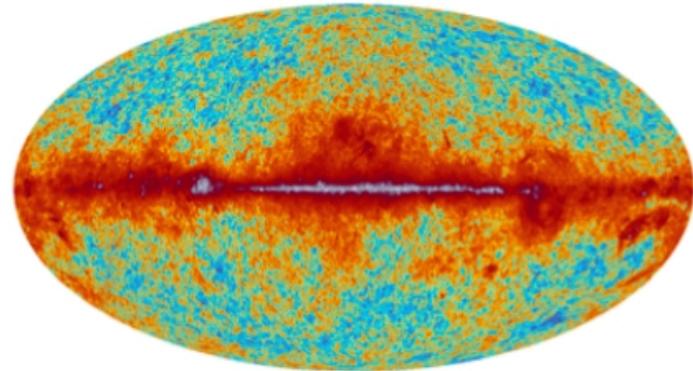
143 GHz

217 GHz

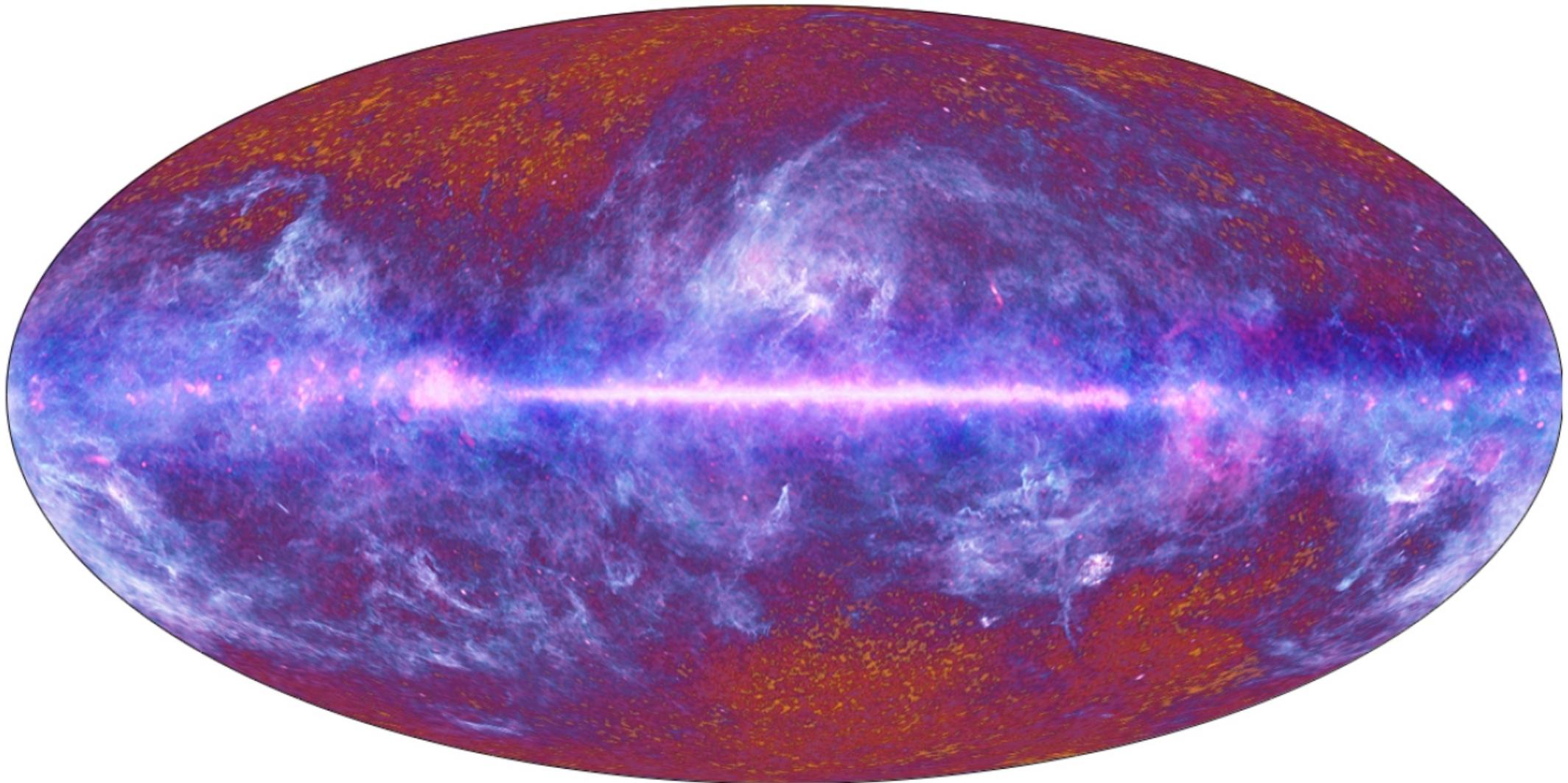
353 GHz

545 GHz

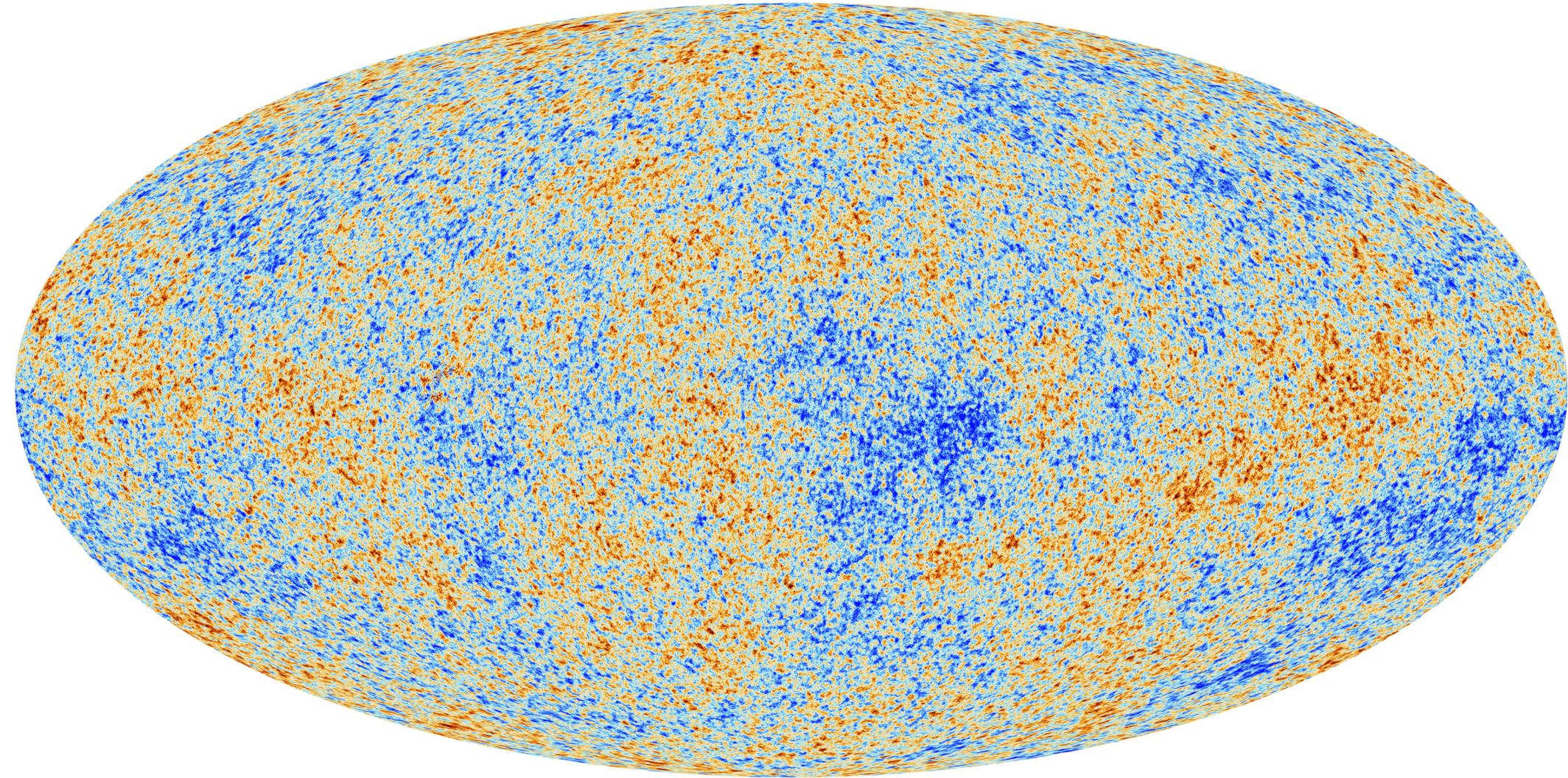
857 GHz



Die erste veröffentlichte Himmelskarte

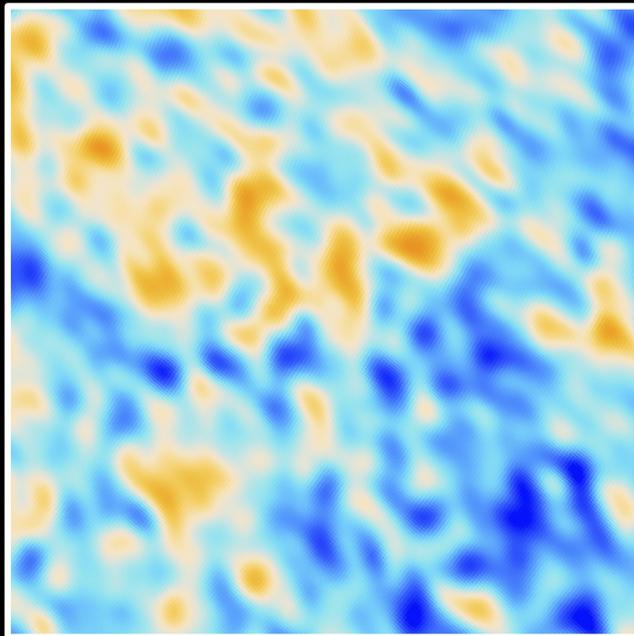
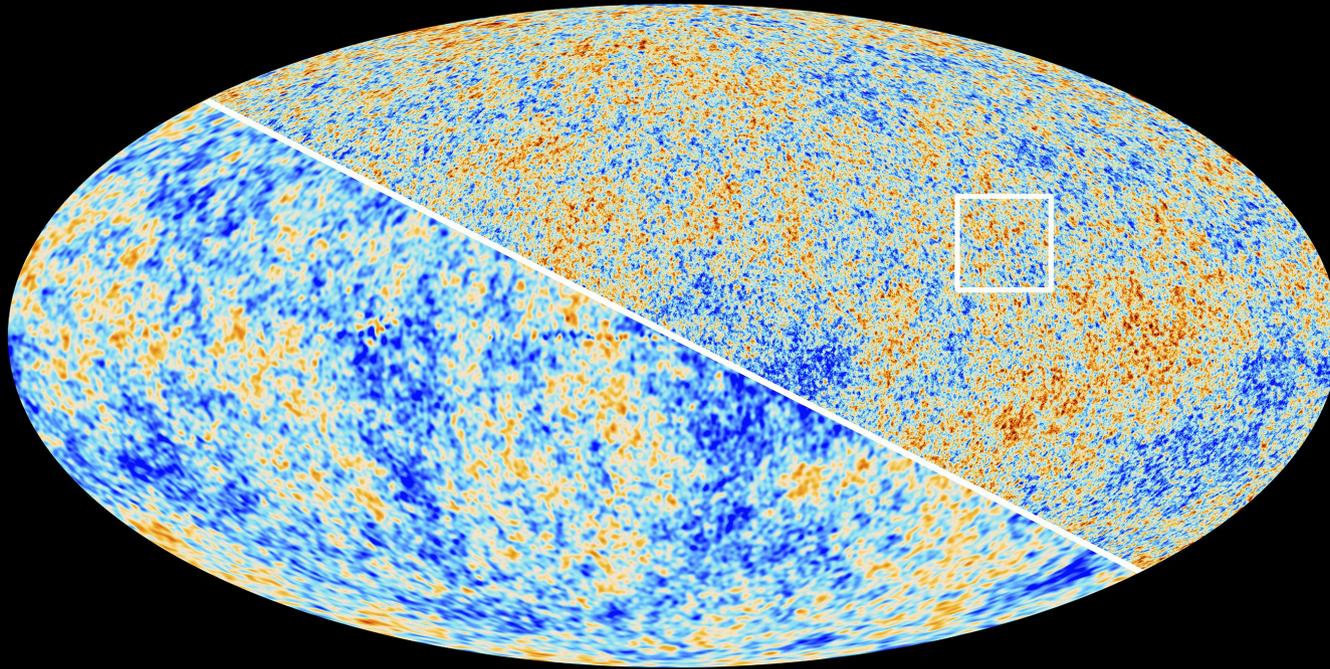


Planck Karte der Hintergrundstrahlung

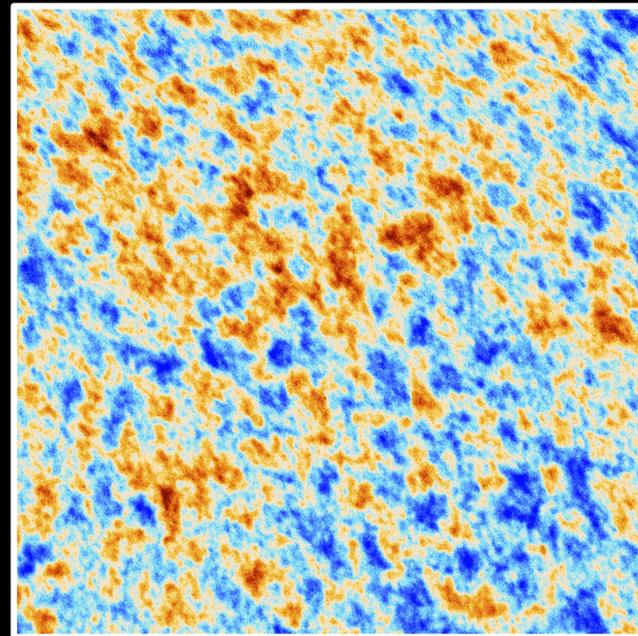


Eine Bild der Grenzen des sichtbaren Universums

Planck und WMAP im Vergleich

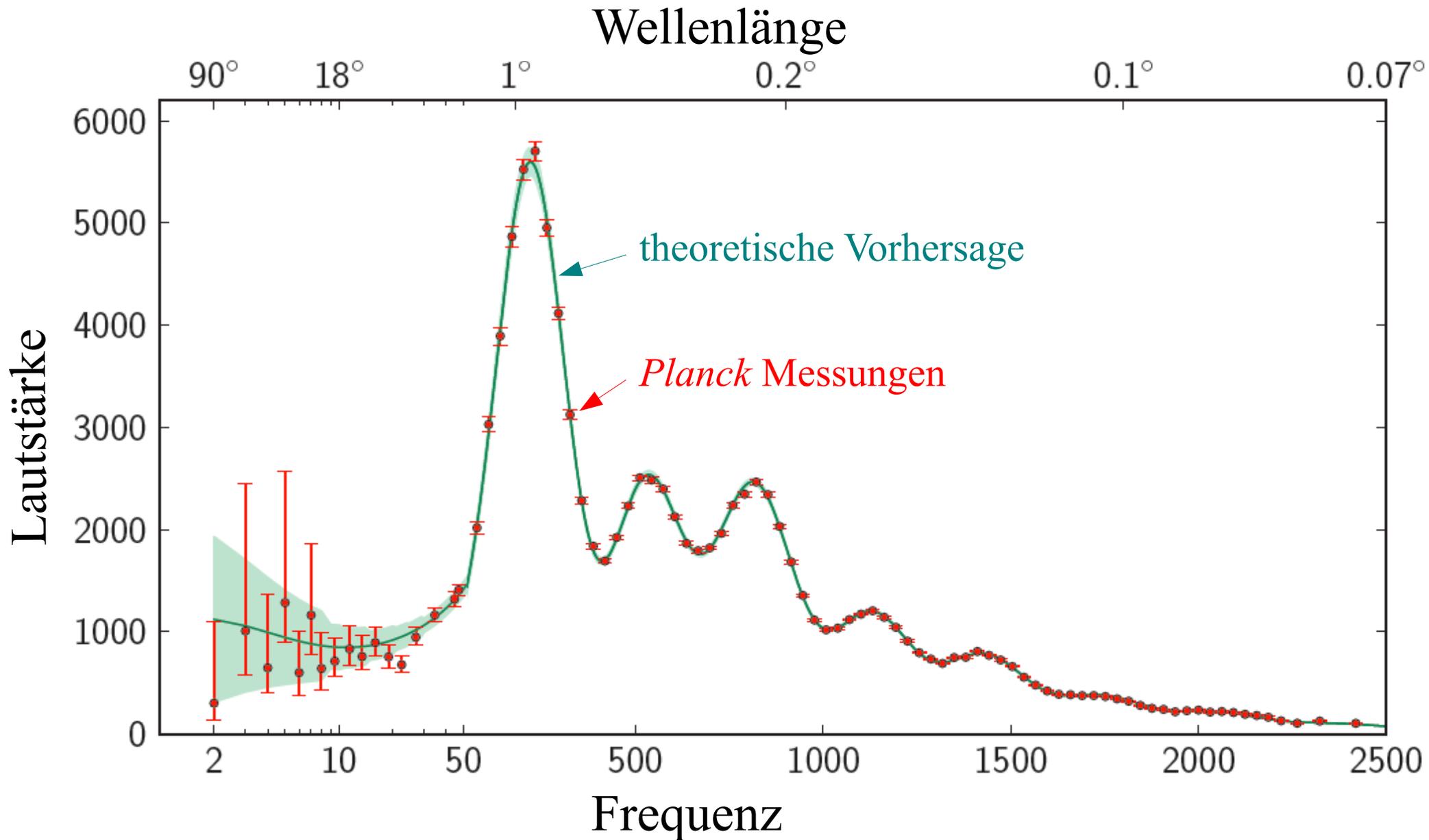


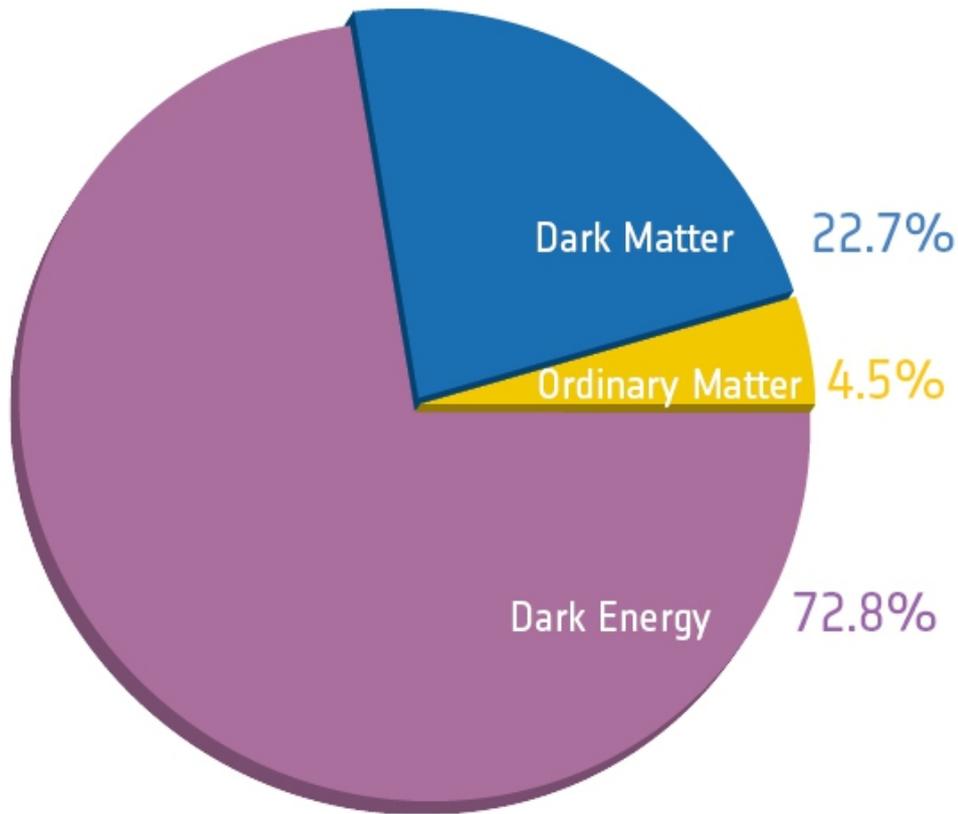
WMAP



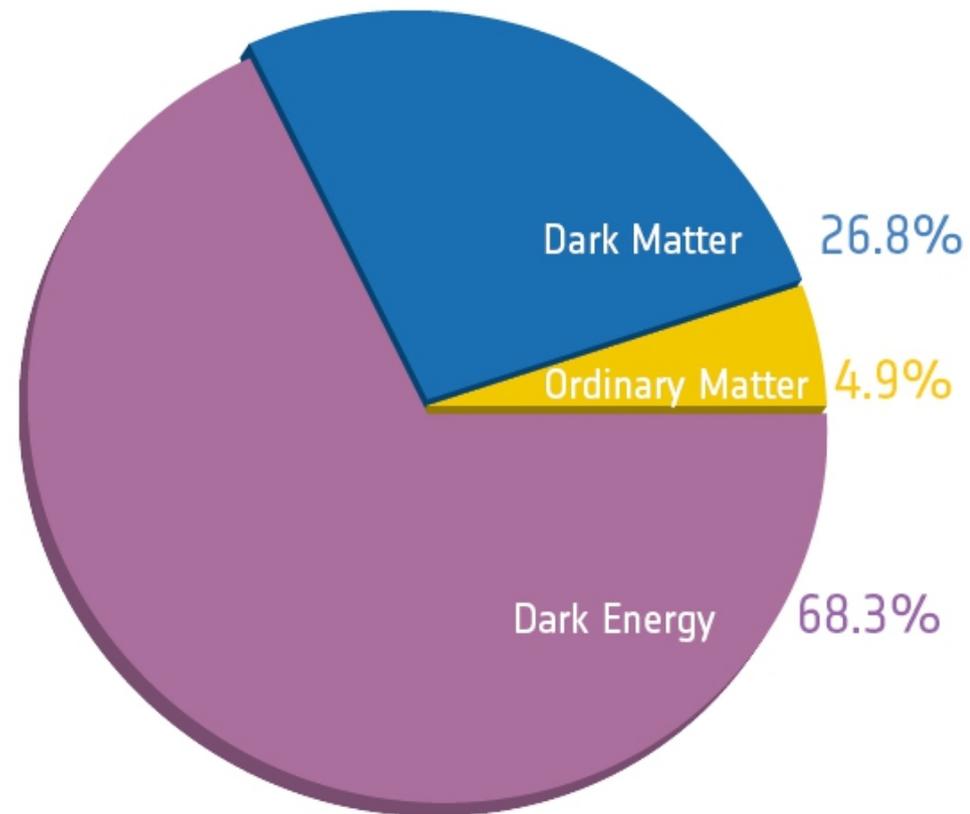
Planck

Klanginhalt der kosmischen Wolken laut *Planck*





Vor Planck



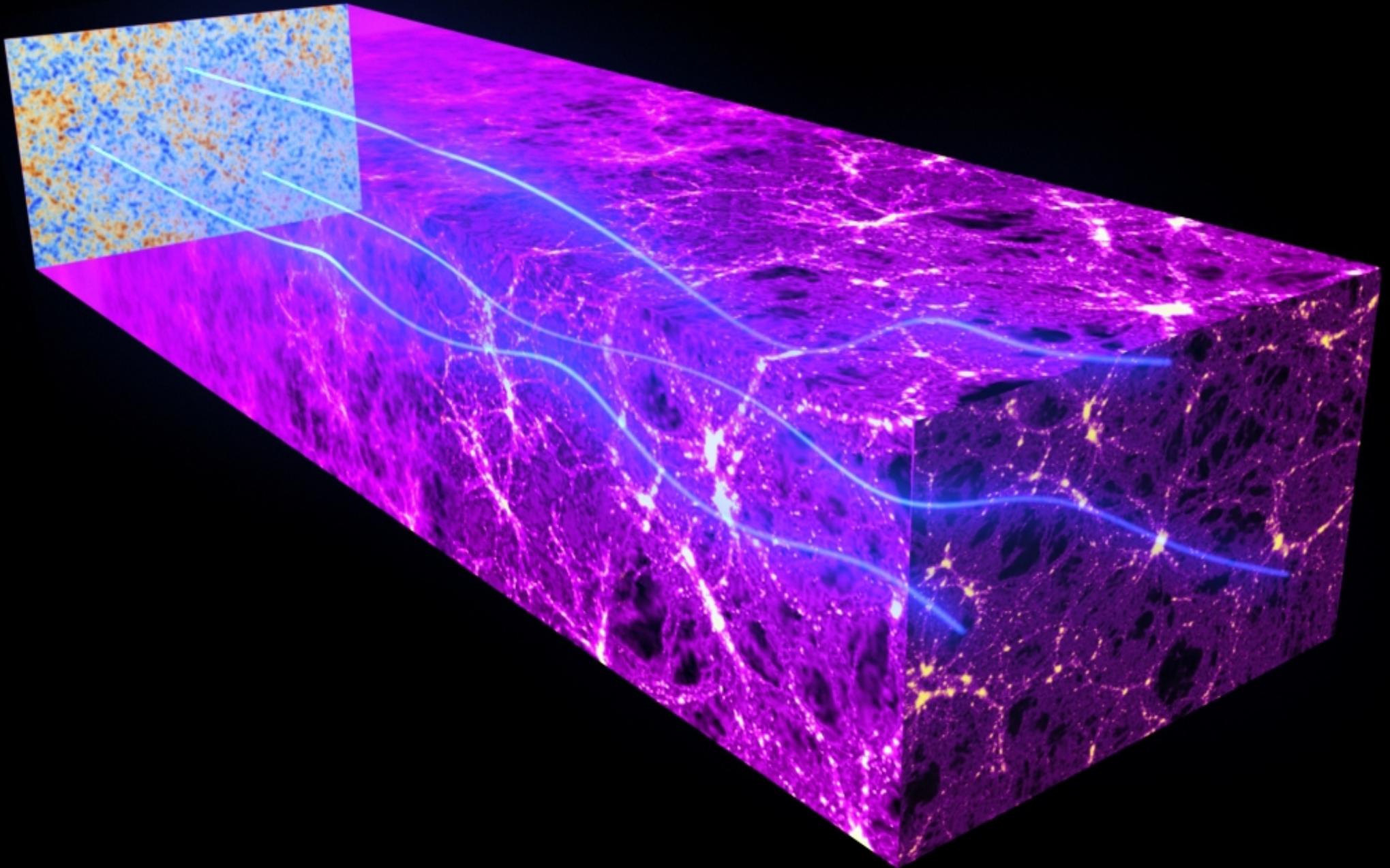
Nach Planck

Das Universum bleibt flach – jetzt mit 0.5% Genauigkeit gemessen

Es dehnt sich 7% langsamer als vorher aus, und ist 80,000,000 Jahre älter geworden

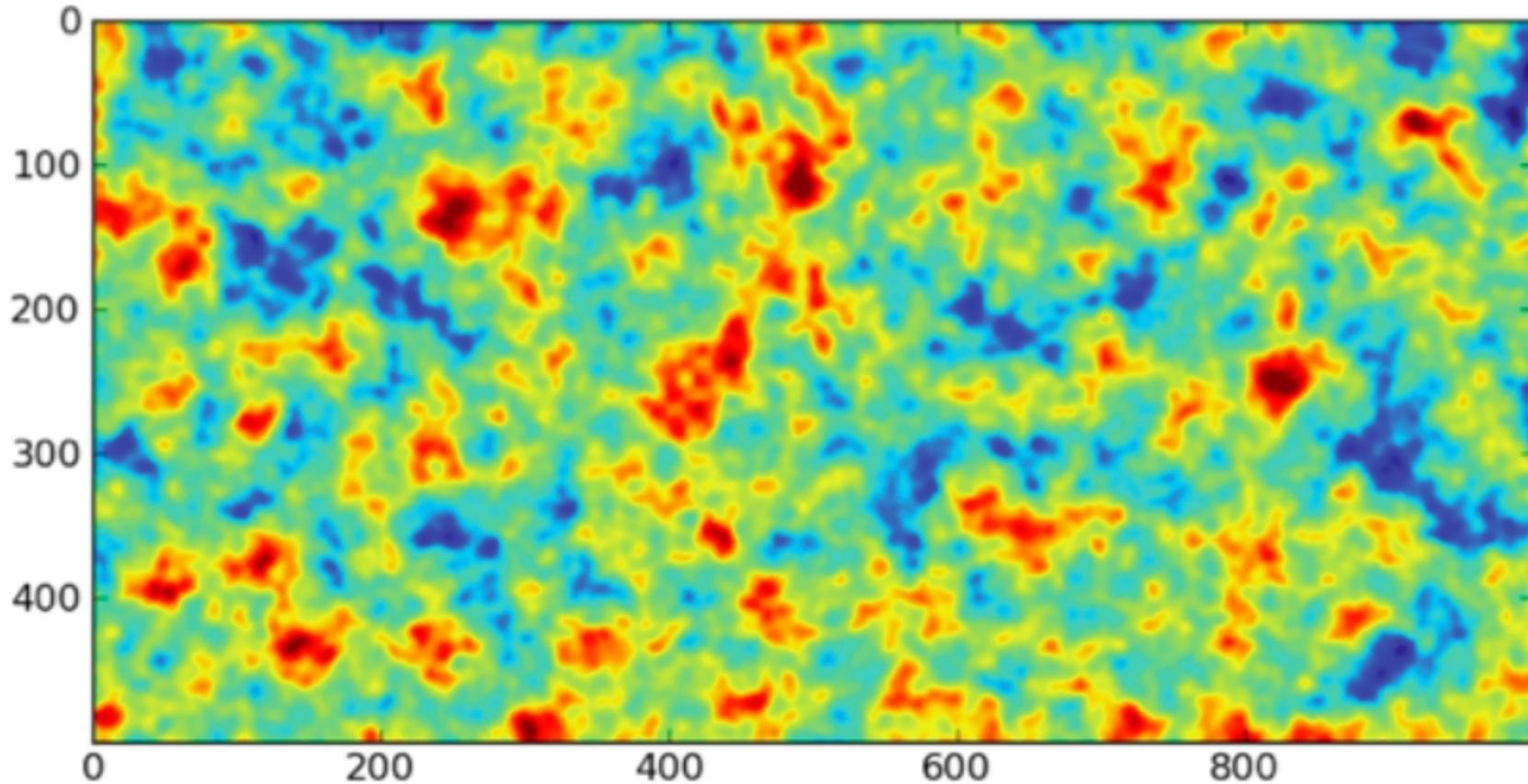
Planck hat auch die Idee stark unterstützt, dass alle Strukturen ihren Ursprung sehr früh durch Quanteneffekte fanden

Gravitative Linseneffekte der Vordergrundmaterie



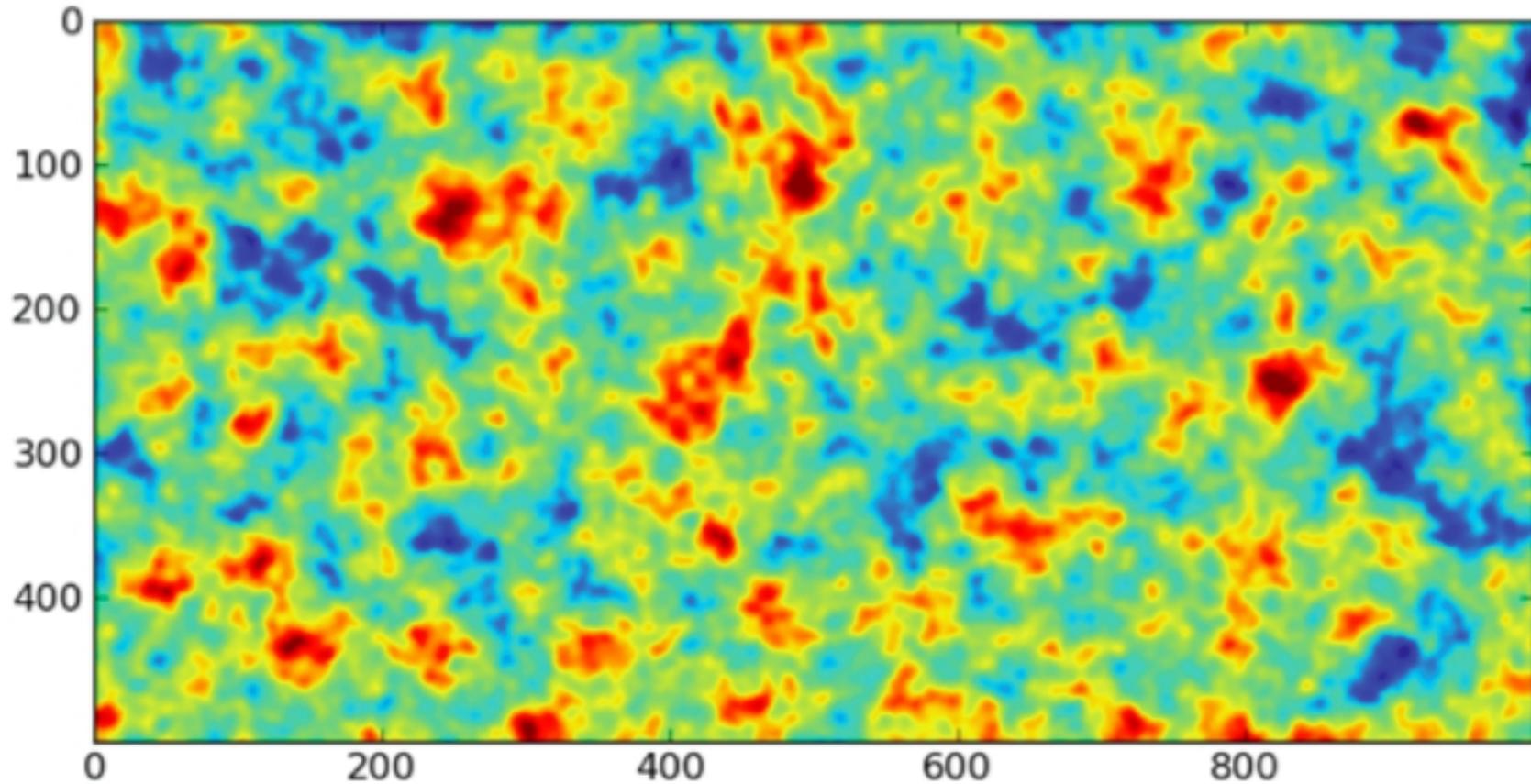
Gravitative Linseneffekte der Vordergrundmaterie

Himmelskarte ohne Linseneffekte

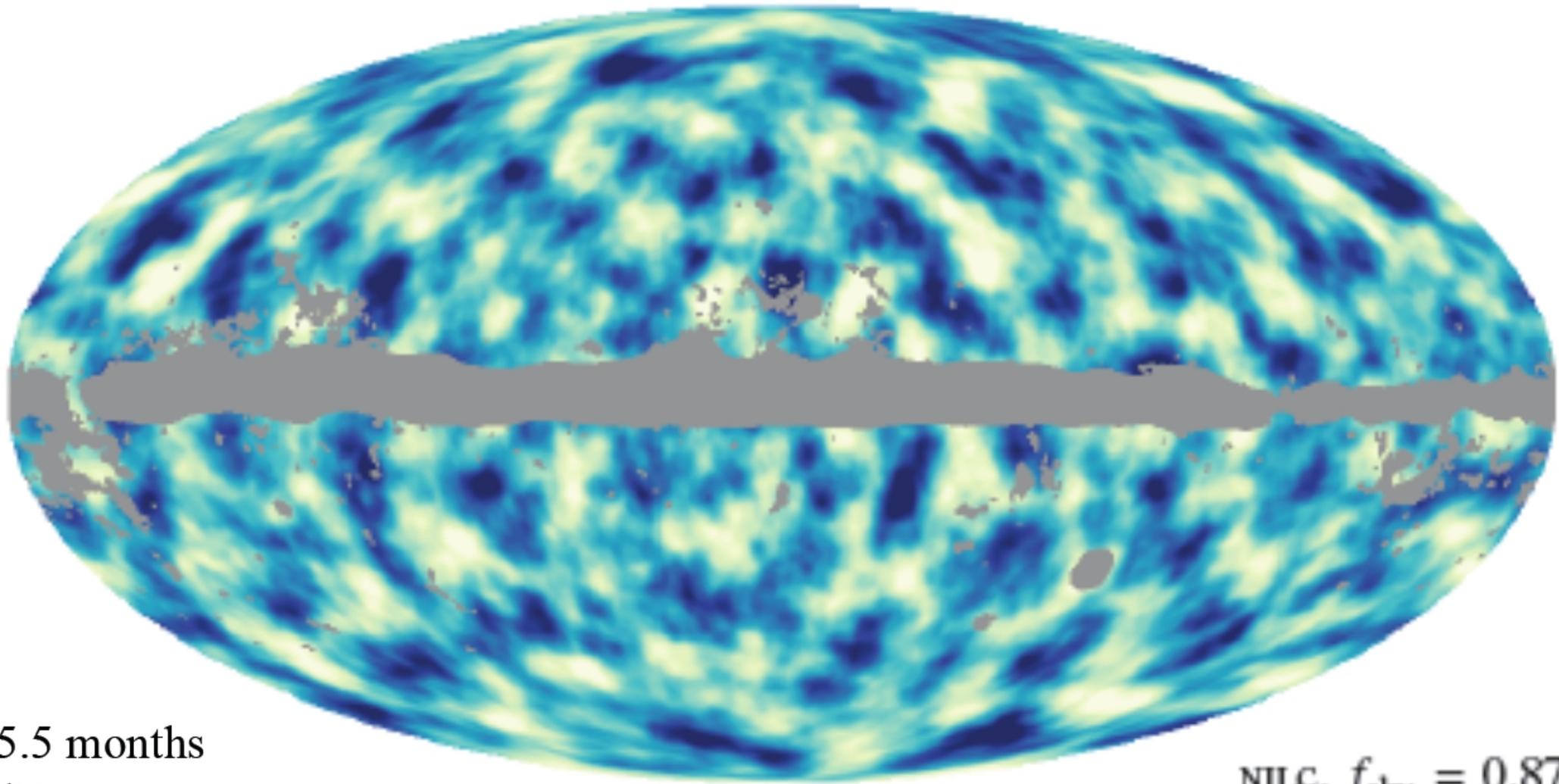


Gravitative Linseneffekte der Vordergrundmaterie

Himmelskarte mit Linseneffekten



Karte der Gesamtmasse des sichtbaren Universums

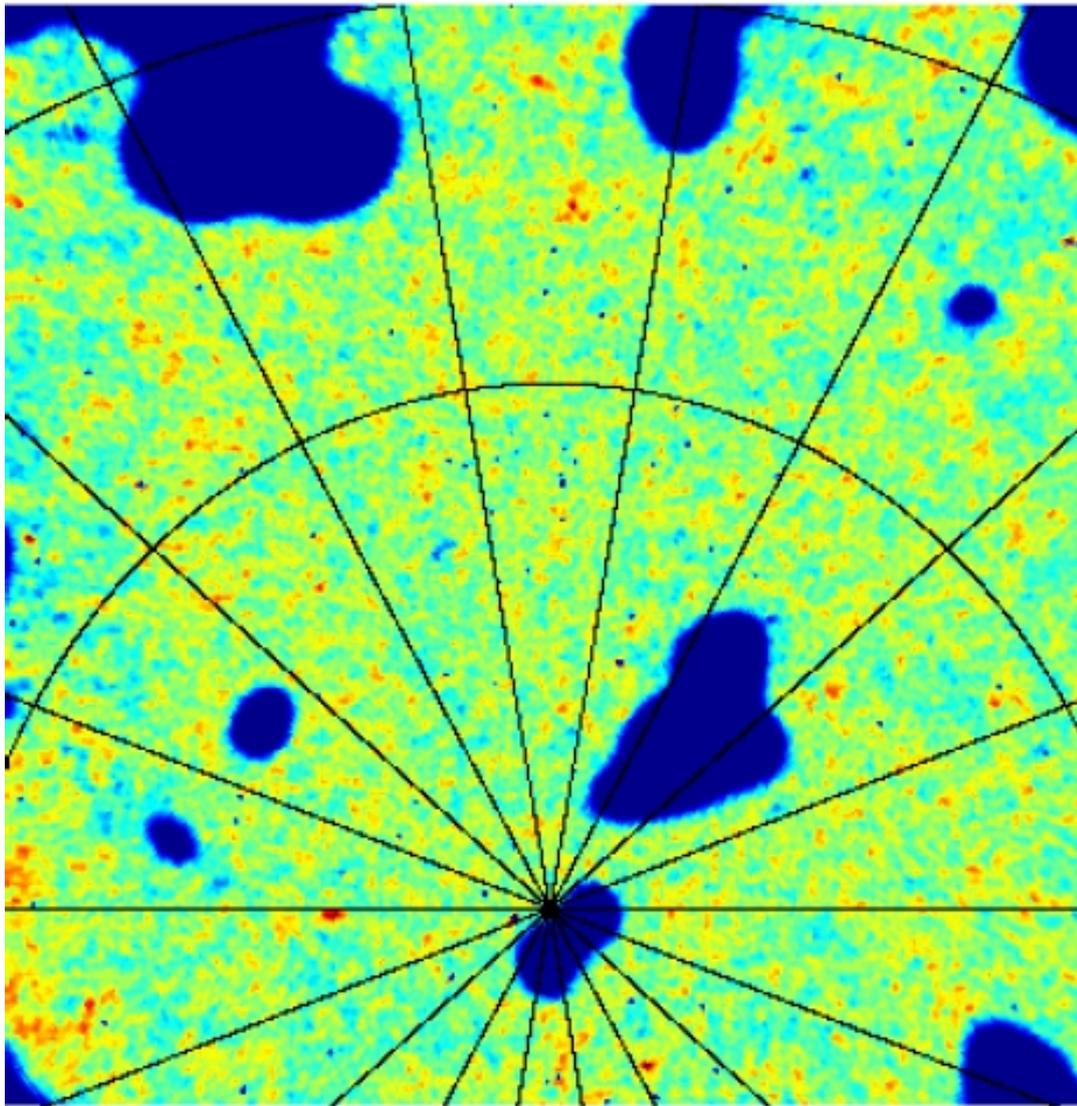


15.5 months
S/N < 1

NILC, $f_{\text{sky}} = 0.87$

Die Hintergrundstrahlung im Fern-Infrarot: eine Karte kosmischer Sternentstehung

353 GHz



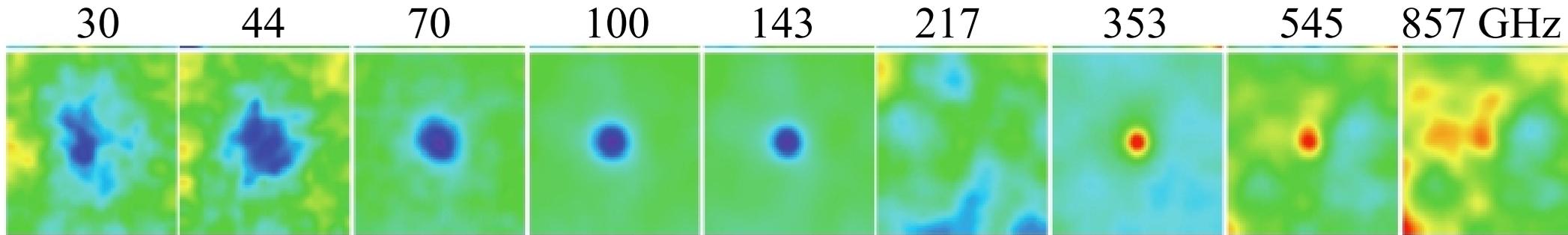
-0.070 0.070 MJy/sr
(350.0, -70.0) Galactic

Von neuen Sternen geheizter Staub ist von *Planck* quer durchs Universum sichtbar

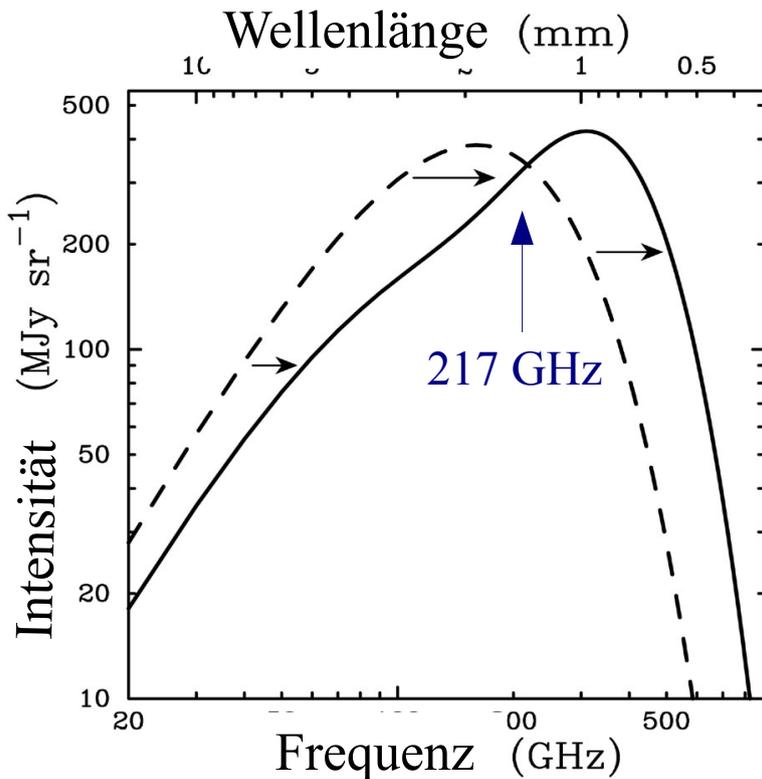
Diese Karte der Galaxien-Entstehung ist sehr gut mit der der Gesamtmasse korreliert.

Die Galaxienentstehung wird durch Schwerkraftseffekte der dunklen Materie erzeugt

Planck sieht auch normales intergalaktisches Gas



Sichtbarkeit eines Galaxienhaufens durch den SZ-Effekt

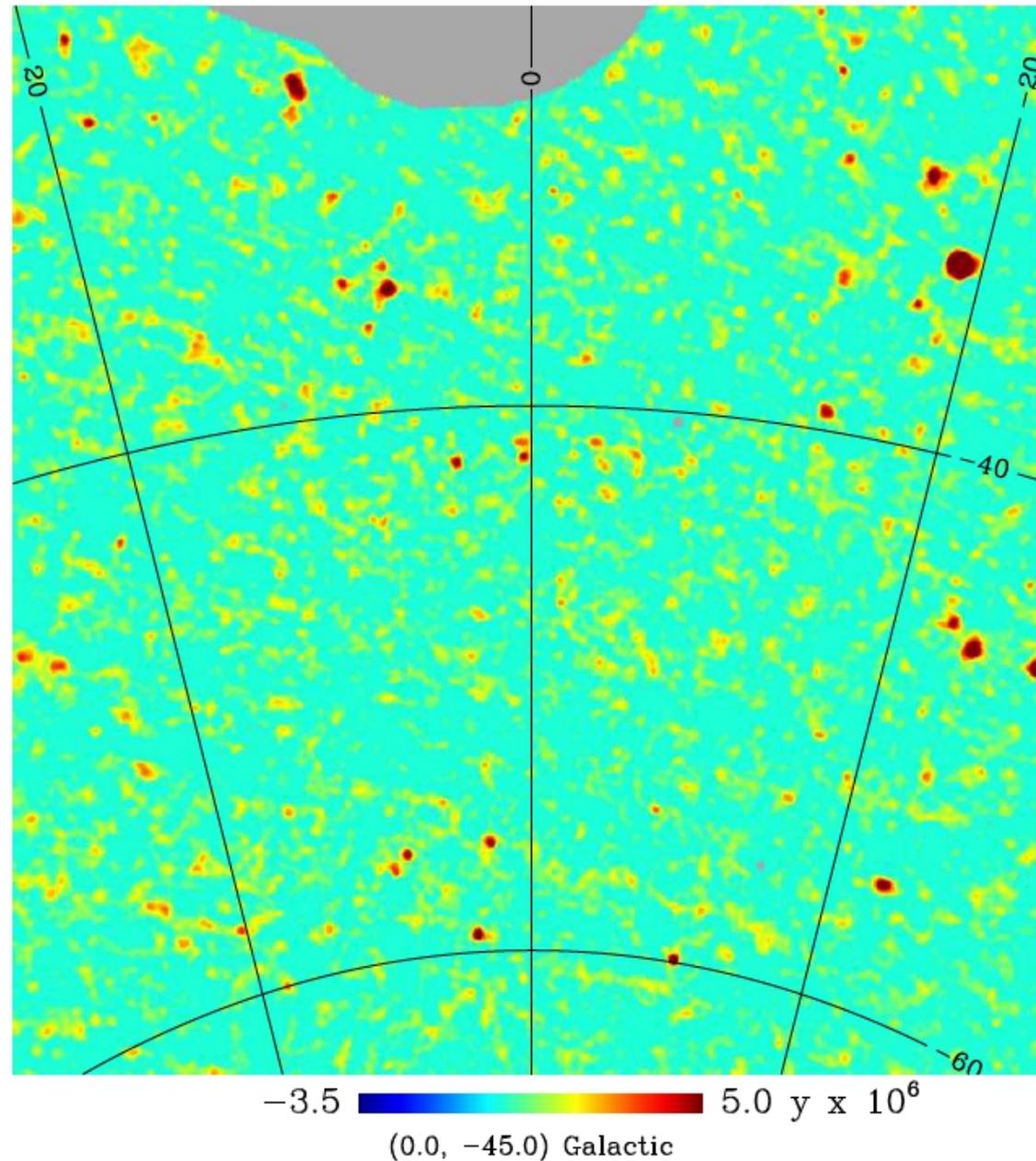


Die Photonen der Hintergrundstrahlung auf ihrem Weg zu uns werden durch Elektronen im heißen intergalaktischen Gas gestreut.

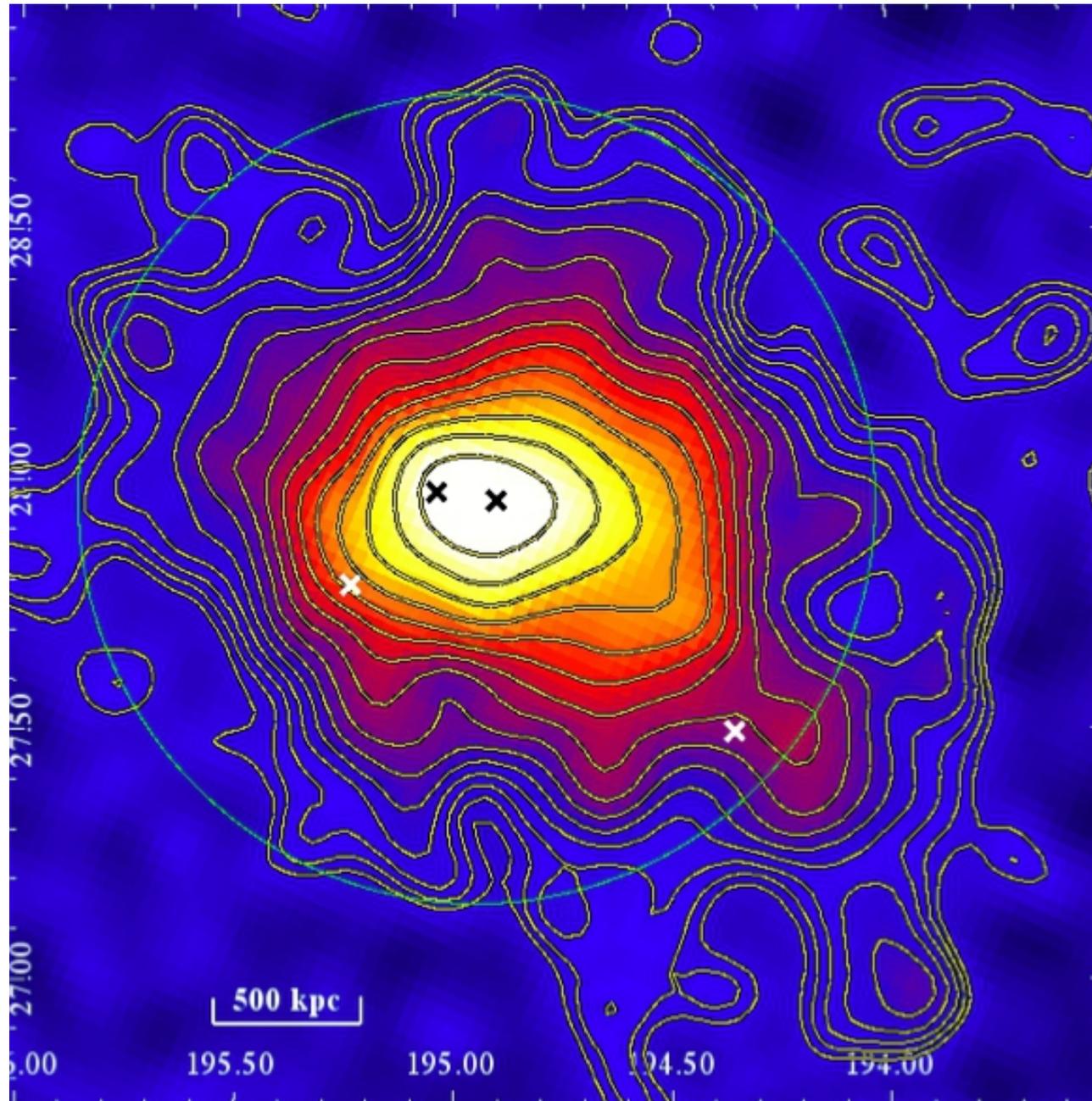
Diese Streuung erhöht ihre Energie, und die Auswirkung ist als ein Schatten bei niedriger Frequenz und ein Überfluss bei hoher Frequenz sichtbar.

Der Sunyaev-Zeldovich Effekt

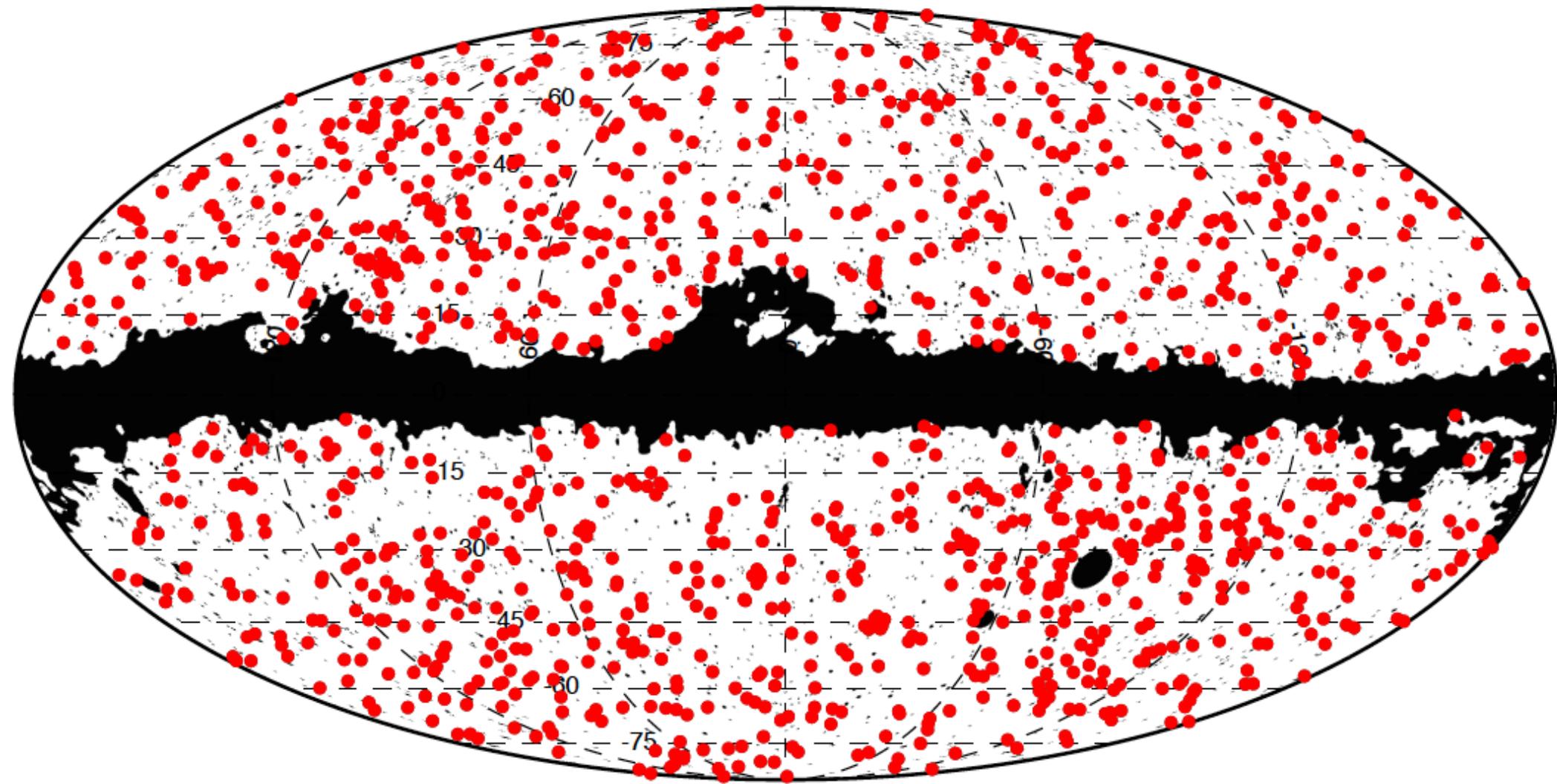
Eine SZ-Karte des heissen intergalaktischen Gases

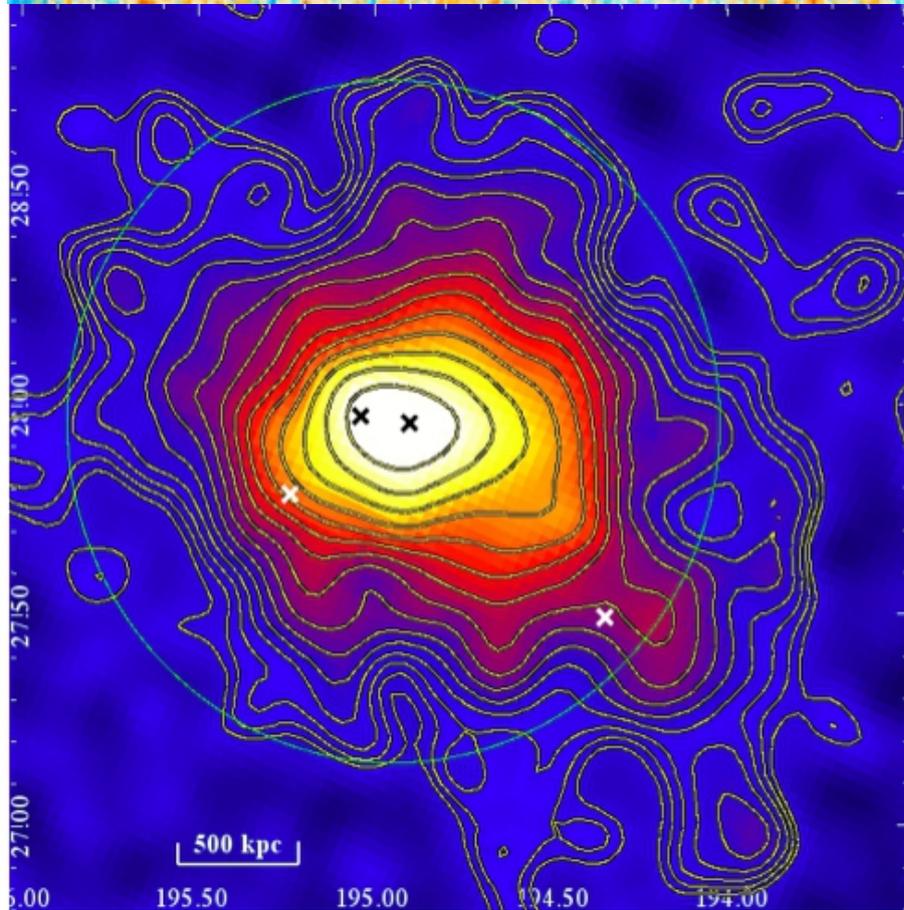


Der Coma-Haufen



Planck'scher Katalog von Galaxienhaufen





Durch Kartierung der kosmischen Wolken am Rand des sichtbaren Universums ermöglicht *Planck* die Erforschung des frühen Universums, das versteckt hinter diesen Wolken liegt.

Aus dieser Karte kann man die Geometrie und den Inhalt des Universums und den Ursprung aller ihrer Strukturen lesen.

Aus den *Planck*'schen Himmelskarten kann man auch Bilder des Masse- und Baryonen-Inhalts und der Sternentstehungsgeschichte des gesamten sichtbaren Universums konstruieren, das vor diesen Wolken liegt..

The scientific results that we present today are a product of the Planck Collaboration, including individuals from more than 100 scientific institutes in Europe, the USA and Canada



planck



DTU Space
National Space Institute



CSIC



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.



Planck is a project of the European Space Agency, with instruments provided by two scientific Consortia funded by ESA member states (in particular the lead countries: France and Italy) with contributions from NASA (USA), and telescope reflectors provided in a collaboration between ESA and a scientific Consortium led and funded by Denmark.