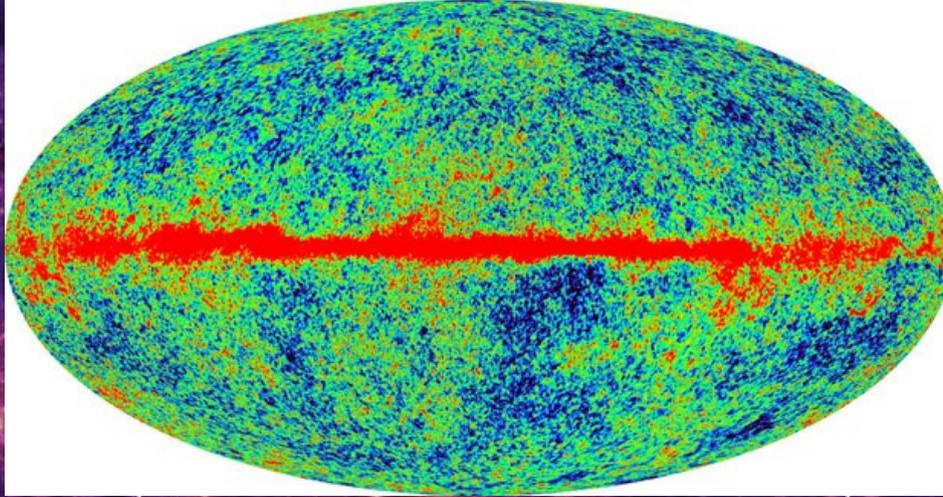
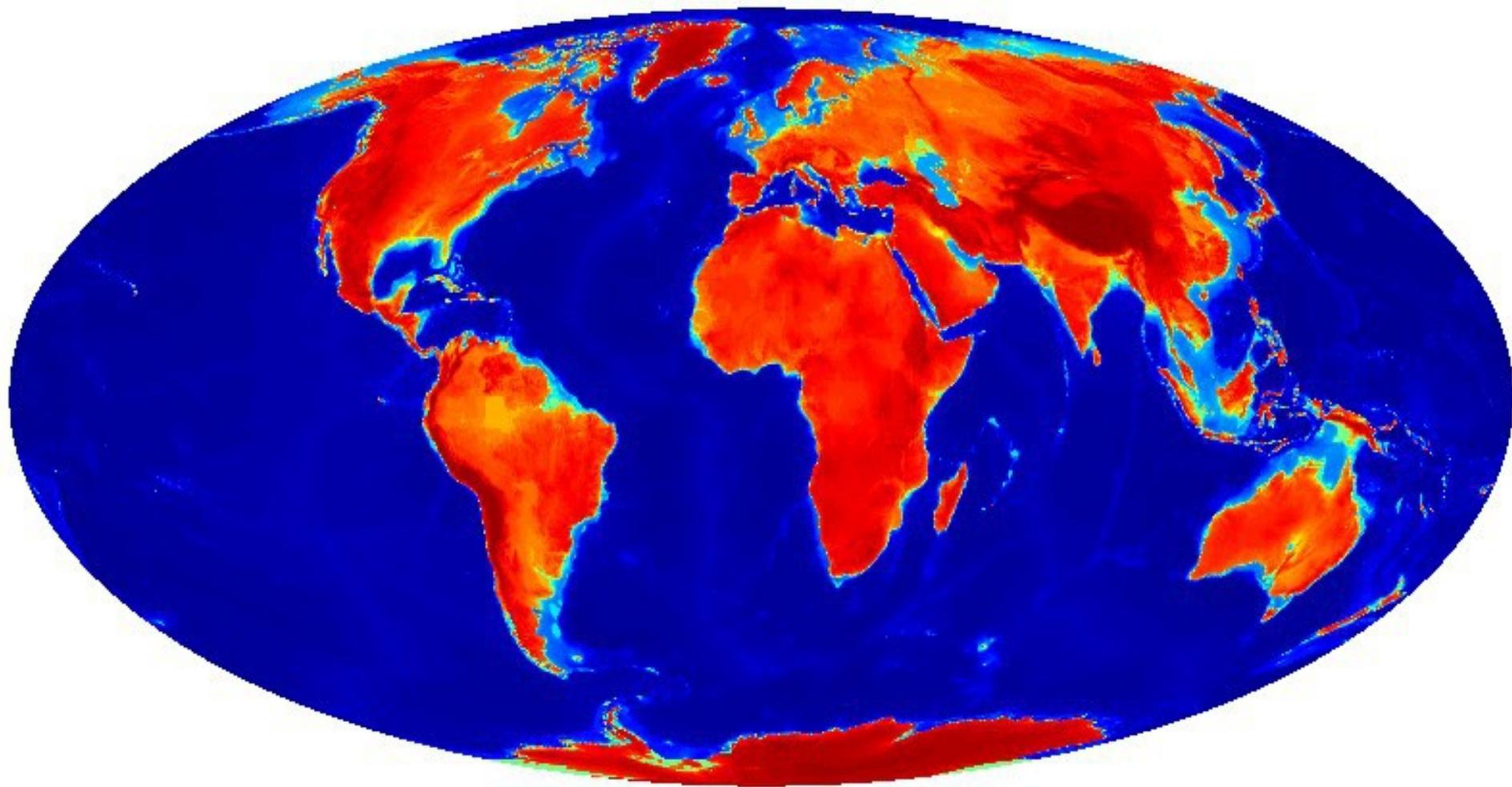


*Marsilius Vorlesung
Heidelberg 2012*

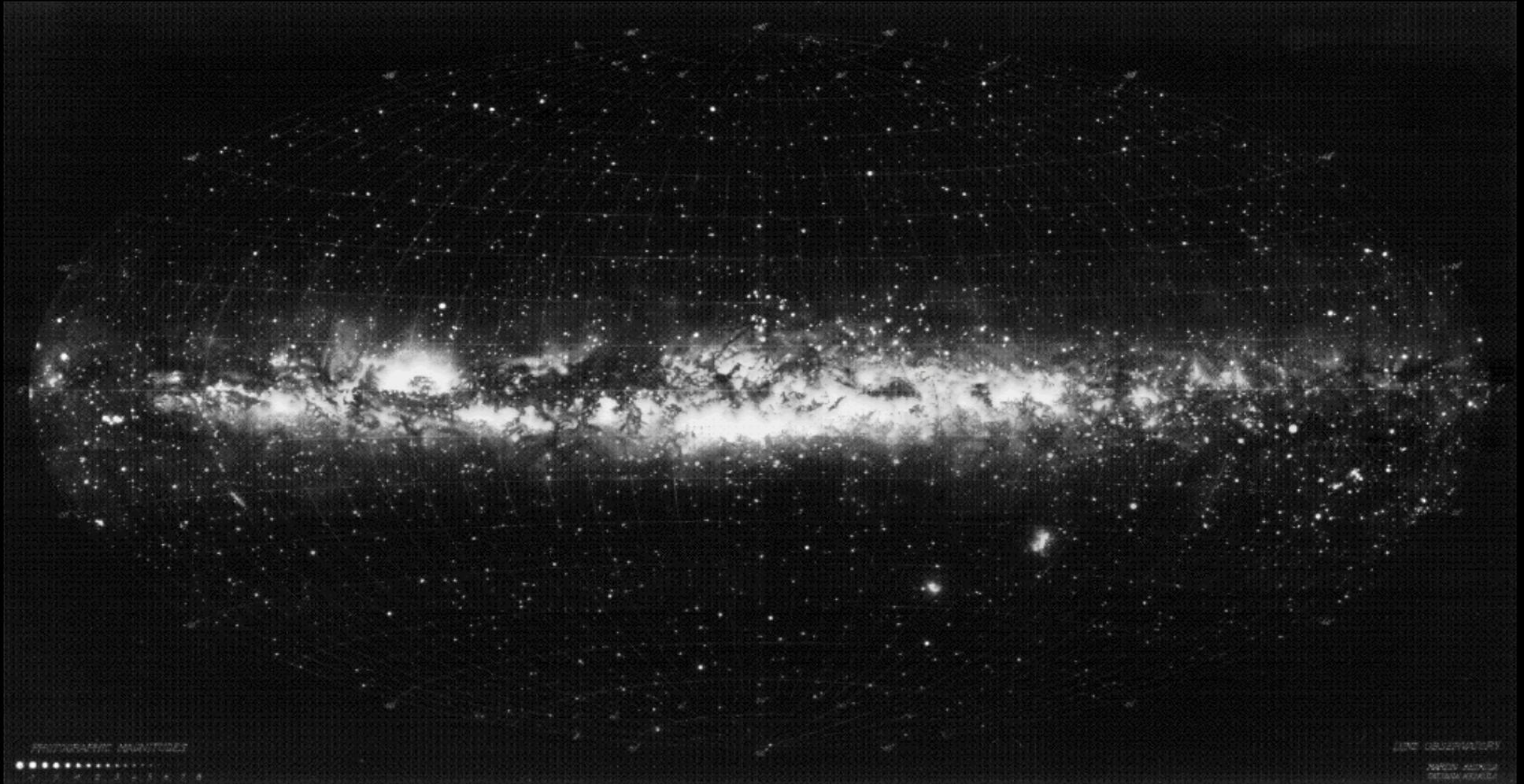


Kosmische Evolution: der Ursprung unseres Universums

*Simon White
Max Planck Institute for Astrophysics*

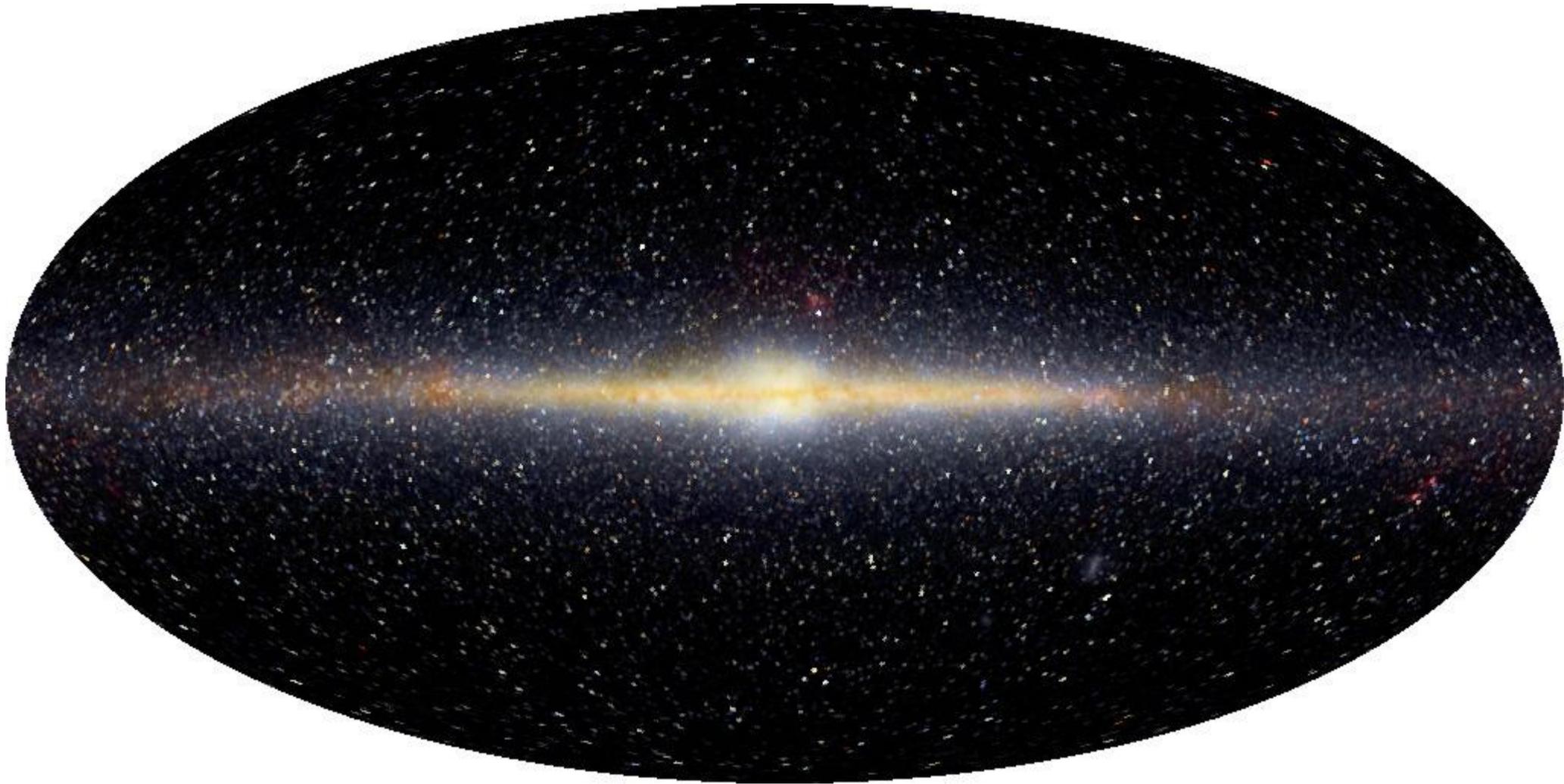


Sternkarte des ganzen Himmels



bis 10,000 Lichtjahre

IR-karte des ganzen Himmels



bis 30,000 Lichtjahre

Der Andromeda-Nebel: unser grösster Nachbar



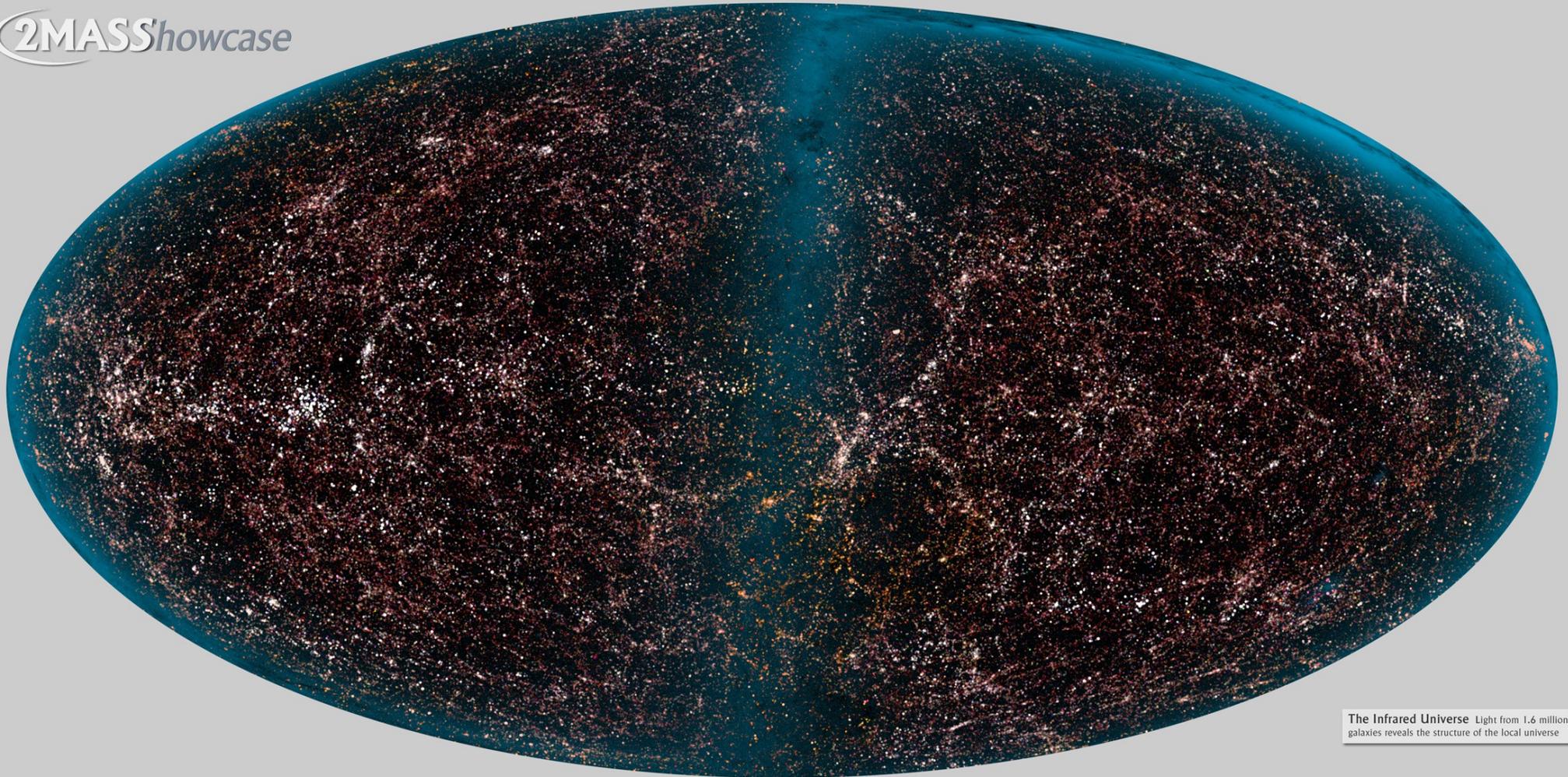
bis 2,000,000 Lichtjahre

**NGC 4414 -- eine
Galaxis wie die unsere**



Galaxienkarte des ganzen Himmels

2MASS Showcase



The Infrared Universe Light from 1.6 million galaxies reveals the structure of the local universe

Two Micron All Sky Survey Image Mosaic: Infrared Processing and Analysis Center/Caltech & University of Massachusetts

bis 1,000,000,000 Lichtjahre



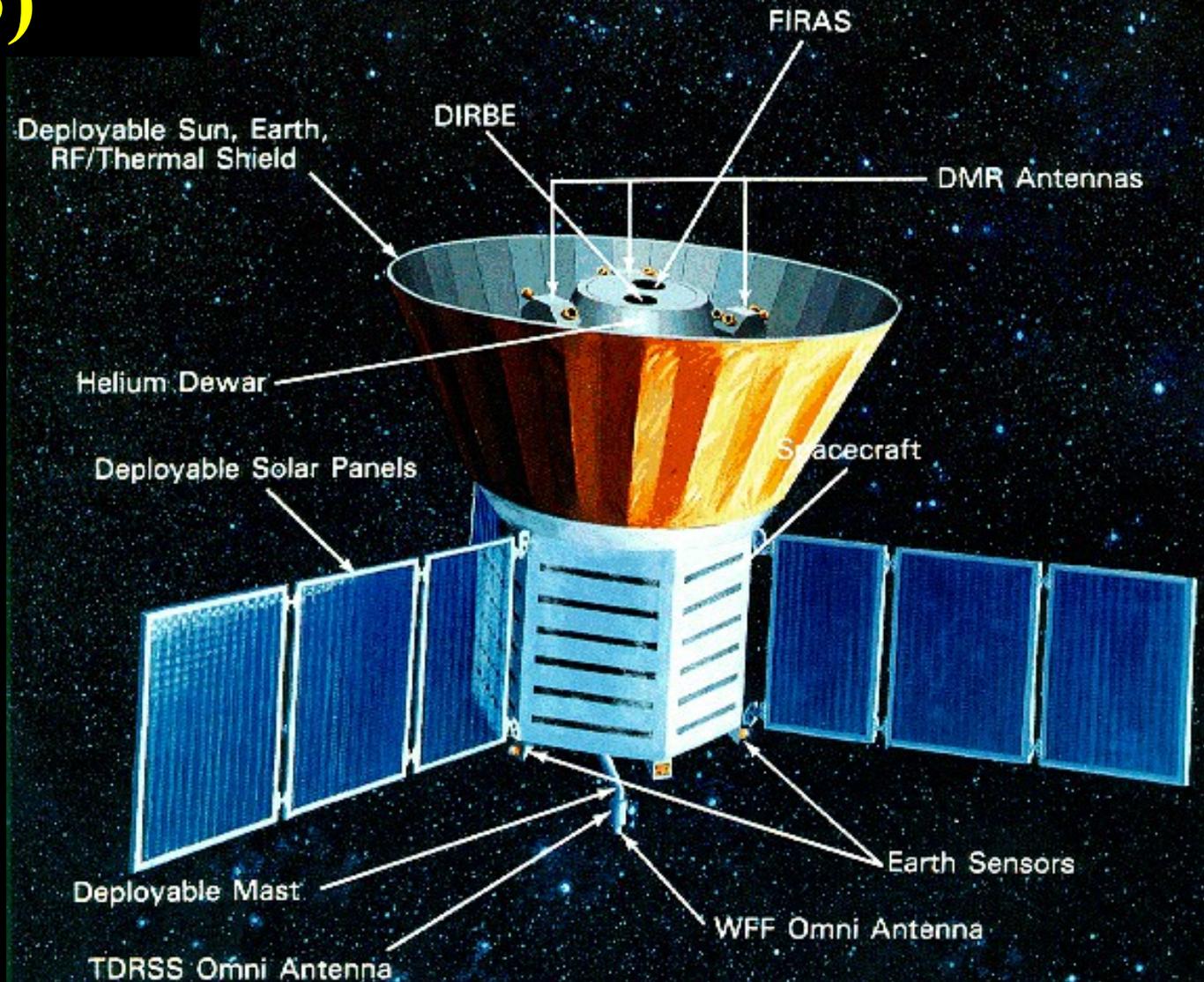
Die tiefste
Aufnahme, die
je gemacht
wurde

300 Stunden mit
dem Hubble
Raumteleskop

bis mehr als 30,000,000,000 Lichtjahre

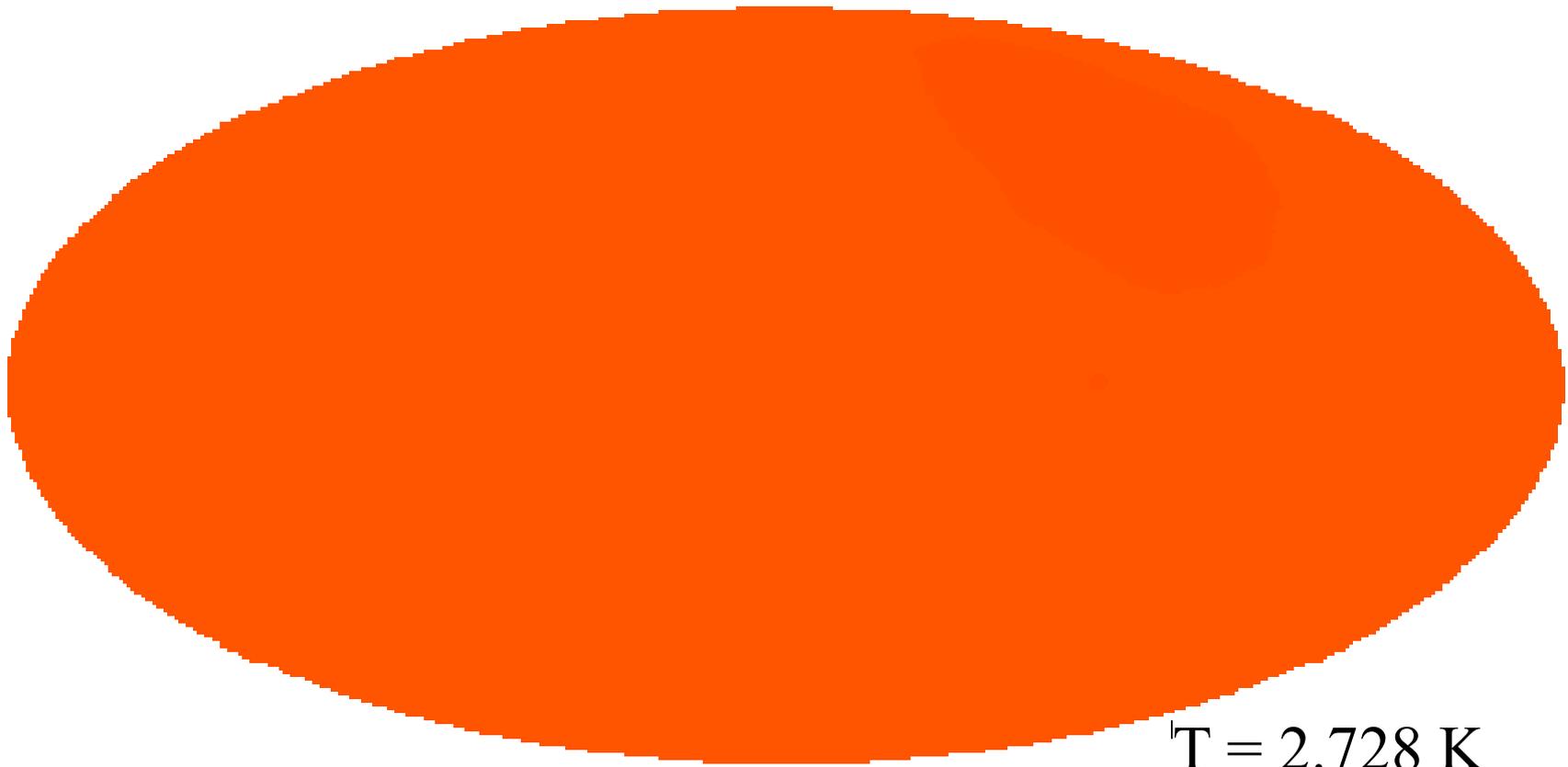
Die COBE Satellit (1989 - 1993)

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



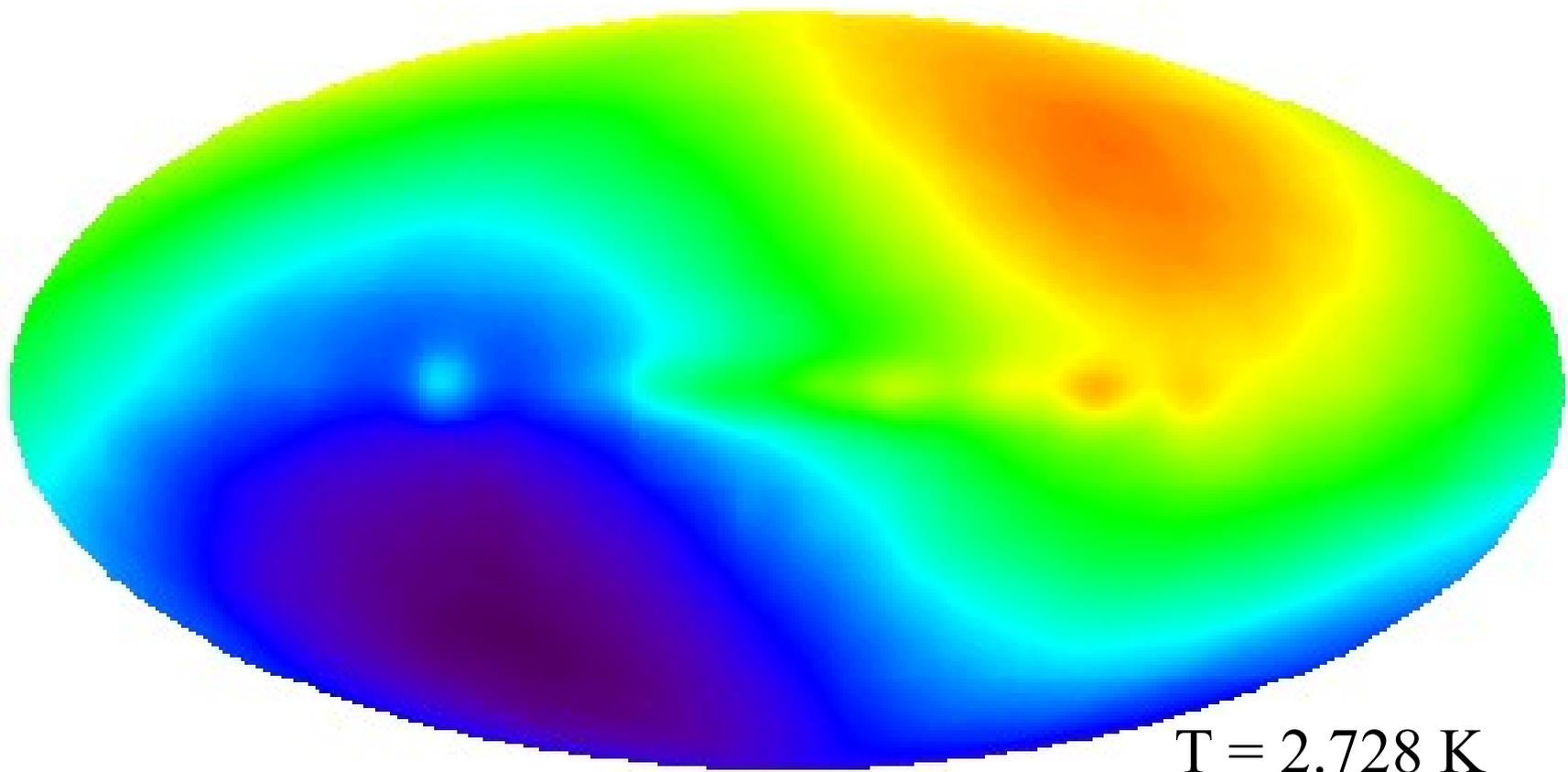
Nobelpreis 2006

COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



$T = 2.728 \text{ K}$
 $\Delta T = 0.1 \text{ K}$

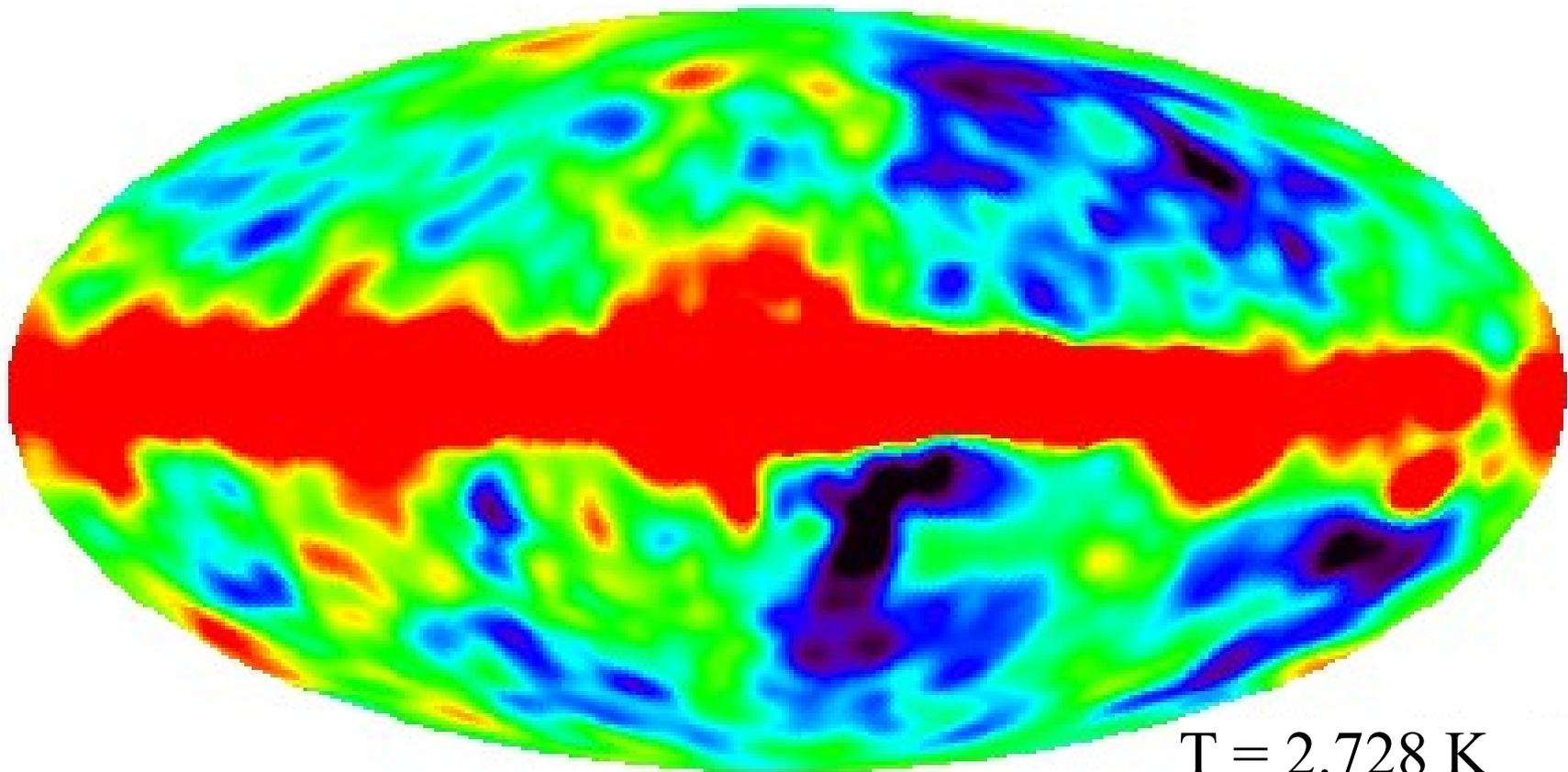
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



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

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

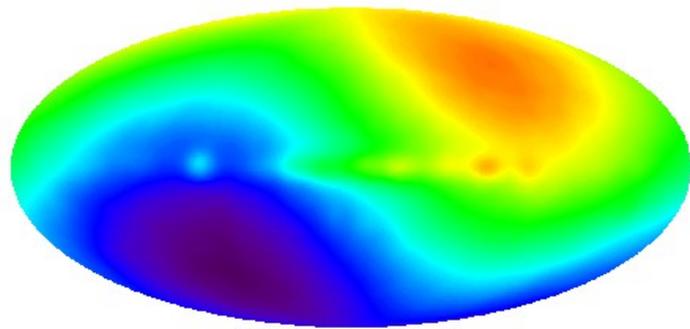
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



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

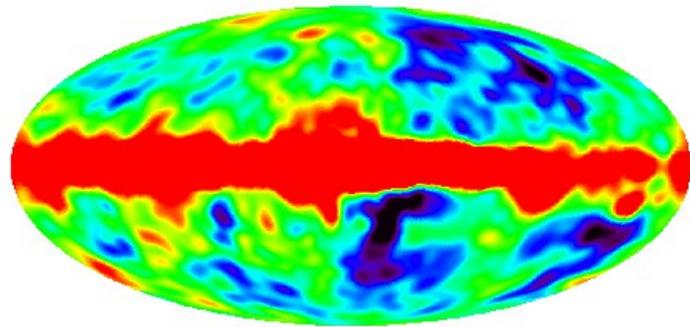
$$\Delta T = 0.00002 \text{ K}$$

Struktur in der COBE Karte

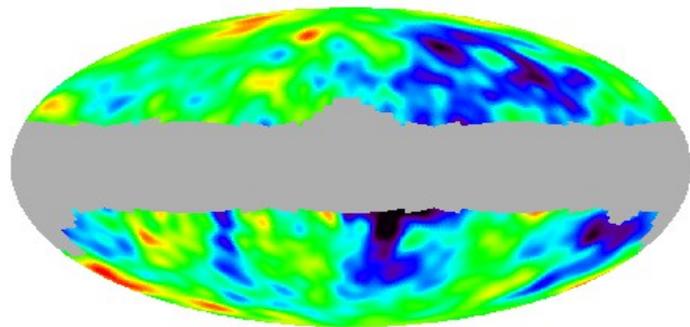


- Eine Himmelsseite ist kalt, die andere heiss
die Bewegung unserer Erde durch den Kosmos

→ $V_{\text{Milchstrasse}} = 600 \text{ km/s}$



- 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, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

Was sehen wir?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

Was sehen wir?

Schwache Schallwellen in den Wolken

Wann sehen wir diese Wolken?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Wie gross sind die Strukturen?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Wie gross sind die Strukturen?

Mindestens eine Milliarde Lichtjahre (in der COBE Karte)

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Wie gross sind die Strukturen?

Mindestens eine Milliarde Lichtjahre (in der COBE Karte)

Wann sind sie entstanden?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Wie gross sind die Strukturen?

Mindestens eine Milliarde Lichtjahre (in der COBE Karte)

Wann sind sie entstanden?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Wie gross sind die Strukturen?

Mindestens eine Milliarde Lichtjahre (in der COBE Karte)

Wann sind sie entstanden?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

Was sind sie heute geworden?

Struktur im Mikrowellenhintergrund

Wo liegt die Struktur?

In den kosmischen Wolken, 40 Milliarden Lichtjahre entfernt

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 heisser als heute

Wie gross sind die Strukturen?

Mindestens eine Milliarde Lichtjahre (in der COBE Karte)

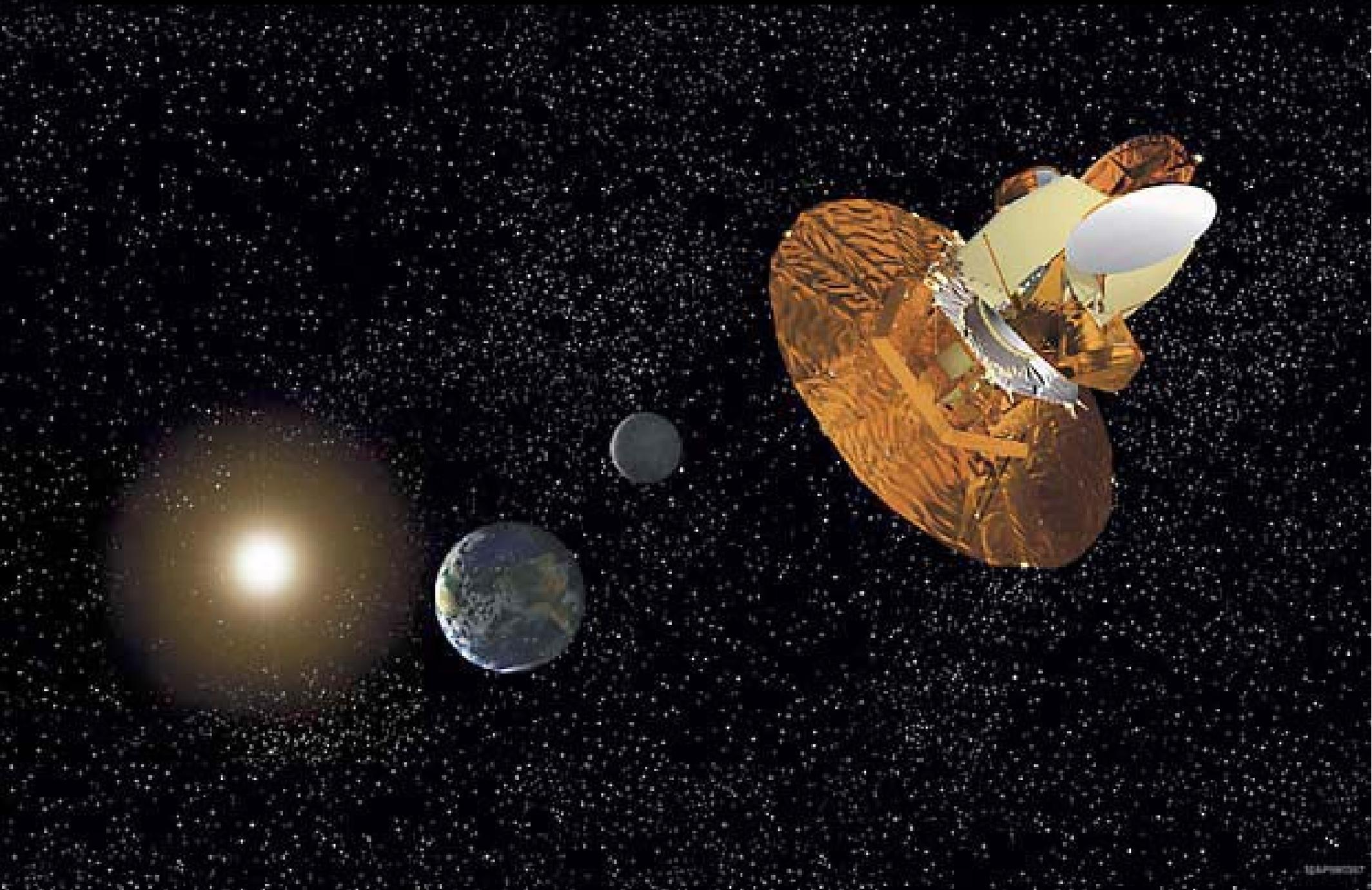
Wann sind sie entstanden?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

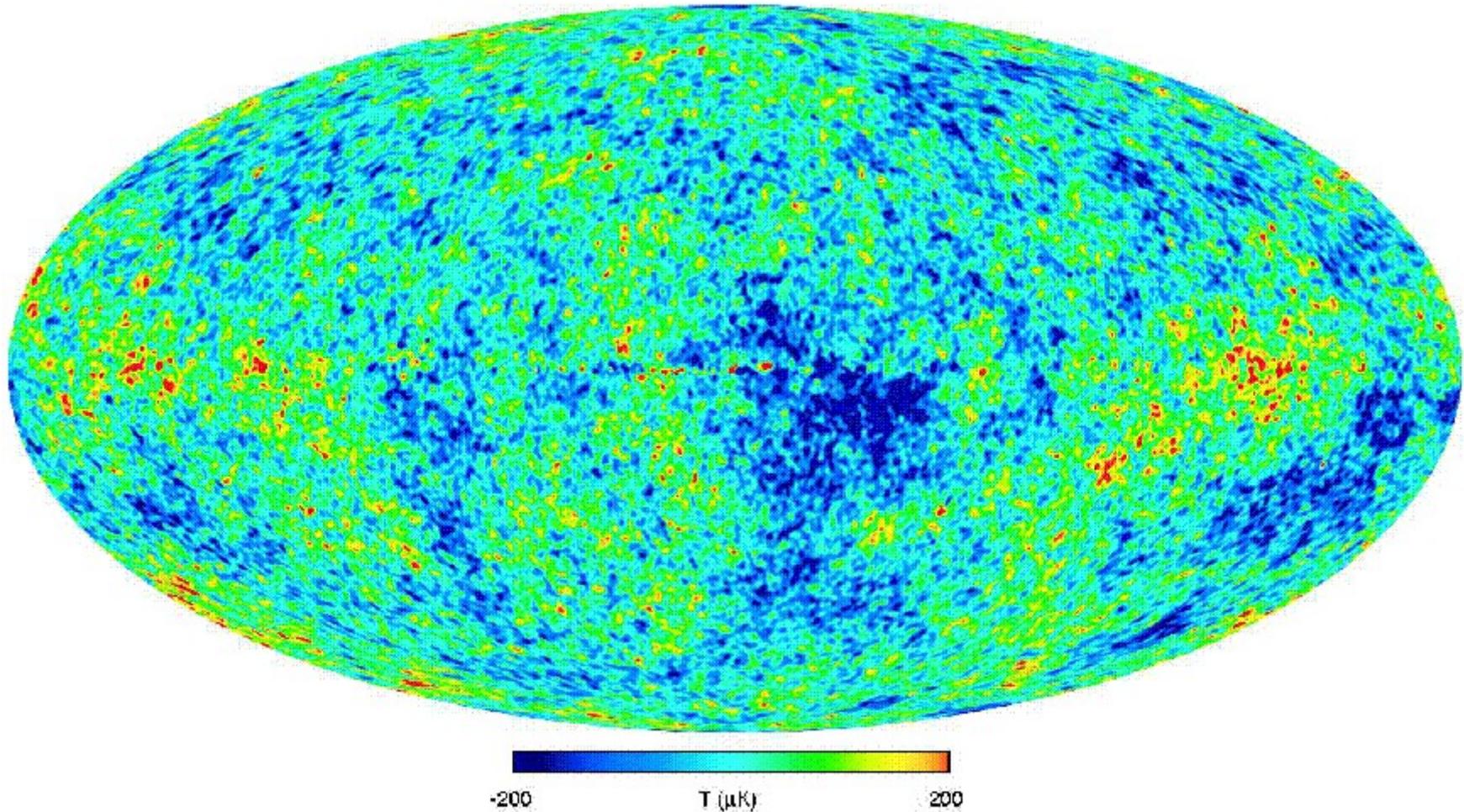
Was sind sie heute geworden?

Alles was wir um uns sehen

Das *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 ist 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 ist 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 ist durch folgendes beeinflusst:

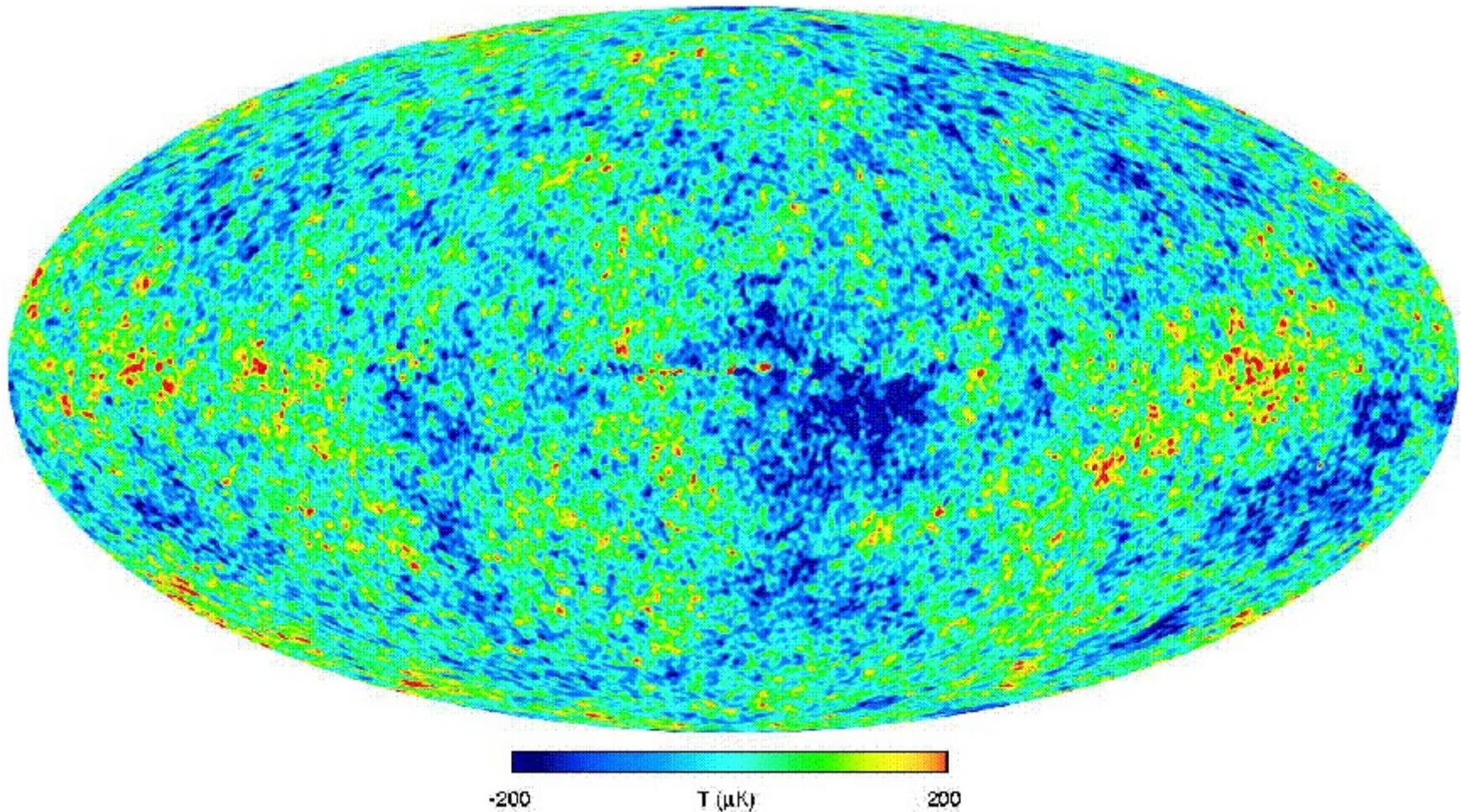
- die Geometrie des Universums
 - endlich oder unendlich
 - ewig oder vergänglich
- den Inhalt des Universums: die Anteile von
 - Licht (jetzt Mikrowellen)
 - normaler (baryonischer) Materie
 - anderer “dunkler” Materie
 - dunkler Energie
- den Ursprung der Strukturen

Was lernen wir von diesen Strukturen?

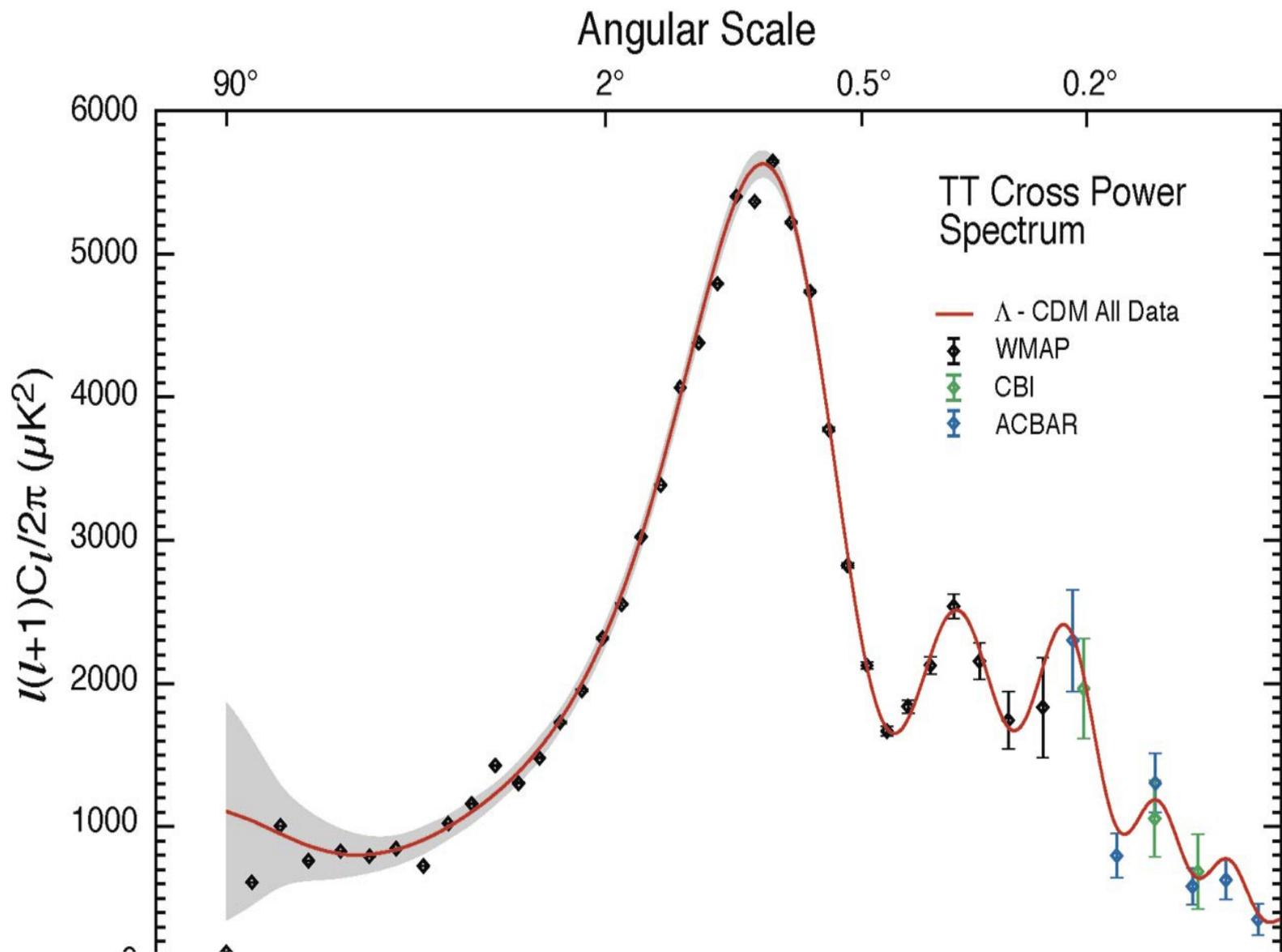
Das Muster der Strukturen ist durch folgendes beeinflusst:

- 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?

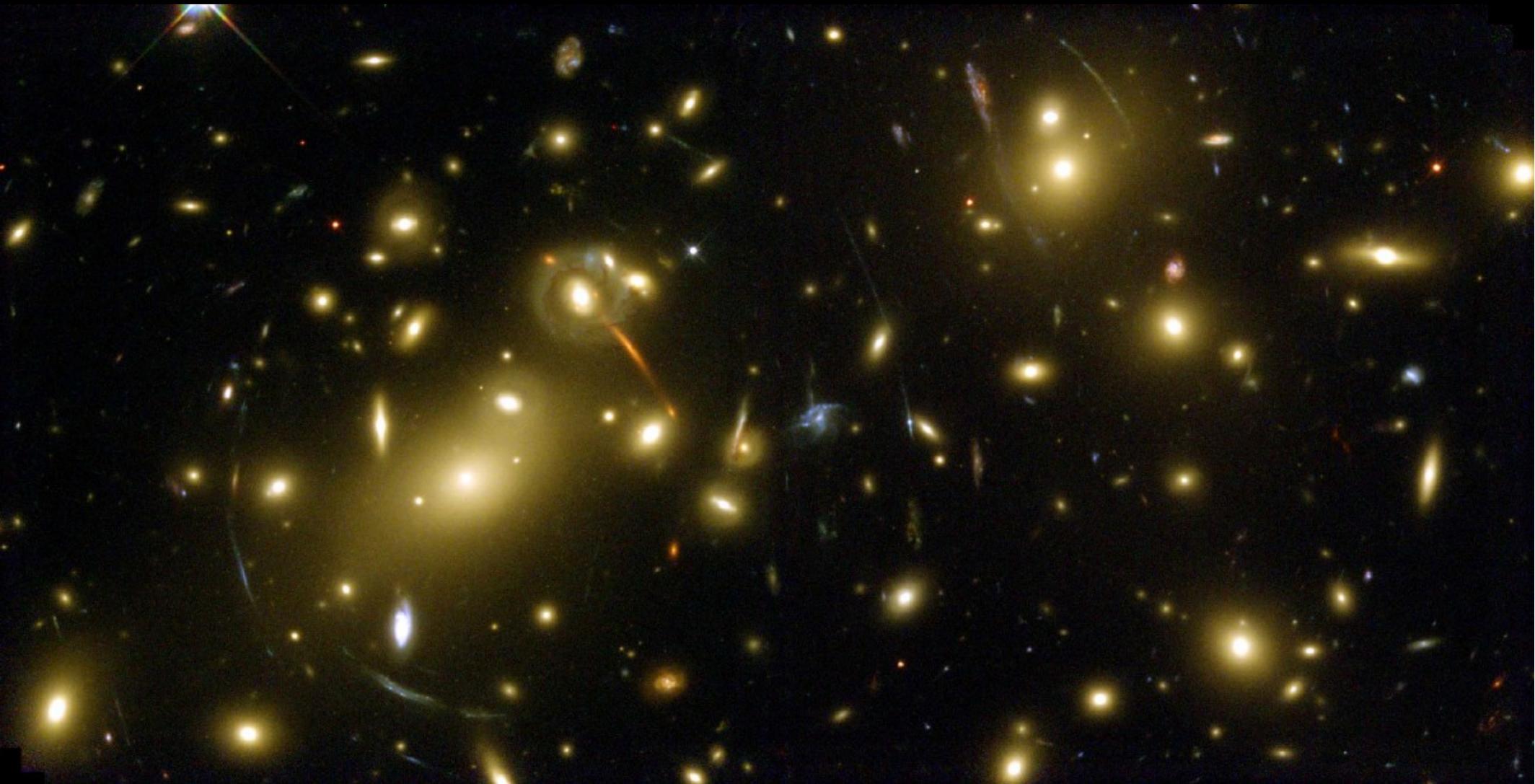
- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid

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 Materie (etwa 21%)
(durch Gravitationslinseneffekte “sichtbar”)

Ein Galaxienhaufen als gravitative Linsen

Abell 2218 $z=0.17$



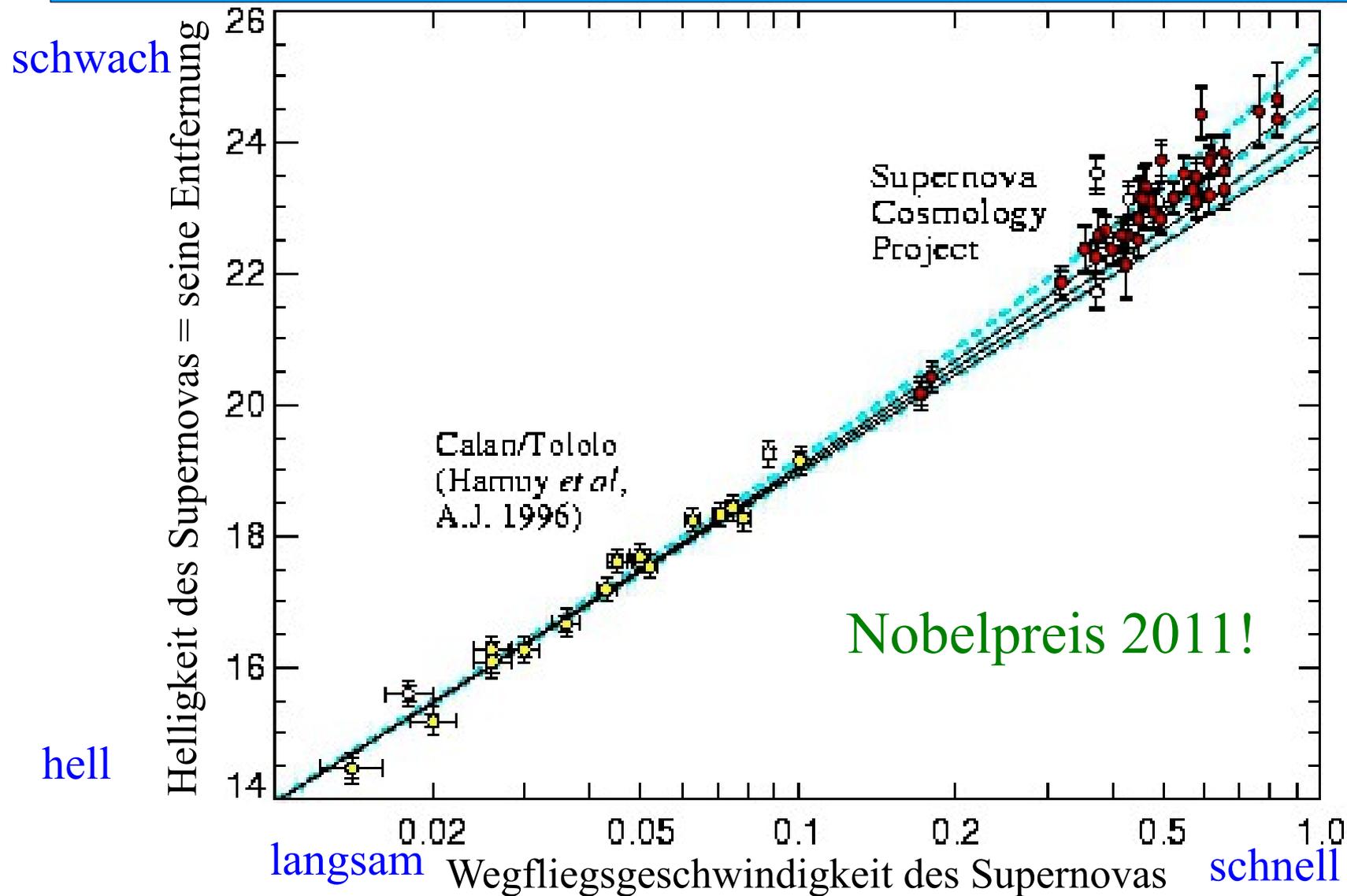
Was haben wir von WMAP gelernt?

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

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 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

Die Ausdehnung folgt die Gesetze von Hubble



Ein beschleunigter Kosmos? Rückkehr der Einsteinschen Eselei oder
Entdeckung einer neuen Art der Masse-Energie – Dunkle Energie?

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 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

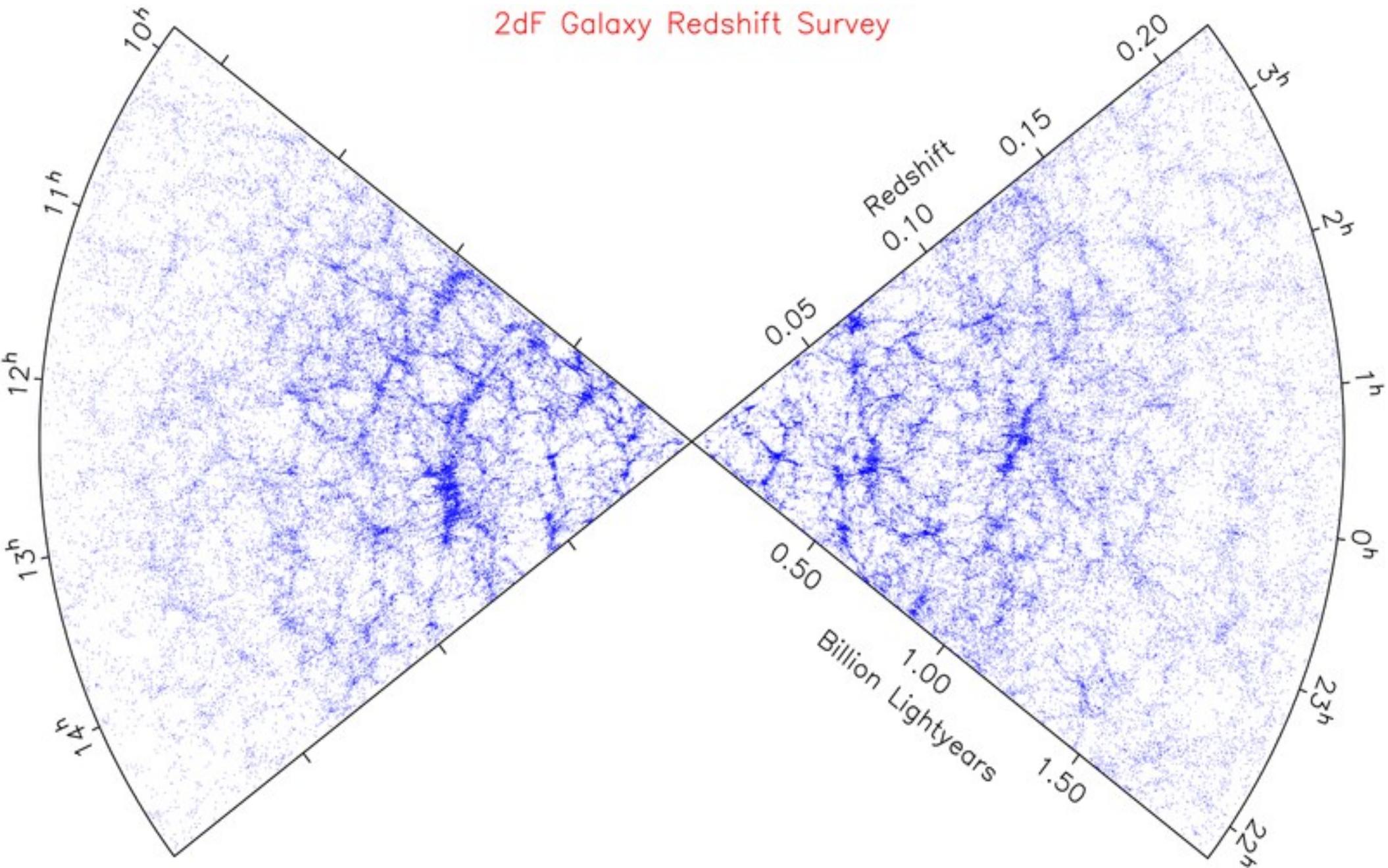
Was haben wir von WMAP gelernt?

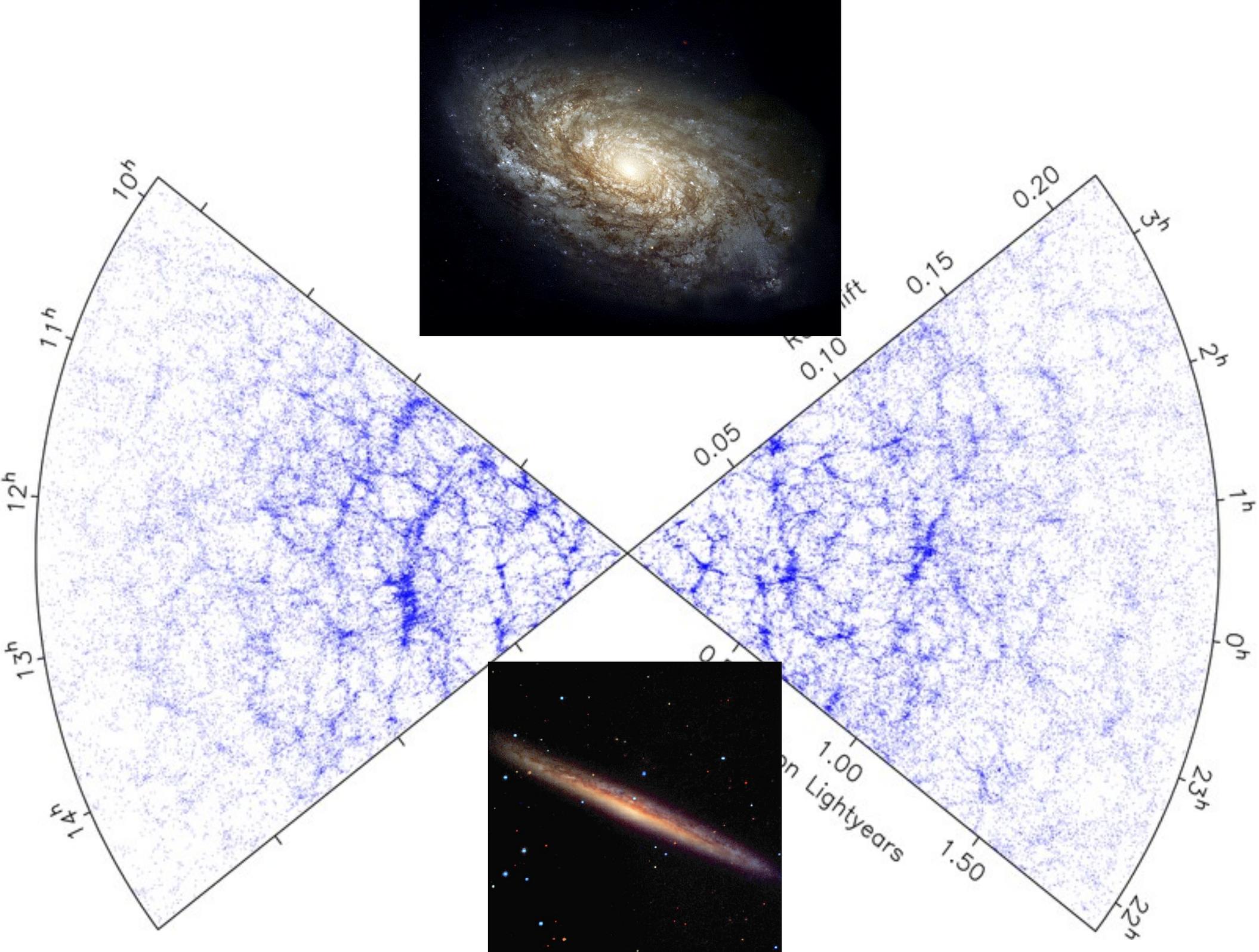
- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid
- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – etwa 4%
 es gibt viel nonbaryonische Materie (etwa 21%)
(durch Gravitationslinseneffekte “sichtbar”)
- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie,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

Alles kommt aus Nichts!

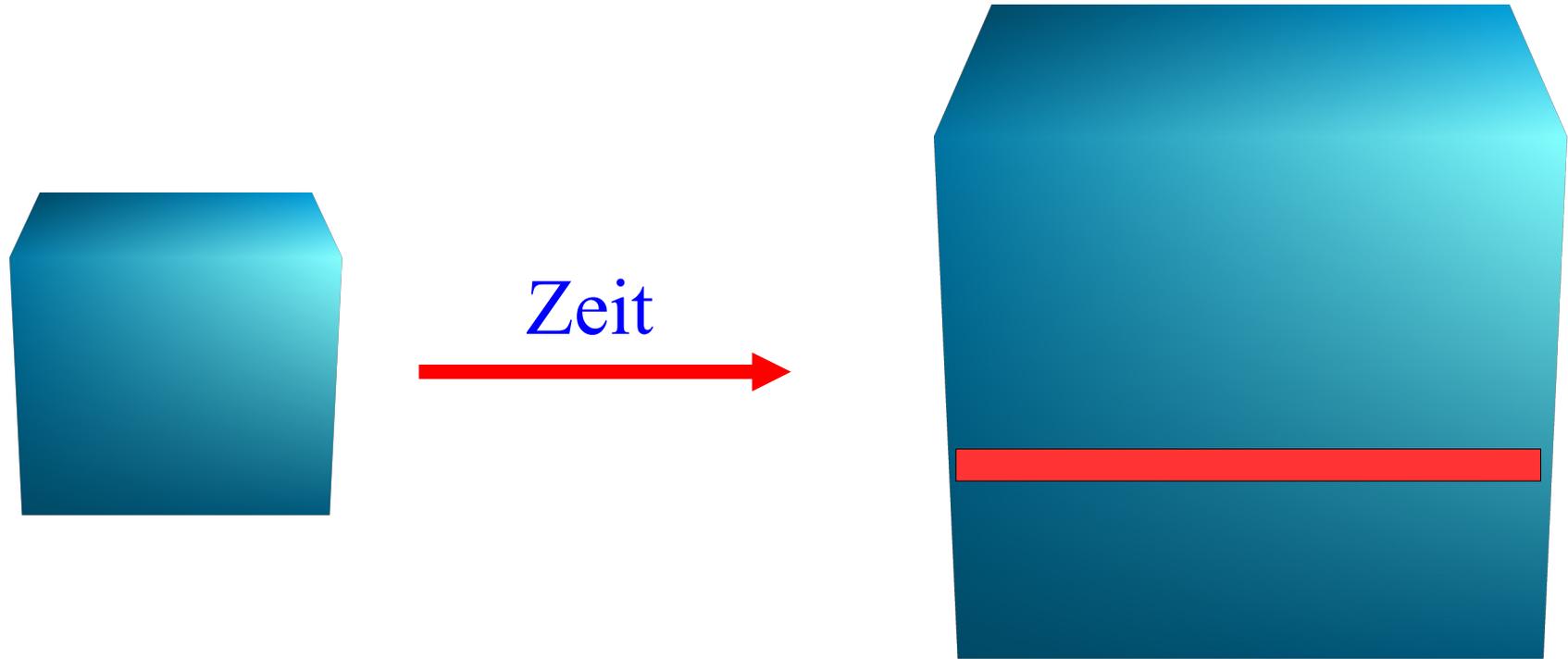
Grossräumige Strukturen im heutigen Universum

2dF Galaxy Redshift Survey





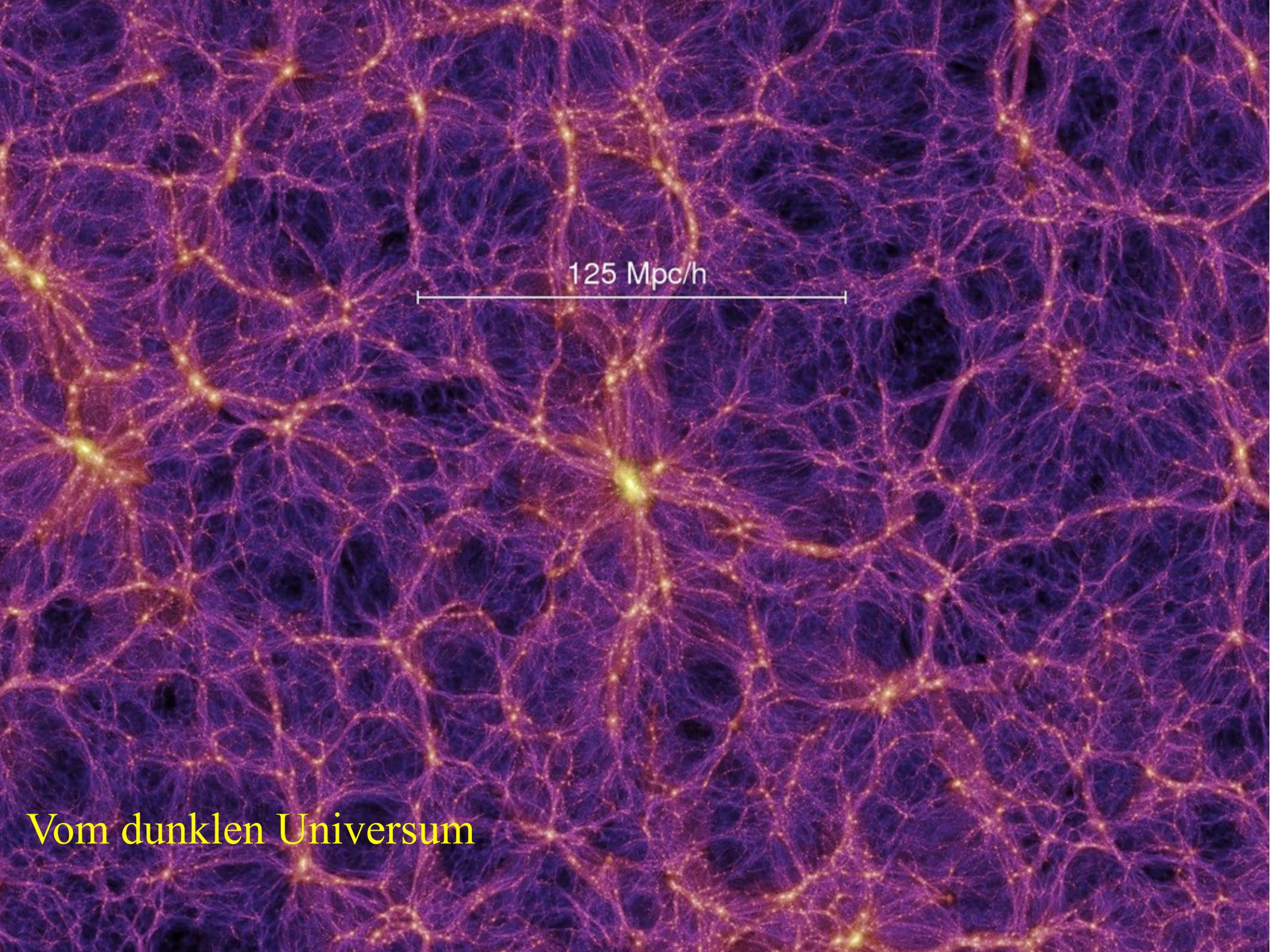
Wie man die Entwicklung des Universums auf einem Grossrechner verfolgt



- Die Materie in einem mit dem Universum ausdehnenden Würfel verfolgen
- 400,000 Jahre nach dem Urknall beginnen
- Anfangsbedingungen an die Hintergrundstrahlung anpassen
- Entwicklung vorwärts bis in die Gegenwart ausrechnen

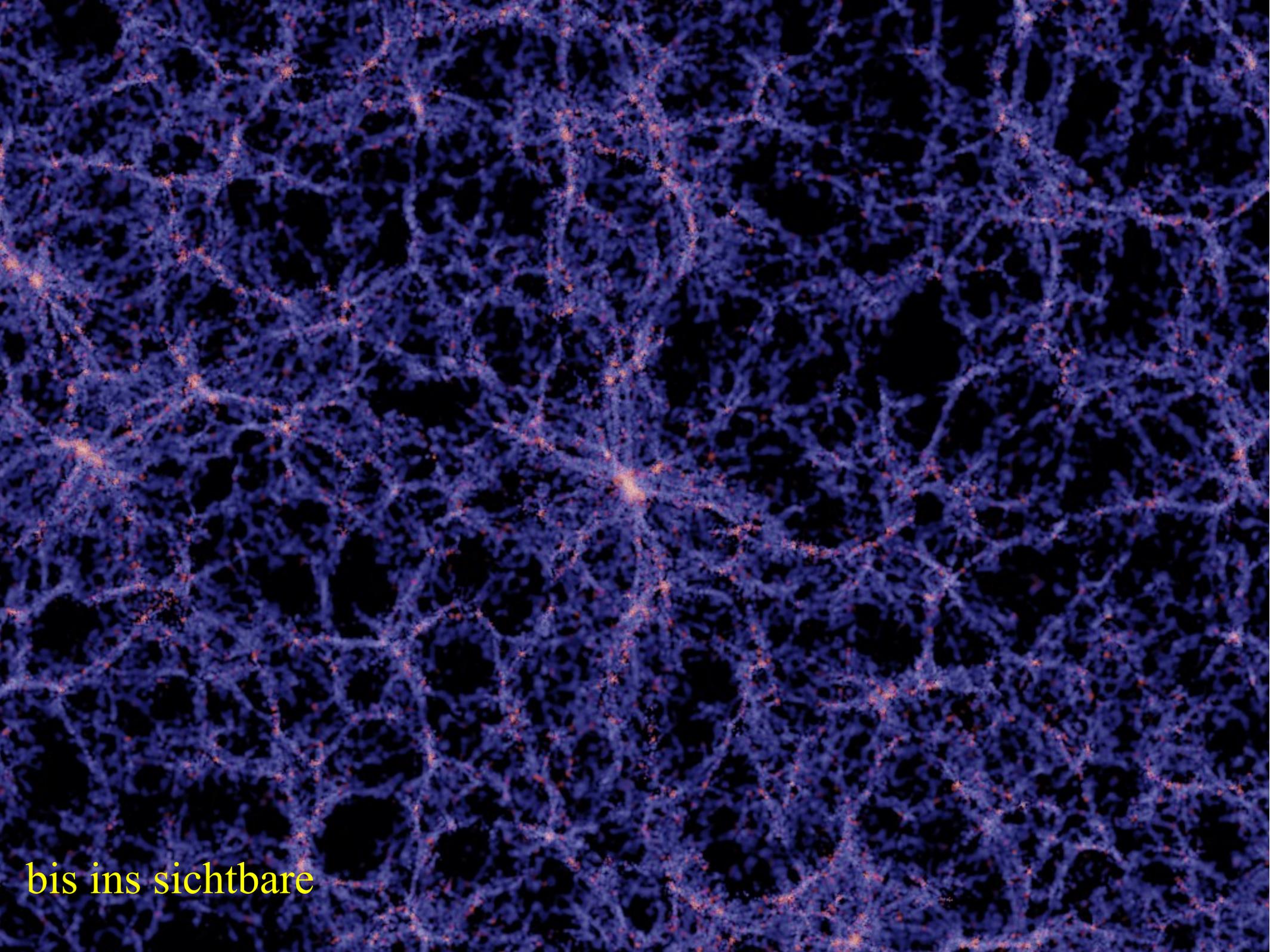
Blicke auf die dunkle Materie in einem virtuellen Universum

- Entwicklung dunkler Strukturen in einem dünnen Querschnitt
- Ein Zoom vom ganzen sichtbaren Universum bis in einen Galaxienhaufen
- Ein Flug durch das dunkle Universum

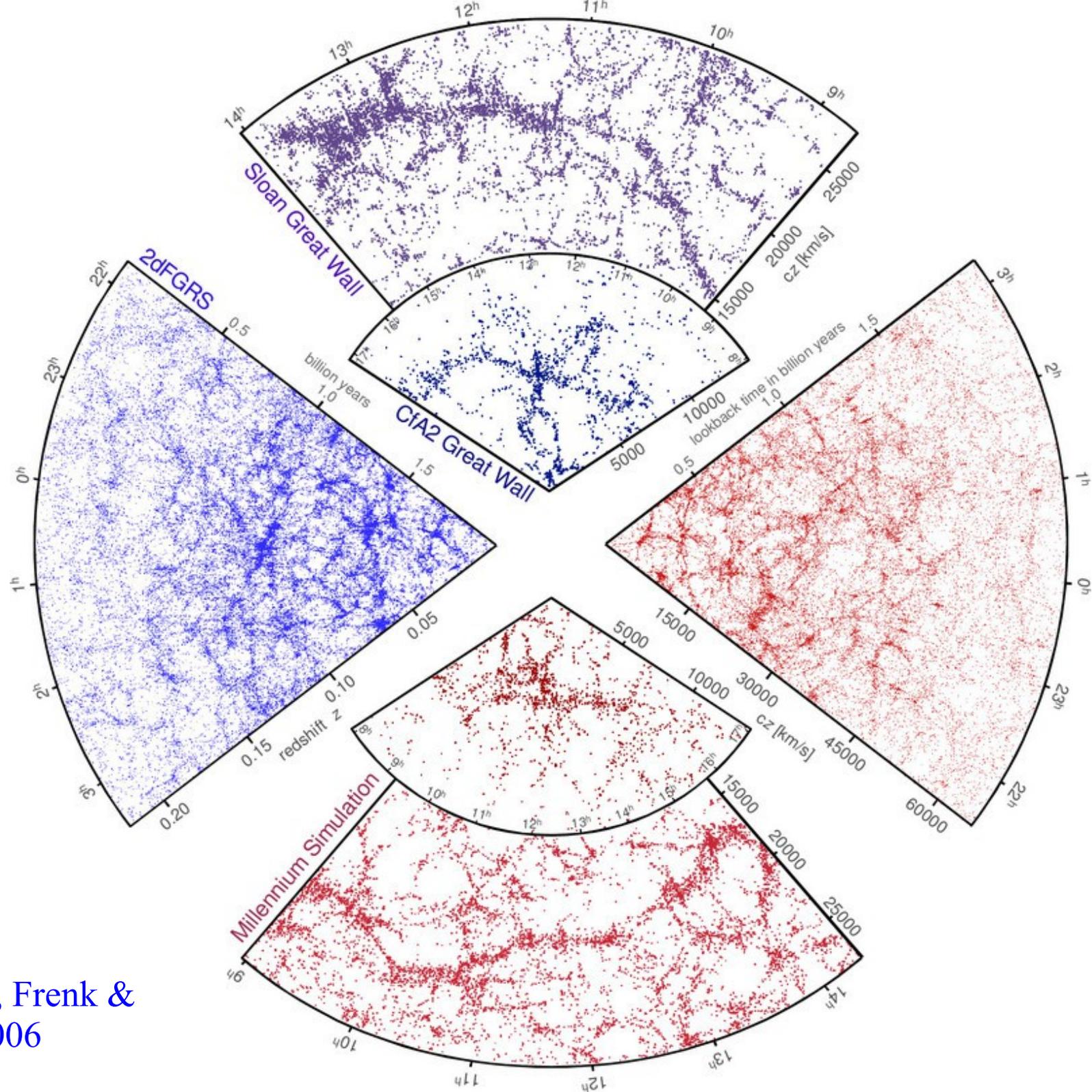


125 Mpc/h

Vom dunklen Universum

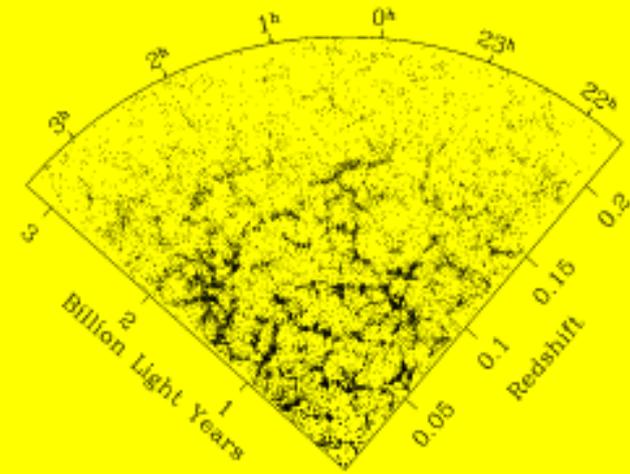
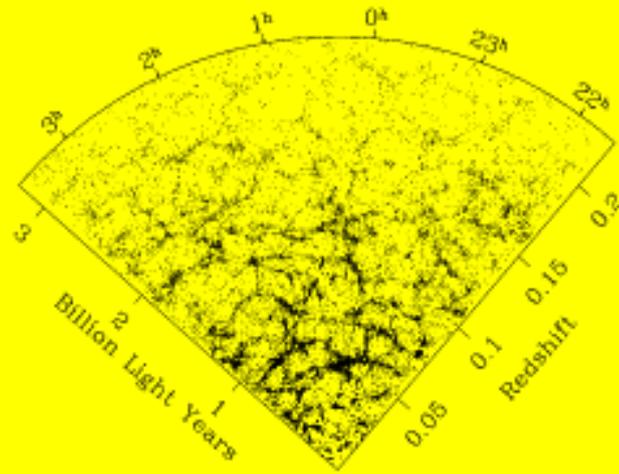
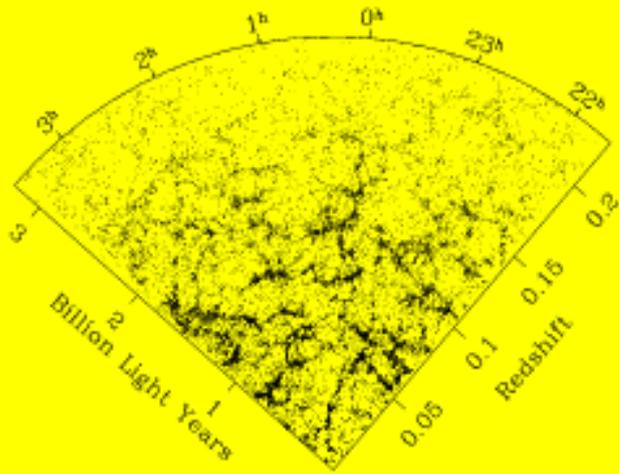
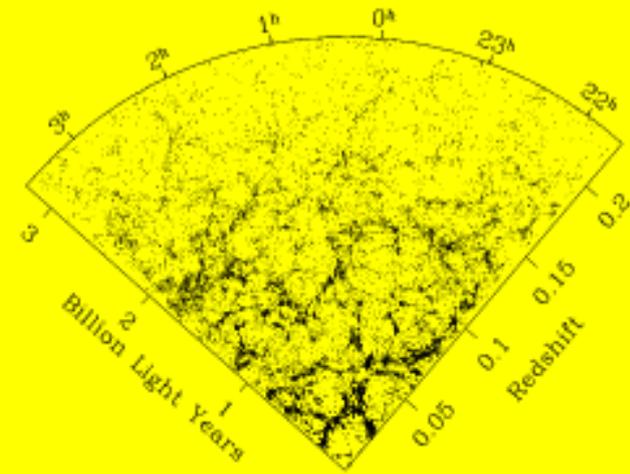
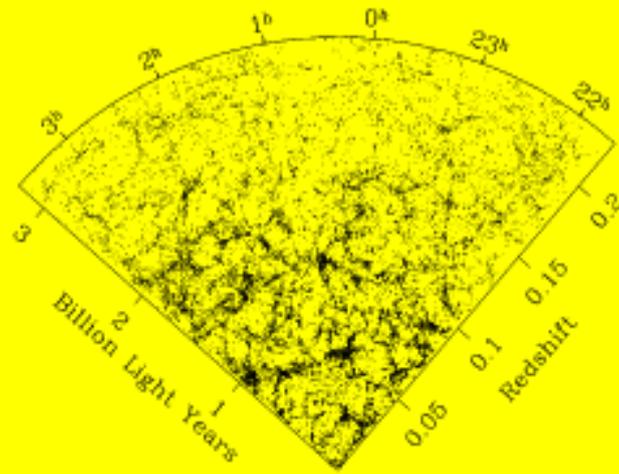
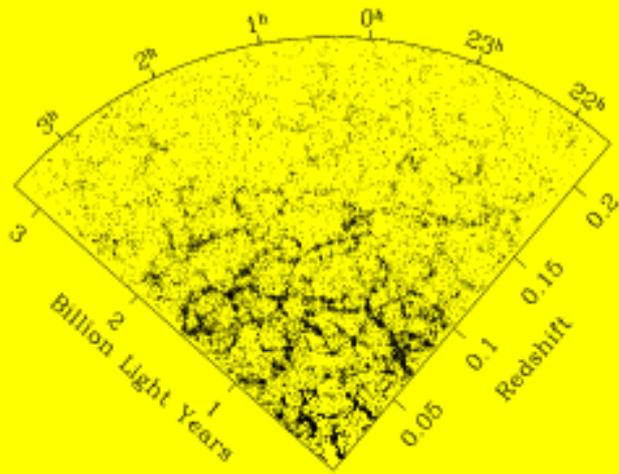


bis ins sichtbare



Springel, Frenk &
White 2006

Virtuelle versus reelle Universen



Der Mensch und das Universum....

Kurz nach dem Anfang war alles sehr heiss und fast uniform, eine Mischung aus H, He, Licht, Neutrinos und dunkler Materie

Alle Struktur hat ihren Ursprung in Quantenfluktuationen im sehr frühen Vakuum

Alle späteren Strukturen (Galaxien, Sterne, Planeten und Menschen) werden durch Schwereffekte erzeugt

Wir sehen direkt die Vergangenheit der Anderen.

Ist sie auch die Unsere?

Ist unser Verständnis eine Eigenschaft des Universums oder eine Eigenschaft des Menschen?

Wie eng ist die Evolution unseres sichtbaren Universums mit der des Menschen verknüpft ?

Der anthropische Argument....

Ein Problem: Die Dichte der dunklen Energie in unserem sichtbaren Universum ist sehr klein – eine Protonmasse pro Kubikmeter
Typische physikalische Vorhersagen sind 10^{120} mal grösser
Warum ist der gemessene Wert so klein?

Die Lösung?: Nur bei einem so kleinen Wert ist die Evolution von Menschen möglich, die die Messung machen könnten

Grössere +ve Wert \longrightarrow frühere beschleunigte Ausdehnung

Grössere -ve Wert \longrightarrow kollabiert früh wieder

In beiden Fällen: keine Sternentstehung \longrightarrow keine Menschen

Das Universum ist wie es ist, weil wir darin sind!

Kann man auch die Zukunft ausrechnen?

- Was wird aus unserer Milchstrasse, wenn sie in ~ 3.5 Milliarden Jahre auf die Andromeda Nebel stösst?
- Was wird aus der Erde?
- Was wird aus der Menschheit?