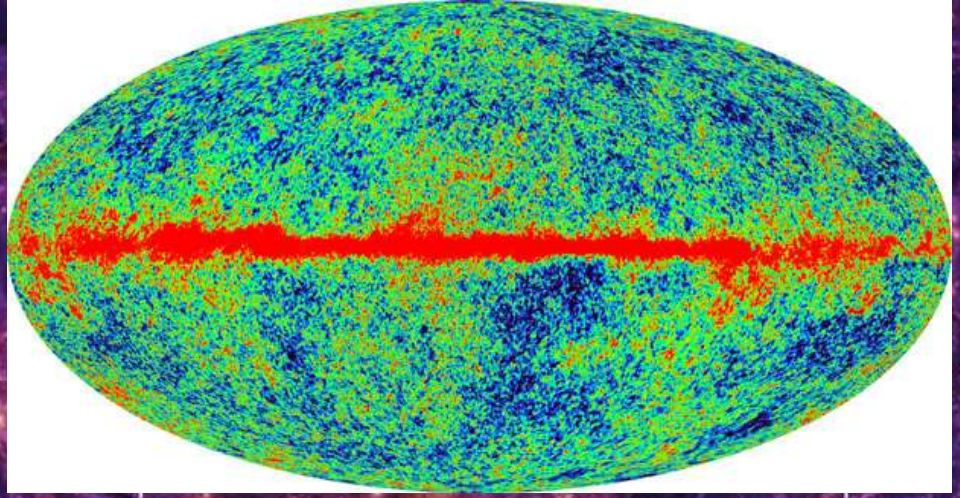
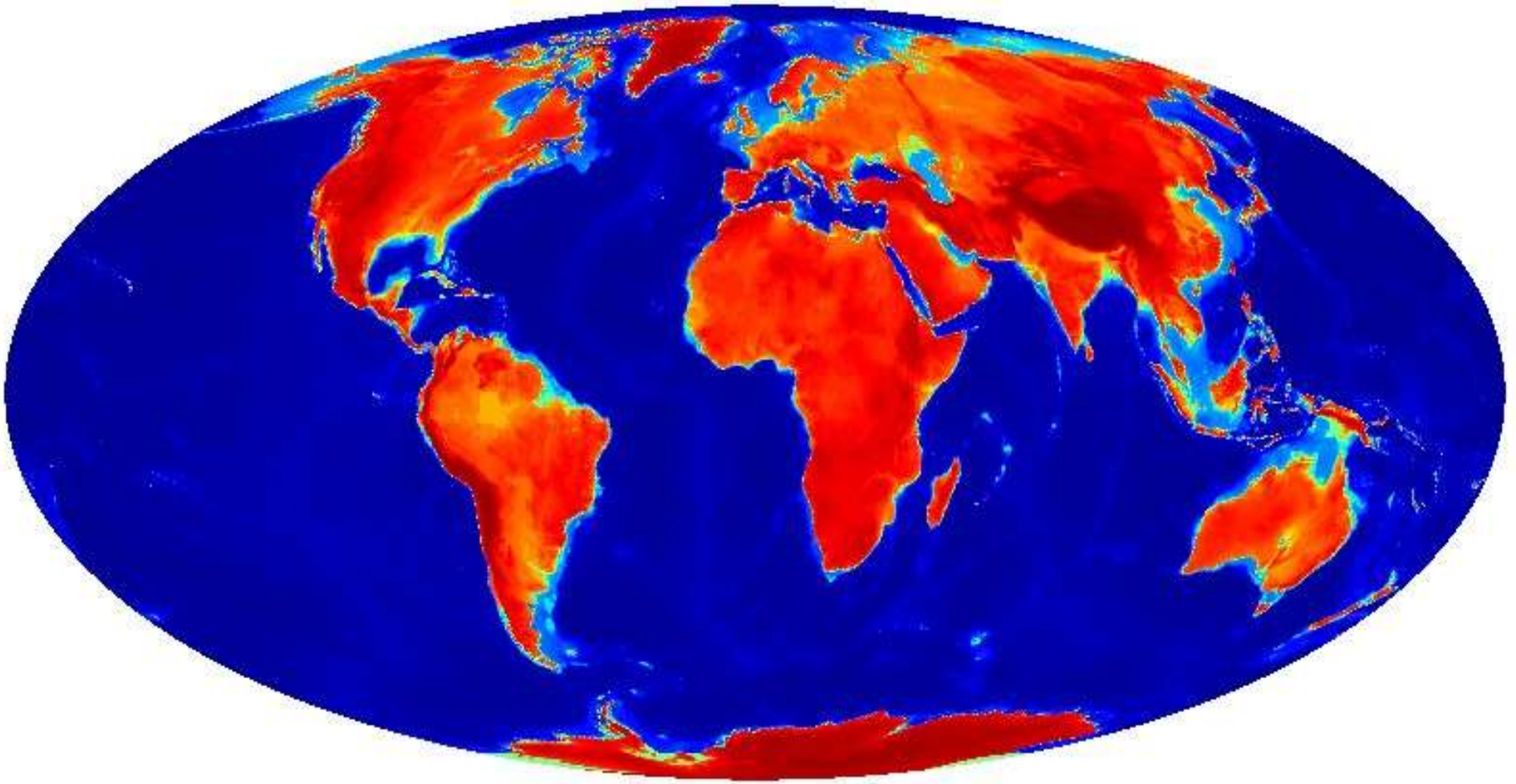
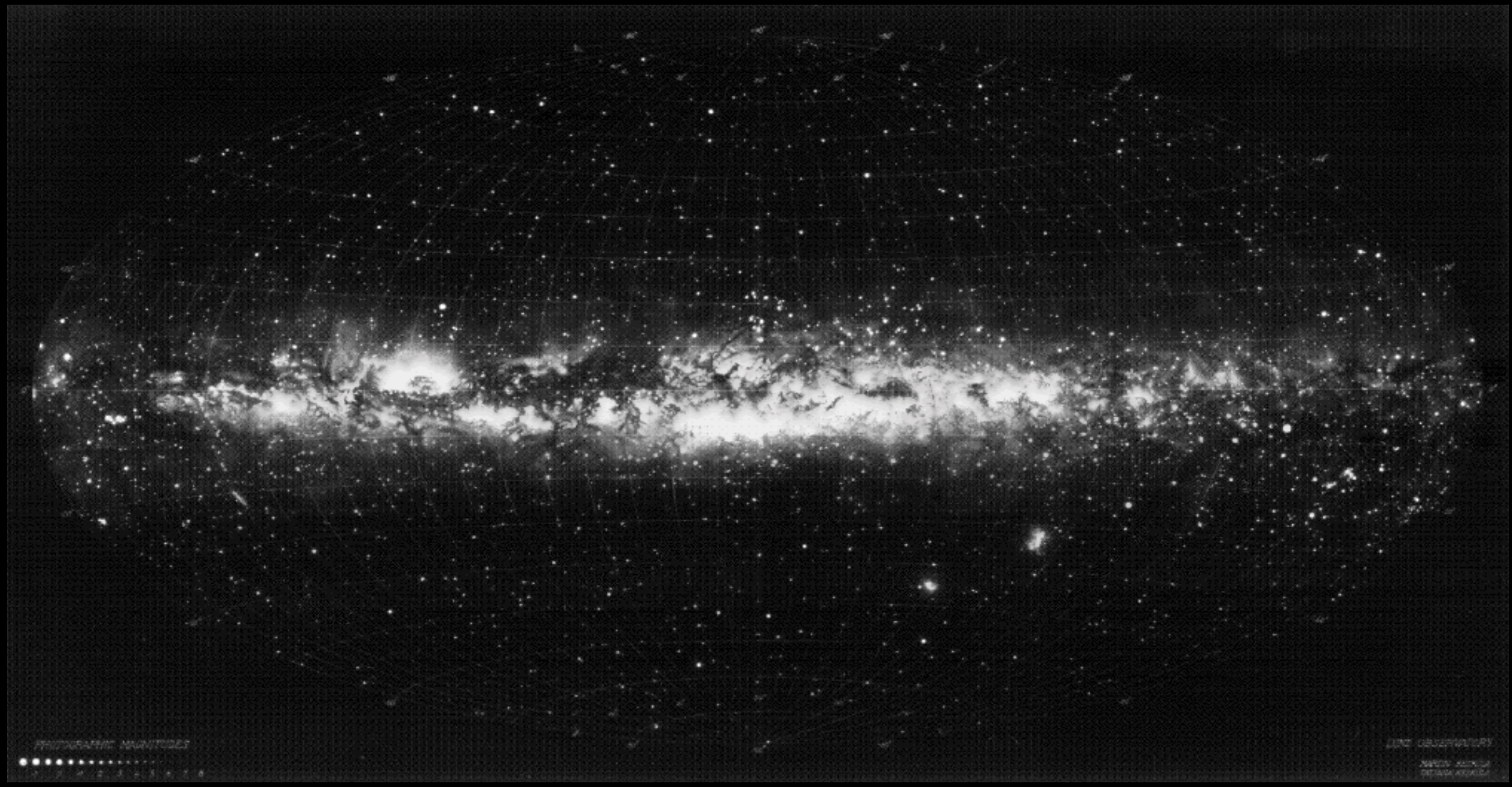


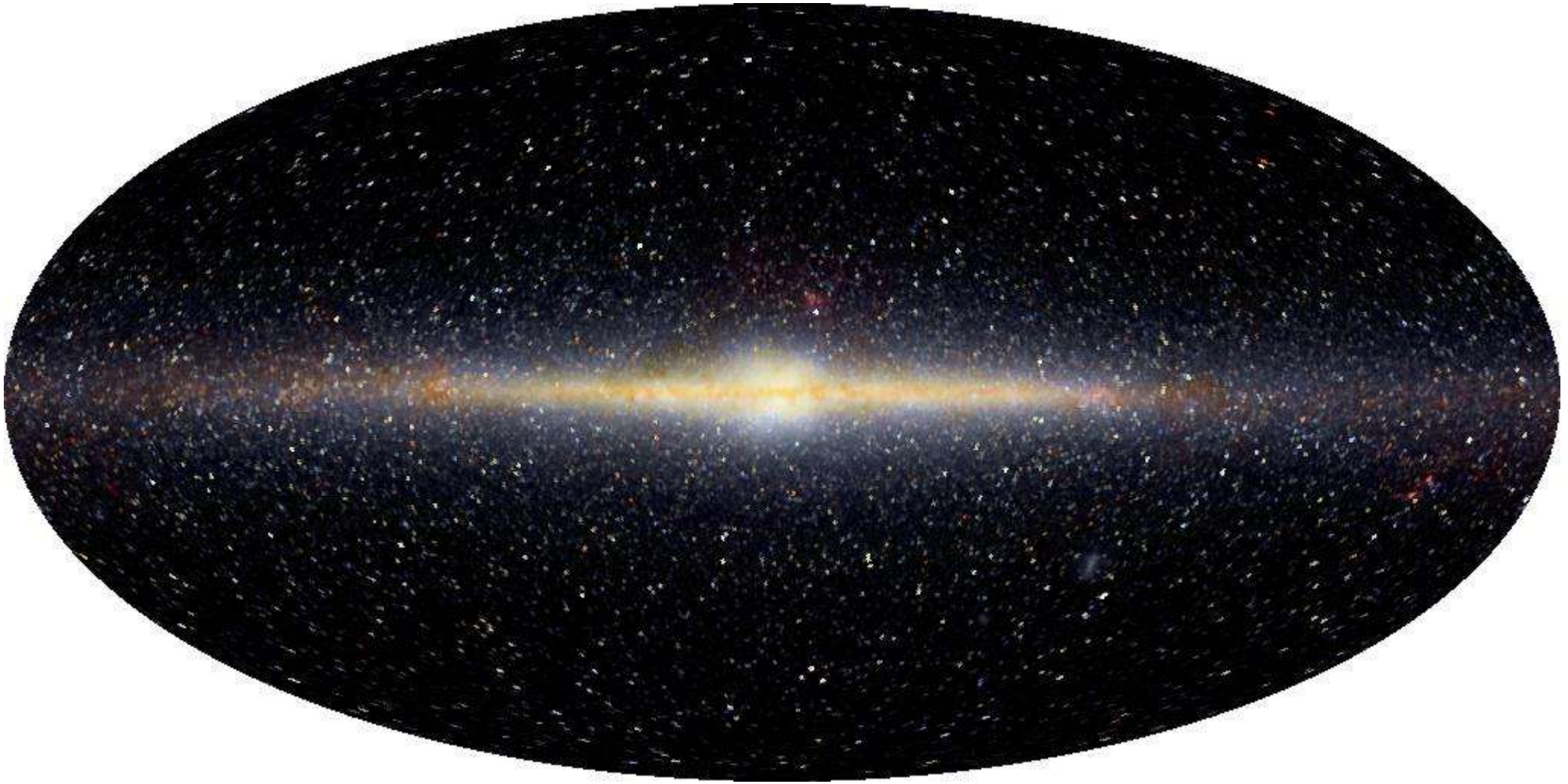
Alles aus Nichts: der Ursprung des Universums

Simon White
Max Planck Institute for Astrophysics



Sternkarte des ganzen Himmels





Der Andromeda Nebel: unser nächster Nachbar

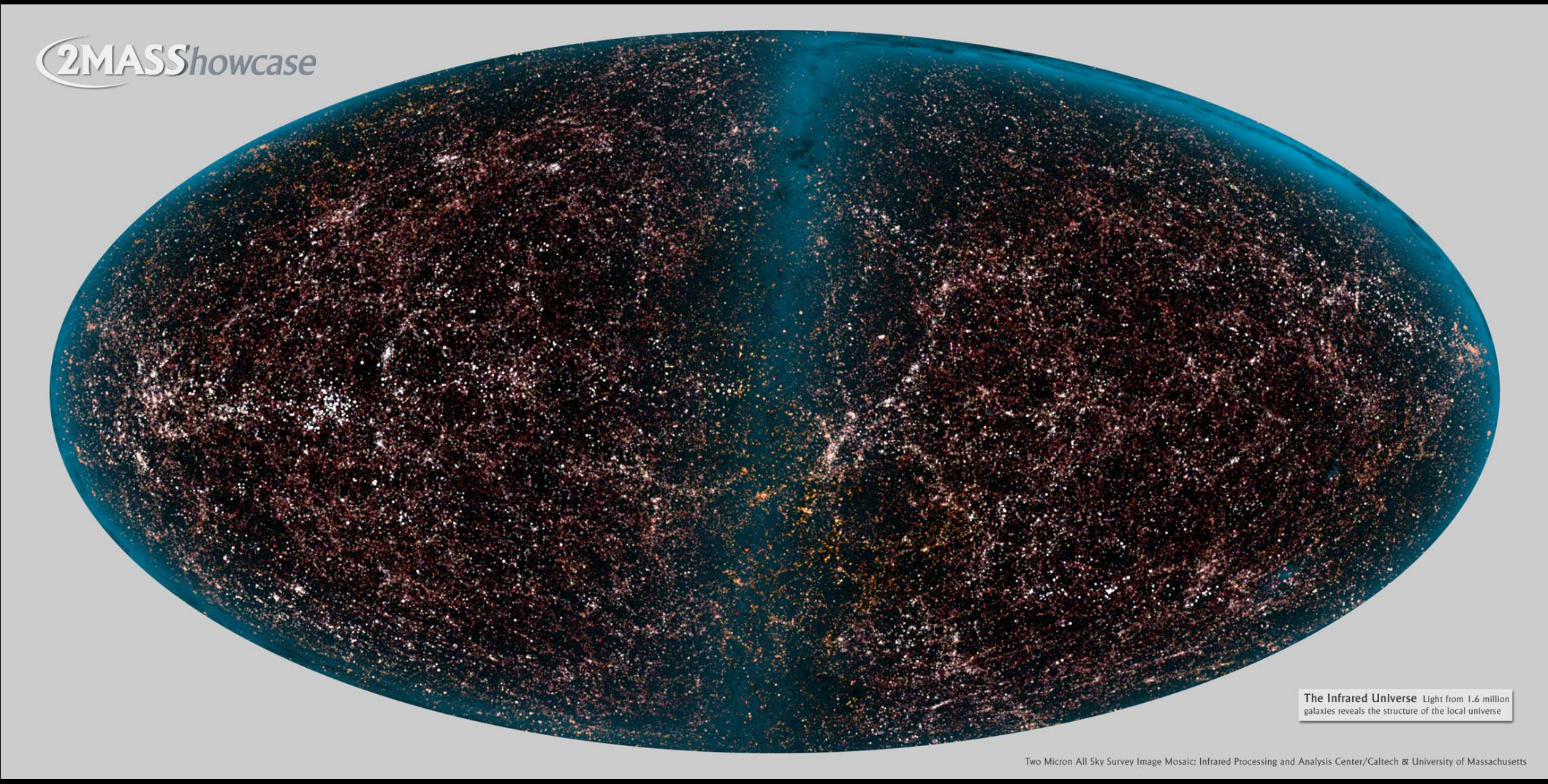
Spiralgalaxien

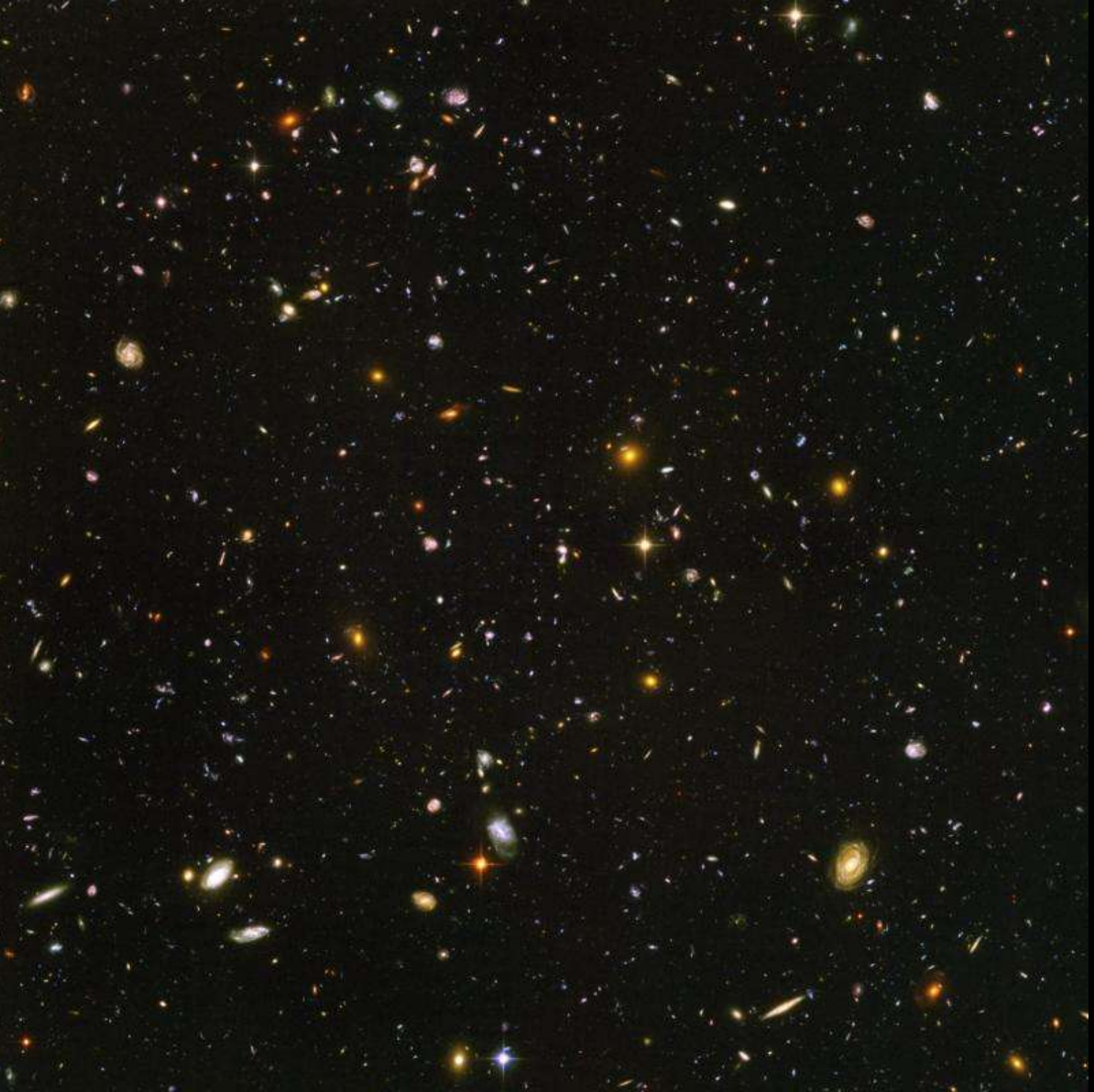
M101

NGC 5907

NGC 4414 -- eine
Galaxis wie die unsere

Galaxienkarte des ganzen Himmels





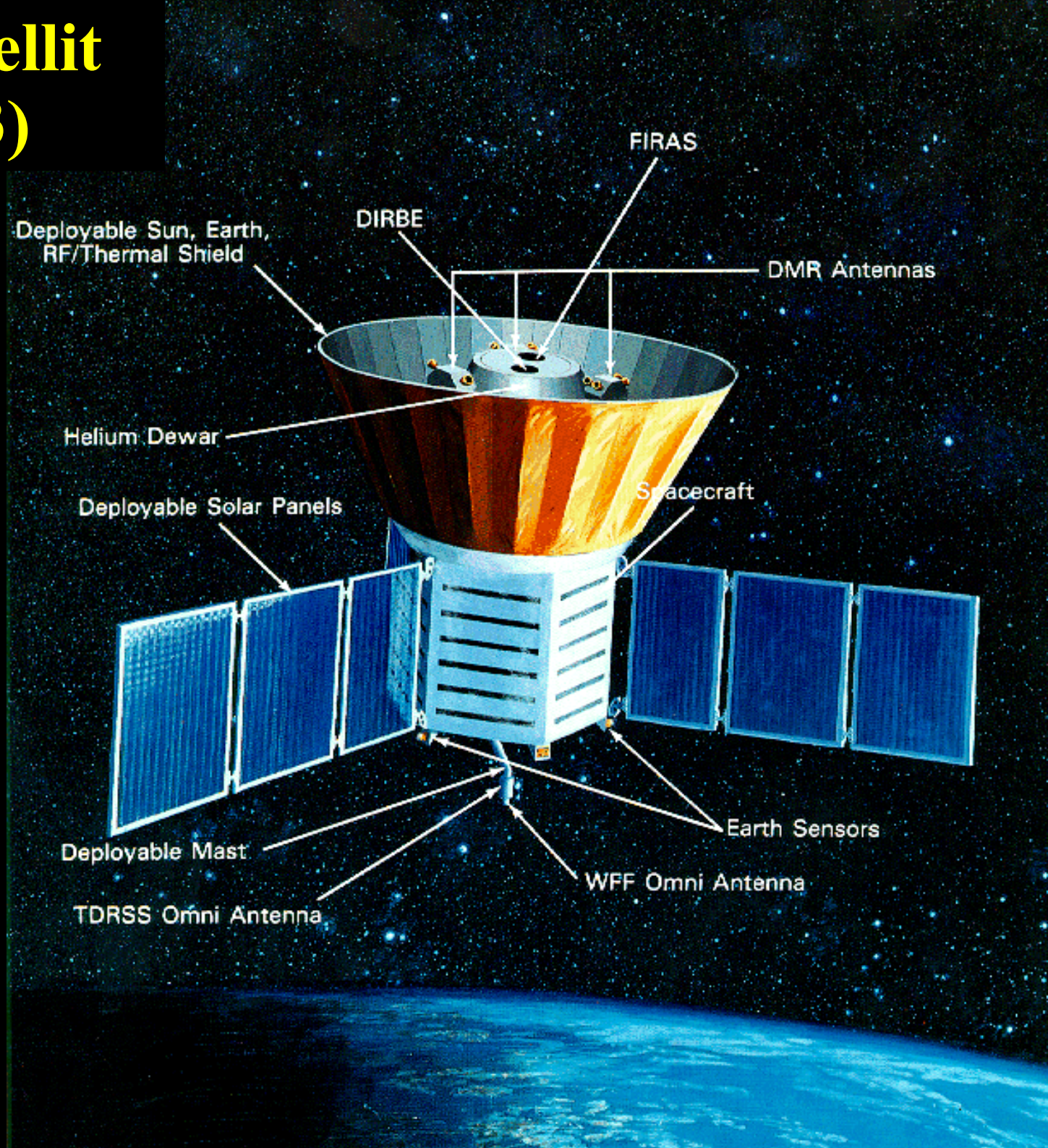
Die tiefste Aufnahme, die je gemacht wurde

300 Stunden mit dem Hubble Raumteleskop

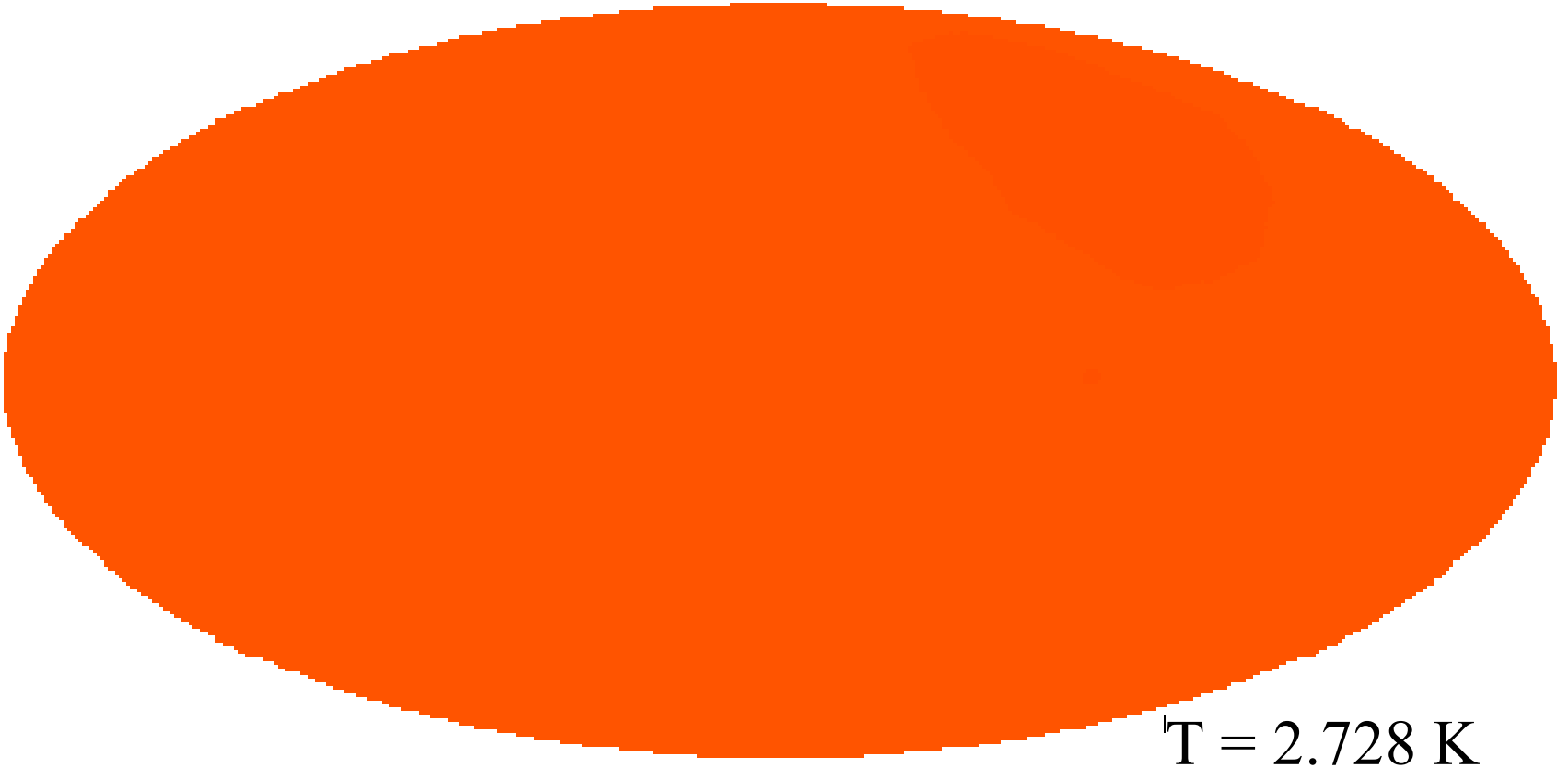
Die COBE Satellit (1989 - 1993)

- Zwei Instrumente haben den ganzen Himmel in Mikrowellen und Infrarot kartografiert

- Ein Instrument hat ein präzises Spektrum des Himmels in Mikrowellen aufgenommen



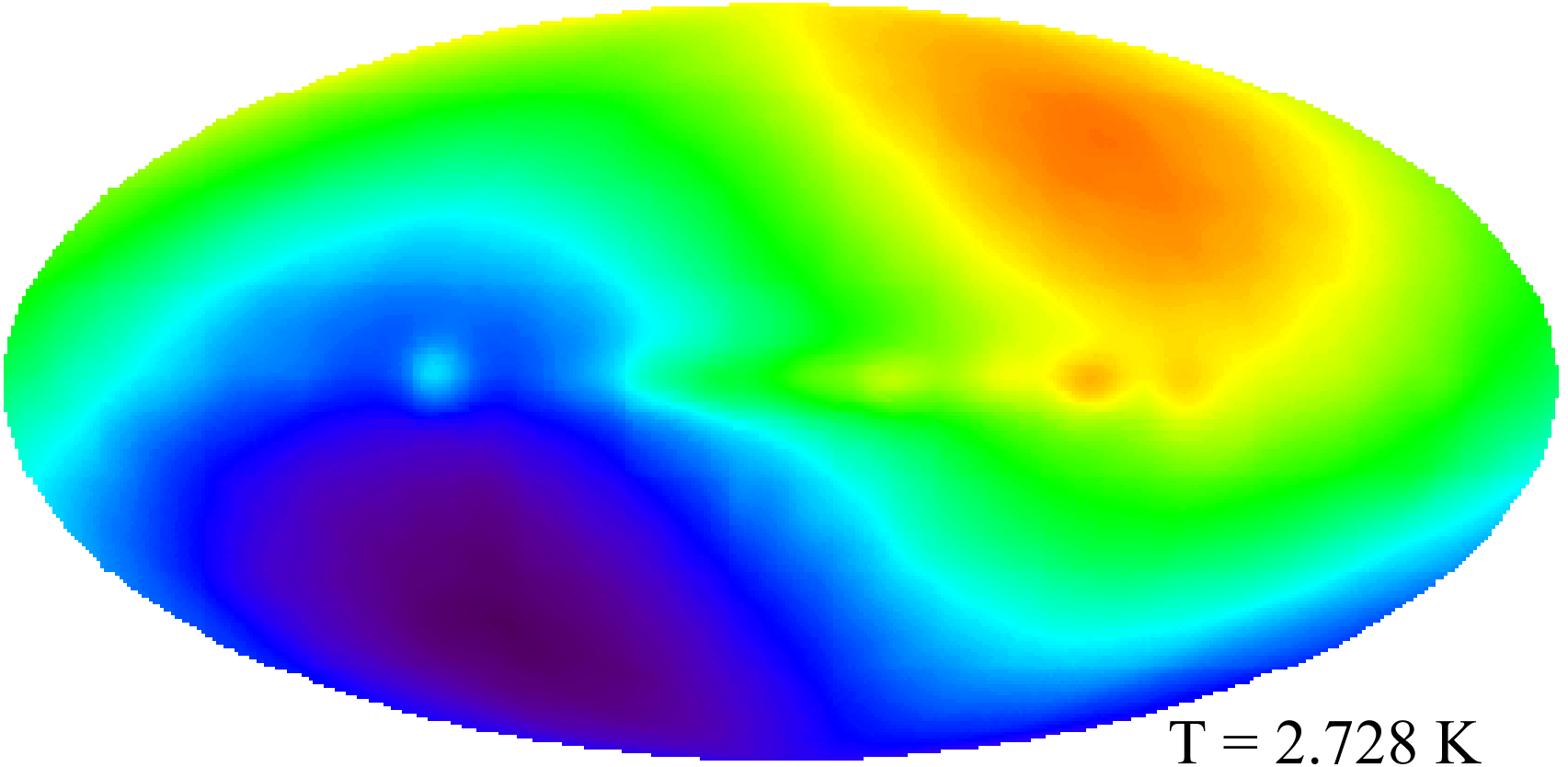
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



T = 2.728 K

ΔT = 0.1 K

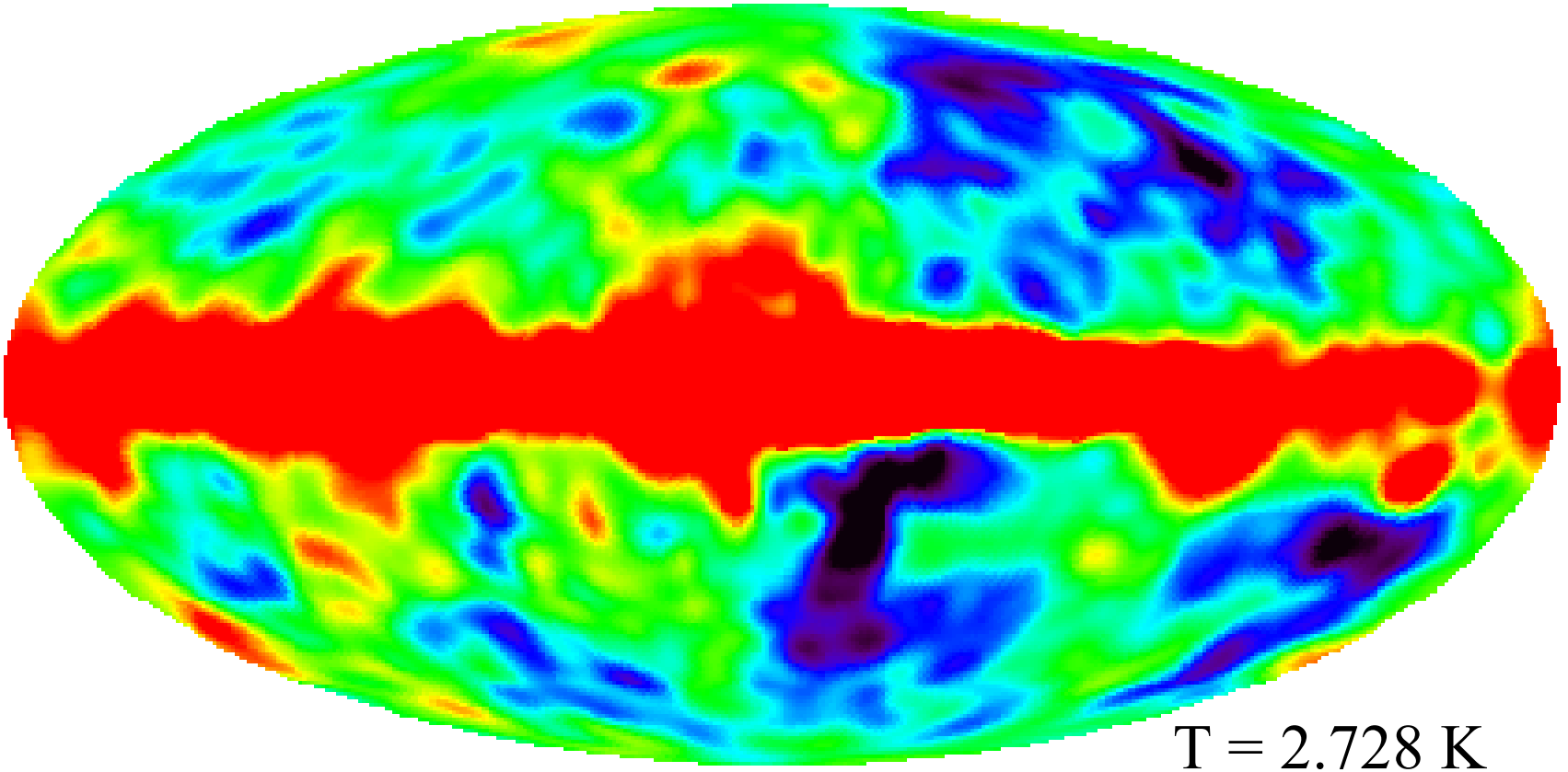
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



T = 2.728 K

ΔT = 0.0034 K

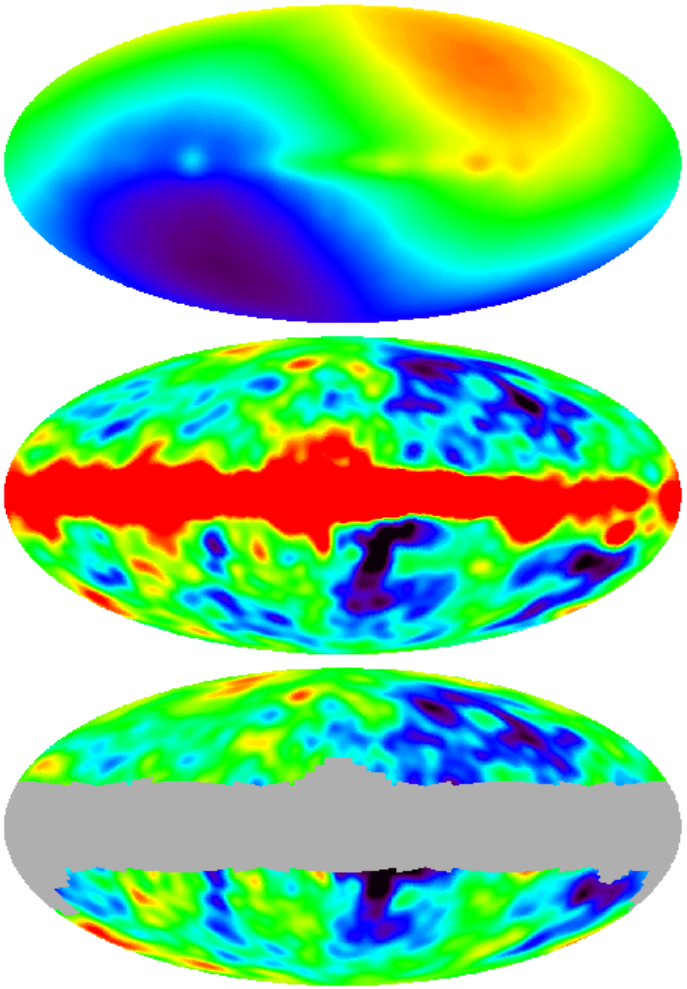
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



T = 2.728 K

ΔT = 0.00002 K

Struktur in der COBE Karte



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

- Strahlung von Staub und Gas in unserer Milchstrasse

- Struktur im Mikrowellenhintergrund selbst

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)

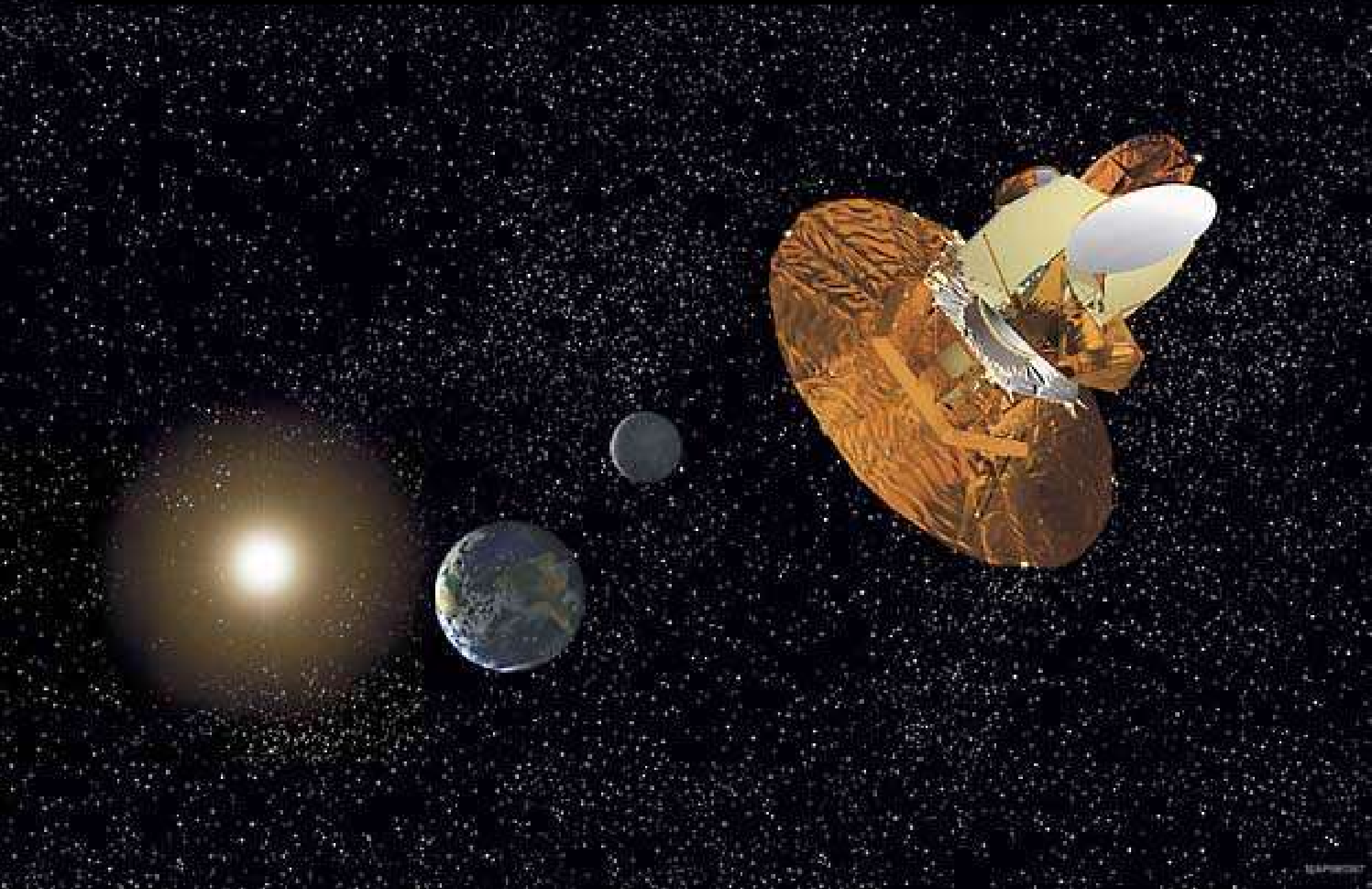
Wann sind sie entstanden?

Ein Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall

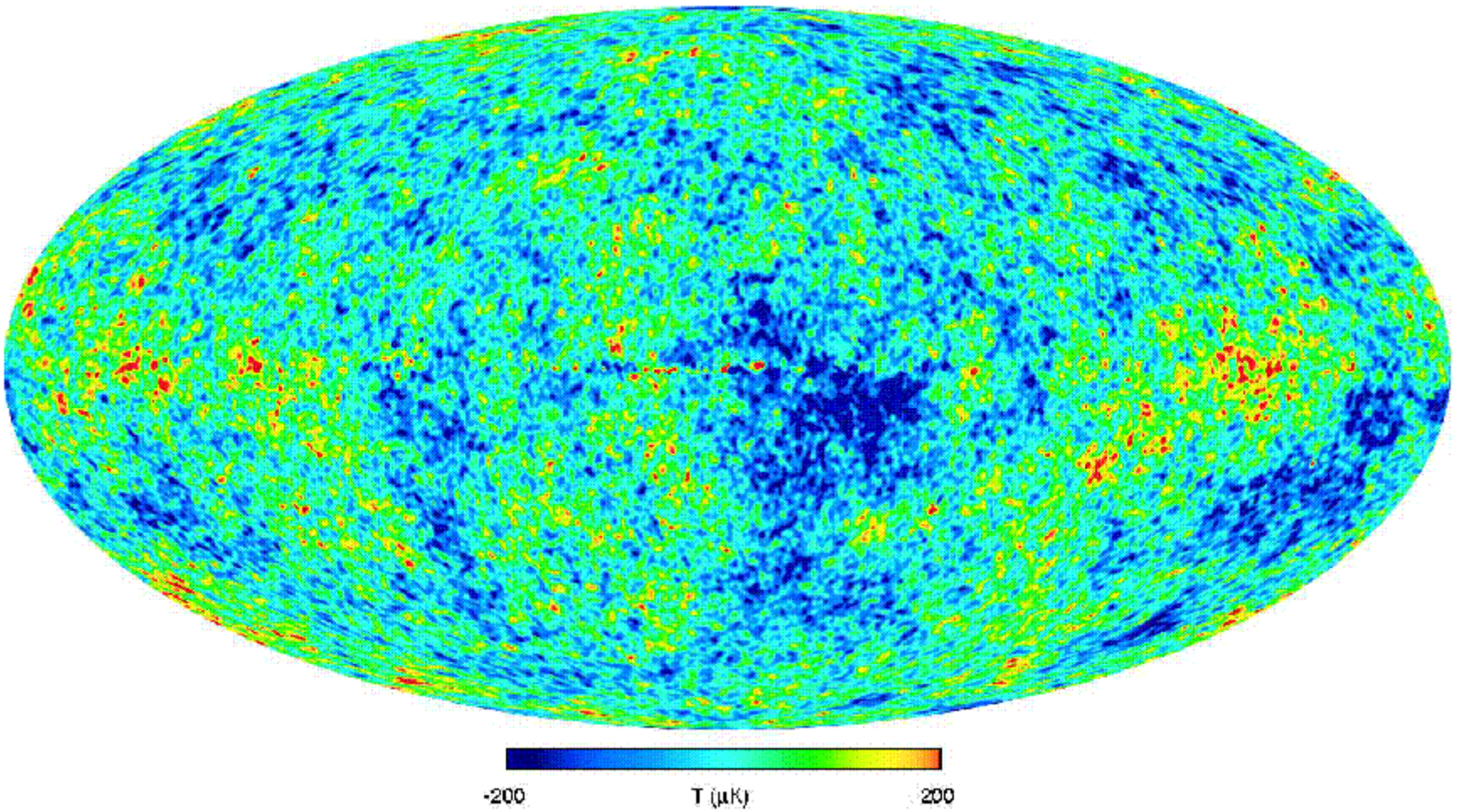
Was sind sie heute geworden?

Alles was wir um uns sehen

Das *WMAP* Satellit am Lagrange-Punkt L2



Die *WMAP* des ganzen Himmels



Bennett et al 2003

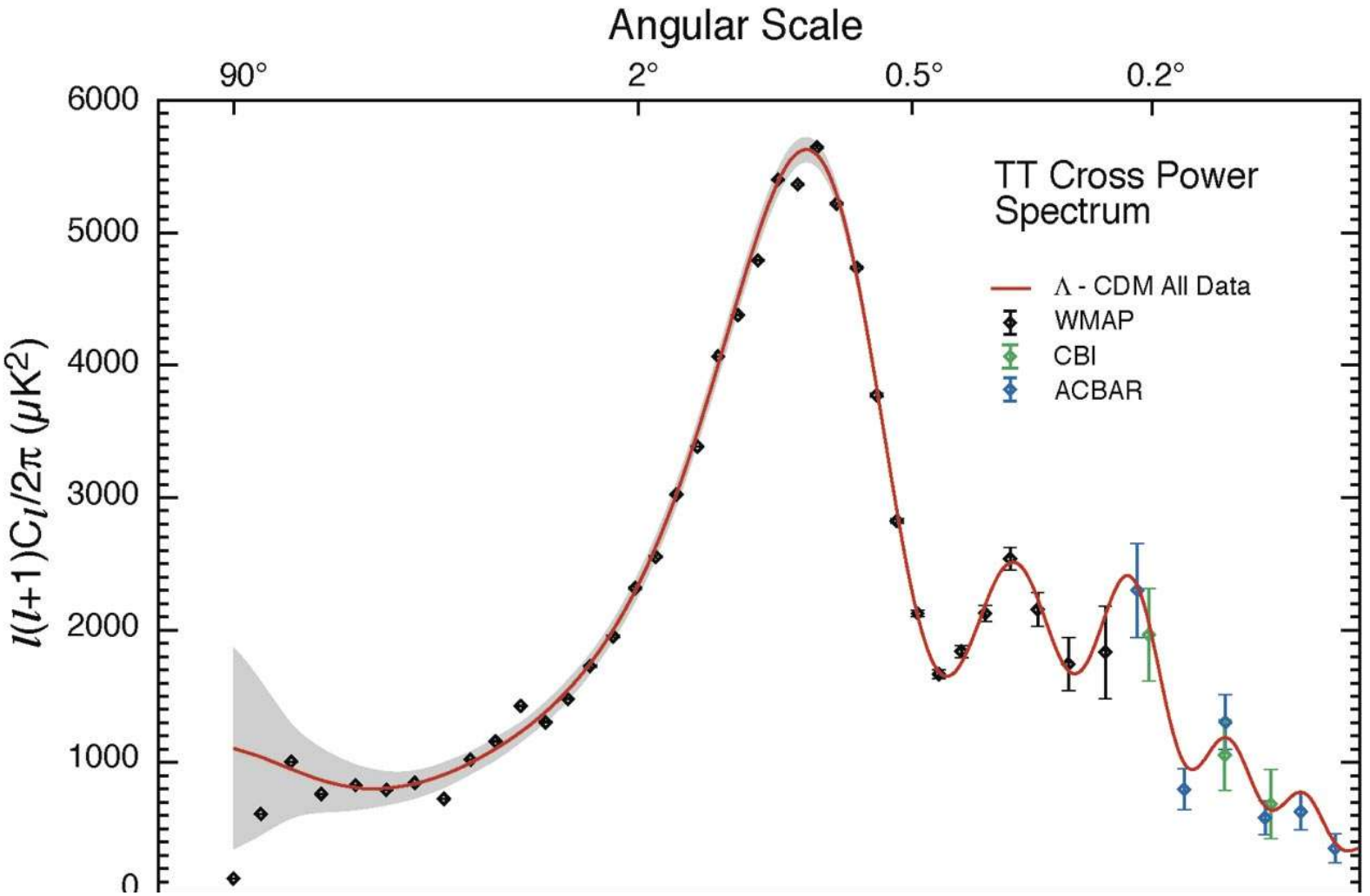
Was lernen wir von diesen Strukturen?

Das Muster der Strukturen ist durch folgendes beeinflusst:

--die Geometrie des Universums
endlich oder unendlich
ewig oder vergänglich

--den Inhalt des Universums: die Anteile von
normaler (baryonischer) Materie
non-baryonischer dunkler Materie
unsichtbarer Strahlung (Neutrinos?)
dunkler Energie - eine kosmologische Konstante?

--den Ursprung der Strukturen
Quanteneffekte während einer frühen Inflationsphase?



Der Klanginhalt 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

- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – etwa 4%
  → es gibt viel nonbaryonische Materie (etwa 30%)
  (durch Gravitationslinseneffekte "sichtbar")

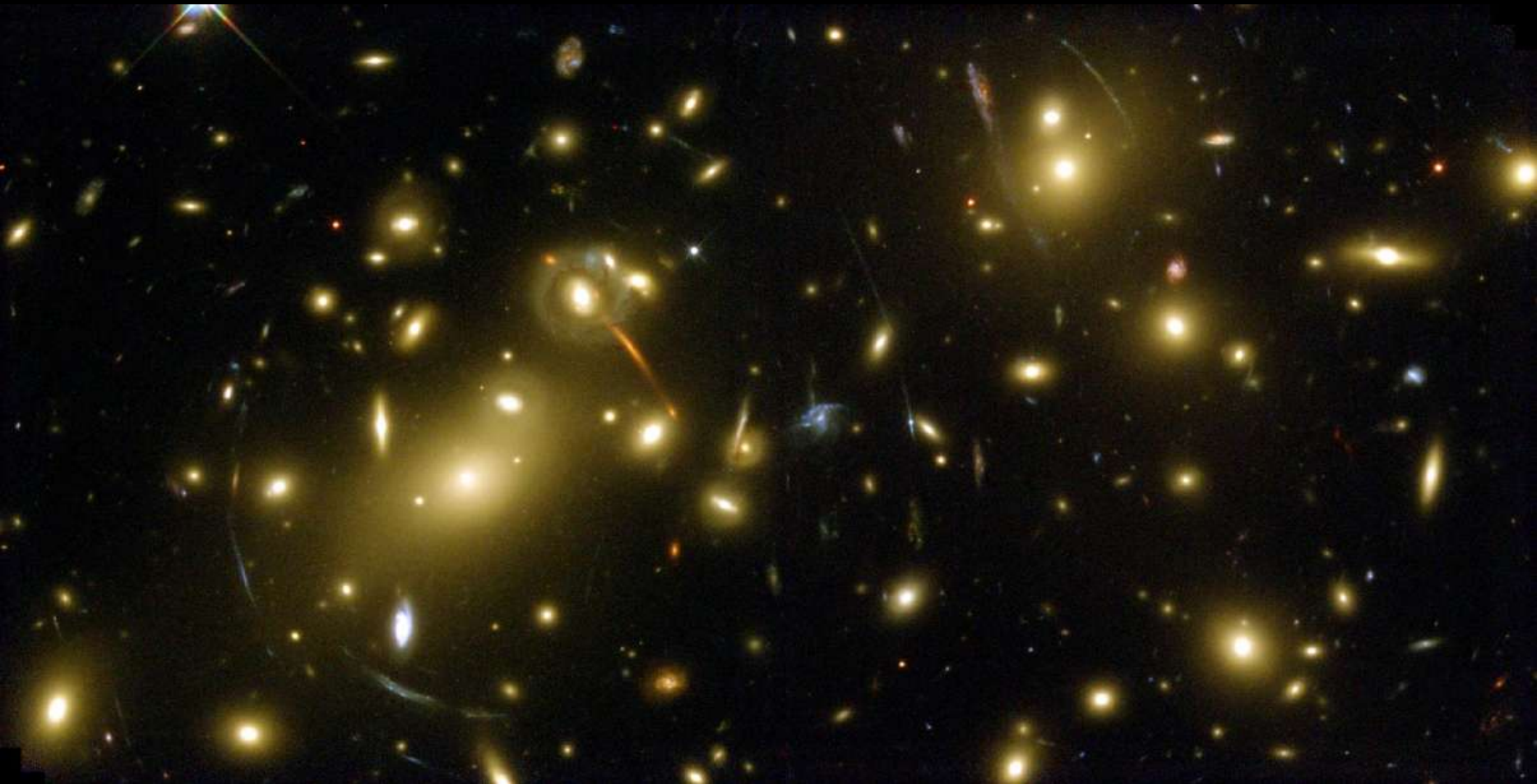
- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie, die die heutige Ausdehnung des Universums beschleunigt

- All Strukturen im Universum sind aus Quantenfluktuationen des *Vacuums* 10^{-30} s nach den Urknall gewachsen worden

Alles kommt aus Nichts!

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

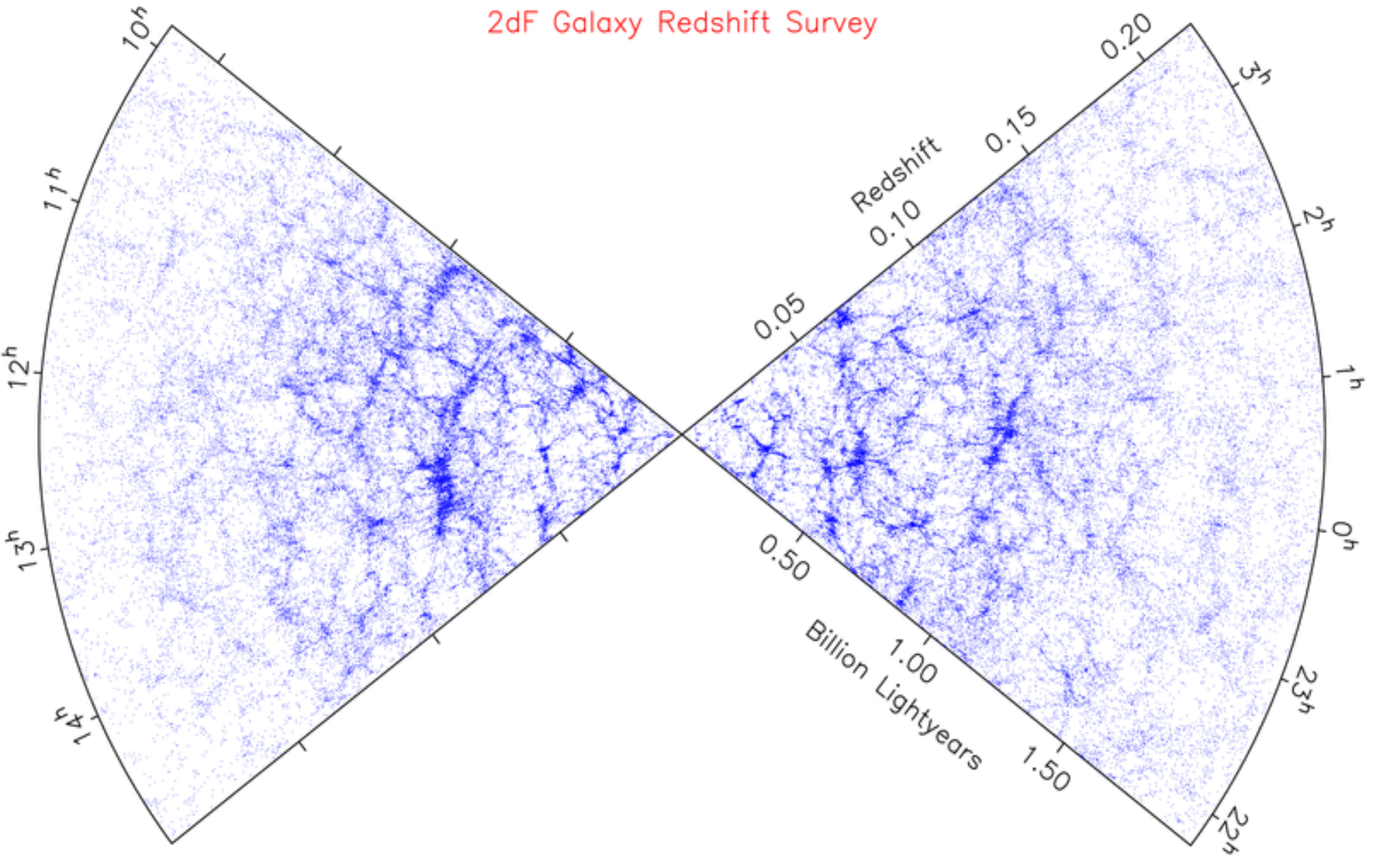
- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – etwa 4%
  → es gibt viel nonbaryonische Materie (etwa 30%)
  (durch Gravitationslinseneffekte "sichtbar")

- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie, die die heutige Ausdehnung des Universums beschleunigt

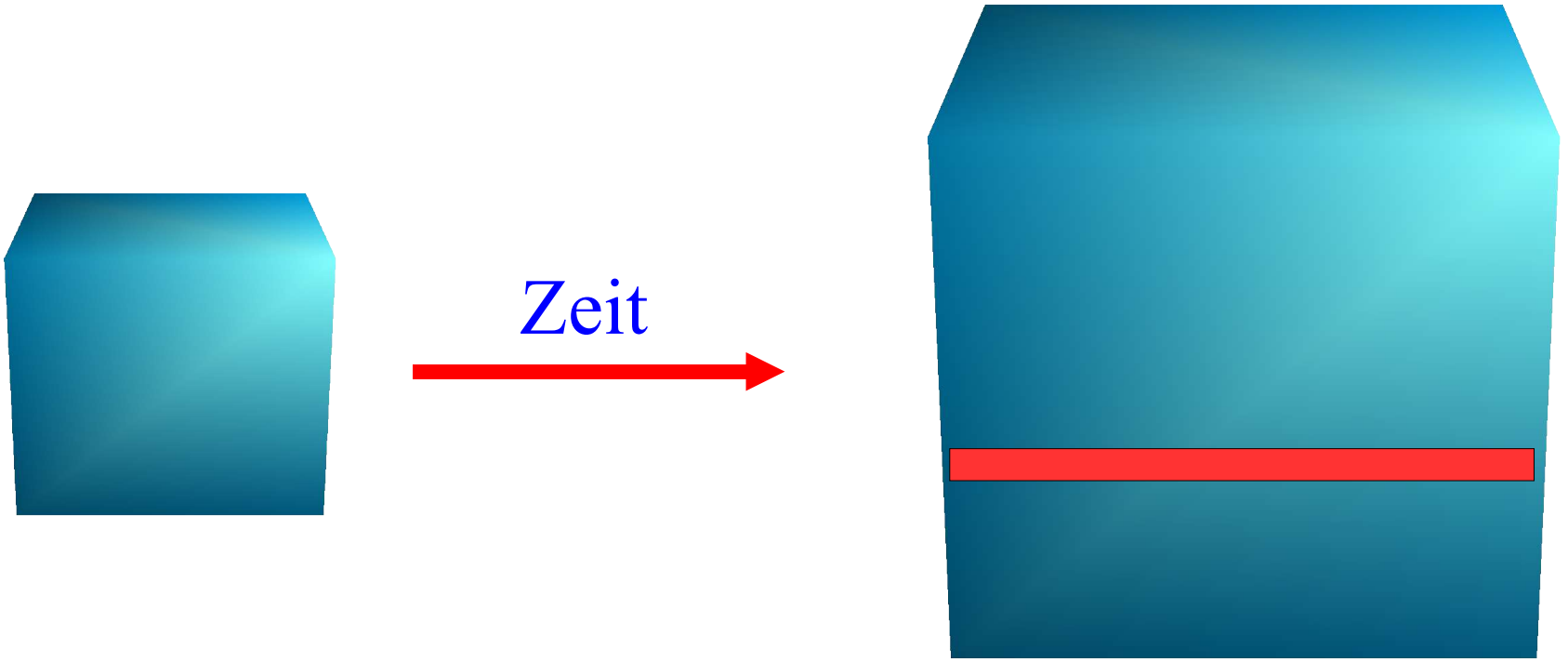
- All Strukturen im Universum sind aus Quantenfluktuationen des *Vacuums* 10^{-30} s nach den Urknall gewachsen worden

Alles kommt aus Nichts!

Grossräumige Strukturen im heutigen Universum



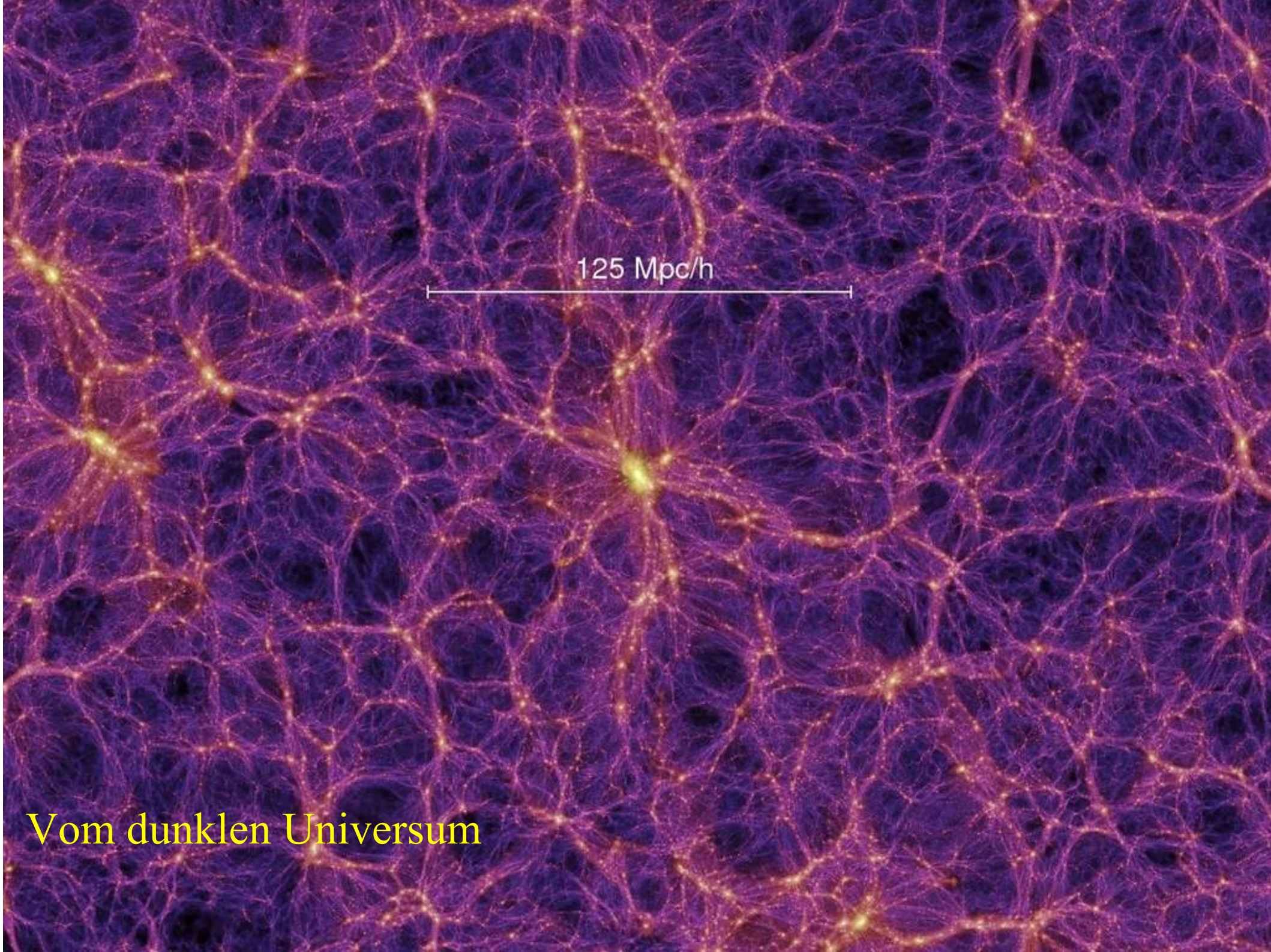
Wie man die Entwicklung des Universums auf einem Grossrechner verfolgt



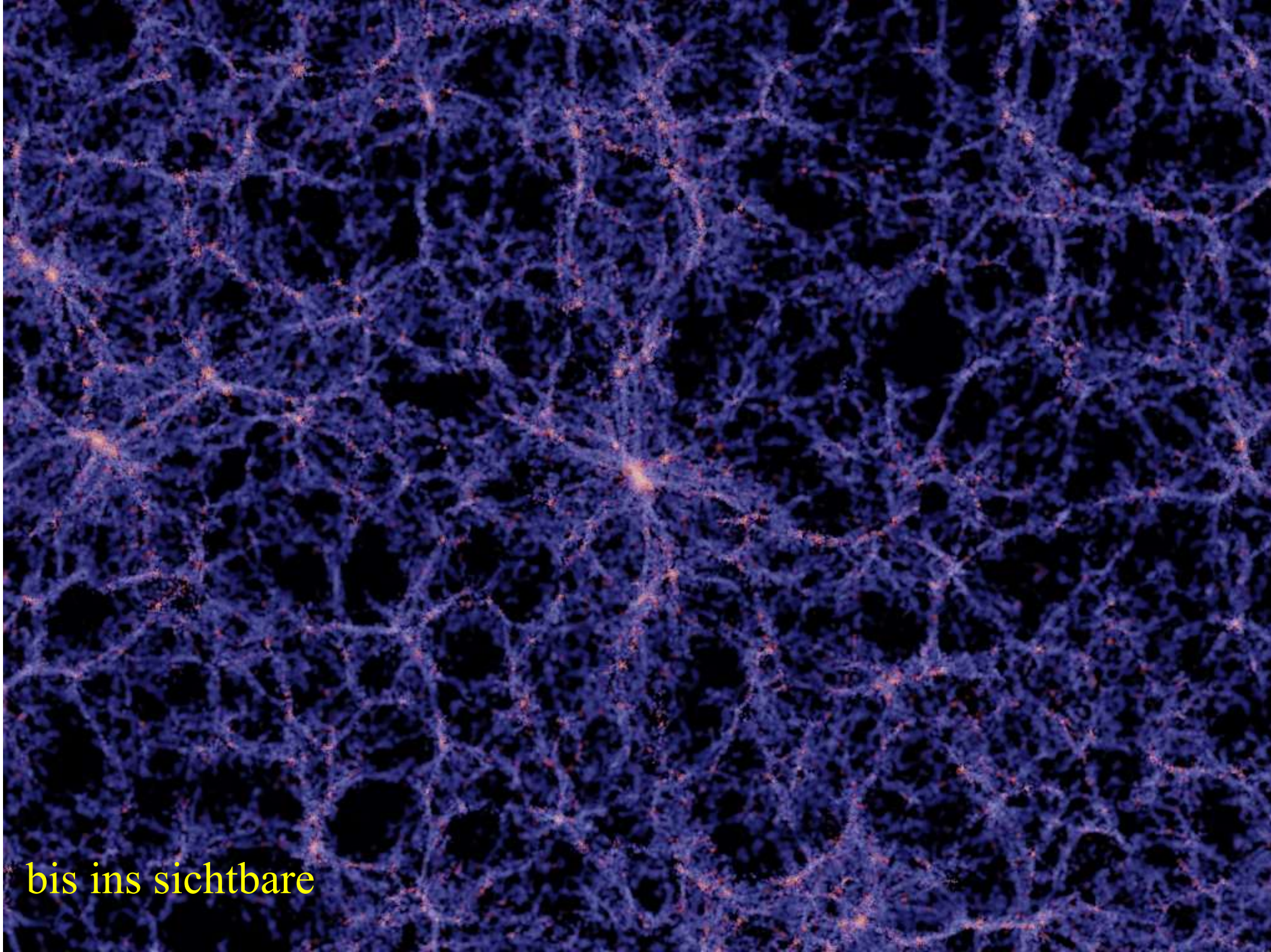
- Die Materie in einem mit dem Universum ausdehnenden Würfel verfolgen
- 400,000 Jahre nach dem Urknall beginnen
- Anfangsbedingungen an die Hintergrundstrahlung anpassen
- Entwicklung vorwärts bis in die Gegenwart ausrechnen

Blicke auf die dunkle Materie in einem virtuellen Universum

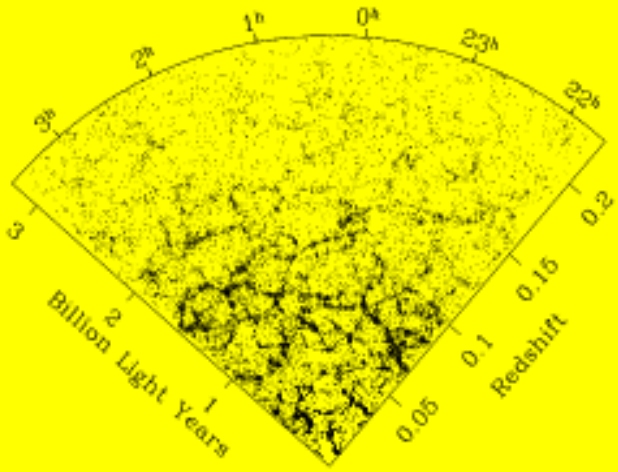
- Entwicklung dunkler Strukturen in einem dünnen Querschnitt
- Ein Zoom vom ganzen sichtbaren Universum bis in einen Galaxienhaufen
- Ein Flug durch das dunkle Universum

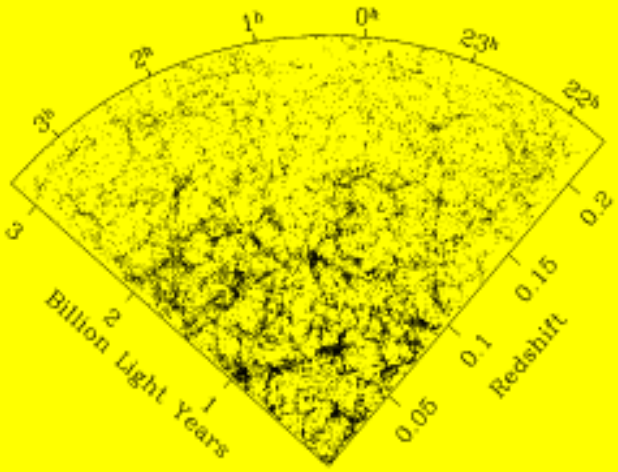


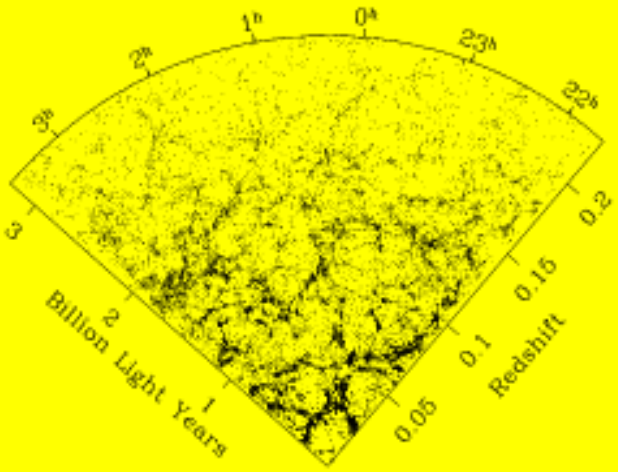
Vom dunklen Universum

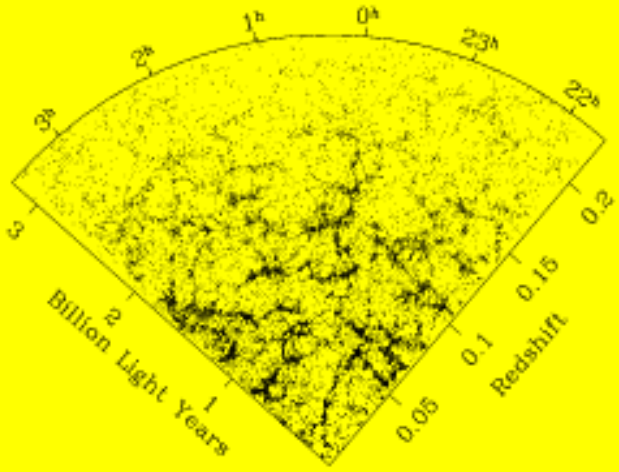

bis ins sichtbare

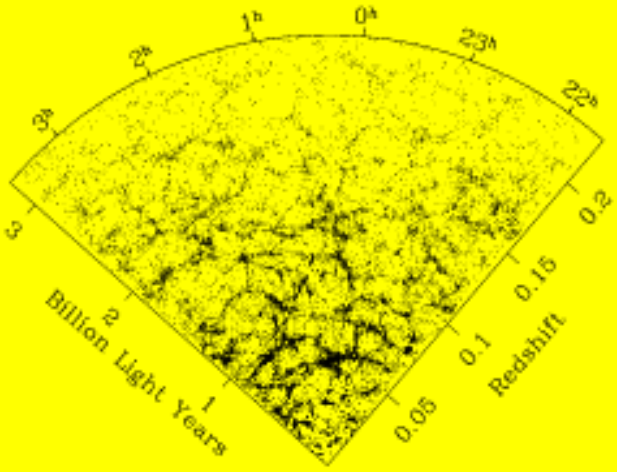
Virtuelle versus reelle Universen

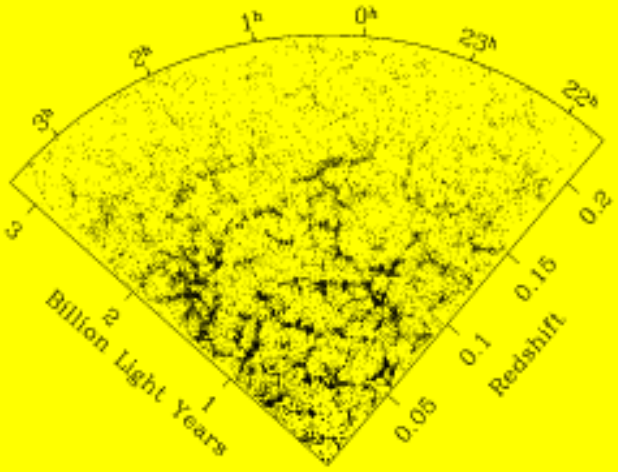










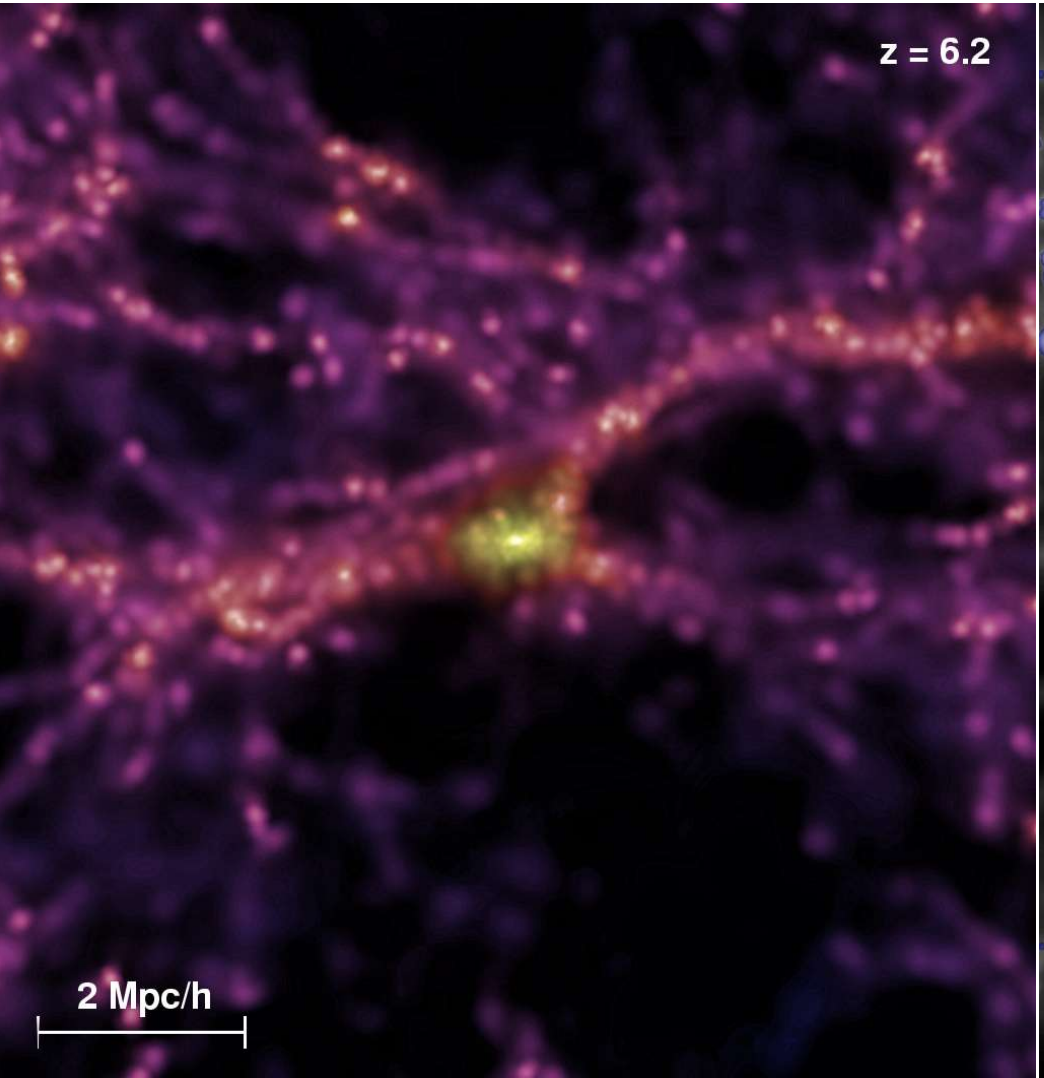


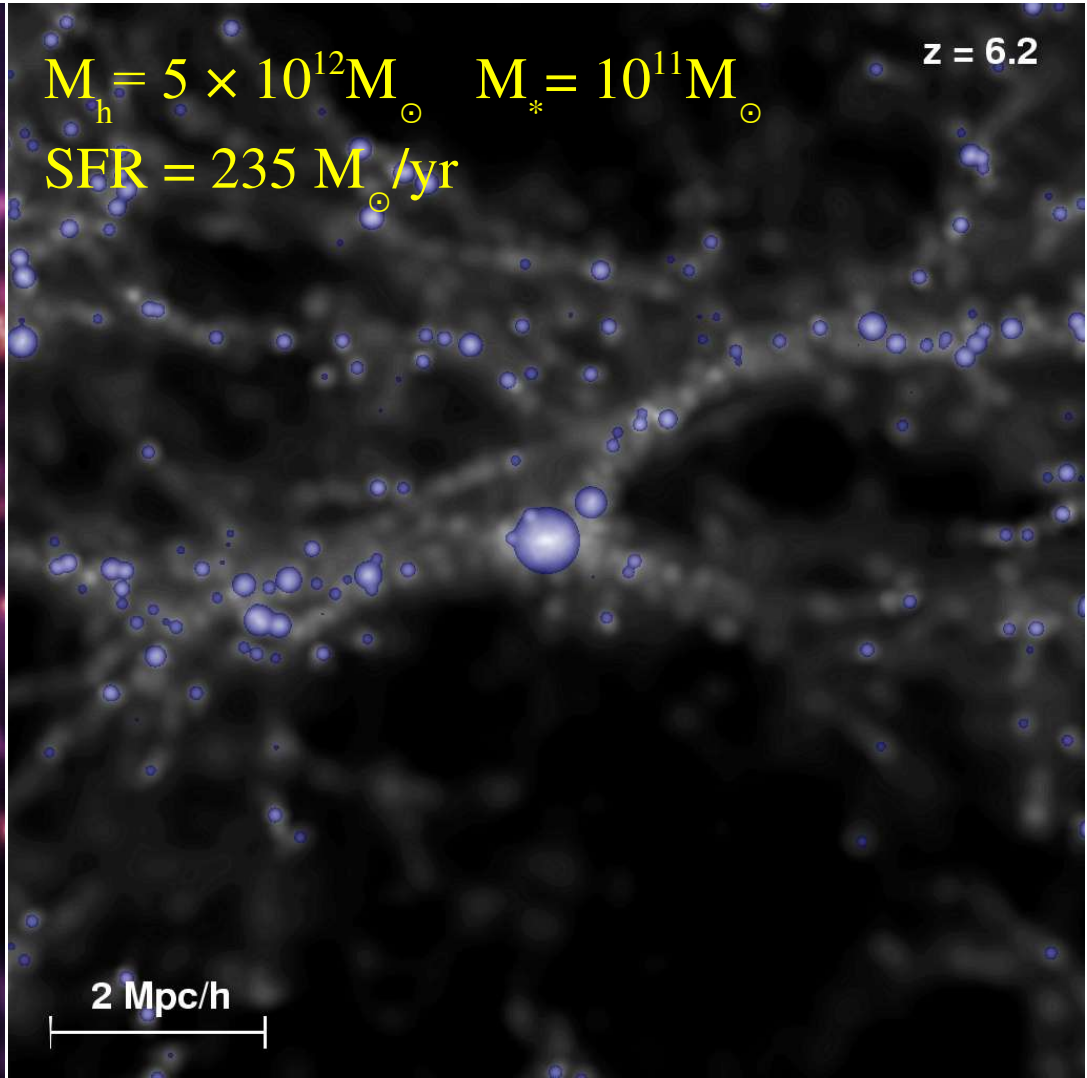
zum Schluss.....

- Unser Universum wurde vor 13.7 Milliarden Jahren in einer heissen, fast uniformen Explosion geschaffen -- Dem Urknall
- Alle Struktur entstand aus Quanteneffekten im frühen Vakuum -- Alles kommt aus Nichts
- Nur 4% des Inhalts des Universums besteht aus normaler Materie
- Etwa 25% besteht aus unidentifizierten Elementarteilchen -- der dunklen Materie
- Etwa 70% besteht aus einer neuen Form der Energie, die die Ausdehnung beschleunigt -- der dunklen Energie
- Galaxien und Galaxienhaufen, Sterne und Planeten sind aus dem primordialen Gas durch Schwerkraftseffekte erzeugt worden

A bright quasar and its surroundings at 1 billion years

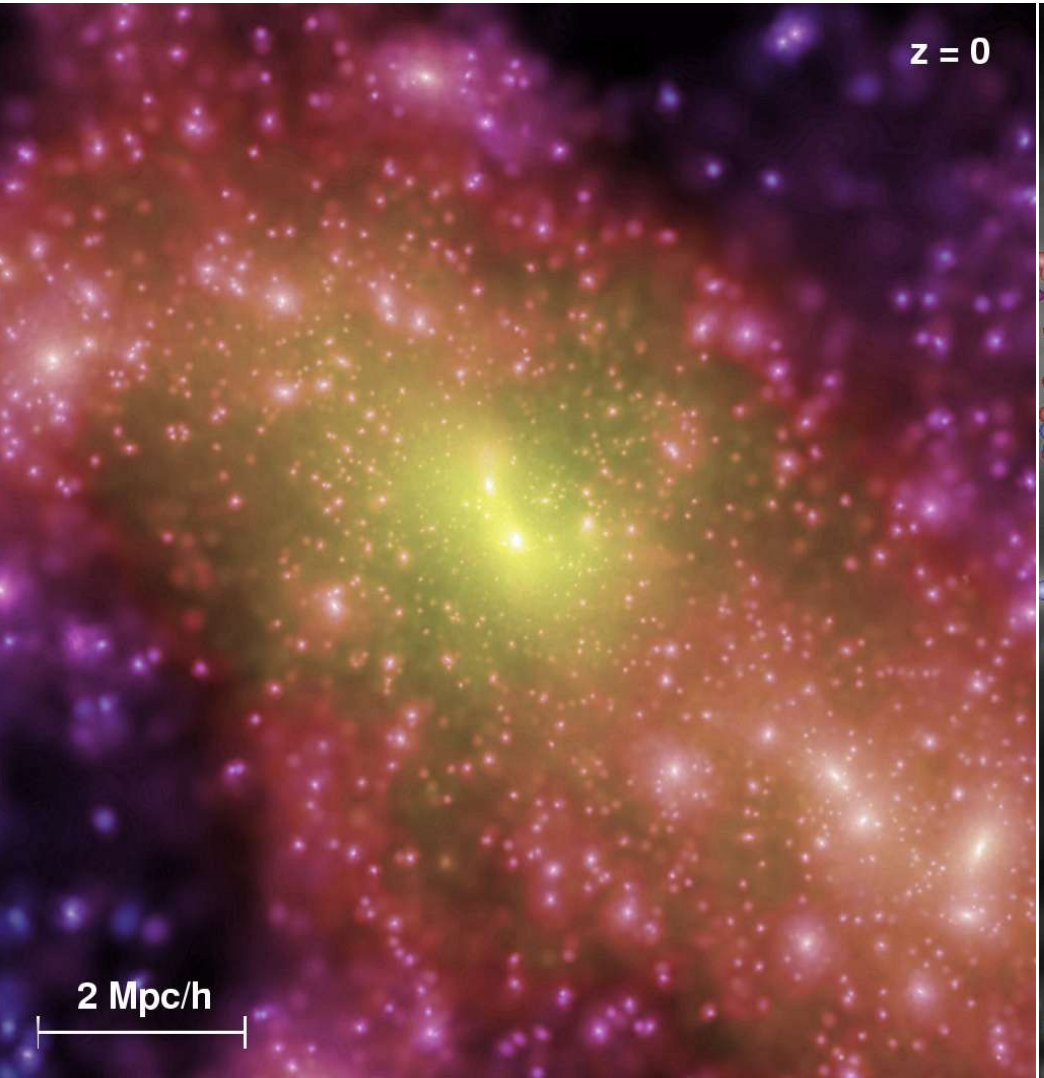
One of the most massive dark matter clumps, containing one of the most massive galaxies and most massive black holes.

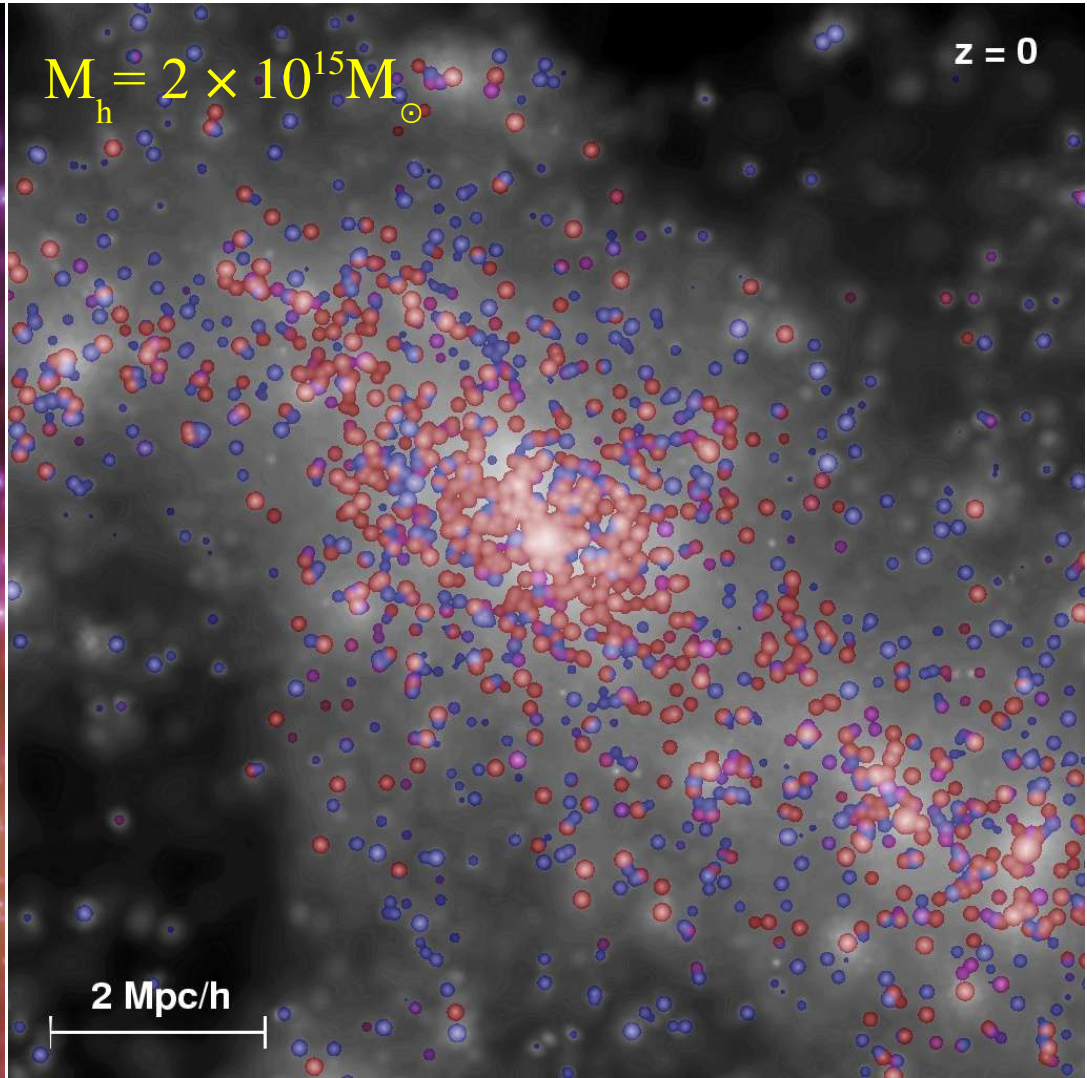




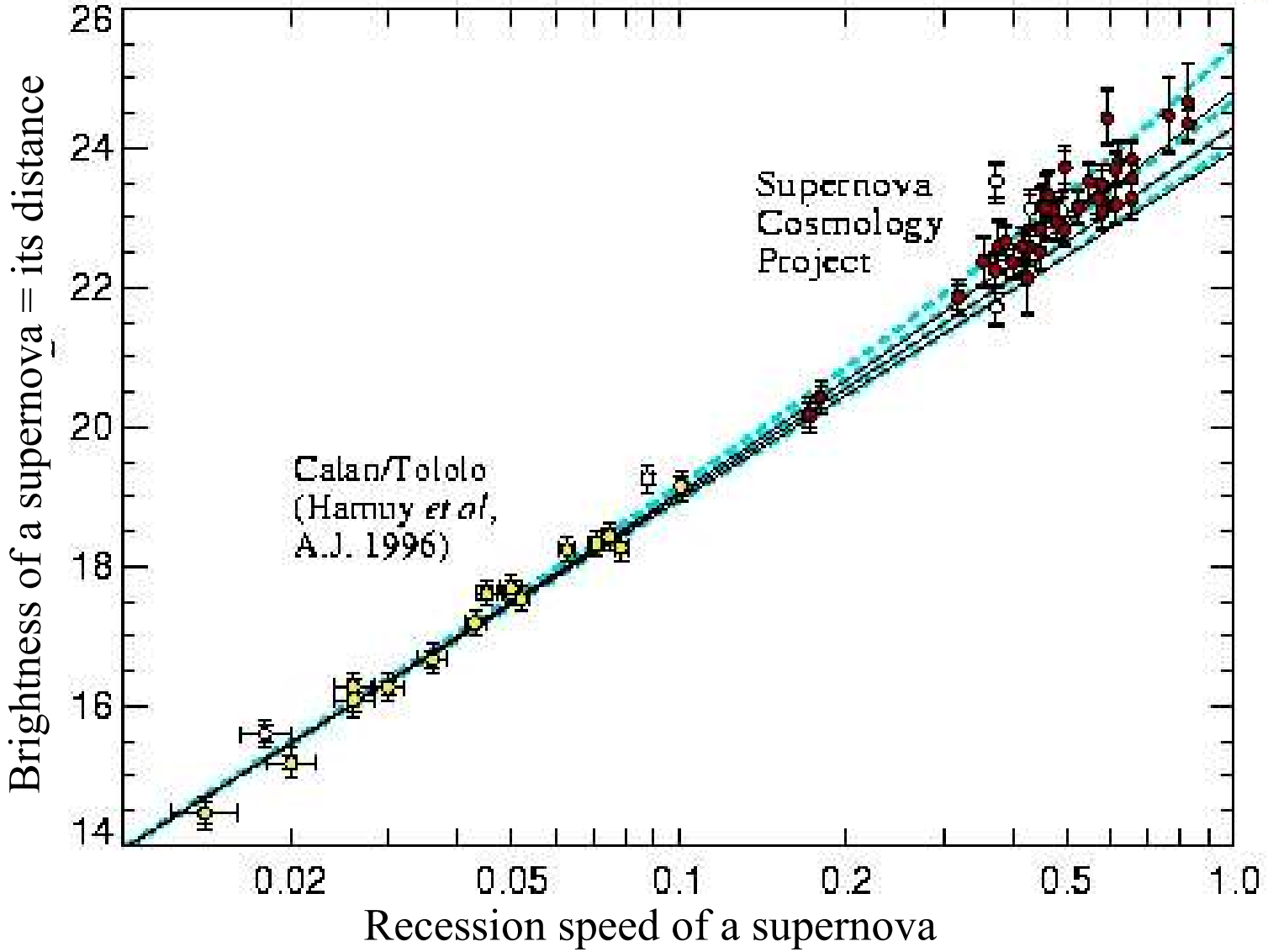
The quasar's descendant and its surroundings today, at 13.7 billion years

One of the most massive galaxy clusters. The quasar's descendant is part of the central massive galaxy of the cluster.





Hubble's Law rules the Cosmic Expansion



An accelerating Universe? The return of Einstein's "Eselei" or the discovery of a new form of mass/energy -- the Dark Energy?