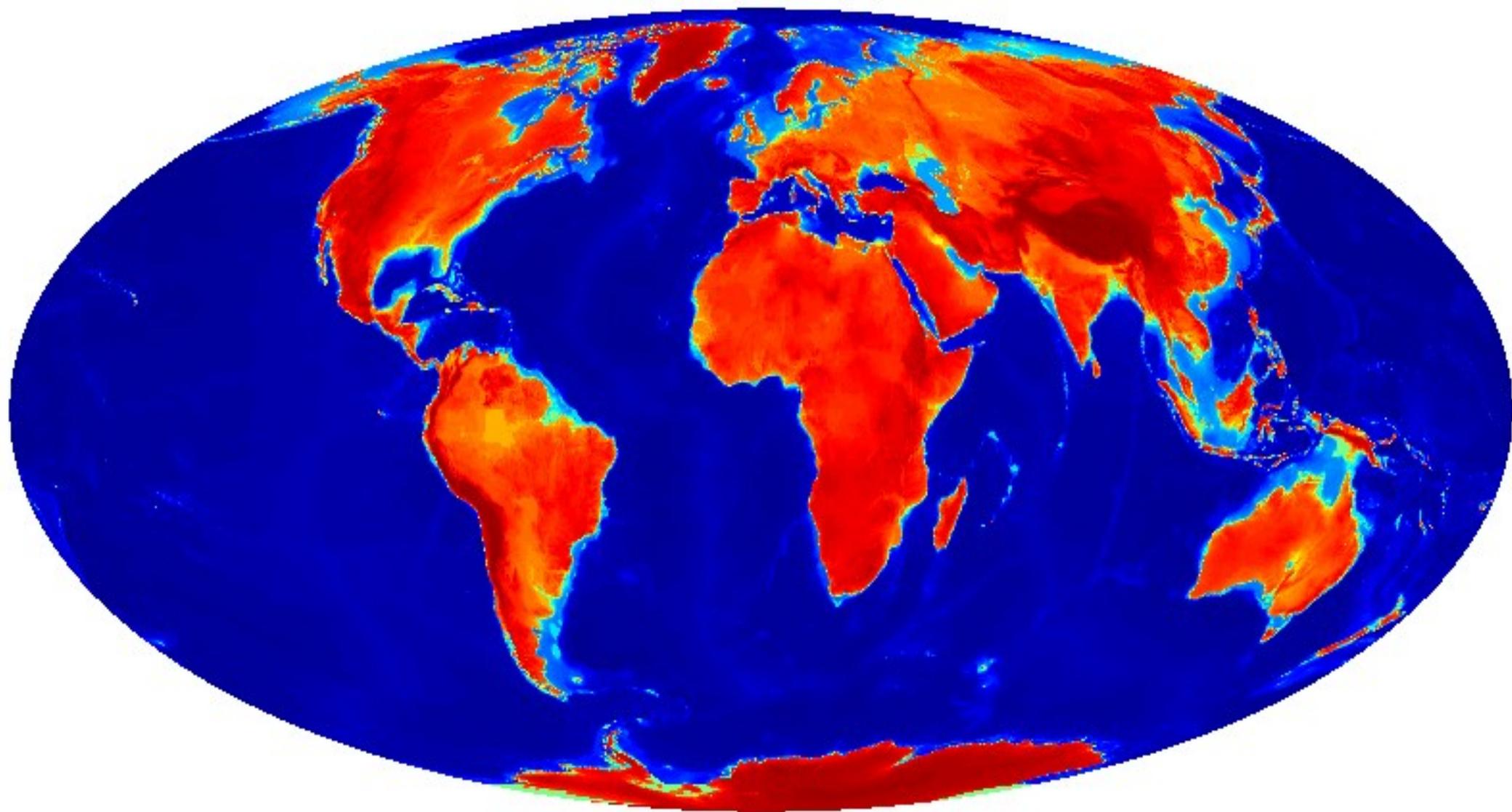


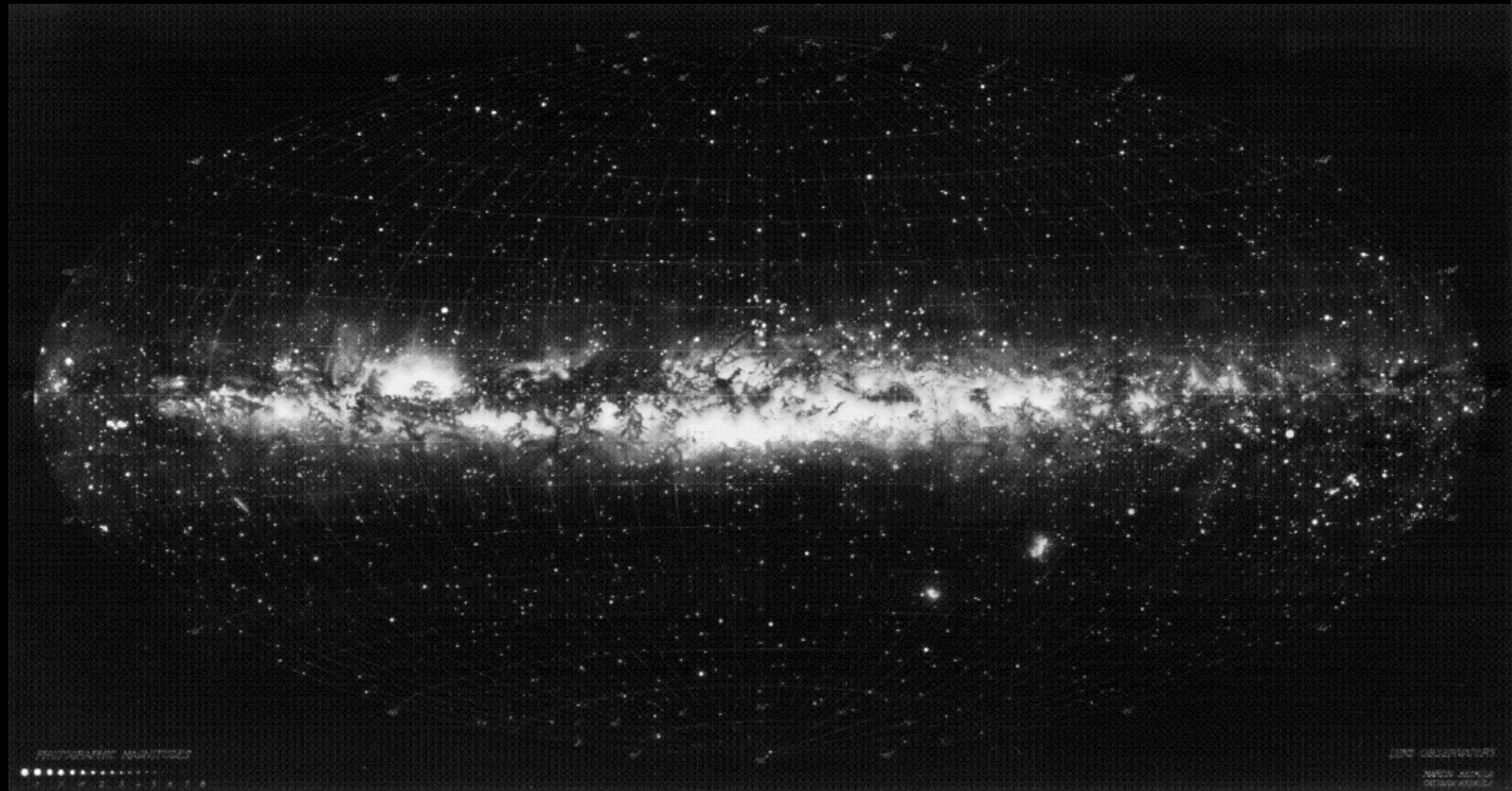
Das kosmologische Orchester: Musik am Anfang der Welt

Simon White

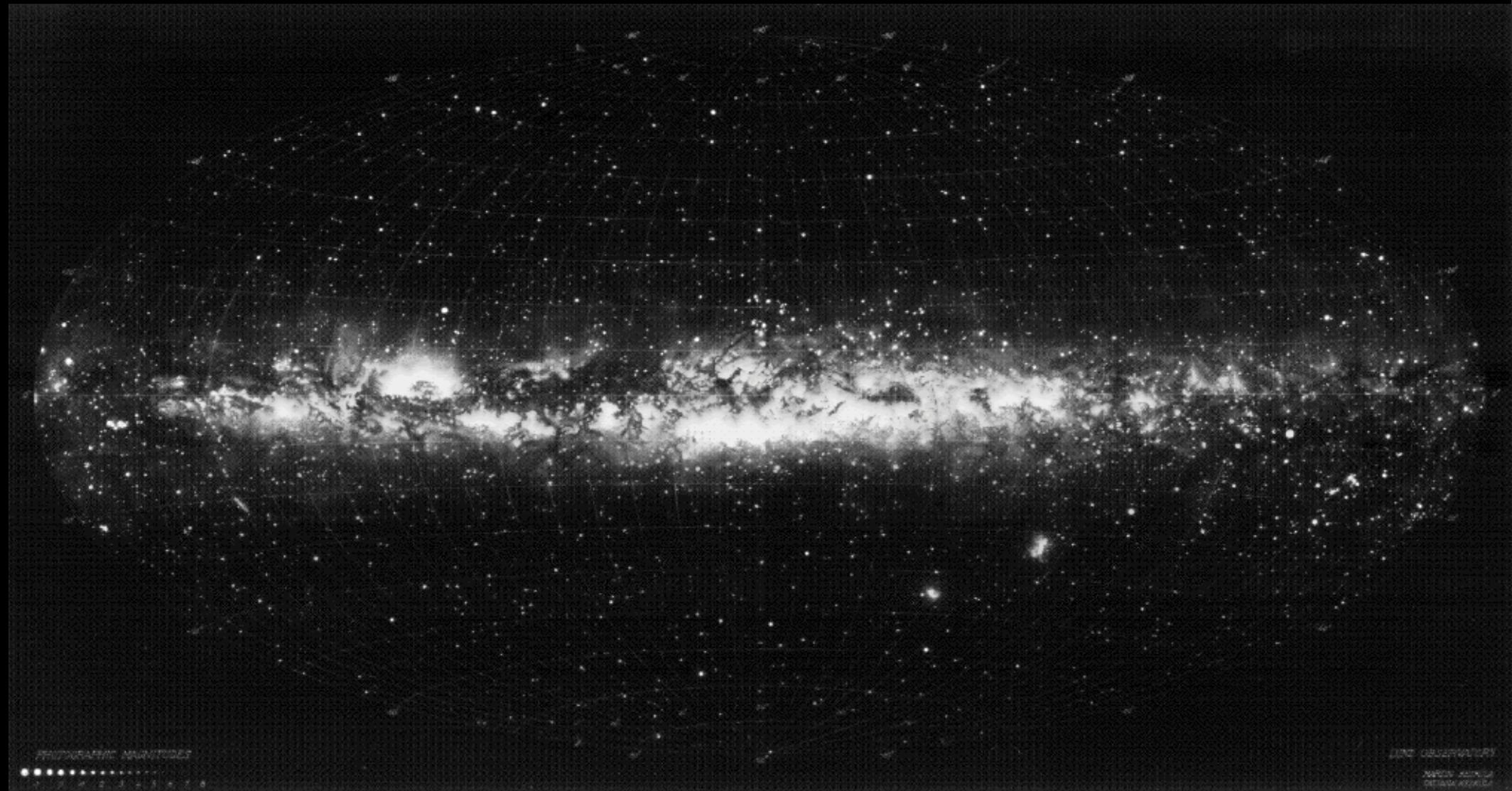
Max Planck Institut für Astrophysik



Sternkarte des ganzen Himmels

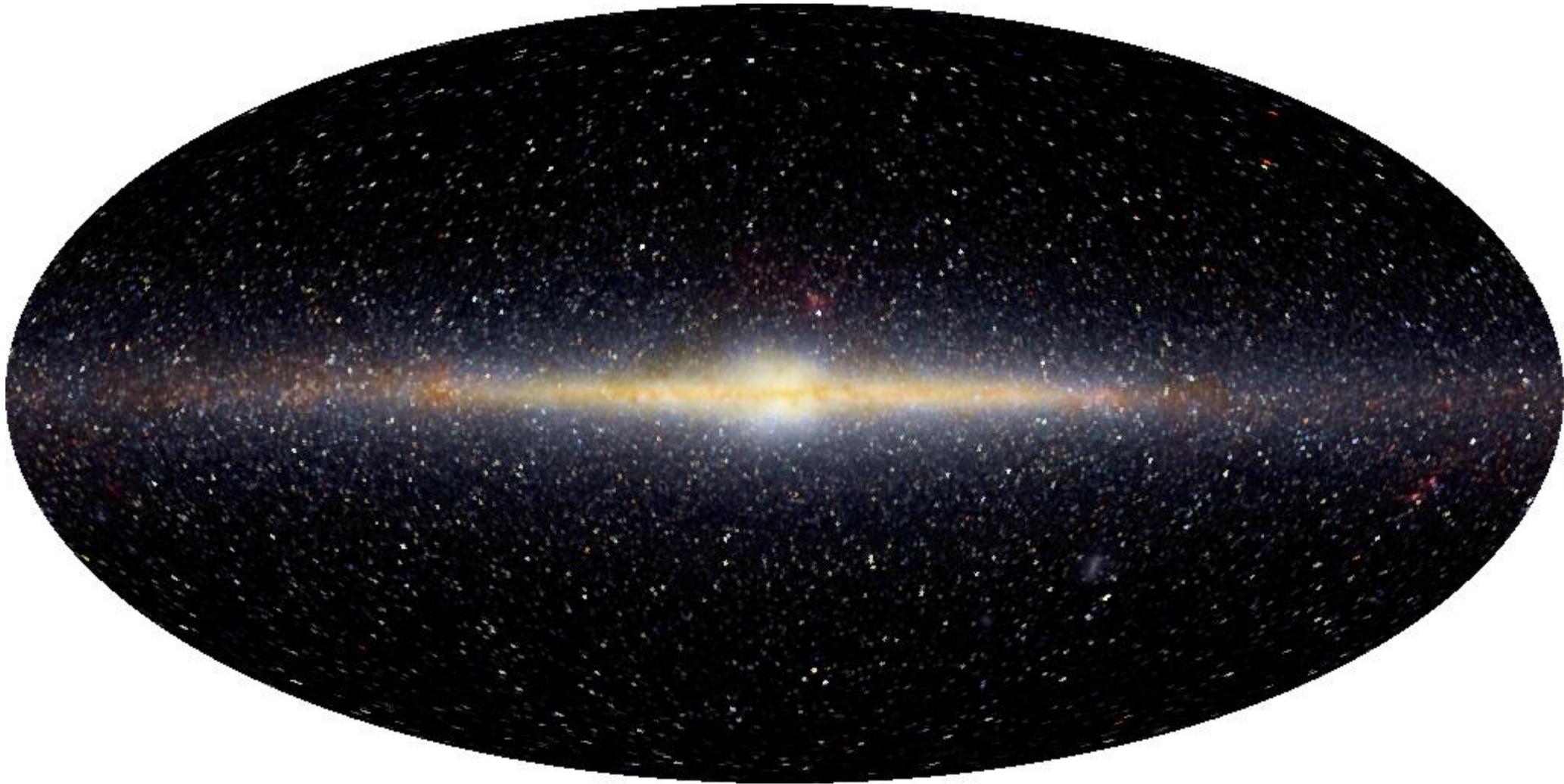


Sternkarte des ganzen Himmels



bis 10,000 Lichtjahre

IR-Karte des ganzen Himmels



bis 30,000 Lichtjahre

Der Andromeda-Nebel: unser grösster Nachbar



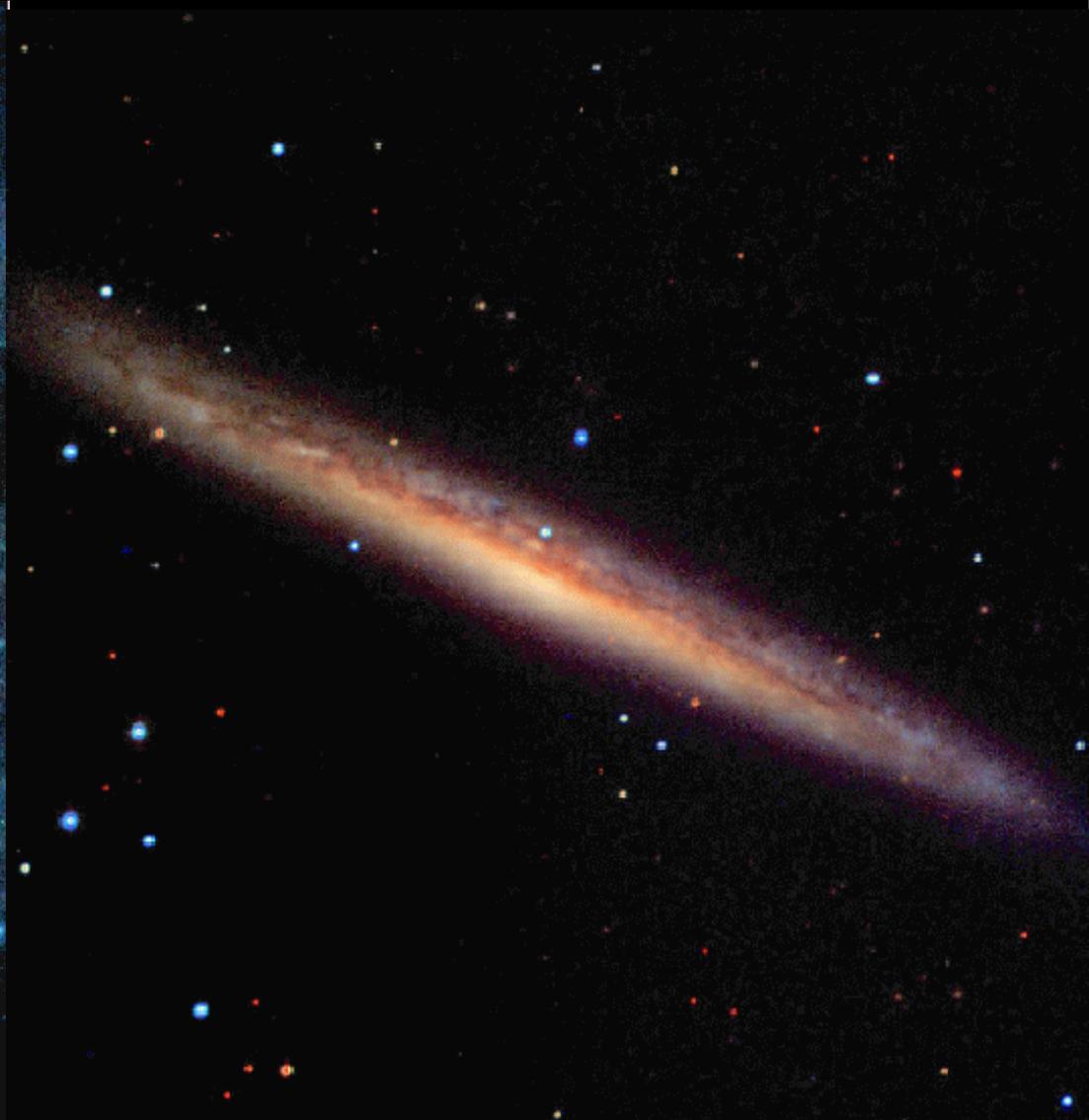
bis 2,000,000 Lichtjahre

Spiralgalaxien

Messier 101

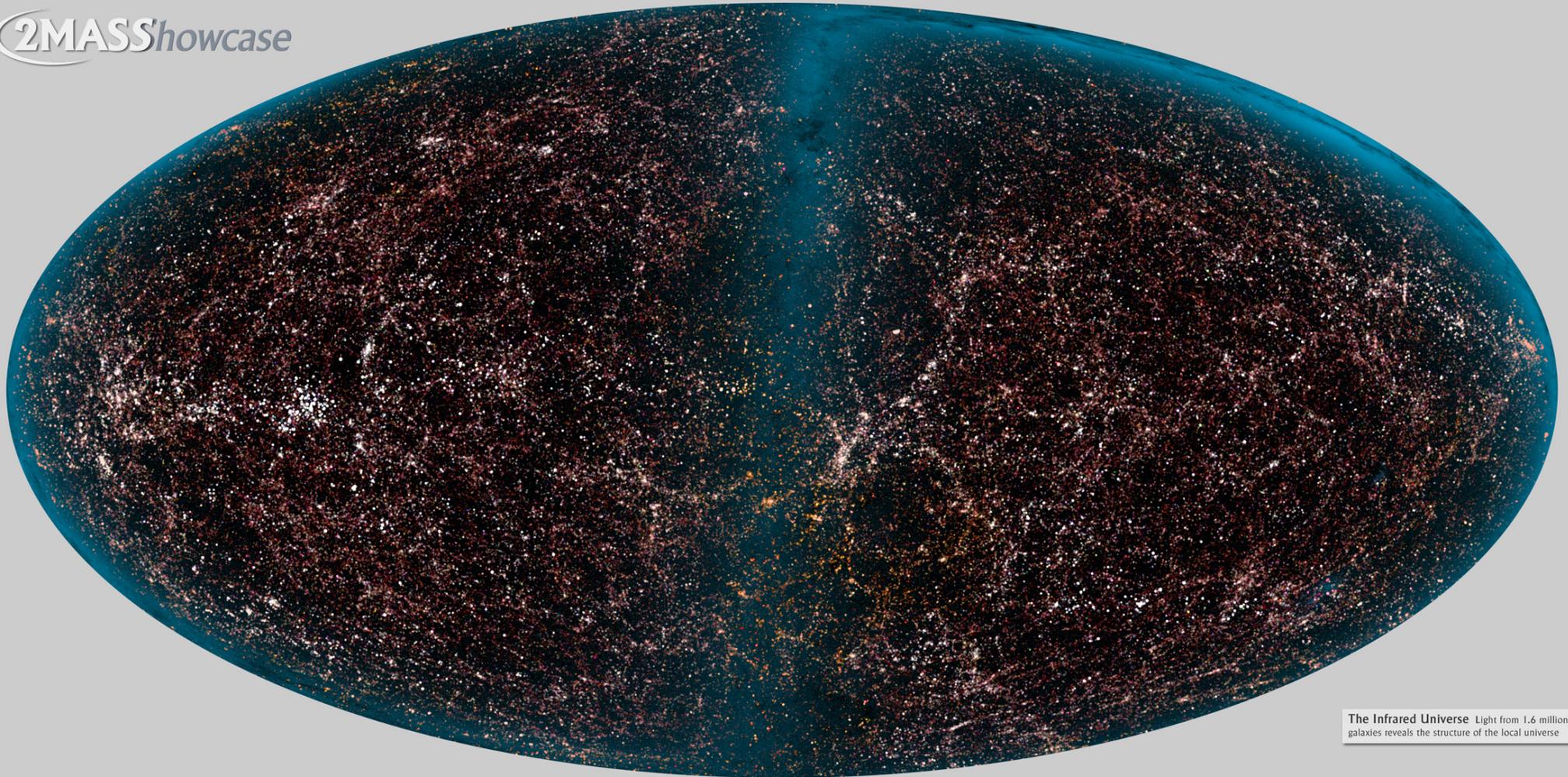


NGC 5907



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

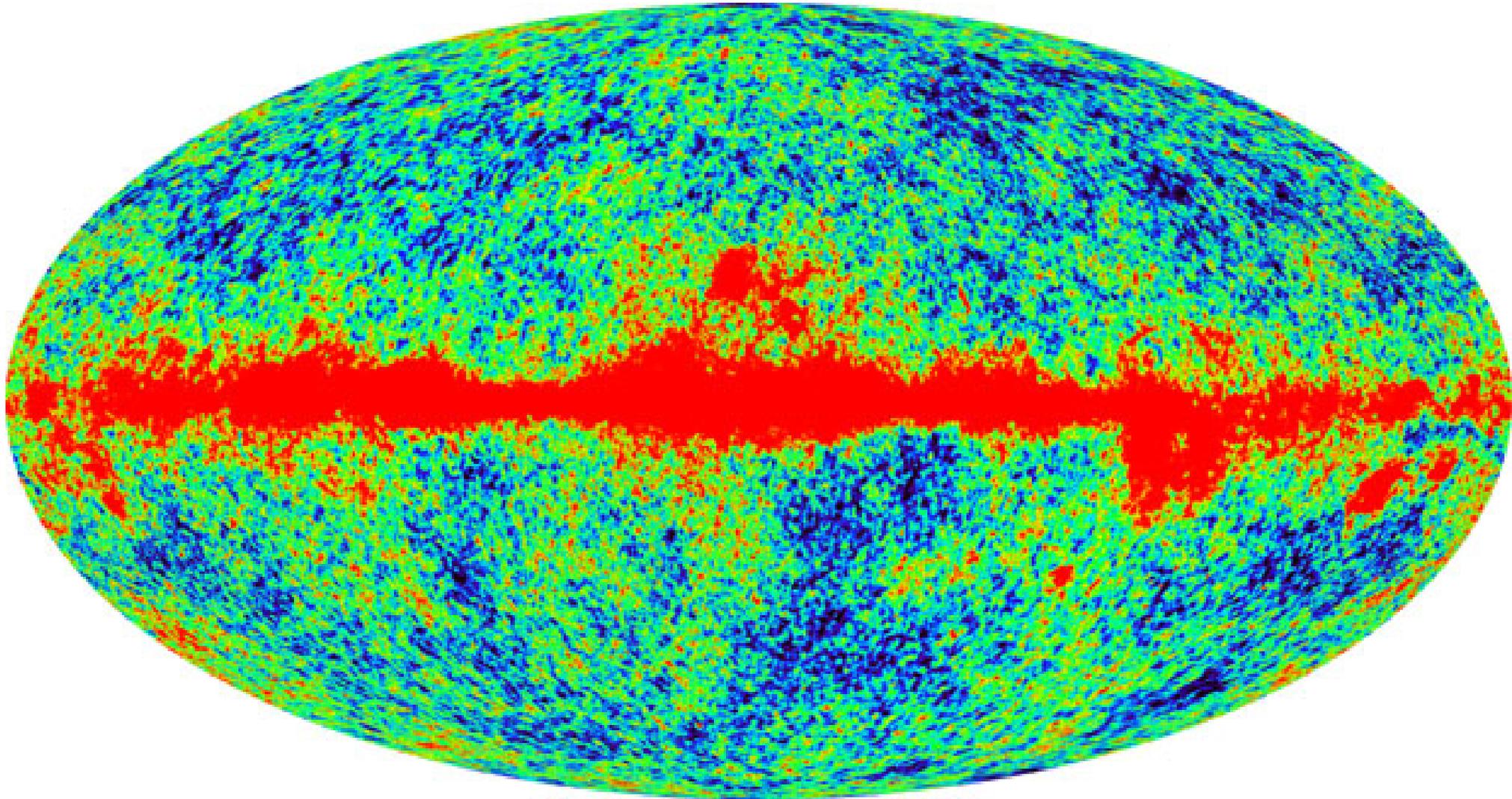


Die tiefste
Aufnahme, die
je gemacht
wurde

300 Stunden
mit dem
Hubble
Raumteleskop

bis mehr als 30,000,000,000 Lichtjahre

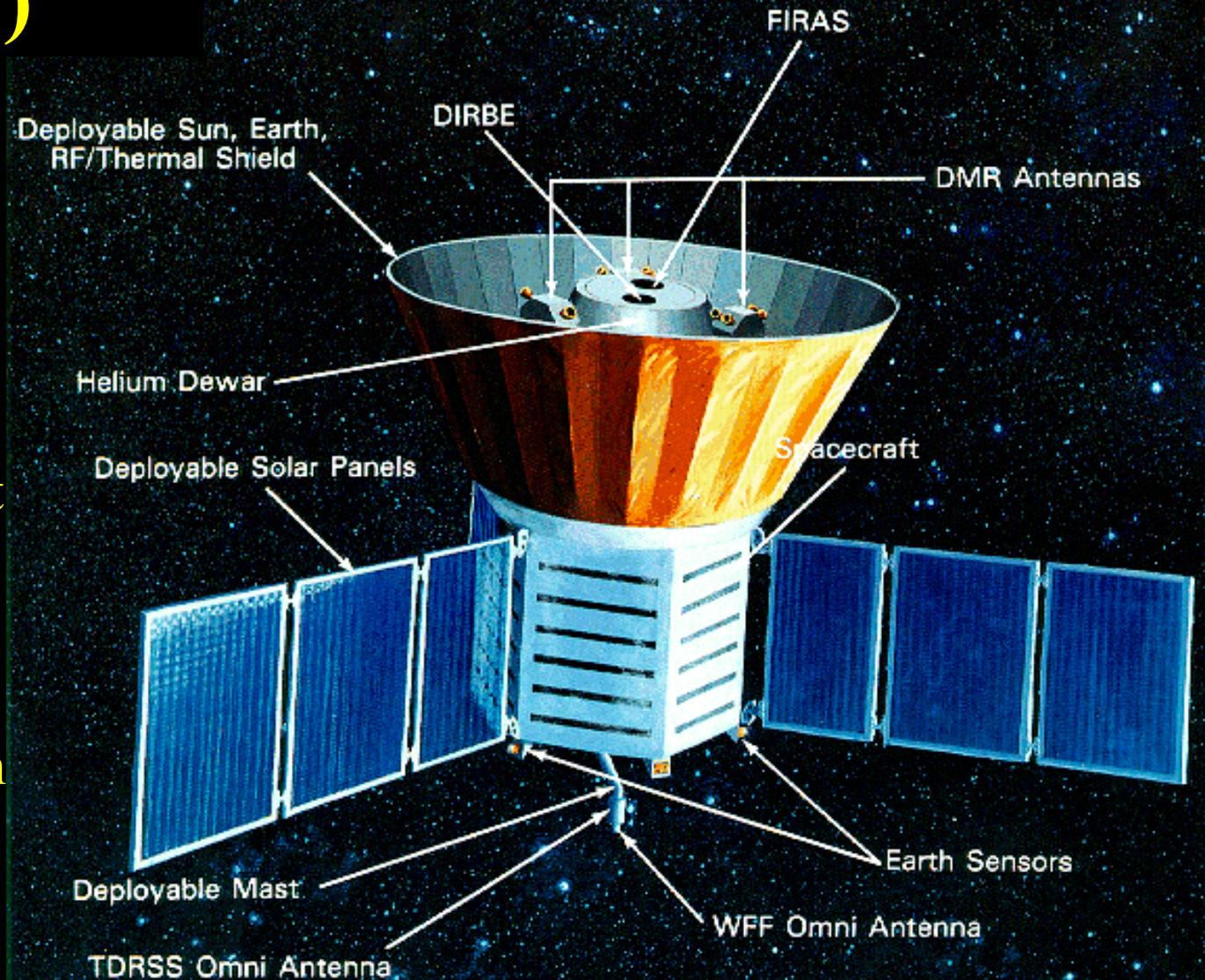
Karte des kosmischen Mikrowellenhintergrundes



bis 40 Milliarden Lichtjahre, 400,000 Jahre nach dem Urknall!

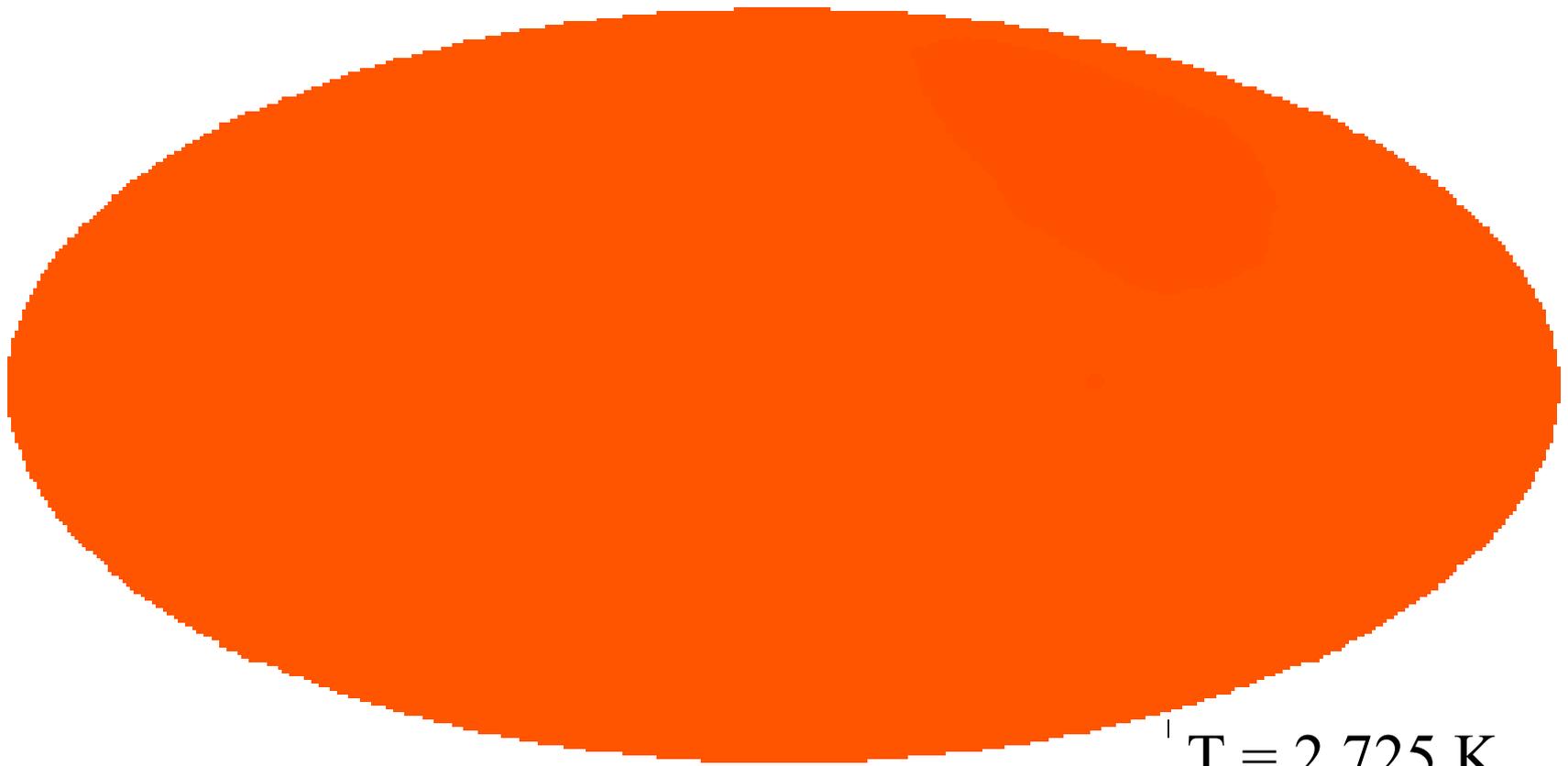
Der COBE Satellit (1989 - 1993)

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



Nobelpreis der Physik 2007

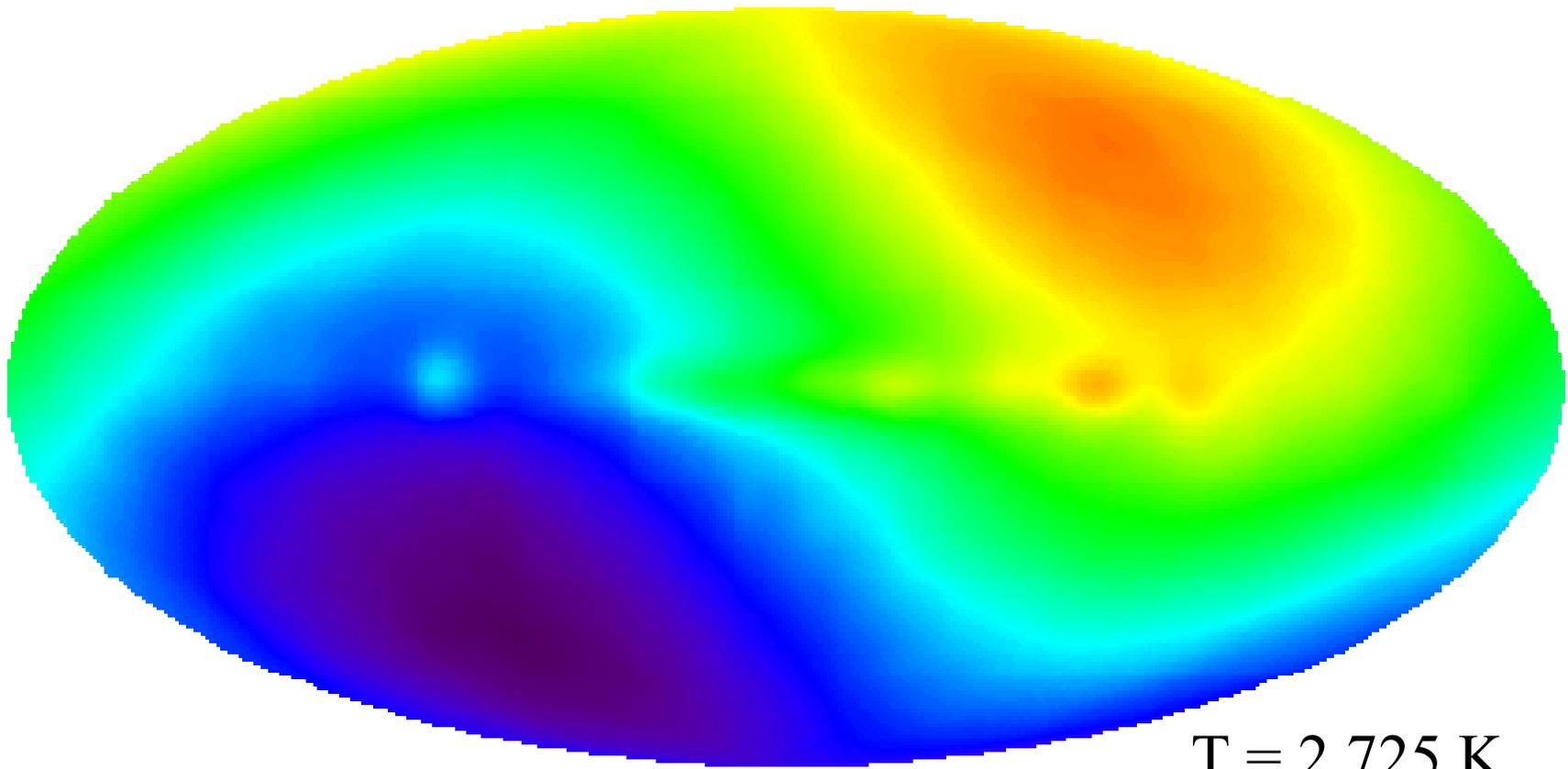
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



$T = 2.725 \text{ K}$

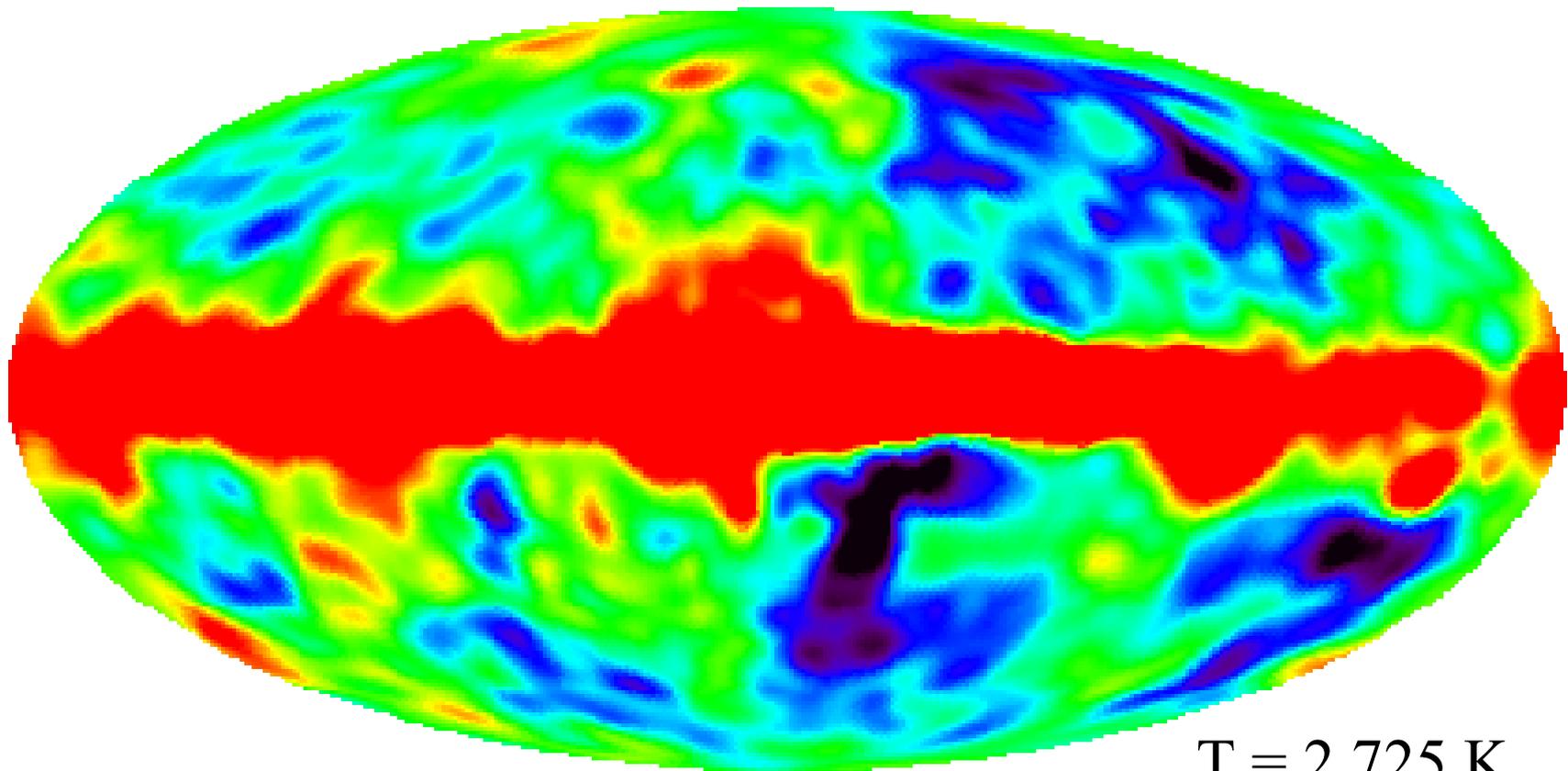
$\Delta T = 0.1 \text{ K}$

COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



$T = 2.725 \text{ K}$
 $\Delta T = 0.0034 \text{ K}$

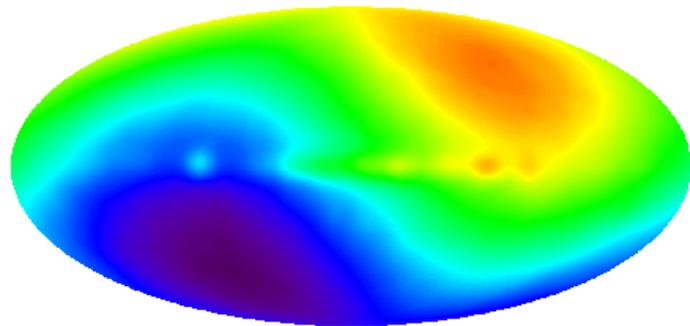
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



$$T = 2.725 \text{ K}$$

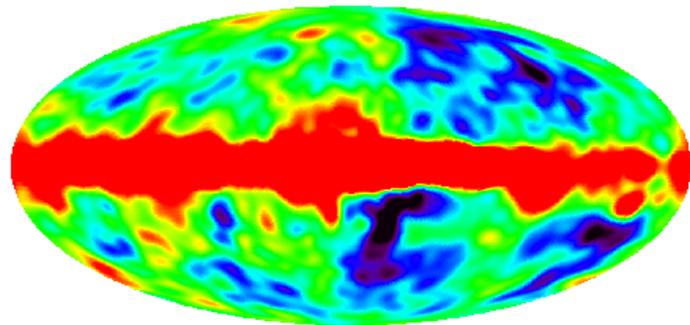
$$\Delta T = 0.00002 \text{ K}$$

Struktur in der COBE Karte

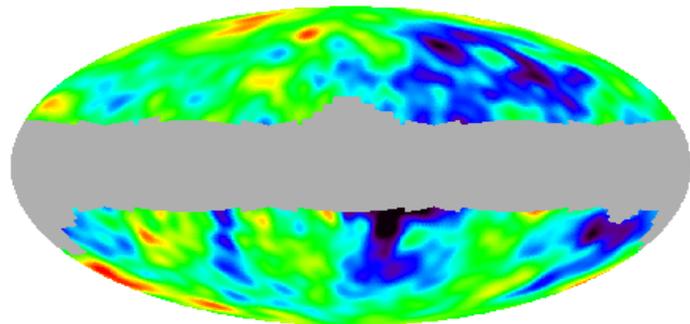


- Eine Himmelsseite ist kalt, die andere heiss
die Bewegung unserer Erde durch den Kosmos

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



- Strahlung von Staub und Gas in unserer
Milchstrasse



- Struktur im Mikrowellenhintergrund selbst

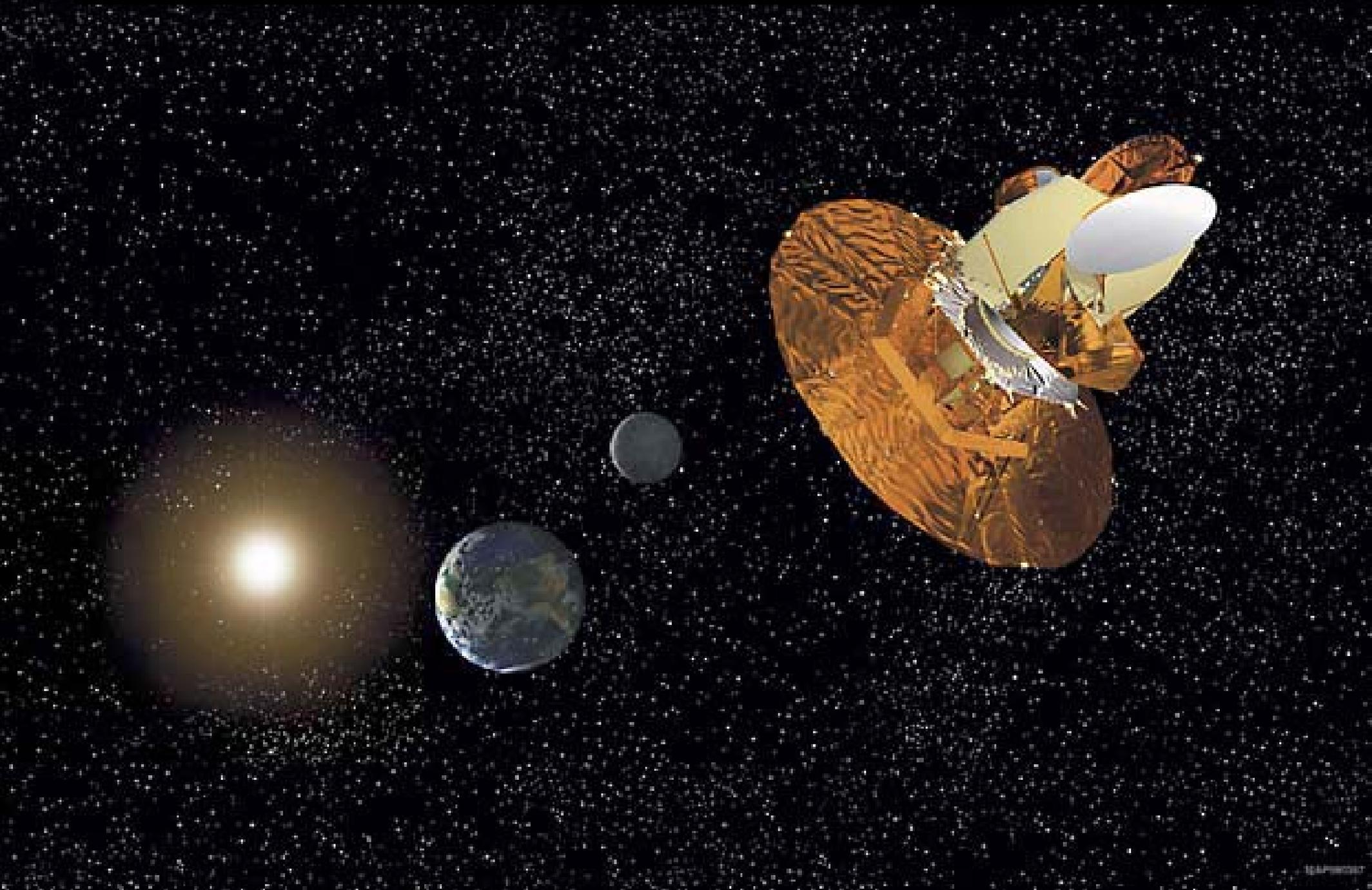
Struktur im Mikrowellenhintergrund

- Die Struktur liegt in den kosmischen “Wolken”, $\sim 4 \cdot 10^{10}$ l.j.
- Sie besteht aus schwachen “Schallwellen”, $A \sim 10^{-4}$
- Das Universum war dann nur 400 000 Jahre alt und war 1 000mal kleiner and 1 000mal heisser als heute

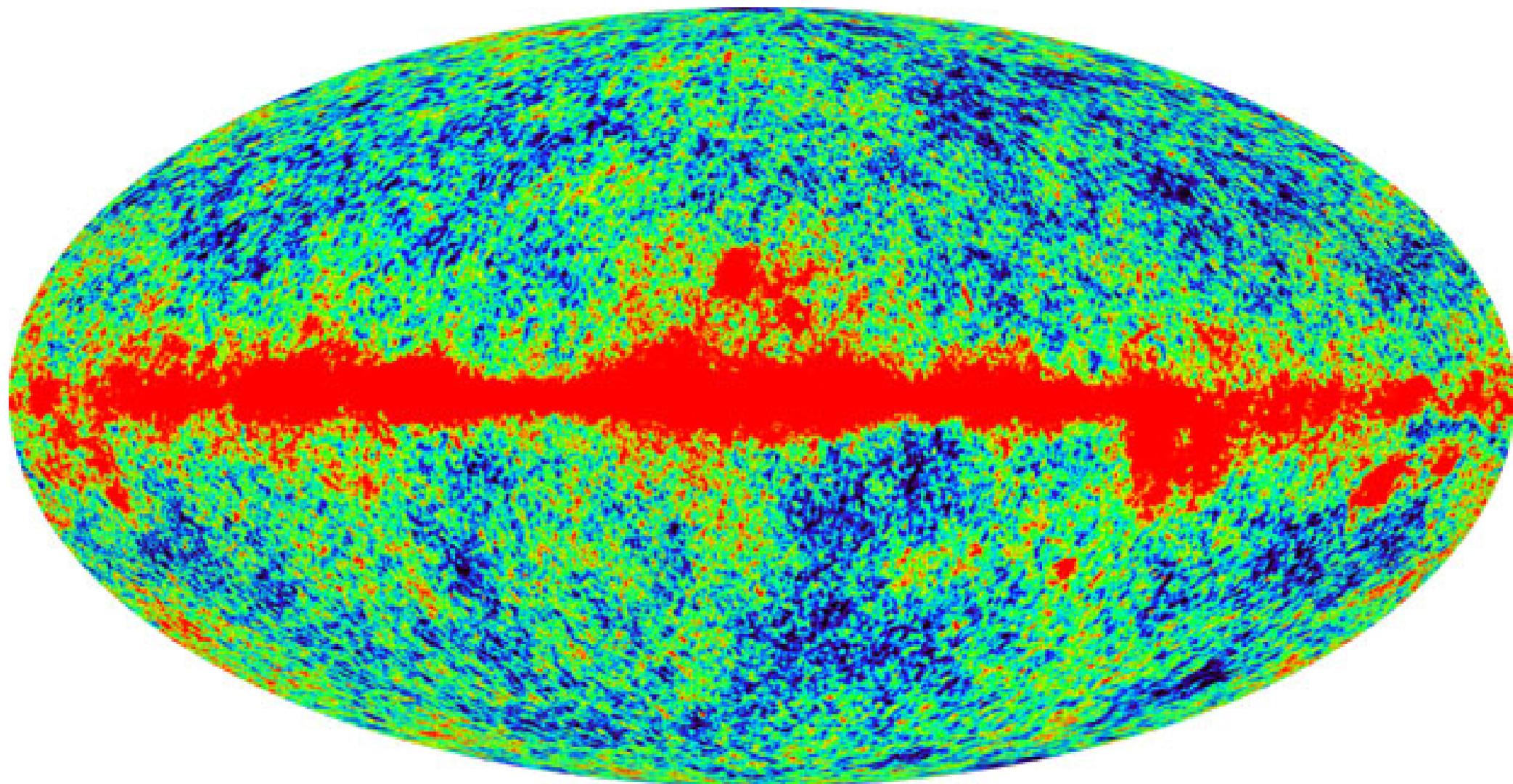
Das *Muster* der Struktur reflektiert

- A: Die Geometrie und die Topologie des Universums
- B: Den Inhalt und die thermische Entwicklung des Universums
- C: Den Prozess, der die Struktur erzeugt hat

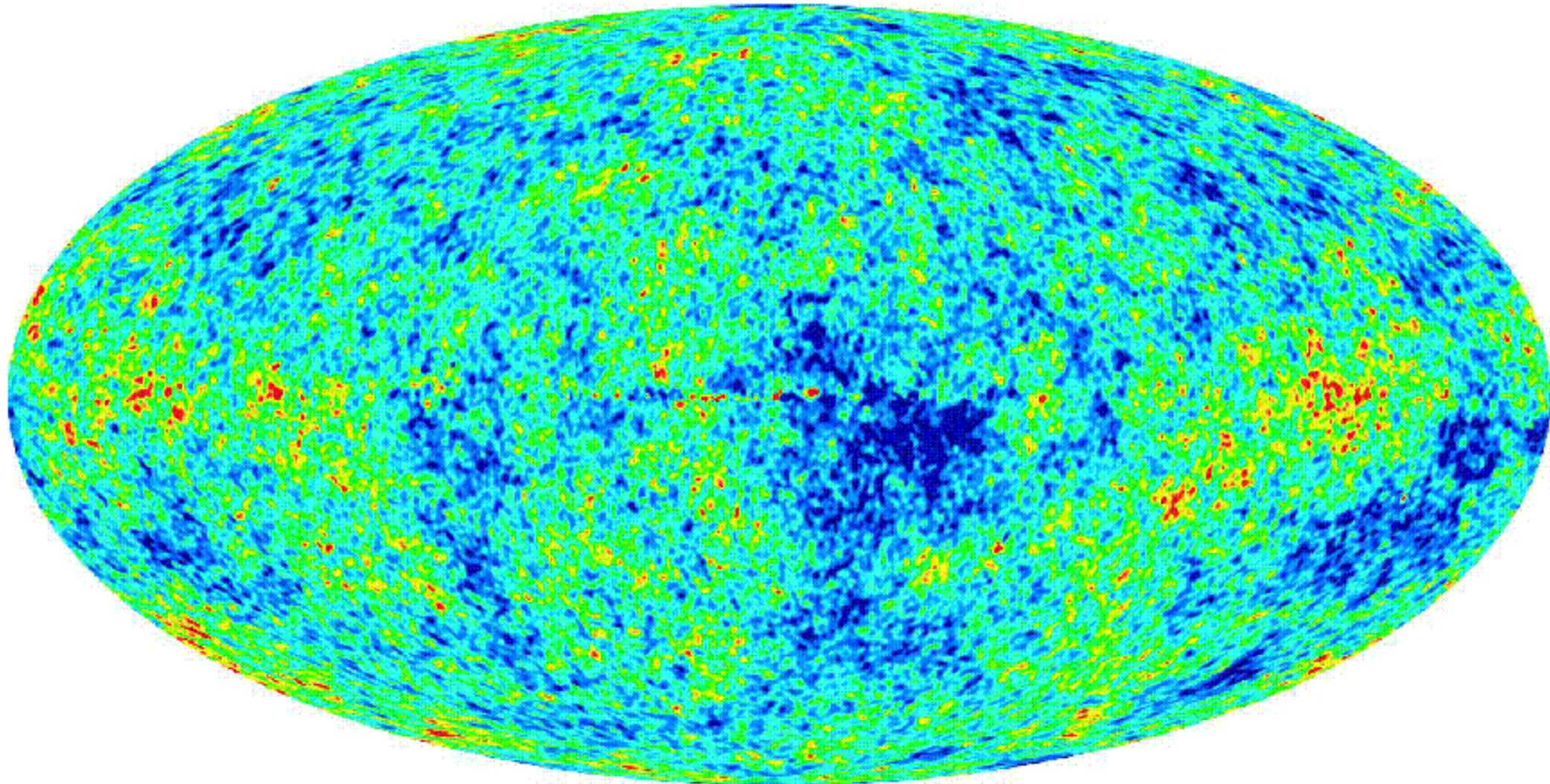
Der *WMAP* Satellit am Lagrange-Punkt L2



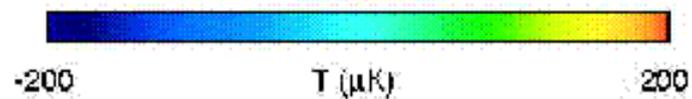
Die *WMAP* des ganzen Himmels

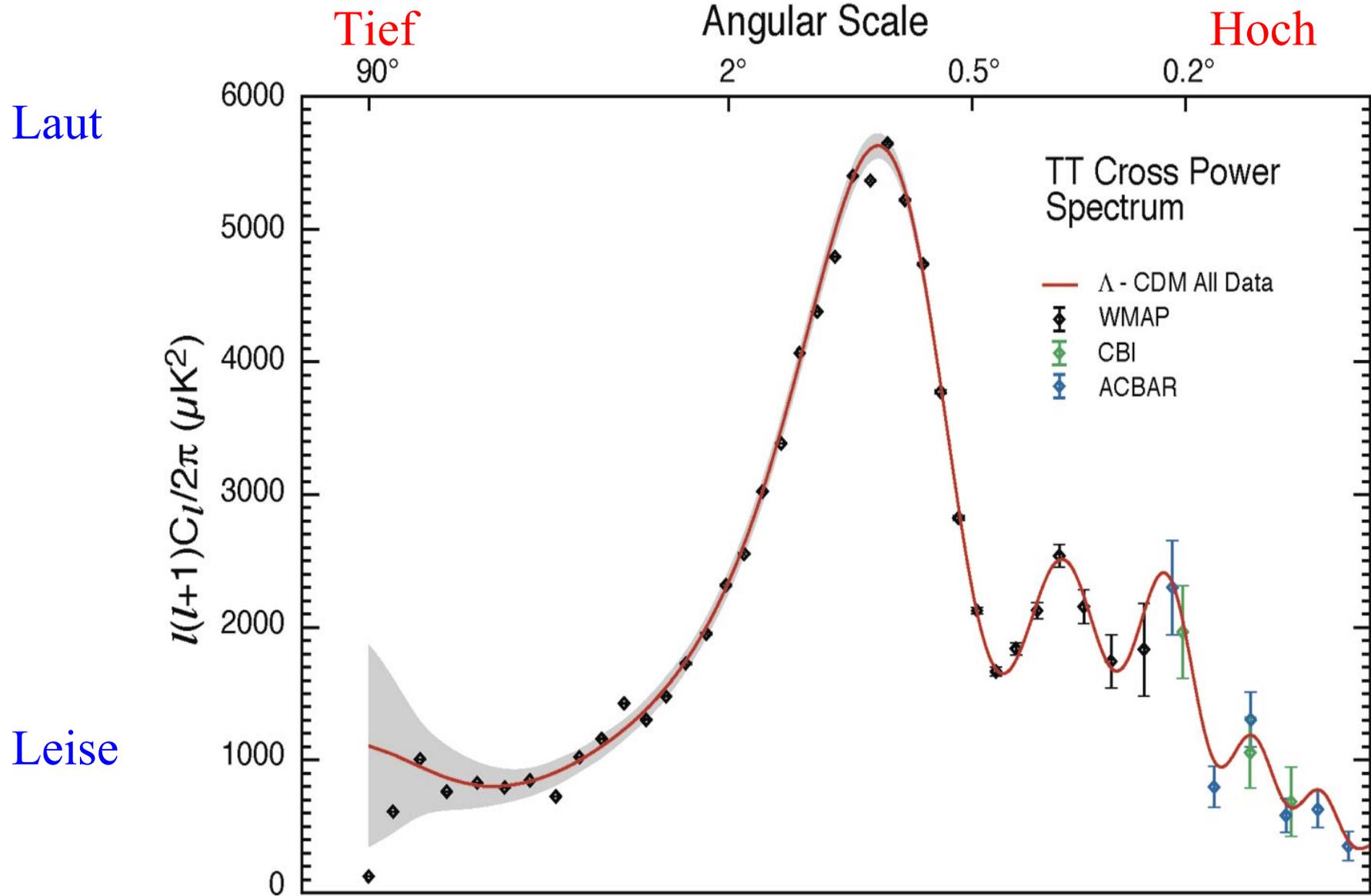


Die *WMAP* des ganzen Himmels



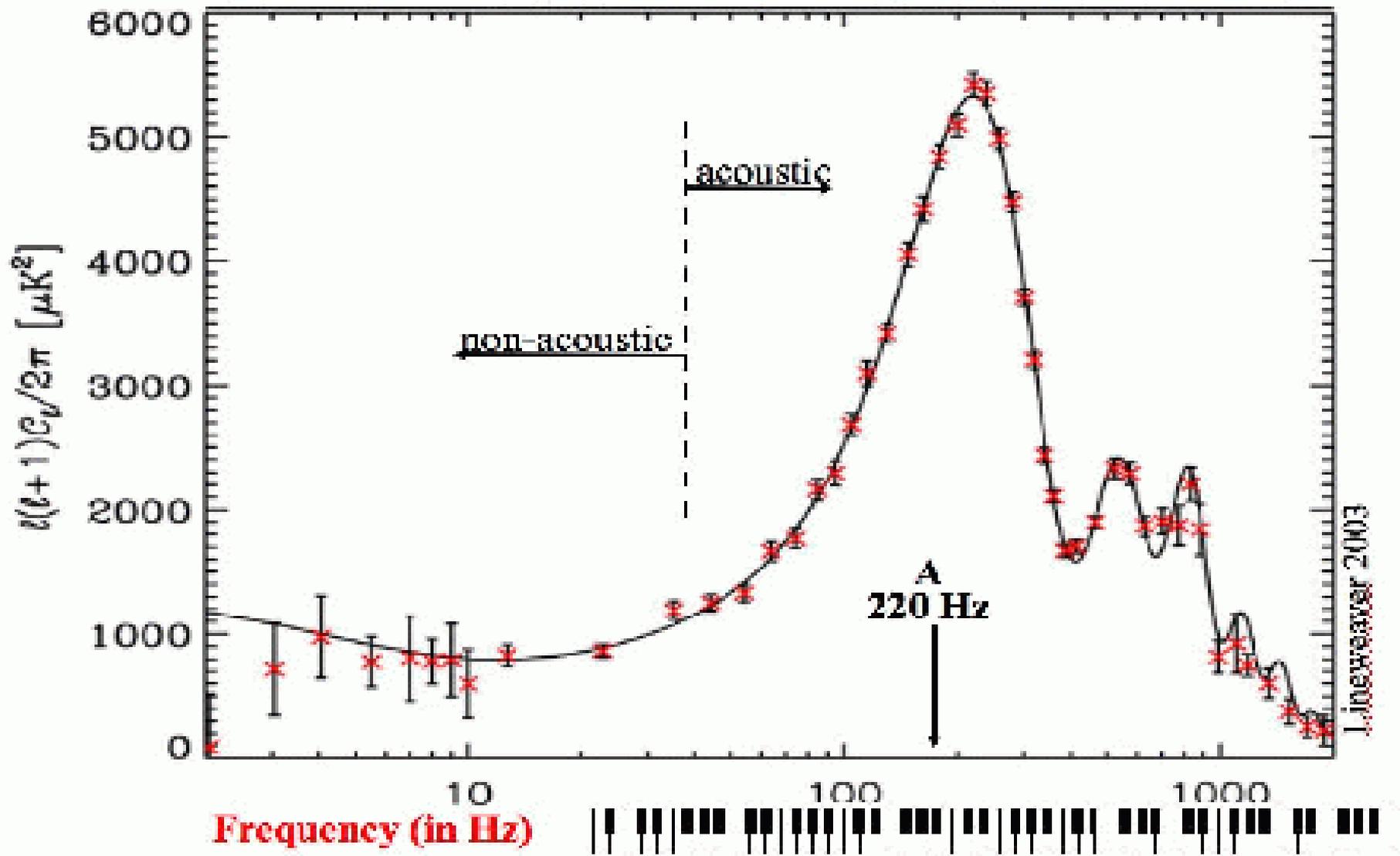
ohne Vordergrund





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

CMB Sound Spectrum



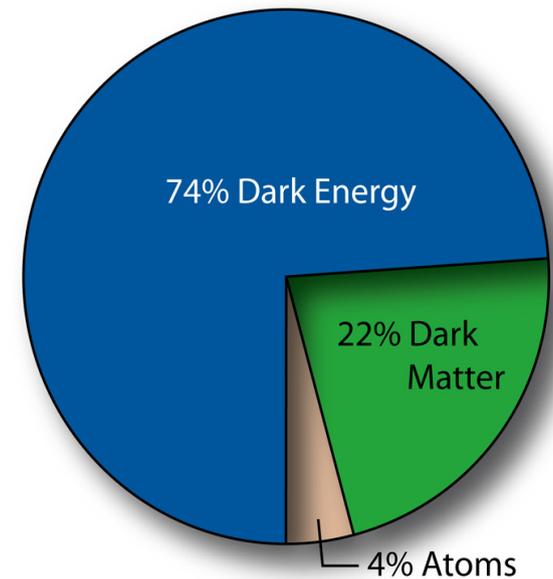
Klaviertasten (+ 50 Oktaven!)

Was hat die kosmologische Musik uns gelehrt?

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

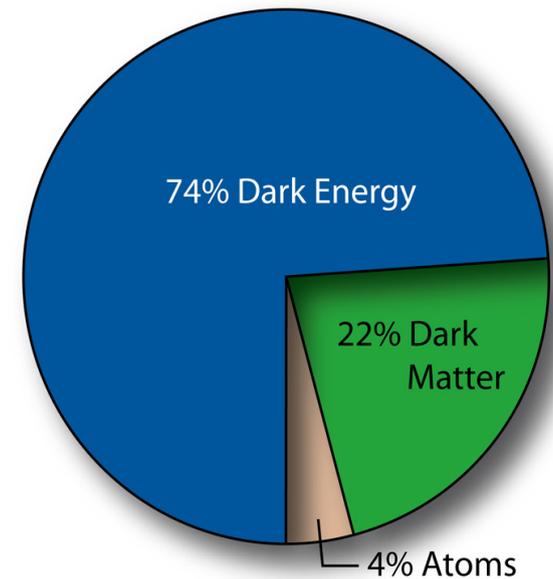
Was hat die kosmologische Musik uns gelehrt?

- Unser Universum ist flach
- Nur 4% besteht aus normaler Materie



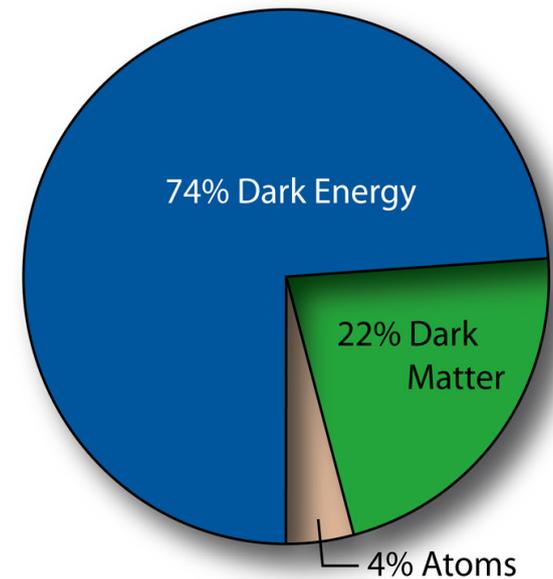
Was hat die kosmologische Musik uns gelehrt?

- Unser Universum ist flach
- Nur 4% besteht aus normaler Materie
- Etwa 21% besteht aus dunkler Materie
noch nicht auf der Erde gesehene Elementarteilchen?



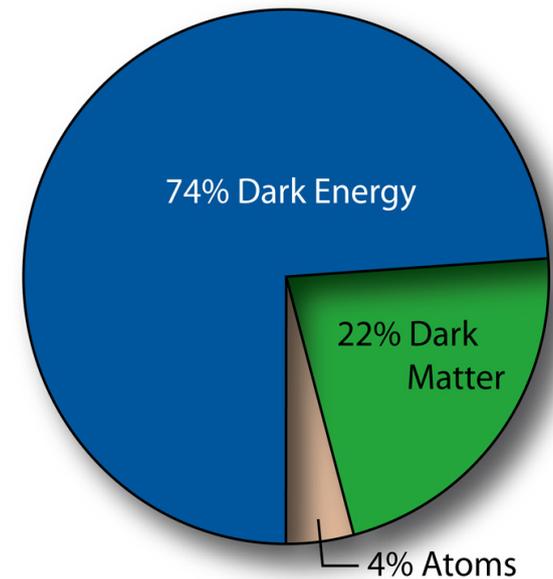
Was hat die kosmologische Musik uns gelehrt?

- Unser Universum ist flach
- Nur 4% besteht aus normaler Materie
- Etwa 21% besteht aus dunkler Materie
noch nicht auf der Erde gesehene Elementarteilchen?
- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie, die die heutige Ausdehnung des Universums beschleunigt!



Was hat die kosmologische Musik uns gelehrt?

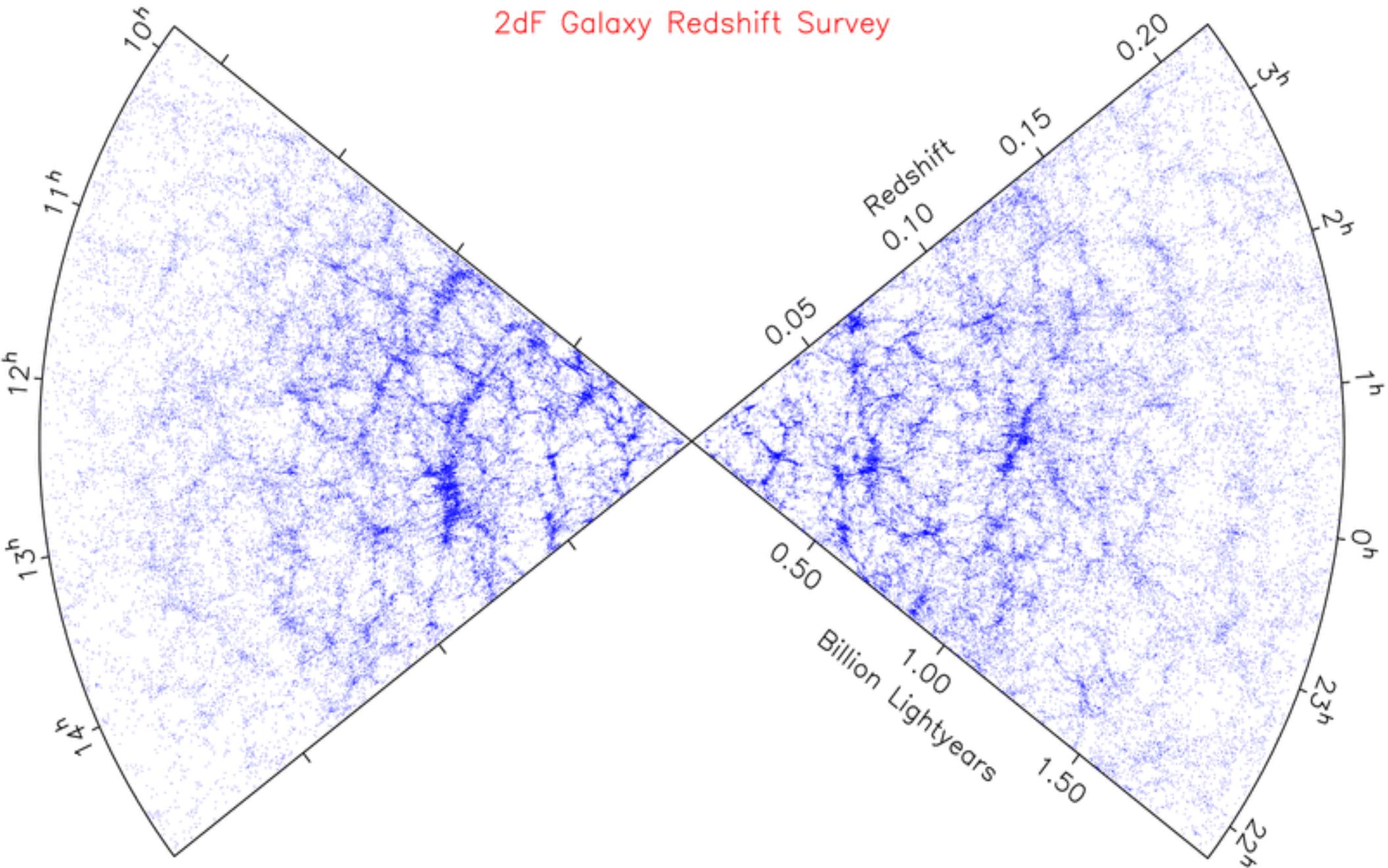
- Unser Universum ist flach
- Nur 4% besteht aus normaler Materie
- Etwa 21% besteht aus dunkler Materie
noch nicht auf der Erde gesehene Elementarteilchen?
- Der grösste Anteil besteht aus einer neuen Art Energie – die dunkle Energie, die die heutige Ausdehnung des Universums beschleunigt!
- Die Schallwellen (und dadurch alle heutigen Strukturen) sind aus Quantenfluktuationen des *Vakuums* 10^{-30} s nach den Urknall gewachsen



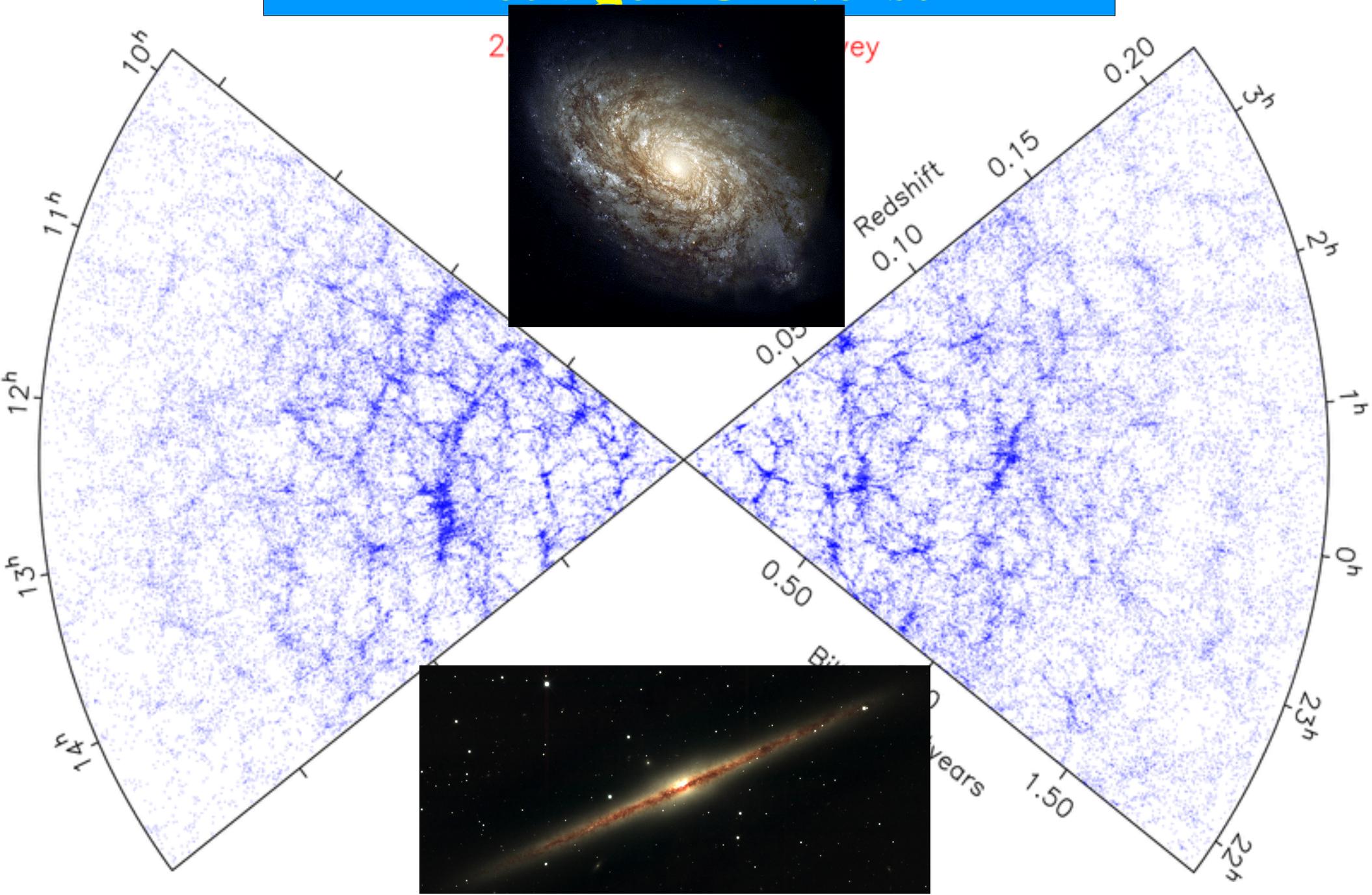
Alles hat sich durch “Musik” aus Nichts entwickelt!

Grossräumige Strukturen im heutigen Universum

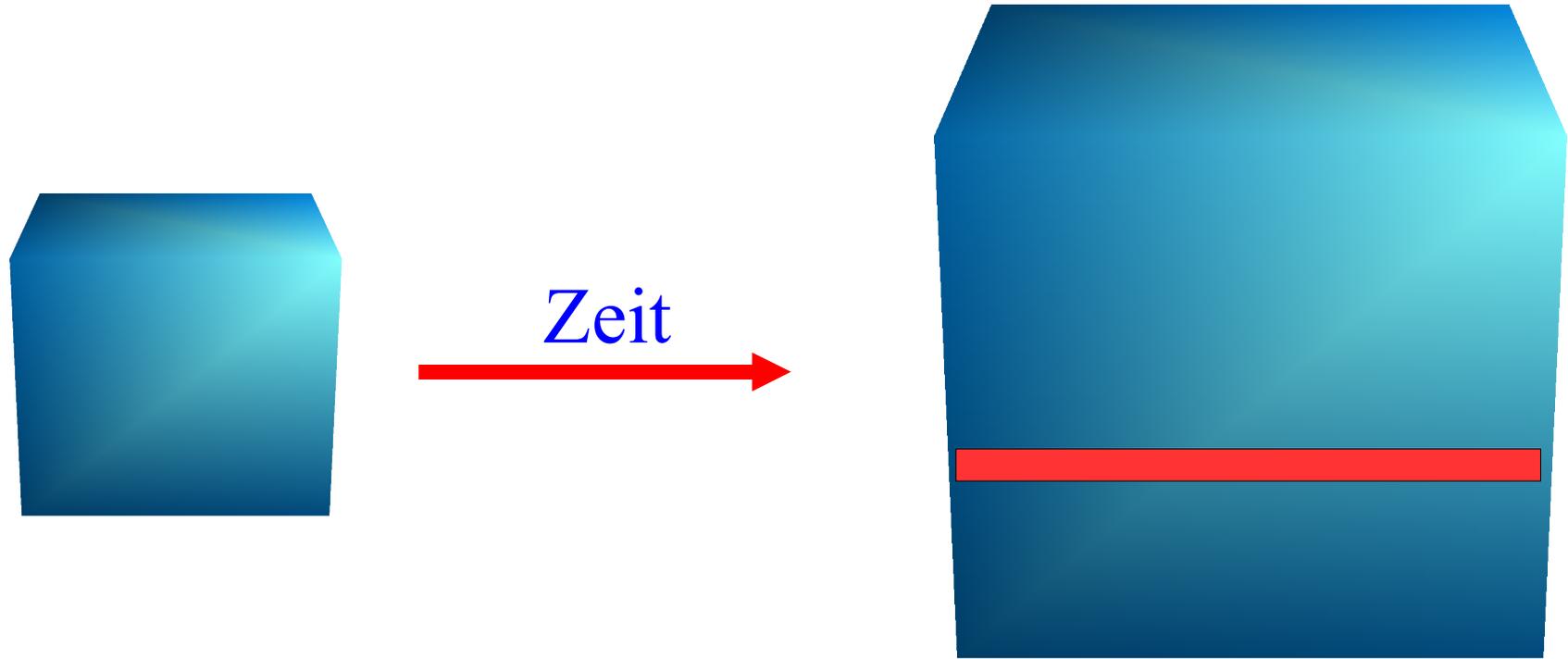
2dF Galaxy Redshift Survey



Grossräumige Strukturen im heutigen Universum



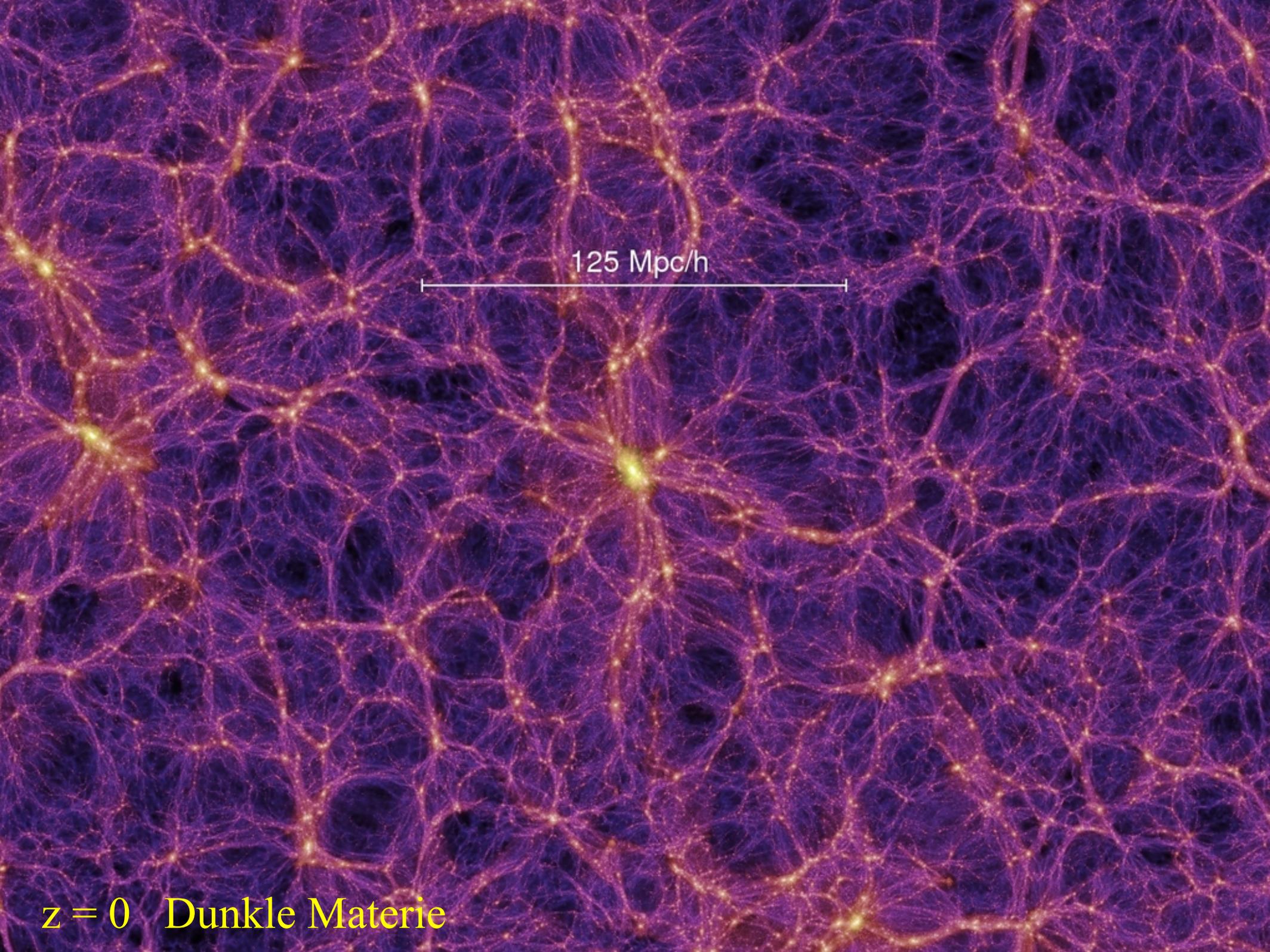
Wie man die Entwicklung des Universums auf einem Grossrechner verfolgt



- Die Materie in einem sich 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

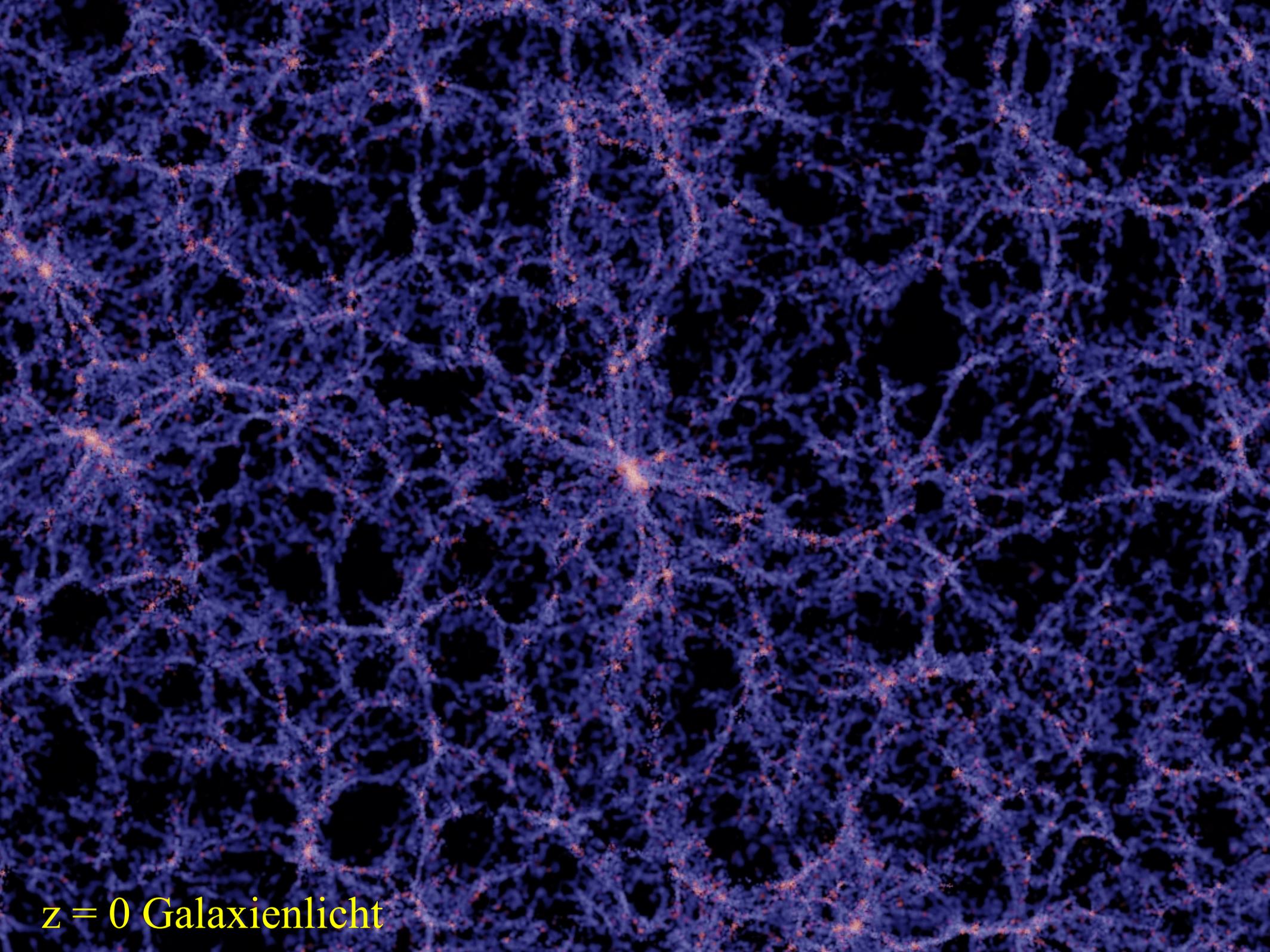
Blicke auf die dunkle Materie in einem virtuellen Universum

- Entwicklung dunkler Strukturen in einem dünnen Querschnitt durchs Universum
- Ein Flug durch das dunkle Universum

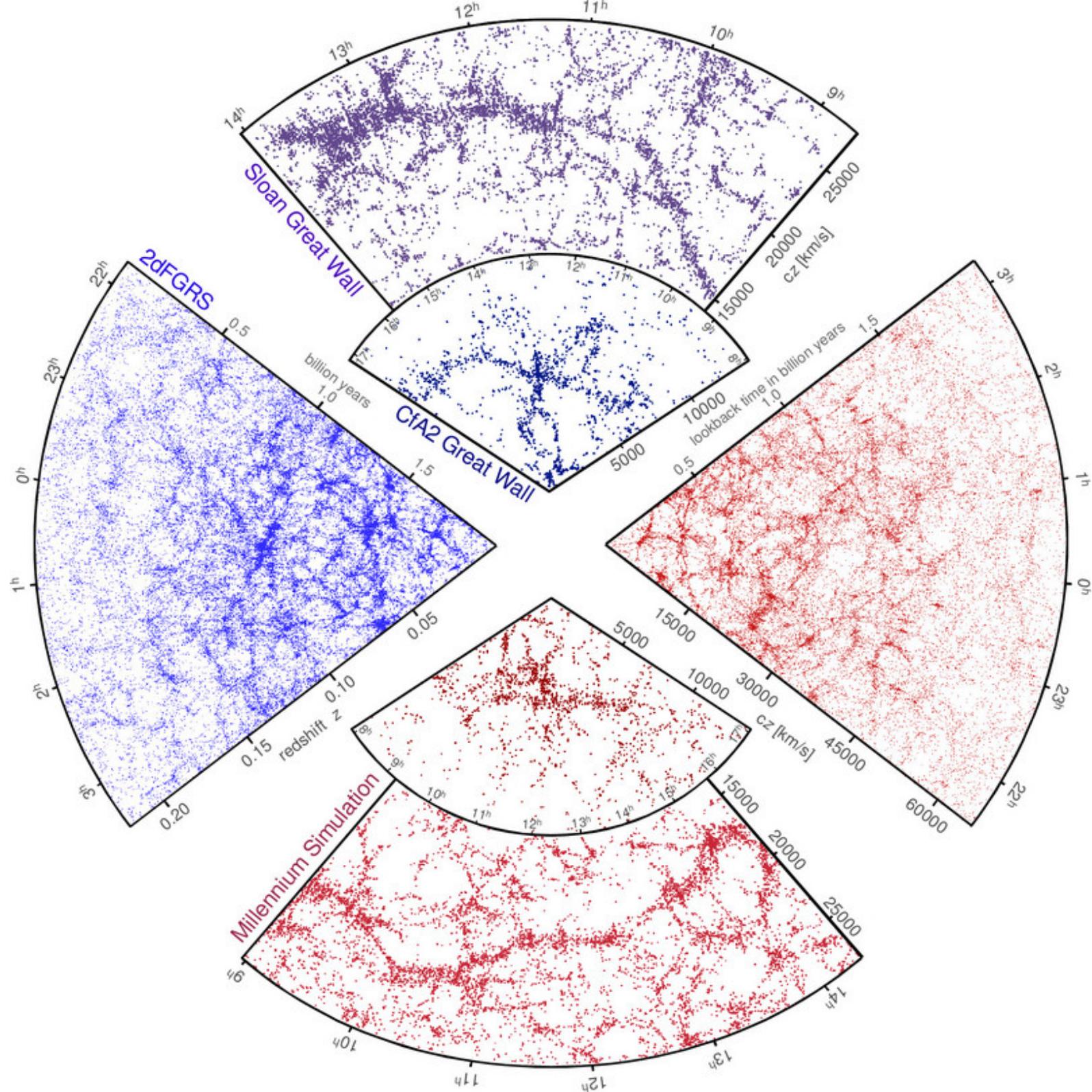


125 Mpc/h

$z = 0$ Dunkle Materie



$z = 0$ Galaxienlicht



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
- In der kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung ist die Struktur als Schallwellen im 400 000 alten Universum sichtbar
- Der Akkord dieser kosmischer Symphonie lehrt uns die Geometrie und Inhalt des Universums sowie die Natur des Klangkörpers
- Galaxien, Sterne, Planeten und Menschen sind aus diesen frühen Schallwellen durch **Schwerkraftseffekte** erzeugt worden