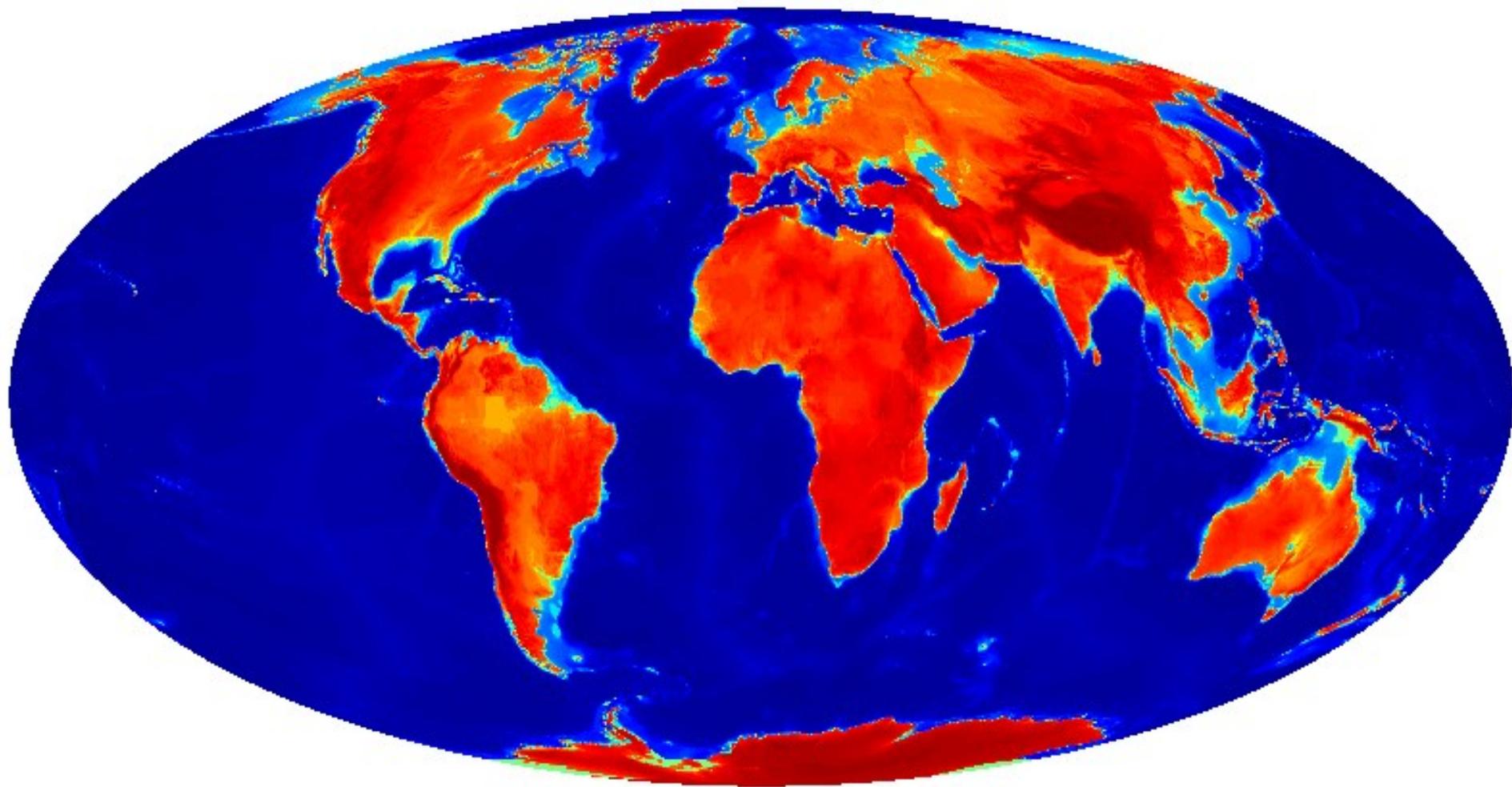


Die dunkle Welt

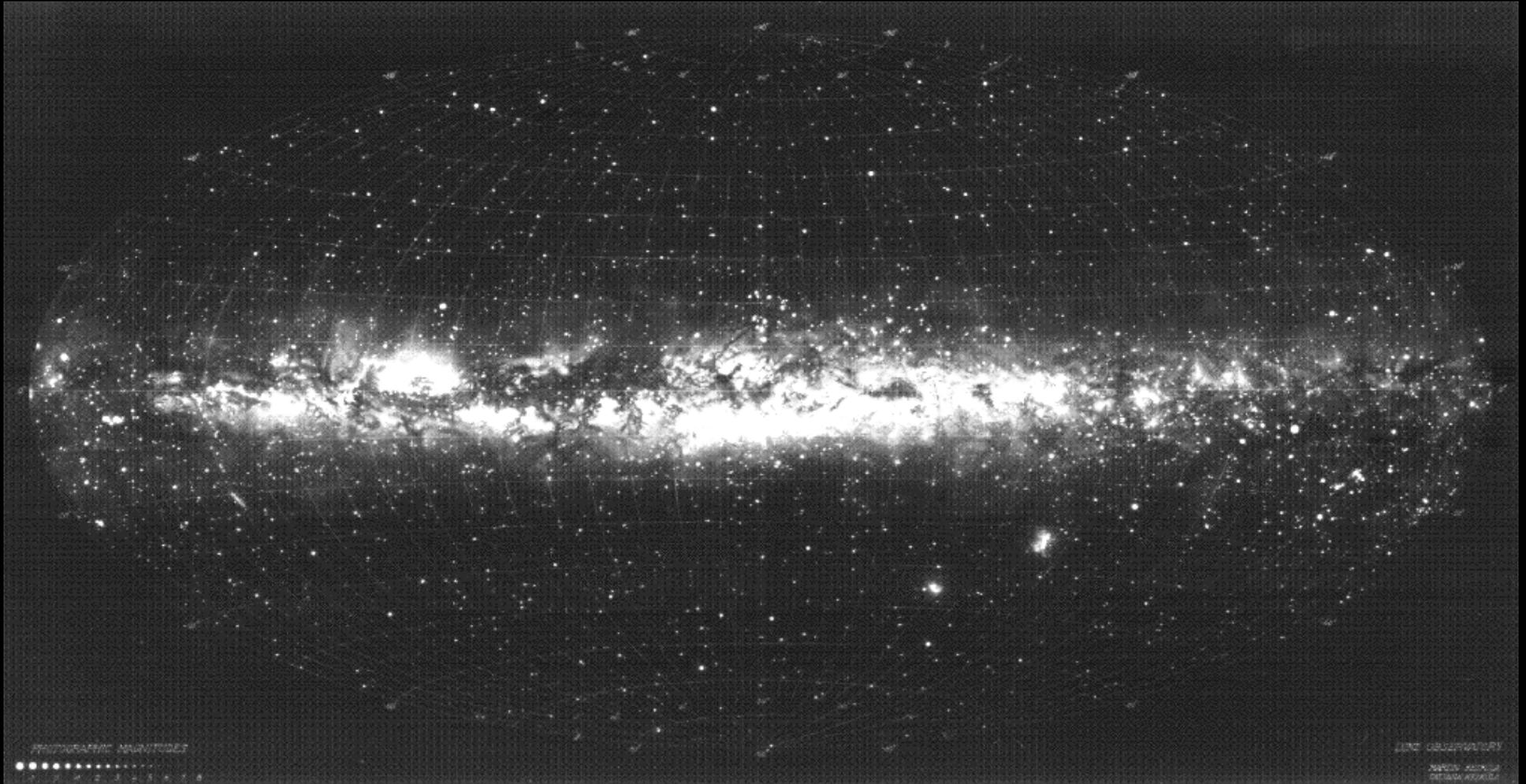
Simon White

Max Planck Institut für Astrophysik

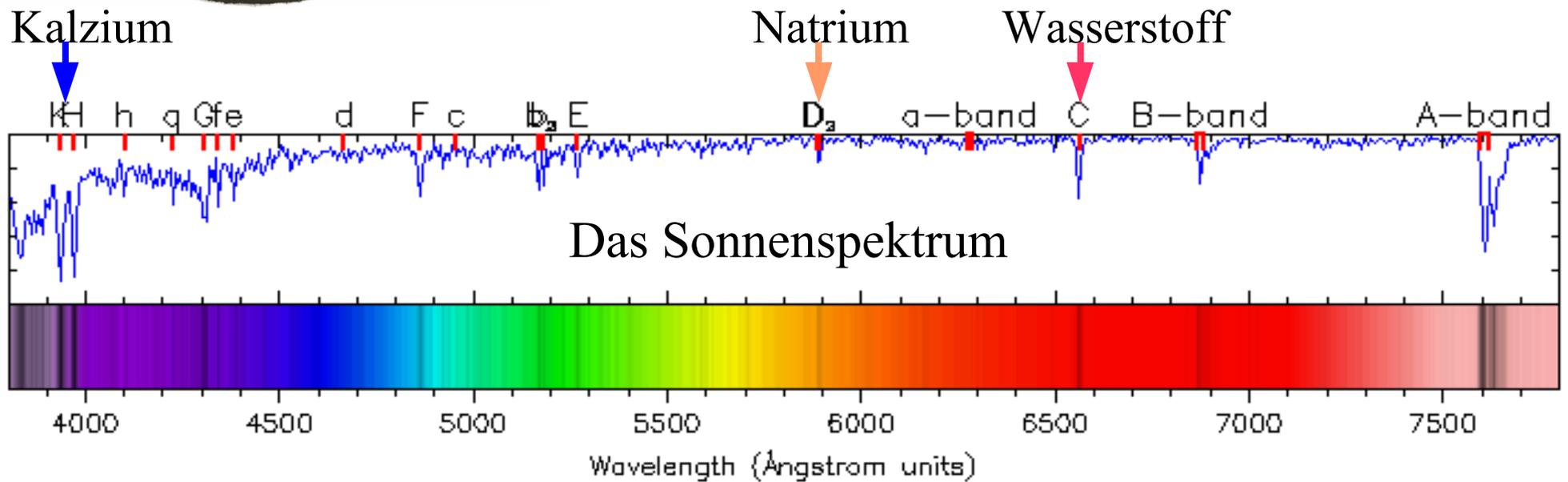
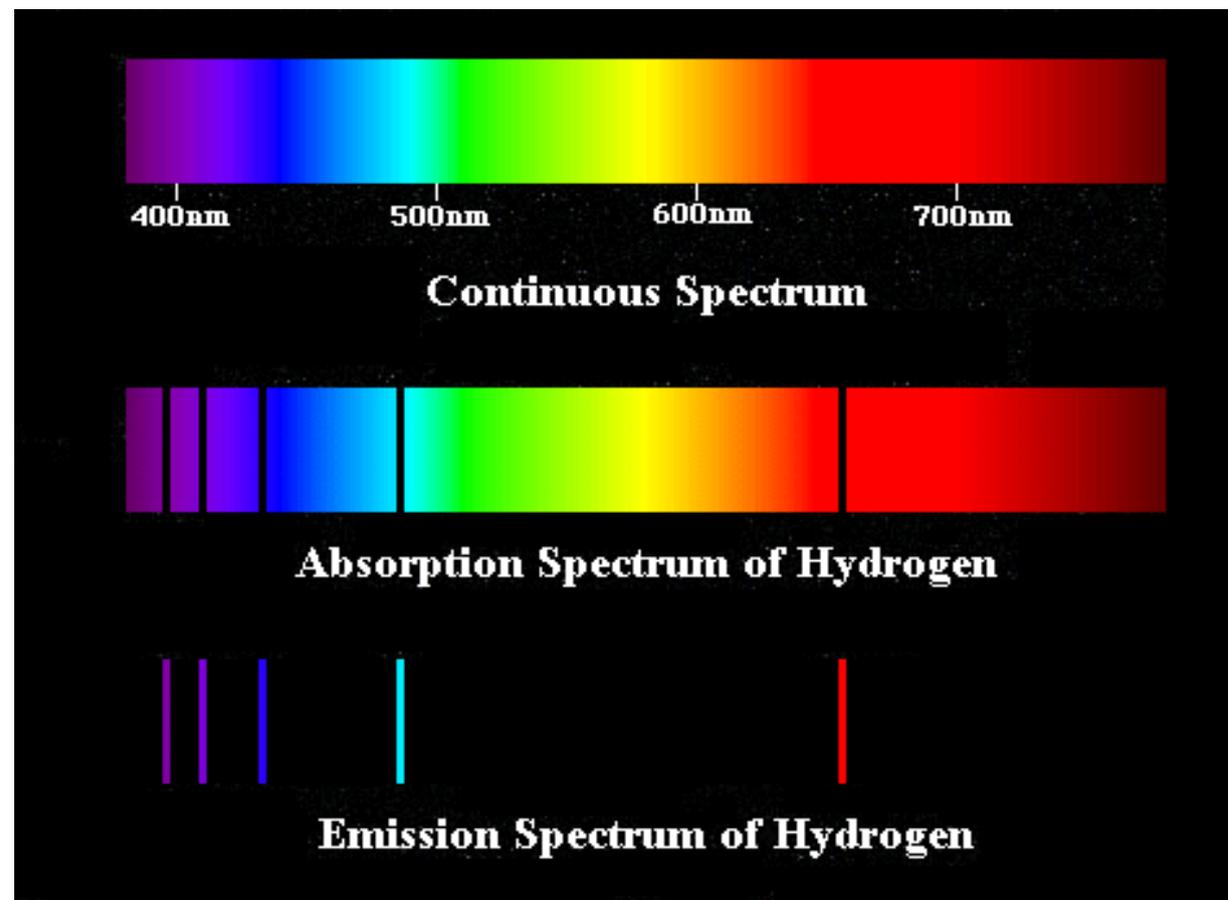
Wie erkennen wir das Unberührbare?



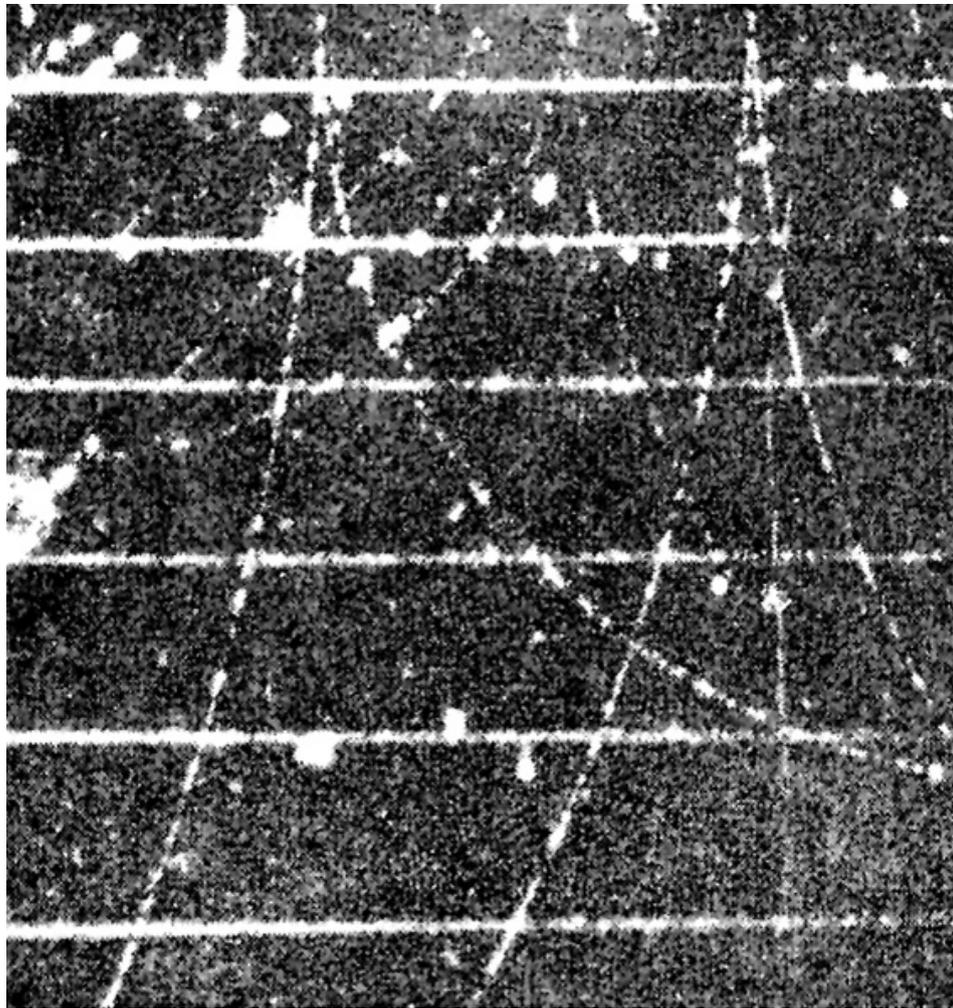
Sternkarte des ganzen Himmels



Joseph von Fraunhofer



Wie erkennen wir das Unsichtbare?



e^-

e^-

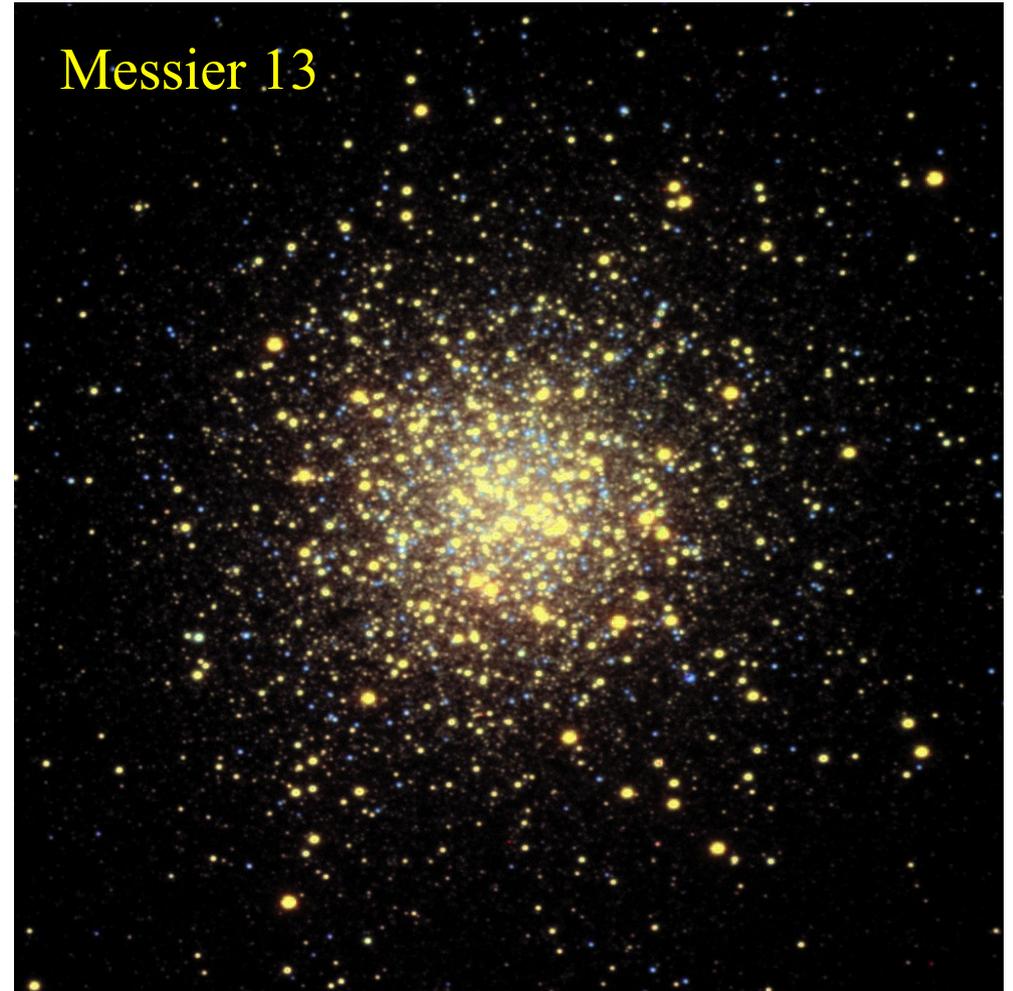
e^-



e^+

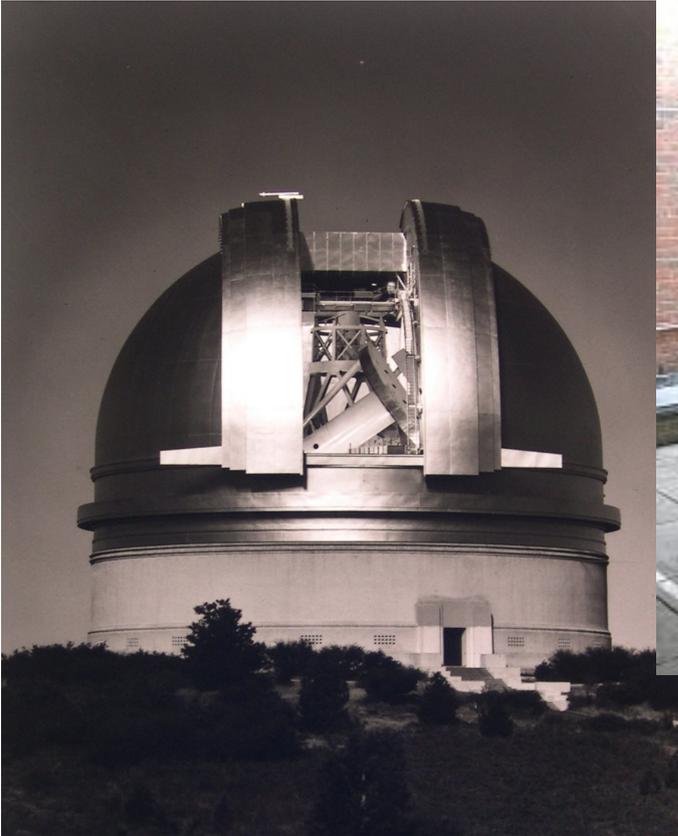
Wie erkennen wir das, was kein Einfluss auf unsere spürbare Welt hat?

Archäologe werden!



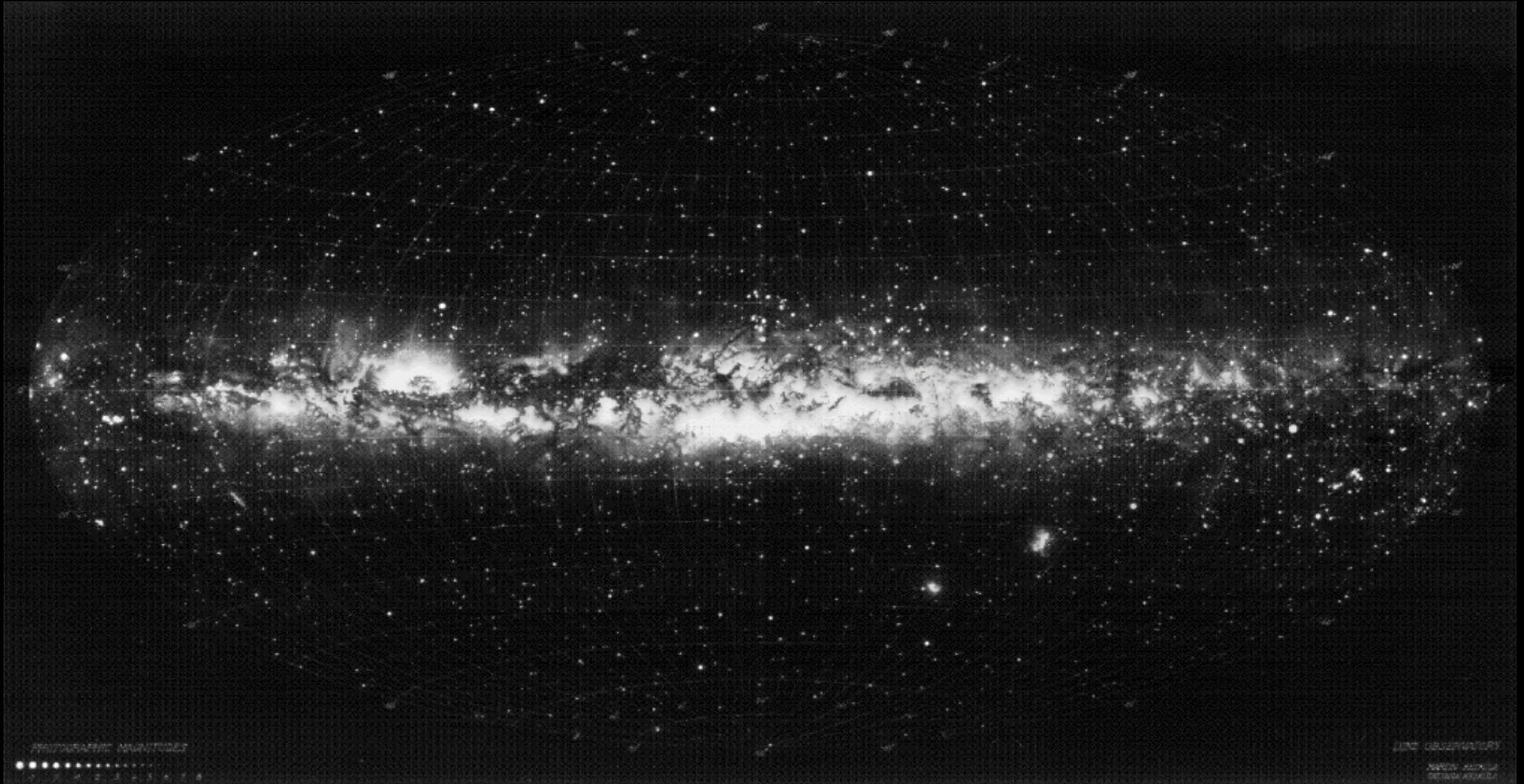
Alte Objekte zeigen uns, wie das Universum war, als es jung war

Fernrohre sind Zeitmaschinen – sie blicken direkt in die Vergangenheit



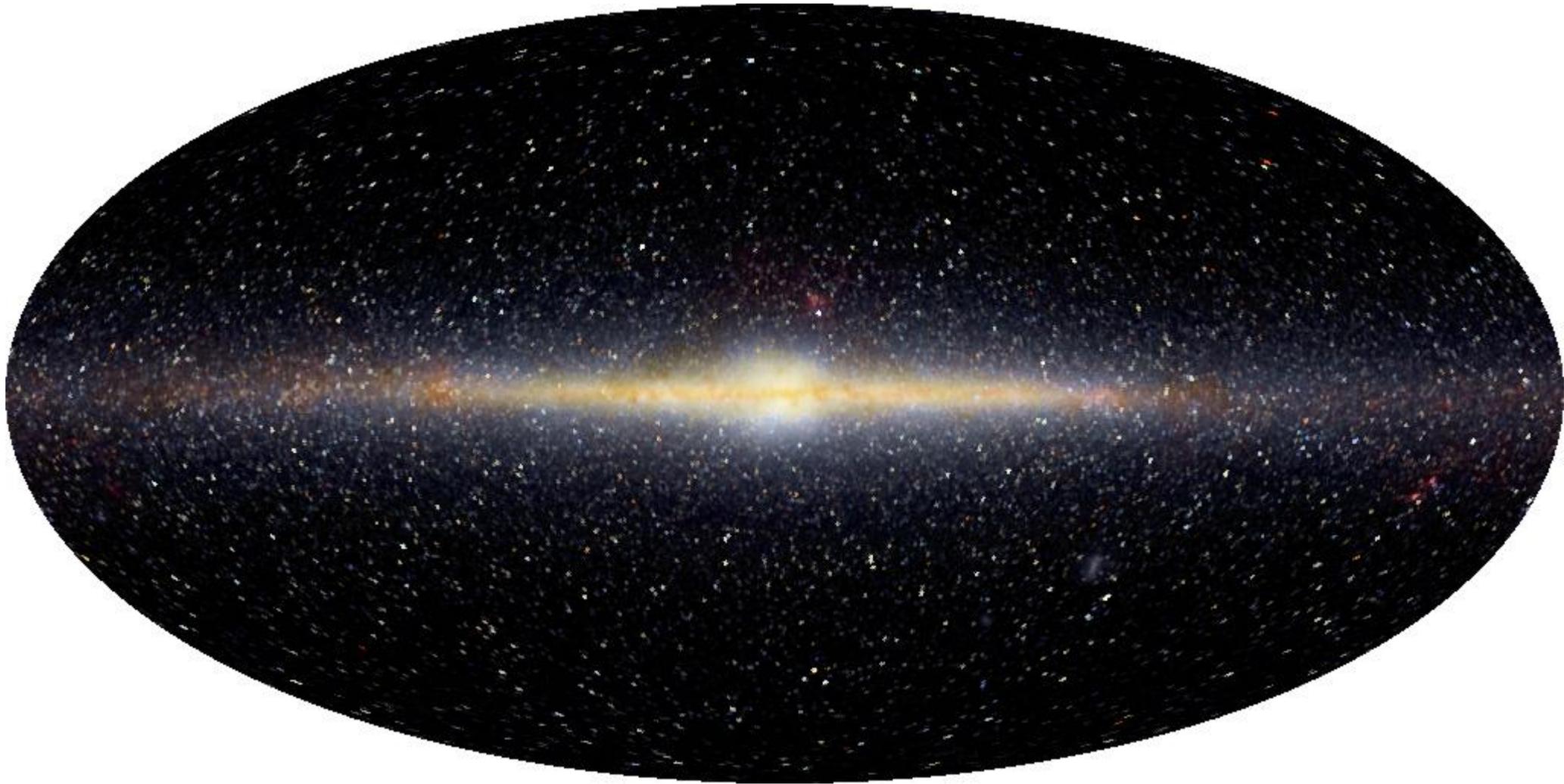
Wir sehen Objekte nicht, wie sie heute sind, sondern wie sie waren, als das Licht sie verlassen hat

Sternkarte des ganzen Himmels



bis 10,000 Lichtjahre

IR-karte des ganzen Himmels



bis 30,000 Lichtjahre

Der Andromeda-Nebel: unser grösster Nachbar



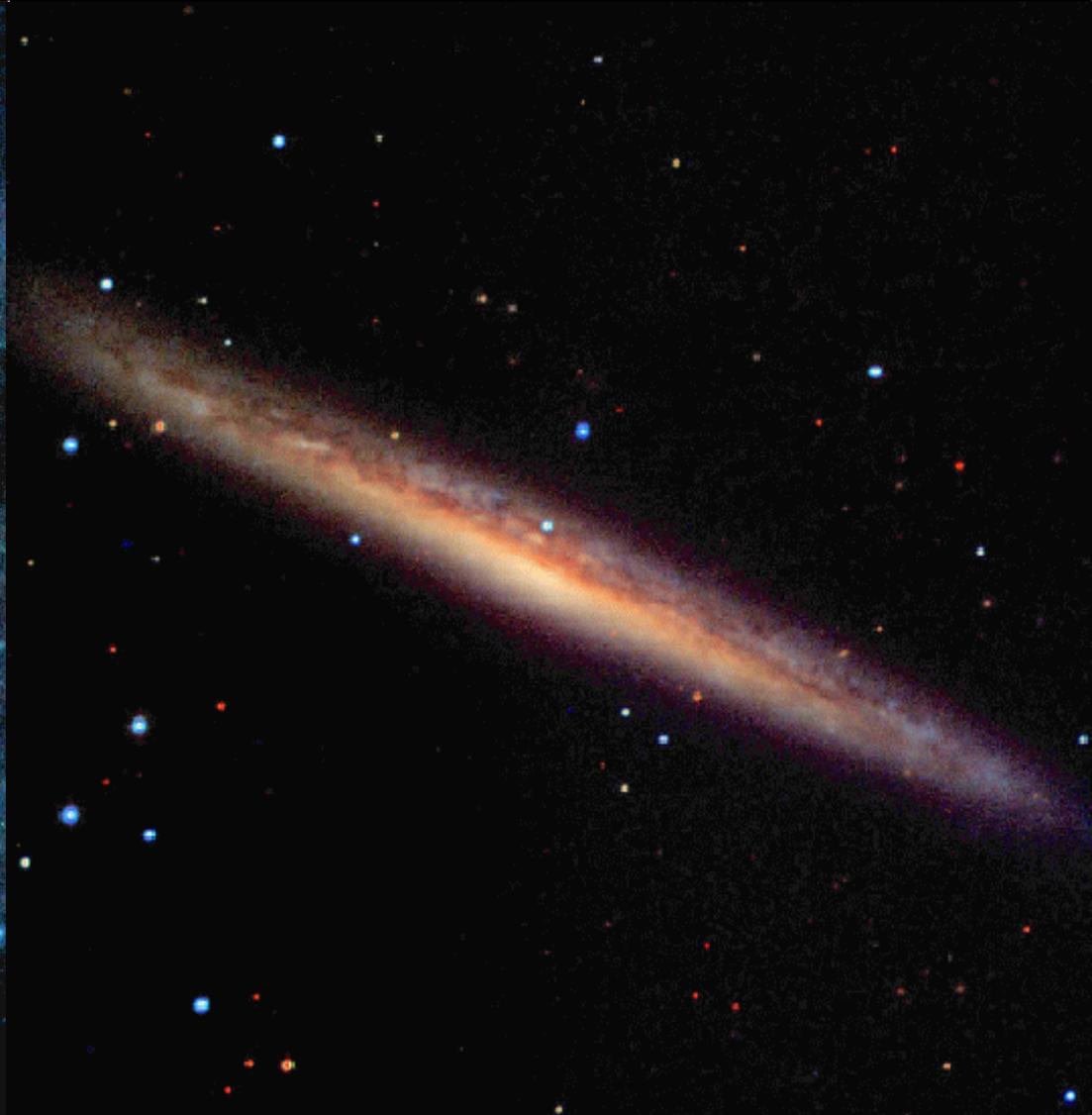
bis 2,000,000 Lichtjahre

Spiralgalaxien

M101

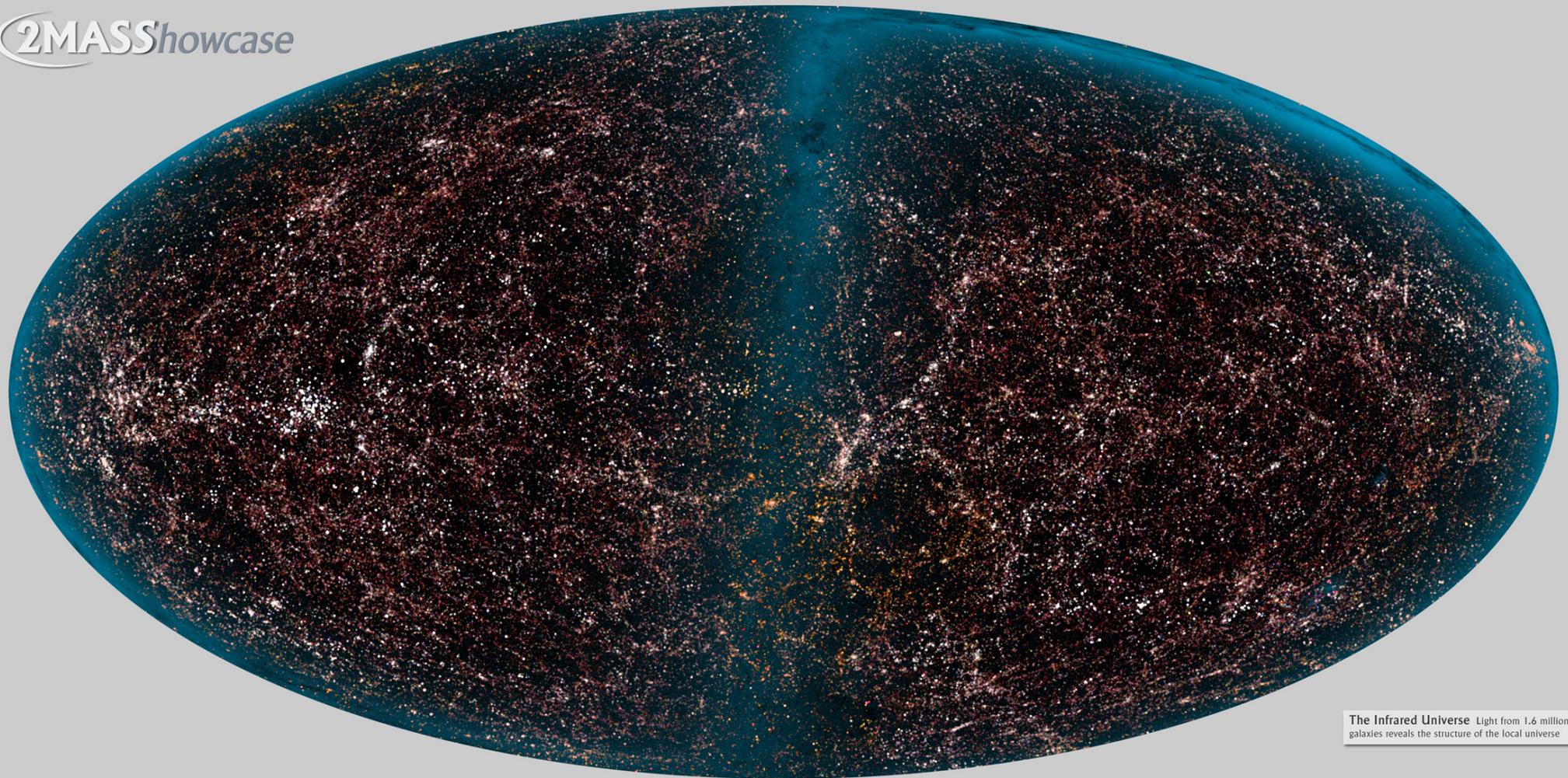


NGC 5907



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

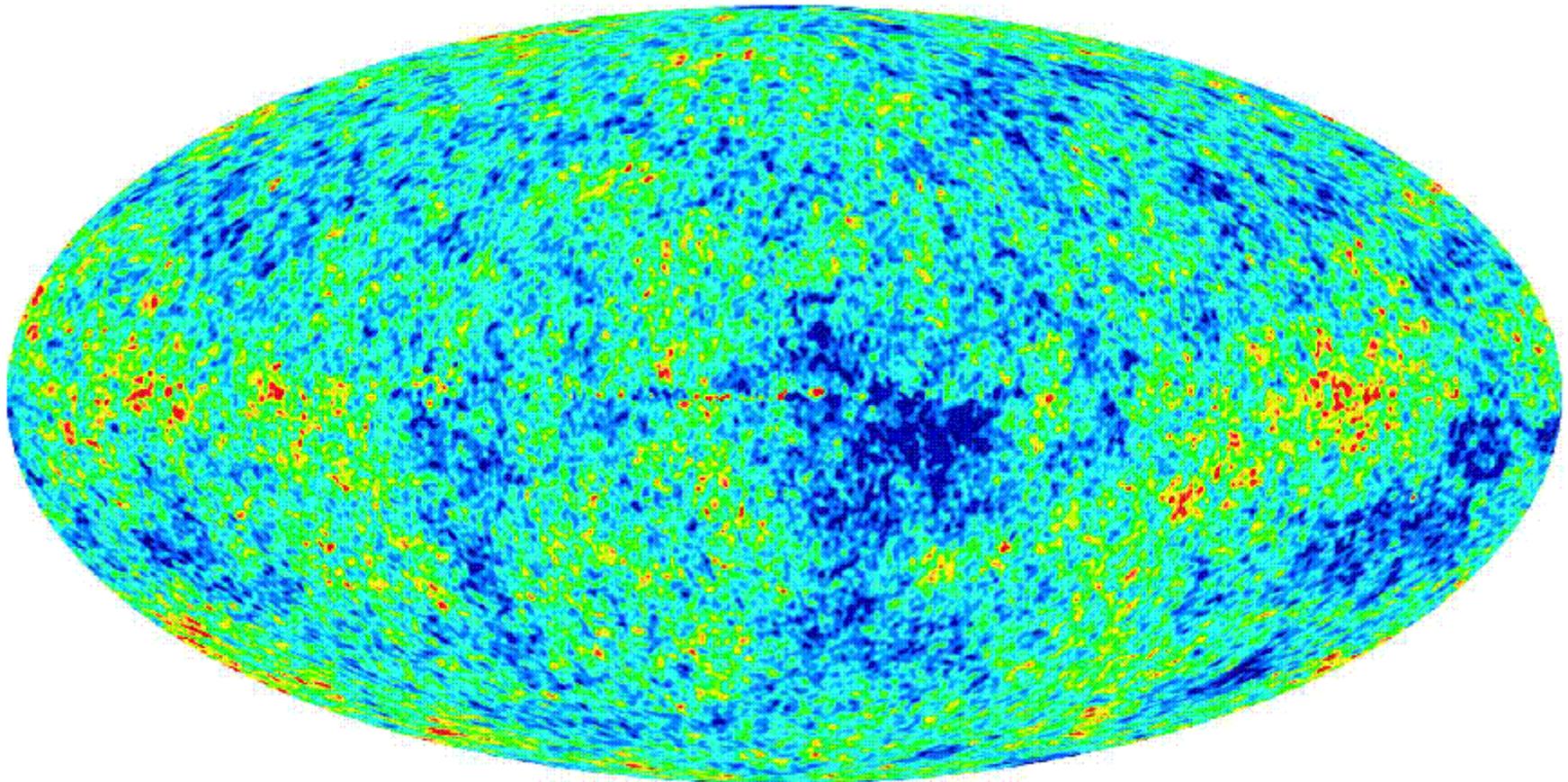


Die tiefste
Aufnahme, die
je gemacht
wurde

300 Stunden mit
dem Hubble
Raumteleskop

bis mehr als 30,000,000,000 Lichtjahre

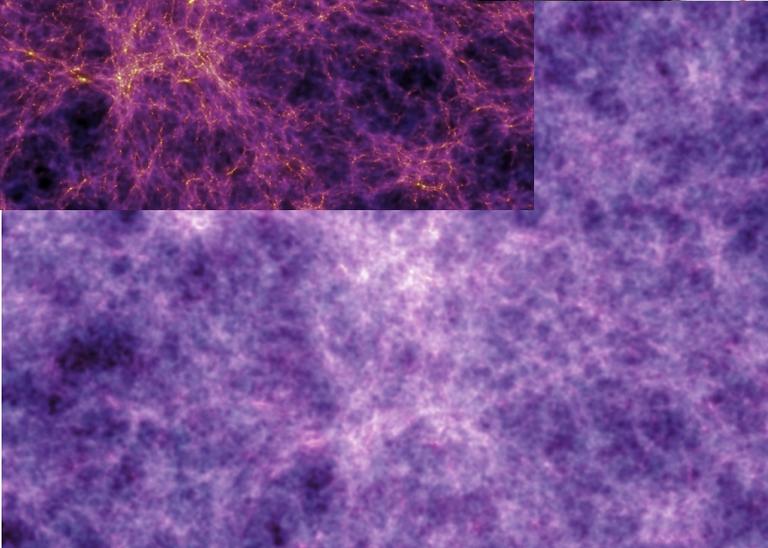
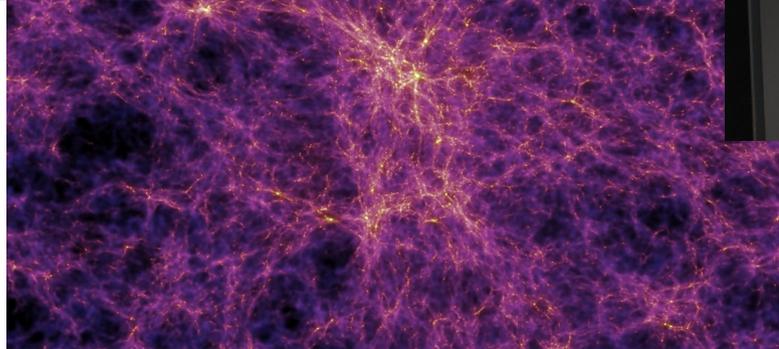
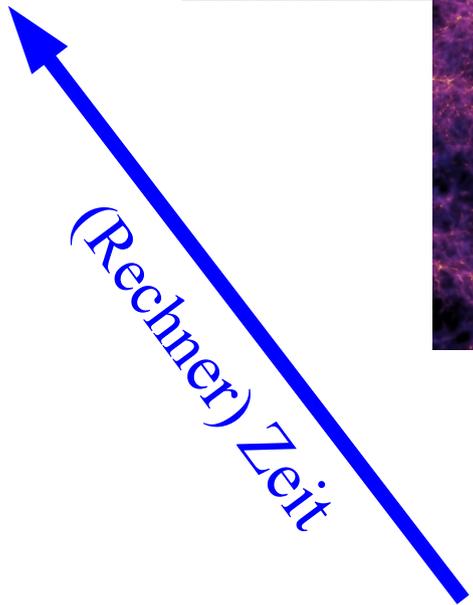
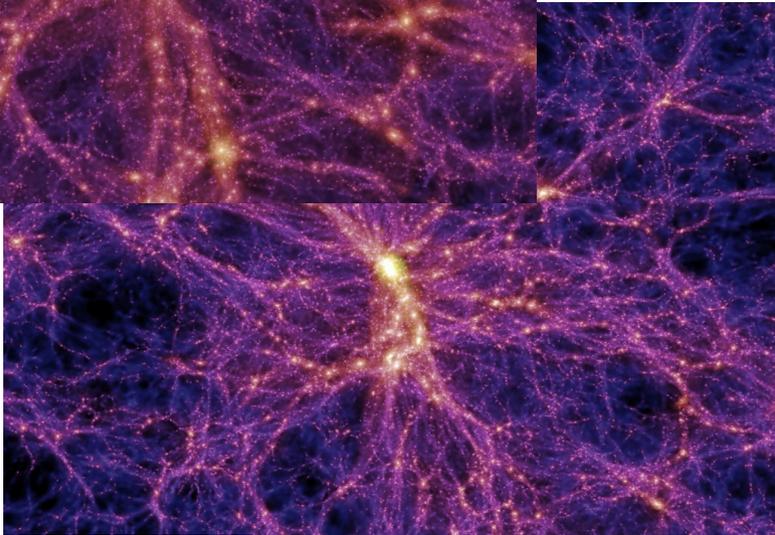
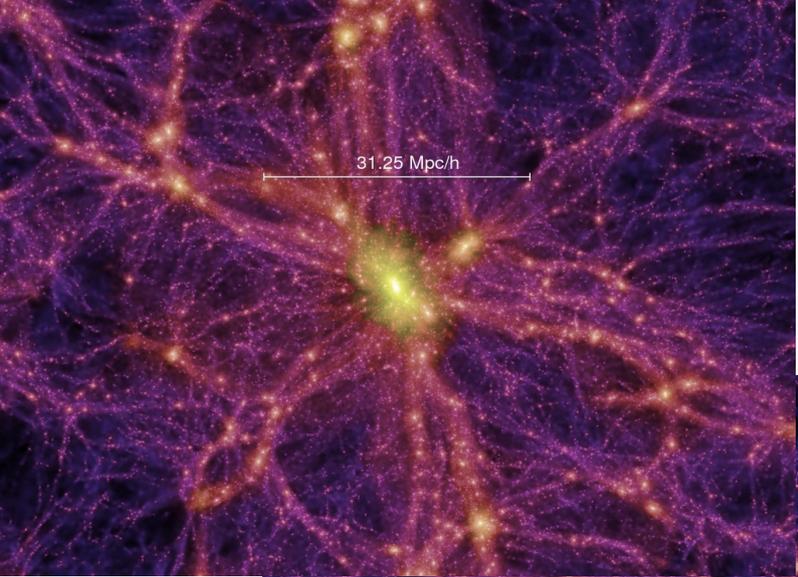
Karte des kosmischen Mikrowellenhintergrundes



bis 40 Milliarden Lightjahre, 400,000 Jahre nach dem Urknall

Wie erforschen wir Milliarden Jahre dauernde Prozesse,
wenn wir nur einige Jahrzehnte lang leben?

Virtuelle Universen entwickeln sich schneller als das echte



Gibt's dann was wichtiges, das wir nicht sehen können?

Der Coma-Galaxienhaufen

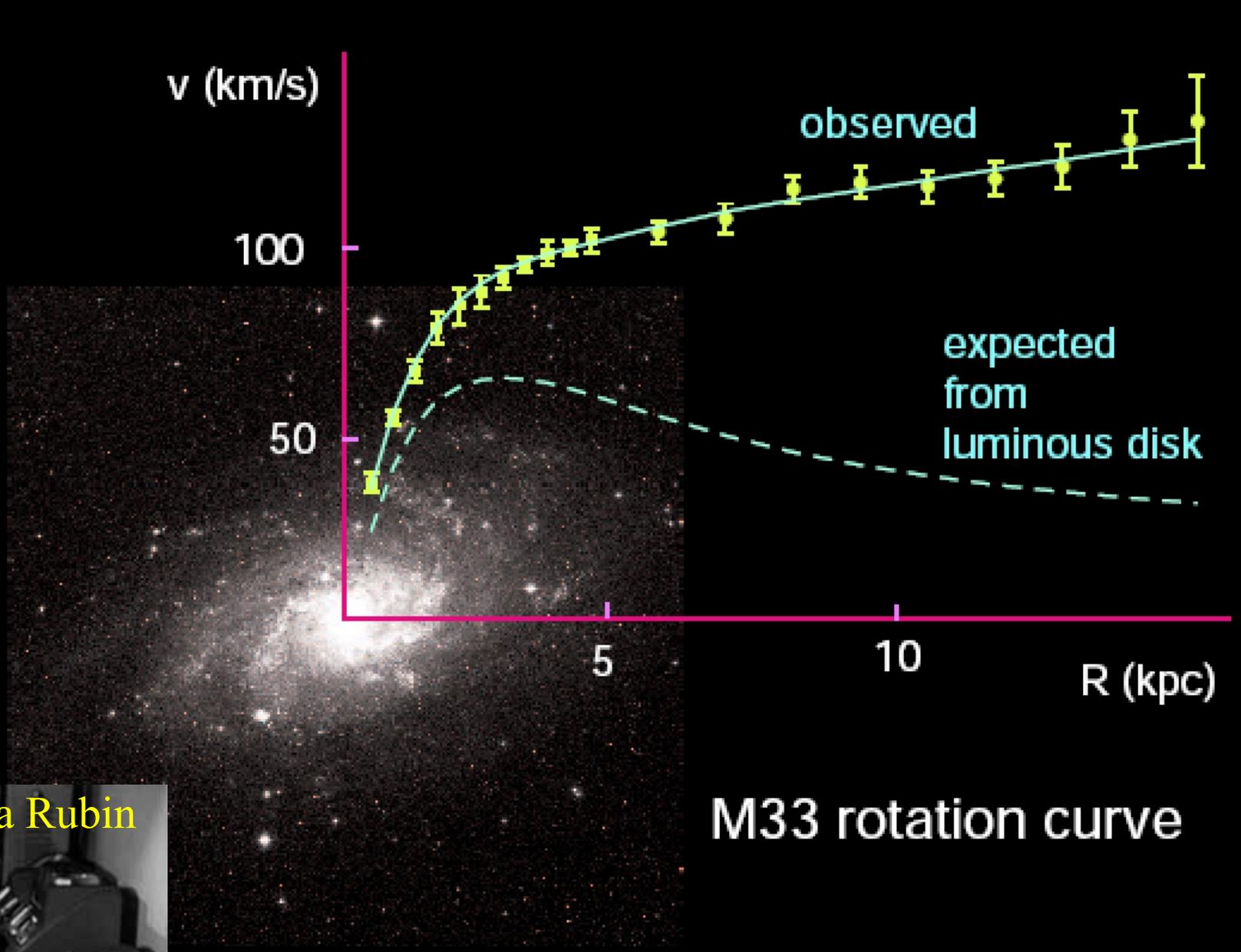


Fritz Zwicky





Der Triangulum-Nebel (M33)



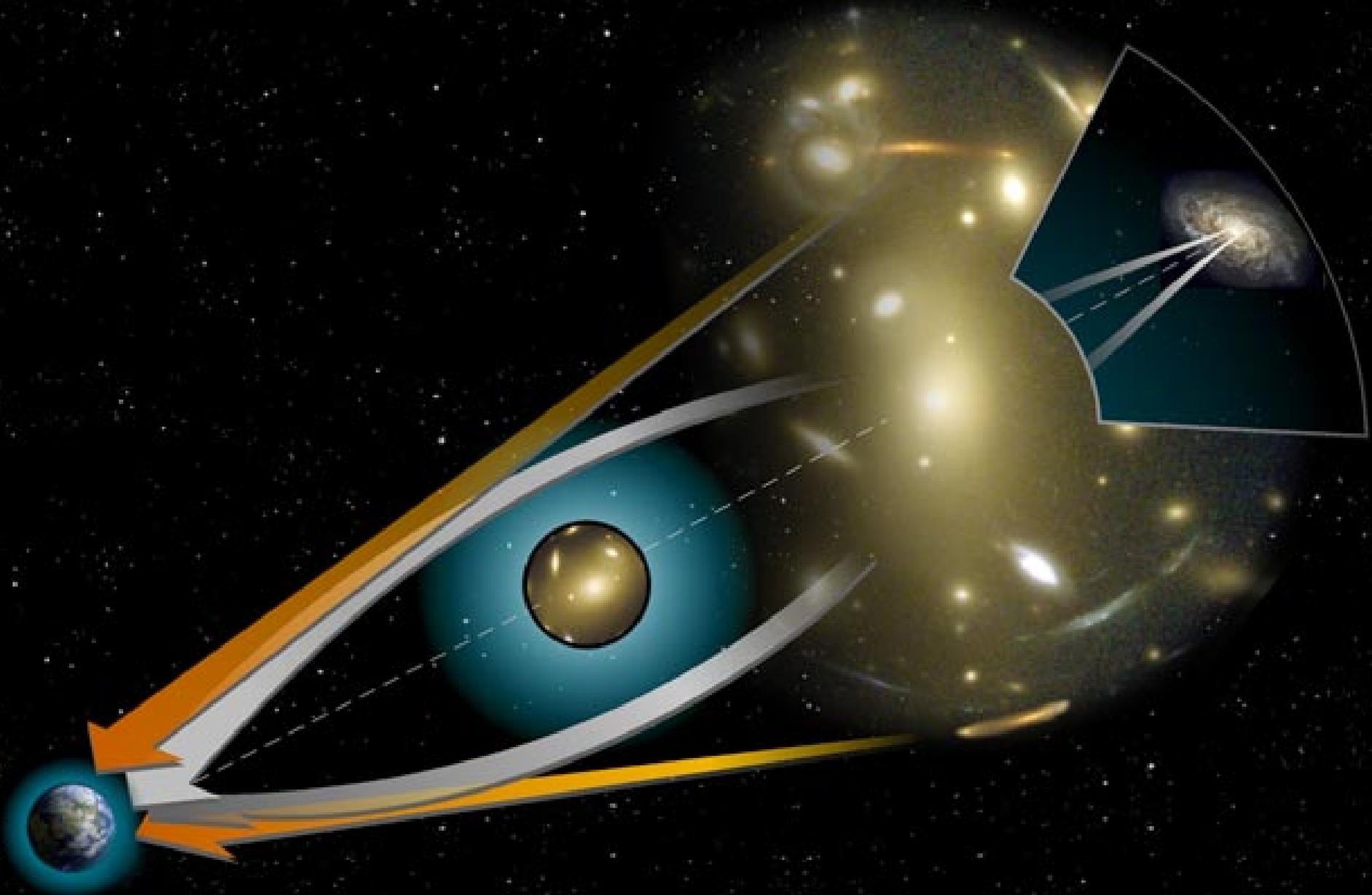
Vera Rubin

M33 rotation curve

Der Galaxienhaufen, Abell 2218



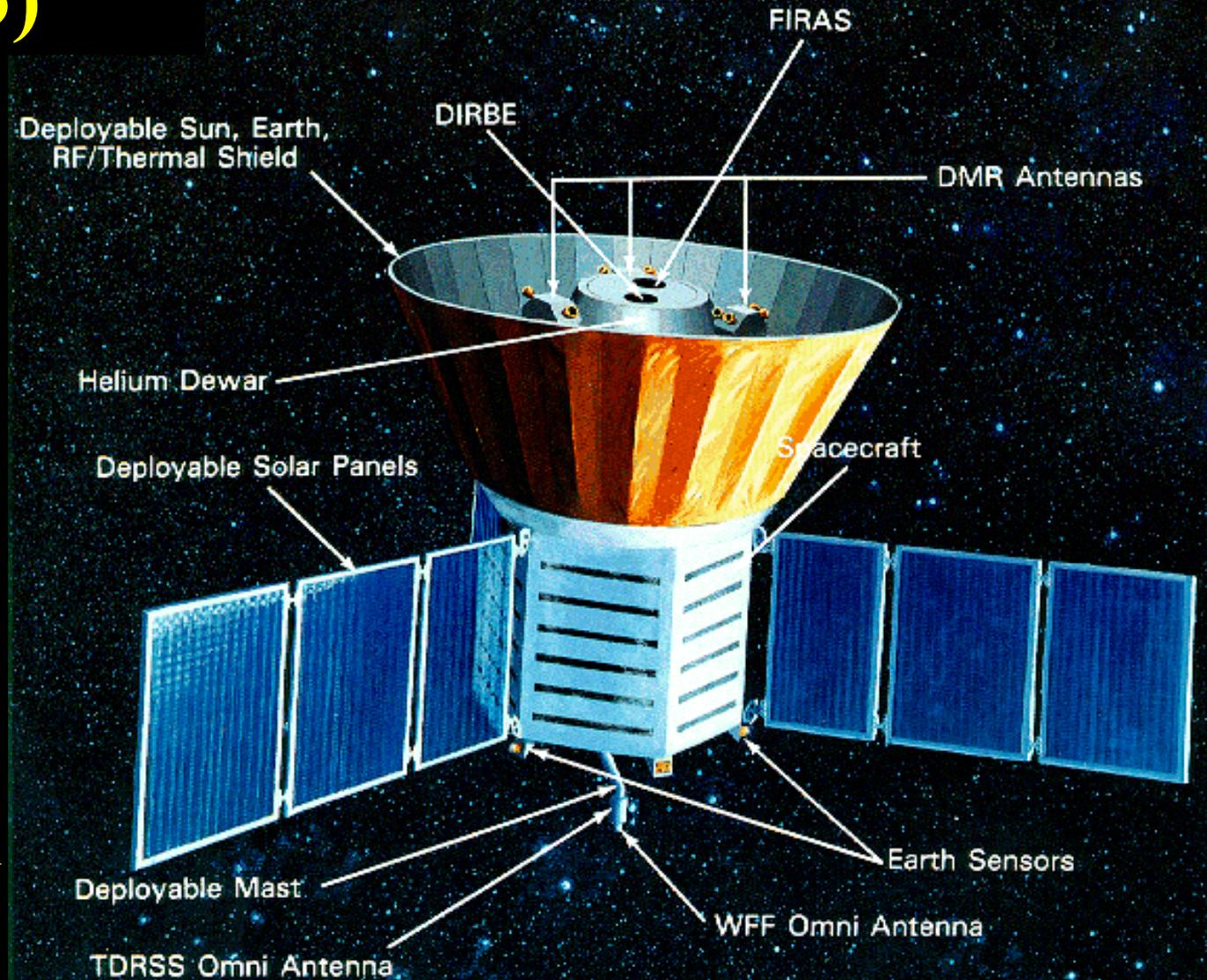
Galaxienhaufen als gravitative Fernrohre



Die Stärke der Linseneffekte misst die Gesamtmasse des Haufens.

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

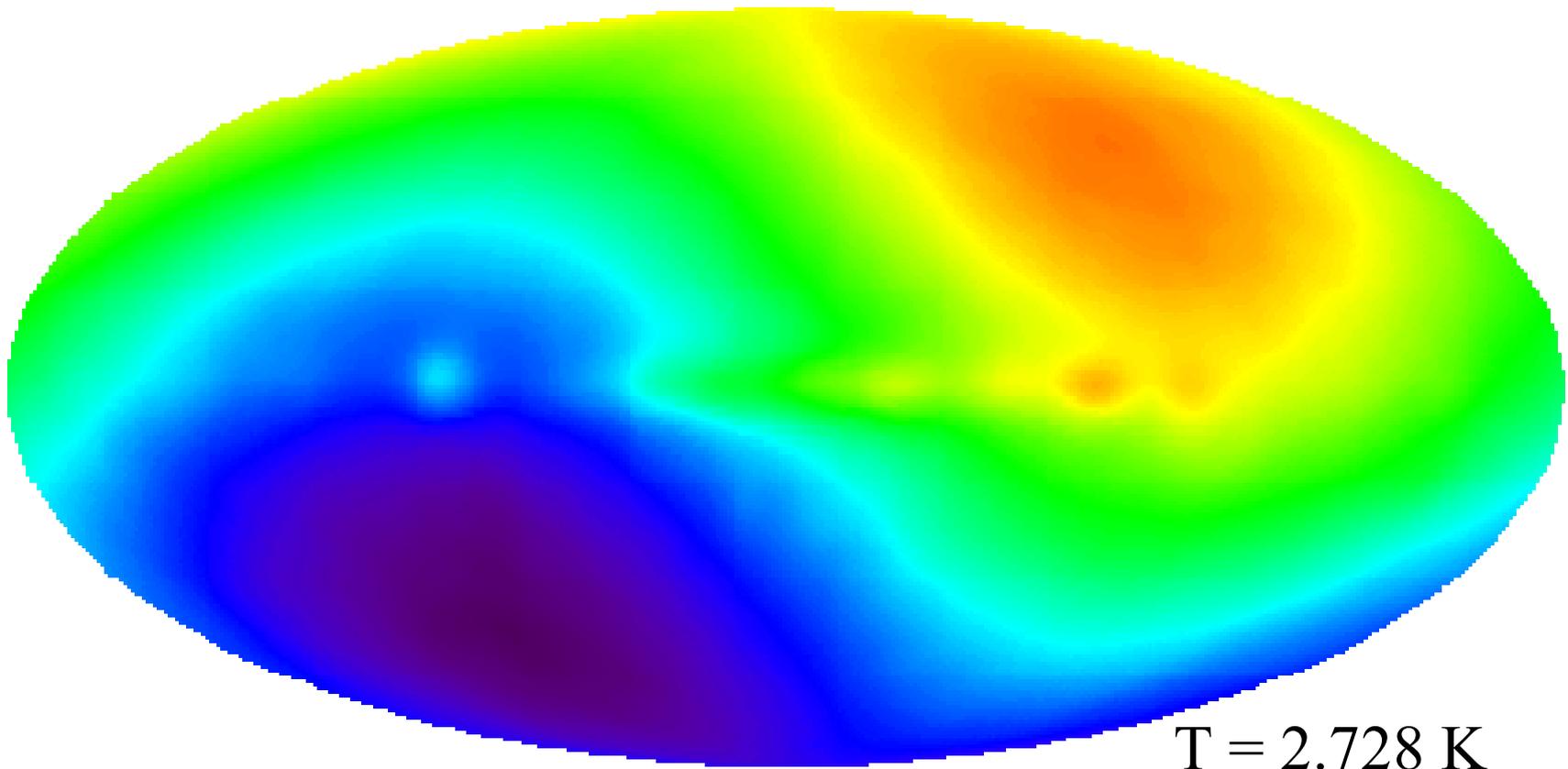


COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



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

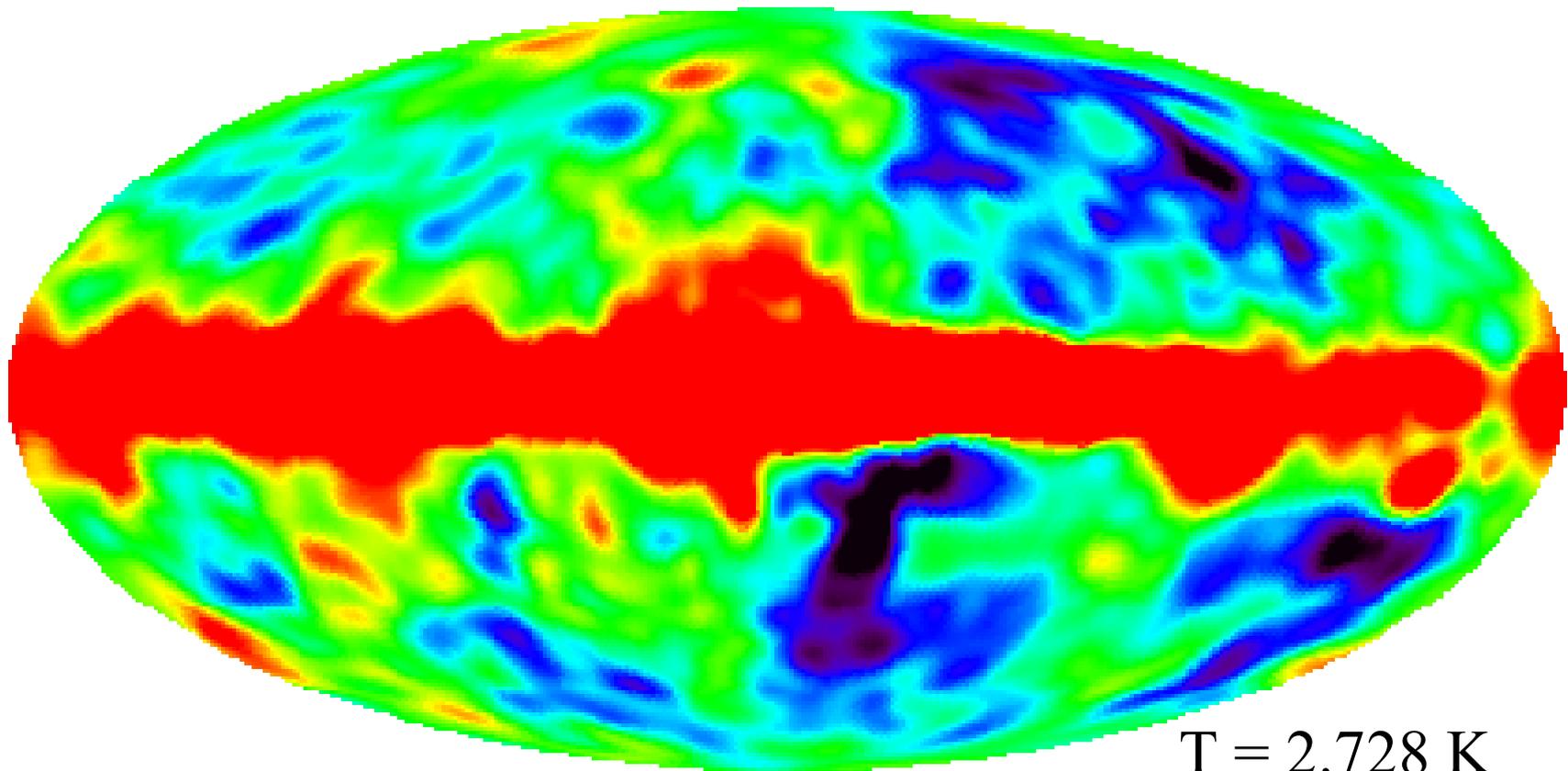
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



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

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

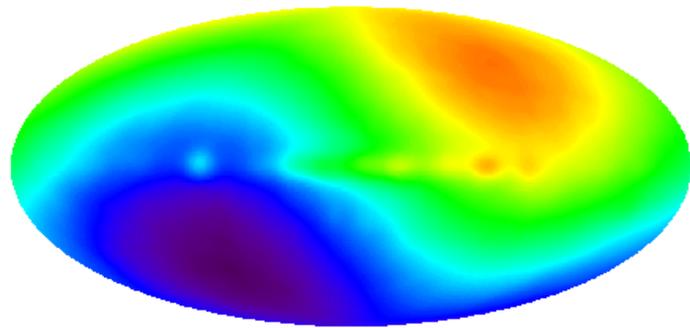
COBE's Temperaturkarte des ganzen Himmels



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

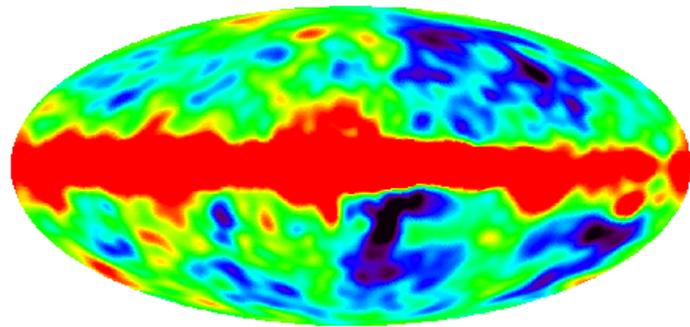
$$\Delta T = 0.00002 \text{ K}$$

Struktur in der COBE Karte

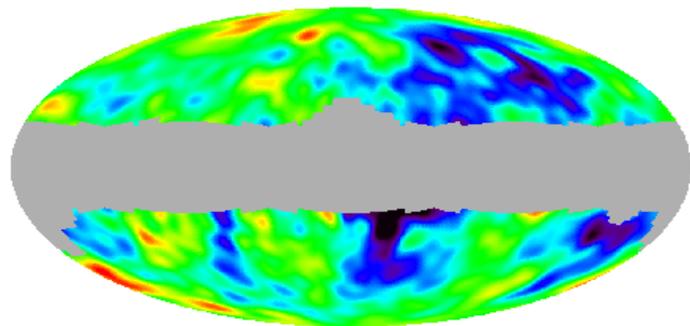


- Eine Himmelsseite ist kalt, die andere heiss
die Bewegung unserer Erde durch den Kosmos

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



- Strahlung von Staub und Gas in unserer Milchstrasse



- Struktur im Mikrowellenhintergrund selbst

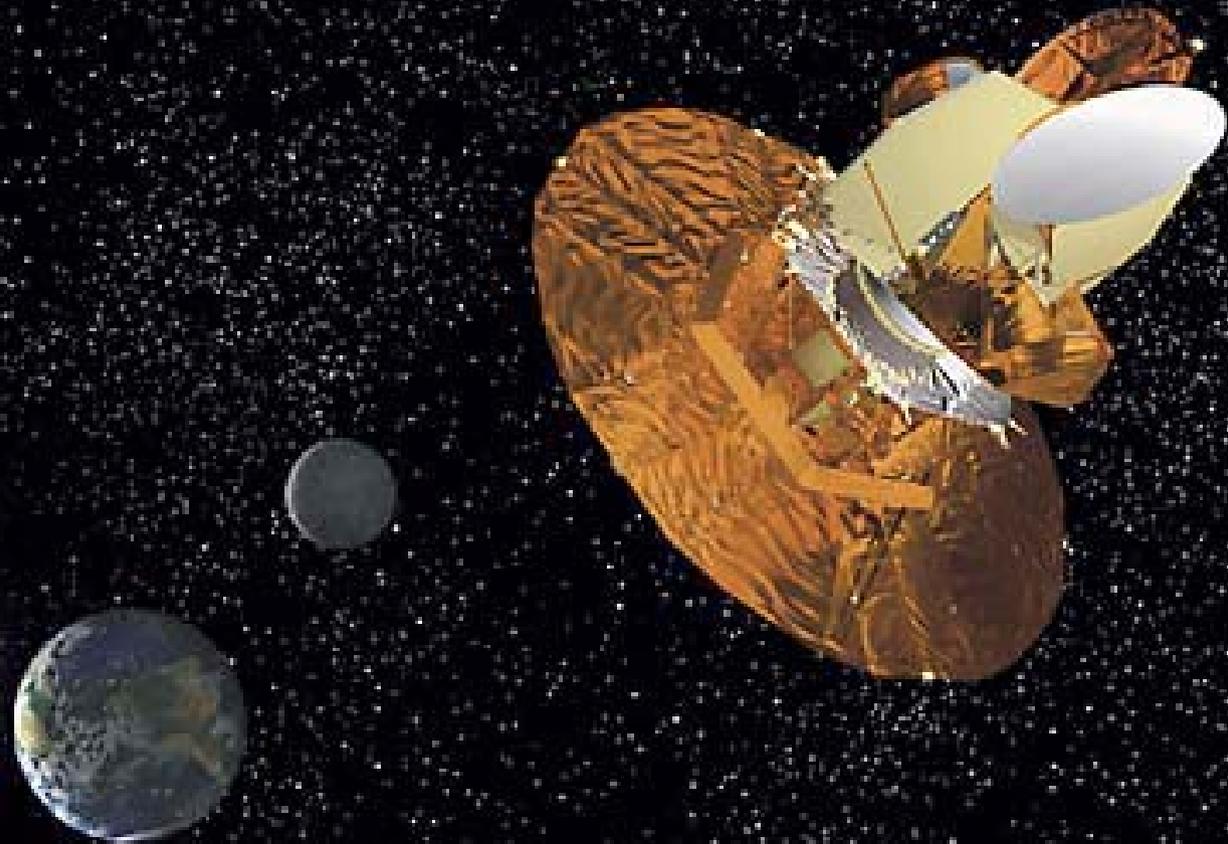
Struktur im Mikrowellenhintergrund

- 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

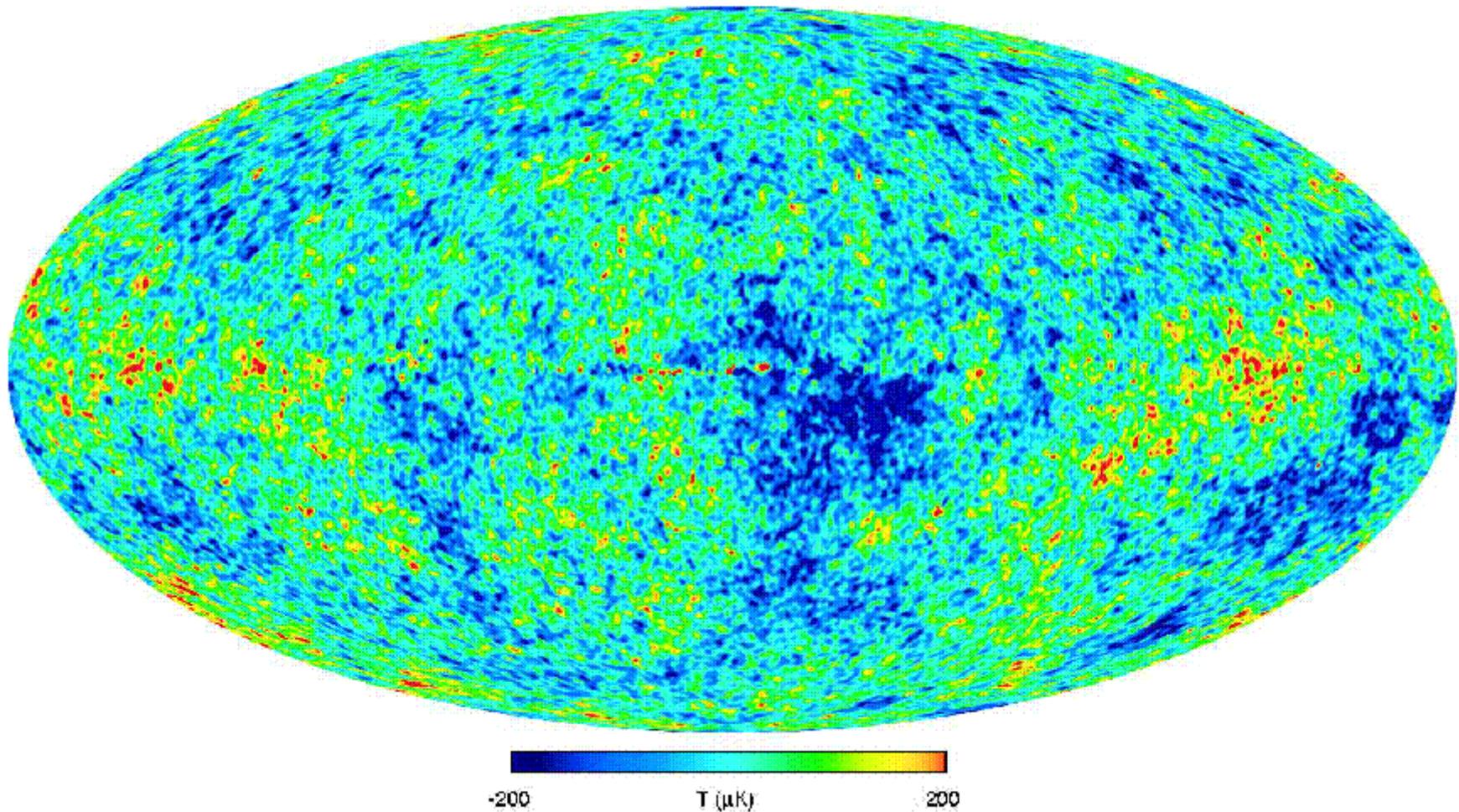
Das *Muster* der Struktur reflektiert

- 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

Das *WMAP* Satellit am Lagrange-Punkt L2



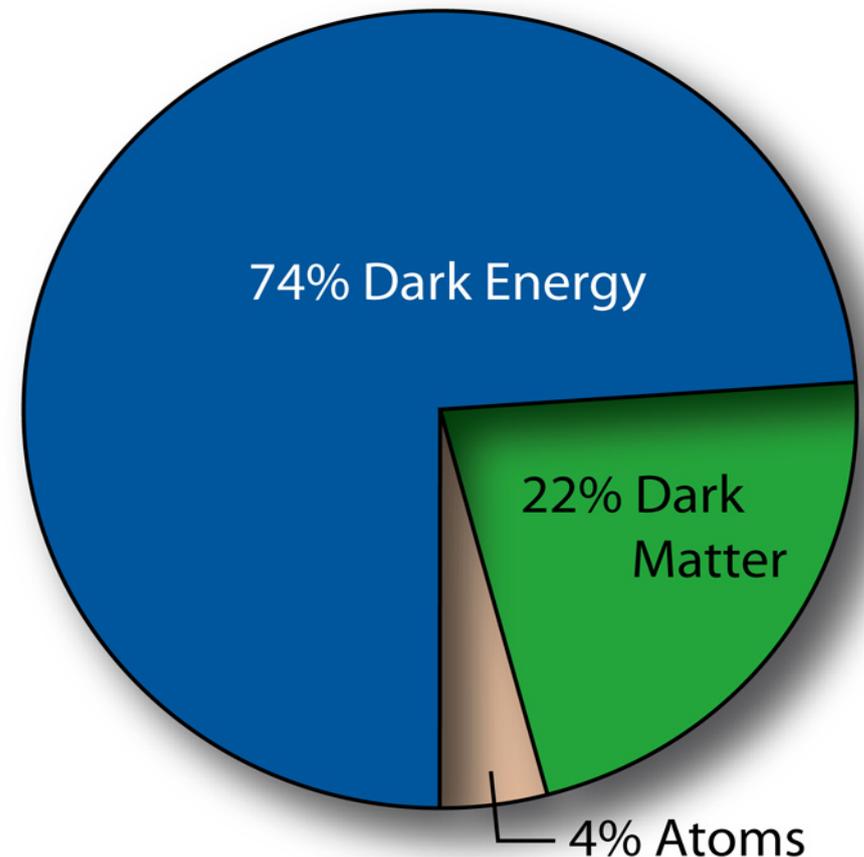
Die *WMAP* des ganzen Himmels



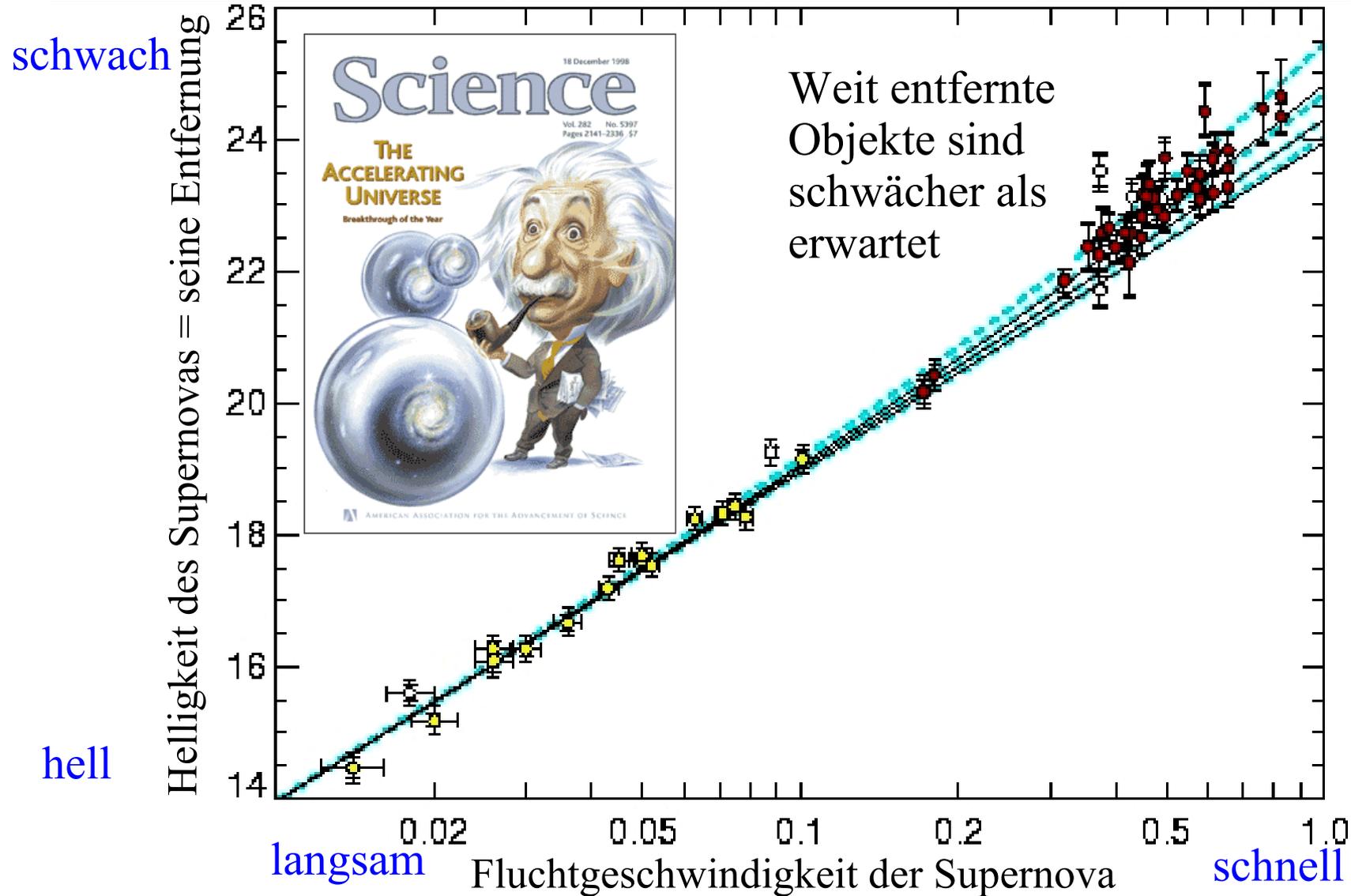
Bennett et al 2003

Was haben wir von WMAP gelernt?

- Unser Universum ist flach -- seine Geometrie ist die von Euclid
- Nur ein kleiner Anteil besteht aus normaler Materie – heute ungefähr 4%
- ~21% des heutigen Universums besteht aus nicht-baryonischer dunkler Materie
- ~75% besteht aus dunkler Energie
- Alle Strukturen wurden durch Quantenfluktuationen des Vakuums im sehr frühen Universum erzeugt



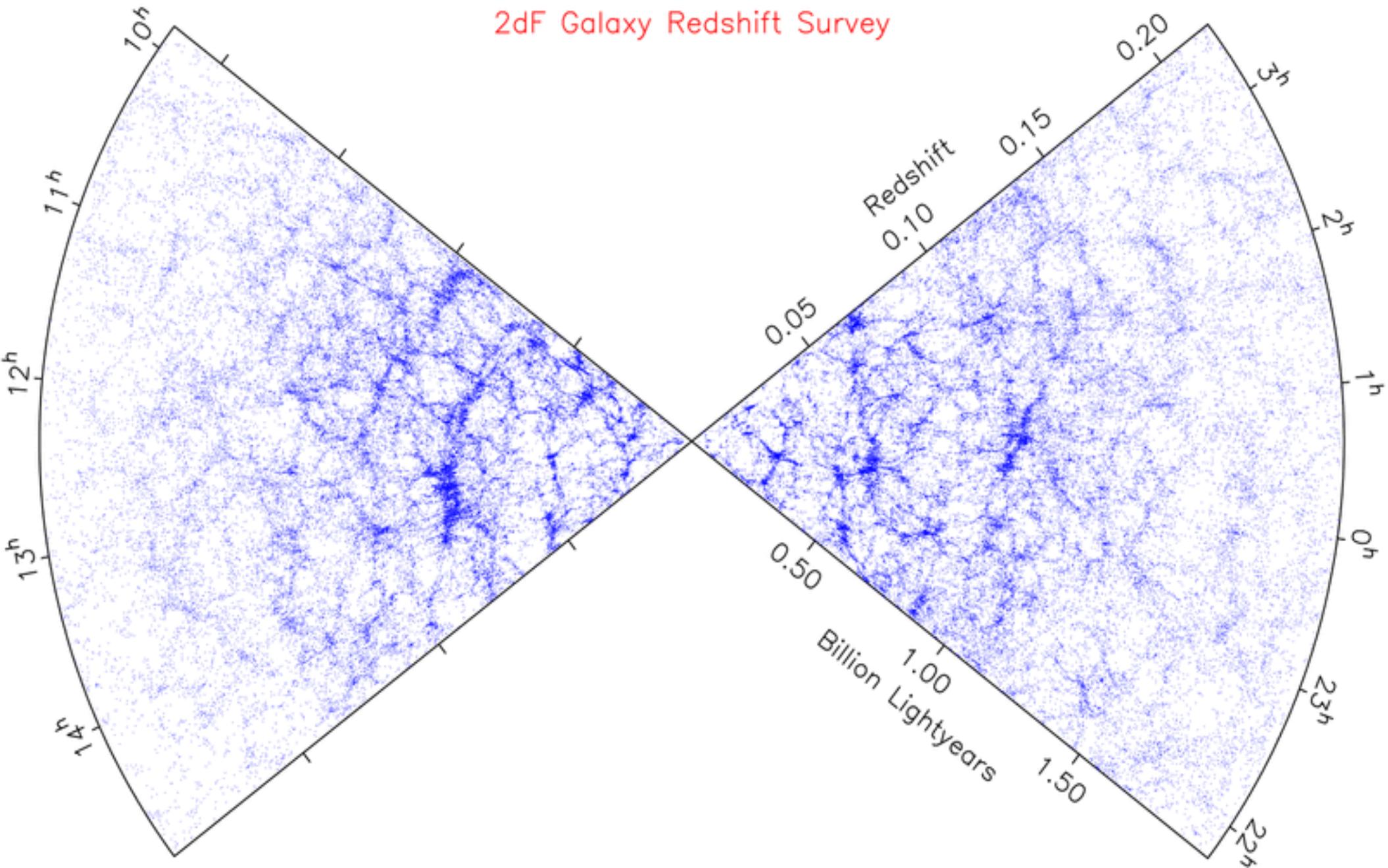
Die kosmische Ausdehnung wird beschleunigt!



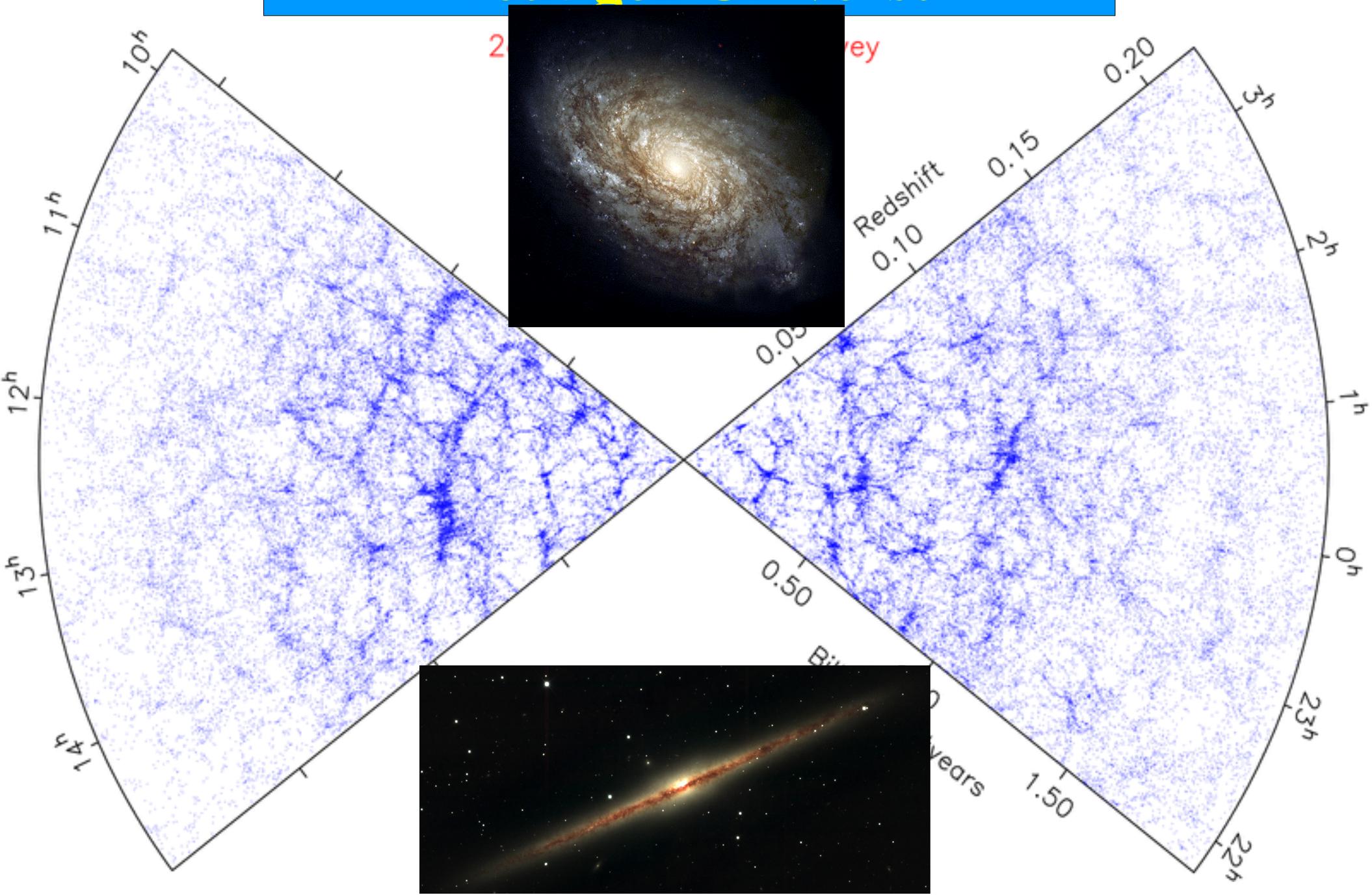
Ein beschleunigter Kosmos? Rückkehr der Einsteinschen Eselei oder Entdeckung einer neuen Art der Masse-Energie – dunkle Energie?

Grossräumige Strukturen im heutigen Universum

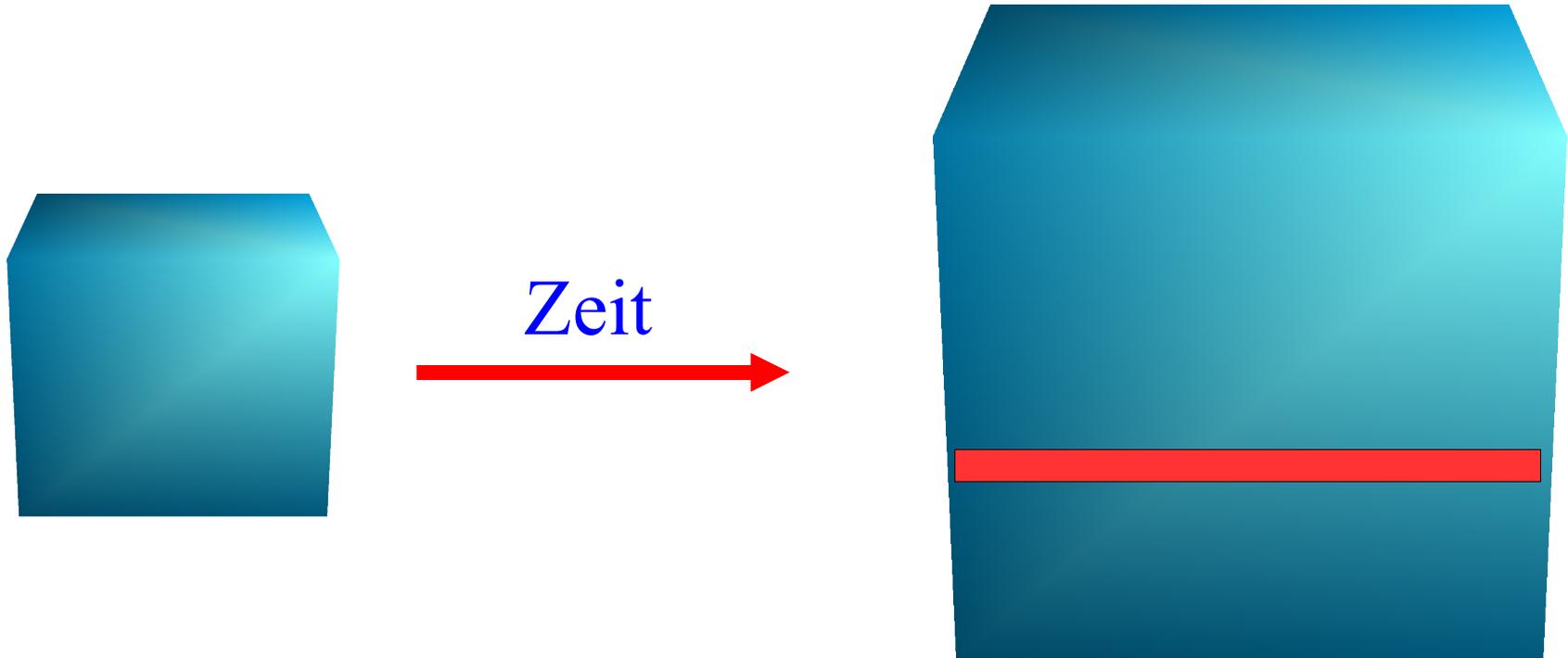
2dF Galaxy Redshift Survey



Grossräumige Strukturen im heutigen Universum



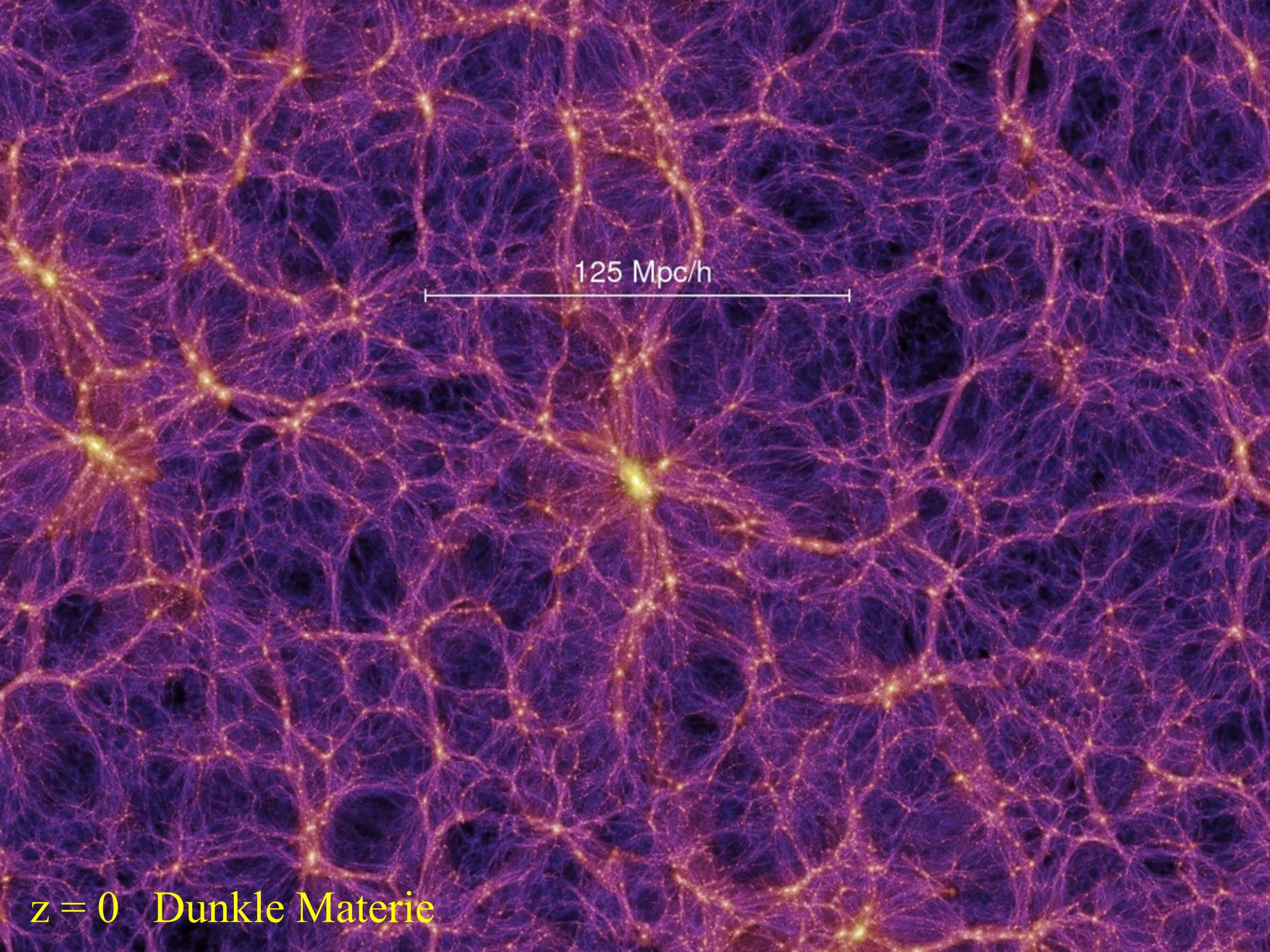
Wie man die Entwicklung des Universums auf einem Grossrechner verfolgt



- Die Materie in einem 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

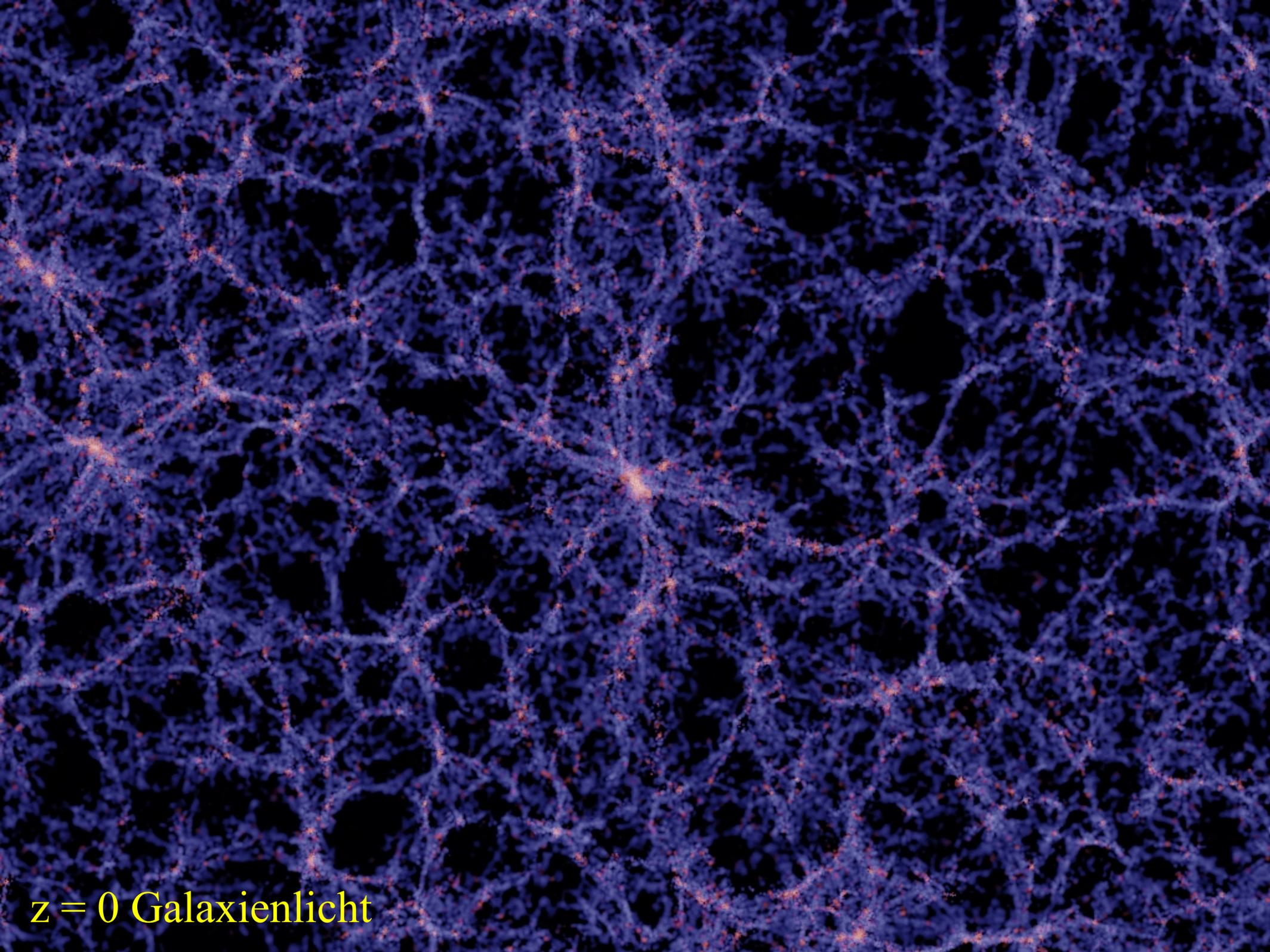
Blicke auf die dunkle Materie in einem virtuellen Universum

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

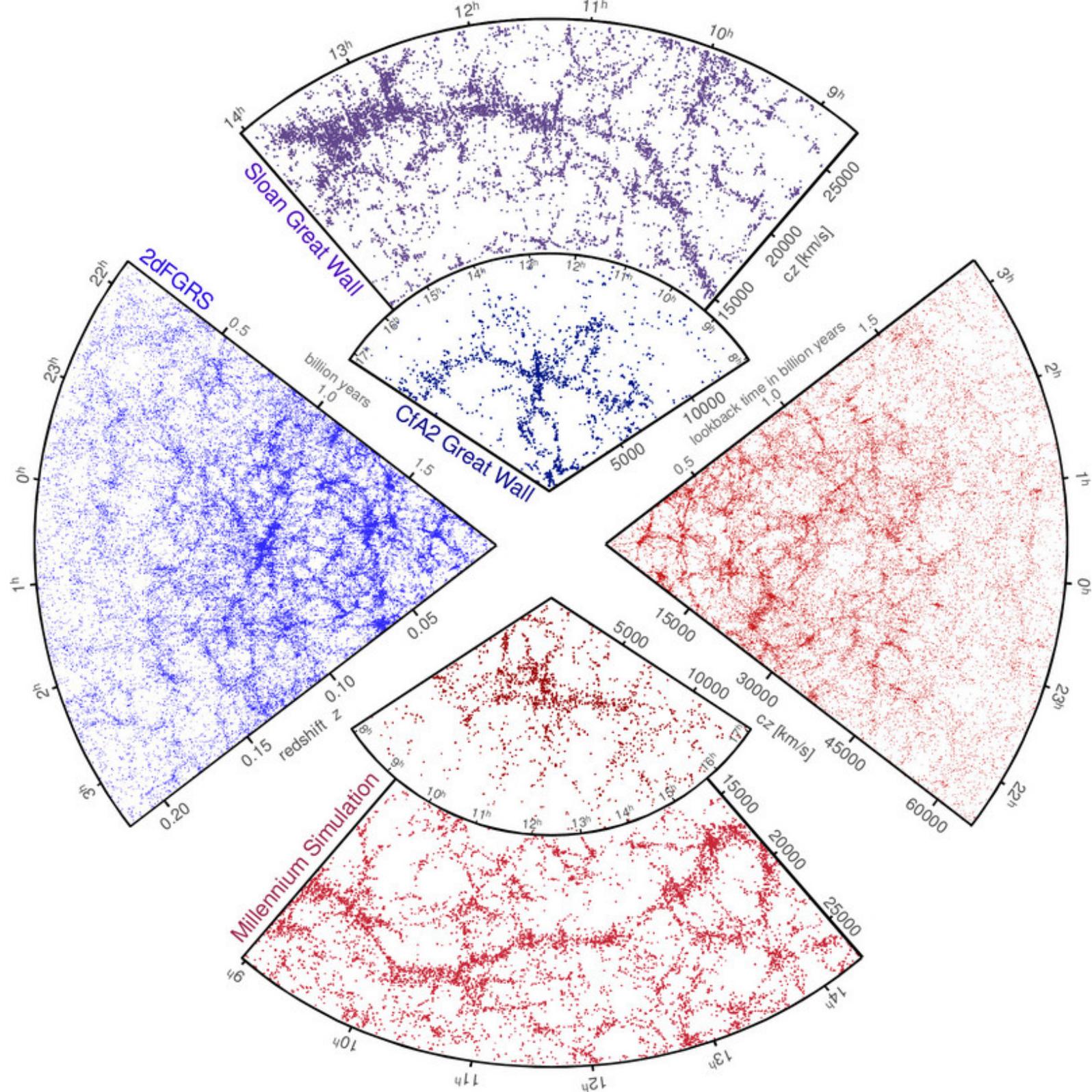


125 Mpc/h

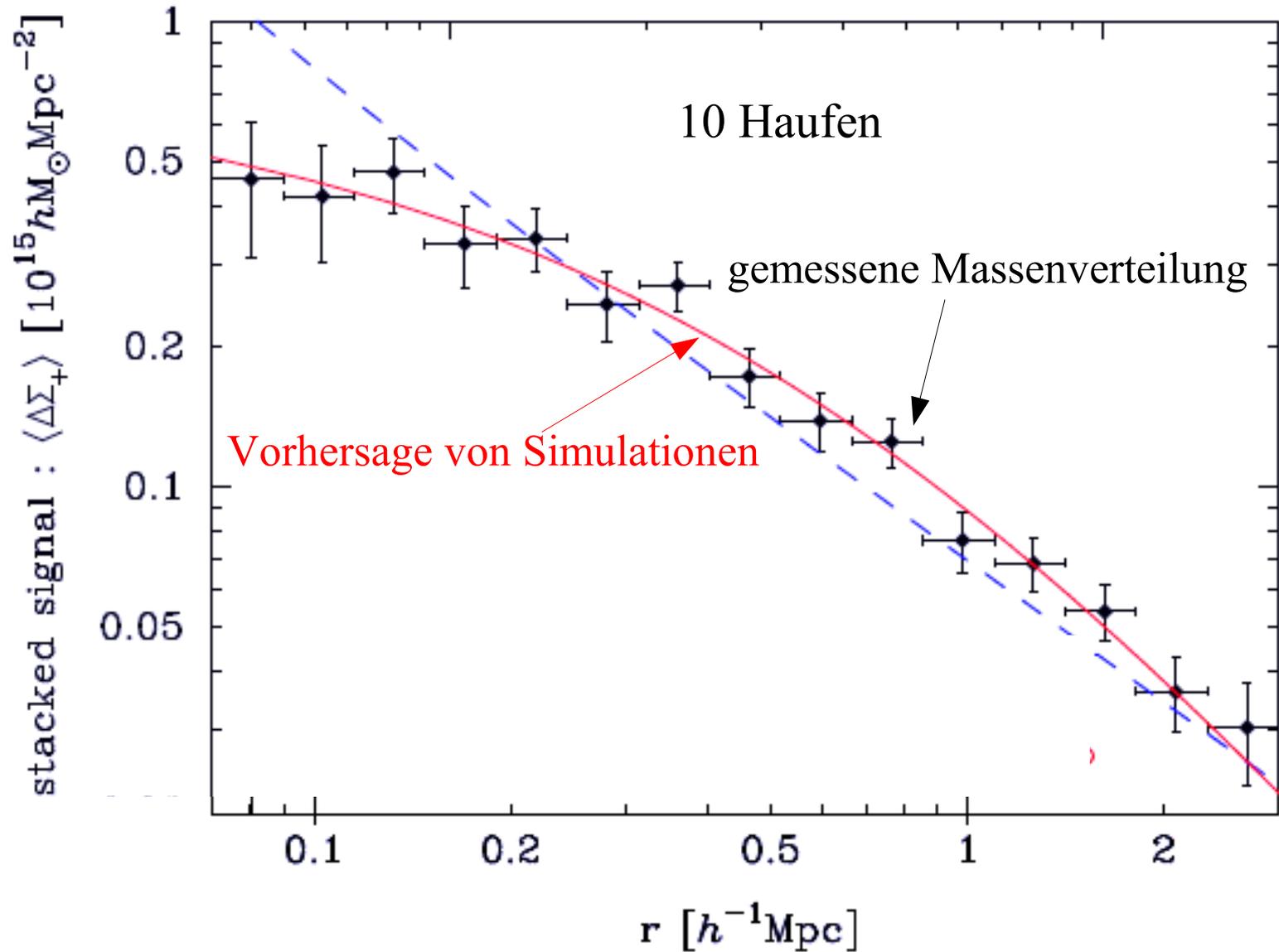
$z = 0$ Dunkle Materie



$z = 0$ Galaxienlicht

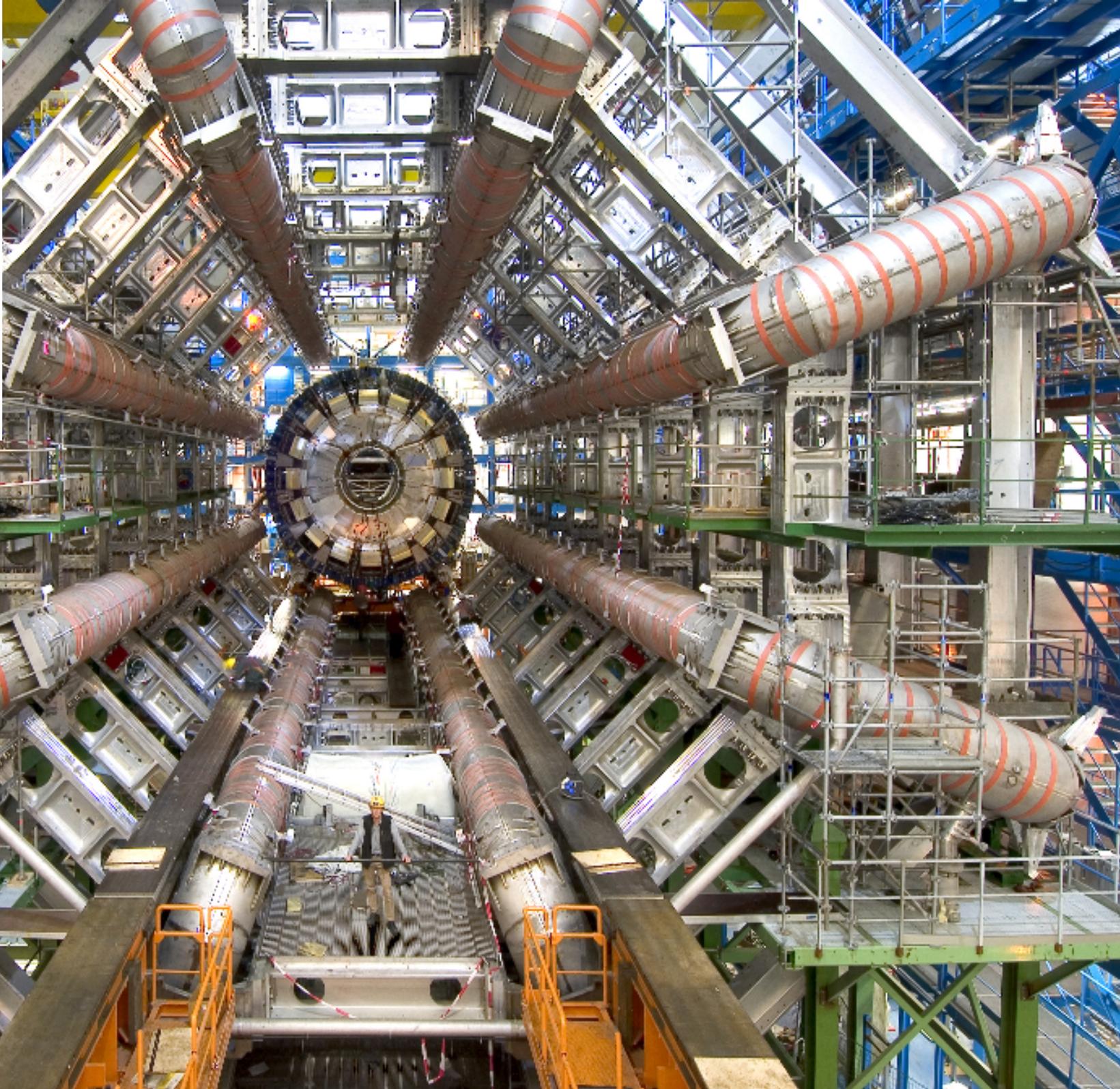


Vergleich der von Linseneffekten gemessene Massenverteilung um echte Galaxienhaufen mit der Vorhersage von Simulationen der Strukturentstehung

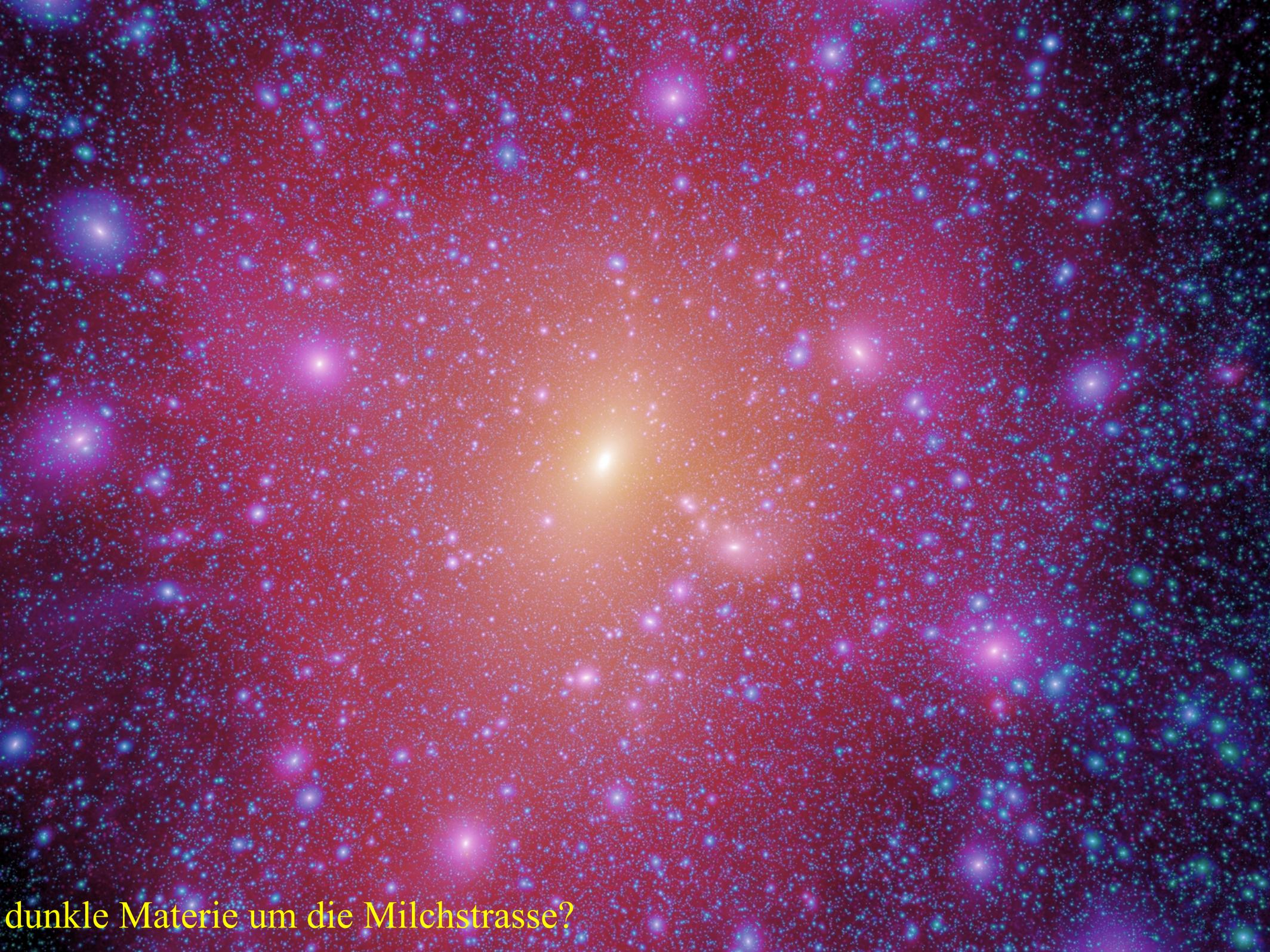


ELEMENTARY PARTICLES

Leptons	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau	W W boson
	I	II	III	
	Three Generations of Matter			

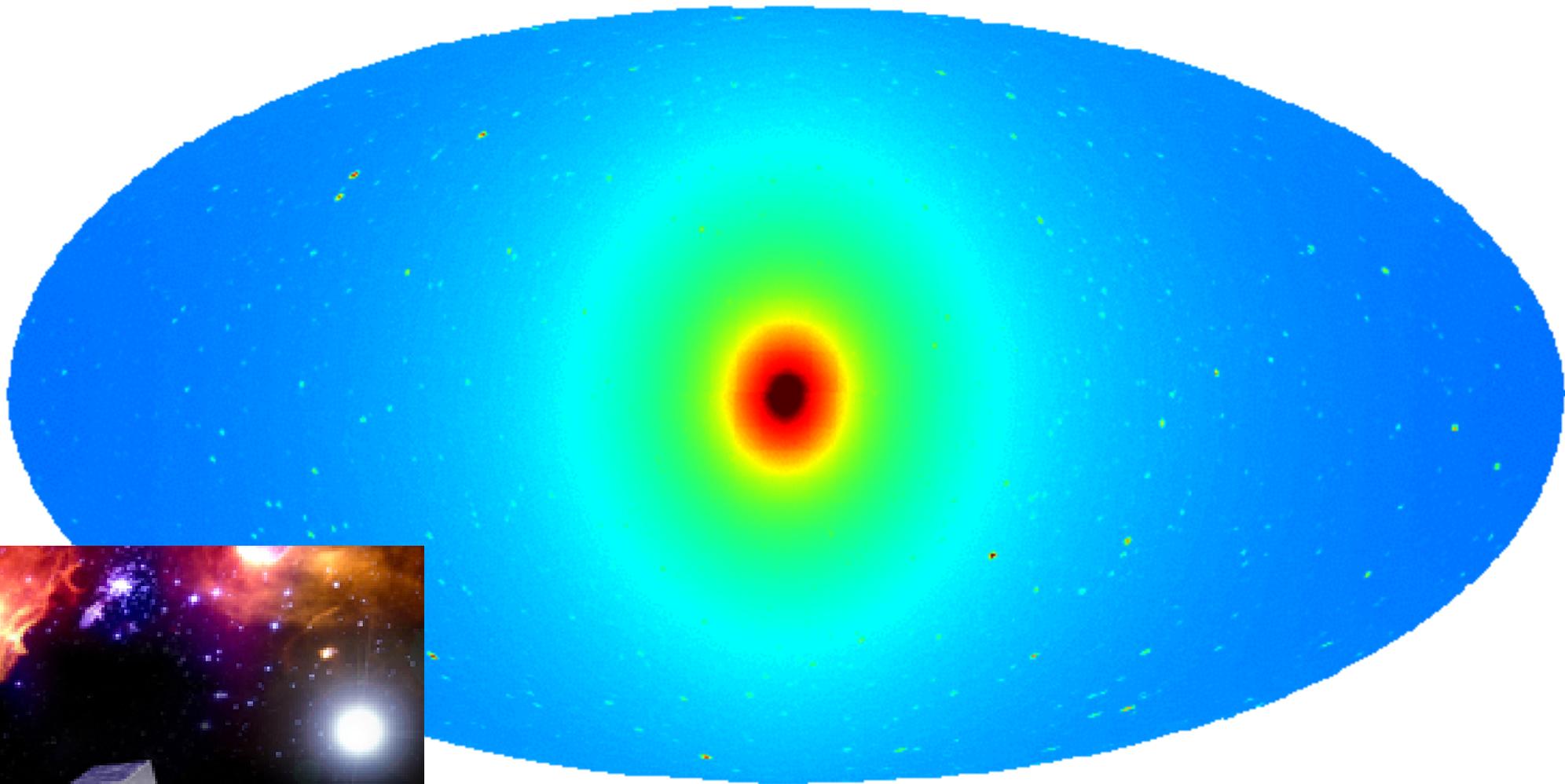


LHC/ATLAS



dunkle Materie um die Milchstrasse?

total emission



-0.50  2.0 Log(Intensity)

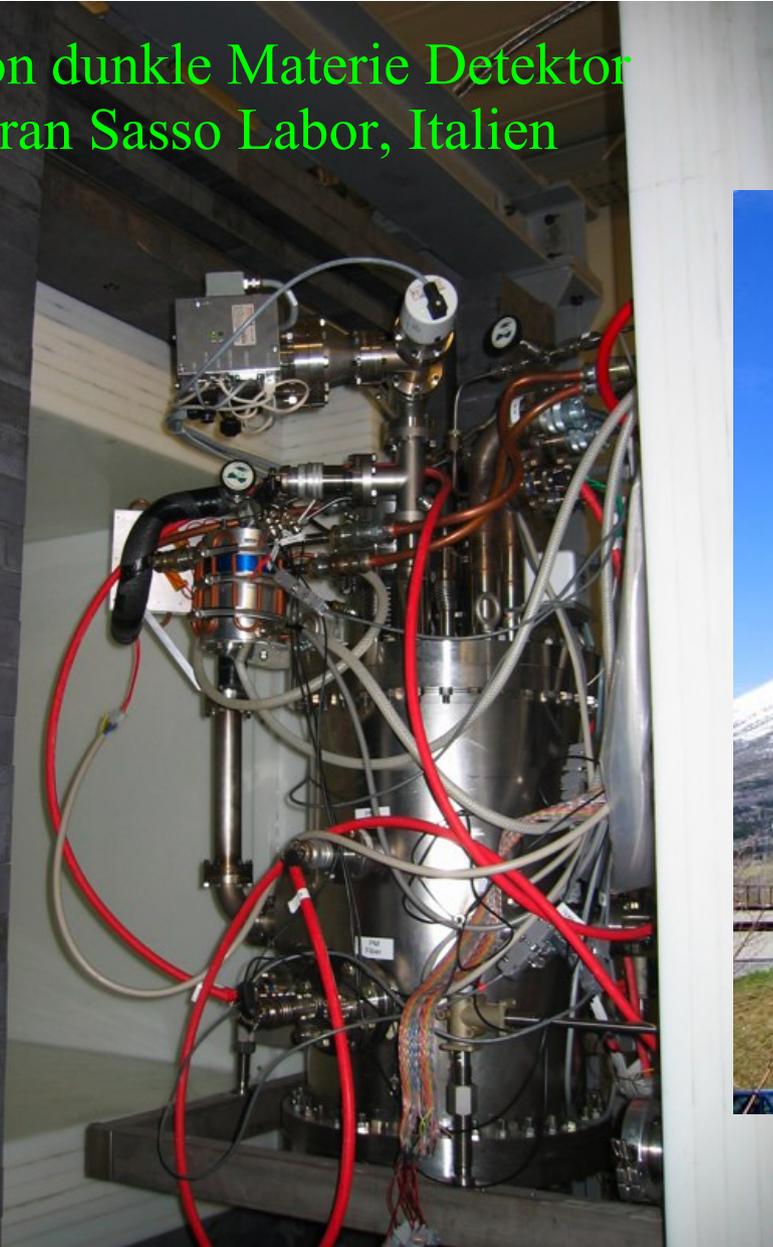


Fermi γ - Observatorium

Wird die Vernichtung der dunkle Materie vom Fermisatellit gesehen?

Wird dunkle Materie im Labor entdeckt werden?

Xenon dunkle Materie Detektor
im Gran Sasso Labor, Italien



Externe Blick auf dem Gran Sasso Labor



- Mehr als 80% aller Materie in und um Galaxien/ Galaxienhaufen besteht aus dunkler Materie
- Nur mit Hilfe dunkler Materie kann man erklären, wie die heutige kosmische Struktur aus der in der Hintergrundstrahlung gesehenen Struktur entstanden ist
- DM besteht nicht aus “normaler” baryonischer Materie
- Bis jetzt ist sie nur durch ihren gravitativen Effekte spürbar
- Es wird vielleicht möglich, ihre Vernichtungsstrahlung zu beobachten, oder sie in einem irdischen Labor zu entdecken

- Nur dunkle Energie kann die beschleunigte Ausdehnung des heutigen Universums erklären
- Die beobachtete Struktur der Hintergrundstrahlung zeigt, dass unser Universum flach ist, aber nur 25% der benötigte Masse-Energie aus Baryonen und dunkle Materie besteht.
75% muss aus dunkle Energie bestehen
- Dunkle Energie ist gleichmässig verteilt und nur durch ihre Einfluss auf die kosmische Ausdehnung spurbar
- Wir haben keine Ahnung der Verbindung zwischen dunkle Energie und der Rest der Physik

