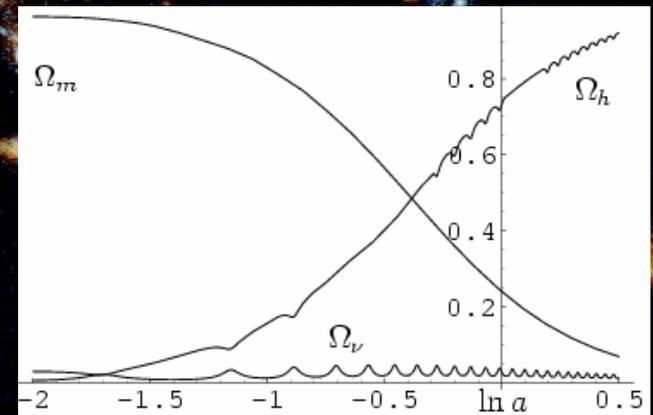
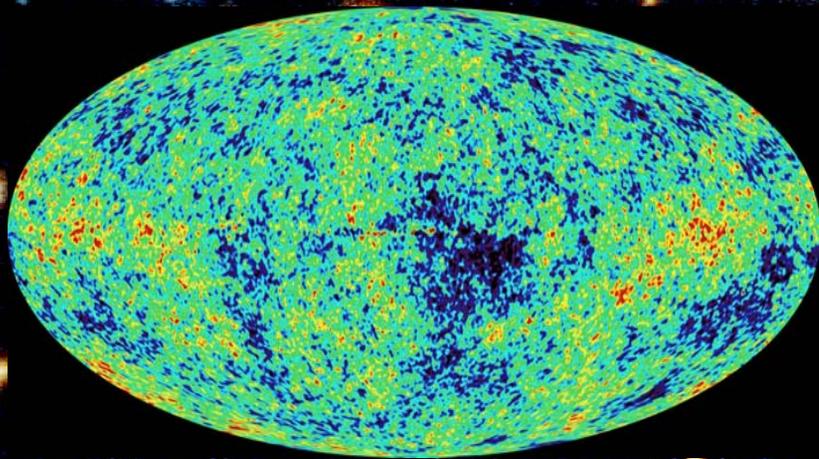
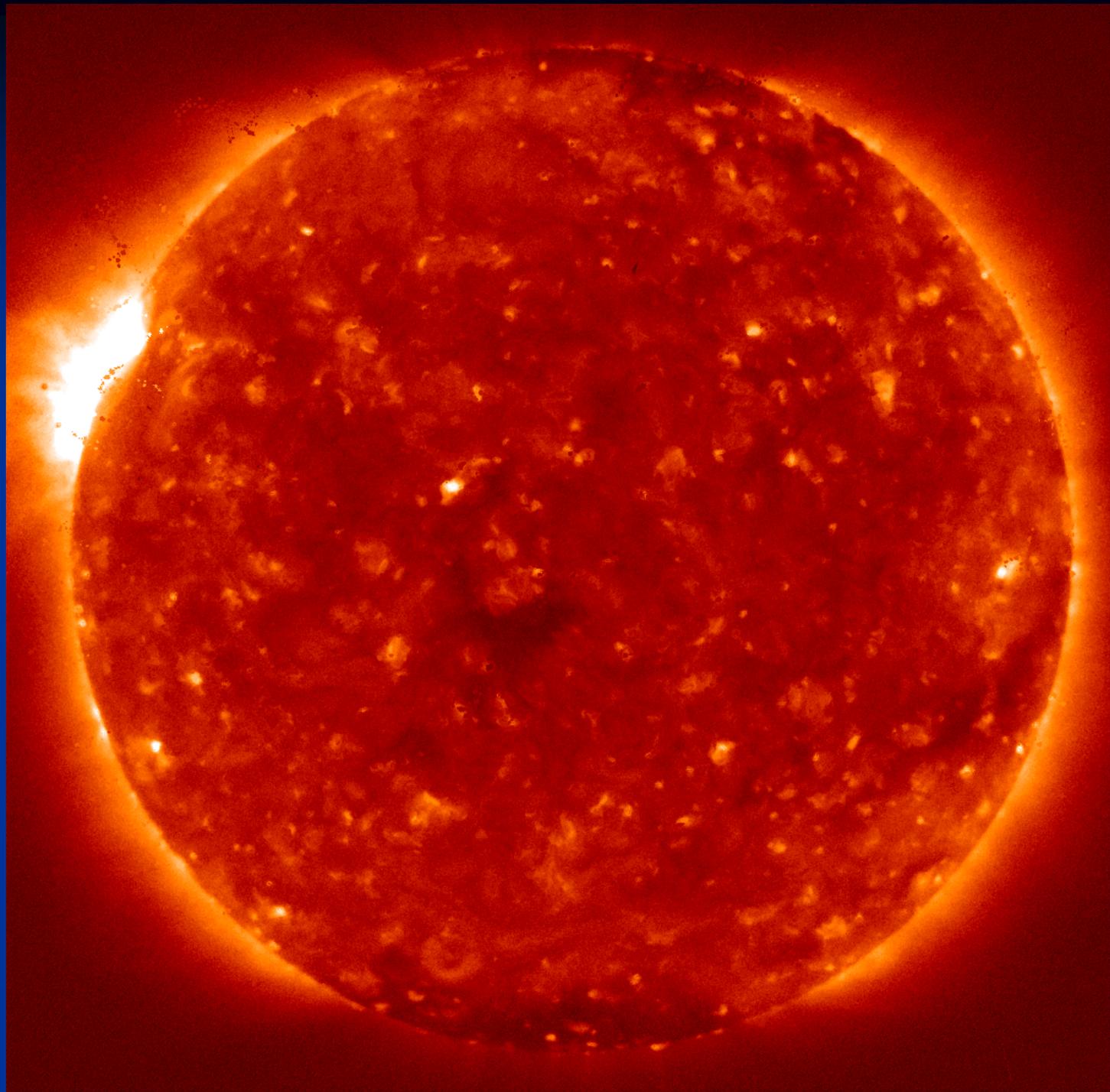


Der Anfang des Universums – Spekulation oder Wissenschaft ?











The image shows a vast field of galaxies, including spiral, elliptical, and irregular shapes, scattered across a dark background. The galaxies vary in size and color, with some appearing as bright yellow or orange points and others as more complex, multi-colored structures. The overall appearance is that of a rich, diverse population of galaxies.

Galaxien
Hubble deep field

Wer weit hinaus schaut ,
schaut weit zurück !

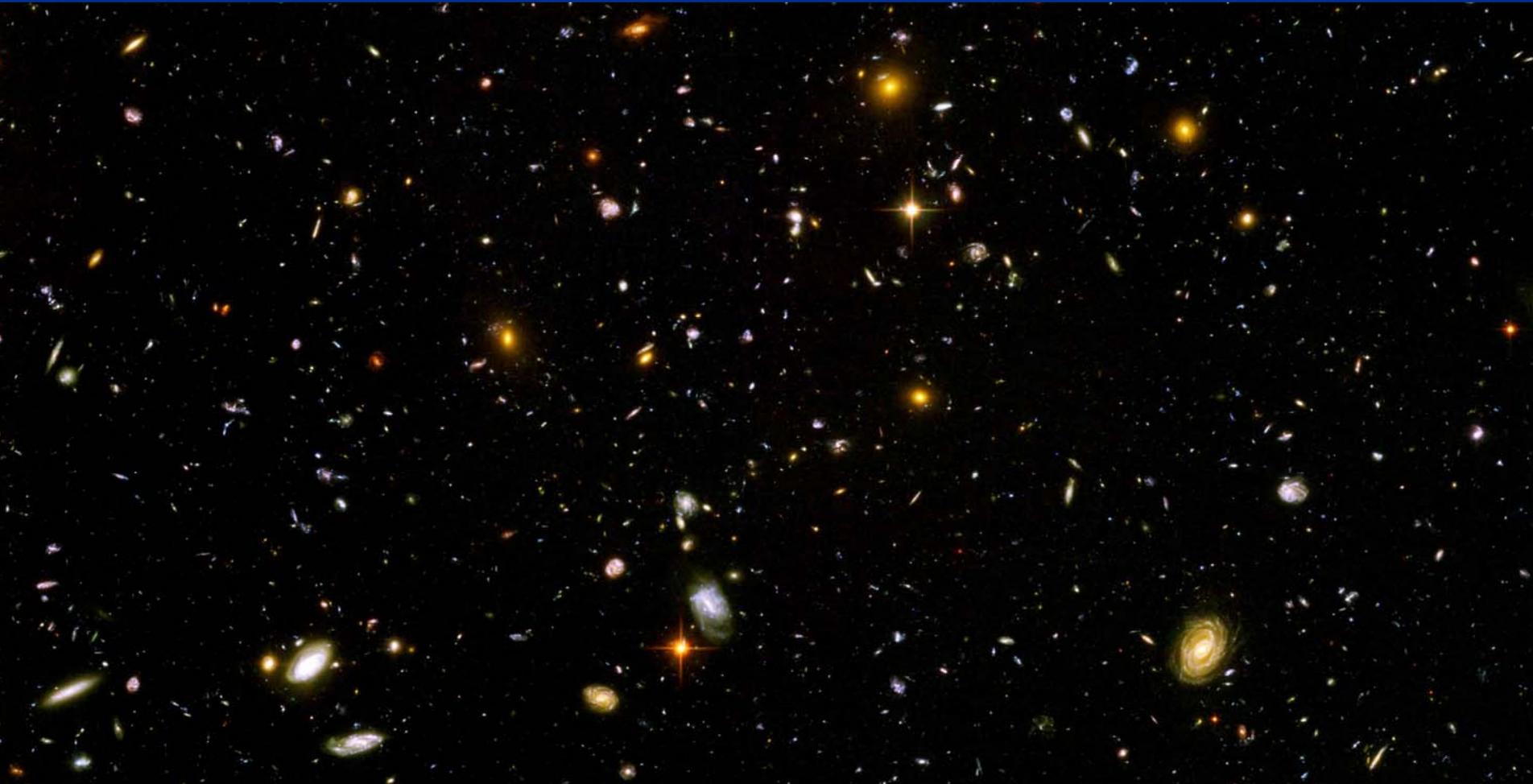
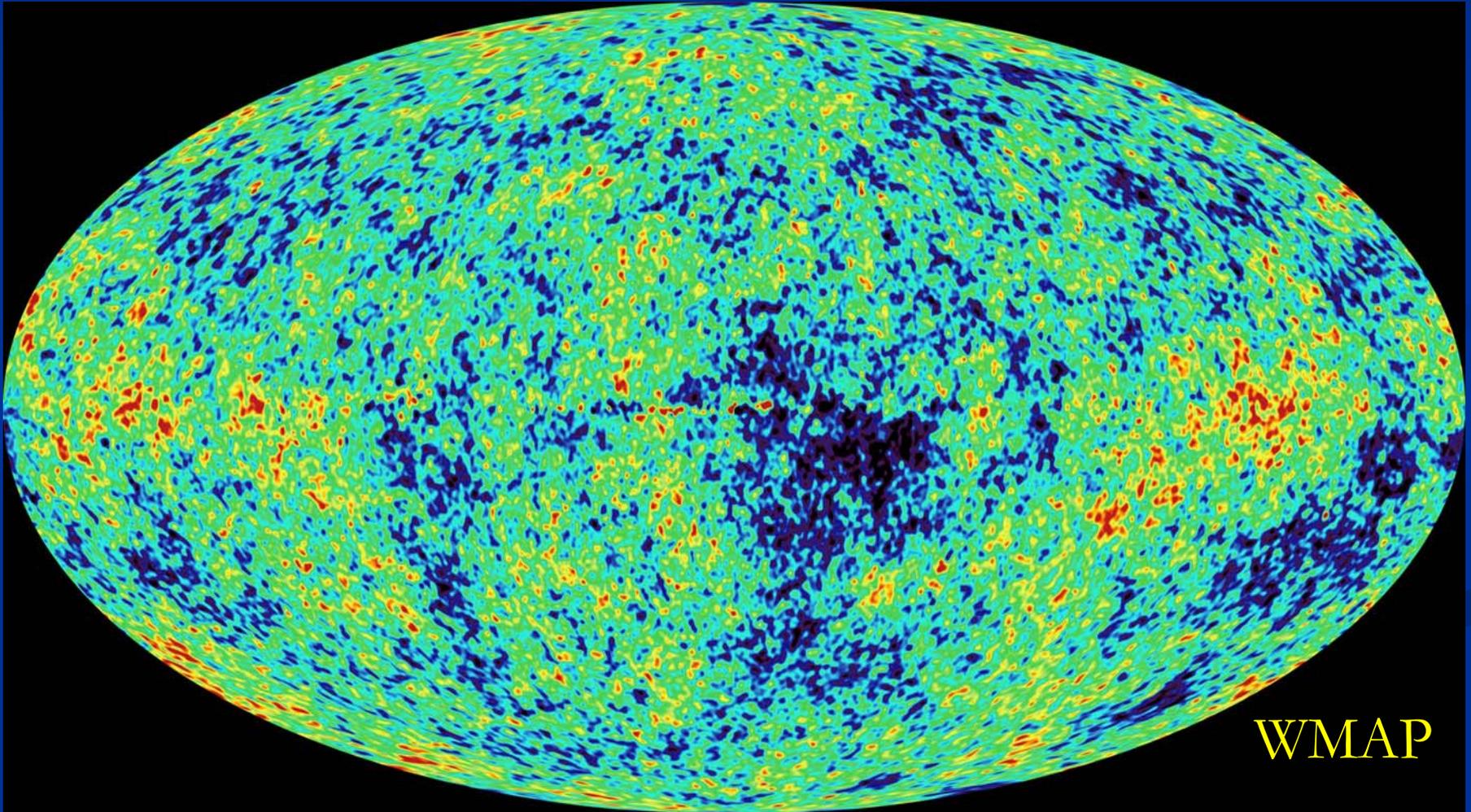


Foto des Urknalls



WMAP

schauen : nicht nur mit Licht !

- Röntgenstrahlung
- Infrarotstrahlung
- Gravitationslinsen
- hochenergetische Gammastrahlen
- Neutrinos (?)
- Gravitationswellen (?)

Farben frei gewählt



Dunkle Materie in Kollision

bullet cluster

Simulationen im Computer

$t = 13.6$ Milliarden Jahre ($z=0$)

500 Mpc/h

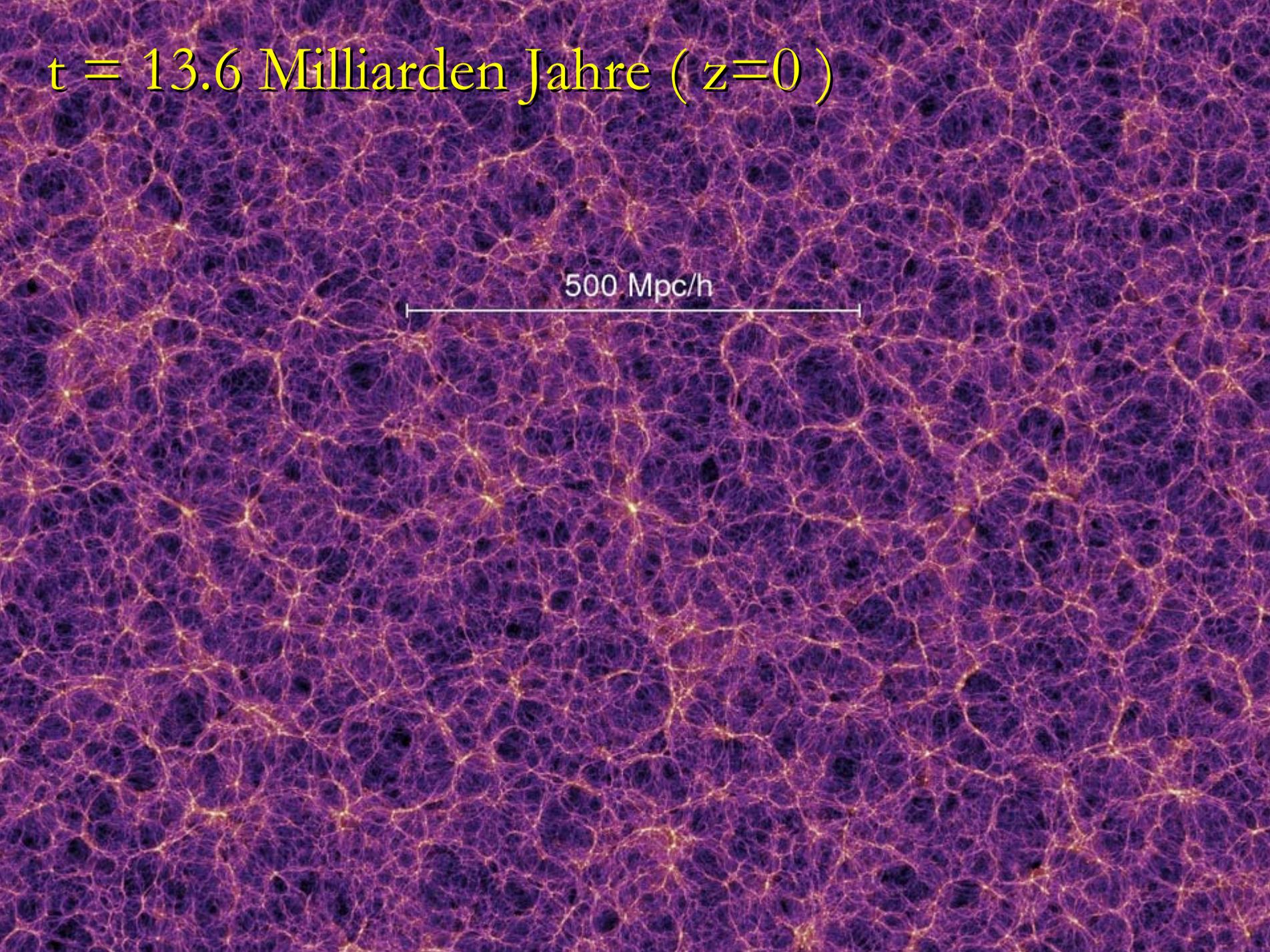


Verteilung der Dunklen Materie im Universum

Millenium simulation , VIRGO project

$t = 13.6$ Milliarden Jahre ($z=0$)

500 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at $t = 13.6$ billion years ($z=0$). The image shows a complex, interconnected network of dark purple and blue filaments, with bright yellow and orange spots representing galaxy clusters and individual galaxies. A horizontal white scale bar is positioned in the upper-middle part of the image, with the text "500 Mpc/h" centered above it. The background is a deep purple, indicating the vastness of the universe.

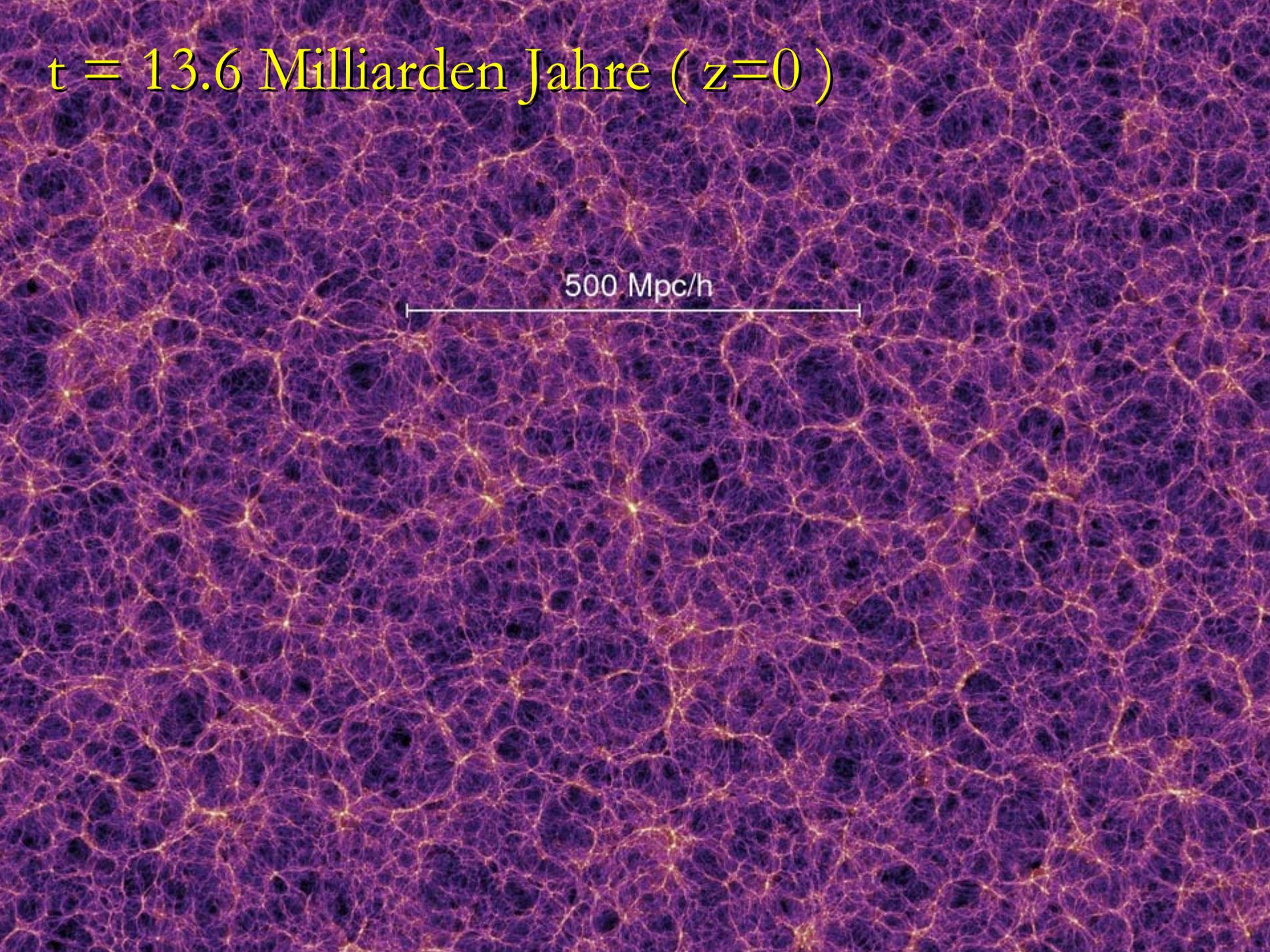
$t = 1$ Milliarde Jahre ($z = 5.7$)

500 Mpc/h

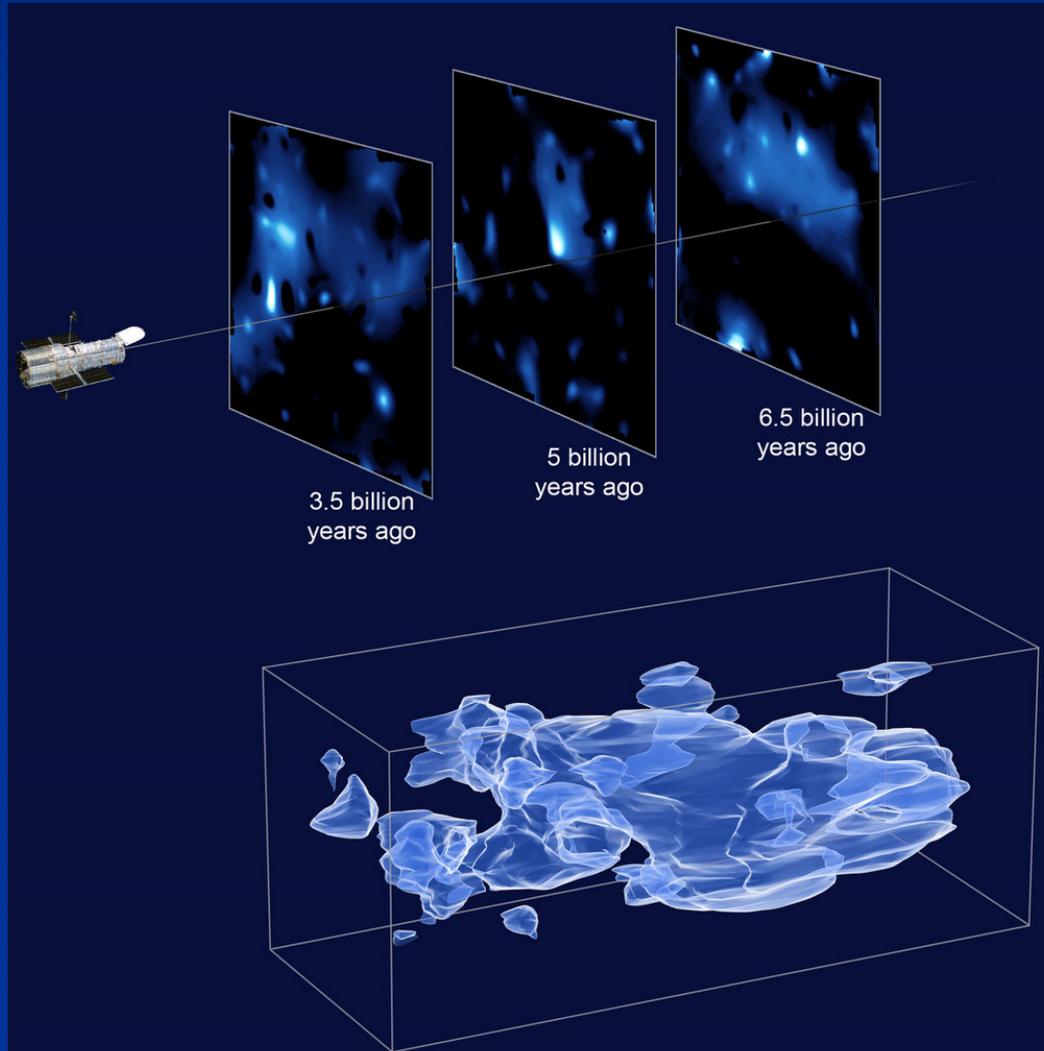


$t = 13.6$ Milliarden Jahre ($z=0$)

500 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at $t = 13.6$ billion years ($z=0$). The image shows a dense network of filaments and nodes, with a scale bar indicating 500 Mpc/h. The filaments are colored in shades of purple and blue, with nodes appearing as bright yellow and orange points. The overall structure is a complex, interconnected web of matter.

und Vergleich mit Beobachtung : Verteilung der Dunklen Materie



$t = 13.6$ Milliarden Jahre ($z=0$)

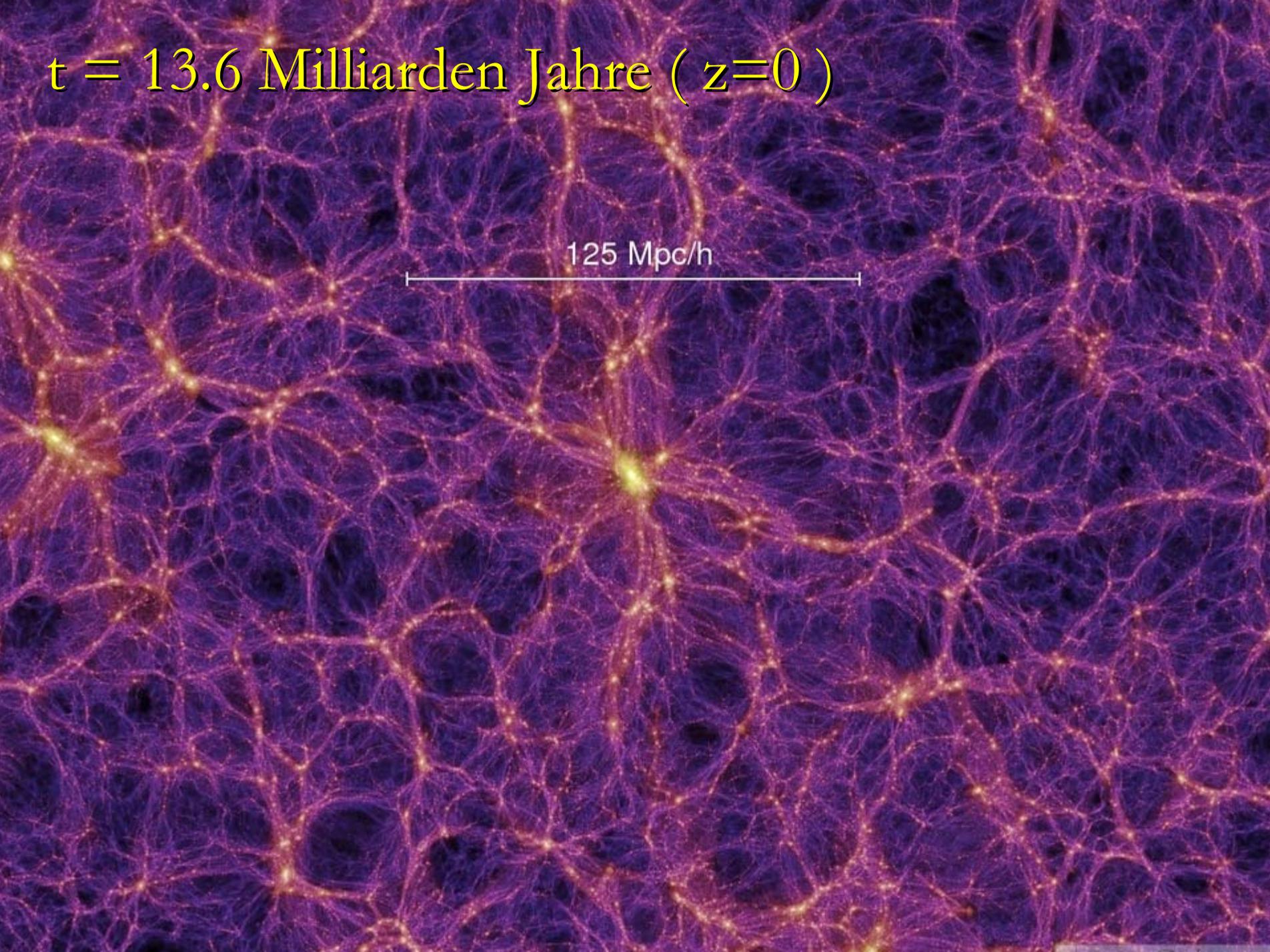
500 Mpc/h



Zoom auf Galaxienhaufen

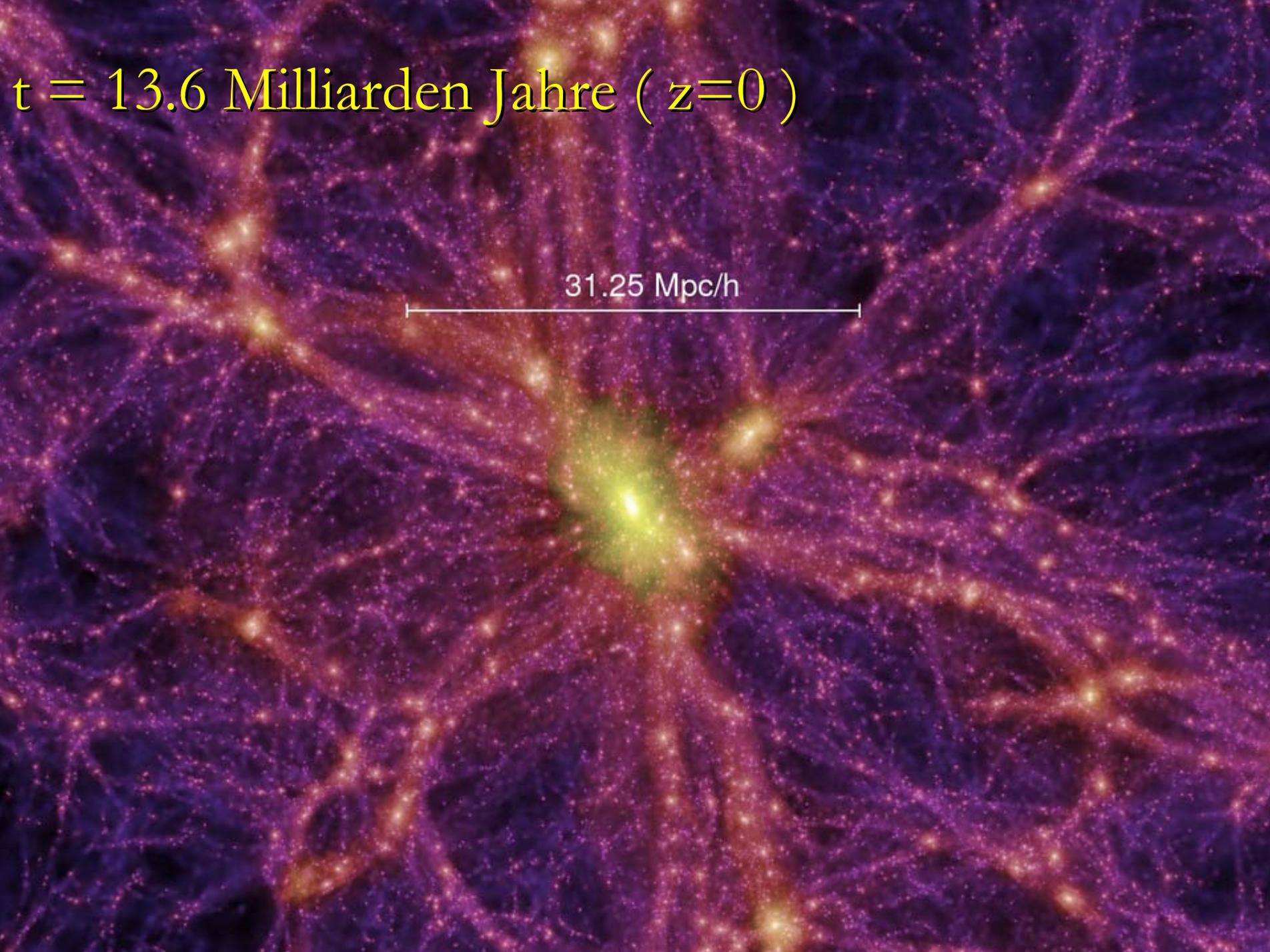
$t = 13.6$ Milliarden Jahre ($z=0$)

125 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at $t = 13.6$ billion years ($z=0$). The image displays a dense network of purple filaments and nodes, representing the large-scale structure of the universe. A central bright yellow node is prominent. A scale bar indicates a distance of 125 Mpc/h.

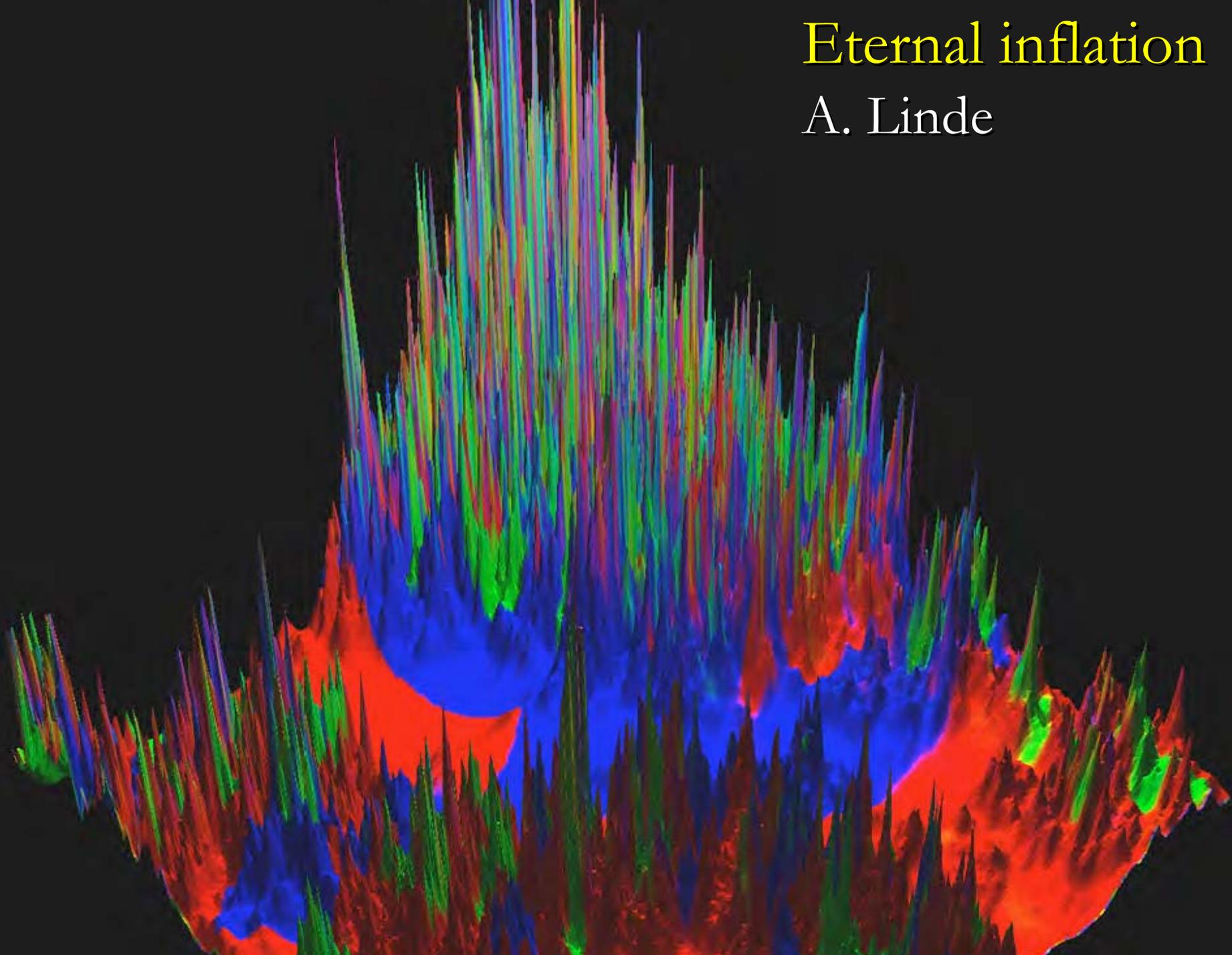
$t = 13.6$ Milliarden Jahre ($z=0$)

31.25 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at $t = 13.6$ billion years ($z=0$). The image shows a complex network of filaments and clusters of particles, with a central bright yellow-green region. A scale bar indicates 31.25 Mpc/h.

Eternal inflation

A. Linde



Was ist reell ?

Was ist Vorstellung ?

Was ist pure Spekulation ?

Die großen Fragen

- Woraus besteht das Universum ?
- Wie sah das Universum am Anfang aus ?
- Wie haben sich Strukturen entwickelt ?
- Gibt es Leben und Intelligenz in anderen Regionen des Universums ?
- Woher kommen Materie und Strahlung ?
- Was war vor dem Urknall ?
- Was wird aus unserem Universum in der Zukunft ?
- Was liegt außerhalb unseres Horizonts ?

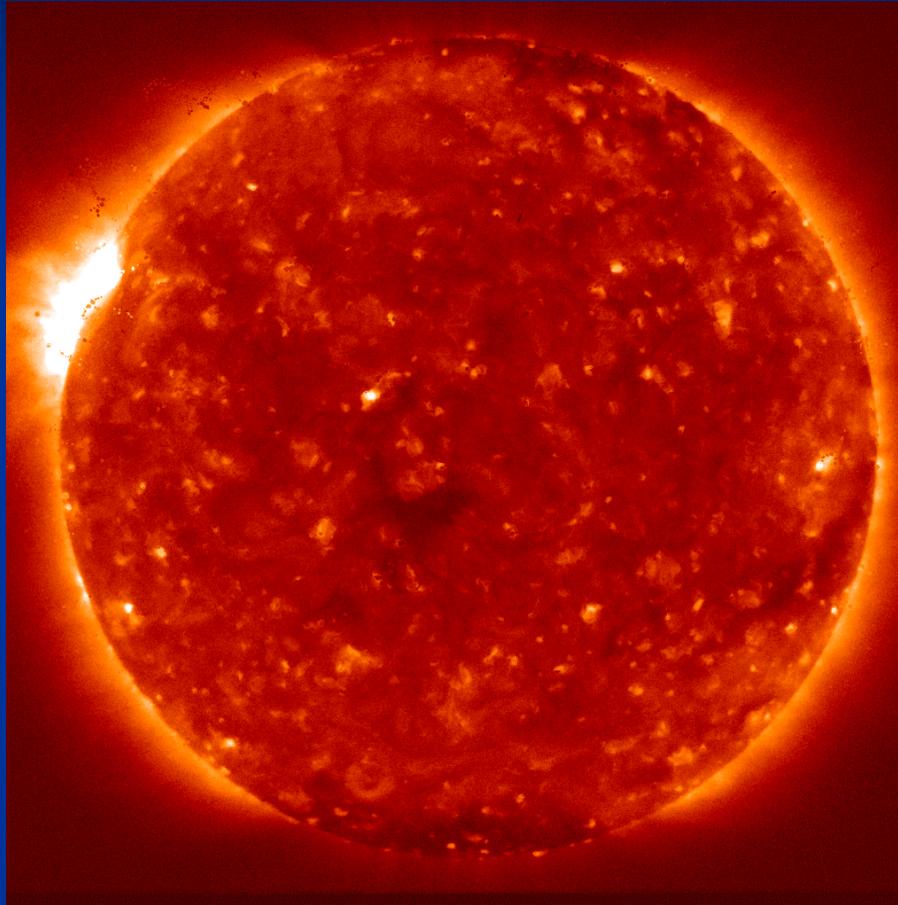
Expansion des Universums

- Der Raum zwischen den Galaxienhaufen dehnt sich aus.
- Früher war das Universum dichter, ... und heisser.
- Zurückverfolgung der Einstein'schen kosmologischen Gleichungen :
Urknall, extrem heisser Feuerball !
- Bis ca 400 000 Jahre nach dem Urknall : heisses Plasma aus Protonen, Elektronen und Strahlung

Feuerball

- heißes Plasma
- Elektronen und Kerne oder Kernbestandteile getrennt
- viel heißer und dichter als die Sonne
- undurchsichtig
- Licht wird fortdauernd gestreut
- Ende nach 400 000 Jahren

Kann man in die Sonne hineinschauen ?



nur Oberfläche der Sonne sichtbar !

Signale des Urknalls

■ Hintergrundstrahlung

Es werde Licht !

(Fiat lux) (400 000 Jahre nach Urknall)

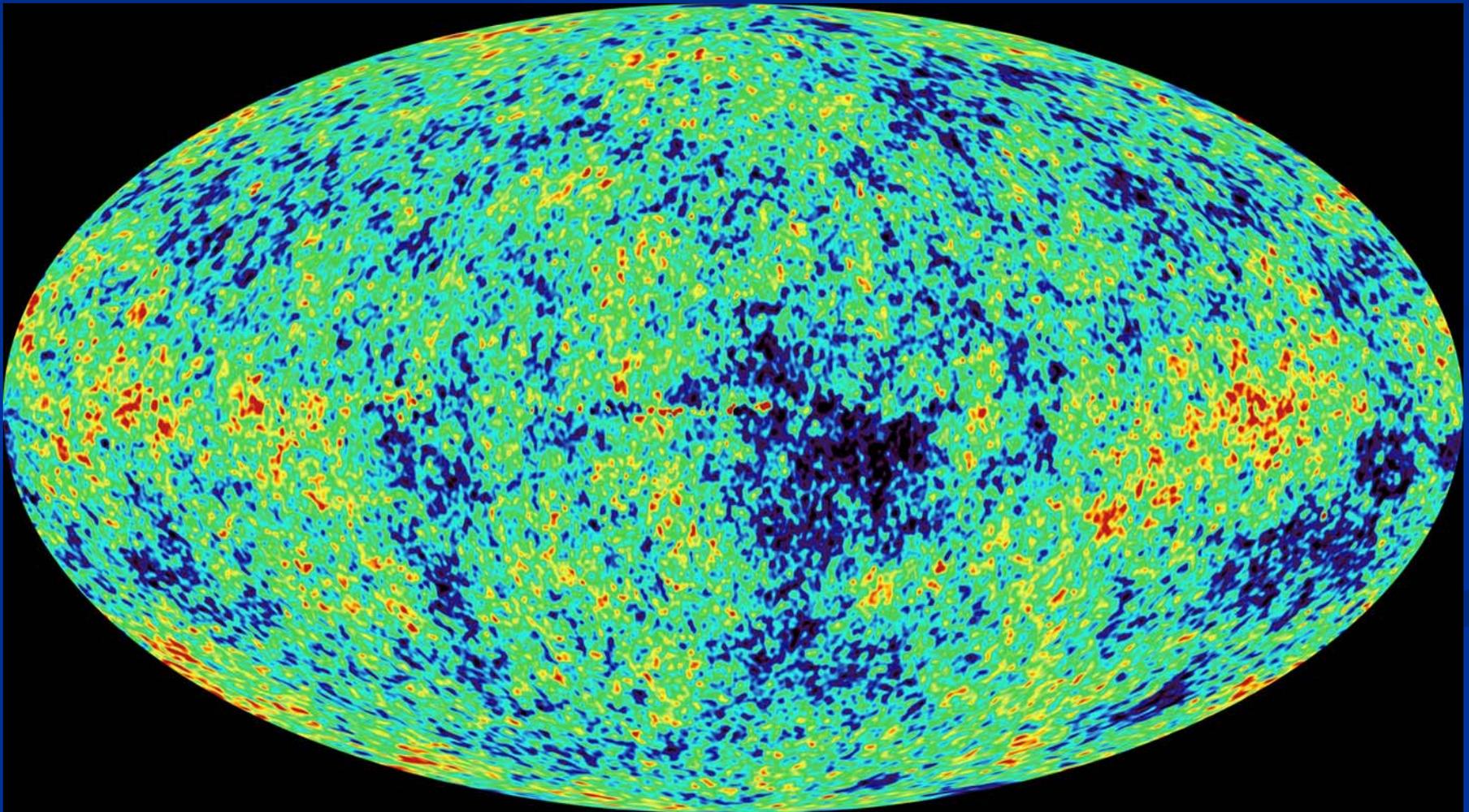
■ Primordiale Elementsynthese (Nucleosynthese)

Beginn der Chemie (10 Minuten abb)

abb : after big bang

Foto des Urknalls

als sich die Atome bildeten : ca 400 000 Jahre abb



Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

*A partnership between
NASA/GSFC and Princeton*

Science Team:

NASA/GSFC

Chuck Bennett (PI)

Michael Greason

Bob Hill

Gary Hinshaw

Al Kogut

Michele Limon

Nils Odegard

Janet Weiland

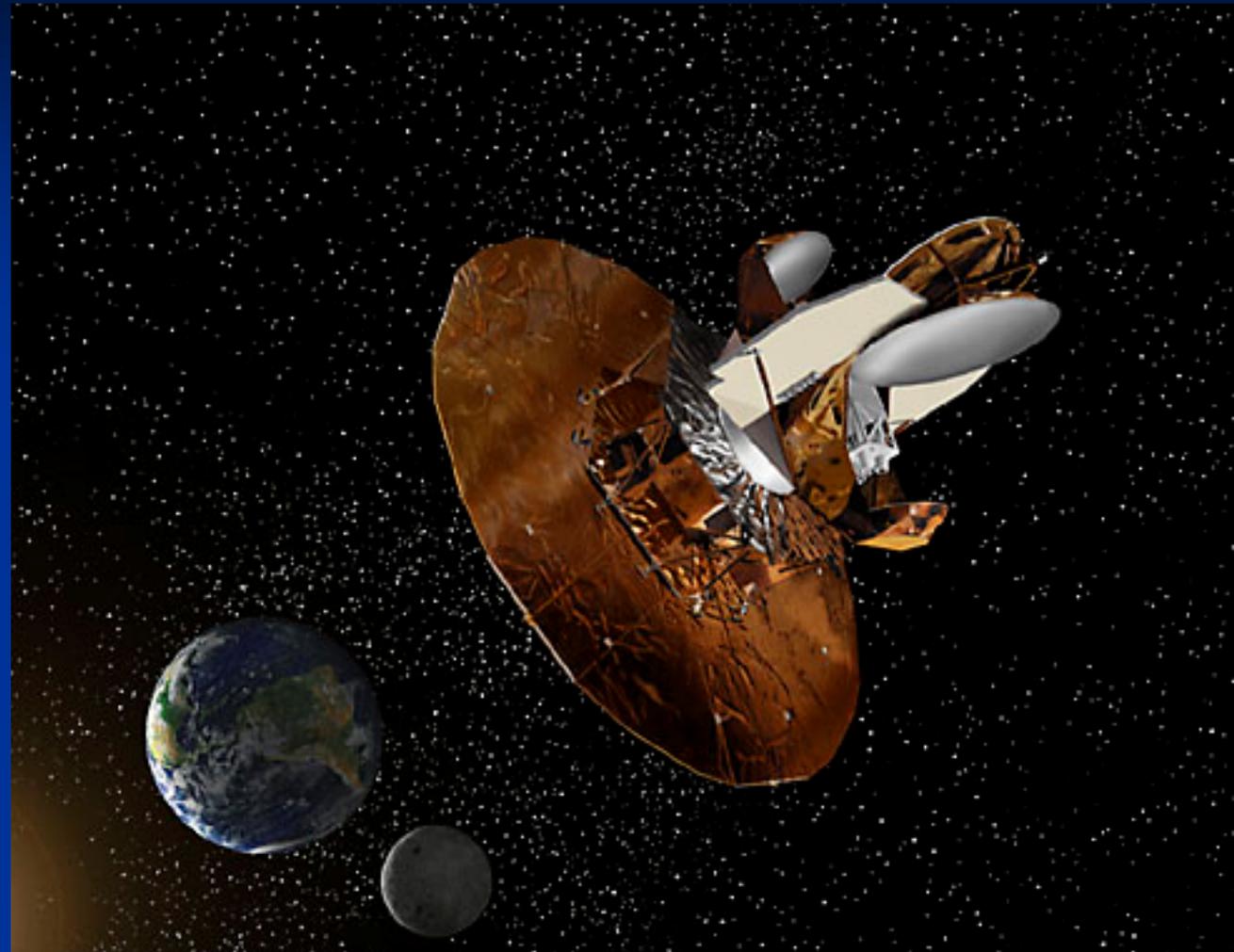
Ed Wollack

Brown

Greg Tucker

UCLA

Ned Wright



UBC

Mark Halpern

Chicago

Stephan Meyer

Princeton

Chris Barnes

Norm Jarosik

Eiichiro Komatsu

Michael Nolte

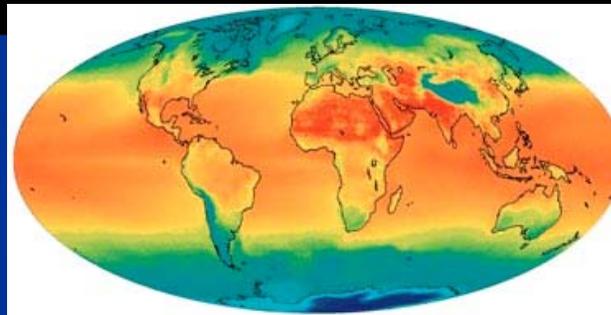
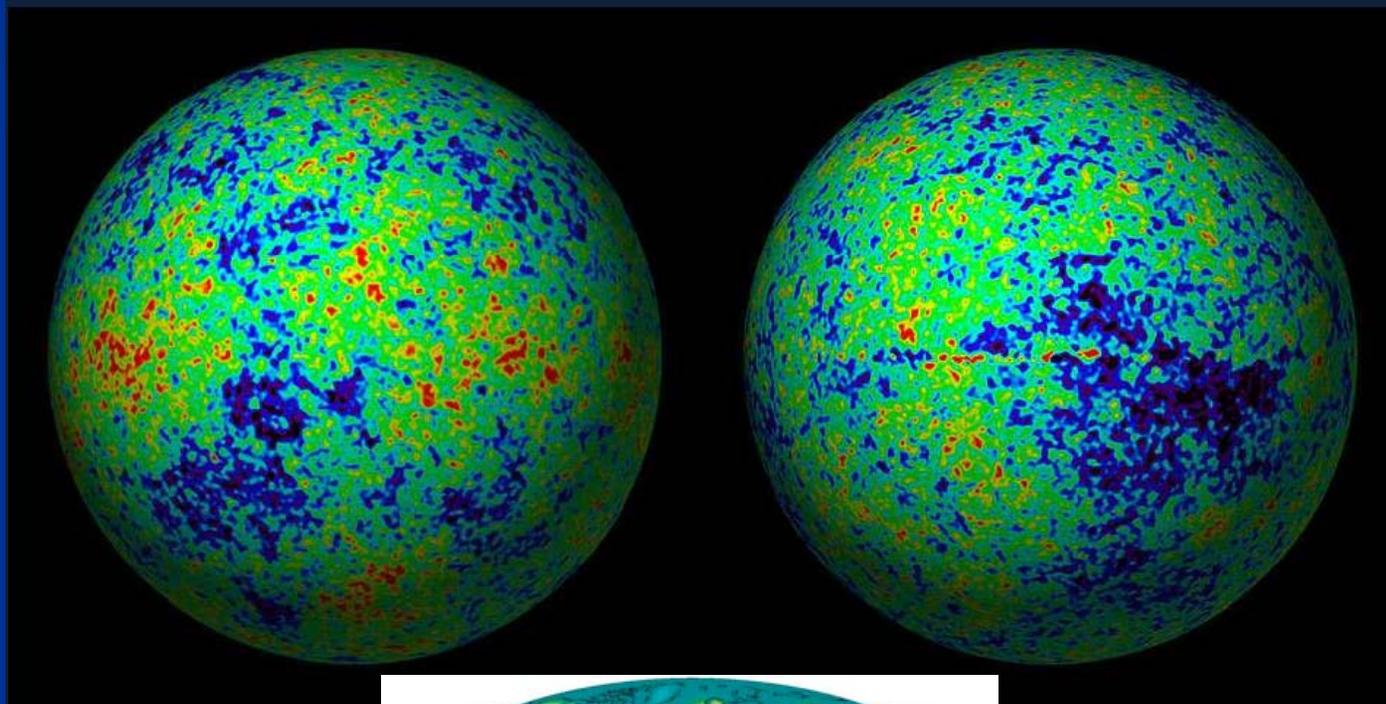
Lyman Page

Hiranya Peiris

David Spergel

Licia Verde

Bild einer Kugeloberfläche von innen winzige Temperatur-schwankungen der Hintergrundstrahlung



Die großen Fragen

- Woraus besteht das Universum ?
- Wie sah das Universum am Anfang aus ?
Plasma ! und vorher ?
- Wie haben sich Strukturen entwickelt ?
- Gibt es Leben und Intelligenz in anderen Regionen des Universums ?
- Woher kommen Materie und Strahlung ?
- Was war vor dem Urknall ?
- Was wird aus unserem Universum in der Zukunft ?
- Was liegt außerhalb unseres Horizonts ?

Grenzen der Physik

über die Schwierigkeit , Antworten zu finden ...

- Thermische Grenze
- Energiegrenze , Auflösungsgrenze
- Zeitgrenze , Raumgrenze
- Komplexitätsgrenze
- Grenzen der jetzigen Gesetze der Physik ?

Thermische Grenze

- Das frühe Universum war im thermischen Gleichgewicht .
- Das Universum “ vergisst “ !
- Werfen Sie einmal ein Buch auf die Sonne und versuchen , es 10 000 Jahre später zu lesen ...

andererseits : nur wenige Größen werden zur Beschreibung des frühen Universums benötigt !

Thermisches Gleichgewicht

Energie \sim Masse \sim Temperatur

- Welche Teilchensorten gibt es mit
Masse $<$ Temperatur ?
(Elektronen , Quarks , Photonen , Neutrinos ,
W-Bosonen , ...????)
- Was ist ihre Masse ?



Elementarteilchen - Physik

Näher an den Urknall

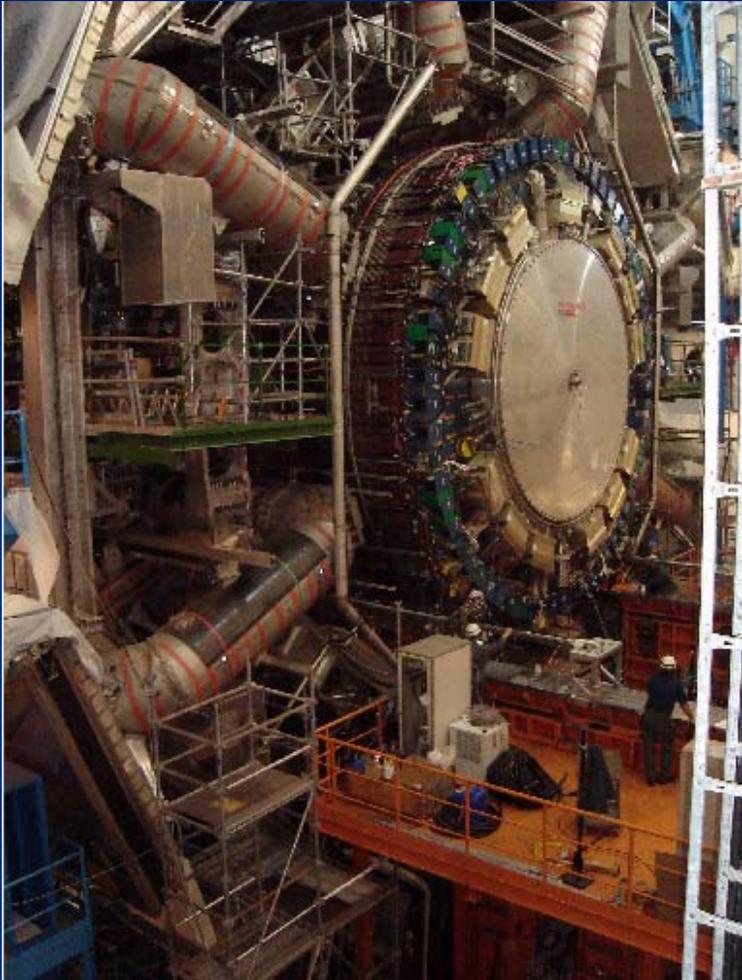
- Je näher an den Urknall, desto höher die Temperatur und Energie der Teilchen
- Physik bei hohen Energien weniger gut bekannt
- Erst ab 10^{-10} Sekunden abb : Im wesentlichen bekannte Physik

Teilchenphysik nähert sich Urknall

- vor Zeiten von 10^{-12} Sekunden ab sind die Teilchen mit Masse $<$ Temperatur nicht experimentell bekannt
- LHC erforscht Physik, die für 10^{-12} Sekunden ab wichtig ist
- spontane Symmetriebrechung, Phasenübergang

Energiegrenze ...

Energiegrenze



LHC , CERN , Genf

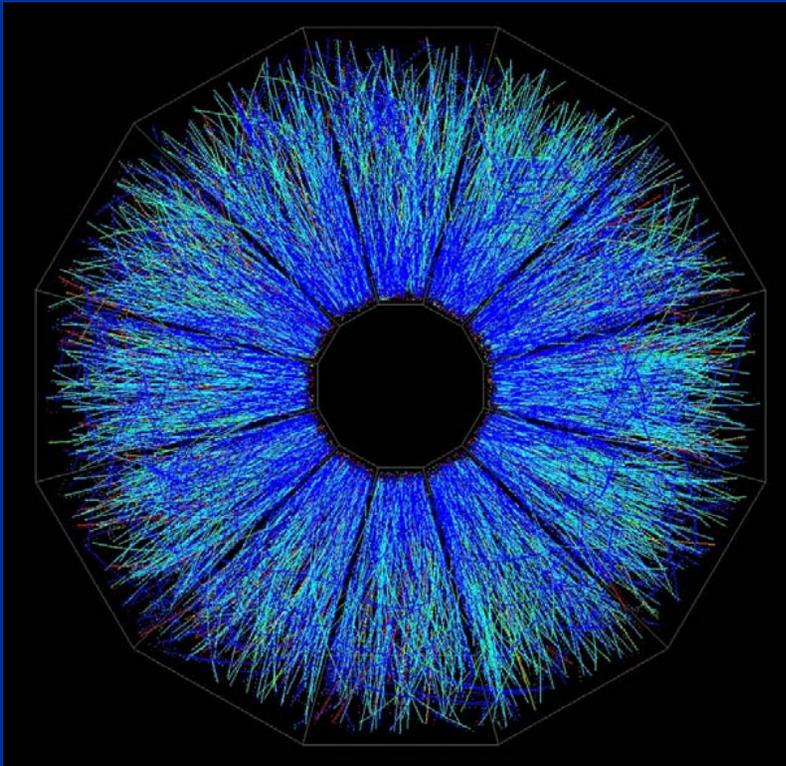
Komplexitätsgrenze

Galaxien-Entstehung

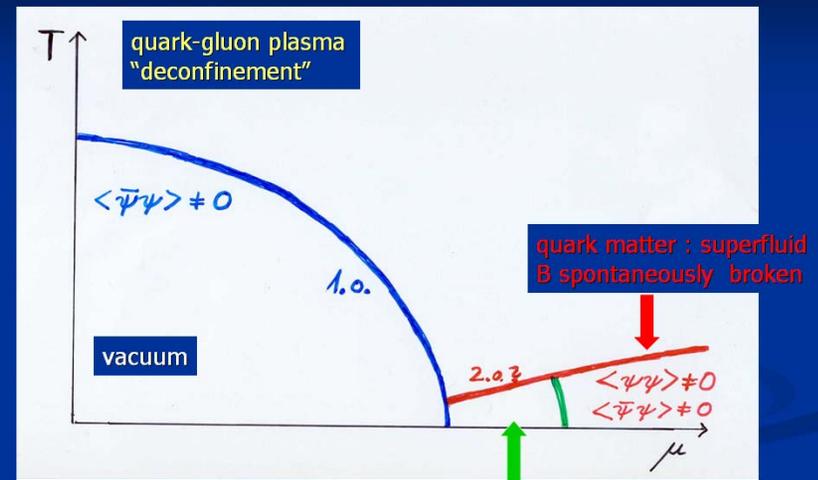


Komplexitätsgrenze : Quark – Gluon - Plasma

experimentelle Untersuchung des Plasmas in
Zustand Mikrosekunden abb



Phase diagram for $m_s > m_u, d$



nuclear matter : B, isospin (I3) spontaneously broken,
S conserved

Komplexitätsgrenze :

Details der Galaxienentstehung oder des Quark-Gluonplasmas vermutlich nicht wichtig für Verständnis der Entwicklung des Universums als Ganzem

Komplexitätsgrenze :

Waren die Naturkonstanten konstant ?

- Gelten die Gesetze der Physik auch noch eine Minute abb ?
- Oder hatten da Naturkonstanten andere Werte ?

anderes Verhältnis Elektronmasse/Protonmasse
oder andere Gravitationskonstante , oder ???

**nur 4,5 % des Universums
bestehen aus Atomen :**

bekannt von

Hintergrundstrahlung ,

400 000 Jahre abb

Atomphysik

Nucleosynthese

Minute abb

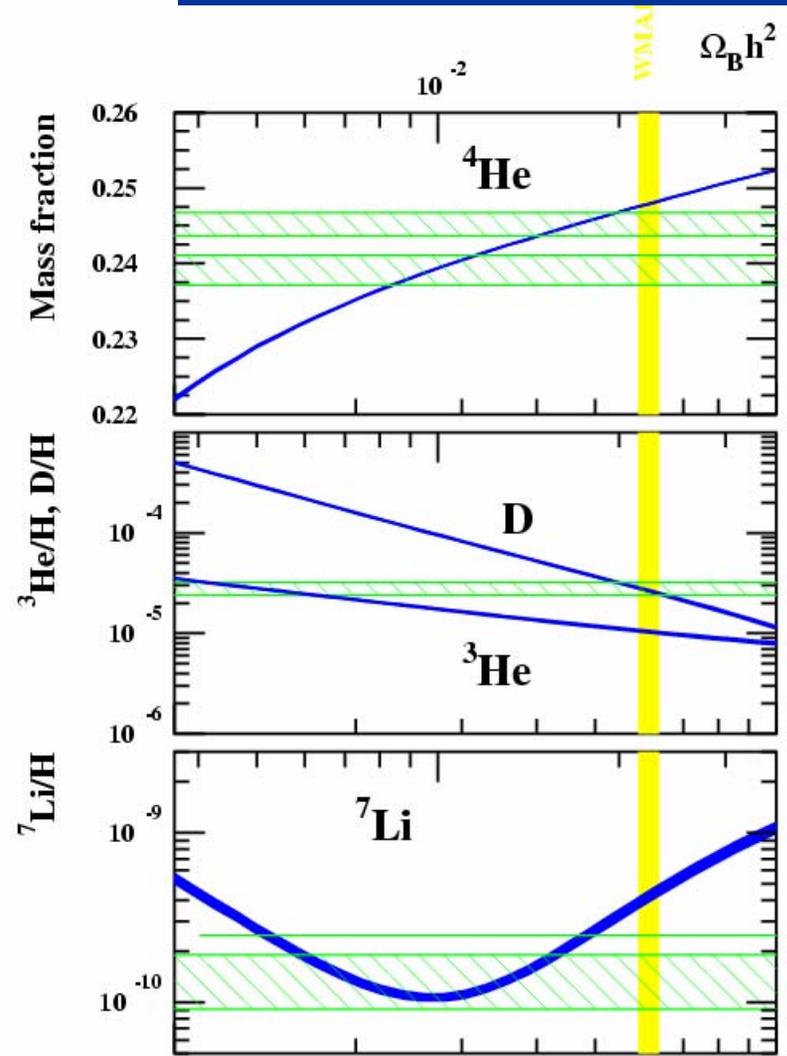
Kernphysik

$$\Omega_b = 0.045$$

Anteil der Atome im Universum

Primordiale Häufigkeiten der leichten Elemente aus der Nukleosynthese

verglichen mit kosmischer Hintergrundstrahlung und Beobachtung



Elementhäufigkeiten

WMAP

A.Coc

Präzise Bestätigung unseres Verständnisses der Physik und Kosmologie

Beispiel : auch vor 13.7 Milliarden Jahren
hatten die Konstanten der Physik die
(fast) gleichen Werte

typische mögliche Werte der
Variation der Feinstrukturkonstanten:

$$\Delta\alpha/\alpha (z=10^{10}) = -1.0 \cdot 10^{-3} \quad \text{GUT 1}$$

$$\Delta\alpha/\alpha (z=10^{10}) = -2.7 \cdot 10^{-4} \quad \text{GUT 2}$$

C.Mueller , G.Schaefer,...

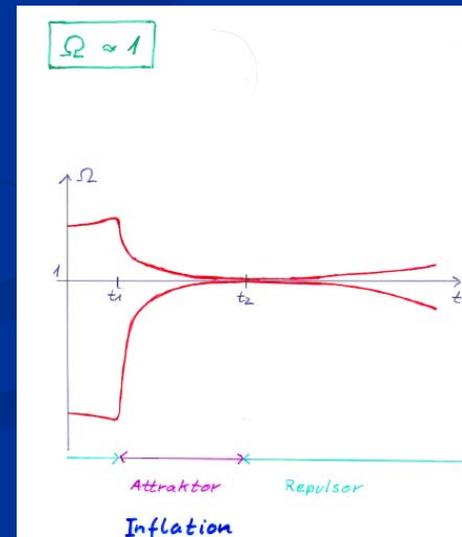
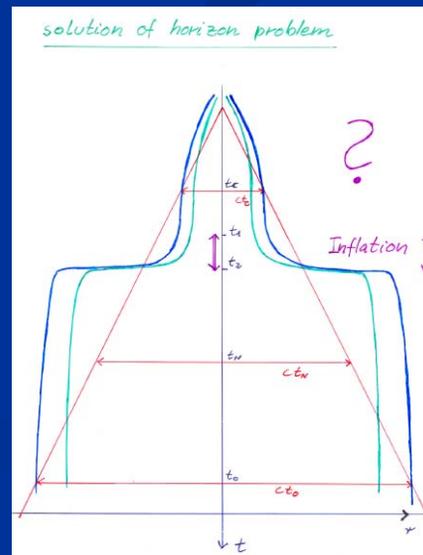
winzig ! kleiner als ein Tausendstel !

**Wir verfügen über
zuverlässiges Wissen über die
Entwicklung des Universums
seit den ersten 10^{-10} Sekunden !**

Abenteuerreise an den Anfang der Welt

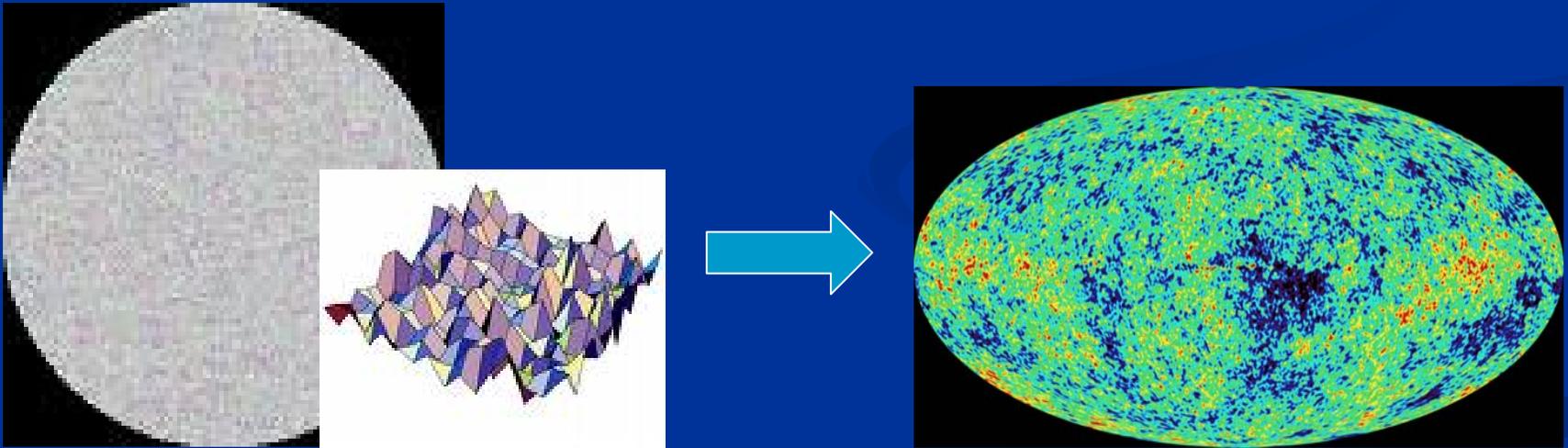
Explosion des Raums

- das inflationäre Universum
- am Anfang waren Raum und Zeit und Felder
- während der Inflation ist Universum leer
- Materie und Strahlung werden am Ende der Inflation erzeugt



Inflationäres Universum

- Ca 10^{-30} - 10^{-40} Sekunden abb
- Entstehung der primordialen Fluktuationen aus Quantenfluktuationen

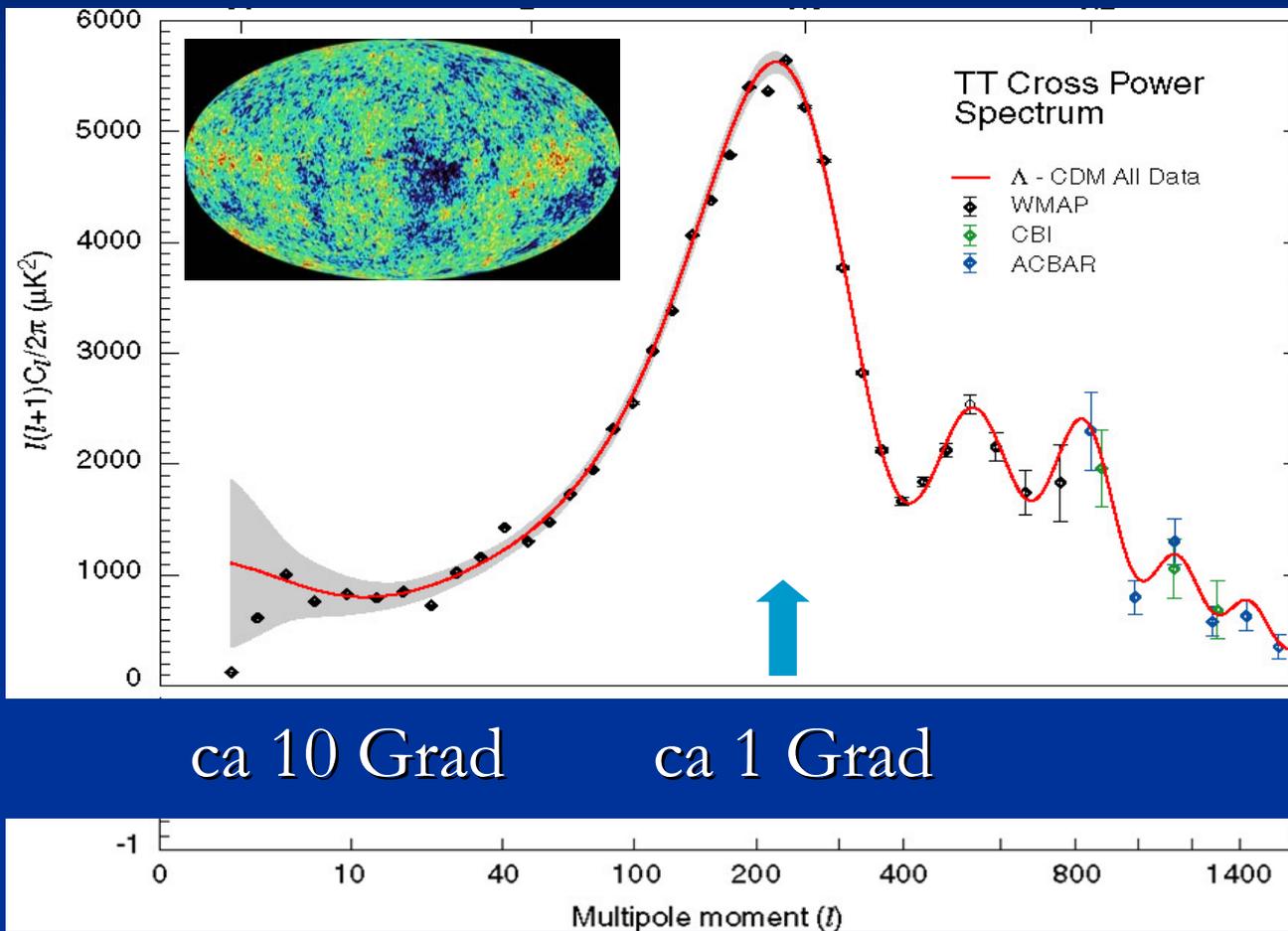


Signale vom Urknall !

Vorhersagen der Inflation

- Universum hat kritische Dichte ☺
- Quantenfluktuationen aus der Zeit der Inflation werden zu “Schallwellen“ zum Zeitpunkt der Entstehung der kosmischen Hintergrundstrahlung ☺
- das Universum als Musikinstrument -

Stärke der Temperaturschwankung in Abhängigkeit von Fleckengröße (im Winkel)



Mittelwerte
WMAP 2003

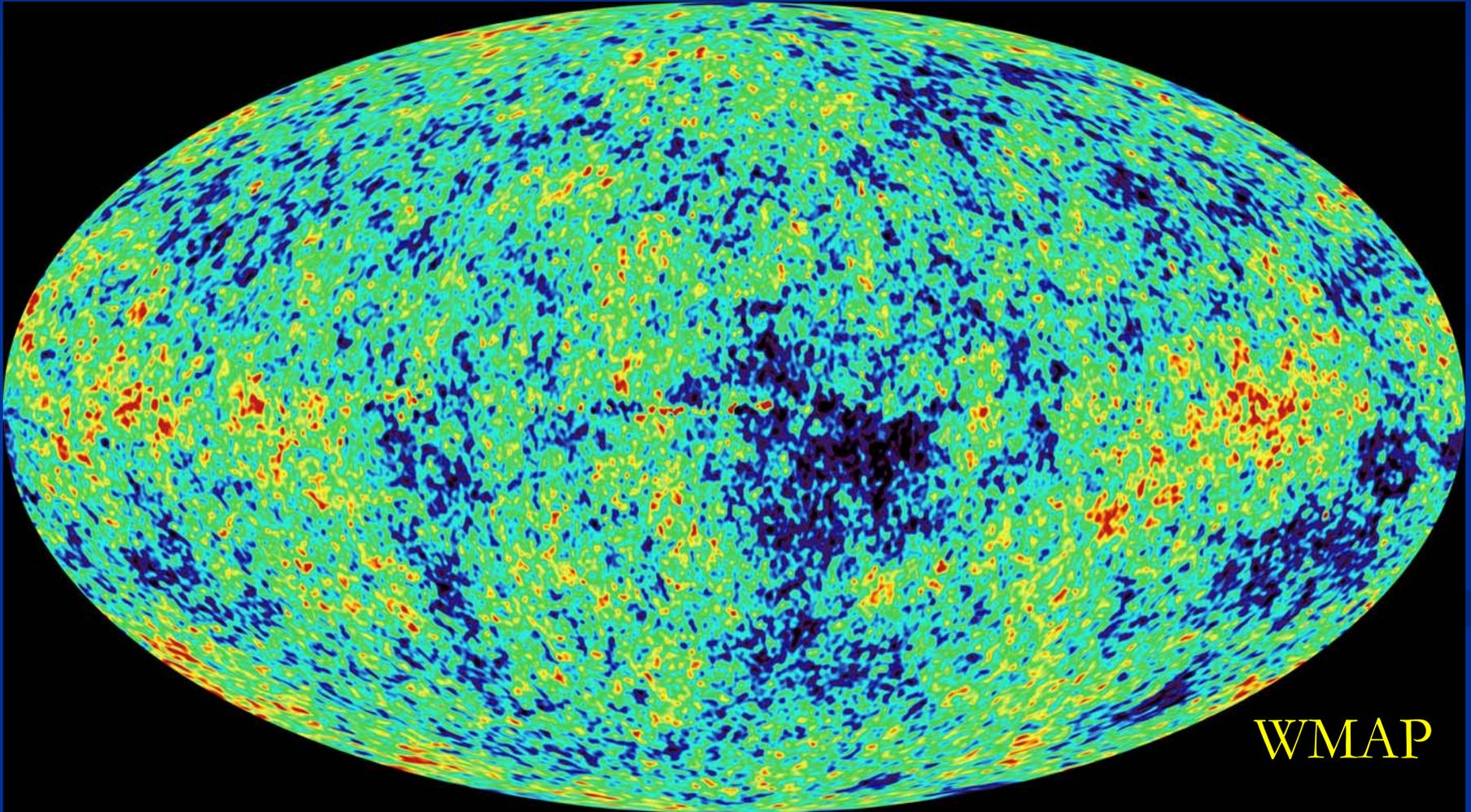
$$\Omega_{\text{tot}} = 1.02$$

$$\Omega_{\text{m}} = 0.27$$

$$\Omega_{\text{b}} = 0.045$$

$$\Omega_{\text{dm}} = 0.225$$

Foto des Urknalls

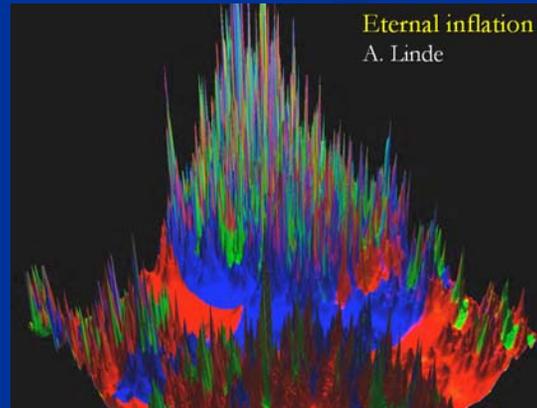


WMAP

Was ist Ursache der Inflation ?

Spekulative Physik ..

- Zusätzliche Raumdimensionen
- Superstringtheorien
- “Kosmologie vor dem Urknall”
- Multiversum

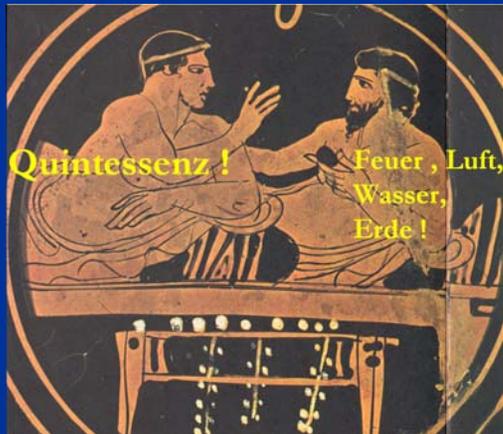


Chancen der Verifizierung ?

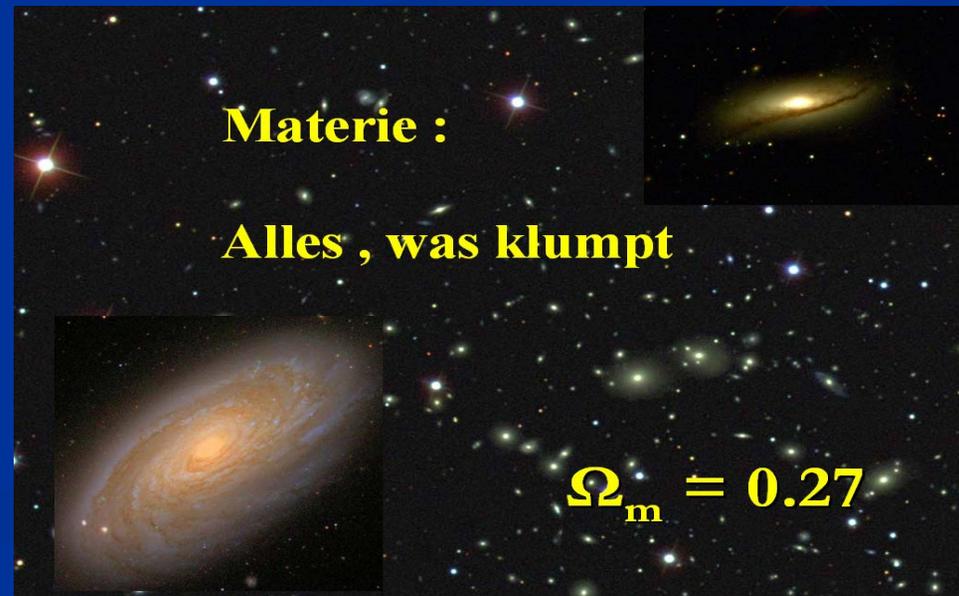
- Es fehlt vereinheitlichte Theorie aller Wechselwirkungen !
- Dennoch : Beobachtungen geben Aufschluss über extreme frühe Epochen der kosmologischen Entwicklung !

Dunkle Energie

- nur ein Viertel der Energiedichte des Universums besteht aus Materie
- drei Viertel sind völlig gleichmäßig verteilte Dunkle Energie



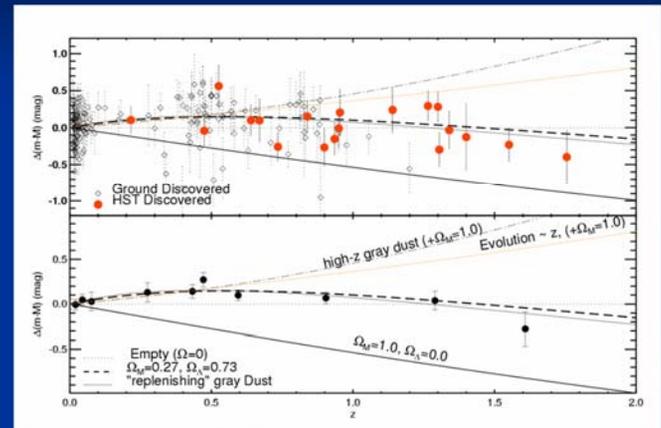
Woraus besteht das
Universum ?



Vorhersagen für Kosmologie mit Dunkler Energie

*Die Expansion des Universums
beschleunigt sich heute !*

Supernova Ia Hubble-Diagramm

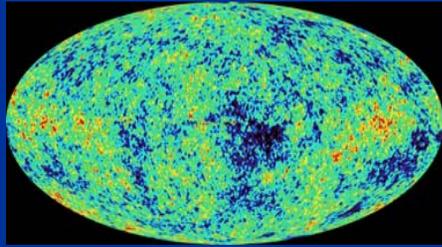


Rotverschiebung z

Riess et al. 2004

Strukturbildung

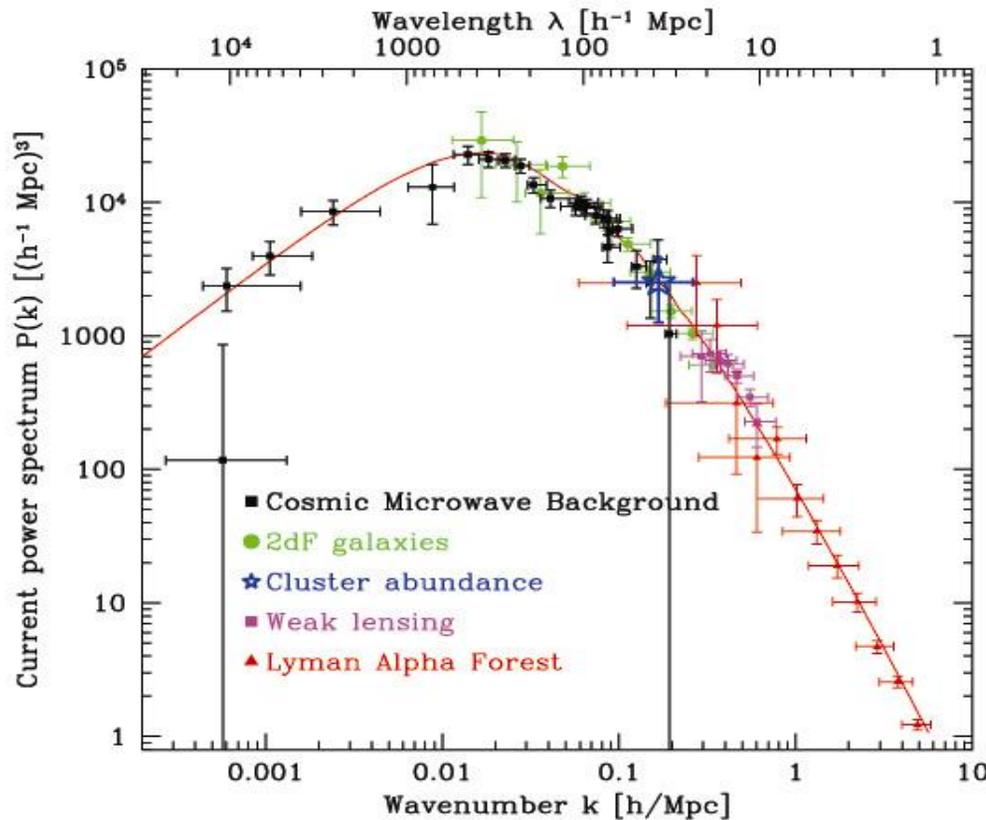
Aus winzigen Anisotropien wachsen die
Strukturen des Universums



Sterne , Galaxien, Galaxienhaufen

Ein primordiales Fluktuationsspektrum beschreibt
alle Korrelationsfunktionen !

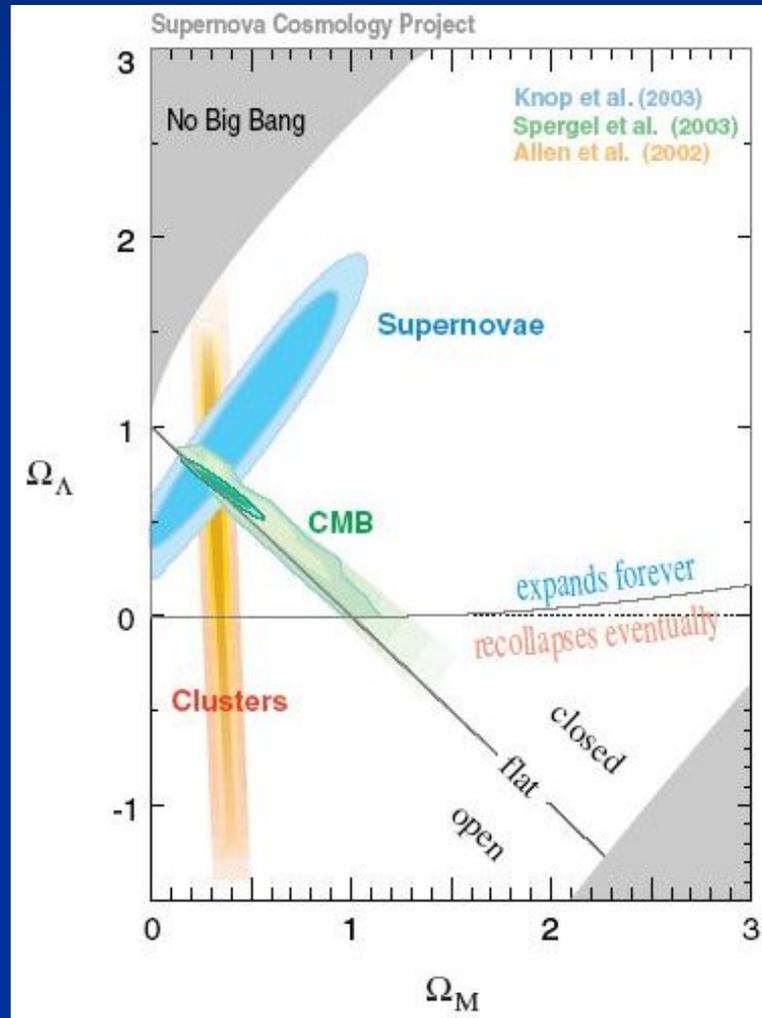
Strukturbildung : Ein primordiales Fluktuationsspektrum



CMB passt mit
Galaxienverteilung
Lyman - α
und
Gravitationslinsen-
Effekt !

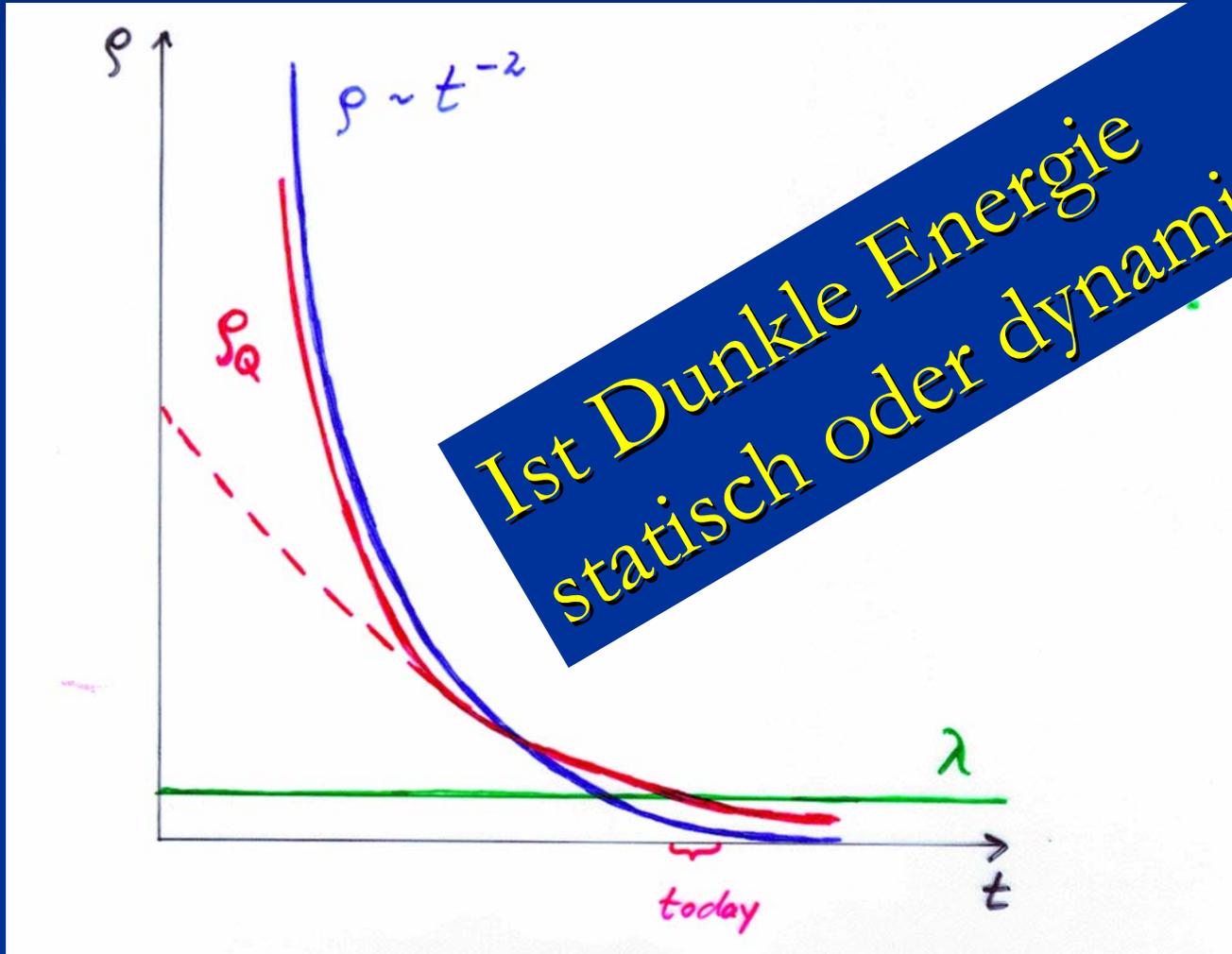
Dunkle Energie :

die Beobachtungen passen zusammen !



Kosm. Konst.
statisch

Quintessenz
dynamisch



Eigenschaften der Dunklen Energie bestimmen die Zukunft des Universums

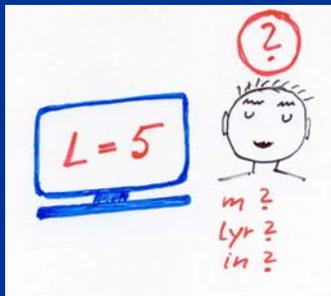
Vorhersagbarkeit für die nächsten
100 Milliarden Jahre...

Vereinheitlichung
aller Wechselwirkungen

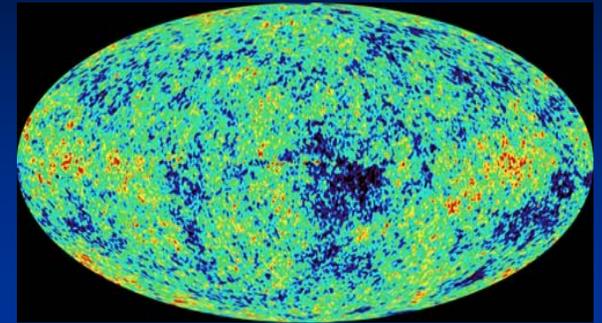
Superstrings

Zusätzliche
Dimensionen

Fundamentaler
Ursprung der
Massenskalen



$$\Omega_m + X = 1$$



$$\Omega_m : 25\%$$



$$\Omega_h : 75\%$$

Dunkle Energie



Zusammenfassung

- Physik des Universums in wesentlichen Zügen bekannt von 10^{-10} Sekunden ab bis 10 Milliarden Jahre ab.
- Vorhersagen über Zukunft benötigen quantitatives Verständnis der Dunklen Energie
- Frühes Universum : Elementarteilchenphysik

Ende