Kosmologische Überlegungen [Gsenner]

Def. Kosmos: das größte der Beobachtung zugängliche gravitativ wechselwirkende System

Anfang! Geschichte! Homogen, isotrop, expandierend

Zeitraum: von $t_{Pl} = (\hbar G/c^5)^{1/2} \simeq 5 \cdot 10^{-44}\,s$

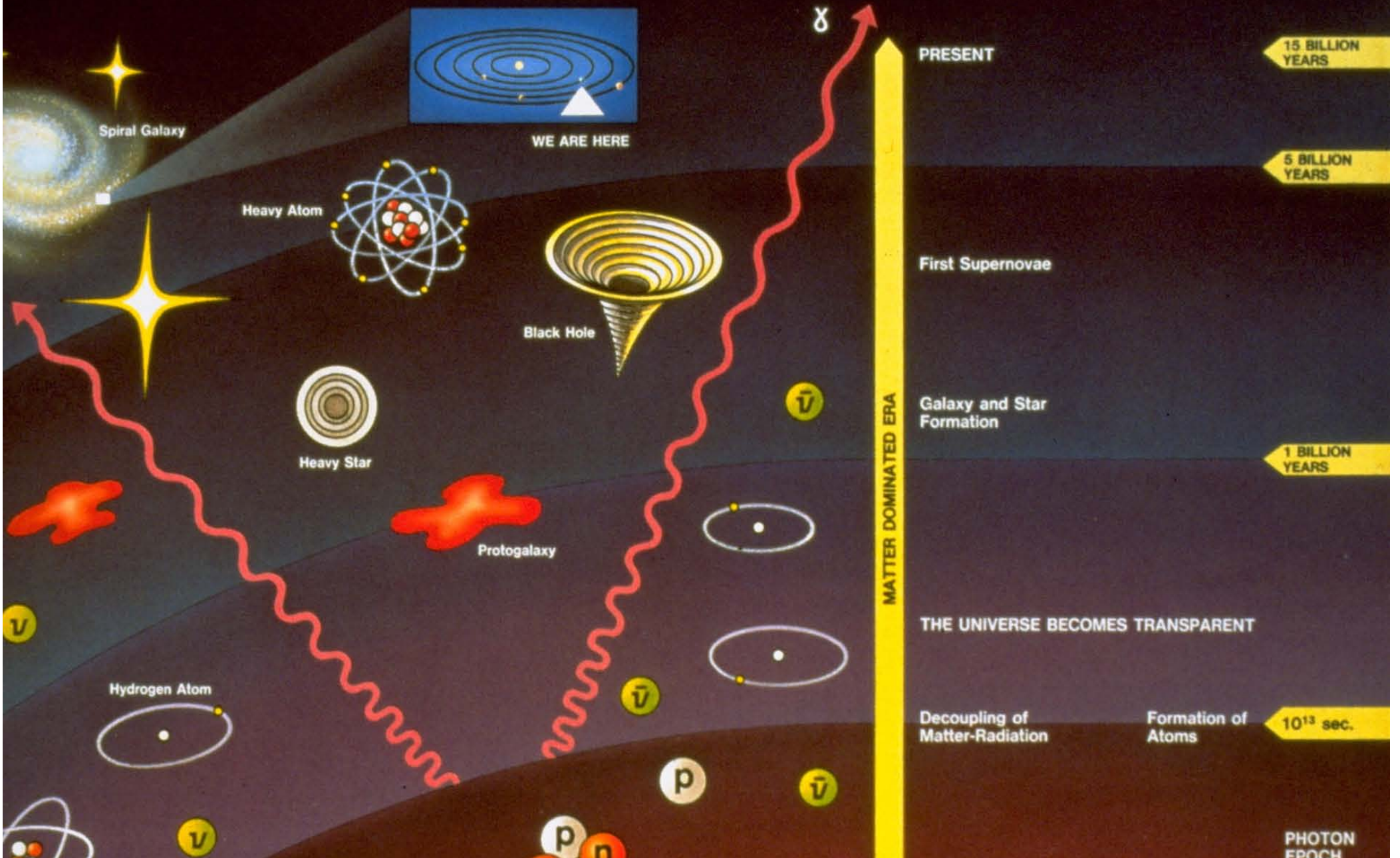
bis 10^{100} Jahren [BH $10^{10} M_\odot$ zerstrahlt]

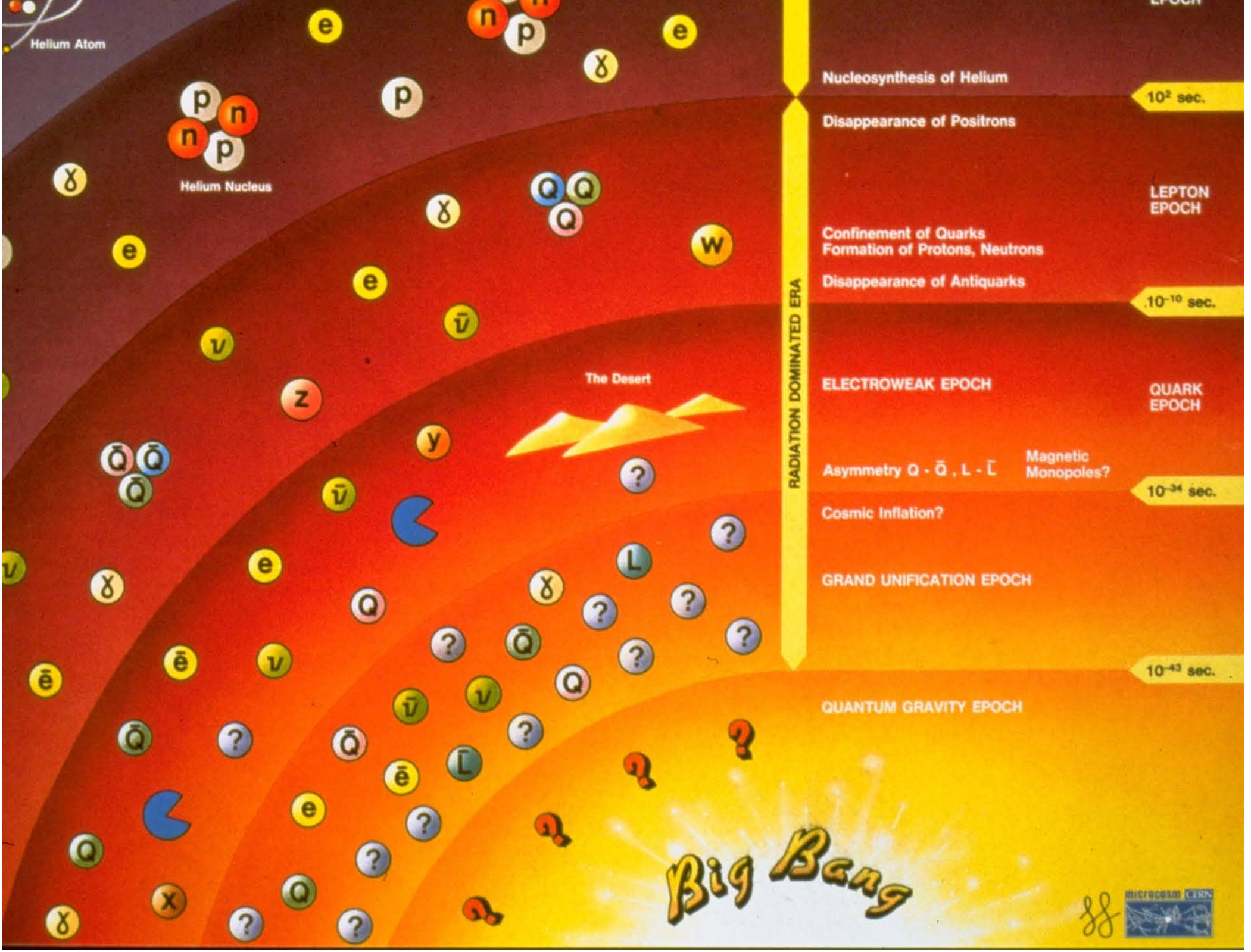
Phasen: Standardmodell → bis $T \sim 3^K$ zurück
Kontinuum

frühes Universum → bis t_{Pl} zurück
Teilchen- u. Kernphysik dominieren

Quantenkosmologie → „davor"
spekulativ

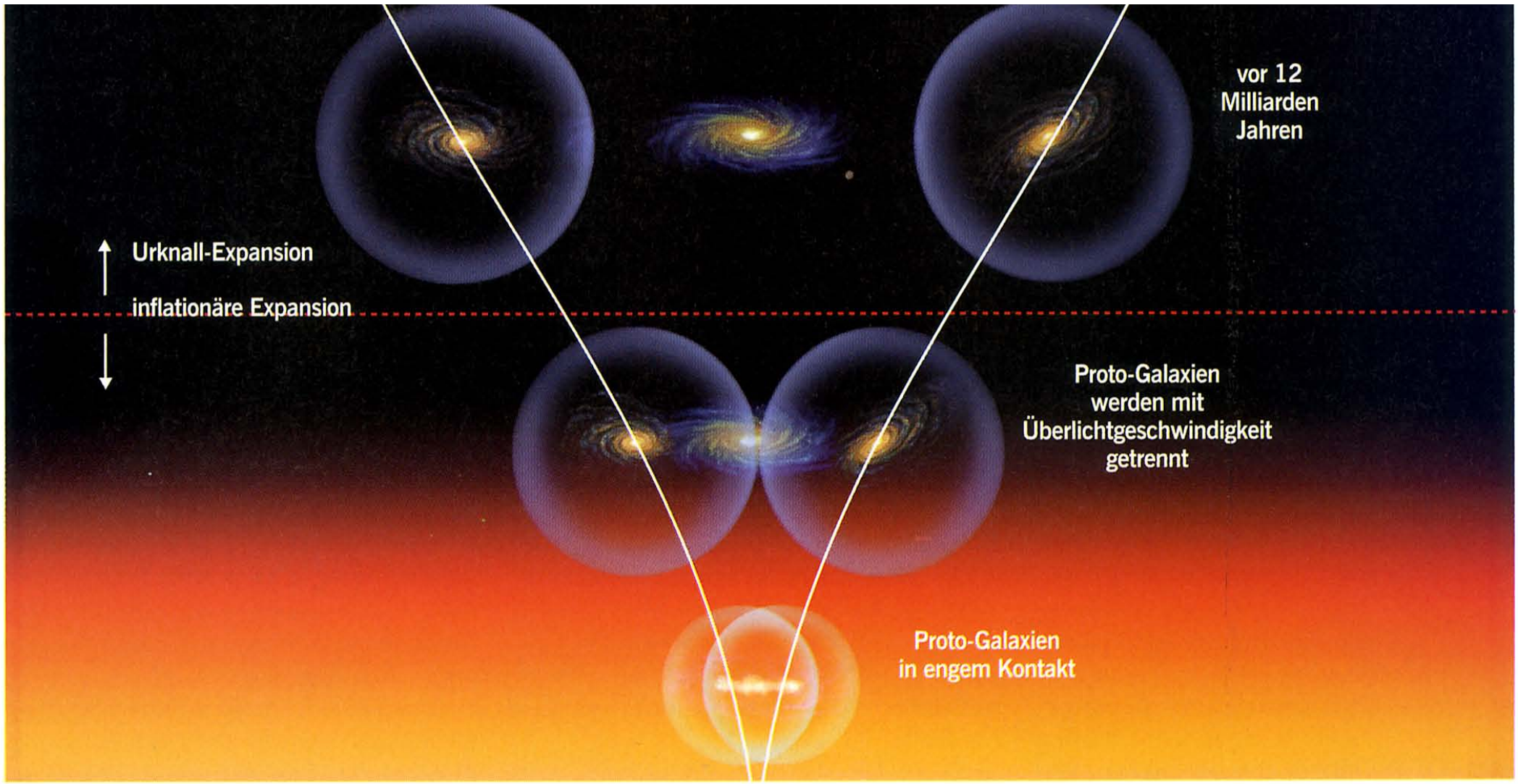
History of the Universe




Helium Atom
Helium Nucleus
The Desert
RADIATION DOMINATED ERA
Nucleosynthesis of Helium
10^{2} sec.
Disappearance of Positrons
LEPTON EPOCH
Confinement of Quarks
Formation of Protons, Neutrons
Disappearance of Antiquarks
10^{-10} sec.
ELECTROWEAK EPOCH
QUARK EPOCH
Asymmetry Q - $\bar{Q}$, L - $\bar{L}$
Magnetic Monopoles?
10^{-34} sec.
Cosmic Inflation?
GRAND UNIFICATION EPOCH
10^{-43} sec.
QUANTUM GRAVITY EPOCH
Big Bang
microcosm CERN

Das Horizontproblem: wieso sind kausal getrennte Bereiche so ähnlich?

↳ KOSMISCHE INFLATION



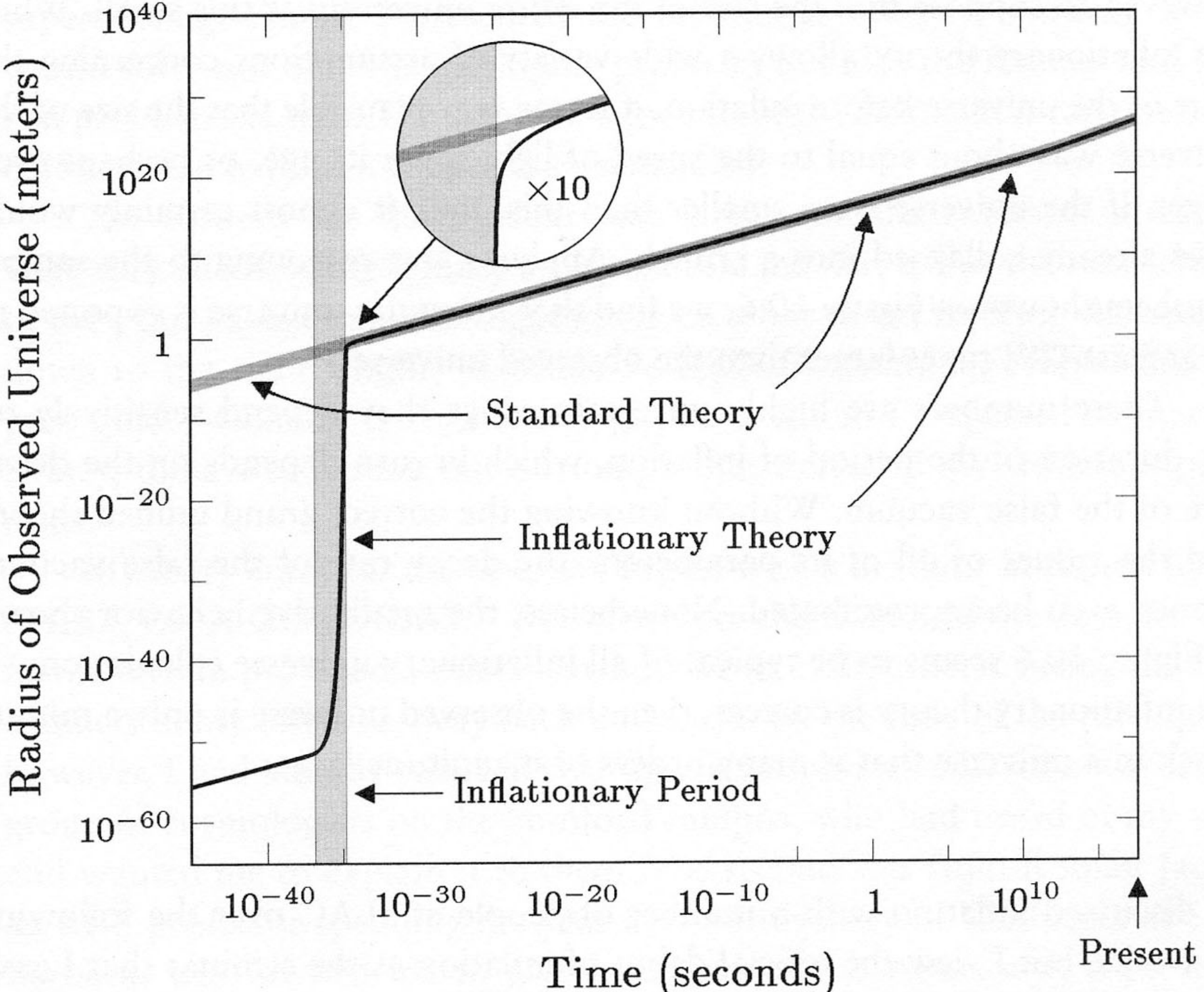

Radius of Observed Universe (meters)
10^{40}
10^{20}
1
10^{-20}
10^{-40}
10^{-60}
×10
Standard Theory
Inflationary Theory
Inflationary Period
10^{-40}
10^{-30}
10^{-20}
10^{-10}
1
10^{10}
Present
Time (seconds)

Figure 10.6 **Solution to the horizon problem: the size of the observed universe in the standard and inflationary theories.** The vertical axis shows the radius of the region that evolves to become the presently observed universe, and the horizontal axis shows the time. In the inflationary theory, the universe is filled with a false vacuum during the inflationary period, marked on the graph as a vertical gray band. The gray line describing the standard hot big bang theory is drawn slightly thicker than the black line for the inflationary theory, so that one can see clearly that the two lines coincide once inflation has ended. Before inflation, however, the size of the universe in the inflationary theory is far smaller than in the standard theory, allowing the observed universe to come to a uniform temperature in the time available. The inset, magnified by a factor of 10, shows that the rapid expansion of inflation slows quickly but smoothly once the false vacuum has decayed. (The numerical values shown for the inflationary theory are not reliable, but are intended only to illustrate how inflation can work. The precise numbers are highly uncertain, since they depend on the unknown details of grand unified theories.)

Beispiele für rot-verschobene Spektren
⇒ Fluchtgeschwindigk.

Notation:

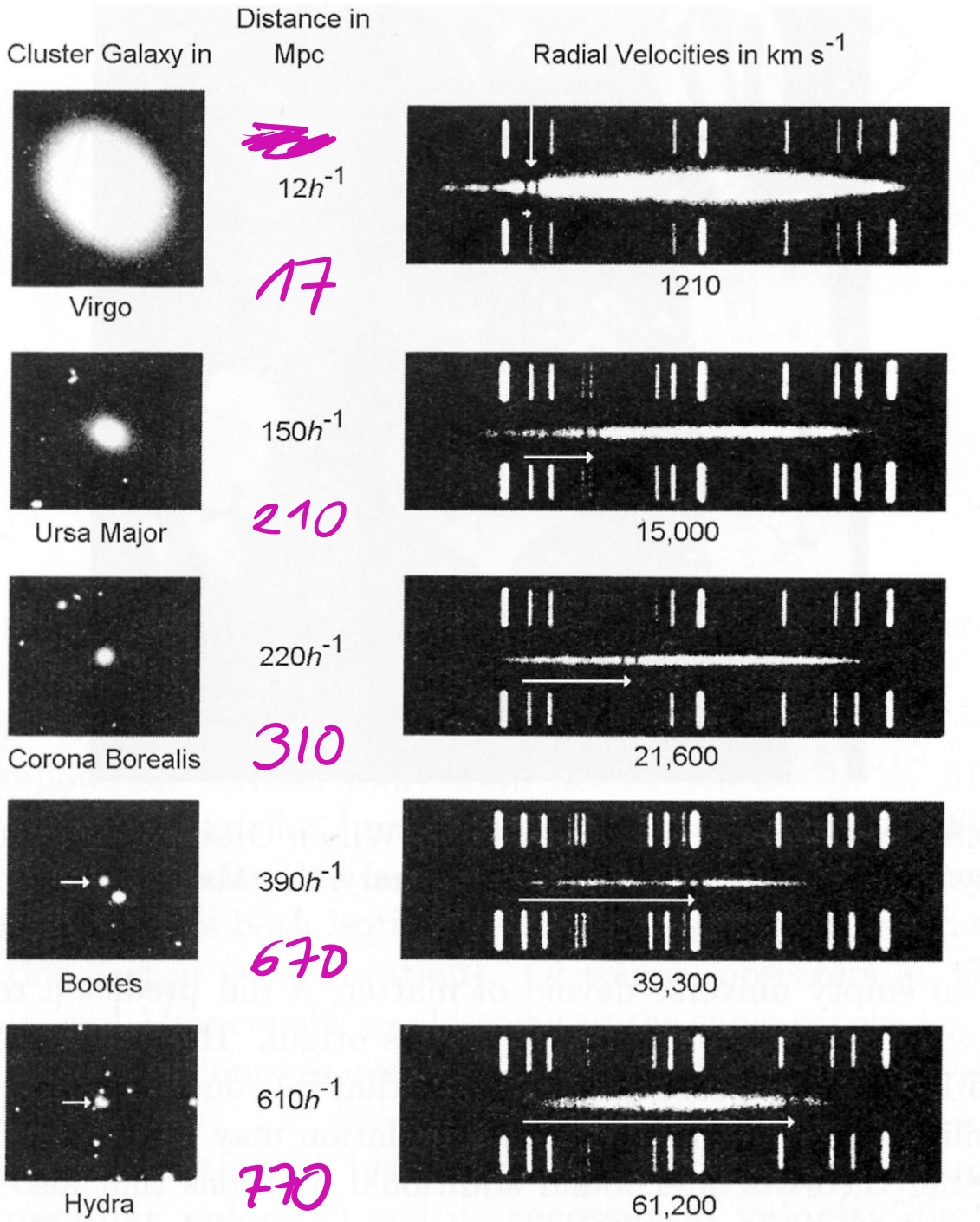
$H_0 = 100\,h$

$[\mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}]$

$0.4 \lesssim h \lesssim 1$

meist akzeptierter Wert $h = 0.7$ →

$h^2 = 0.5$



Caroll and Ostlie, Modern Astrophysics, Addison Wesley 1996

Figure 25.7 The appearance and redshifts of the H and K lines of calcium for five galaxies. (Courtesy of Palomar/Caltech.)

spez. Literaturhinweise

Einstieg:

G. Börner, Physik in unserer Zeit 4/2005
C. Hogan, Spektrum der Wissenschaft, Dezember 2002
W. Freedman, Spektrum der WIssenschaft, Juni 2003
A. Guth, The inflationary universe, ADDISON WESLEY 1997

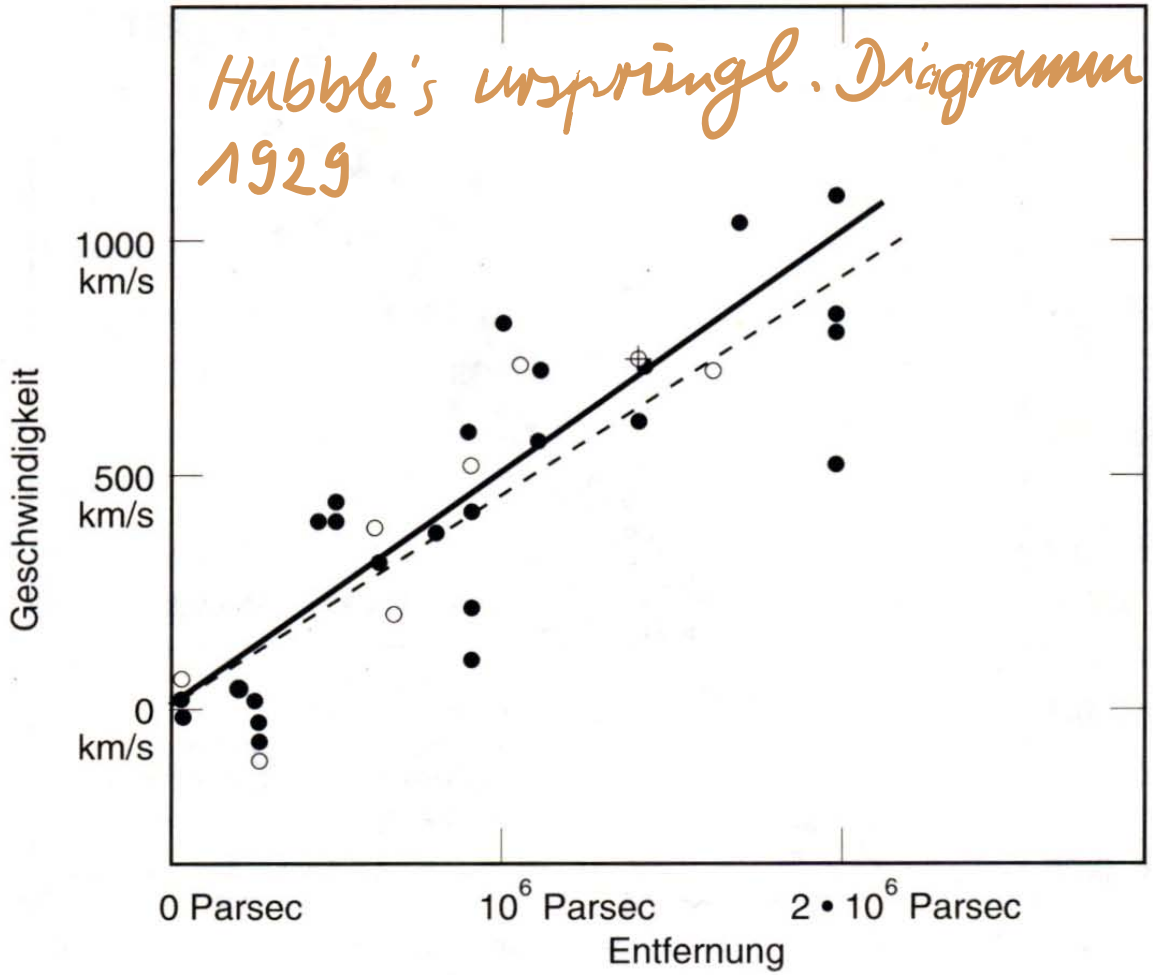
Details:

Hubert Goenner, Einführung in die Kosmologie, SPEKTRUM 1994
Lars Bergström and Ariel Goobar, Cosmology and Particle Astrophysics, WILEY 1999

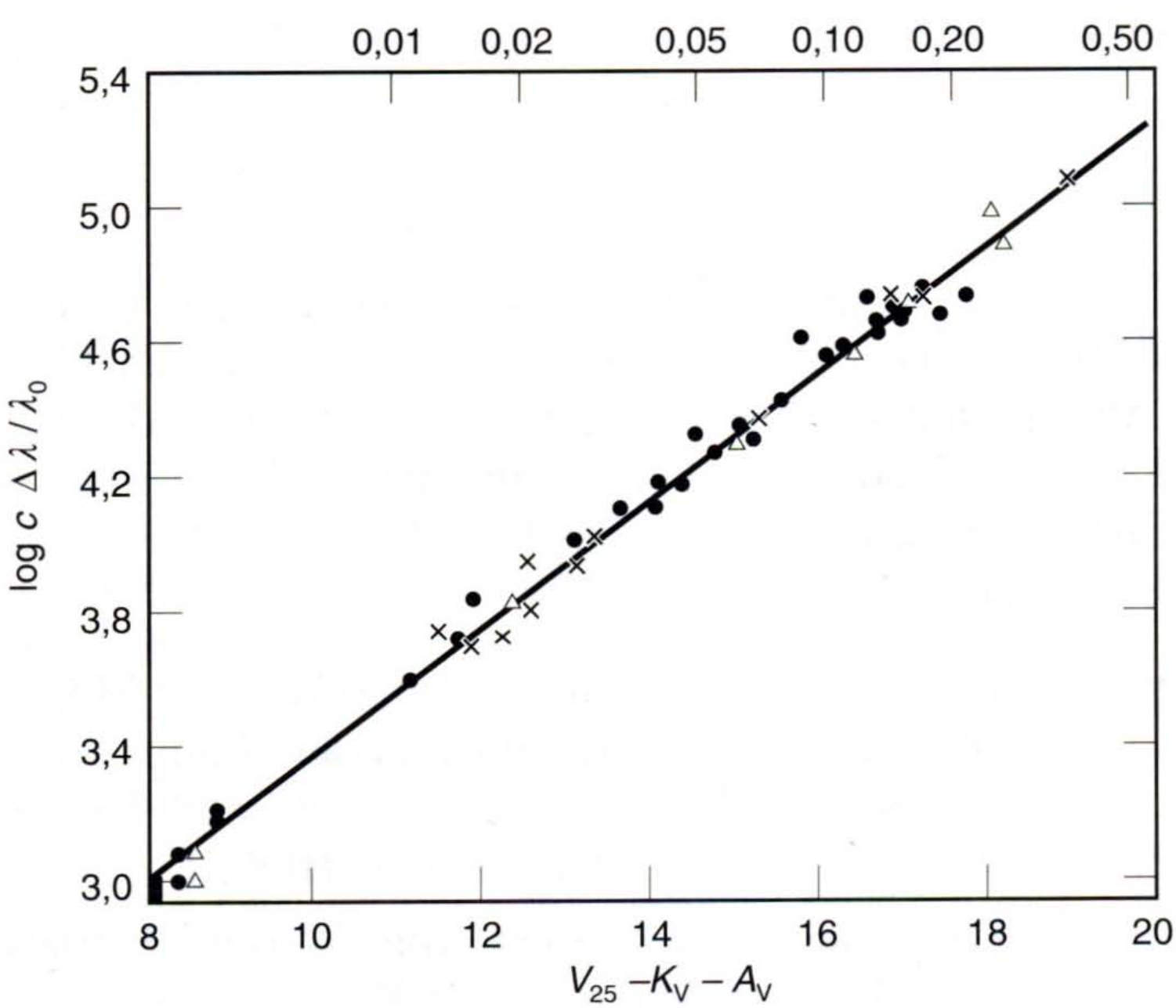
Missverständnisse zur Expansion

Spektroskopie
~ok

Hubble's ursprüngl. Diagramm
1929

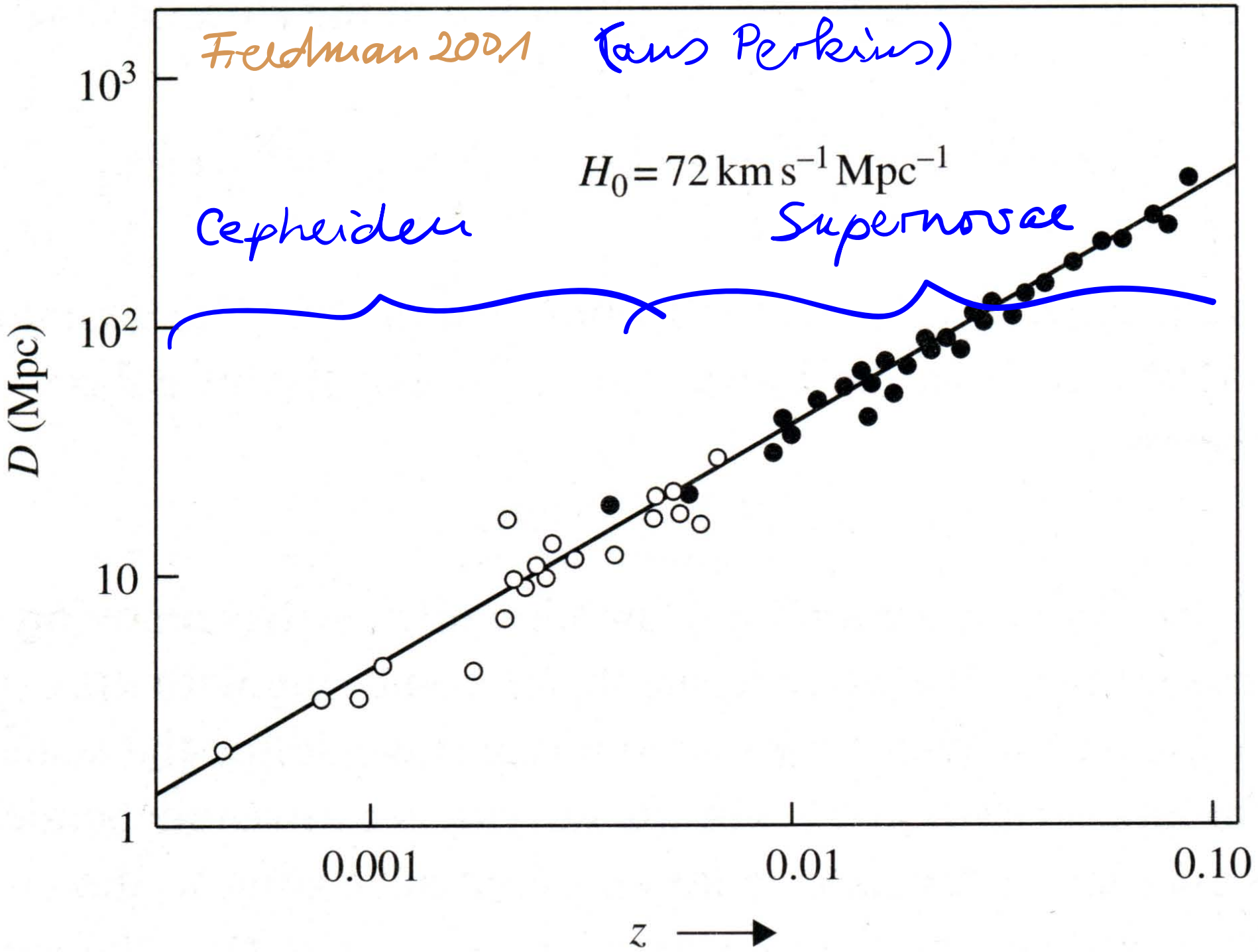


WOHER?



[Goenner]

Abb. 1.2. Hubble–Diagramm nach Sandage (Observatory **88**, 91 (1968)) Das schwarze Viereck links unten bezeichnet den Bereich von Hubbles ursprünglicher Messung (×: Radiogalaxien).


Freedman 2001 (Tom Perkins)
$H_0 = 72\,\mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}$
Cepheiden
Supernovae
10^3
10^2
10
1
D (Mpc)
0.001
0.01
0.10
z

Entfernungsindikatoren

Parallaxe: Winkelmessungen in 1/2-Jahr Abstand

Cepheiden: Pulsationsdauer ↔ abs. Helligkeit

$H \leftrightarrow H^+$, $He^+ \leftrightarrow He^{++}$ Prozesse können temperatur- u. dichteabhängig Energie speichern

Hellste Vertreter von Populationen haben überall die gleiche abs. Helligkeit (S-Riesen, Kugelhaufen ...)

Tully-Fisher: abs. Helligkeit ↔ max. Rotationsgeschwindigkeit (Spiralgalaxien)

SN Ia: Haben (nach Korrekturen) stets die gleiche abs. Helligkeit [später!]

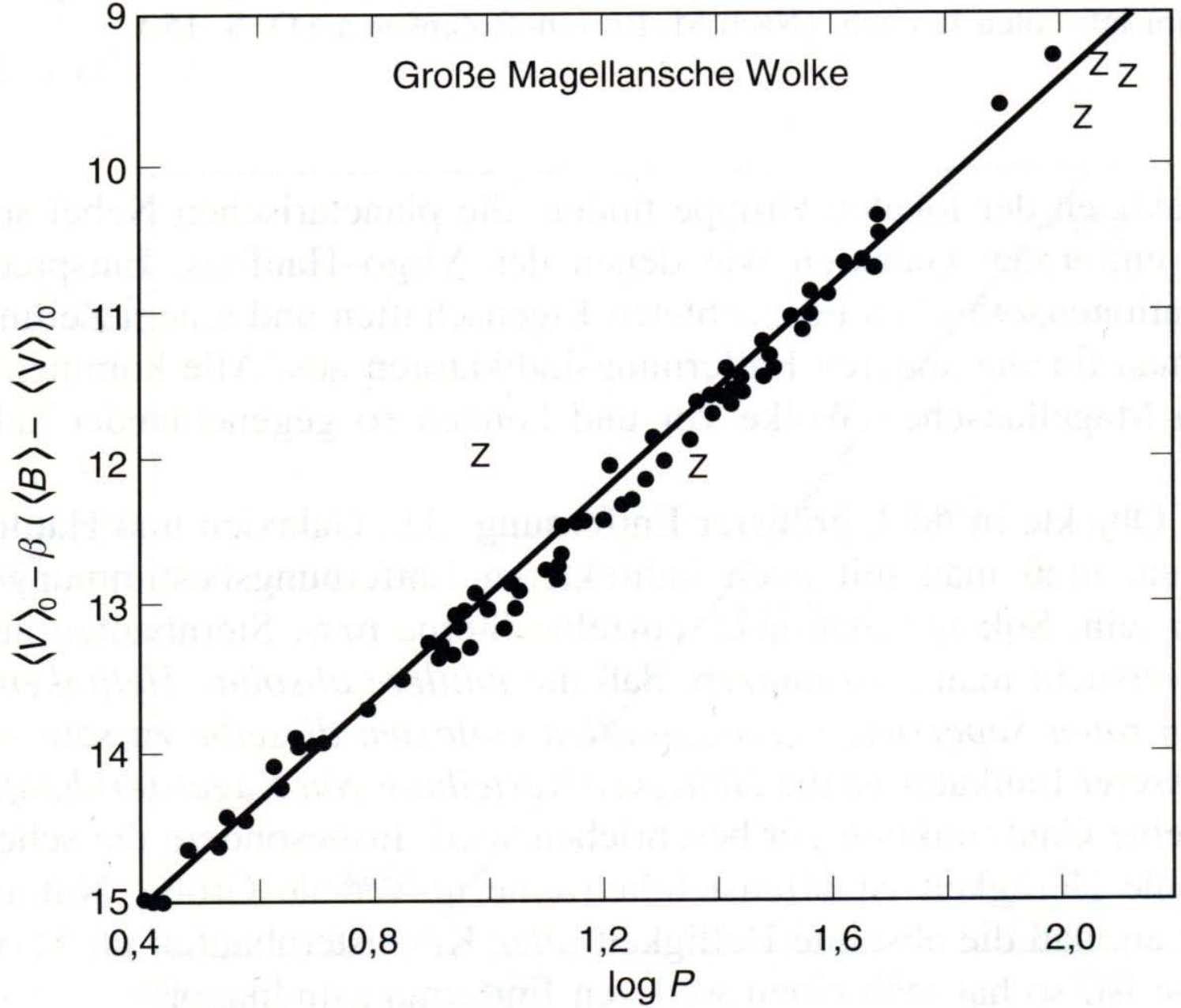


Abb. 1.5. Perioden–Helligkeitsbeziehung im optischen Bereich für Cepheiden in der großen Magellanschen Wolke. (Nach M. Rowan–Robinson, Space Sci. Rev. **48** (1988), S. 14); *P:* Periode

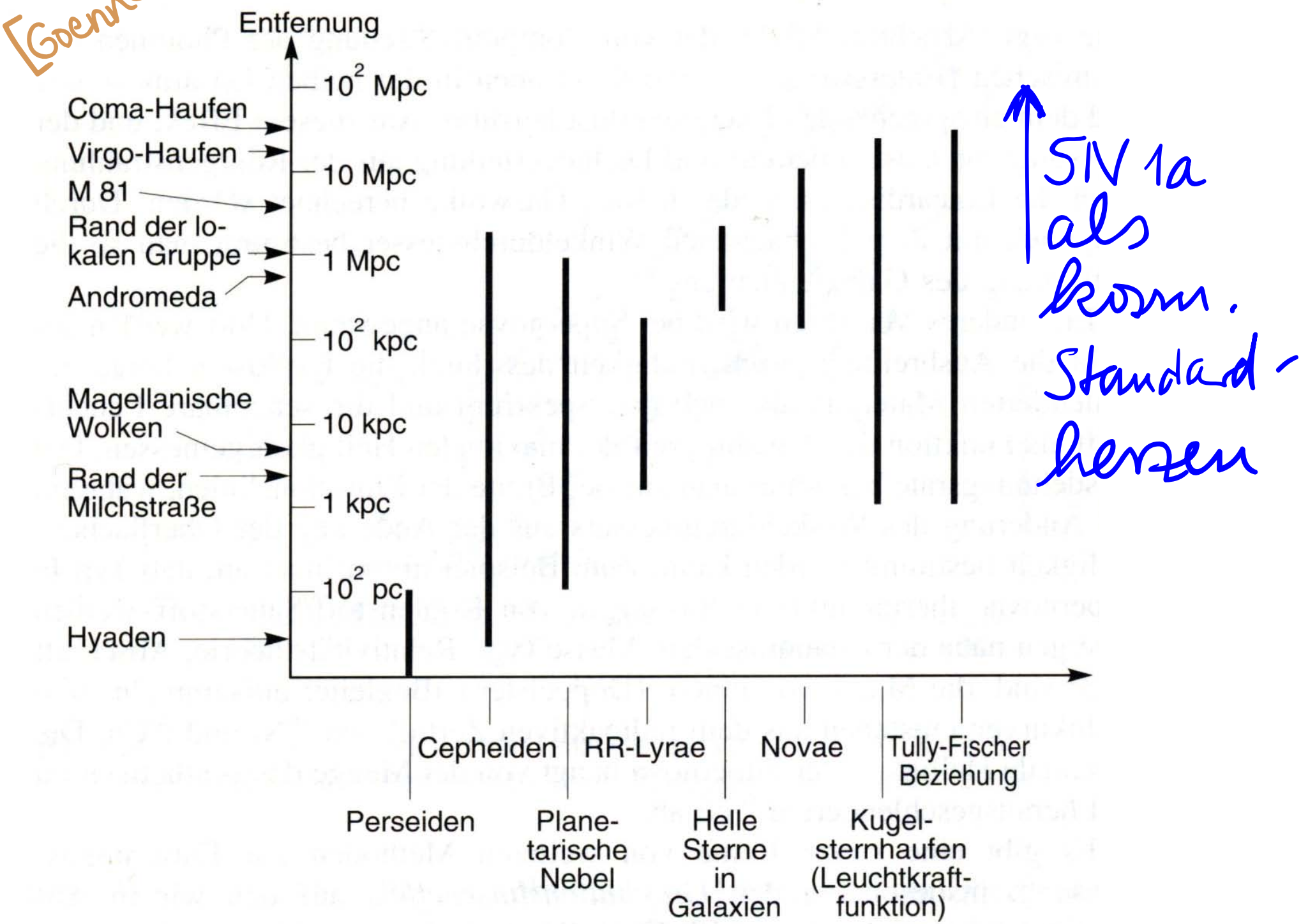


Abb. 1.9. Die Skala der Entfernungsbestimmungen.

Materieverteilung

visuell: sehr inhomogen, aber auf kurze Distanzen begrenzt

↓

tiefe Durchmusterungen u. statist. Verfahren, Korrekturen

Table 2.1 Approximate sizes and masses in the universe (1 parsec = 1 pc = 3.09×10^{16} m = 3.26 lightyears)

[Perkins]

	Radius	Mass
Sun	7×10^8 m	2×10^{30} kg $= M_\odot$
Galaxy	15 kpc	$10^{11}\ M_\odot$
Cluster	5 Mpc	$10^{14}\ M_\odot$
Supercluster	50 Mpc	$10^{15}\ M_\odot$
Universe	4500 Mpc	$10^{23}\ M_\odot$

Die Homogenität wird mit zunehmender Längenskala besser

Cluster & Voids

⇒ Verbindung zum KMH, sogar zu m_ν !

Dunkle Materie ?

laufendes Projekt: Sloan Digital Sky Survey
www.sdss.org

Tabelle 1.1. Inhomogenitätsskalen

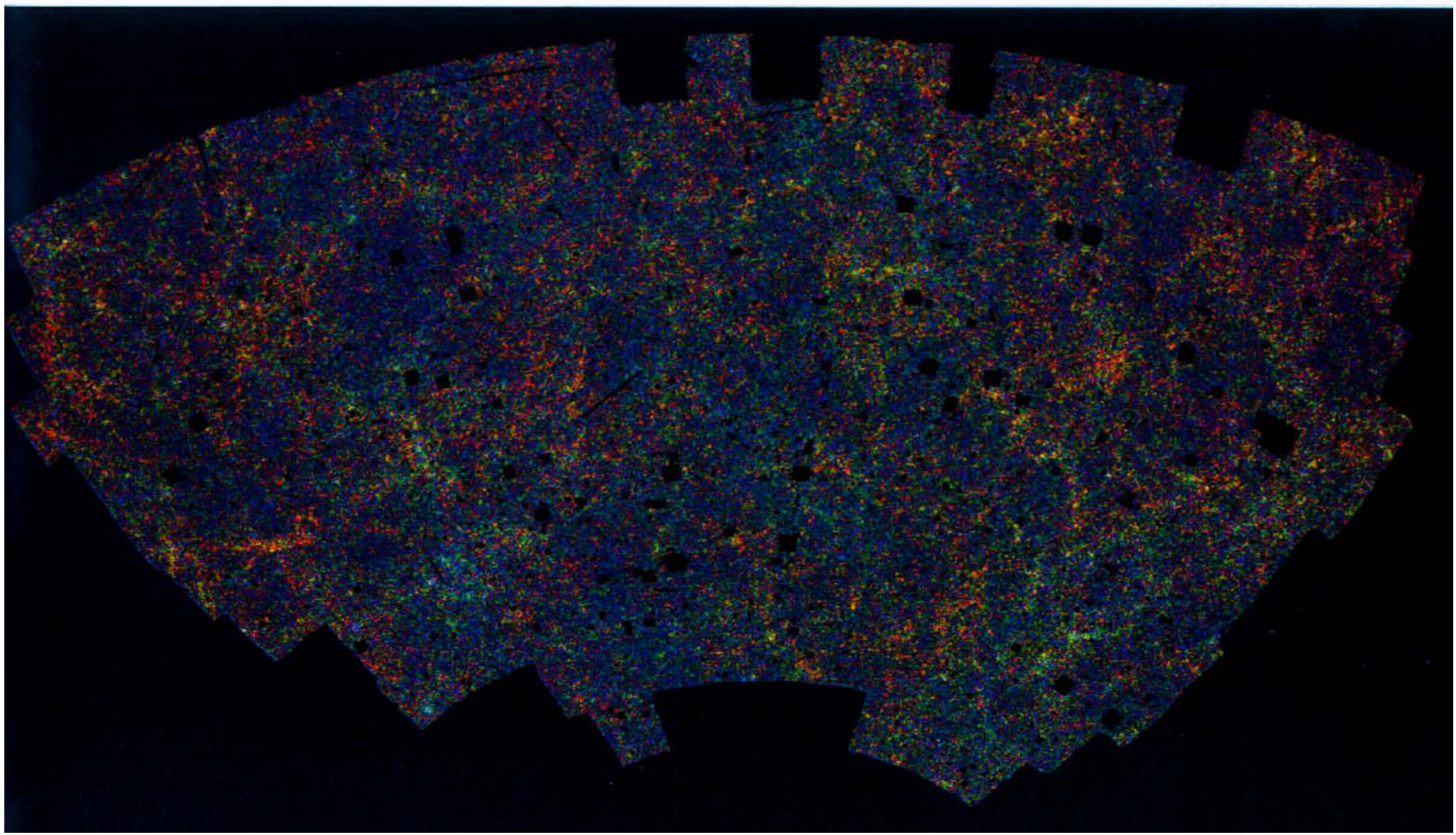
Objekt	Lineardimension	Dichte	Mittlere Entfernung der Teilsysteme	Anzahl der Teilsysteme	Masse des Objektes
Kugel-sternhaufen	10–100 pc	10^2–10^3 $(\mathrm{pc})^{-3}$		10^5–10^7	10^5–10^6 $M_\odot$
offene Sternhaufen	2–20 pc	~ 10 $(\mathrm{pc})^{-3}$		10–10^3	
Galaxien	1–100 kpc	$0.02\ h^3$ $(\mathrm{Mpc})^{-3}$	3–5 pc	10^2–10^3 Kugel-sternhaufen 10^{11} Sterne	10^6–10^{13} $M_\odot$
Galaxienhaufen	2–10 Mpc	$(6 \cdot 10^{-6}$–$10^{-5}) \cdot h$ $(\mathrm{Mpc})^{-3}$	1 Mpc	10–10^4	10^{12}–10^{15} $M_\odot$
Superhaufen	(50–150) h^{-1}Mpc	10^{-6} $(\mathrm{Mpc})^{-3}$	$25h^{-1}$Mpc	5–50	$\sim 10^{16}$ $M_\odot$
Voids[5]	(25–100) h^{-1}Mpc	20% der mittleren Dichte	$50h^{-1}$Mpc		
Zelluläre Strukturen [6,7,8,9]	$\sim$ (100–200) h^{-1}Mpc		100 h^{-1}Mpc		

[5][Kau91]; [6][Huc90]; [7][Bro90]; [8][dL86]; [9][Row90]

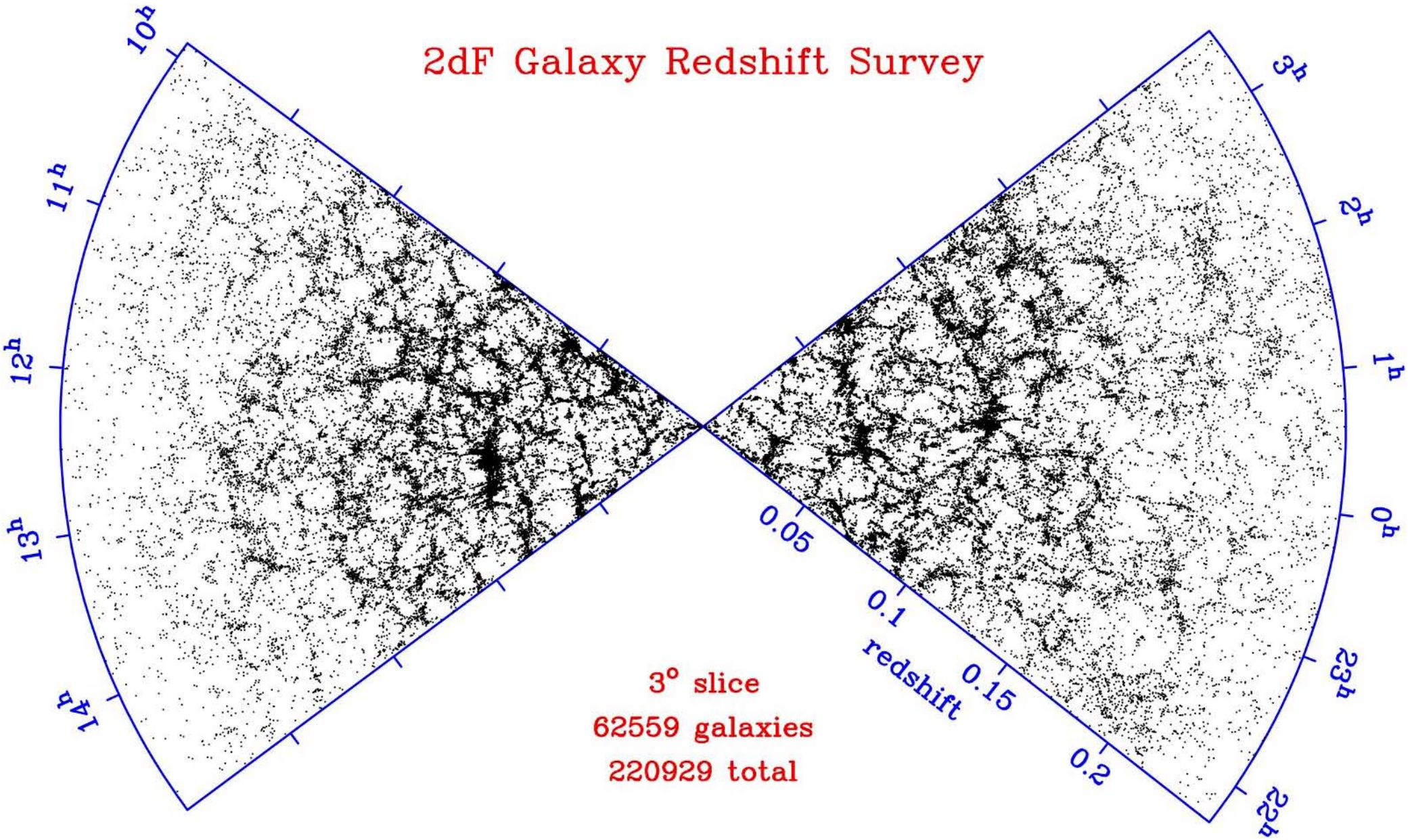
[Goenner]

Sp. d. Wissenschaft Dossier
Kosmologie 2/2000

Diese Karte gibt 15 Prozent des Himmels um das Sternbild *Sculptor* (Bildhauer) in der Nähe des astronomischen Südpols wieder; sie verzeichnet drei Millionen Galaxien. Deren Verteilung ist nur in grober Näherung gleichmäßig; bei genauerem Hinsehen zeigen sich zahlreiche Häufungen und langgestreckte Filamente. Die Karte, auf der die Helligkeit jedes Punkts der Galaxiendichte entspricht, faßt die Ergebnisse des Automated Plate Measuring Galaxy Survey zusammen, der auf Schwarzweiß-Aufnahmen des Schmidt-Teleskops in Australien beruht. Die Falschfarbendarstellung zeigt die Helligkeit der Galaxien von schwach (rot) über mittel (grün) zu stark (blau). Die schwarzen Flächen sind Gebiete, in denen helle Sterne die Galaxien überstrahlen.



2003-Resultate von 2dF: http://mcp1.anu.edu.au/~TDFgg/



Kosmischer Mikrowellenhintergrund

Cosmic Microwave Background, CMB

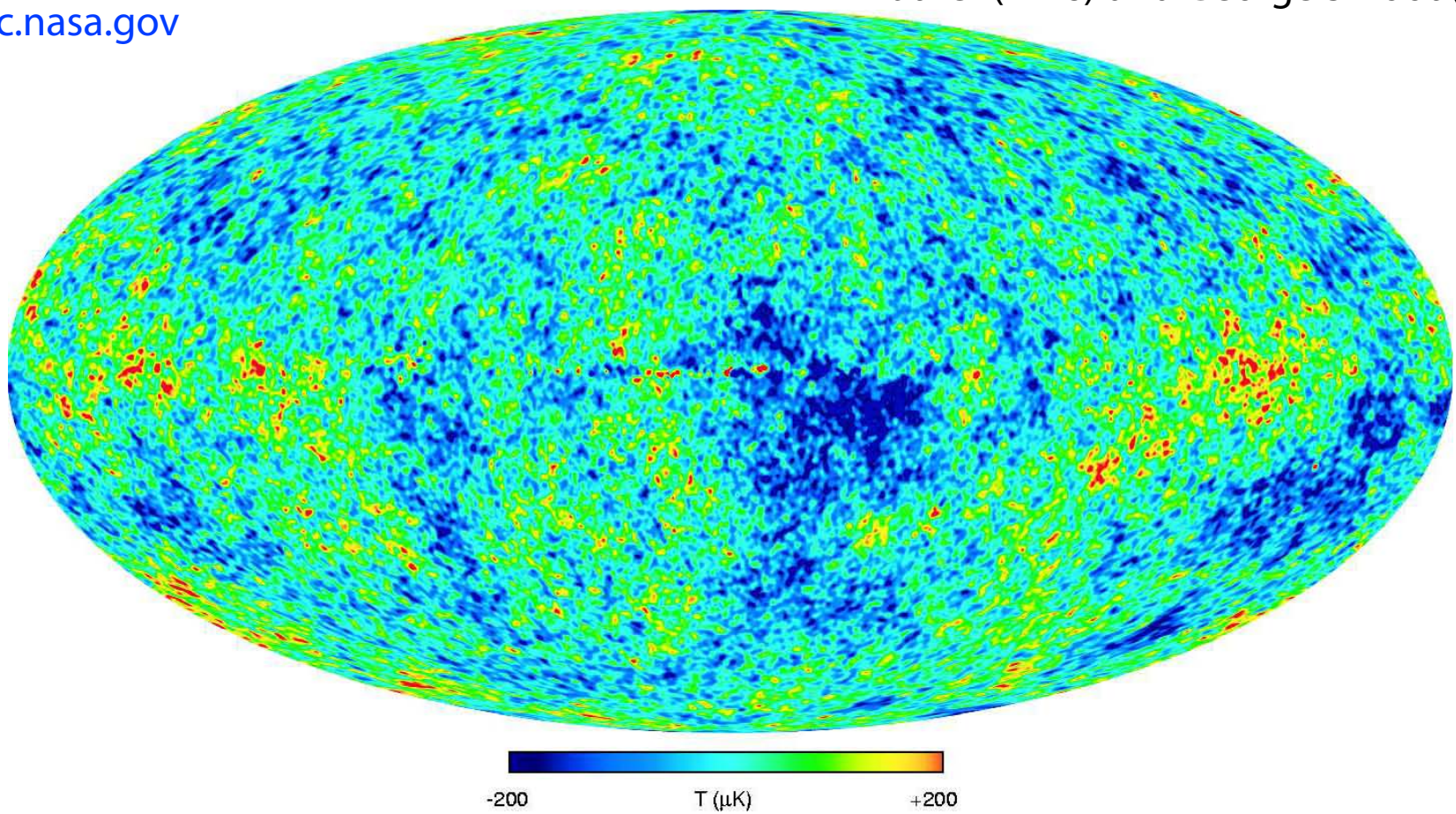
Penzias & Wilson 1963

sofort danach:
Urknalltheorie ++
GZK-Effekt f. kosm. Str.
uvam

Deutung: Photonen koppeln bei $t = 300000$ Jahren ab, Universum wird durchsichtig [$T = 3000$ K, $E = 0{,}3$ eV]
Danach Expansion & Abkühlung auf heute 2.7 K

↳ damalige Dichtefluktuationen ⇒ Strukturbildung!
↳ kleine Inhomogenitäten in Photonentemperatur
↳ sollten heute noch messbar sein! COBE, WMAP erfolgreich!

http://www.pro-physik.de/Phy/leadArticle.do?mid=2&laid=8392

Nobel-Stiftung:
http://nobelprize.org
Homepage von John C. Mather:
http://astrophysics.gsfc.nasa.gov/staff/CVs/John.Mather/
Homepage von George Smoot:
http://aether.lbl.gov/
Das COBE-Projekt:
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/
WMAP:
http://map.gsfc.nasa.gov

Die Physik-Nobelpreisträger 2006: John C. Mather (links) und George Smoot (rechts).