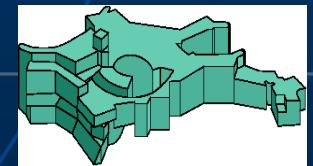


Supernovae und das beschleunigt expandierende Universum

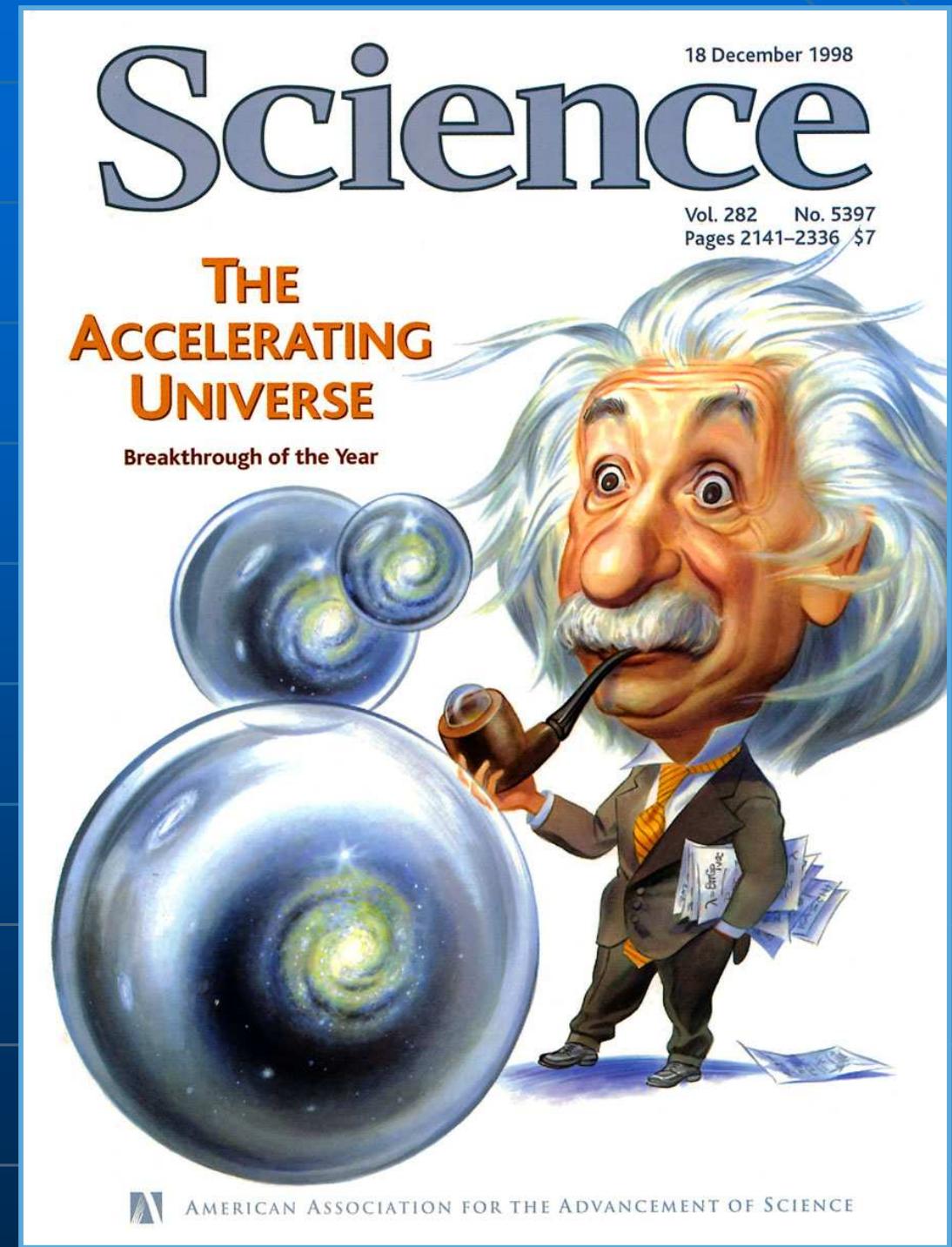
Wolfgang Hillebrandt
MPI für Astrophysik
Garching



DLR ASTROSEMINAR
Köln Por, 26. April 2005



Wie alles begann ...

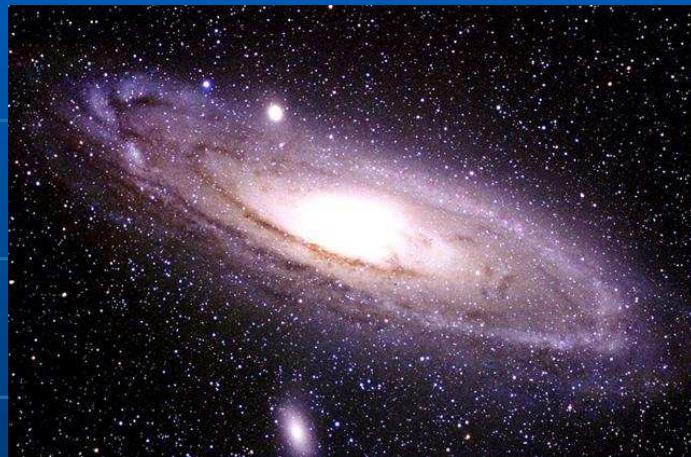
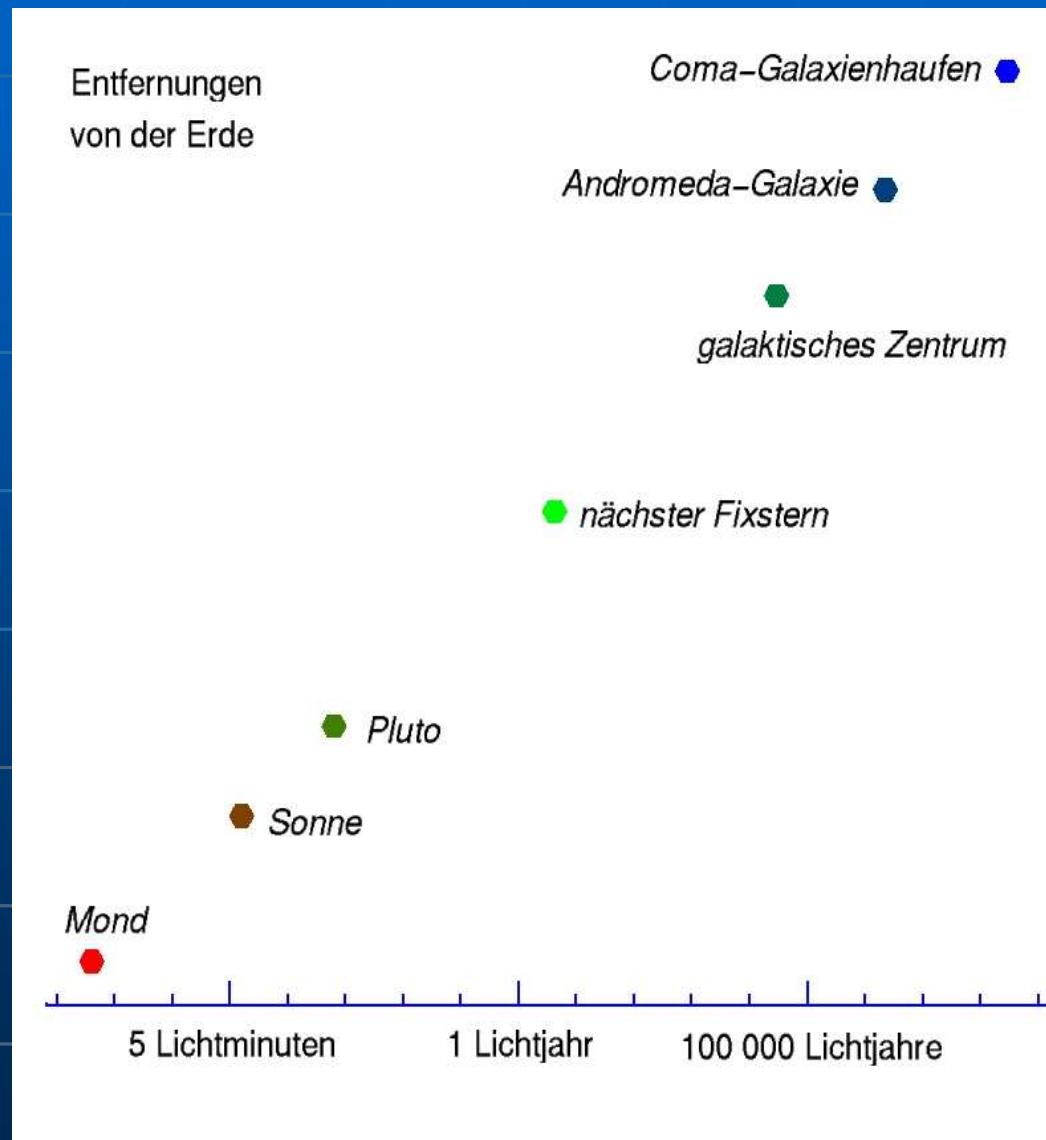


$- \Lambda g_{\mu\nu} ???$



Unsere kosmische Nachbarschaft:

1 Lichtjahr = 9,46 Billionen km!



Astronomie: Blicke in die Vergangenheit!



Galaktisches Zentrum:

Auf der Erde lebten
Neandertaler

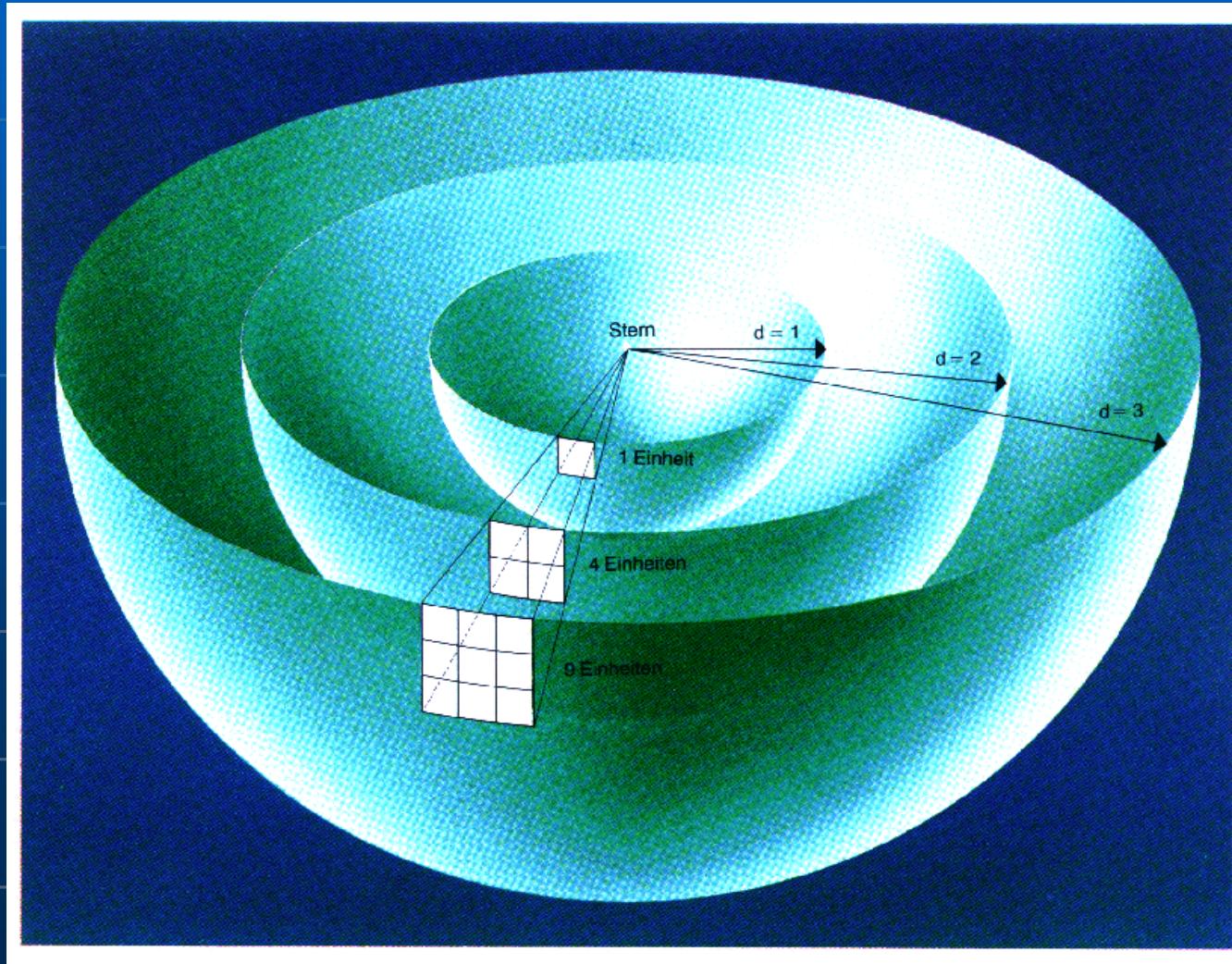
Andromeda-Galaxie:

Die Alpen entstehen

Der Coma-Haufen:

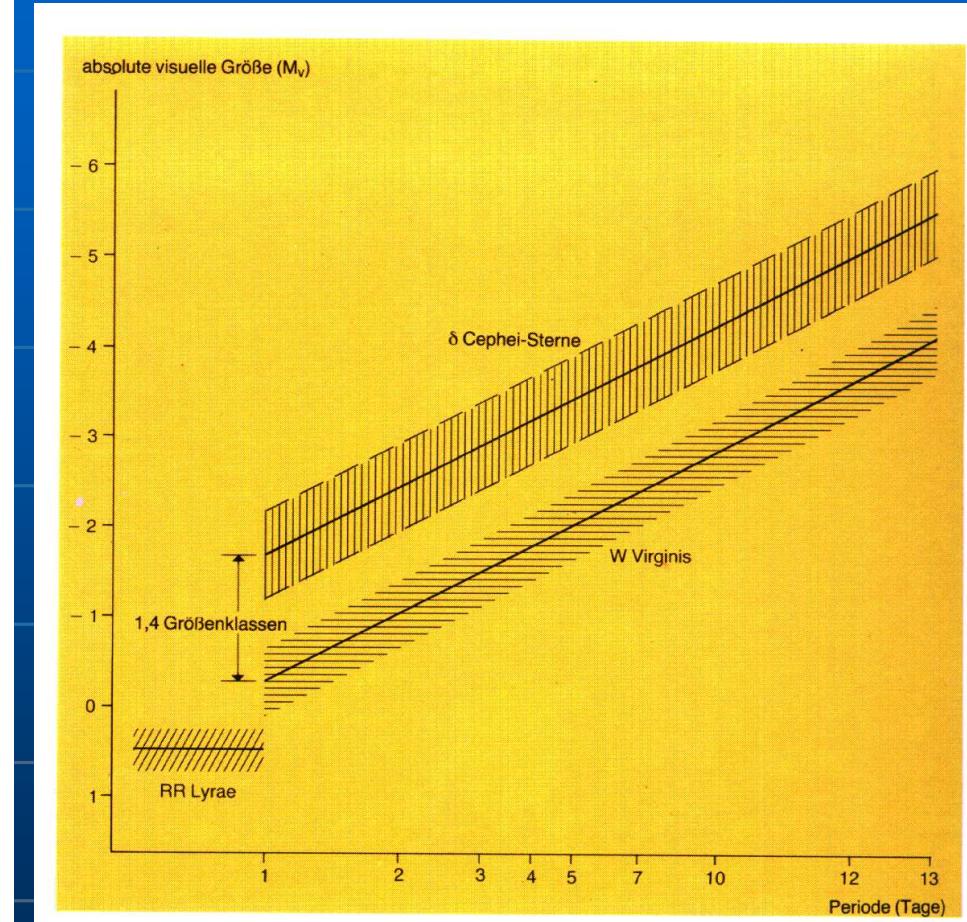
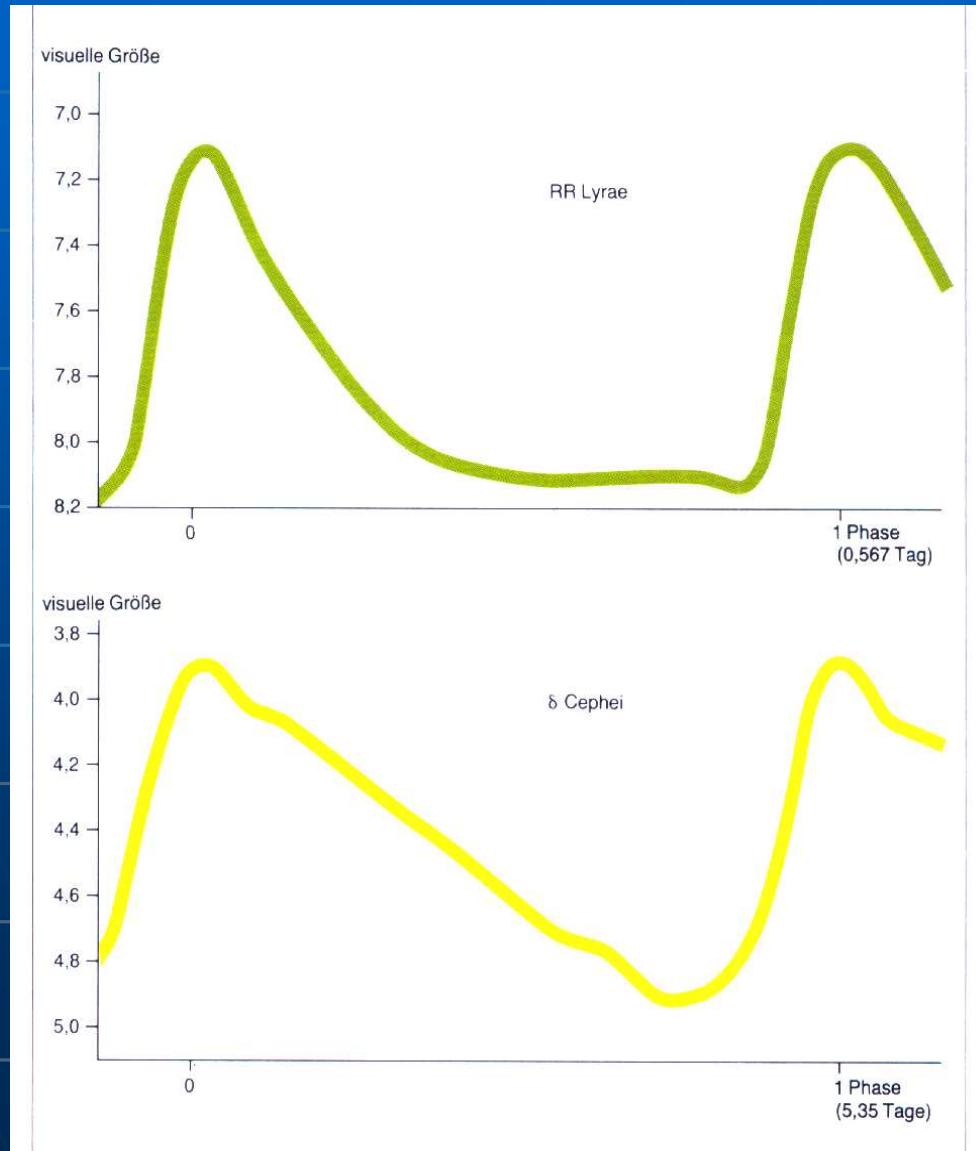
Archeopteryx flog

Kosmische Entfernungsmessungen

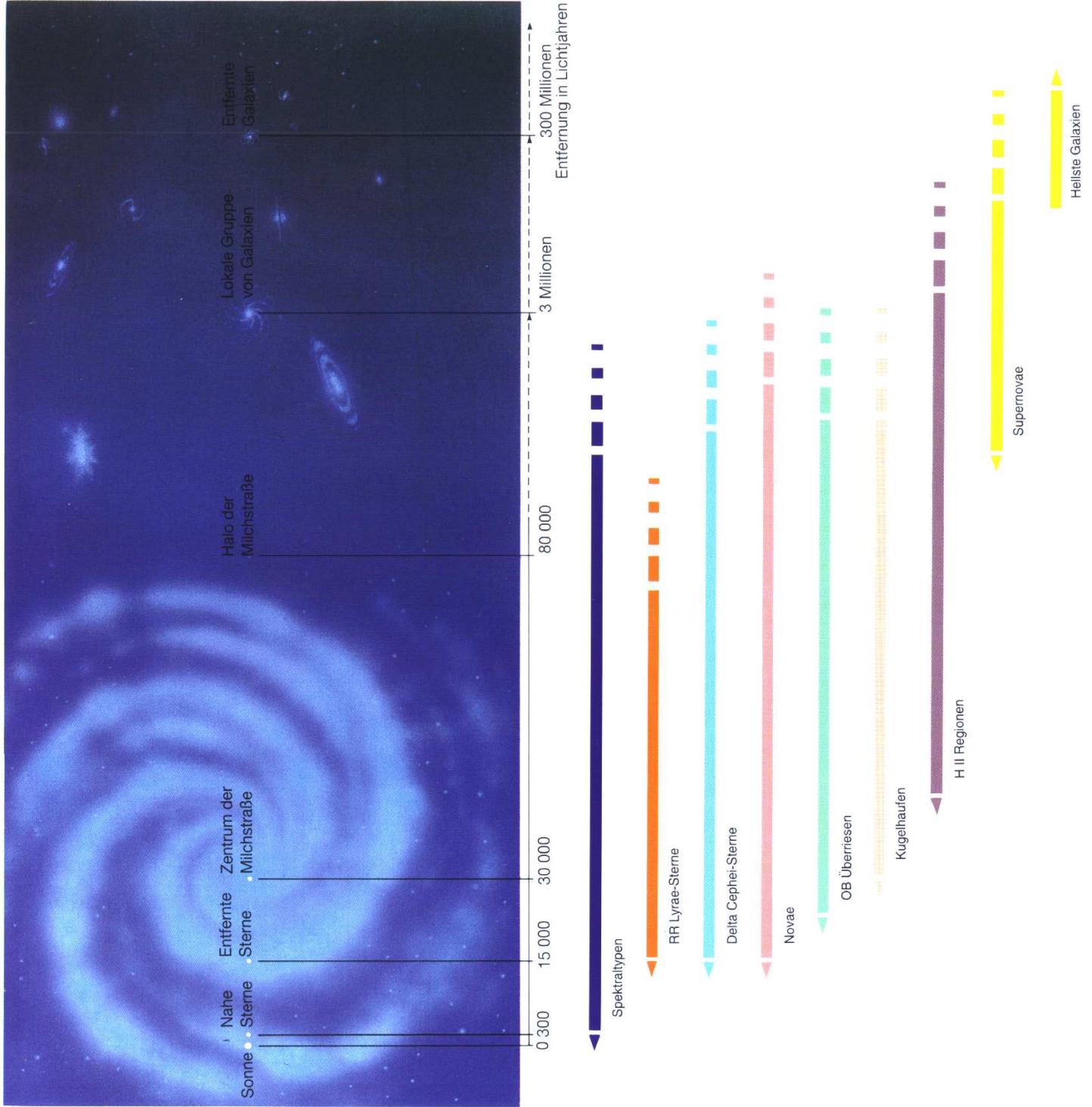


Das Prinzip
der Standard-
Kerzen

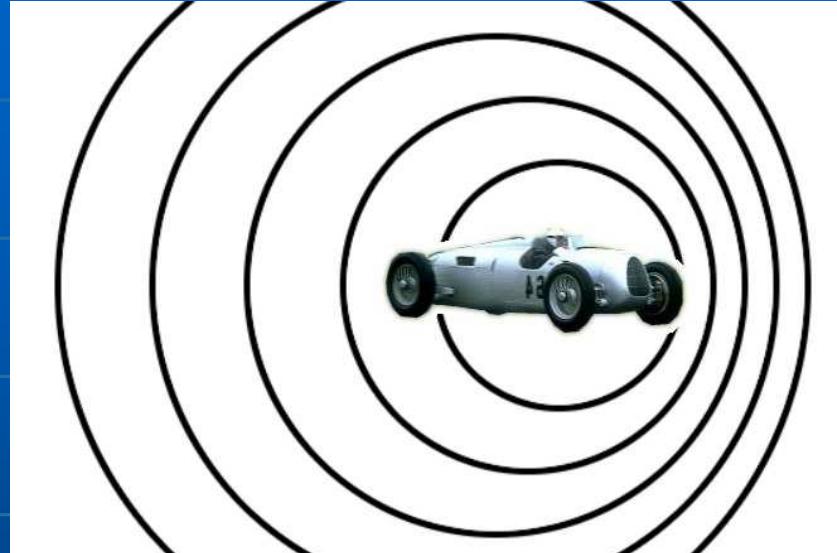
Kosmische Entfernungsmessungen



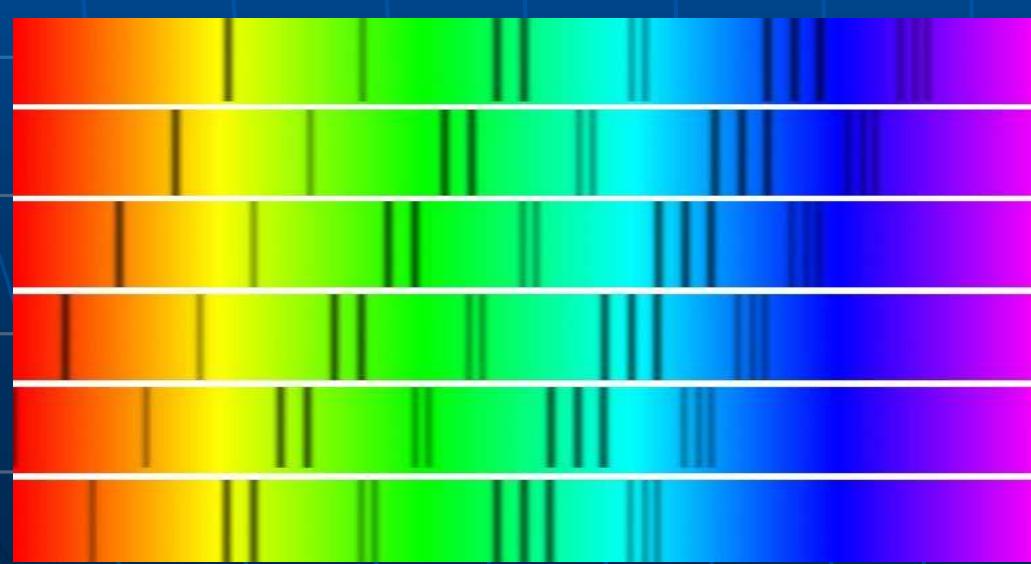
Variable Sterne: “Kalibrierbare Standard-Kerzen”?



Dopplereffekt und Galaxienflucht

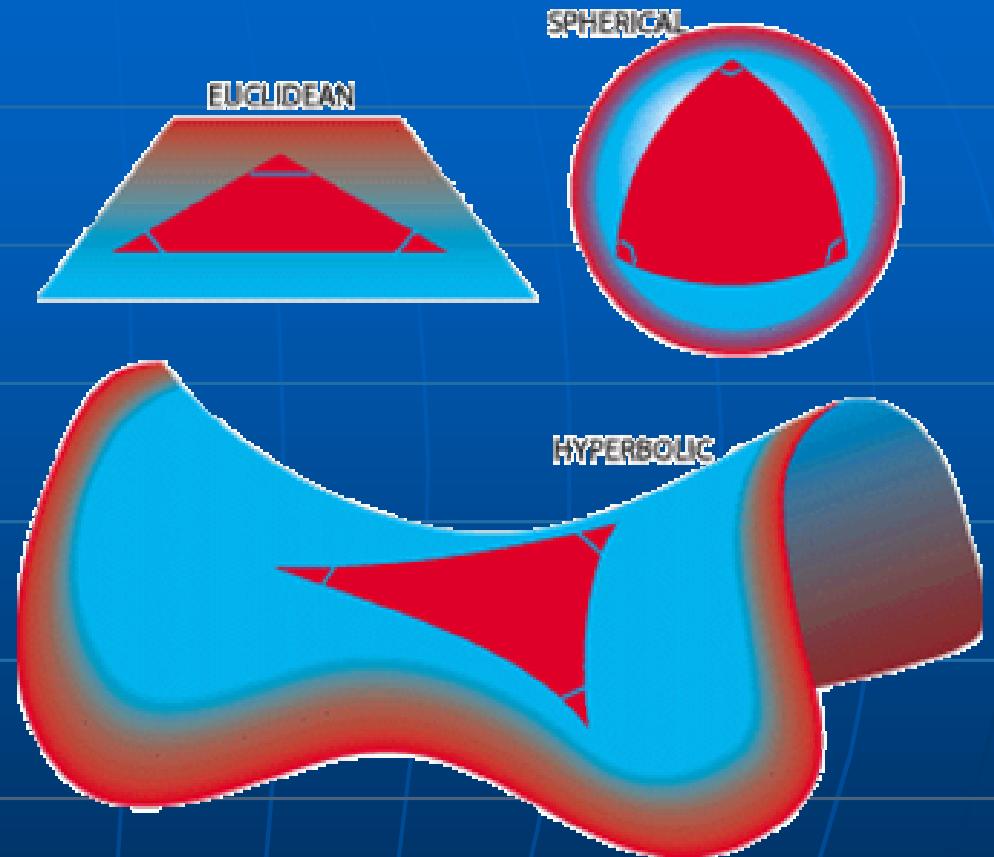
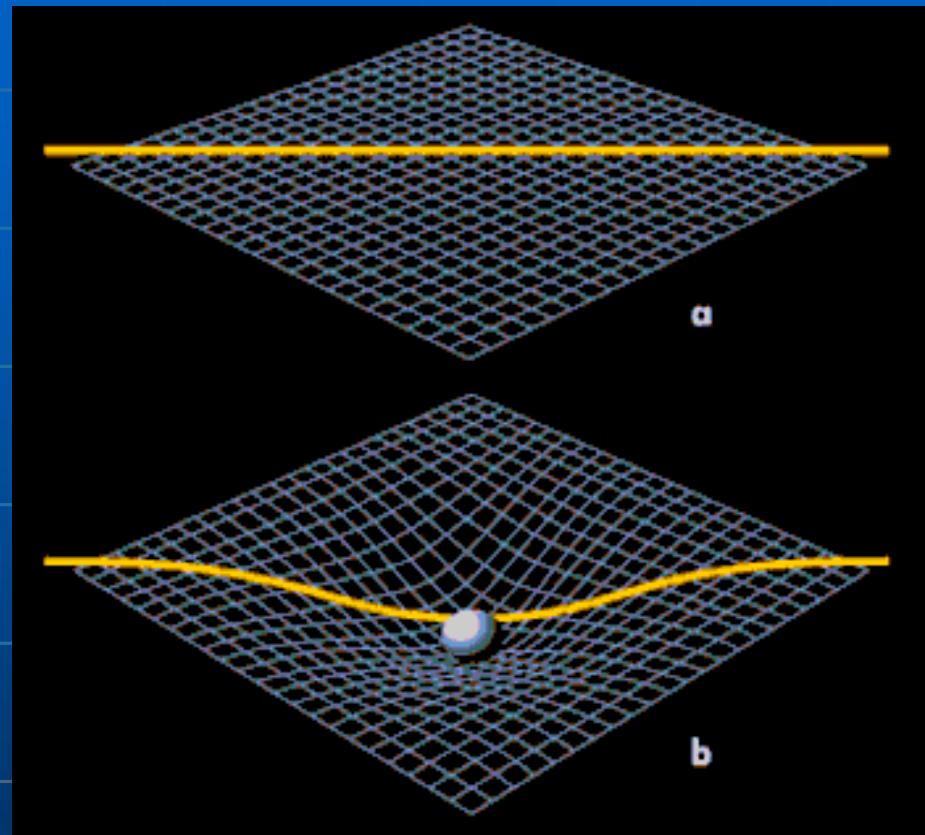


Wenn sich ein Stern oder ein Galaxie von uns wegbewegt:

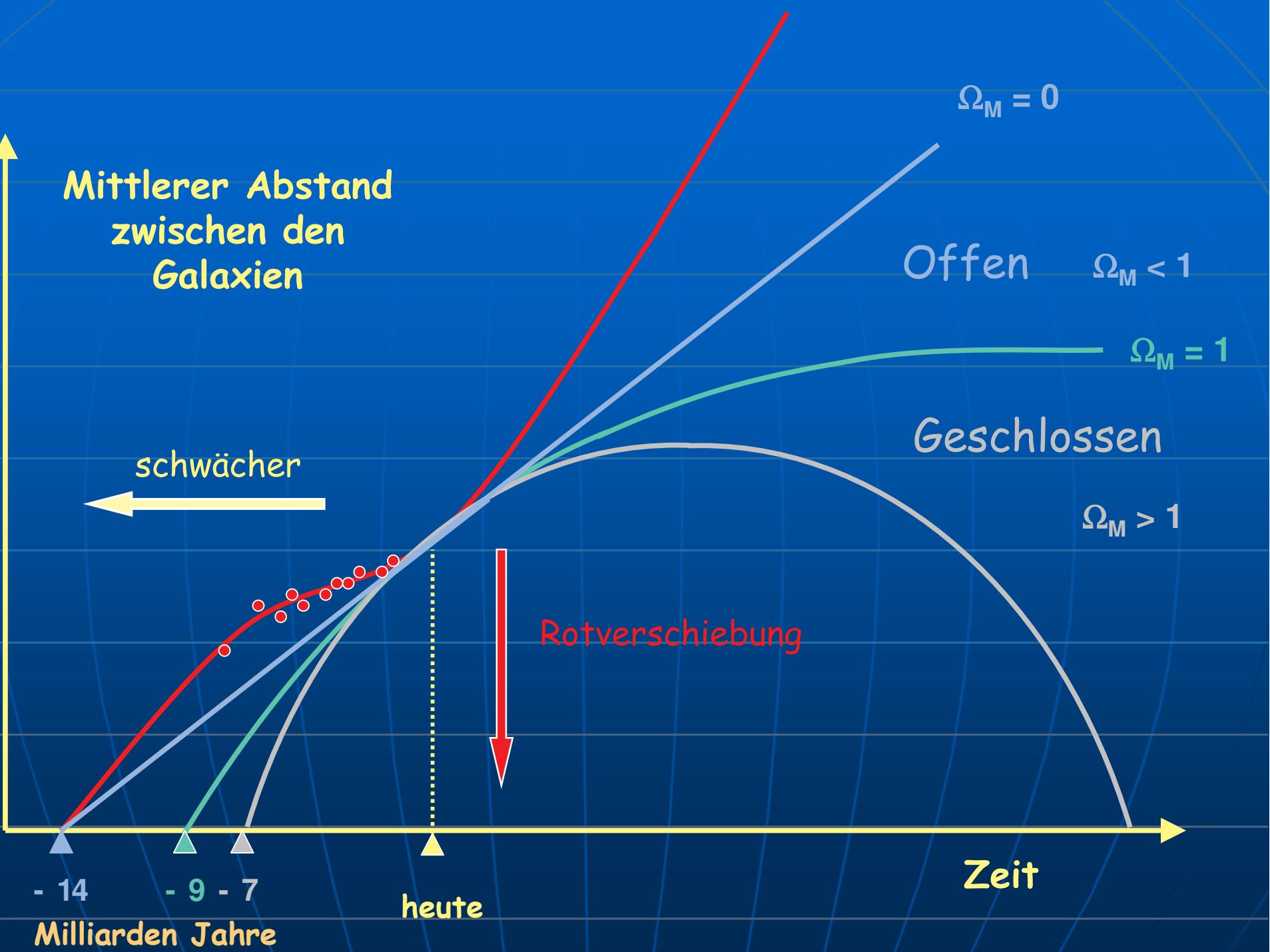


Das Licht erscheint rot-verschoben!

Die Geometrie des Universums



1. Die Gravitation *krümmt* den Raum.
2. Das Universum ist ein Raum *konstanter Krümmung*.



Supernovae als Standardkerzen?

Supernova (SN) 1604 ("Keplers Supernova")



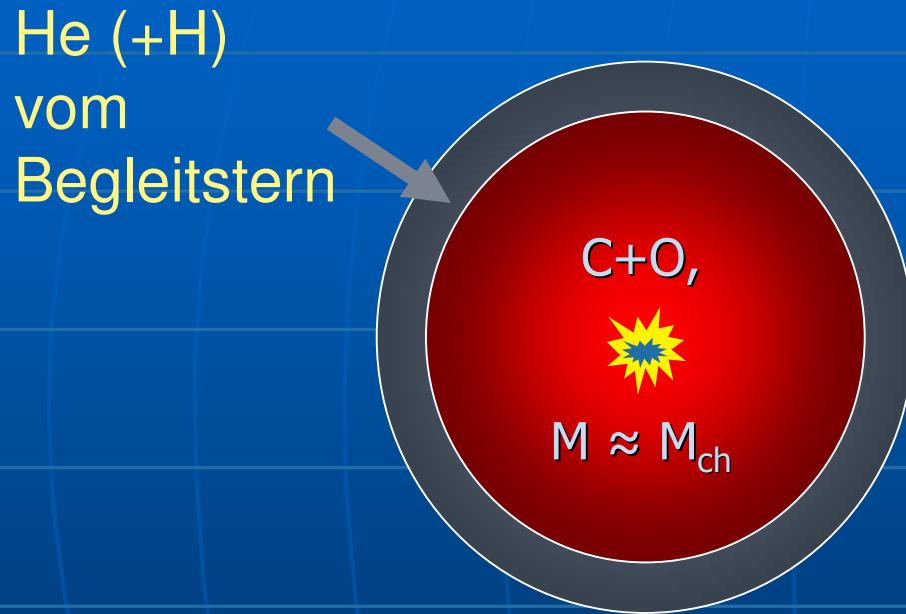
Was ist eine (Typ Ia) Supernova?



Tycho Brahes Supernova: SN 1572



Wie explodieren Typ Ia Supernovae?



Dichte $\sim 10^9 - 10^{10}$ g/cm³

Temperatur: einige 10⁹ K

Radien: einige 1000 km

Explosionsenergie:

Fusion von
 $\text{C+C}, \text{C+O}, \text{O+O}$
 $\Rightarrow \text{"Fe"}$

Laminare Brenngeschwindigkeit:

$U_L \sim 100 \text{ km/s} \ll U_S$

Zu wenig wird verbrannt!

Die Physik turbulenter Verbrennung...

Ø Tägliche Erfahrung:

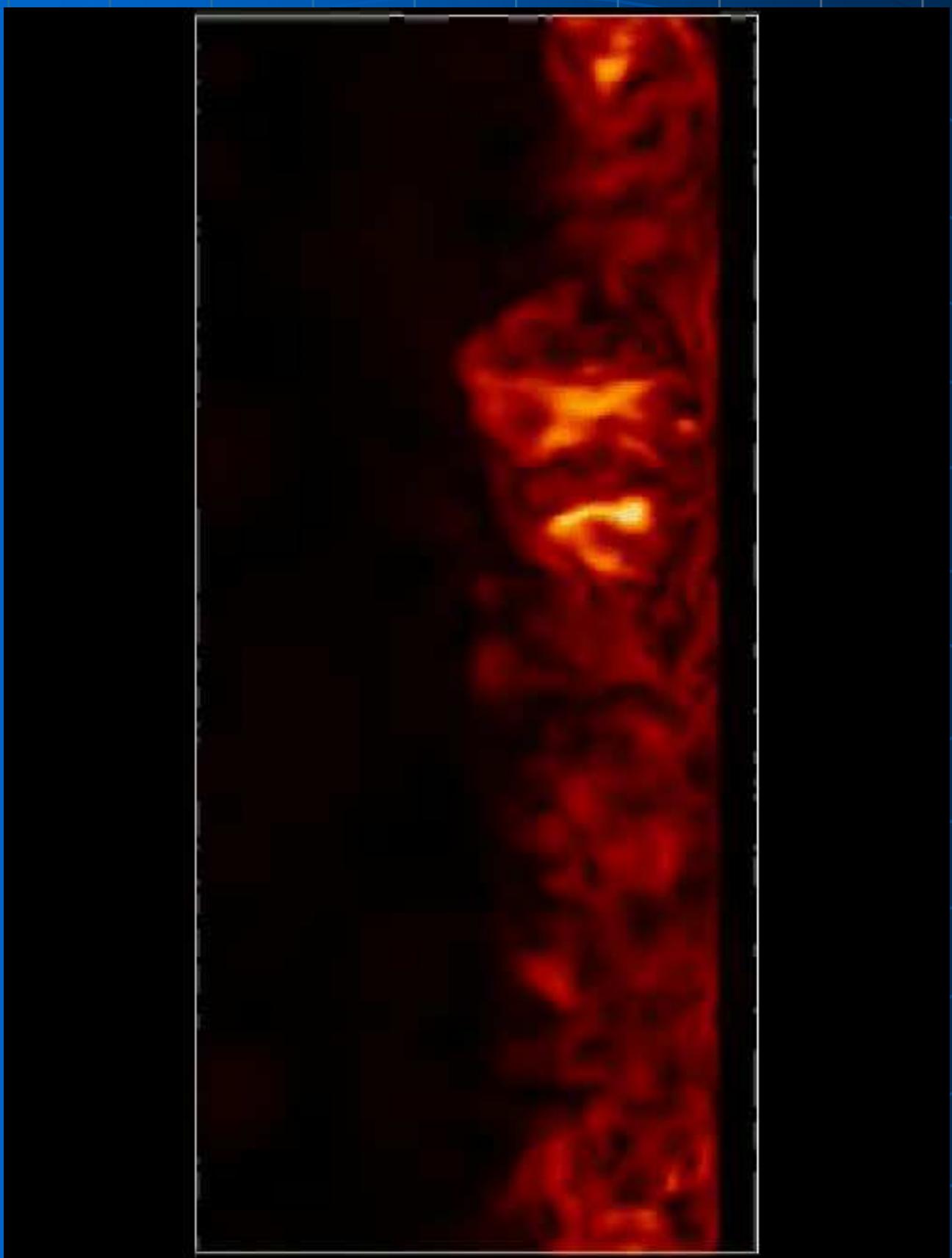
*Turbulenz vergrößert
die Brenngeschwin-
digkeit.*

Ø Im Grenzfall starker
Turbulenz:

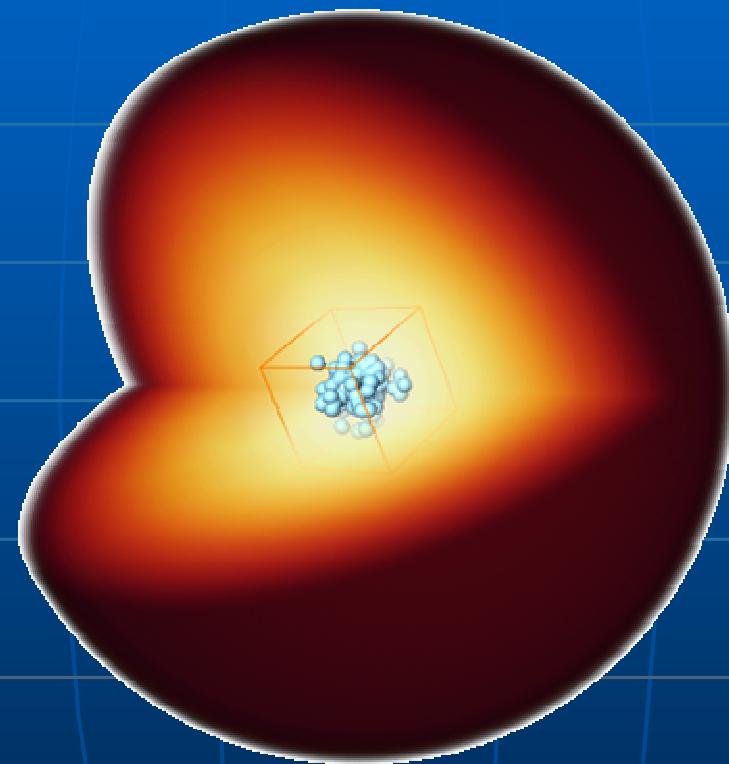
$$U_B \sim V_T !$$

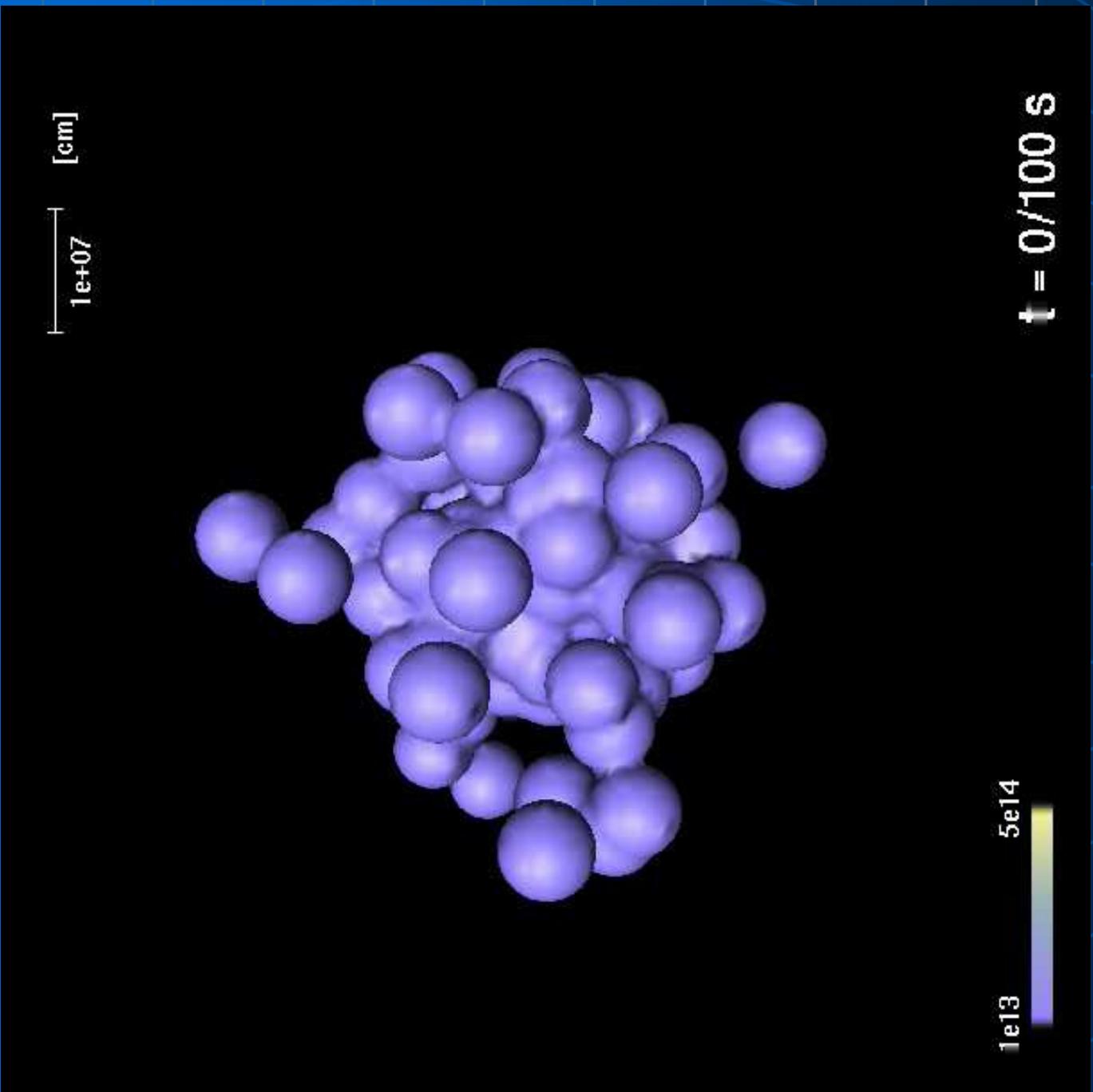
Ø Physik
thermonuklearen
„Brennens“ ist sehr
ähnlich der vorge-
mischter chemischer
Flammen.





... und Supernova-Modellierung



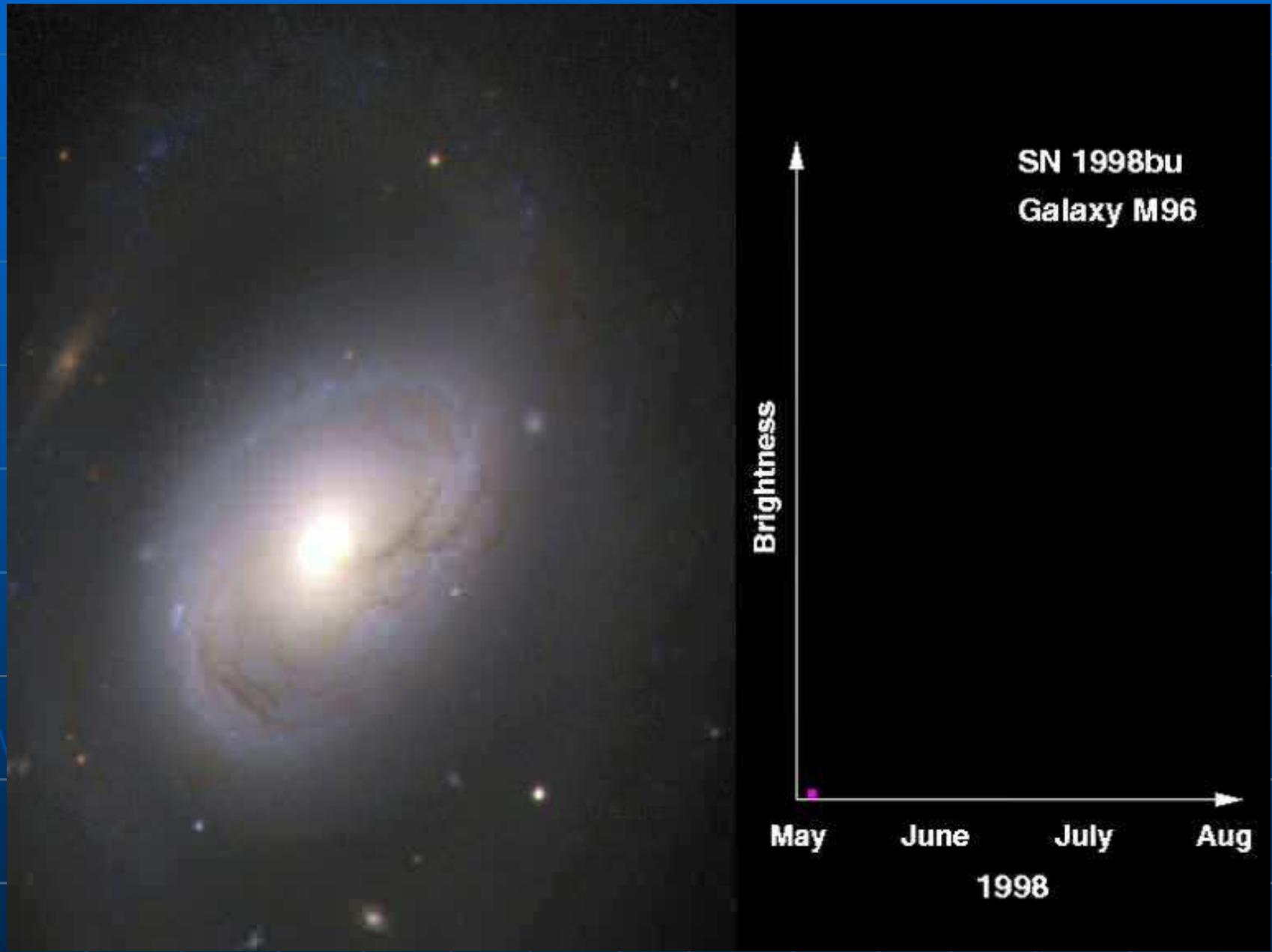




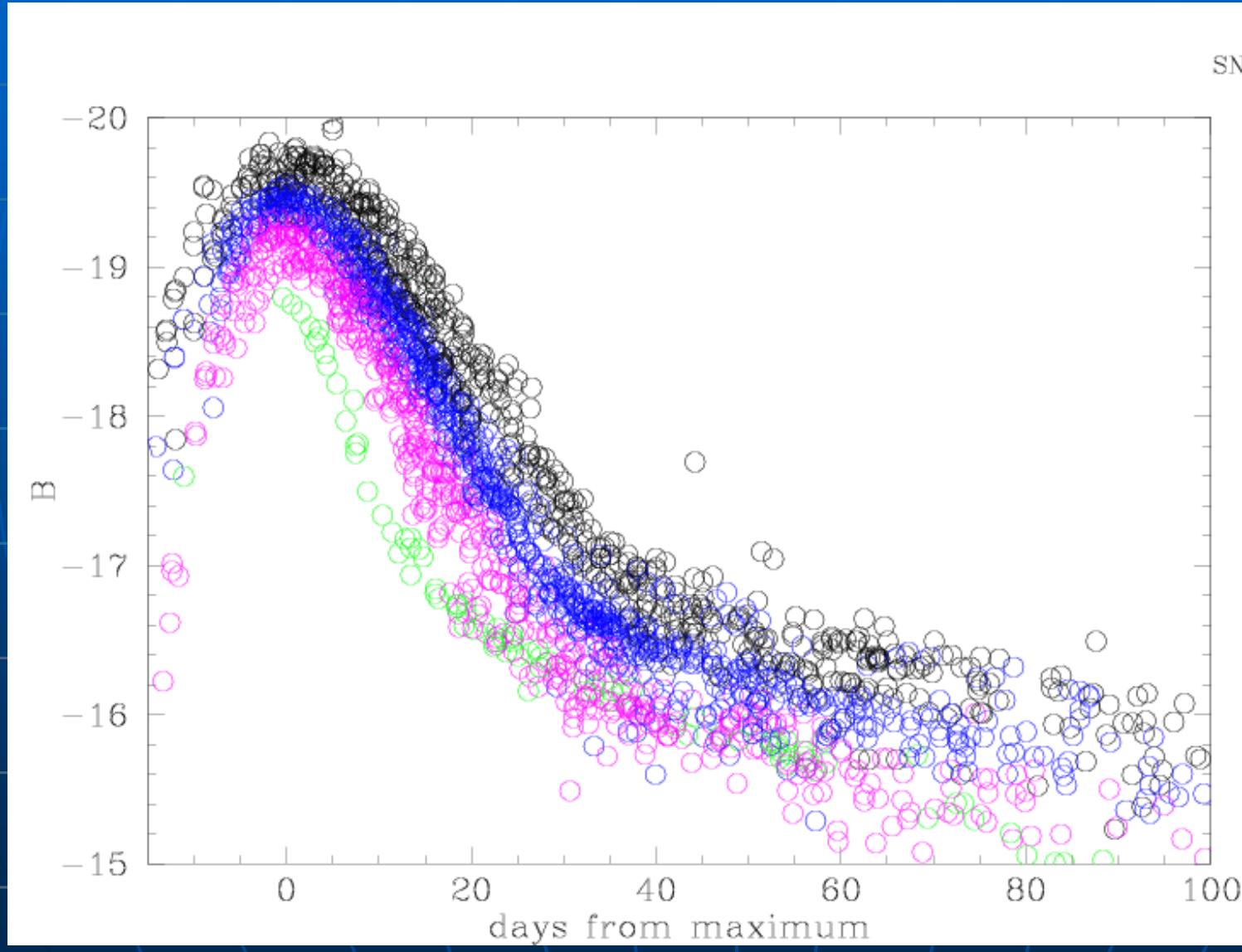
Weißen
Zwerg



Supernovae in entfernten Galaxien

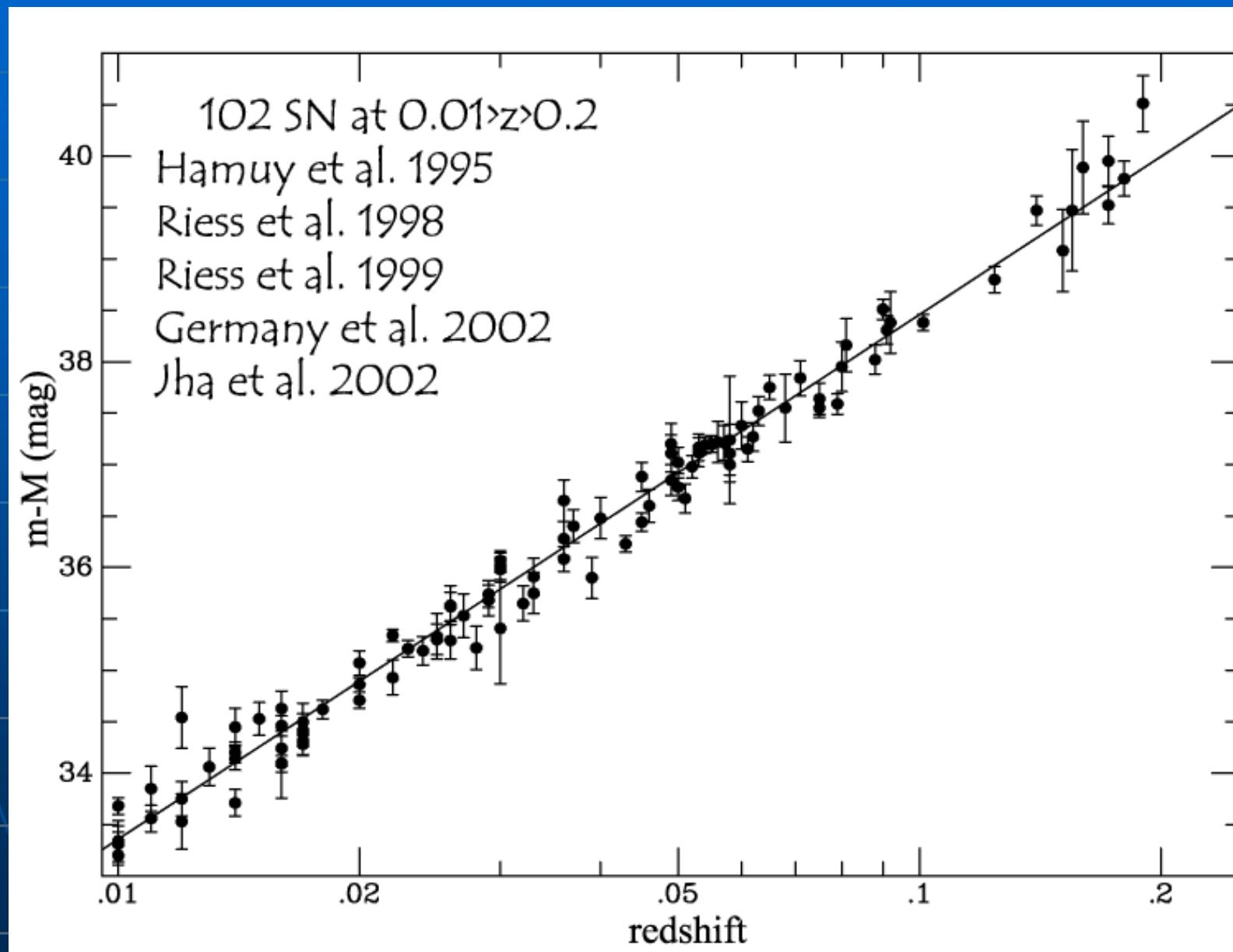


Lichtkurven von gut beobachteten SNe Ia



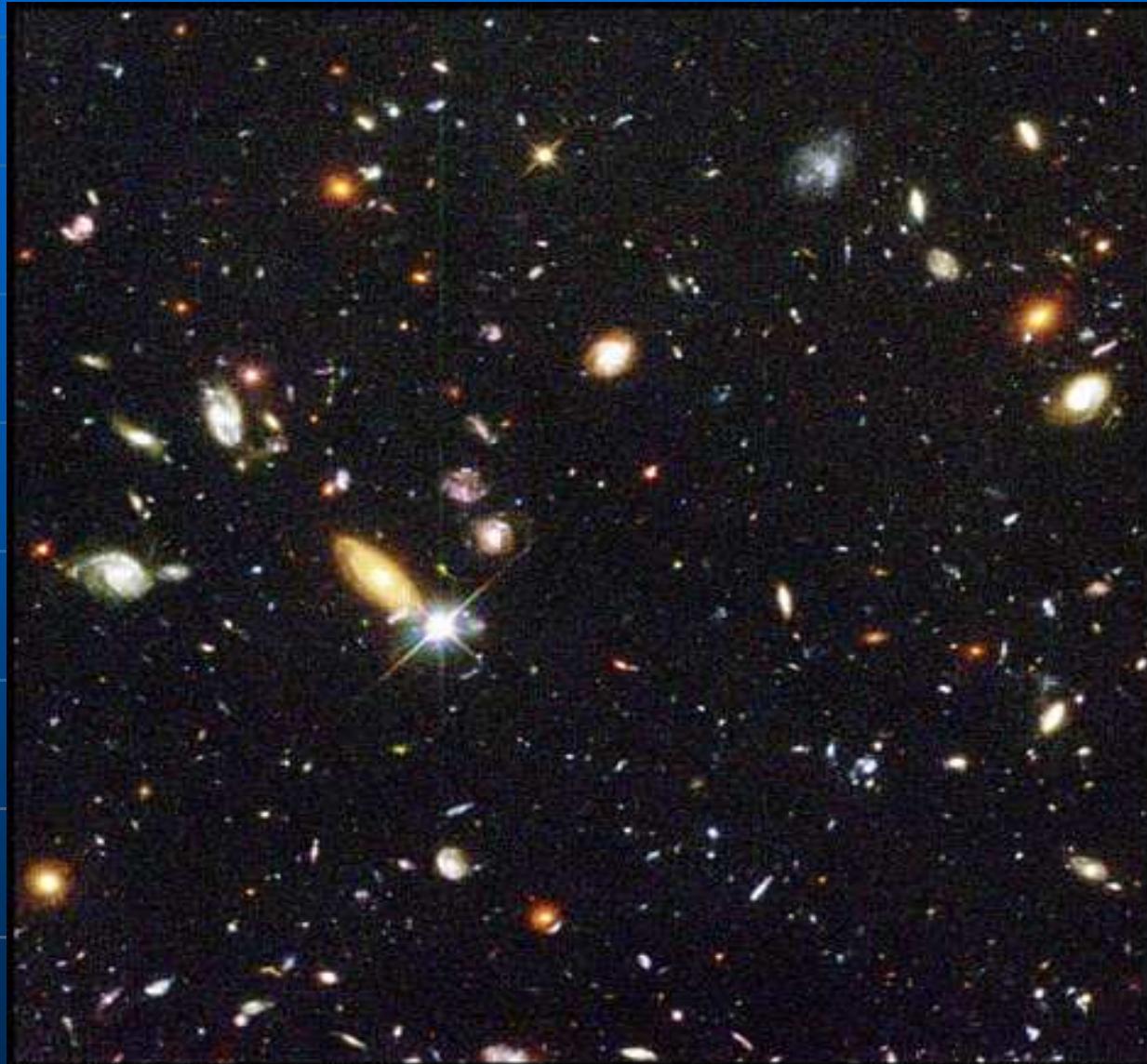
Altavilla 2003

Das Hubble-Diagramm für nahe Supernovae



Tonry et al. 2003

Sehr weit entfernte Supernovae



Hubble Deep Field

PRC96-01a · ST Scl OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST Scl), NASA

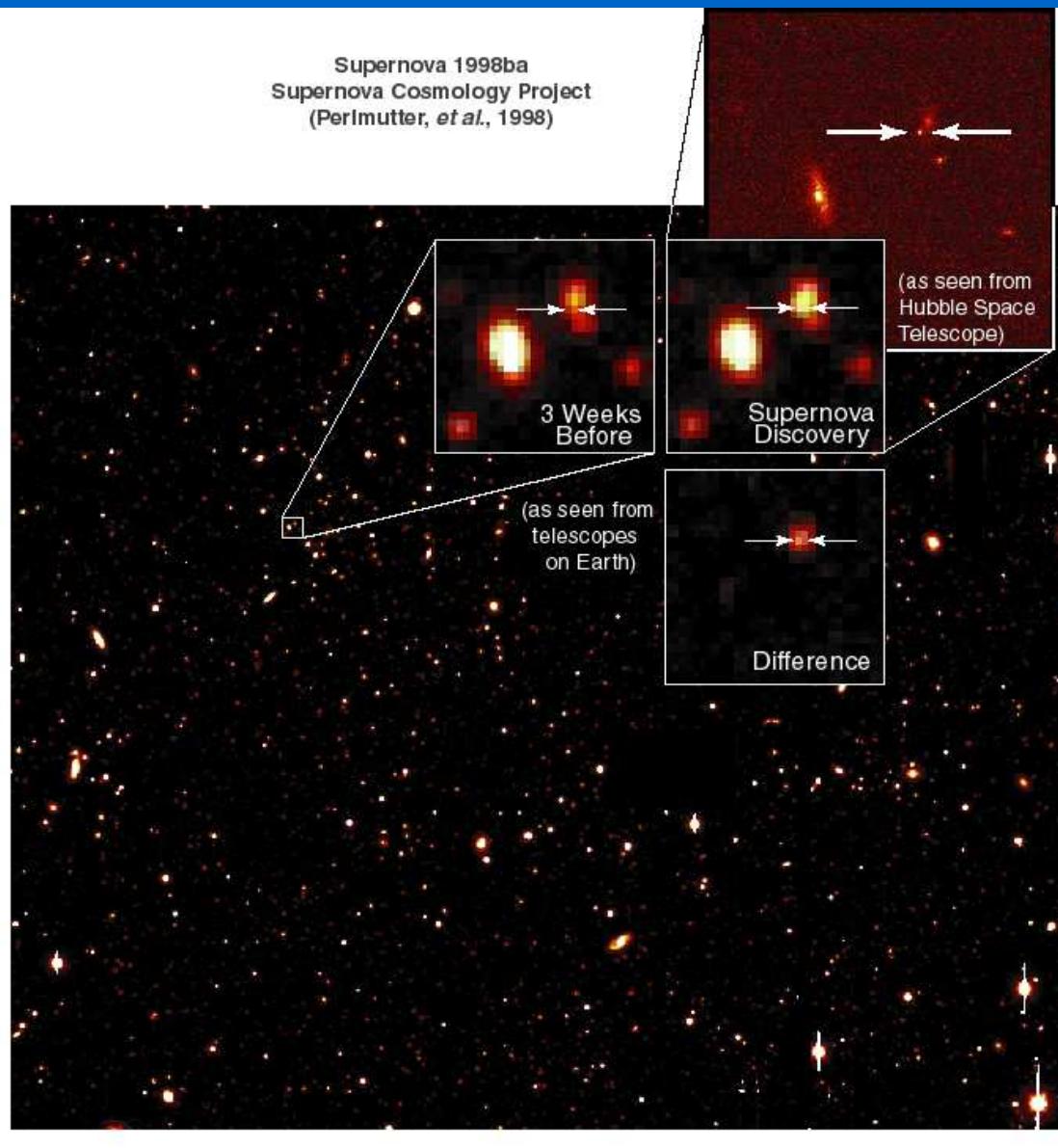
HST · WFPC2

Supernovae
sind sehr selten,
ca. 1 SN pro
100 Jahre und
Galaxie.

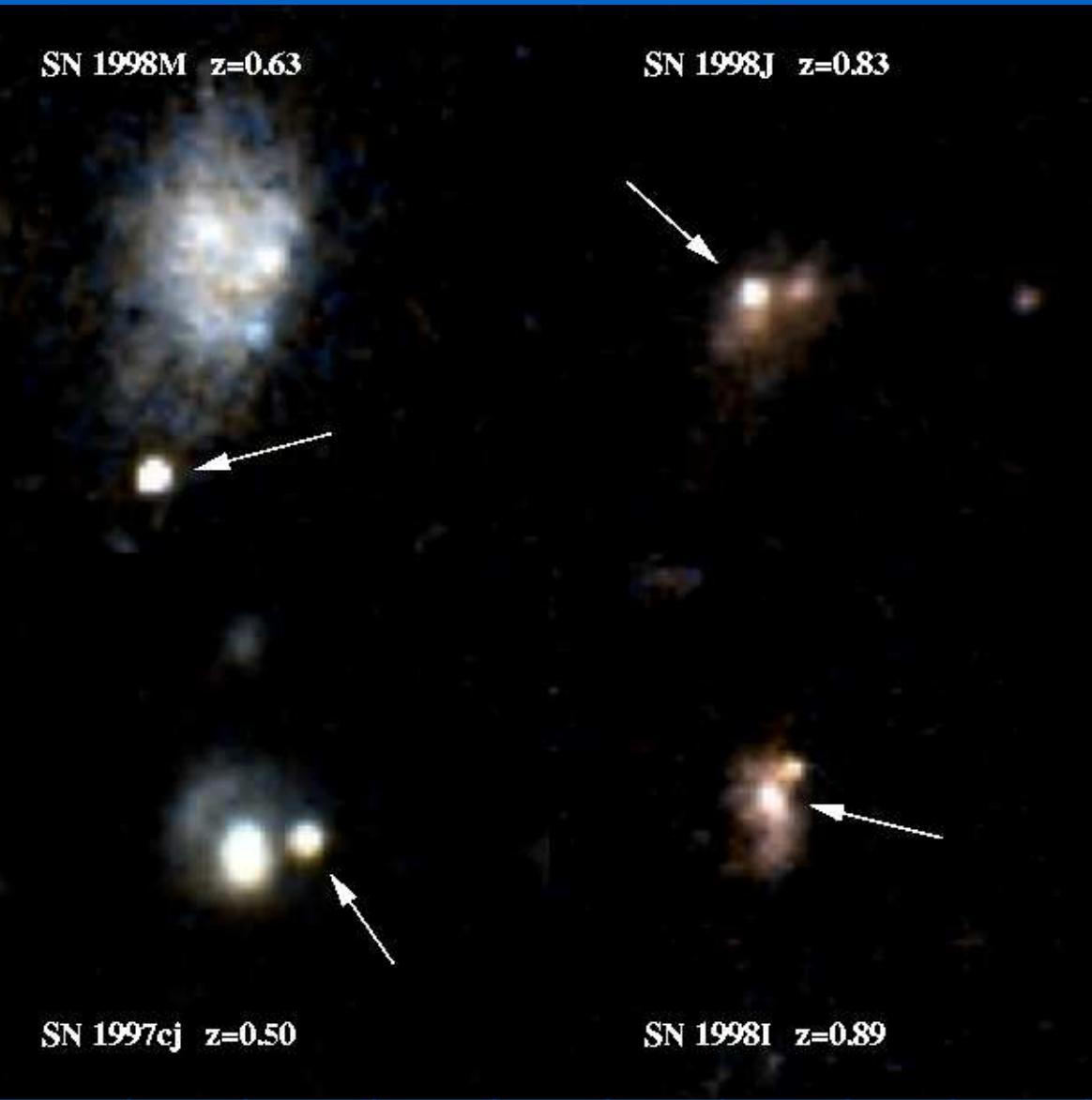


Man muß sehr
viele Galaxien
beobachten!

Suchstrategie:

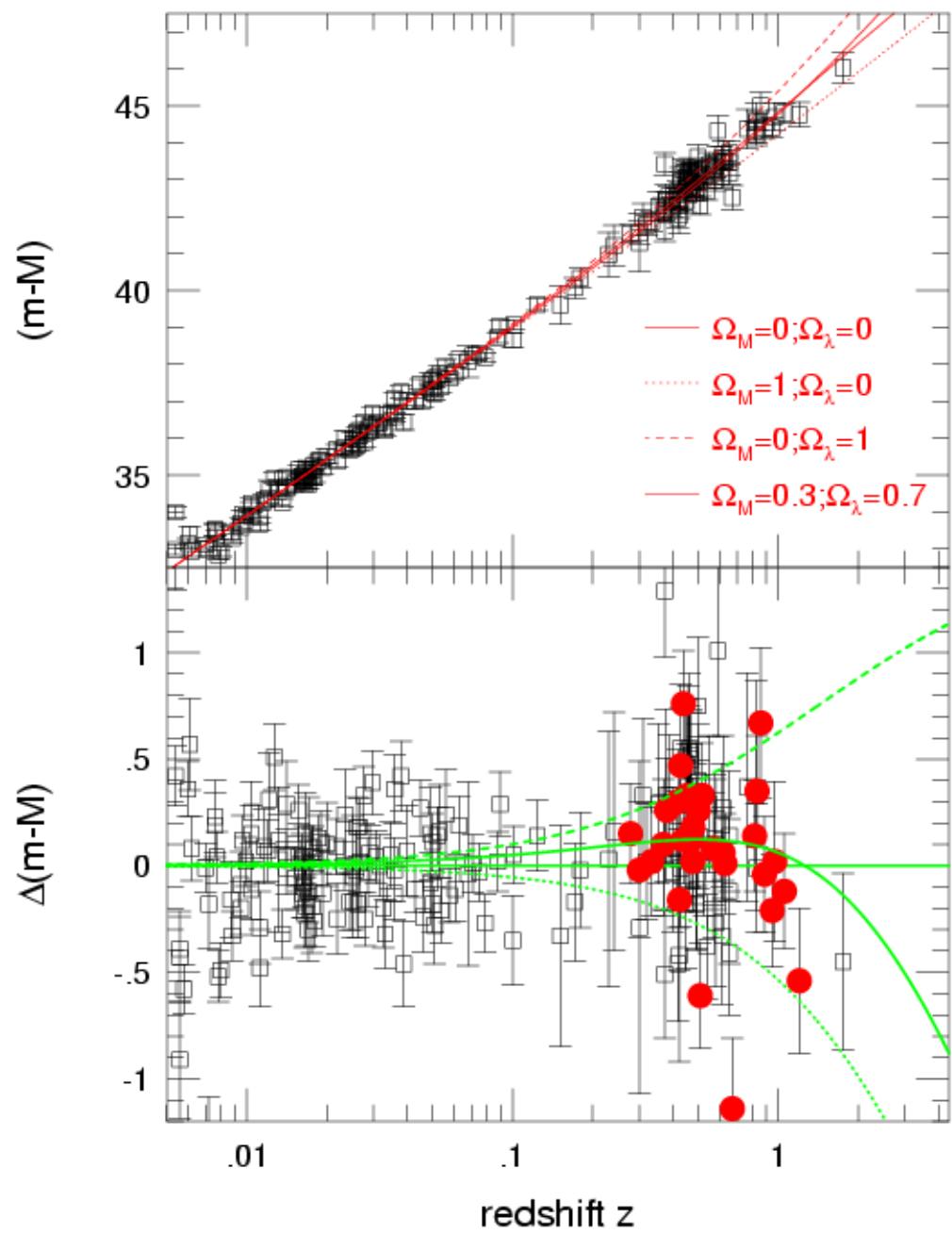


1. Wiederholtes Scannen eines Feldes.
2. Elektronisches Auslesen der Daten.
3. Nachfolgebeobachtungen.



Supernovae werden bei Rotverschiebungen von $Z > 0,4$ routinemäßig entdeckt:

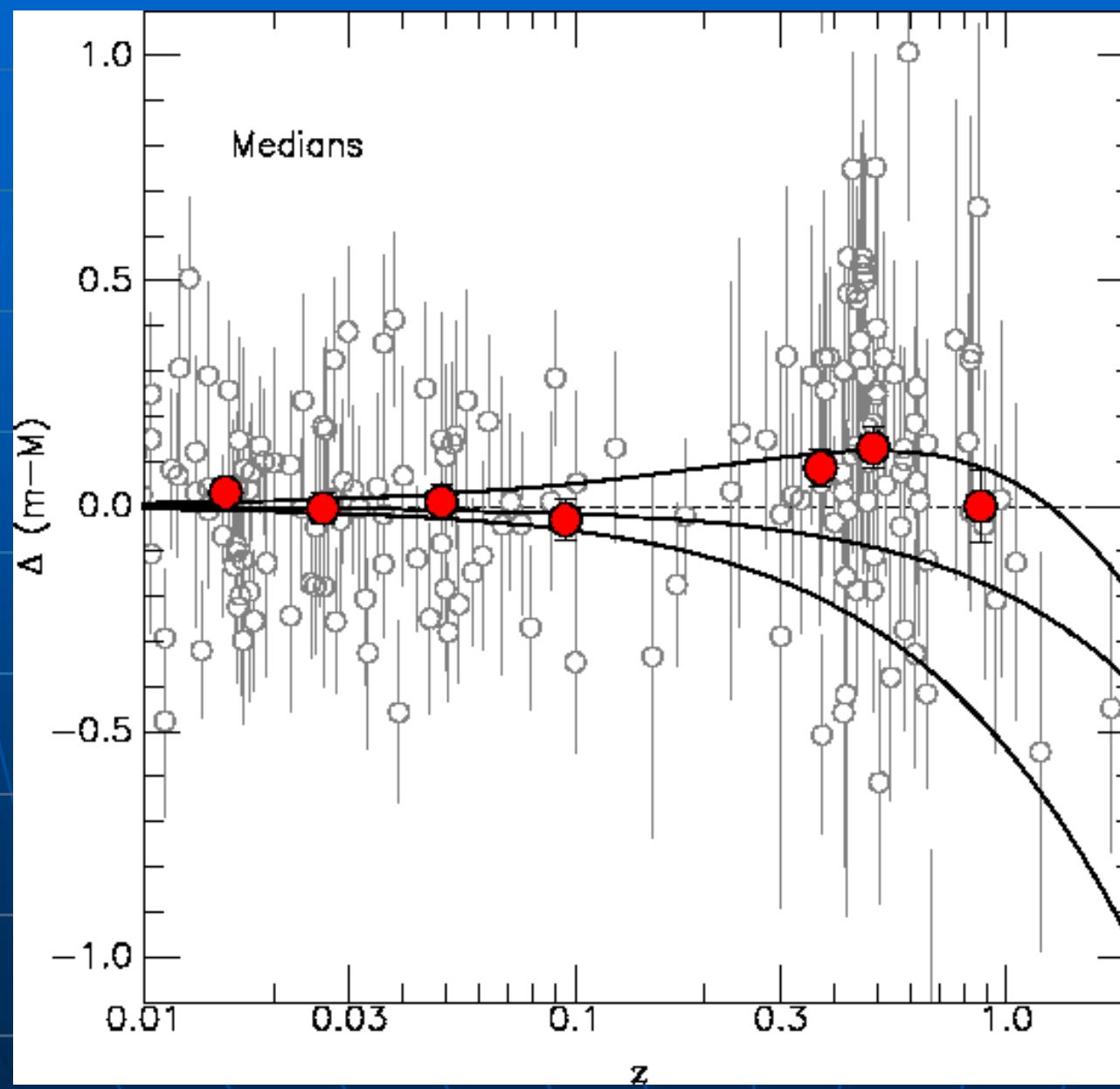
- Was ist die intrinsische Streuung in der Helligkeit?
- Sind sie verschieden von den Lokalen?
- Verstehen wir die Unterschiede?



Supernovae bei hohen Rotverschiebungen

Tonry et al. 2003

209 SNe Ia und Mittelwerte

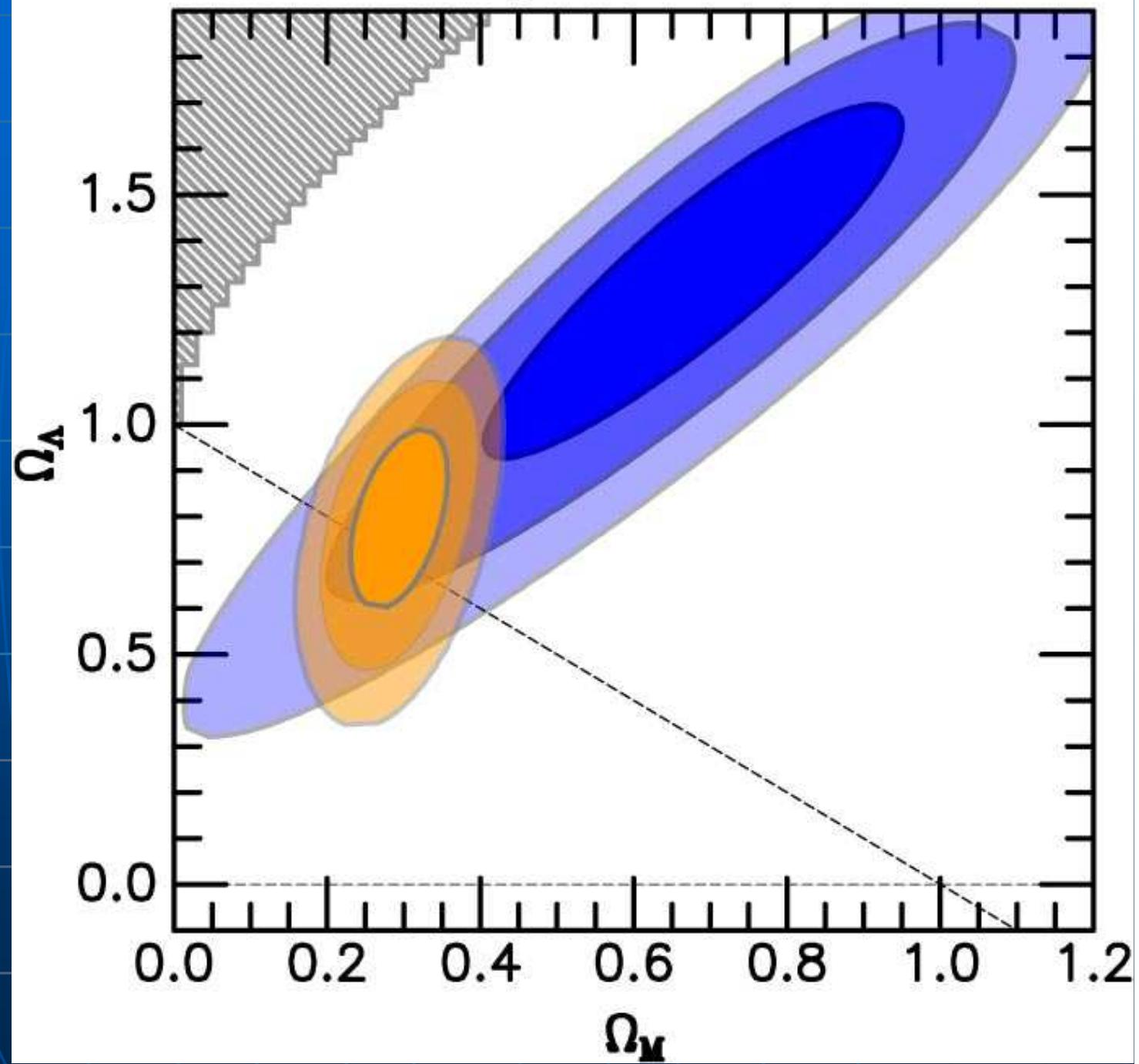


Tonry et al. 2003

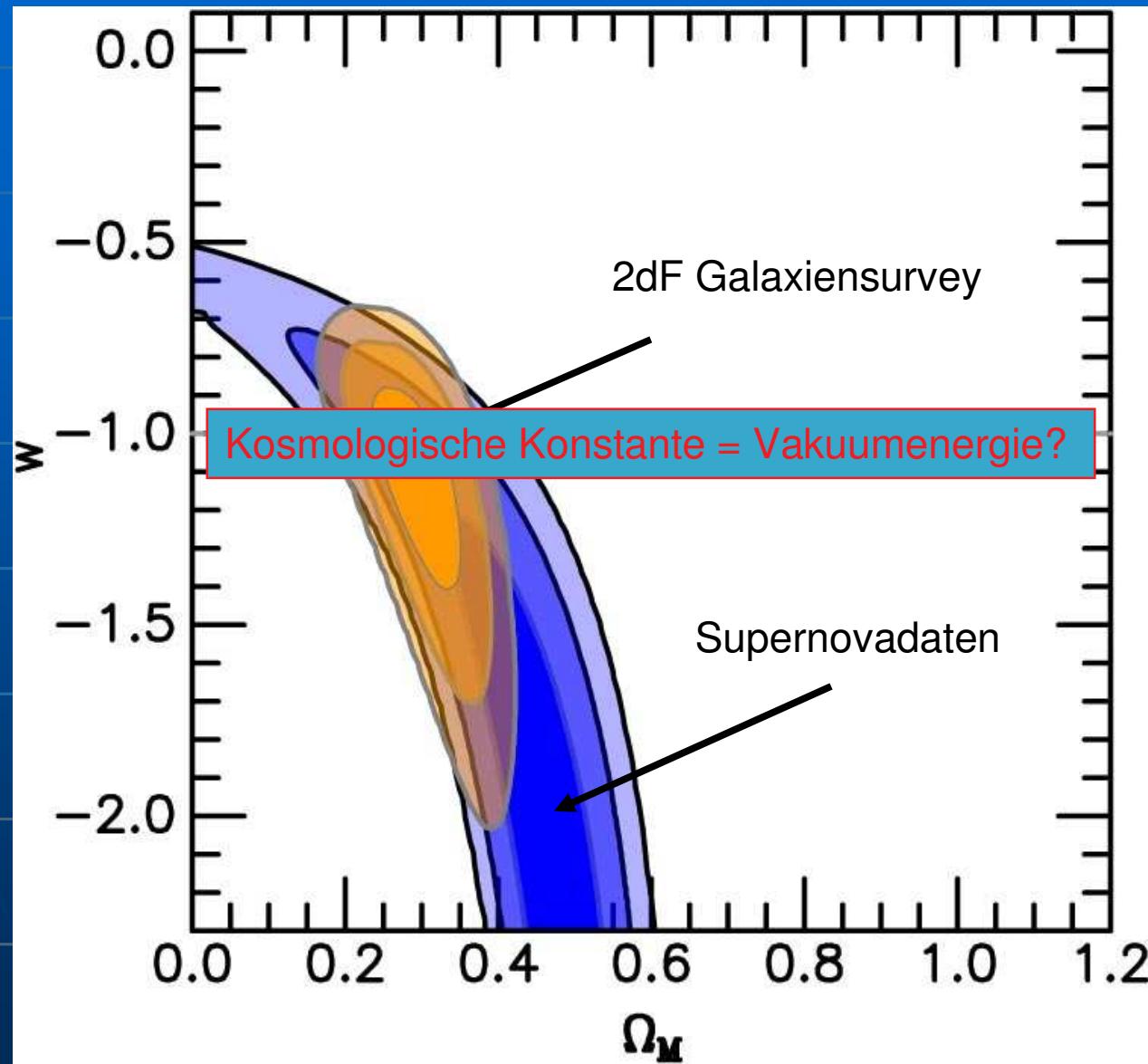
2dF:
 $\Omega_M = 0.2 \pm 0.03$

KP:
 $h = 0.72 \pm 0.08$

Entire High-Z SN Ia Data Set



Kosmologie und Typ Ia Supernovae



Die
“Zustandsgleichung”
des Universums:

$$\rho = w\rho$$

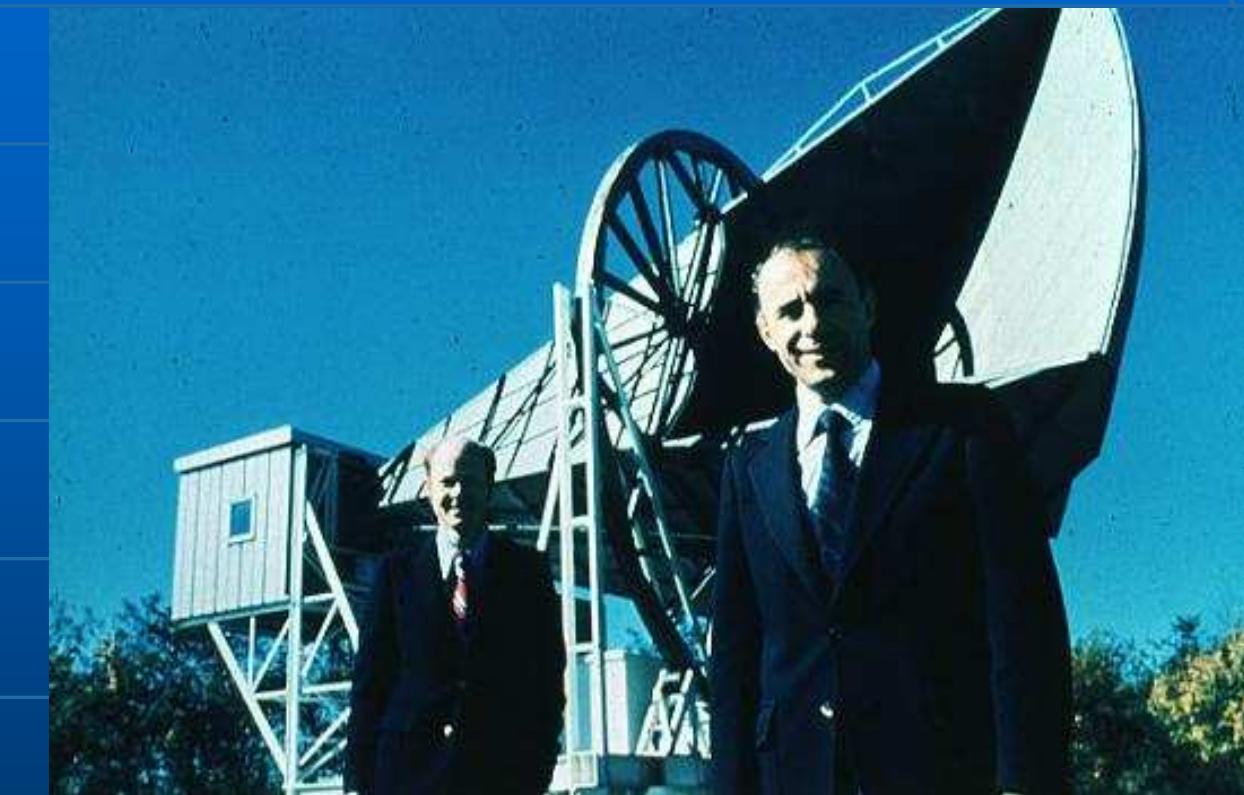
$$\ddot{a} \sim (\rho + 3p)$$

$$w < -1/3 :$$



Beschleunigung!

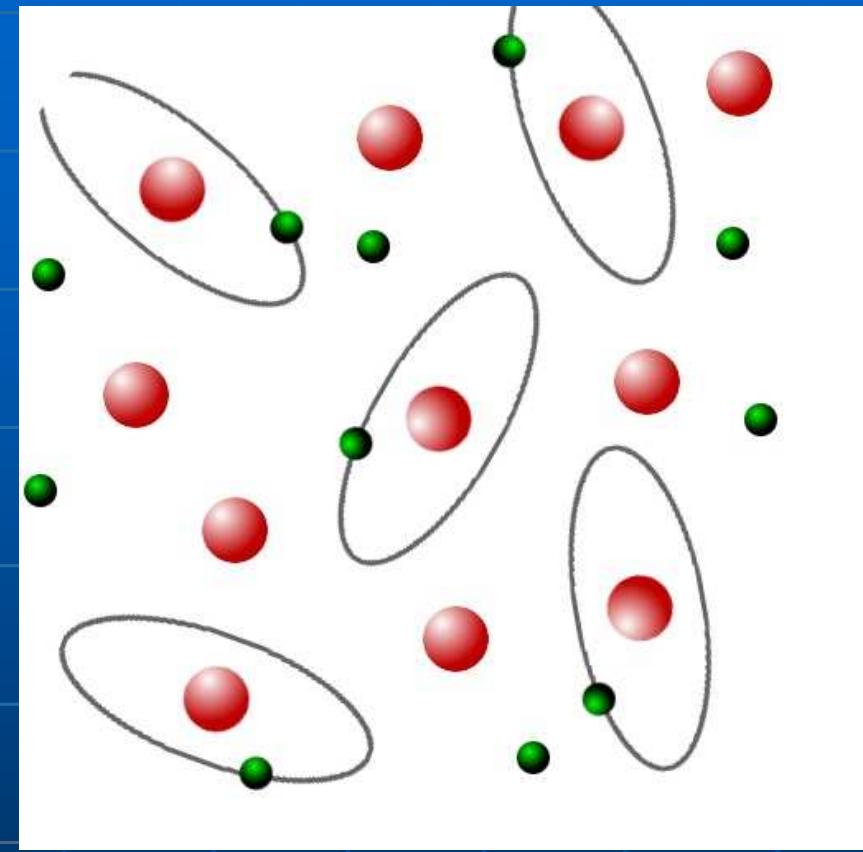
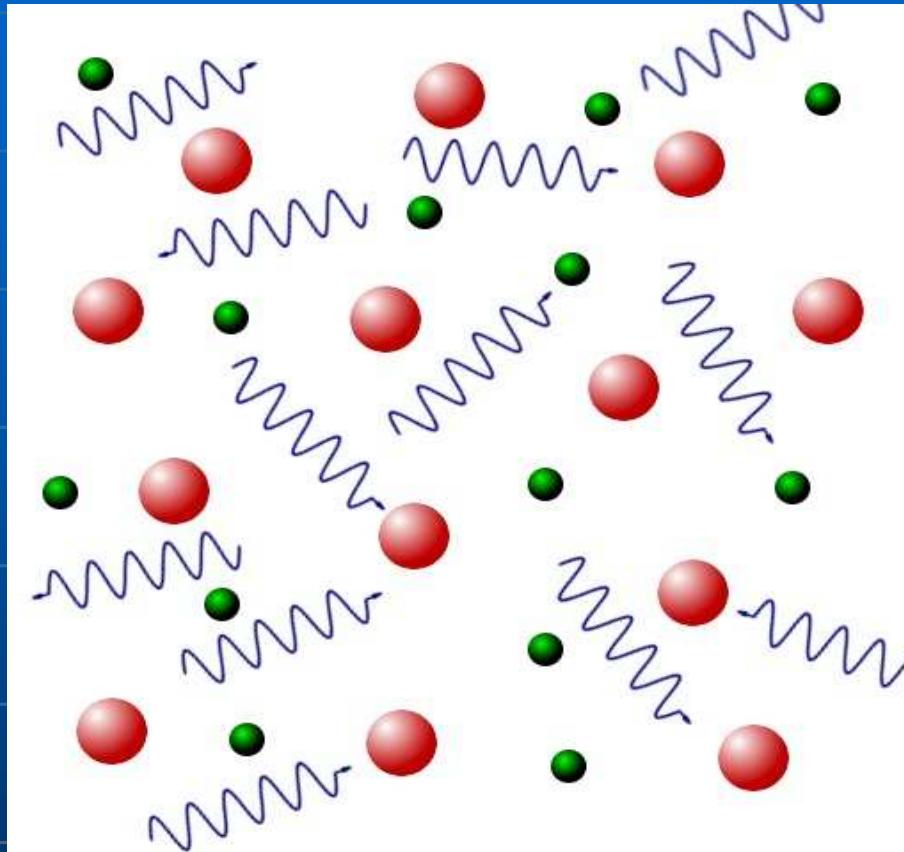
Der kosmische Mikrowellen-Hintergrund



George Gamow (1946): *Es gibt ~400 Photonen pro Kubikzentimeter*

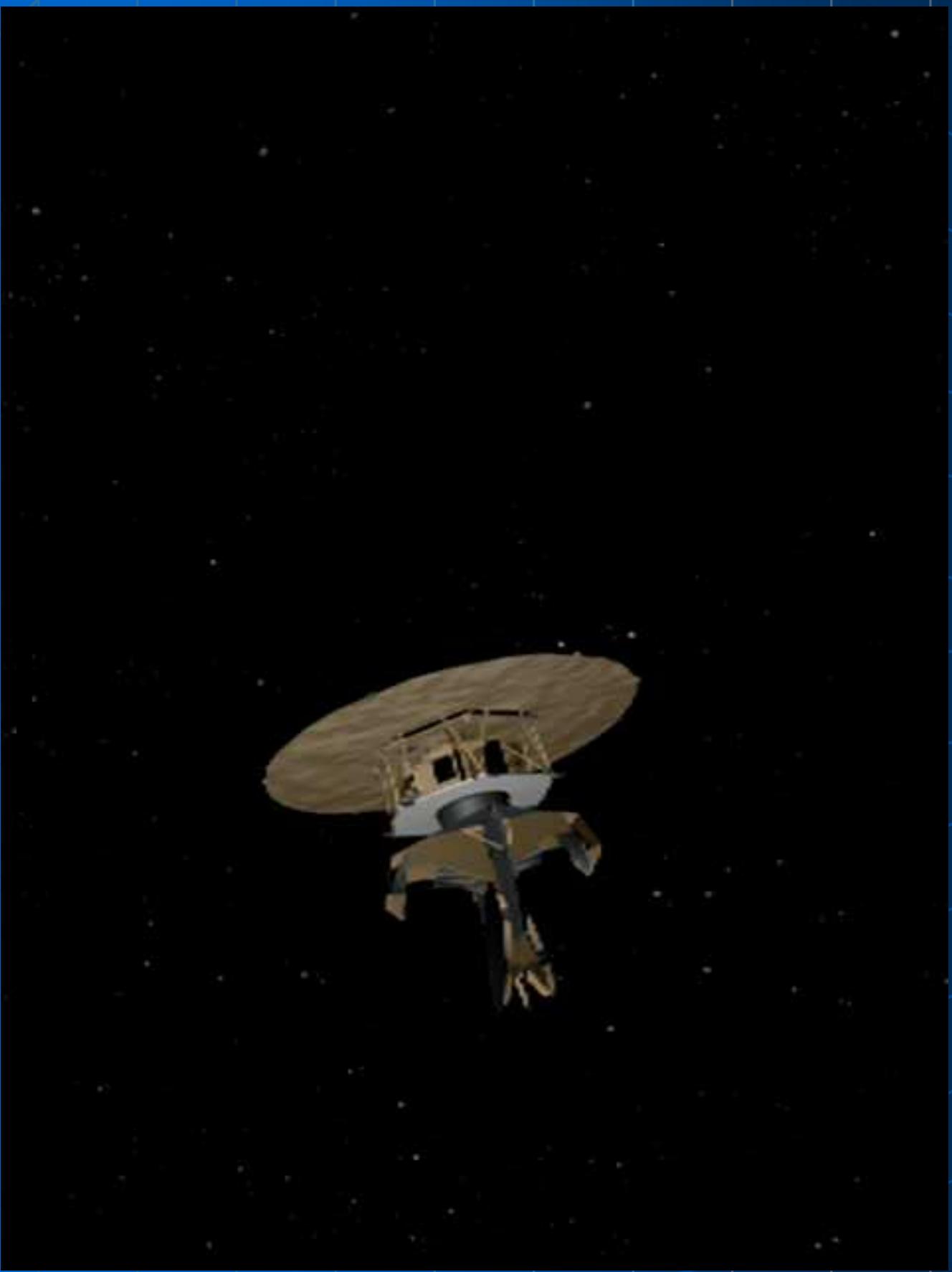
Arno Penzias und Robert Wilson: *Zufällige Entdeckung 1964*

Der kosmische Mikrowellen-Hintergrund



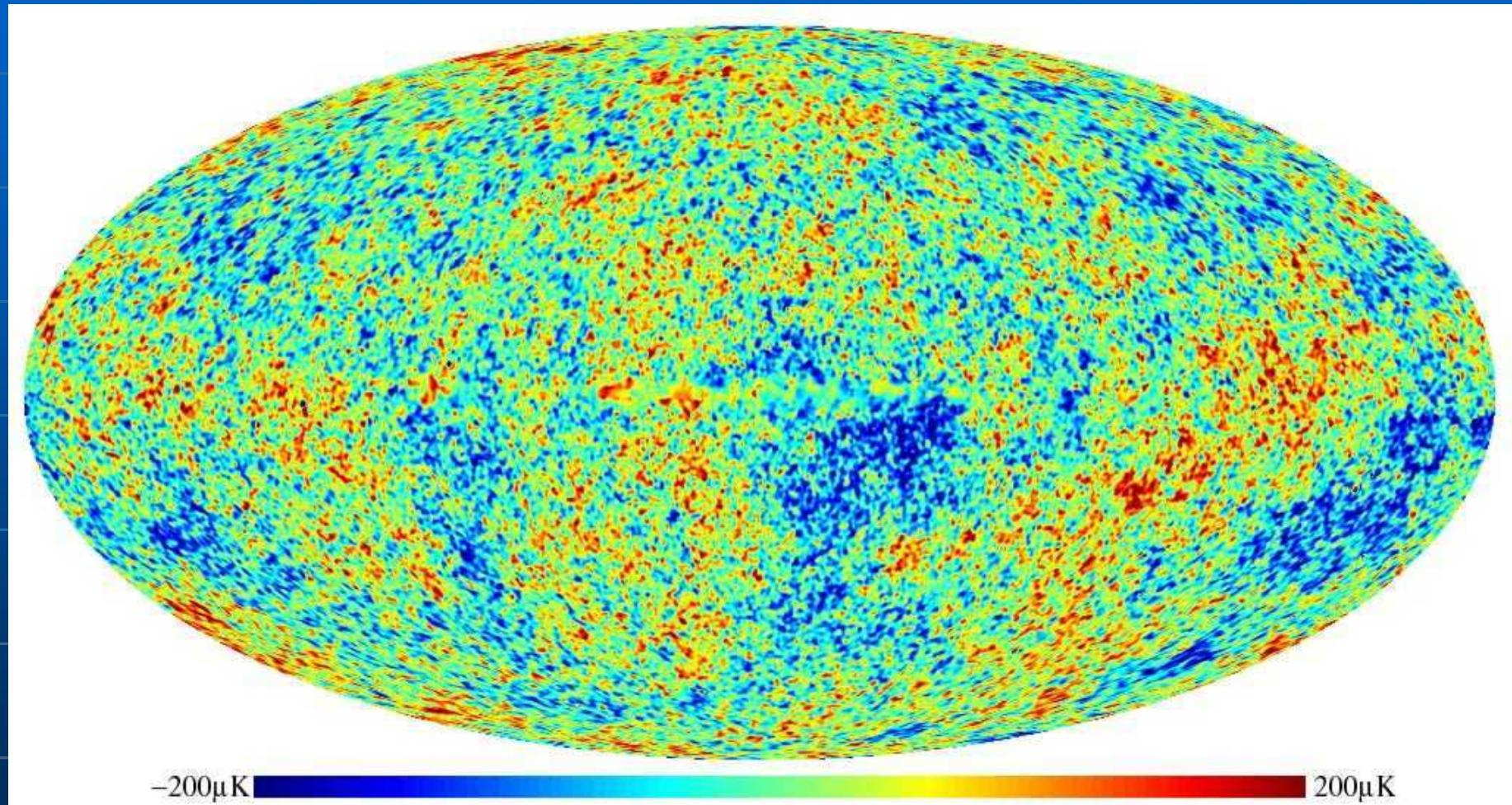
Vor der Rekombination: *Das Universum ist undurchsichtig.*
Nach der Rekombination: *Das Universum ist durchsichtig.*

Übergang ~300 000 Jahre nach dem Urknall!



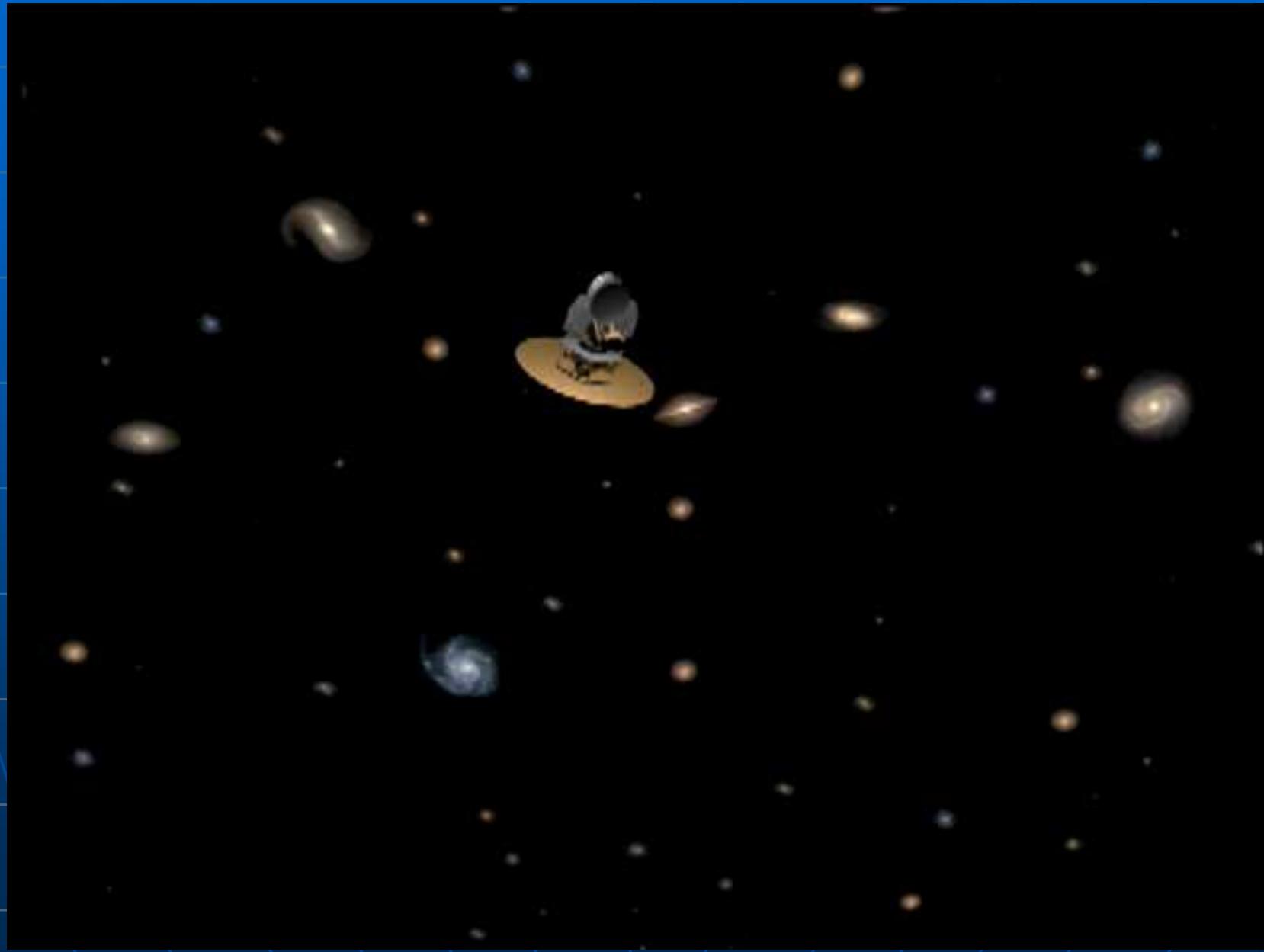


Der Himmel im "Licht" der 2,7° K Strahlung



(nach WMAP)

Die Interpretation der Daten



Interpretation der Daten:

Geometrie des Universums:

“flach” (Euklidisch)

“Dunkle Energie”:

70%

“Dunkle Materie”:

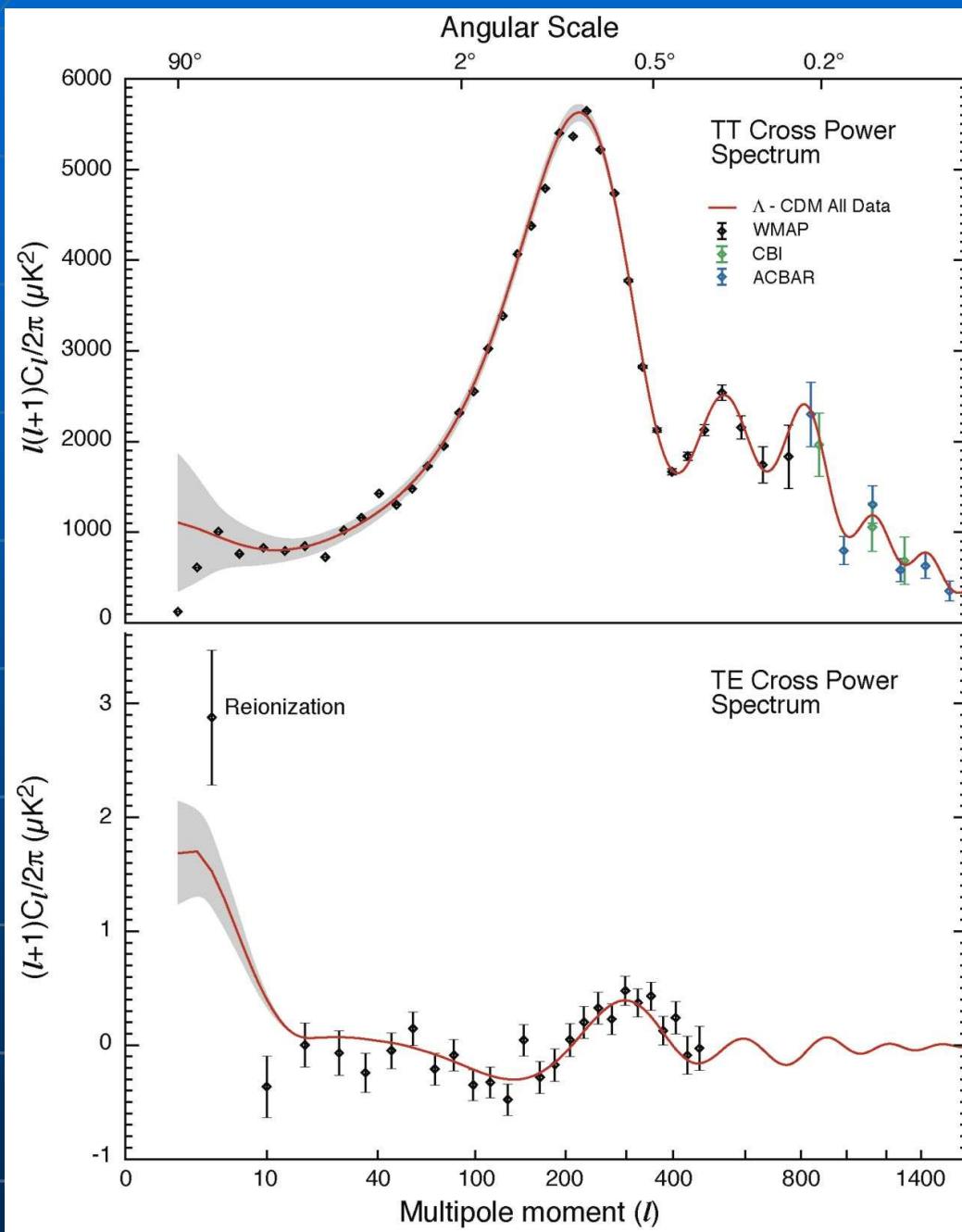
26%

Baryonen:

4%

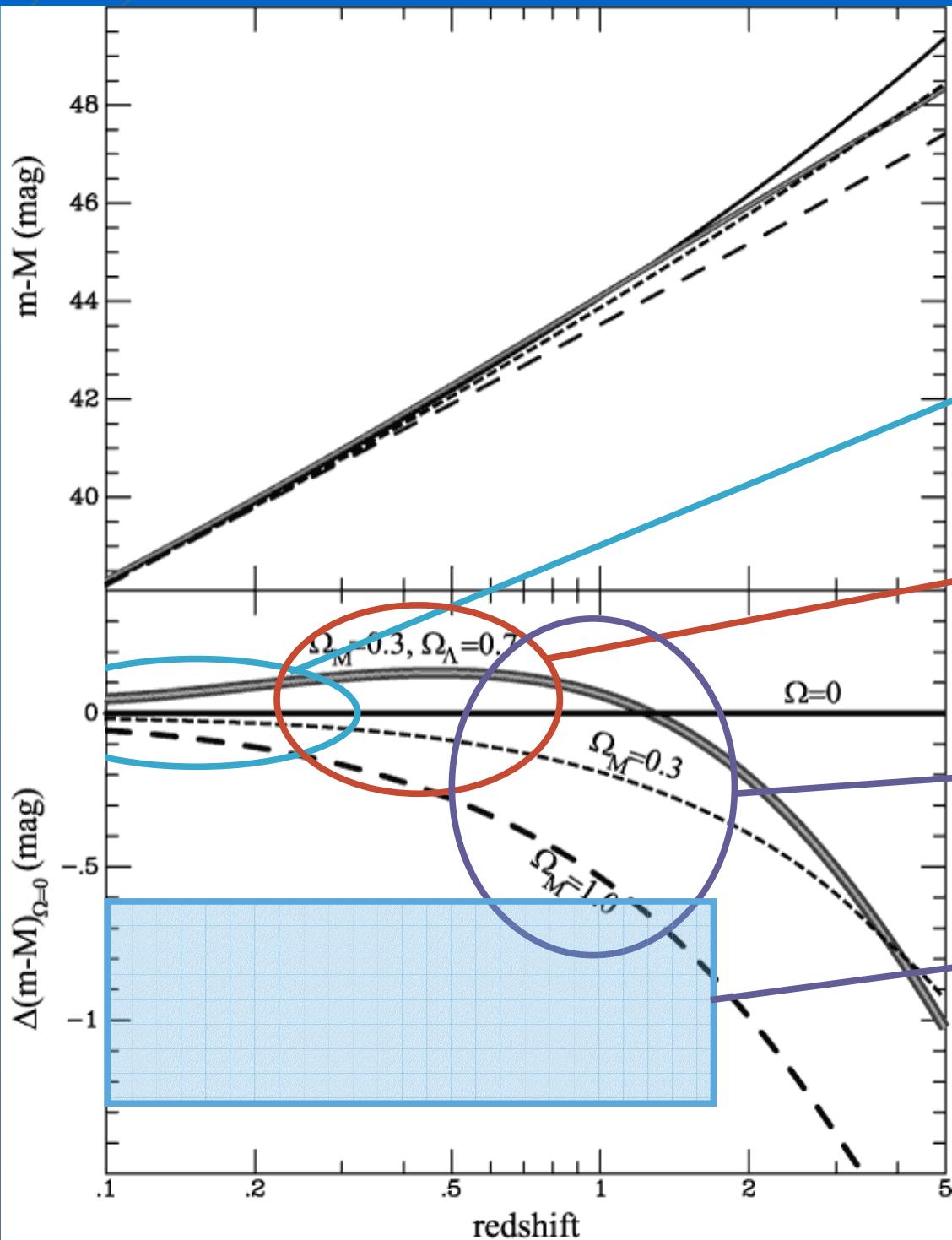
Alter des Universums:

14 Milliarden Jahre
(Fehler < 5%)

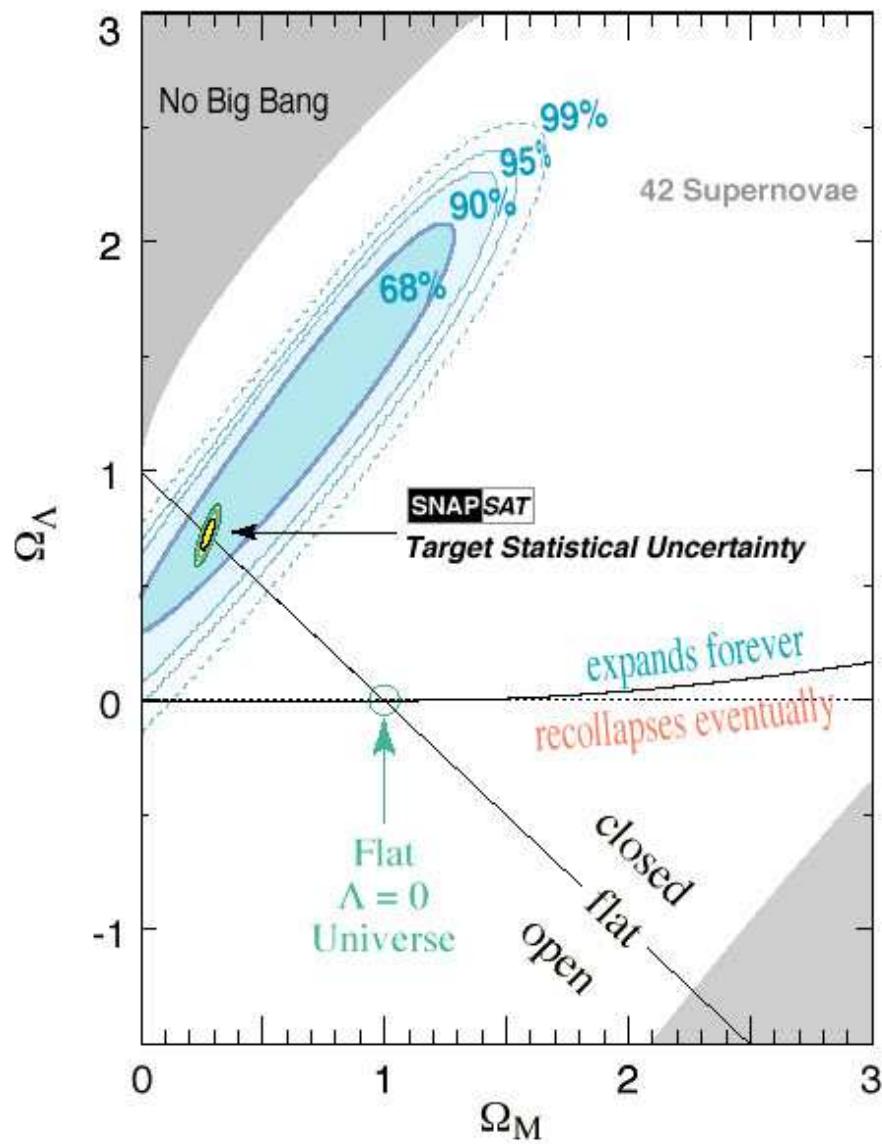


Was bringt die Zukunft?

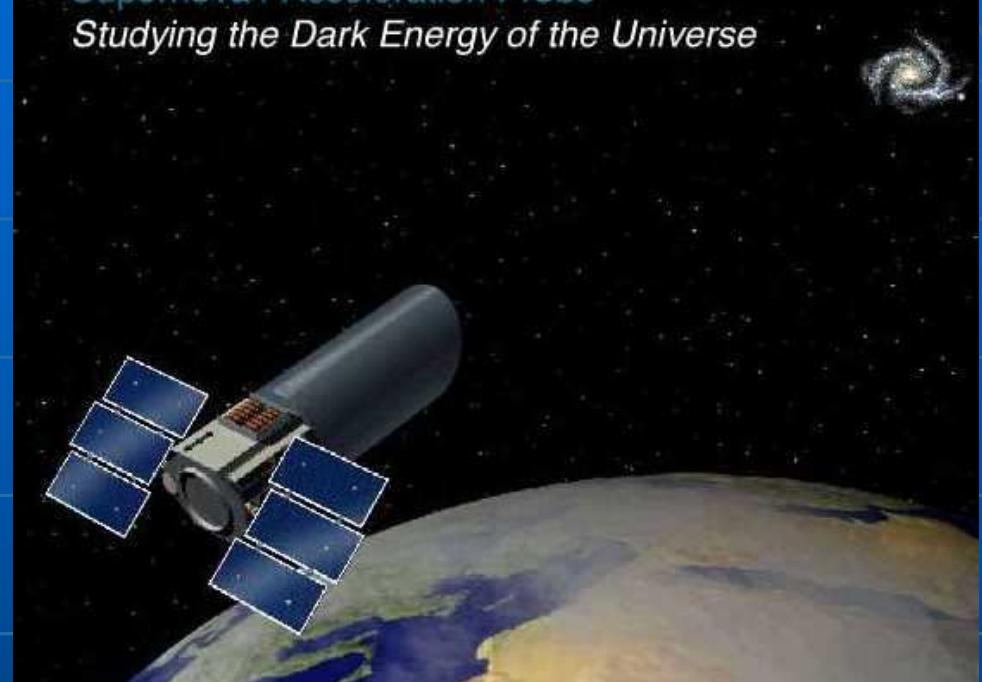
SN Projekte



Supernova Cosmology Project
Perlmutter *et al.* (1998)



Supernova / Acceleration Probe
Studying the Dark Energy of the Universe



SNAP: "Supernova/Acceleration Probe"

**“Es gibt eine Theorie, die behauptet:
Sobald irgend jemand herausfindet, was genau
es mit dem Universum auf sich hat, und warum
es hier ist, wird es sofort verschwinden und
durch etwas ersetzt, das noch bizarrer und
unerklärlicher ist.”**

**“Es gibt eine andere Theorie die sagt, das habe
bereits stattgefunden.”**

Douglas Adams