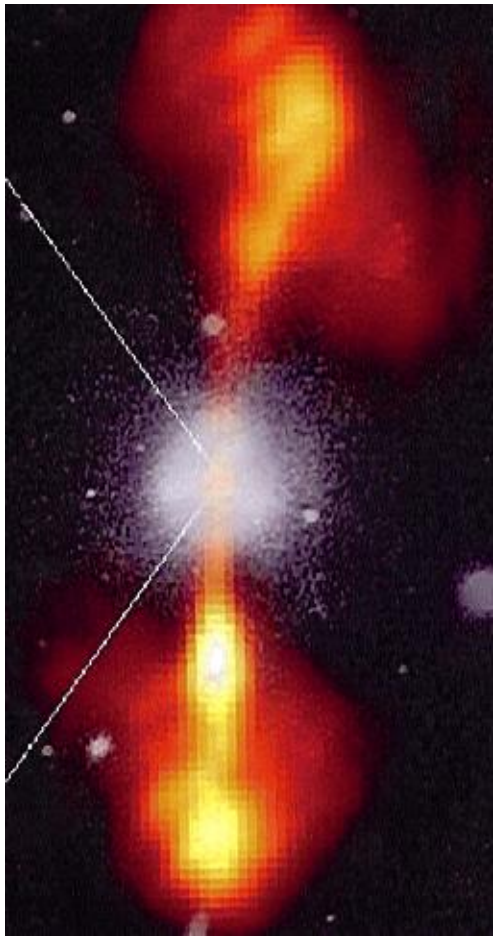
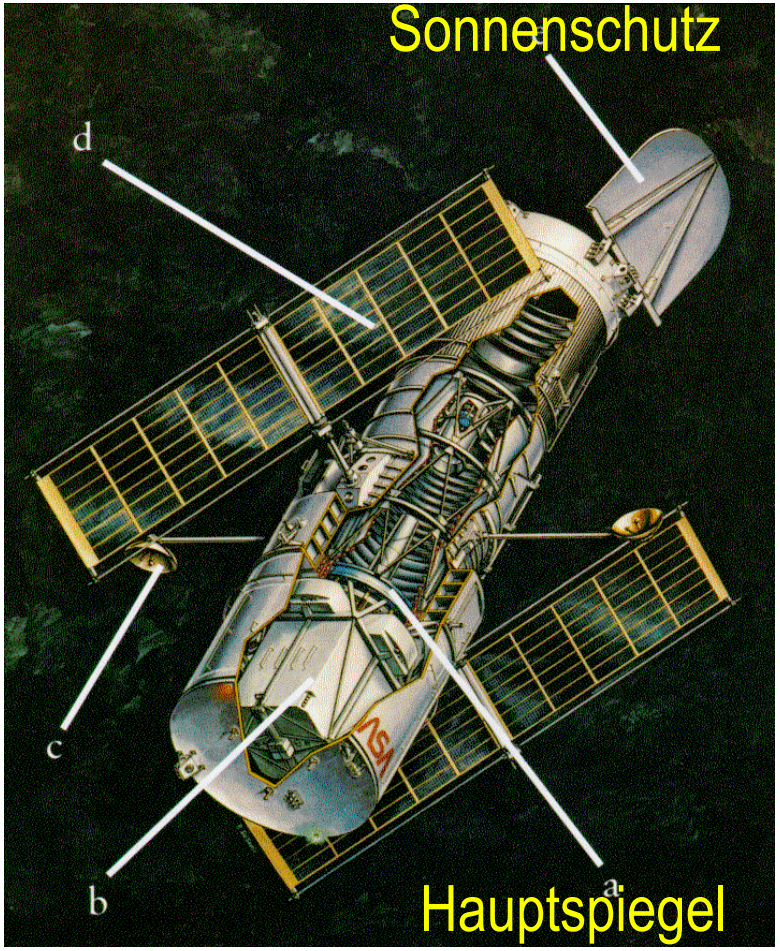
Sterne und Weltraum

...Astrophysik auf neuen Wegen ..



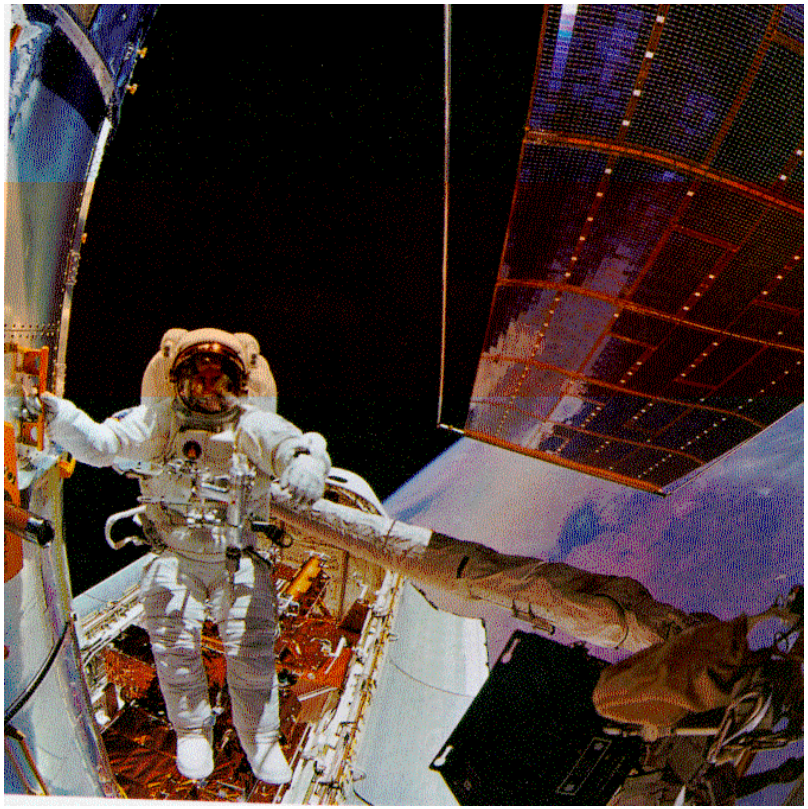
- Hochauflösende Teleskope
  - Weltraumteleskop Hubble
  - „Very Large Telescope“
- ...es geht nicht nur mit Licht ...
  - Wie sah Universum nach 100000 Jahren aus?
- „Kosmische Katastrophen“:
  - Gamma-Strahlen-Blitze
  - Aktive Galaxien
- Astronomie mit Neutrinos am Südpol

Hubble-Weltraumteleskop



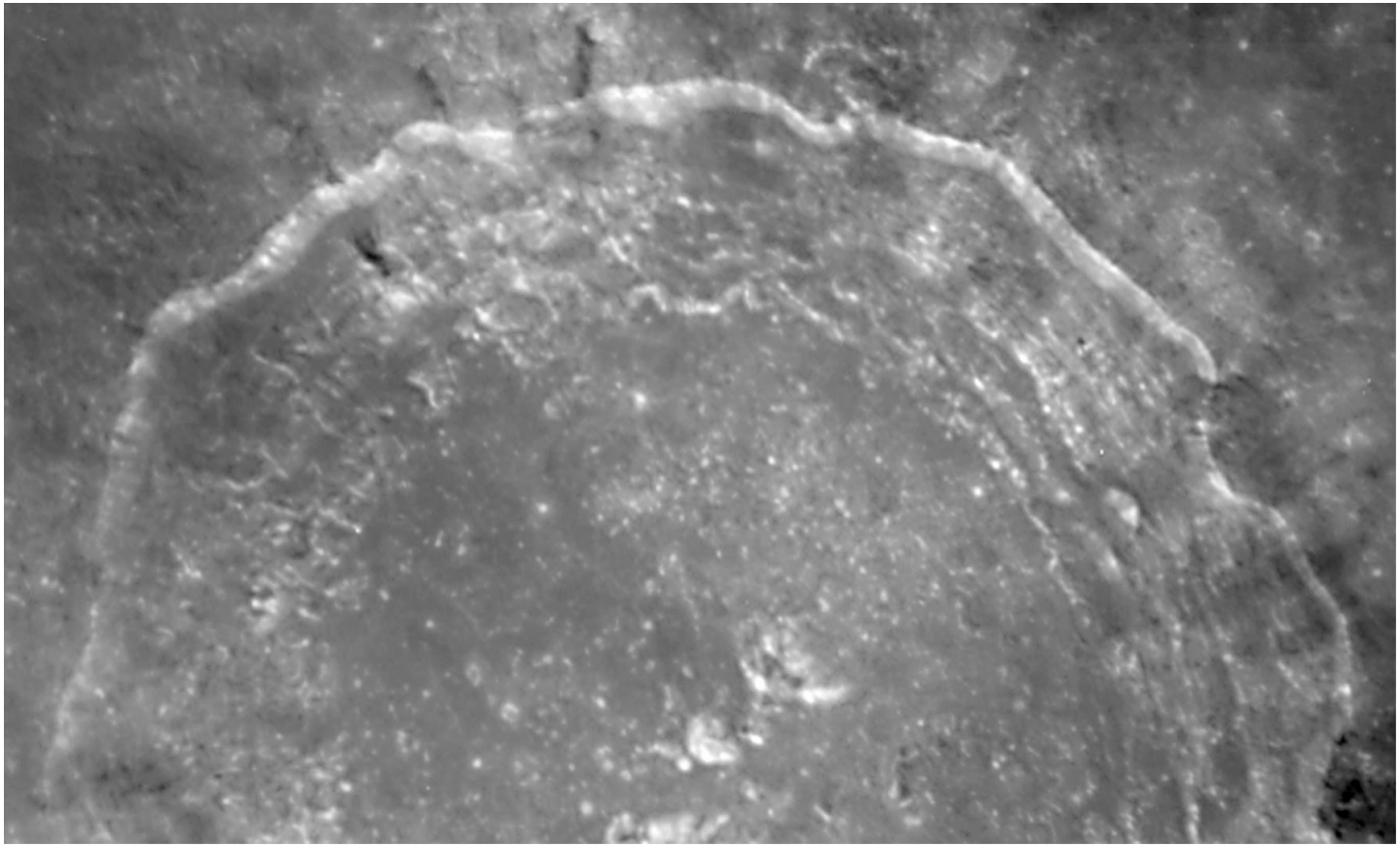
- 2.4 m Spiegel
- 600 km über Erde
- empfindliche CCD's
  - "faint object camera"
- Kosten ≈ 10 Milliarden $

... kleine Fehler rächen sich ...

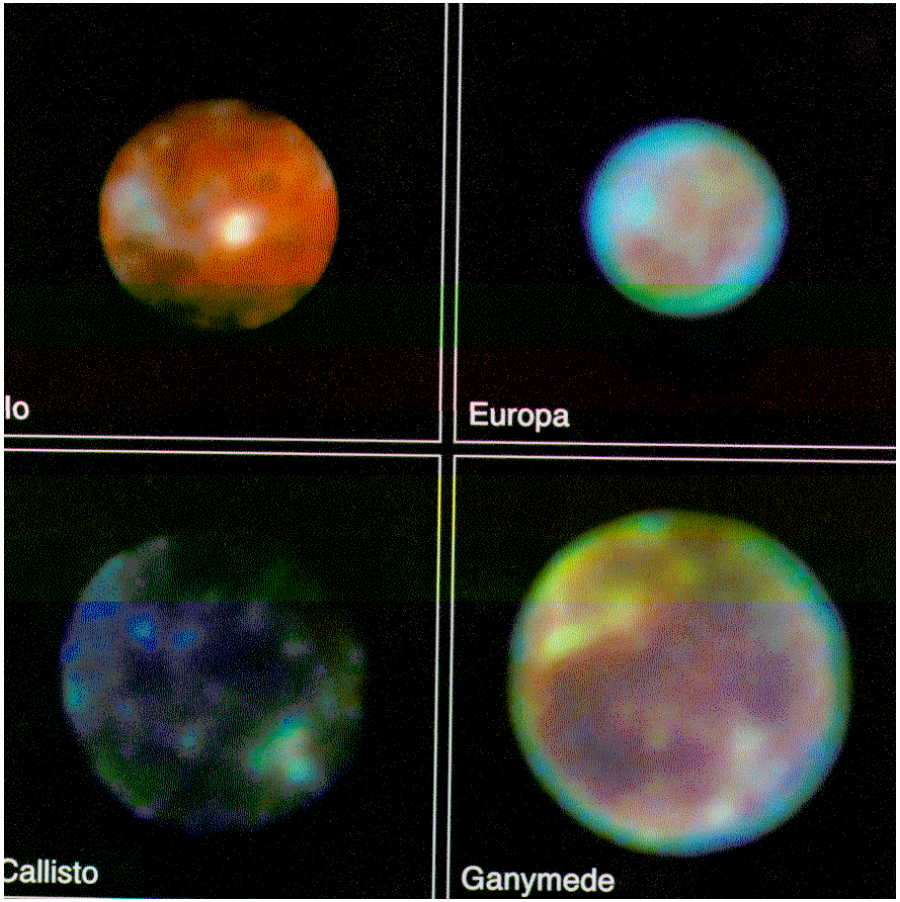


- Spiegel 0,002 mm falsch geschliffen!
- Korrekturoptik 1993 erfolgreich eingebaut

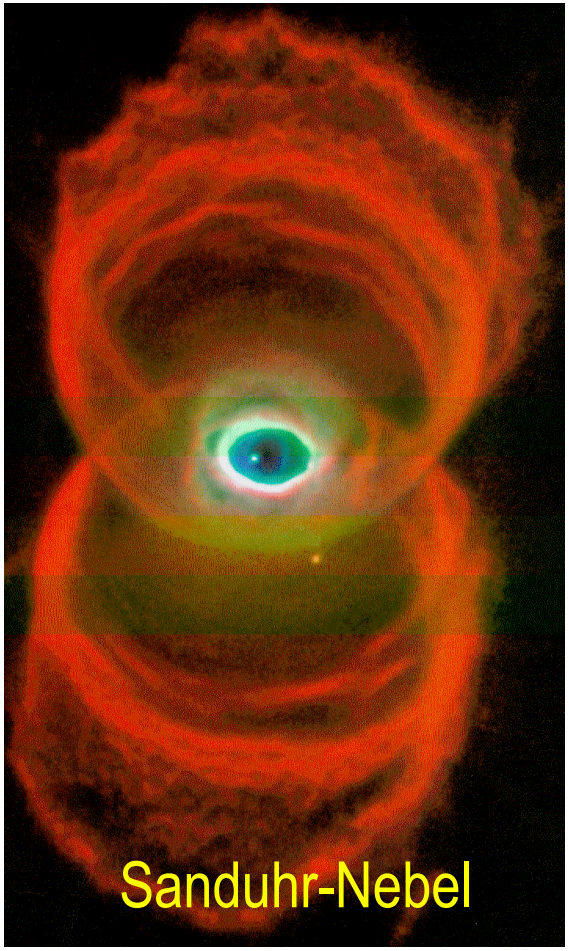
Mondkrater Copernikus

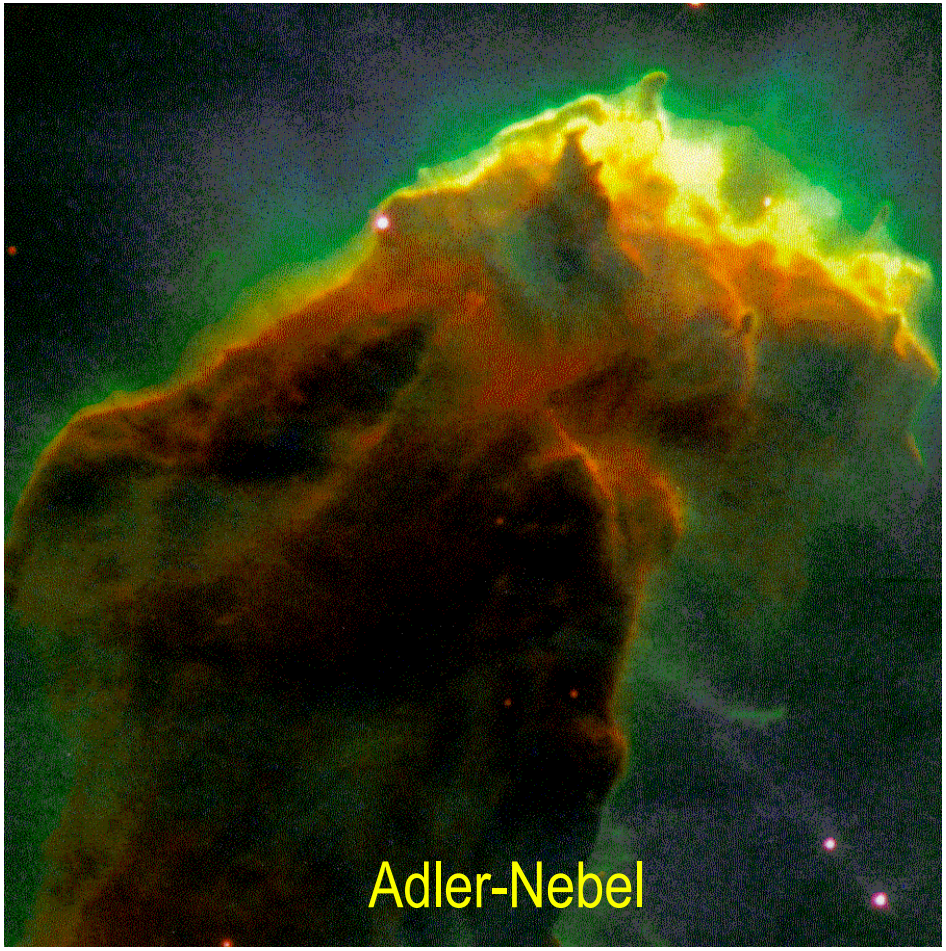


“Galileische Jupitermonde”

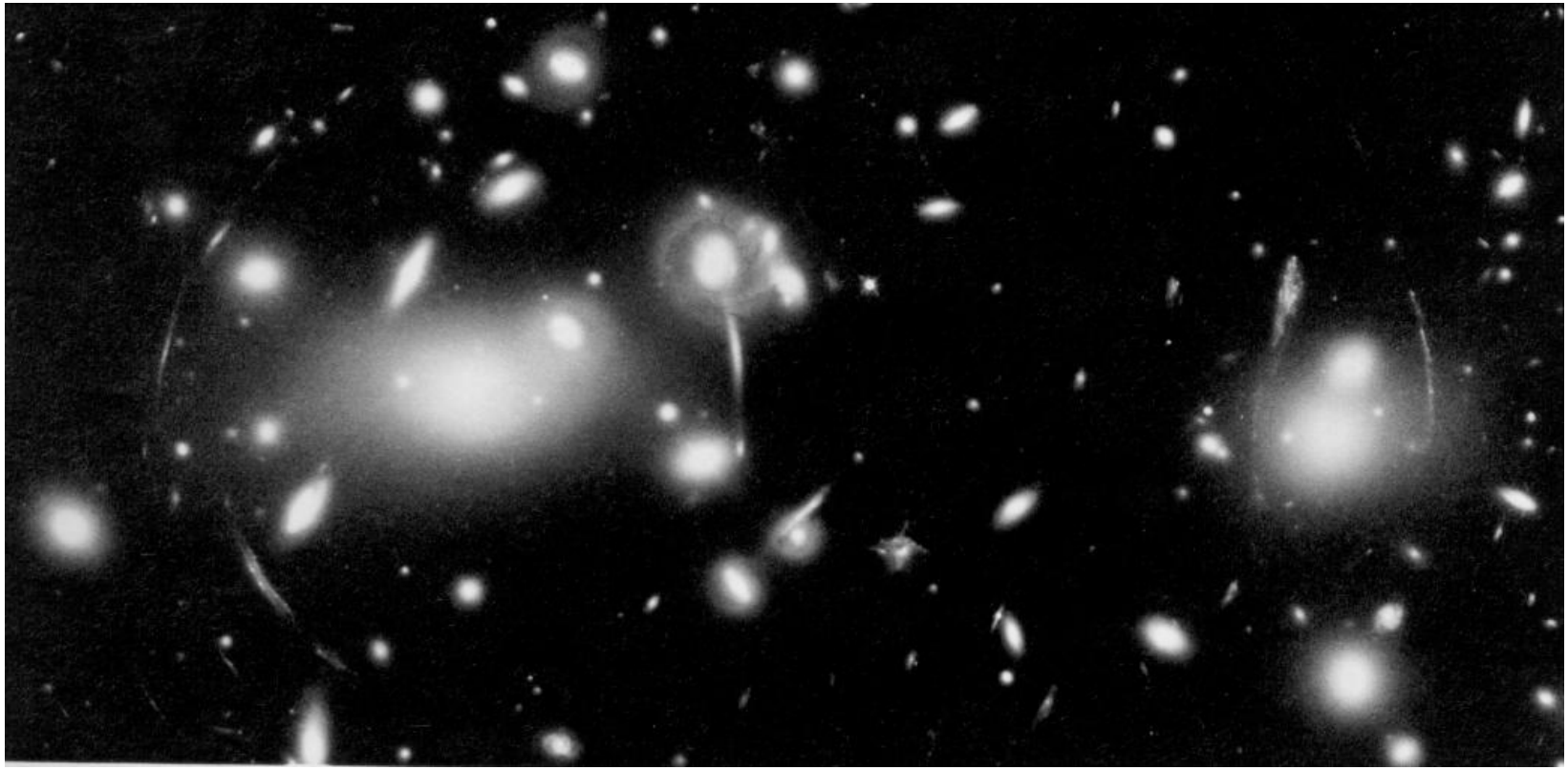


Nebel und Sternentstehung



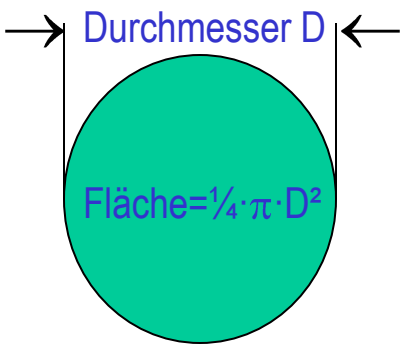


Gravitationslinsen (“Einsteinringe”)



Ringe: Gravitationsbeugung von Licht weit entfernter Galaxien am 10 mal nähererem Abell Galaxienhaufen ($2 \cdot 10^9$ LJ entfernt)

Vorteil großer Teleskope

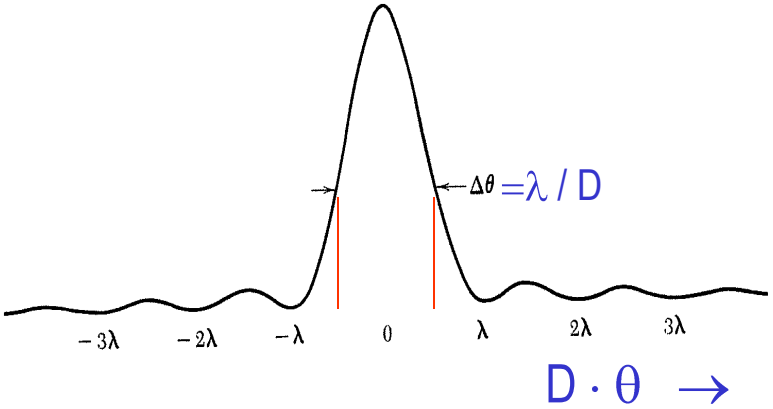


- Lichtsammlung und Auflösung verbessert:

- Lichtsammlung: $\propto D^2$

- Auflösung: $\propto \frac{\text{Wellenlänge}}{D}$

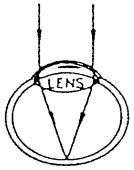
Beugung an Öffnung mit Durchmesser D:



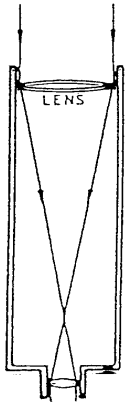
...in Praxis begrenzt durch Luftschlieren!

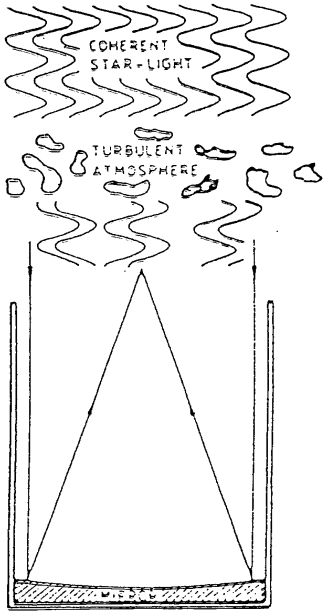
Erreichte Auflösungen

Auge



Galileo-Teleskop

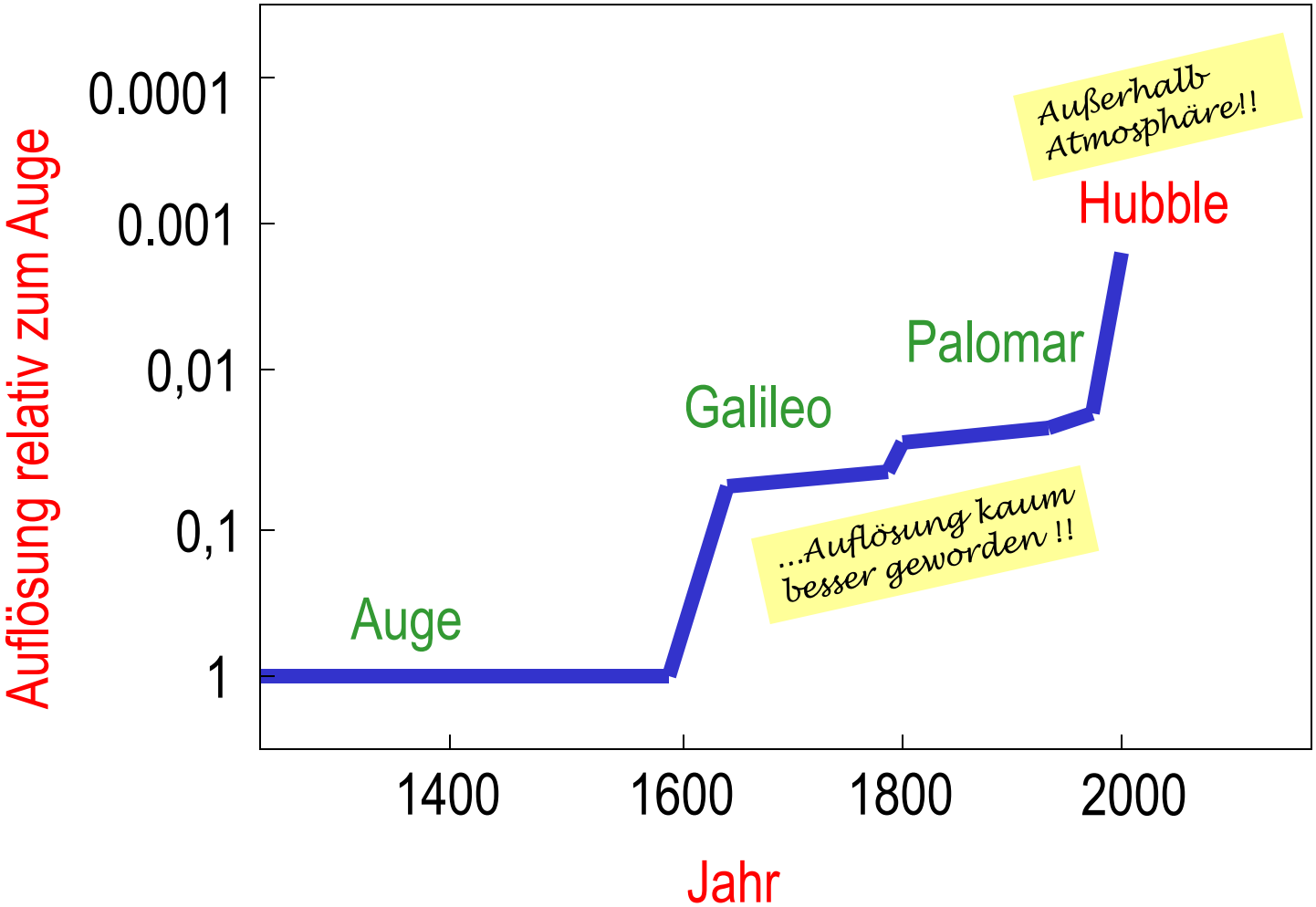


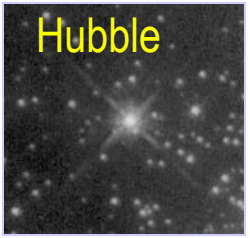


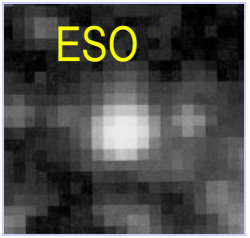
Mount Palomar

Öffnung [mm]:	5	25	5000	
Lichtmenge:	1	25	1000000	(relativ!)
Auflösung [sec]:	25	5	0,025	(theoretisch)
	200	10	0,5	(praktisch)

„Quantensprung durch Hubble“



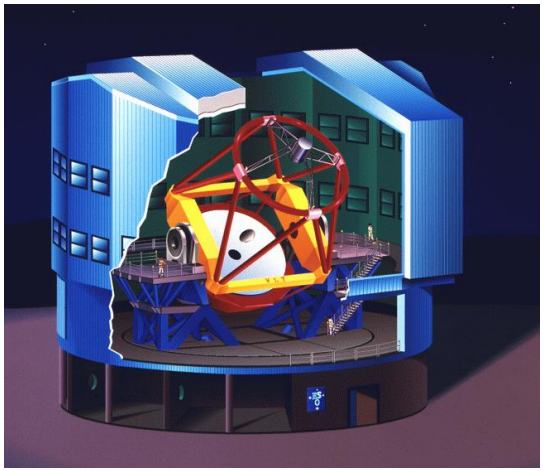




Very Large Telescope (ESO)

Cerro-Paranal (Chile)

“first light”:
UT1: Mai 1998
UT2: März 1999



VLT-Spiegel (Schott)

- 8,2 m Durchmesser
- 17 cm Dicke
- 23 t Gewicht
- 3 Monate Abkühlung
- poliert auf besser als 50 nm

  1/10 der Lichtwellenlänge!

Figure 2 - VLT Primary mirror blank in production (courtesy SCHOTT)

Zerodur-Keramik (Schott)

Kollidierende Galaxien (VLT)

ESO PR Photo 20b/99 (30 April 1999)

Giant Interacting Galaxies NGC 6872 / IC 4970
(VLT ANTU + FORS1)

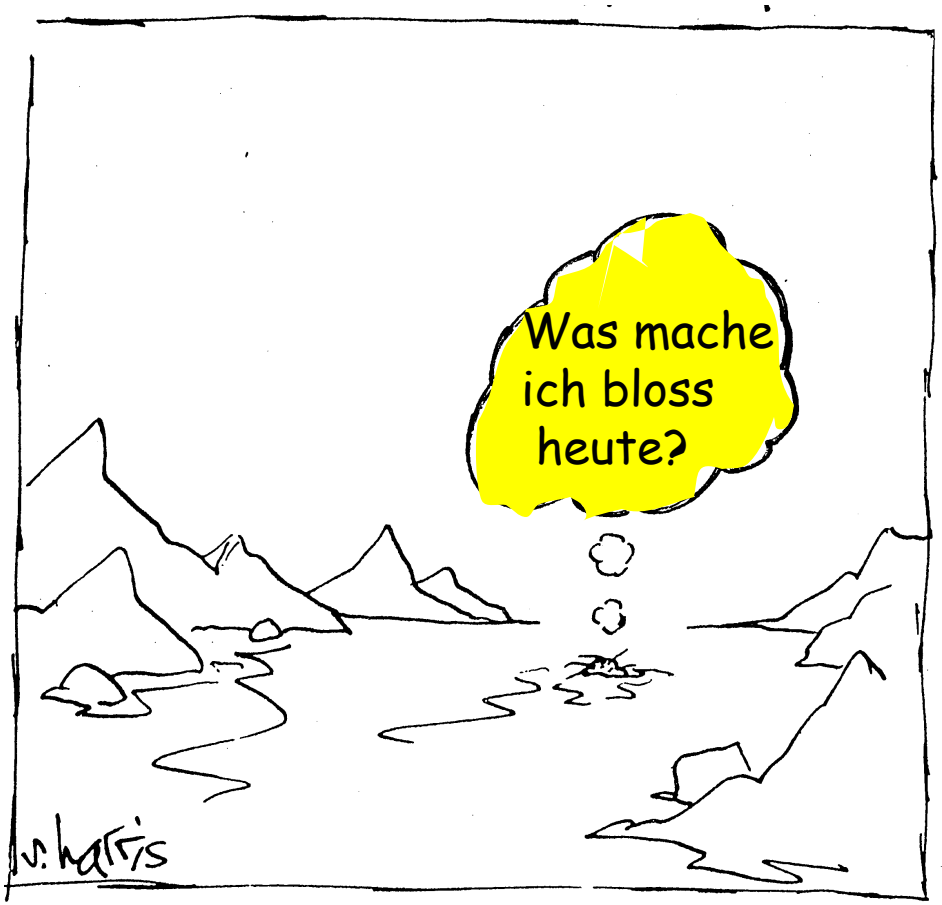
© European Southern Observatory

- Auflösung < 0.25 “ erreicht
- Verbesserung möglich durch:

Adaptive Optik

Spiegel wird kunstlich “verbogen” um Luftschlieren auszugleichen!

wie alles anfing ....



...wie alles anfing

Die Ausdehnung von Raum und Zeit

Edwin Hubble:

- Sterne fliegen auseinander!
- je weiter weg desto schneller!

$$v = H \cdot r$$

Geschwindigkeit

Hubble-Konstante

Abstand

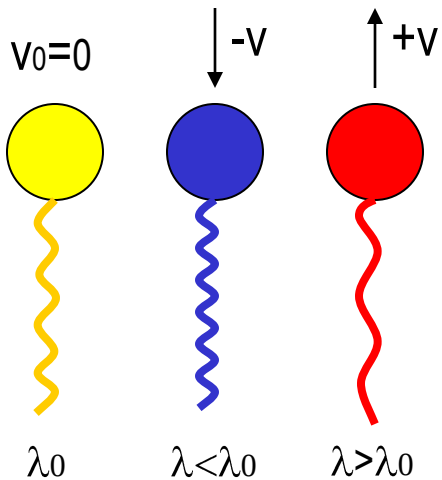
...typisch für Explosionsvorgang

„Urknall“

Wie misst man die Entfernung?

...zunächst bestimmt man die Geschwindigkeit ...

Optischer Dopplereffekt:



...wie akustischer Doppler-Effekt: „Polizeisirene“

Wellenlängenverschiebung:
(Rotverschiebung)

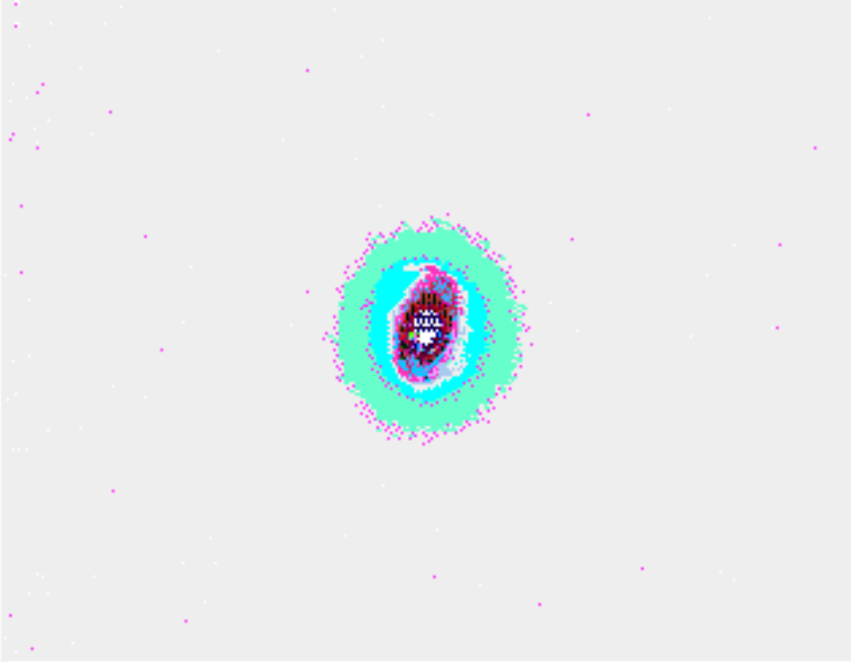
$$z = \frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1$$

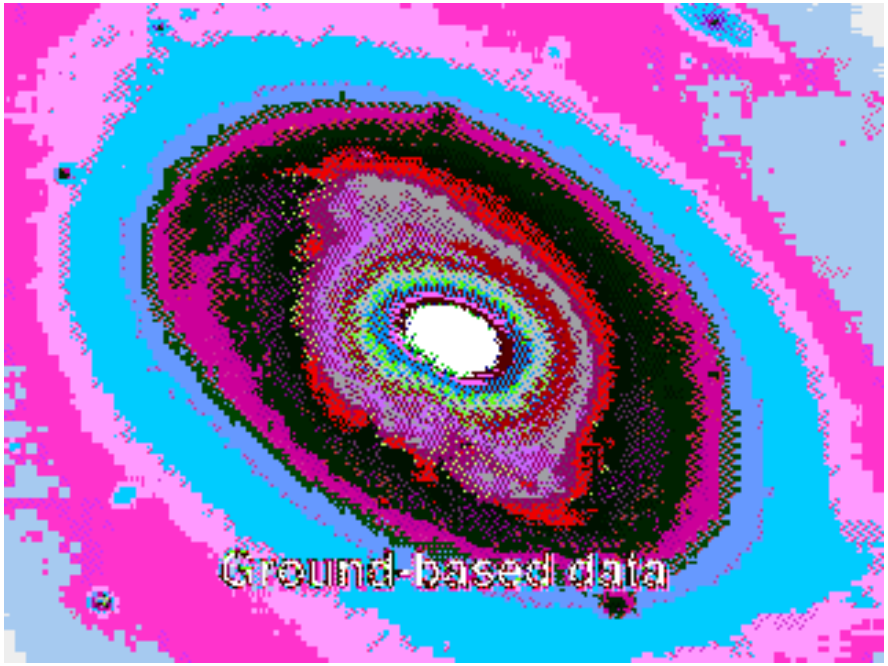
Entfernteste Galaxie (1999):

Hubble

$z = 6.68$ ⇒ $v \approx 58/60 \cdot c$!!

Cepheide und Supernovae

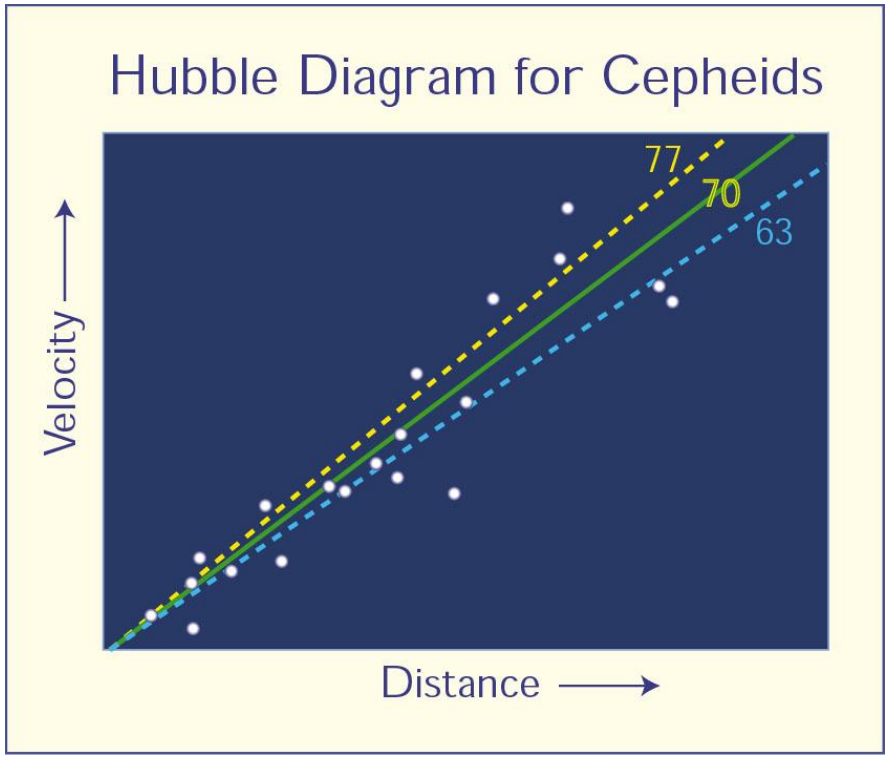




Cepheide

Supernova

Die Hubble Konstante



- Schwierige Messung!
  - wie Entfernung bestimmen?
- „Standardkerzen“ nutzen:
  - Cepheide, SN1a ..
- Bester Wert (Mai 99):

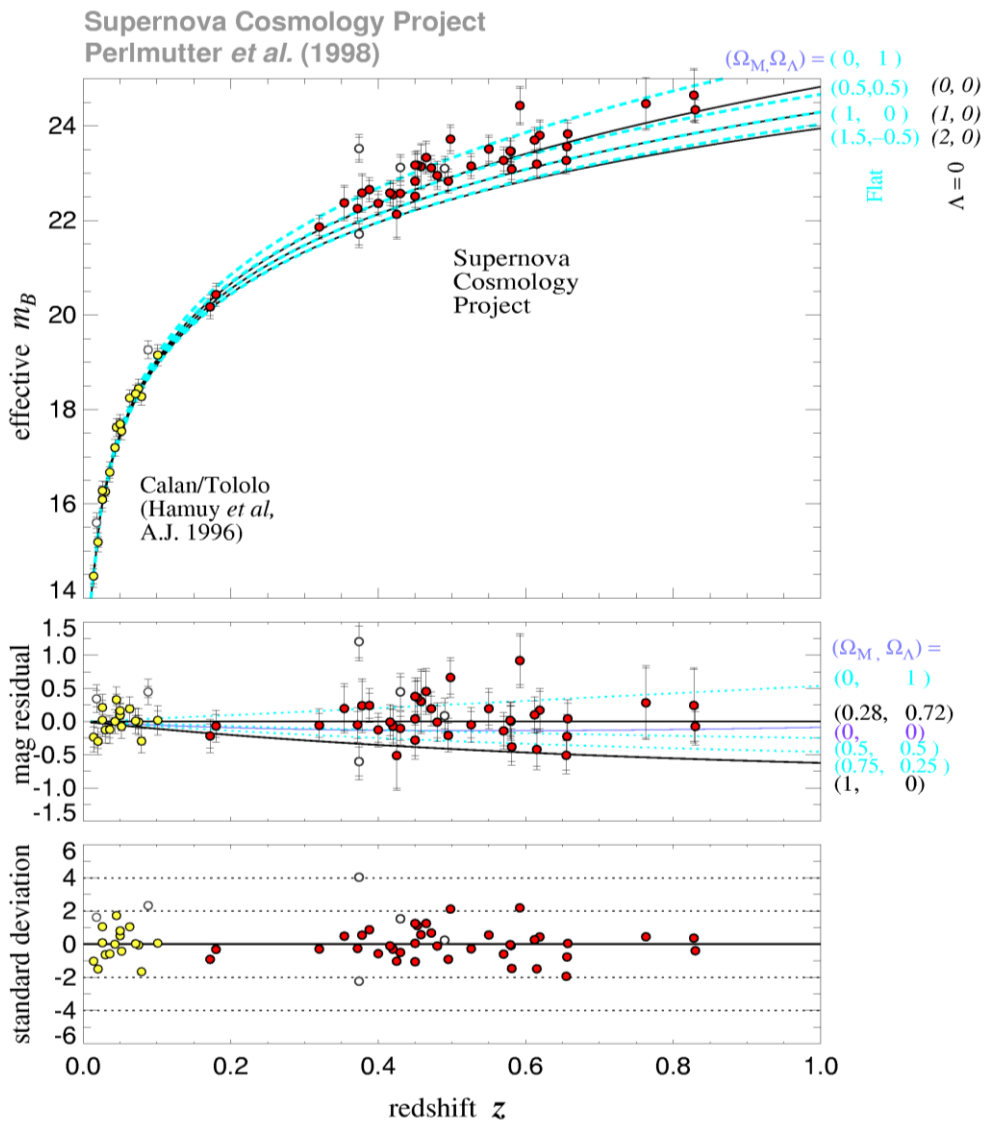
  $H=21.5\pm2.2$ km/s/10^6LJ

- Alter des Universums $\propto$ 1/H

  $\approx$ 12-15 Milliarden Jahre

Stern in 1 Milliarde Lichtjahren Abstand entfernt sich mit v=21500 km/s von uns!

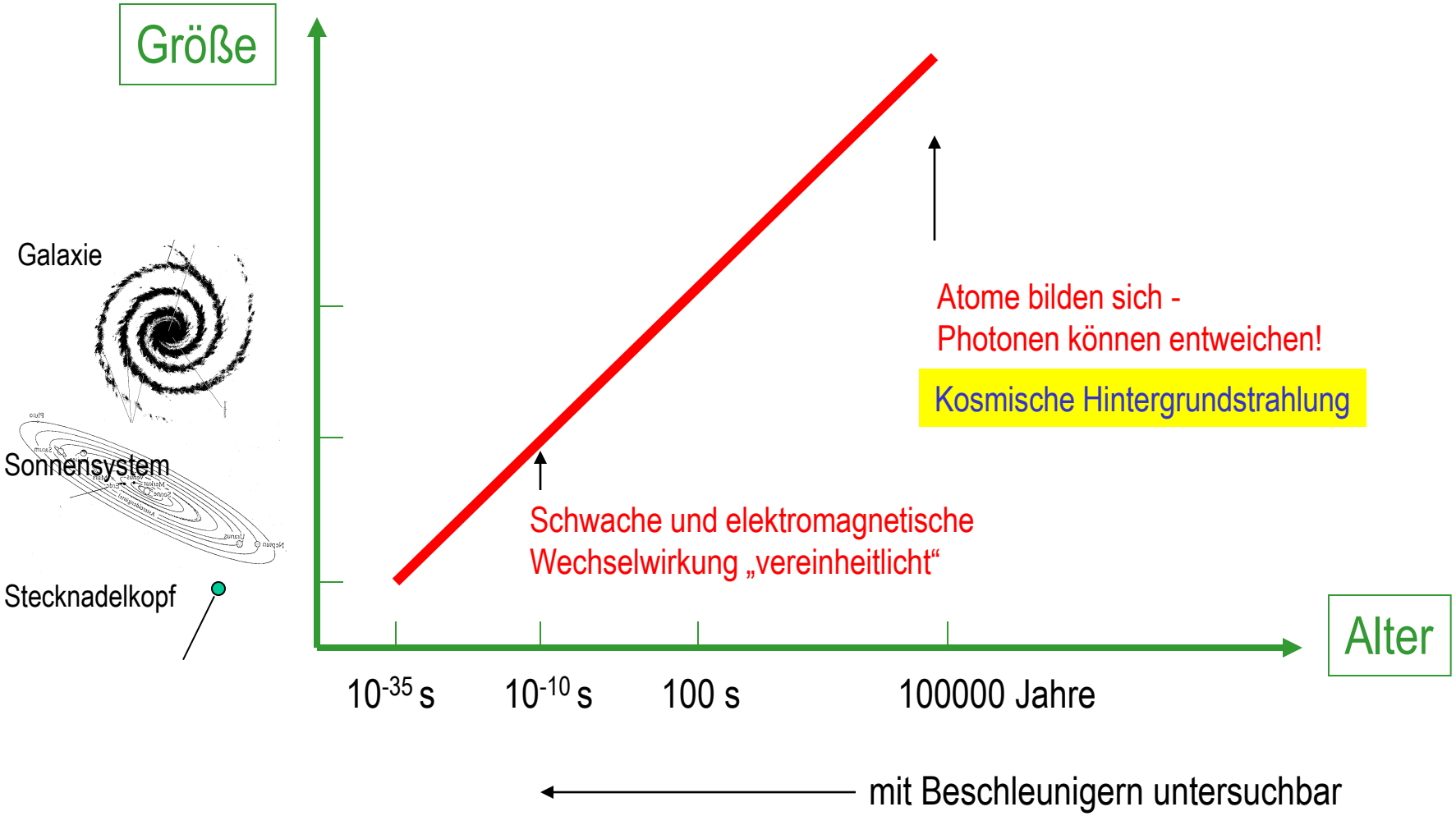
Supernova Ia “Kerzen”



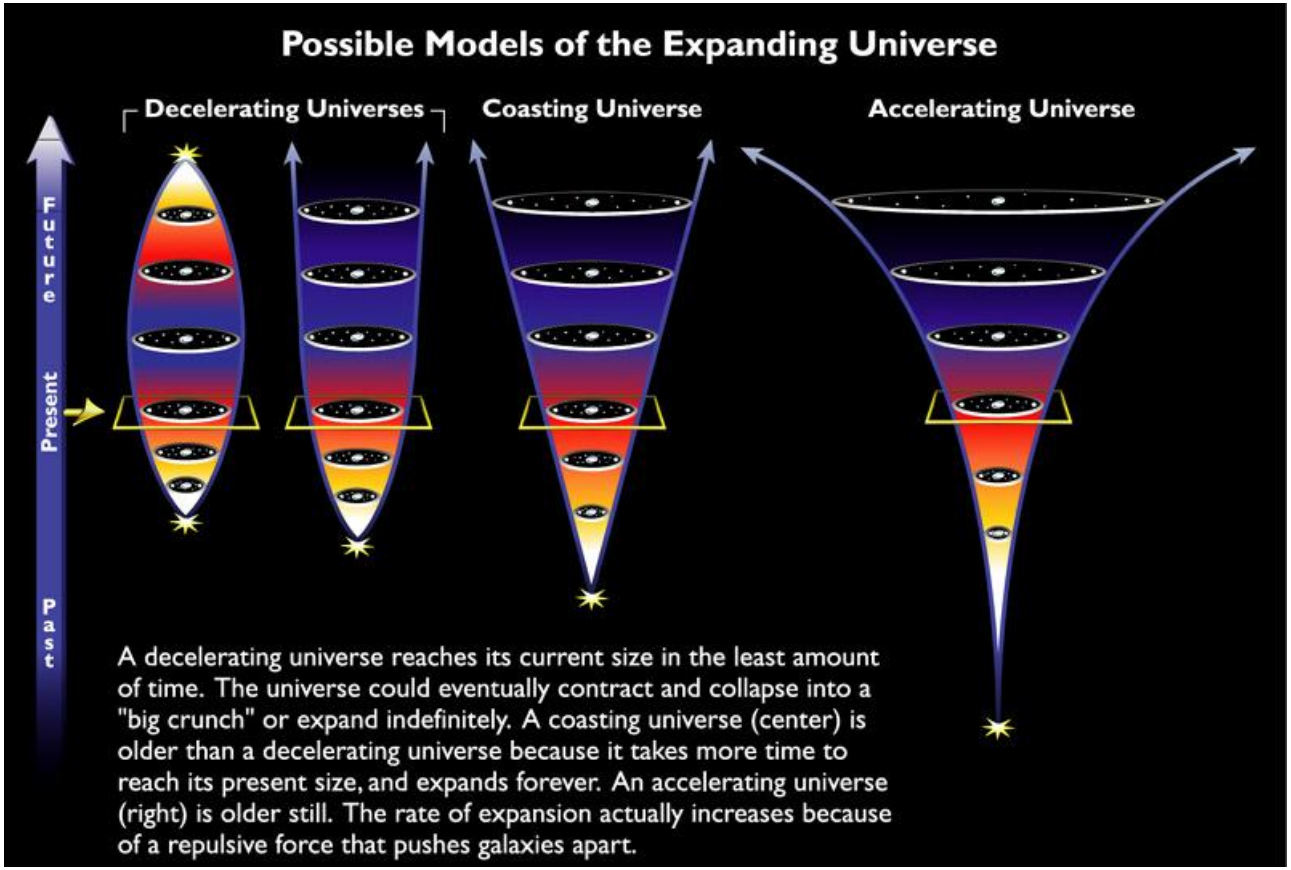
- Supernovae vom Typ Ia haben:
  - nahezu gleiche Helligkeit
  - riesige Energieabgabe($P>10^{36}$ AKW’s)
- extrem weit zu sehen ($z\approx1$)
- ...beschleunigt sich Ausdehnung des Universums?

“Antigravitation?”

Wachstum des Universums



...wie entwickelt sich das Universum?



„Natürliche Einheiten“

- Entfernung: 1 Lichtjahr $\approx 10^{13}$ km

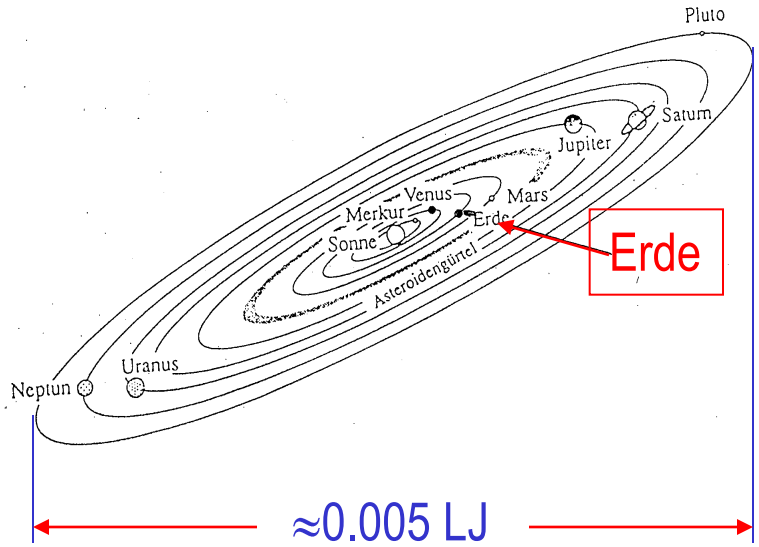
  Strecke die Licht in einem Jahr zurücklegt (v=c)

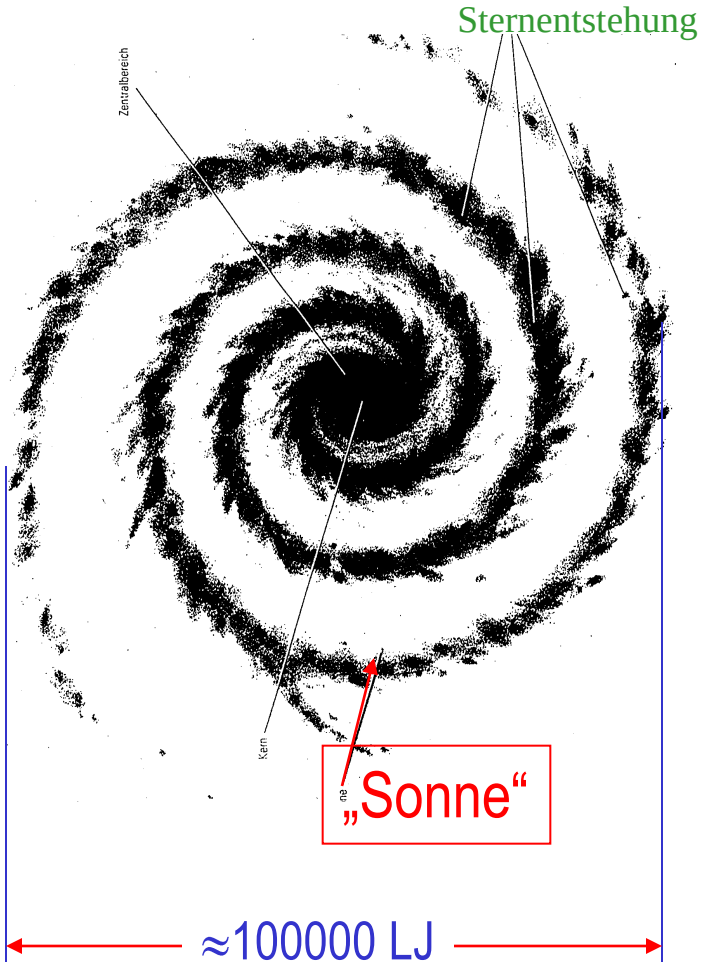
- Masse: 1 Sonnenmasse $\approx 2 \cdot 10^{30}$ kg

- Luminosität: L_{sonne} $\approx 4 \cdot 10^{26}$ Watt

  Energieabstrahlung der Sonne

Wo befinden wir uns im Universum?

- Sonnensystem: ≥ 9 Planeten
- Milchstraße: ≈ 10^{11} Sonnen
- 



...es geht nicht nur mit Licht!

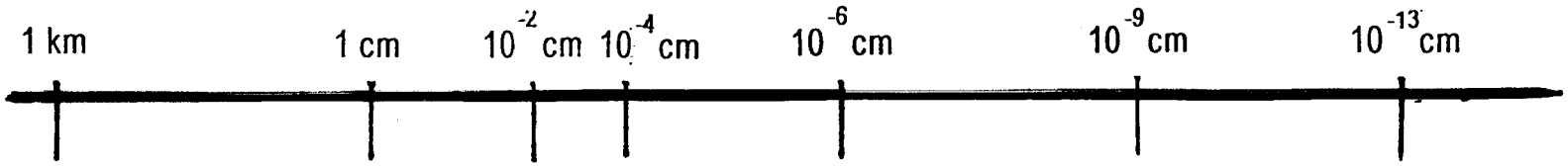
- Das elektromagnetische Spektrum
  - Experimente mit Mikrowellen

    Kosmische Hintergrundstrahlung
  - Experimente mit γ-Strahlung

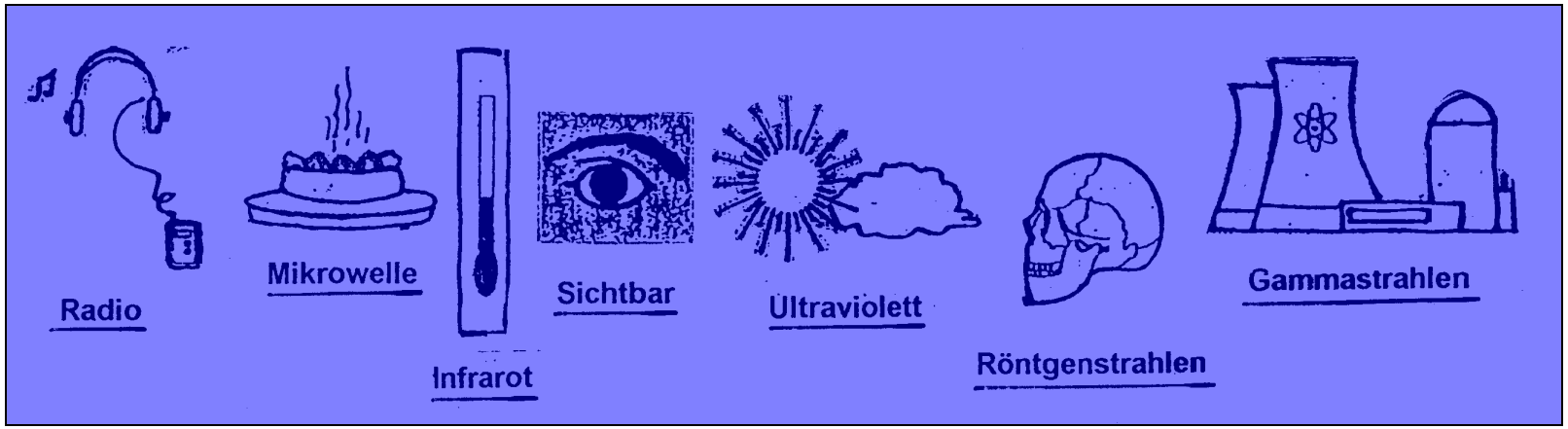
    Gamma-Strahlen Blitze
- Hochenergetische kosmische Strahlung

  Aktive Galaxien

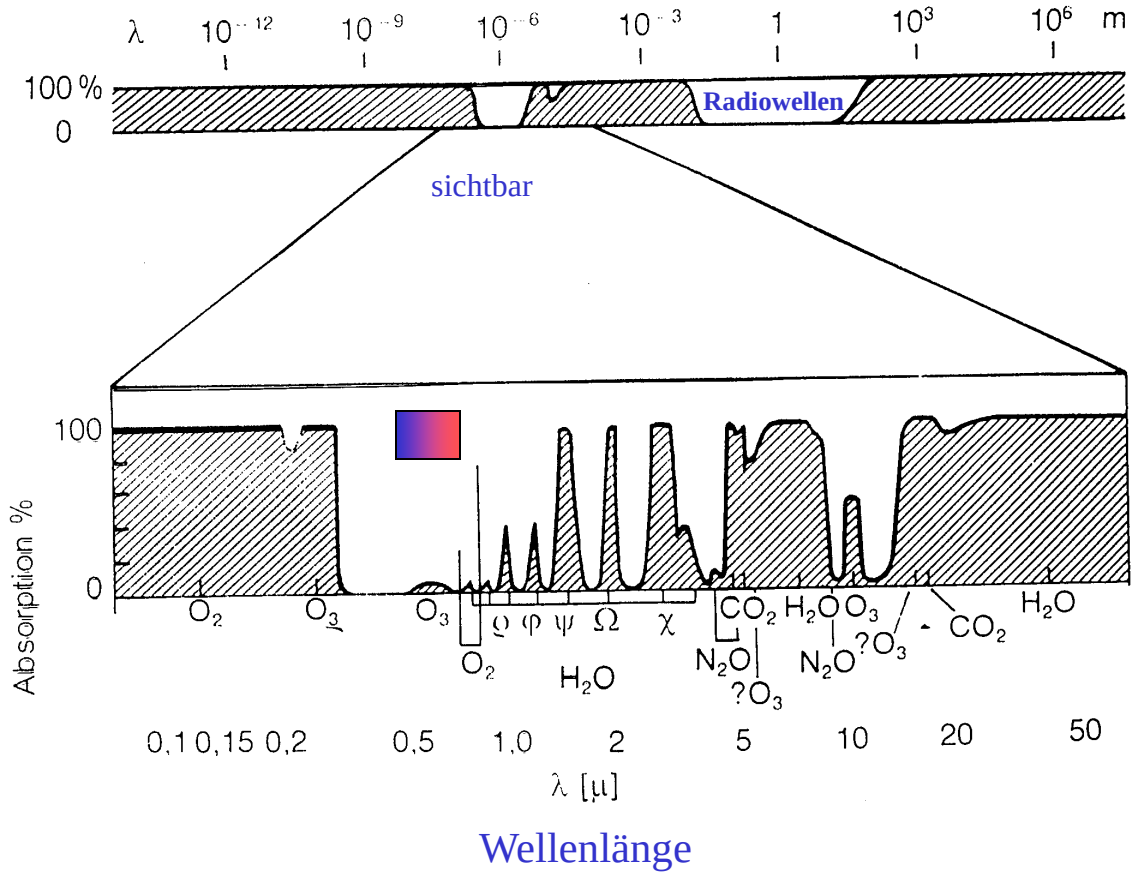
Das elektromagnetische Spektrum



Wellenlänge λ [cm]



Durchlässigkeit der Atmosphäre

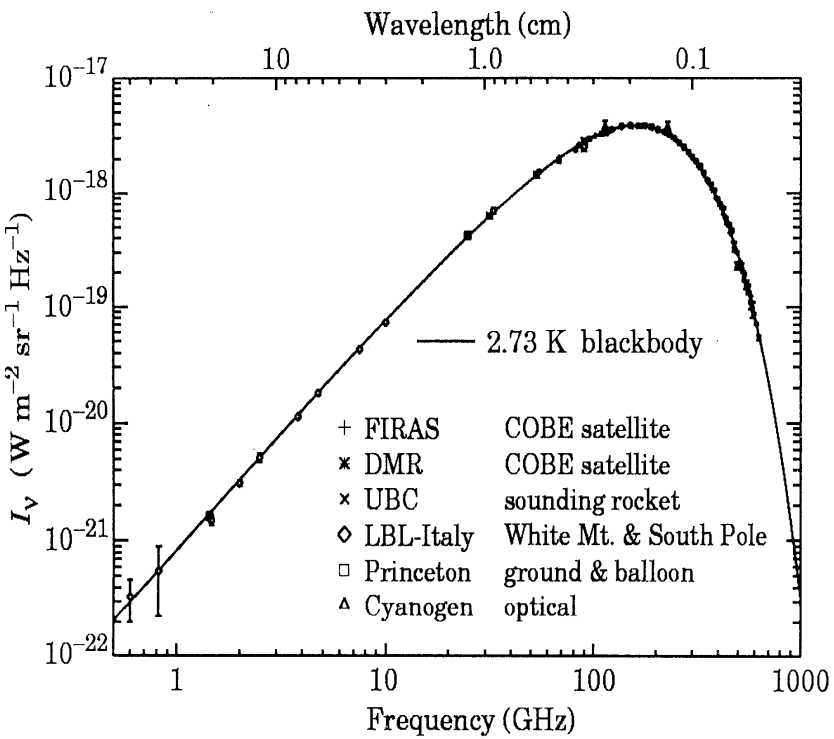


Wellenlänge

Atmosphäre absorbiert Strahlung!

Nur sichtbares Licht und Radiostrahlung gelangt zu uns!

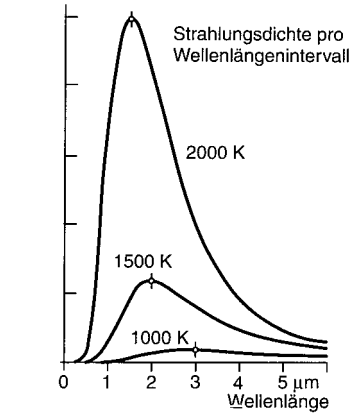
Kosmische Hintergrundstrahlung



„Eiskalter schwarzer Strahler“
mit T=2.73 K über absolut Null!

- Körper mit Temperatur T [K] strahlen mit Wellenlängen λ
- Planck´sches Gesetz:

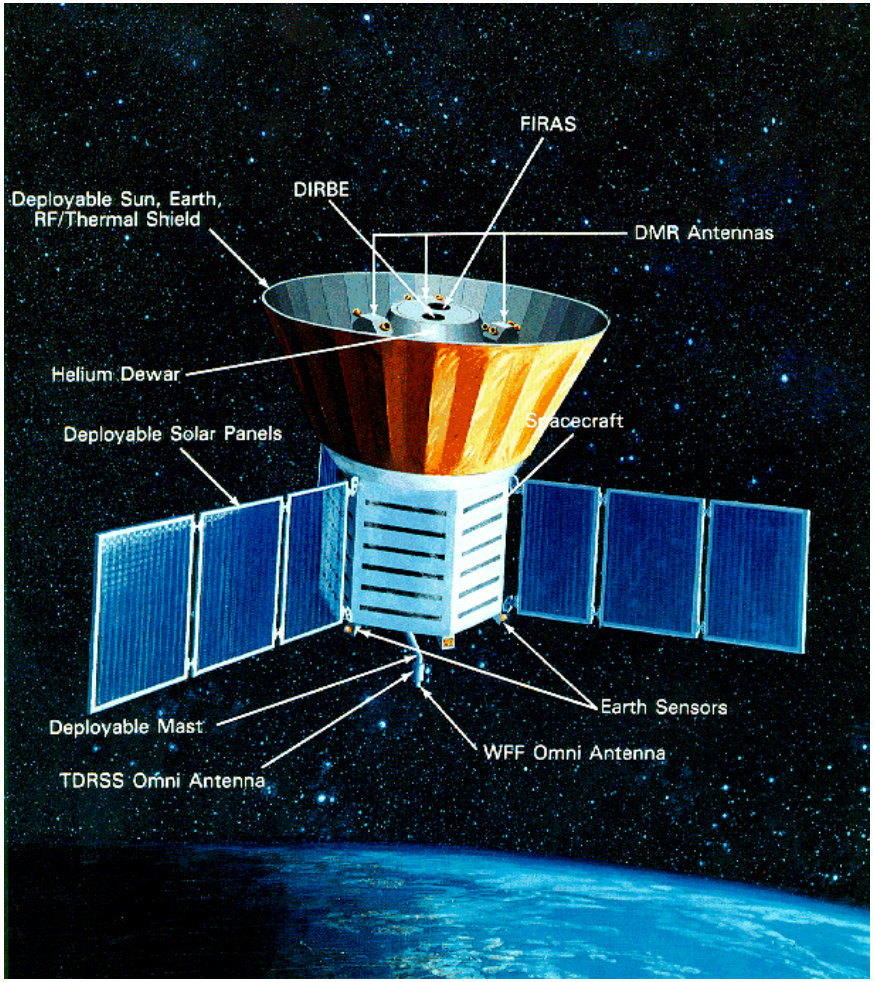
$$L_\lambda = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT}-1}$$



Plancksches Strahlungsgesetz

... gilt für „schwarzen Strahler“

...der COBE Satellit

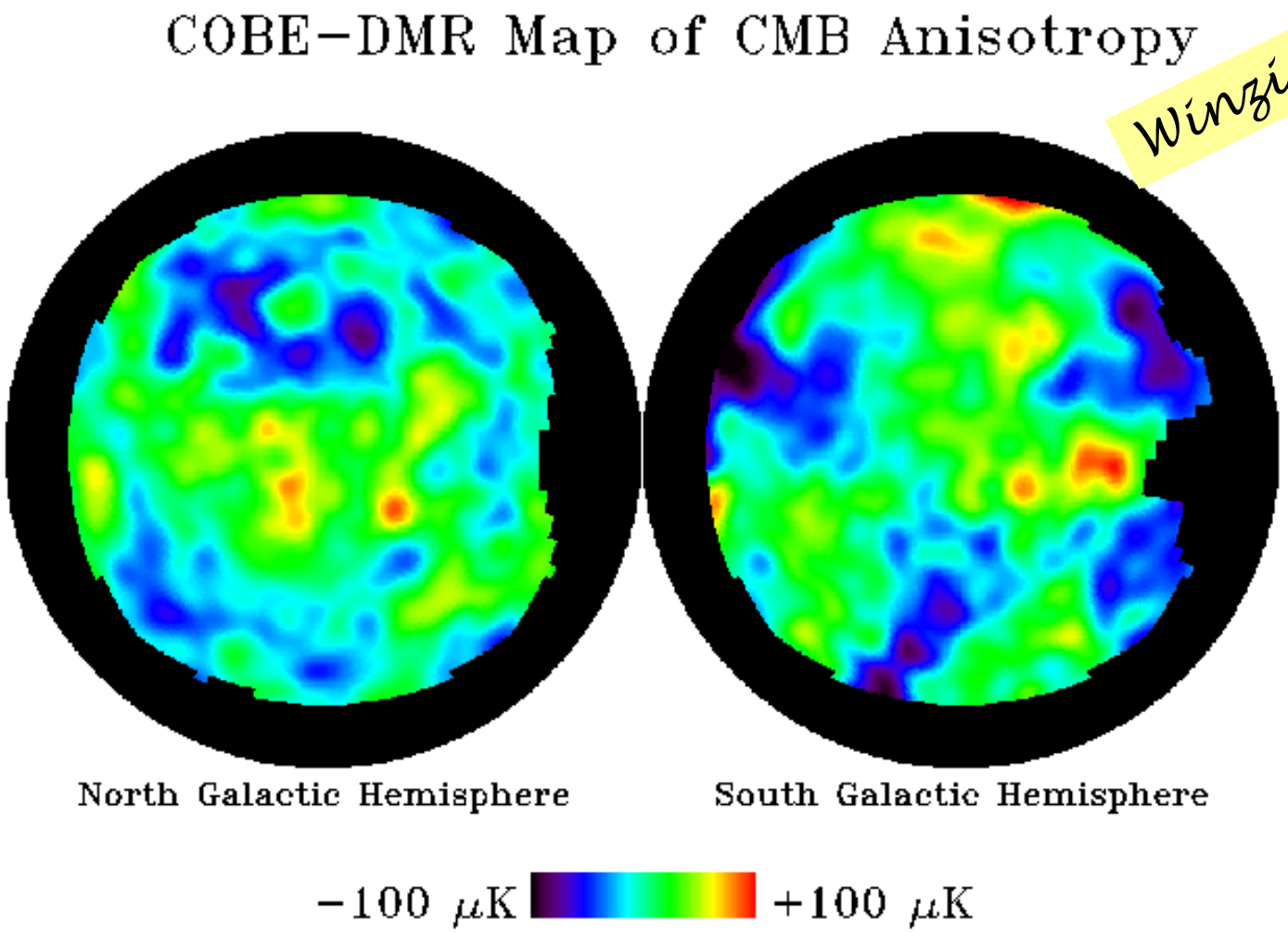


- Messung des Spektrums der Hintergrundstrahlung (Firas)
- Suche nach Abweichungen (Dirbe)

Genauigkeit: $\Delta T/T \approx 10^{-5}$!

Abweichung von Isotropie

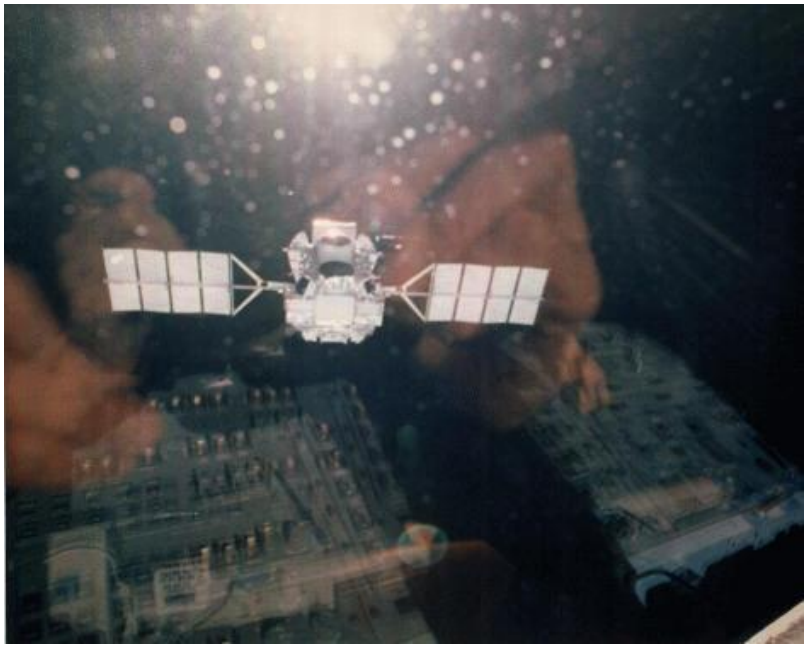
Winziger Effekt



Compton-Satellit

- Verschiedene Instru-mente zur Messung von Gamma-Strahlung
- Suche nach kurzen Signalen:

BATSE



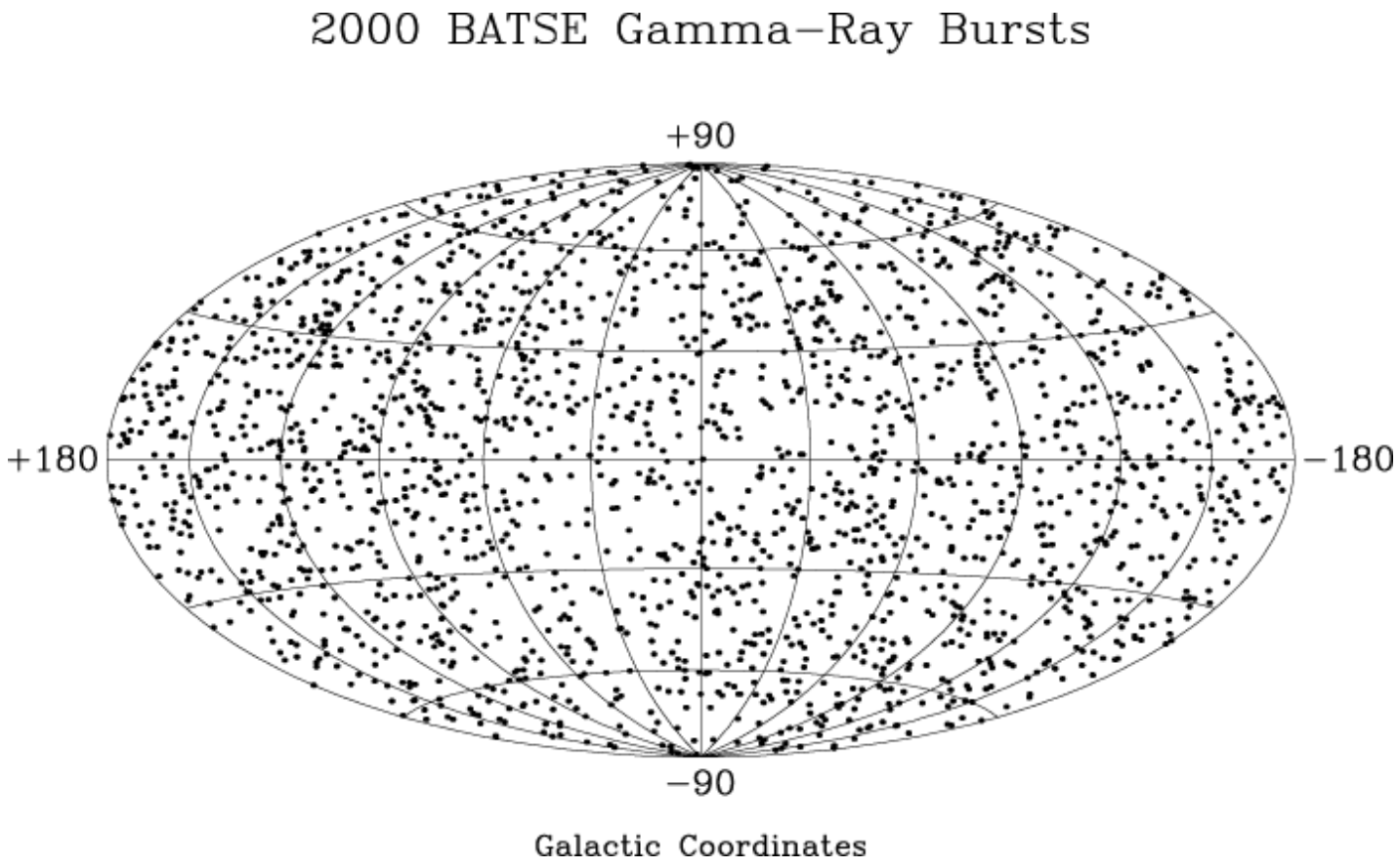
Blick aus Shuttle

Kosmische Hintergrundstrahlung

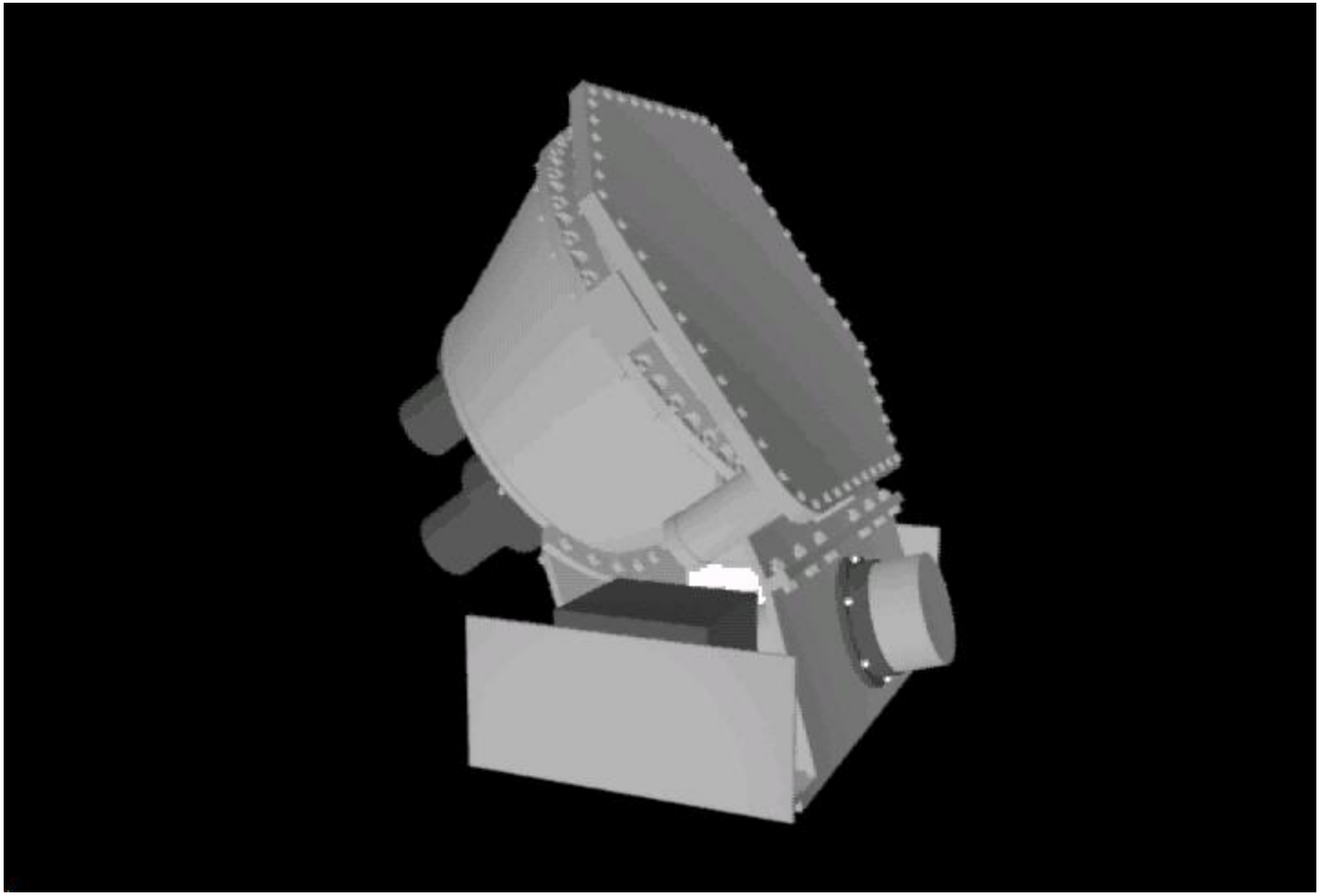
- “Nachrauschen” des Urknalls
- Durch Expansion auf 2.73 K abgekühlt (z=1100)
- Bild des Universums 300000 Jahre nach Geburt!
- Bis auf winzige Abweichungen (1/100000) isotrop!
- Winzige Abweichungen “Keime” für Galaxien?

☞ bestätigt Urknallhypothese

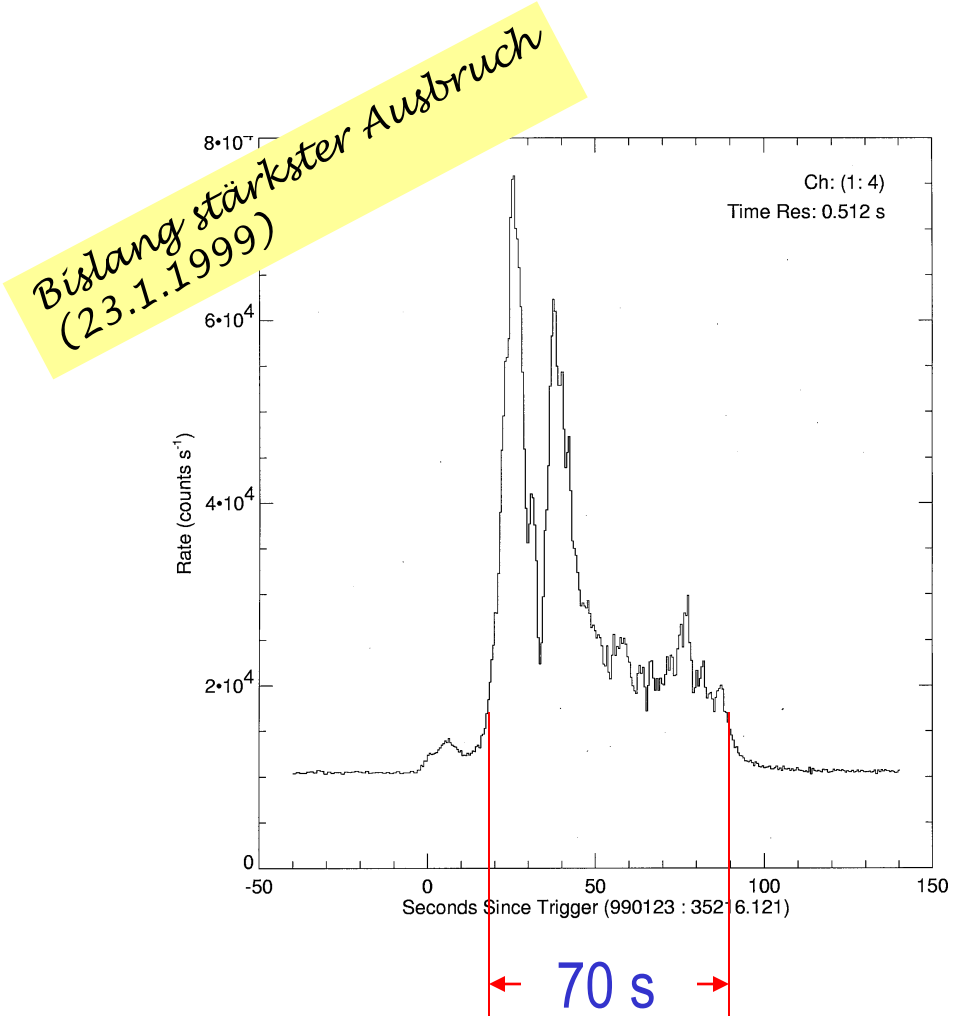
Gamma-Strahlen Blitze



BATSE-Detektor



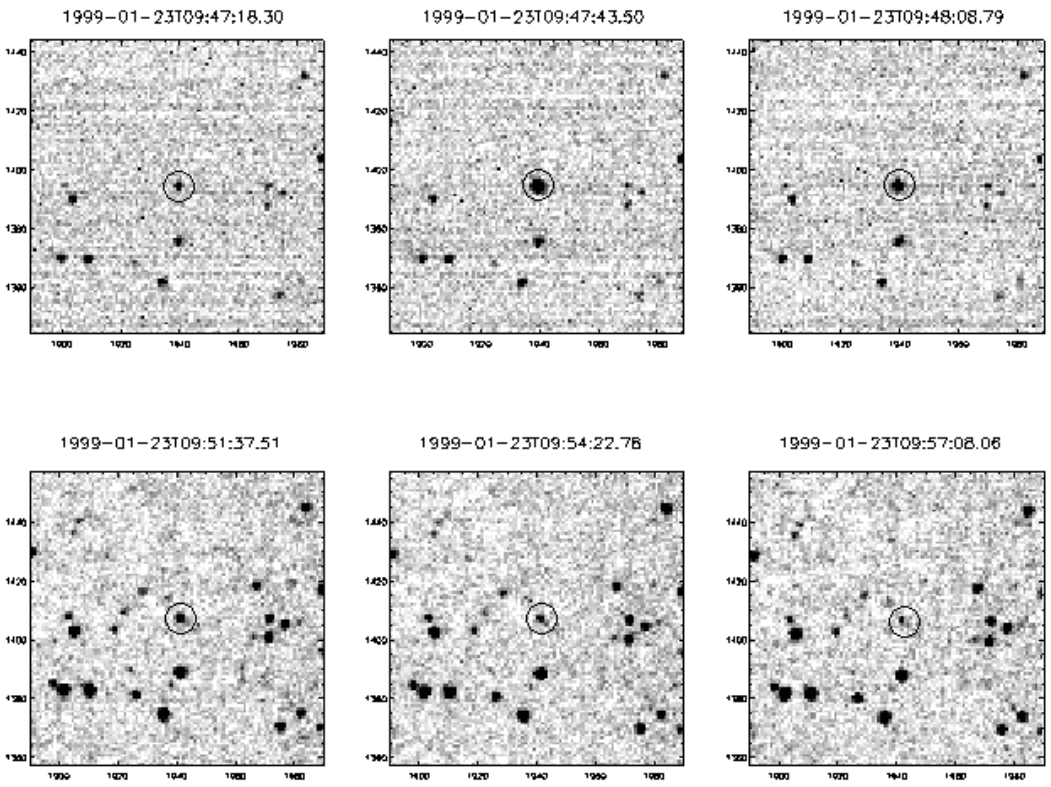
Gamma-Strahlen-Blitze



- Sehr kurze Ausbrüche (0.01-100 s)
- Energieabgabe manchmal so hoch wie Rest des Universums!
- I.A. sehr weit entfernt (Milliarden Lichtjahre)

Erste Beobachtung eines Gamma-Strahlen Blitzes mit Teleskop

23.1.1999



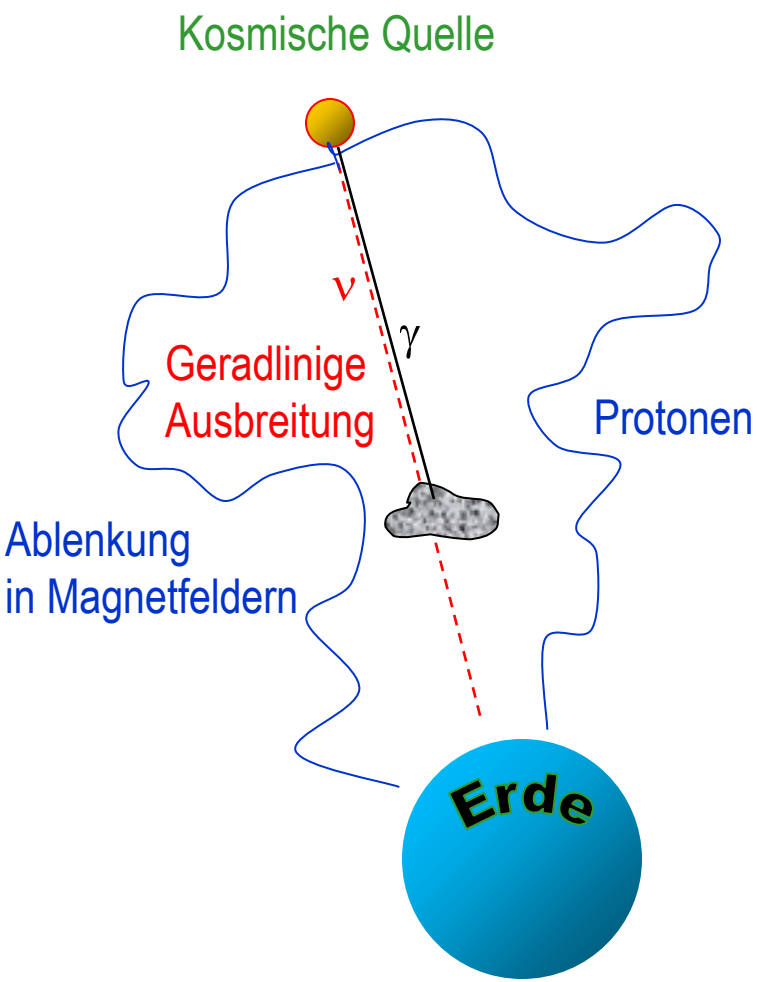
Beobachtungs-Zeitraum: ≈ 10 min

Gamma-Strahlen-Blitze

- Ursache noch unklar!
- kollidierende Neutronensterne?
- “Hypernova”?

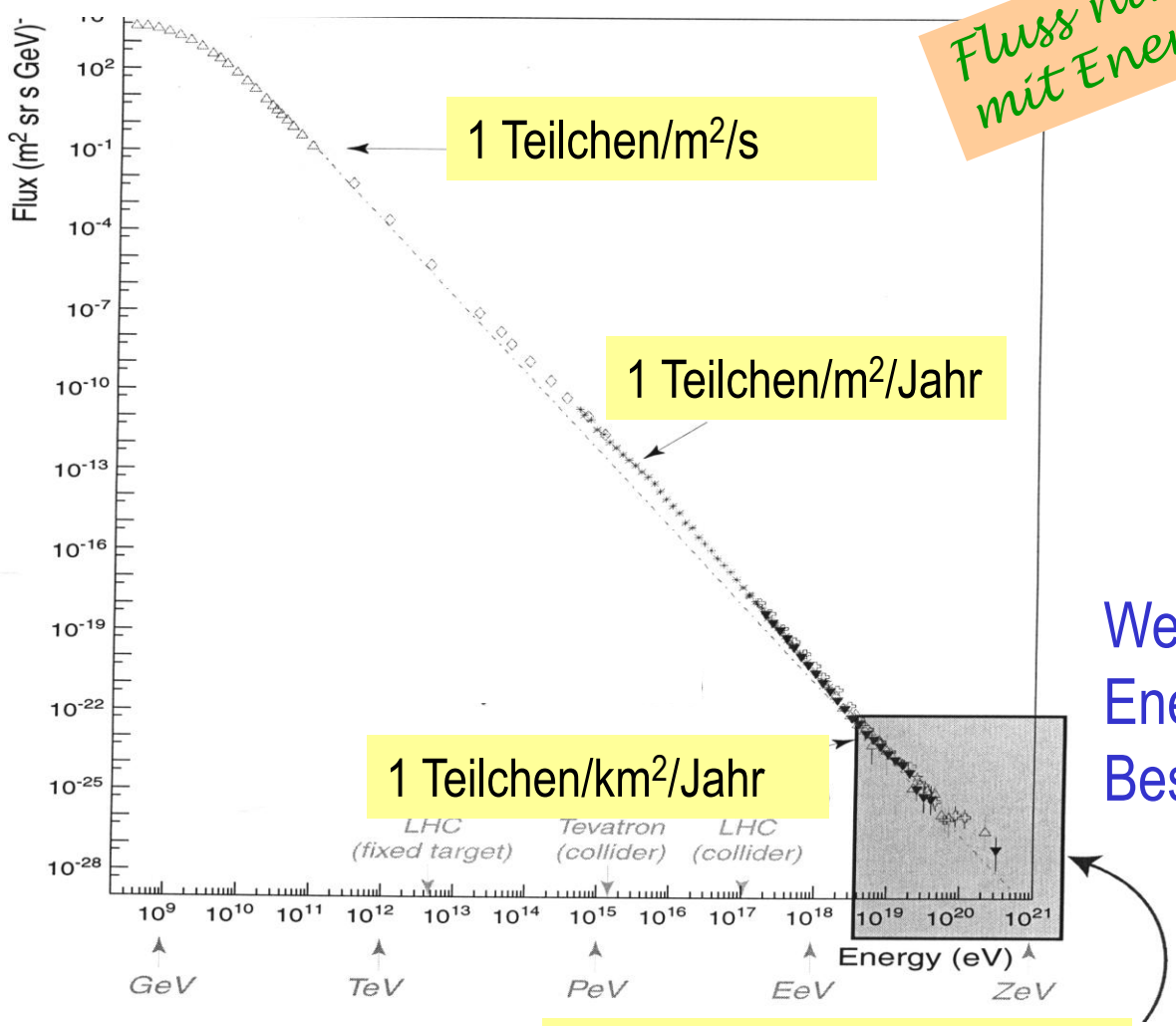
- Energiereichste kosmische Katastrophe

Kosmische Strahlung hoher Energie



- Schwache, ausgedehnte Magnetfelder (μG)
  - nur bei allerhöchsten Energien Richtungsinformation für geladene Teilchen
- Absorption von Photonen im intergalaktischem Staub
- Neutrinos durchdringen alles!
  - Aber schwierig nachzuweisen!

Kosmische Strahlung



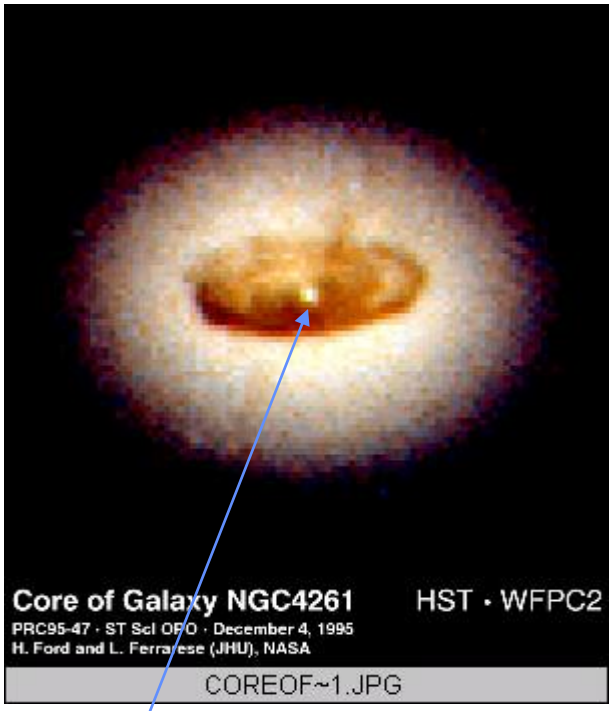
Fluss nimmt stark mit Energie ab!

Weitaus höhere Energien als in Beschleunigern!

1 Teilchen/km²/Jahrhundert

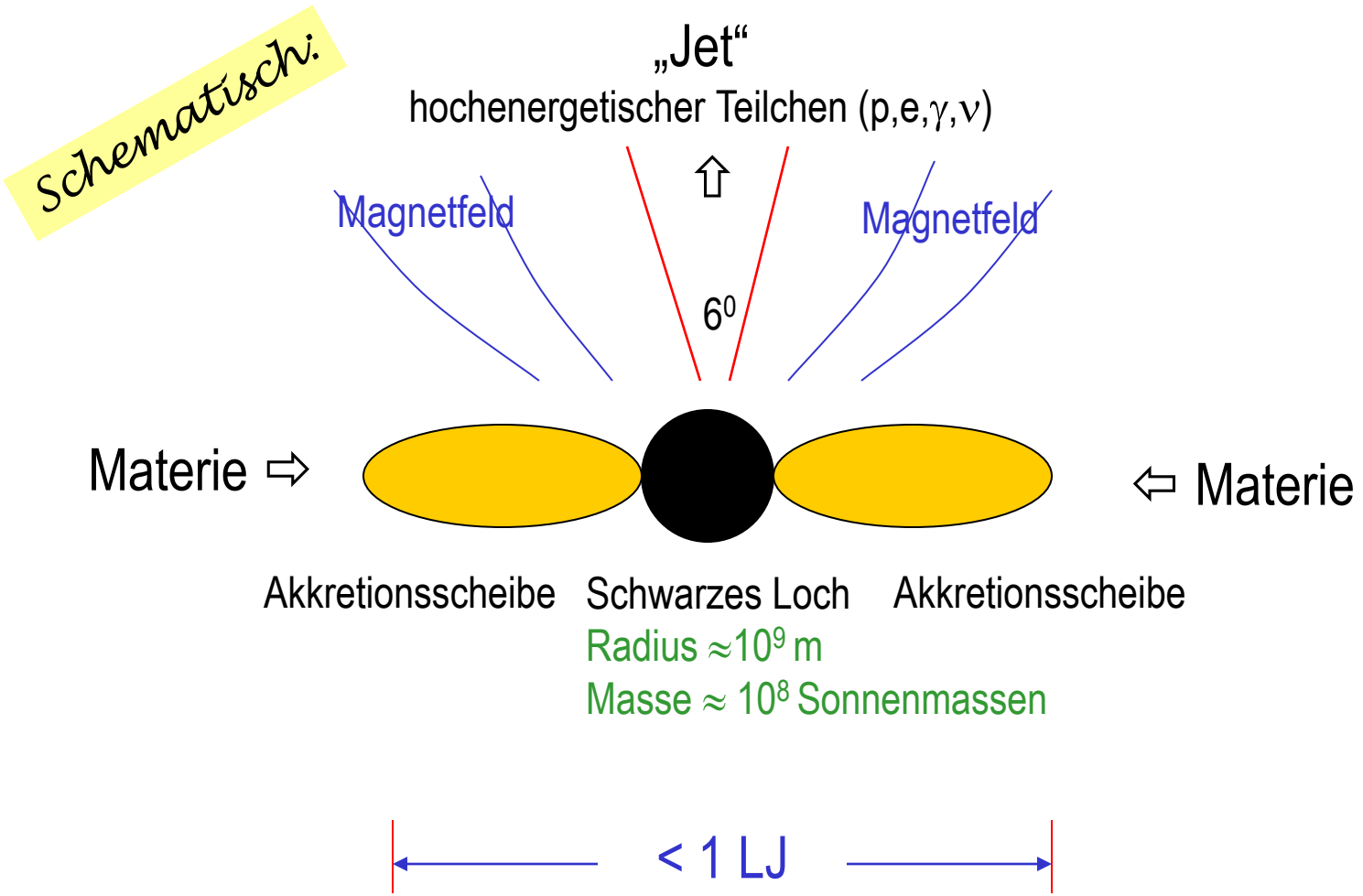
Aktive Galaxien

- 5% aller Galaxien aktiv!
- gewaltige Energieabgabe (100000 * Milchstraße!)
- Kern klein wie Sonnensystem, aber riesige “Radio-Ohren”
- Zentrum: Schwarzes Loch mit $>10^8$ Sonnenmassen
- “fressen” 10 Sonnen/Tag!



Aktiver Kern

Gegenwärtiges Bild aktiver Galaxien



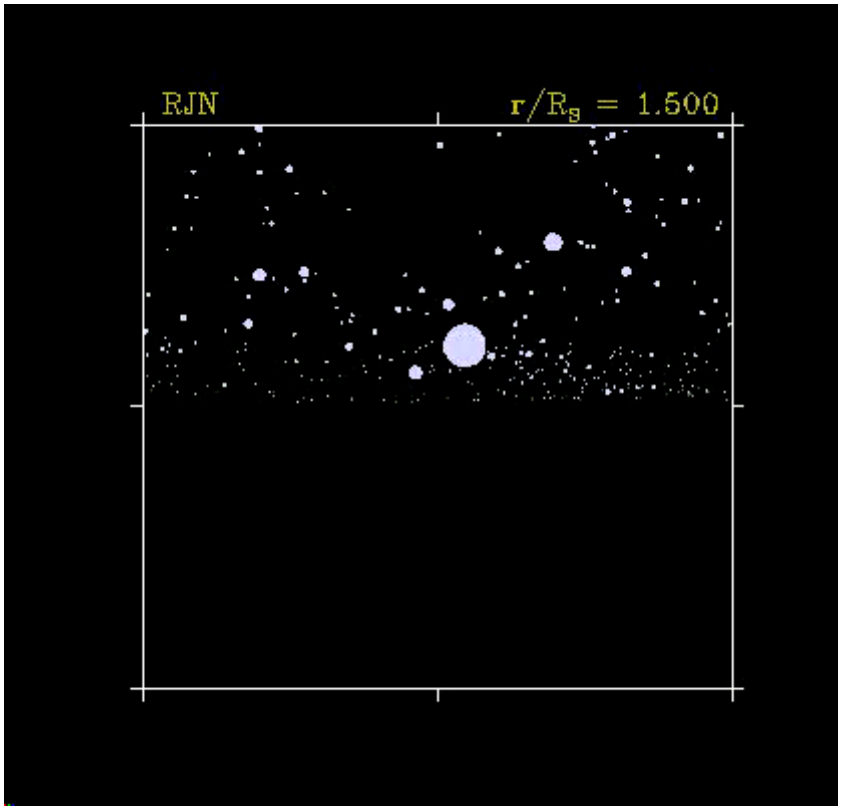
Unvorstellbare Dichten ..

- Neutronenstern mit Sonnenmasse hätte:
  - 13 km Durchmesser
  - Dichte: 10^{14} g/cm^3
  - Ameise aus Neutronenstern-Material wäre so schwer wie Öltanker!
- Schwarze Löcher noch viel dichter !!

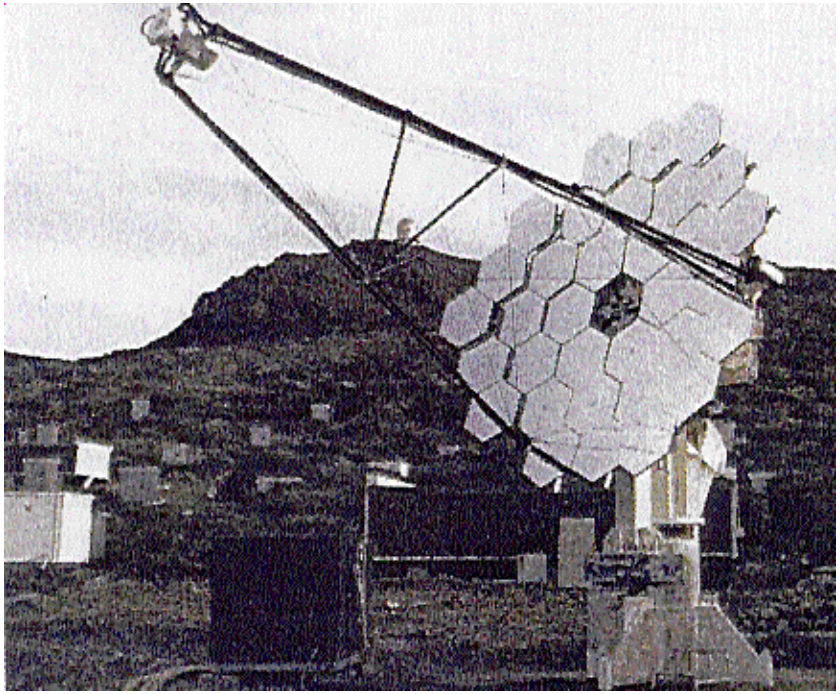
Schwarze Löcher aus der Nähe ...

- Schwarzes Loch krümmt Raum
- Lichtstrahlen werden abgelenkt
- nahe dran kann selbst Licht nicht entrinnen:
- Schwarzschild-Radius

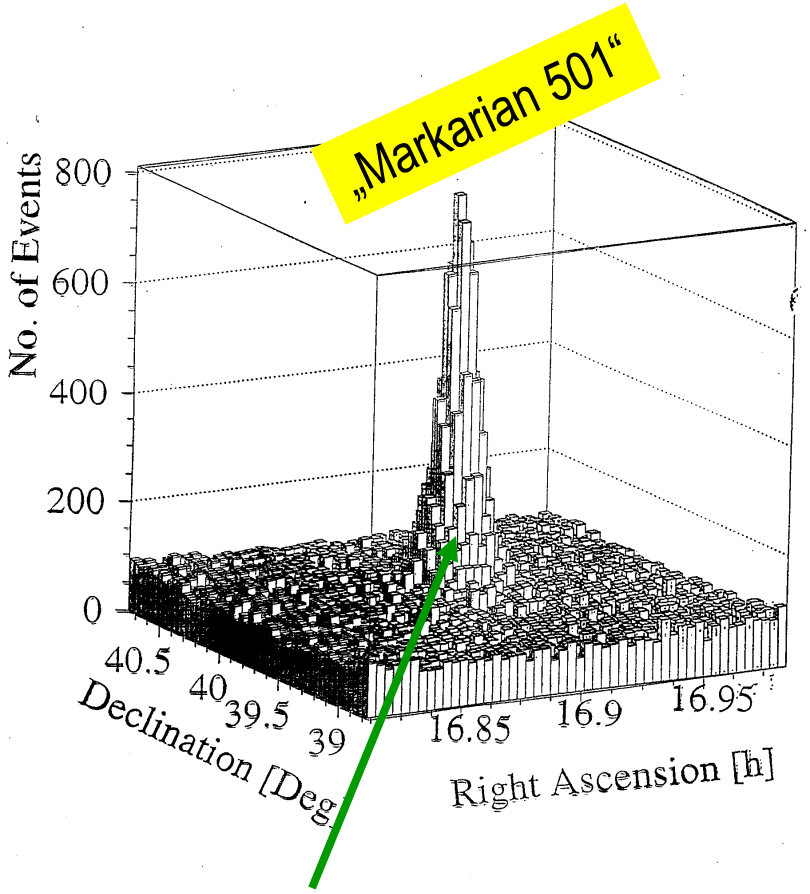
  $r = 2GM/c^2$



TeV γ´s aus aktiven Galaxien



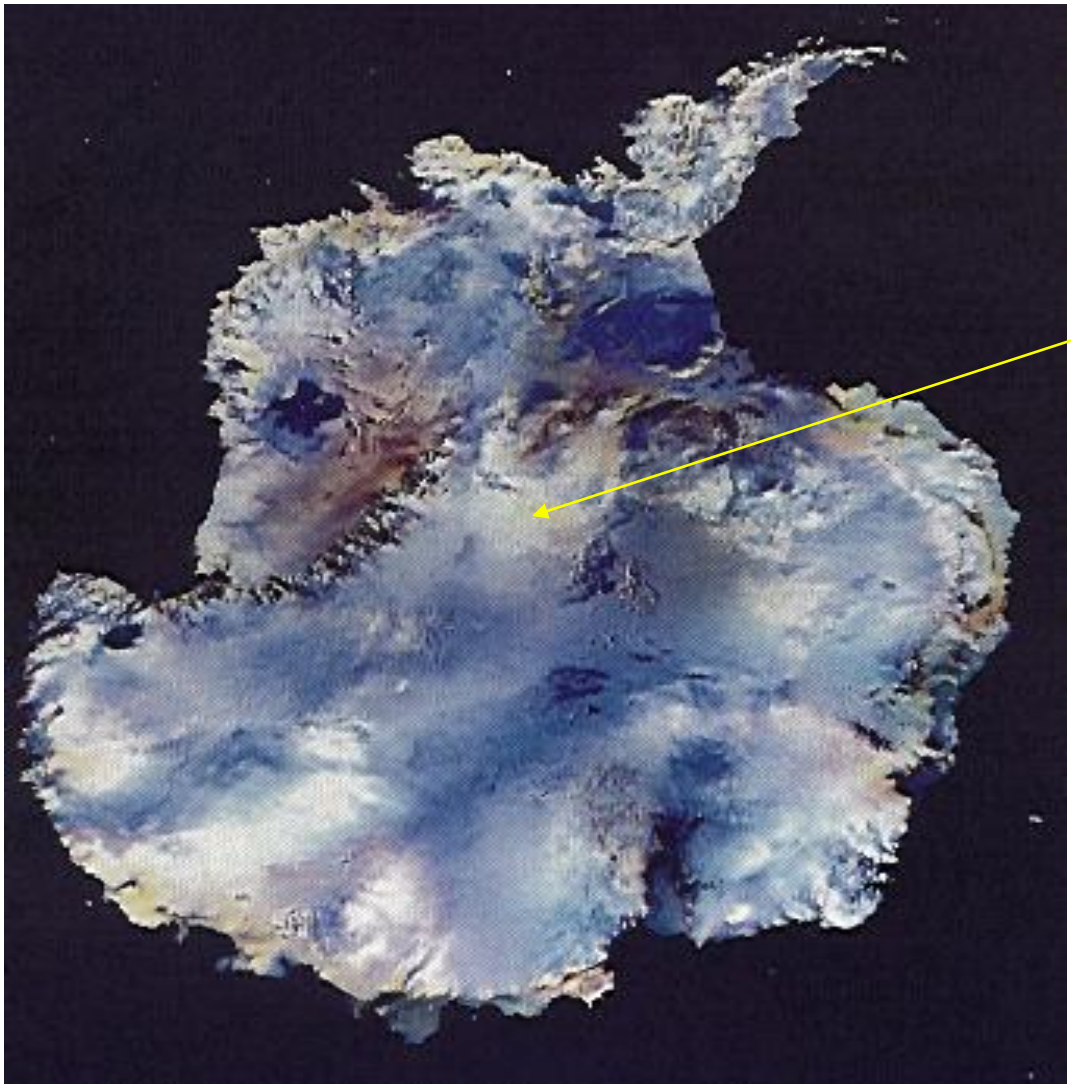
Hegra-Teleskop auf Kanarischen Inseln



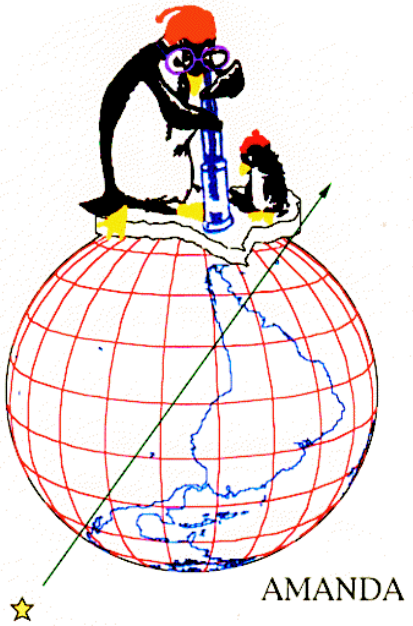
Signal einer aktiven Galaxie

… γ erzeugt Cerenkov Licht in Atmosphäre

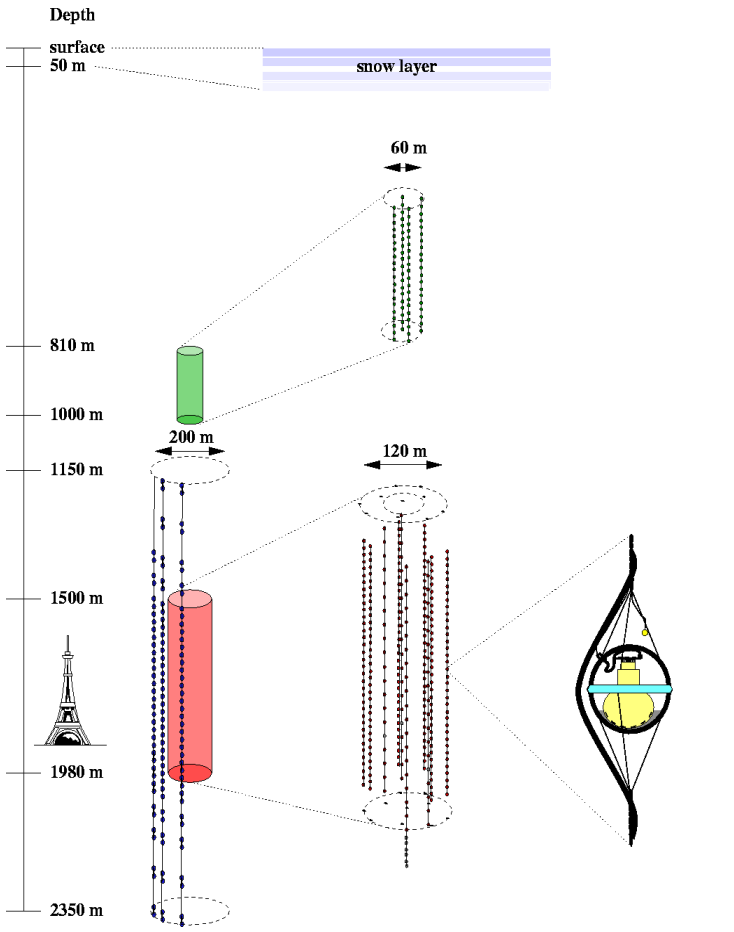
Neutrino-Fischen am Südpol ...



Scott-Amundson Station
(Südpol)



AMANDA Experiment am Südpol



AMANDA as of 1998
Eiffel Tower as comparison
(true scaling)

zoomed in on
AMANDA-A (top)
AMANDA-B10 (bottom)

zoomed in on one
optical module (OM)

- Neutrinos durchdringen Erde
- Erzeugen Myonen nahe Detektor
- Myonen erzeugen Č-Licht
- Eis in 1500 m Tiefe extrem transparent!
- Nachweis einzelner Photonen in Photovervielfachern

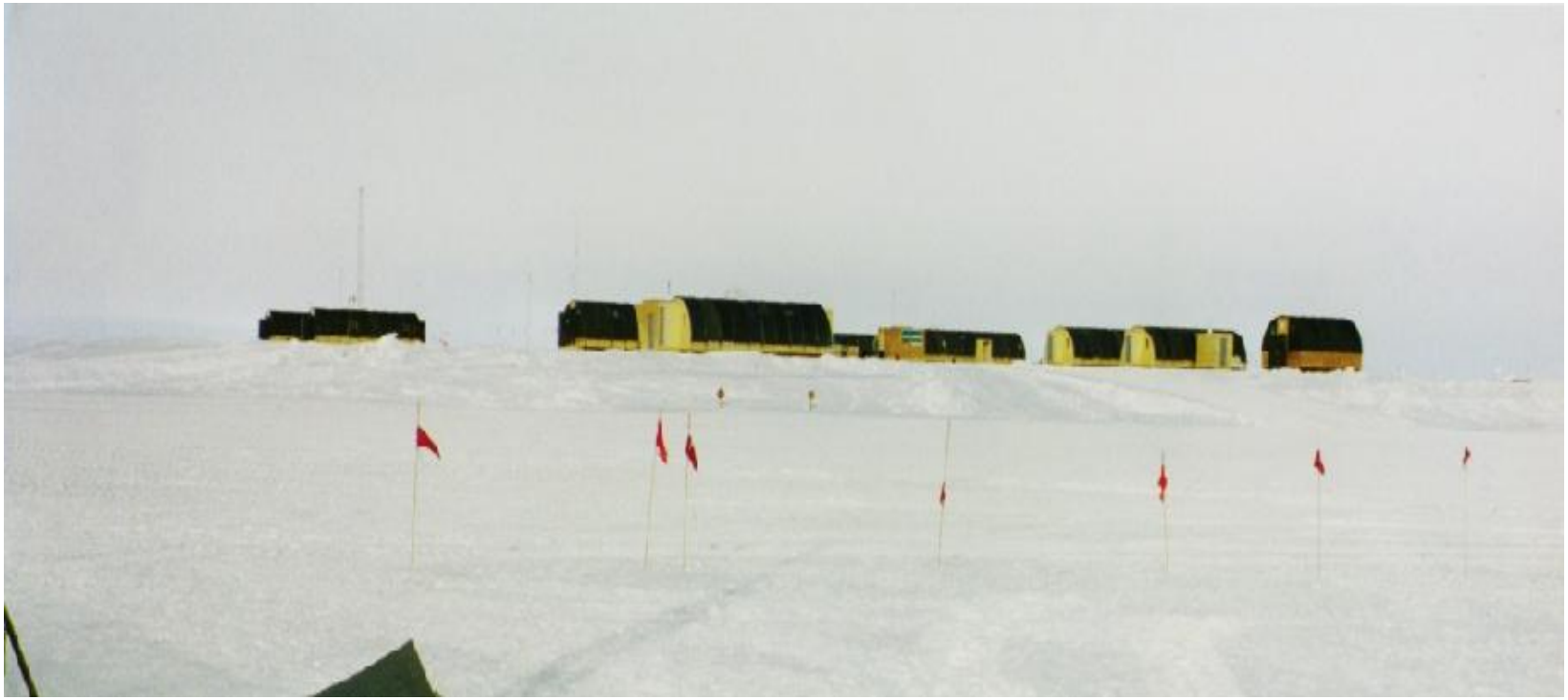
Mount Erebus

“offizieller Südpol”

“wirklicher Südpol”

“Dunkelgebiet”

Sommercamp



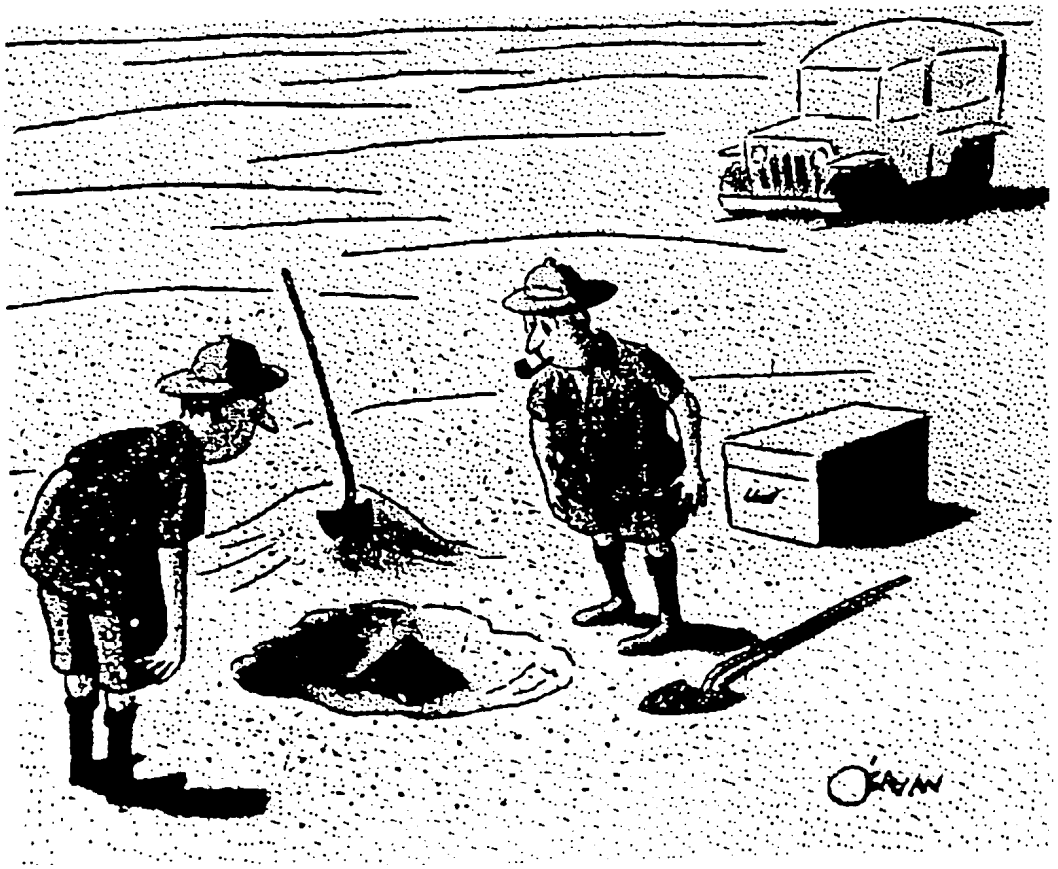
Hier wird gearbeitet ...

… und gefeiert

…ditto...

Das letzte Modul ...

Auf zu neuen Entdeckungen!



"Das könnte die Entdeckung des Jahrhunderts sein.
Kommt natürlich darauf an, wie weit es nach unten geht"