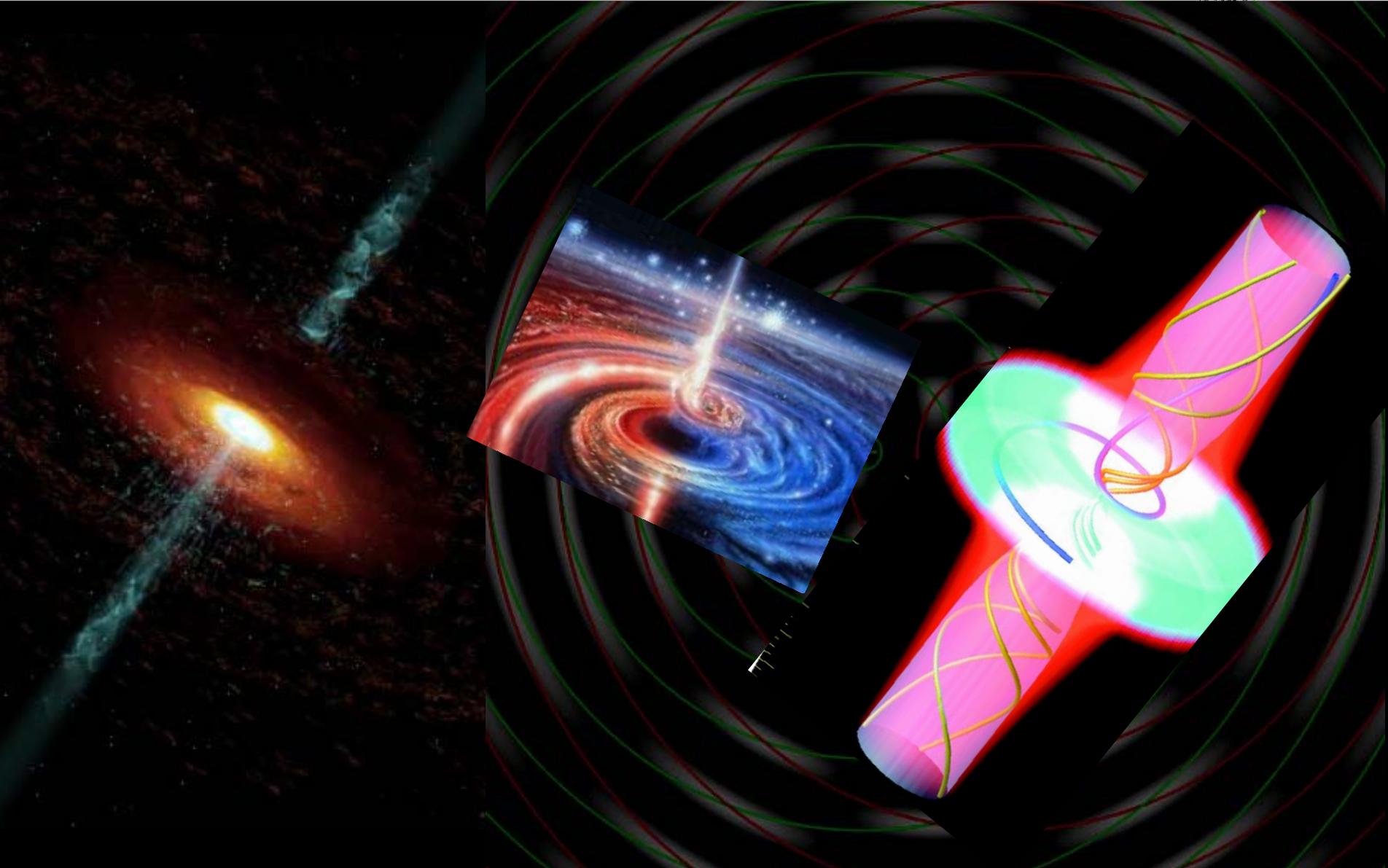
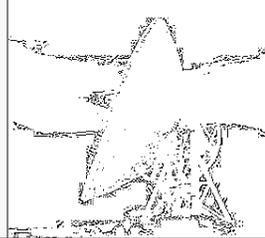


# Brennpunkte extragalaktischer Forschung



# Brennpunkte extragalaktischer Forschung

## Organisatorisches ....



- Termine: jede 2. Woche, 8 Vorlesungen
- Weihnachten: 23.12. -06.01.2006
- Pause?
- E-mail: [sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de](mailto:sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de)



0228 525 280

- ppt im pdf-Format auf:  
[www/mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/](http://www/mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/)  
Außerdem: Literatur zu den Themen

## Themen



- **Heute: Vorstellung der Themen & kurze Einführung**
- **04.11.2005 Fragen an die moderne Radioastronomie**
  - Eine neue Generation von Radioteleskopen, Aktive Galaxienkerne
- **18.11. Das hochenergetische Universum**
  - (TeV-Blazare & Kosmische Strahlung)
- **02.12. Schwarze Löcher:**  
**Neue Ergebnisse und Spekulationen**
- **16.12. Mikrowellenhintergrund**



- **13.01.2006 Dunkle Rätsel im Universum**
- **27.01.2006 Die Zeit vor dem Urknall**
- **10.02.2006 ?**

# 04.11.2005 Fragen an die moderne Radioastronomie



## Radiointerferometrie:

Neue Generation von Hochfrequenz-Radioteleskopen (ALMA)

Höchste Auflösung (zur Zeit) mit mm-Beobachtungen:

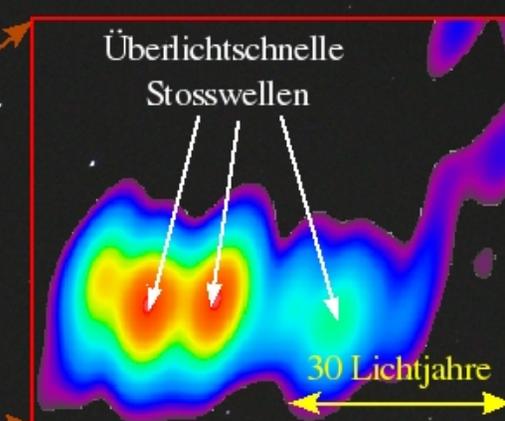
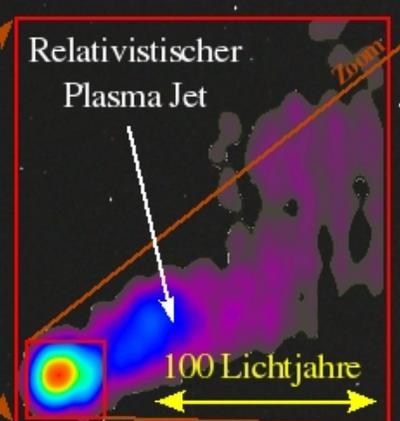
*Aktive Galaxienkerne: Die Basis des Jets, Jet-Scheiben-Kopplung, Spin des Schwarzen Lochs*

Multifrequenzkampagnen vom Radio zum TeV-Bereich:

*z. Bsp. Strahlungsprozesse in Blazaren, Kurzzeit-Variabilität: IDV*

Neue Generation von Niederfrequenz-Radioteleskopen (LOFAR, SKA):

*z. Bsp. Die Epoche der Reionisation*



J. Klare et al. 2004, A...

*Spektakuläre Einblicke in den 5 Milliarden Lichtjahre entfernten Quasar 3C345 im Sternbild Herkules*



Menschliche Auge  
Auflösung: 1



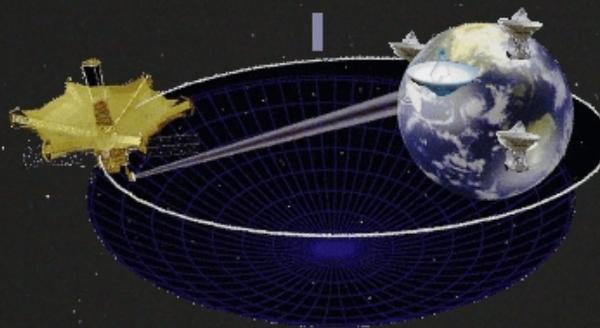
Amateur Teleskop  
60-200x



Hubble Teleskop  
ca. 600x



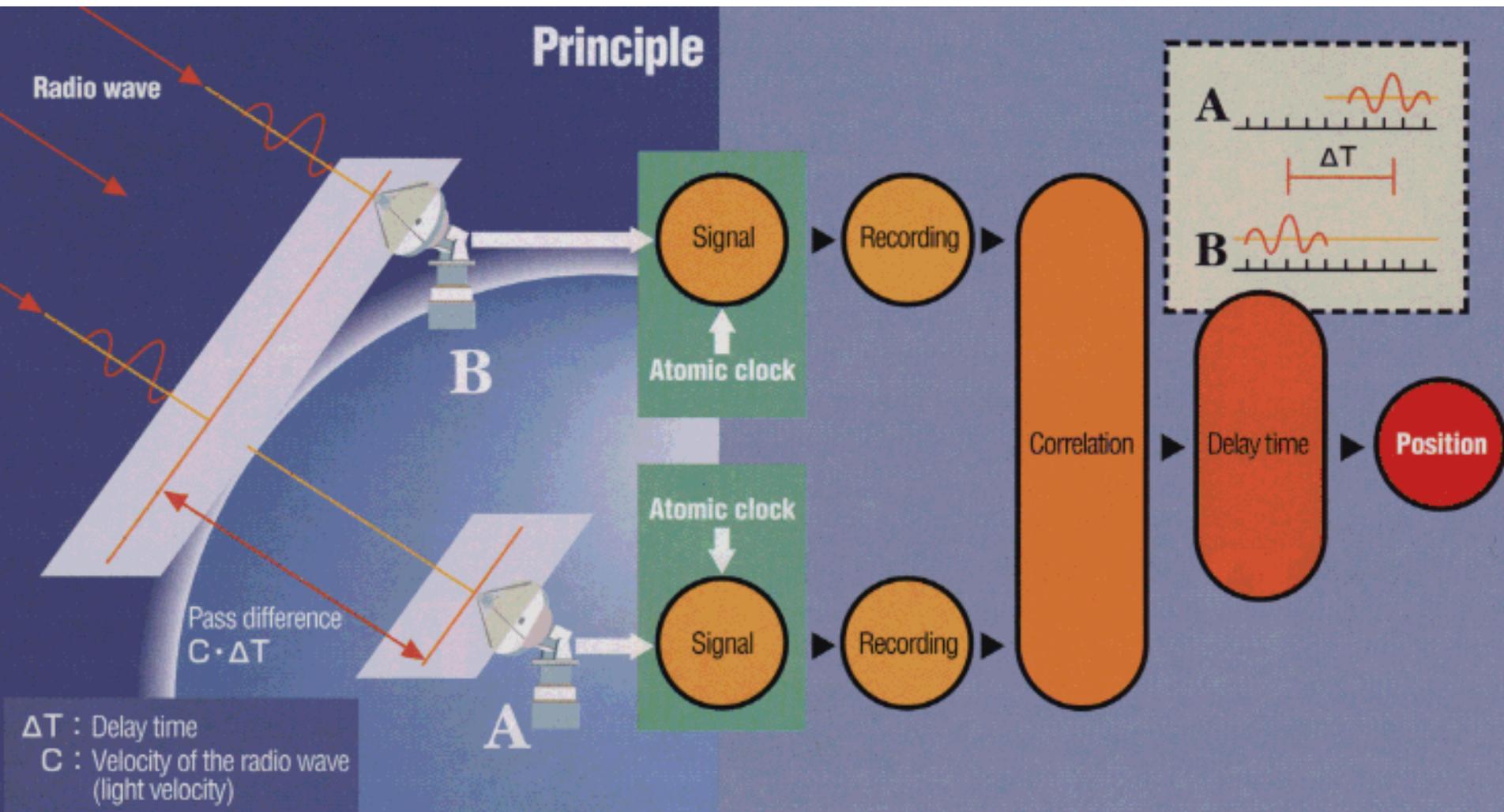
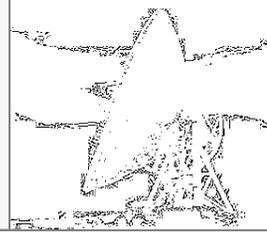
VLBI  
ca. 60.000x



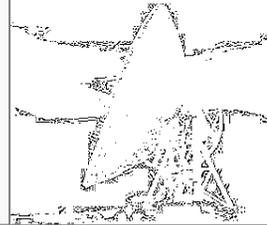
Weltraum-VLBI  
ca. 200.000x

Design: Jens Klare et al. (Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn), [www.JensKlare.de](http://www.JensKlare.de)

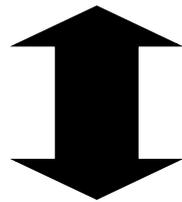
# Prinzip der Interferometrie mit langen Basislinien



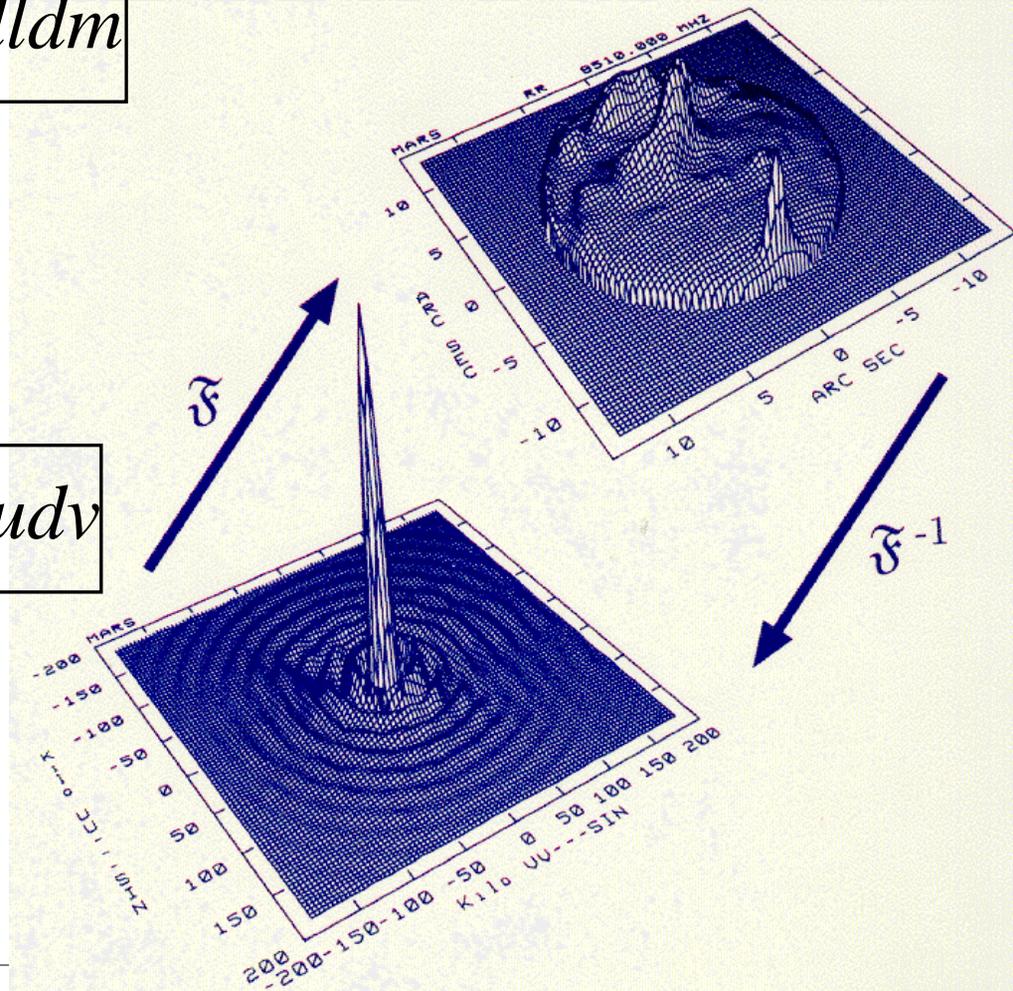
# Inversion der Kohärenz Funktion



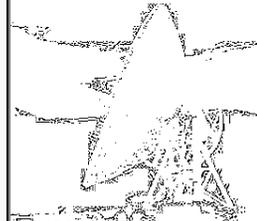
$$V_{\nu}(u, \nu) = \iint I_{\nu}(l, m) e^{-2\pi i(ul + \nu m)} dl dm$$



$$I_{\nu}(l, m) = \iint V_{\nu}(u, \nu) e^{2\pi i(ul + \nu m)} du d\nu$$



# Erste Experimente (1968)



## Radio Interferometry at One-Thousandth Second of Arc

Intercontinental interferometer base lines are used to refine our knowledge of compact radio sources.

M. H. Cohen, D. L. Jauncey, K. I. Kellermann, B. G. Clark

The angular resolution of large optical telescopes has always been limited, by atmospheric turbulence, to about 1 second of arc. At this resolution the

fringes may also be thought of as the "beat" arising from the fact that radiation from the source is received with slightly different Doppler shifts at the

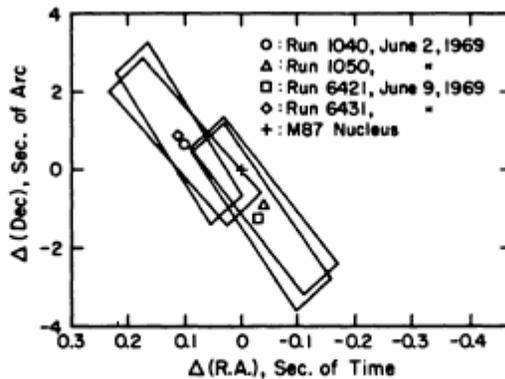
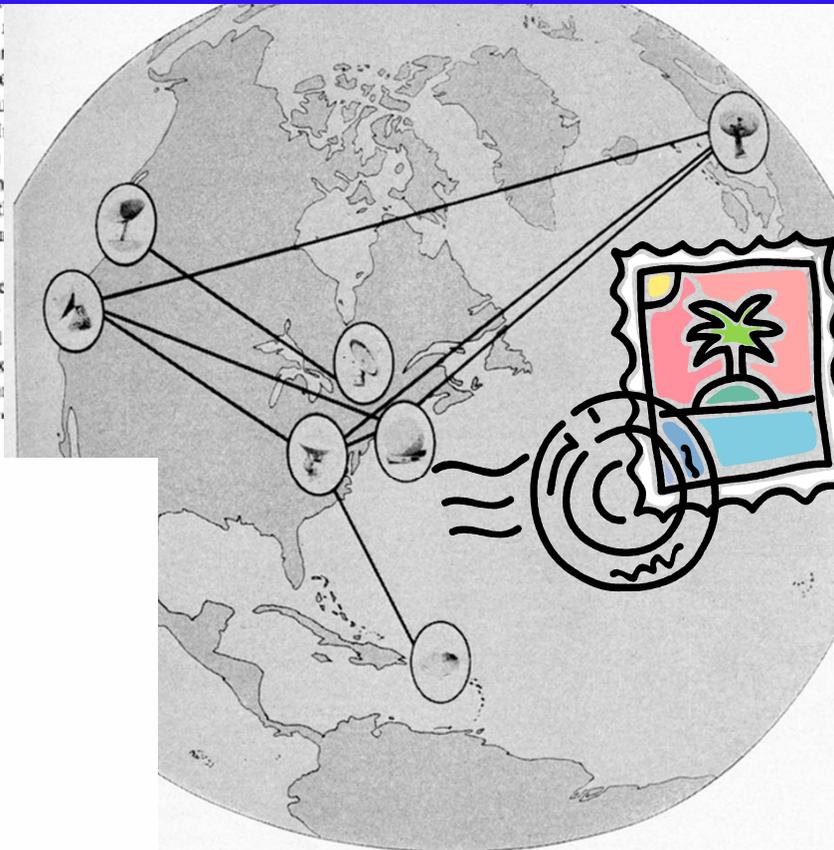


FIG. 1.—Positions for the compact radio component in 3C 274. The position for the nucleus of M87 is due to Griffin (1963): R.A.  $12^{\text{h}}28^{\text{m}}17^{\text{s}}.57$ , decl.  $+12^{\circ}40'01''.6$  (1950).

Beste Auflösung: 6 Milli-Bogensekunden, Green-Bank/ Onsala, 6319 km, 5 GHz

... a superheterodyne signals down to some frequency, generally megahertz. The interferometer is the product of the signals from the coherence function—essentially the product of the local oscillations. Coherence factors, as well as the mediate-frequency conveniently achieved conventional coaxial cable between the two elements of the



... showing the various baseline configurations used in the long-baseline observations. Details of the individual base lines are given in Table 1. Short base lines between the National Radio Astronomy Observatory (Green Bank) and the Maryland Point Observatory and between the Algonquin Radio Observatory (Ontario) and the Defense Research Telecommunications Establishment (Ottawa) are not shown.

# Heute: Höchste Auflösung mit mm-VLBI Beobachtungen

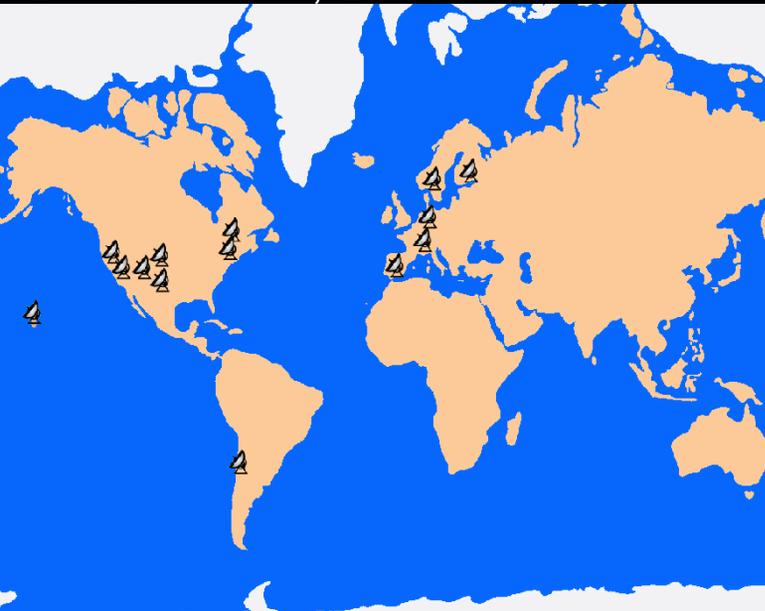


## Die Teleskope:

- 100m Effelsberg, Deutschland
- 6x15m Plateau de Bure, Frankreich
- 30 m Pico Veleta, Spanien
- 20 m Onsala, Schweden
- 15 m Metsähovi, Finland
- 8 x 25 m VLBA, USA

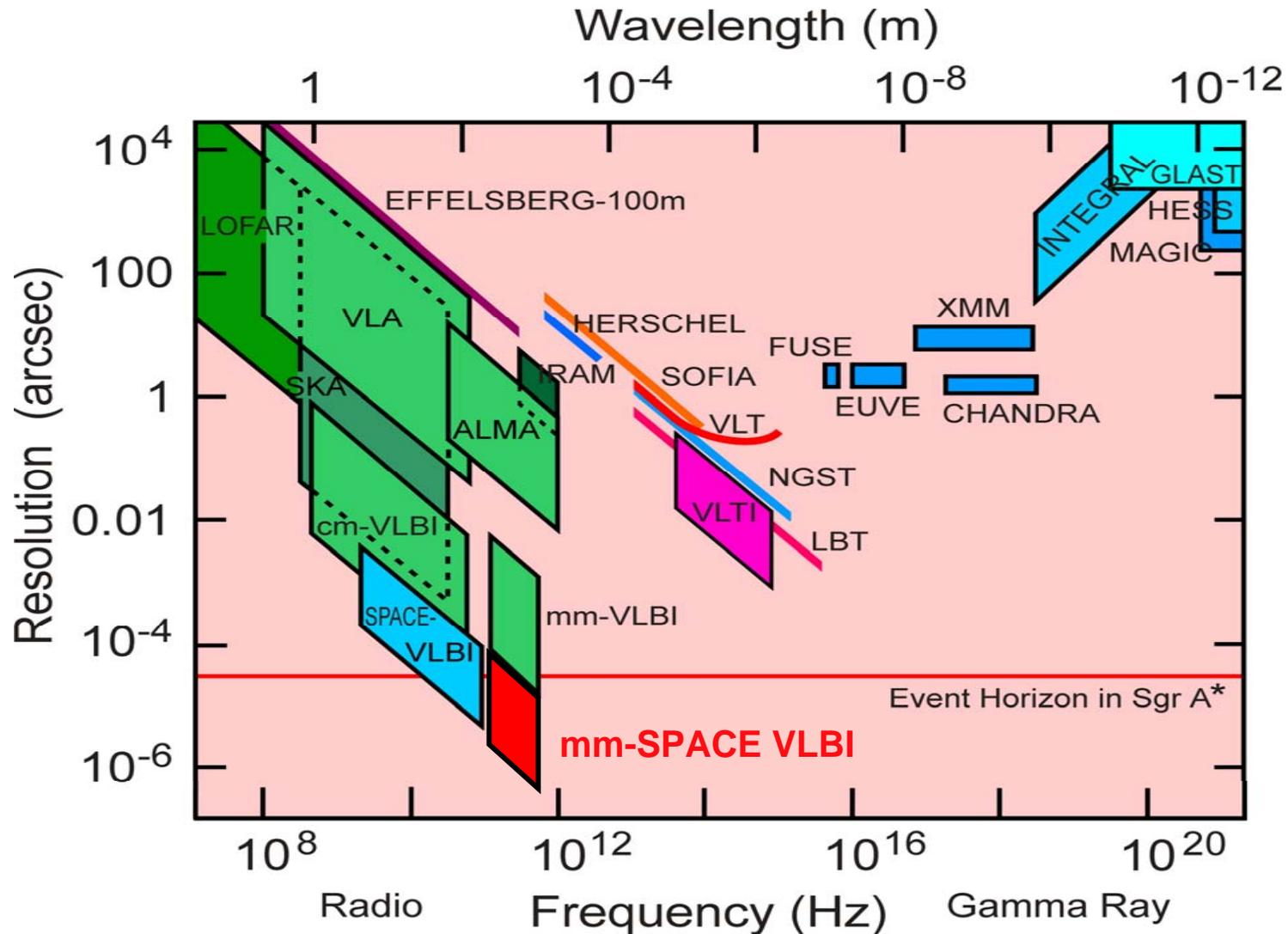
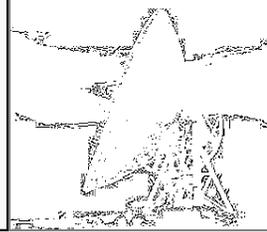
45 Mikro-Bogensekunden Auflösung bei 86 GHz

## The Global mm-VLBI Array

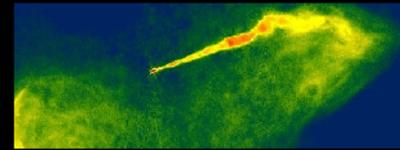
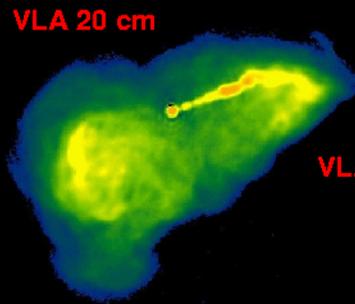
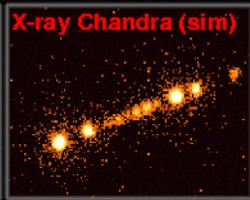


For comments which help to improve this page, please contact [J. Klare](#) or [T.P. Krichbaum](#)

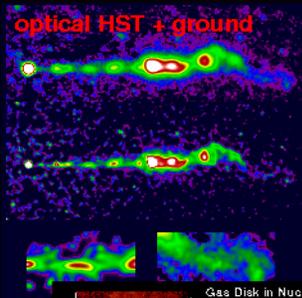
# Höchste Auflösung mit mm-VLBI Beobachtungen



# M87 (Virgo A) - From half a million light years to 0.1 light years

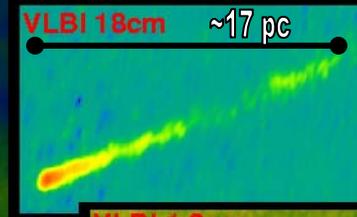
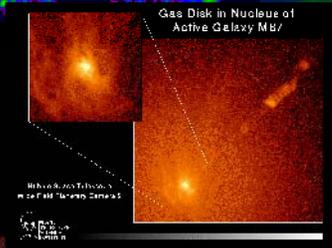
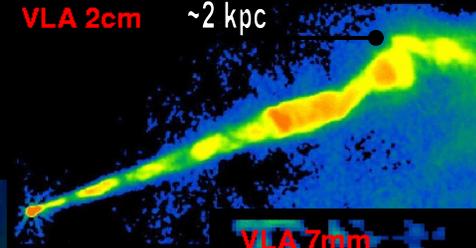


~2 kpc



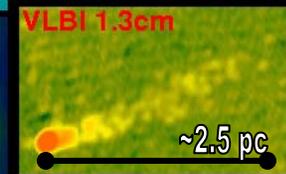
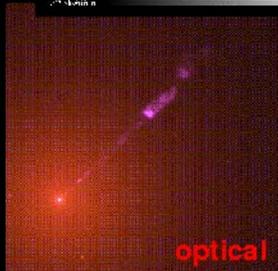
VLA 90cm

~80 kpc



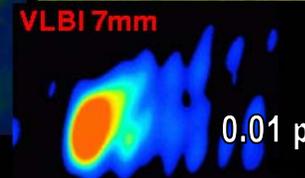
~17 pc

2 kpc



~2.5 pc

100 kpc total



0.01 pc

distance from Earth: 17 Mpc

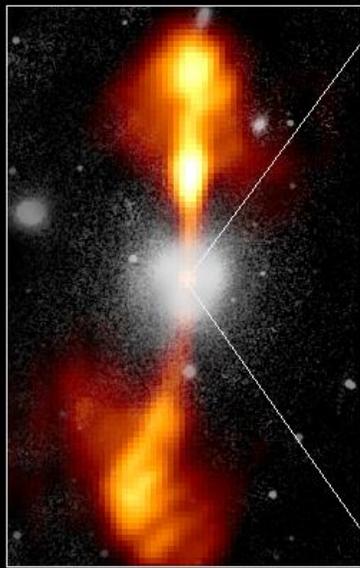
Virgo Cluster

# Paradigma der Aktiven Galaxienkerne

## Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope  
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

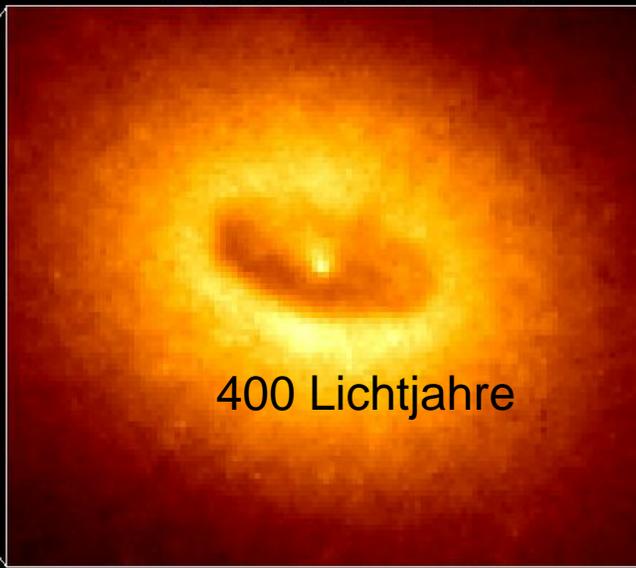


380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

88 000 Lichtjahre

NGC 4261, Jaffe et al. (1996)

HST Image of a Gas and Dust Disk



400 Lichtjahre

17 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS

## Typ 1:

Einseitige Jets;

Breite und Schmale

Linien-Region;

Keine Absorption von

weicher Röntgenstrahlung

## Typ 2:

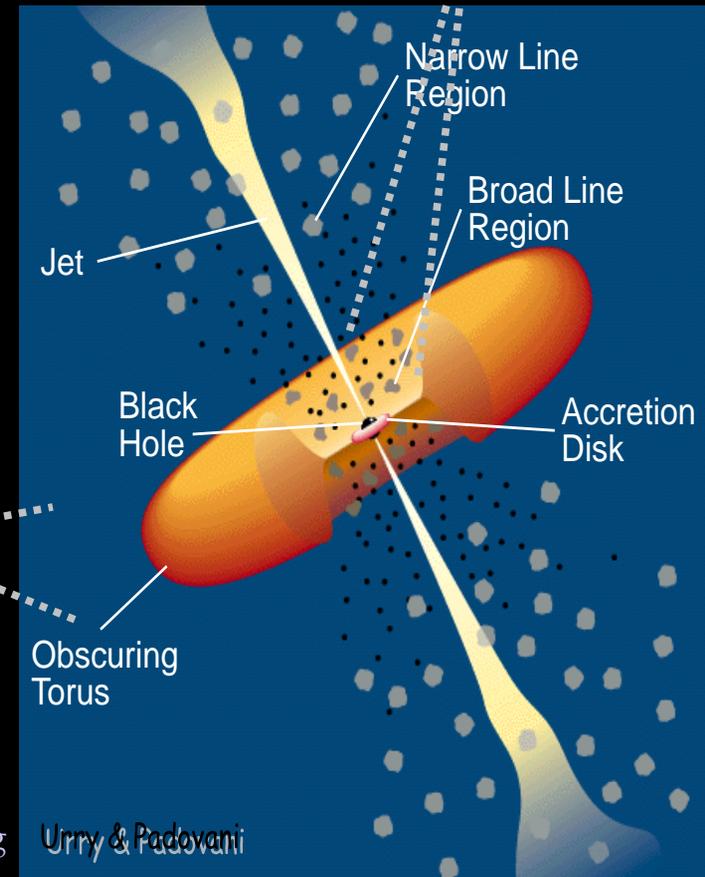
Zweiseitige Jets;

Frei-Frei Absorption;

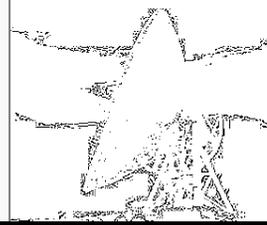
Schmale Linien Region;

Starke Absorption von

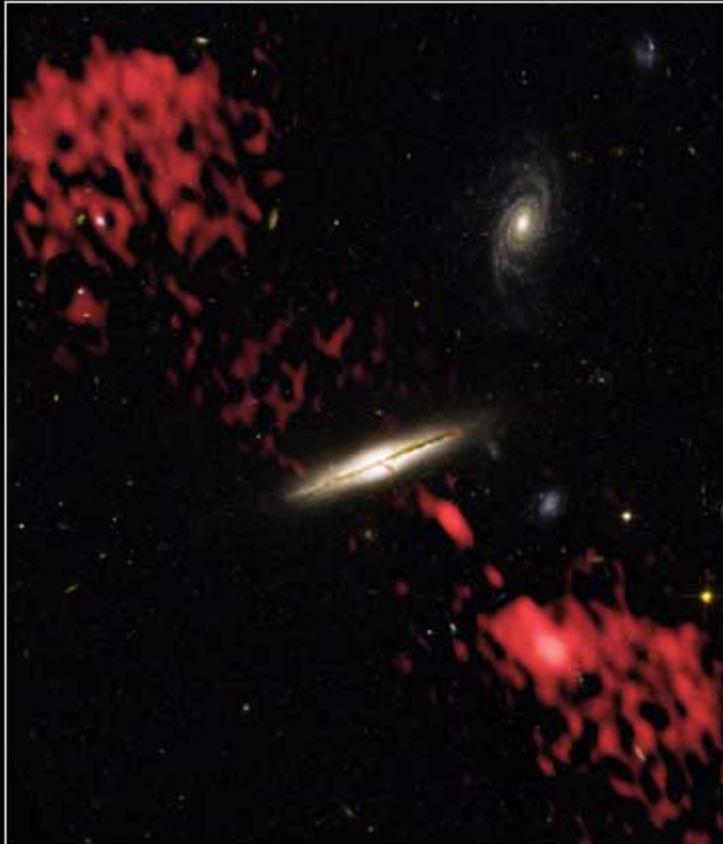
weicher Röntgenstrahlung



# Jet im falschen Galaxientyp gefunden



Radio Galaxy 0313-192



NASA, NRAO/AUI/NSF and W. Keel (University of Alabama)

VLA ■ HST/ACS



STScI-PRC03-04

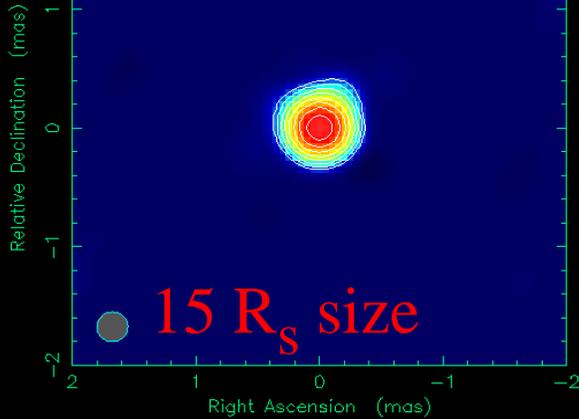
VLA 2cm

# Das galaktische Zentrum mit höchster erreichbarer Auflösung

VLBI 86 GHz

SGR\_A at 86.189 GHz 1995 Mar 08

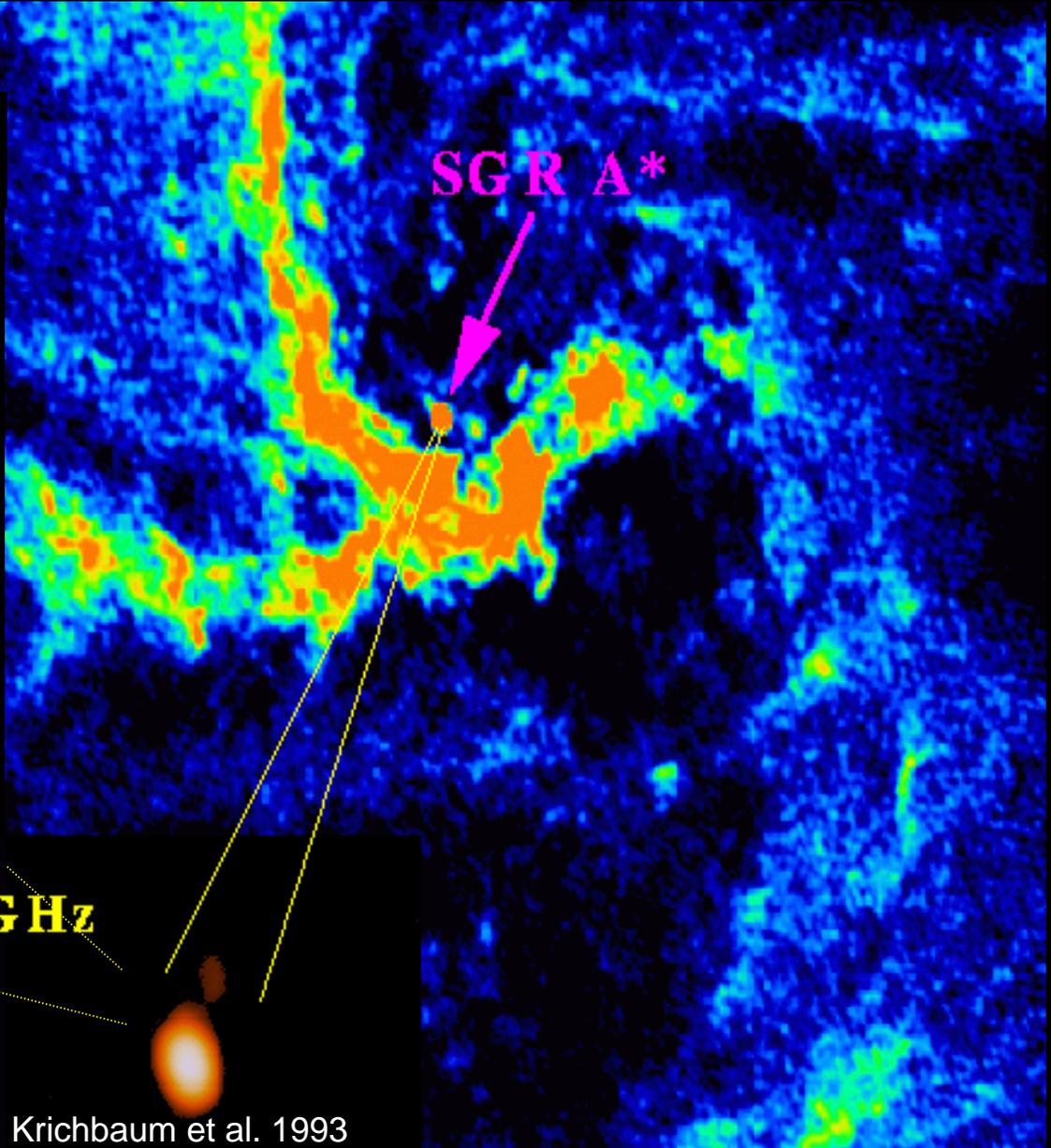
Krichbaum et al. 1998



SGR A\*

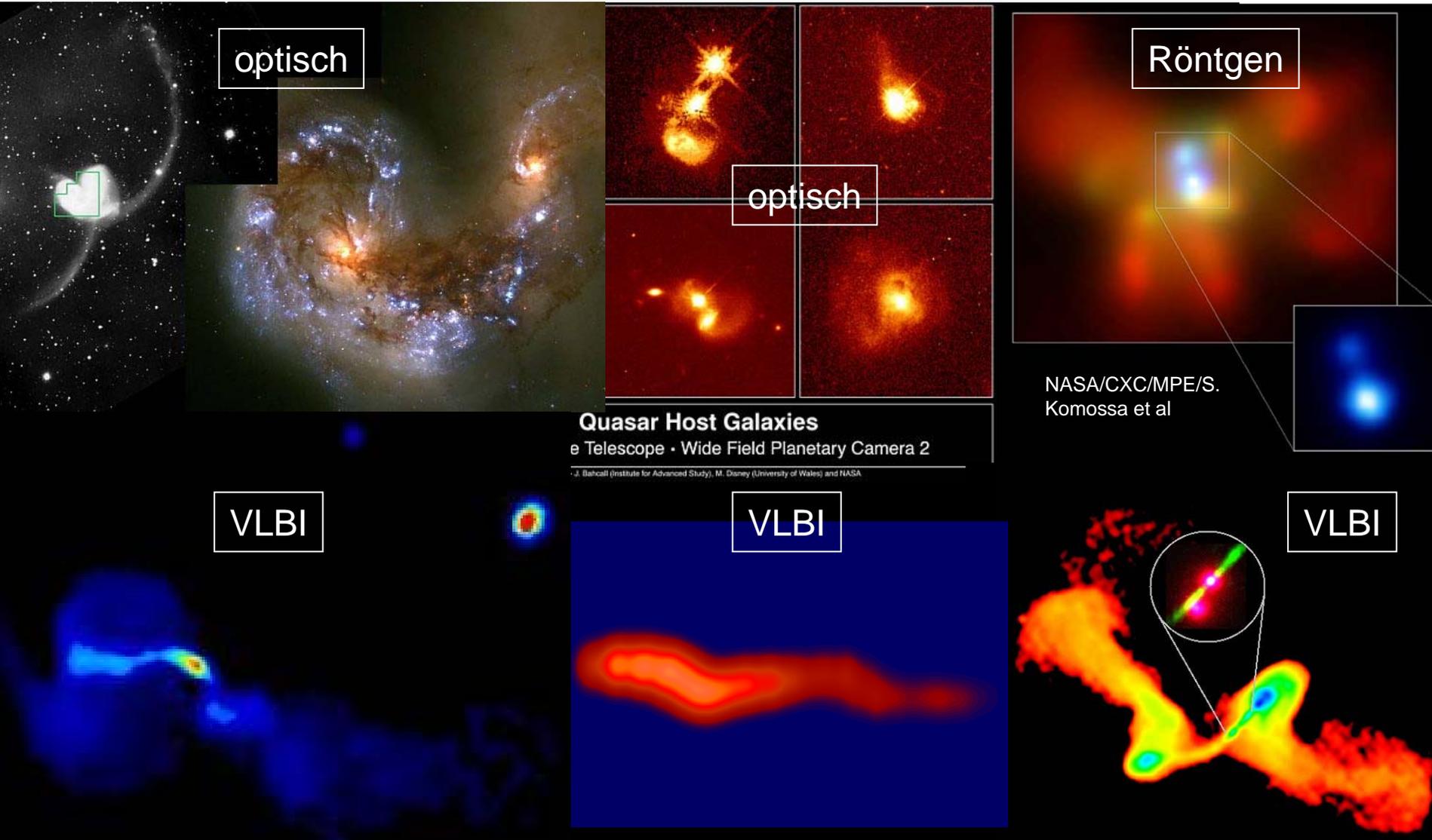
VLBI 43GHz

Krichbaum et al. 1993



# Supermassive Binäre Schwarze Löcher

auf verschiedenen Skalen, in unterschiedlichen Entwicklungszuständen?



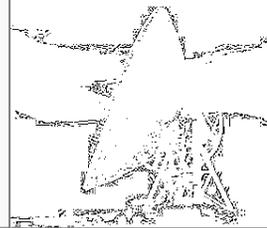
# Supermassive Binäre Schwarze Löcher ...



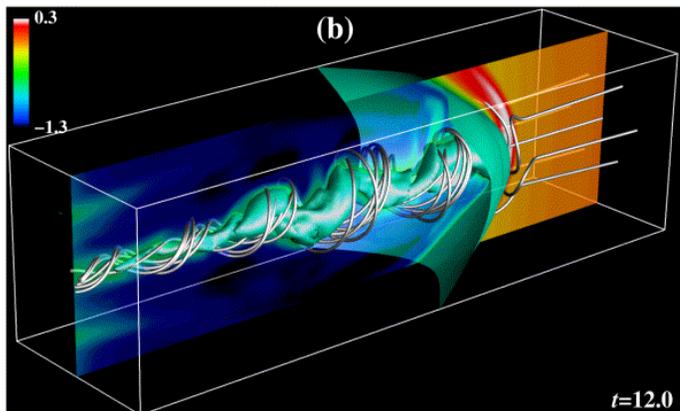
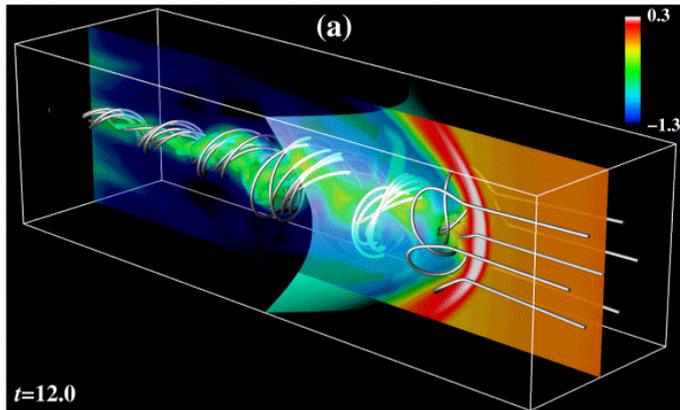
sind von fundamentaler astrophysikalischer  
Relevanz im Kontext....:

- der Steigerung der Aktivität Aktiver Galaxienkerne
- der Erklärung unterschiedliche Klassen radiolauter AGN
- der Erklärung beobachteter Falschausrichtungen zwischen Jets und Akkretionsscheiben
- der Erzeugung gekrümmter Jetpfade
- der Erzeugung (semi) periodischer Ausbrüche in Lichtkurven (optisch – Gamma)
- etc....

# Modelle zur Erzeugung helikal gestörter Radio Jets



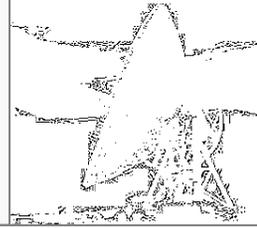
- Sweeping magnetic twist mechanism (Nakamura et al. 2001, *New Astronomy* **6**, 61)



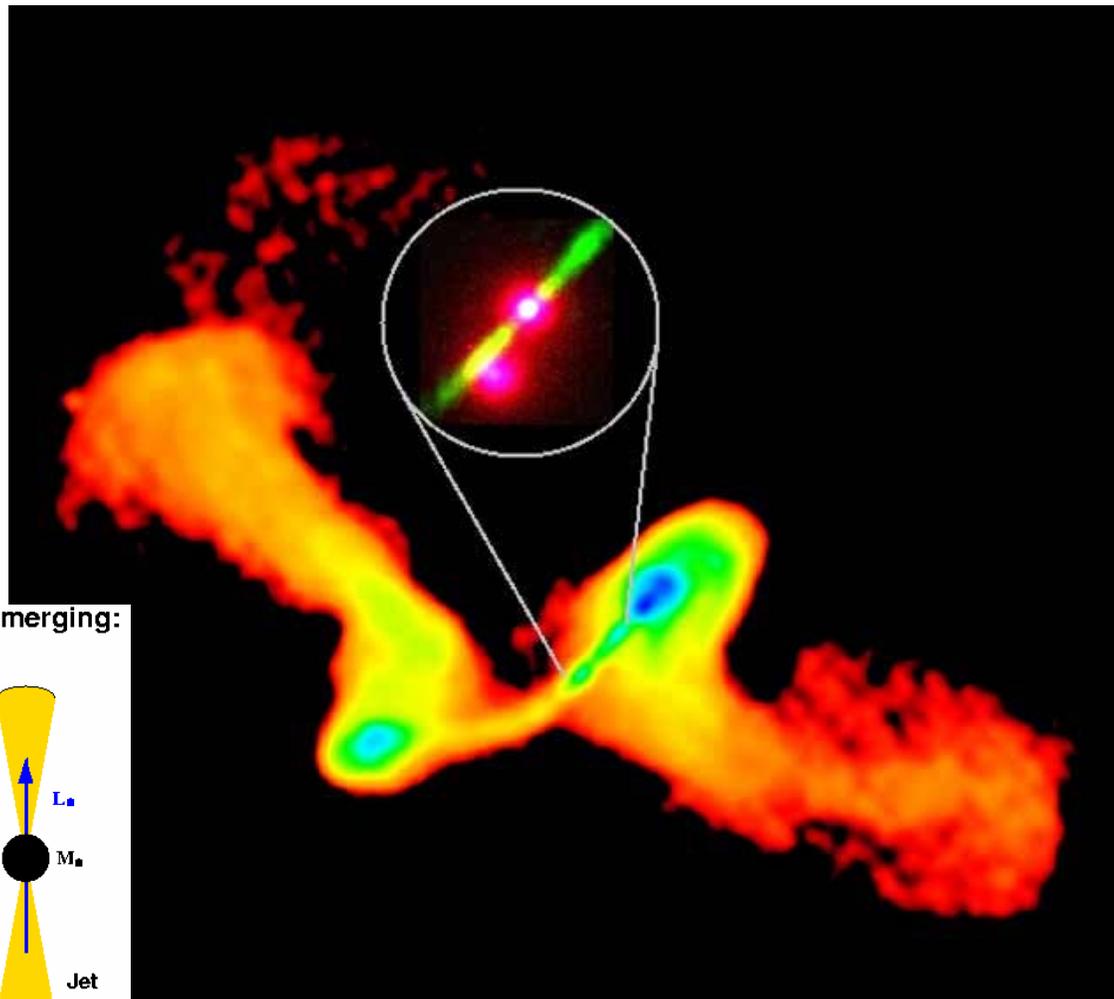
- Spin-induzierte Präzession in Aktiven Galaxienkernen (Caproni et al. 2004, *ApJ* **616**, 99)
- etc.
- Supermassive Binäre Schwarze Löcher (**SBBH**):
  - Bahn-Bewegung des Jet-emittierenden Schwarzen Lochs (Kaastra & Roos 1992)
  - **Präzessions Effekte**, Präzession der Akkretionsscheibe um das Jet-emittierende Schwarze Loch unter Gravitation (Katz 1997), oder aufgrund von geodätischer Präzession (Begelman et al. 1980)

# Nach der Verschmelzung von SBBH

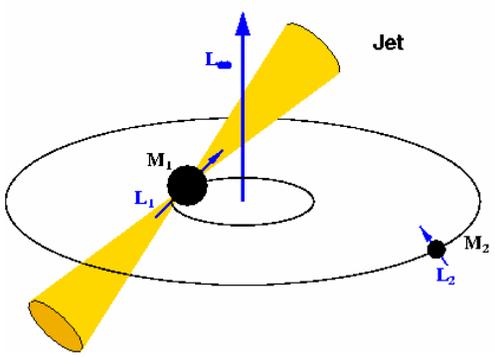
## Änderung der Jet-Ausrichtung durch einen Spin-Flip?



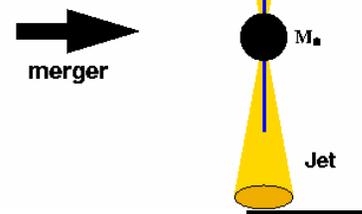
- NGC 326
- Verschmelzung der Schwarzen Löcher: Jets ändern ihre Richtung
- Jet-flip aufgrund eines Spin-flips des primären Schwarzen Lochs (dem orbital angular momentum folgend)



Before merging:



After merging:



National Radio Astronomy Observatory / AUI, Murgia et al.; STScI (for the inset).

Zier C., Biermann P.L. 2001, A&A 377, 23

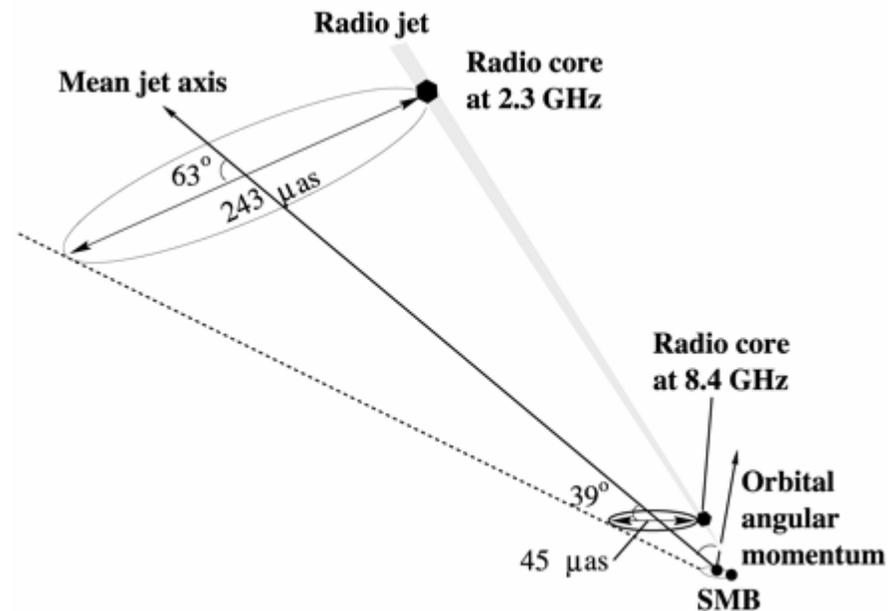
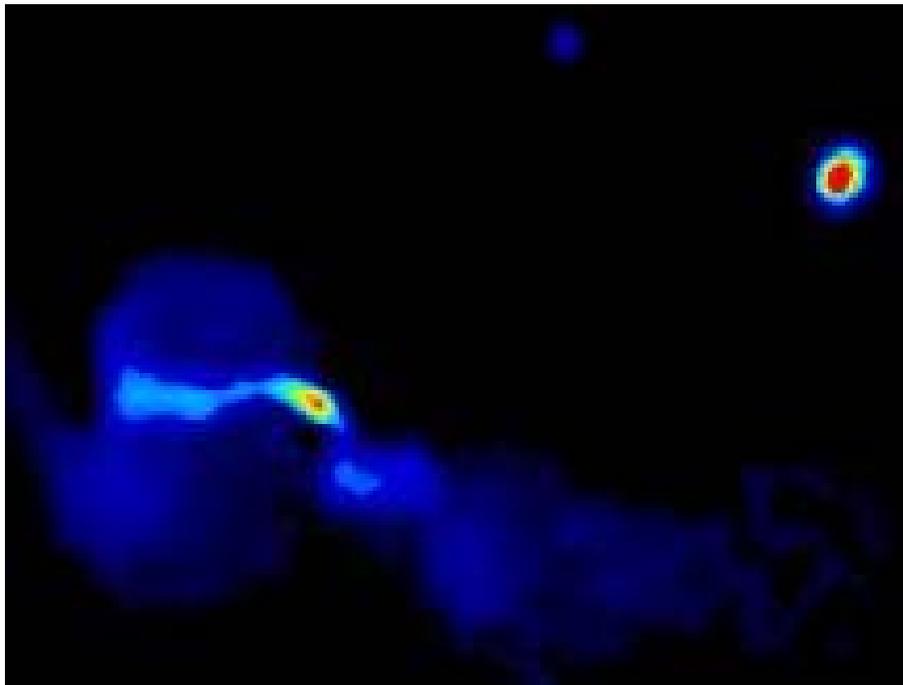
# Direkter Nachweis von SBBH

## VLBI Phasen-Referenz Beobachtungen



### VLBI Phasen-Referenz Beobachtungen der Radio Galaxie 3C 66B

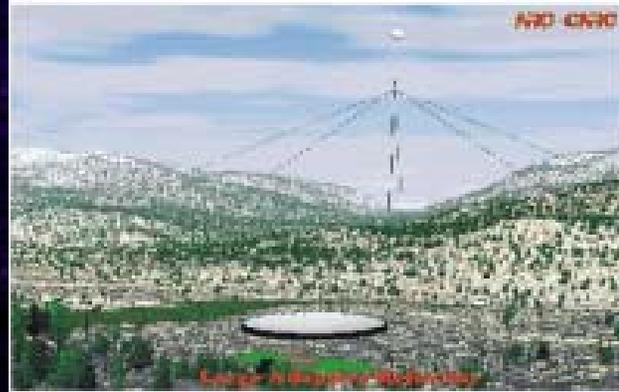
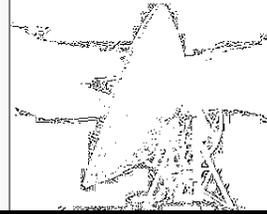
Der nicht-aufgelöste Radiokern zeigt Bewegungen auf elliptischer Bahn mit einer Periode von  $1.05 \pm 0.03$  Jahren. Dies kann als direkter Nachweis eines Binären Schwarzen Lochs gedeutet werden.



Hardcastle, M. J., et al., 1996, MNRAS **278**, 273

Sudou, H., et al., 2003, Science **300**, 1263

# Neue Generation von Niederfrequenz- Radioteleskopen



niederfrequent

# LOFAR



Im Bau befindlich ...

Durchmesser: 350 km

Frequenzen: 10 - 250 MHz

Antennen: 25 000

155 Mio Euro

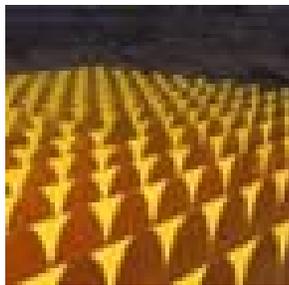
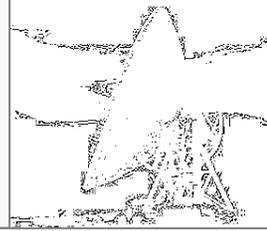
Wissenschaft: Suche nach

erster Generation von Sternen u.  
Schwarzen Löchern



# SKA Square km array

niederfrequent

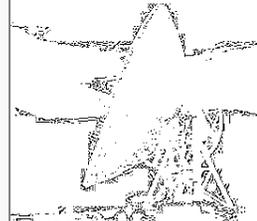


# SKA

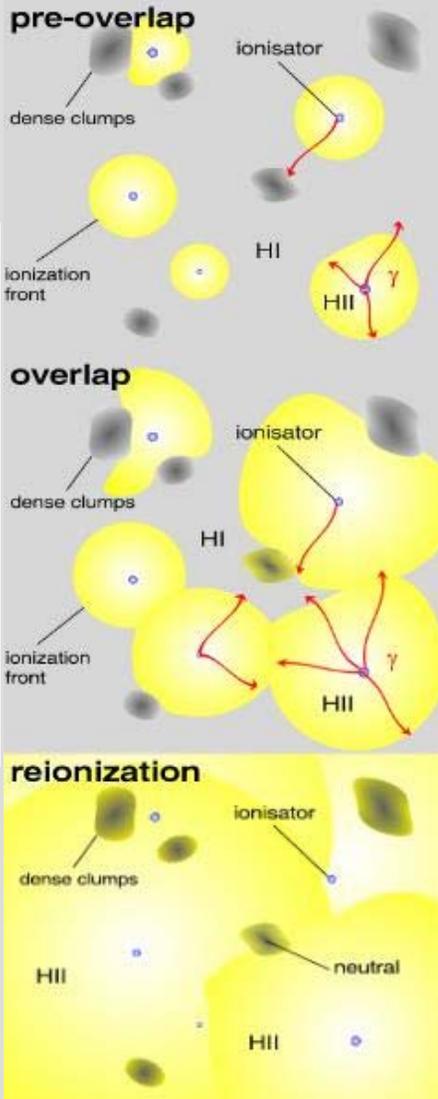
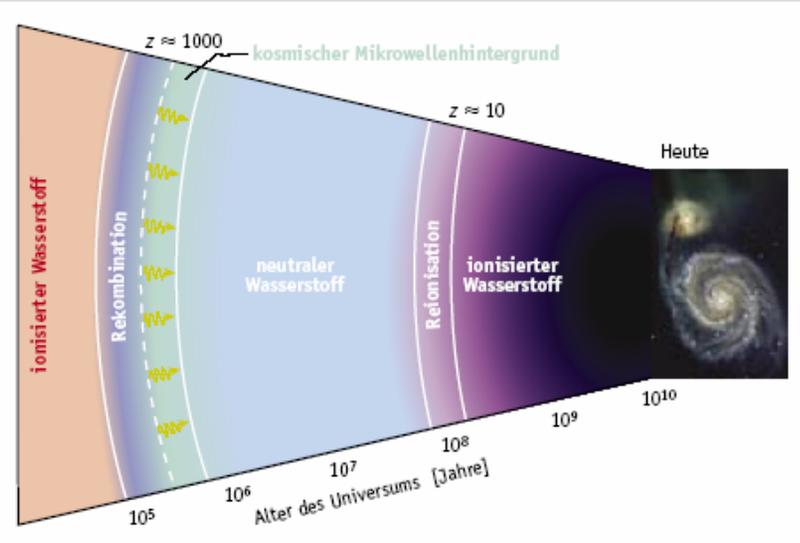
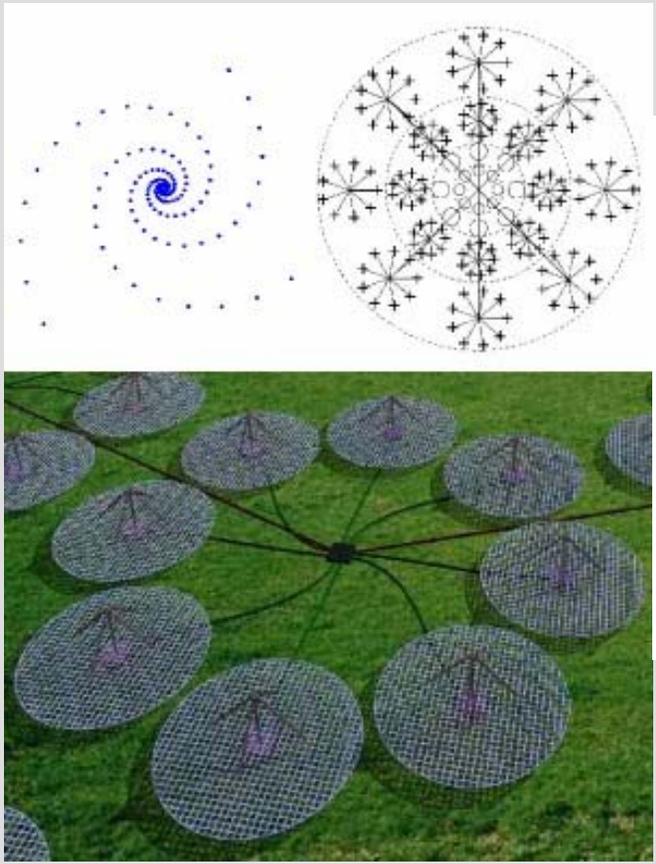


- Geplant: Größtes Radioteleskop der Welt
- 2015?
- 1 Quadratkm Teleskopfläche
- Zusammenarbeit: 24 Institute aus 10 Ländern
- Ortswahl 2005
- Beginn der Konstruktion: 2010
- Wissenschaft: Galaxienentwicklung, großskalige kosmische Strukturen, Reionisation – die ersten Schwarzen Löcher und Sterne, Kosmischer Magnetismus, Planeten (1 Milliarde neue HI –Emissions Galaxien, 10000-20000 neue Pulsare, ...)

# Das Ende des „Dunklen Zeitalters“ Zweimal hieß es: "Es werde Licht"



**niederfrequent**



# A Schematic Outline of the Cosmic History

Time since the Big Bang (years)

~ 300 thousand

ionisiert

← The Big Bang

The Universe filled with ionized gas

← The Universe becomes neutral and opaque

The Dark Ages start

neutral

~ 500 million

Galaxies and Quasars begin to form  
The Reionization starts

The Cosmic Renaissance  
The Dark Ages end

Epoche der Reionisation

~ 1 billion

ionisiert

← Reionization complete, the Universe becomes transparent again

Galaxies evolve

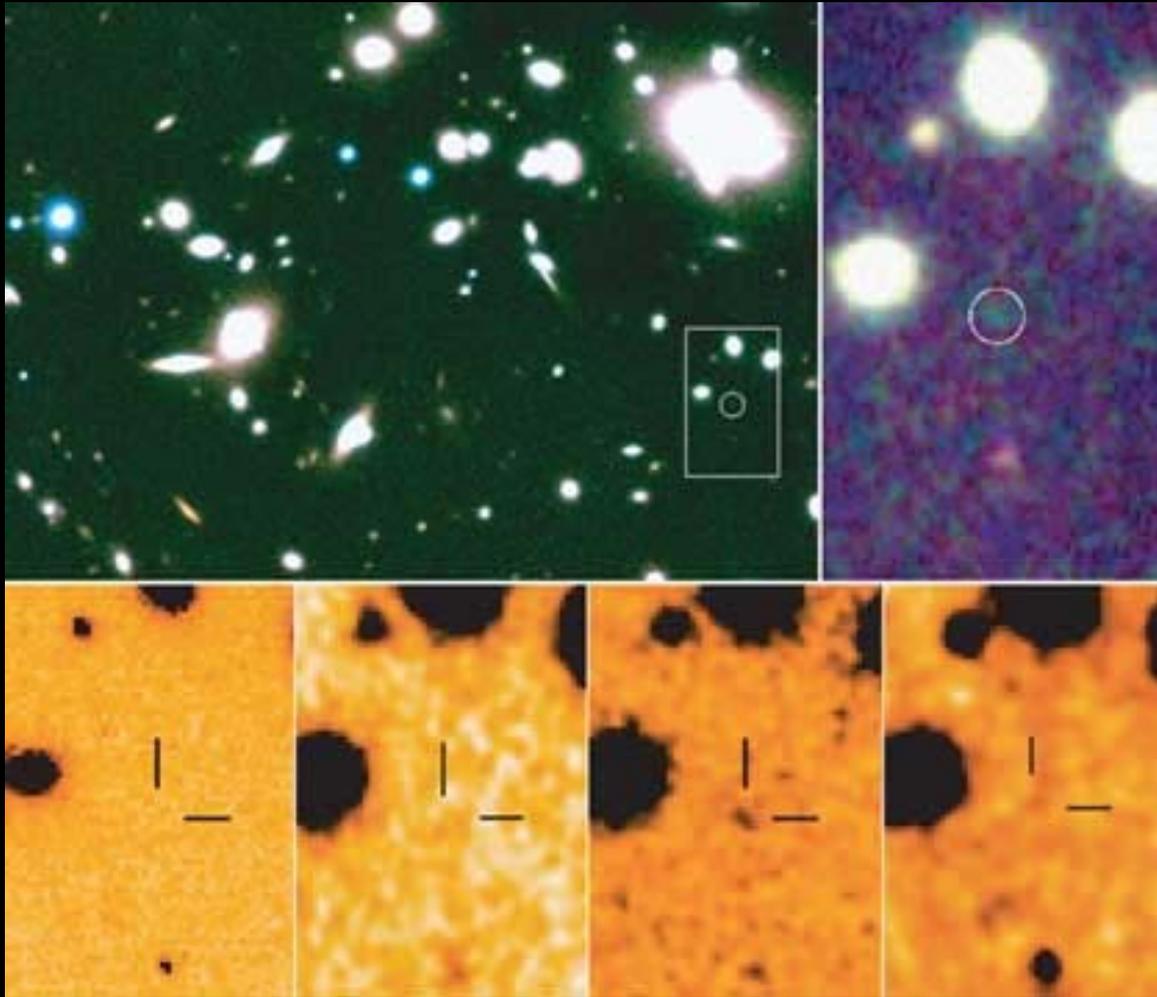
~ 9 billion

The Solar System forms

~ 13 billion

Today: Astronomers figure it all out!

# Eine der ersten Galaxien?



Galaxie Abell 1835  
IR1916 im nahen Infrarot  
(weißer Kreis).

Untere Bilder in den  
sichtbaren R-, J-, H- und  
K-Bändern.

Die Tatsache, dass die  
Galaxie nur im H-Band  
gesehen werden kann, ist  
ein Indiz für eine

Rotverschiebung um 10.

# Neue Generation von Hochfrequenz- Radioteleskopen

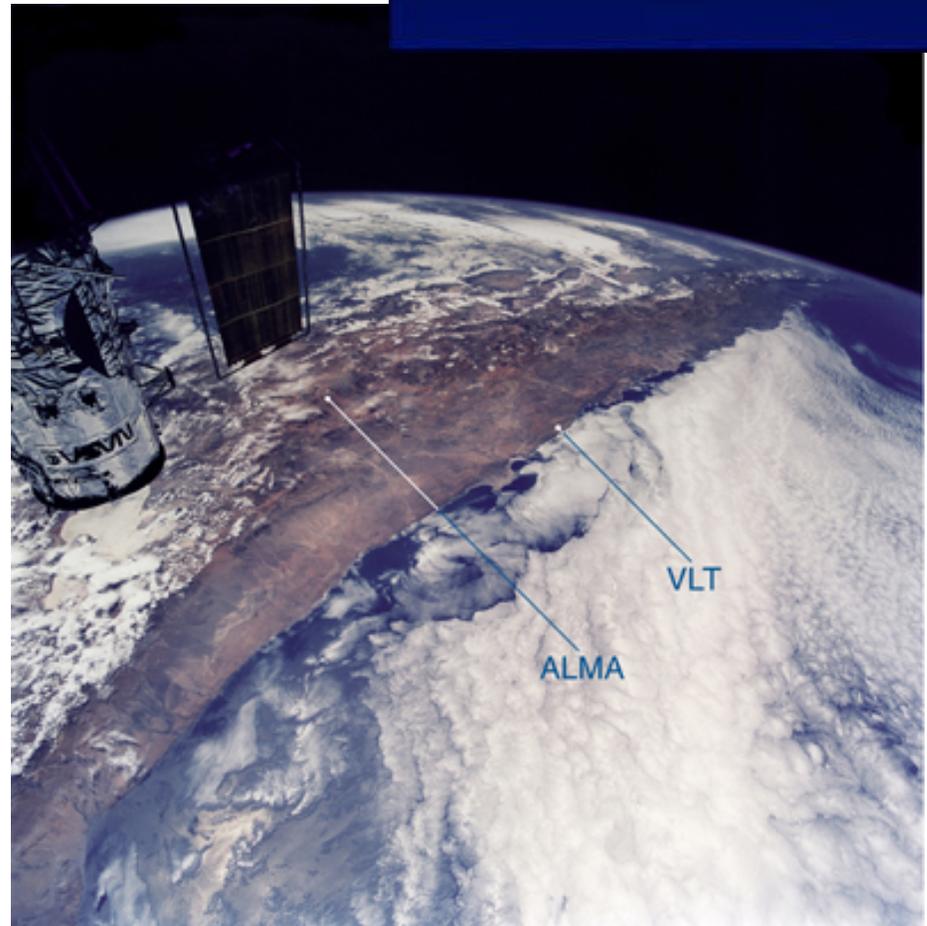


## ALMA

ESO VIDEOCLIP 08/99  
**ALMA MOVES!**

OCTOBER 1999

- The **A**tacama **L**arge **M**illimeter **A**rray (**ALMA**) is an international collaboration between Europe and the North America to build a synthesis radio telescope that will operate at millimeter and submillimeter wavelengths. Japan may also become a partner, making this a truly global collaboration.



View of Northern Chile (NASA Space Shuttle)

# ALMA



- Im Bau (bislang existieren 4 mm-Interferometer arrays), 550 Mio Euro
- Antennen: 64x12m Antennen
- Ort: Llano de Chajnantor bei San Pedro de Atacama, Wetter und Platz
- Frequenzen: 10 mm - 350 microns
- Konfigurationen: von 150 m - 10 km
- Auflösung: 10 Millibogensekunden, 10 mal besser als VLA und HST
- Schneller und flexibler als das VLA
- Größtes und sensitivstes Instrument der Welt bei mm- und sub-mm Wellenlängen
- Wissenschaft: thermische Emission von Staub, molekulare Linien, Rotverschiebungen
- 2011?



# ALMA



- Wissenschaft:
  - das äußere Sonnensystem, Pluto-Charon System, Oberflächentemperatur-Verteilung
  - Jupiterartige Planeten um nahe Sterne kartieren
  - Protostellare Akkretionsscheiben: Planetenbildung
  - Staubbildung in Roten Riesen
  - Sternentstehung im frühen Universum
  - Starburst-Kerne



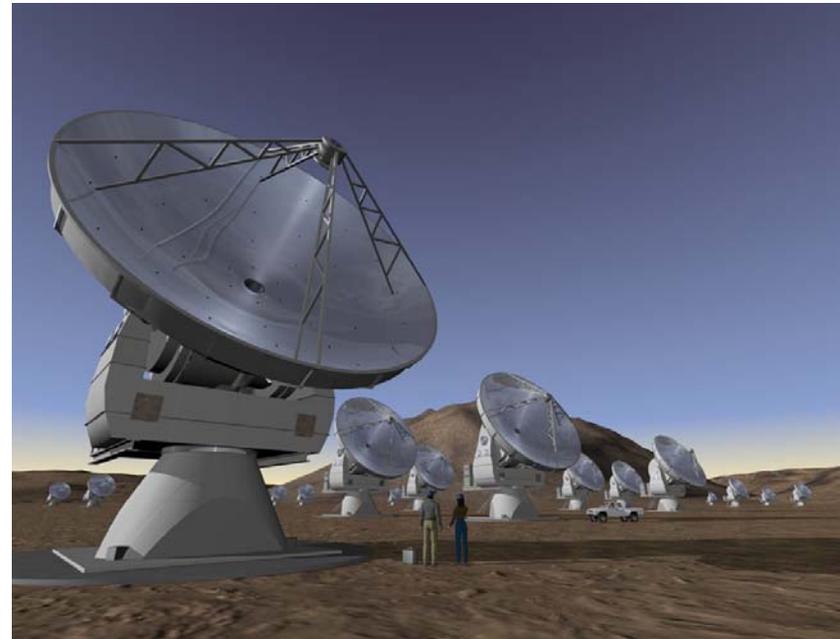
# ALMA, zur Zeit

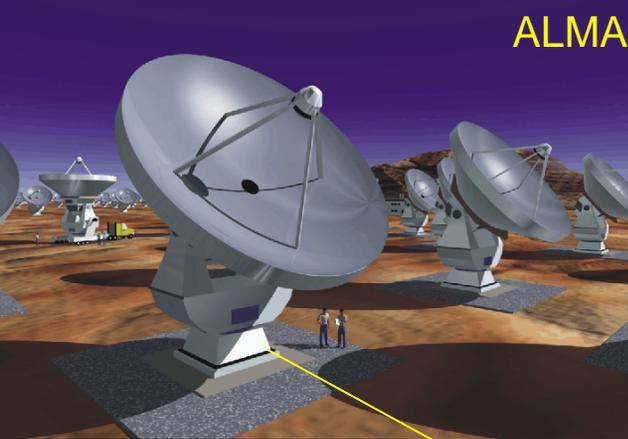


# Zusammenfassung & Ausblick



- Entschlüsselung der Physik des Universums nur in der Zusammenschau aller Wellenlängen möglich
- mm-VLBI (in weltweiter Zusammenarbeit) wird sich der „zentralen Maschine“ weiter nähern und damit unser Verständnis der Akkretions-Prozesse im Innern vergrößern
- Zukunft bei hohen Radiofrequenzen: ALMA
- Neue Generation niederfrequenter Radioteleskope ermöglichen das Studium der Frühphasen des Universums

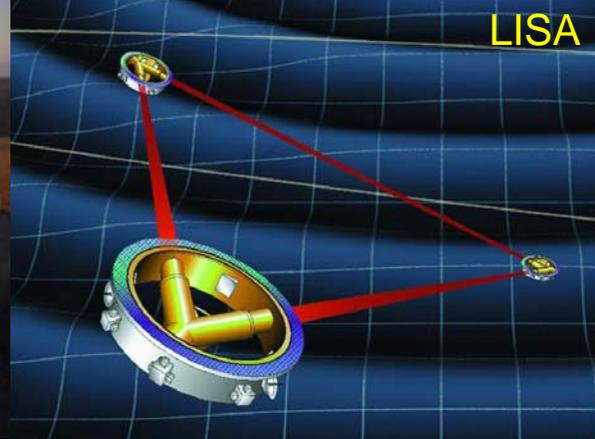




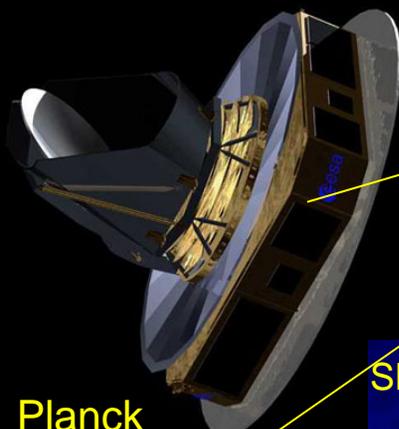
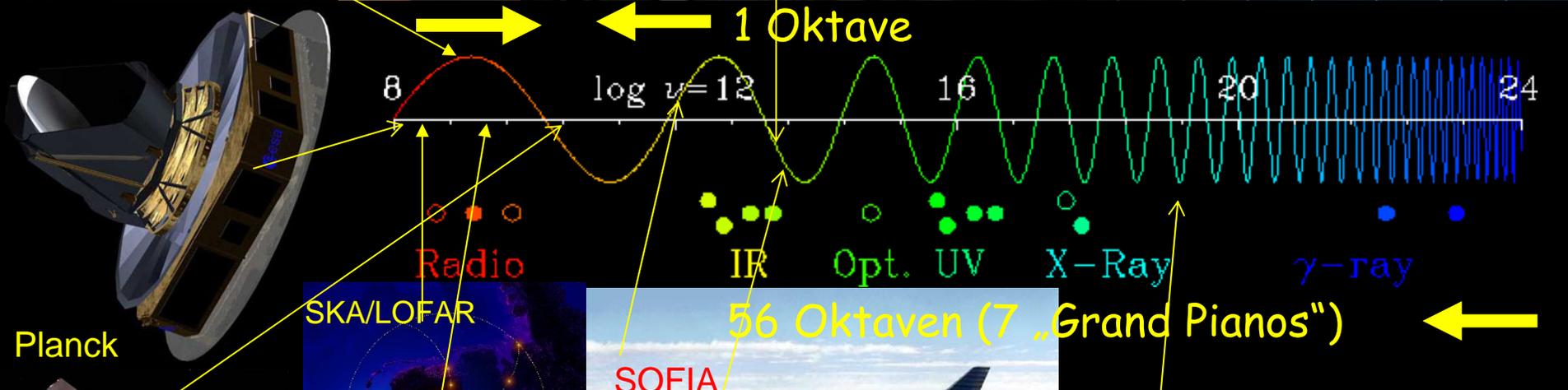
ALMA



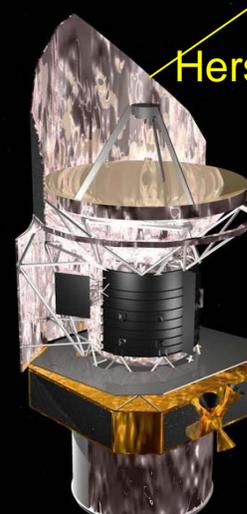
VLTI



LISA



Planck



Herschel



SKA/LOFAR

Max-Planck-Institut für Radioastronomie

24 Stunden in Effelsberg

Enno Middelberg emiddelb@mpifr-bonn.mpg.de



SOFIA



Large Binocular Telescope



XEUS/ROSITA

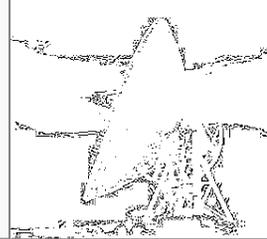
Effelsberg

# 18.11. Das hochenergetische Universum



- Kosmische Strahlung
  - Geschichte der Erforschung?
  - Intensität und Nachweis?
  - Ursprung und Wechselwirkung?
- TeV-Quellen
  - Neue Teleskope
  - Aktive Galaxienkerne & Strahlungsprozesse
  - ....
- Rätsel der kurzen Gammastrahlenblitze gelöst

# 18.11. Das hochenergetische Universum



- Sichtbares Licht hat eine Energie von: 1 eV
- GLAST wird Gammastrahlung mit Energien von zwanzig Millionen bis zu dreihundert Milliarden eV messen!
- Gammastrahlung von einer Billion eV (TeV): Reaktionsprodukte der Strahlung in der Atmosphäre können auf der Erde gemessen werden
- Im Energiebereich bis zu einigen Milliarden eV (GeV) ist man auf Satelliten angewiesen

# 18.11. Kosmische Strahlung

- 1912 von V.F. Hess postuliert
- Besteht zu 97% aus Nukleonen, 3% Elektronen (Elektronen, Positronen, 10:1)
- Nukleonen: Protonen, Alpha-Teilchen, andere schwerere Atomkerne (solare Häufigkeit)
- Bei  $10^{19}$  Elektronenvolt müßte aufgrund von Wechselwirkungen mit kosmischer Hintergrundstrahlung der GZK (Greisen-Zatsepin-Kuzmin-Effekt)-Cutoff auftreten, widersprüchliche Messdaten
- Kosmische Strahlung: solare & galaktische kosmische Strahlung

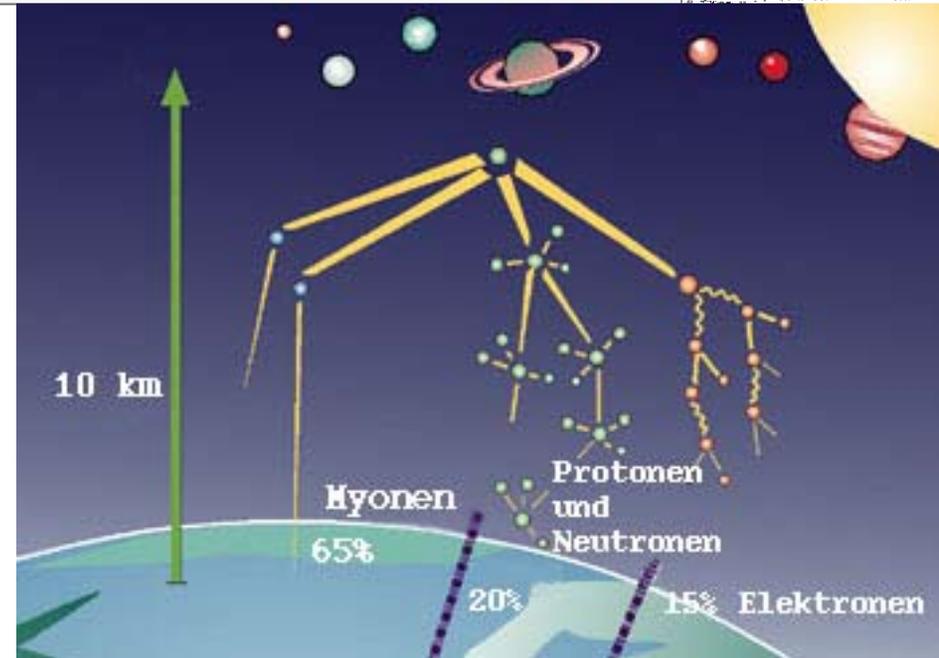


*Der Entdecker der kosmischen Strahlung Prof. Viktor Hess in der Gondel seines Heißluftballons.*

# 18.11. Kosmische Strahlung

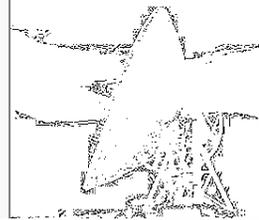


- Mittlere Intensität der galaktische Kosmischen strahlung seit mindestens *100 Mio Jahren* höchstens um Faktor zwei geändert
- Beim Eintreten in die Erdatmosphäre werden aufgrund von WW *Teilchenschauer* ausgelöst; vorwiegend *Myonen* entstehen, die bis zur Erdoberfläche gelangen, zerfallen weiter in Elektronen und Neutrinos



- $10^{12}$  eV: 10 Teilchen pro  $m^2$  und Minute
- $10^{20}$  eV: 1 Teilchen pro  $m^2$  in **200 Jahren**

# 18.11. Kosmische Strahlung



## Intensität und Nachweis:

- Teilchen niedriger Energie:  
Ballon- und Satellitendetektoren
- Teilchen höherer Energie:  
großflächige Detektorarrays;  
KASCADE-Grande, AUGER
- Teilchen höchster Energie:  
Fluoreszenzlicht von Stickstoffmolekülen,  
verursacht durch Teilchenschauer: HESS

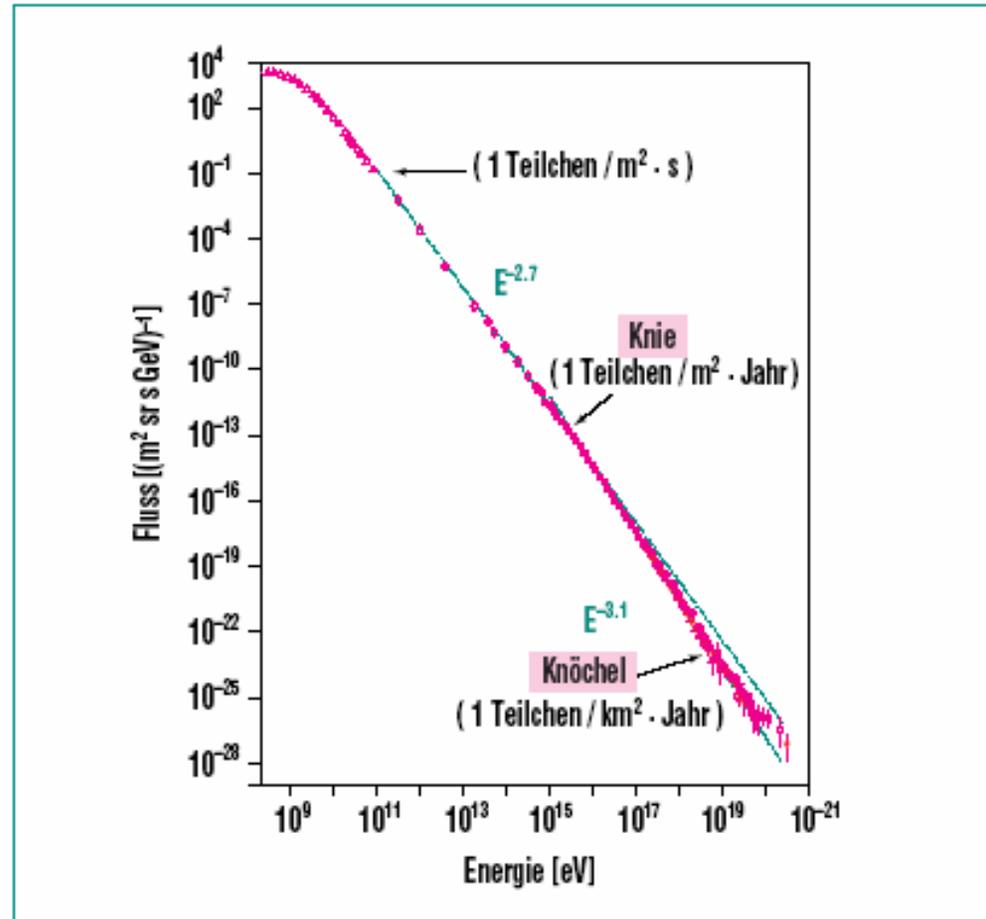
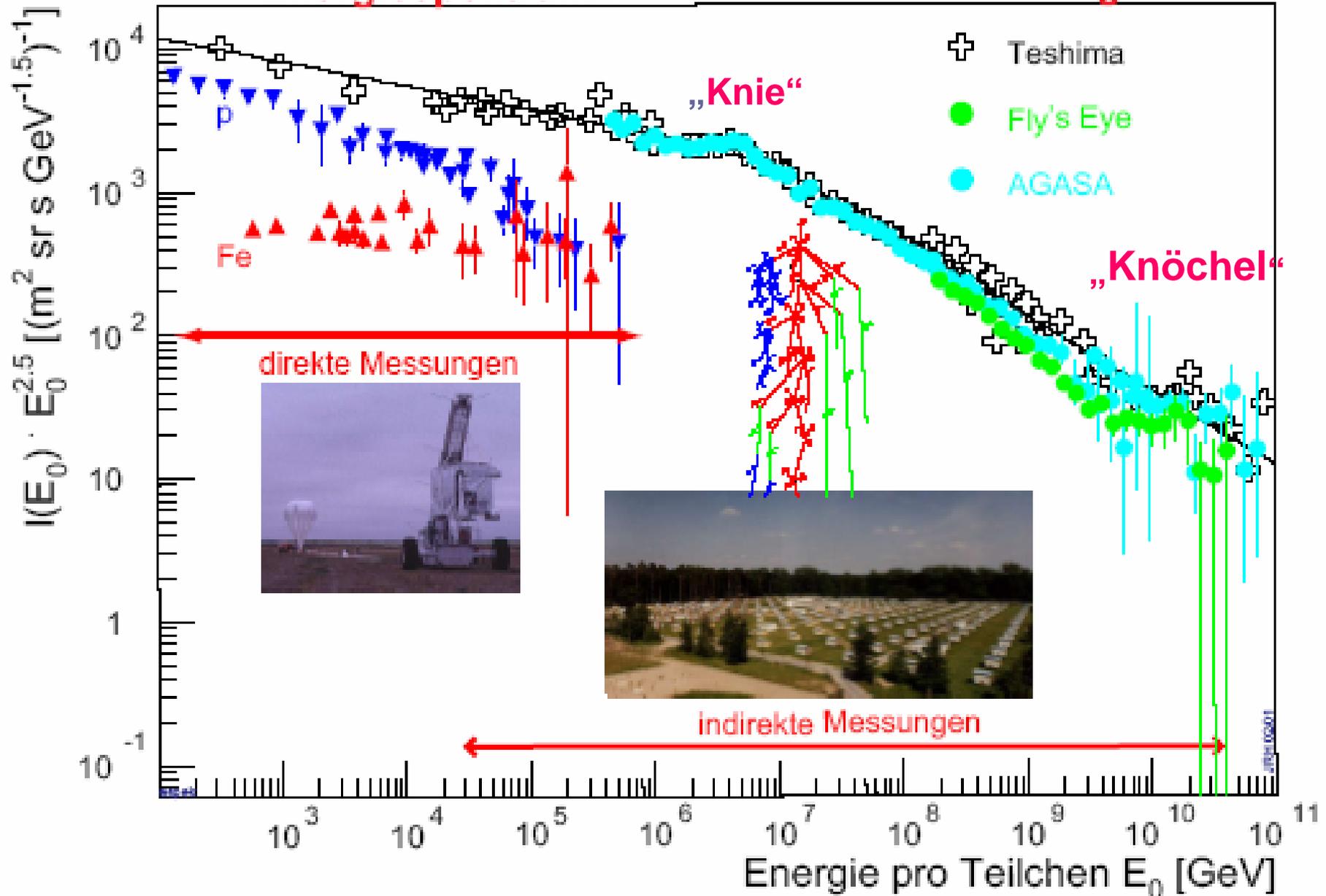
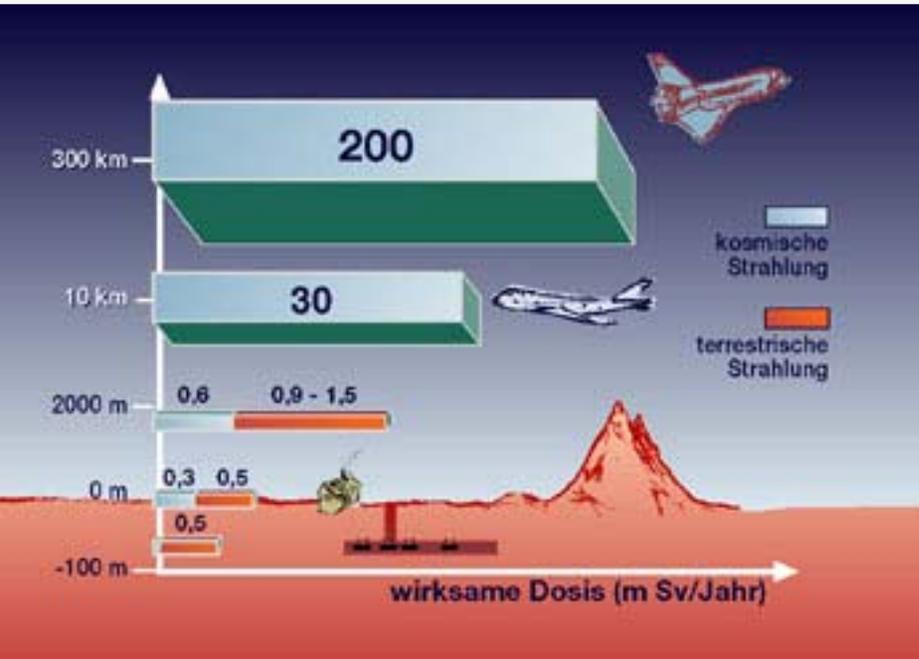
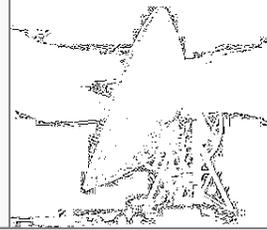


Abb. 1: Energiespektrum der kosmischen Strahlung oberhalb 100 MeV. Die Daten entstammen einer größeren Anzahl unterschiedlicher Messungen und die Zahlen an der Kurve geben die integrierten Teilchenflüsse oberhalb der jeweils markierten Stellen an (nach S. Swordy, Univ. Chicago).

# Energiespektrum der kosmischen Strahlung



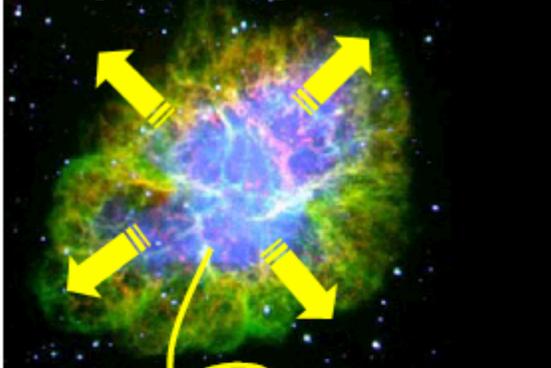
# 18.11. Kosmische Strahlung



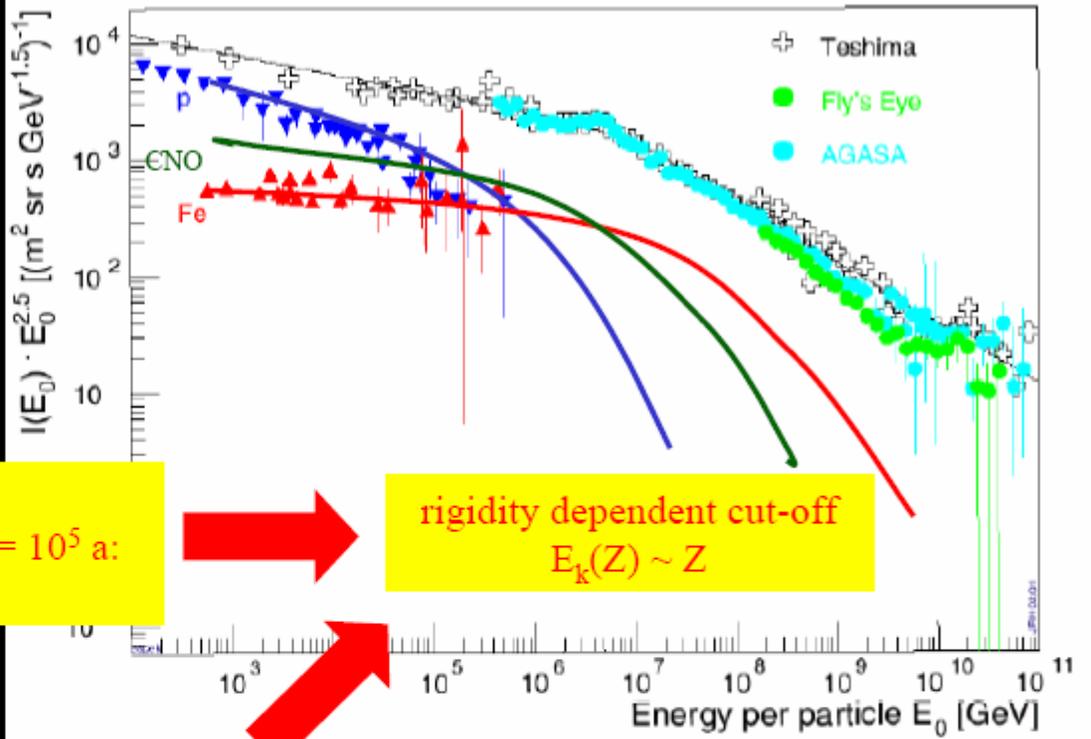
- 700 Teilchen pro m<sup>2</sup> und Sekunde
- Energien zwischen 10<sup>7</sup> und 10<sup>20</sup> eV
- (Teilchenbeschleuniger auf der Erde: bis zu 10<sup>12</sup> eV)
- Mögliche Quellen
  - **Supernova**
  - Pulsare
  - Weiße Zwerge
  - Novae
  - AGK
- Bis zum Auftreffen auf die Erde 10 Mio Jahre unterwegs
- Interstellare Magnetfelder lenken sie ab: Richtungsinformation verloren

Höchste gemessene Energie:  
Fly's Eye Detektor,  
Energie von 50 Joule, kinetische  
Energie eines Tennisballs von 160 km/h  
Geschwindigkeit in einem einzigen Atomkern

acceleration of CR in supernova explosions:



Fermi acceleration  
 finite lifetime of shock front  $\tau = 10^5$  a:  
 $E_{\max} \sim Z \cdot 10^{15}$  eV



rigidity dependent cut-off  
 $E_k(Z) \sim Z$

propagation through galaxy:

Leaky box model:  
 gyromagnetic radius  $\sim 1/(B Z)$   
 escape probability  $\sim 1/Z$

$B = 3 \mu\text{G}$



# 18.11. Kosmische Strahlung

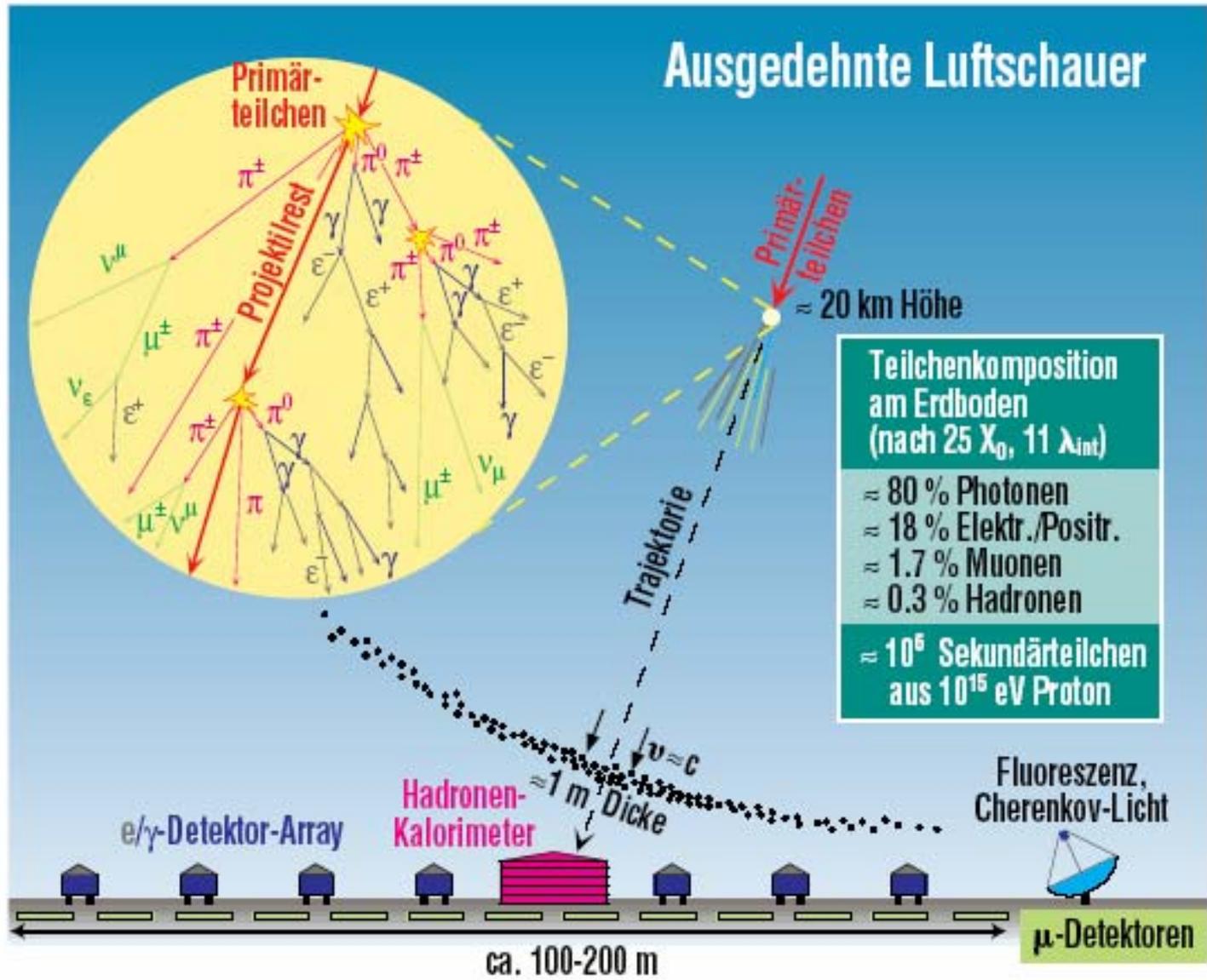
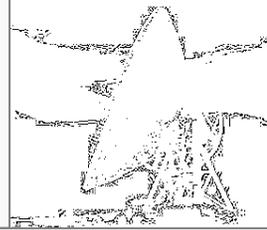
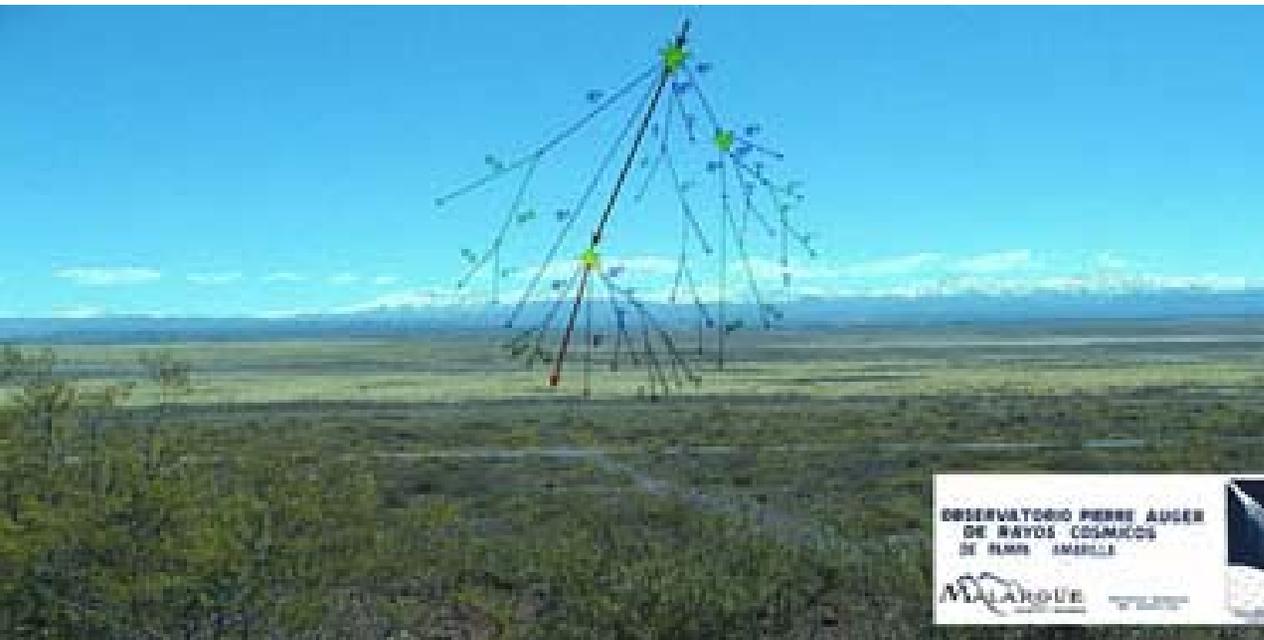


Abb. 1: Schematische Ansicht eines Luftschauers und seines Nachweises

# Pierre-Auger-Projekt



*Ein Fluoreszenzteleskop bei der Montage in Karlsruhe.  
Die Spiegelfläche ist in einzelne Segmente (36) unterteilt.  
In der Prototypphase werden zwei unterschiedliche Spiegelanfertigungen getestet.*



# Pierre-Auger-Projekt



- 1938: Pierre Auger entdeckt ausgedehnte Luftschauer
- Projekt: 1600 Detektoren ( $12 \text{ m}^3$  ultrahochreines Wasser), je  $11.3 \text{ m}^2$  Grundfläche im Abstand von  $1.5 \text{ km}$
- Zusätzlich: 30 Teleskope mit je  $12 \text{ m}^2$  Fläche
- Über 100 Szintillationszähler
- Mendoza, Argentinien,  $3000 \text{ km}^2$  (Saarland), weltweit größtes Experiment
- 15 Jahre Gesamtlaufzeit, 40 Institutionen in 16 Staaten

# KASCADE-Experiment Karlsruhe Shower Core and Array Detector

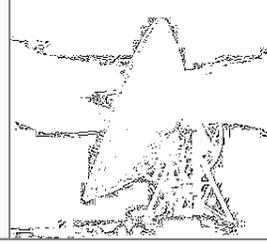


*Ansicht des KASCADE-Experiments. Erkennbar sind neben den einzelnen Hütten des Detektorfelds auch der in der Mitte gelegene Zentraldetektor: Knie verursacht durch leichte Teilchenkomponente, skaliert linear mit der Ladungszahl der Primärteilchen*

# 18.11. Das hochenergetische Universum



- Kosmische Strahlung
  - Geschichte der Erforschung?
  - Intensität und Nachweis?
  - Ursprung und Wechselwirkung?
- TeV-Quellen
  - Neue Teleskope, neue Pläne
  - Aktive Galaxienkerne & Strahlungsprozesse
- Rätsel der kurzen Gammastrahlenblitze gelöst



- **Überreste von Sternexplosionen**
  - Kompakte Überreste (schwarze Löcher, Neutronensterne)
  - Schockfronten an der abgestoßenen Sternenhülle
- Molekülwolken
- Starburst Galaxien
- Galaxienhaufen
- **Aktive Kerne von Galaxien**
- **Gamma-Ray Bursts**
- **Annihilation dunkler Materie**

Es gibt zwei verschiedene Nachweistechniken, die verwendet werden:

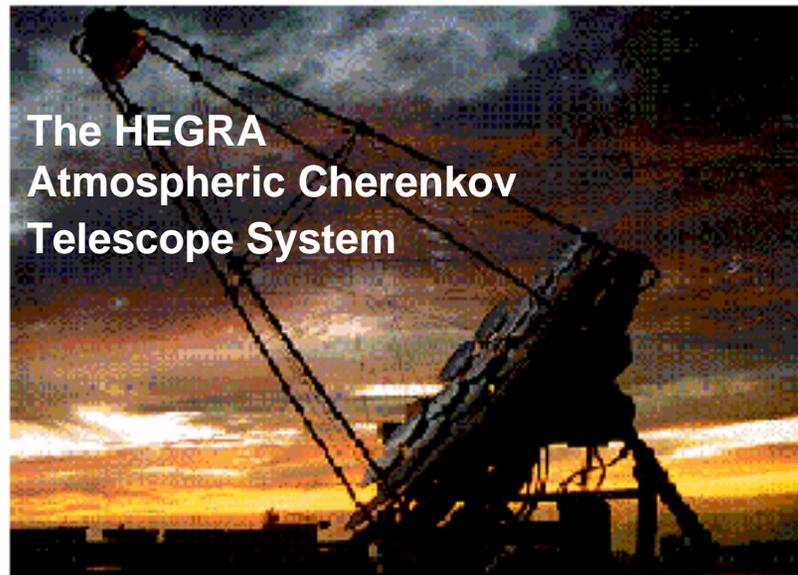
- **Direkter Nachweis mit satellitengestützten Instrumenten** (z.B.: Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) (1991-2000) und Gamma Ray Large Area Space Telescope (GLAST) (2003 ???-))
- **Indirekter Nachweis mit bodengestützten Observatorien** (z.B.: HEGRA)

Very High Energy Gamma-ray Astrophysics

CAT EXPERIMENT



The HEGRA  
Atmospheric Cherenkov  
Telescope System

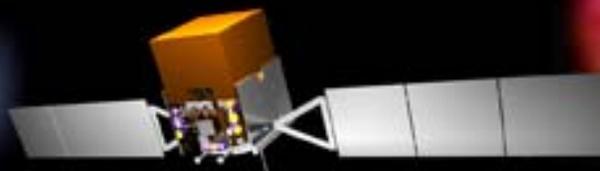


CANGAROO

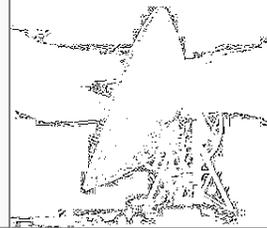


GLAST

The Gamma-ray Large Area Space Telescope

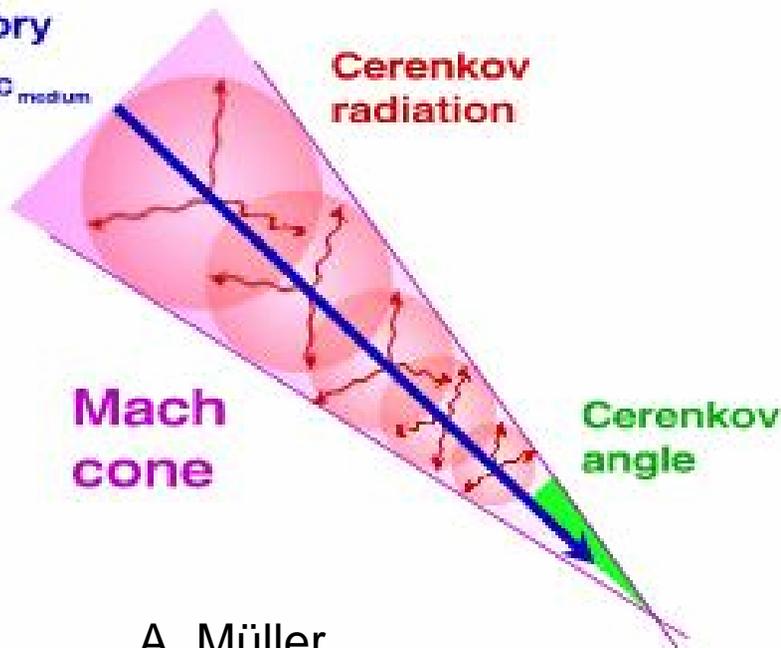


# 18.11. Cherenkov Licht

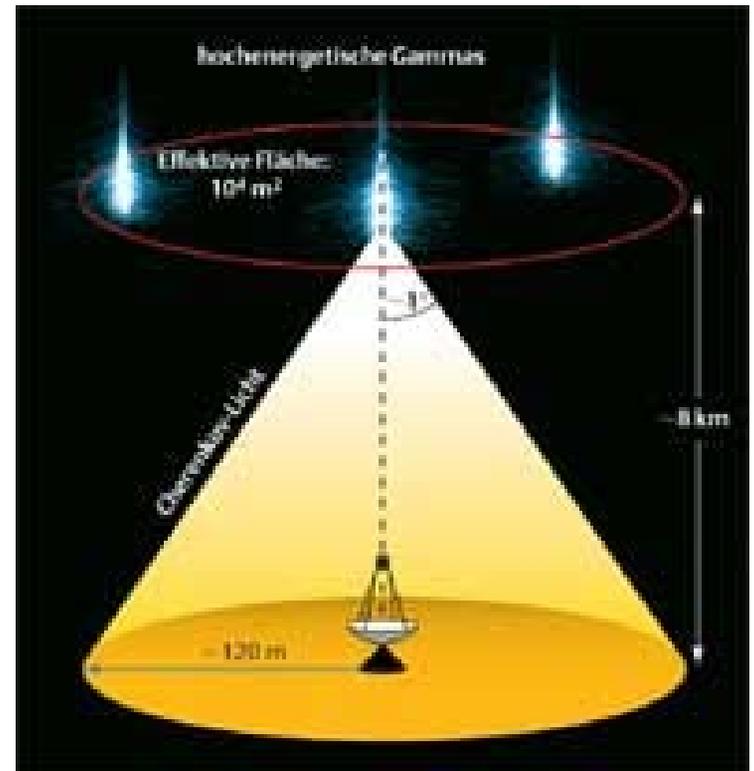


charged  
particle  
trajectory

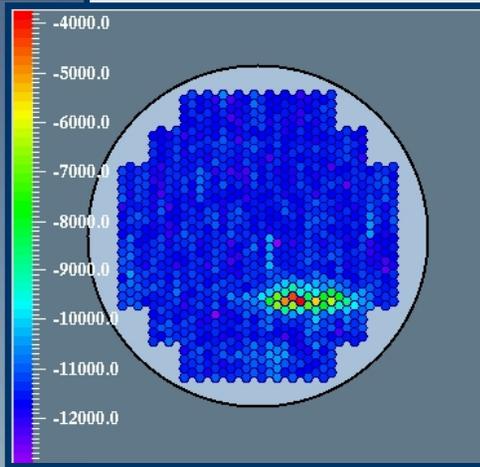
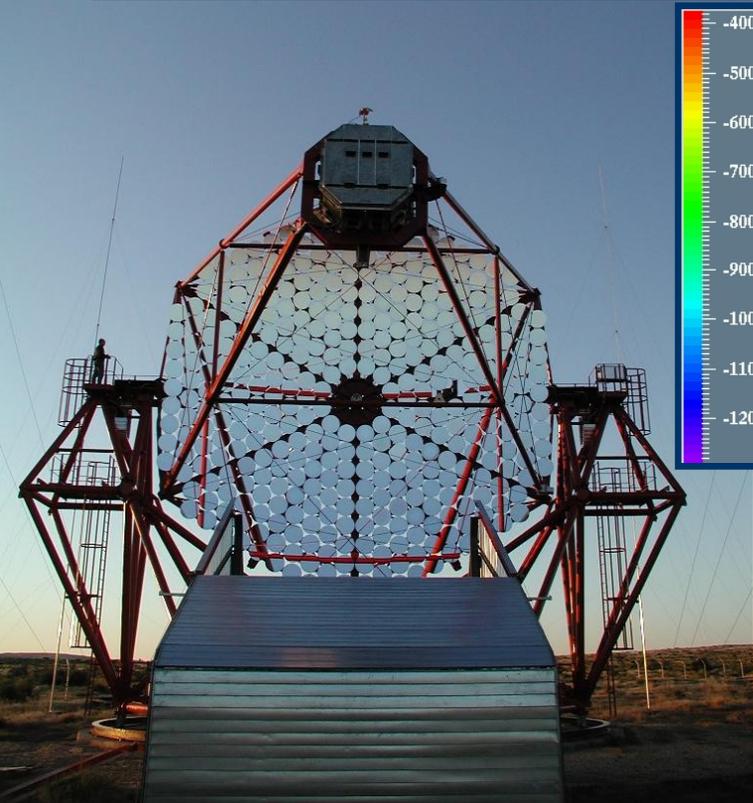
$$v_{\text{particle}} > c_{\text{medium}}$$



A. Müller



# HESS



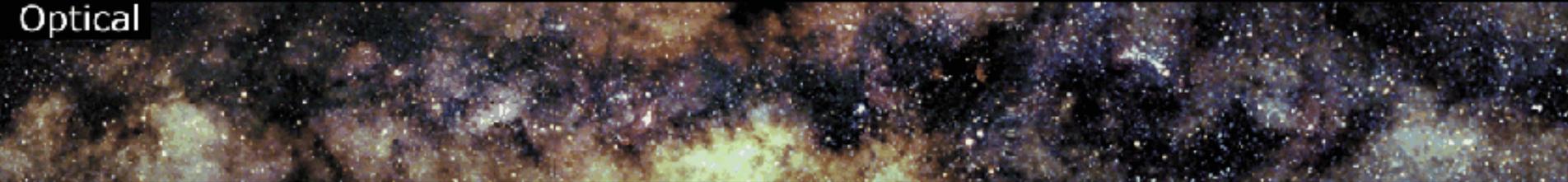
System abbildender  
Cherenkov-Systeme,  
Energien  $> 50$  GeV  
4x13m, 400 Einzel-  
Facetten aus Glas,  
Jeweils 60 cm Durchm.  
Erweiterung, 6-fach

# HESS: Neue Quellen detektiert!

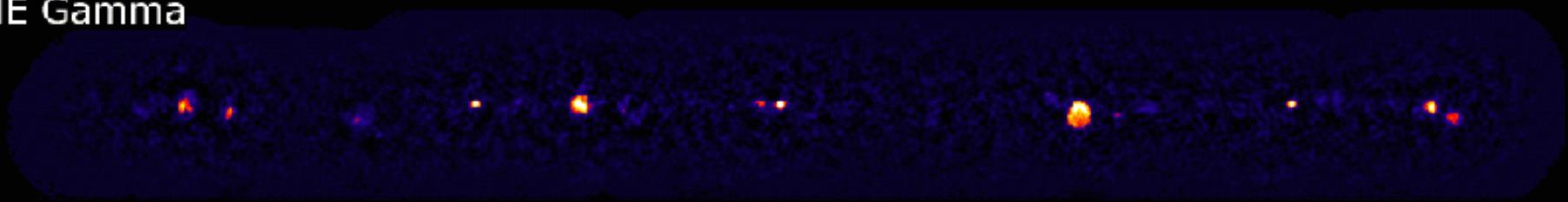
Infrared



Optical



VHE Gamma



# HESS: Mikroquasar detektiert

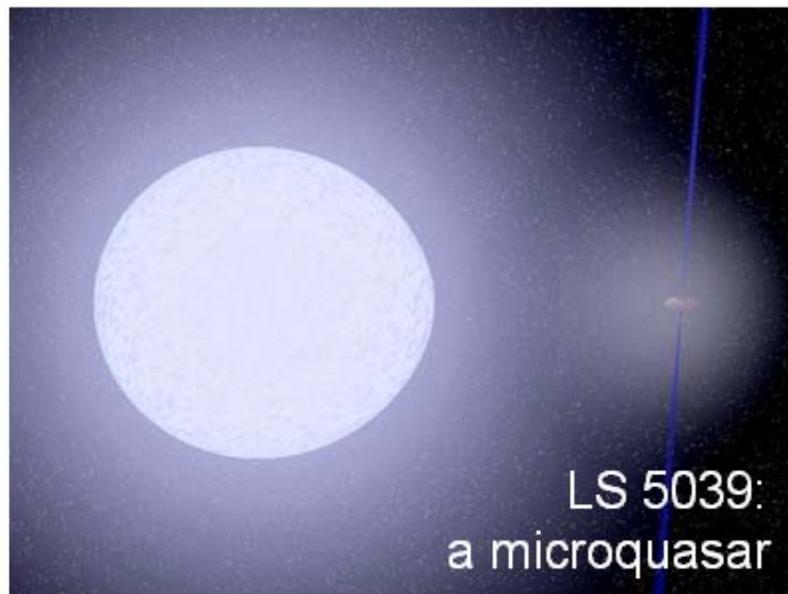
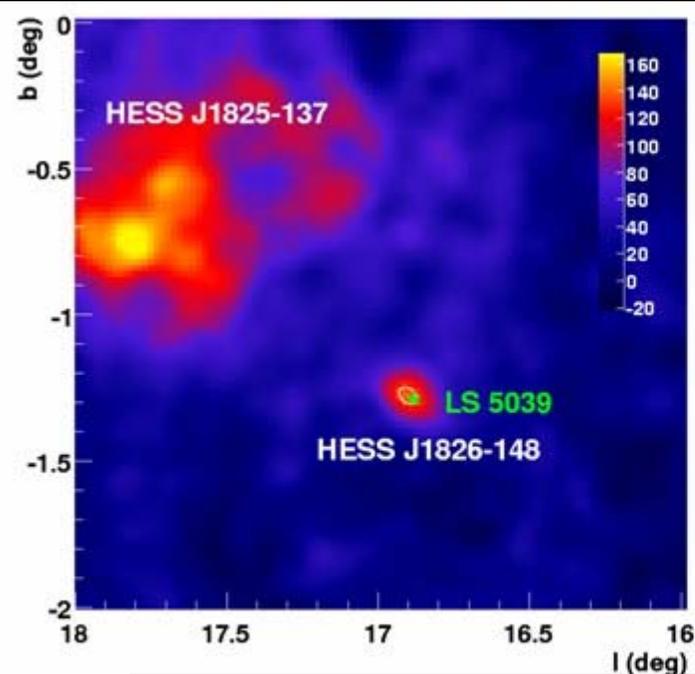
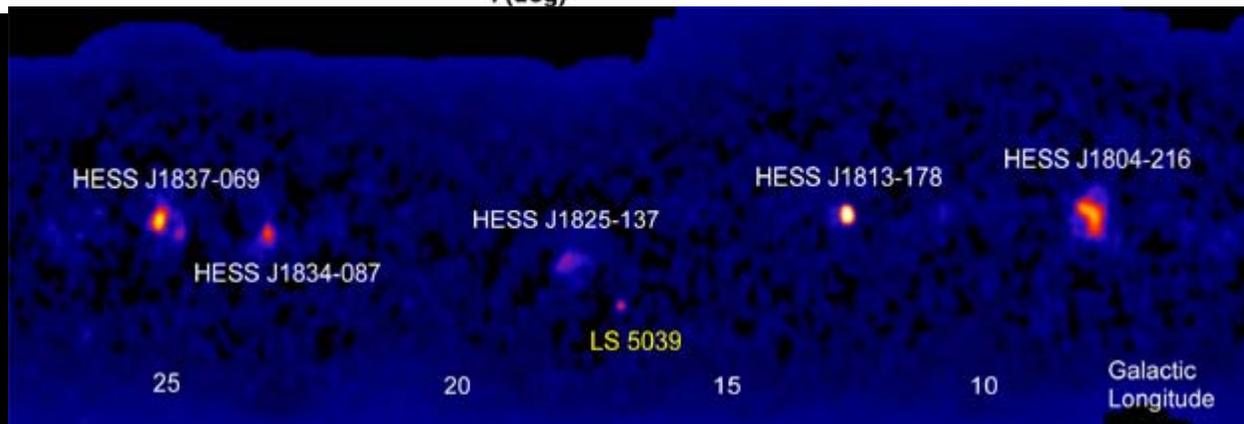


Image generated using software by Rob Hynes (LSU)



# 18.11. Das hochenergetische Universum



- Kosmische Strahlung
  - Geschichte der Erforschung?
  - Intensität und Nachweis?
  - Ursprung und Wechselwirkung?
- TeV-Quellen
  - Neue Teleskope, neue Pläne
  - Aktive Galaxienkerne & Strahlungsprozesse
- **Rätsel der kurzen Gammastrahlenblitze gelöst**

# 18.11. Rätsel der kurzen Gammastrahlenblitze gelöst



Der NASA-Satellit SWIFT. **Bild:** Spectrum,  
NASA E/PO,  
Sonoma State University, Aurore Simonnet

Neutron star collision: The Swift s  
pacecraft's gamma-ray burst observation  
fits the theory of a collision between  
some combination of black holes or  
neutron stars. Credit: NASA/Dana Berry

# Microquasars....

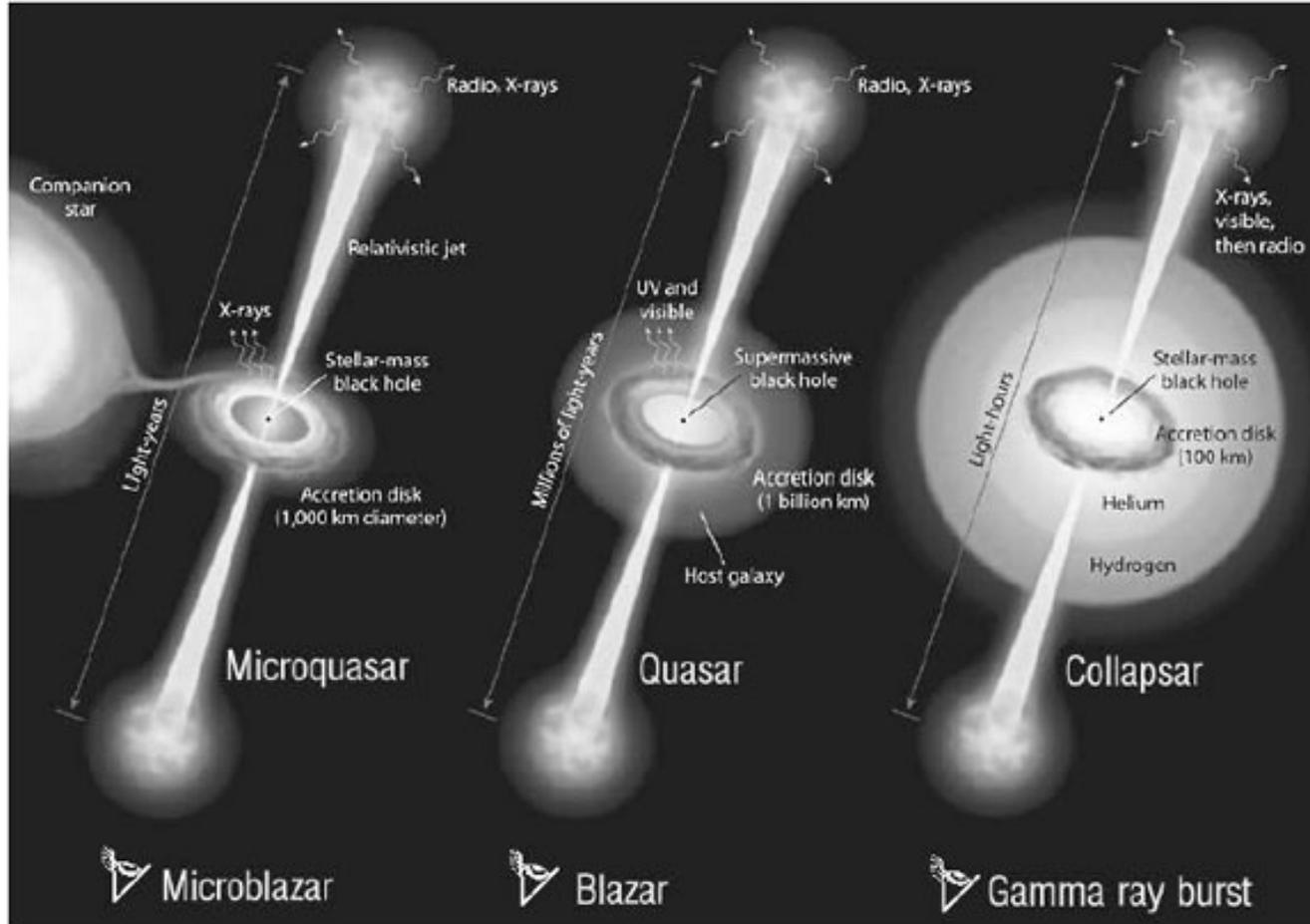
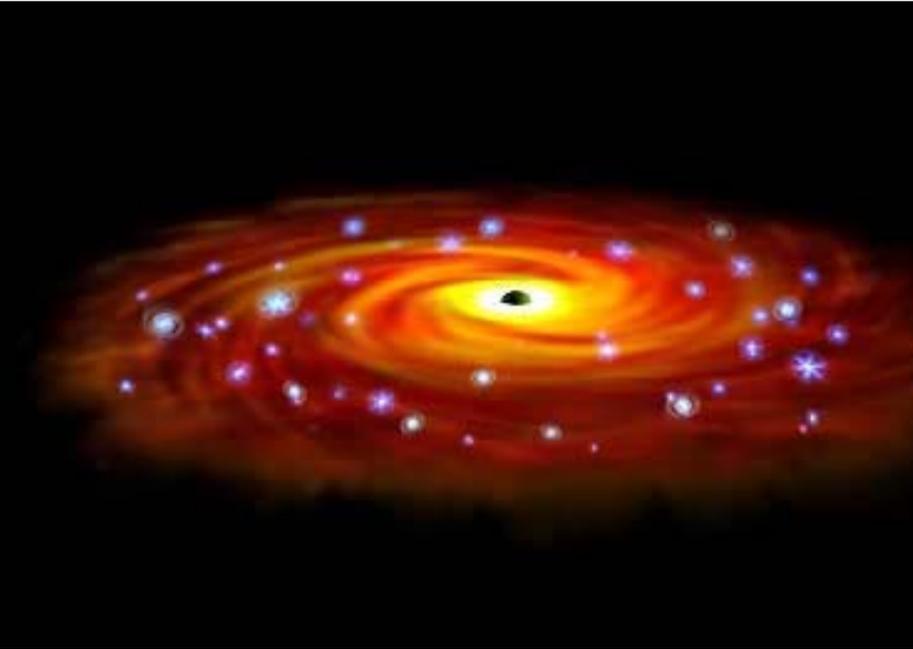


Diagram illustrating current ideas concerning microquasars, quasars and gamma-ray bursts (not to scale). It is proposed that a universal mechanism may be at work in all sources of relativistic jets in the universe. Synergism between these three areas of research in astrophysics should help to gain a more comprehensive understanding of the relativistic jet phenomena observed everywhere in the universe.

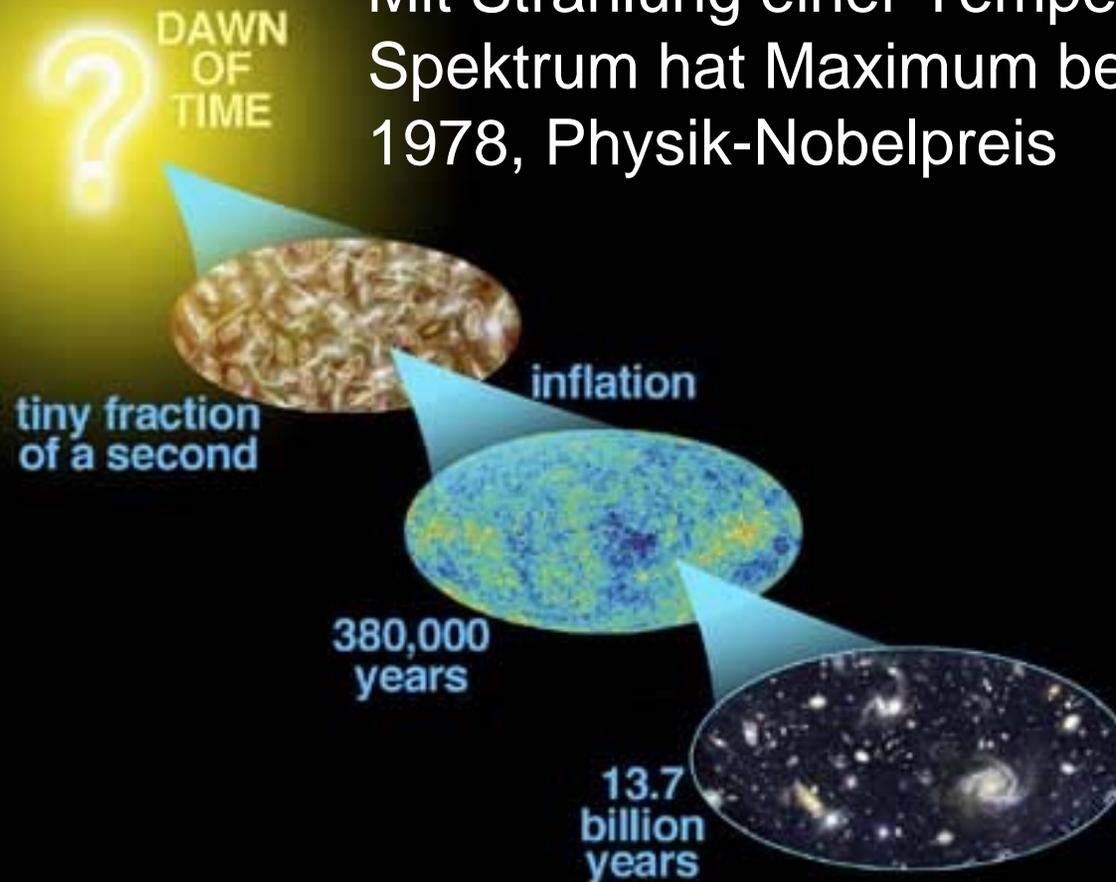
# 02.12. Schwarze Löcher: Neue Ergebnisse & Spekulationen



- Supermassive Schwarze Löcher & Aktive Galaxienkerne
- Schwarze Löcher & Galaxienentwicklung
- Schwarze Löcher im Miniformat / im Labor
- Hawking-Strahlung
- Schwarze Löcher & Wurmlöcher

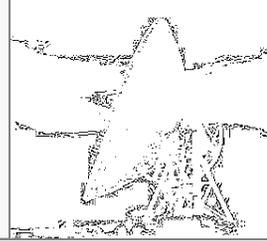
# 16.12.2006 Mikrowellenhintergrund

1964 Penzias & Wilson: Universum ist gefüllt  
Mit Strahlung einer Temperatur von 2.728 K,  
Spektrum hat Maximum bei 300GHz  
1978, Physik-Nobelpreis

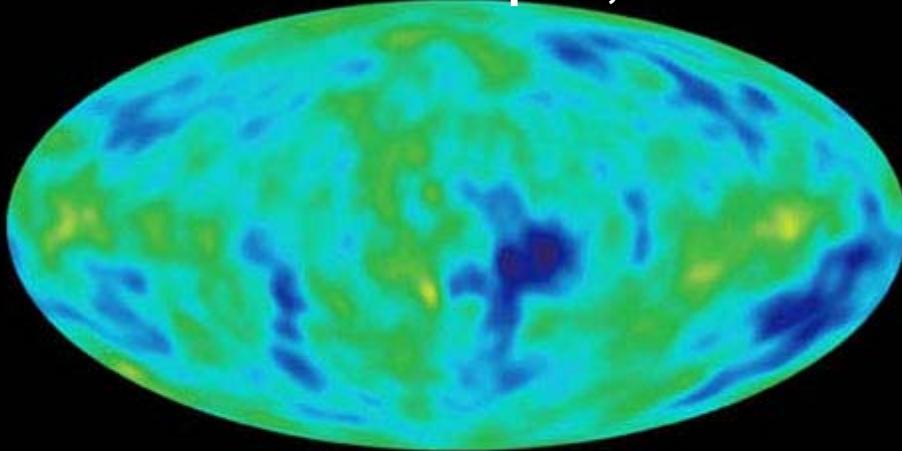


Die Rotverschiebung der Hintergrundstrahlung beträgt  $z = 1089 \pm 0,1\%$ .

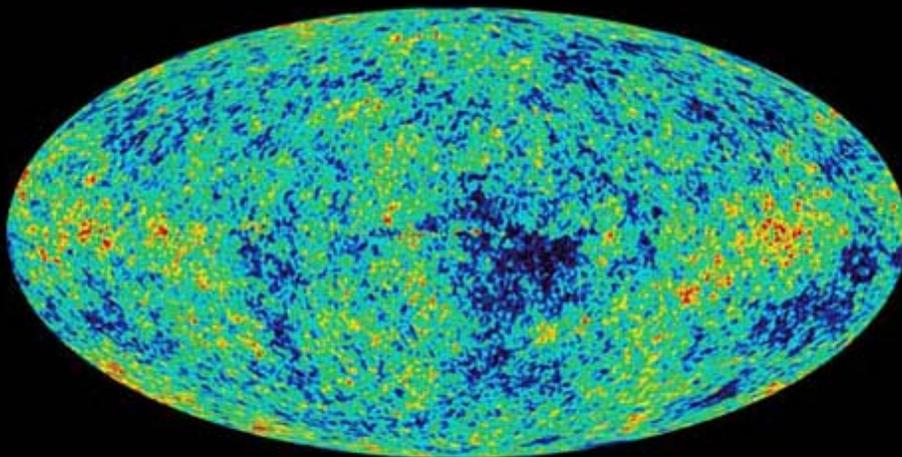
# Mikrowellenhintergrund



Keine Anisotropien, 1989



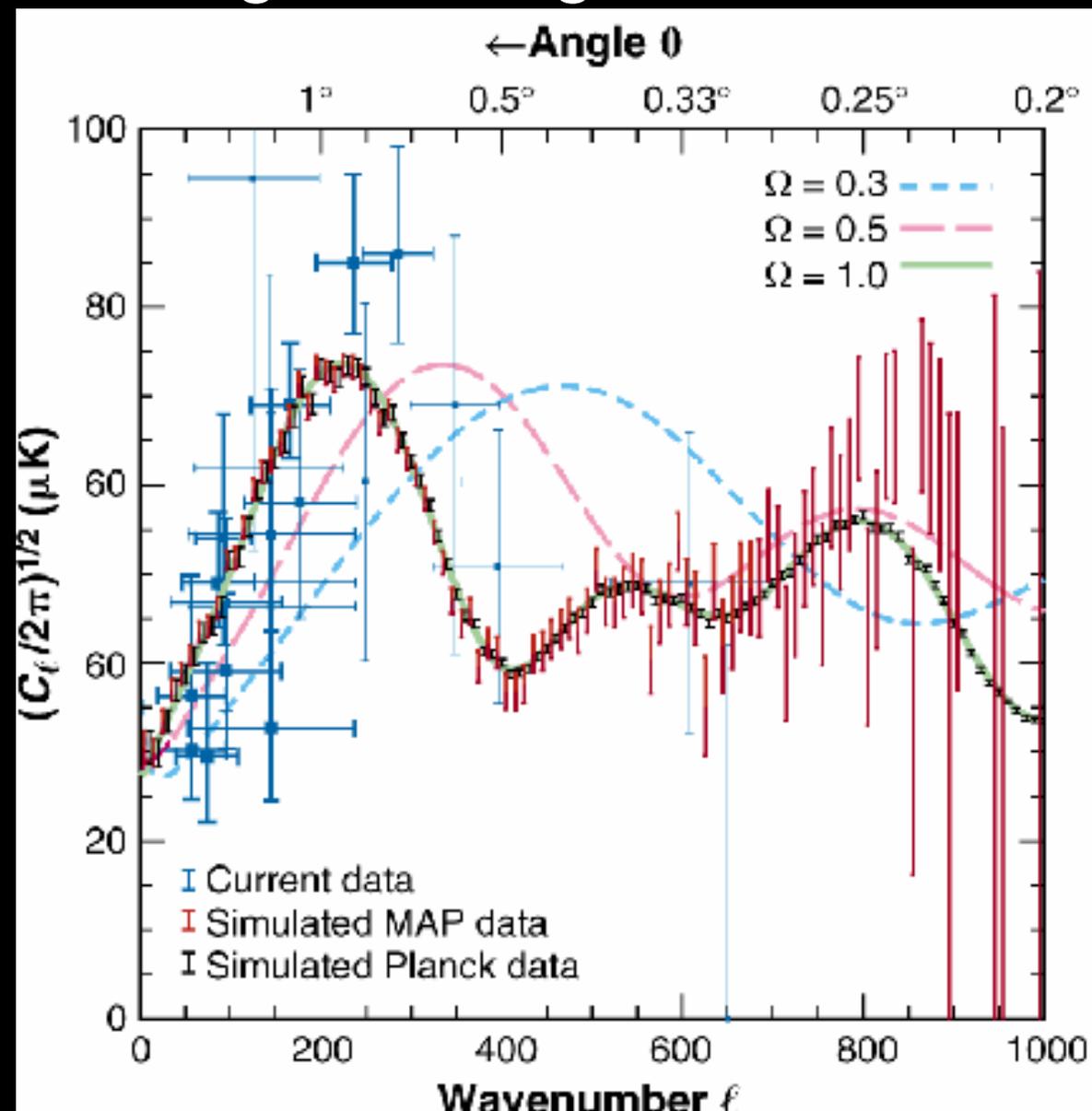
COBE



MAP

- WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, Die Temperatur ist anisotrop mit Fluktuationen
- CMB ist Schnappschuss des Universums bei einer Rotverschiebung von 1000
- Fluktuationen sind Vorgänger der großskaligen Fluktuationen von heute

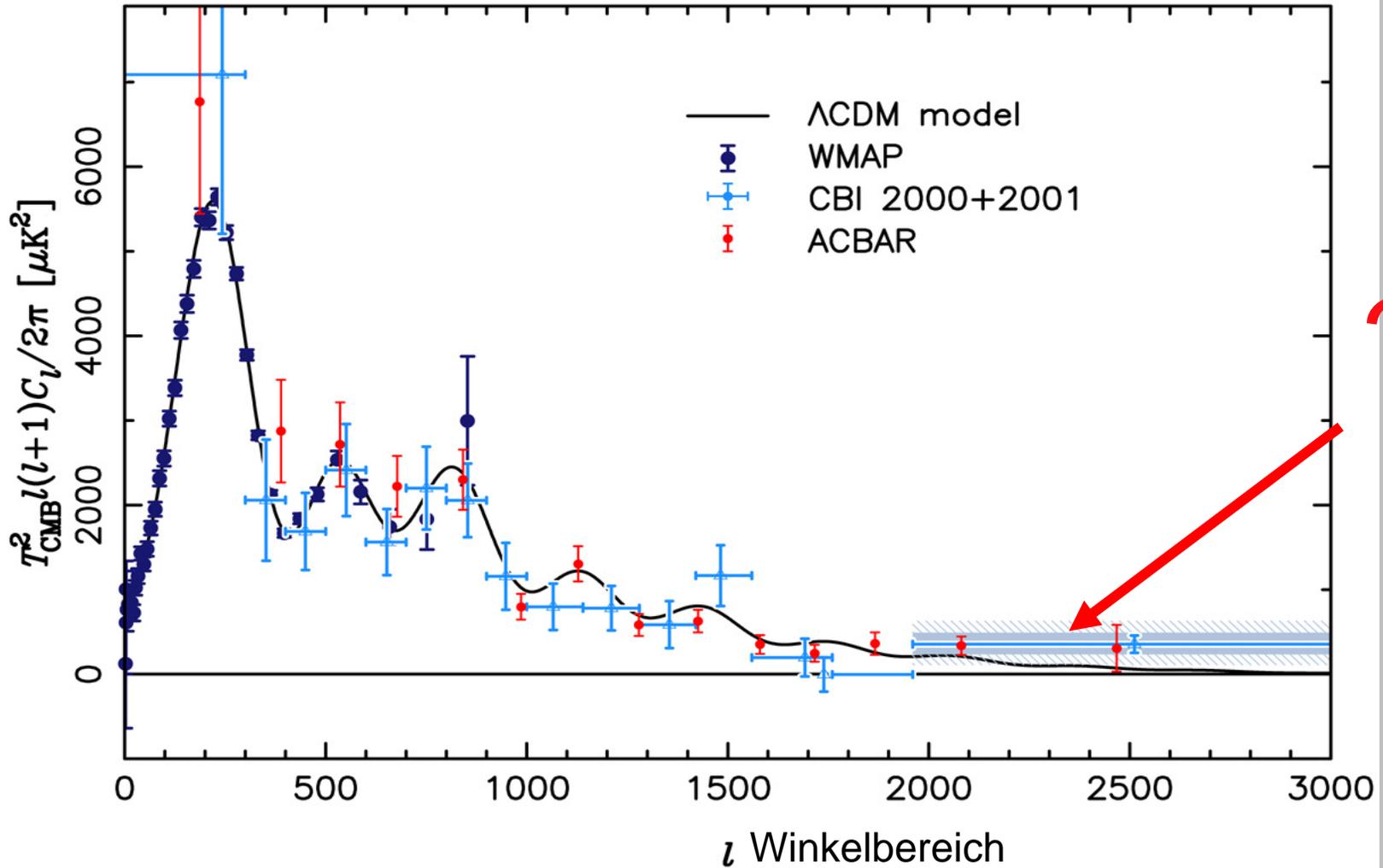
<- Energiefuktuationen als „Samen“  
für die großskalige Struktur



# Der Mikrowellenhintergrund

## Welche Rolle spielen die Galaxienhaufen?

Temperaturabweichung in Mikrokeln zum Quadrat



Die Ungleichmäßigkeit der Hintergrundstrahlung zeigt deutliche Maxima, wenn die Schwankungen in Abhängigkeit von ihrer Winkelgröße aufgetragen werden.

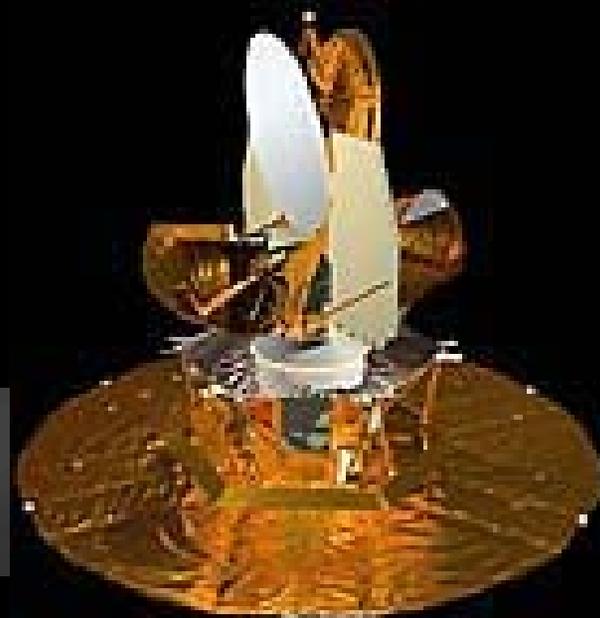
*Cosmic  
Background  
Imager*

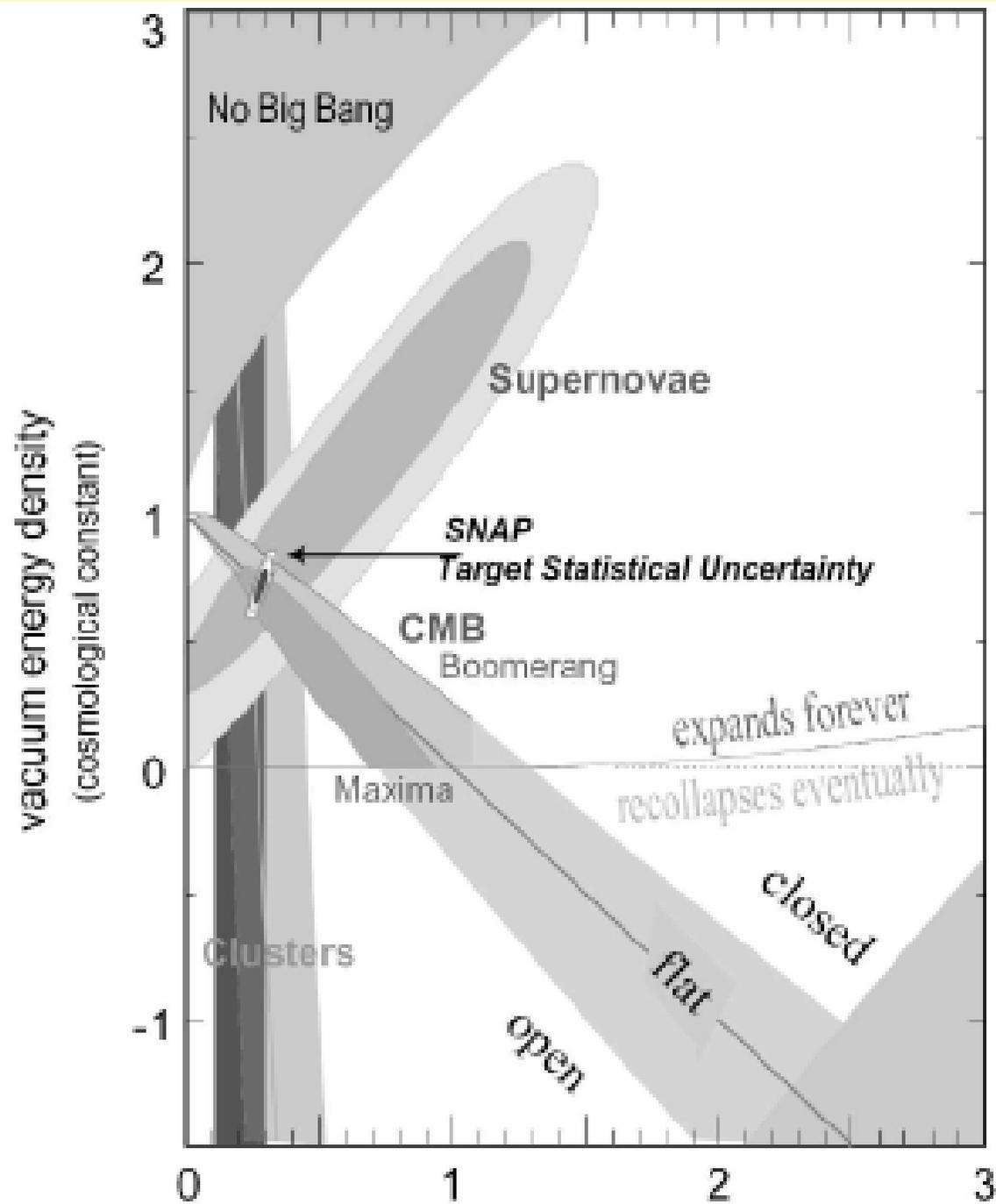


**Wilkinson  
Microwave Anisotropy Probe**



**Arcminute Cosmology  
Bolometer Array Receiver**



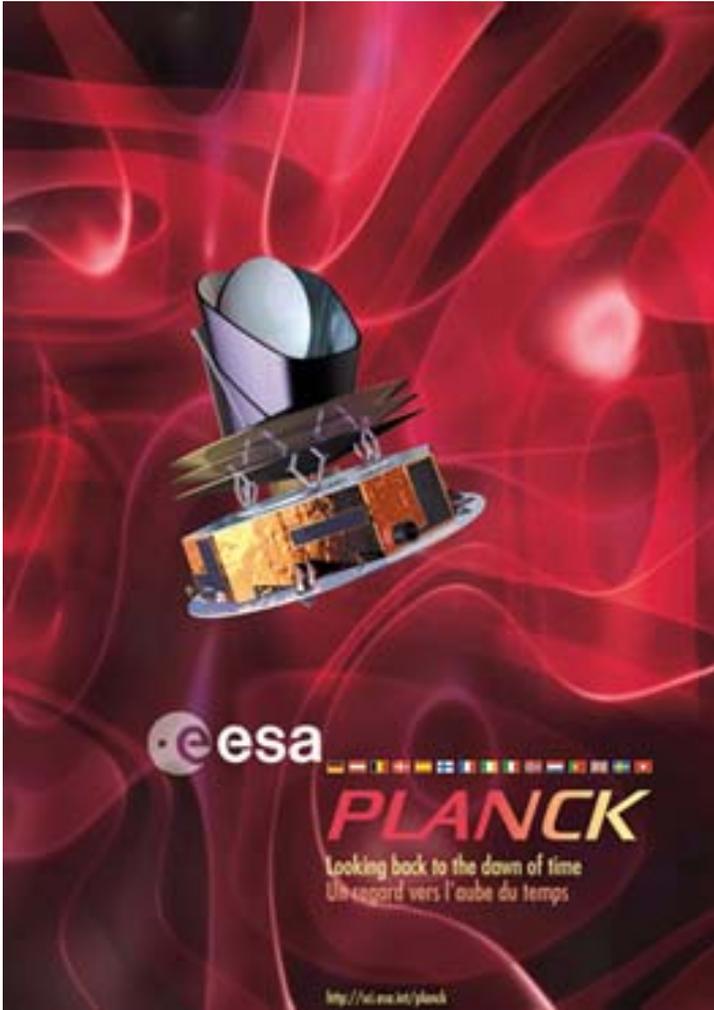


# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum



In today's conventional view of cosmology, baryonic (atomic) matter amounts to only 4.4 percent of the total cosmic matter-and-energy budget. The other 95.6 percent comprises dark matter and dark energy — both complete mysteries. Courtesy NASA / WMAP Science Team.

# PLANCK



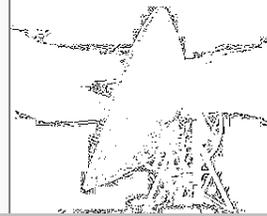
1.  $\Delta T/T \sim 2 \times 10^{-6}$ , besser als 10 Bogenminuten  
Auflösung
2. Februar 2007, Ariane 5, Kourou
3. Zusammen mit Herschel
4. 2 komplette Himmels-Durchmusterungen geplant

# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum



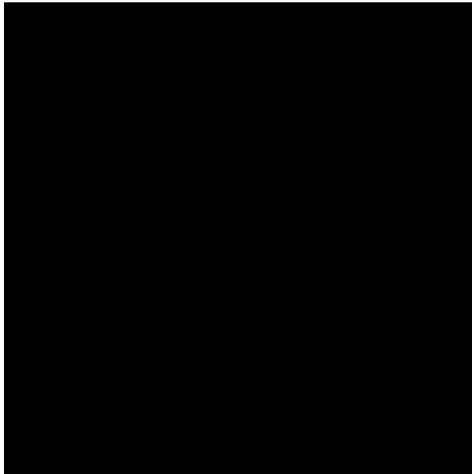
- 1932: Oort berichtet über eine „Dunkle Scheibe“ und beschreibt damit erstmals die „Dunkle Materie“
- 1933: Zwicky „Problem der fehlenden Masse“
- B.H. Margon: „Its a fairly embarrassing situation to admit that we can't find 90 % of the universe.“

# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum

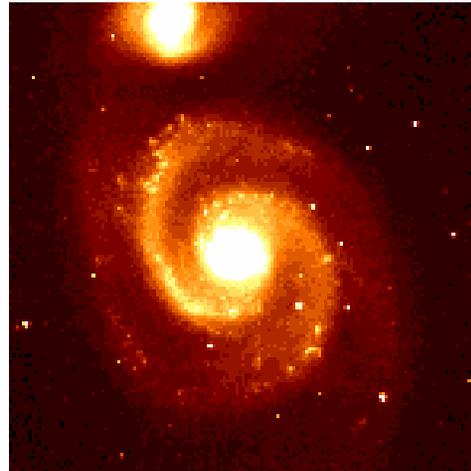


- **Argumente für die Existenz Dunkler Materie:**
- *Struktur und Bewegung*
  - a) *in der Milchstrasse* (Sternzählungen, Rotation der Scheibe)
  - b) *in anderen Galaxien* (Rotation ihrer Scheiben)
- Galaxienhaufen: Virialmasse, Röntgenstrahlung, Gravitationslinsen
- *Kosmologie und Dunkle Materie* (Modelle für Expansion, kritische Dichte, Dichteschwankungen)
- **Hypothesen zur Natur der Dunklen Materie** (Normale Objekte; nicht-normale Materie; Modified Newtonian Dynamics, MOND)
- **Wie könnte DM am besten versteckt sein?**
- *M Zwerge - Weiße Zwerge - Neutronensterne - Schwarze Löcher - Braune Zwerge - Planeten, Kometen, usw.*
- **DM oder keine DM?** (Ist die DM reell oder liegt ein Fehler in den Theorien vor? Omega-Lambda)

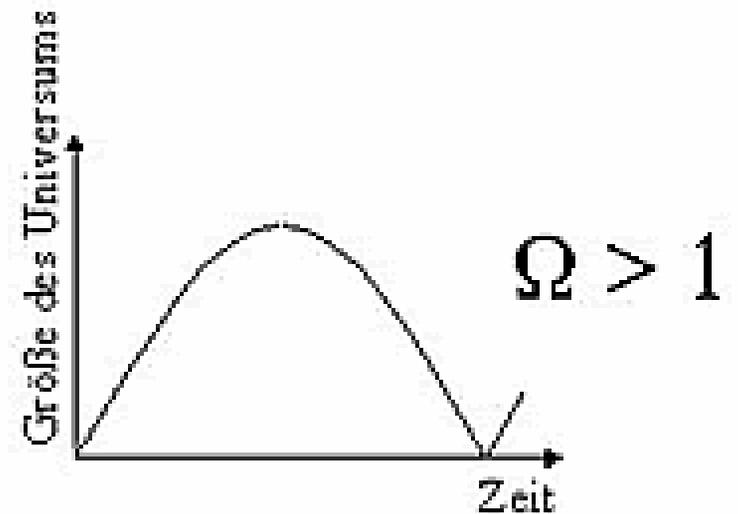
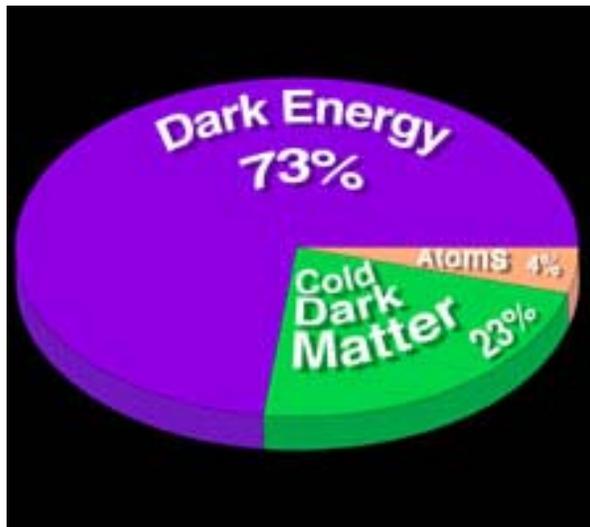
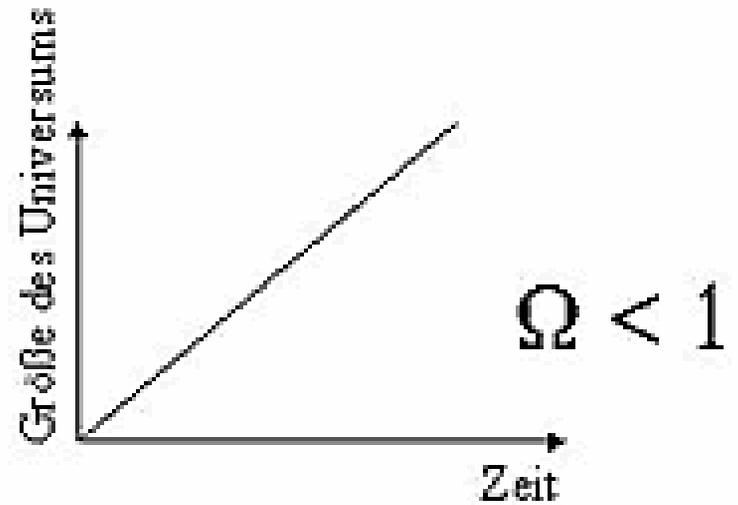
# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum



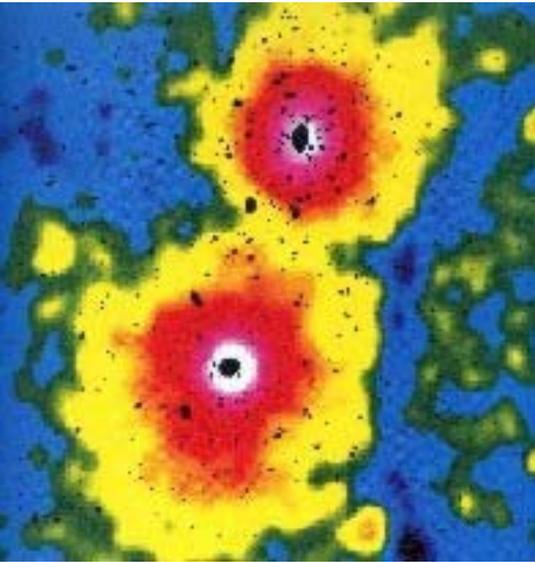
Dunkle Materie



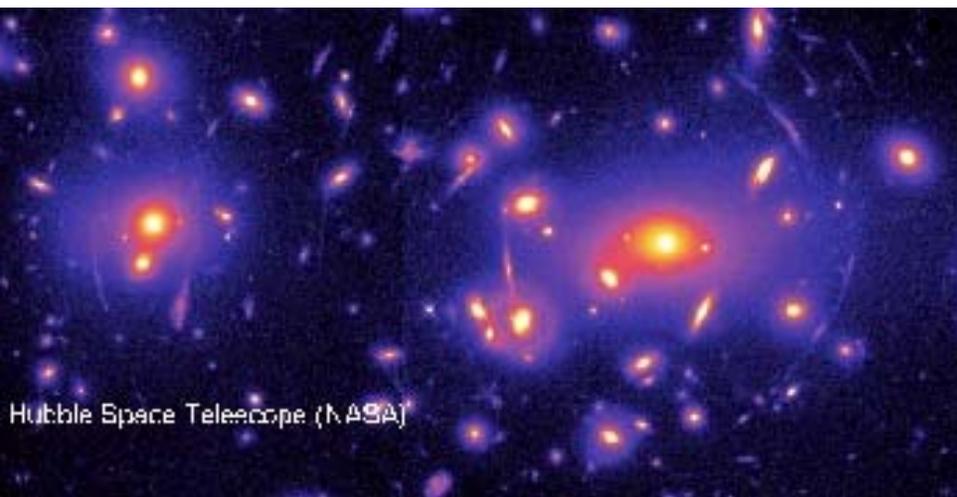
Keine Dunkle Materie



# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum

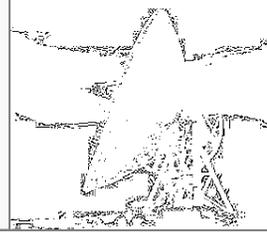


*Der Galaxienhaufen Abell 3528 zeigt bei Messungen im Röntgenbereich ein riesiges leuchtendes Gebiet. Gas kann nur im Galaxienhaufen gebunden bleiben, wenn dessen Masse sehr gross ist. In diesem Fall braucht man deutlich mehr Masse, als die bekannten Massekomponenten (die in schwarz eingezeichneten Galaxien) erklären können: **Dunkle Materie** (Aufnahme ROSAT).*



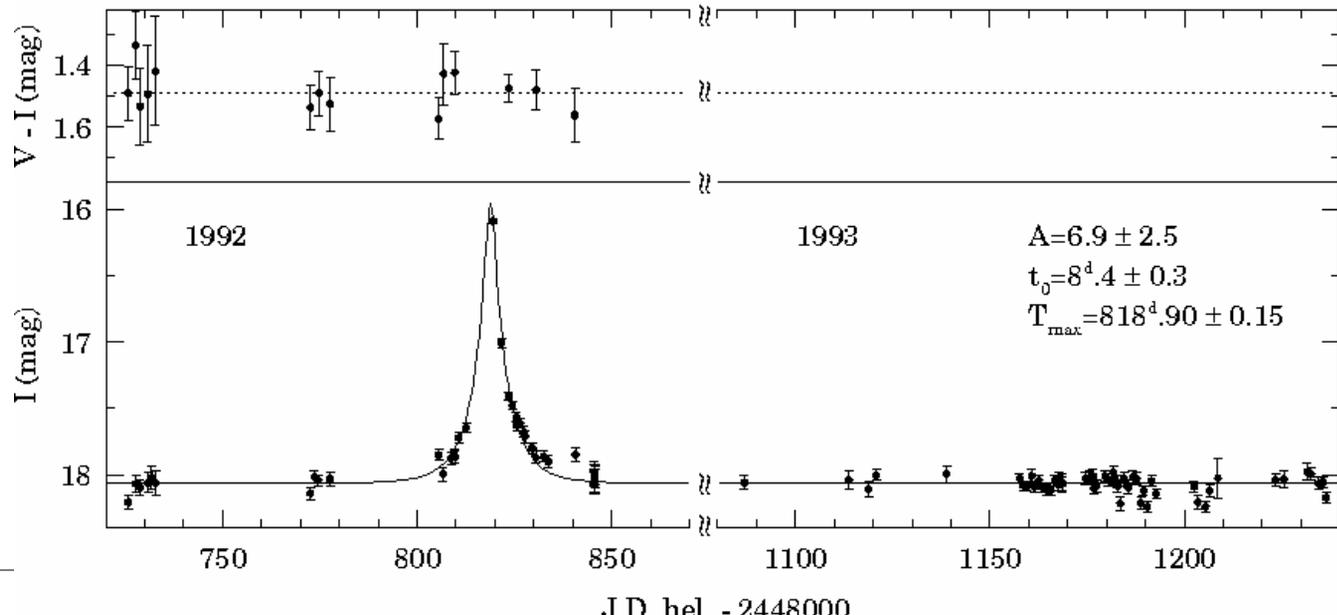
*Die vom Galaxienhaufen Abell 2218 erzeugte Gravitationskraft bewirkt Verzerrung von Bildern der Hintergrundobjekte zu Punktquellen und Bögen. Aus der Form der Verzerrung und weiteren Informationen ist die Gesamtmasse des Galaxienhaufens modellierbar. Ein weiterer Fall für **Dunkle Materie** (Aufnahme HST).*

# Gravitationslinsen: Kosmologische Aspekte (Galaktische Mikrolinsen)

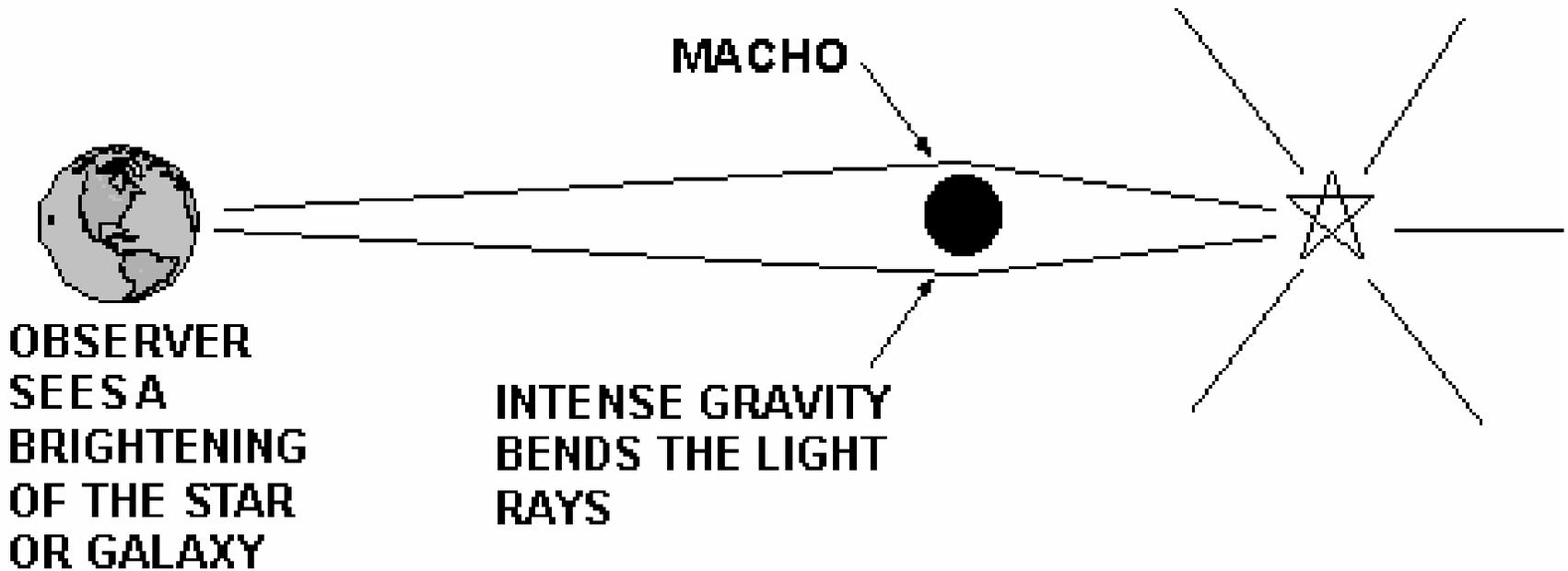
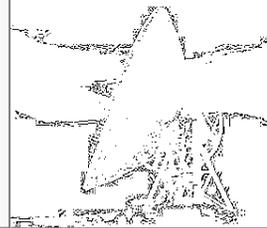


- Galaxienhalos müssen dunkle Materie enthalten (Braune Zwerge? Massen kleiner 0.08 Sonnenmassen, Temperatur nicht hoch genug um Helium-Brennen zu starten), MACHO (Massive Compact Halo Object), Fluktuationen in Sternen in LMC, 1/3 Mio LMC-Sternen wird gerade deutlich verstärkt! 6 Gruppen beobachten
- Weniger Ereignisse als erwartet wenn Halo der Milchstraße komplett aus diesen Objekten besten würde (konsistent mit 50%)
- Ähnliches Experiment in Richtung galaktischer bulge: 200 Ereignisse

OGLE  $\mu$ LENS #6: MM5-B I 128727



# Auf der Suche nach Spiegel-Materie



**Gravitational Lensing--how MACHOs focus light**

**MACHO: Massive astrophysikalische kompakte Haloobjekte**

# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum



- **WIMP**: *Weakly Interacting Massive Particle*
- Experimente beruhen auf elastischer Streuung von WIMPs an Atomkernen, Rückstoß wird auf die Kerne übertragen
- **Aber**: extrem niedrige Streurrate; Radioaktivität und kosmische Höhenstrahlung müssen abgeschirmt werden
- DAMA (DARk MATter search), Gran Sasso, sucht den jahreszeitlichen Rhythmus im Rückstoßspektrum zu detektieren, 100kg NaI-Detektoren
- Wenige Ereignisse pro Jahr in 100 kg Targetmasse
- Ziel: Ausbau der Detektormassen auf 1000kg

# 13.01. Dunkle Rätsel im Universum



## Experimente:

Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers (CRESST) - München:

CRESST - Gran Sasso

EDELWEISS - Experiment

Heidelberg Dark Matter Search Experiment (HDMS)

Germanium Nitrogen Underground Setup (GENIUS)

Cryogenic Dark Matter Search (CDMS)

Particle Dark Matter searches with highly radiopure scintillators at Gran Sasso (DAMA)

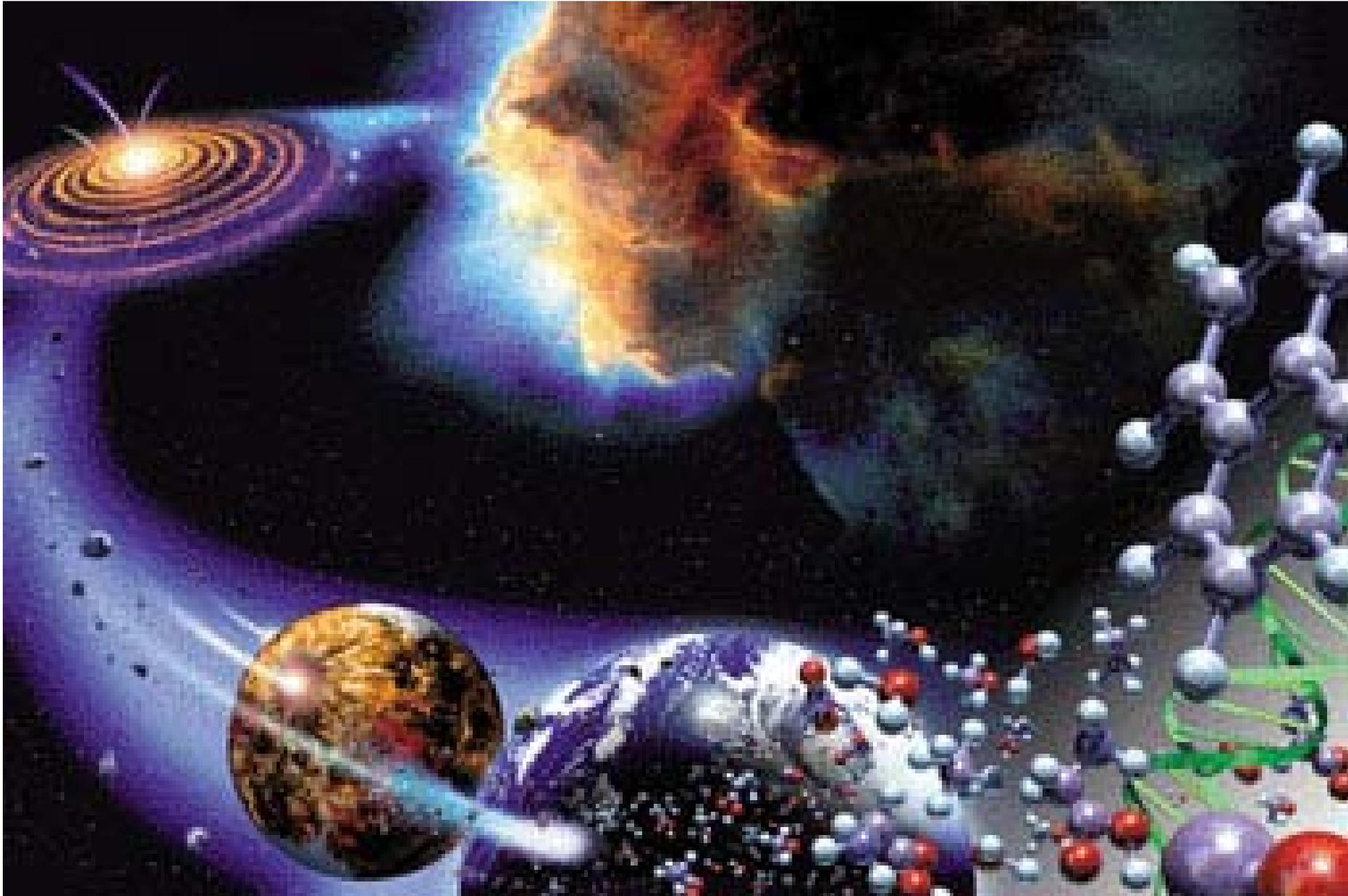
UK Dark Matter Collaboration (UKDMC)

# Alles nur falsch berechnet ...



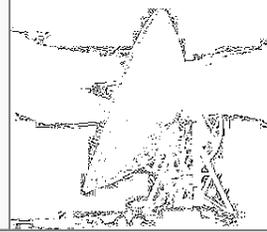
- Lambda-Problem, Energiedichte des Vakuums
- Aus Bequemlichkeit lange gleich 0 gesetzt, Hinweise darauf, daß sie nicht gleich 0 ist -> Bedarf an Dunkler Materie wird geringer
- J.L.Riley: light turning into matter as it ages ...
- Neue Publikation: Nicht nur Newtons Gravitationstheorie sondern Allgemeine Relativitätstheorie von Einstein für die Bewegung der Sterne in einer Galaxie heranziehen!!

# 27.01.2006 Die Zeit vor dem Urknall



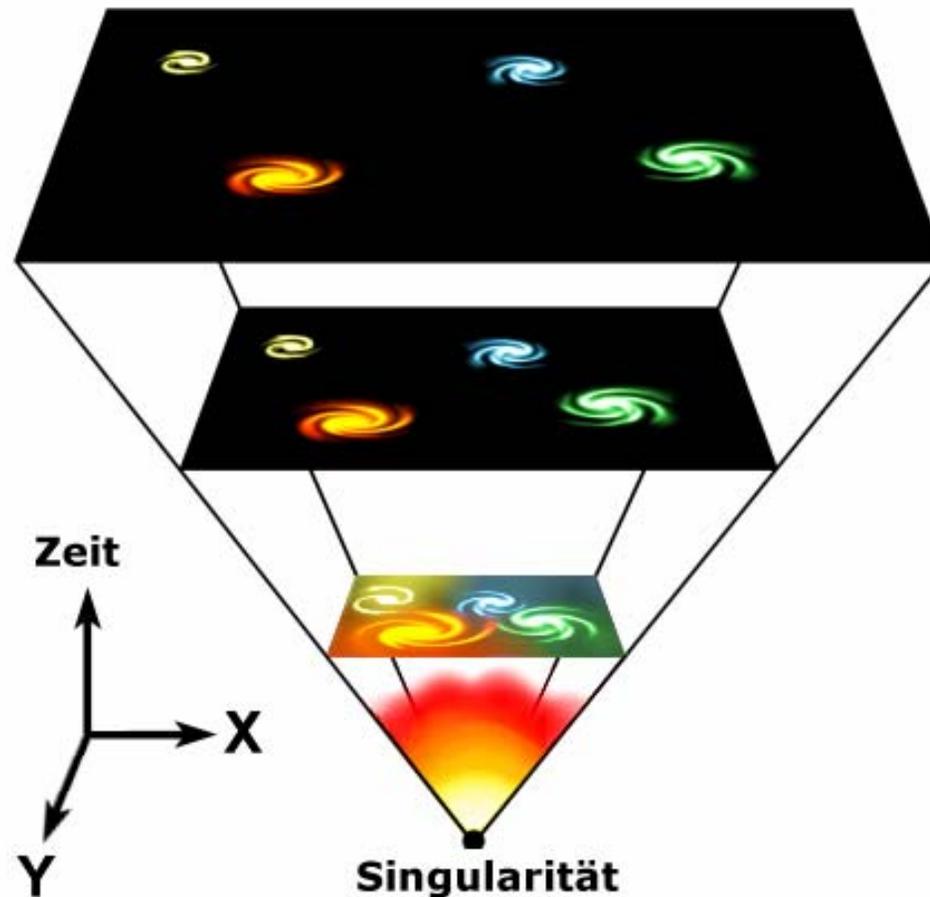


- Standardmodell der Kosmologie
- Probleme des Standardmodells
- Kurz nach dem Urknall: Das „inflationäre Universum“
- Oder: Was war vor dem Urknall?
  - „Unglaubliche“ Neue Theorien:
    - Universum entsteht aus sich selber (Gott/Li, Princeton)
    - Multiversen (Linde, Stanford)
    - Paralleluniversum (Steinhardt, Princeton)
    - Schwarzes Loch als „Eizelle“ (Smolin, Pennsylvania State University)



- 1927: bei Hypothese Punkt he

tre stellt einem



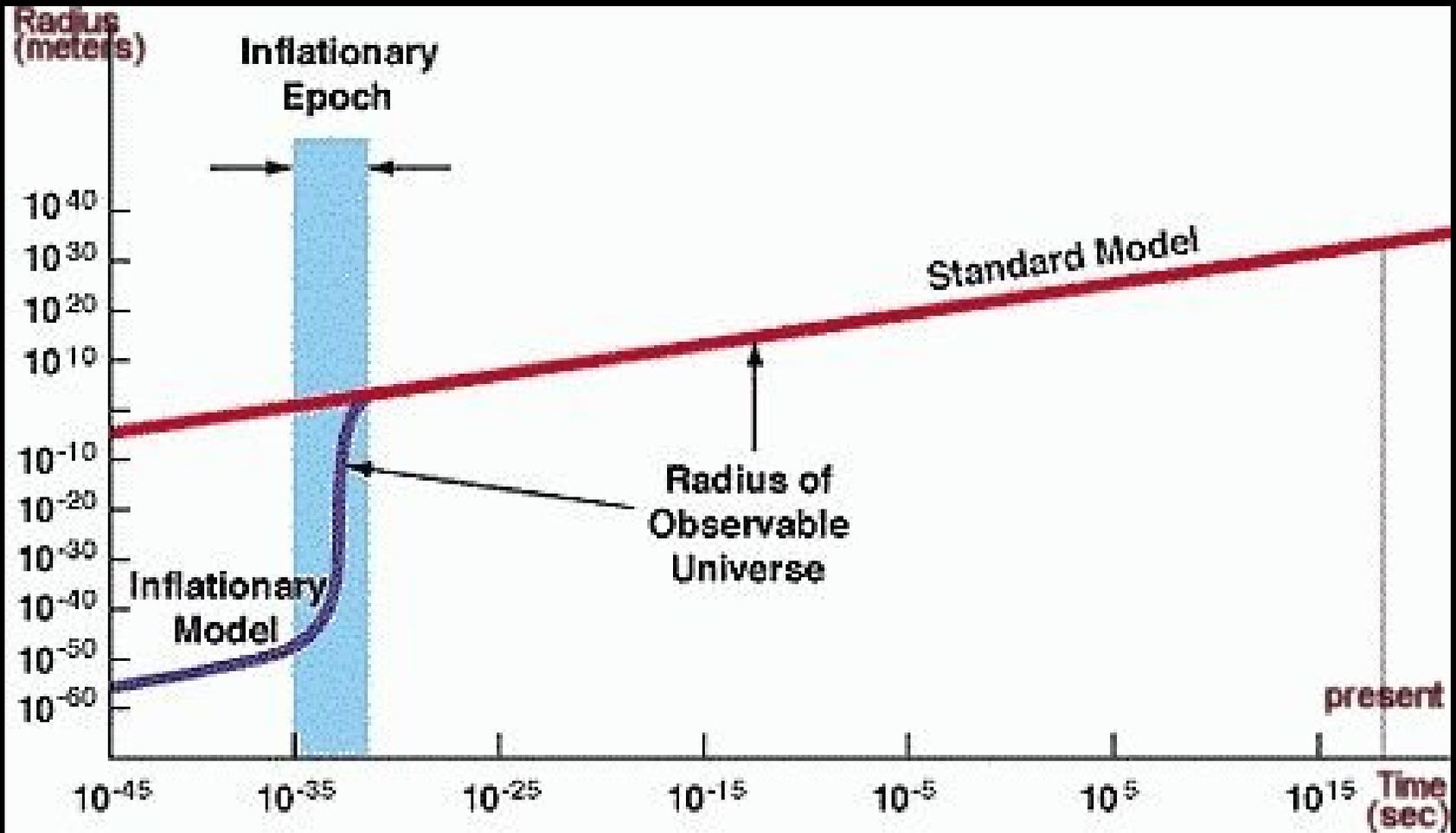


- Probleme mit dem Urknall-Modell:
  - Das Universum soll flach sein
    - Einsteins Gleichungen sagen voraus, daß jede Abweichung von Flachheit mit dem expandierenden Universum größer wird. Ist jetzt sehr klein, muß unmessbar klein am Anfang gewesen sein.
  - Der „Horizont“
    - Horizont (die Distanz, die ein Photon zurücklegen kann, während das Universum expandiert); Horizont heute ist zu klein für die Isotropie in kosmischer Hintergrundstrahlung.
  - Magnetische Monopole
    - Wurde bislang nicht gefunden

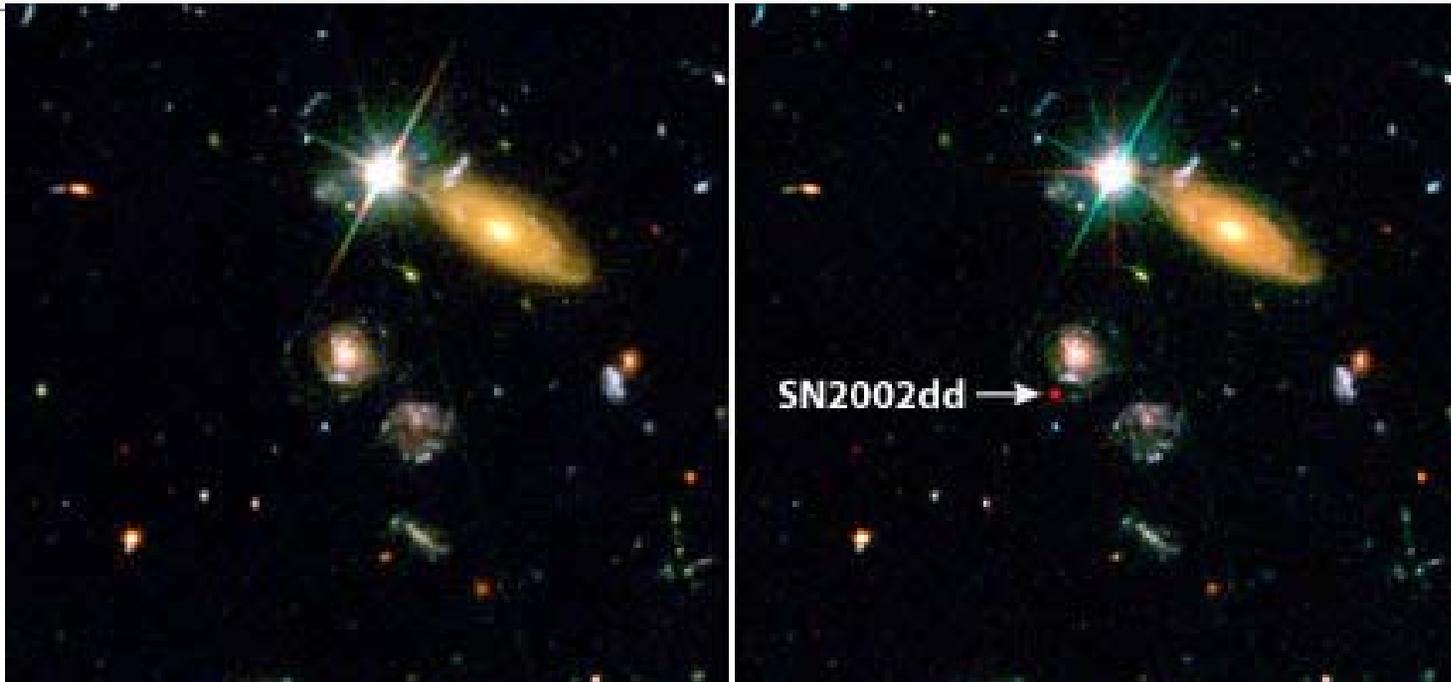
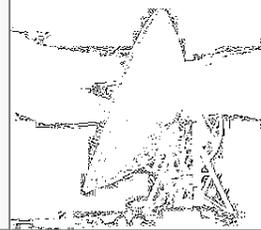


- Lösung der Probleme:
  - **Inflationäres Universum**
    - Hinweis auf Beschleunigung aus Supernovae-Beobachtungen, Vakuumenergie oder Kosmologische Konstante
    - Spontaner Symmetriebruch einer vereinheitlichenden Teilchen-Theorie
- Kann die Theorie getestet werden?
  - Ja: thermische Fluktuationen, gleiche Größe auf jeder Skala, Gaußverteilung -> kosmischer Mikrowellenhintergrund
- Neue Probleme: wie stoppt man die Inflations-Phase?
- **Quintessenz** kosmische Energiedichte, Aristoteles: 5. Element, Äther

# Inflationäres Universum



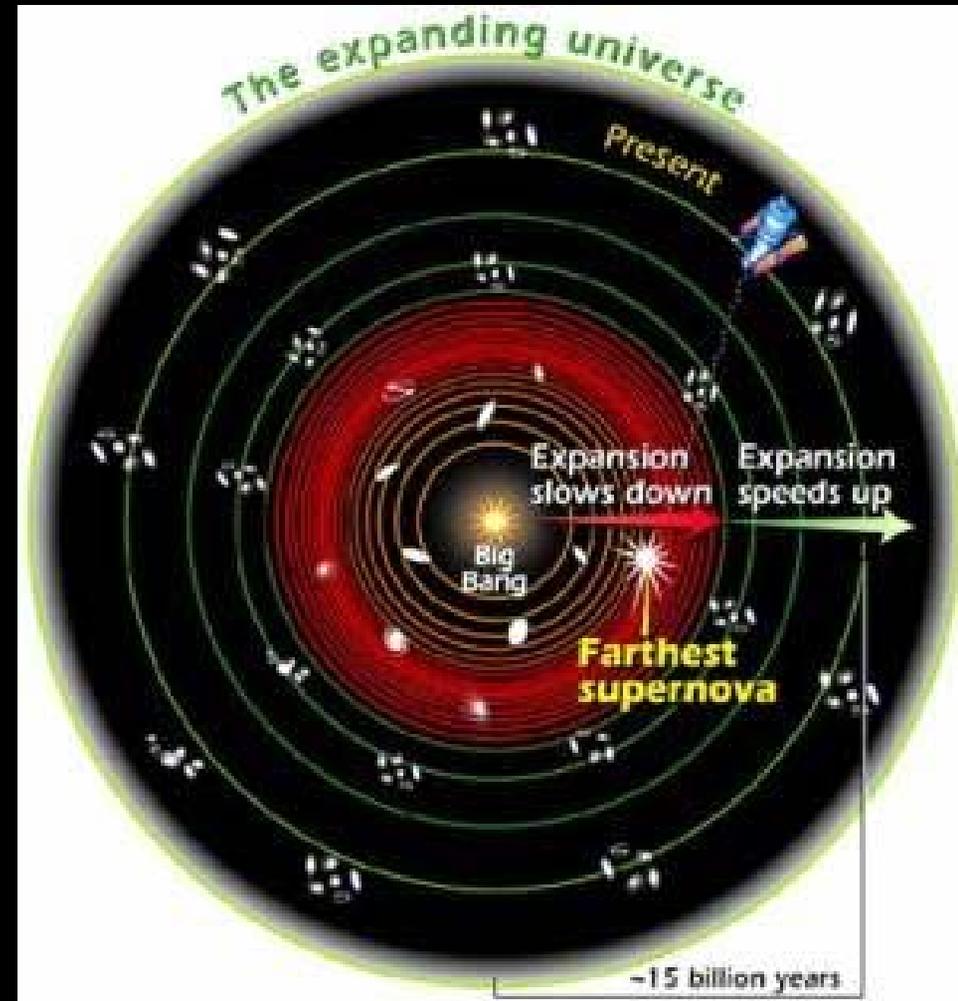
# 27.01.2006 Die Zeit vor dem Urknall

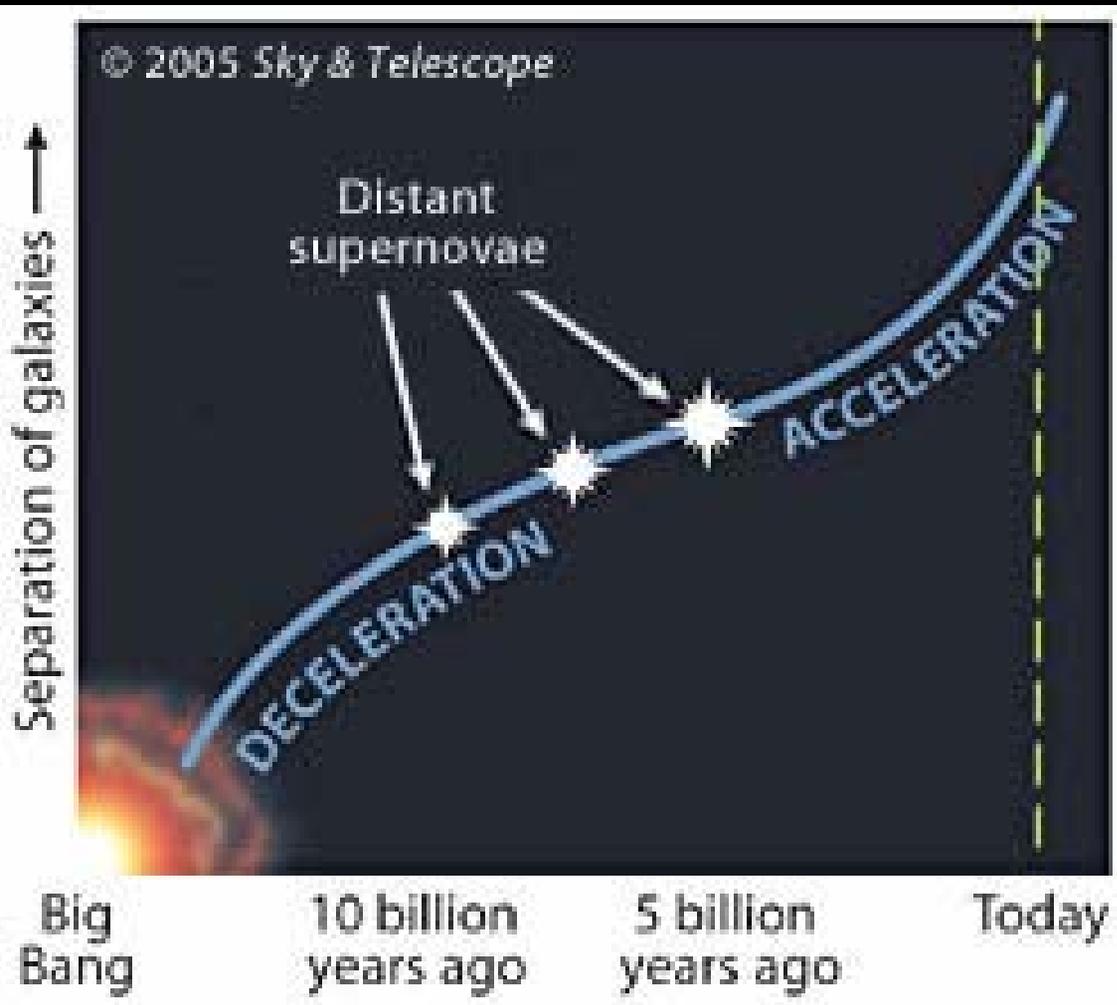


- *Left:* A small portion of the original Hubble Deep Field image, which the Hubble Space Telescope acquired in late 1995. *Right:* The same field, imaged 6½ years later with Hubble's Advanced Camera for Surveys. ACS serendipitously captured a supernova explosion (SN2002dd) that took place when the universe was slightly less than half its current age. Such supernovae have shown that the universe's expansion has been speeding up in the last few billion years. Courtesy NASA and John P. Blakeslee (Johns Hopkins University).

# Hinweis auf beschleunigtes Universum

- taken from:  
<http://spaceflightnow.com/news/n0104/03supernova/>
- Supernove Typ Ia
- Kein Wasserstoff
- Nur Linien höherer Elemente:  
Helium und Kohlenstoff
- Leuchtkraft steigt rasch an,  
innerhalb weniger Stunden Max.,  
fällt ab
- Abweichungen vom  
gleichförmigen Expansionsges  
etz für Supernovae bei hohen  
Rotverschiebungen



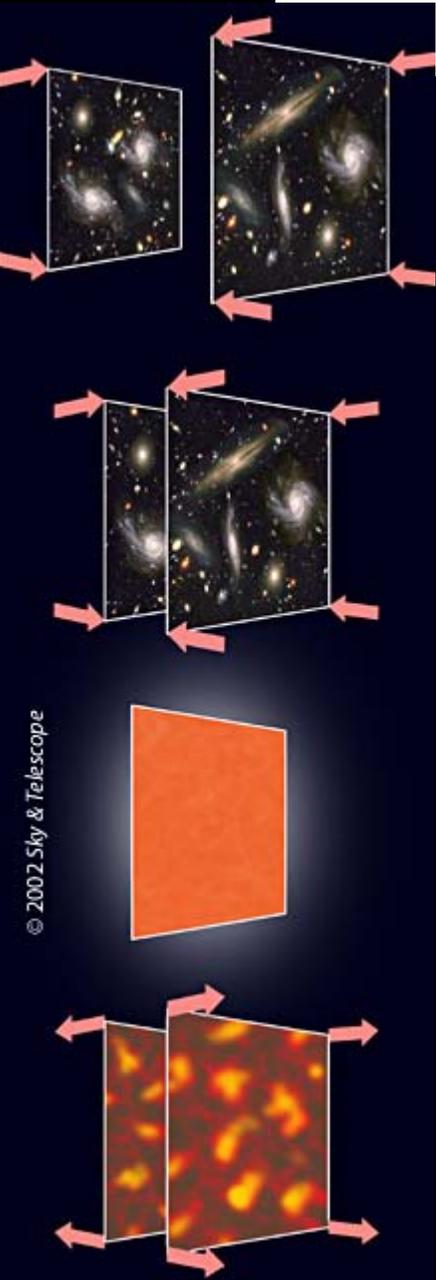


- This graph shows how much space lies between galaxies on average throughout the universe's history. A dark-matter-dominated *deceleration* put on the brakes shortly after the Big Bang, while a more recent period of cosmic *acceleration* — supposedly powered by dark energy — has dominated in recent eons. Sky & Telescope illustration by Steven Simpson. Source: Space Telescope Science Institute.



- Alternative Modelle zum Inflationären Modell:
- Universum viel älter!!!
- Schafft Singularität ab
- Stringtheorie -> Universum vor dem Urknall: Prä-Urknall Szenario oder ekpyrotisches Szenario (Entstehung aus Feuer)

# Ein zyklisches Universum? Ekpyrotisch ...



Unser Universum nur eines von vielen D-Branen, die in höher dimensionalem Raum treiben.

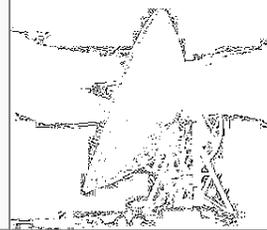
D-Branen ziehen einander an und kollidieren gelegentlich.

**Urknall:** eine Kollision einer anderen Bran mit Unserer eigenen

Variante: Kollisionen wiederholen sich zyklisch

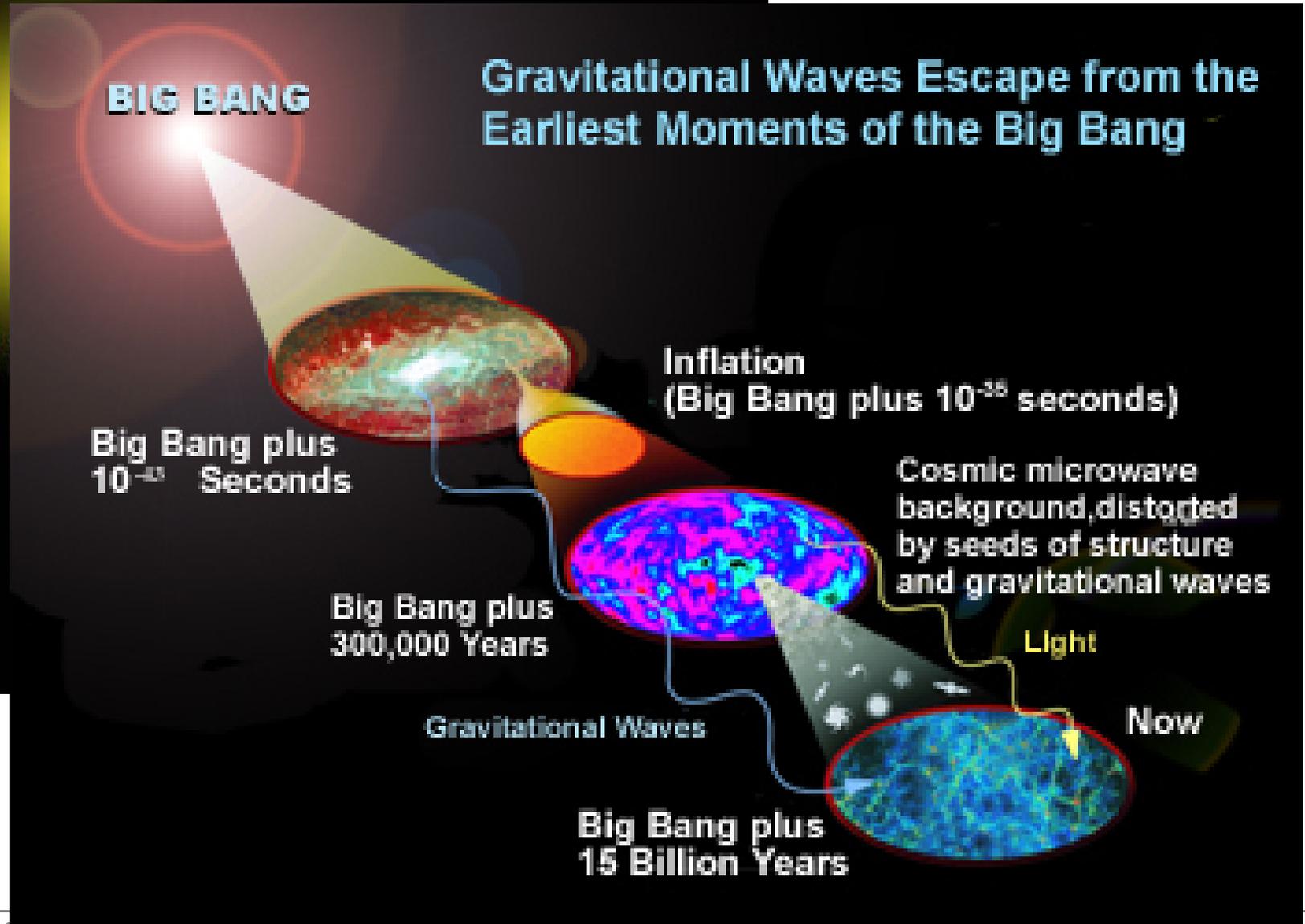
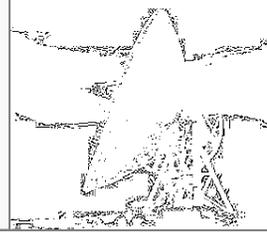
S&T Illustration by Steven Simpson

# 3 Modelle – beobachtbare Konsequenzen???



- **Inflation, Prä-Urknall, ekpyrotisches Szenario:** akustische Wellen entstehen aus Quantenprozessen, deren Wirkung während der Phase beschleunigter kosmischer Expansion makroskopisch vergrößert wurde
- Gut: jedes Modell sagt andere Verteilung der Temperaturschwankungen in Abhängigkeit von der Winkelgröße voraus
- Temperaturschwankungen können Fluktuationen in der *Materiedichte* und *Gravitationswellen* widerspiegeln
- **Inflation:** beides spielt eine Rolle!
- **Prä-Urknall & ekpyrotisches Modell:** Dichteschwankungen dominieren
- Gravitationswellen würden deutliche Spuren in Polarisation der Mikrowellenstrahlung hinterlassen
- Planck-Satellit sollte die Spuren nachweisen

# Die Zeit vor dem Urknall



# Cosmic Background Imager (CBI)

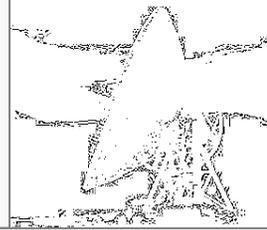
Gravitationswellen hinterlassen  
Spuren in Beobachtungen  
der Polarisation der  
kosmischen Hintergrundstrahlung



Entdeckung der CMB Polarisation

Courtesy of R. Bustos

# PLANCK

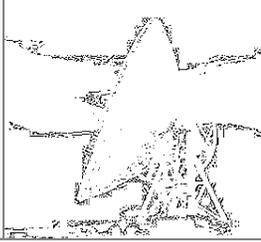


1.  $\Delta T/T \sim 2 \times 10^{-6}$ , besser als 10 Bogenminuten Auflösung
2. Februar 2007, Ariane 5, Kourou
3. Zusammen mit Herschel
4. 2 komplette Himmels-Durchmusterungen geplant

*An idea doesn't have to be right to be  
important, so long as it gets people  
thinking in a new way.*

Alan Guth, MIT

# „Brennpunkte extragalaktischer Forschung“ Themen



- Heute: Vorstellung der Themen & kurze Einführung
- **04.11.2005 Fragen an die moderne Radioastronomie**
  - Eine neue Generation von Radioteleskopen, Aktive Galaxienkerne
- **18.11. Das hochenergetische Universum**
  - (TeV-Blazare & Kosmische Strahlung)
- **02.12. Schwarze Löcher:**  
**Neue Ergebnisse und Spekulationen**
- **16.12. Mikrowellenhintergrund**
- 
- **13.01.2006 Dunkle Rätsel im Universum**
- **27.01.2006 Die Zeit vor dem Urknall**
- **10.02.2006 ?**