

Sommersemester 2005

# Aktive Galaxienkerne vom Radio- zum Gamma-Bereich

**Silke Britzen**  
MPIfR, Bonn



Max-Planck-Institut  
für  
Radioastronomie

**Silke Britzen**

MPIfR, Bonn

e-mail: [sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de](mailto:sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de)

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/>

Vorlesung & Literatur im Internet



Max-Planck-Institut  
für  
Radioastronomie

# Sommersemester 2005

## Aktive Galaxienkerne vom Radio- zum Gamma-Bereich

### Termine & Programm

15.04.: Ausblick (dieses Semester) &

Zusammenfassung (letztes Semester)

29.04.: Beobachtungstechniken

13.05.: **Ausgewählte AGN-Schicksale &**

Spektrale Energieverteilung der AGN

27.05.: Maser & Aktive Galaxienkerne

10.06.: Kosmologie mit AGN

24.06.: Beinhalten alle Galaxien ein schlafendes AGN?

01.07.: Wann haben sich die ersten AGN gebildet?

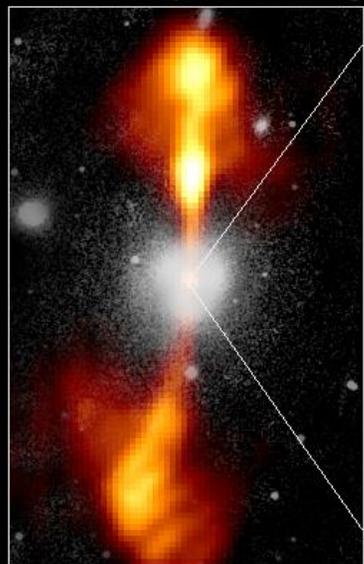
15.07.: .....

# The Current Paradigm of AGN-Activity

## Core of Galaxy NGC 4261

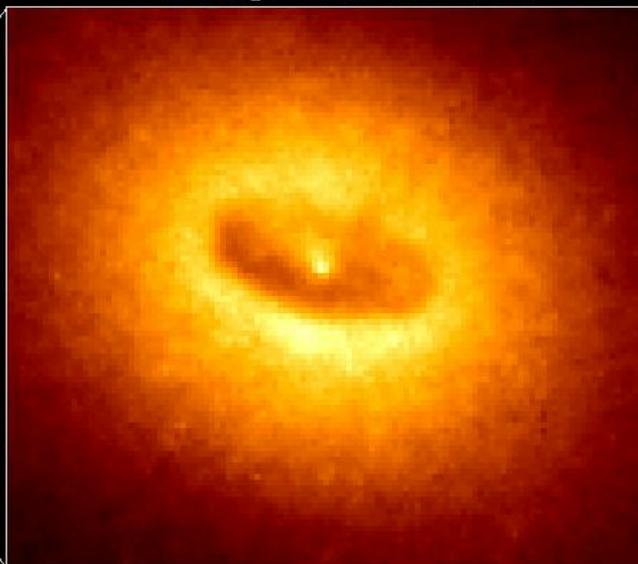
Hubble Space Telescope  
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS

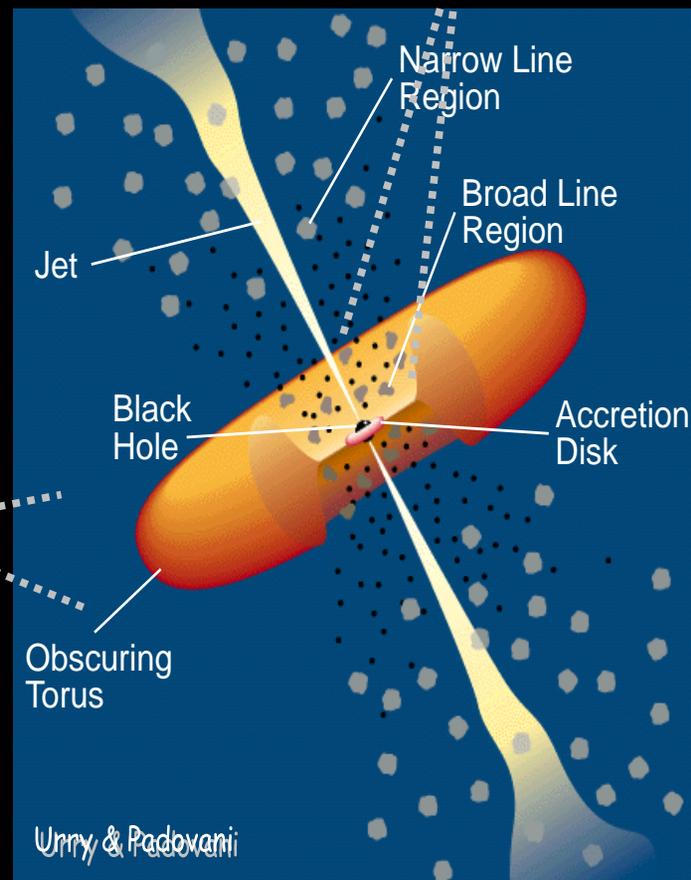
NGC 4261, Jaffe et al. (1996)

### Type 1:

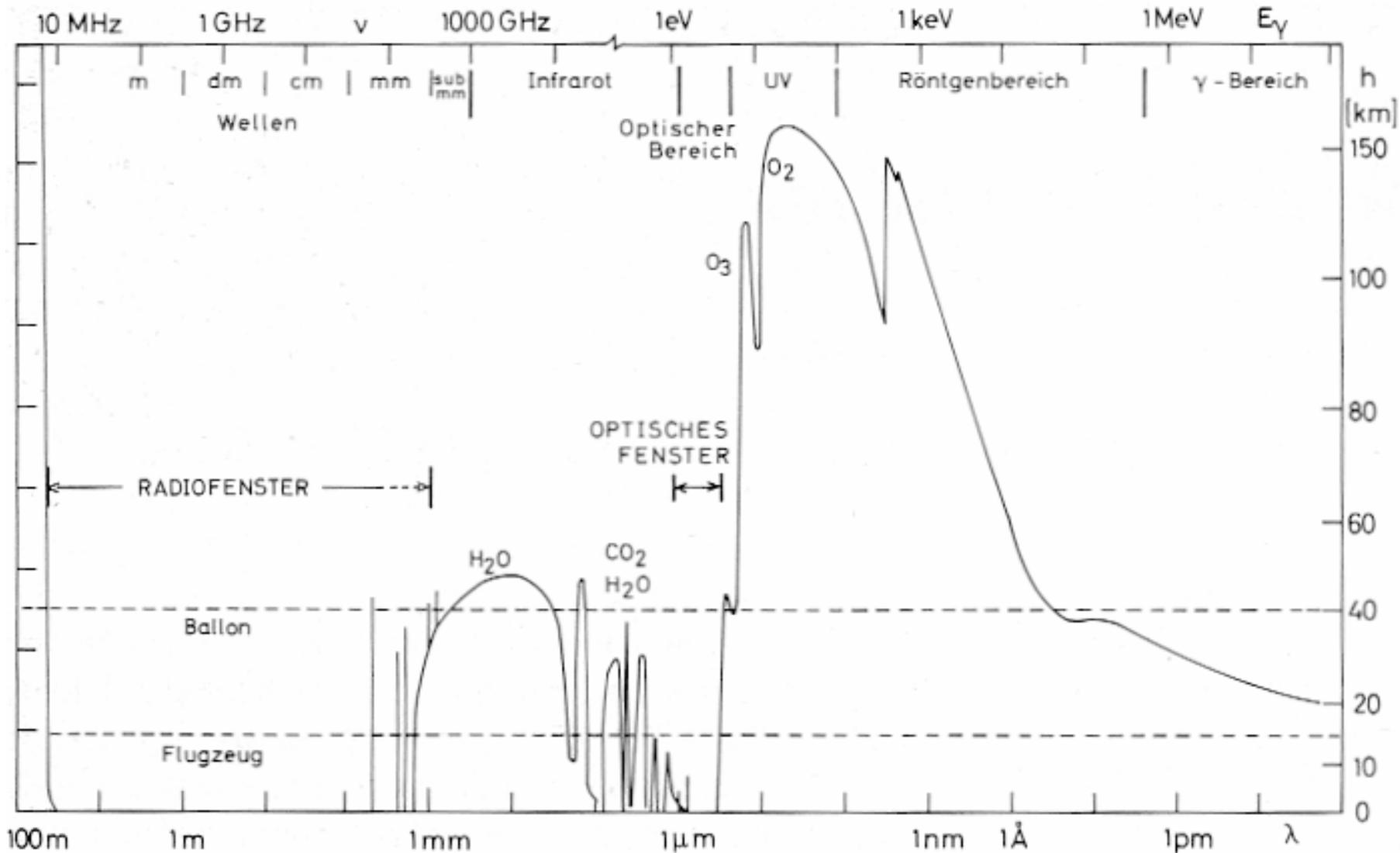
One-Sided Jets;  
Broad and Narrow  
Line Region;  
No absorption of  
soft X-Rays

### Type 2:

Two-Sided Jets;  
Free-Free Absorption;  
Narrow Line Region;  
Strong Absorption of  
soft X-Rays

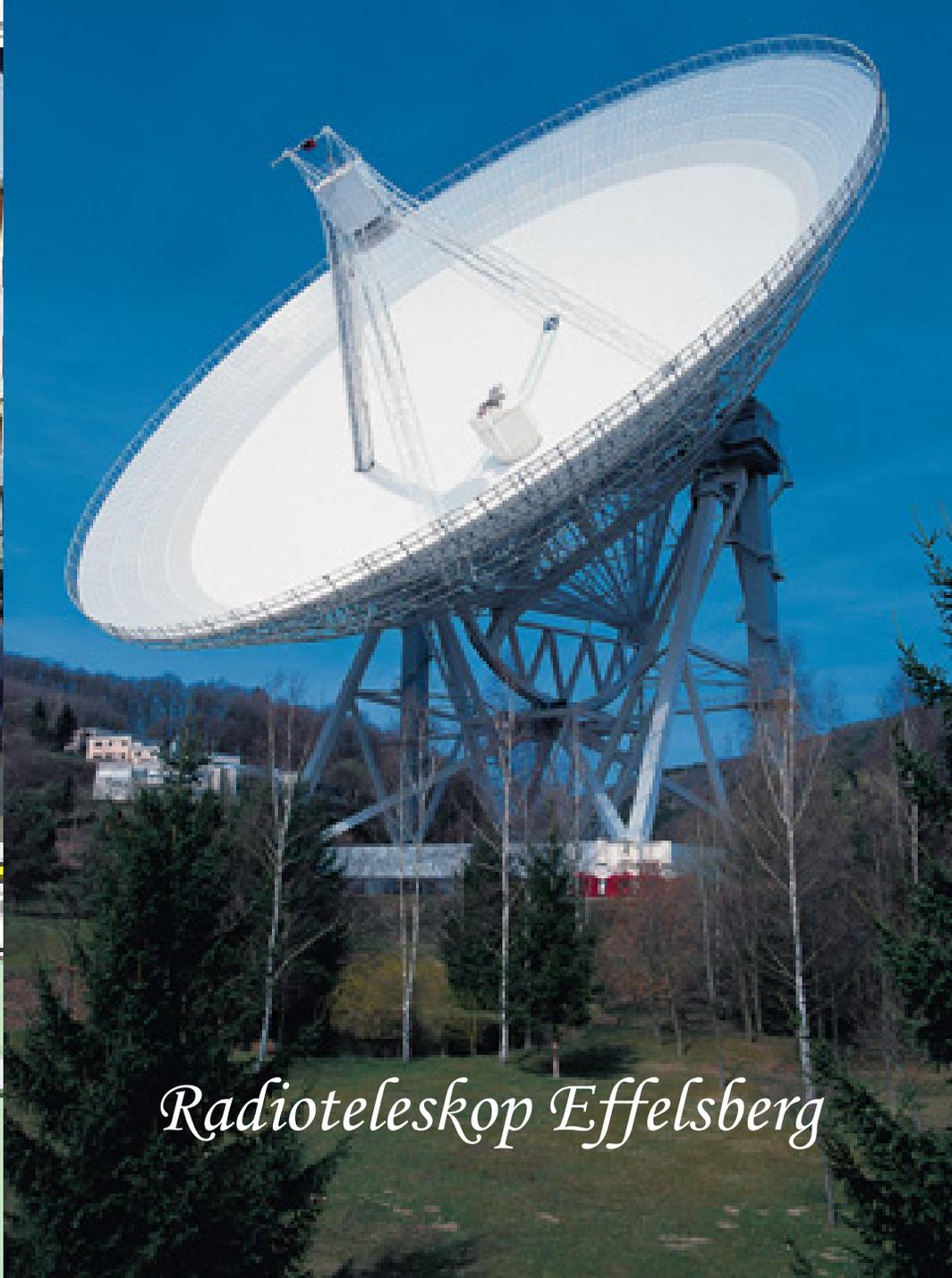


# Absorption elektromagnetischer Strahlung durch die Lufthülle der Erde.



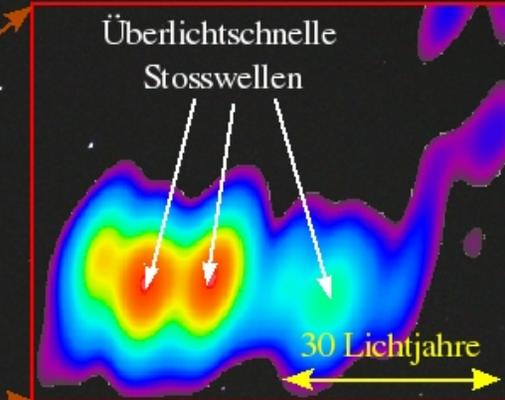
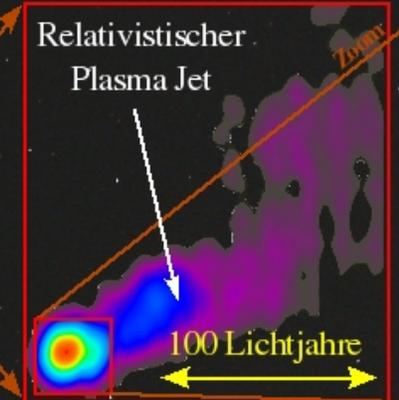
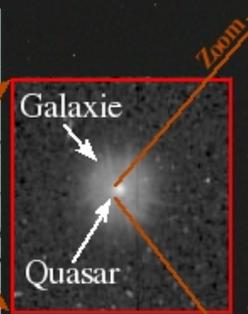


# Radio



*Radioteleskop Effelsberg*





J. Klare et al. 2004, A&A

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



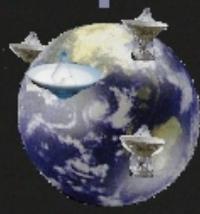
Menschliche Auge  
1  
Auflösung:



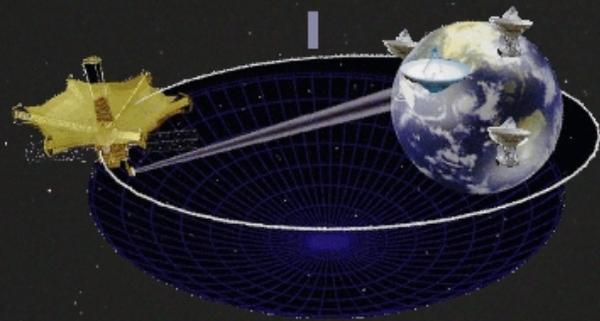
Amateur Teleskop  
60-200x



Hubble Teleskop  
ca. 600x



VLBI  
ca. 60.000x



Weltraum-VLBI  
ca. 200.000x

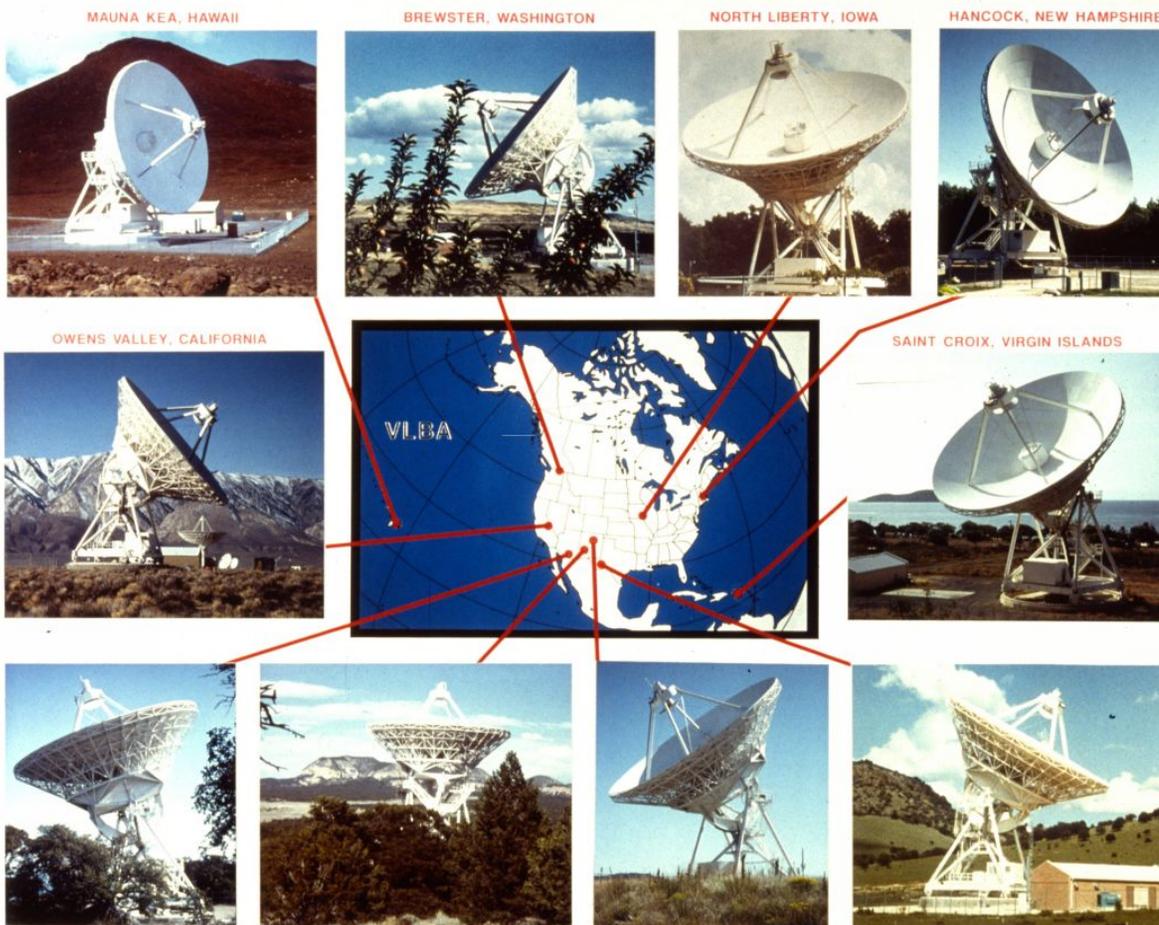


# VLBA

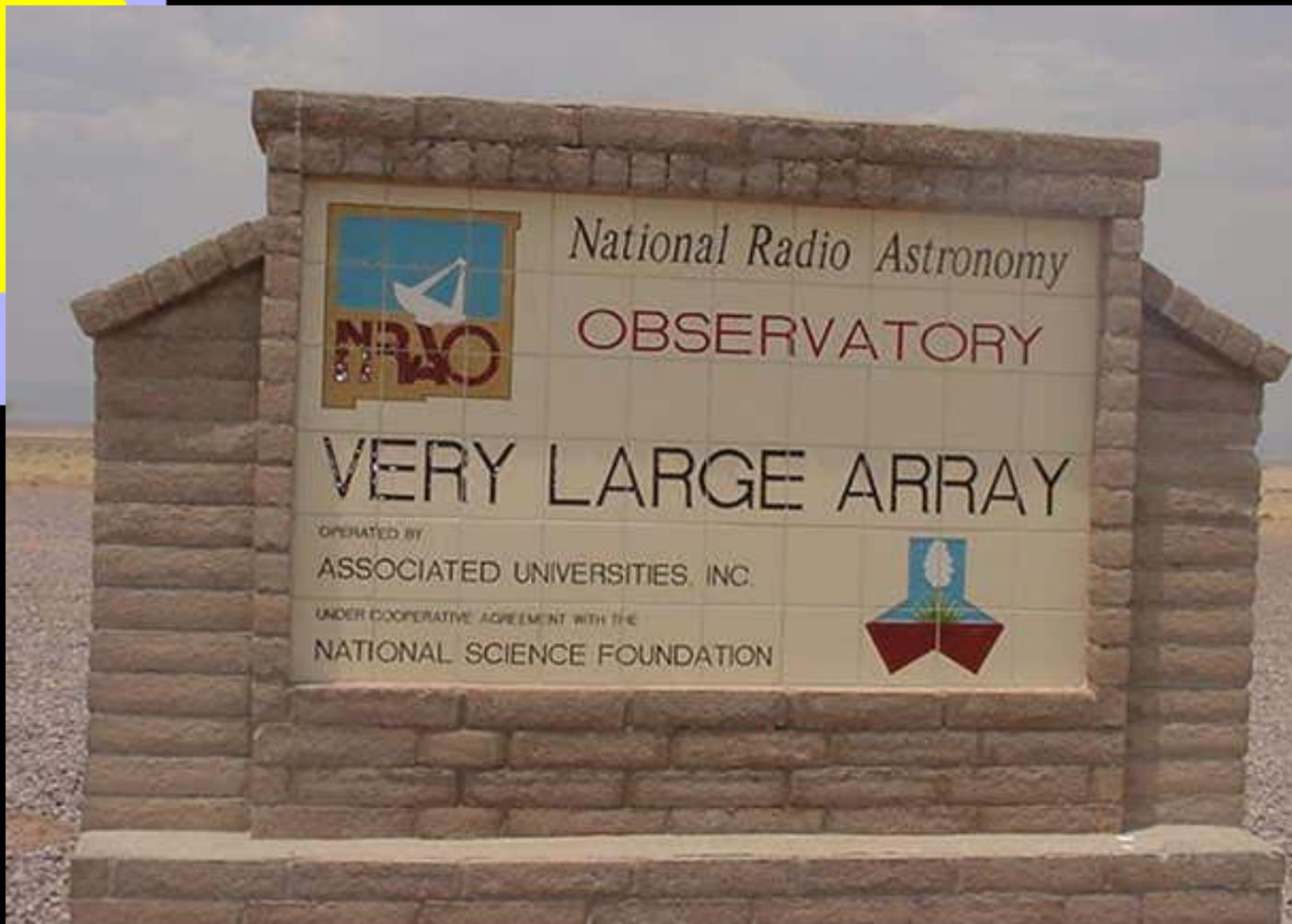
Ten 25m Antennas,  
20 Station Correlator  
327 MHz - 86 GHz

National Radio  
Astronomy Observatory

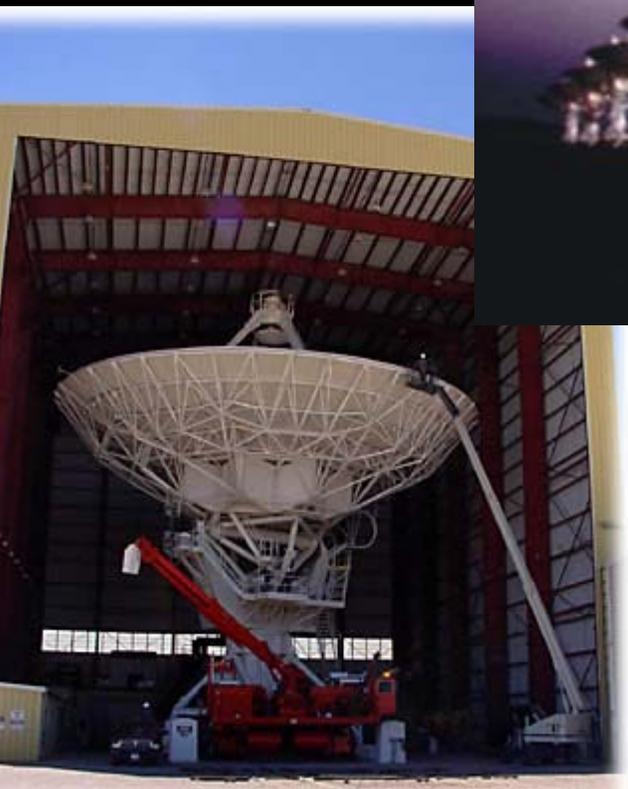
A Facility of the  
National Science  
Foundation



# VLA



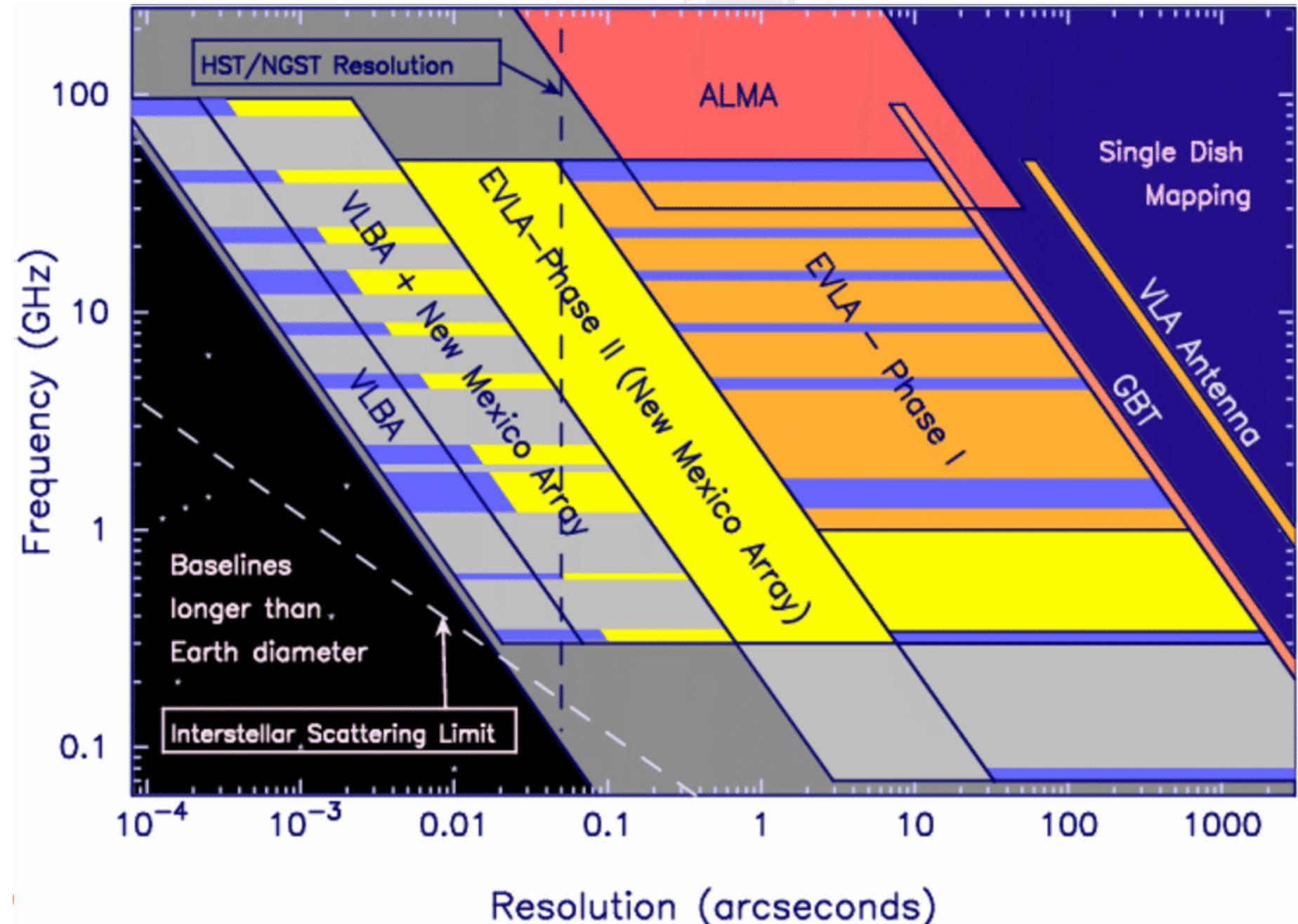
VLA



# VLA

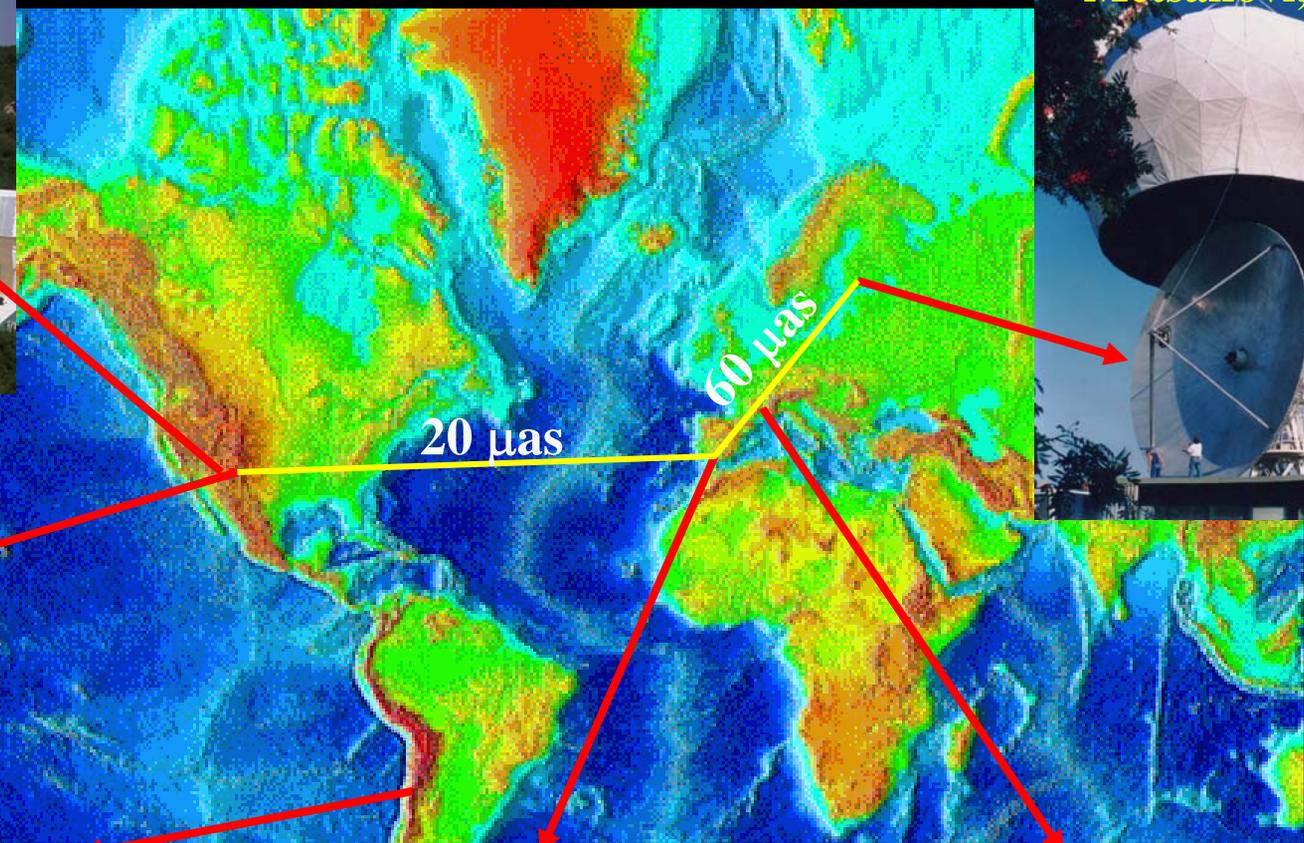
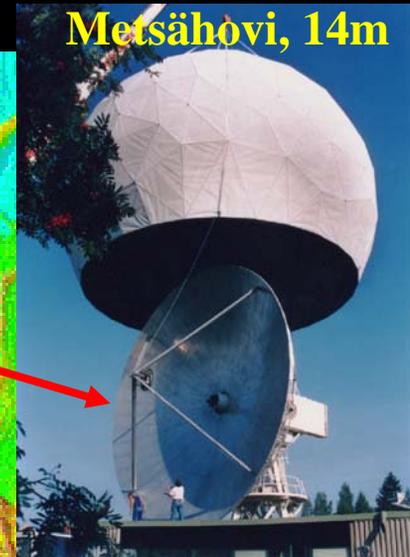
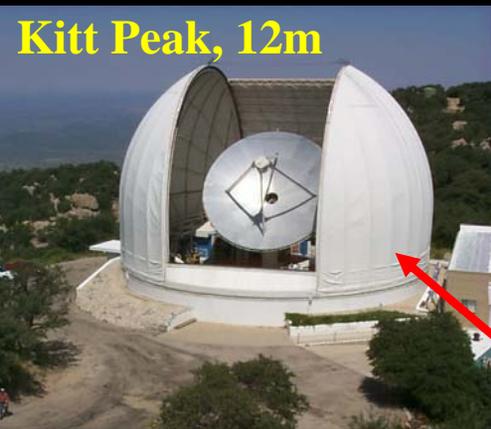
- Bau des Interferometers: 1972 genehmigt durch Kongress, 1980 Operation
- Kosten: 78 578 000 Dollars, 1 Dollar pro Steuerzahler (damals)
- Ein Jahr zufrüh fertig, innerhalb des erlaubten Budgets
- Antennen: 25 m, 230 tons, 4 Konfigurationen, A array: max. separation 36 km, B array 10 km, C array 3.6 km, D array 1 km; Wechsel alle 4 Monate
- Auflösung: 0.04 Bogensekunden (43 GHz, 36 km), Golfball in 150 km Entfernung
- Wellenlängen: 7mm - 4 m

# Resolution vs. Frequency



# Globales mm-VLBI bei 150-230 GHz

Zahlen für 230 GHz

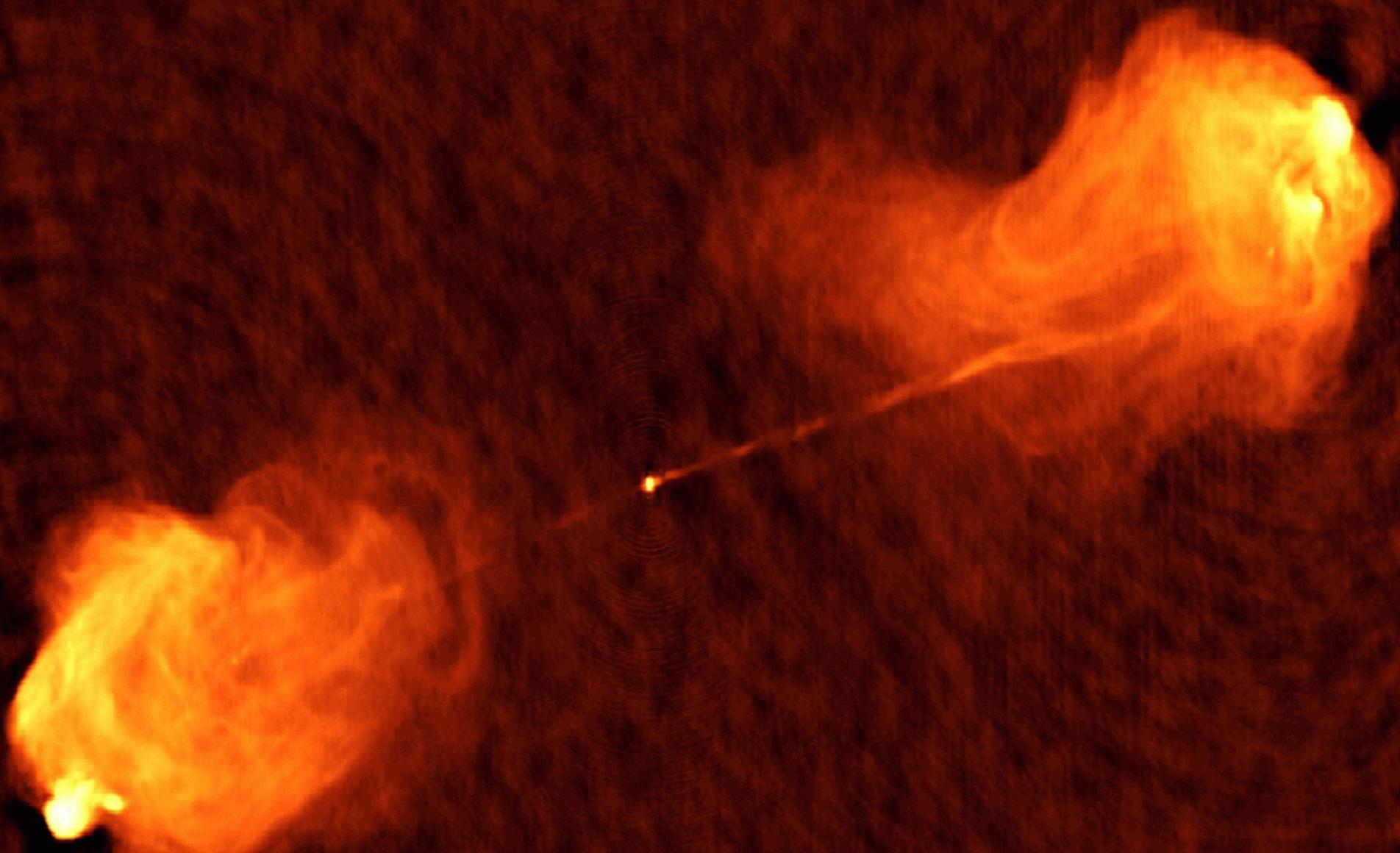


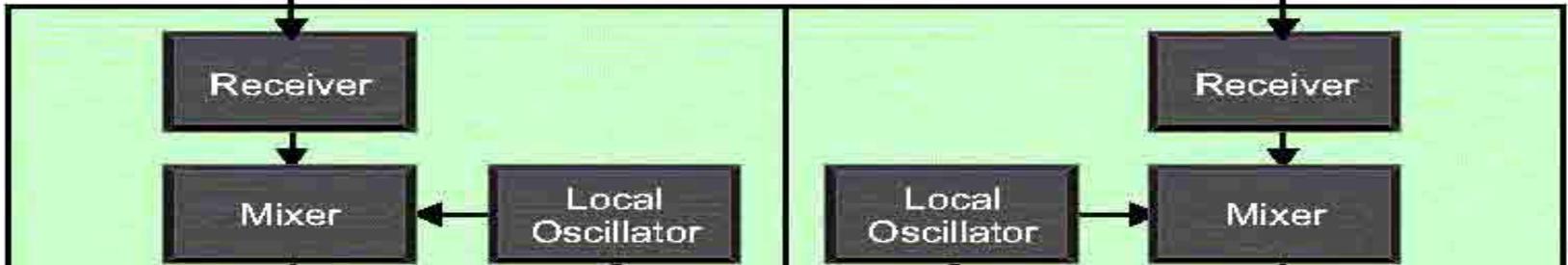
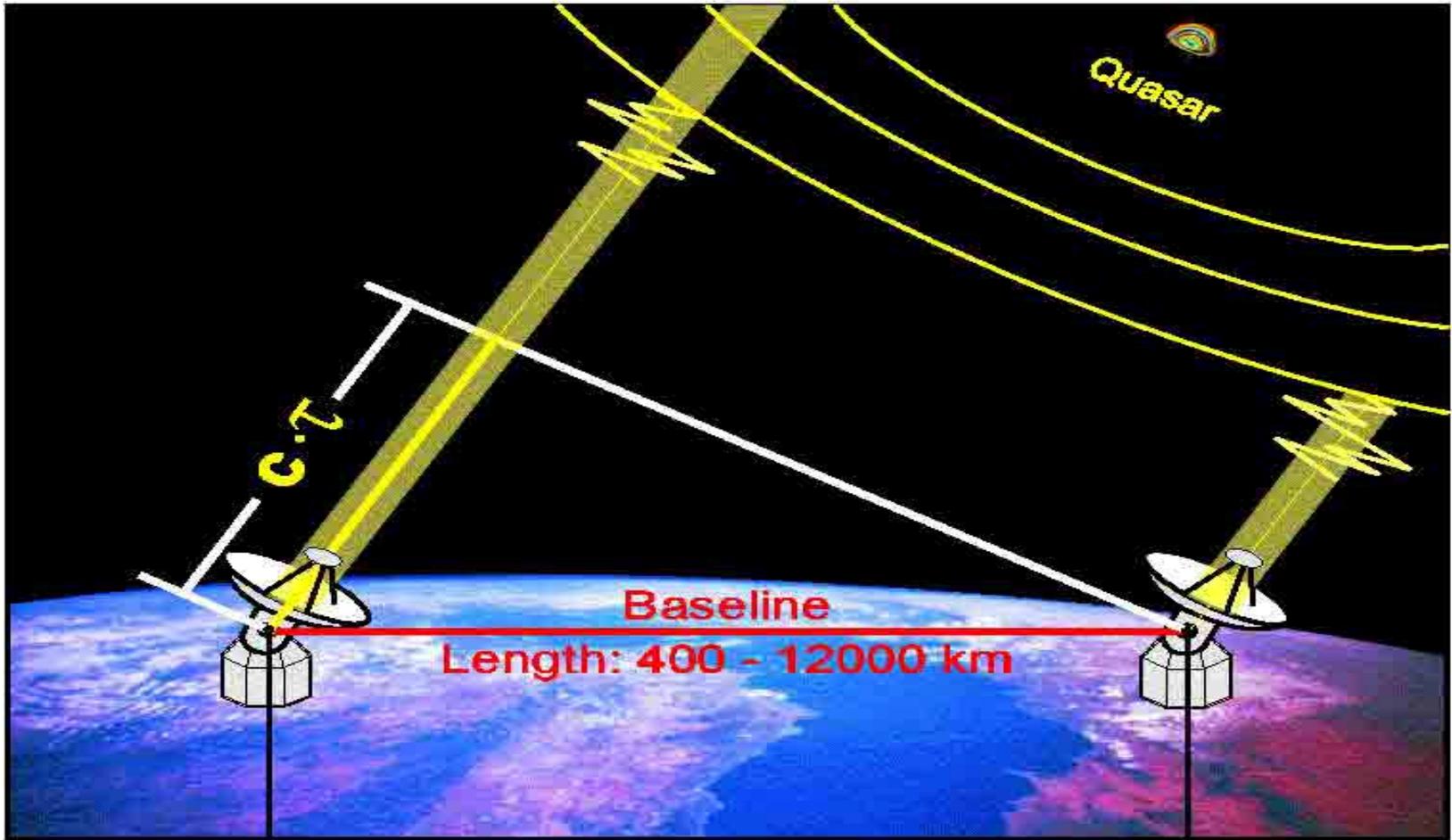
T P Krichbaum

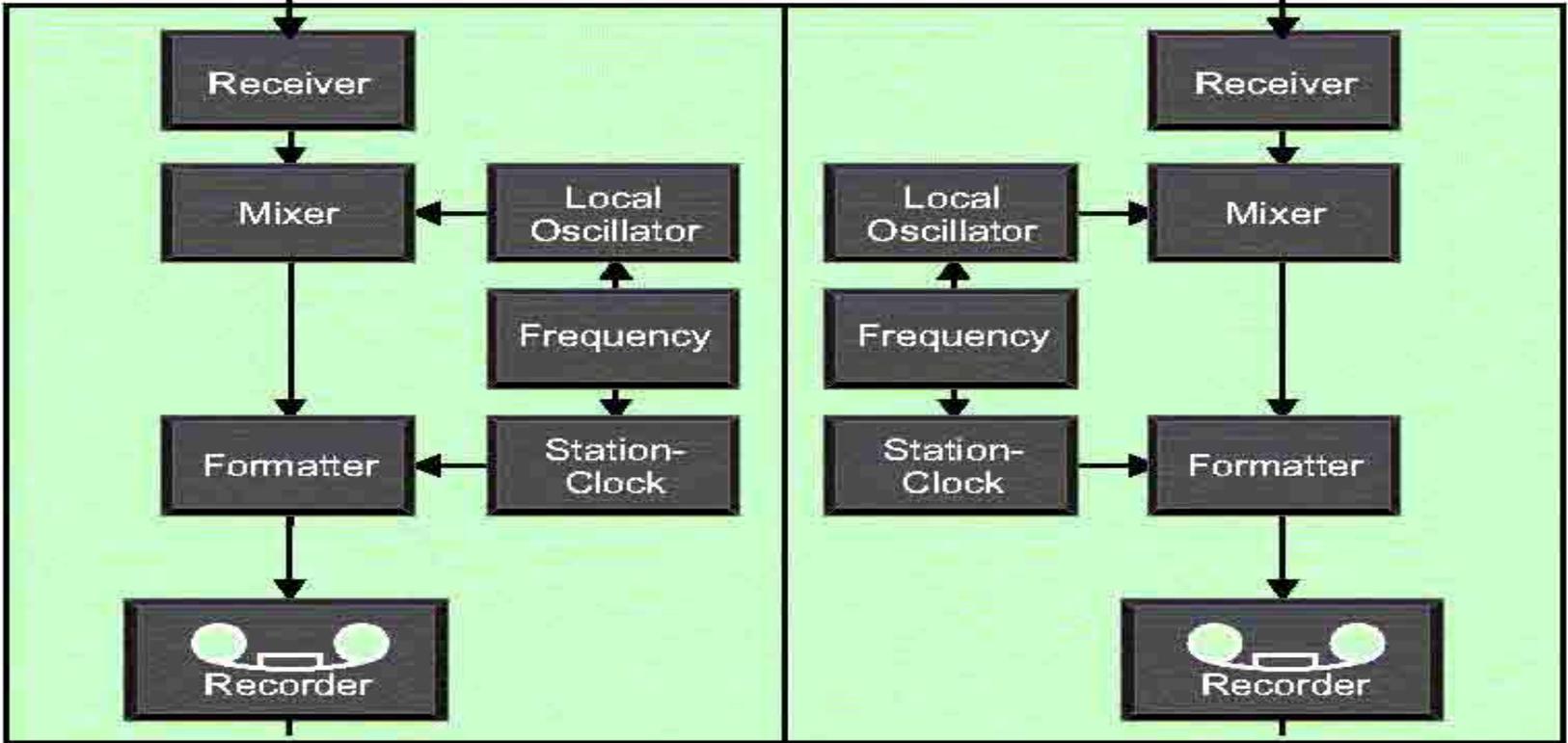
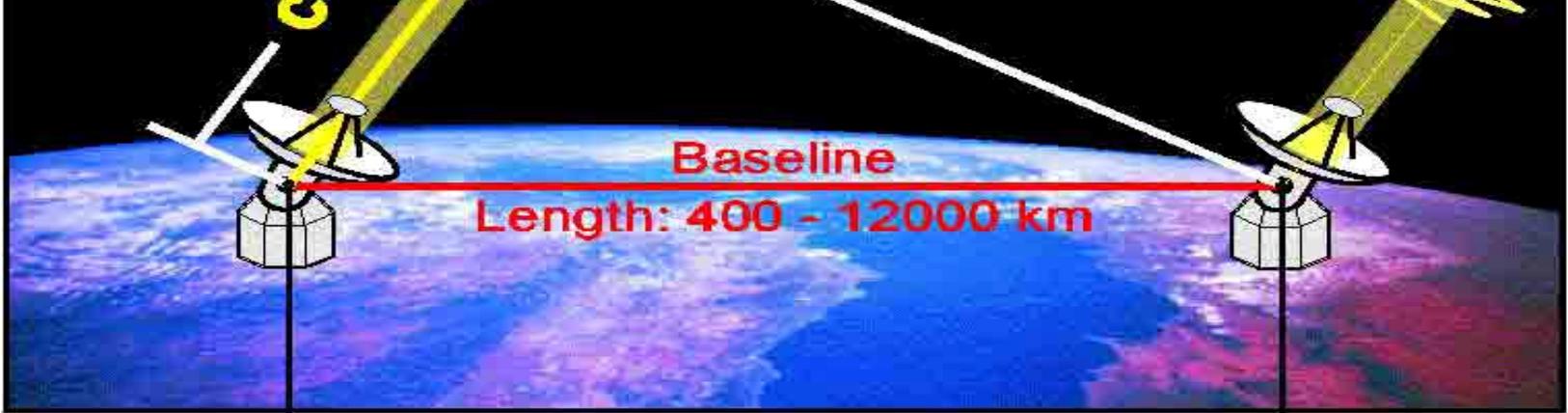
Quasar



# VLBI = Very Long Baseline Interferometry

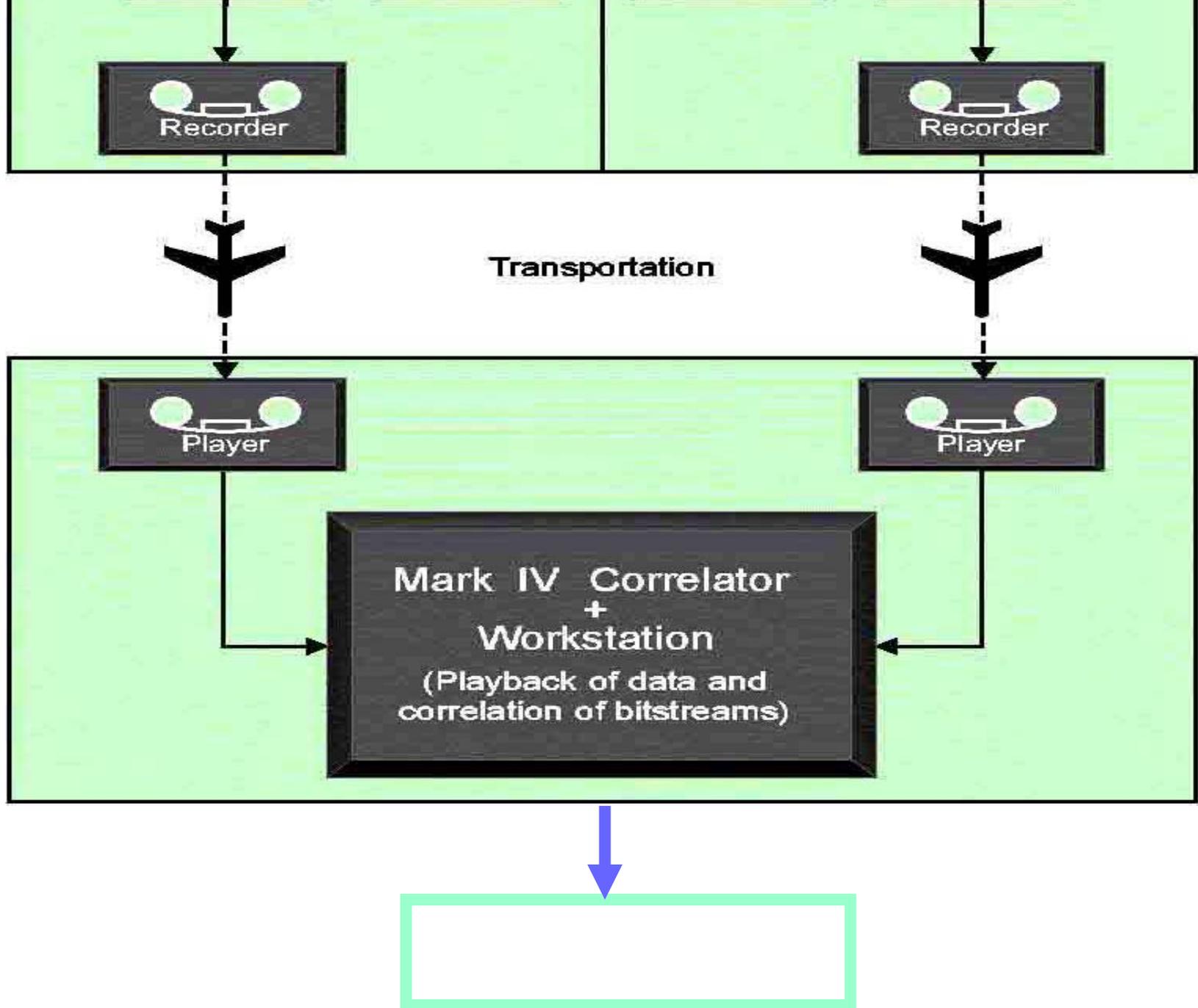






Transportation





# Datenaufzeichnungssysteme



Mk3, Mk4, Mk5, K4  
Datenträger

# Prinzip der Interferometrie

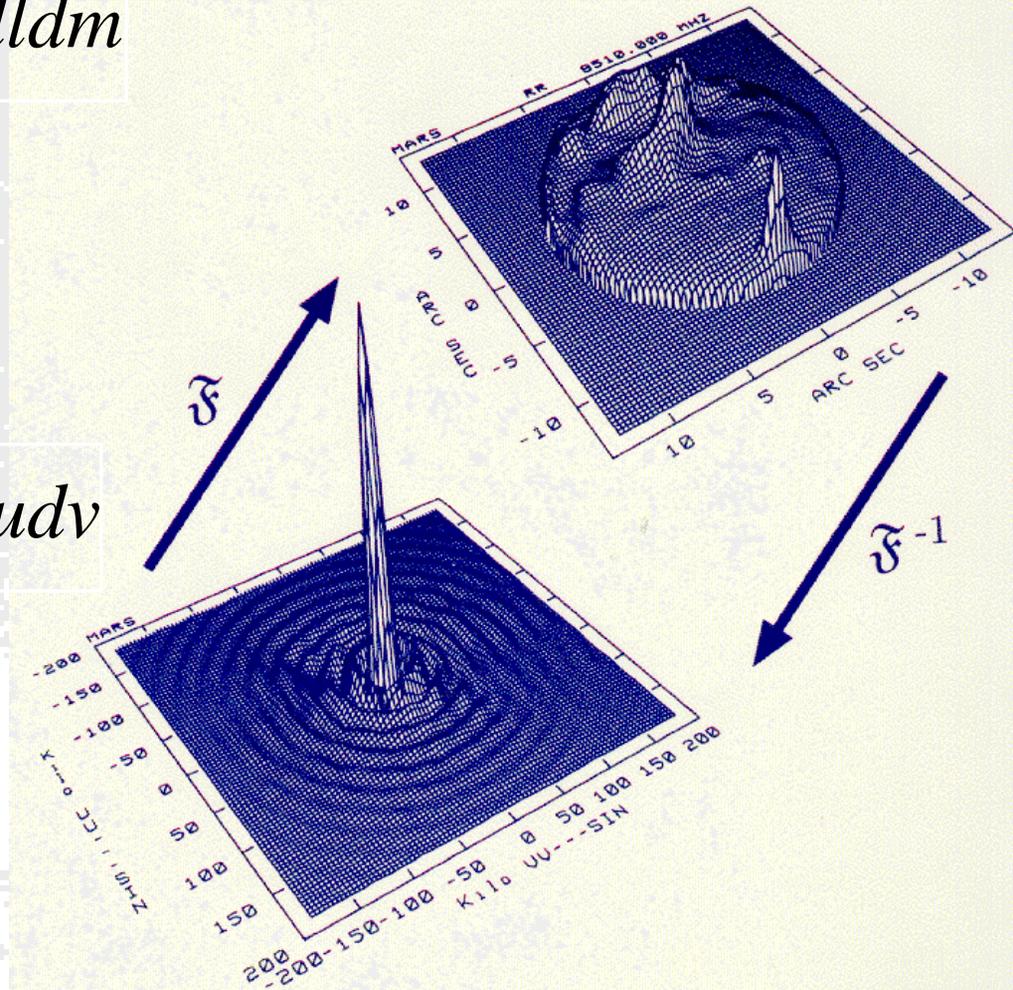
Interferometer arbeiten über die Multiplikation der Daten (Korrelator) jedes Interferometerpaars um die Interferenzmuster zu erzeugen.

Die Struktur dieser Interferenzmuster und wie sie sich mit der Zeit als Funktion der Erdrotation ändern (visibilities), reflektiert die Struktur der Radioquelle am Himmel: aus diesen Mustern kann mittels einer Fouriertransformation ein Bild (Karte) der Quelle erstellt werden.

# Inversion der Kohärenz Funktion

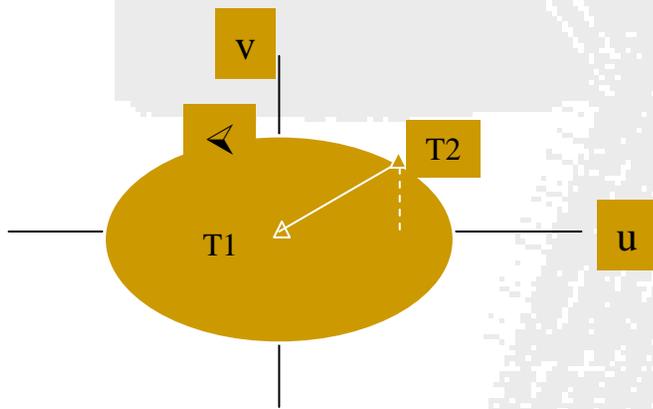
$$V_v(u, v) = \iint I_v(l, m) e^{-2\pi i(ul+vm)} dl dm$$

$$I_v(l, m) = \iint V_v(u, v) e^{2\pi i(ul+vm)} du dv$$



# Die uv- Ebene

- Aus der Sicht der Quelle erzeugt jede Basislinie eine Ellipse mit einem Teleskop im Zentrum der Ellipse:

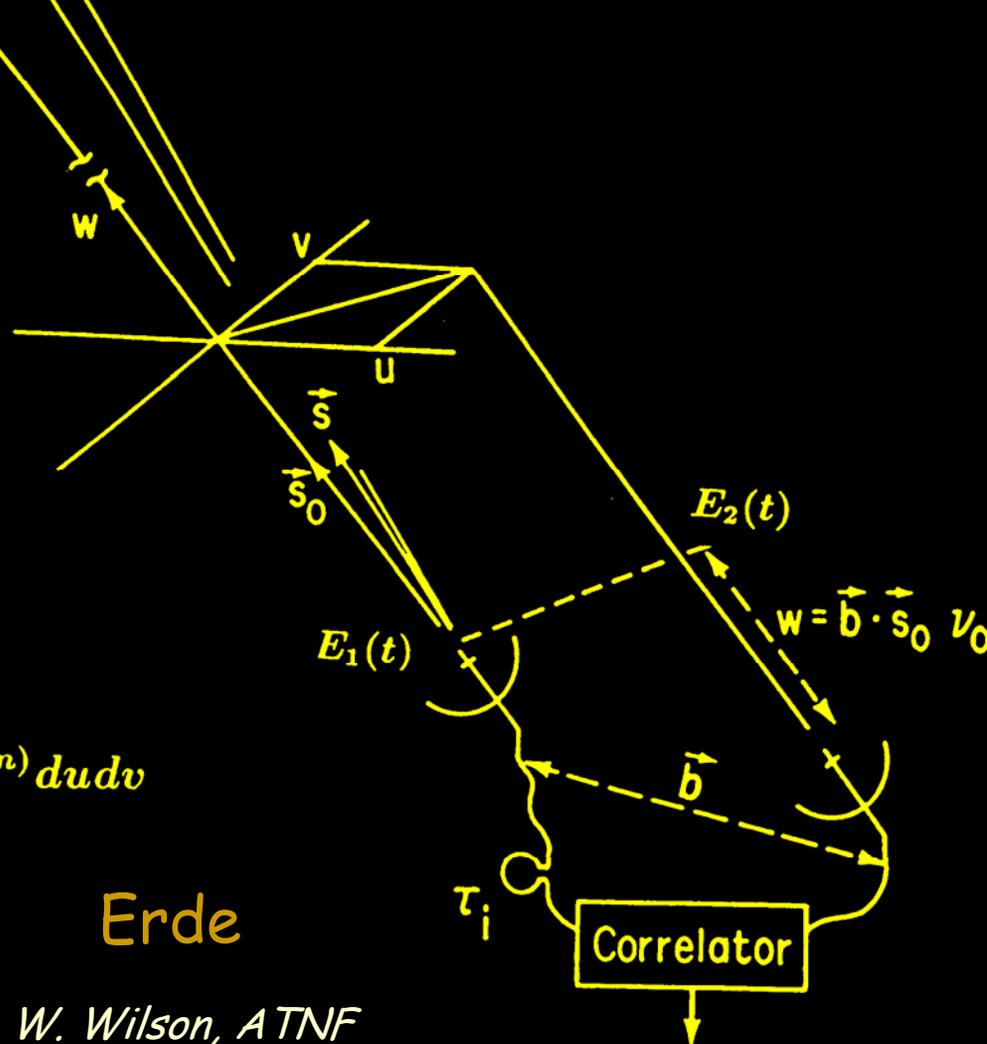
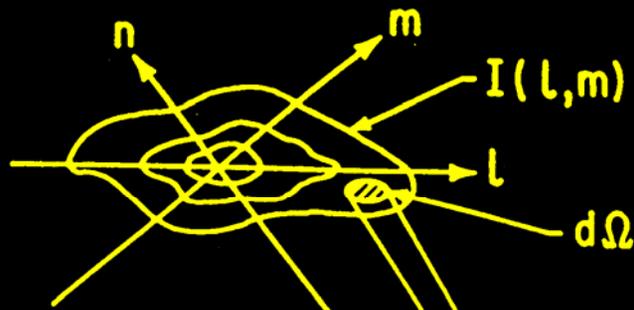


Die projizierte Basislinie kann durch uv-Koordinaten beschrieben werden, wobei

- u die Ost-West Komponente der Basislinie; und
- v die Nord-Süd Komponente der Basislinie beschreibt.

Die projizierte Basislinie ist gegeben durch  $B \sin\theta = (u^2 + v^2)^{1/2}$

Quelle



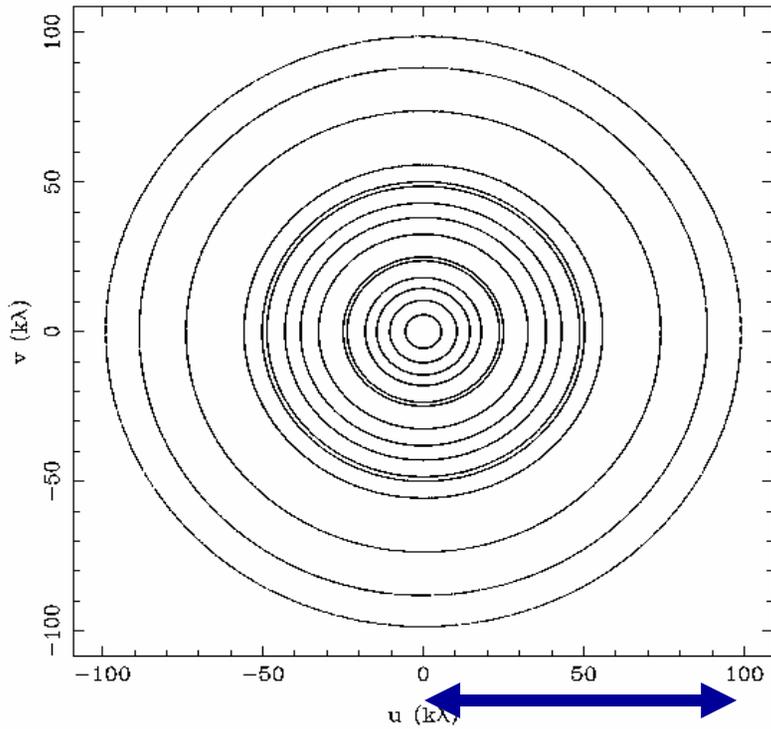
$$A(l, m)I(l, m) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} V(u, v) e^{2\pi i(ul+vm)} du dv$$

$$V(u, v) = \langle E_1(t) \bullet E_2(t) \rangle$$

Erde

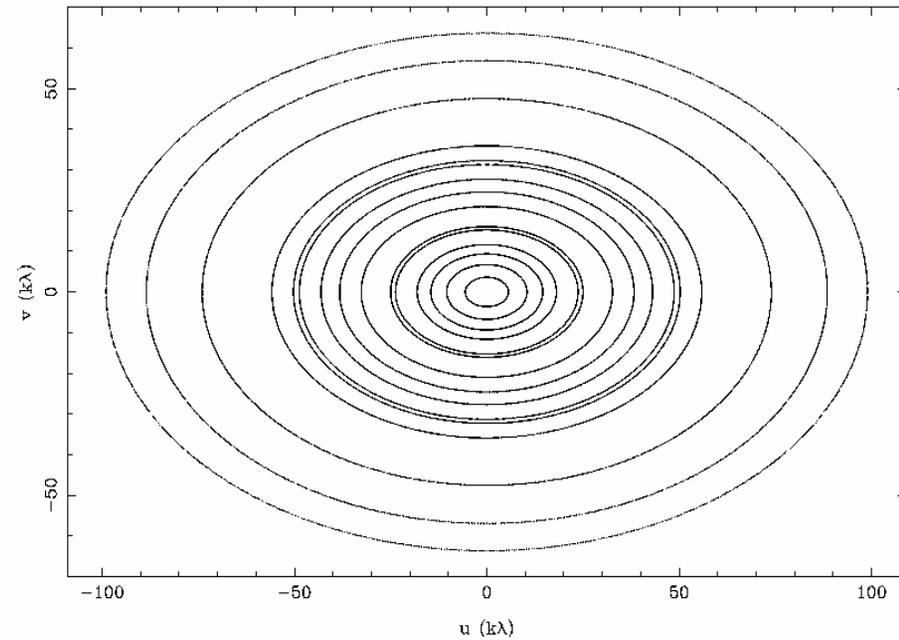
W. Wilson, ATNF

# Beispiel 1: ATCA at Deklination = -85 Grad



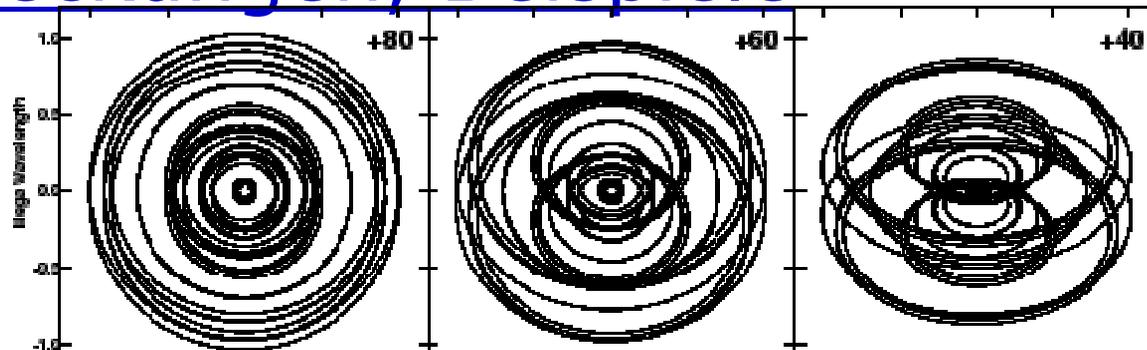
100  $k\lambda$  = 6 km bei 6 cm

# Beispiel 2: Deklination = -40 Grad

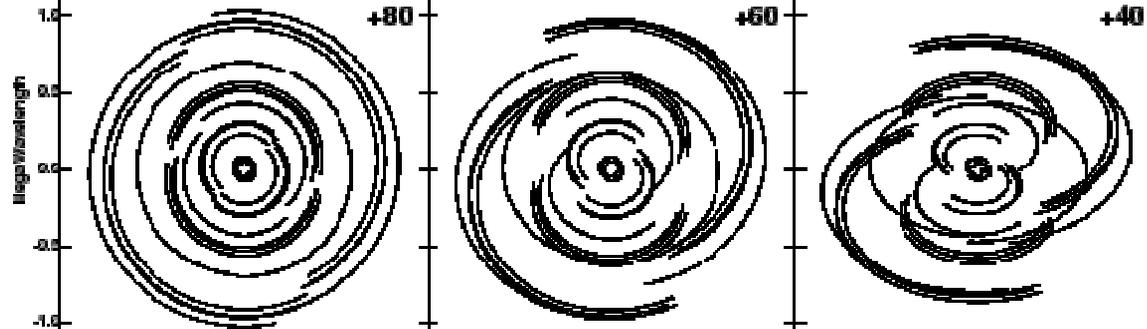


# uv-Bedeckungen, Beispiele

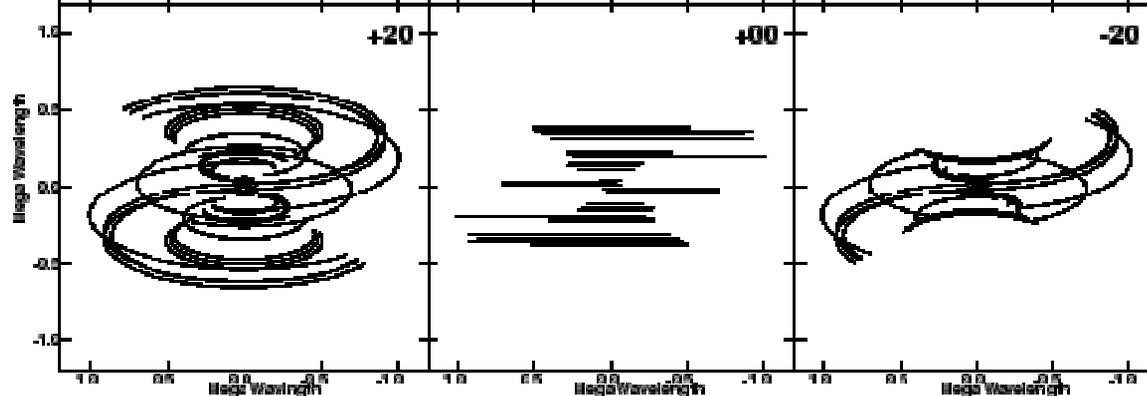
24 h



12 h

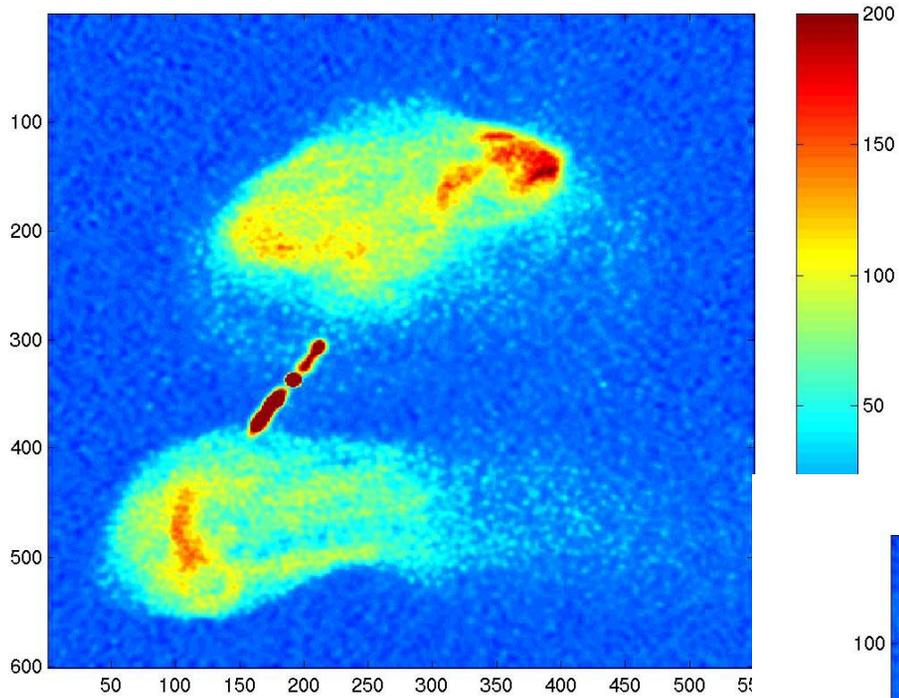


zirkumpolar

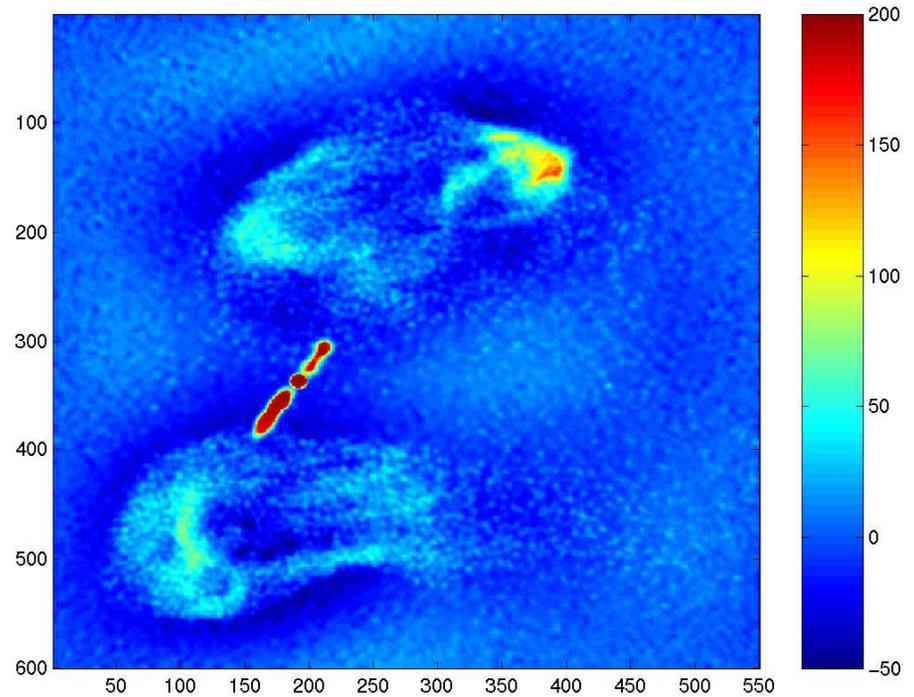


Die *uv*-Bedeckung von MERLIN mit 6 Antennen

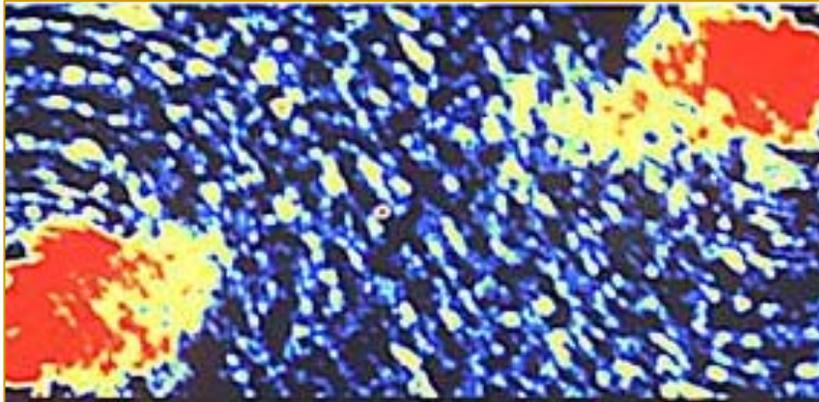
# Effekte fehlender kurzer Basislinien



Keine kurzen Basisl. →

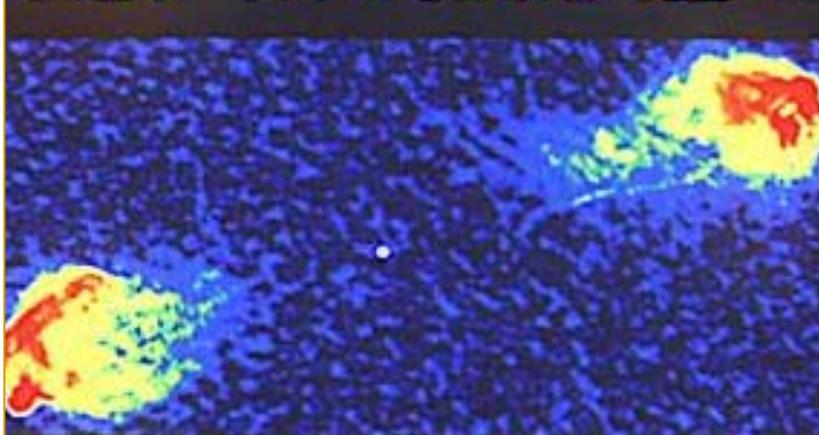


# Cygnus A



← Rohe Daten

VLA continuum



← Deconvolution  
(Entfaltung)

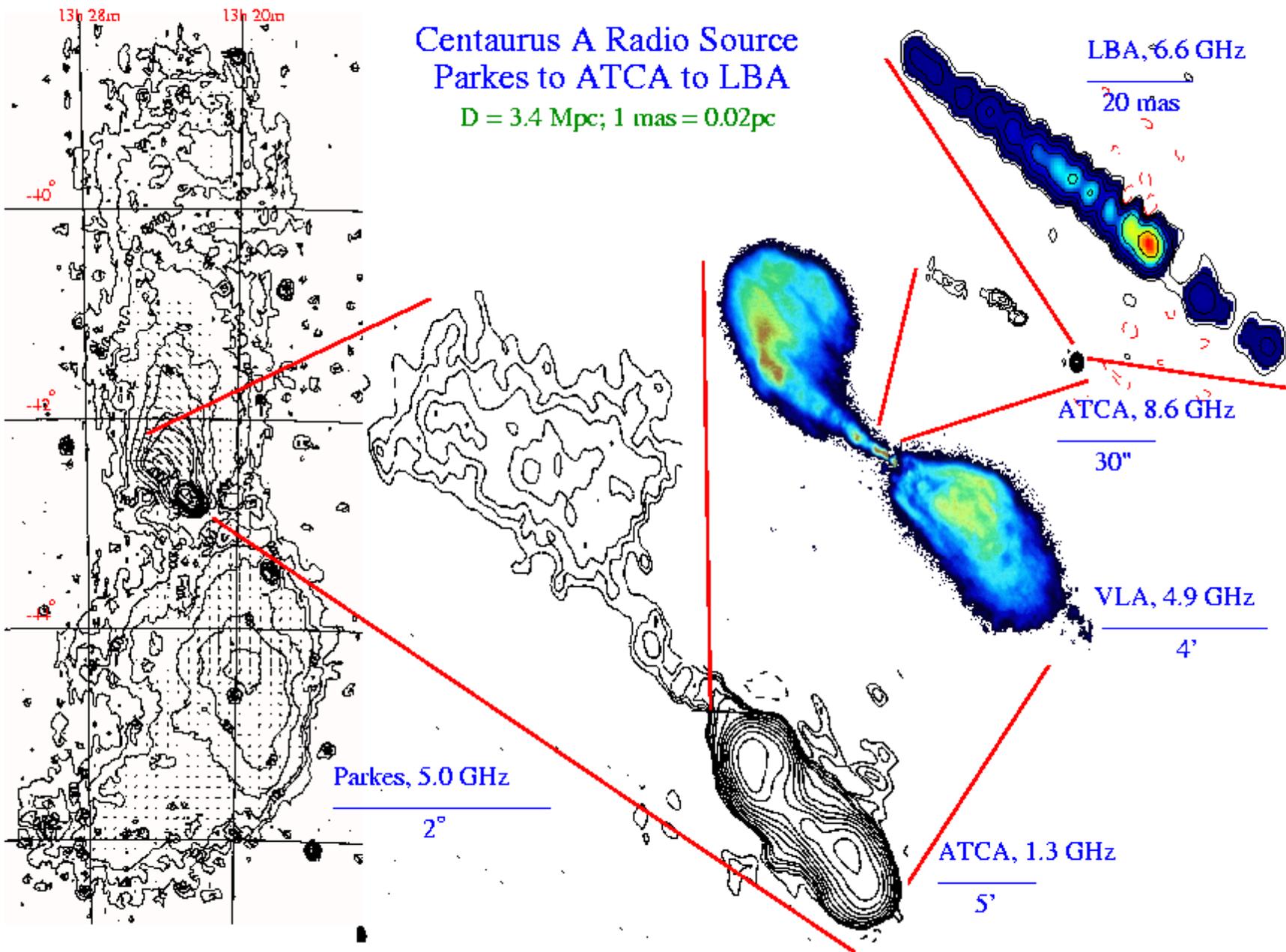
Korrigieren für die  
"Löcher" zwischen den  
Teleskopen



← Selbst Kalibration

# Centaurus A Radio Source Parkes to ATCA to LBA

$D = 3.4 \text{ Mpc}; 1 \text{ mas} = 0.02 \text{ pc}$



Radio

LOFAR



# Radio

# LOFAR



Im Bau befindlich ....

Durchmesser: 350 km

Frequenzen: 10 - 250 MHz

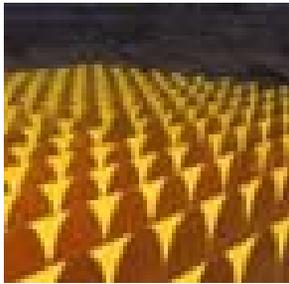
Antennen: 25 000

Wissenschaft: Suche nach erste  
Generation von Sternen u.  
Schwarzen Löchern



# Radio

# SKA Square km array



# SKA

- Geplant: Größtes Radioteleskop der Welt
- 2015?
- 1 Quadratkilometer 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, ...)



# Radio: sub-mm

# Radio: sub-mm



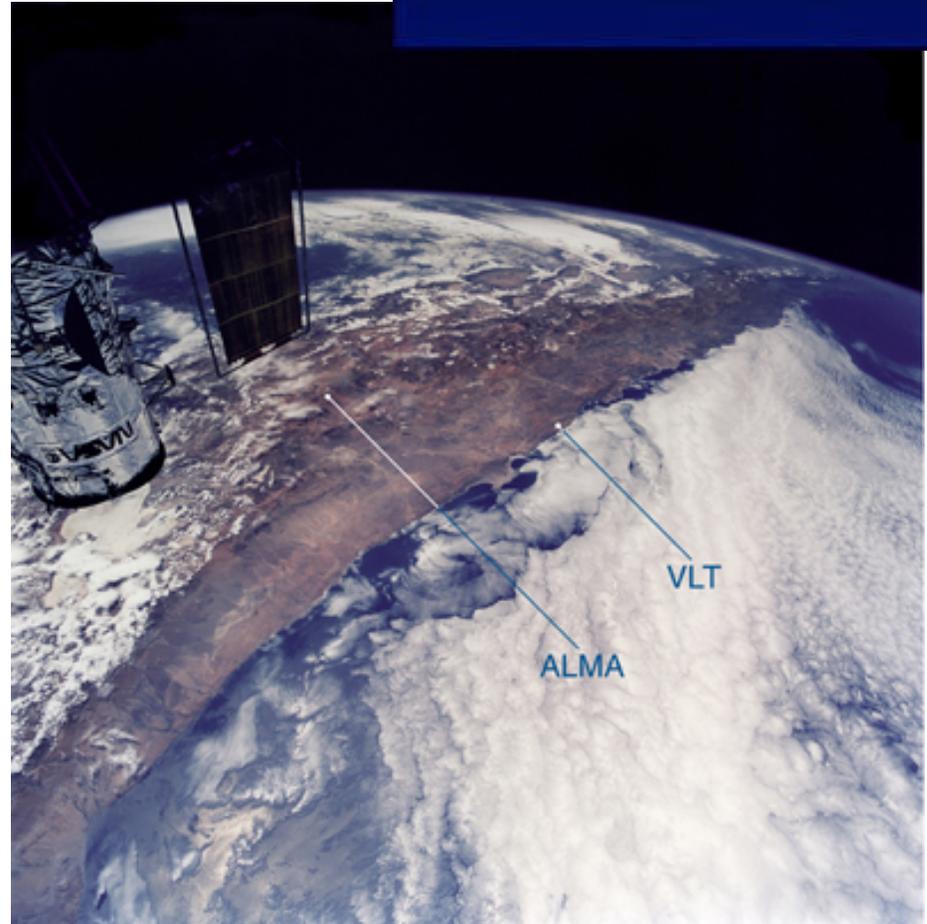
ALMA

ESO VIDEOCLIP 08/99

ALMA MOVES!

OCTOBER 1999

The **Atacama Large Millimeter Array (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

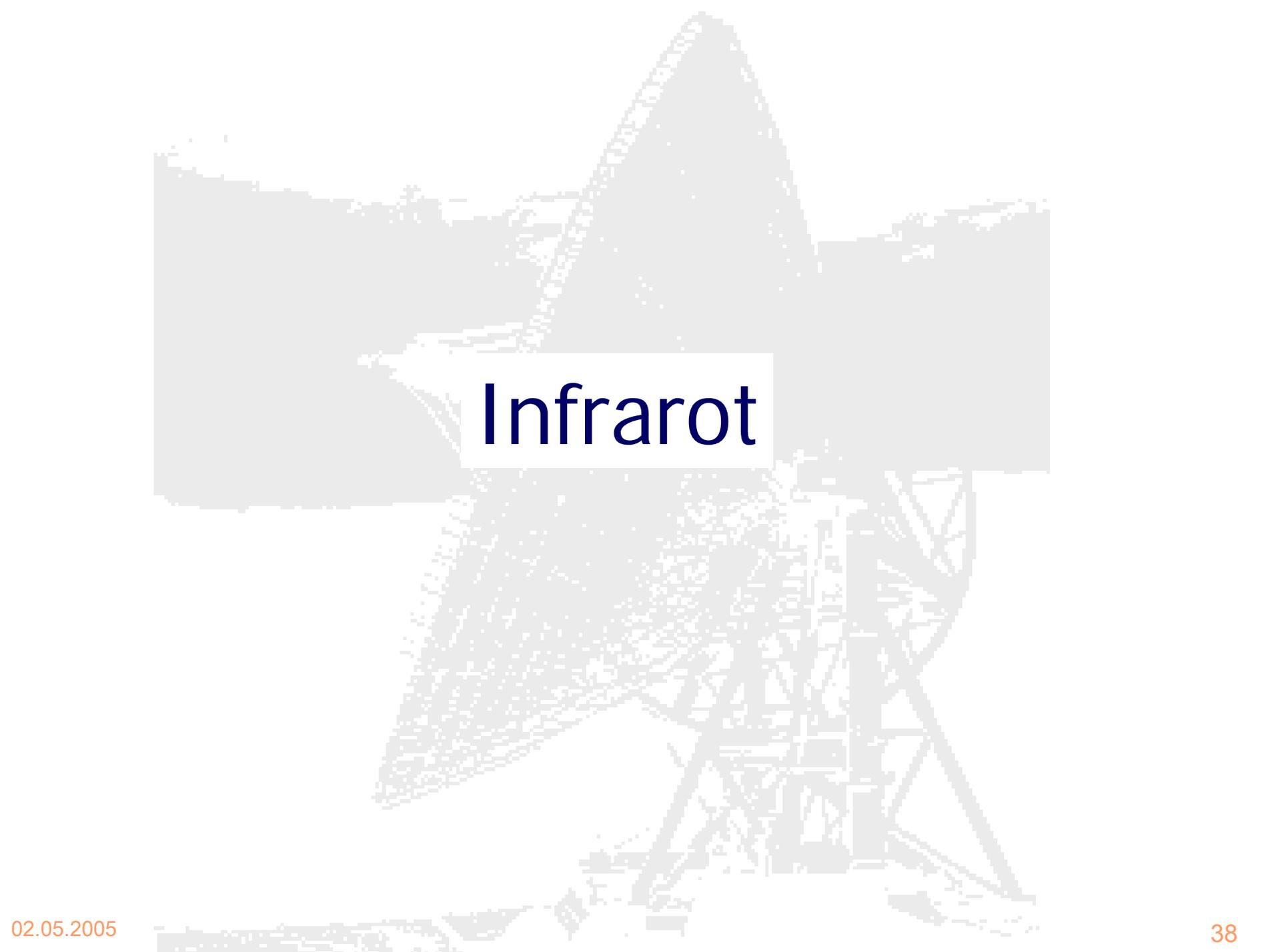
- Im Bau (bislang existieren 4 mm-Interferometer arrays)
- Antennen: 64x12m Antennen
- Ort: Llano de Chajnantor bei San Pedro de Atacama, Wetter und Platz
- Frequenzen: 10 mm - 350 microns
- Konfigurationen: von 150 m - 10 km
- Auflösung: 10 Millibogensekunden, 10 mal besser als VLA und HST
- Schneller 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



# 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





# Infrarot

# Infrarot

# SOFIA



Wellenlänge > 780nm

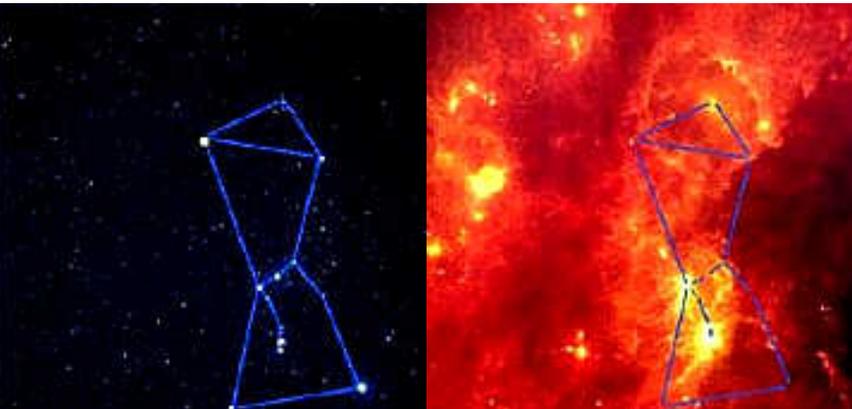
Nahes Infrarot: 750 nm-5000 nm

Mittleres Infrarot: 5000 nm-0.03 mm

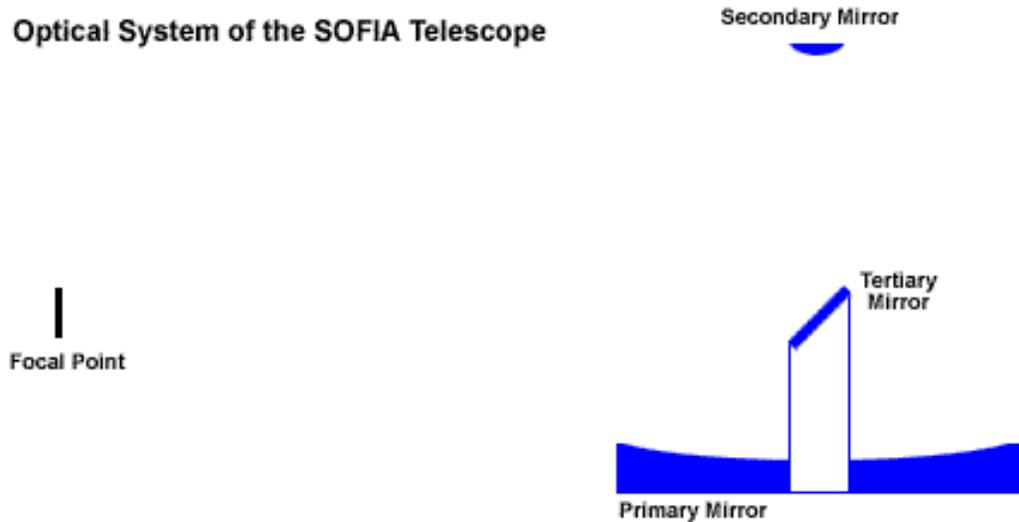
Ferne Infrarot: 0.03 mm-0.3 mm

Sub-mm: 0.3-1mm

Orion in Visible Light  
*Courtesy of Akira Fujii*



Optical System of the SOFIA Telescope



Orion in the Infrared  
*Courtesy of IR Astronomical Satellite*

# Infrarot

# SOFIA



# SOFIA

Wird gebaut von NASA  
und DLR

Erste Messungen: 2005  
geplant

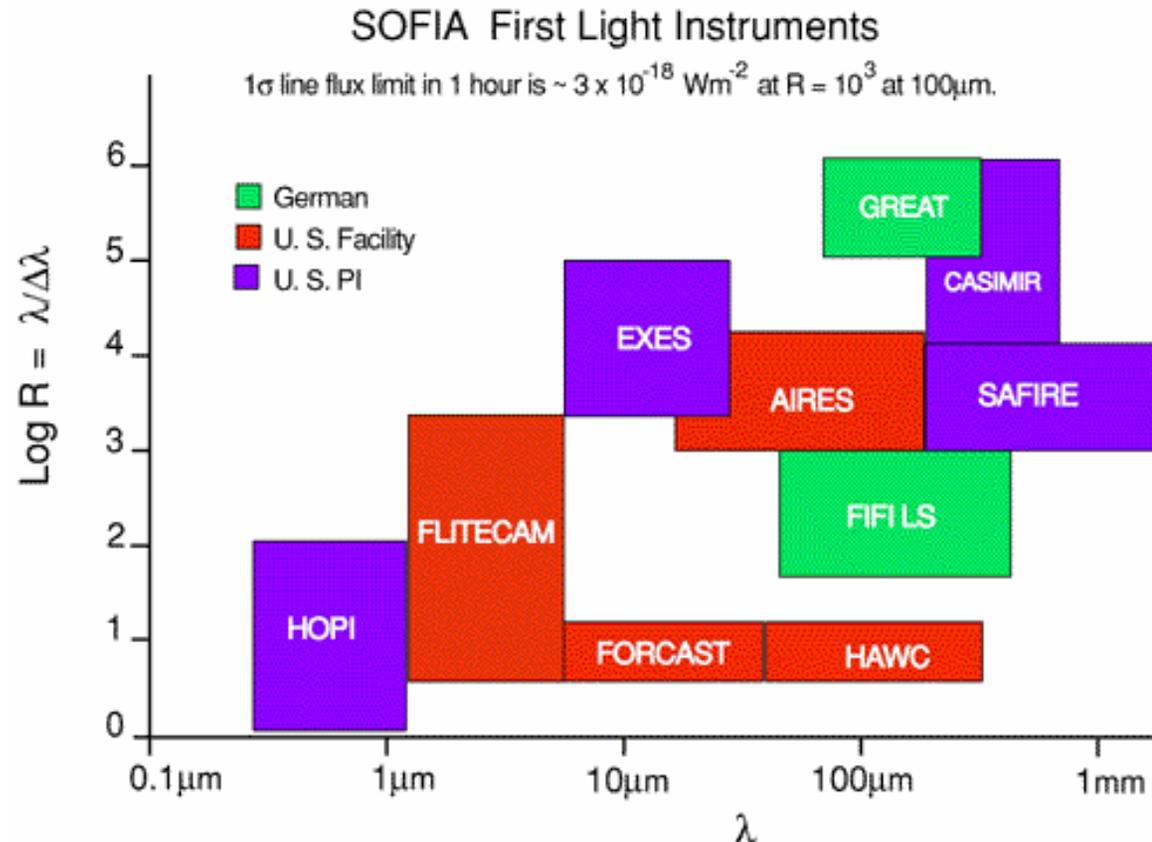
An Bord eines Flugzeugs,  
Boeing\_747 SP ,

Primärspiegel: 2.7m  
Durchmesser

Sekundärspiegel: 0.4m  
Durchmesser

SOFIA-Institut soll  
gegründet werden

Lebensdauer: 20 Jahre, Beobachtungsflüge pro Jahr: 160



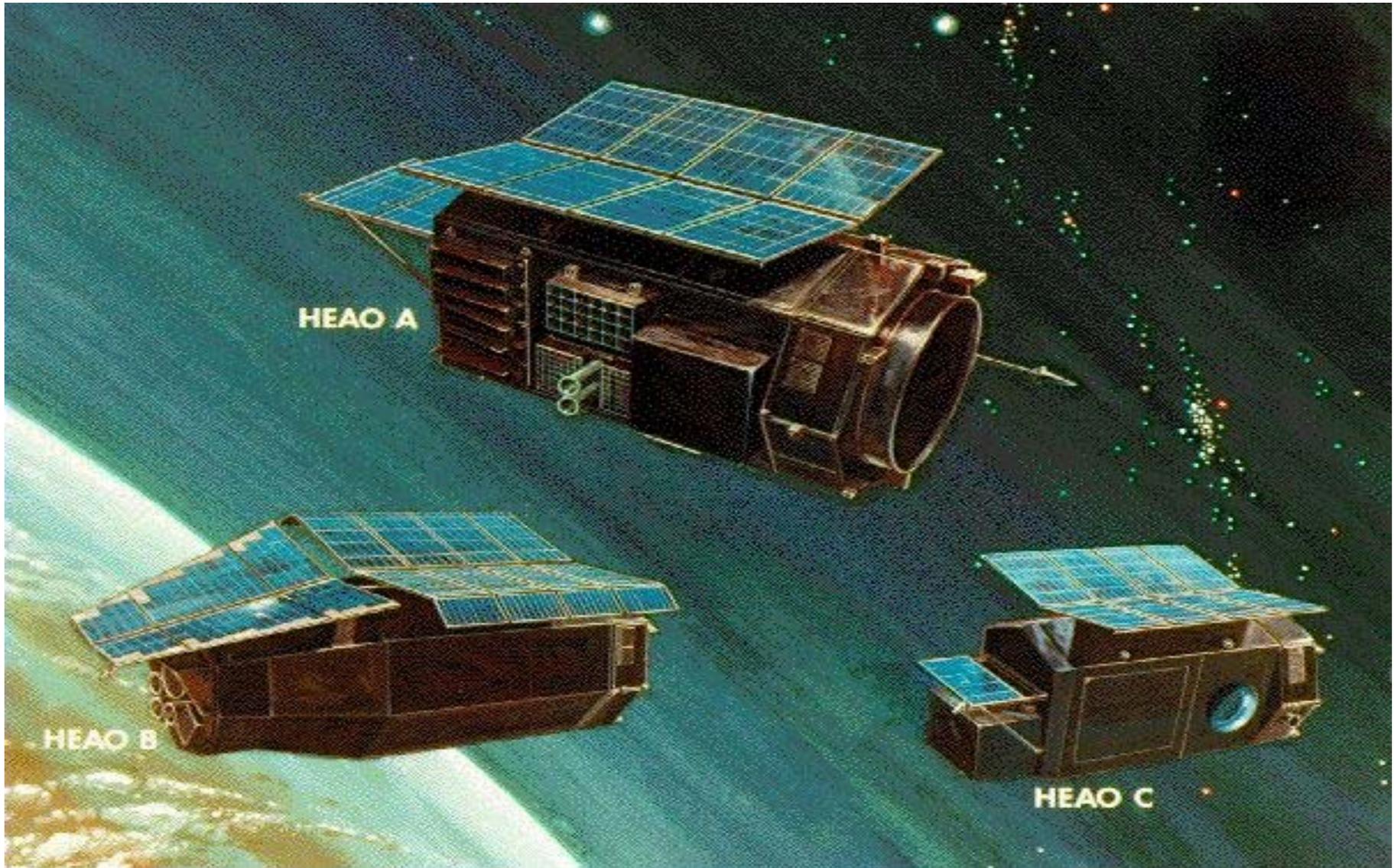


# Röntgen

Bislang: **54** Satelliten Missionen im Energiebereich 0.01-50 keV



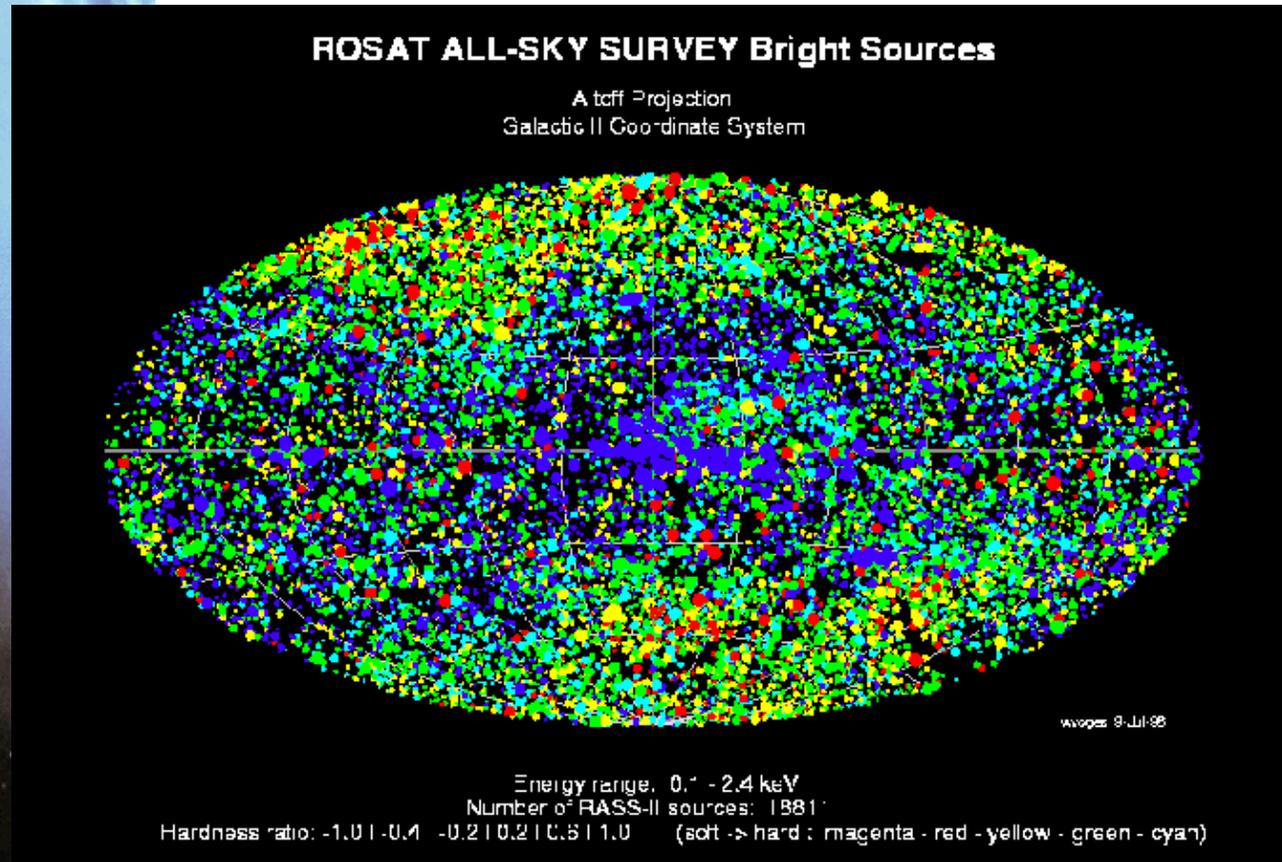
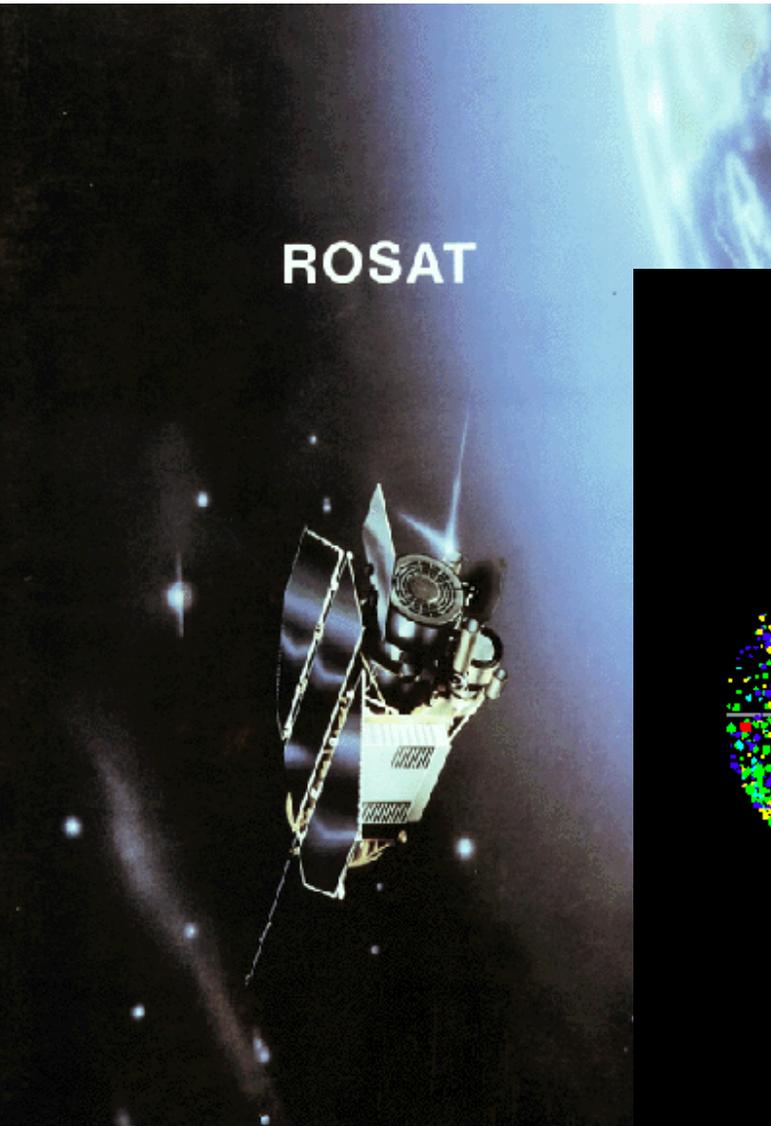
# Historisches Röntgen-Teleskop: Hubble Space Telescope (HST)



Nov. 1978, 7000 brit. Pfund schwer, HEAO-3: Gammastrahlung

# Röntgen

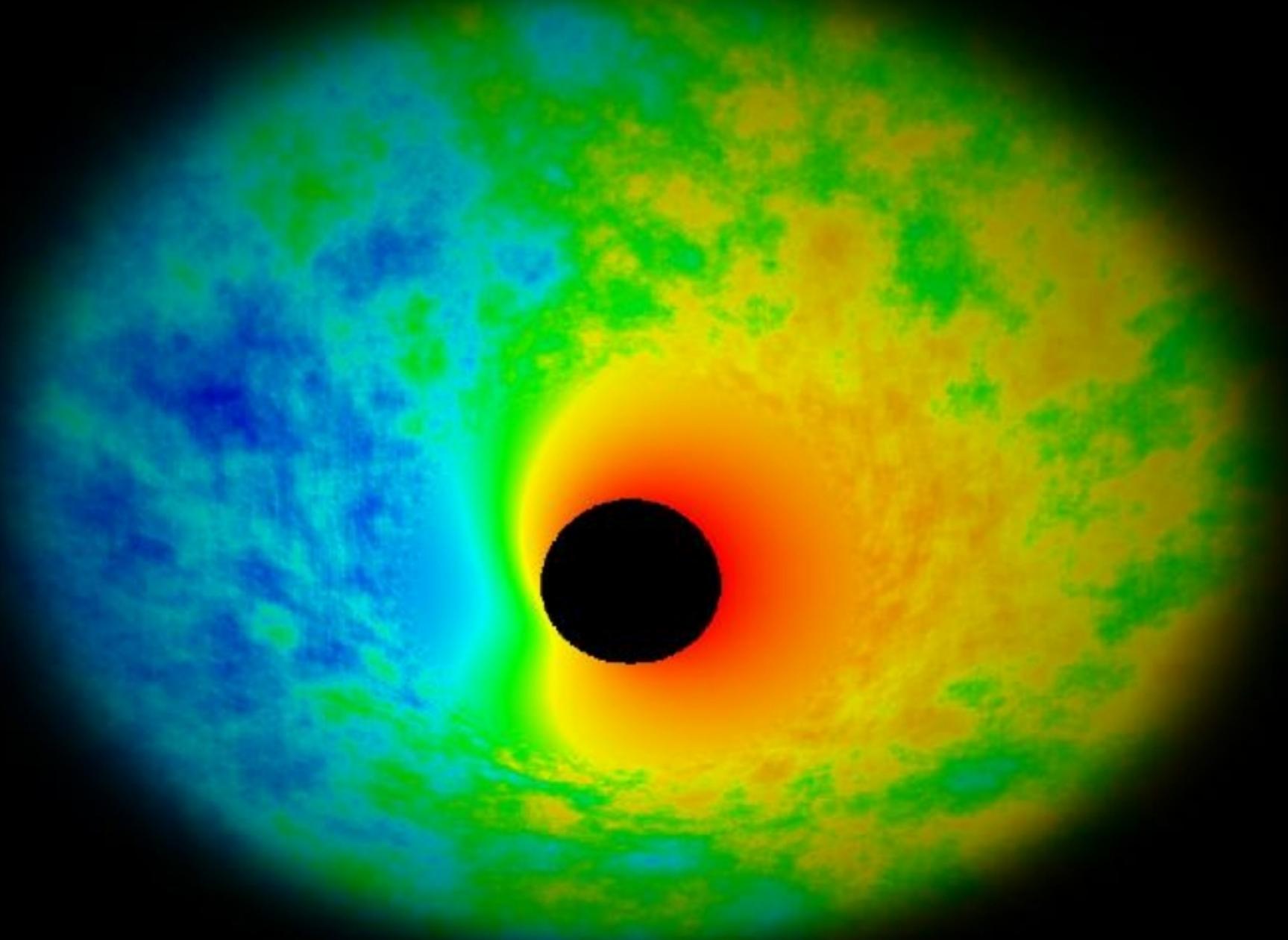
# ROSAT



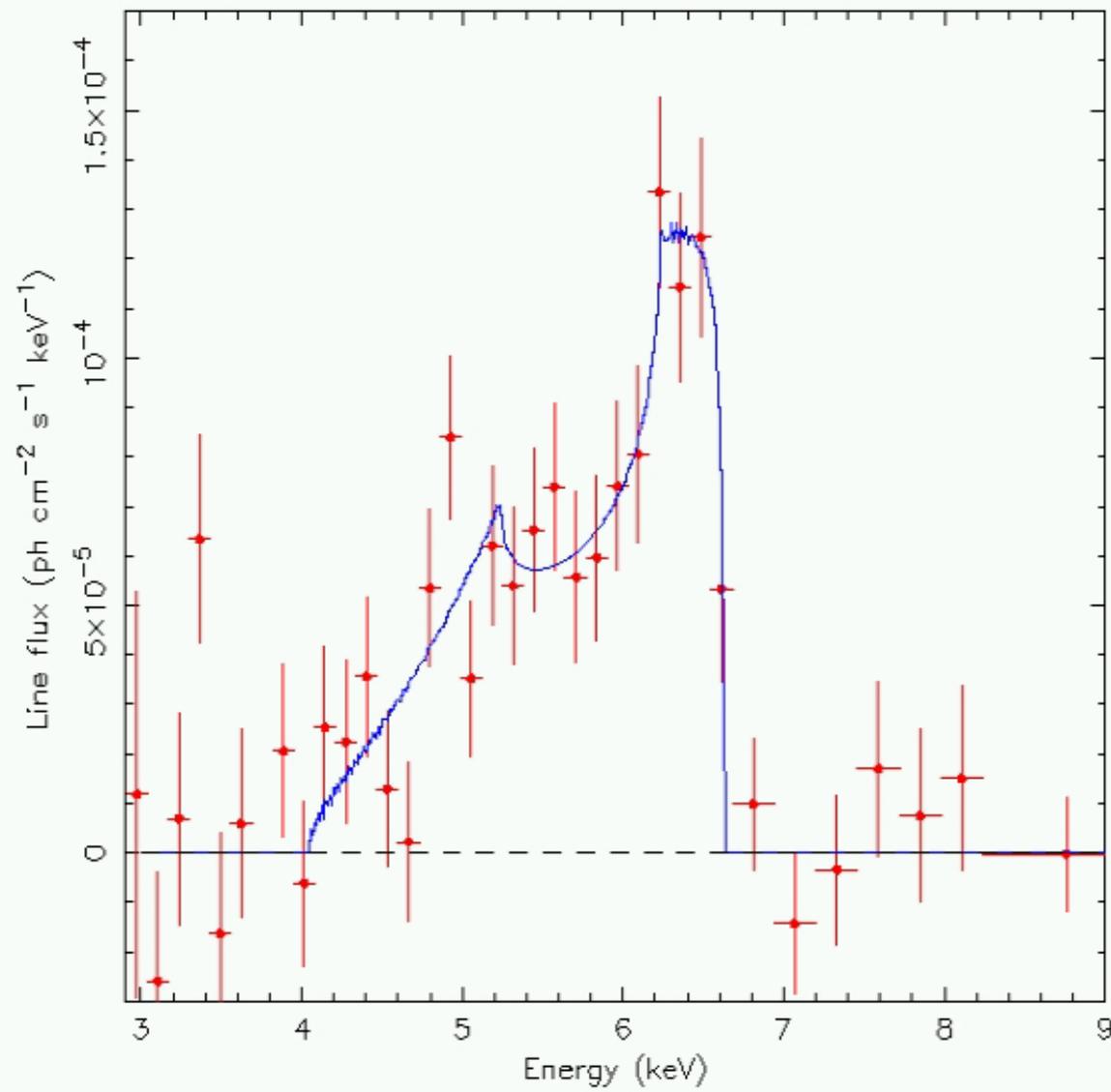
# ROSAT

- ROSAT: Deutsch/US/UK Kollaboration, 700 Wissenschaftler in Beobachtungen beteiligt, fast 5000 Publikationen
- Dauer: 01.06.1990 - 12.02.1999, 8.5 Jahre aktiv
- 6 Monate: all sky-survey: erster!
- Energiebereich : X-ray 0.1 - 2.5 keV , EUV 62-206 eV, Aufl: <10 arcsec
- Science Highlights:
- X-ray all-sky survey catalog, more than 150000 objects
- XUV all-sky survey catalog (479 objects)
- Source catalogs from the pointed phase (PSPC and HRI) containing ~ 100000 serendipitous sources
- Detailed morphology of supernova remnants and clusters of galaxies.
- Detection of shadowing of diffuse X-ray emission by molecular clouds.
- Detection (Finally!) of pulsations from Geminga.
- Detection of isolated neutron stars.
- Discovery of X-ray emission from comets.
- Observation of X-ray emission from the collision of Comet Shoemaker-Levy with Jupiter.

Tomley, Miller & Pariev 1998, Nature 391, 54; turbulente Schwarzschild-  
scheibe, Ursprung der Fe-Linie, Simulation



- ★ c) Entdeckung sehr breiter, durch Gravitation rotverschobener Röntgenemissionslinien in MCG-6-30-15 (Tanaka et al. 1995)



# Röntgen

# XMM



Energiebereich: 0.25-12 keV

„Mit elf Metern Länge und vier Tonnen Gewicht ist der Röntgensatellit "XMM-Newton" ein wahrer Koloss unter den Satelliten. Es ist neben dem amerikanischen Chandra sicher das beste Röntgenteleskop im All. Mit perfektesten Spiegeln, den "X-ray Multi-Mirrors", und den röntgenempfindlichen CCD-Kameras fängt es noch die feinsten Röntgenstrahlen im Weltall ein.“

Große Flächen (Multi-Mirror-System), imaging telescope,

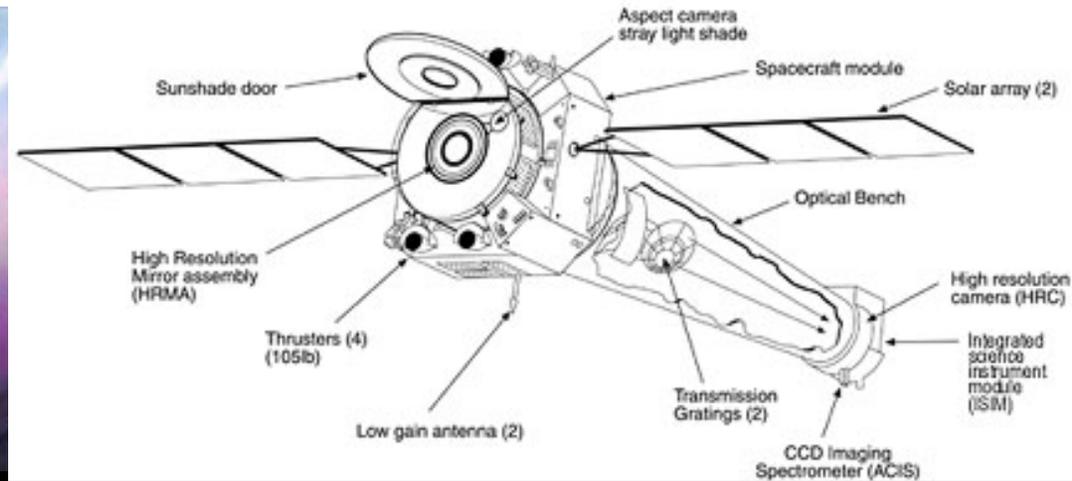
Simultane Beobachtungen von Quellen im Röntgen/UV/optischen

Gleichzeitige hochauflösende spektrale Beobachtungen

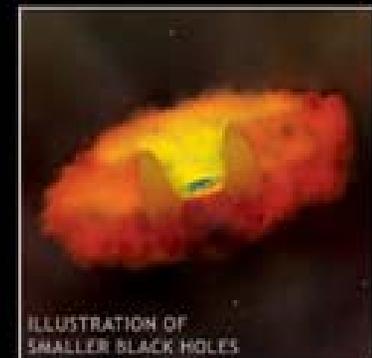
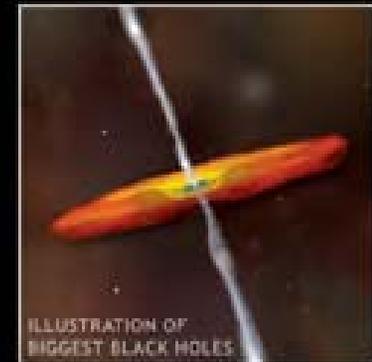
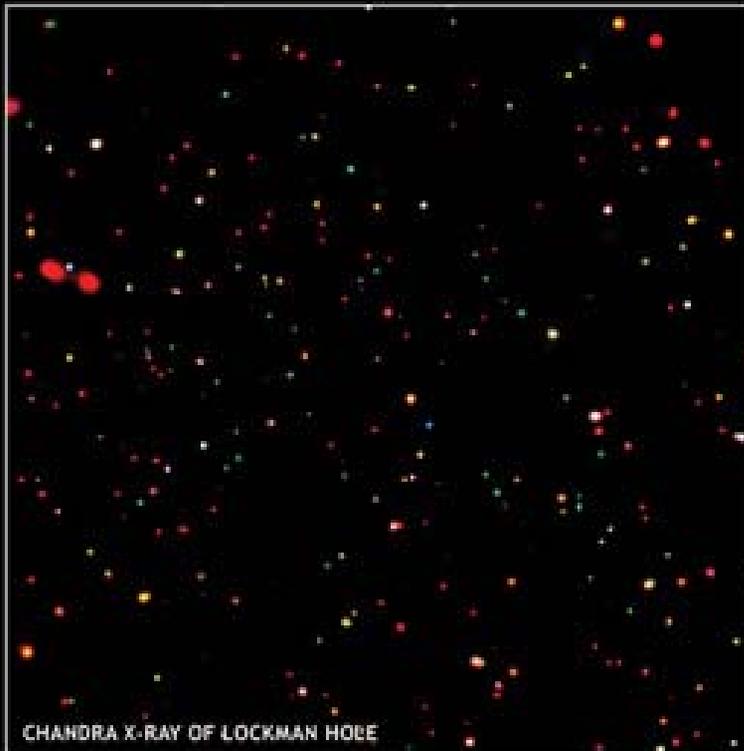
Langperiodische Bahn: lange, kontinuierliche Beobachtungen

# Röntgen

# CHANDRA



Höchste Auflösung:  
 $< 0.5$  Bogensekunden  
Seit 1999



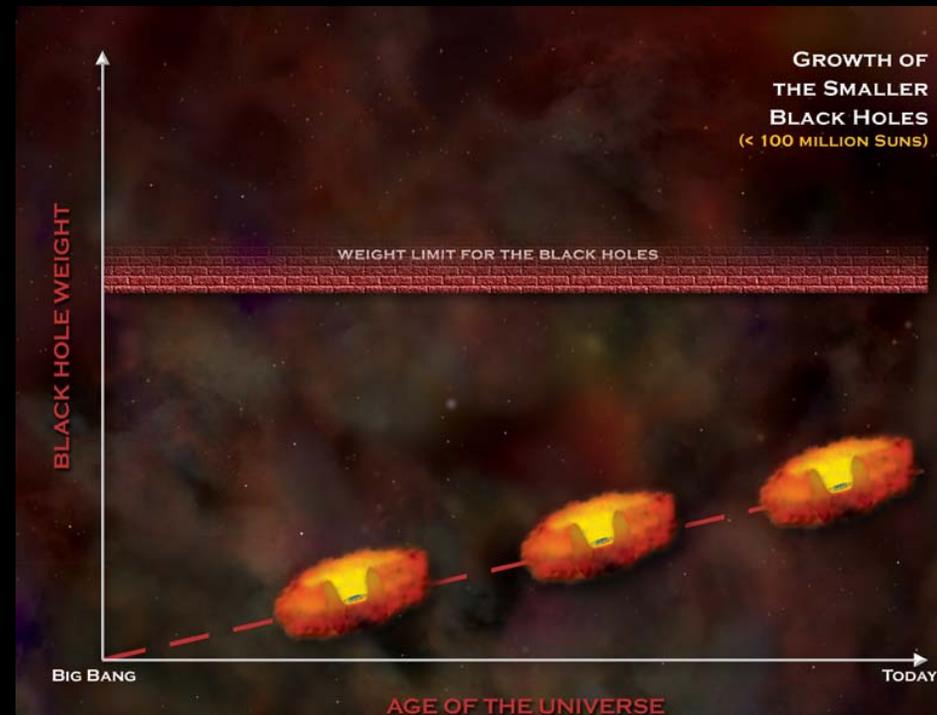
# Röntgen

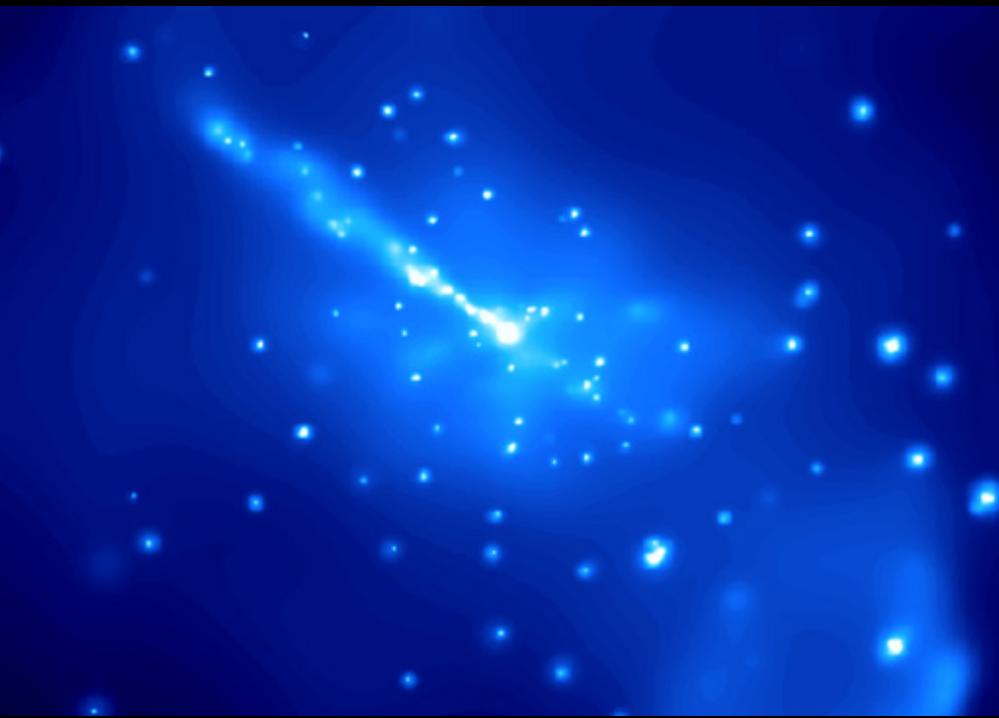
# CHANDRA



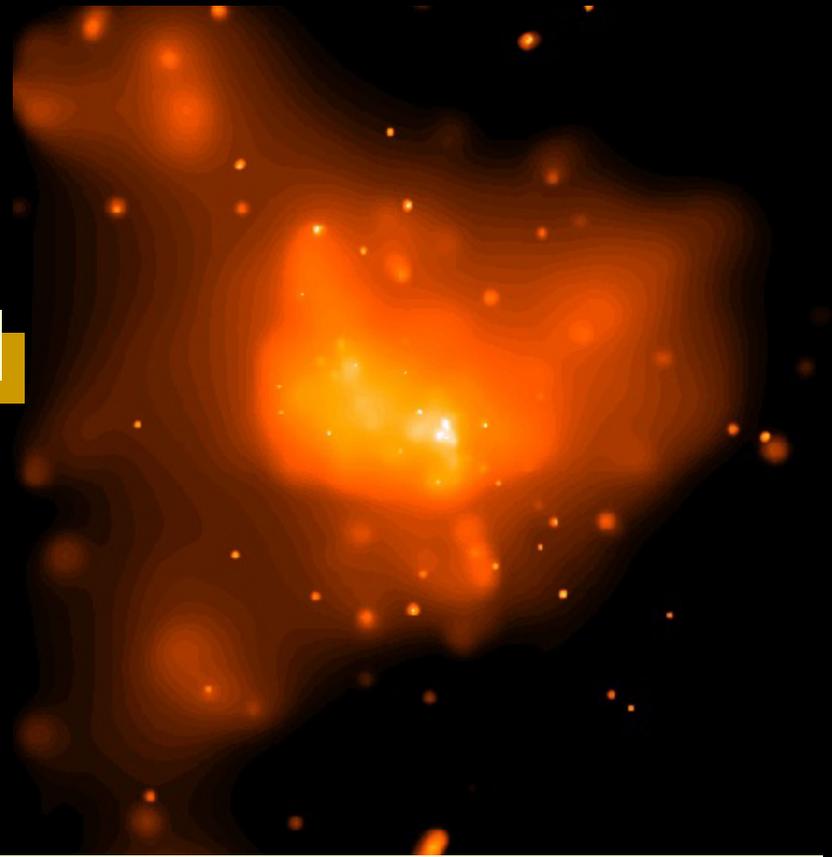
Massen > 100 Mio. Sonnenm.

Massen < 100 Mio. Sonnenm.





CHANDRA X-ray image jet, Centaurus A



CHANDRA Sgr A\* und Sgr A Ost

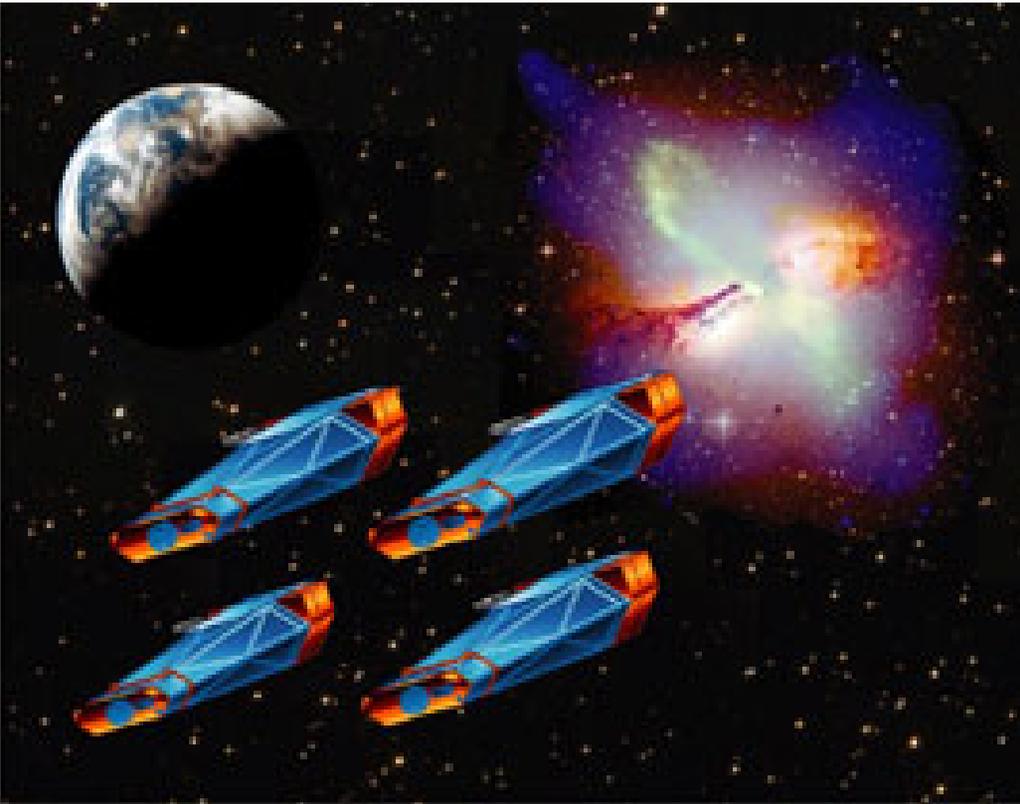


# Röntgen

Die nächste Generation

# Röntgen

# Zukunft



## Constellation X



Für das Röntgenteleskop „Constellation X“ der NASA hat SCHOTT GLAS im Unterauftrag von Zeiss einen Abformkörper hergestellt, mit dem Spiegelsegmente vervielfältigt werden können.

# Constellation X

- Geplant für:
- 4 Satelliten, zusammen 100-fach sensitiver als frühere Röntgen-Missionen
- Billiger zu konstruieren als ein großes Teleskop
- Wissenschaft:
  - starke Gravitation am Ereignishorizont supermassiver Schwarzer Löcher
  - Dunkle Materie und Energie
  - Bildung und Entwicklung Schwarzer Löcher
- Details ...

# Constellation X

➤ Minimum effective area:

- 1,000 cm<sup>2</sup> from 0.25 keV to 10 keV
- 15,000 cm<sup>2</sup> at 1.25 keV
- 6,000 cm<sup>2</sup> at 6.0 keV
- 1,500 cm<sup>2</sup> from 10 keV to 40 keV

Minimum telescope angular resolution:

- 15 arcsec HPD from 0.25 to 10 keV
- 1 arcmin HPD from 10 keV to 40 keV

➤ Spectral resolving power:

- ( $E/\Delta E$ )  $> \sim 300$  from 0.25 keV to 6.0 keV
- 1,500 from 6.0 keV to 10 keV
- $> 10$  from 10 keV to 40 keV

Diameter Field of View:

- SXT  $> 2.5$  arc min

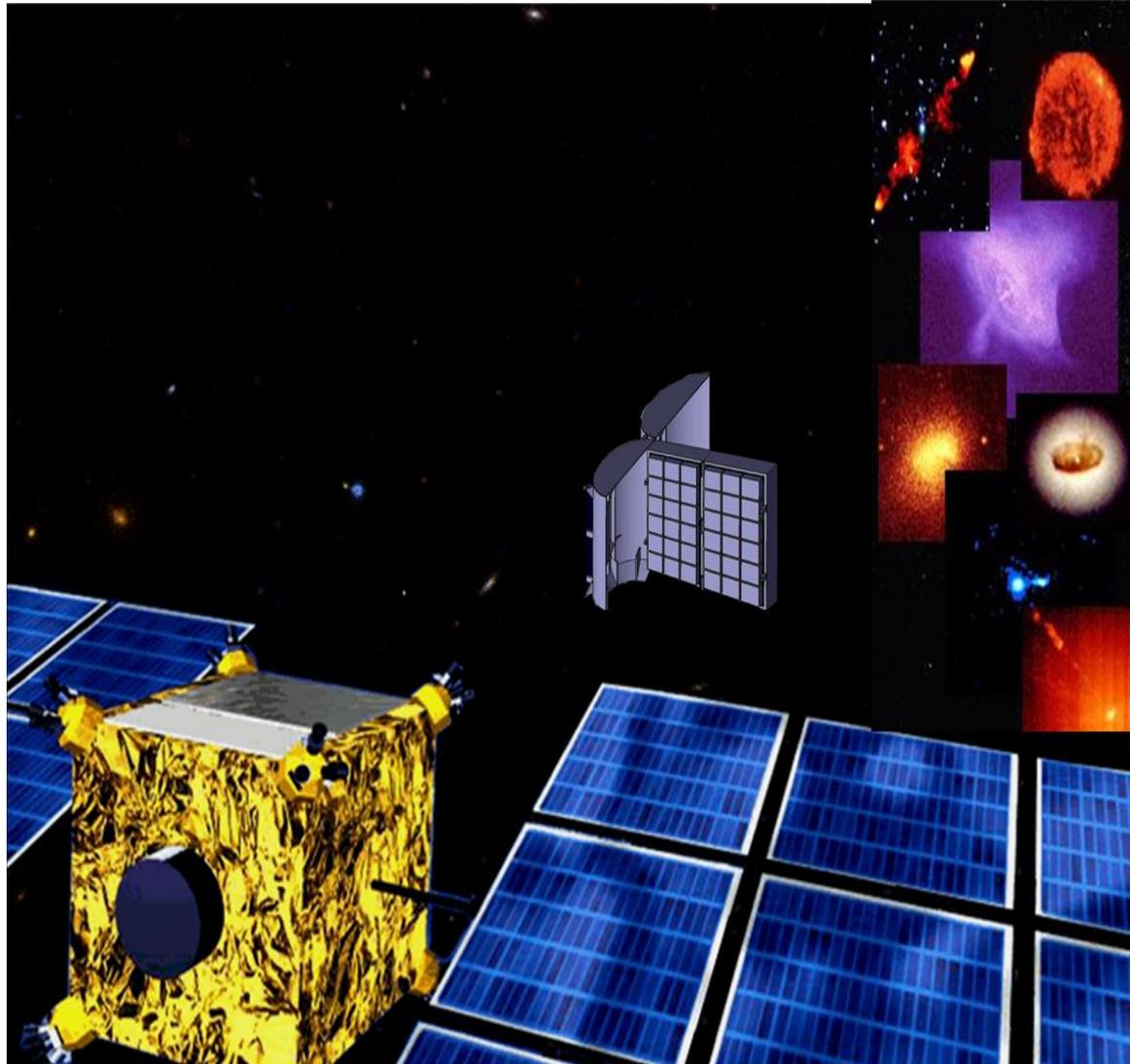
Mission Life:  $> 4$  years (full capability)

# Röntgen

# Zukunft

Xeus

The X-Ray Evolving Universe Spectrometer



# Xeus

- Nachfolger von XMM-Newton
- Permanente Röntgen-Station im All
- 200-fache Sensitivität von XMM-Newton
- Fläche von  $10 \text{ m}^2$  bei  $1 \text{ keV}$
- Wissenschaft:
  - die größten kollabierten Objekte im Universum zu untersuchen,
  - die ersten Schwarzen Löcher ( $z=10$ ), Natur von Gravitation,
  - Raum und Zeit nahe massiver Schwarzer Löcher

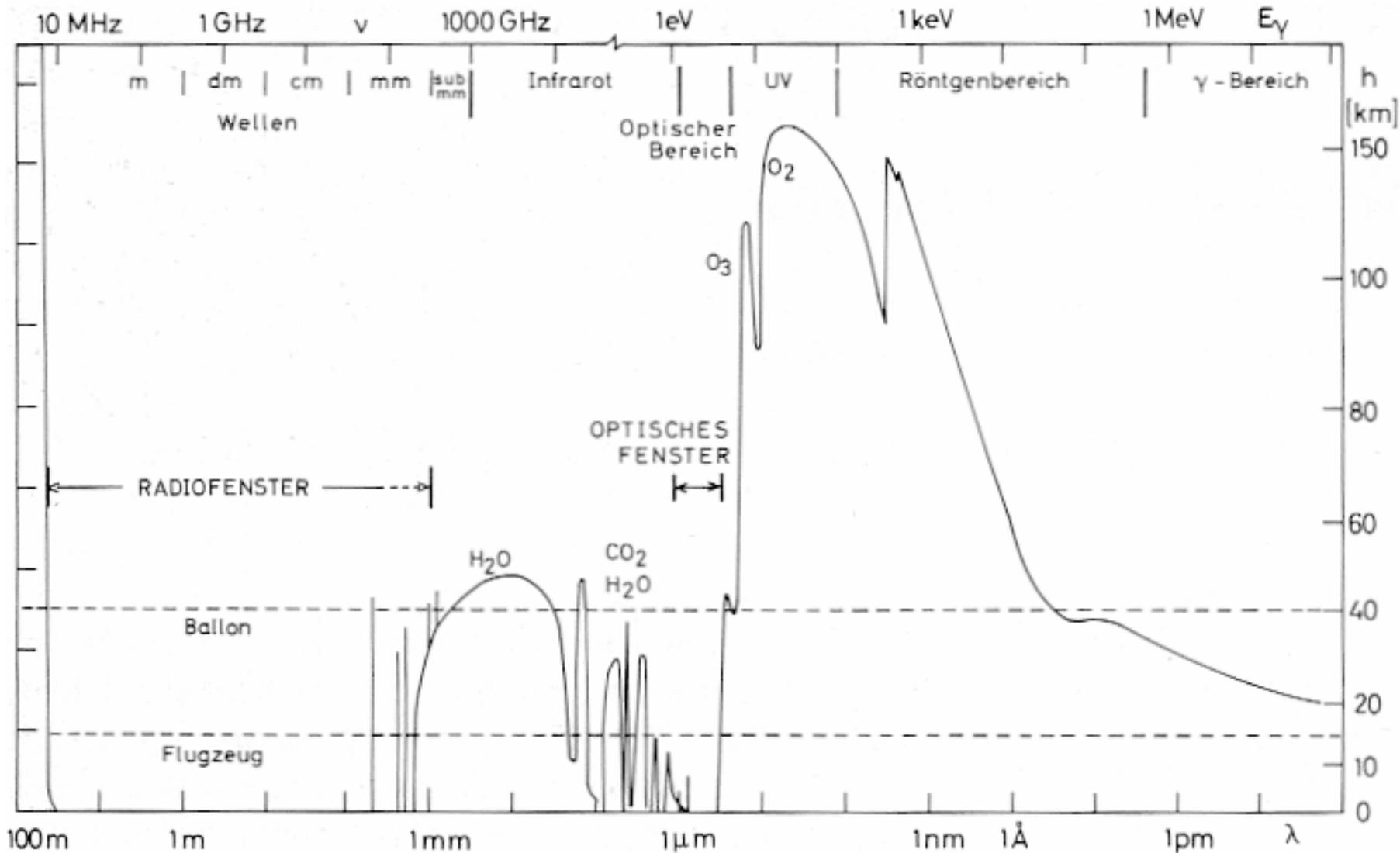


# Hochenergie: Gamma & TeV

Bislang **82** Satelliten-Missionen,  
> 100 keV



# Absorption elektromagnetischer Strahlung durch die Lufthülle der Erde.



# Gamma

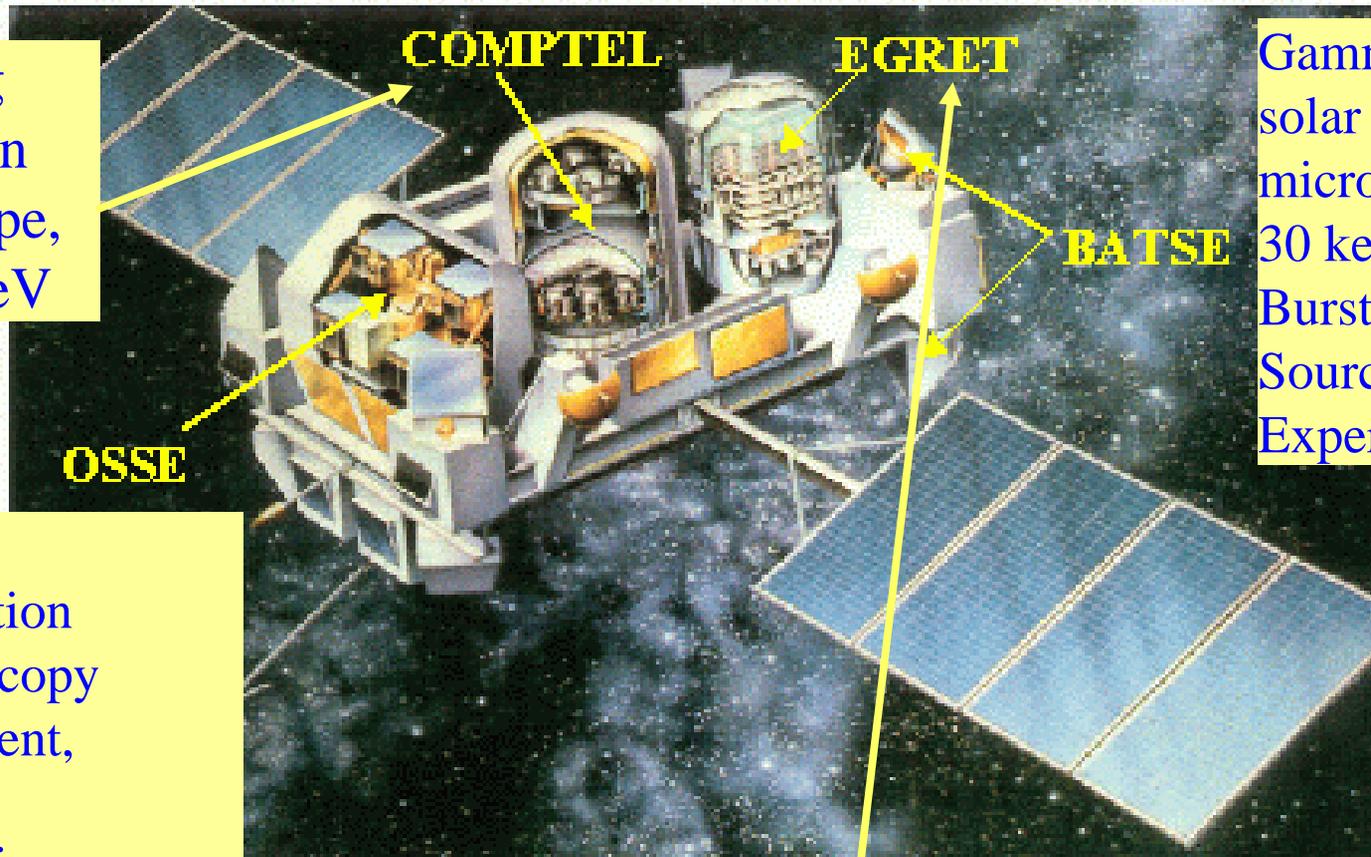
# EGRET

## Compton Gamma-Ray Observatory (1991-2000)

Imaging  
Compton  
Telescope,  
1-30 MeV

Oriented  
Scintillation  
Spectroscopy  
Experiment,  
spectral  
observations,  
0.05-10 MeV

Gamma-bursts,  
solar flares,  
microseconds,  
30 keV - 1.9 MeV,  
Burst and Transient  
Source  
Experiment



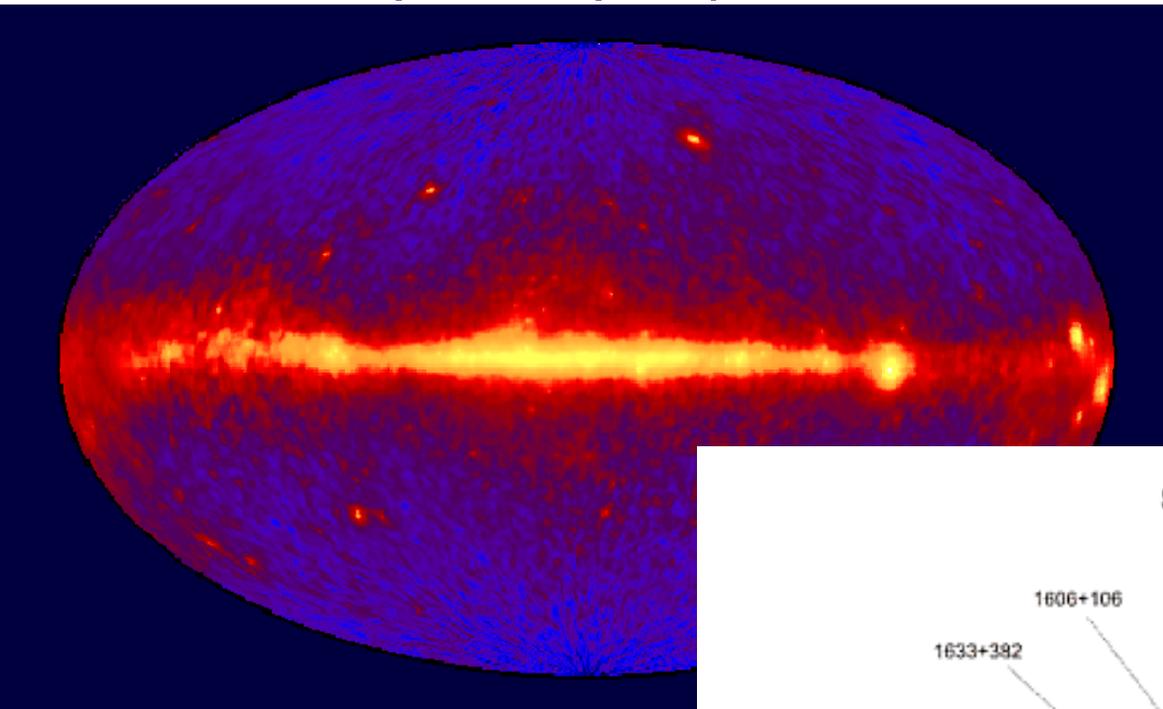
BATSE OSSE COMPTEL EGRET

Energetic Gamma Ray Experiment Telescope,  
highest energy instrument on Compton, 20 MeV - 30 GeV

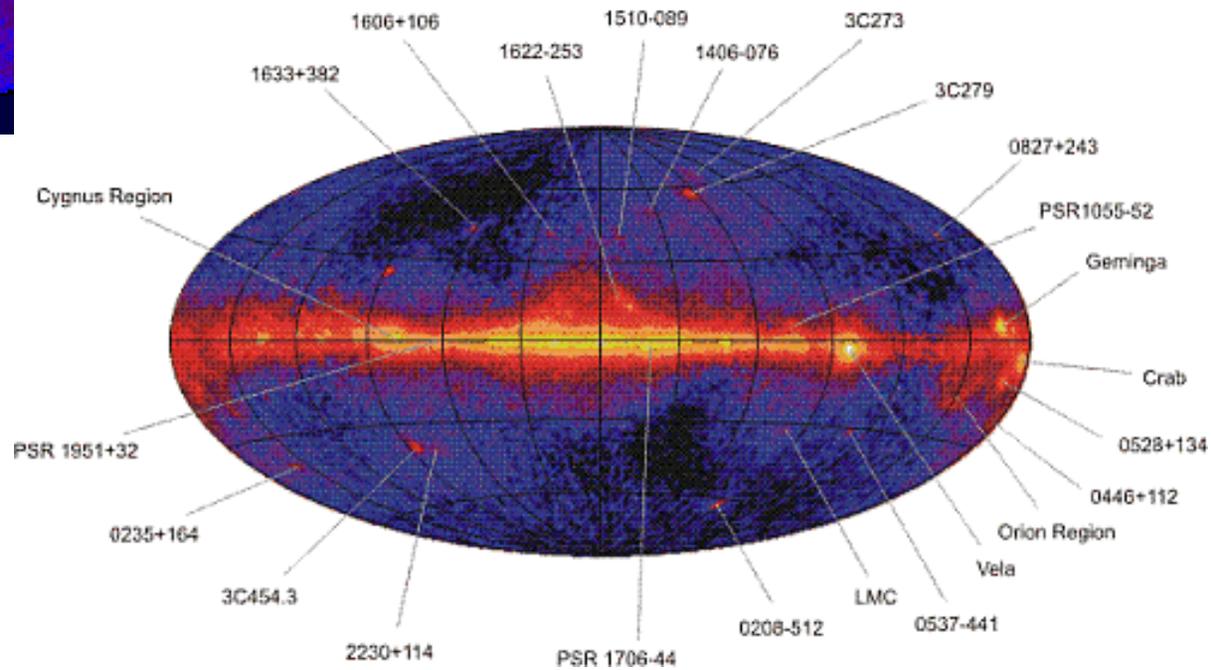
# Gamma

# EGRET

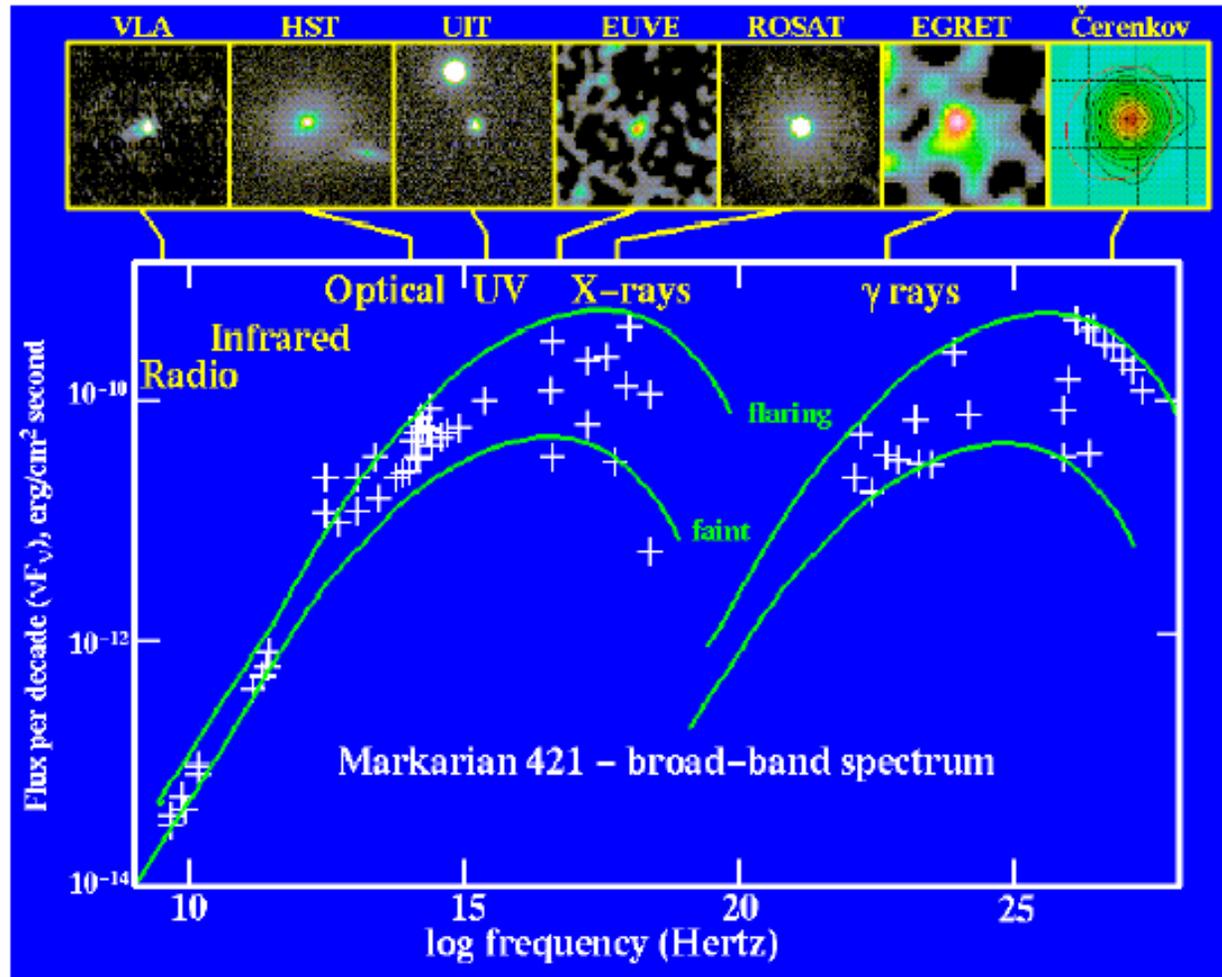
Gamma Ray Survey Above 100 MeV



**EGRET**  
Skymap E > 100 MeV  
Phase 1 - 4



## MKN 421 at various wavelengths

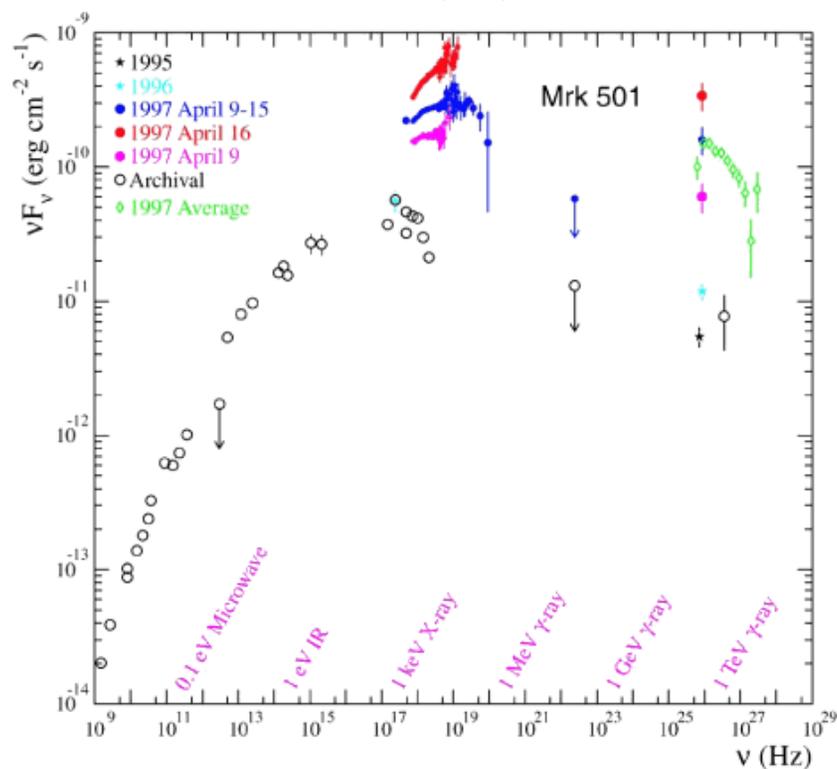
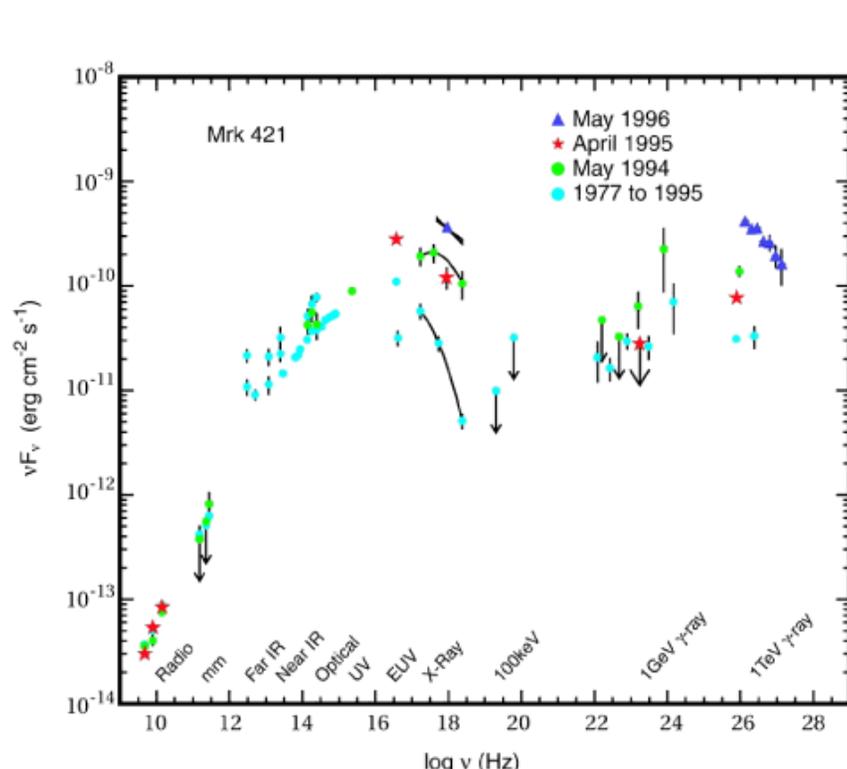
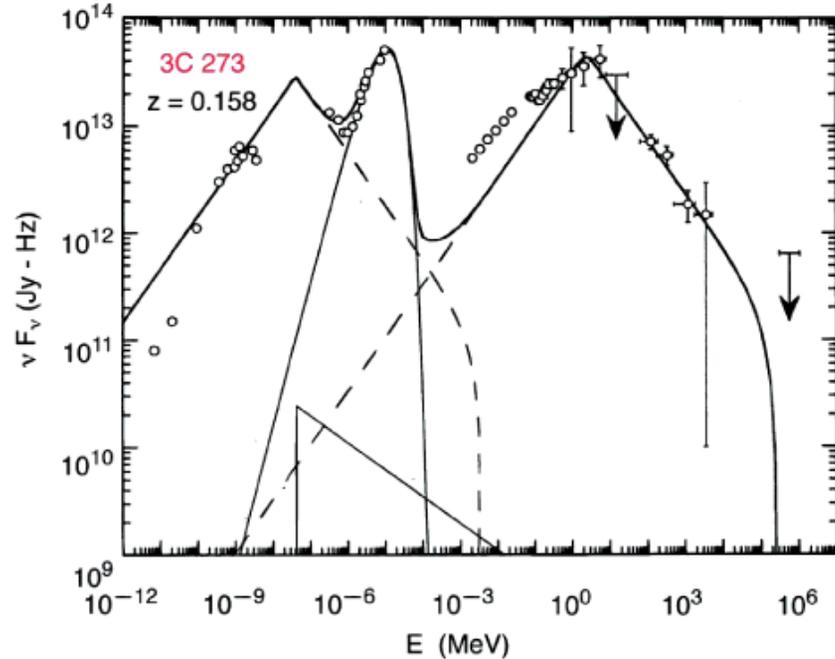
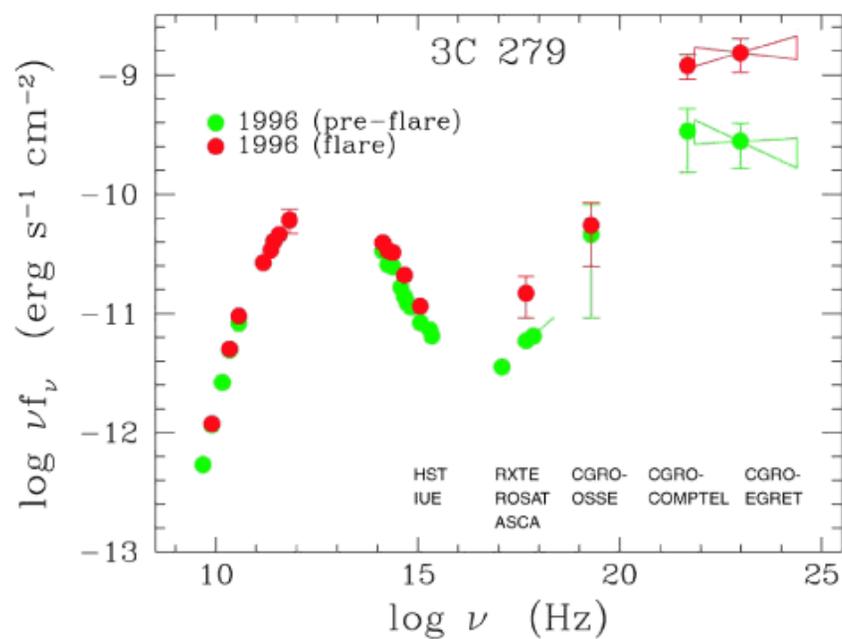


Images and spectrum of the BL-Lac object MKN 421

There are no optical emission lines in the spectrum and the object is similar to a point source in all images

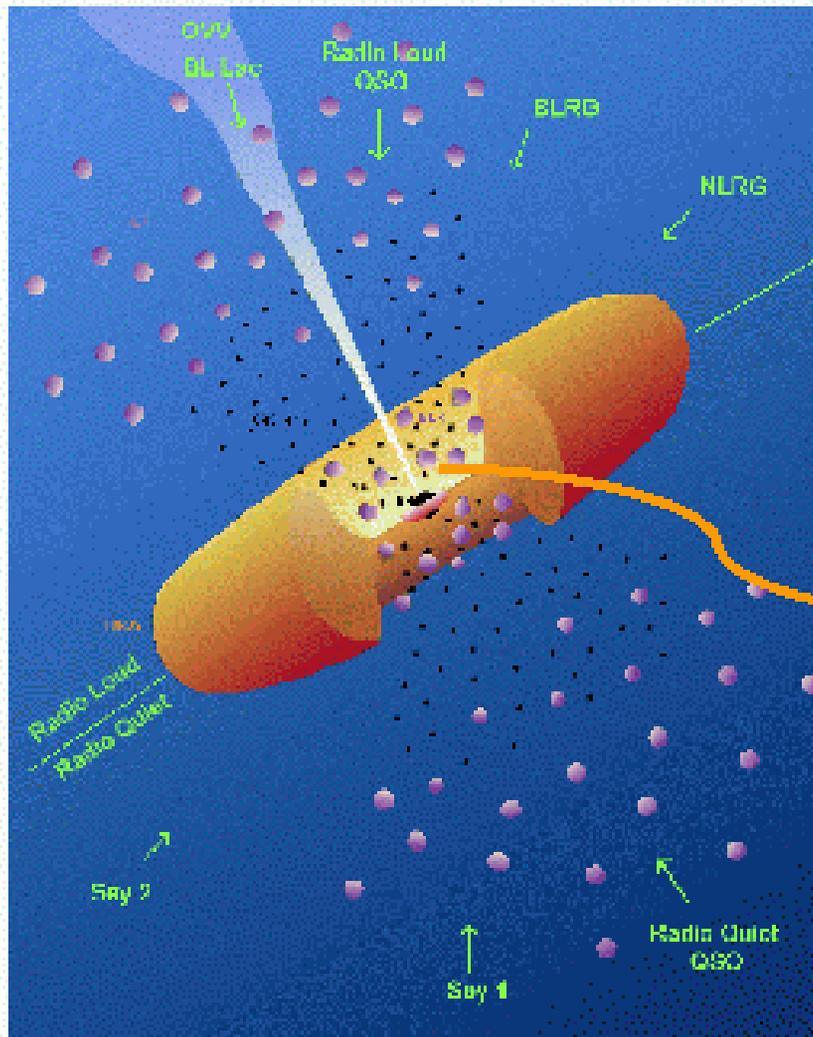
MKN 421 is one of a few AGN that emits prodigiously at TeV energies

<http://www.astr.ua.edu/keel/agn/mkn421.html>



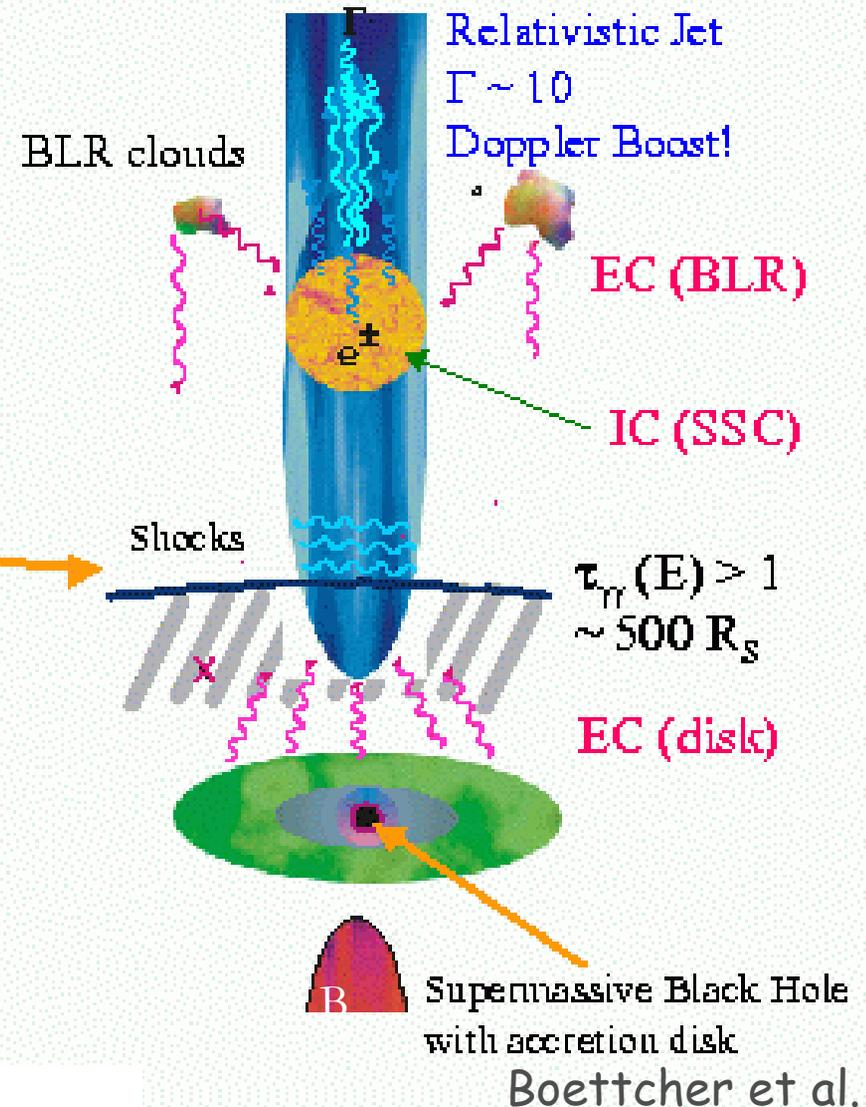
# Where does the radiation come from?

## AGN Modell:



## Synchrotron & Inverse Compton

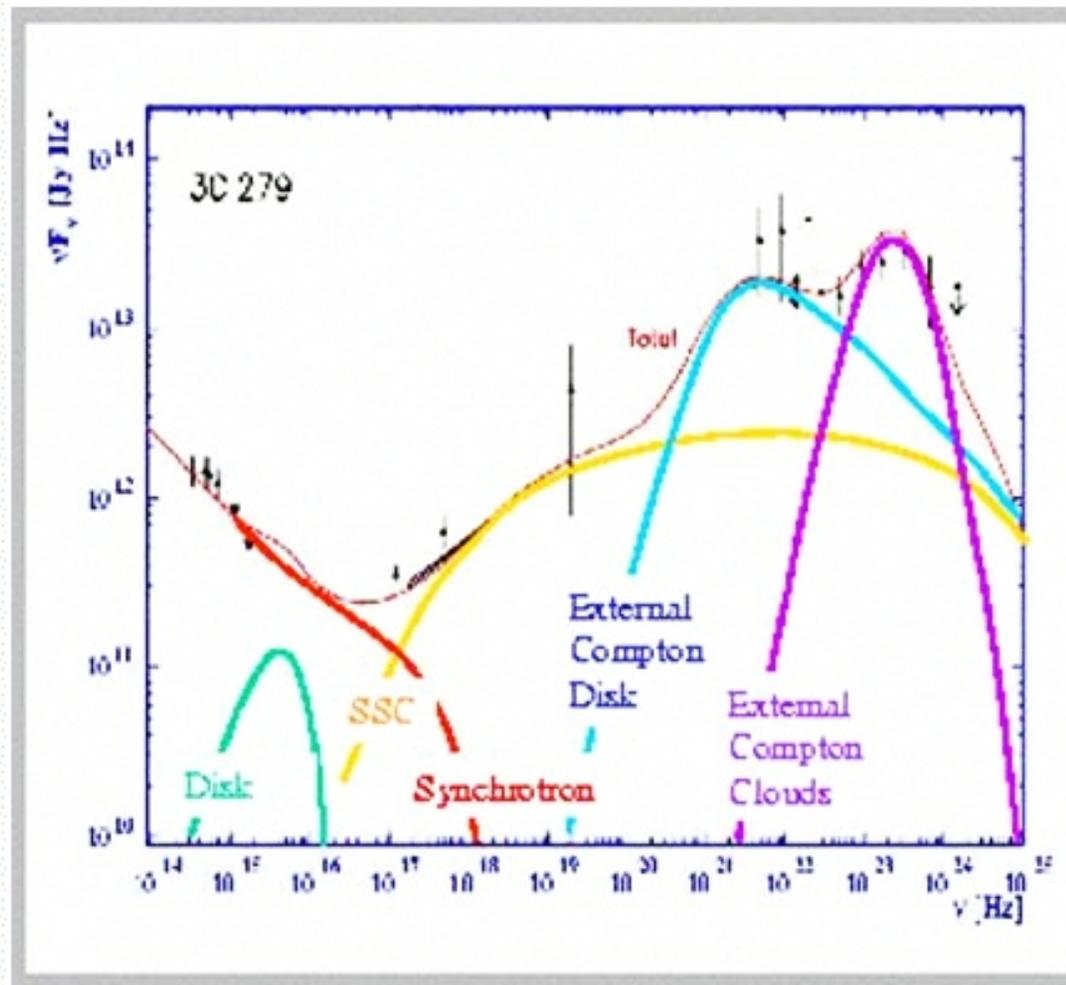
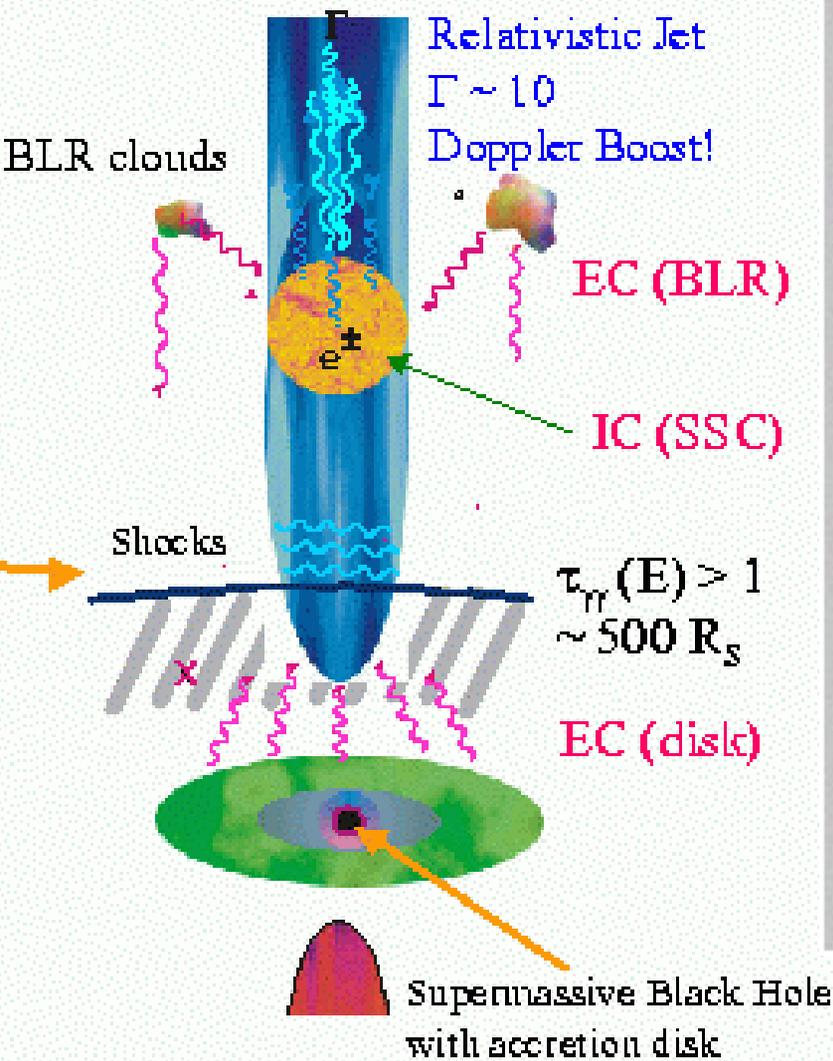
(Bremsstrahlung & Annihilation)



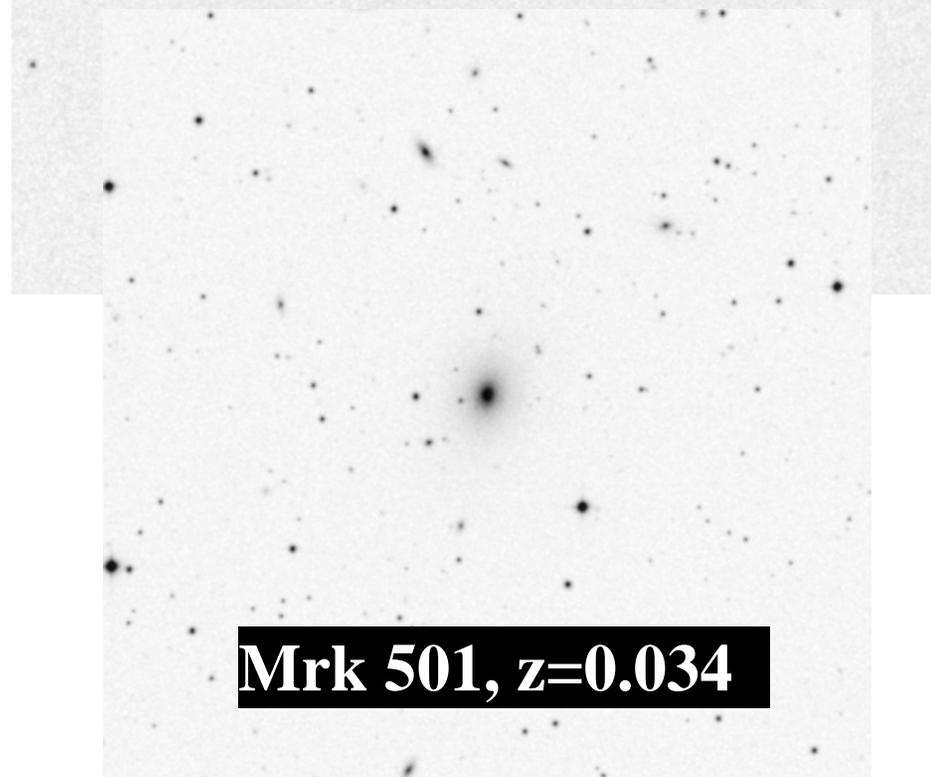
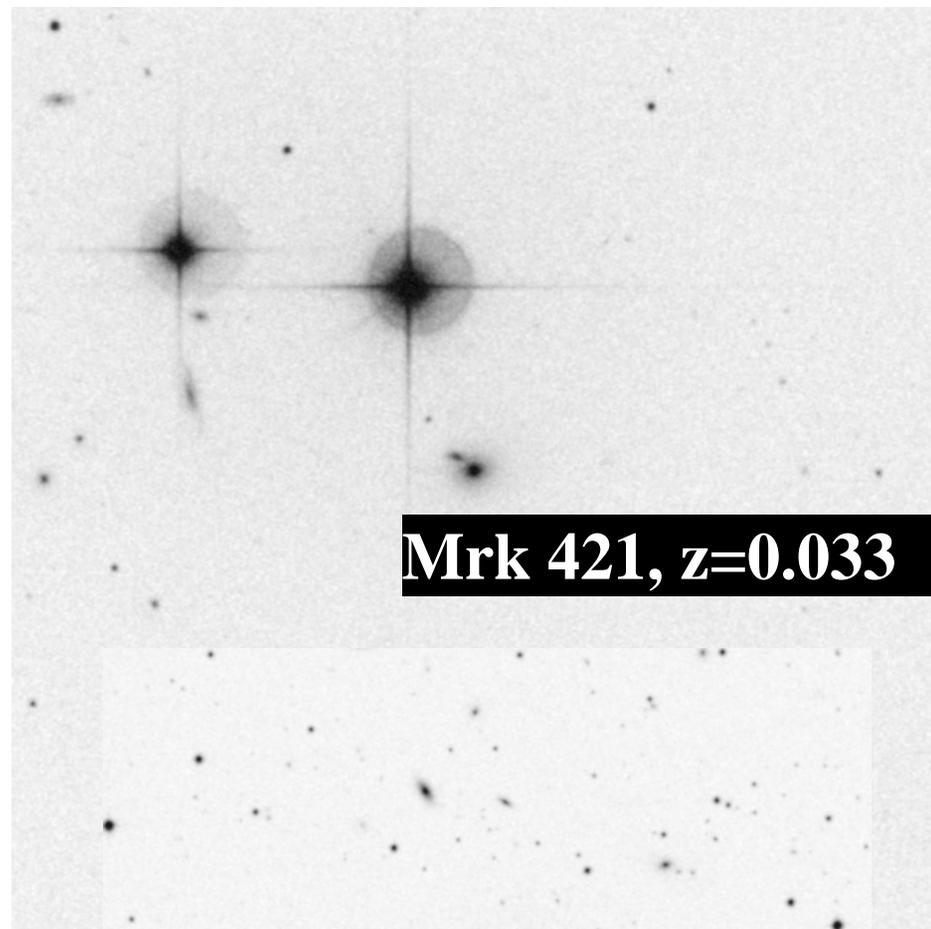
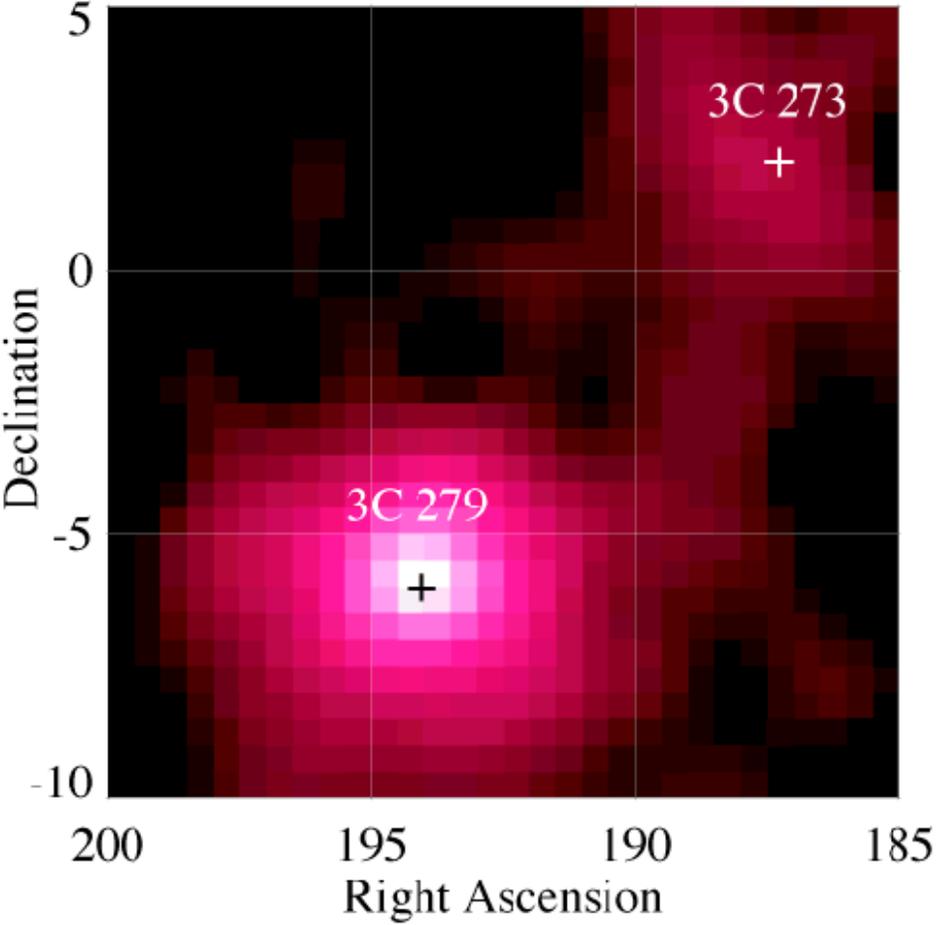
# Where does the radiation come from?

Synchrotron & Inverse Compton

(Bremsstrahlung & Annihilation)



Boettcher et al.



# Gamma

# INTEGRAL

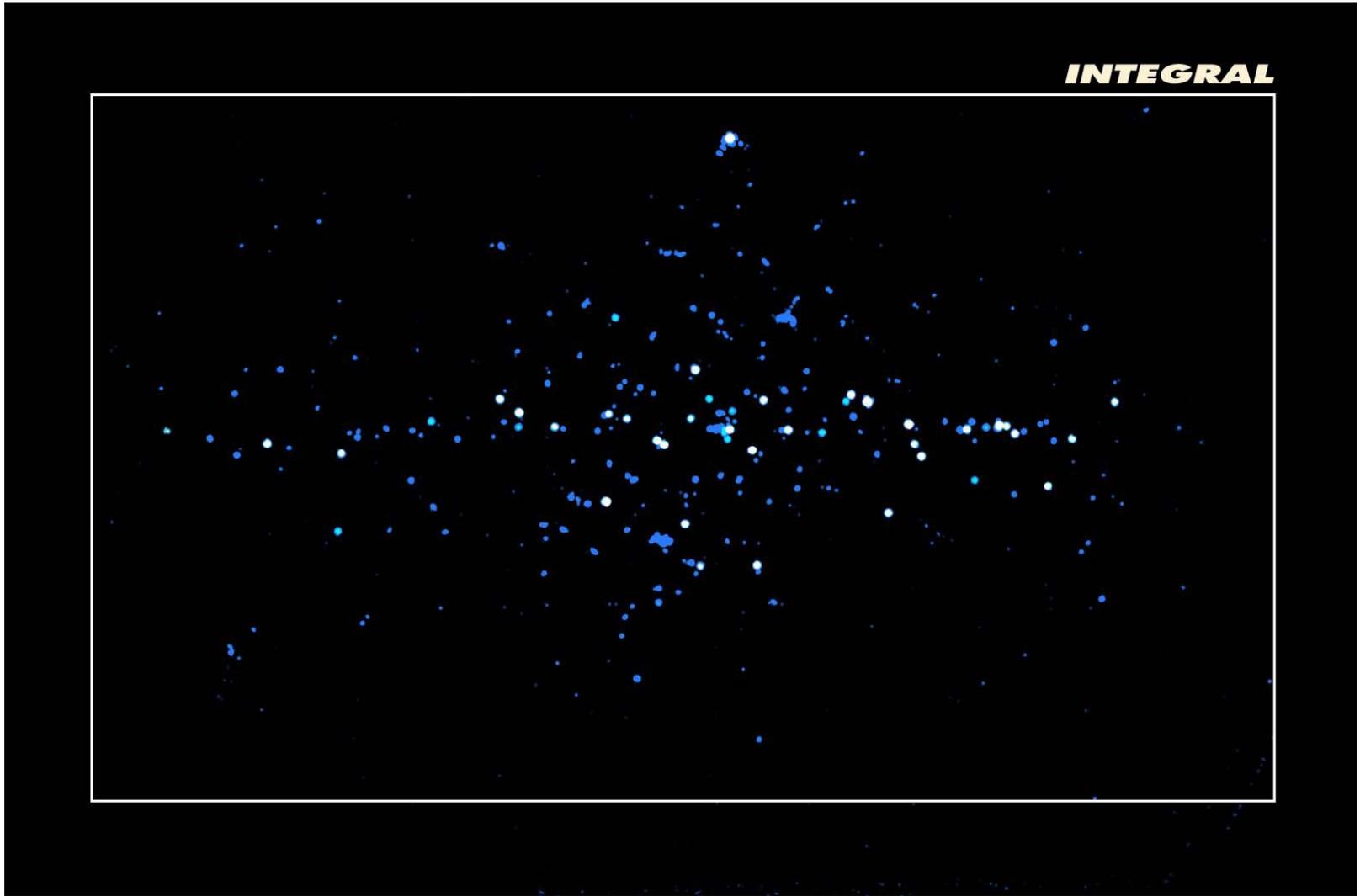


14 ESA Mitgliedstaaten beteiligt

International gamma-Ray  
Astrophysics Laboratory  
Spectroscopy,  
imaging (12 Bogenminuten)  
15 keV-10 MeV, simultane  
Röntgen (3-35 keV)  
- und optische (V-Band)  
Beobachtungen  
Seit 2003,  
vermutl. 5 Jahre

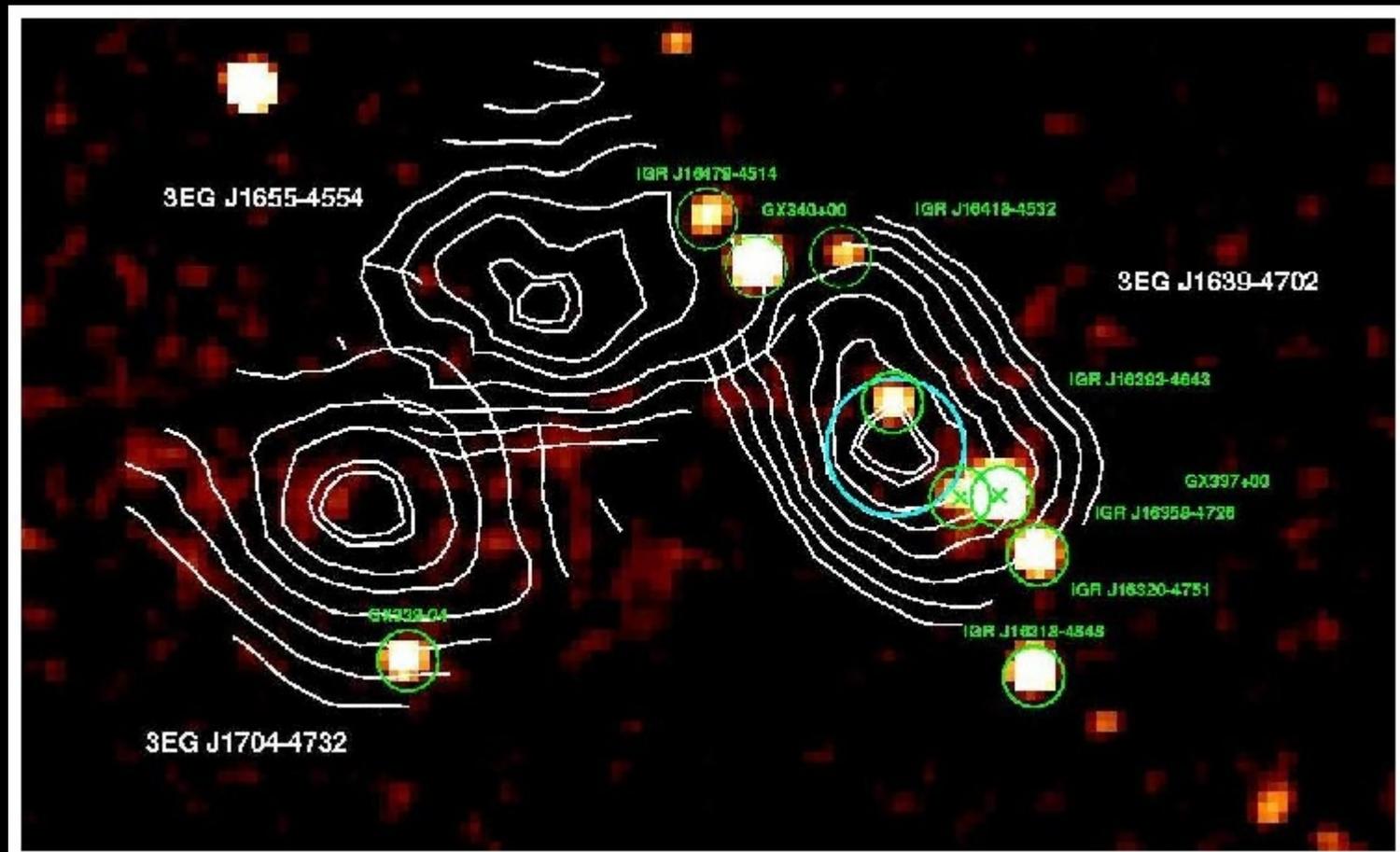
# Gamma

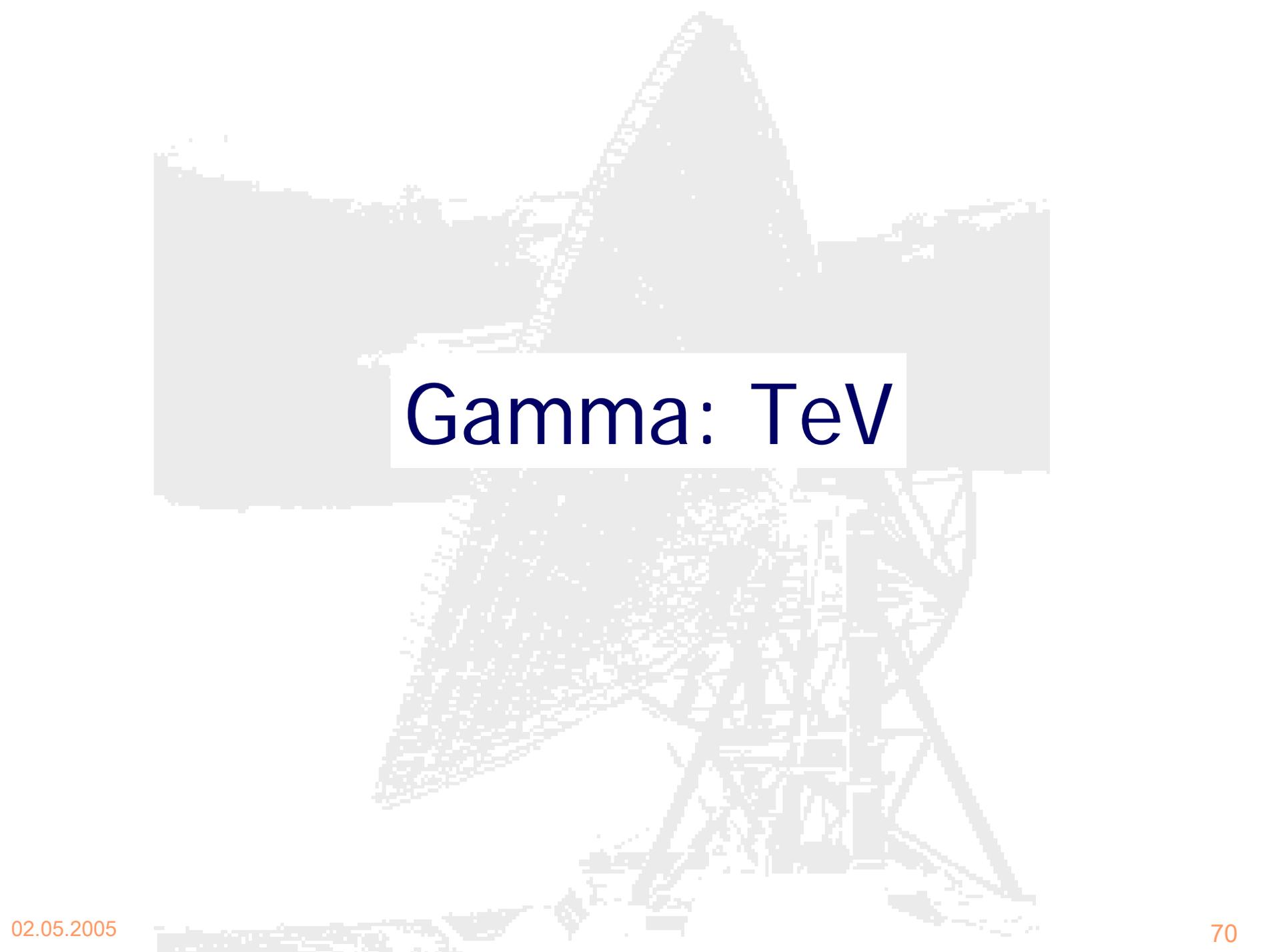
# INTEGRAL



Den Gamma-Strahlungs Hintergrund auflösen

# INTEGRAL observations of EGRET sources in the Norma region

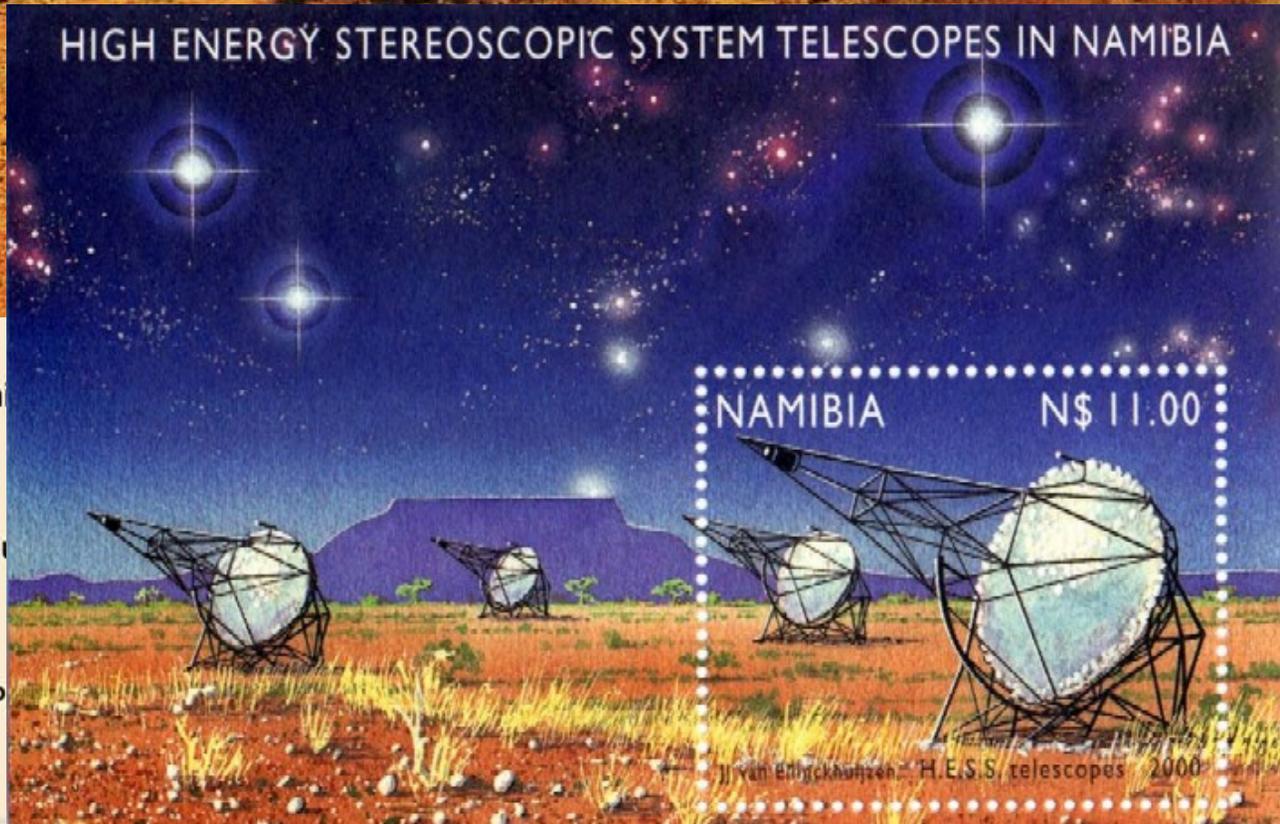




# Gamma: TeV



## HIGH ENERGY STEREOSCOPIC SYSTEM TELESCOPES IN NAMIBIA



hochenergetische Gammas

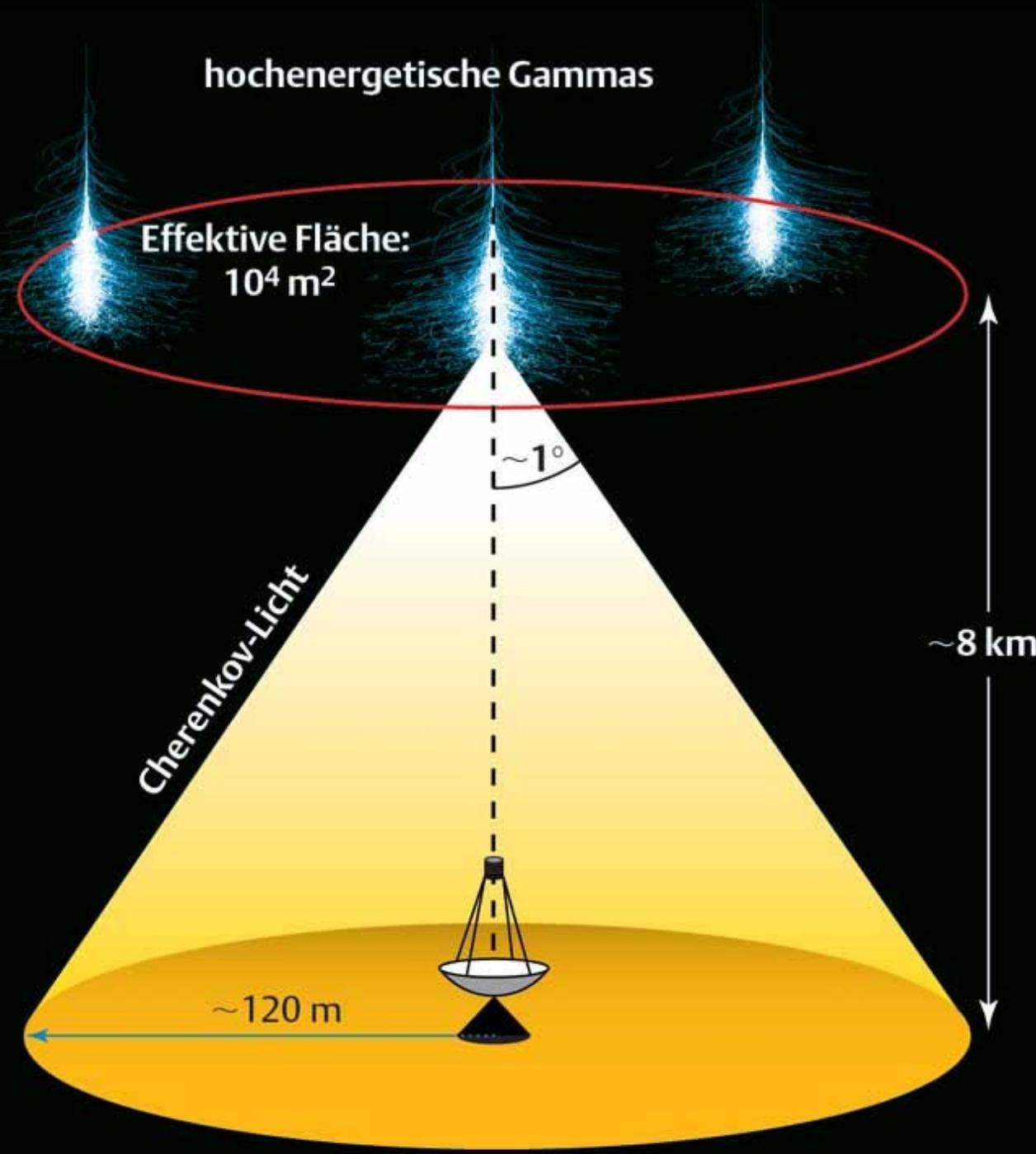
Effektive Fläche:  
 $10^4 \text{ m}^2$

$\sim 1^\circ$

Cherenkov-Licht

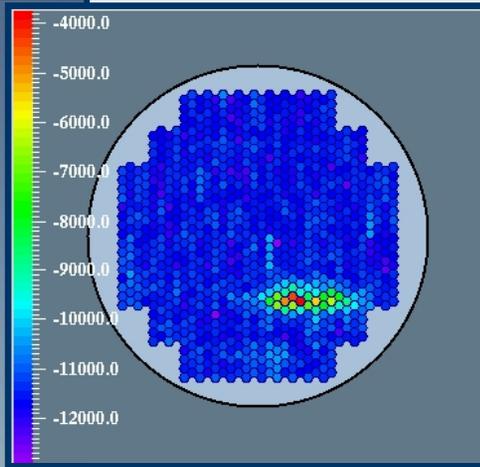
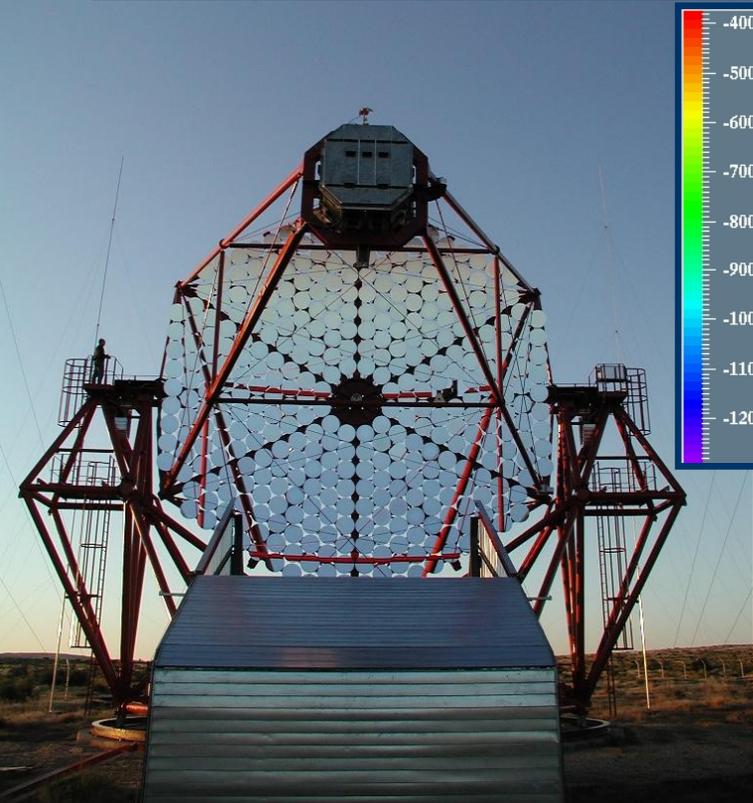
$\sim 8 \text{ km}$

$\sim 120 \text{ m}$



# Gamma

# TeV: HESS



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

# HESS -Beobachtungen

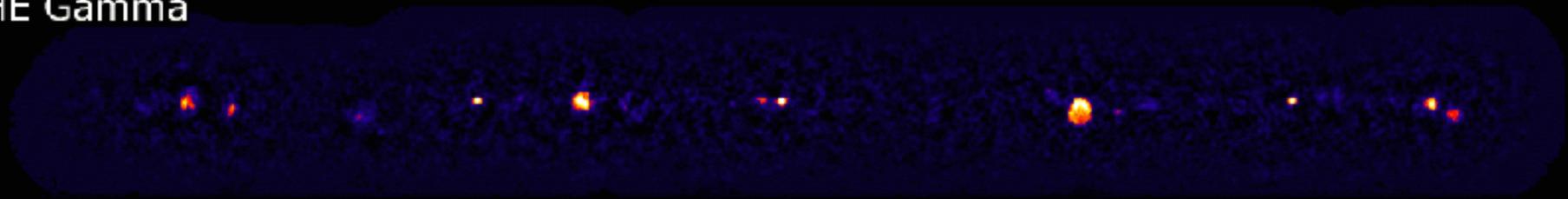
Infrared



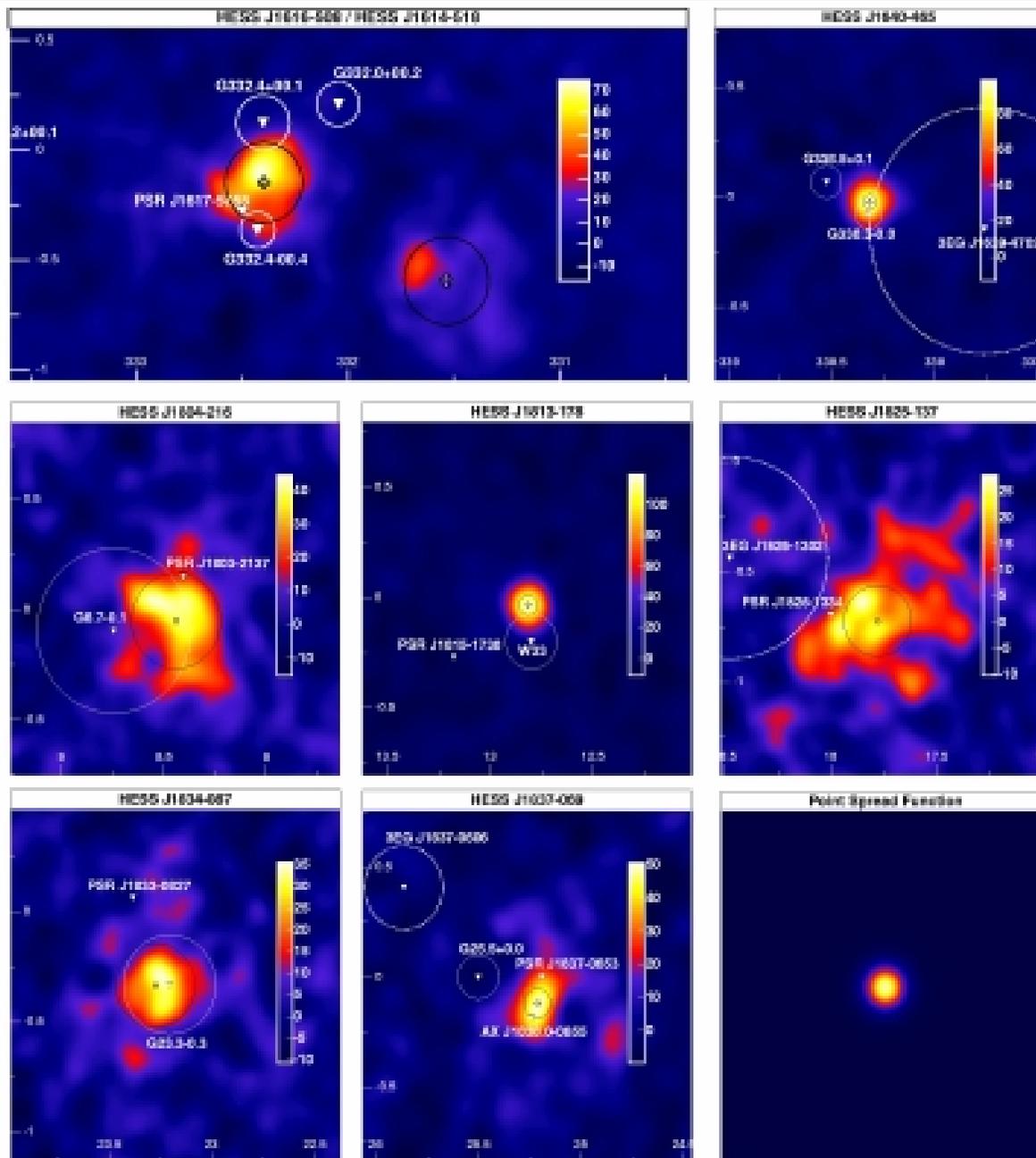
Optical



VHE Gamma



# Details der detektierten Quellen

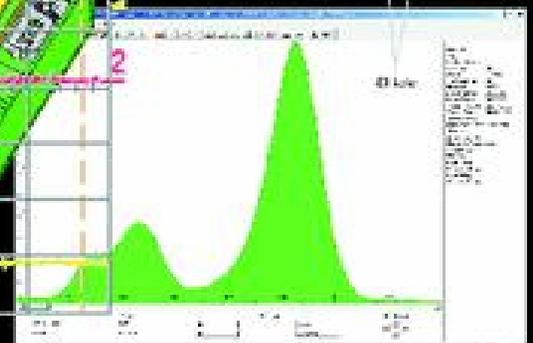
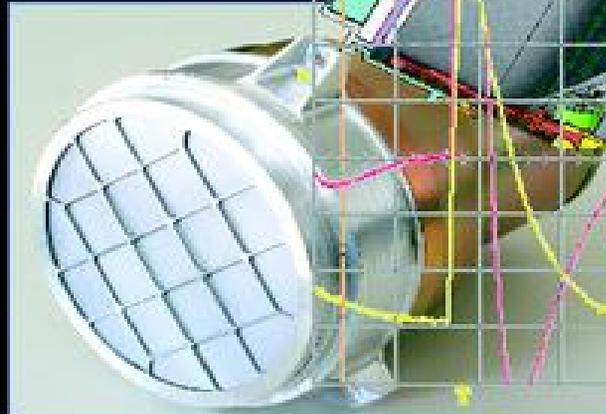
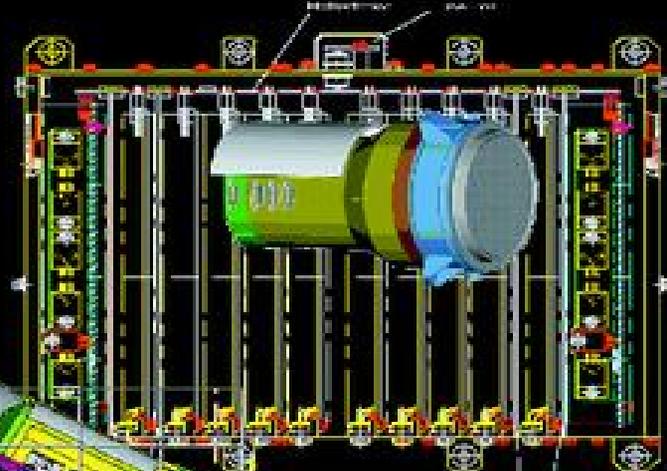
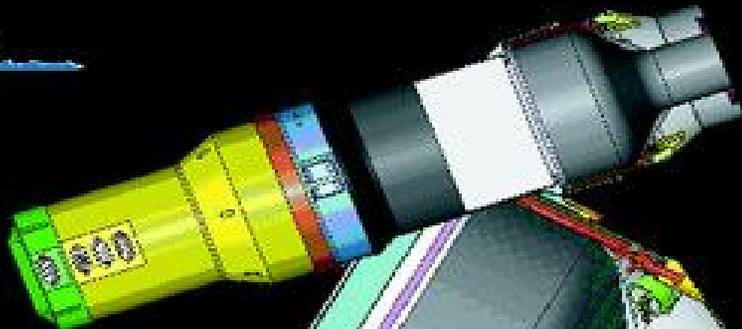
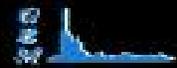


# Gamma

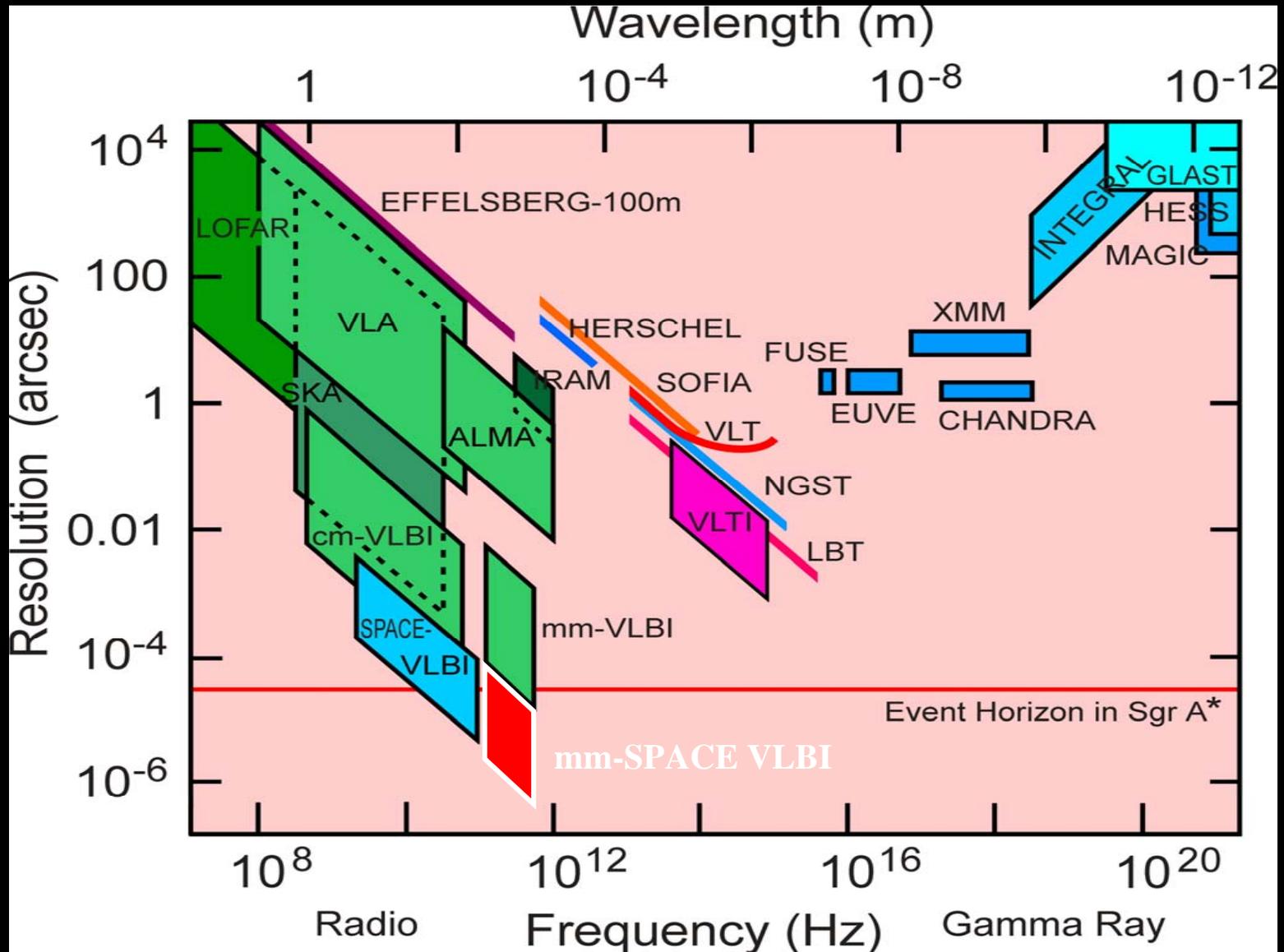
# GLAST

MPE Oktober 2004

Max-Planck-Institut für  
extraterrestrische Physik 



# Telescopes: now and tomorrow



Millimetre VLBI provides the highest angular resolution in Astronomy !