Das Weltall gesehen mit magischen Augen

Michael H. Soffel

michael.soffel@tu-dresden.de

Gliederung

1. Optische Astronomie
2. Radioastronomie
3. Mikrowellenastronomie
4. Infrarotastronomie
5. Röntgenastronomie

1. Optische Astronomie

Die Entwicklung des Fernrohrs

Entwicklung von Glas

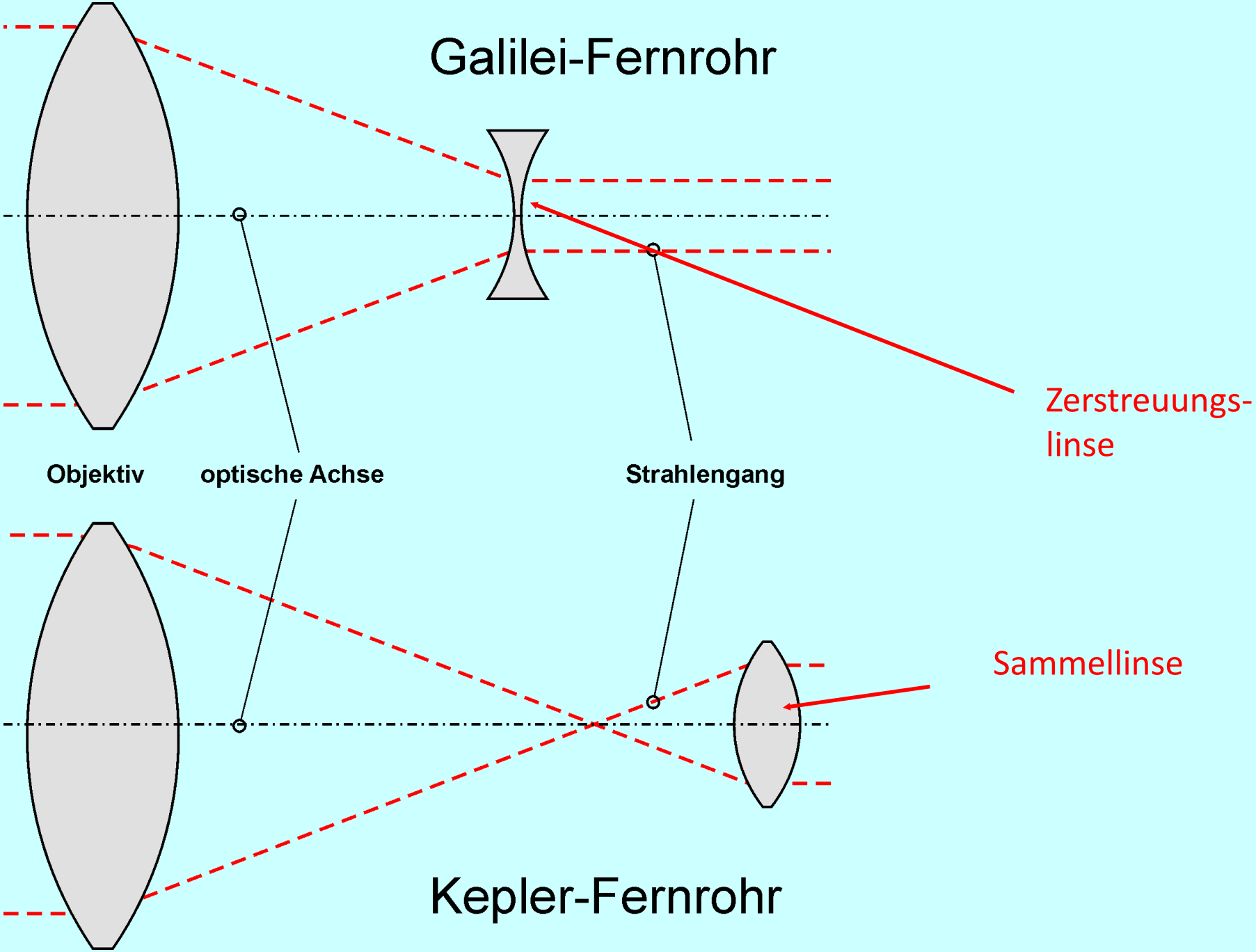
Bereits in der Jungsteinzeit wurde Vulkanglas oder Obsidian zur Konstruktion von Pfeil- oder Speerspitzen benutzt.

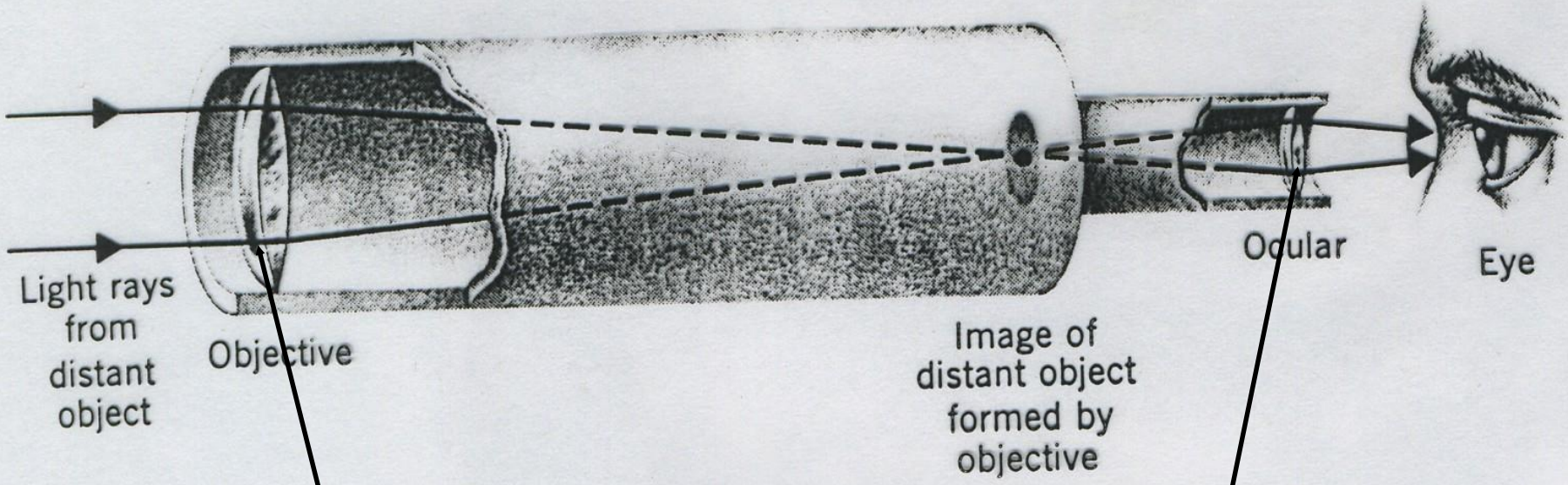
Herstellung erster Linsen

Um 500 v.Chr.: Römer und Griechen benutzten Linsen als Brenngläser

Um 1285: erste Brillen

1608 Johannes Lipperhey (1579 – 1619) präsentiert das erste Teleskop

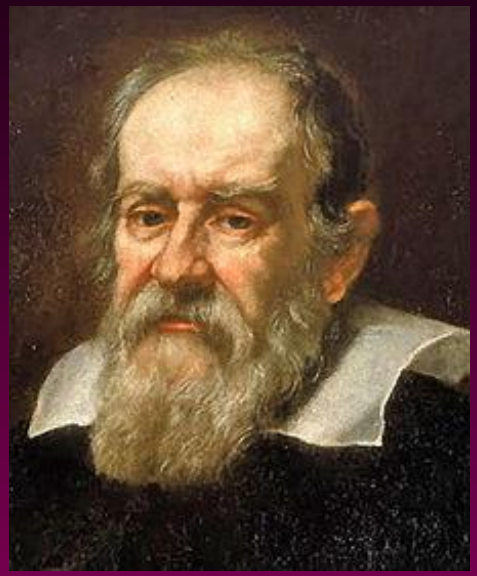

Galilei-Fernrohr
Zerstreuungs-
linse
Objektiv
optische Achse
Strahlengang
Sammellinse
Kepler-Fernrohr



Objektiv

Okular

Kepler-Fernrohr



Galileo Galilei, 1610

Museo di Storia della Scienza, Florenz

Erstes Spiegelteleskop durch Isaac Newton

1672

Linsenfernrohre = Refraktoren

Spiegelfernrohre = Reflektoren

BEOBACHTUNGEN

SPIEGELTELESKOPE

Ein Spiegel hat gegenüber einer Linse den Vorzug, daß er Licht verschiedener Farben in einem gemeinsamen Brennpunkt sammeln kann und so ein schärferes Bild erzeugt. Bei einer einfachen Linse ergeben sich für die verschiedenen Farben unterschiedliche Brennpunkte, und das Bild wird unscharf.

James Gregory, ein schottischer Astronom, entwarf 1663 ein Spiegelfernrohr, bei dem (oben) das einfallende Licht auf einen konkaven Hauptspiegel (A) trifft, der es auf den ebenfalls konkaven Fangspiegel (B) wirft. Der große Hauptspiegel ist in der Mitte durchbohrt, damit das Licht von (B) durch ihn hindurch zu dem Okular (C) gelangen kann, wo ein vergrößertes Bild entsteht. 1672 schlug der Franzose Cassegrain einen neuen Bauplan für ein Spiegelfernrohr vor (unten). Wie bei Gregory wird das Licht von einem konkaven Hauptspiegel (A) über einen Fangspiegel (B) auf das Okular (C) geworfen. Der Unterschied ist, daß Cassegrain einen konvexen statt des konkaven Fangspiegels von Gregory benutzte. Wegen der Schwierigkeiten, konvexe Spiegel herzustellen, gab man dem Gregory-Teleskop zunächst den Vorzug, aber später wurde das kompaktere Modell von Cassegrain häufiger benutzt.

DAS NEWTONSCHE FERNROHR

Ein Problem, das sich bei kleinen Spiegelteleskopen ergibt, ist, das reflektierte Licht so einzufangen, daß dabei das einfallende Licht nicht abgeschattet wird. Isaac Newton löste das Problem, indem er den konkaven Hauptspiegel (A) dazu benutzte, das Licht auf einen kleinen flachen Fangspiegel (B) zu werfen, der vor dem Brennpunkt (C) angebracht ist. Dieser Spiegel wirft das Licht zum Okular (D) an der Seite des Rohrs.

Newtons Spiegelfernrohr erregte großes Interesse, als er es 1672 der Royal Society vorstellte. Es wurde nicht nur wegen seiner neuartigen Bauweise, sondern auch wegen seiner geringen Größe – es maß weniger als 30 cm – bewundert. Dies war eine erstaunliche Verbesserung, denn die Linsenteleskope jener Zeit, die bei einer ähnlichen Vergrößerung um das 40fache ähnliche Einzelheiten am Himmel zeigen konnten, waren mindestens einen Meter lang. Eines der Hauptprobleme der ersten Linsenfernrohre oder Refraktoren war, daß Glaslinsen die verschiedenen Farben des Lichts nicht auf einen scharf bestimmten Punkt sammeln können und deshalb ein verschwommenes Bild erzeugen. Um diesen Effekt, der chromatische Aberration genannt wird, zu vermeiden, wurde die Brennweite der Linsen so weit wie möglich vergrößert, was zu Fernrohren mit unglaublich langen Rohren führte. Dadurch, daß Newton ein Fernrohr konstruierte, das die Reflektion des Lichts an einem Spiegel benutzt, vermied er das Problem der chromatischen Aberration. Unglücklicherweise reflektierten die Spiegel des 17. Jahrhunderts Licht noch nicht sehr gut, und so wurde es zum Hauptproblem bei der Herstellung der ersten Spiegelfernrohre, ein Bild zu erzeugen, das so hell war wie eines, das eine Linse von gleicher Öffnung bieten würde.

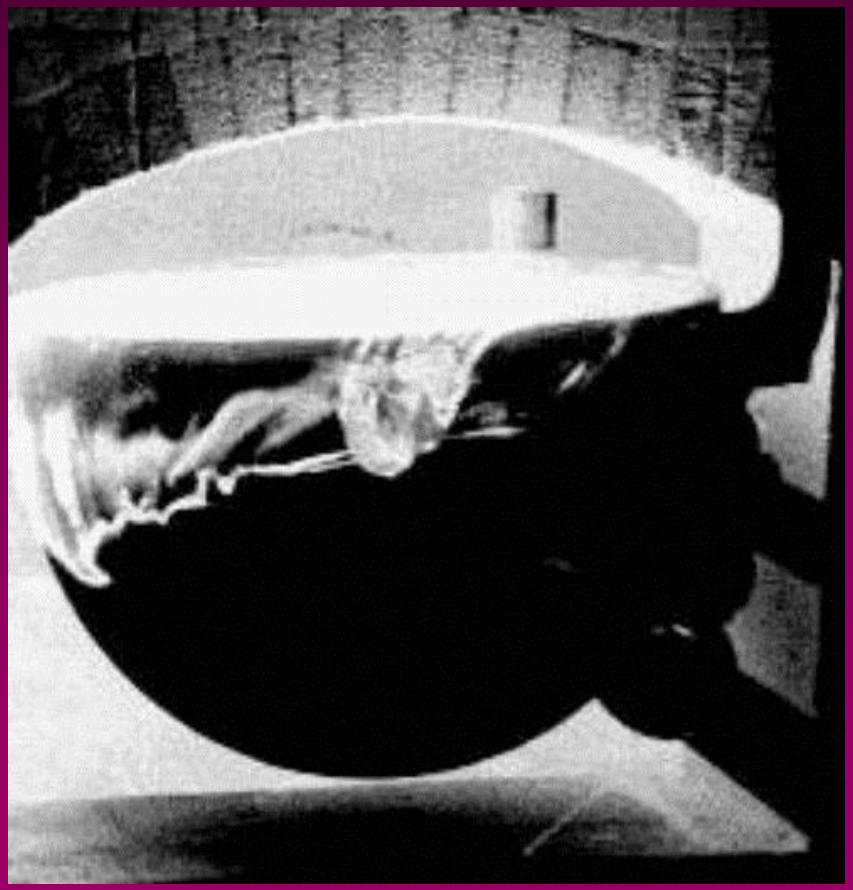
Parallaktische Montierung

Das 100 Zoll (2,5 m) Hooker Teleskop;
Mt. Wilson, Kalifornien (USA)

Die Entwicklung des Palomar (5m) Teleskopes

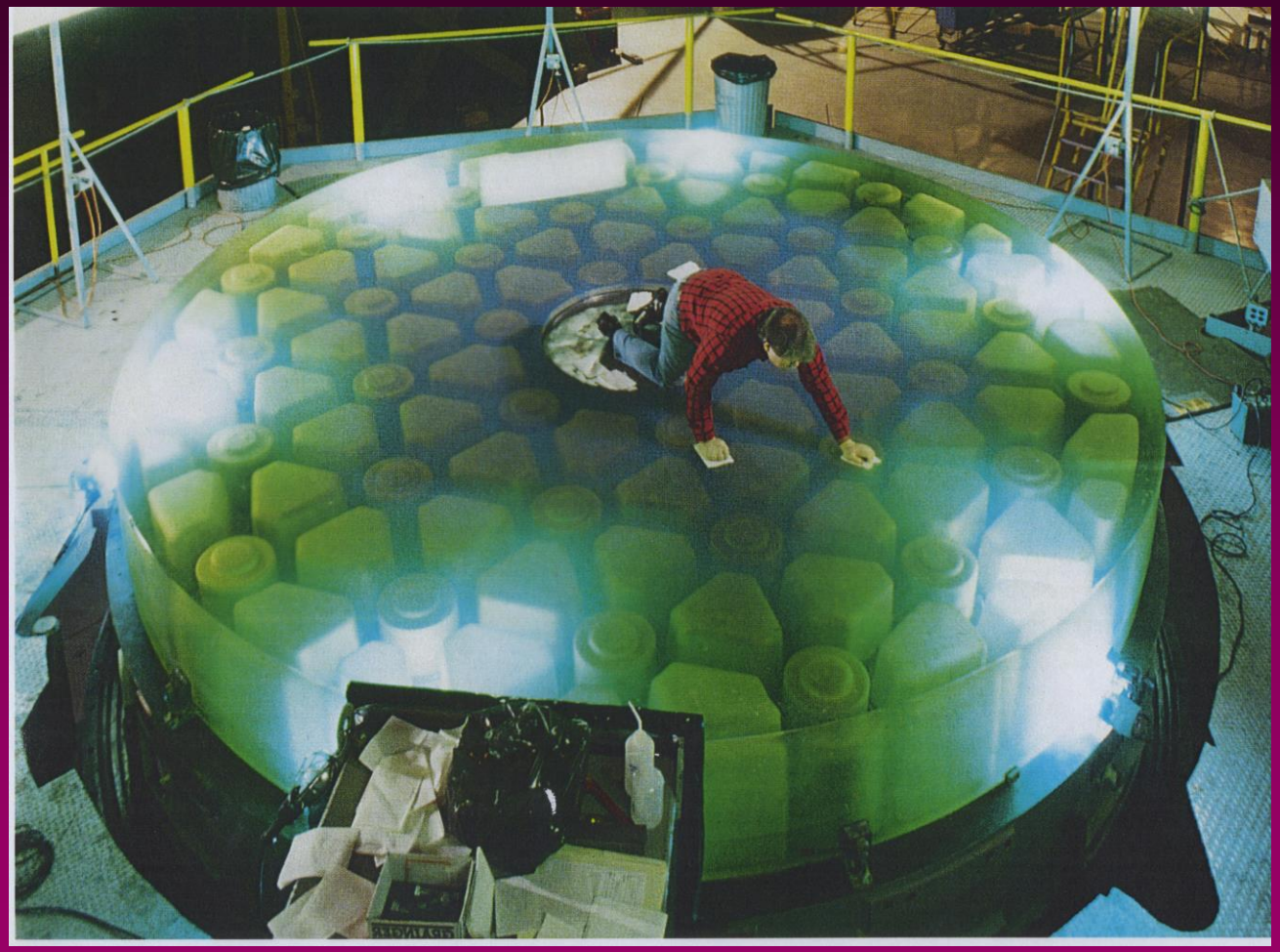
Geschmolzenes
Glas (Pyrex)

Abkühlzeit des
Rohlings: 11 Monate



Der Spiegel wird geschliffen, poliert und bedampft (Al)

Er muss immer mal wieder geputzt werden



5 m Hale Teleskop

(Palomar)

Optische Sensoren

- menschl. Auge
- Photoplatte

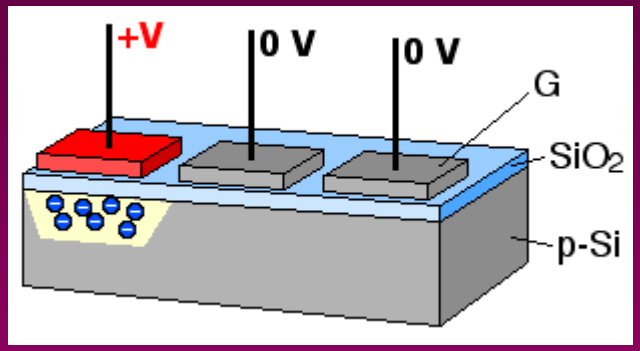
- CCD - Sensoren

  Physik
  Nobelpreis 2009

  W.Boyle & G.Smith
  (Bell Lab.; 1969)

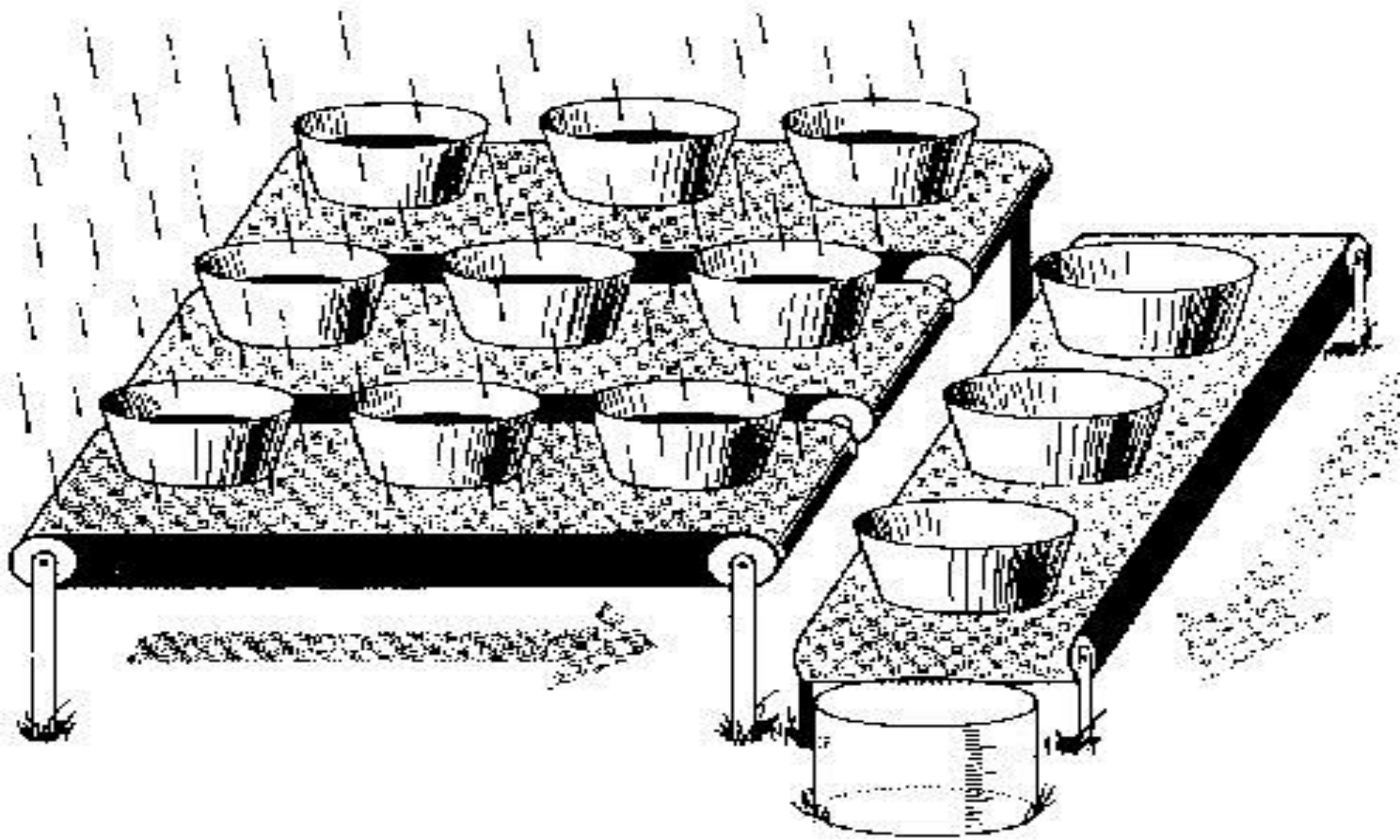
CCD – Sensoren

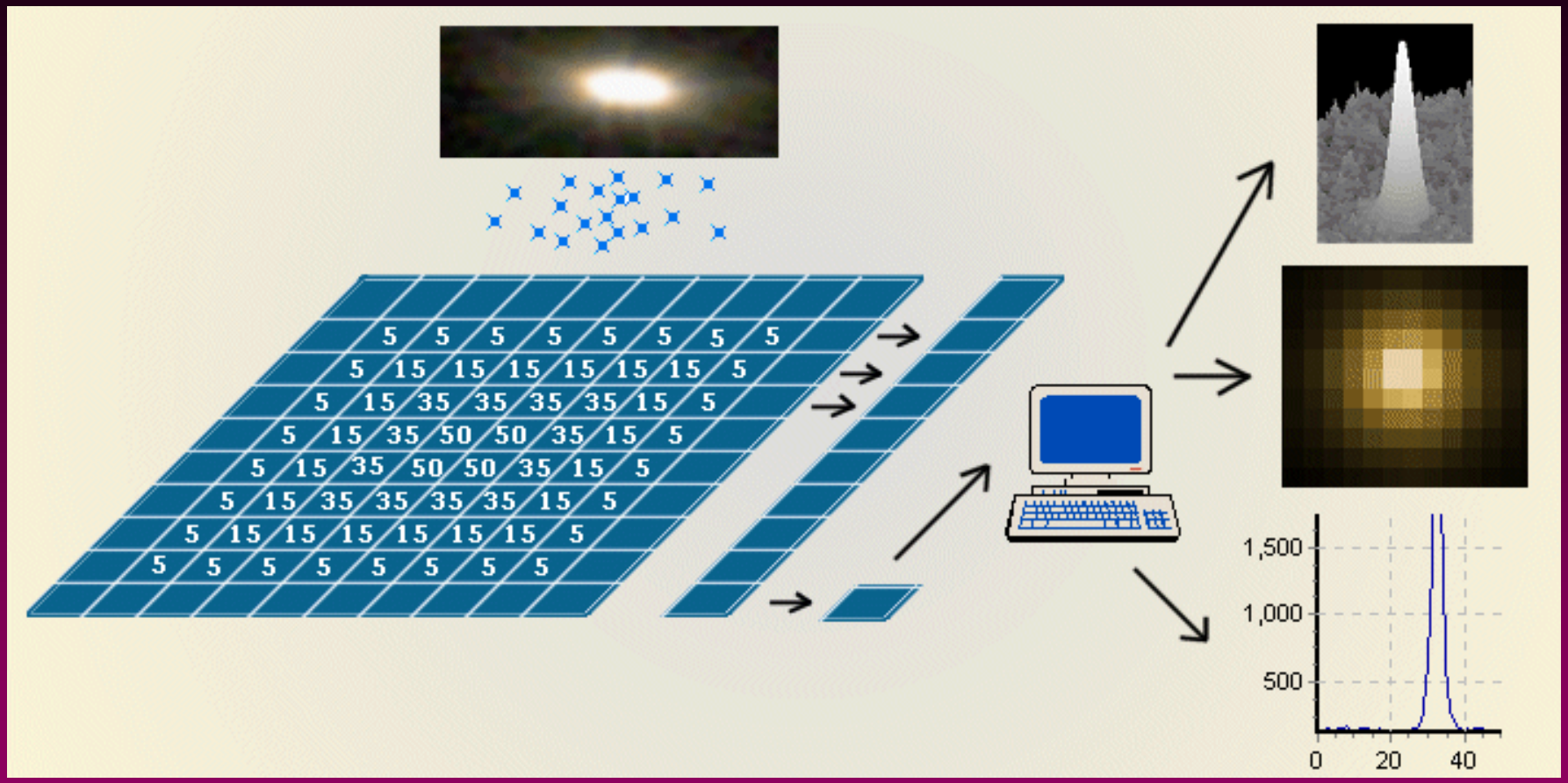
1. Licht wird auf einer Siliziumoberfläche in elektrische Ladung umgewandelt und ortsfest in der CCD gespeichert



2. Ladungspakete werden verschoben, ohne sich gegenseitig zu vermischen; danach werden sie ausgemessen

Funktionsweise eines CCD – Sensors:





Prinzip einer CCD Kamera

Vorteile der CCD Sensoren

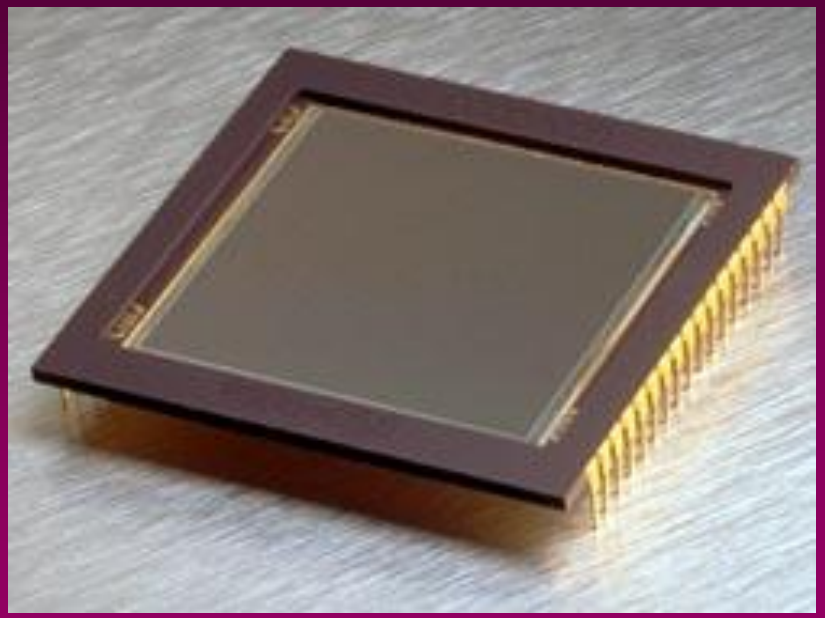
1. Optimales Eigenrauschverhalten
   weniger als 15 Elektronen pro Pixel

2. Hohe Quantenausbeute von ca. 90%
   vgl. Photoplatten maximal 10%

3. Digitaler Datenfluss

4. Heute gibt es CCD-Detektoren vom
   Infraroten bis zum Röntgenbereich

KODAK DIGITAL SCIENCE KAF-16801E Series



- 4096 • 4096 Pixel
- 16.7 Megapixel
- 9 µm • 9 µm = 1 Pixel
- Aktive Fläche = 13.6 cm^2

Adaptive und aktive Optik

Auflösungsvermögen eines Teleskopes

Begrenzt durch:

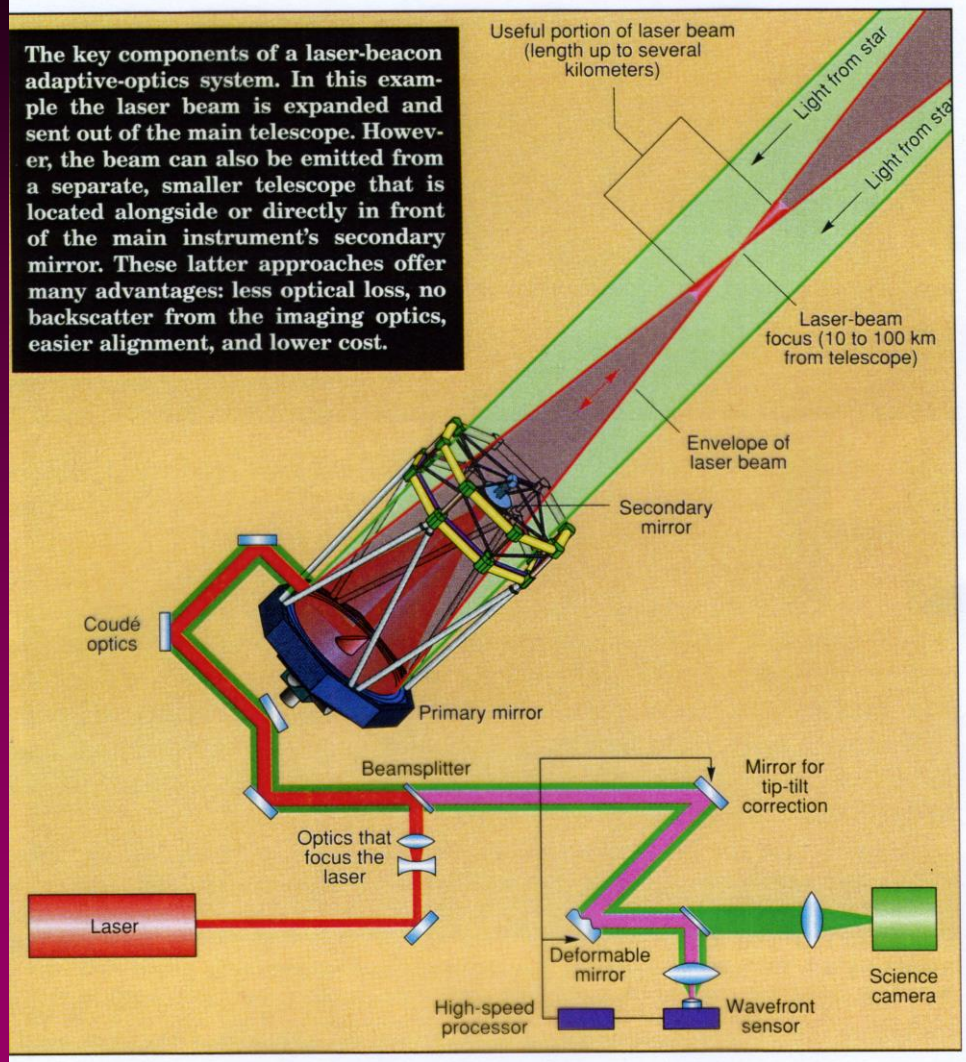
Aperturöffnung (Beugung)
(D: 10 cm; Trennschärfe: 1,3 ‘‘; Auge: 60‘‘)

Seeing (Luftunruhe) (0.1 ‘‘- 1 ‘‘)

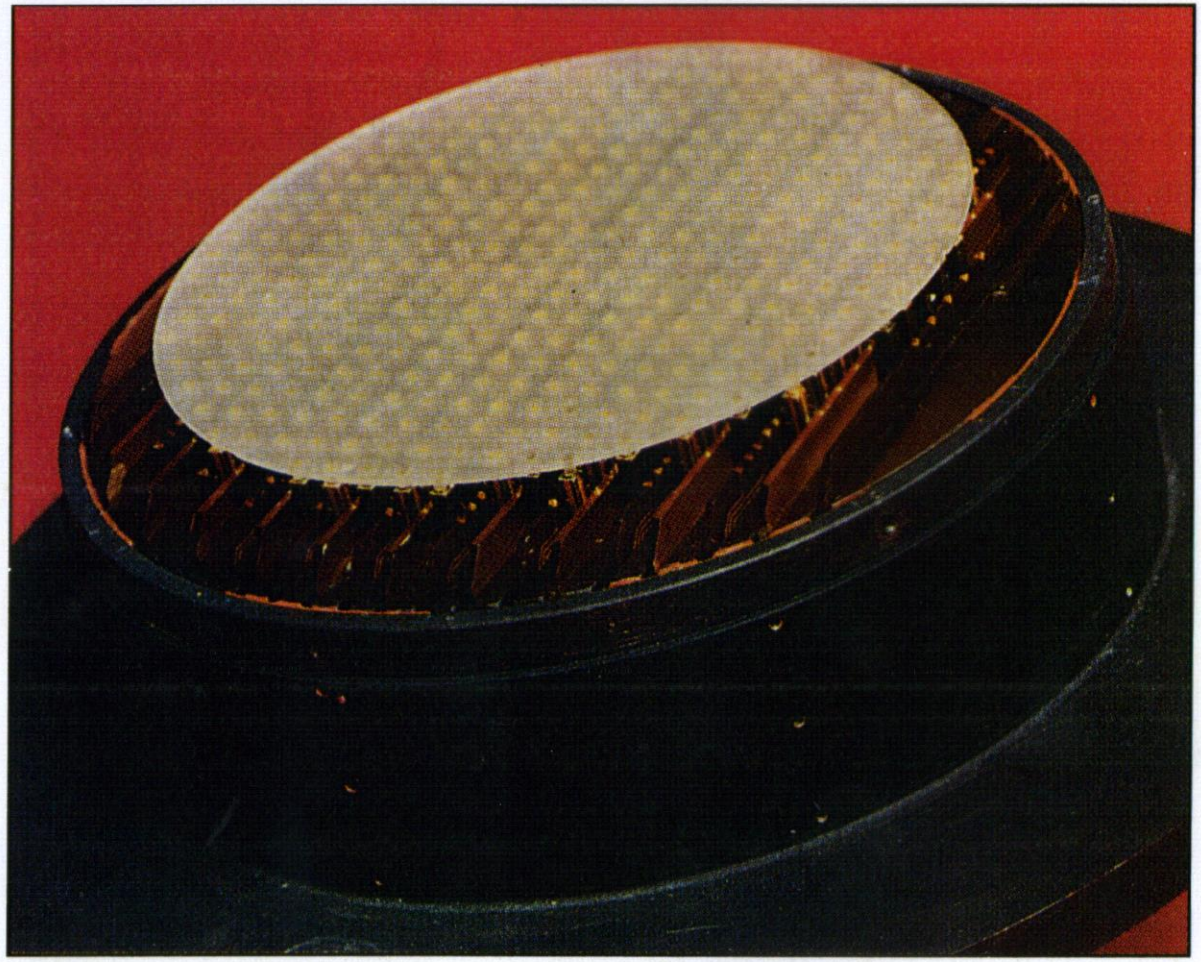
D: 1 EUR = 23,25 mm

Entfernung	Winkel
80 m	60‘‘
4,8 km	1‘‘

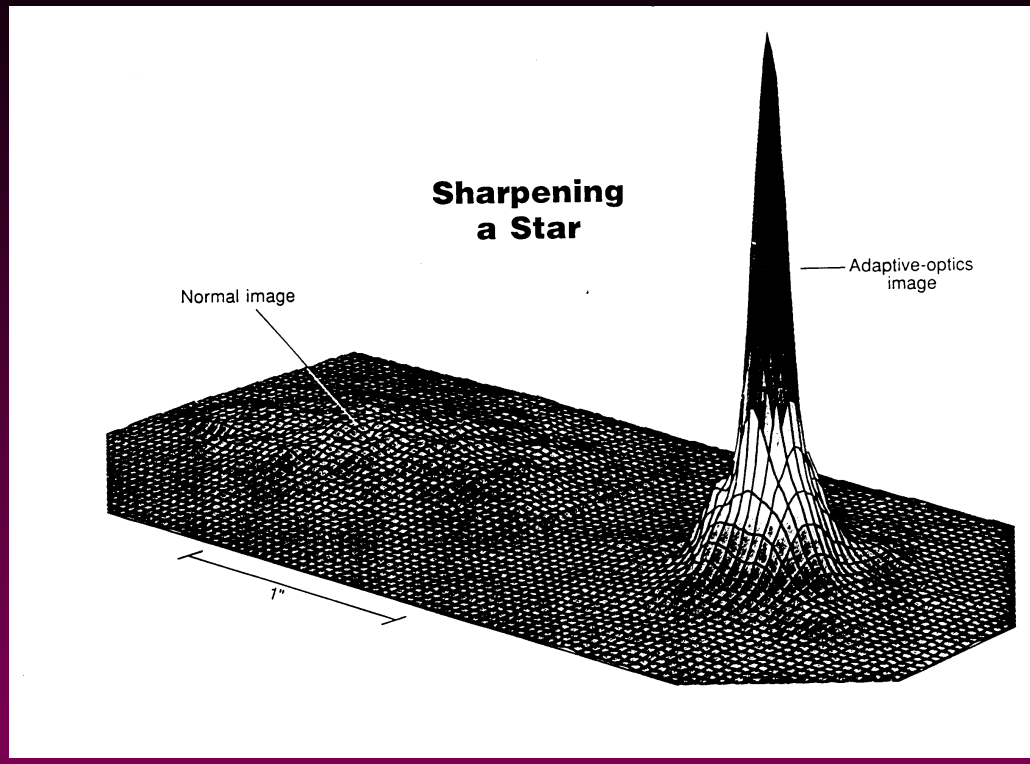
Kulturpalast –
Beyer-Bau TU DD

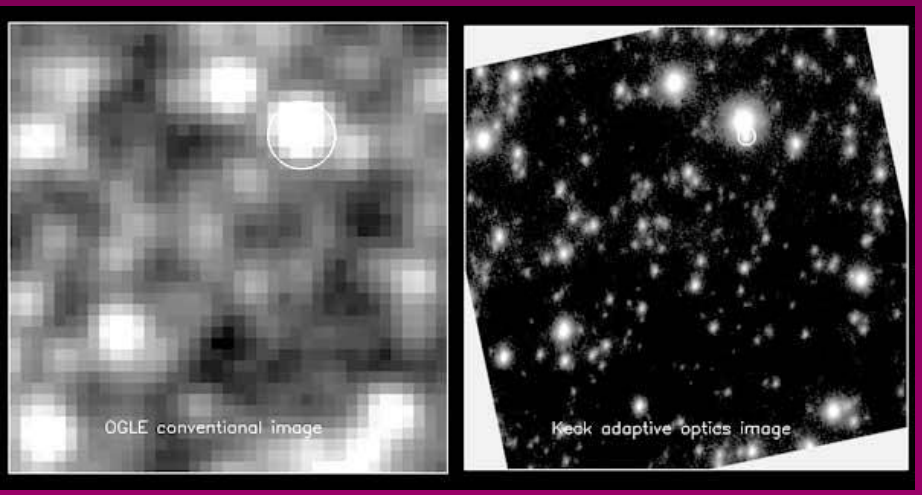


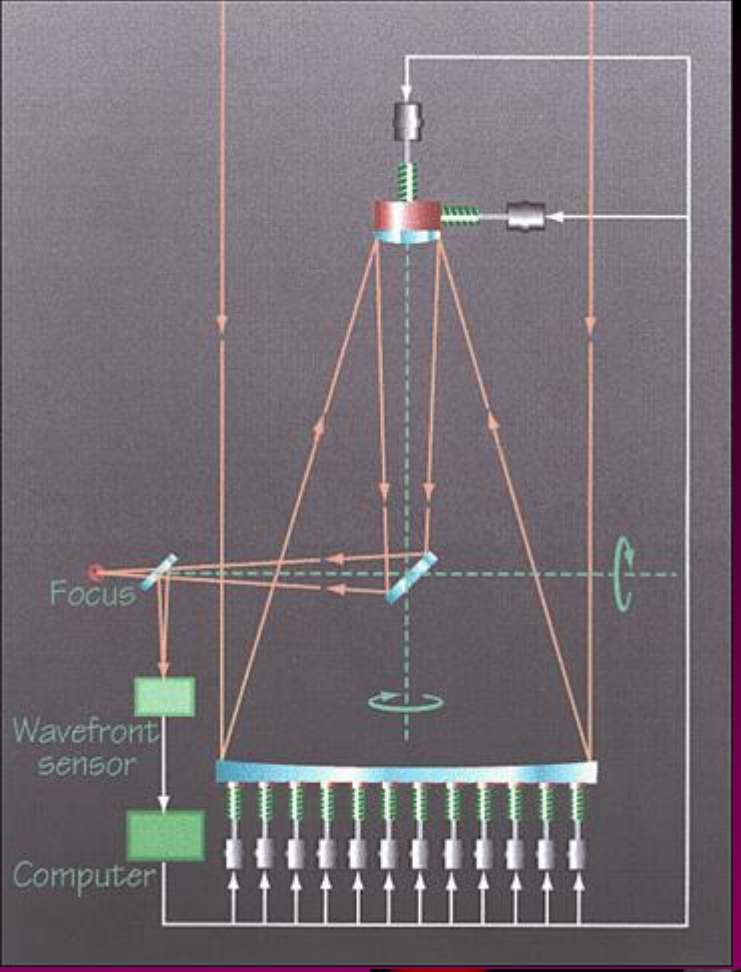
The key components of a laser-beacon adaptive-optics system. In this example the laser beam is expanded and sent out of the main telescope. However, the beam can also be emitted from a separate, smaller telescope that is located alongside or directly in front of the main instrument's secondary mirror. These latter approaches offer many advantages: less optical loss, no backscatter from the imaging optics, easier alignment, and lower cost.



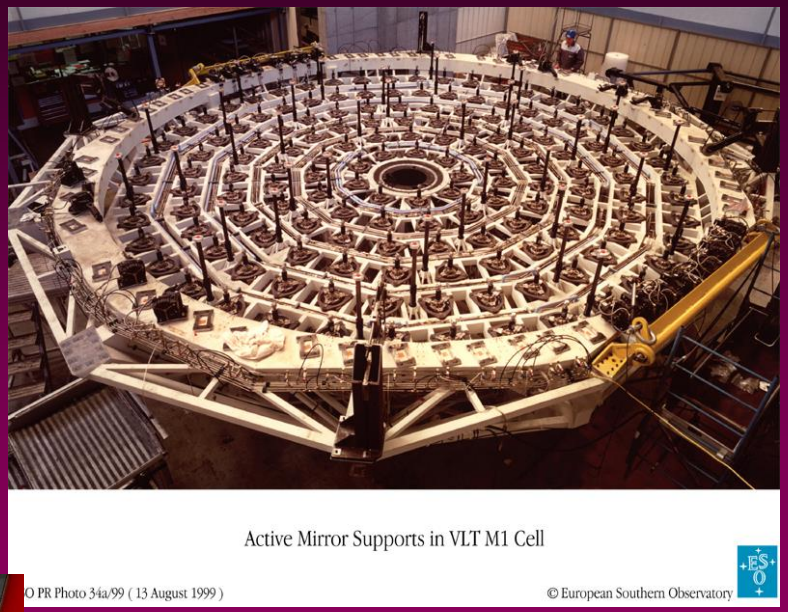
The heart of any adaptive-optics system is a deformable mirror. This one, about 15 centimeters in diameter, has a thin faceplate with 341 actuators attached to its back, each able to move up or down by as much as 3 microns every 2 micro-seconds. The mirror was made for use at ultraviolet wavelengths and is largely transparent to visible light. Courtesy George Ameer, Itek Optical Systems.

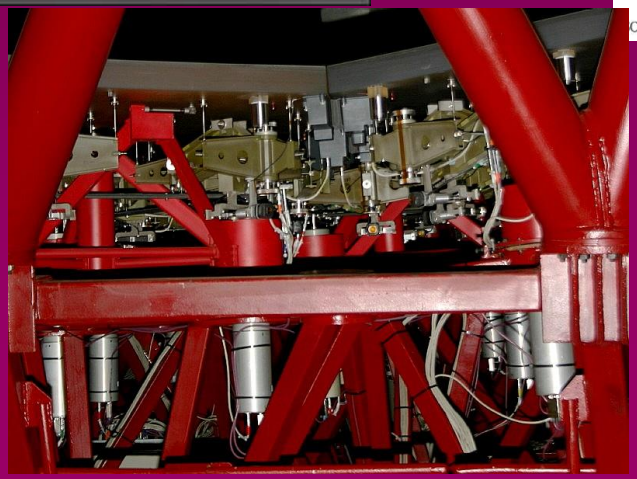

Sharpening a Star
Normal image
Adaptive-optics image
1"


OGLE conventional image
Keck adaptive optics image



Aktive Optik:
gleicht Deformationen
des Hauptspiegels aus





Orte mit modernen Grossteleskopen

- Calar Alto (bei Almeria, Spanien)
- Pico del Teide (Teneriffa)
- La Palma
- Mauna Kea (Hawai)
- Kitt Peak (bei Tucson, Arizona)

- La Silla (Chile)
- Cerro Tololo (Chile)
- Cerro Paranal (Chile)

Ausgewählte Grossteleskope

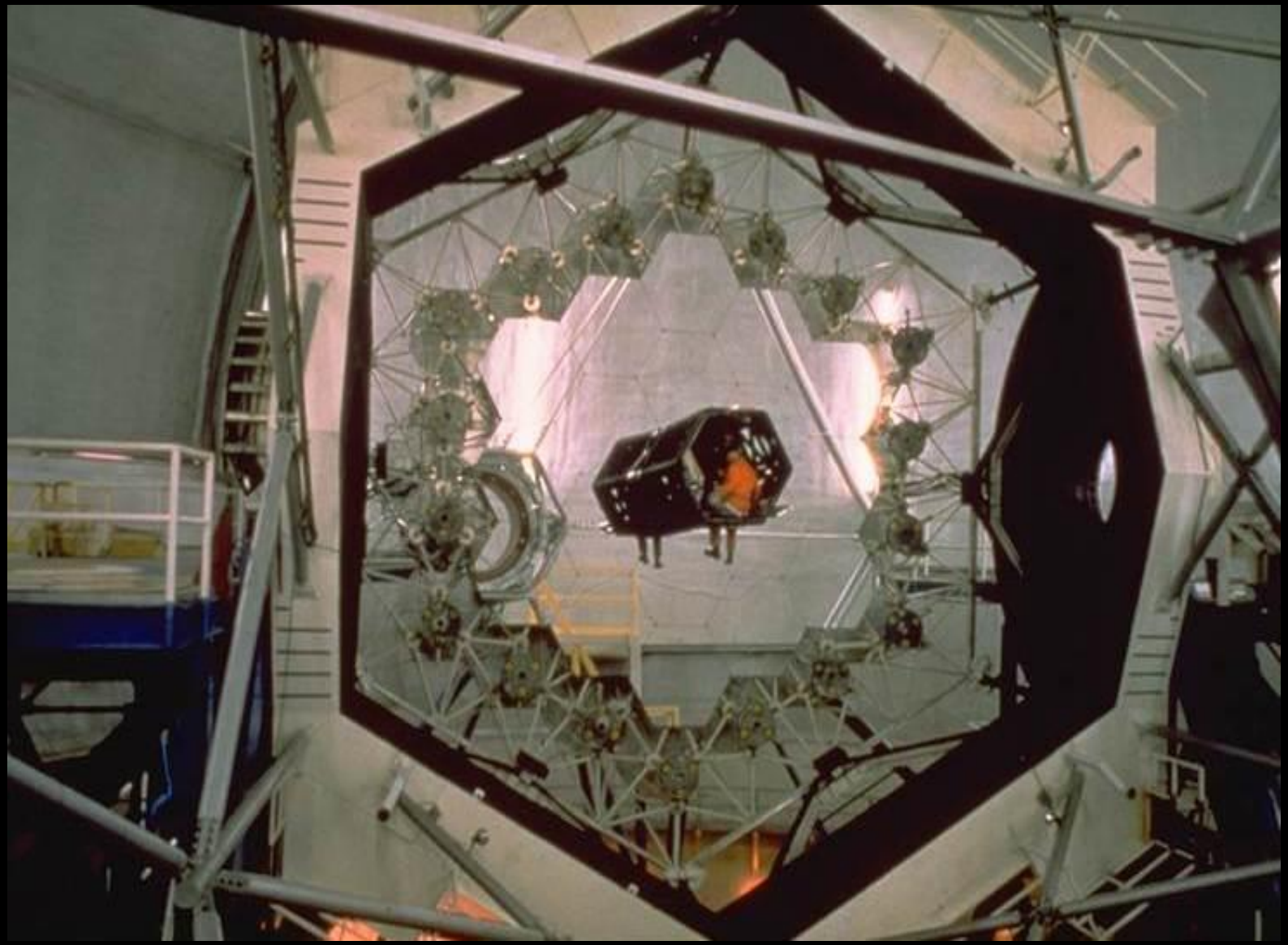
- Keck
- LBT
- VLT
- Gran Telescopio de Canarias
- E-ELT
- HST
- Webb

Keck Observatorium

Mauna Kea, Hawaii

Mauna Kea, Hawaii
(4145 m)
Keck
2 x 10m Spiegel

Ein Hauptspiegel: 36 hexagonale Elemente



LBT (Large Binocular Telescope), Arizona

2 x 8,4m Spiegel = 11,8 m effektiv

The ESO Very Large Telescope Array

Cerro Paranal Observatory

CERRO PARANAL - THE VLT SITE

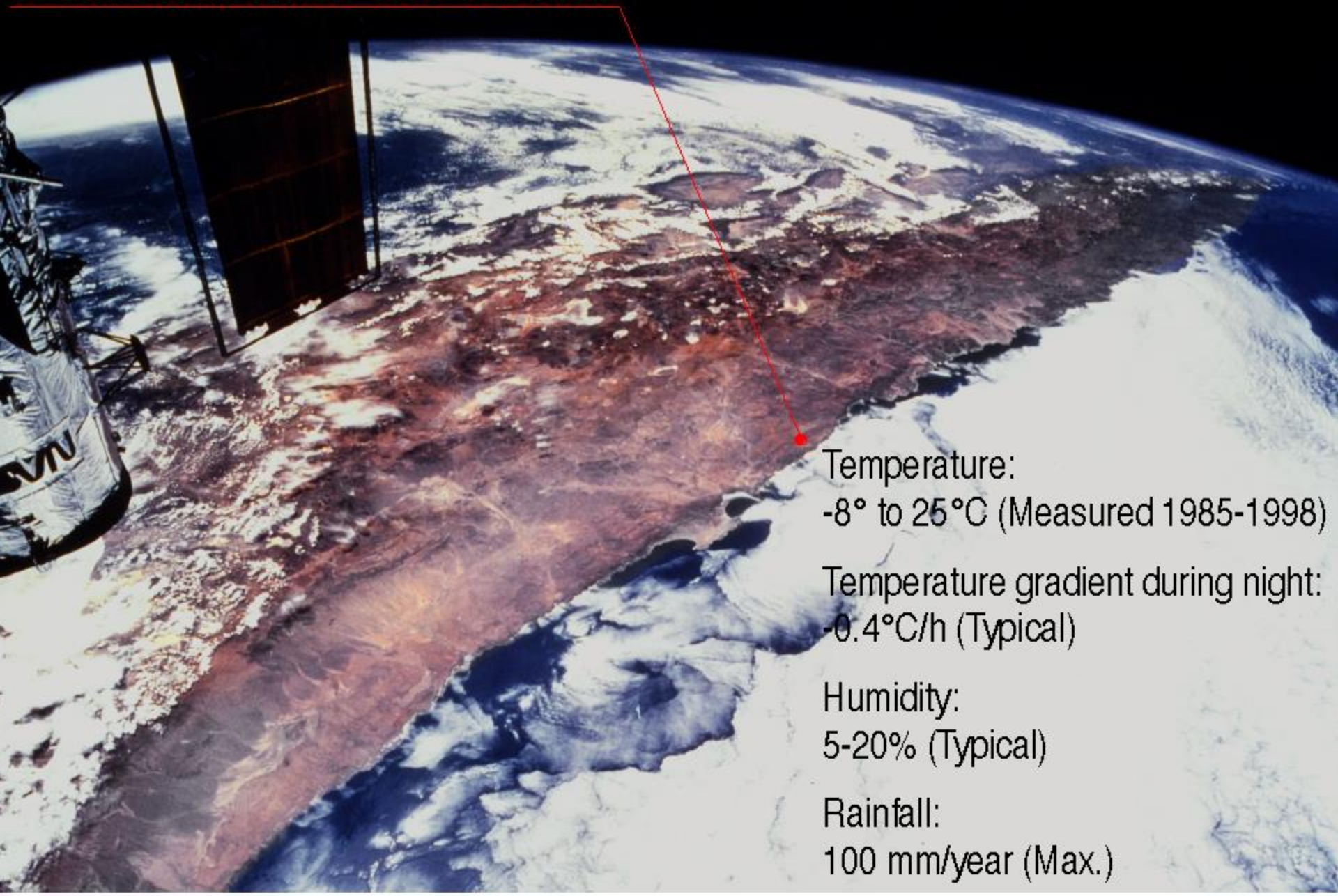
Geographical Coordinates:
24 deg 37 min S, 70deg 24 min W

Altitude above sea level:
2635m

Distance from coast:
12 km

Road distances:
130 km to Antofagasta
1200 km to Santiago
600 km to La Silla

CERRO PARANAL - THE VLT SITE



Temperature:
-8° to 25°C (Measured 1985-1998)

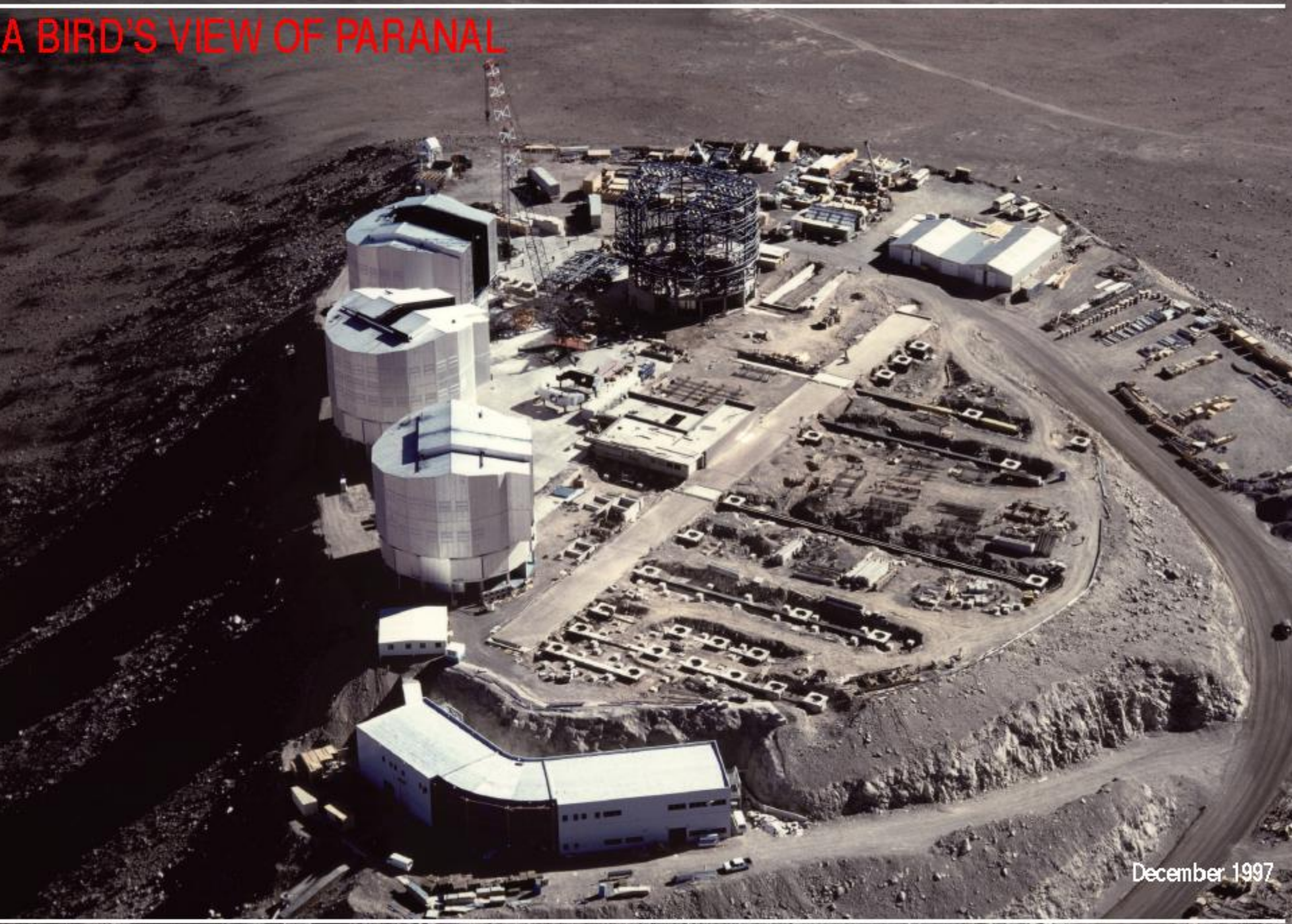
Temperature gradient during night:
-0.4°C/h (Typical)

Humidity:
5-20% (Typical)

Rainfall:
100 mm/year (Max.)

© ESO ERR

A BIRD'S VIEW OF PARANAL



© ESO EPR

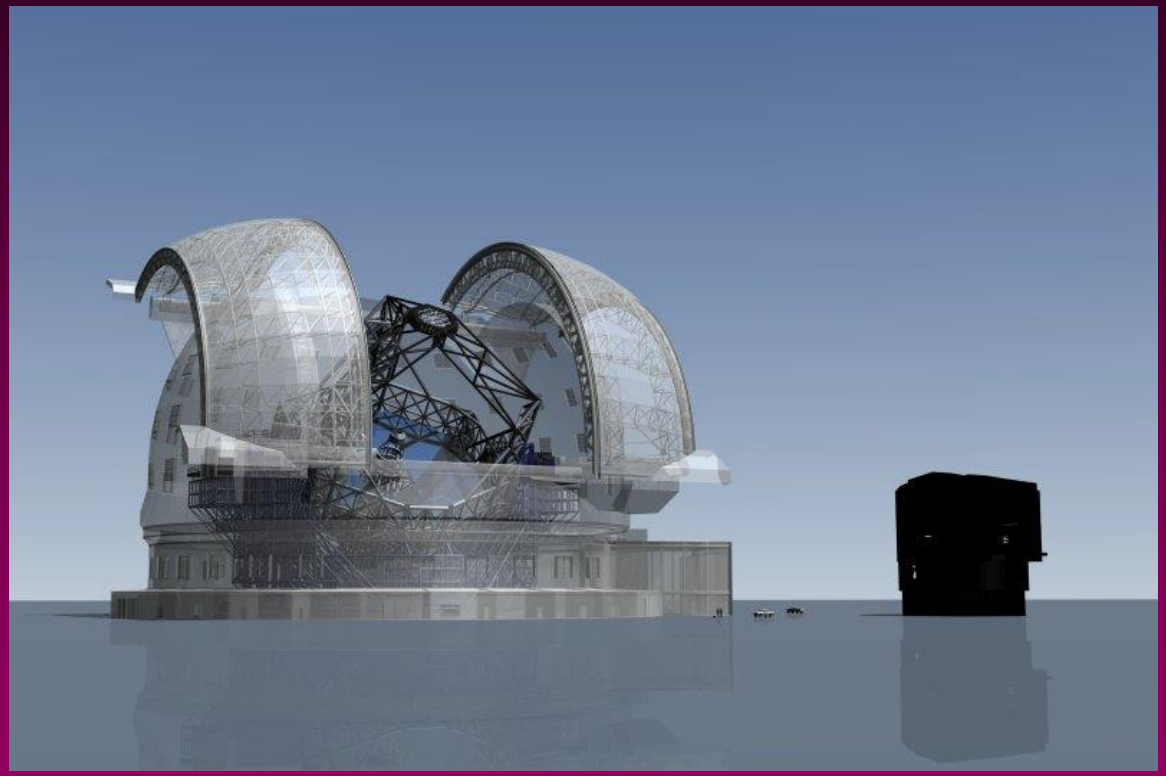
vier 8 m Spiegel plus 4 Hilfsspiegel: VLTI

Das Gran Telescopio de Canarias (GTC)

Auf dem Roque de las Muchachos (La Palma)
Spiegel Durchmesser: 10,4 m

Bestehend aus 35 sechseckigen Teilspiegeln,
Durchmesser: 1,9 m; Dicke: 8,5 cm; Gewicht: 500 kg

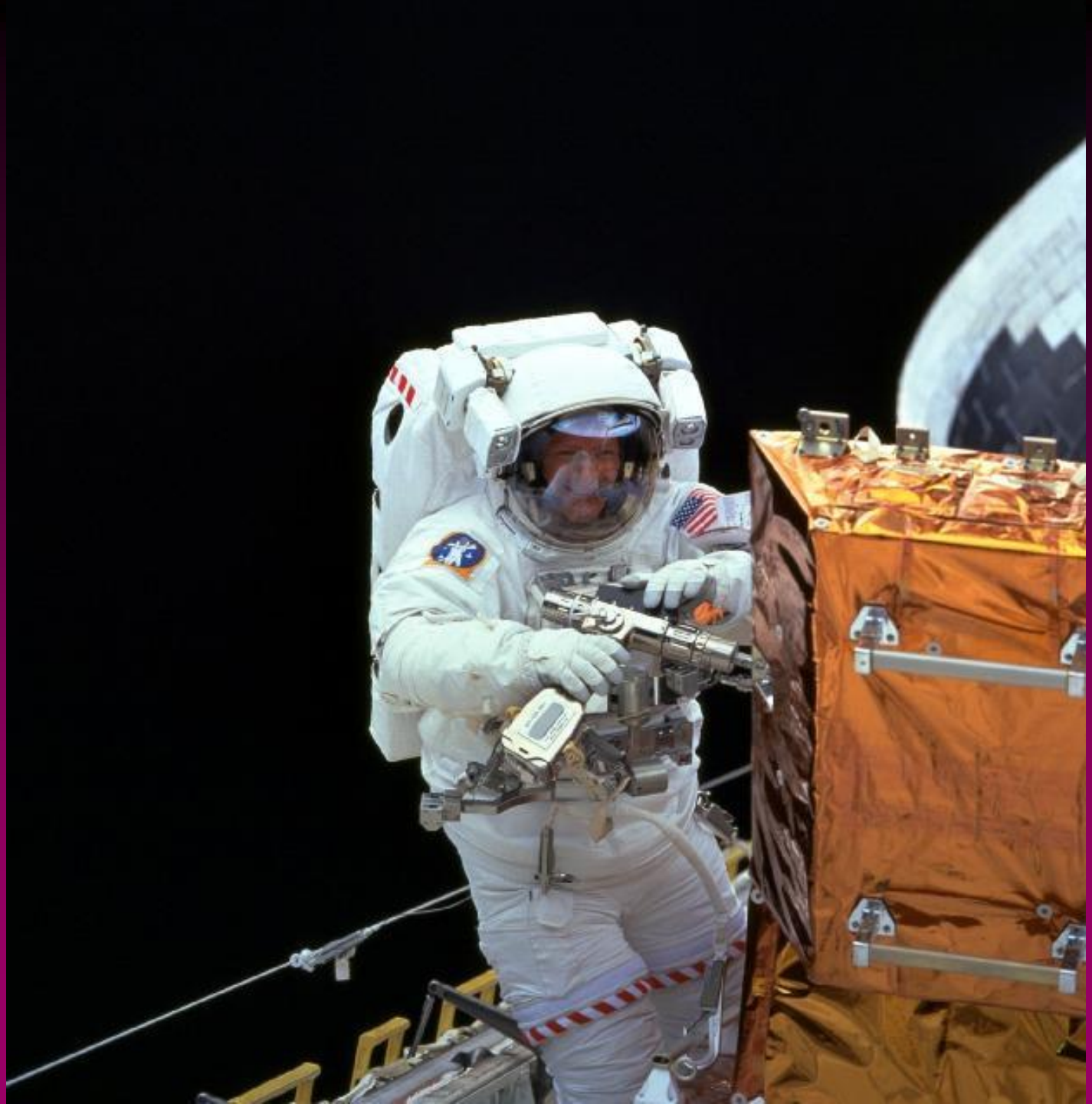
In Planung:
das European Extremely Large Telescope (E-ELT)



Hauptspiegel D: 24 m aus 906 Elementen
Inbetriebnahme: 2019

HST
Hubble Space Telescope

2,4 m Spiegel

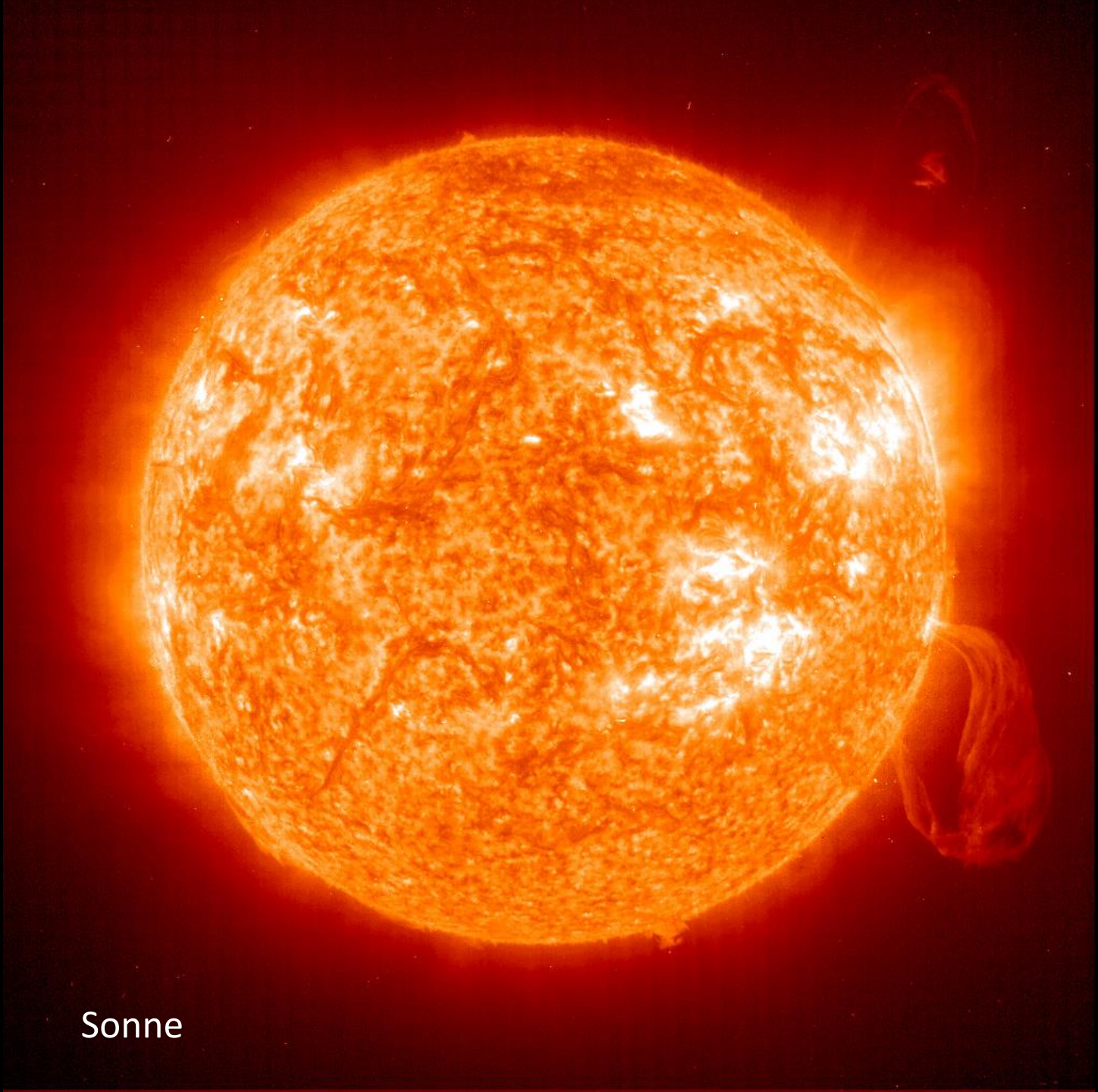


Geplanter Nachfolger des HST (2014)

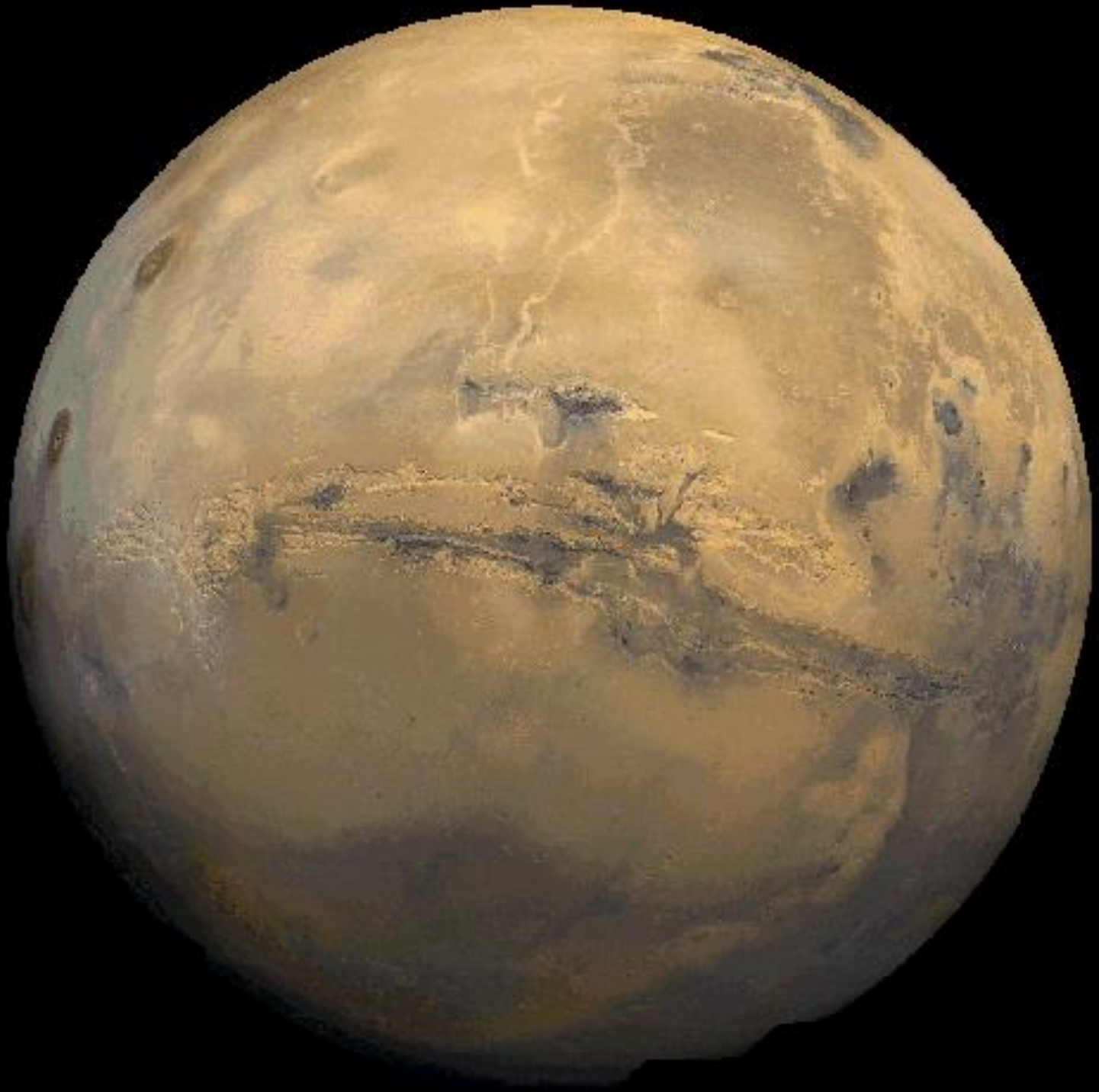
James Webb Telescope D: 6,5 m
Infrarot sensibel

Sonnenschild

Optische Astronomie:
was sieht man?



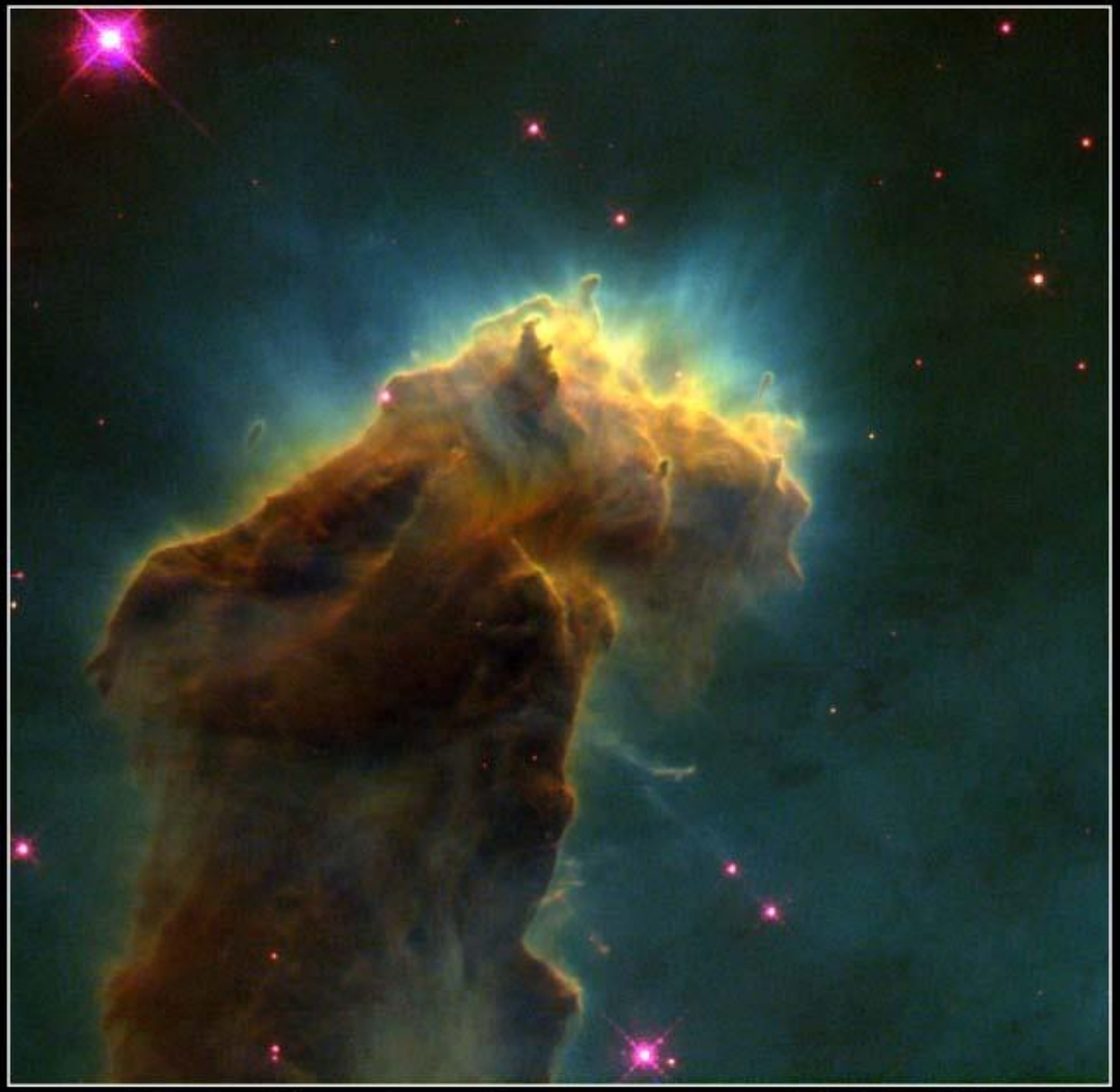
Sonne



Mars

Keyhole Nebula

Hubble Heritage


Star-Birth Clouds · M16
HST · WFPC2
PRC95-44b · ST ScI OPO · November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

Adler Nebel

Orion

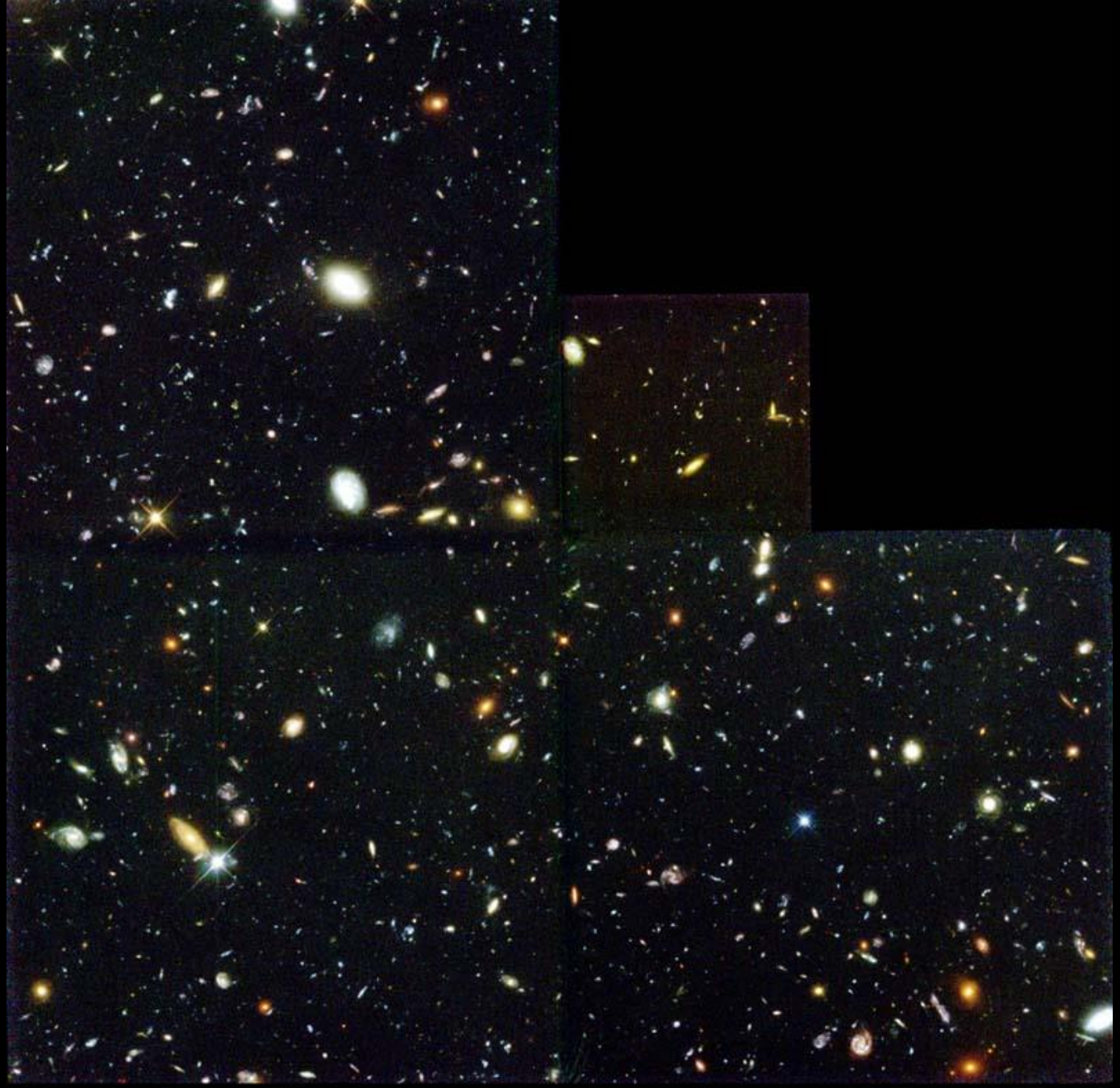
M57 Ringnebel in der Leier

Katzenaugen Nebel

M13 Kugelsternhaufen

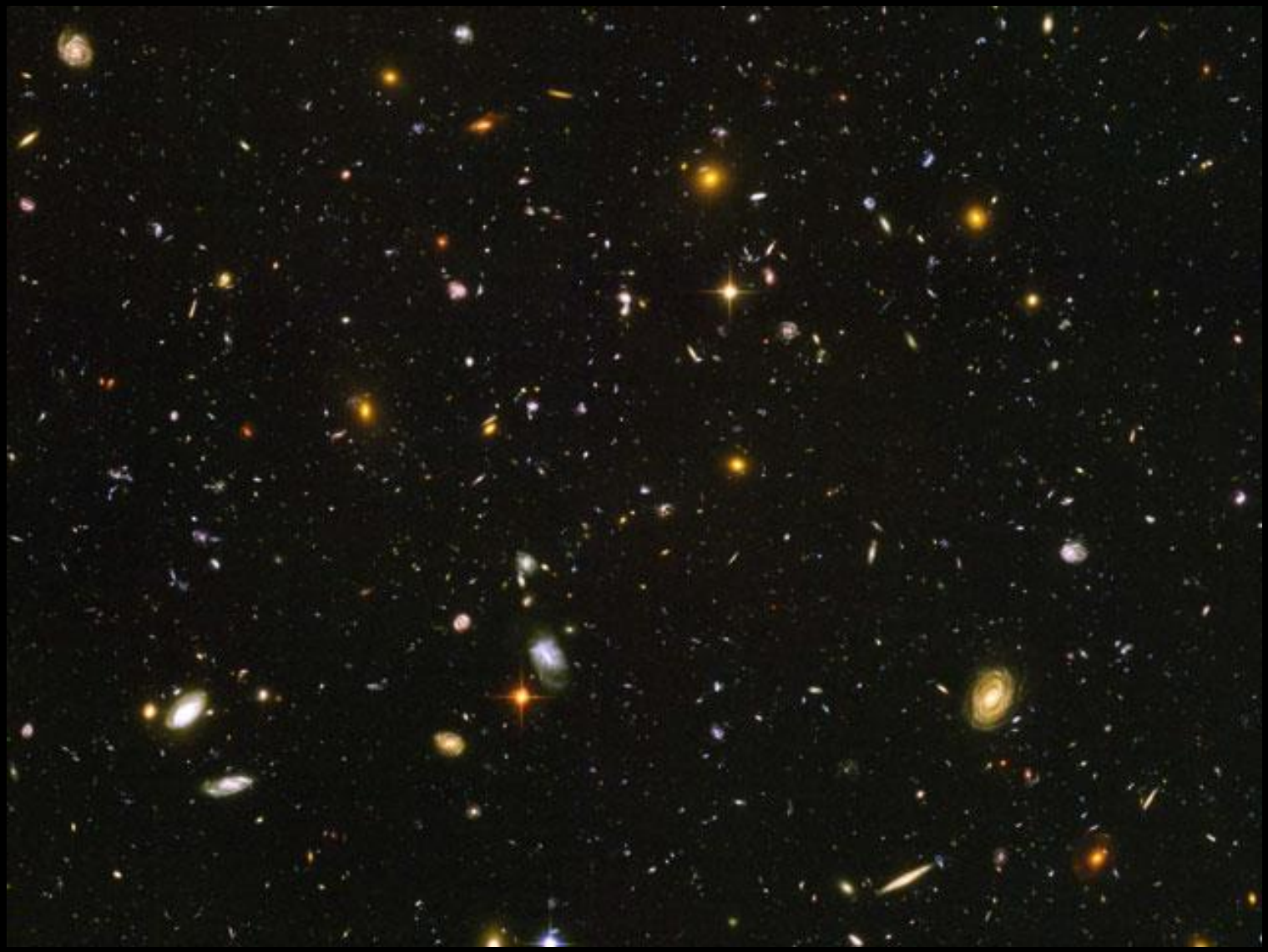
M51 Whirlpool Galaxie

NGC 3314



Hubble Deep Field **HST WFPC2**

ST ScI OPO January 15, 1996 R. WIlliams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

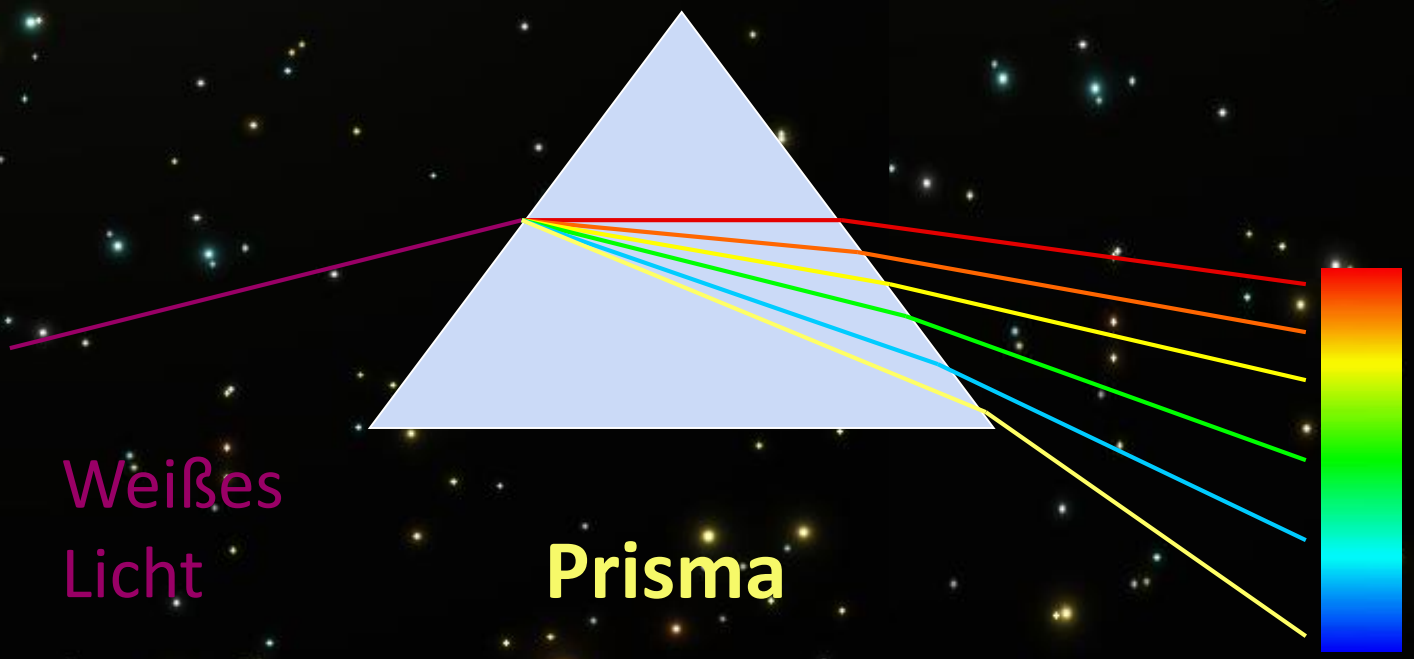


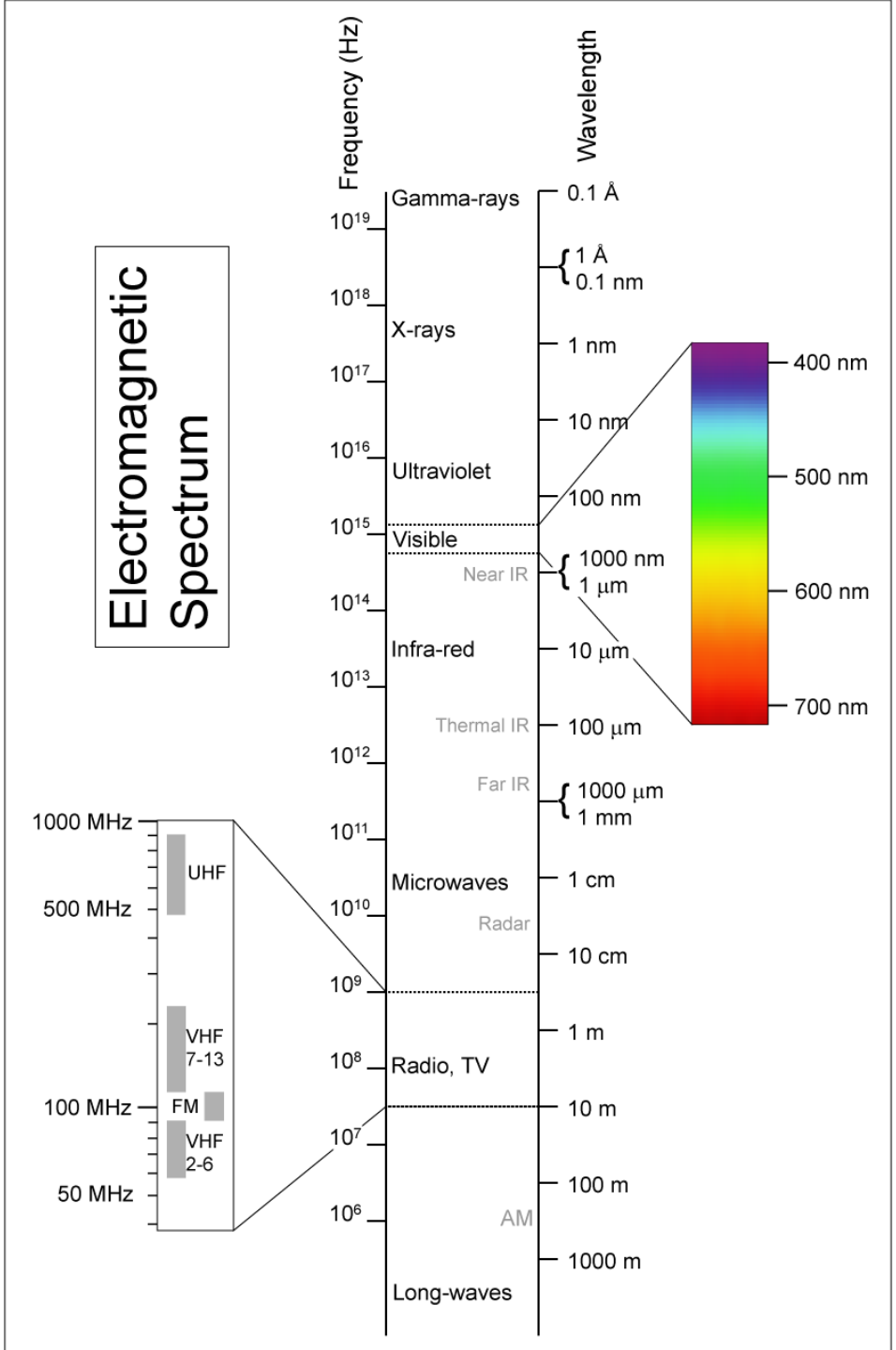
Hubble ultra deep field: Millionen von Galaxien

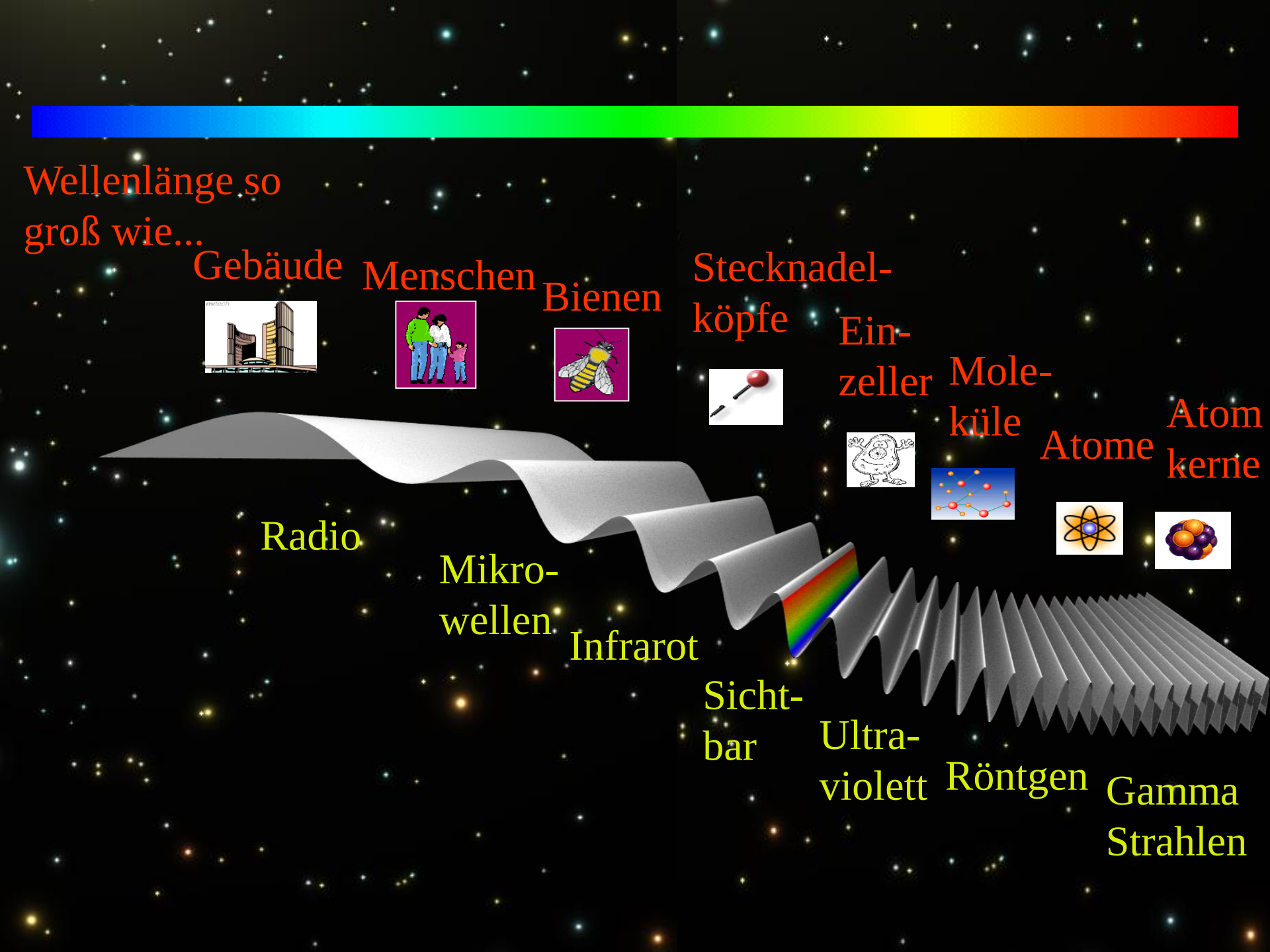
Elektromagnetisches Spektrum

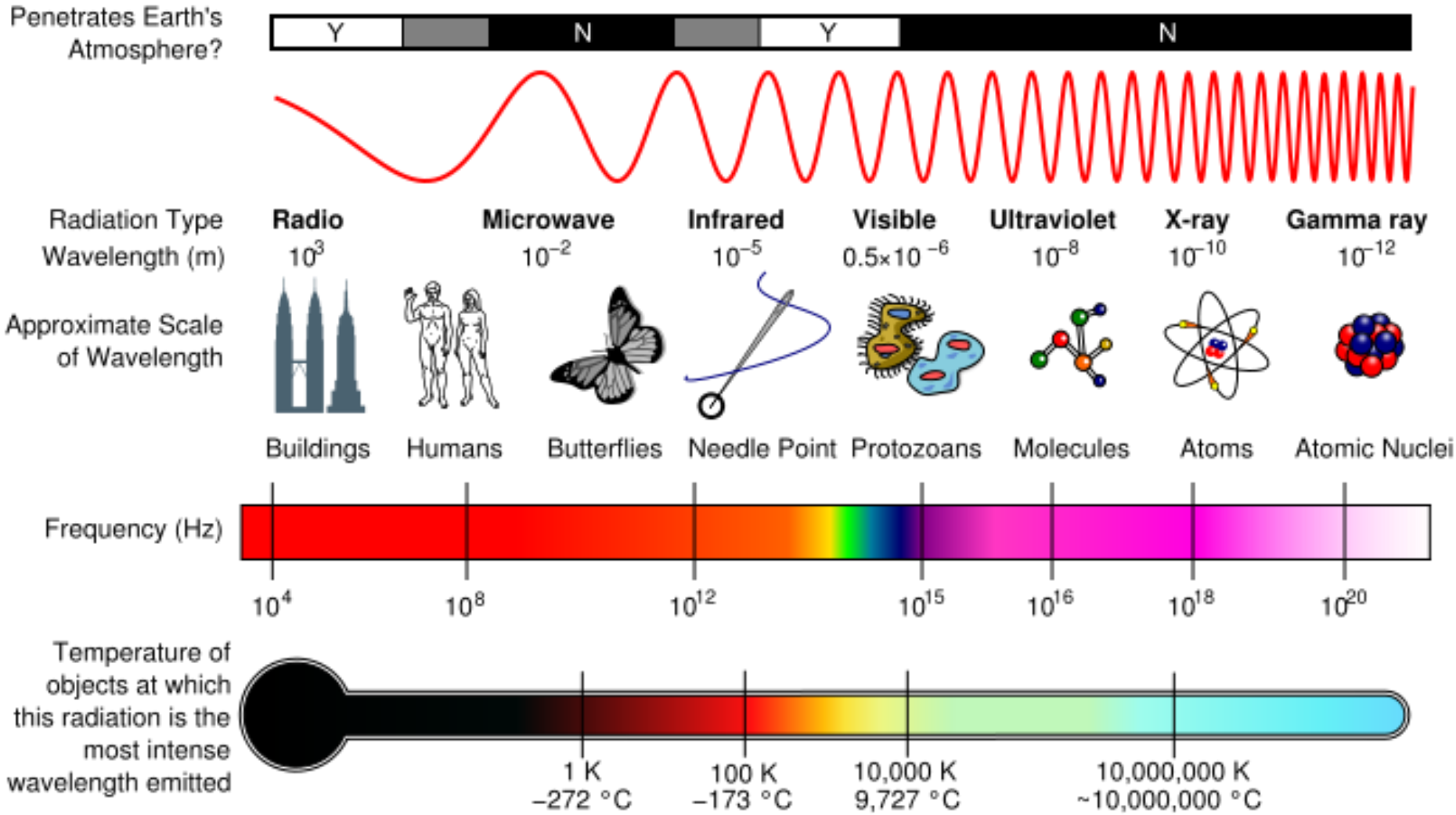
kosmische Strahlungsquellen

Das elektromagnetische Spektrum

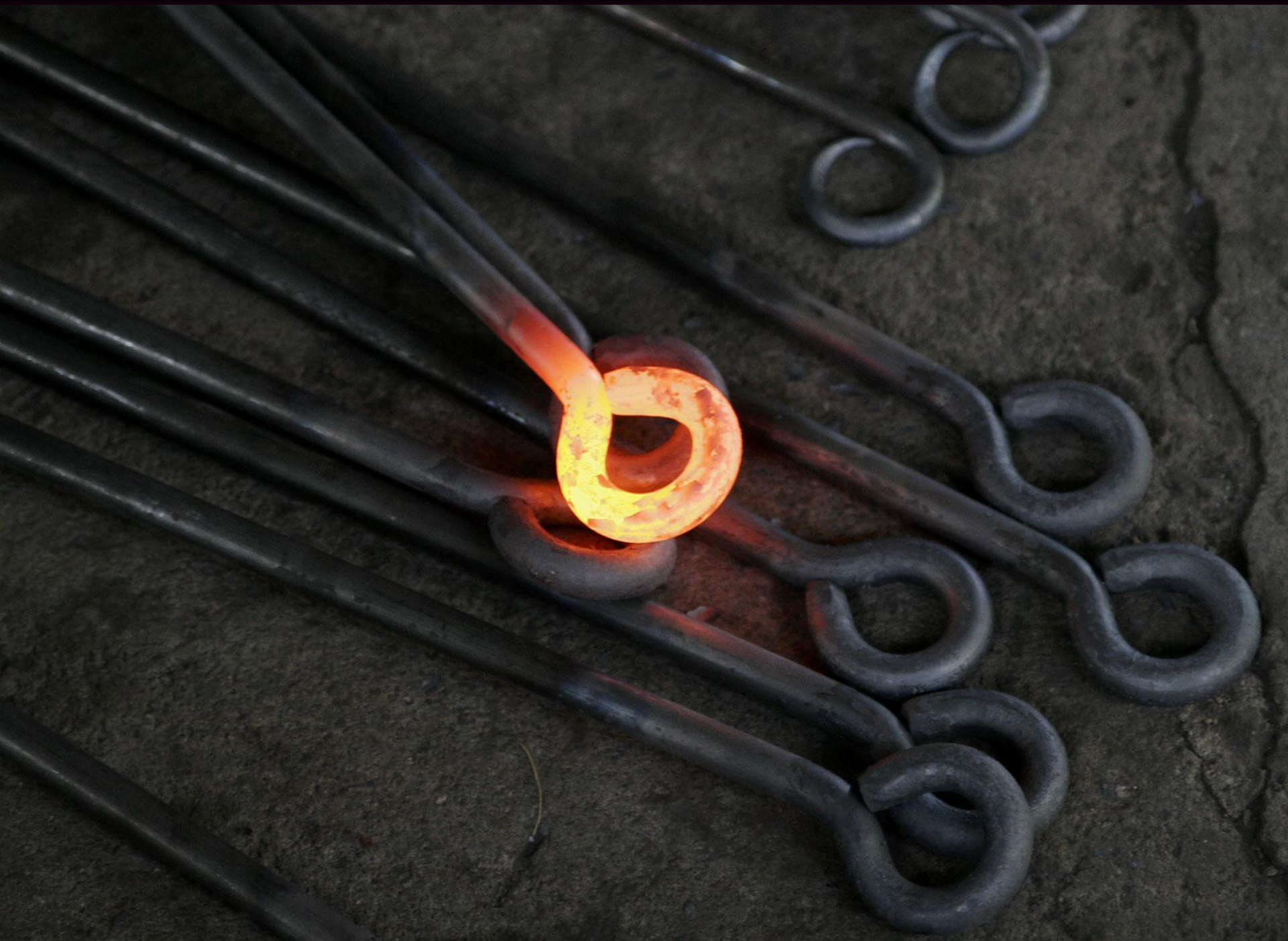



Electromagnetic Spectrum
Frequency (Hz)
Wavelength
Gamma-rays
X-rays
Ultraviolet
Visible
Near IR
Infra-red
Thermal IR
Far IR
Microwaves
Radar
Radio, TV
AM
Long-waves
10^{19}
10^{18}
10^{17}
10^{16}
10^{15}
10^{14}
10^{13}
10^{12}
10^{11}
10^{10}
10^{9}
10^{8}
10^{7}
10^{6}
0.1 Å
1 Å
0.1 nm
1 nm
10 nm
100 nm
1000 nm
1 μm
10 μm
100 μm
1000 μm
1 mm
1 cm
10 cm
1 m
10 m
100 m
1000 m
400 nm
500 nm
600 nm
700 nm
1000 MHz
500 MHz
100 MHz
50 MHz
UHF
VHF 7-13
FM
VHF 2-6


Wellenlänge so groß wie...
Gebäude
Menschen
Bienen
Stecknadel-köpfe
Ein-zeller
Mole-küle
Atome
Atom kerne
Radio
Mikro-wellen
Infrarot
Sicht-bar
Ultra-violett
Röntgen
Gamma Strahlen

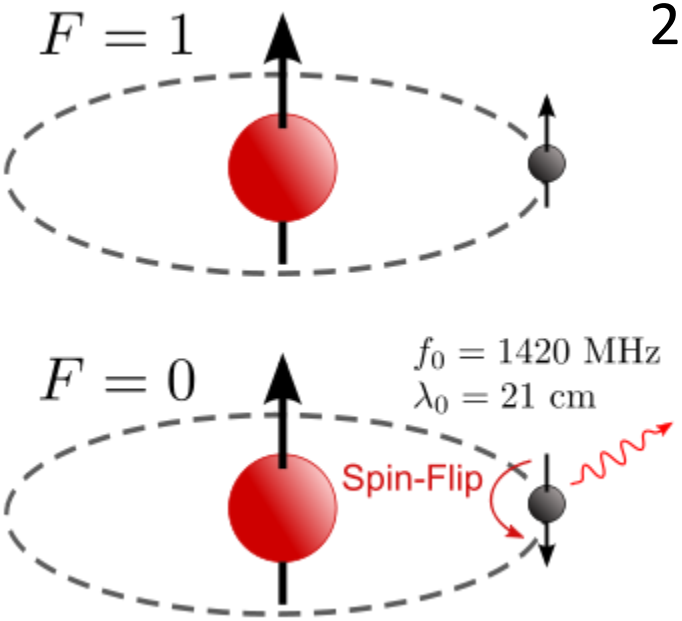


T in K:	< 0.03K	0.03 – 30	30 – 4100	4100-7300	7300-3 Mill.	3 Mill.-300 Mill.	> 300 Mill.



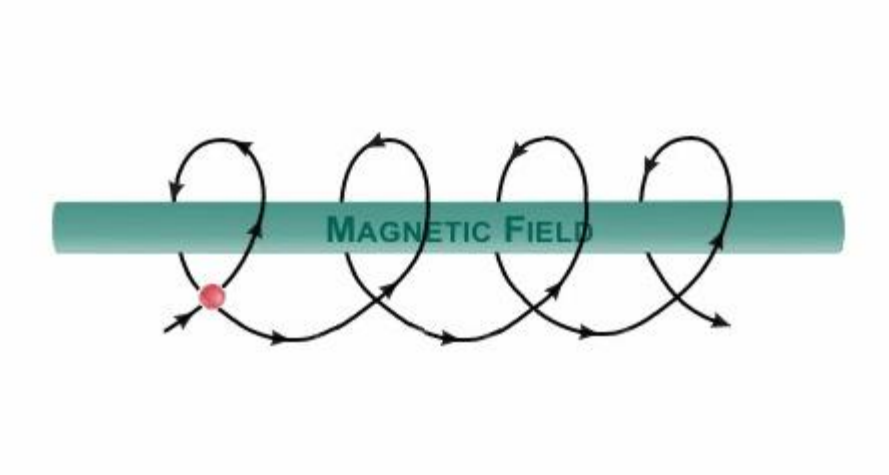
Erzeugung EM-Strahlung:

Spin-Flip
und die
21 cm Linie

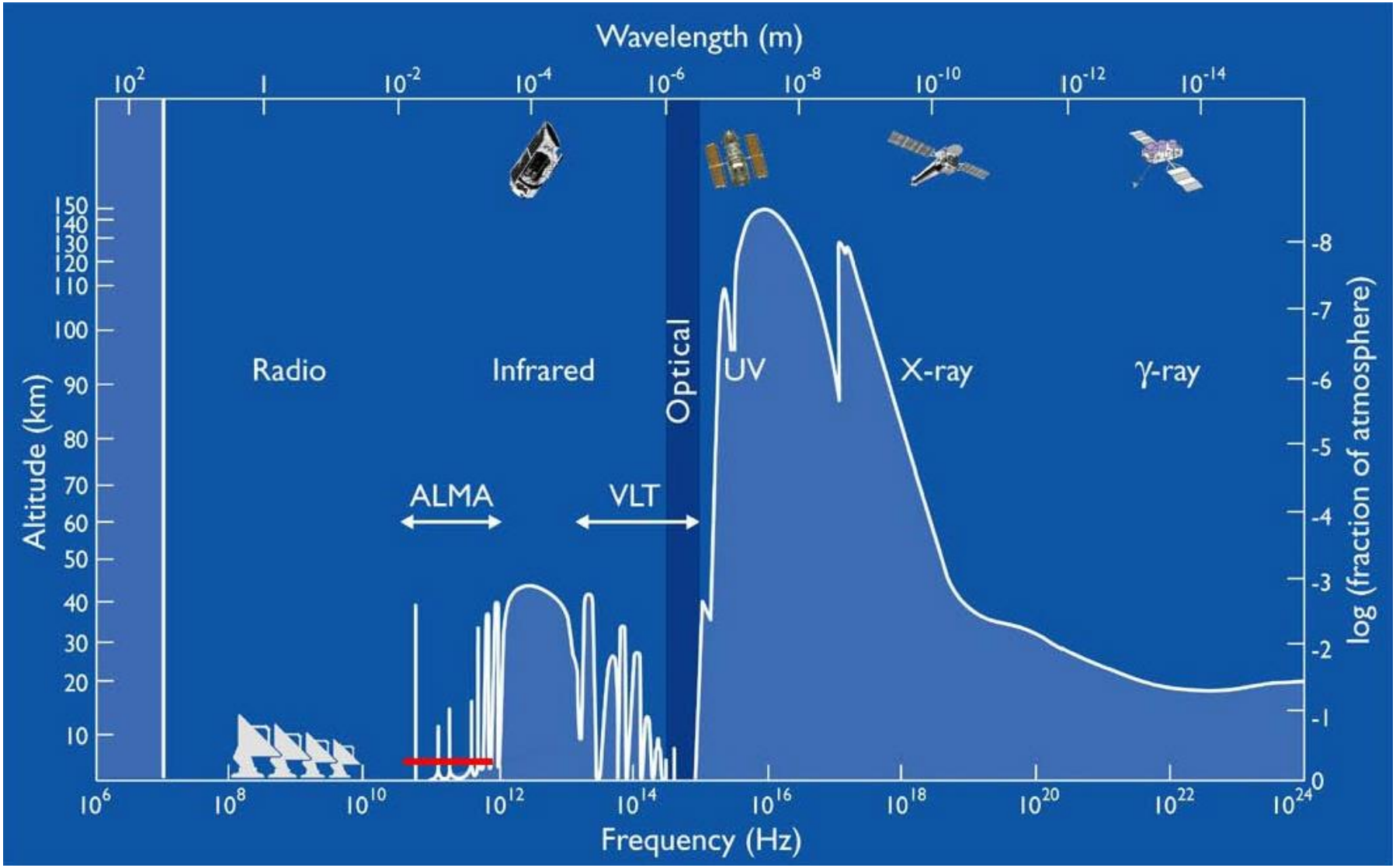


Erzeugung EM-Strahlung:

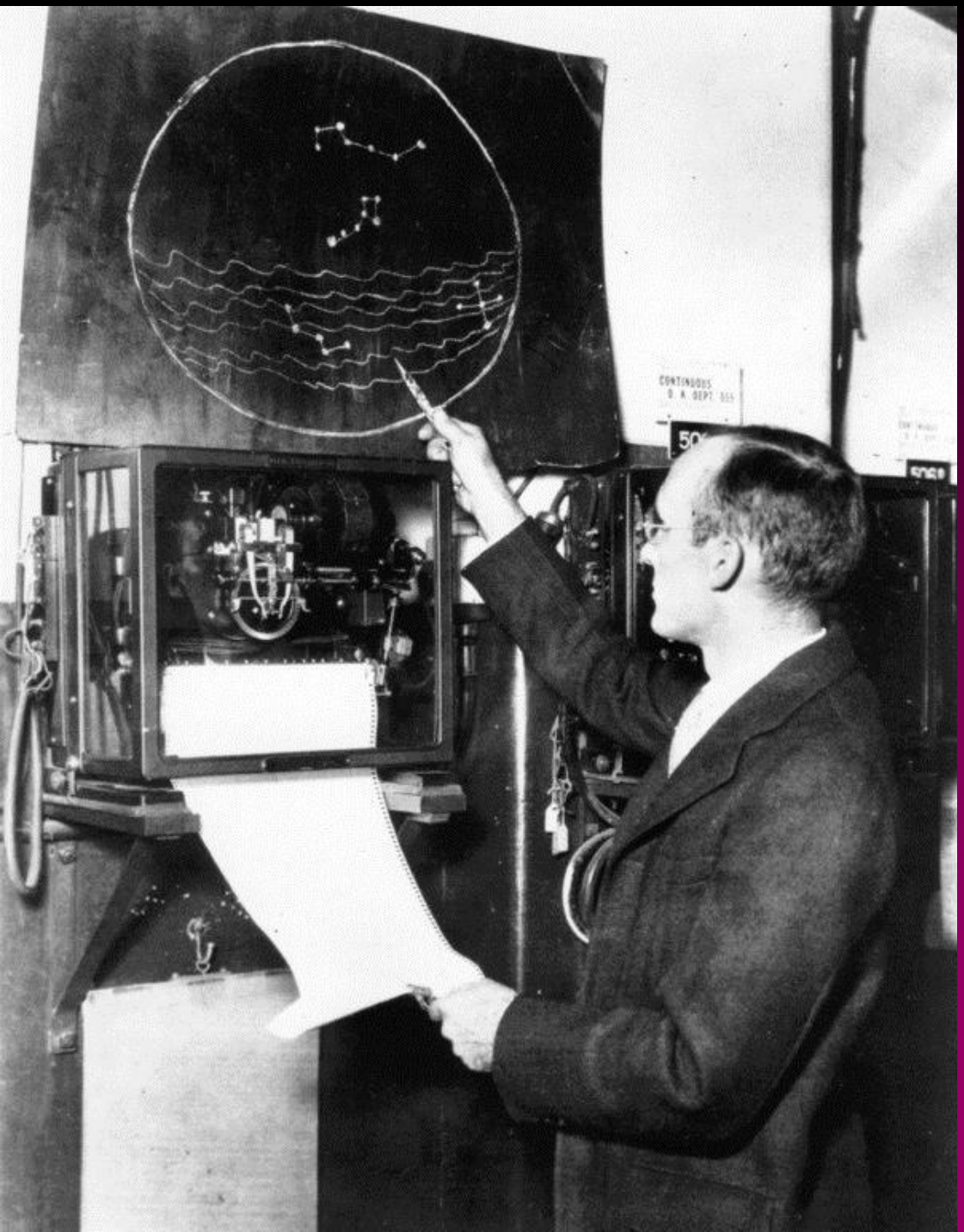
Synchrotron Strahlung



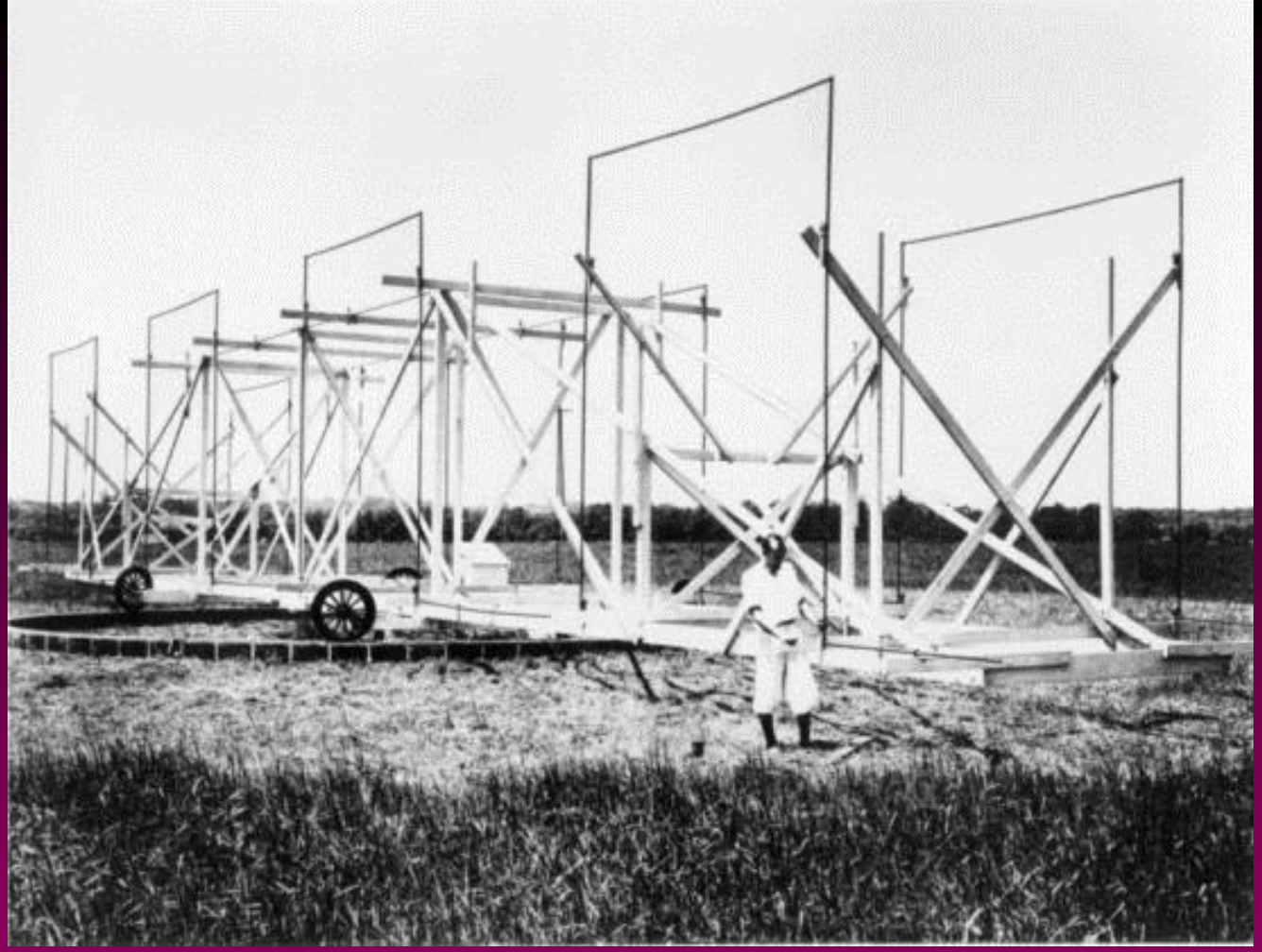
Durchlässigkeit der Atmosphäre



2. RADIOASTRONOMIE



Jansky
1932

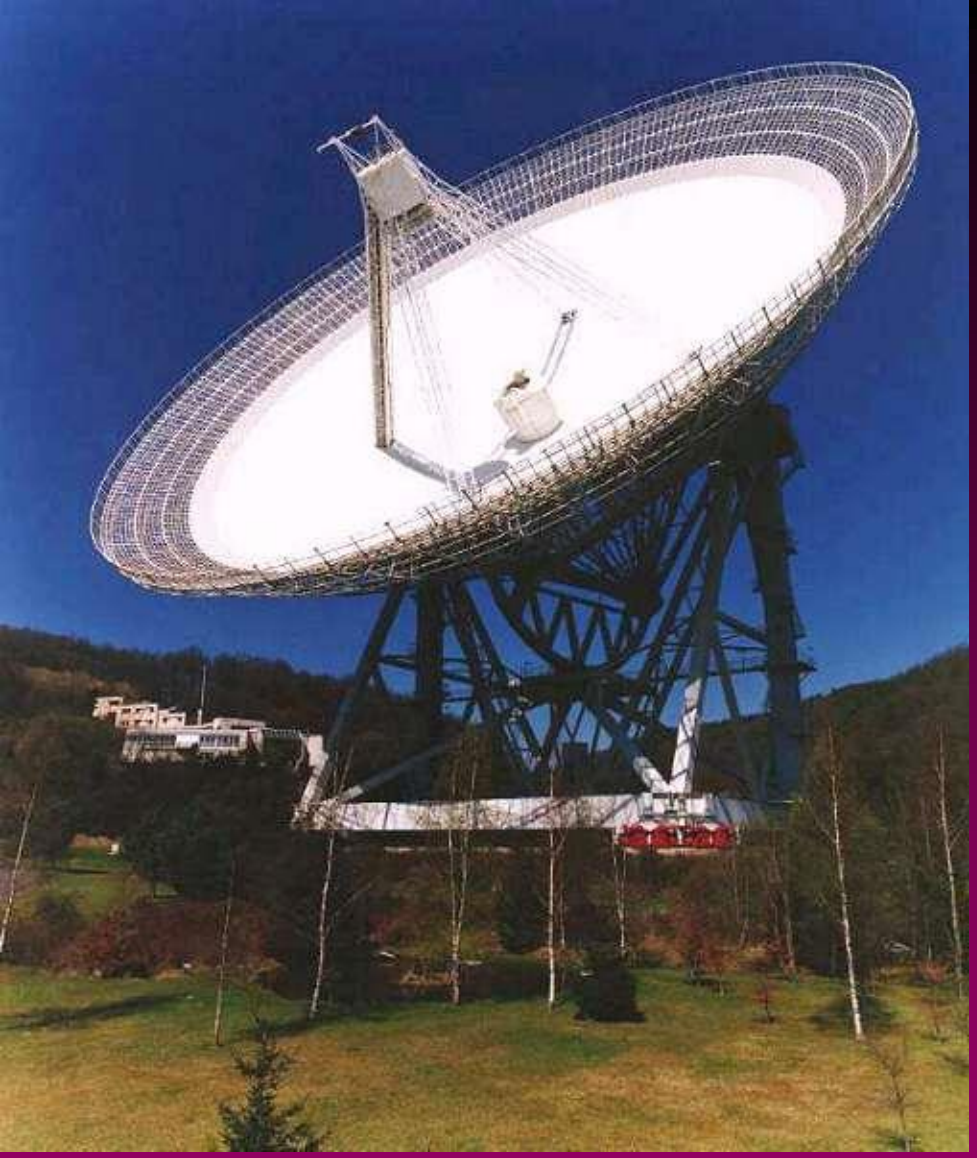


Janskys Antenne

Grote Reber
1937

Reber‘s
historisches Gerät
(Nachbau)

Greenbank (GRB) West Virginia: 100 m



100m Radioantenne Effelsberg

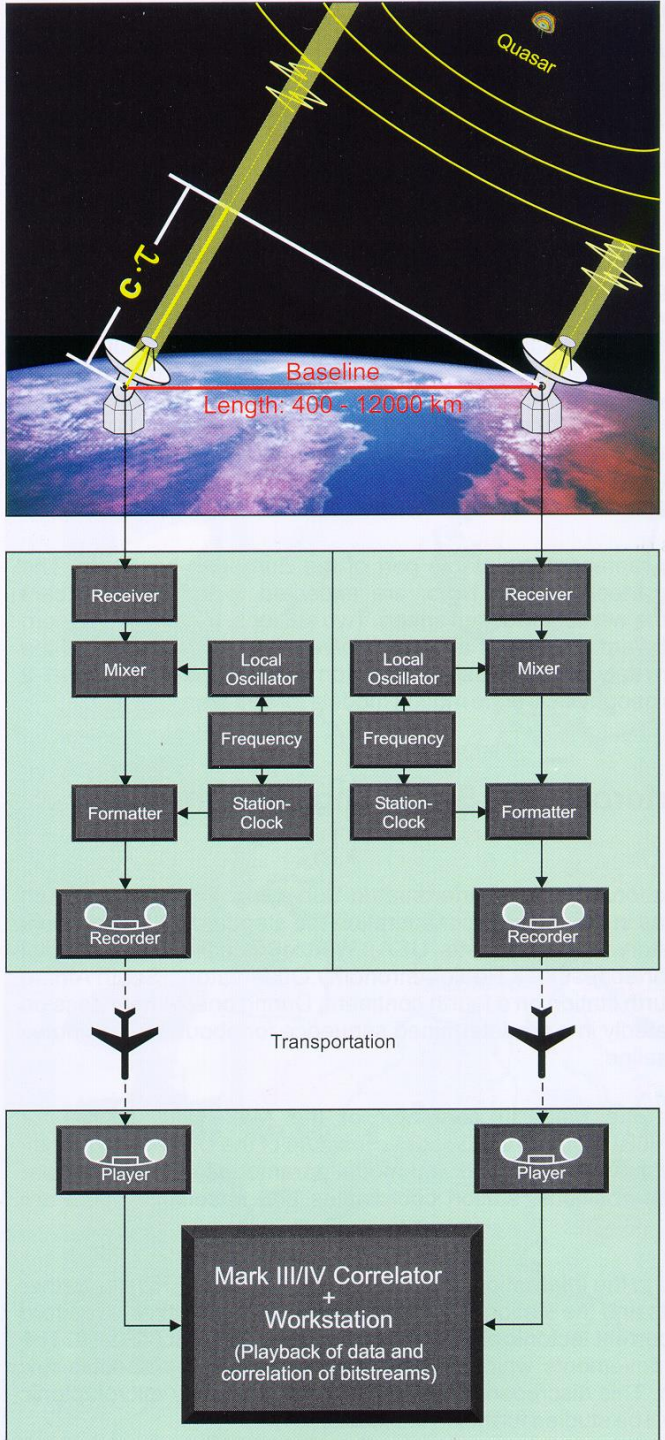
Feedhörner

305-m Teleskop bei Arecibo, Puerto Rico

Westerbork Sythesis Radioteleskop, 14 x 25 m

Das Very Large Array (VLA)

27 Antennen mit D = 25m

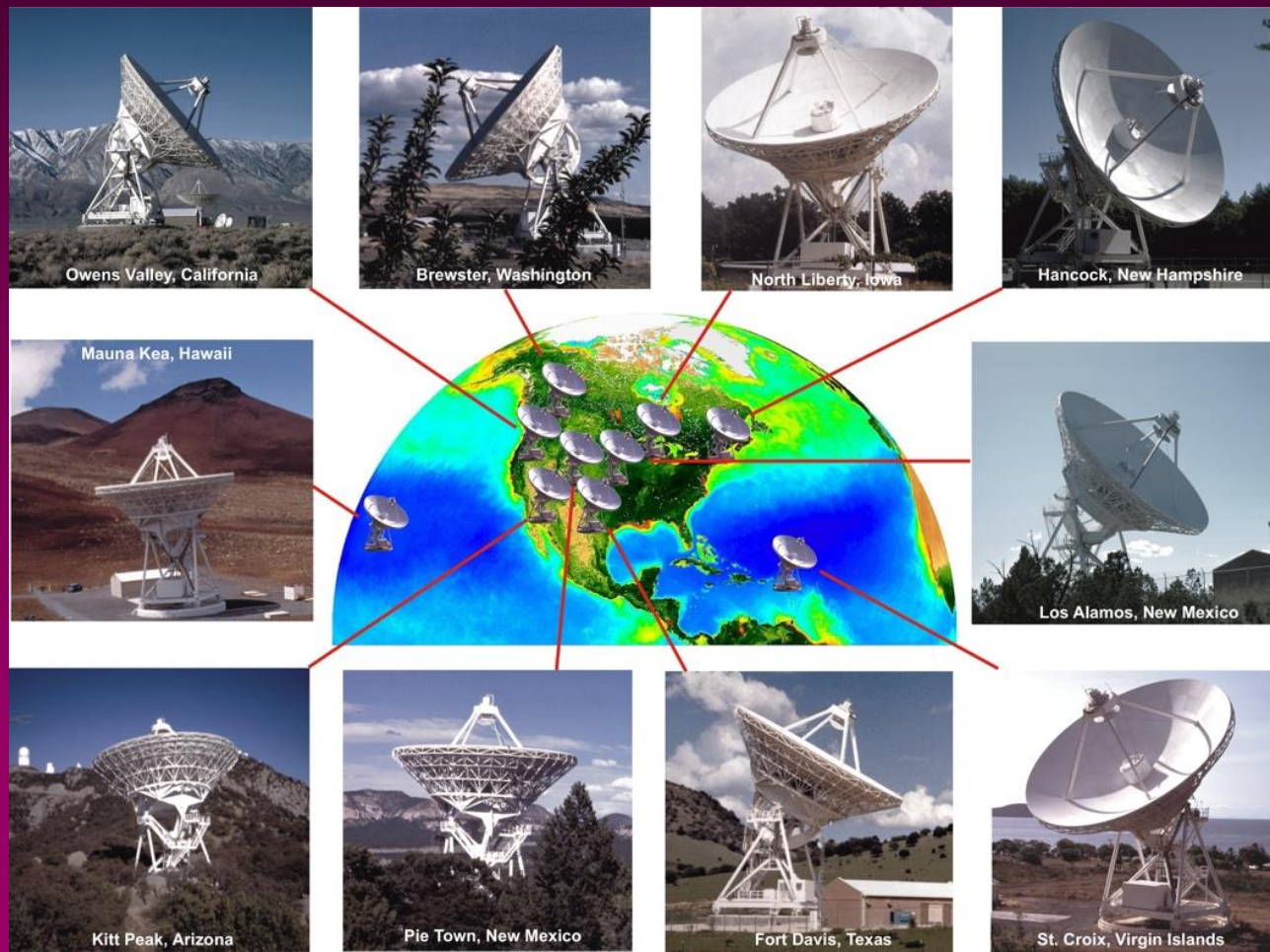


Funktionsschema der VLBI

Mark IV Korrelator MPI Radio, Bonn

VLBA: ein System aus 10 (25-m) Radio-Teleskope quer über Nordamerika von Hawaii zu den Virgin Inseln

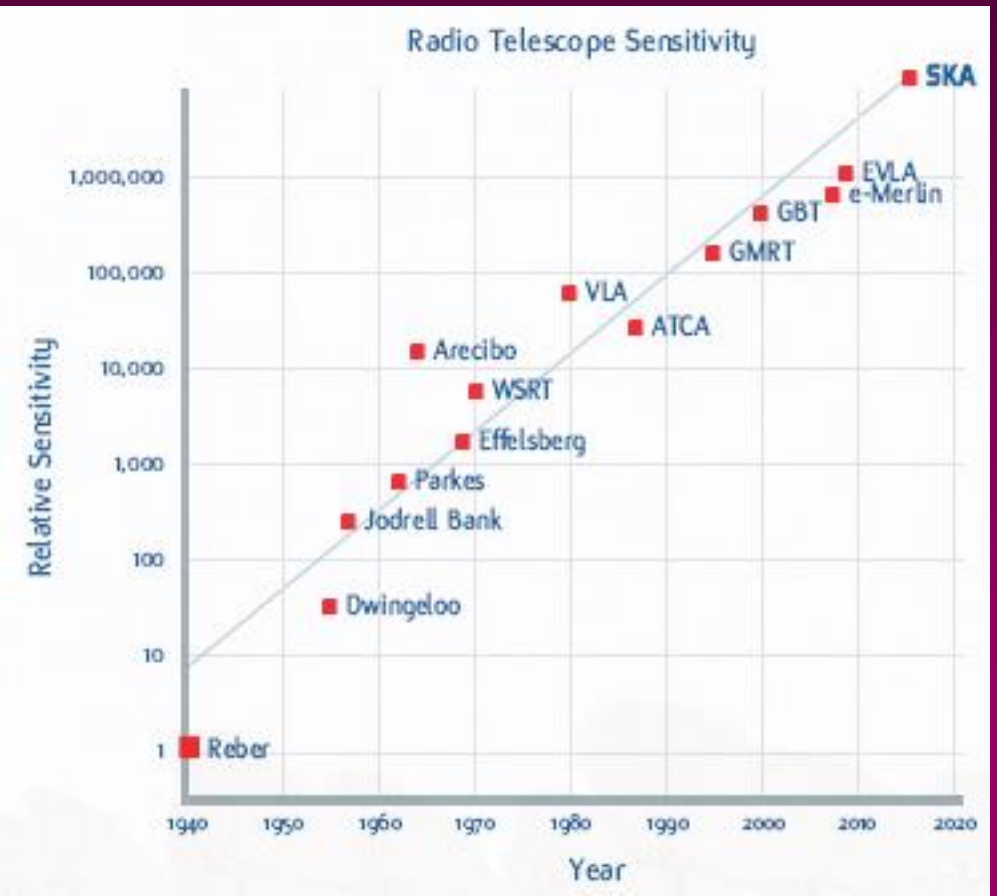
Start: 1993

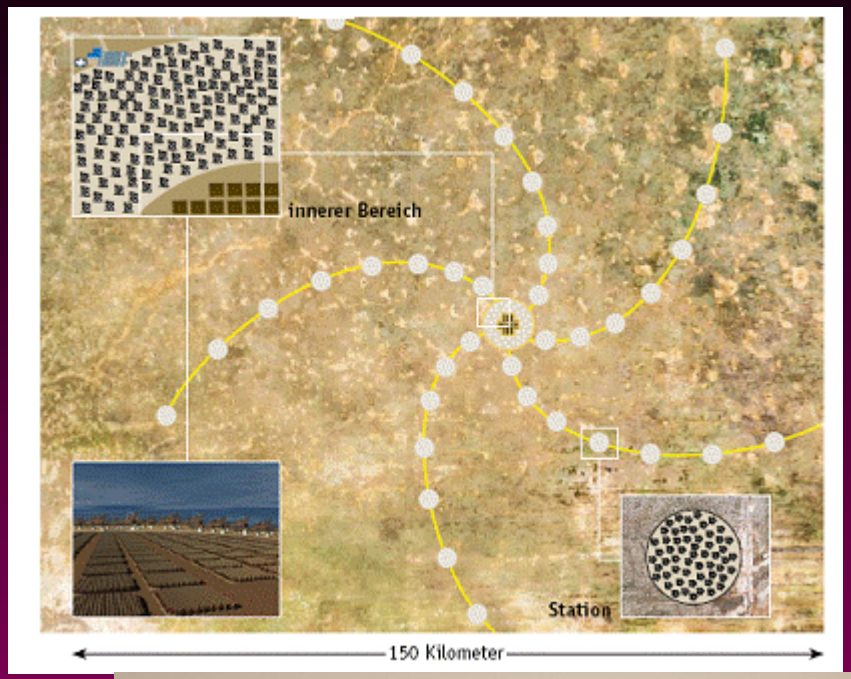


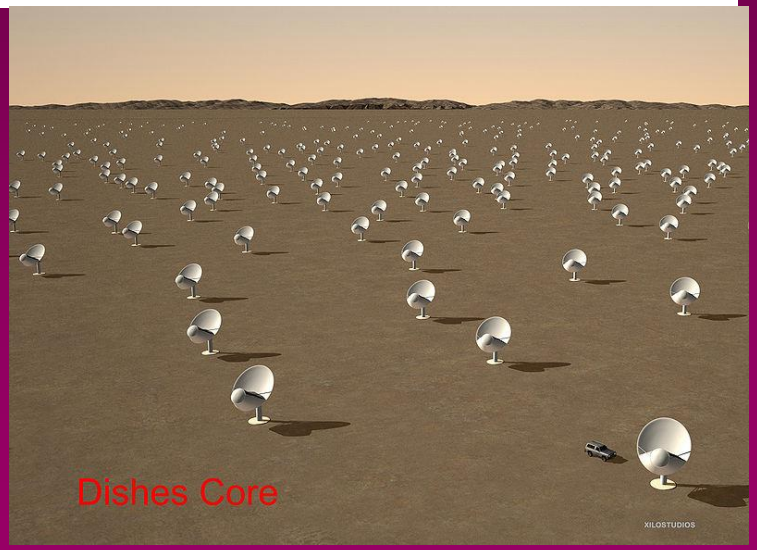
Radioastronomie: geplantes Projekt

Square Km Array (SKA)

quasi 3000 km grosses Radioteleskop (2020) (Südafrika/ Australien)

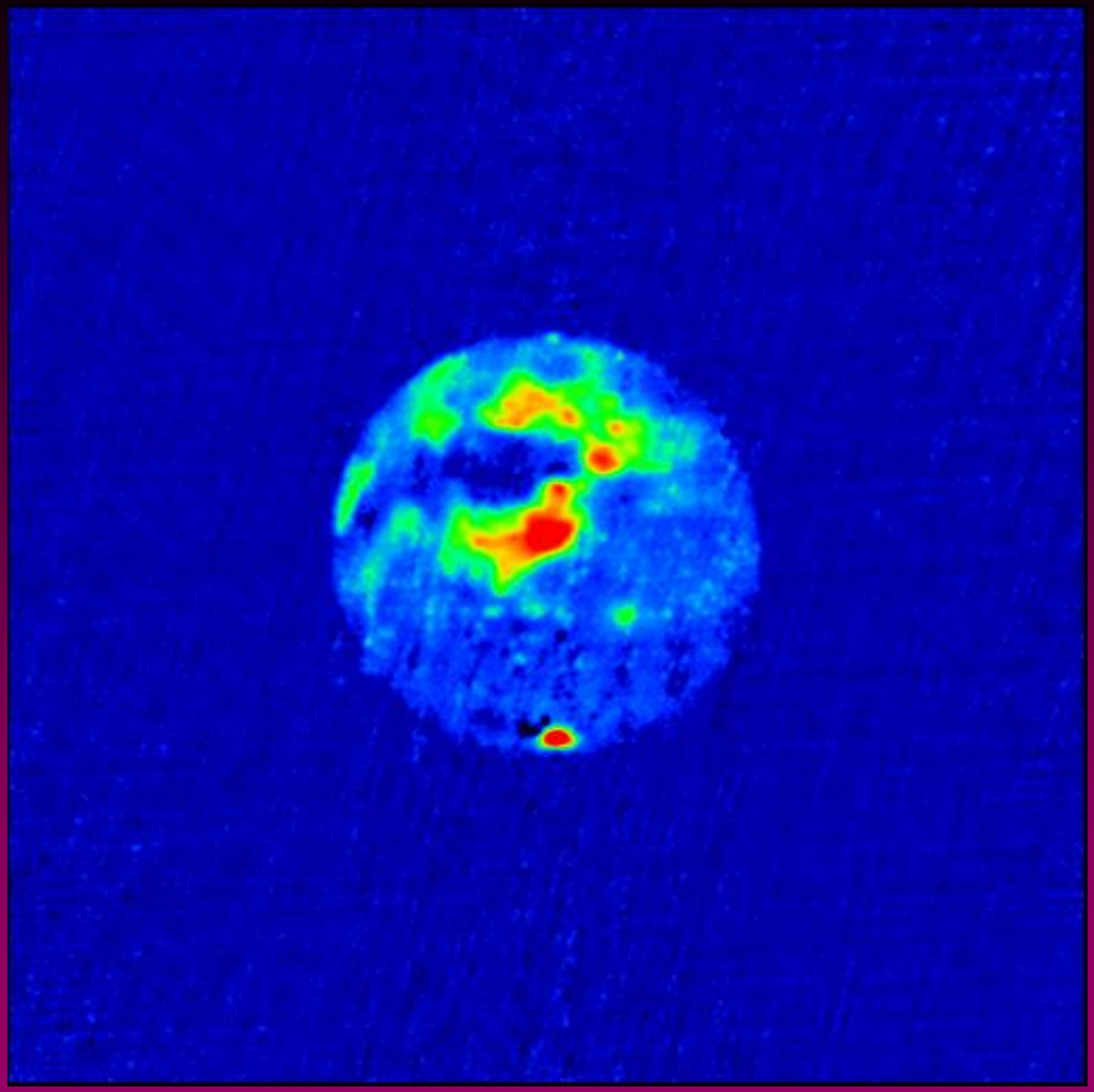




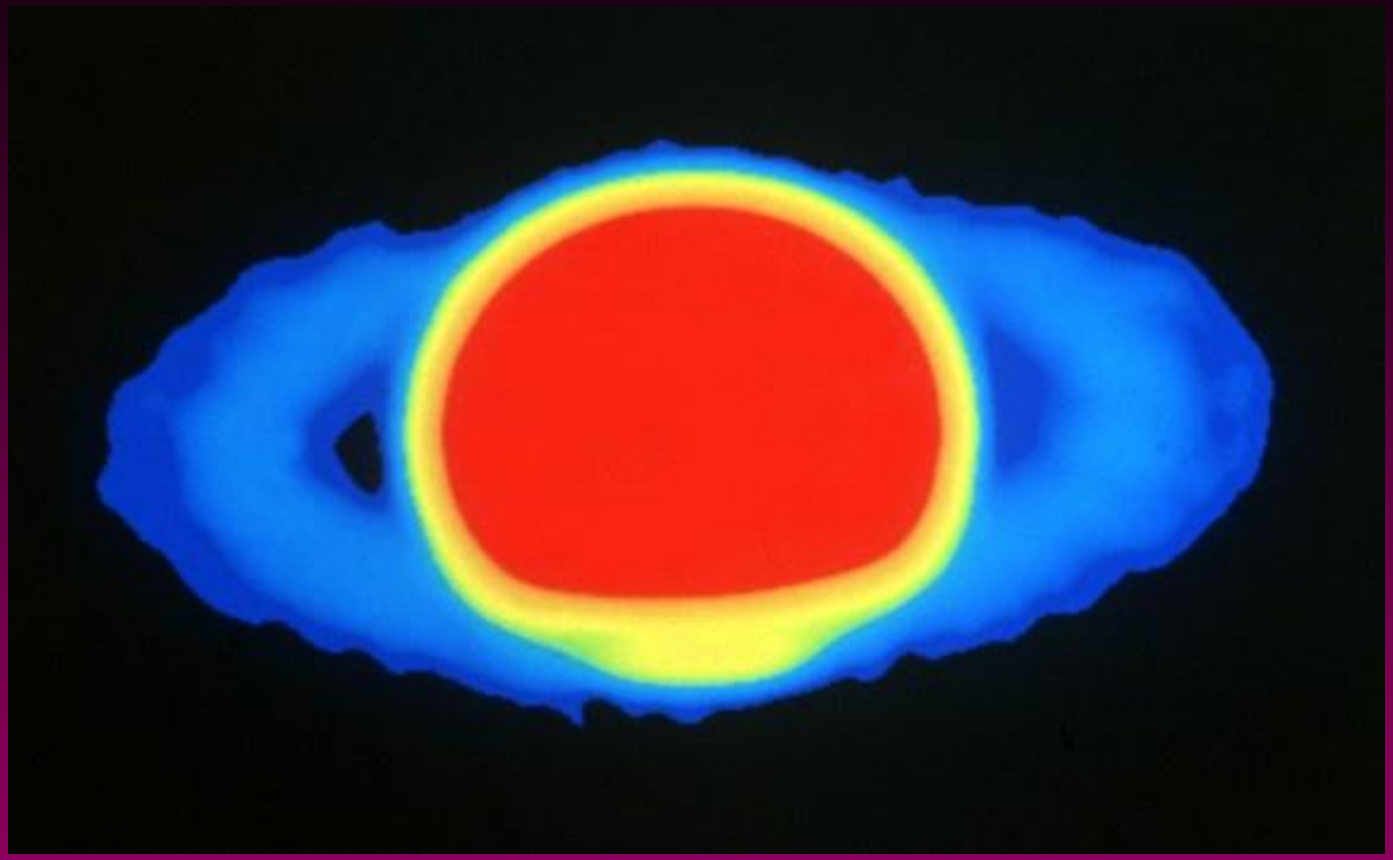


Radioastronomie:

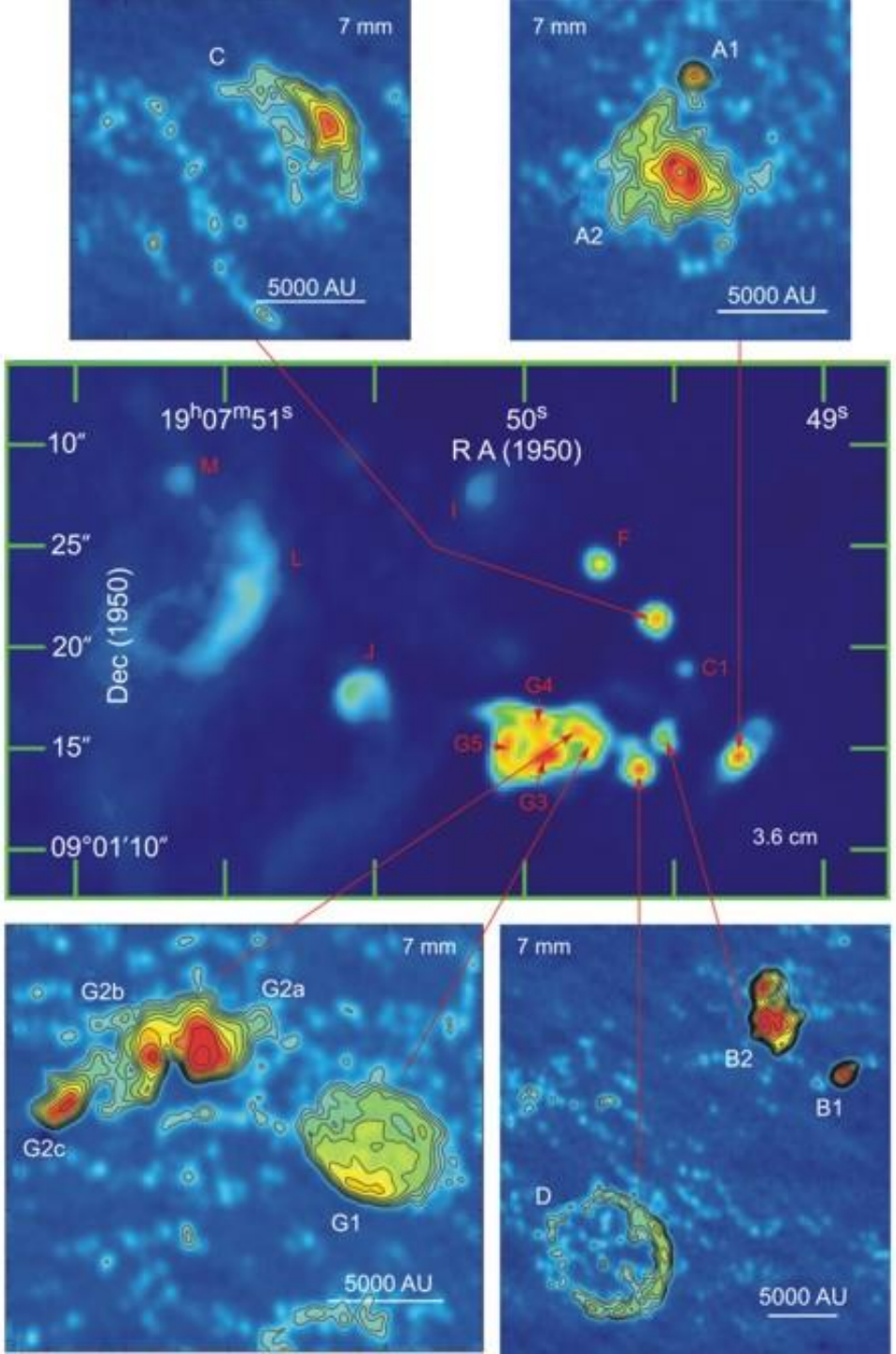
Bildergalerie



Mars: Radarbild

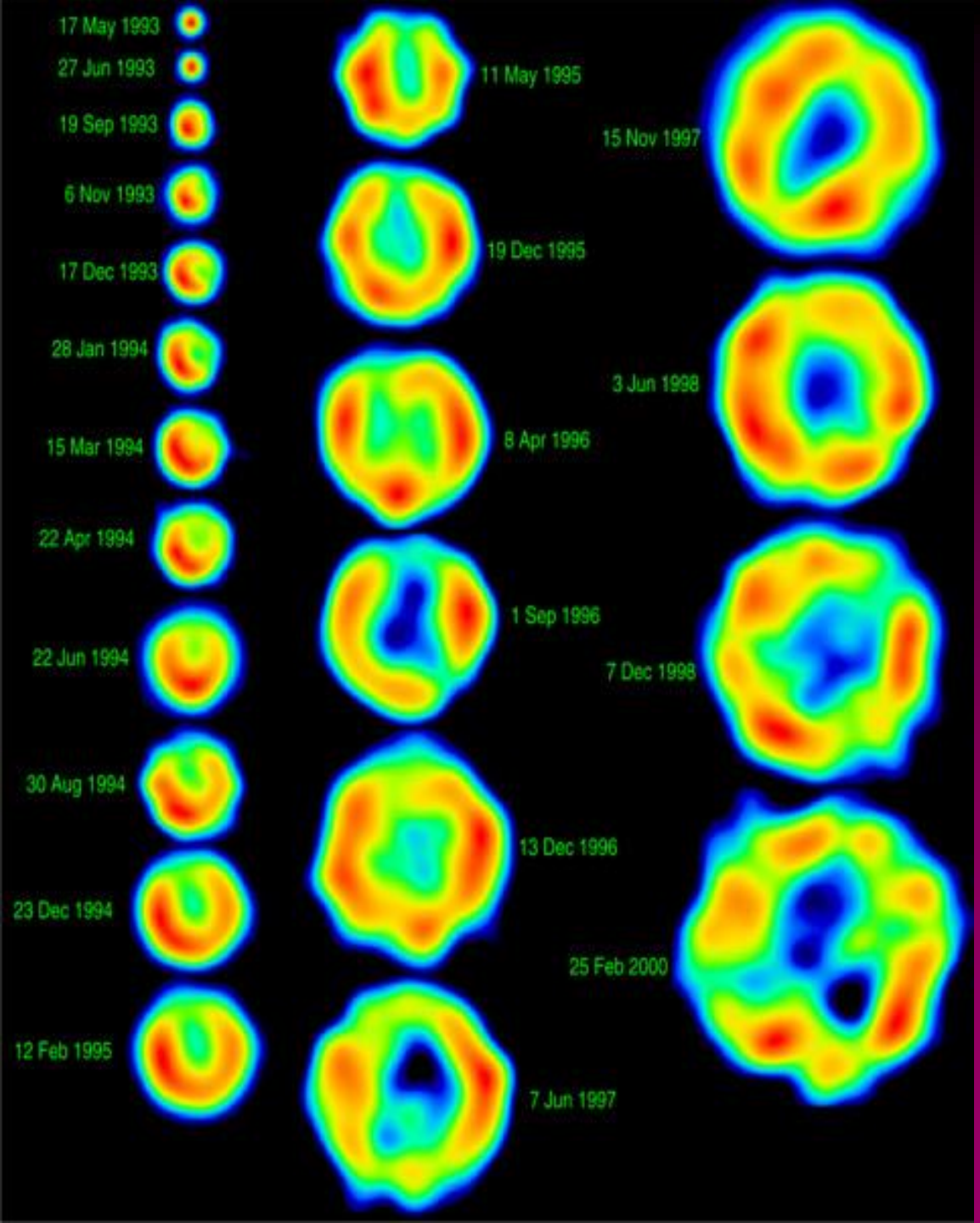


Saturn: Radiobild

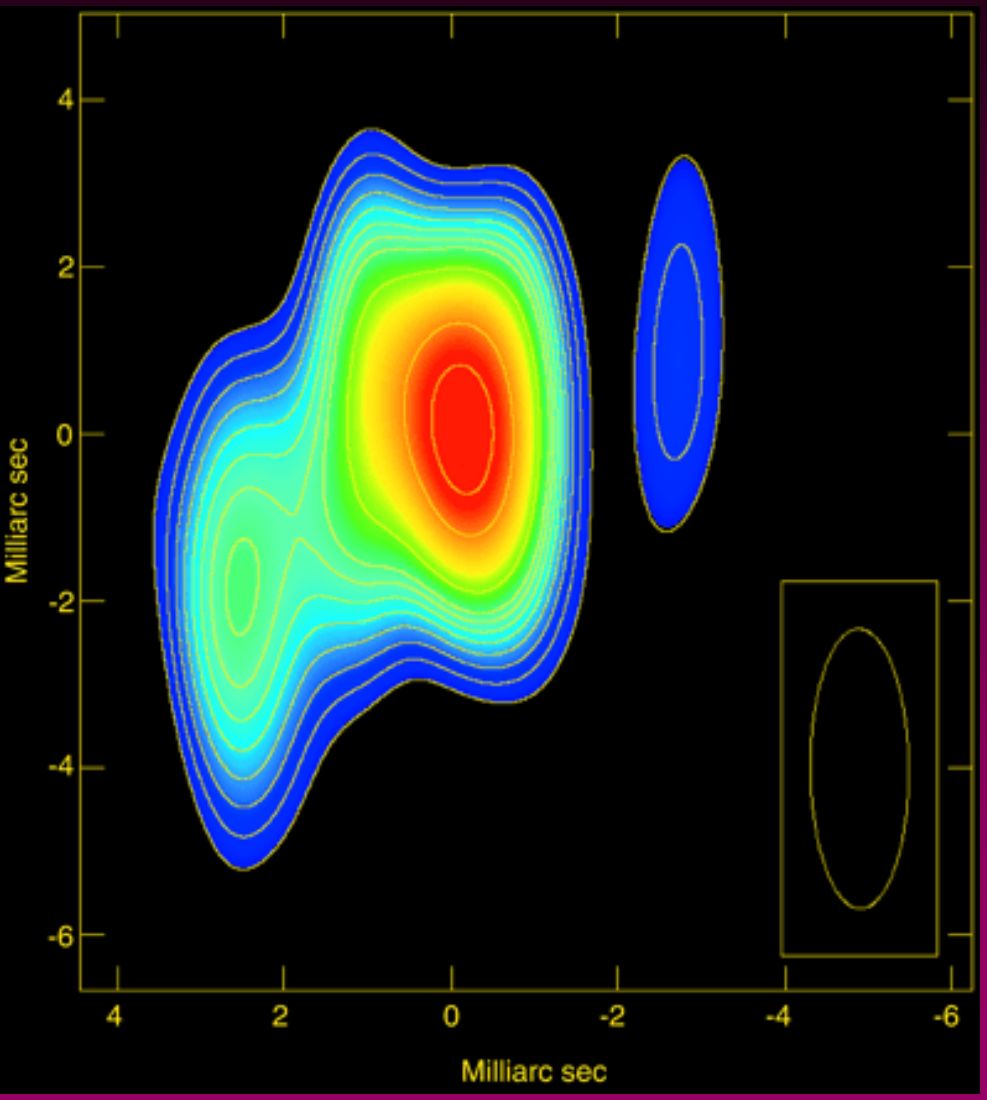


Gebiete der Sternentstehung

und HII Regionen



Supernova 1993J



Der BH-Kandidat

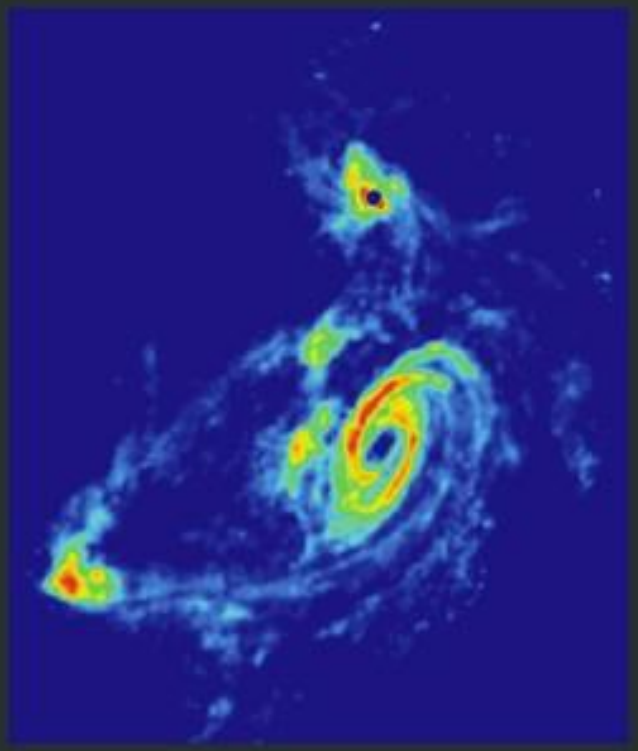
LS 5039

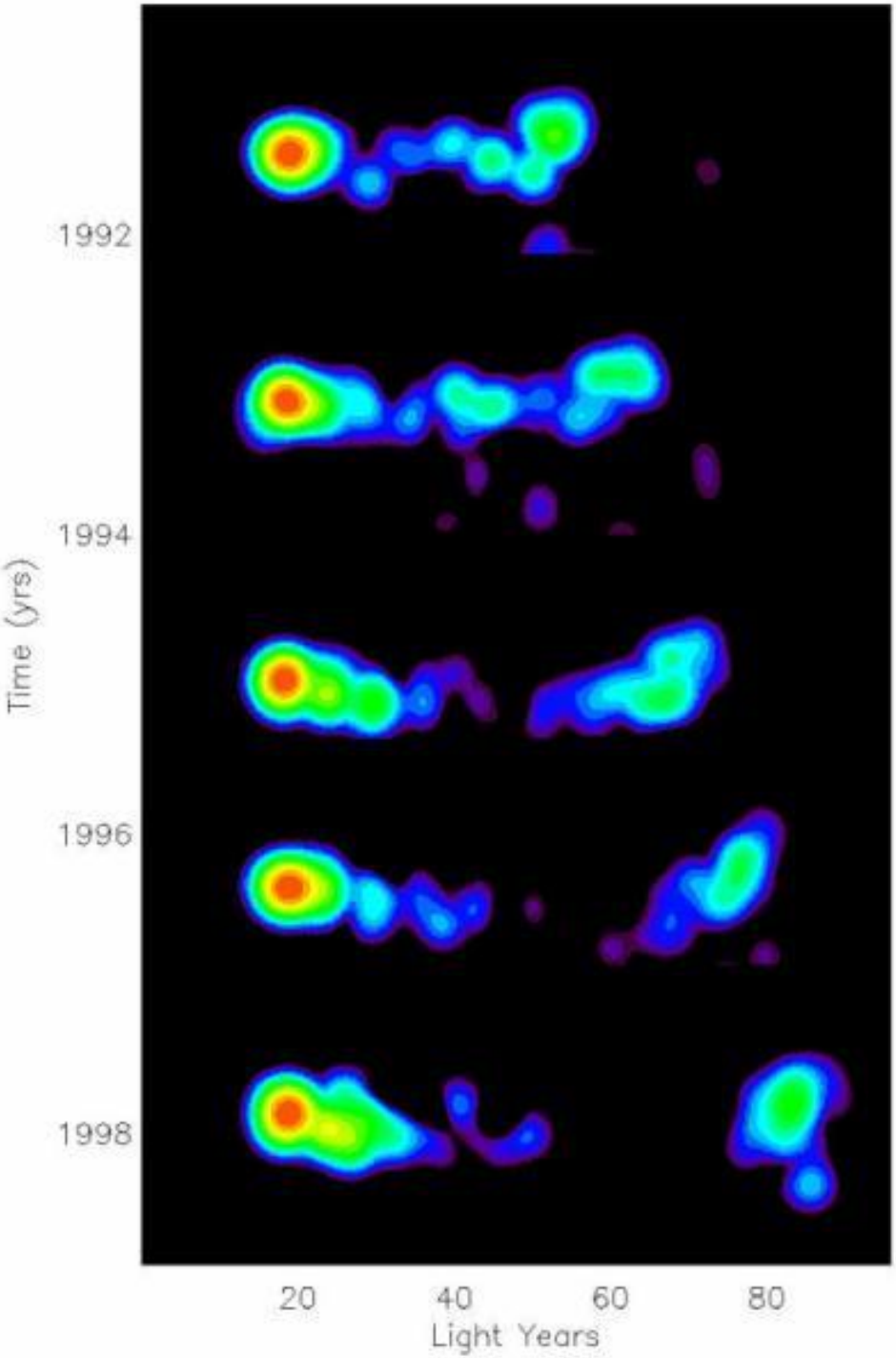
eine X-Doppel-Quelle großer Masse

TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

Stellar Light Distribution

21 cm HI Distribution





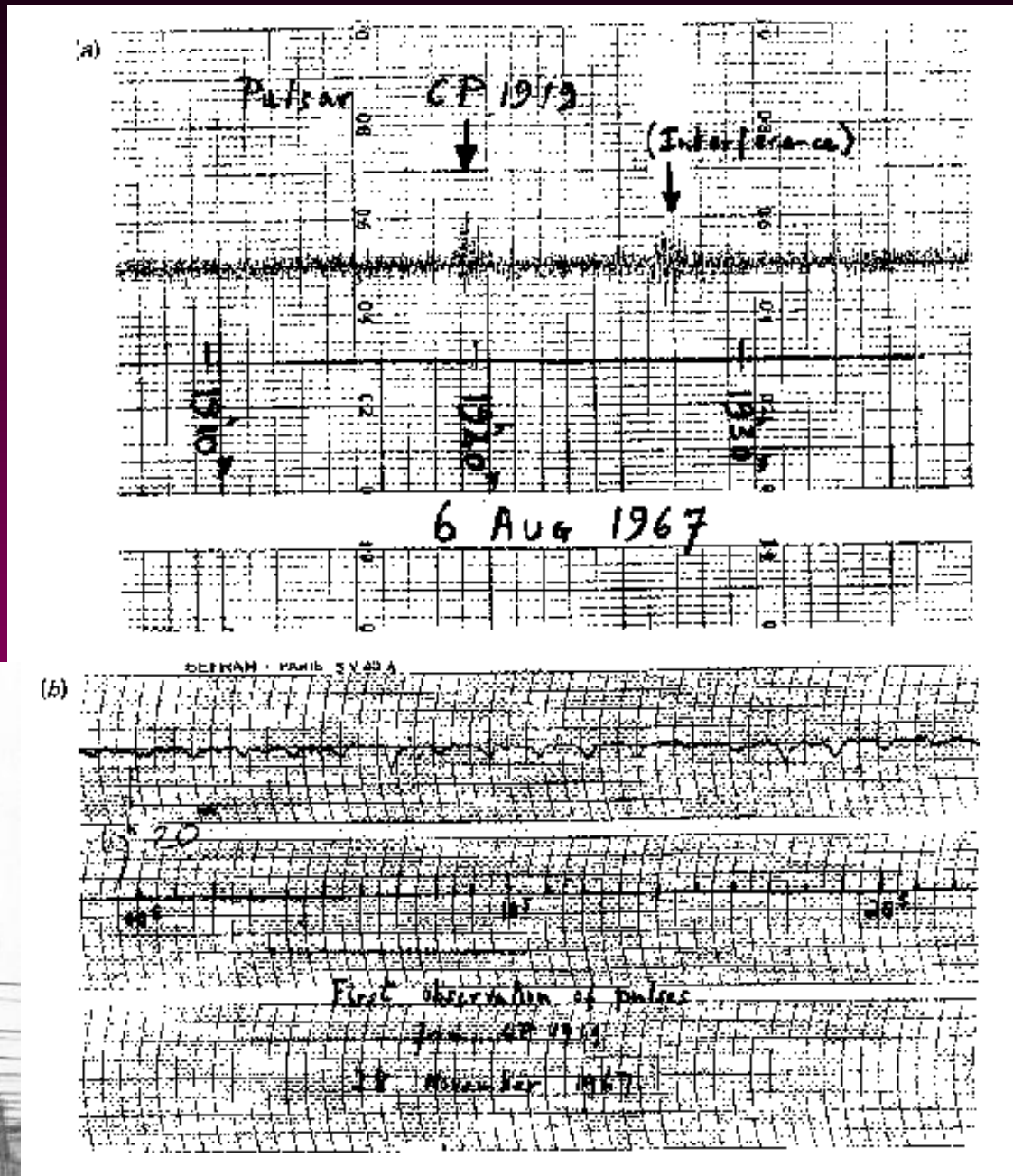
3C 279:

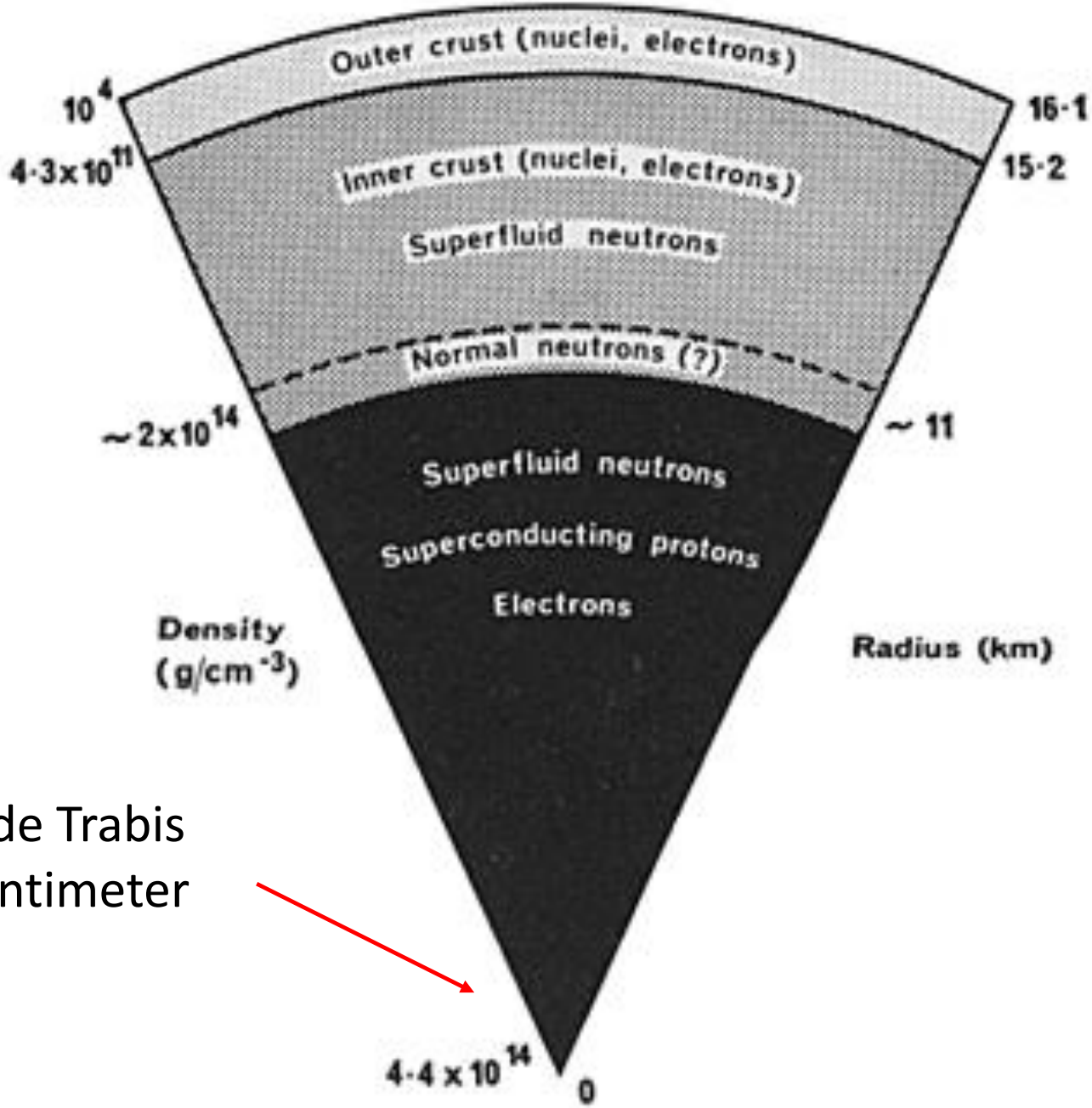
ein Quasar

Entdeckung
des ersten
Radio-Pulsars

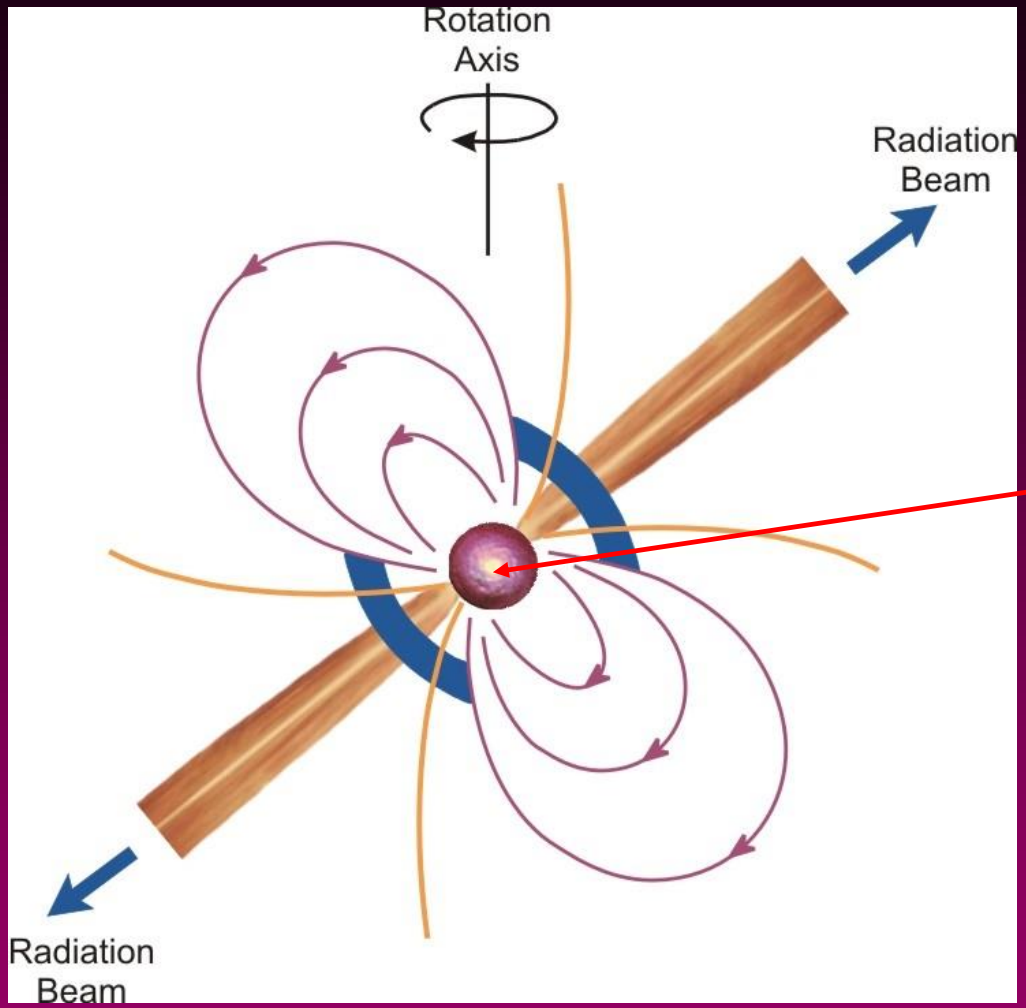
extraterr. Leben?
LGM?

J. Bell
Nobelpreis:
Antony Hewish

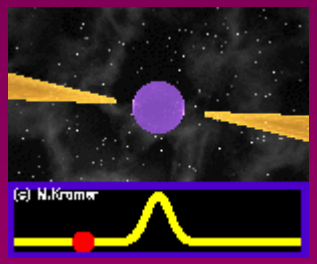




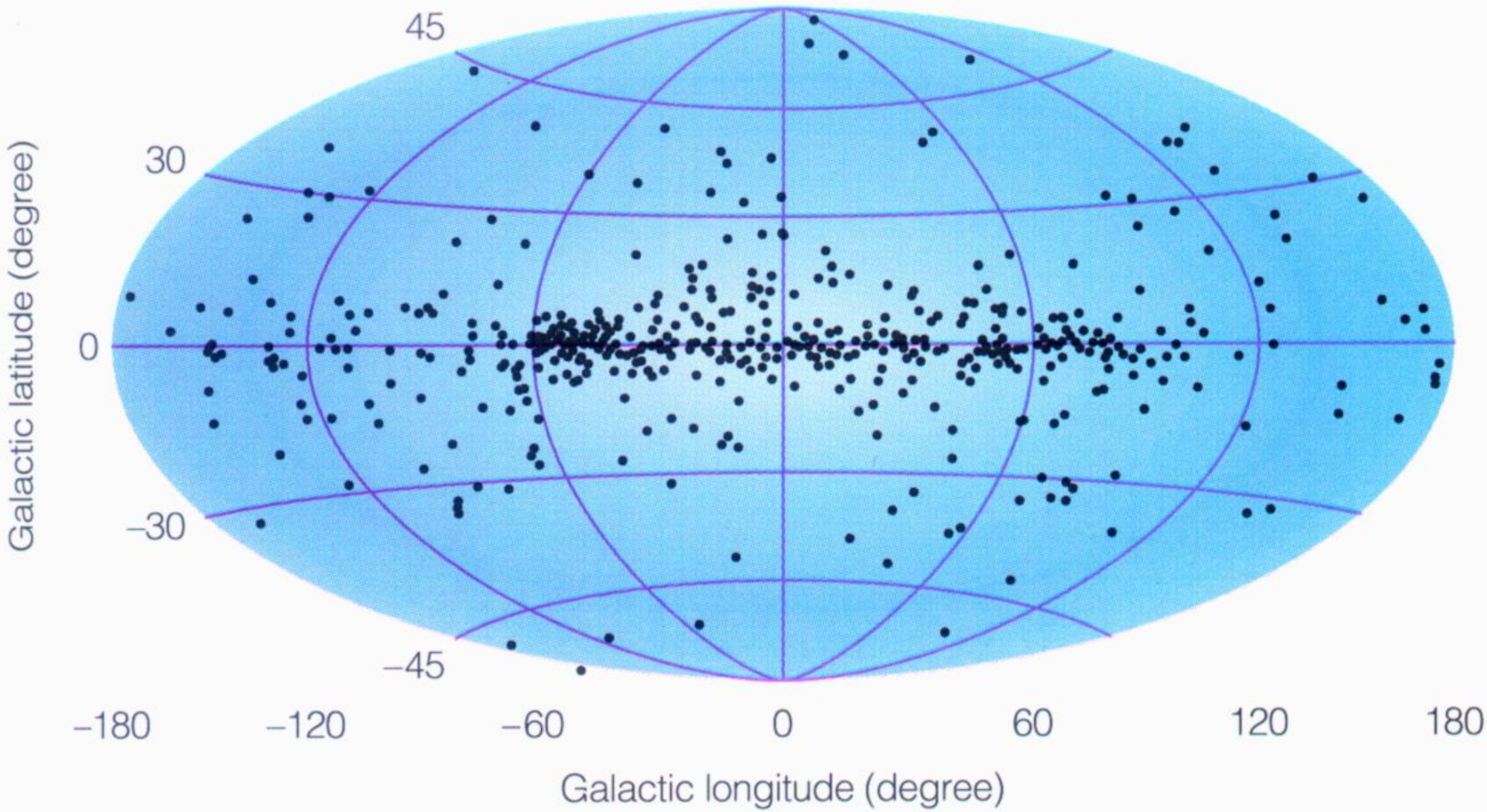
eine Milliarde Trabis
pro Kubikzentimeter



schnell
rotierender
Neutronenstern



Radiopulsare: Standardmodell



beobachtete Radiopulsare

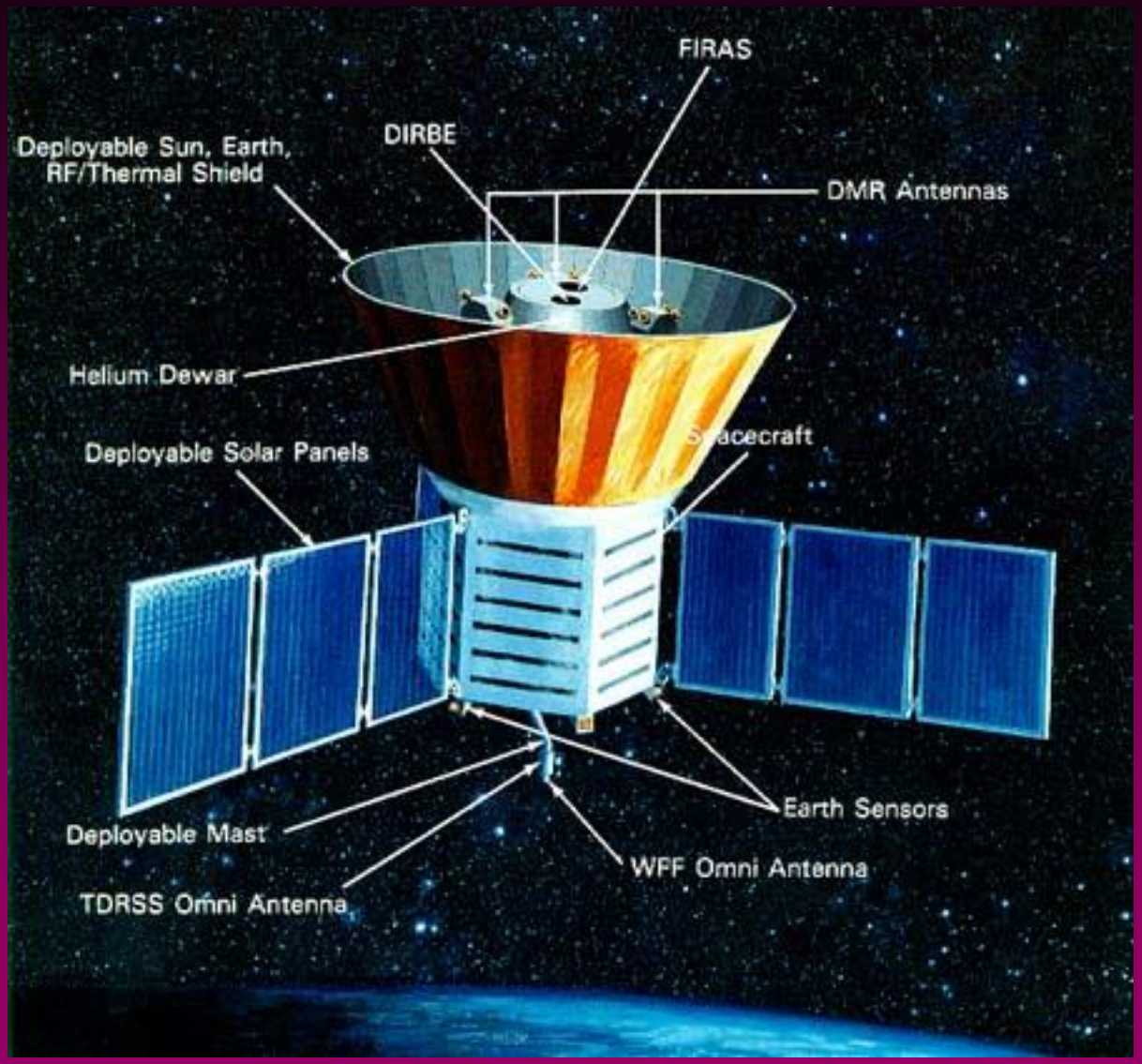
3. Mikrowellenastronomie

Das Submillimeterteleskop des MPI für Radioastro, Bonn und der Uni Arizona, Mount Graham, Arizona

IRAM: Institut de Radioastronomie Millimetrique
6 x 15-m Einzelantennen des Submm-Interferometers

Plateau de Bure (fr. Alpen)

Penzias und Wilson


FIRAS
DIRBE
Deployable Sun, Earth,
RF/Thermal Shield
DMR Antennas
Helium Dewar
Deployable Solar Panels
Spacecraft
Earth Sensors
Deployable Mast
WFF Omni Antenna
TDRSS Omni Antenna

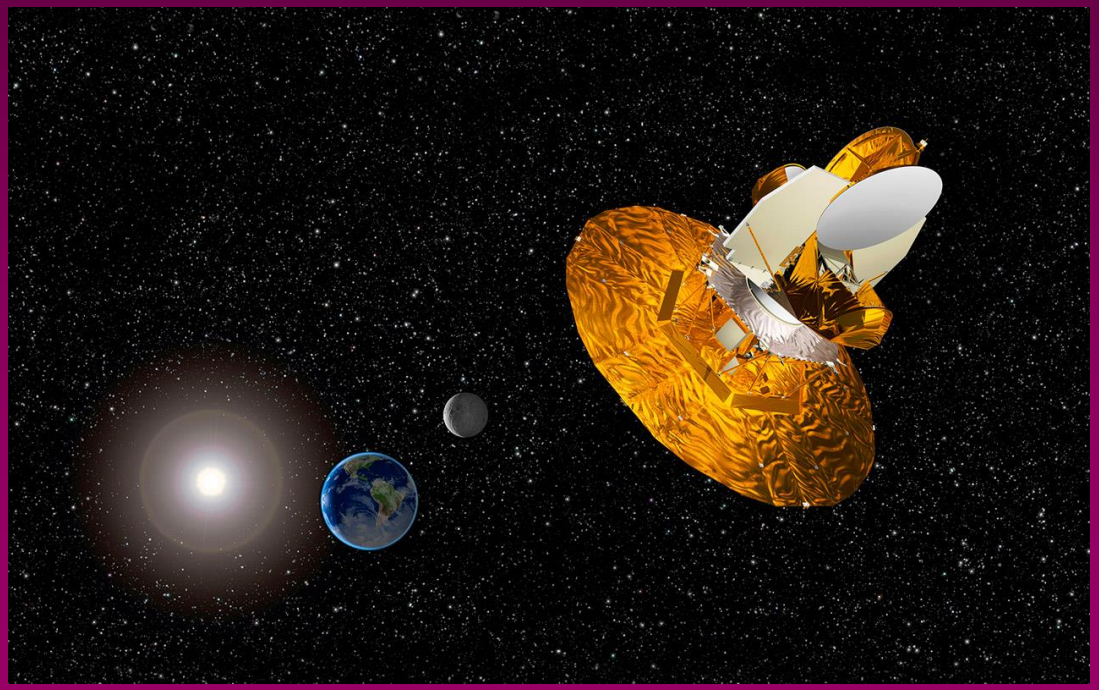
COBE

WMAP: **W**ilkinson **M**icrowave **A**nisotropy **P**robe

1995 WMAP wird der NASA vorgeschlagen

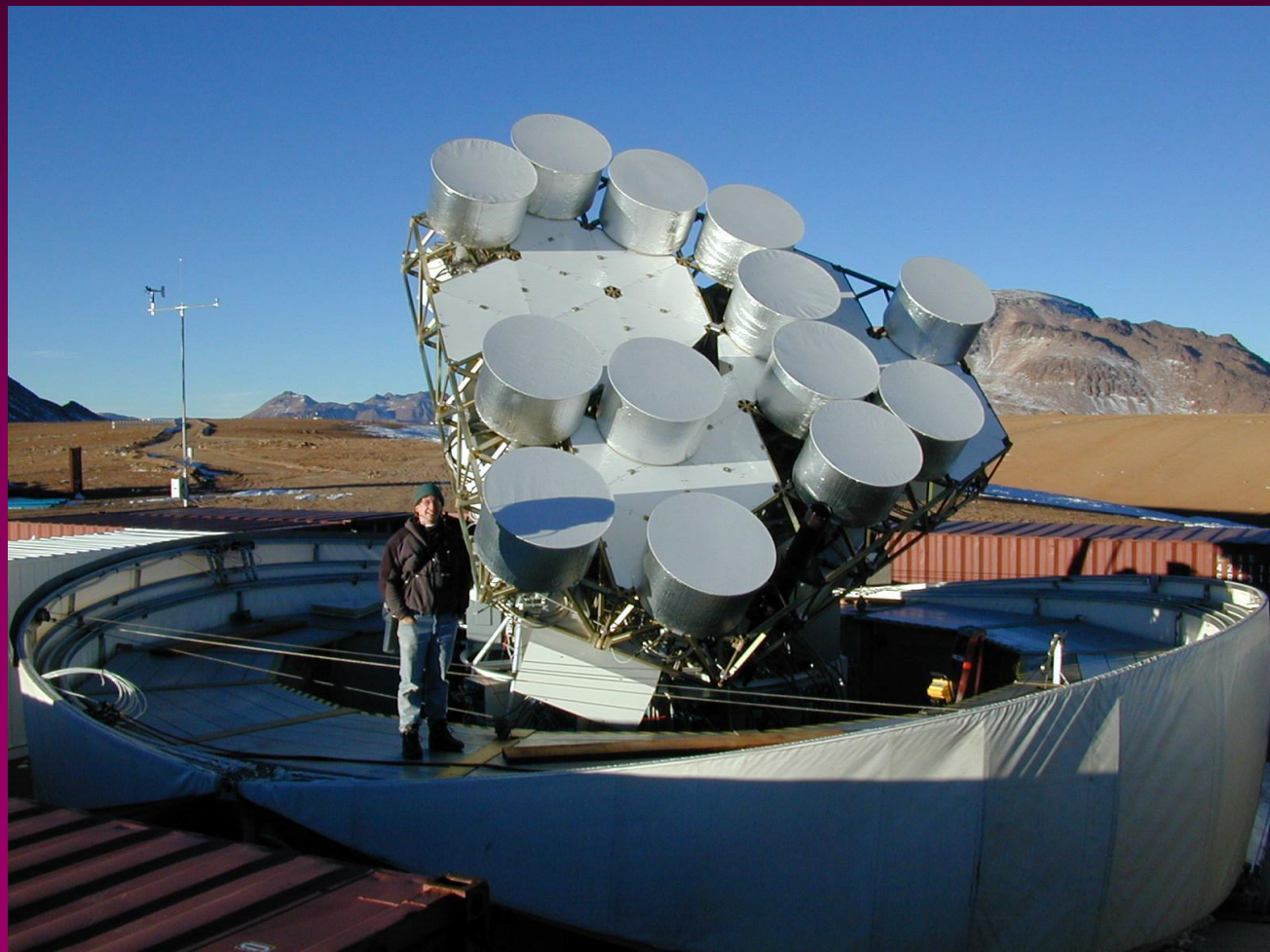
2001 30.Juni: Start

Zweck: Beobachtung der CMBR

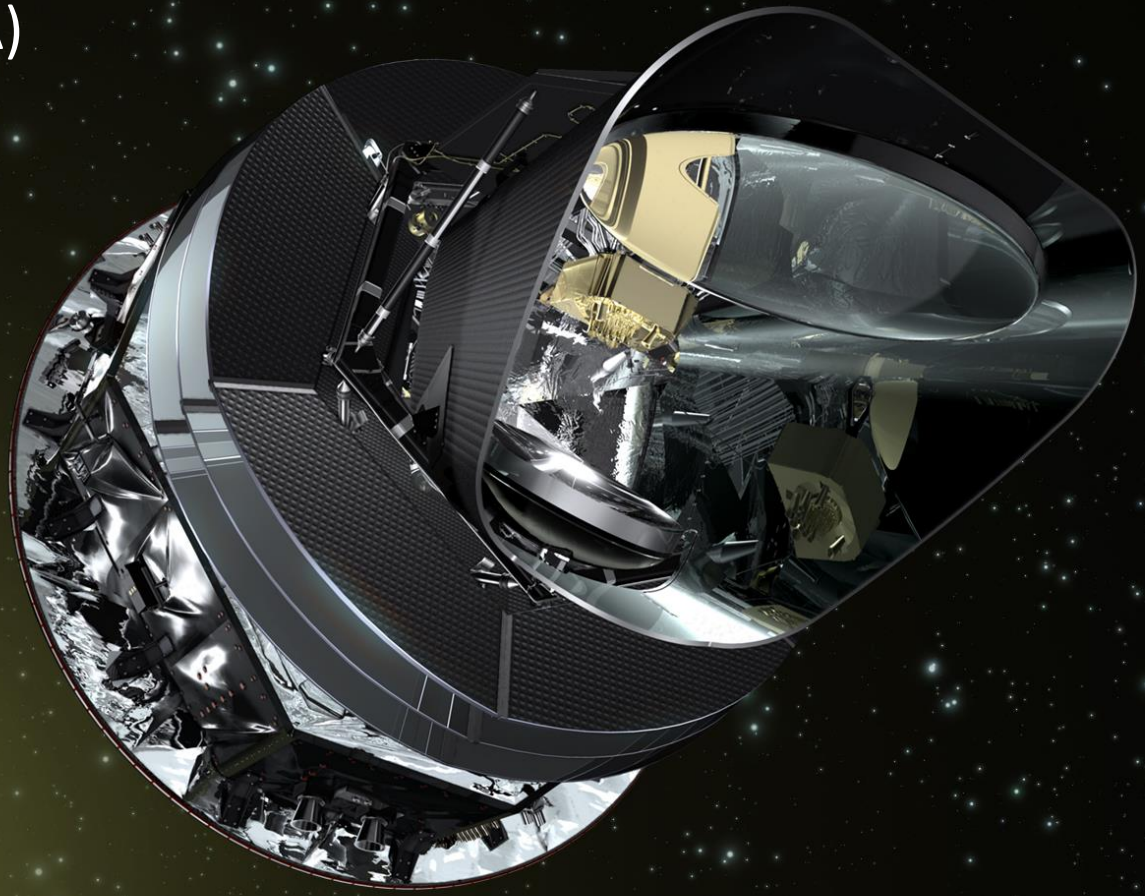


CBI (Cosmic Background Imager)

13 Radioantennen als Interferometer
(Atacama Wüste, 5000 m hoch; N-Chile)



PLANCK (ESA; NASA)

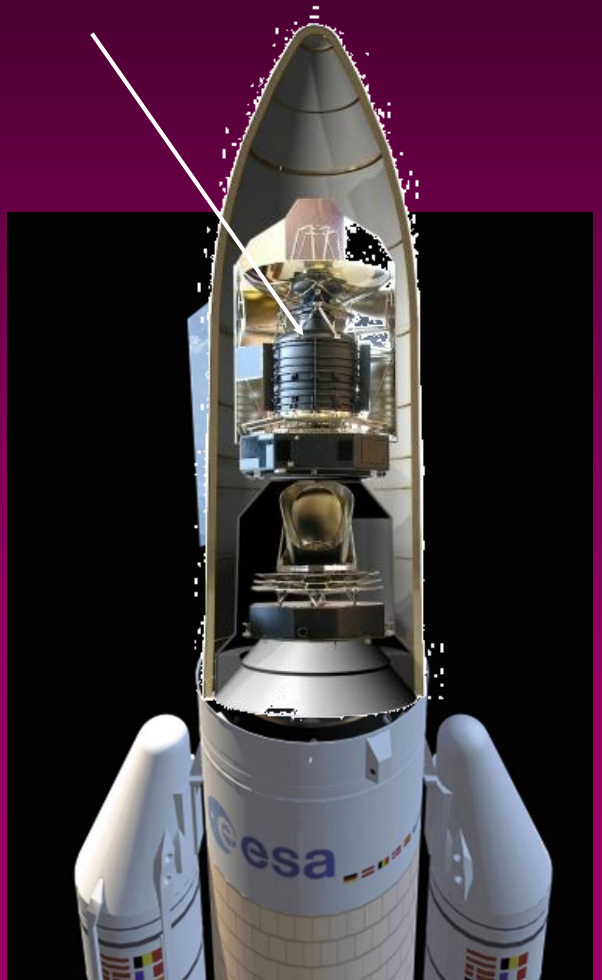


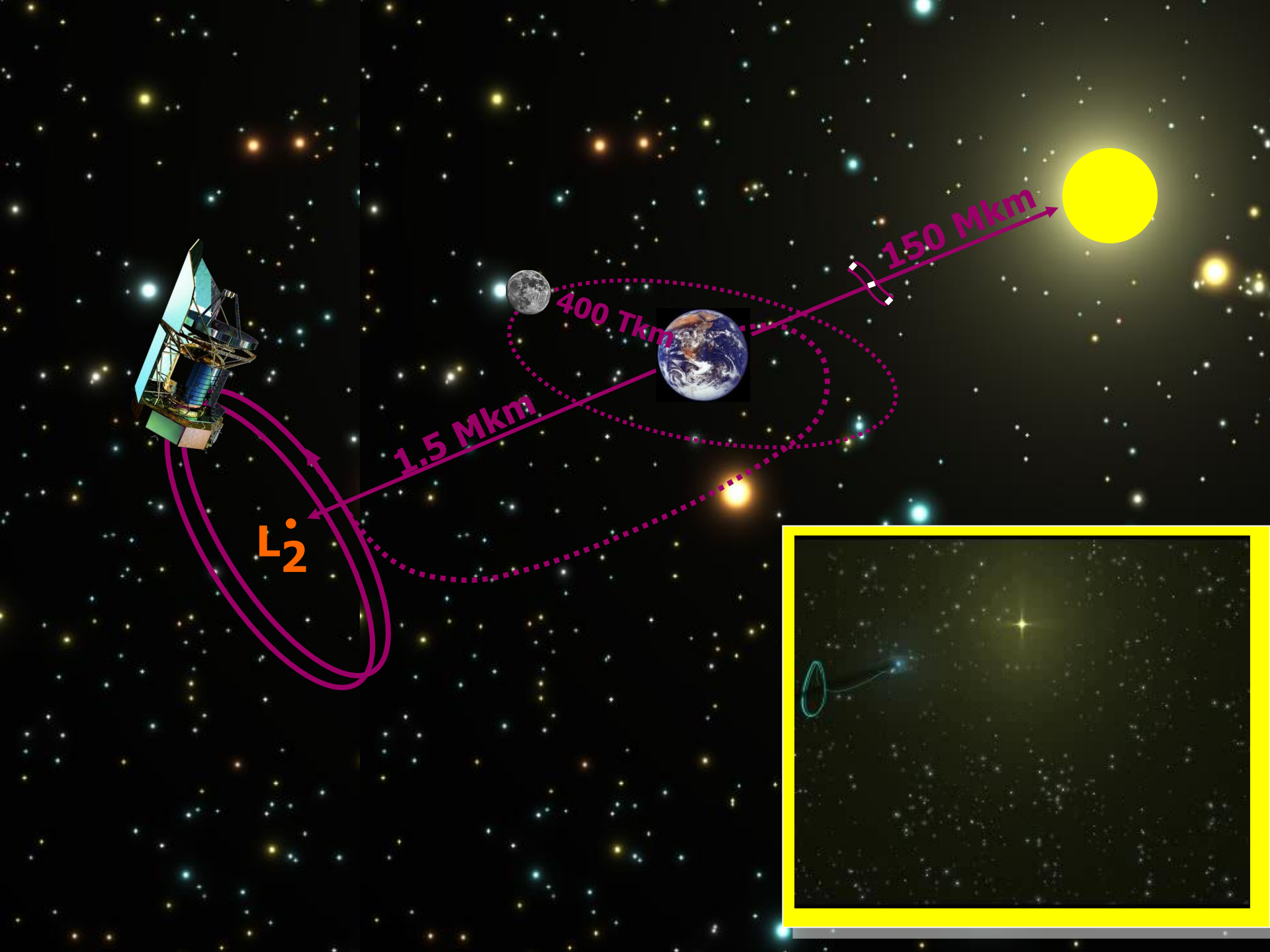
genauere Vermessung der CMBR

Starttermin:

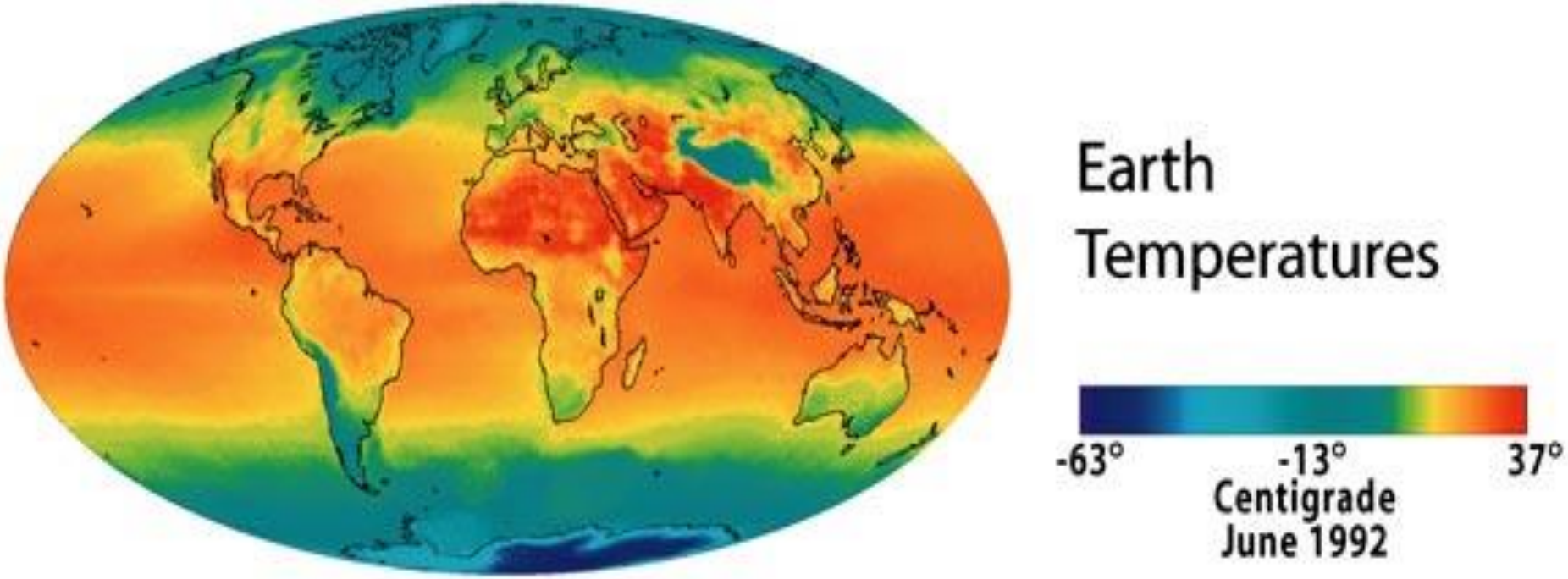
12. April 2009

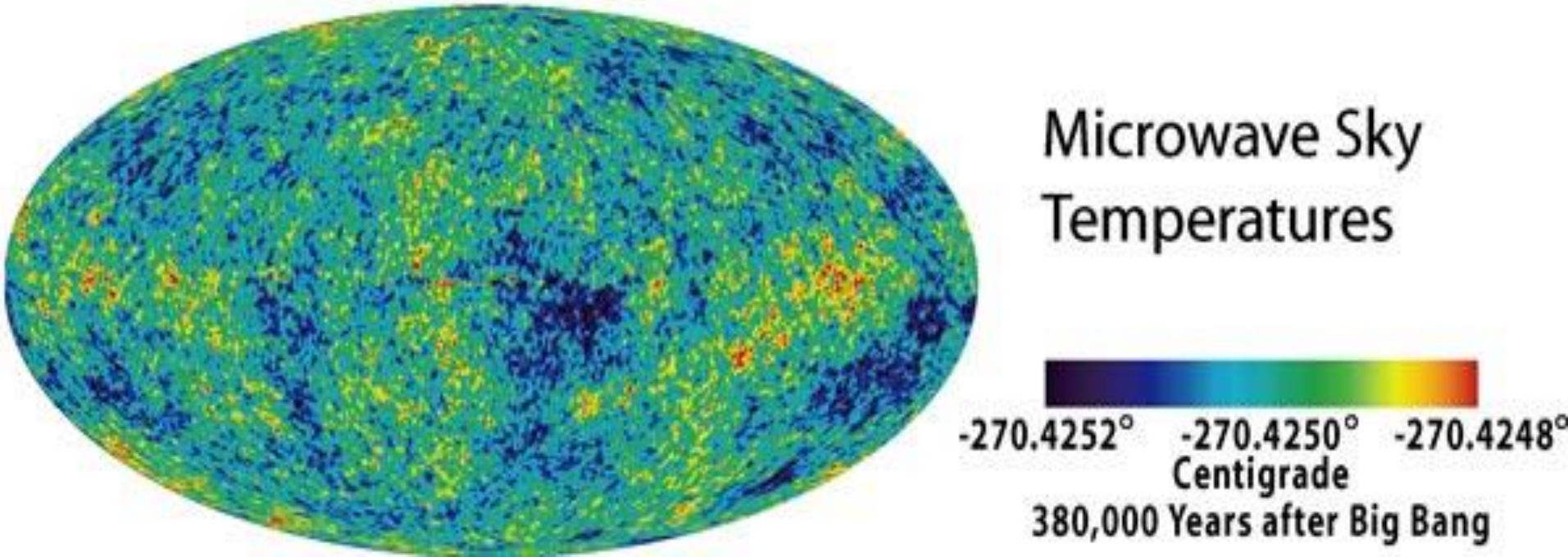
zusammen mit Herschel

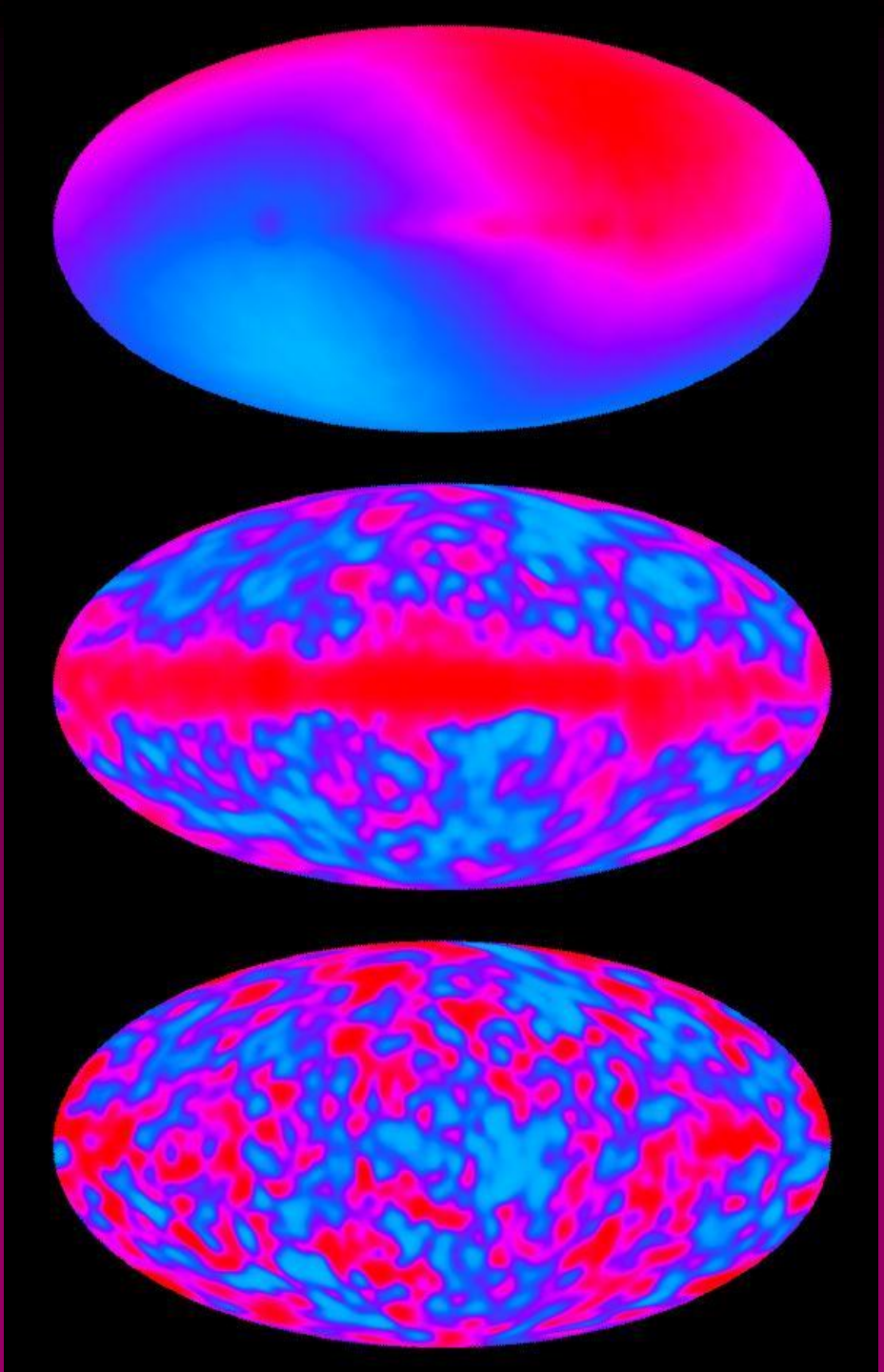


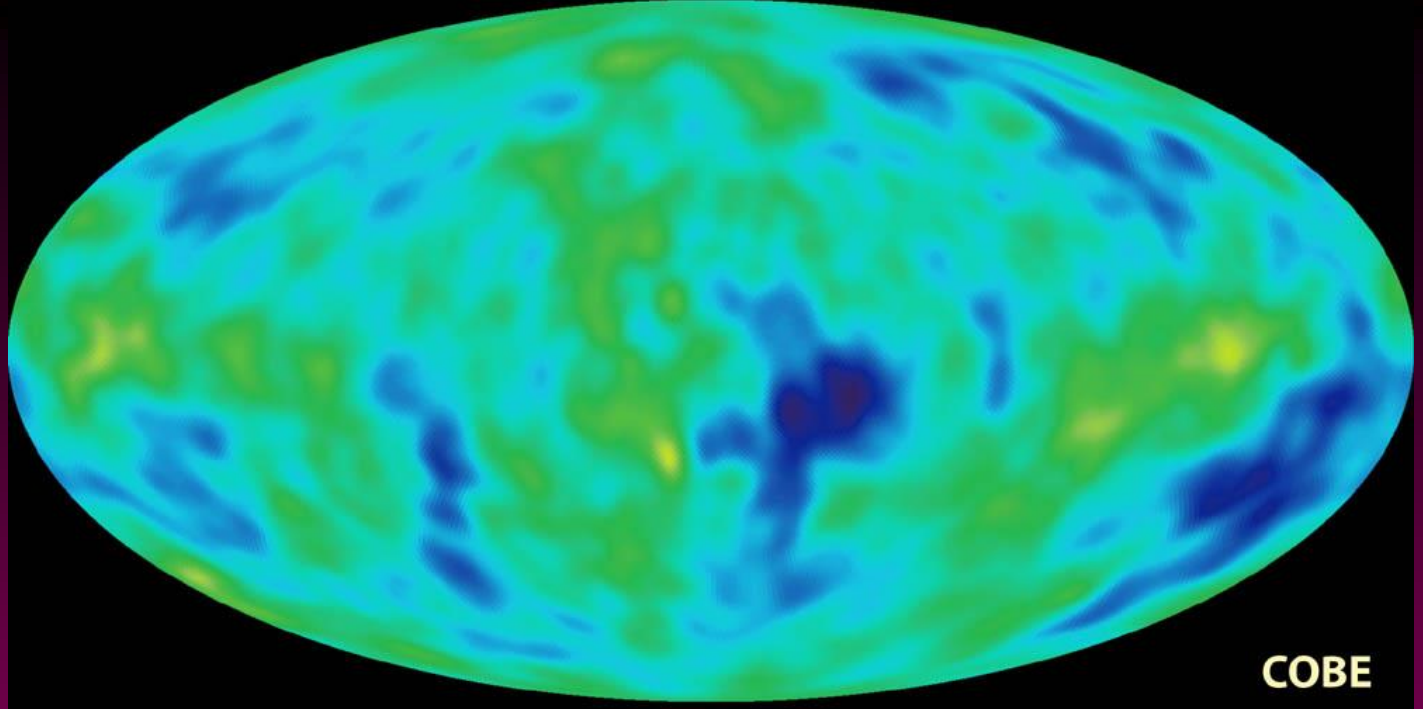

150 Mkm
400 Tkm
1.5 Mkm
L2

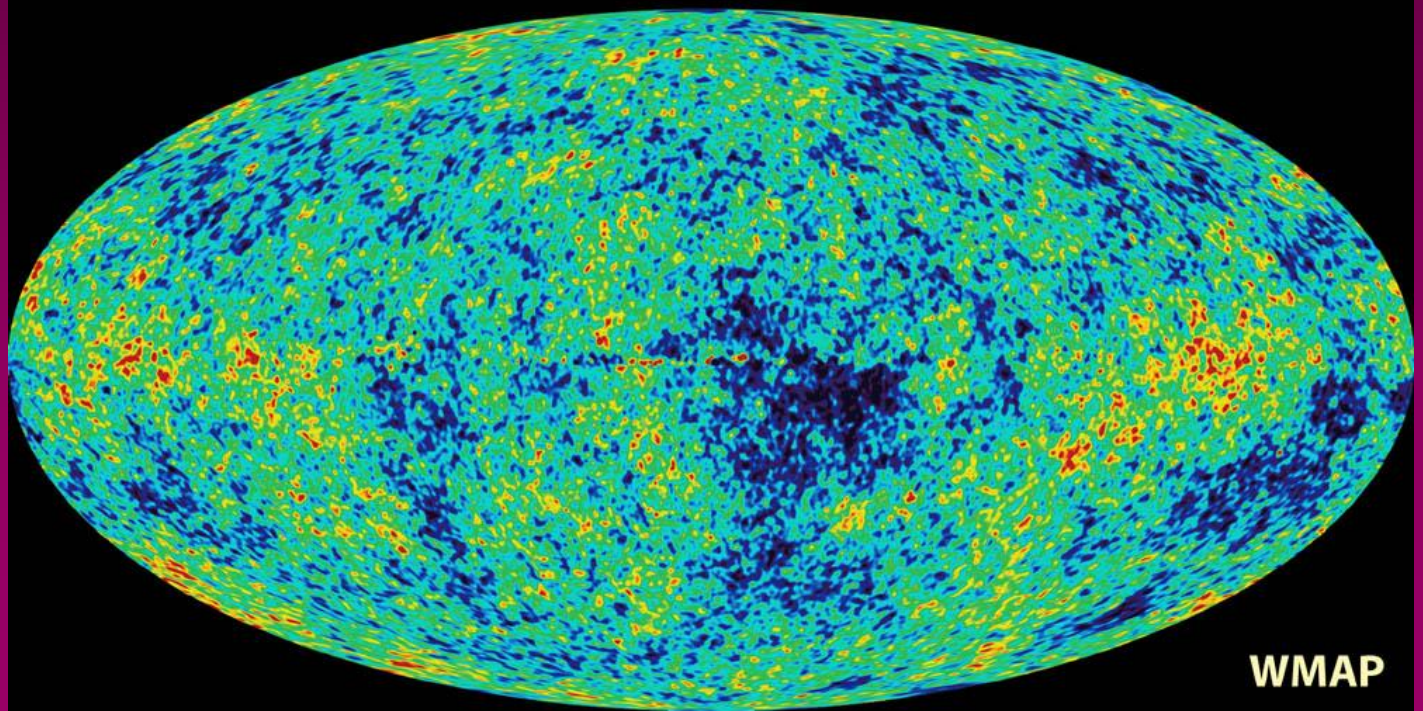
Mikrowellenastronomie: was sieht man?


Earth
Temperatures
-63°
-13°
37°
Centigrade
June 1992


Microwave Sky
Temperatures
-270.4252°
-270.4250°
-270.4248°
Centigrade
380,000 Years after Big Bang




COBE

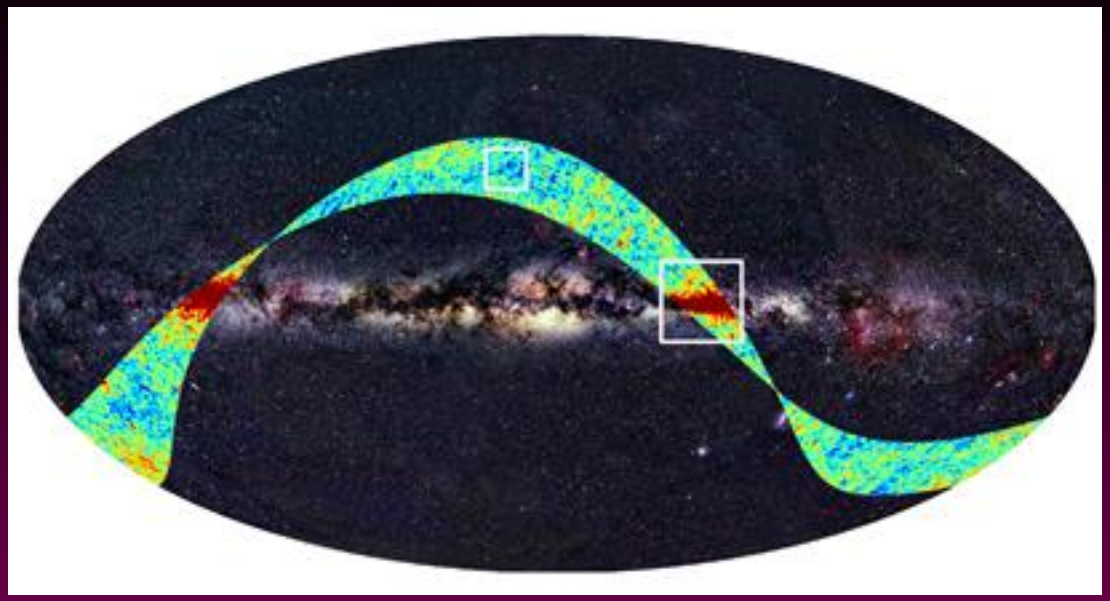

WMAP

Aus Daten der kosmischen Hintergrundstrahlung

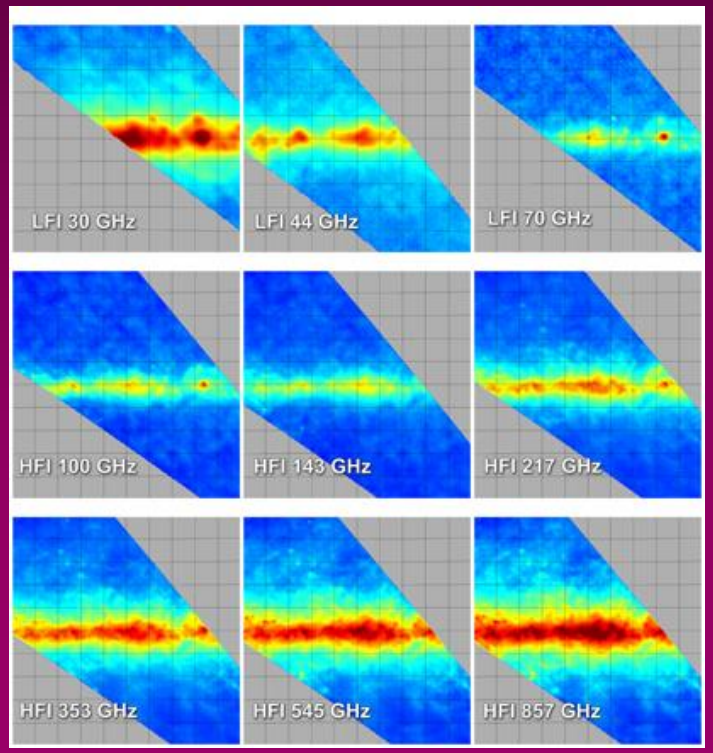
Weltalter 13,7 Milliarden Jahre

4% leuchtende Materie
23% dunkle Materie
73% Vakuumenergie

erste Sterne bereits 200 Millionen Jahre nach dem Urknall



PLANCK:
erste Beobachtungen



4. Infrarot-Astronomie

Wilhelm Herschel entdeckt das Infrarot (1800)

http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_experiment.html

SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy)

NASA + DLR (2,5 m Spiegel)
ab 2009

IRAS (Infrared astronomical satellite)

gestartet: 1983

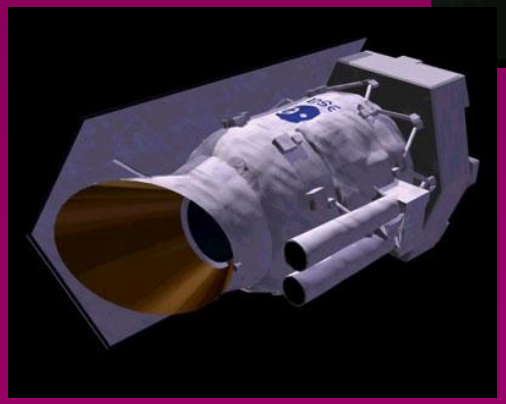
57-cm Teleskop

gemessen in 4 Bändern zwischen 12 und 100 mu-m

Kühlung durch flüssiges Helium

ca 250 000 IR Punktquellen entdeckt (ferne Galaxien)

ISO (ESA)
Start 1995



Spitzer Telescope (USA) Start: August 2003

0,85m Spiegel & 3 gekühlte Meßinstrumente

Herschel

- **Zentrale ESA-Mission ("Cornerstone Observatory")**

- **Observatorium im All zur astronomischen Forschung im Infraroten (57 - 670 μm)**
  - 3.5 m Teleskop (größtes Weltraumteleskop aller Zeiten)
  - 3 wissenschaftliche Instrumente (HIFI, PACS und SPIRE)
  - 3 Jahre Beobachtungsbetrieb

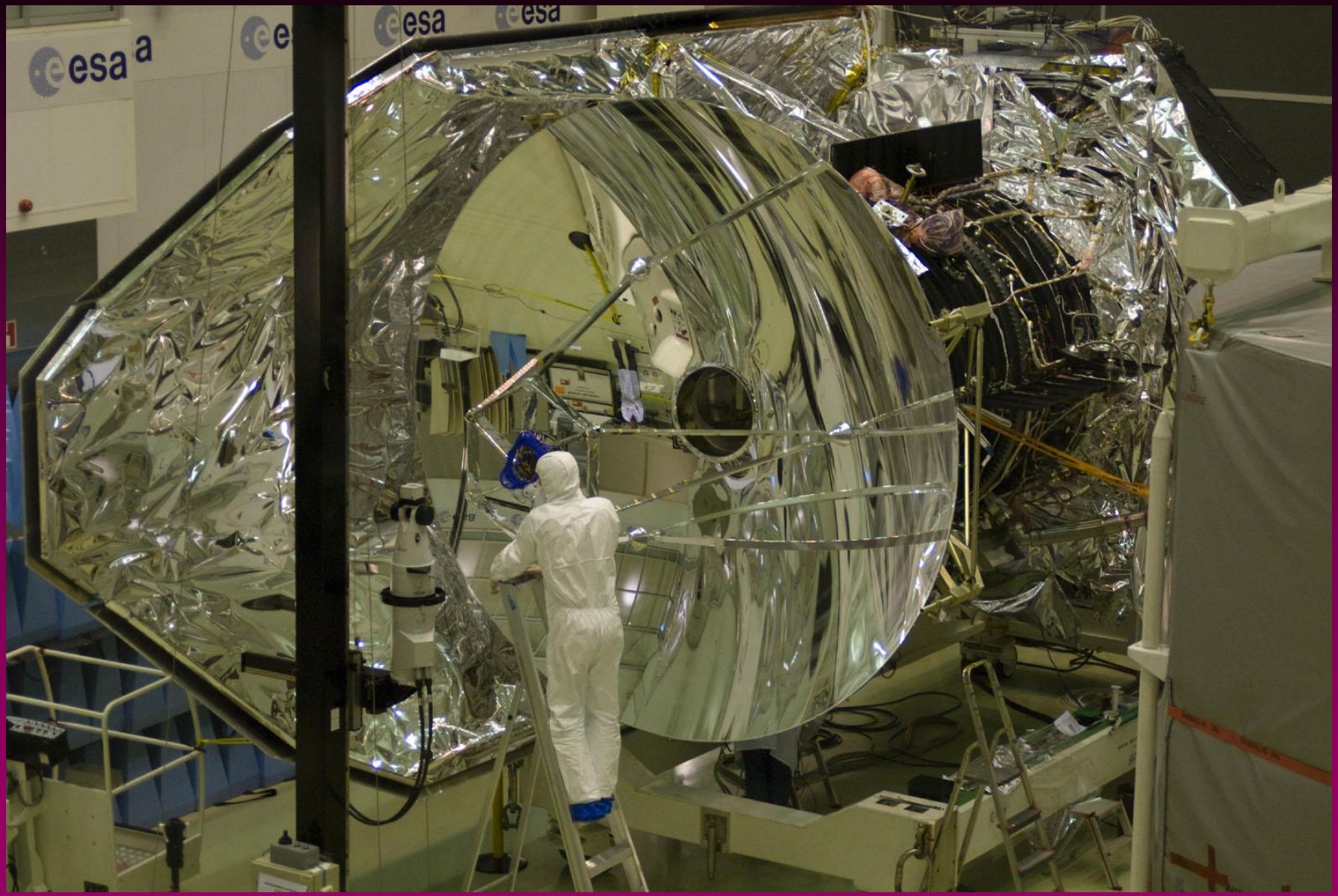
Herschels 3 Messinstrumente

• **PACS** ist eine Spektrometer (niedriger bis m ler Auflösung) für den Wel

• **SPIRE** ergänzt PACS Spektrometer im Wellenlängenbereich 194-672 µm.

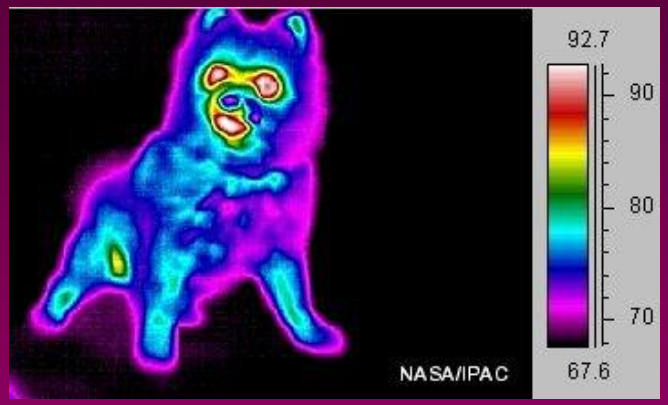
• **HIFI** ist ein Heterodyn-Spektrograph sehr hoher spektraler Auflösung für Frequenzen zwischen 490 - 1250 GHz und 1410 - 1910 GHz (625-236 µm und 213-157 µm).

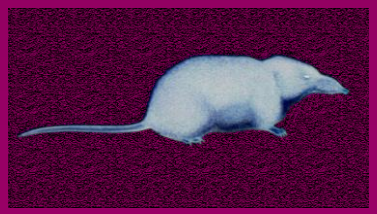
→ *http://herschel.esac.esa.int/science_instruments.shtml*


esa
esa
esa

Infrarotastronomie: was sieht man ?

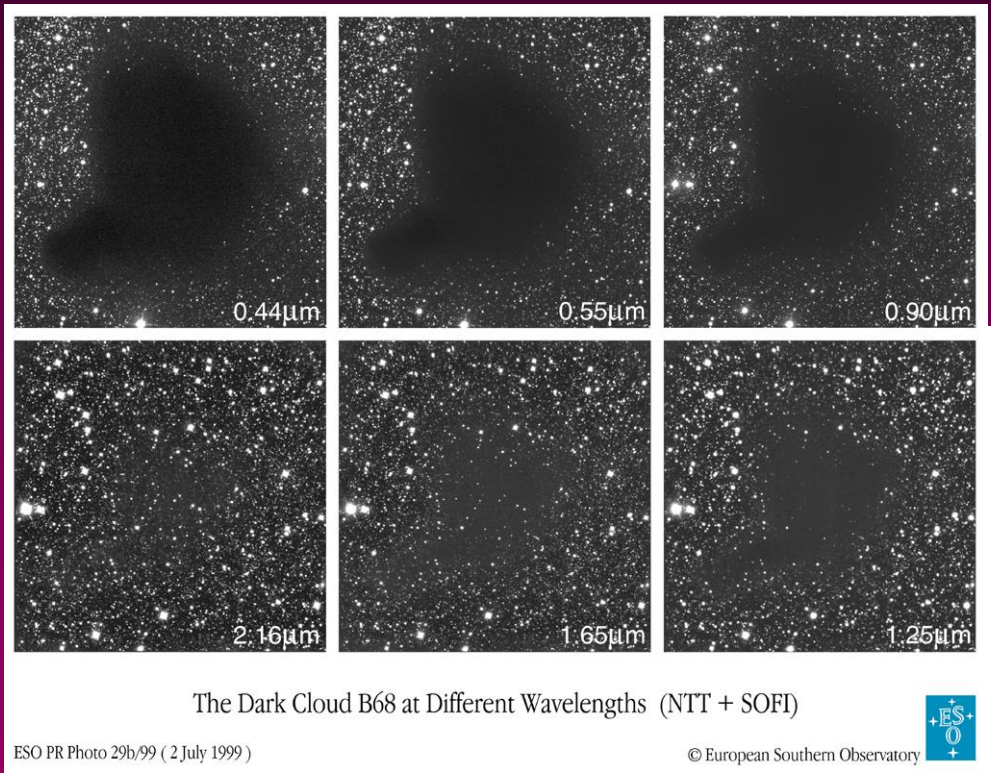
- kühlere Gebiete

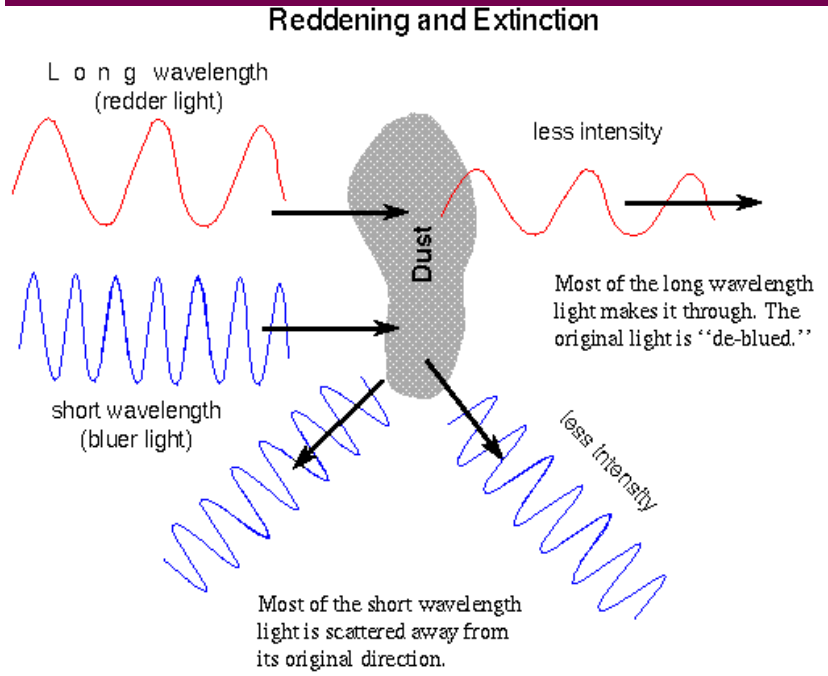




Infrarotastronomie: was sieht man ?

- hinter dunkle Wolken





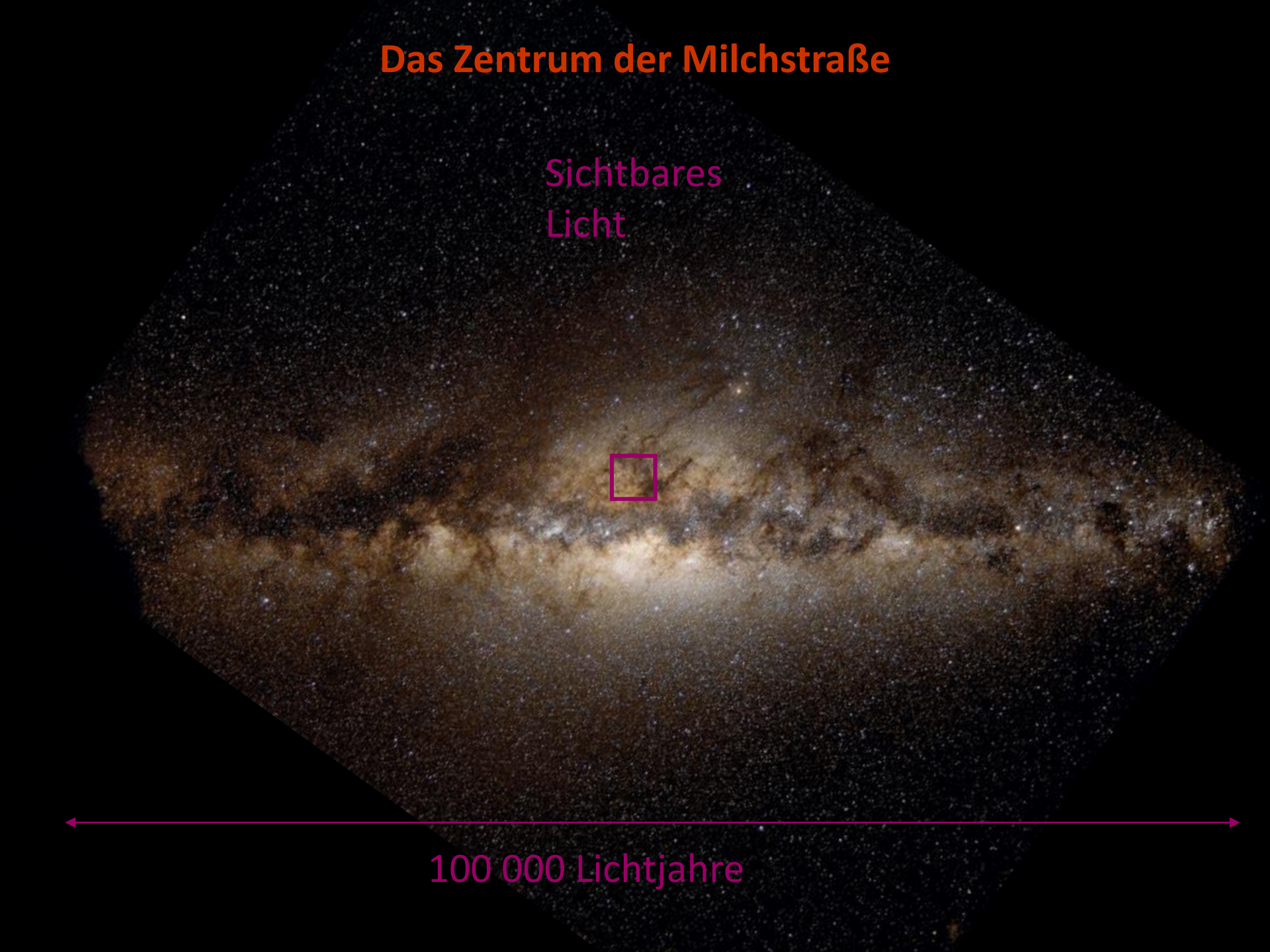
Infraroastronomie: was sieht man?

- Objekte des Sonnensystems
- Gebiete der Sternentstehung (Molekülwolken)
- unser galaktisches Zentrum
- Galaxien im frühen Universum

Film: M82 vom Optischen ins Infrarote

http://www.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2006-09/release.shtml

Das Zentrum der Milchstraße



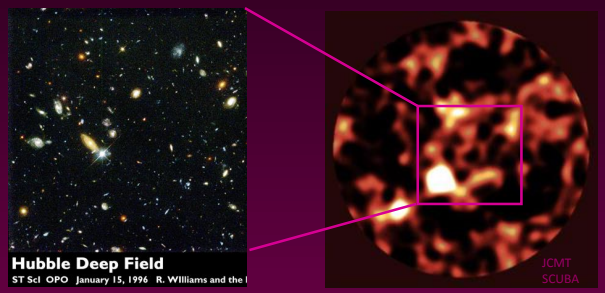
Infrarotes Licht
1000 Lichtjahre

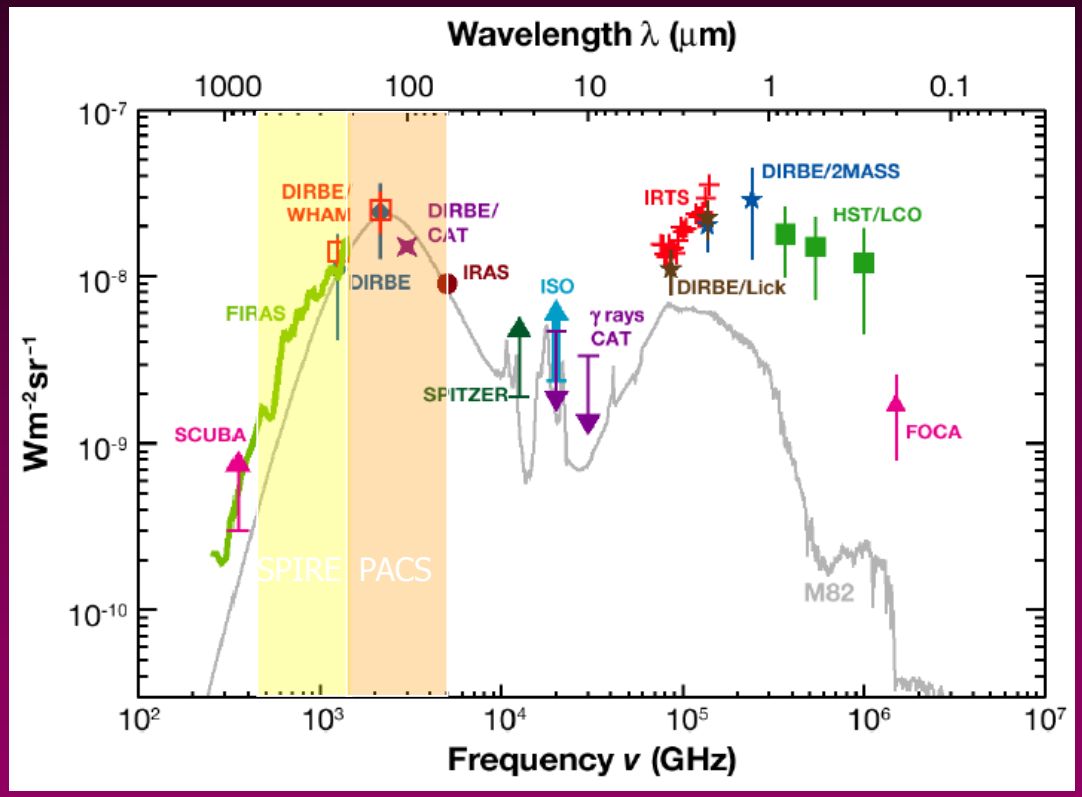
3 Lichtjahre

zentrales schwarzes Loch in unserer Milchstrasse

M ~ 4 Millionen Sonnemassen

Herschels Forschungssziele

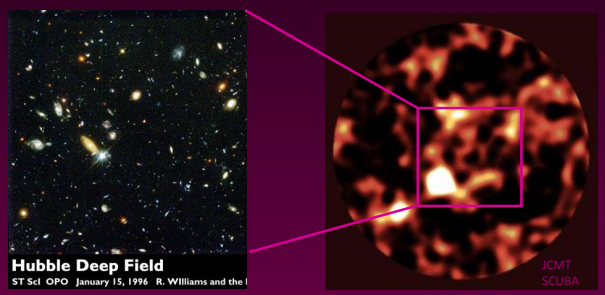


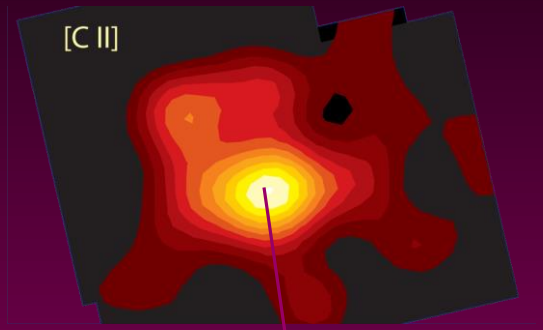


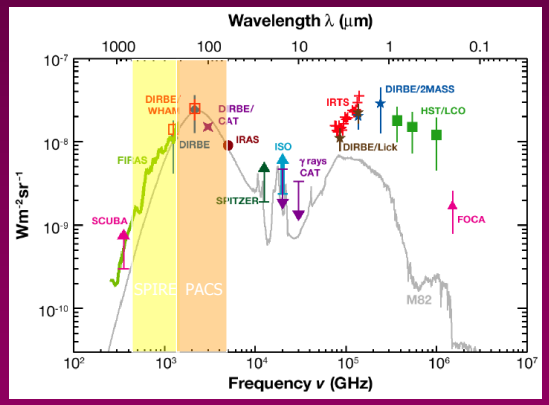
Lagache et al. 2005 ARAA

Auflösung des kosmischen Infrarot-Hintergrunds in einzelne Quellen: Photometrie und Spektroskopie des Höhepunktes der Galaxienentstehung.

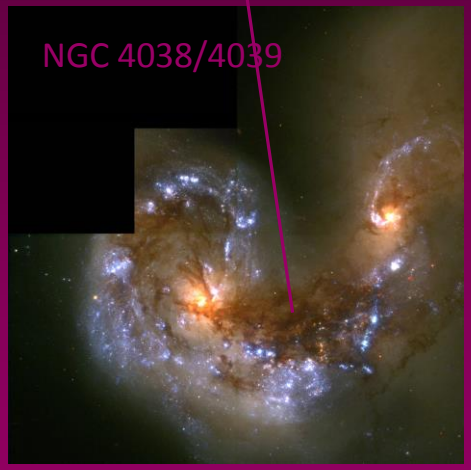
Herschels Forschungssziele







Lagache et al. 2005 ARAA



Auflösung des kosmischen Infrarot-Hintergrunds in einzelne Quellen: Photometrie und Spektroskopie des Höhepunktes der Galaxienentstehung.

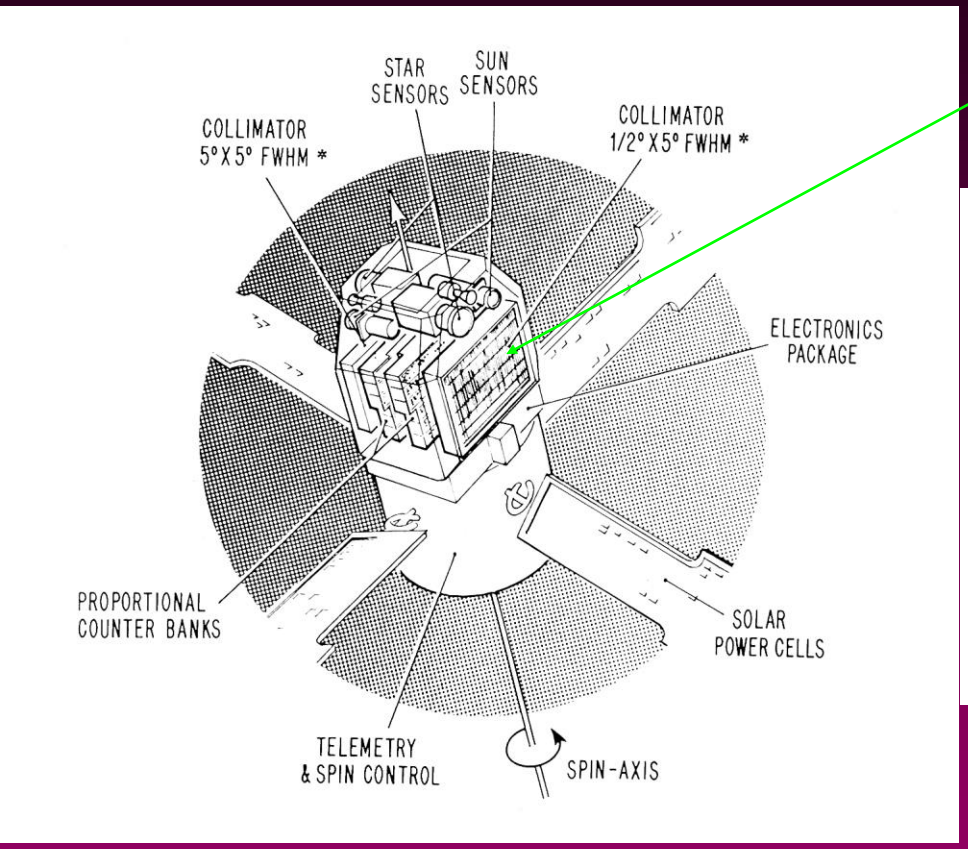
Sternentstehung unter verschiedenen Bedingungen in unterschiedlichen Galaxientypen: räumlich aufgelöste photometrische und spektroskopische Abbildung.

Bildung von Sternen und Planetensystemen in der Milchstraße und der Ursprung der stellaren Massenverteilung: Photometrie und Spektroskopie.

5. Röntgenastronomie

Der erste Röntgen-Satellit UHURU (1970 – 1973)

Giacconi et al. (1971)



Fussabtreter-Blech

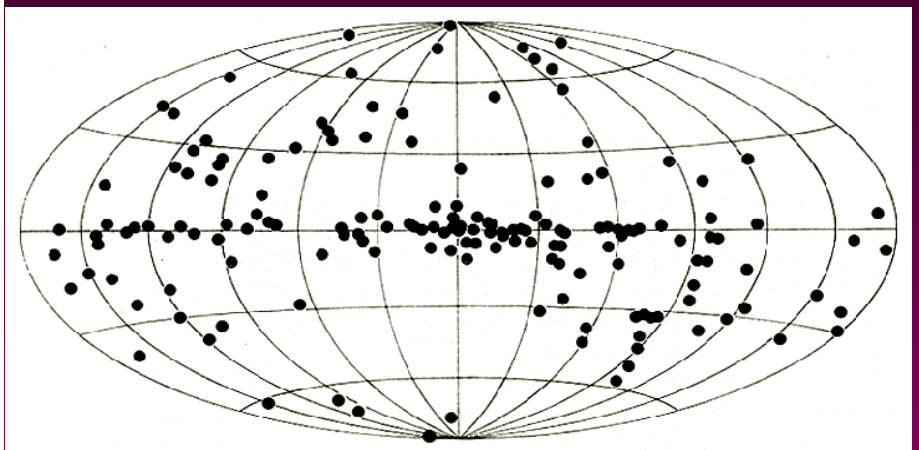
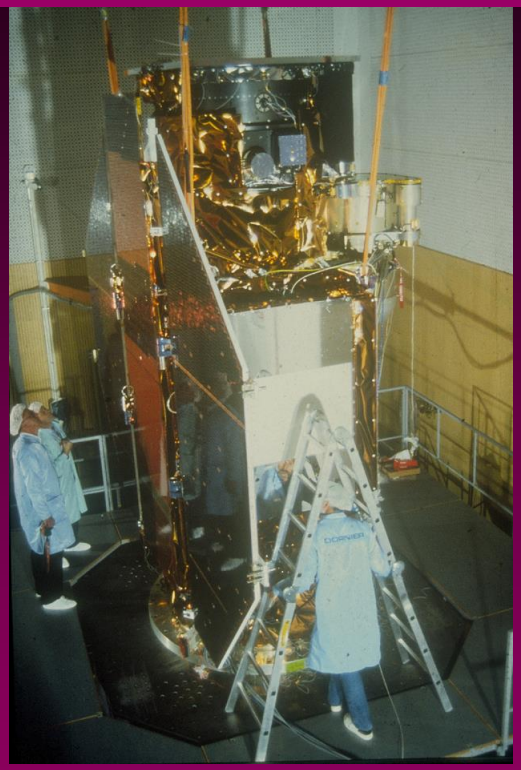


Fig. 1. The 161 sources seen by Uhuru. The map is an equal area projection in galactic coordinates.

Rotierender Satellit
Kollimierte Proportionalzähler

Erster Uhuru-Katalog: 161 Quellen
4U Katalog (1978): 339 Quellen
Röntgendoppelsterne

Die erste Himmelsdurchmusterung mit einem Röntgen-Teleskop: ROSAT 1990 - 1999

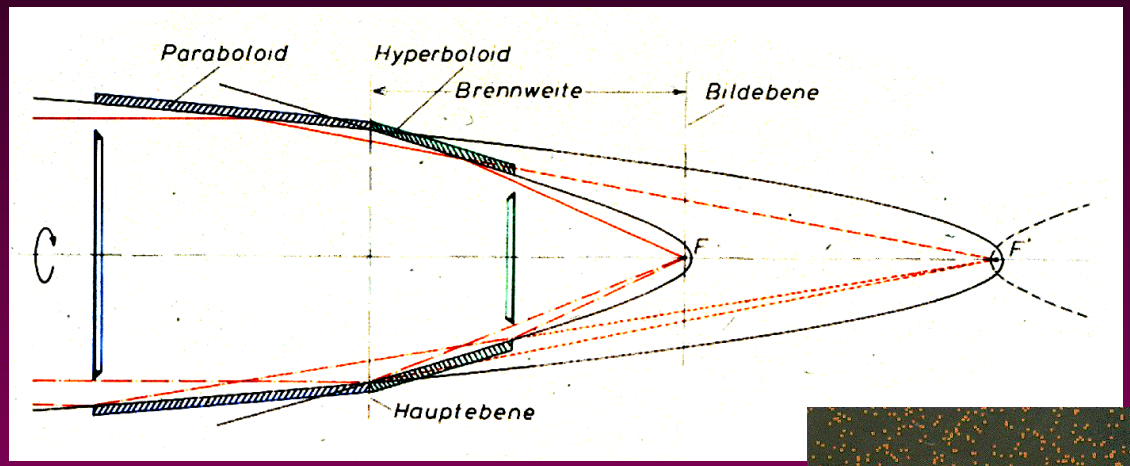


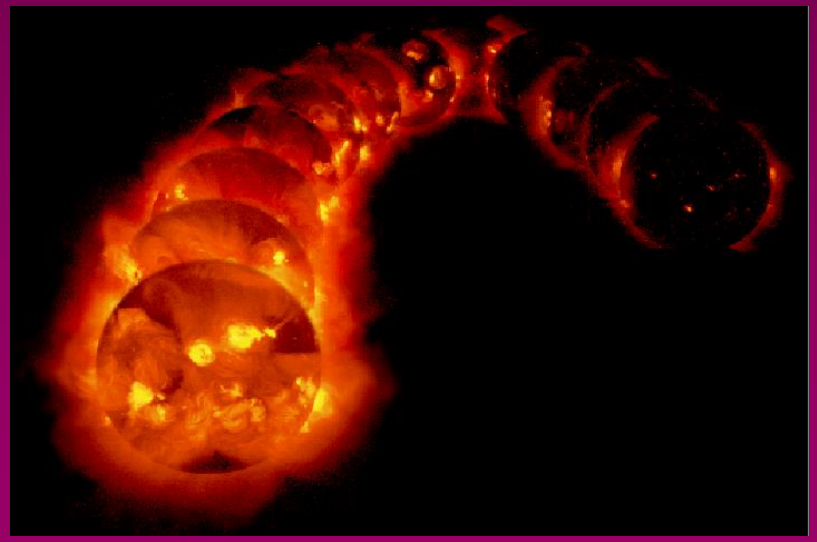
6 Monate Durchmusterung ~ 120.000 Sources

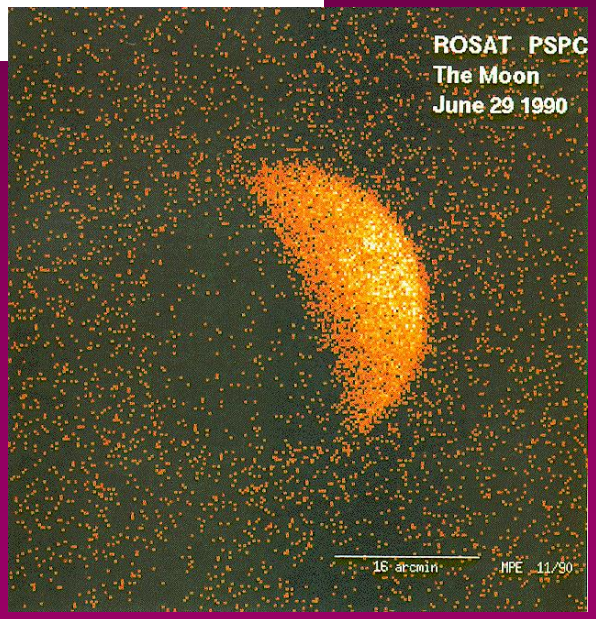
(UHURU: 339 Quellen, HEAO-1: 840 Quellen)

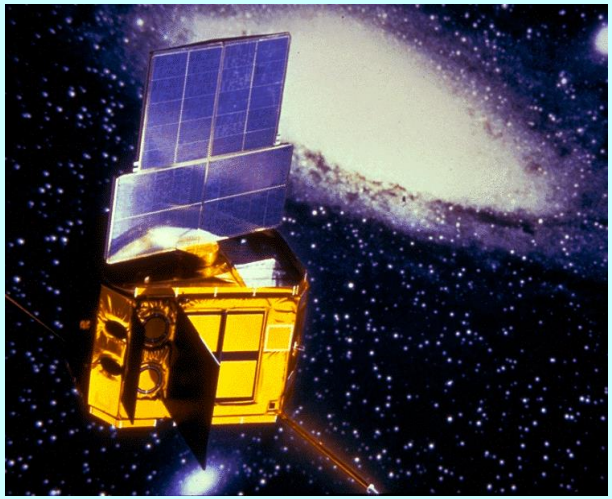
Röntgenteleskope

Hans Wolter, Kiel 1951: “ Spiegelsysteme Streifenden Einfalls als Abbildende Optiken für Röntgenstrahlen “



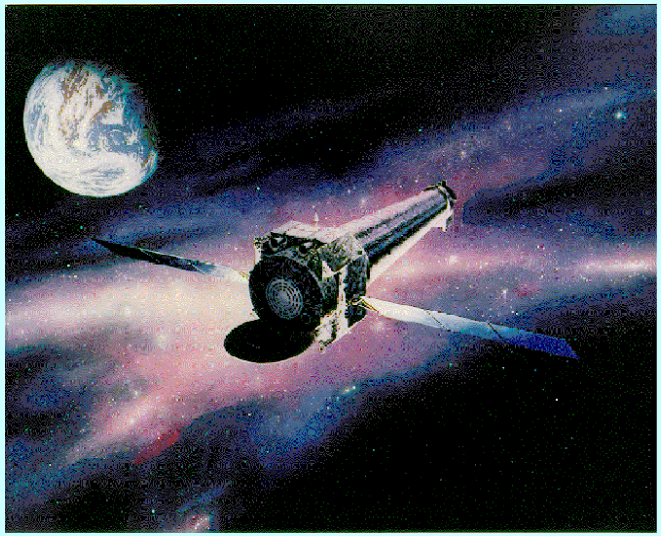




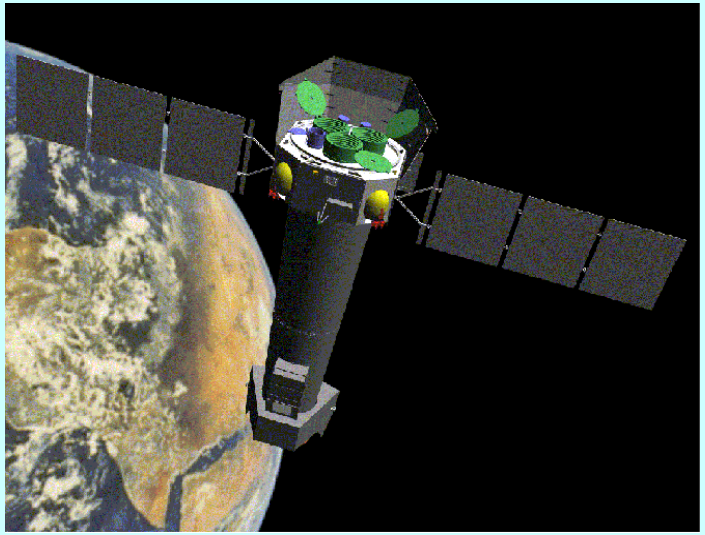


EXOSAT (ESA) 1983 - 1986
0.1 - 40 keV, 10 Bogensekunden
Lange Beobachtungszeiten!

ROSAT (G, UK, USA) 1990 - 1999
0.1 - 2.5 keV, 4 Bogensekunden
Durchmusterung und Pointierungen
200 000 Quellen!



Chandra (NASA) 1999 -
0.5 – 5 keV, 0.5 Bogensekunden!
Hochauflösende Spektroskopie



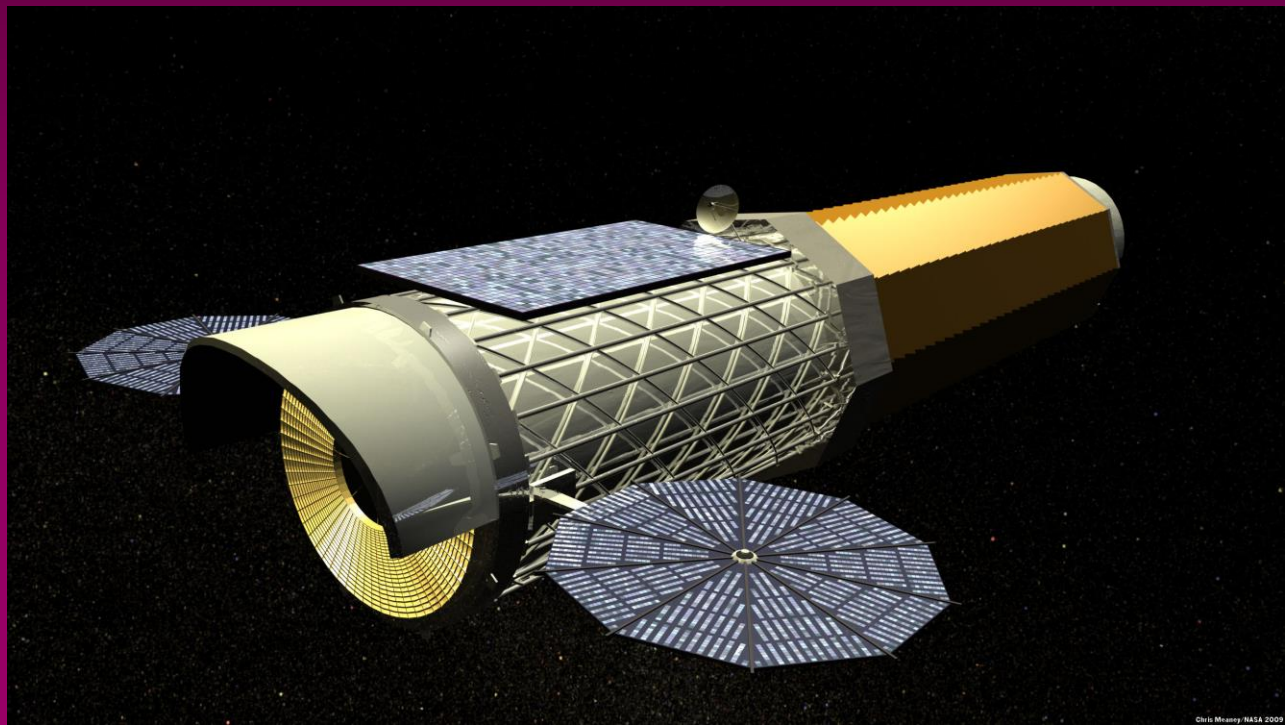
XMM - Newton (ESA) 1999 -
0.2 – 20 keV, 15 Bogensekunden
Große Sammelfläche!
Hochauflösende Spektroskopie

Suzaku:

Start 2005
(Japan, USA)

IXO
Intern. X-ray
Observatory

(NASA, 2021)



Röntgenastronomie:

was sieht man?

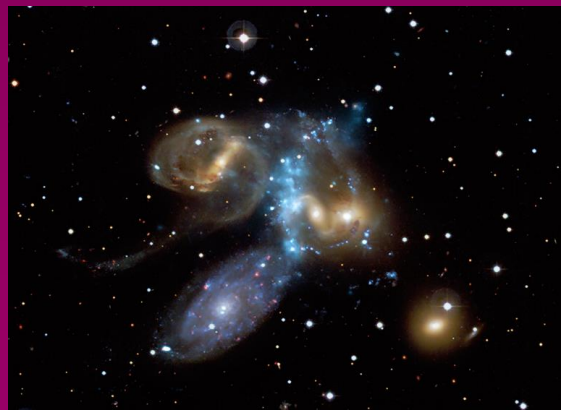
Sonne

Supernovae
(SN1006)

Schockwellenheizung

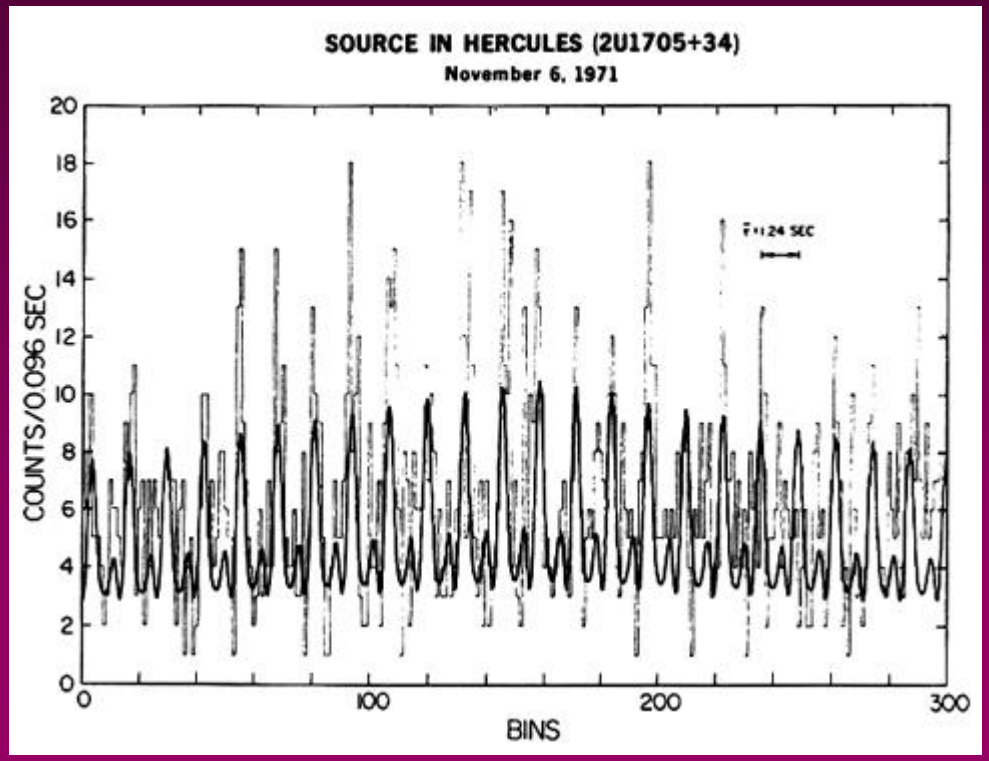
galaktisches Zentrum

Galaxien
und
G-Haufen

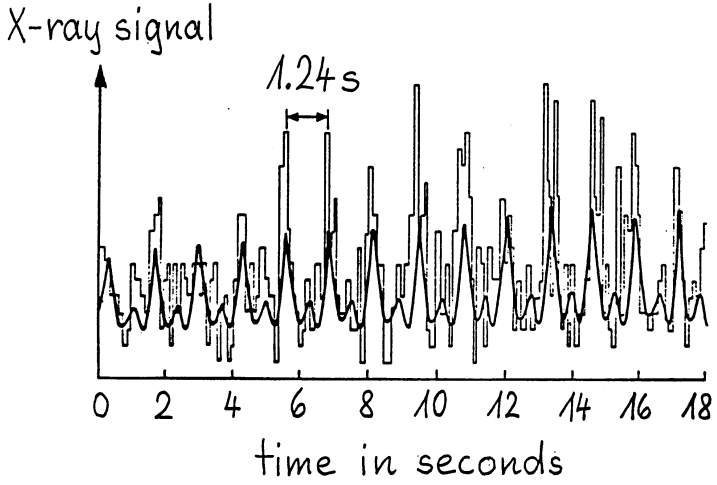


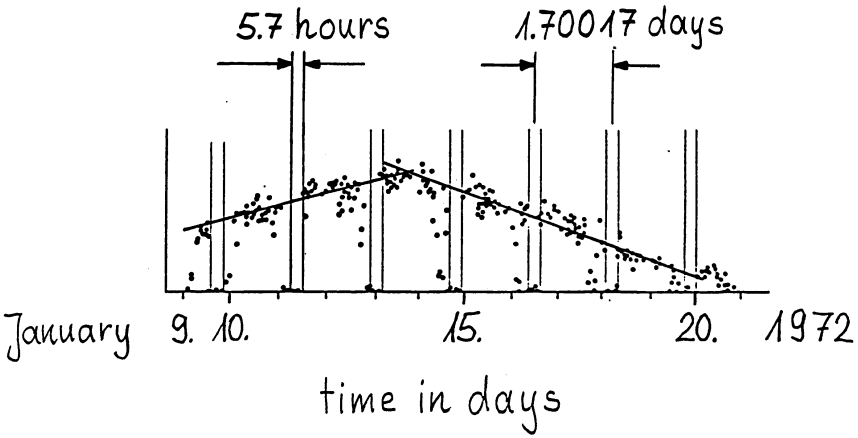
Röntgenpulsare

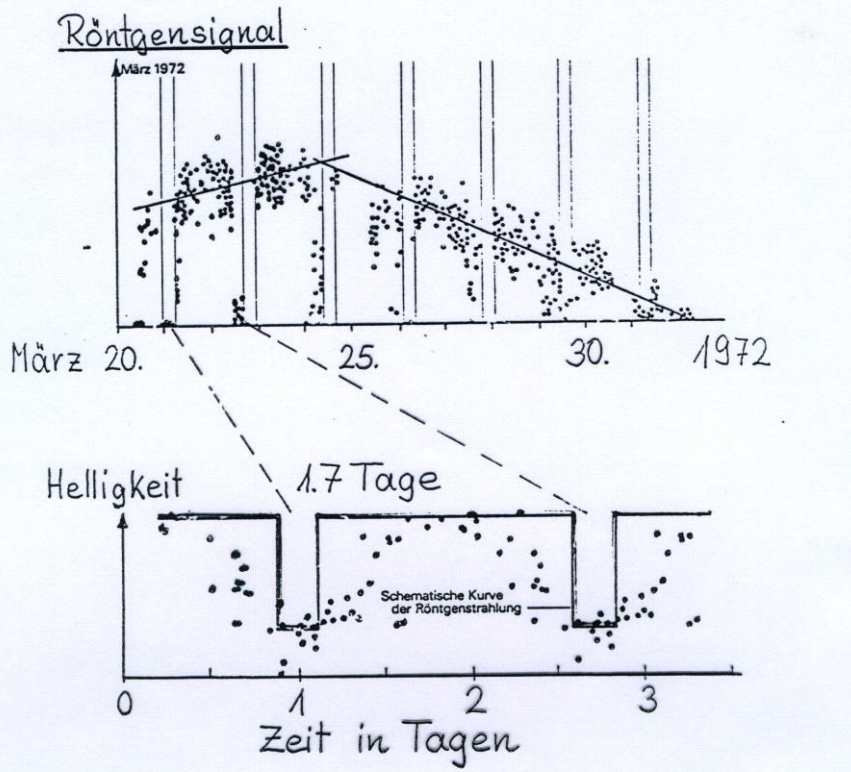
Beispiel: Her X-1

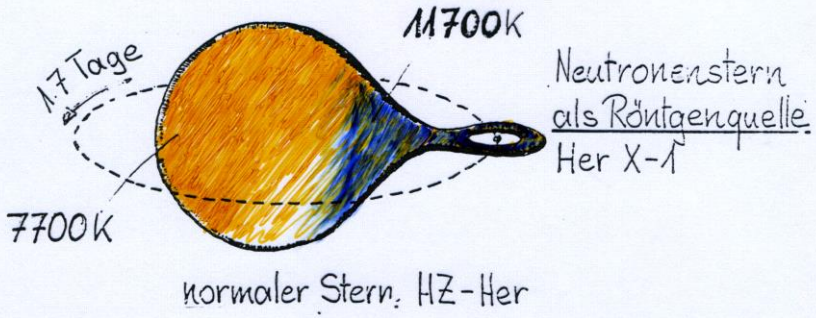


X-ray pulsar Hercules X-1
(detected by the UHURU satellite in 1971)





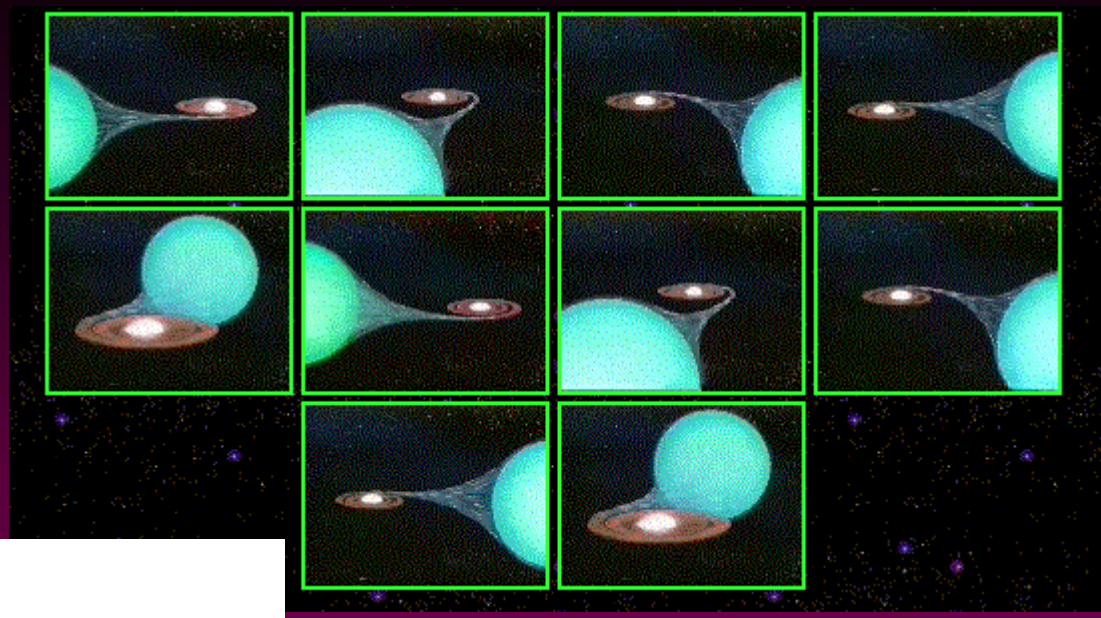


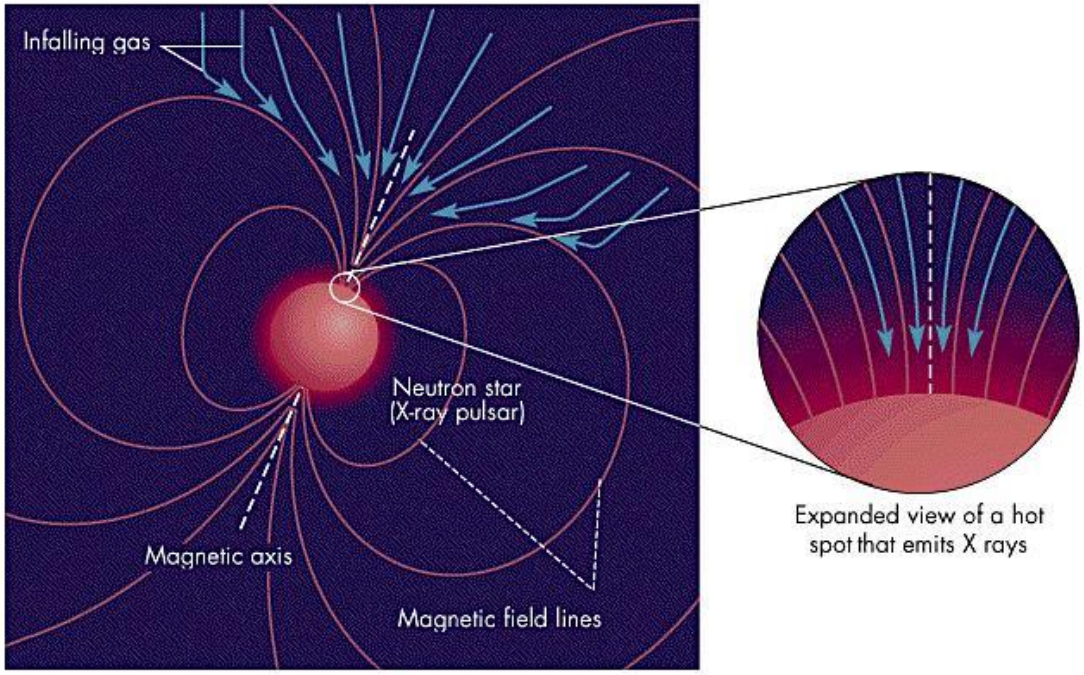


Neutronenstern
als Röntgenquelle
Her X-1

Röntgen-Pulsare

Beispiel Her X-1

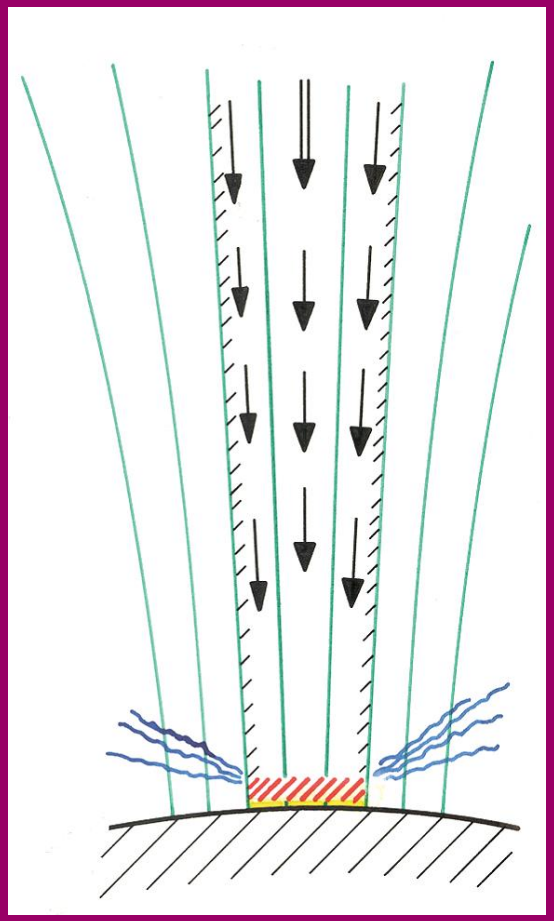




Pro Sekunde fallen 100 Milliarden Tonnen Material mit 0.4 c auf einen Hot Spot

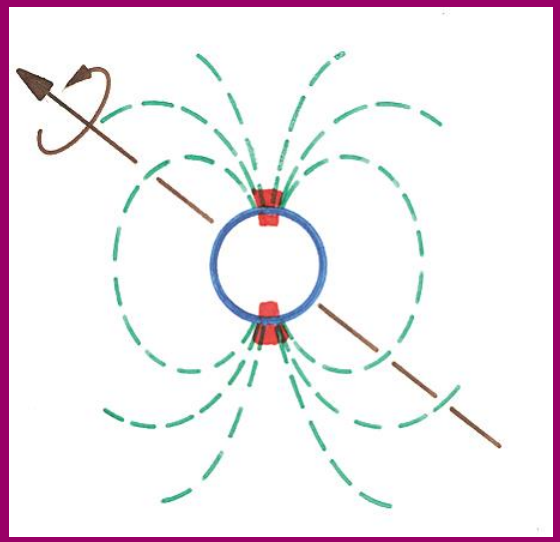
T: 200 Millionen Grad

Ein kosmischer „Wasserstoff – Fall“



dM/dt ~ 100 Milliarden Tonnen pro Sekunde
Im freien Fall mit 40%
der Lichtgeschwindigkeit

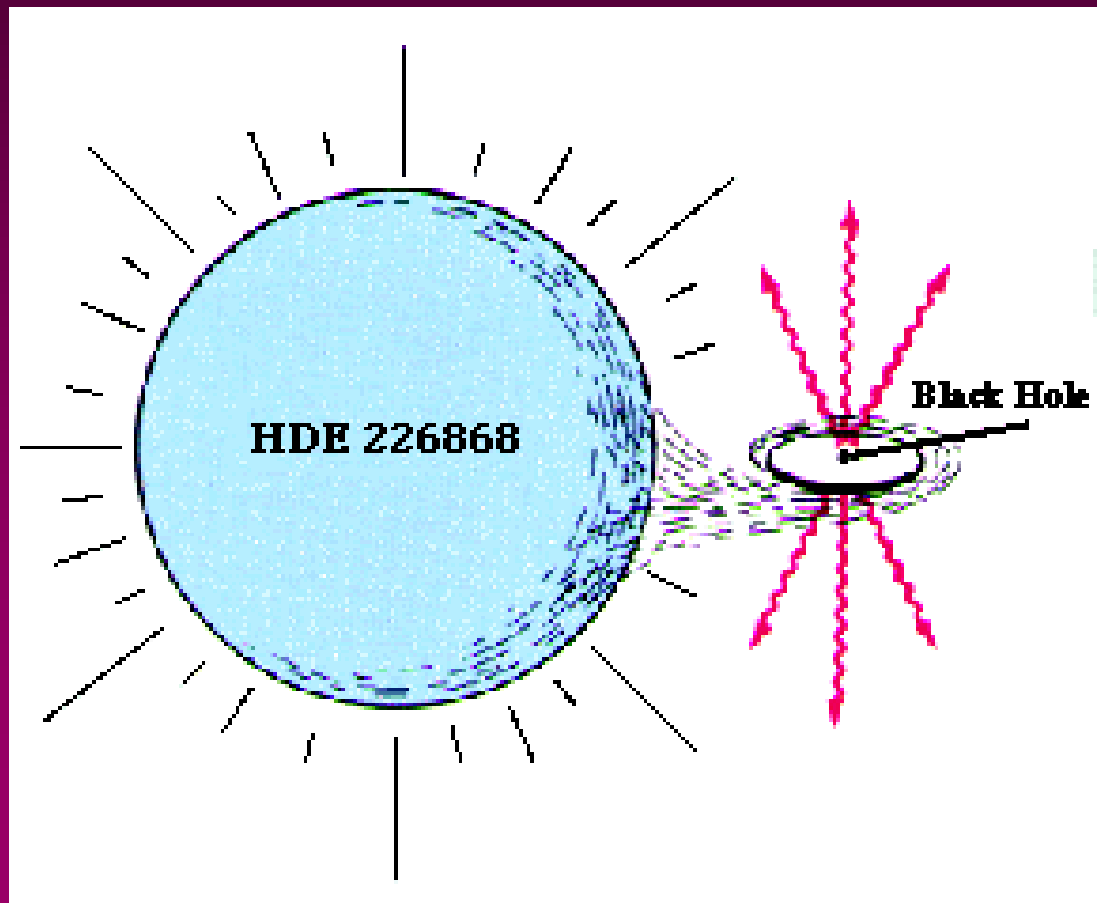
L_x ~ 10^{30} Watt
~ 5000 Sonnenleuchtkräfte
T ~ 200 Mio Grad
∅ ~ 1 km !

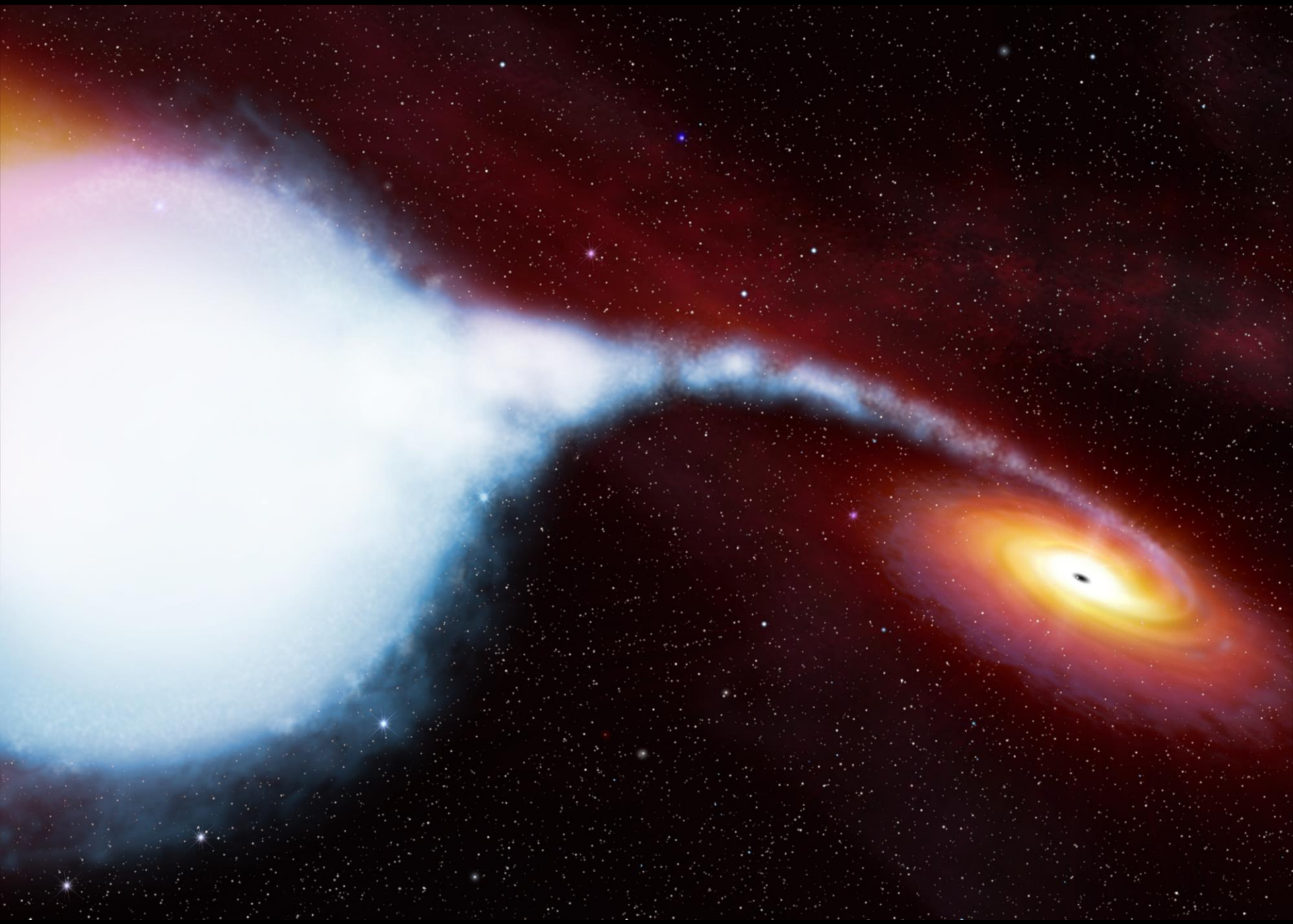


Magnetfeld
4×10^{12} Gauss

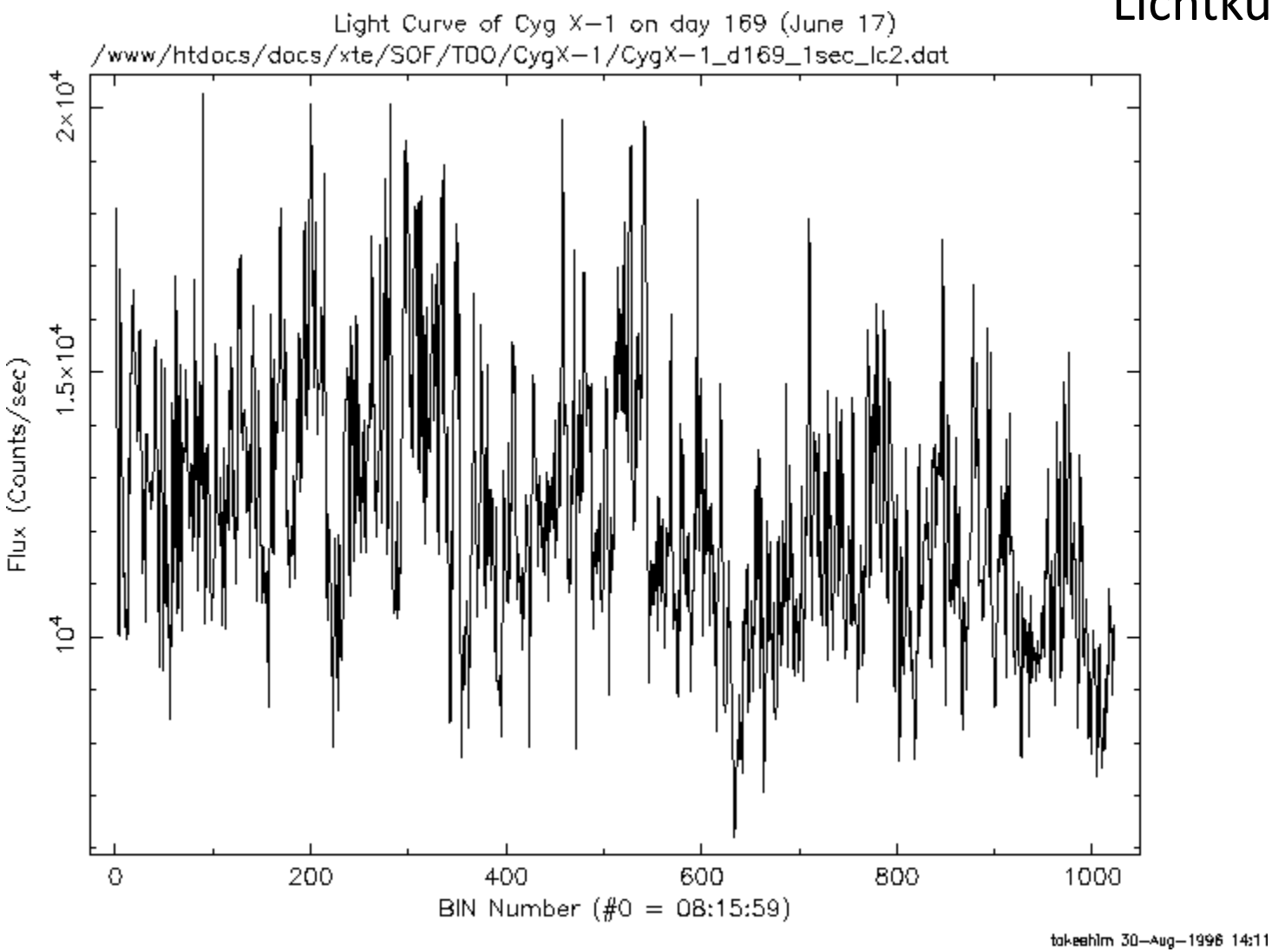
Cygnus X-1: entdeckt 1962 (UHURU)

X-Quelle im Doppelsternsystem mit einem blauweissen Riesenstern (HDE 226868);





Lichtkurve



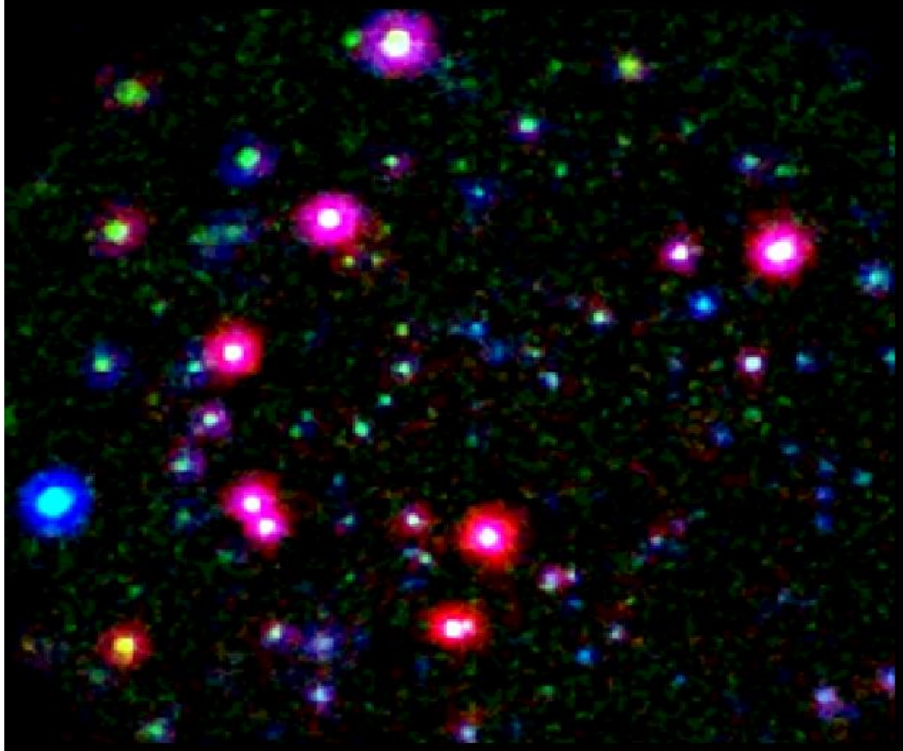
X-Fluß fluktuiert im ms-Bereich

Lichtkurve liefert Information über die Umlaufbahn;
M(HDE) aus Spektraleigenschaften

$\rightarrow$ **$M(X) \approx 10\ M_S$**

Cygnus X-1 sollte also
ein Schwarzes Loch sein!

Der kosmische Röntgenhintergrund: Quasare, Quasare.....



Tiefe Durchmusterungen:~ 1000 Quasare pro Quadratgrad!

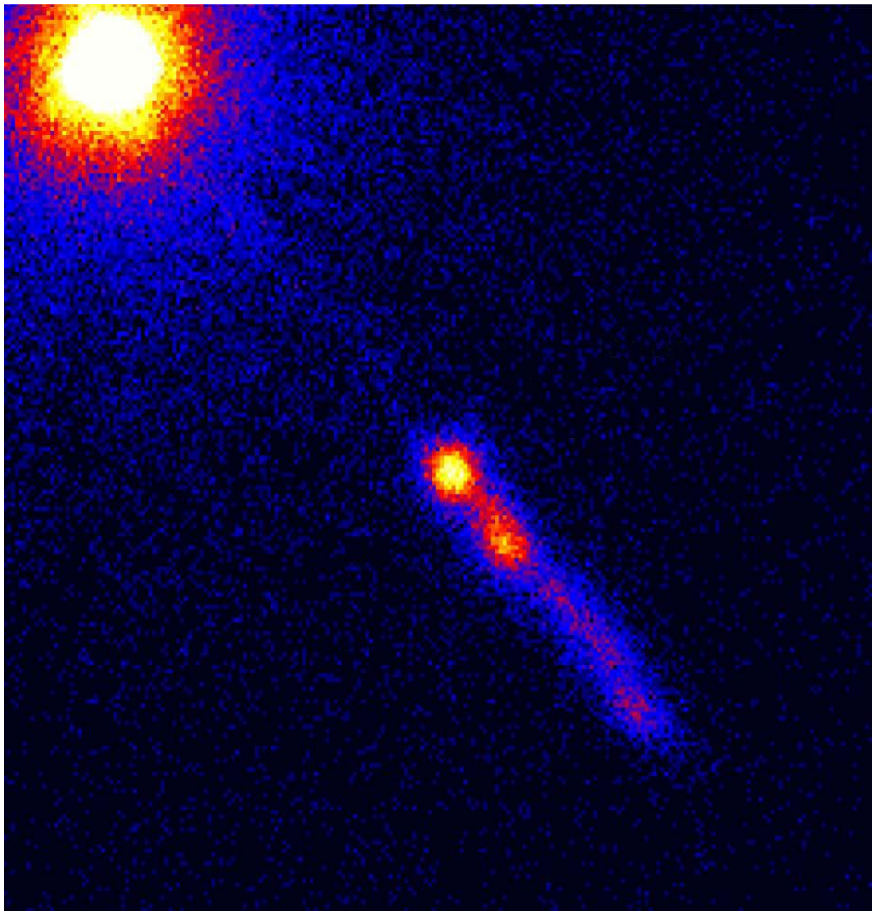
Der berühmteste und hellste Quasar ist 3C 273

Maarten Schmidt (1963): Rotverschiebung z = 0.16

Heute beobachtet man Quasare bis z =6.4!

ROSAT SURVEY

Chandra



3C 273 ist ein supermassives Schwarzes Loch (~ 10^9 Sonnenmassen), das etwa eine Erdmasse/Sekunde frisst!

FAZIT

Wir können heute das Weltall im gesamten elektromagnetischen Spektrum ‚sehen‘, quasi mit magischen Augen.

Erst diese magischen Augen haben uns dazu verholfen, viele Rätsel des Alls verstehen zu lernen.

ENDE

Danksagung:

Folgenden Herren sei für die Bereitstellung von Material gedankt:

- Prof. Hermann (Berlin) (optische Astronomie)
- Dr. E.Sturm (München) (Infrarotastronomie)
- Prof. J.Trümper (München) (Röntgenastronomie)