

Das hochenergetische Universum

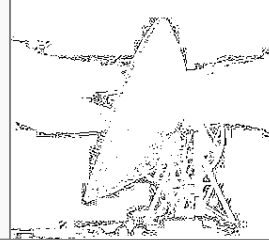


„Brennpunkte extragalaktischer Forschung“ Themen

- 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 & Gamma-ray bursts)
- **02.12.** -> muß verschoben werden auf den:
- **16.12. Schwarze Löcher:**
 - Neue Ergebnisse und Spekulationen**



18.11. Das hochenergetische Universum



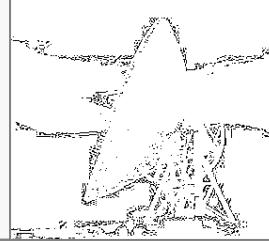
- Sichtbares Licht hat eine Energie von: 1 eV
- GLAST wird Gammastrahlung mit Energien von zwanzig Millionen bis zu dreihundert Milliarden eV messen!
- Gammastrahlung von einer Billion eV (TeV): Reaktionsprodukte der Strahlung in der Atmosphäre können auf der Erde gemessen werden
- Im Energiebereich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

18.11. 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

Gamma-ray bursts / Kurze Geschichte



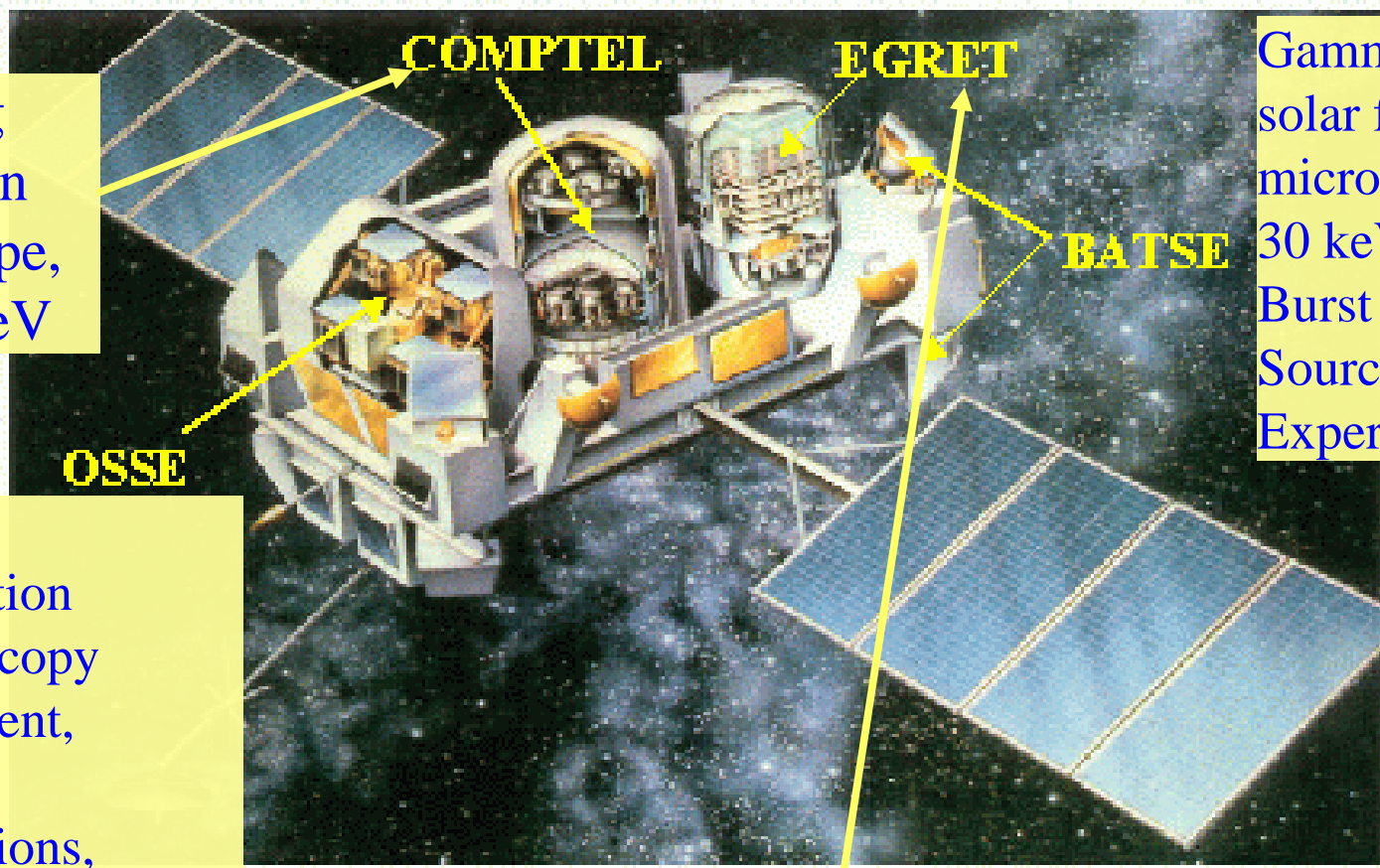
- Oktober 1963: US Air Force startet die Seire der ‚Vela‘ Satelliten (Röntgen, Gamma, und Neutronen Detektoren) um Nukleartests auf sowjetischer Seite oder anderer Nationen zu überwachen (Überwachung des Abkommens)
- 2. Juli 1967: Vela 4a,b detektiert zum ersten Mal GRB – Resultate 1973 veröffentlicht
- 1972-73: Los Alamos Wissenschaftler analysieren die Vela Resultate: GRB sind von ‚kosmischer‘ Herkunft, Daten für 16 beobachtete GRBs werden veröffentlicht
- 1974: Daten des Sowjetischen Satelliten Konus werden veröffentlicht: bestätigen die GRBs

Compton Gamma-Ray Observatory (1991-2000)

Imaging
Compton
Telescope,
1-30 MeV

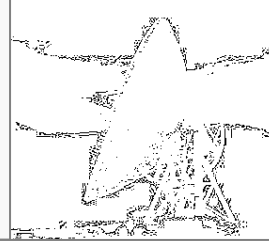
Oriented
Scintillation
Spectroscopy
Experiment,
spectral
observations,
0.05-10 MeV

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



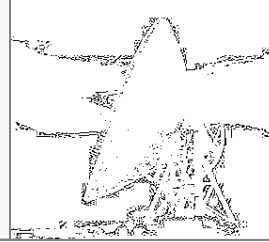
Energetic Gamma Ray Experiment Telescope,
highest energy instrument on Compton, 20 MeV - 30 GeV

Gamma-ray bursts / Kurze Geschichte



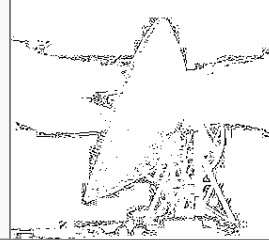
- 5. April 1991: NASA startet CGRO, BATSE (Burst and Transient Source Experiment) detektiert mehr als 2700 GRBs in 9 Jahren – über den gesamten Himmel verteilt (nicht auf Milchstraße beschränkt). Sind kosmologisch!!
- 28. Februar 1997: mit BeppoSAX GRB979228 ein Röntgen Nachglühen kann erstmals in Verbindung mit einem GRB detektiert werden -> weitere Detektionen folgen
- 23. Januar 1999: Nachglühen von GRB990123 innerhalb von Sekunden nach dem eigentlichen Ausbruch beobachtet, Energie ist ‚gebeamed‘ in einem Jet, 1000 fach leuchtkräftiger als Quasare

Gamma-ray bursts / Kurze Geschichte



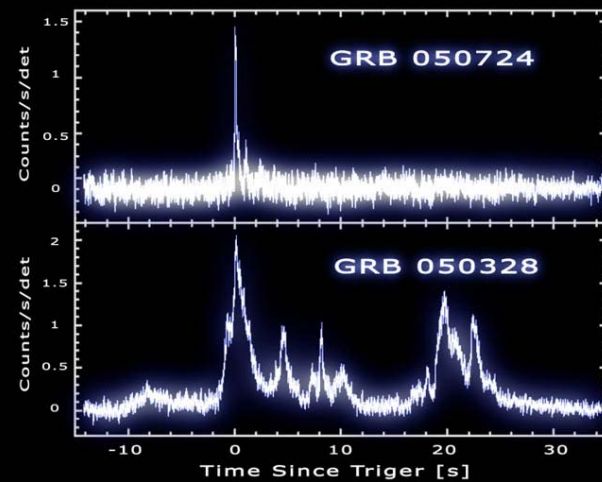
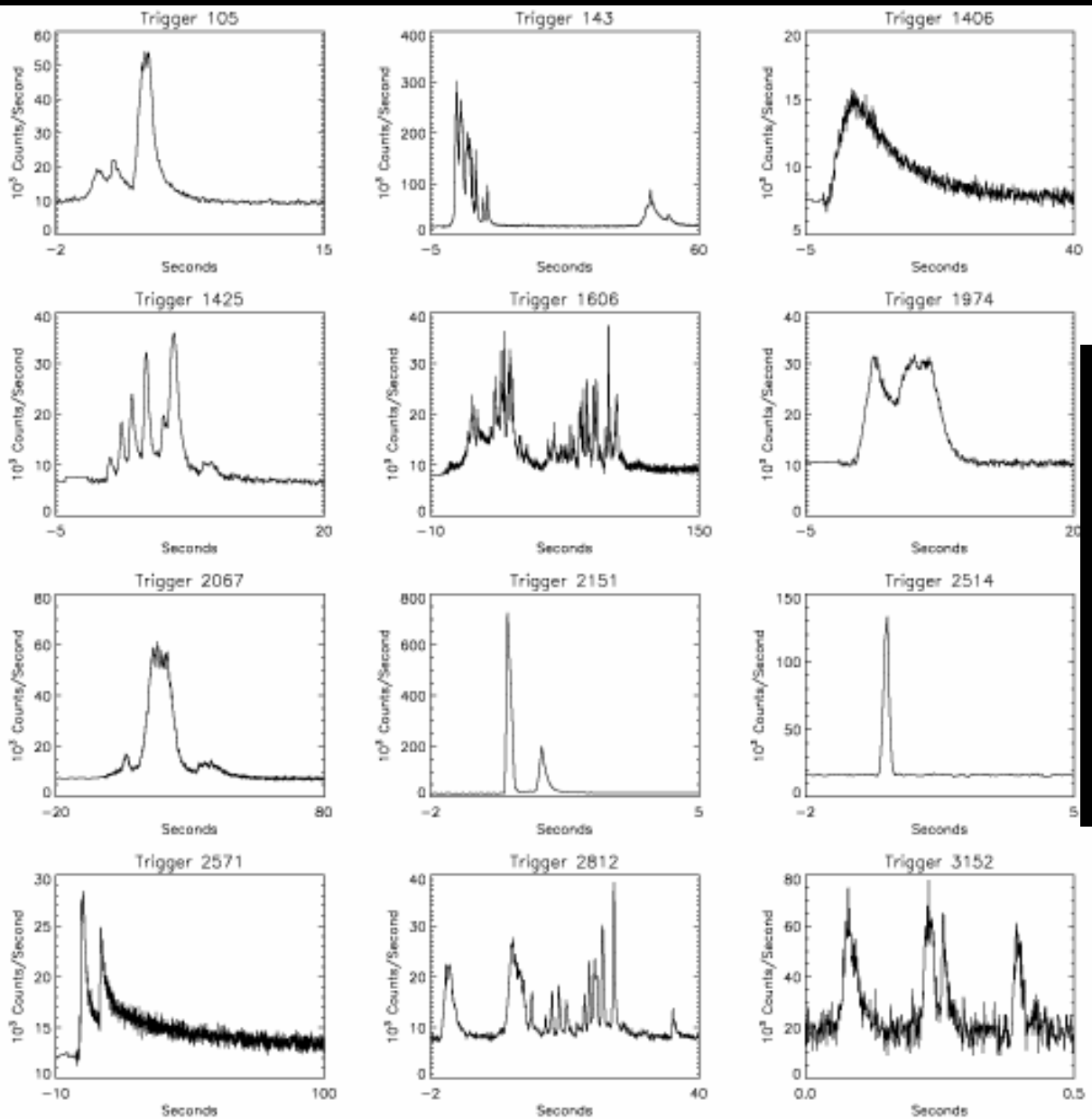
- 5. Juli 1999: GRB990705 wird detektiert, Emissionslinien des Nachglühens deuten auf eine Supernova
- 12. Dezember 1999: Nachglühen von GRB991216 enthält Eisenlinien -> Entfernung kann bestimmt werden
- 11. Dezember 2001: GRB 011211 hat Spuren von Silikon, Schwefel, Argon und anderen Elementen in einer Gasschale um den Burst: Supernova
- 4. Oktober 2002: HETE (NASA's High Energy Transient Explorer) detektiert einen burst den andere Teleskope sehr schnell verfolgen: ‚das Ende eines massiven Sterns‘ und die Geburt eines Schwarzen Lochs

Gamma-ray bursts

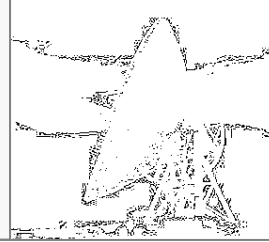


- GRBs: vorübergehende Phänomene, 2 Typen
 - Klassische bursts, Datum (GRB jjmmtt)
 - Soft Gamma Repeaters (SGRs), galaktische Koordinaten
 - Spektren sind nicht-thermisch (Potenzgesetz)
 - Gamma-Lichtkurven unterschiedlich
 - Dauer: 10^{-3} s bis ca. 10^3 s mit bimodaler Verteilung um 2s (30%, mittlere dauer der kurzen bursts: 0.3 s; der langen bursts 30 Sekunden)
 - Kürzere bursts sind spektral härter
 - Zeitverlauf als Funktion der Energie kann Schlüsse auf die Physik der emittierenden Region erlauben
 - Werden ca. 1mal pro Tag detektiert

Gamma-ray bursts

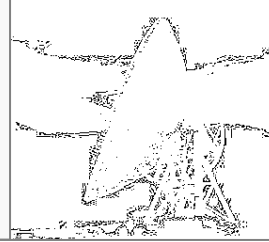


Lange Gamma-ray bursts / Modell



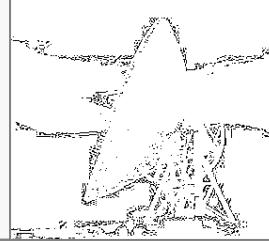
- Zusammenbruchs des Kerns sehr massereicher Sterne in jungen Galaxien in denen Sternentstehungsgebiete zu finden sind
- Rotverschiebungen: 1-2

Lange Gamma-ray bursts



- **Kollaps/Hypernova Modell:** Kernkollaps tritt auf während die äußeren Bereiche des Sterns (Wolf-Rayet Stern) in einer besonders energiereichen Supernova explodieren
- Schwarzes Loch entsteht -> Druck-Welle bewegt sich durch den Stern mit annähernder Lichtgeschwindigkeit; Gamma-Strahlung wird erzeugt, wenn die Welle (innerhalb des Sterns) mit stellarem Material kollidiert, hinter (nach) der Gammastrahlung wird stellares Material nach außen gedrückt
- Welle des stellaren Materials kollidiert mit umgebendem Gas und Staub -> Nachglühen (zunächst Röntgen, optisch, Radio), Phase kann Tage oder Wochen andauern

Hypernova



- Sehr selten; Explosion eines Wolf-Rayet-Sterns
- Haben am Anfang der Entwicklung über 25 Sonnenmassen, hauptsächlich Wasserstoff
- Wolf-Rayet-Phase: äußere Hülle verloren, 10 Sonnenmassen, bestehen nur noch aus Helium, Sauerstoff und aus noch schwereren Elementen, die durch Kernfusionsprozesse entstanden sind
- Hypernova: vorhandene Brennstoff verbrannt, innere Kern des Sterns kollabiert (äußeren Bereiche nicht betroffen), schwarzes Loch entsteht, Scheibe, Akkretion, Jets entstehen, Jets zerstören den Stern komplett
- Gammastrahlung: wenn Material des Jets auf das Material in der Umgebung des Sterns trifft

April 3, 2003

May 1, 2003

2.65 Mio Lichtjahre

GRB030329

GRB030329

WR 136

16 Lichtjahre breit, 25 Lichtjahre langer Nebel,

Entfernung: 4700 Lichtjahre

Sternbild Schwan

NGC 6888

Nebel: Hülle des Roten Riesen vor
250 000 Jahren abgestoßen

Stern wurde zum Wolf-Rayet Stern

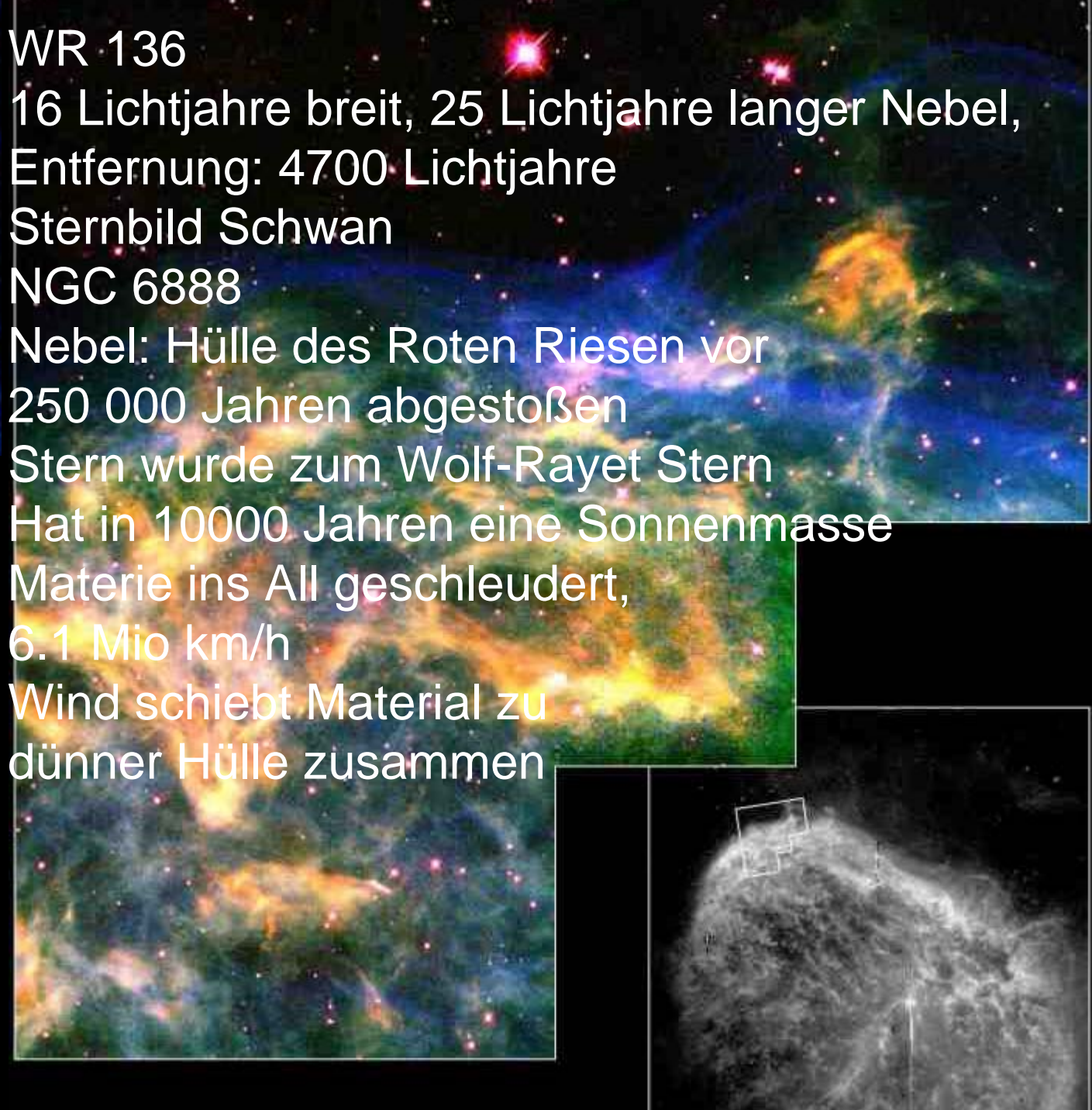
Hat in 10000 Jahren eine Sonnenmasse

Materie ins All geschleudert,

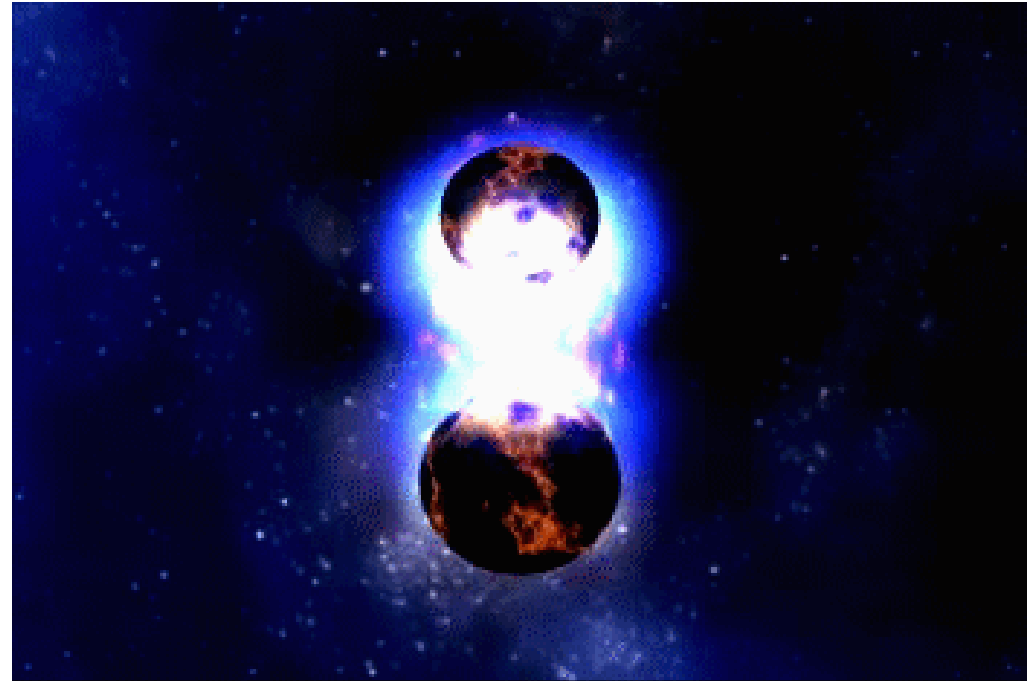
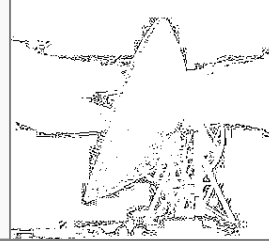
6.1 Mio km/h

Wind schiebt Material zu

dünnere Hülle zusammen



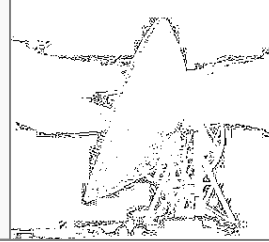
Rätsel der kurzen Gammastrahlenblitze gelöst



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

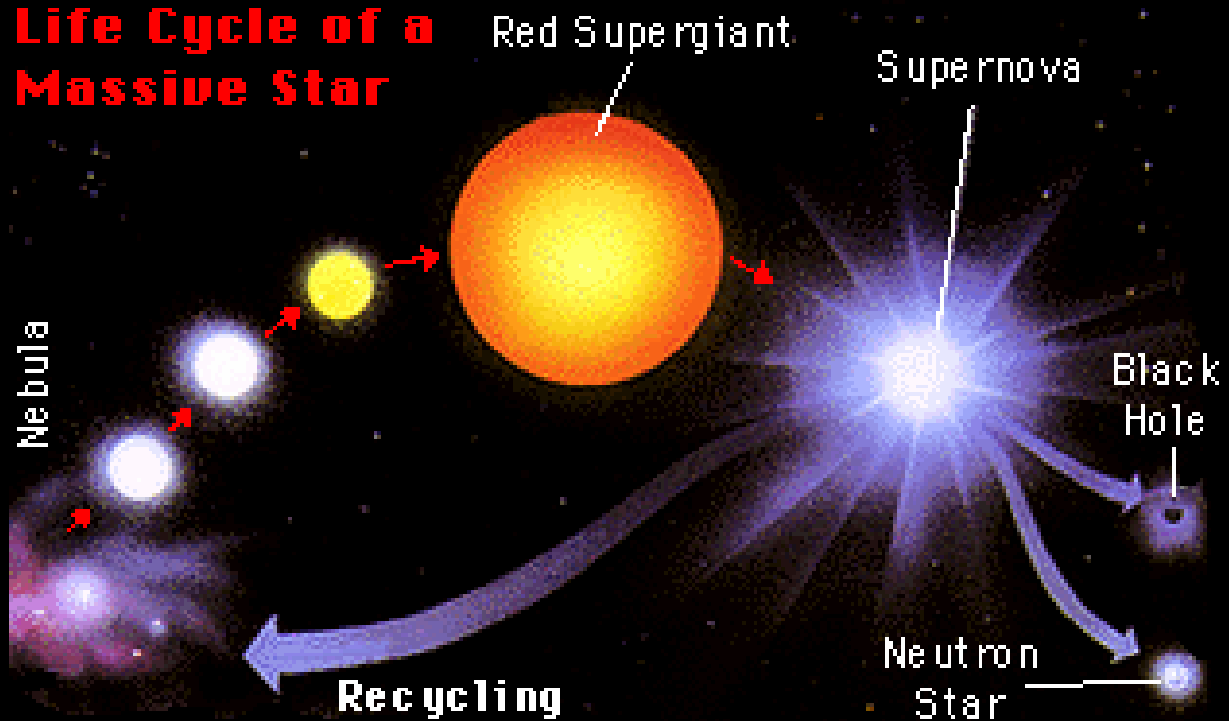
Kurze Gamma-ray bursts



- Nachglühen schwächer -> schwerer zu detektieren
- Modell kollidierende Neutronensterne oder Schwarze Löcher: Verschmelzen zweier Neutronensterne oder eines Neutronensterns und eines Schwarzen Lochs; strahlen aufgrund von Bahnbewegung nach Allgemeiner Relativitätstheorie Gravitationswellen ab -> nähern sich im Verlauf von Mio – Mill. Jahren an, kollidieren letztendlich
- Weniger Materie umgibt die GRBs -> Nachglühen schwächer (durch Aufsummieren von 10 GRBs gefunden)
- Entstehen vorrangig in nahen, älteren Elliptischen Galaxien
- Freiwerdende Energie: um das Tausendfache geringer als bei langen GRBs

Lange Gamma-ray bursts

Life Cycle of a Massive Star



Kurze Gamma-ray bursts



18.11. Das hochenergetische Universum



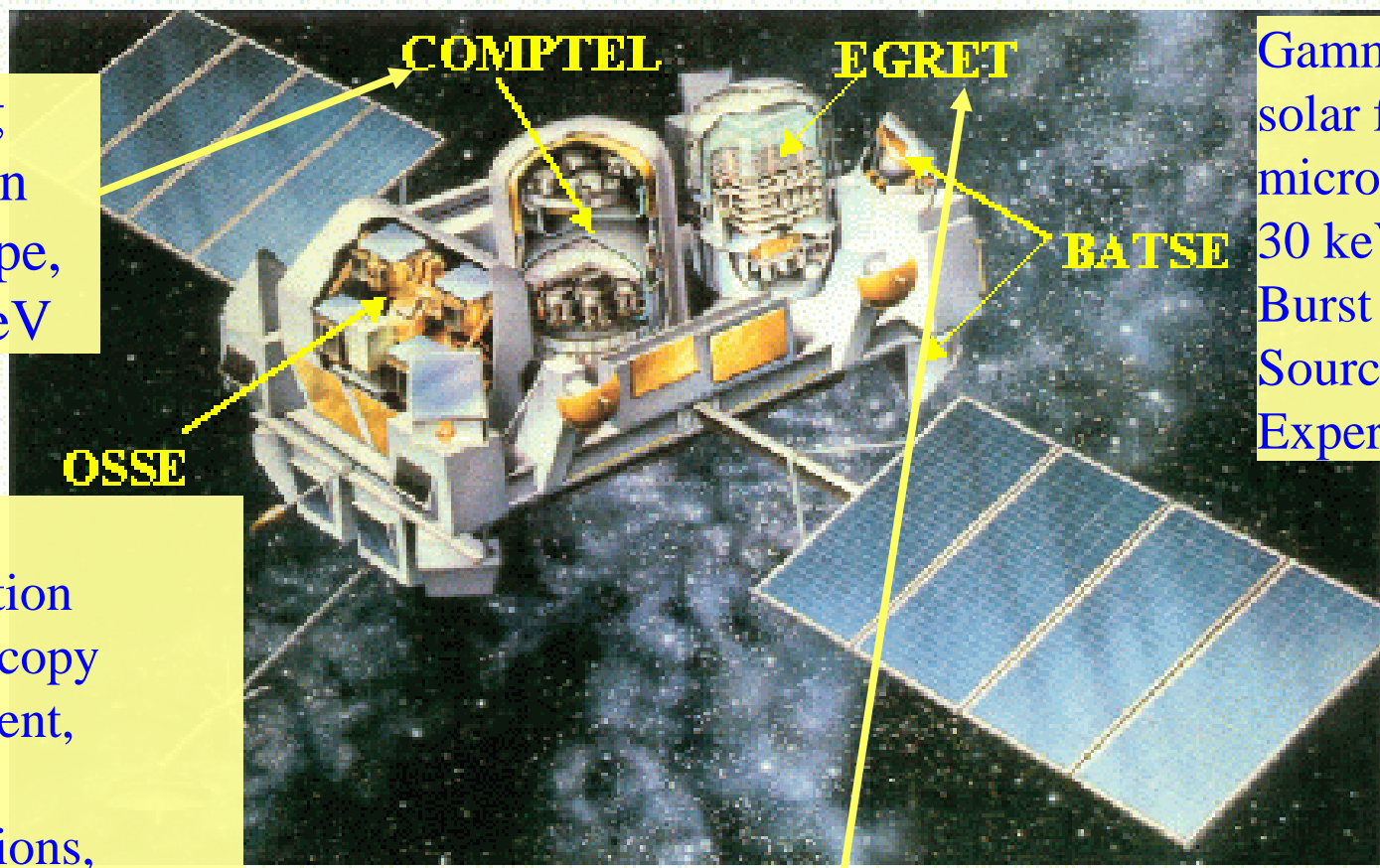
- Rätsel der kurzen Gammastrahlenblitze gelöst
- TeV-Quellen
 - Neue Teleskope, neue Pläne
 - Aktive Galaxienkerne & andere Quellen
- Kosmische Strahlung
 - Geschichte der Erforschung
 - Intensität und Nachweis
 - Ursprung und Wechselwirkung

Compton Gamma-Ray Observatory (1991-2000)

Imaging
Compton
Telescope,
1-30 MeV

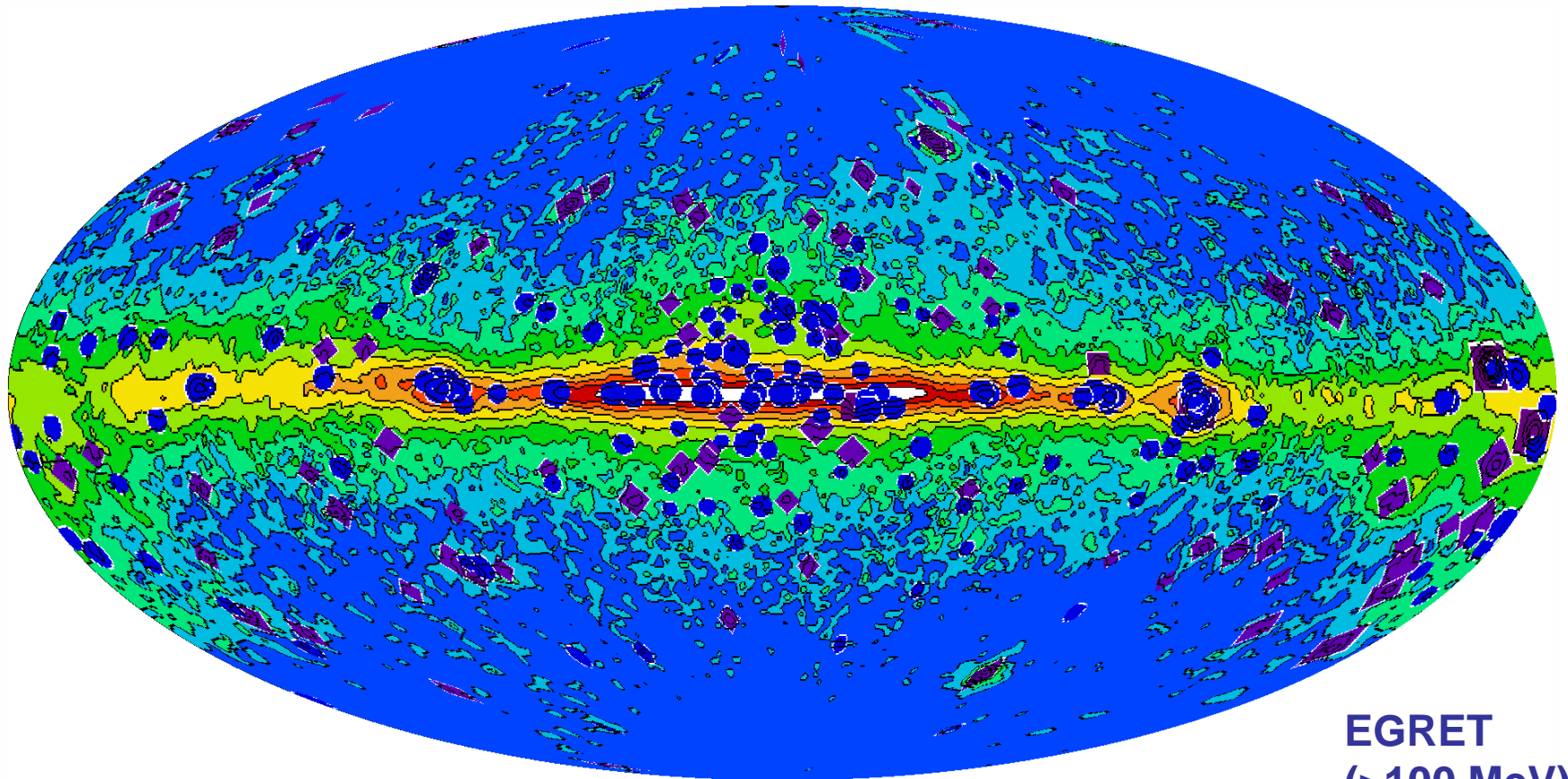
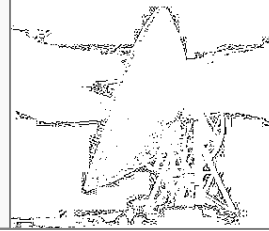
Oriented
Scintillation
Spectroscopy
Experiment,
spectral
observations,
0.05-10 MeV

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



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

EGRET all-sky map



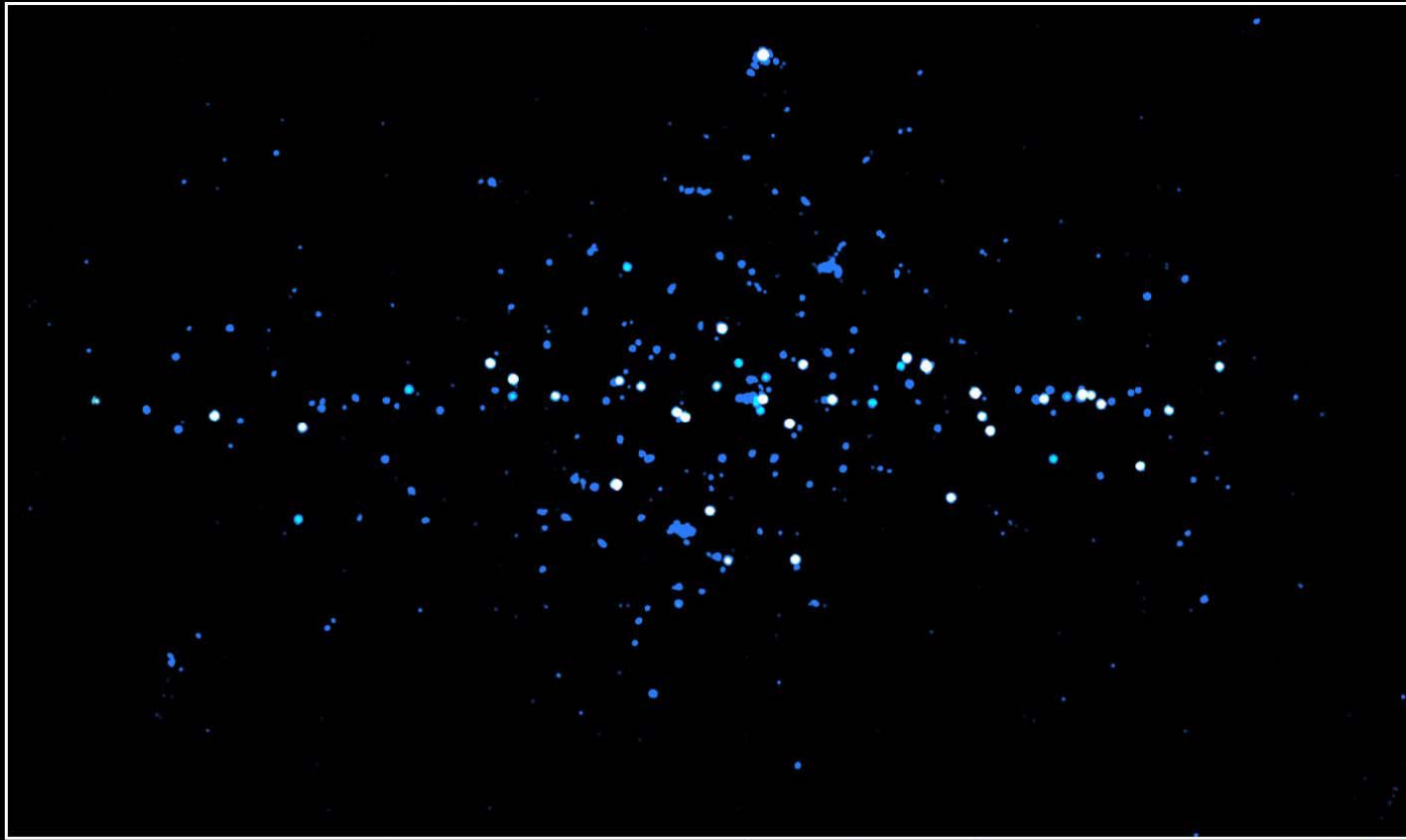
EGRET
(>100 MeV)

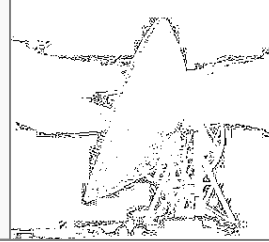
- $\sim 1.4 M_\gamma$, $\sim 60\%$ interstellar emission from the MW
- $\sim 10\%$ are cataloged (3EG) point sources

3EG catalog (Hartman et al. 1999)

INTEGRAL: Gamma-Strahlungs Hintergrund aufgelöst

INTEGRAL





- **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 Nachweistechiken, die verwendet werden:

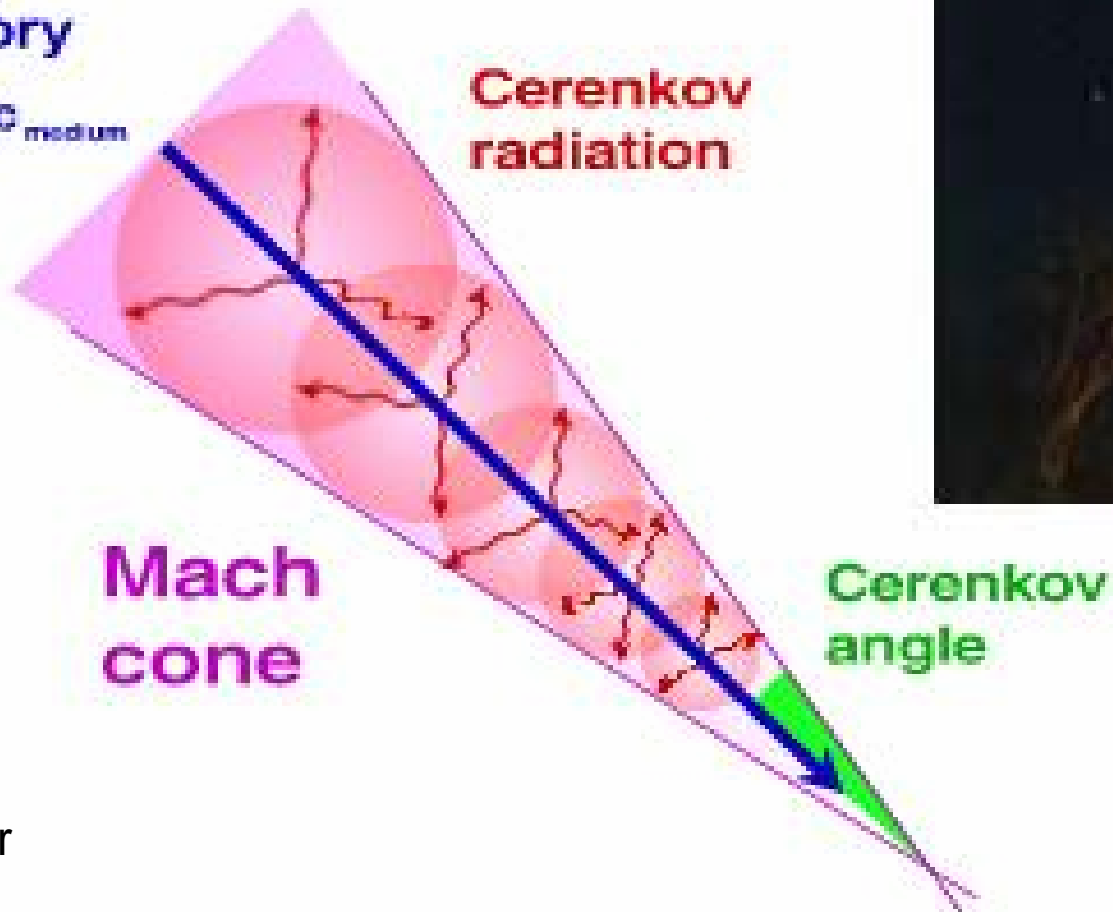
- **Direkter Nachweis mit satellitengestützten Instrumenten** (z.B.: Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) (1991-2000) und Gamma Ray Large Area Space Telescope (GLAST) (200x ???-))
- **Indirekter Nachweis mit bodengestützten Observatorien** (z.B.: HEGRA)

Cherenkov Light



charged
particle
trajectory

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



A. Müller

hochenergetische Gammas

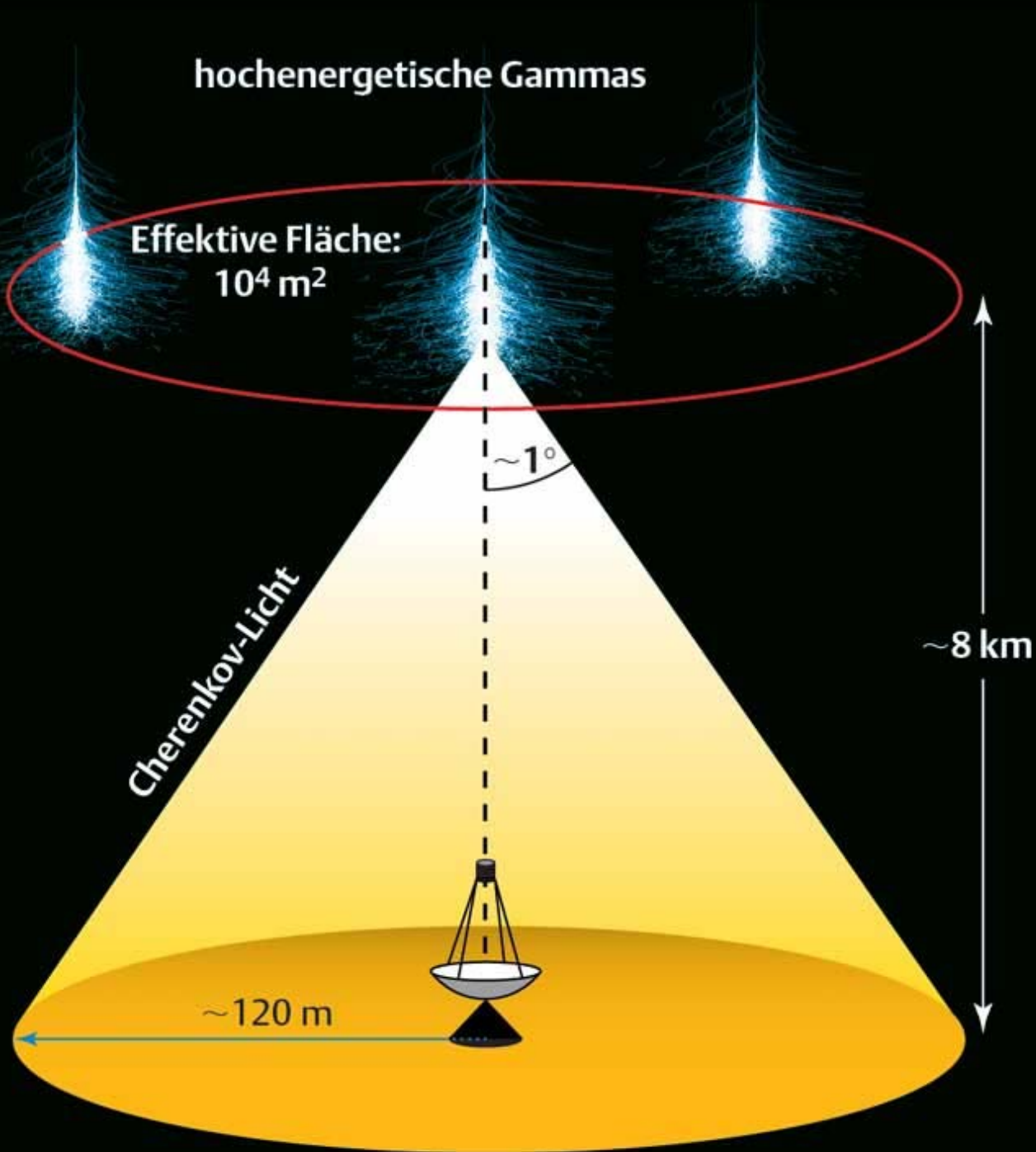
Effektive Fläche:
 10^4 m^2

$\sim 1^\circ$

Cherenkov-Licht

$\sim 8 \text{ km}$

$\sim 120 \text{ m}$



Very High Energy Gamma-ray Astrophysics

CAT EXPERIMENT

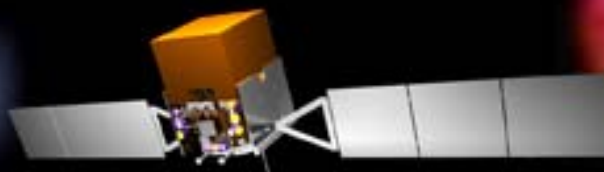
The HEGRA
Atmospheric Cherenkov
Telescope System

CANGAROO



GLAST

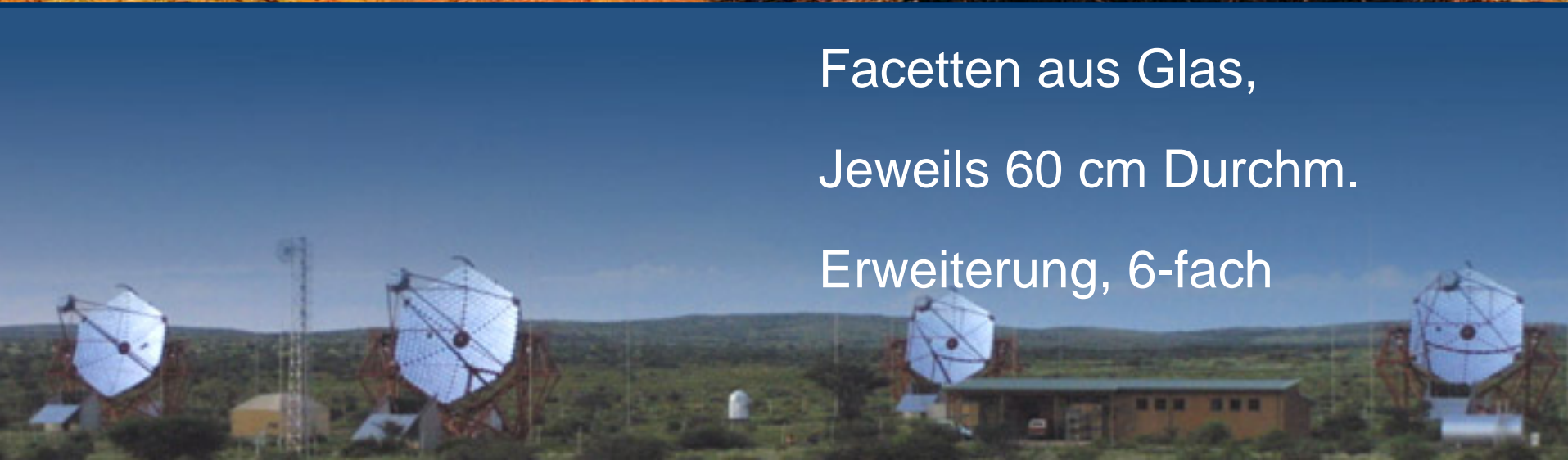
The Gamma-ray Large Area Space Telescope



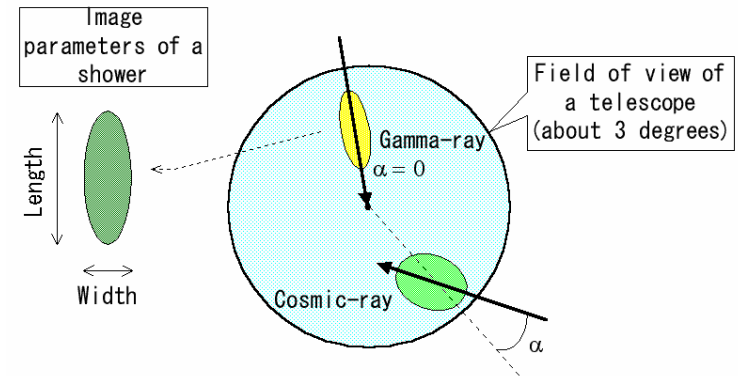
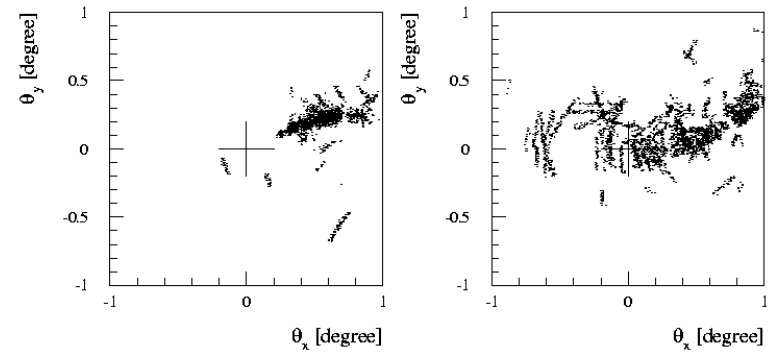
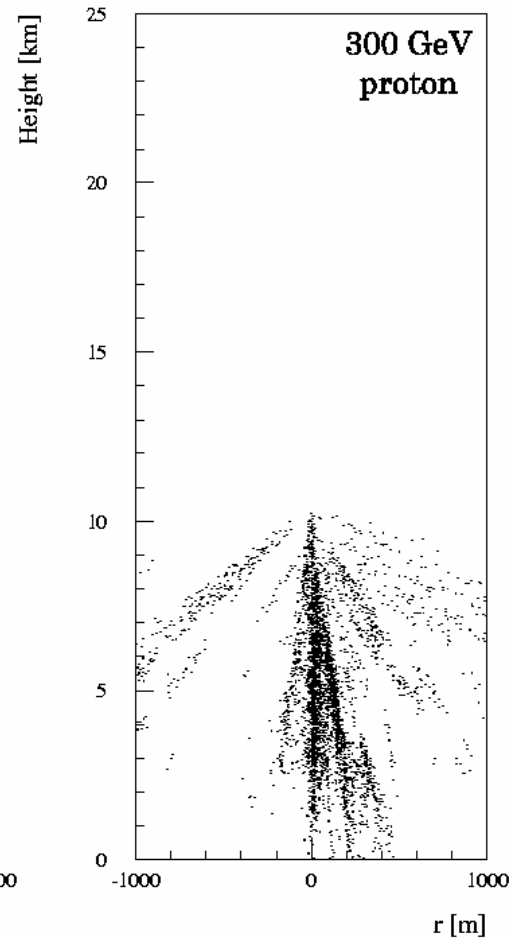
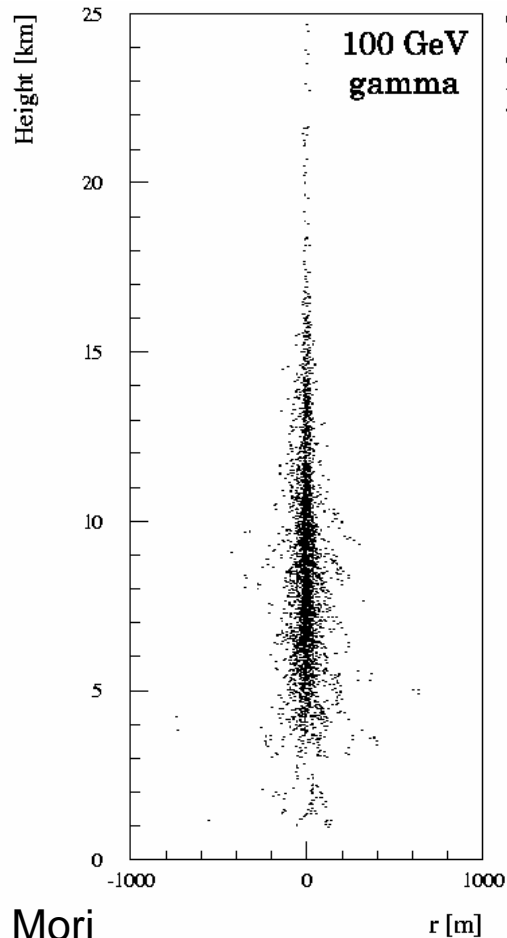
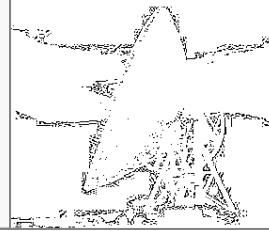
H.E.S.S.

System abbildender
Cherenkov-Systeme,
Energien > 50 GeV
4x13m, 400 Einzel-

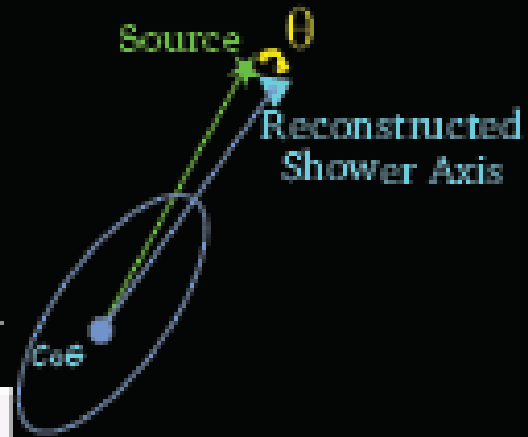
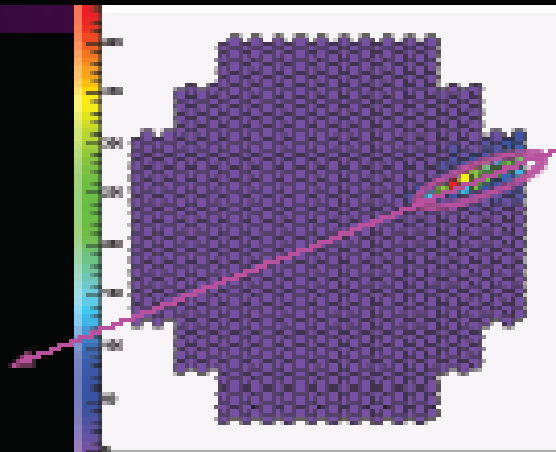
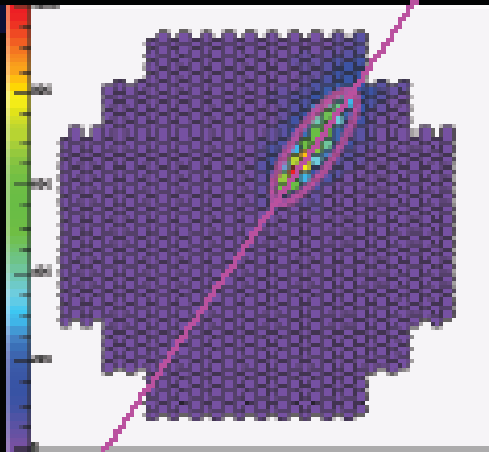
Facetten aus Glas,
Jeweils 60 cm Durchm.
Erweiterung, 6-fach



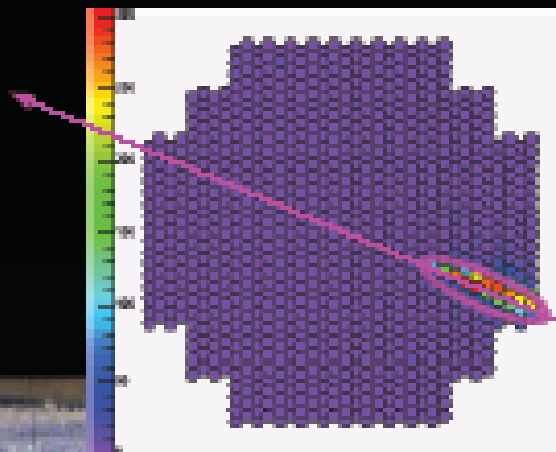
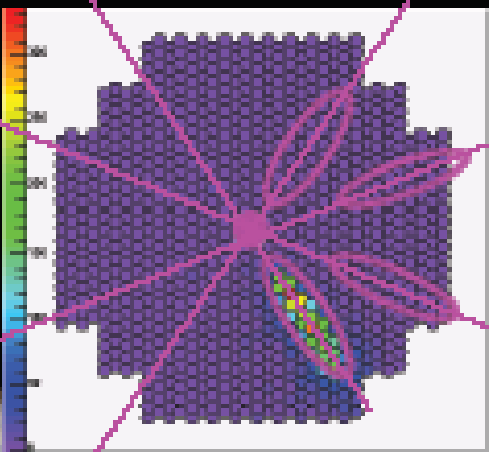
Abbildende Cherenkov Technik



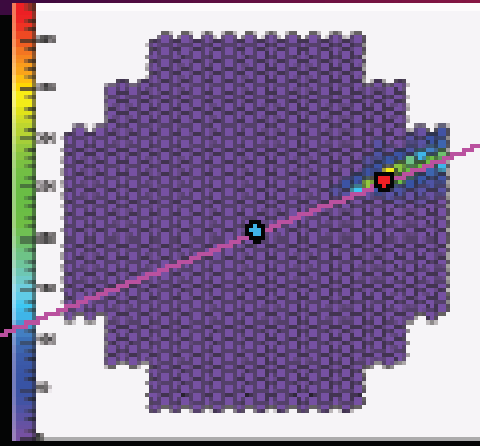
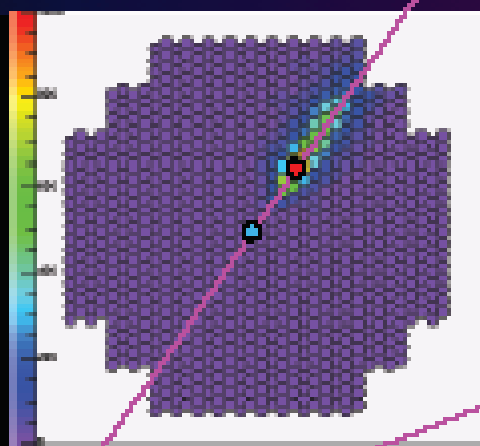
STEREO: TELLS WHERE THE SHOWER CAME FROM



Geometrical determination of the source position in the camera
... HESS angular resolution $0.10 \rightarrow 0.06^\circ$ per photon



STEREO: TELLS WHERE THE SHOWER HIT

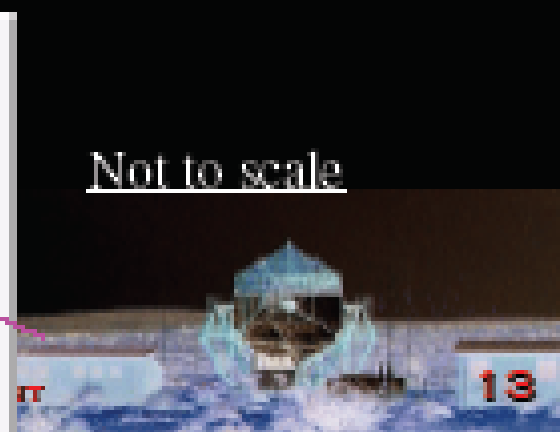
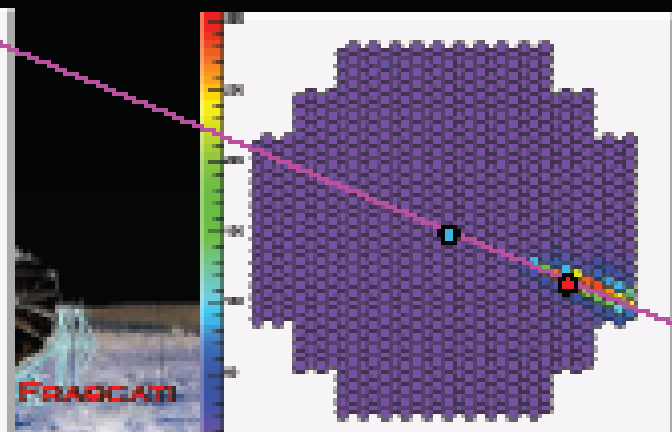
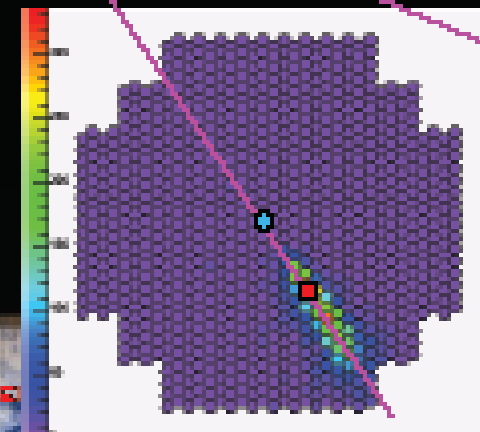


- Shower origin
- Image centre of gravity

Geometrical determination of the shower impact point on the ground

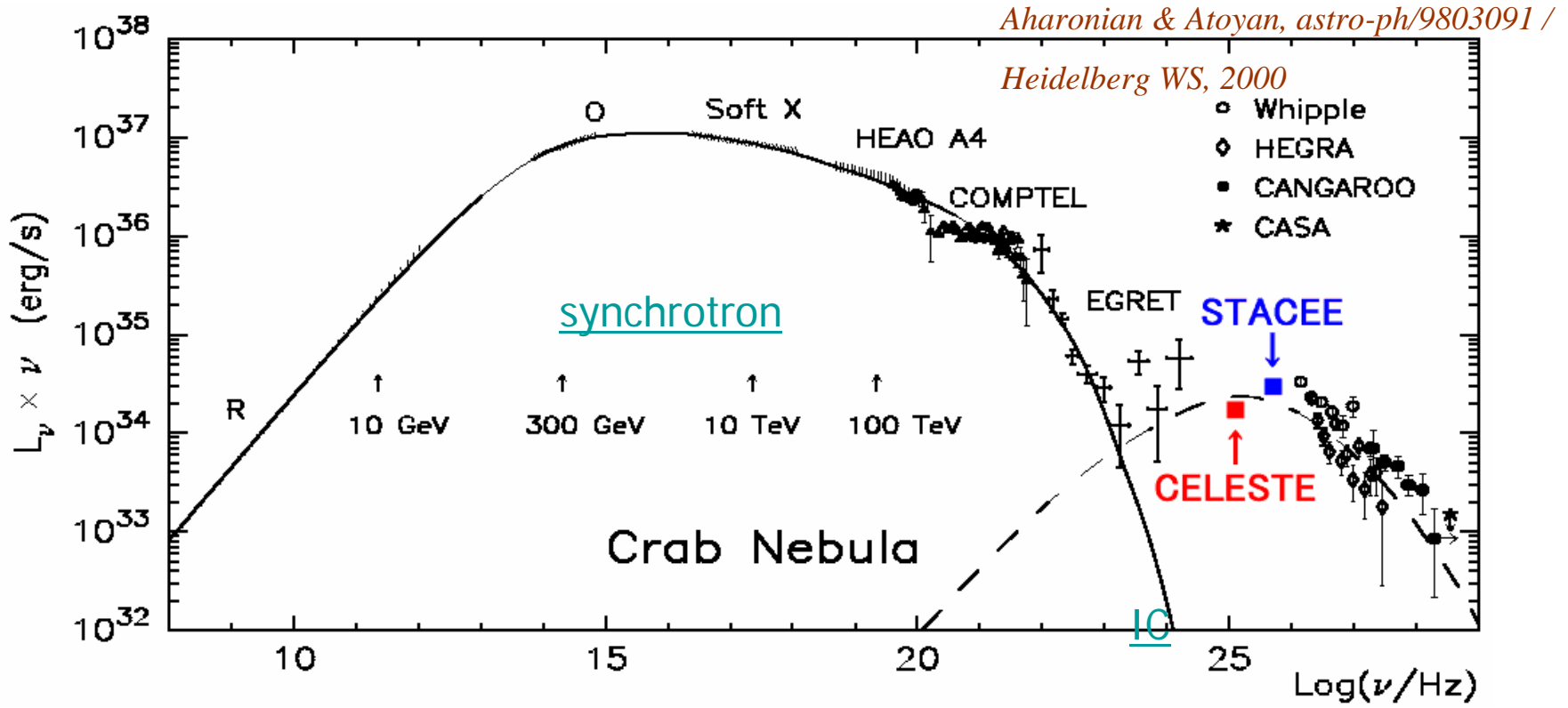
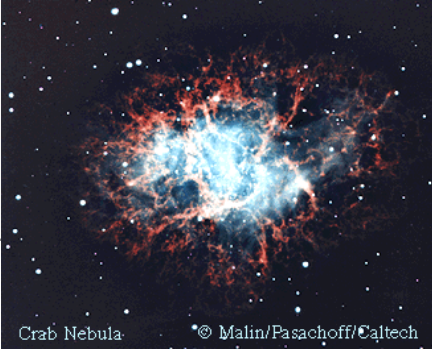
⇒ resolution of the energy / impact parameter degeneracy

HESS energy resolution $\sim 15\%$

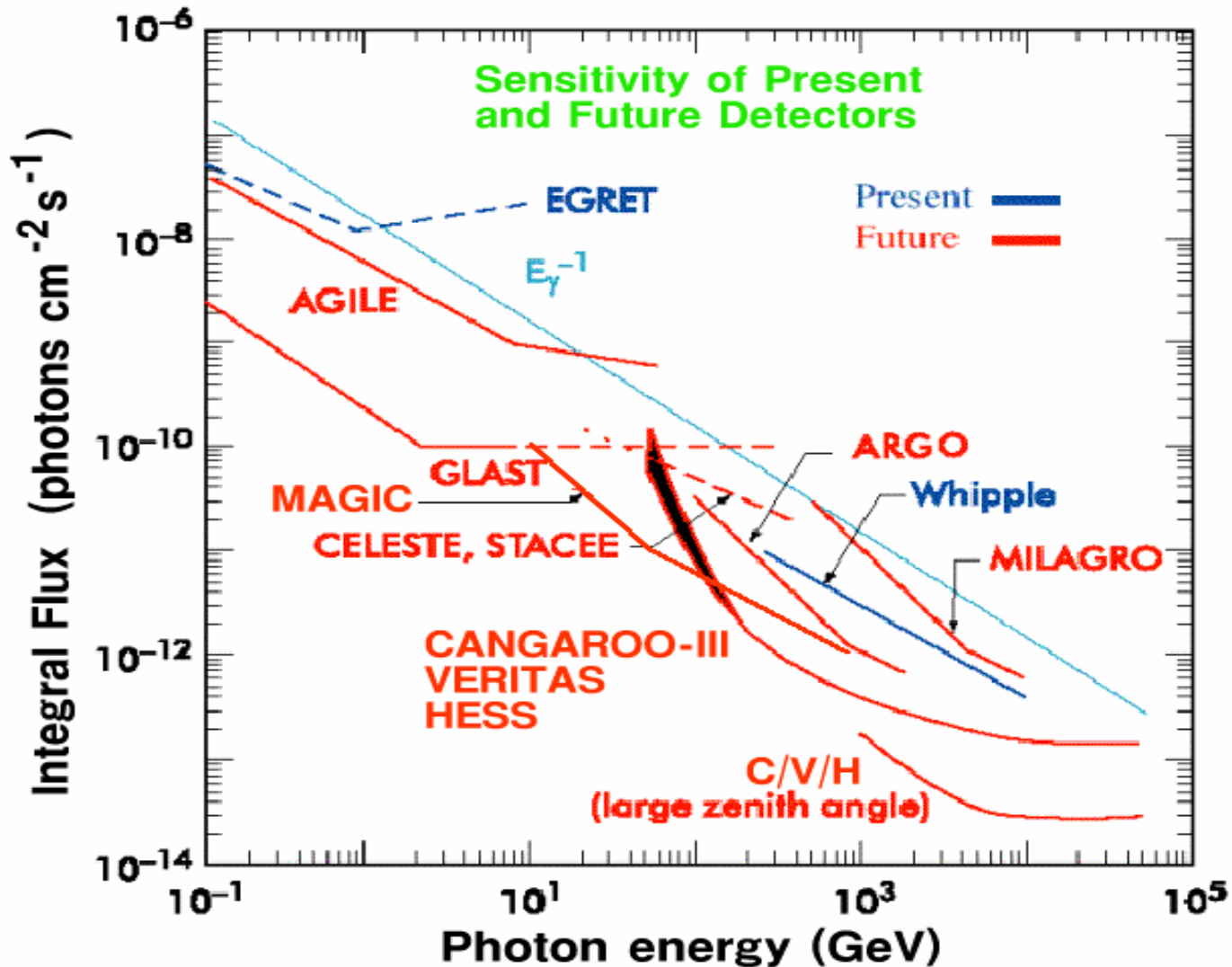
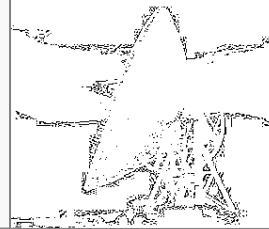


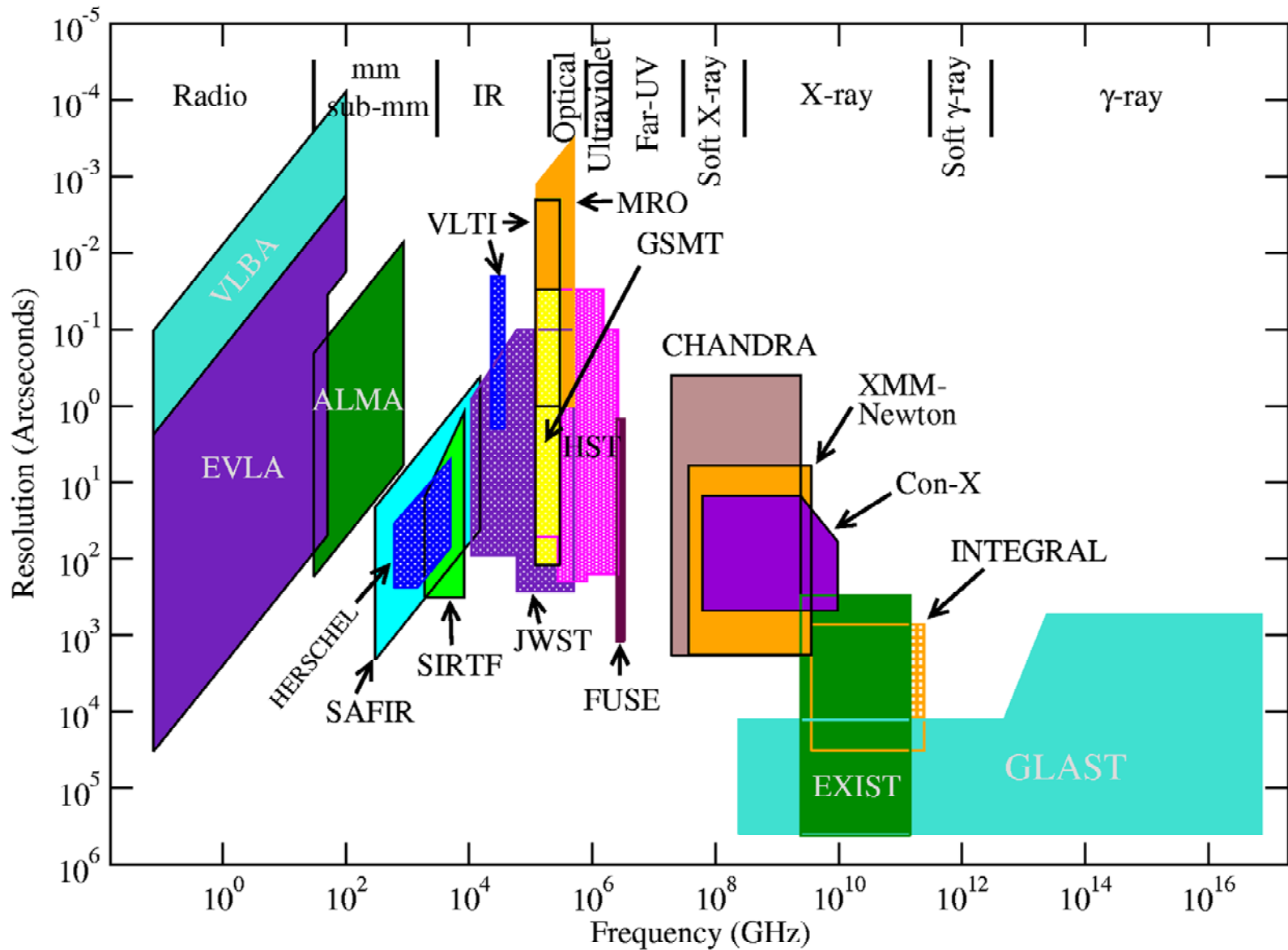
Not to scale

Crab nebula / Standardkerze



Neue Teleskope / Empfindlichkeit





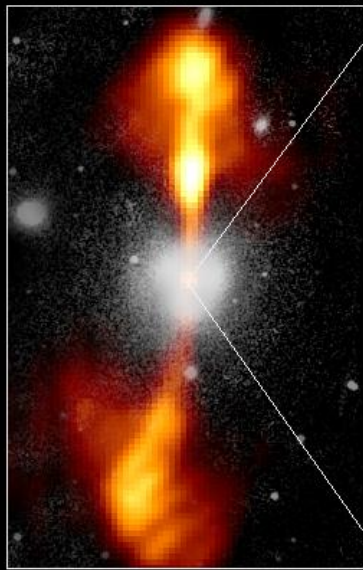
Discovery Space

Paradigma der Aktiven Galaxienkerne

Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

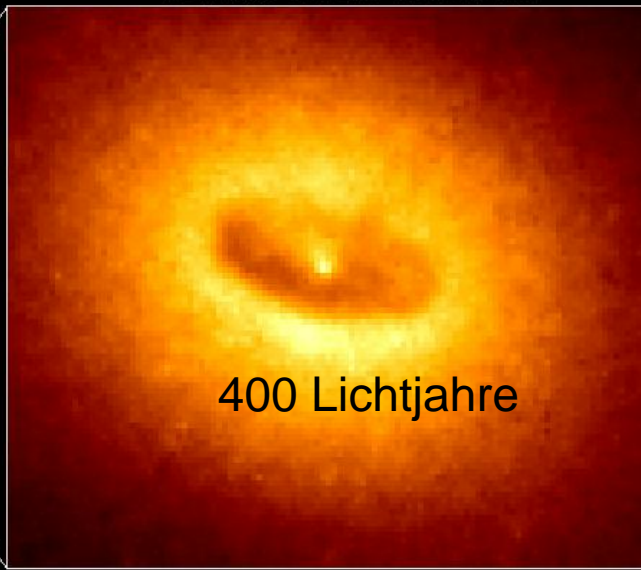


380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

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:

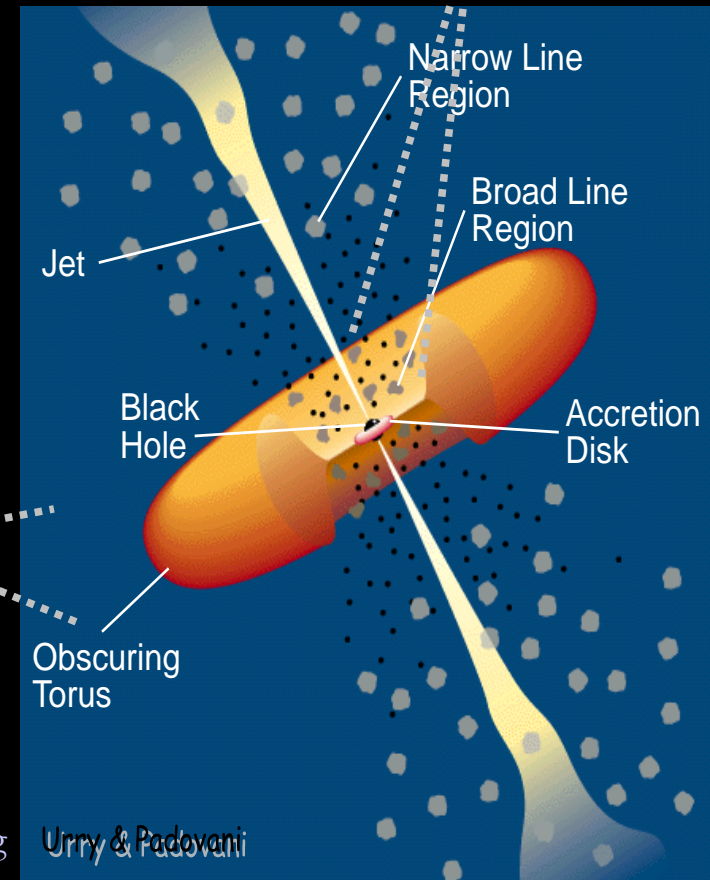
Zweiseitige Jets;

Frei-Frei Absorption;

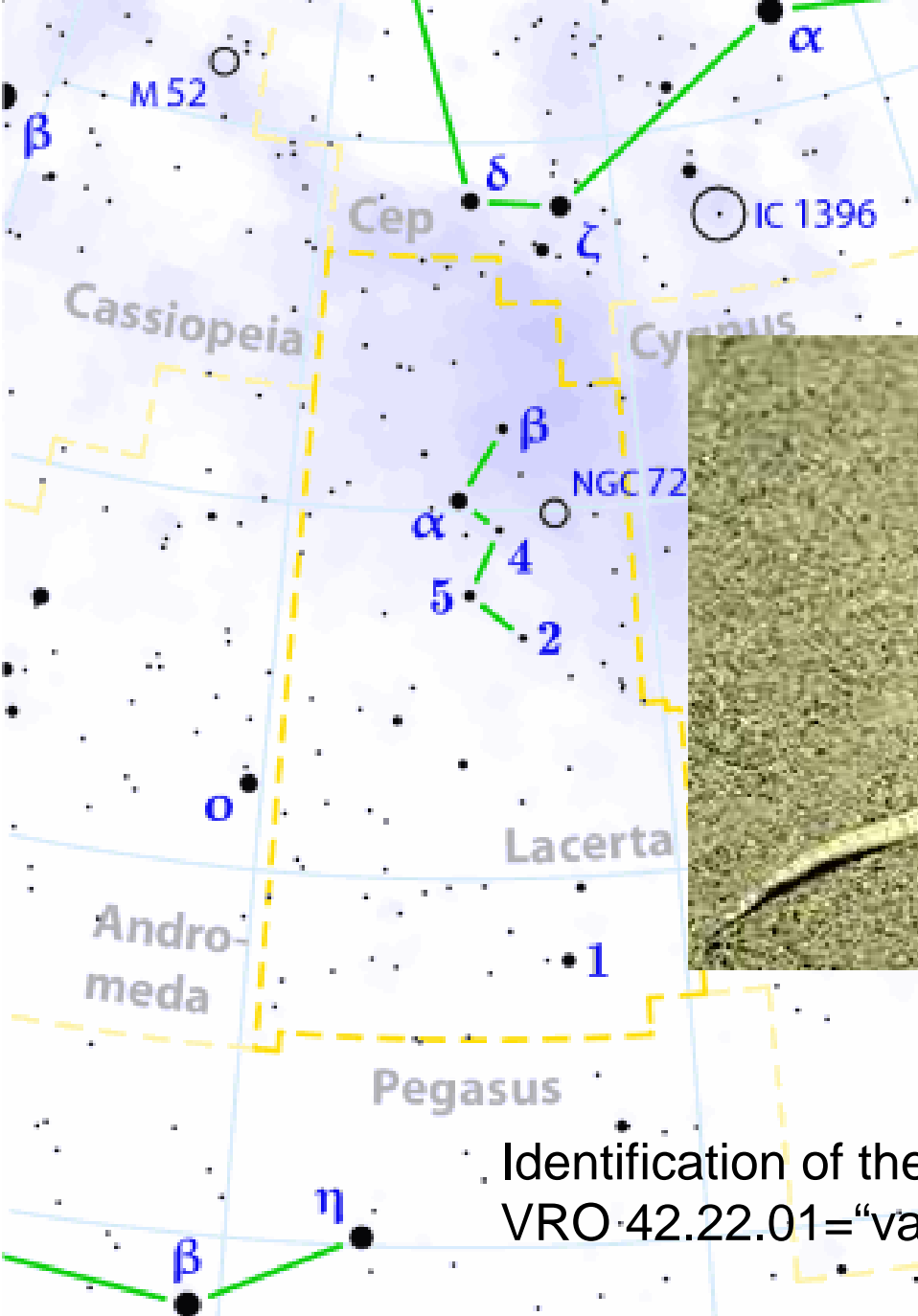
Schmale Linien Region;

Starke Absorption von

weicher Röntgenstrahlung

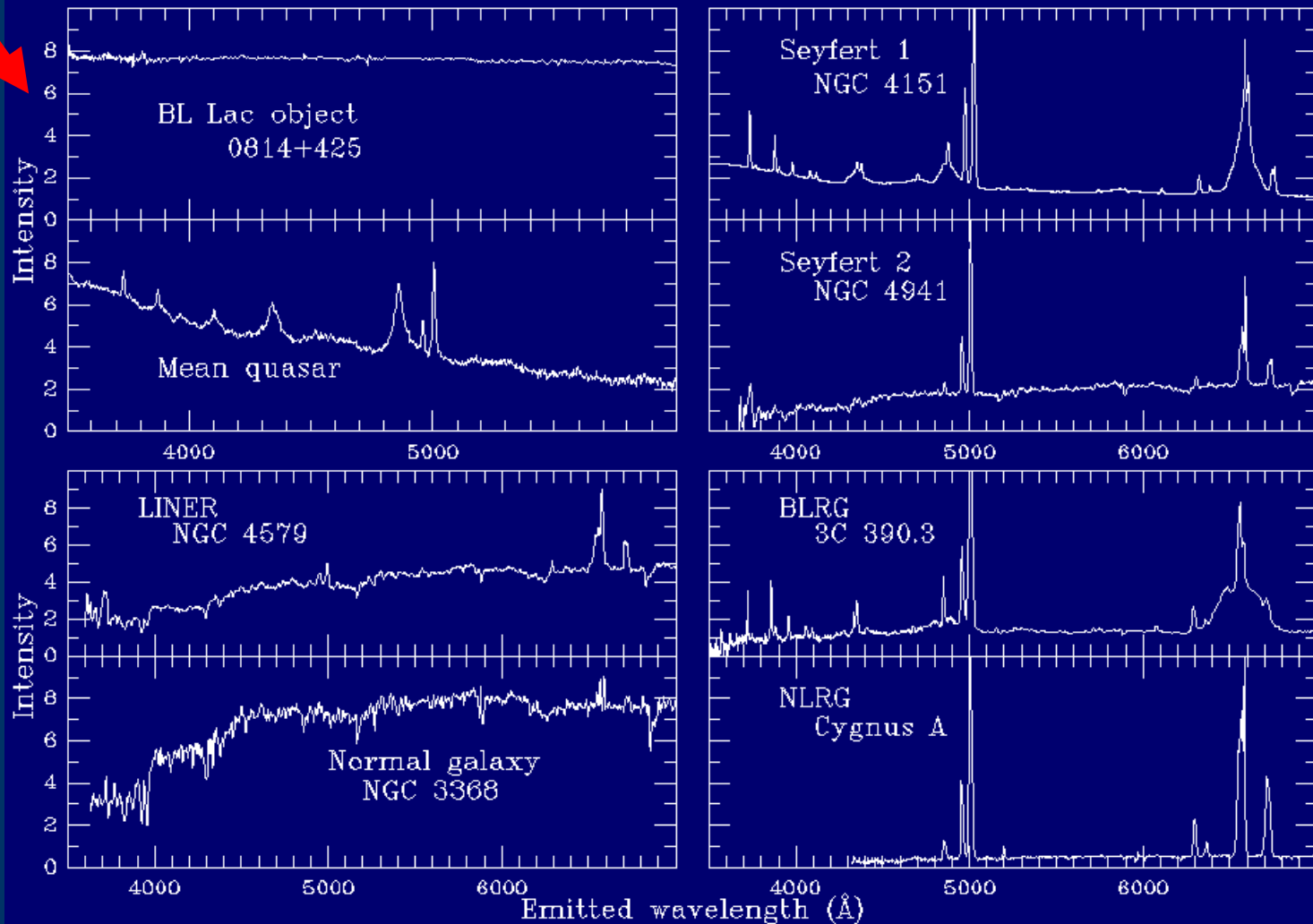
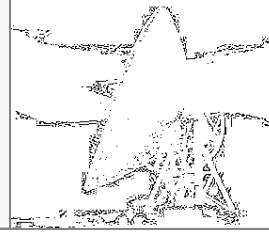


BL Lac=BL Lacertae

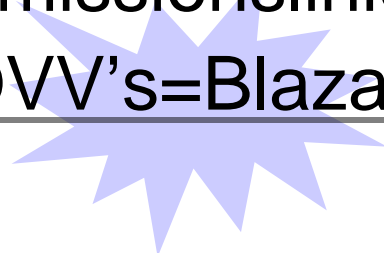


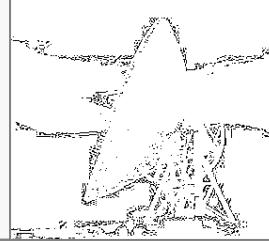
Identification of the radio source
VRO 42.22.01="variable star" BL Lac (Hoffmeister 1929)

BL Lac Objekte

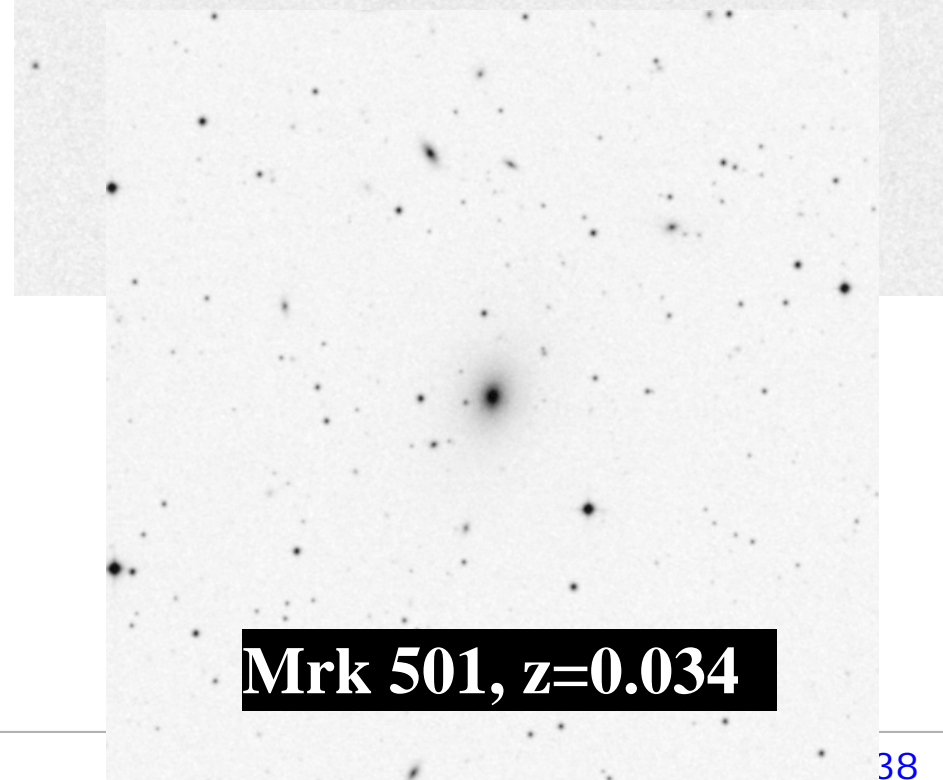
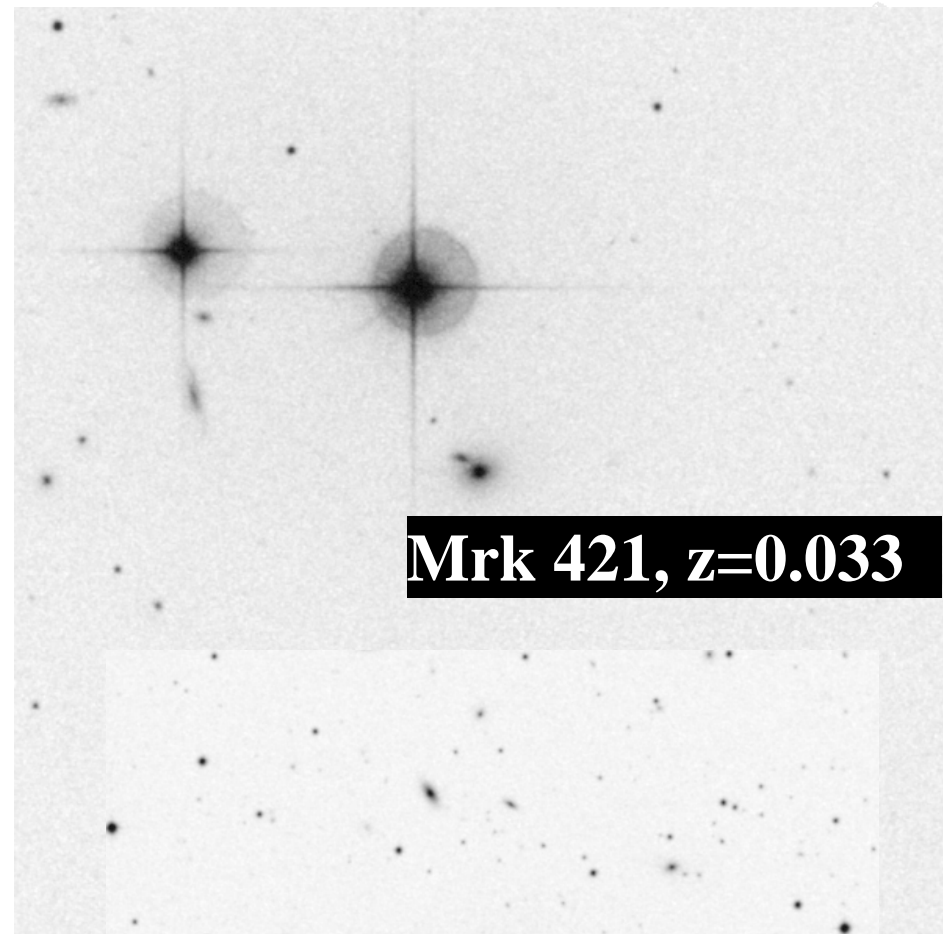
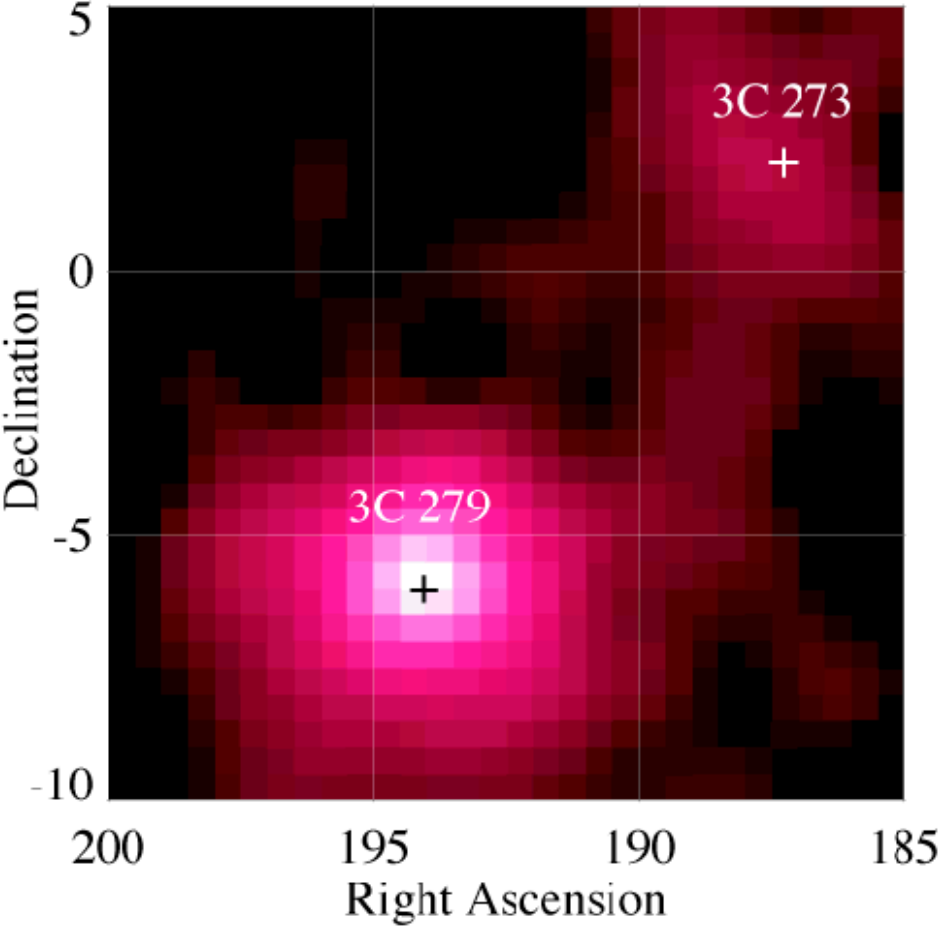


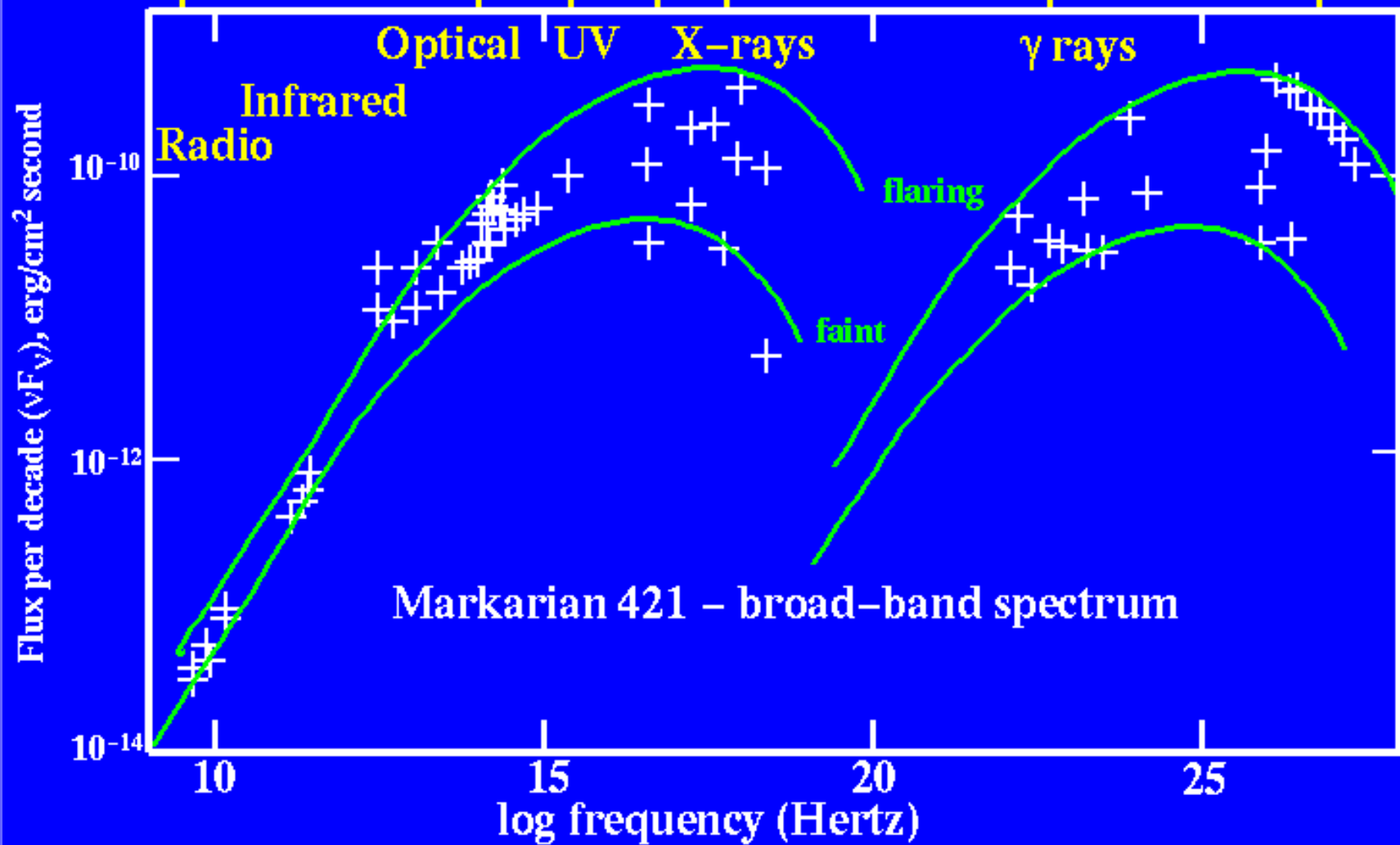
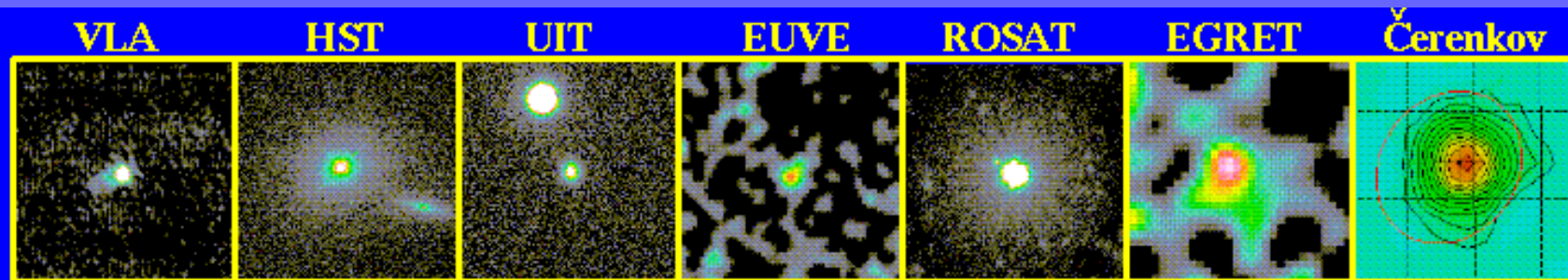
- BL Lac Objekte:
 - Ähneln Flach-Spektrum Radio Quasaren
 - Keine breiten optischen Emissionslinien
 - Hoch-variabel im Radio, Optischen, Röntgen und Gamma-Bereich
 - Starke und stark variable optische Polarisation
 - Schwache kosmologische Evolution
- Optically Violent Variables:
 - Unterklasse von (hauptsächlich radio) Quasaren mit optischen Charakteristiken wie BL Lac's, aber mit breiten Emissionslinien (schwächer)
 - BL Lac's + OVV's=Blazars



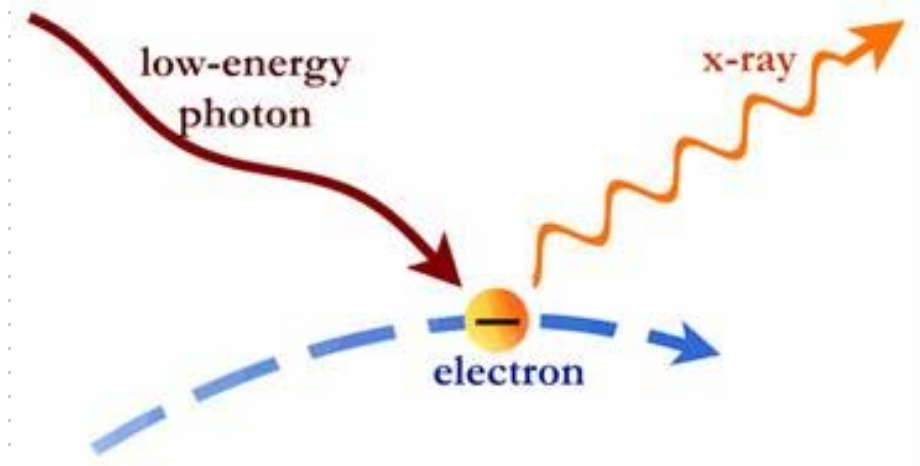
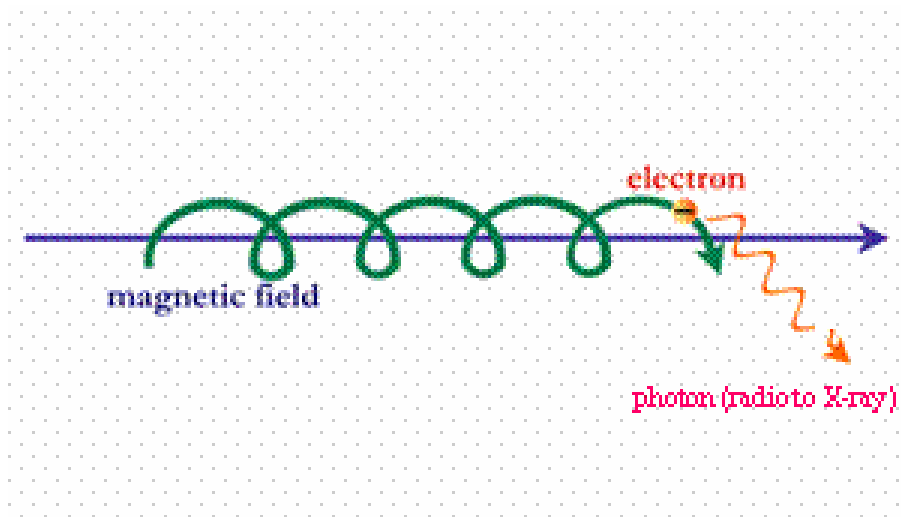
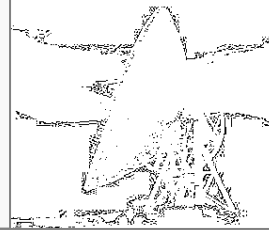


- Blazare sind extrem leuchtkräftige MeV-GeV Gammastrahlen-Emitter
- Gamma-Leuchtkräfte können die beobachtete bolometrische Leuchtkraft um einen Faktor 10-100 übersteigen
- Theoretische Katastrophe!
- Es wird noch schwieriger: schnell variable TeV-Emission

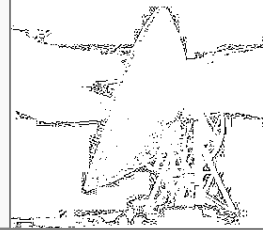




Synchrotron / Invers Compton



AGN: Mrk 421 Variabilität



- Zeitskala < wenige Stunden
- Korrelation mit Röntgen-Fluß

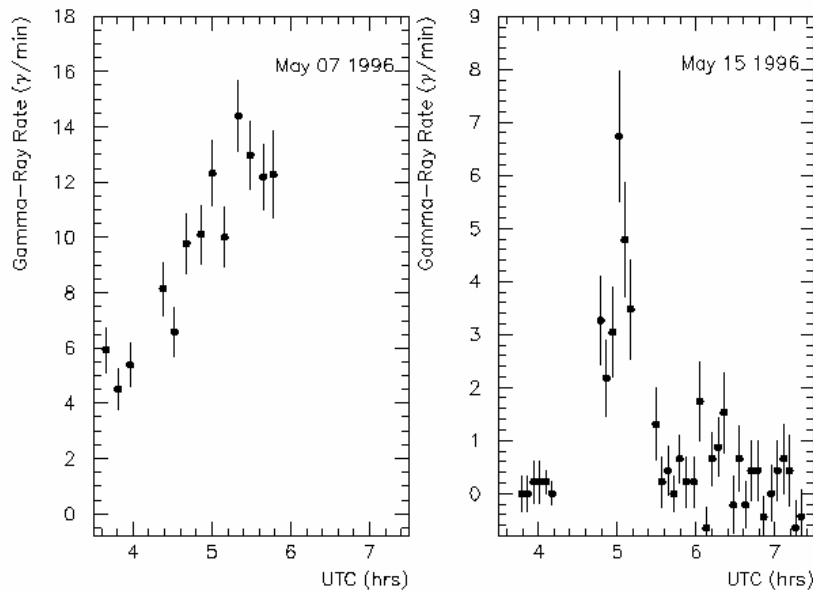
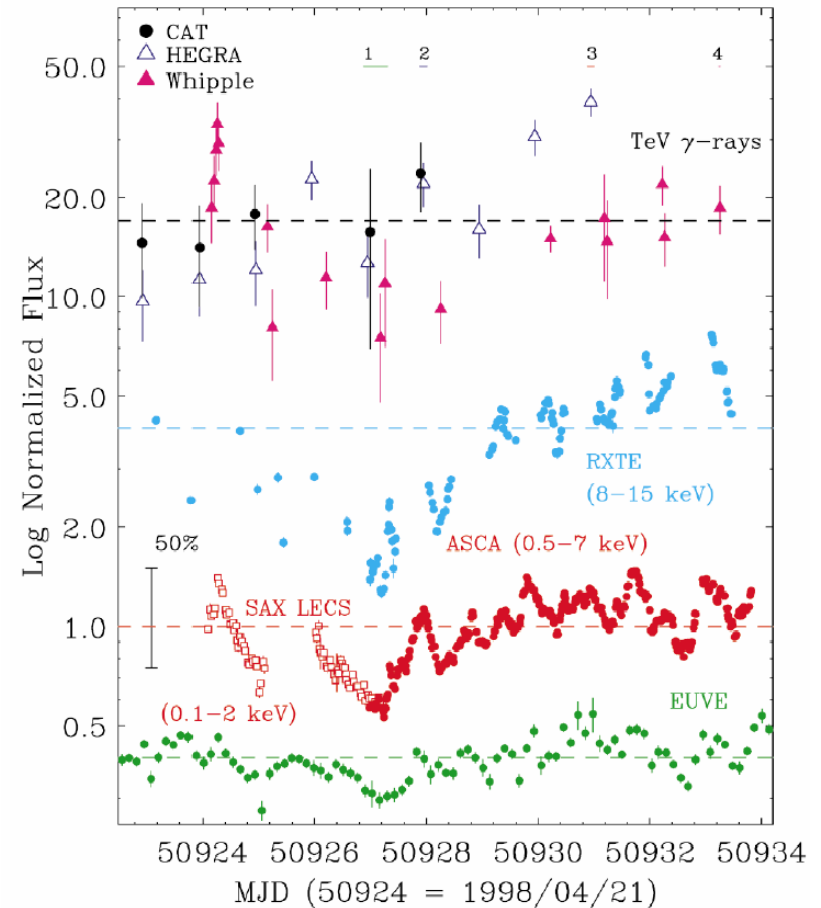


Figure 4. Flux of TeV photons from Mrk 421 as a function of time for two separate flares, indicating variability on the time scale < few hours [35]

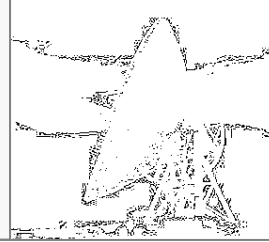


Gamma-Strahlung / Variabilität



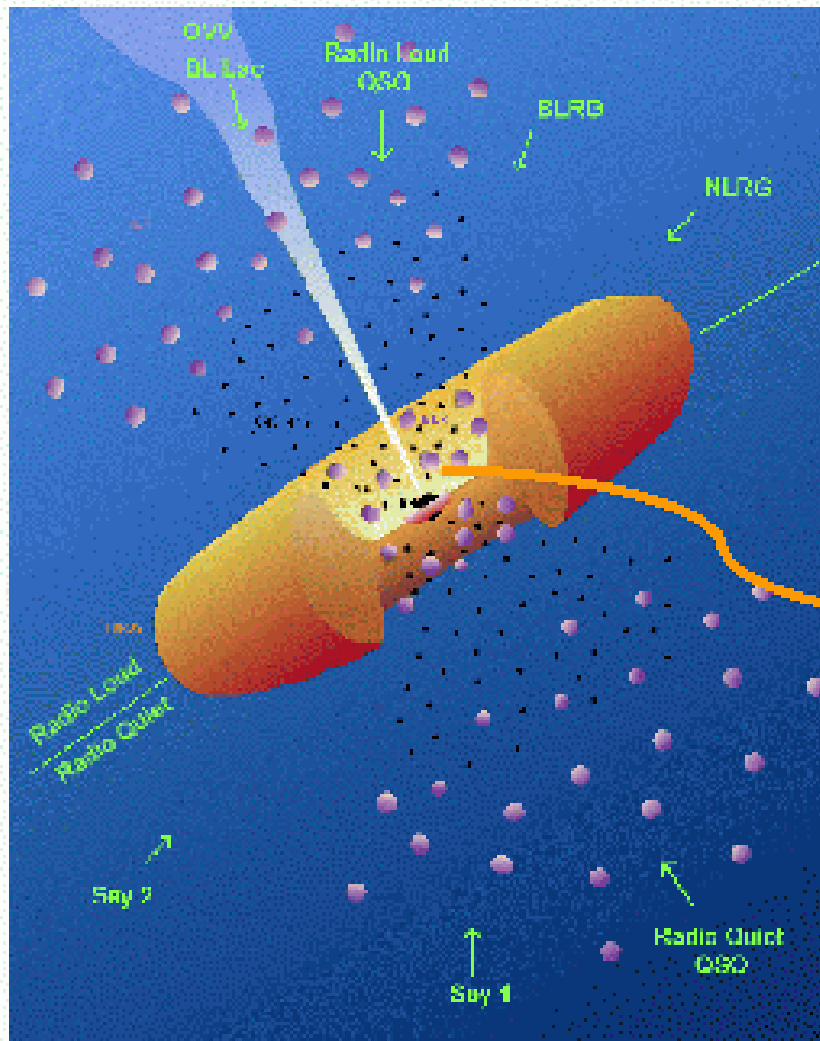
- Viele Blazare (66 EGRET, Hartman et al.) emittieren eine enorm große Strahlungsleistung in schnell variablen GeV Gamma Strahlung (2. Peaks in der spektralen Energieverteilung)
- Alle stark variabel auf einer Zeitskala von Monaten, Tagen oder sogar kürzeren Zeitskalen
- müssen relativistisch verstärkt sein
- vermutlicher Ursprung: Compton Streuung von niederenergetischen Photonen durch dieselben relativistischen Elektronen, die die niederfrequente Komponente erzeugen

TeV-Strahlung



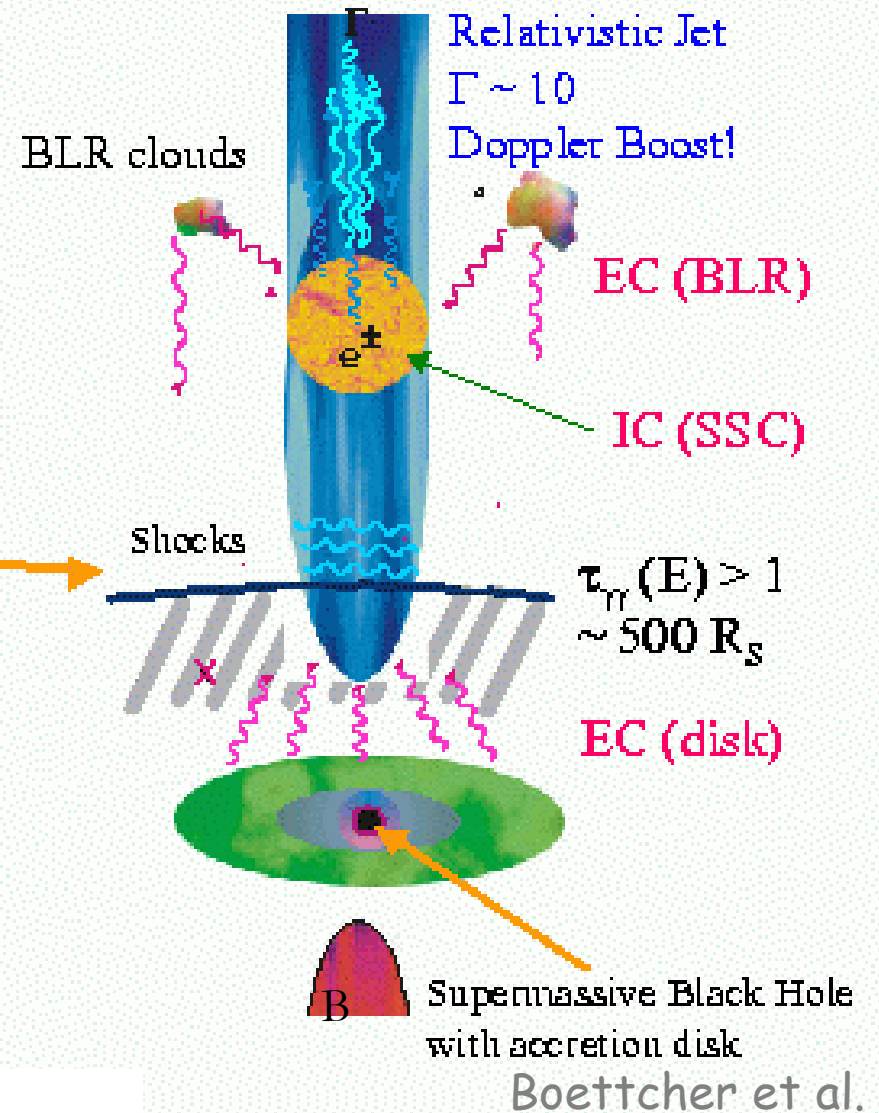
- Wie werden diese hochenergetischen Teilchen erzeugt? Bottom-up oder Top-down?
- Bottom-up: Teilchenbeschleunigung (Schocks)
- Top-down: Teilchen werden mit hohen Energien erzeugt und kühlen dann ab (Proton-initiierte Kaskaden, Mannheim 1993), Protonen produzieren Pionen an umgebenden Photonen, zerfallen in Photonen und Elektronen, weitere Kaskaden
- Natur der Teilchen: leptonisch (Elektronen), hadronisch (Protonen + sekundäre Gammastrahlung durch Pion-Zerfall, Compton-Photonen)
- SSC (Synchrotron-Selbst Compton) Modelle kommen mit dem eigenen Strahlungsfeld (Jet) nicht aus, umgebende Strahlungsfelder notwendig, geboostet.

AGN Modell:



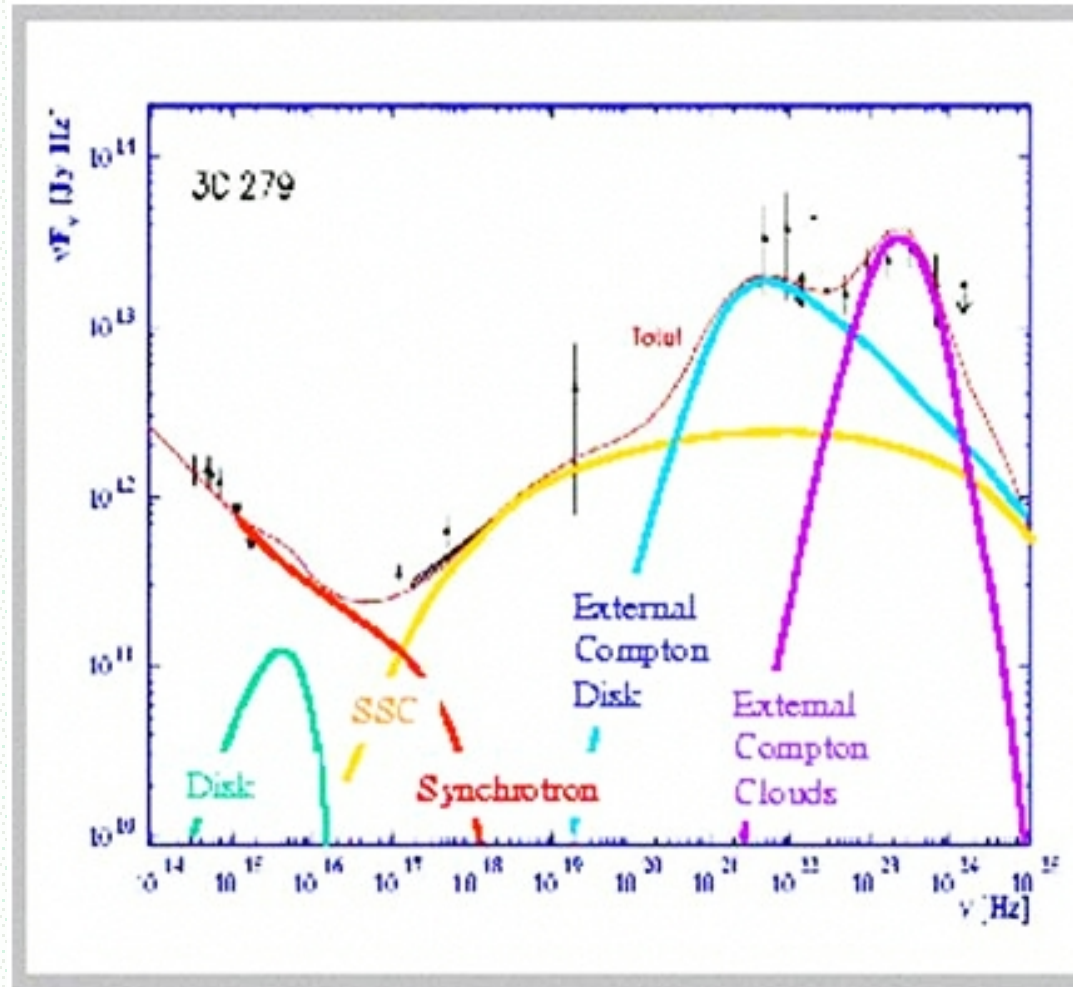
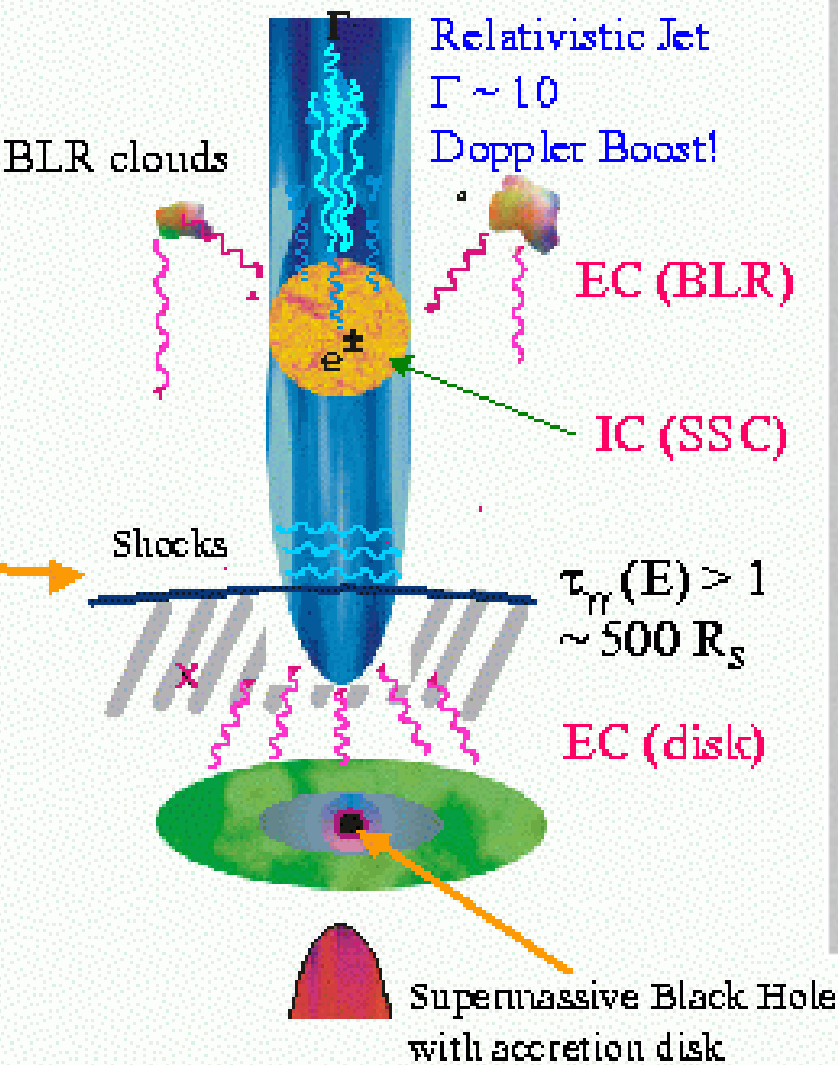
Synchrotron & Inverse Compton

(Bremsstrahlung & Annihilation)



Synchrotron & Inverse Compton

(Bremsstrahlung & Annihilation)

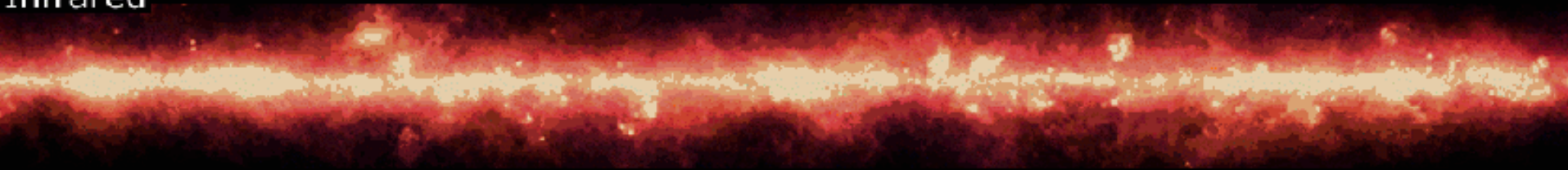


B

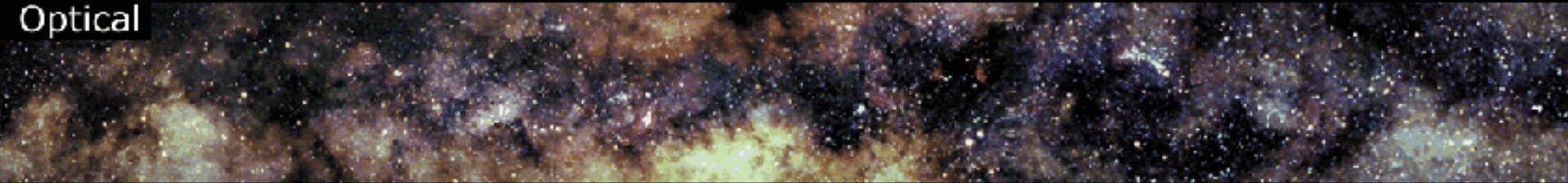
Boettcher et al.

HESS: Neue Quellen detektiert!

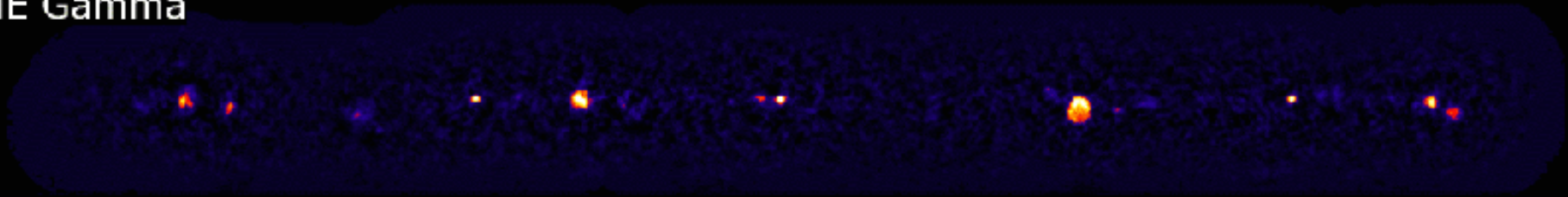
Infrared



Optical



VHE Gamma



HESS: Mikroquasar detektiert

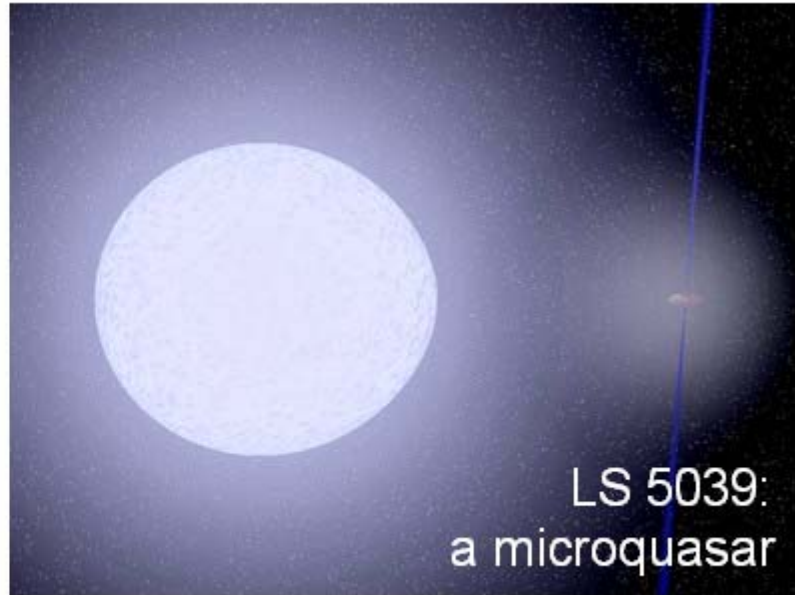
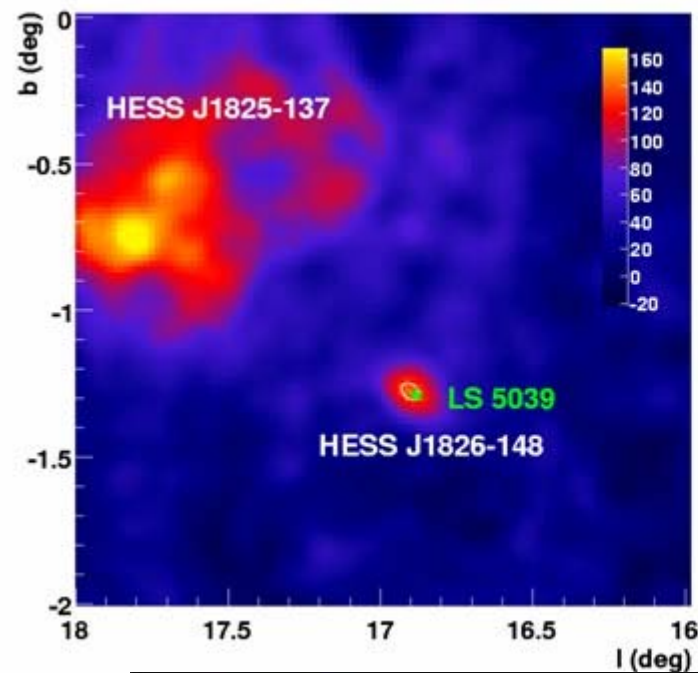
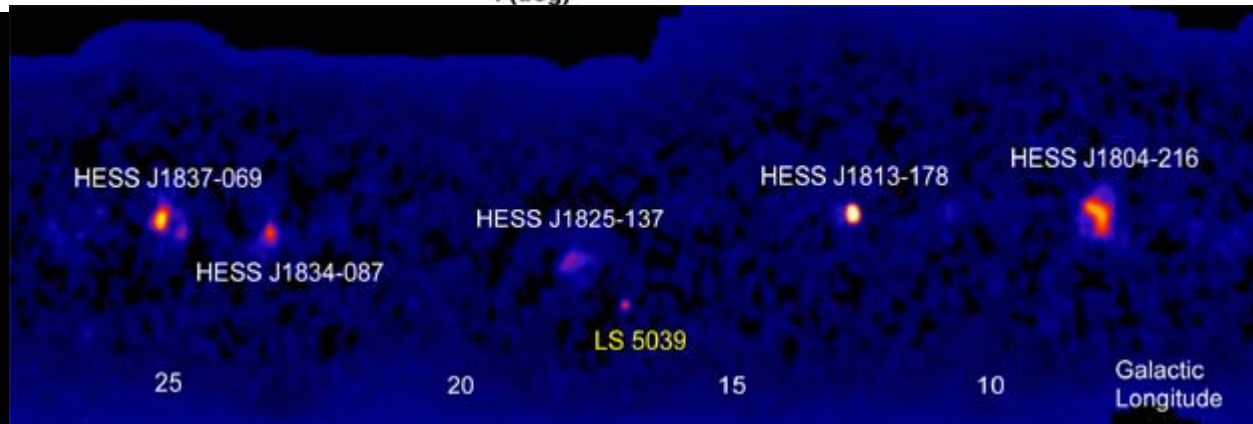


Image generated using software by Rob Hynes (LSU)



Das hochenergetische Universum



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

Kosmische Strahlung

- 1912 von V.F. Hess postuliert
- Mit Heißluftballon auf 5000 m Höhe, Messungen der Intensität der ionisierenden Strahlung, steigt mit zunehmender Höhe
- 1936 Nobelpreis für Physik
- D. Skobelzyn 1927: Nebelkammer weist erstmals Sekundärteilchen nach
- Zuvor unbekannte Teilchen wie Positronen, Myonen und Pionen werden erstmals in kosmischer Strahlung gefunden
- Ab 1950 können diese Teilchen auch an Beschleunigern erzeugt werden

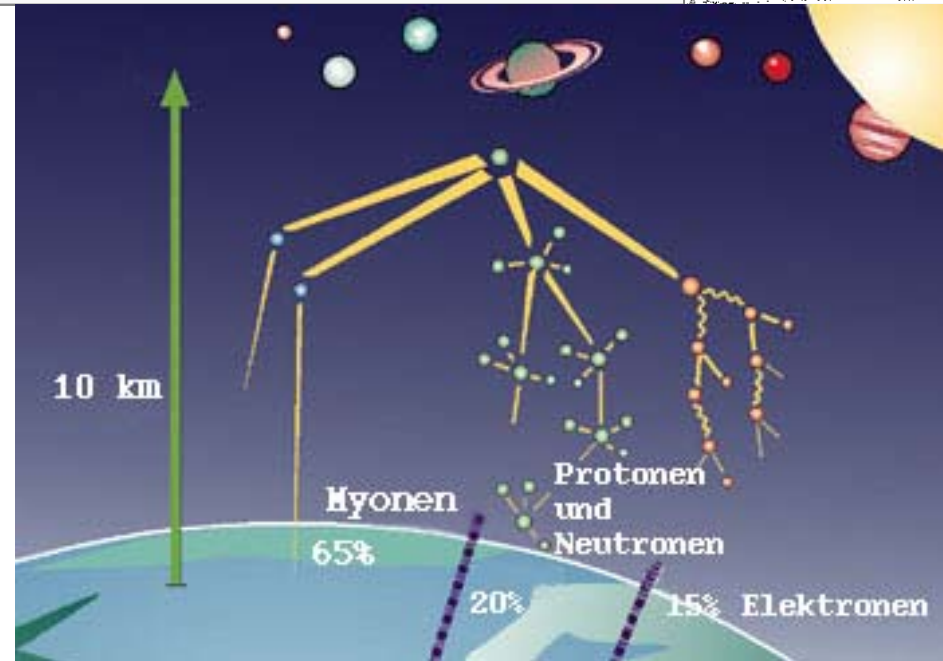


Der Entdecker der kosmischen Strahlung Prof. Viktor Hess in der Gondel seines Heißluftballons.

Kosmische Strahlung

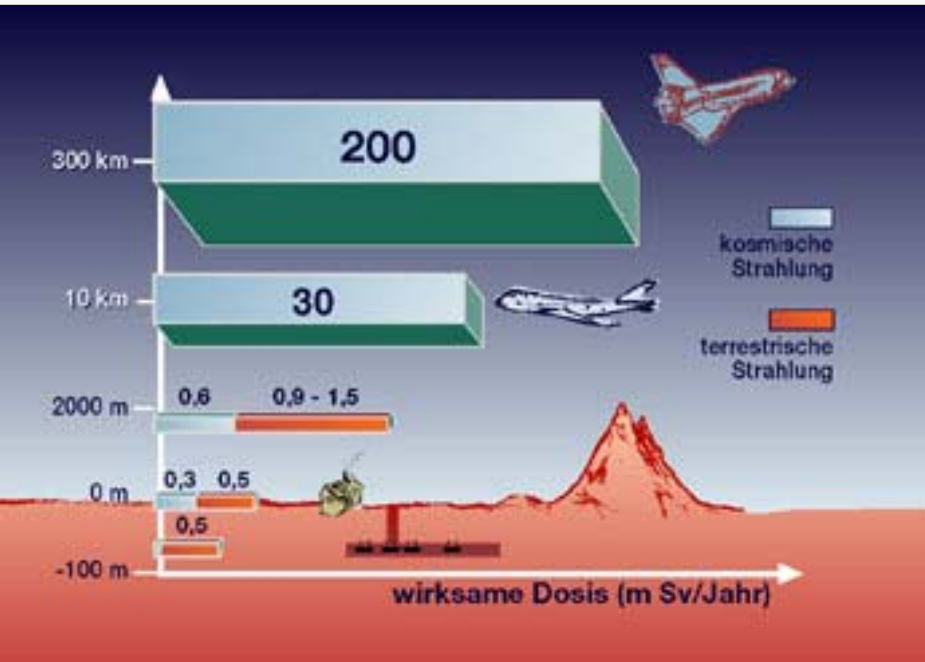
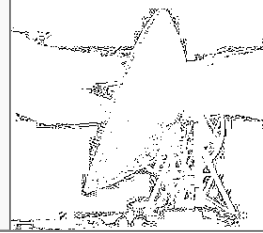


- Mittlere Intensität der galaktische Kosmischen strahlung seit mindestens *100 Mio Jahren höchstens um Faktor zwei geändert*
- Beim Eintreten in die Erdatmosphäre werden aufgrund von WW *Teilchenschauer* ausgelöst; vorwiegend *Myonen* entstehen, die bis zur Erdoberfläche gelangen, zerfallen weiter in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



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

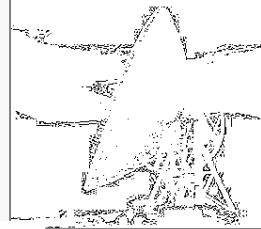
Kosmische Strahlung



- 700 Teilchen pro m² und Sekunde
- Energien zwischen 10⁷ und 10²⁰ eV
- (Teilchenbeschleuniger auf der Erde: bis zu 10¹² eV)
- Mögliche Quellen
 - **Supernova**
 - Pulsare
 - Weiße Zwerge
 - Novae
 - AGK
- 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

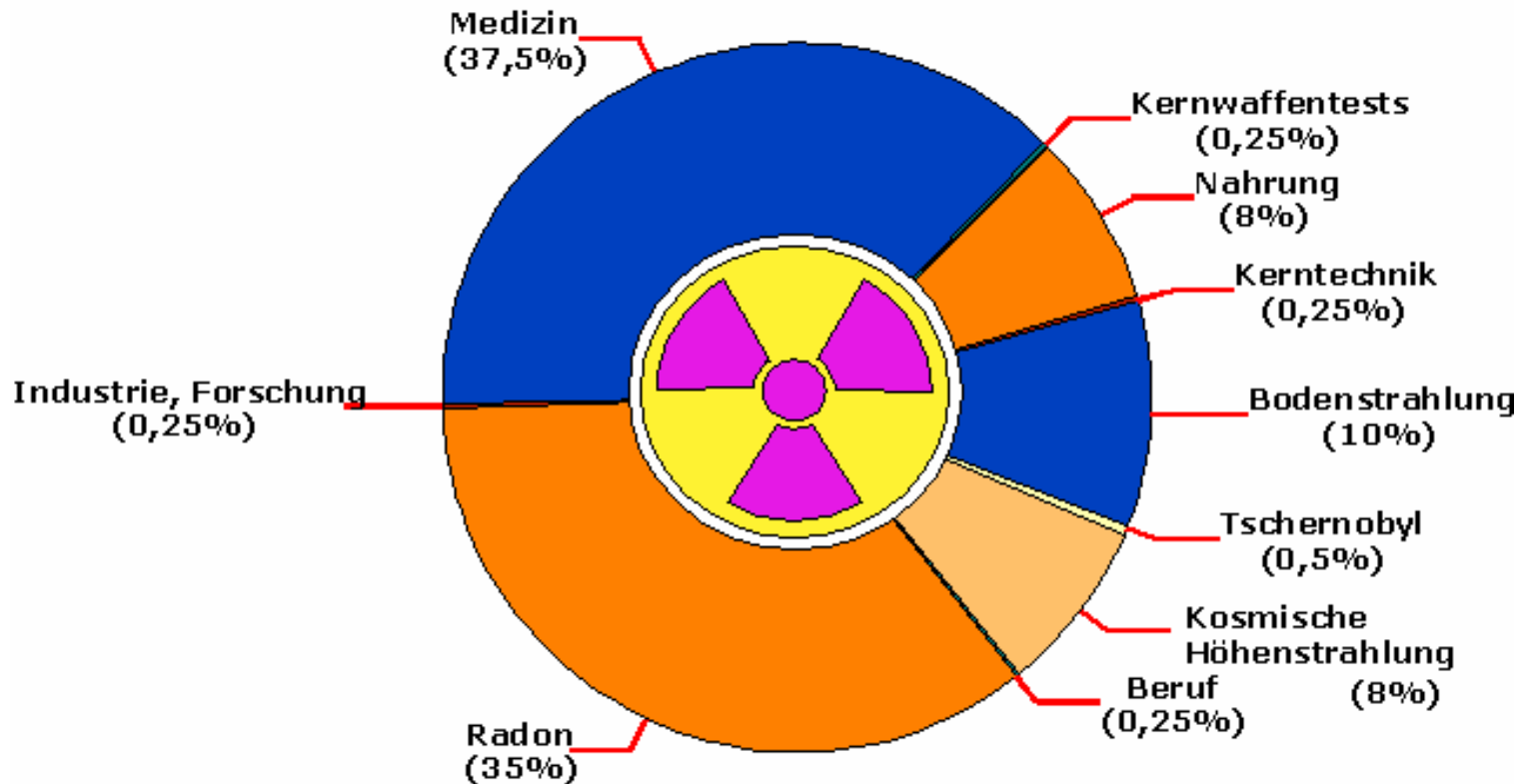
Kosmische Strahlung



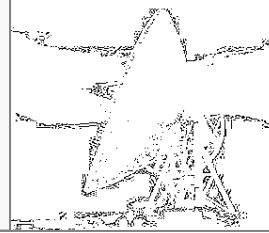
Strahlenbelastung in Deutschland

[Durchschnittliche jährliche Belastung beträgt 4 Millisievert (mSv)]

Davon in % durch:



Kosmische Strahlung



Terrestrische Strahlendosis für verschiedene Orte

Ort/Land	mSv pro Jahr
Schleswig-Holstein	0,14
Weserbergland/Braunschweig	0,58
Harz/Spessart	1,02
Bayerischer Wald	1,46
Katzenbuckel (bei Eberbach, Baden-Württemberg)	6,30
Indien (Kerala)	bis 27
Brasilien (Atlantikküste)	bis 87

nach Ungerer, 1994

18.11. Kosmische Strahlung

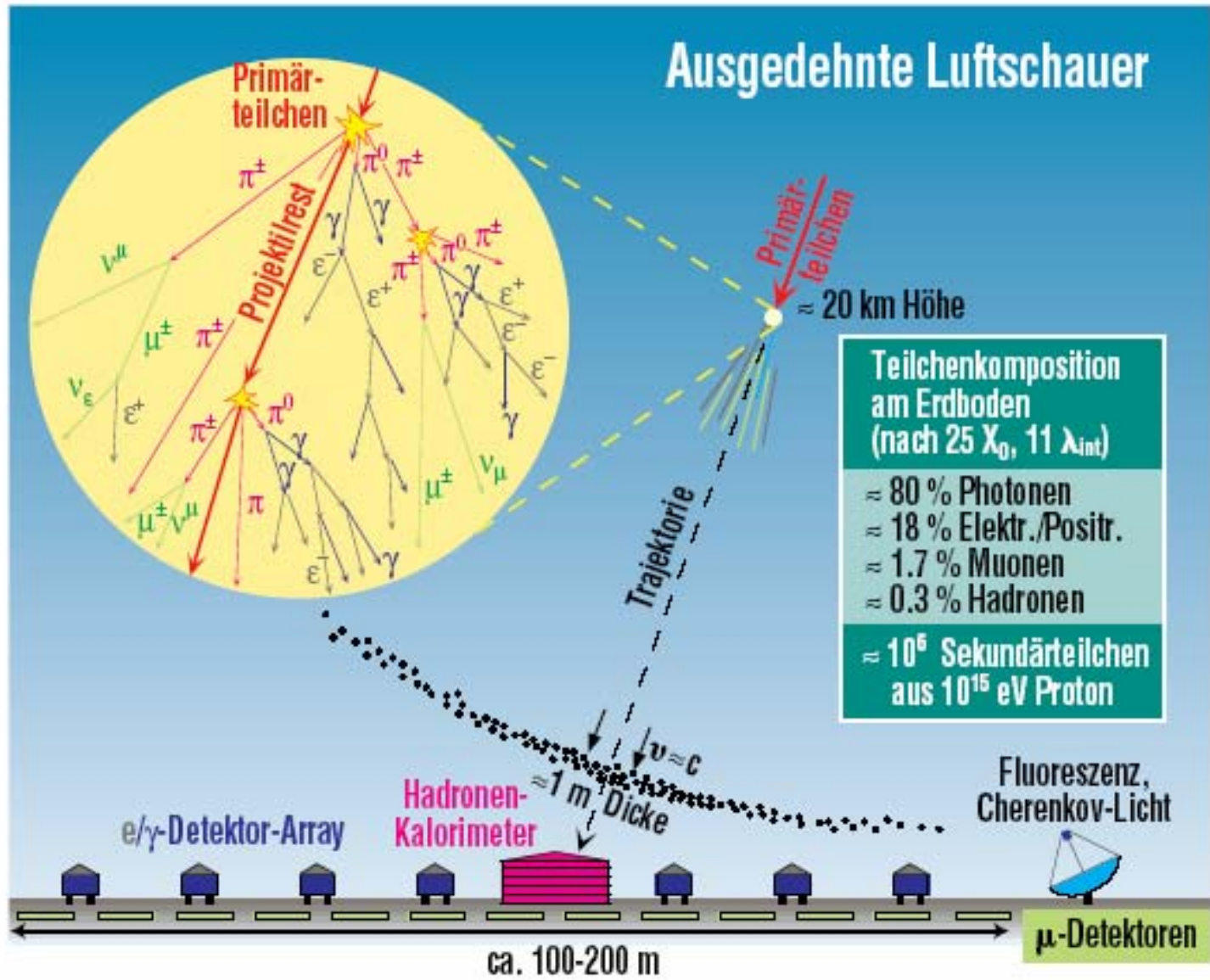
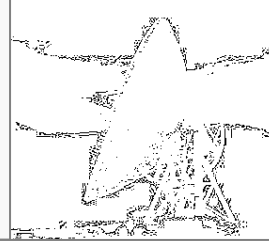


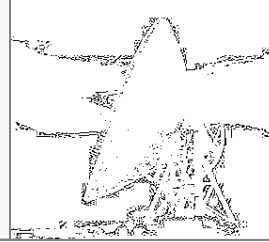
Abb. 1: Schematische Ansicht eines Luftschauers und seines Nachweises

Kosmische Strahlung / Zusammensetzung



- 97% Nukleonenkomponente: Protonen, alpha-Teilchen, schwerere Atomkerne (solare Elementhäufigkeit, Ausnahmen Li, Be, B, wg. Durchqueren galaktischer Materie häufiger)
- 3% Elektronen und Positronen, 10:1
- Potenzspektrum $E^{-\gamma}$
- GZK-Cutoff (Greisen-Zatsepin-Kuzmin-Effekt) bei 10^{19} Elektronenvolt, WW mit kosmischer Hintergrundstrahlung

Kosmische Strahlung / Herkunft / Nachweis



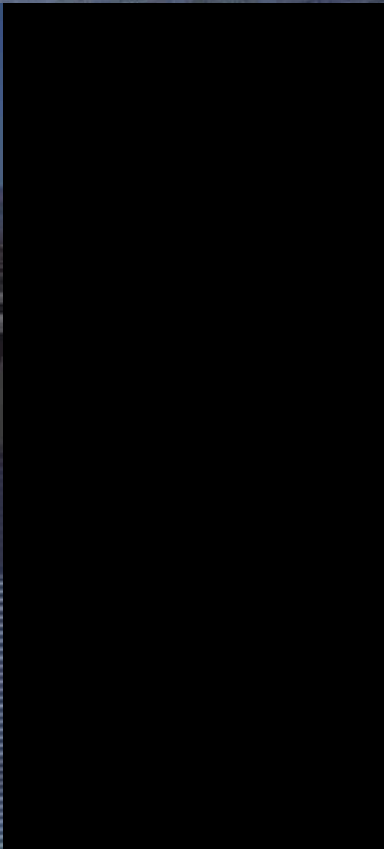
- Solare und galaktische kosmische Strahlung
- Sonneneruptionen erzeugt Teilchen bis in den GeV-Bereich
- Genauer Ursprung der galaktischen Komponente (Teilchenenergien bis 10^{20} eV) unbekannt
 - Schockfronten von Supernovaexplosionen
 - Kosmische Jets Schwarzer Löcher
 - Pulsare
- Teilchenenergien $<10^{18}$ eV innerhalb der Milchstraße
- Höchste je gemessene Teilchen-Energie: $3.2 \cdot 10^{20}$ eV (1991, Flye's Eye)
- Nachweis:
 - Niedrige Energien (bis 10^{15} eV): Ballon (40 km), Satelliten
 - Höhere: Detektorarrays (große Flächen, lange Messzeiten)
 - Höchste Energien: Fluoreszenzlicht von Stickstoffmolekülen



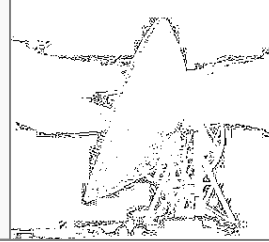
- Fly's Eye Detektoren
- Späte 70iger
- 1981 komplett
- 7 1.5m Spiegel



- Im Fokus: 12-14 Photomultiplier
- 1986, 2. Auge: FE II
- 1400 Photomultiplier
- 5 Watt blaue Glühbirne mit fast Lichtgeschwindigkeit



Ultra-Hochenergetische Kosmische Strahlung



- Über 10^{20} eV, muß im Universum 10^{21} eV gehabt haben
- Innerhalb von 100Mpc von der Erde muß die Quelle zu finden sein (WW mit CMB, Infrarot, Radio)
- Neue Physik? Topological Defects (TD) oder Super Massive Relic Particles (SMRP)
- Top-Down: kosmische Strahl ist Zerfallsprodukt eines supermassiven Teilchens (metastabile Überreste aus der Urknallphase, oder S-Bosonenfragmentation von topologischen Defekten, etc.)
- Bottom-Up: Energie wird transferriert zu einem geladenen Teilchen durch elektromagnetische WW, klassisch)

zum Vergleich: Large Hadron Collider am CERN/Genf wird ab 2006 8 TeV erzeugen

Kosmische Strahlung / Hillas-Diagramm

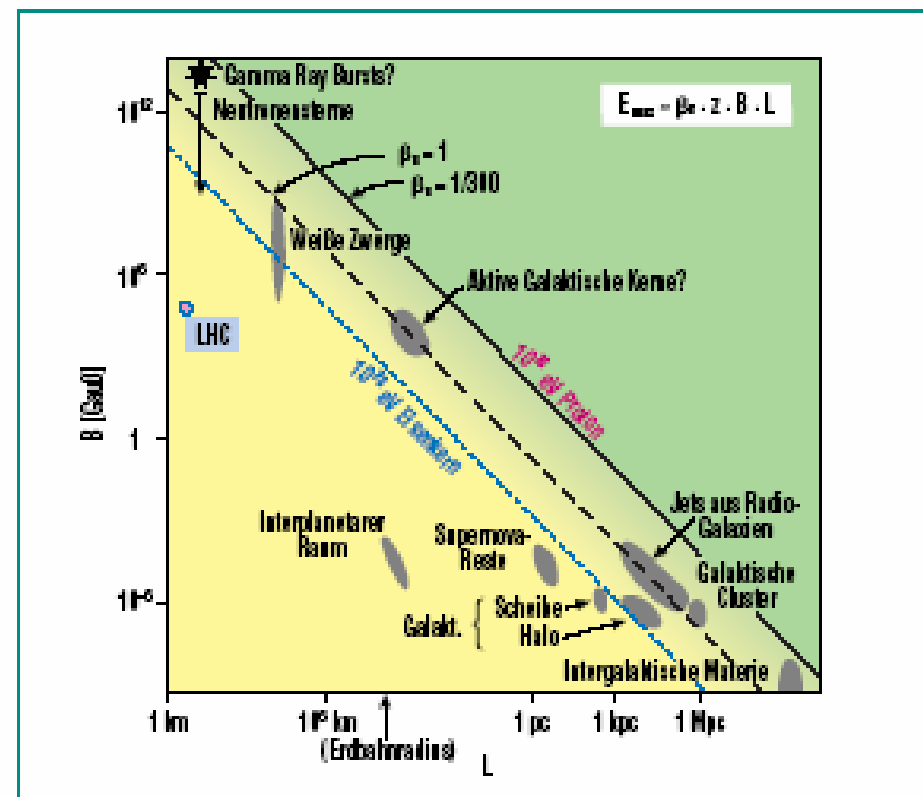
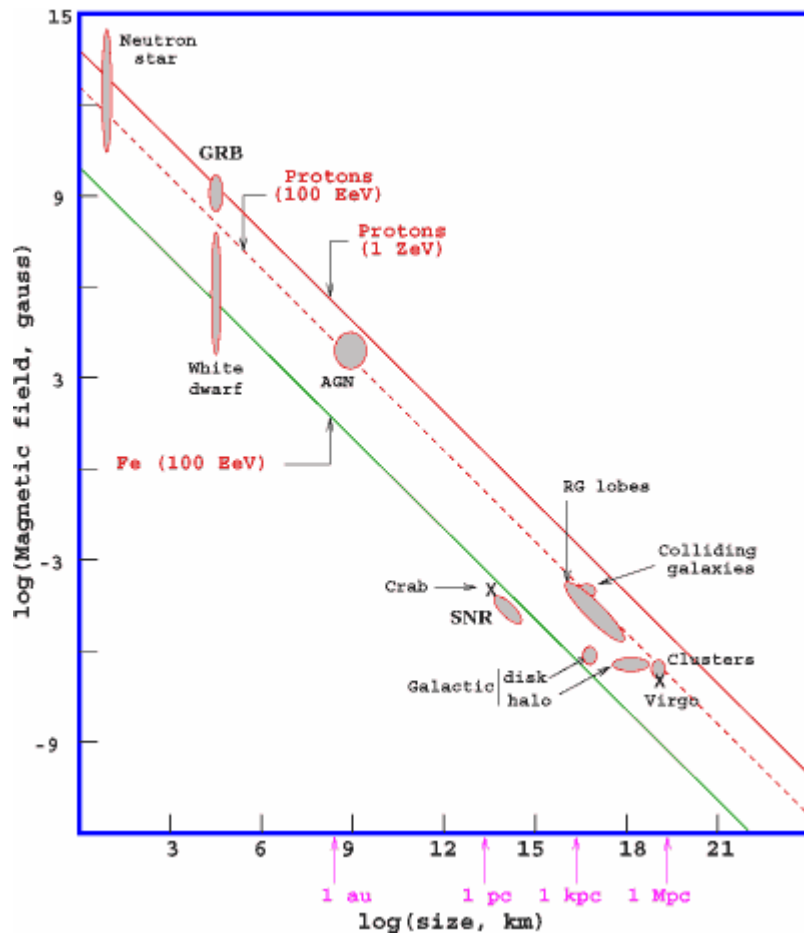
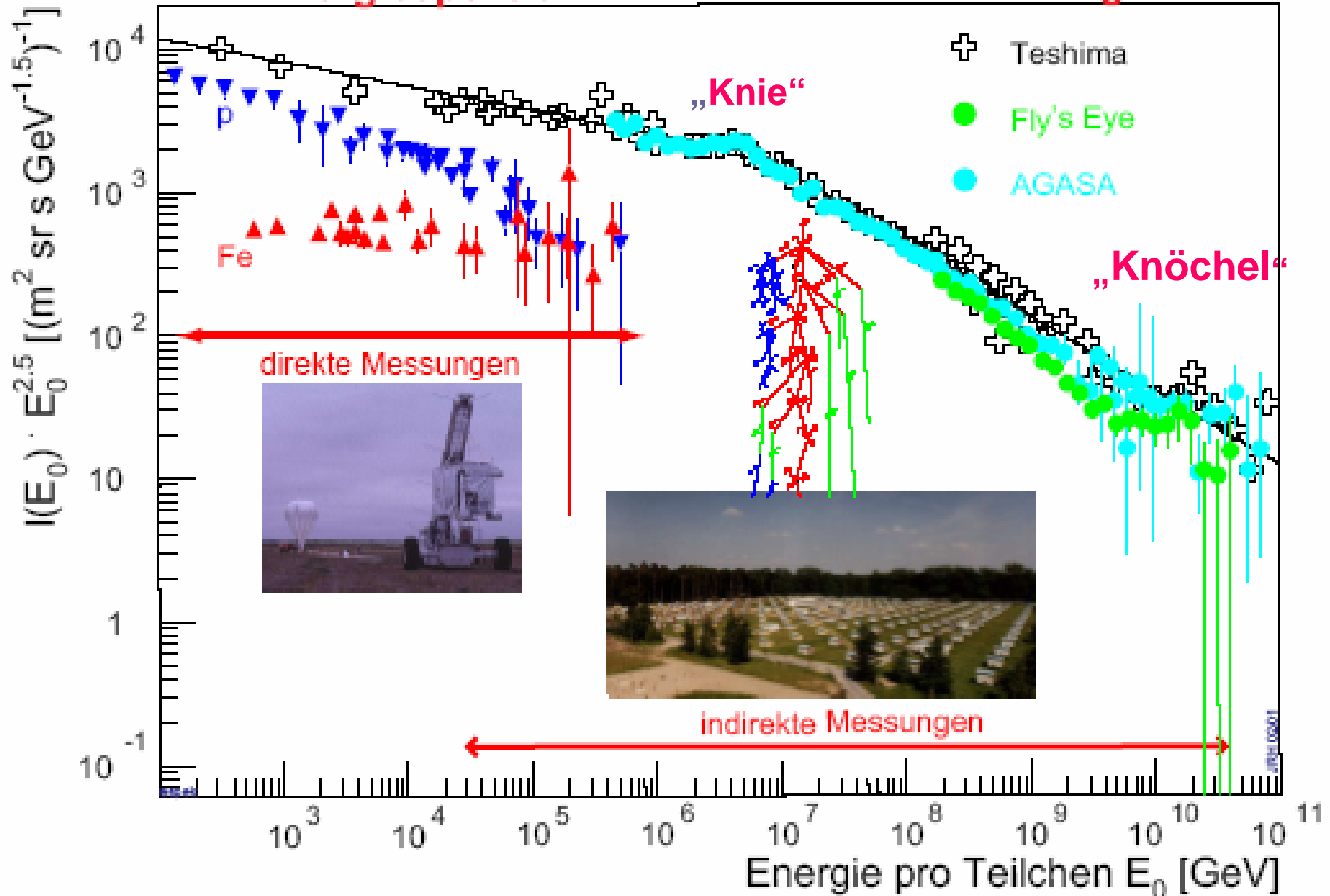
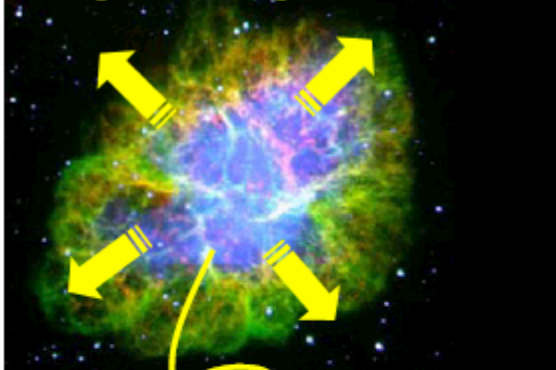


Abb. 3: Im sog. Hillas-Diagramm wird die charakteristische Größe L eines Objektes gegen die dort herrschende oder vermutete Magnetfeldstärke B aufgetragen. Objekte unterhalb der gestrichelten Linie können keine Protonen ($z=1$) auf $E \geq 10^{16}$ eV beschleunigen, für Eisenkerne gilt entsprechend die gepunktete Linie ($z=26$). 1 Parsec (pc) entspricht 3,26 Lichtjahren oder $3,1 \cdot 10^{13}$ km.

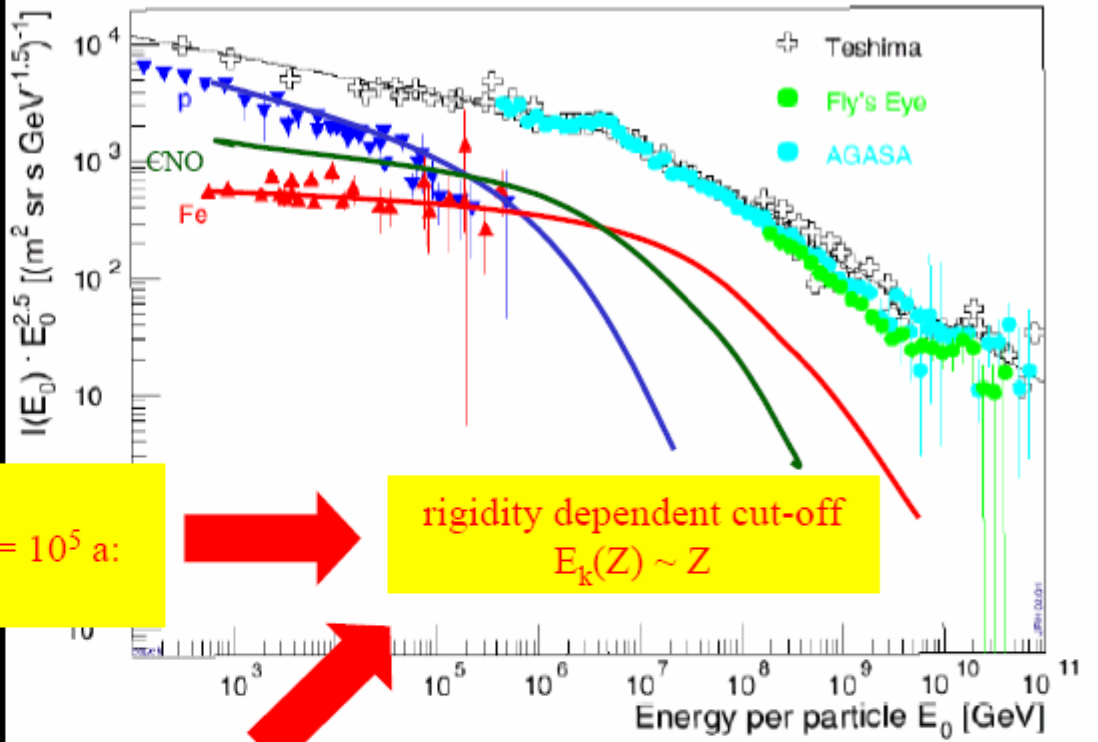
Energiespektrum der kosmischen Strahlung



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



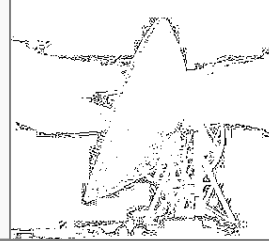
rigidity dependent cut-off
 $E_k(Z) \sim Z$

propagation through galaxy:

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

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





- Ursprung des Abknickens nicht gelöst:
 - Energetische Grenze der Teilchenbeschleunigung in Supernova-Schocks
 - Änderung des Transportmechanismen bis zum Nachweis (Magnetfelder in der Galaxis)
 - Neuartiges schweres Teilchen wird erzeugt
- Variation der Massenzusammensetzung (schwere Komponente wächst oberhalb des Knies)
- Aufgabe von KASCADE

Kosmische Strahlung / Cut-off

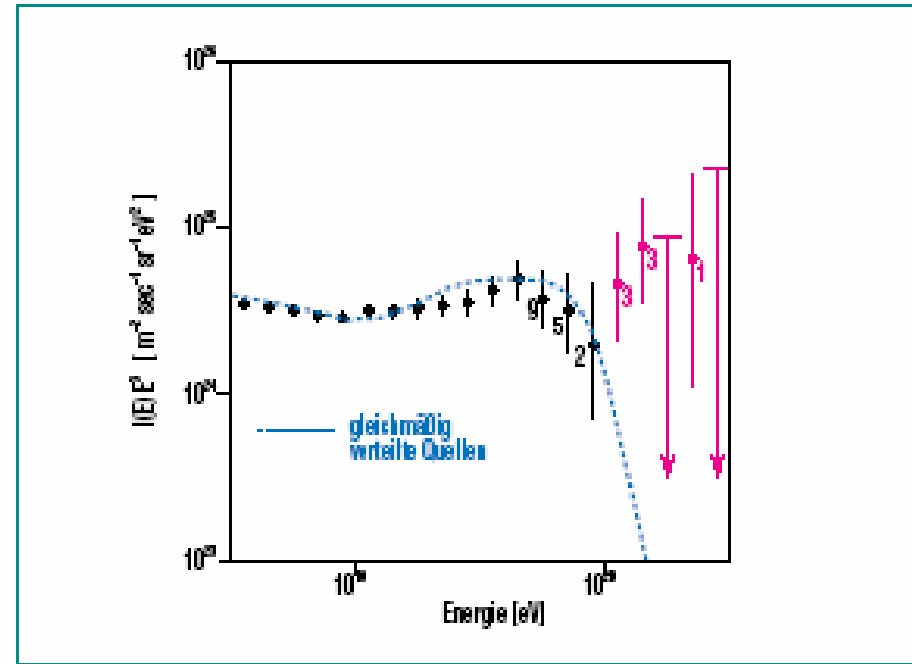
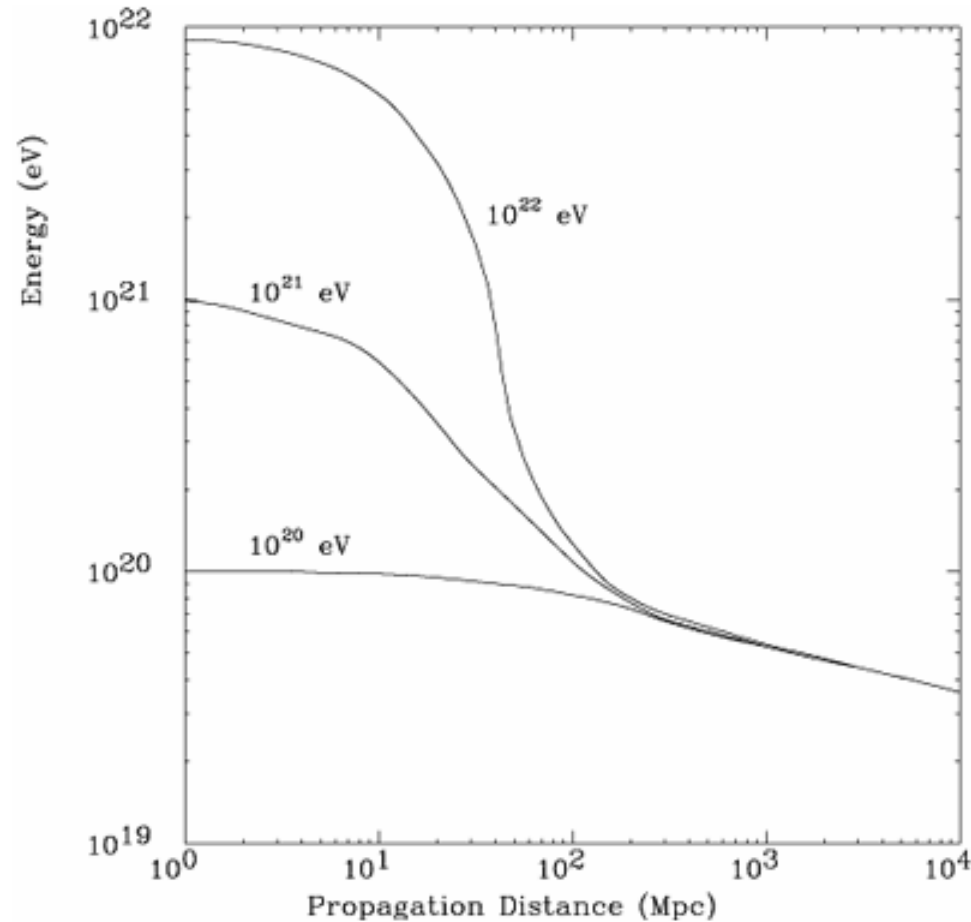
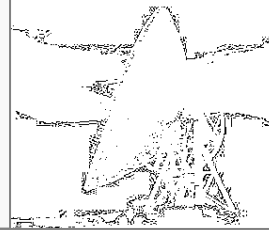
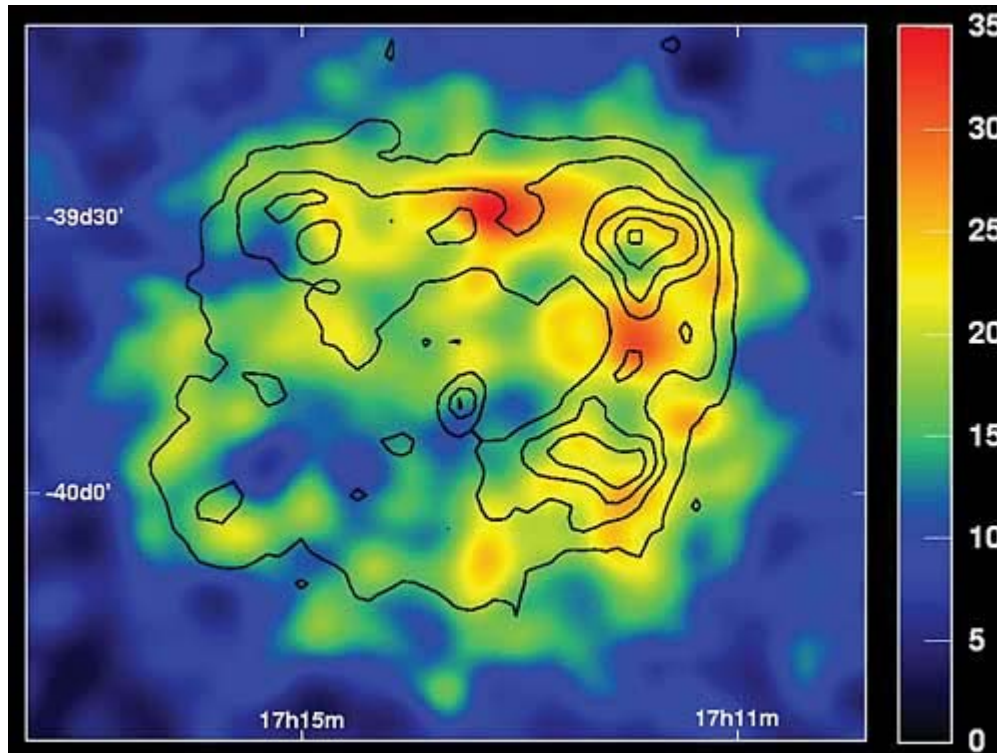
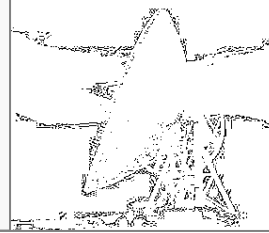


Abb. 6: AGASA-Energiespektrum [12]. Die Intensität $I(E)$ multipliziert mit E^2 ist gegen die gemessene Energie E aufgetragen. Die Daten zeigen nicht den aufgrund des GZK-Effekts erwarteten Abbruch (gestrichelte Kurve).

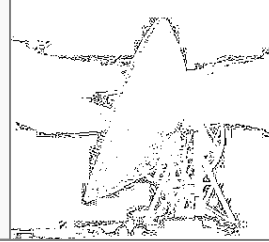
Kosmische Strahlung aus Supernovae



- Stoßwelle, Materie führt Magnetfelder Mit, an denen die geladenen Teilchen der kosmischen Strahlung beschleunigt werden (1949, Enrico Fermi, Fermibeschleunigung)
- Mittlere Verweildauer der Teilchen Der kosmischen Strahlung: 10^7 Jahre

- Bild des Supernova Überrests RXJ1713.7-4946 im Sternbild Skorpion, erzeugt mit den H.E.S.S.-Teleskopen. Es ist die erste astronomische Aufnahme, die im Licht der Teraelektronenvolt-Gammastrahlung gemacht werden konnte.

Kosmische Strahlung / kollidierende Galaxienhaufen

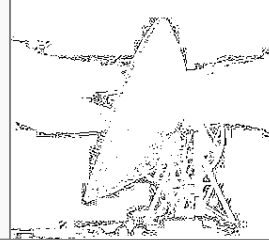


Zwei kollidierende Galaxienhaufen
(450 Mio Lichtjahren Entfernung)
5 Teilchen aus derselben Richtung

Stammen hochenergetische
kosmische Partikel aus zwei
Galaxienhaufen? Hubble-Bild
des Haufens Abell 2218.

Foto: W. Couch (University of New South
Wales), R. Ellis (Cambridge University),
NASA / NSSDC

Detektorarrays



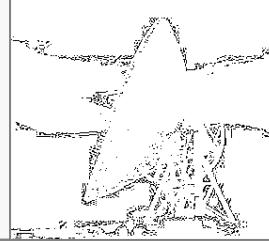
- High Resolution Fly's Eye (HiRes, Utah, USA), 300 Ereignisse oberhalb von 10^{19} eV pro Jahr; 21 3m Teleskope + 42 Spiegel
- AGASA (Akeno Giant Air Shower Array, Japan), 100 km², 100 Szintillationszähler
- HIRES (Salt Lake City, Utah, USA), Wüste, Spiegelteleskope zur Beobachtung des Fluoreszenzlichts (Mondlose, klare, dunkle Nächte sind Bedingung)
- AUGER-Projekt, Hybridexperiment
- KASCADE (Karlsruhe Shower Core and Array Detector)

KASCADE-Experiment Karlsruhe Shower Core and Array Detector



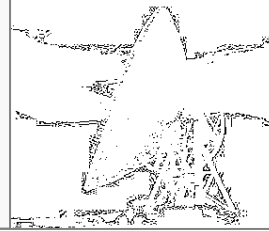
Ansicht des KASCADE-Experiments. Erkennbar sind neben den einzelnen Hütten des Detektorfelds auch der in der Mitte gelegene Zentraldetektor: Knie verursacht durch leichte Teilchenkomponente, skaliert linear mit der Ladungszahl der Primärteilchen.

KASCADE

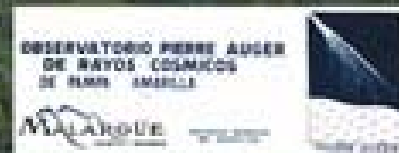
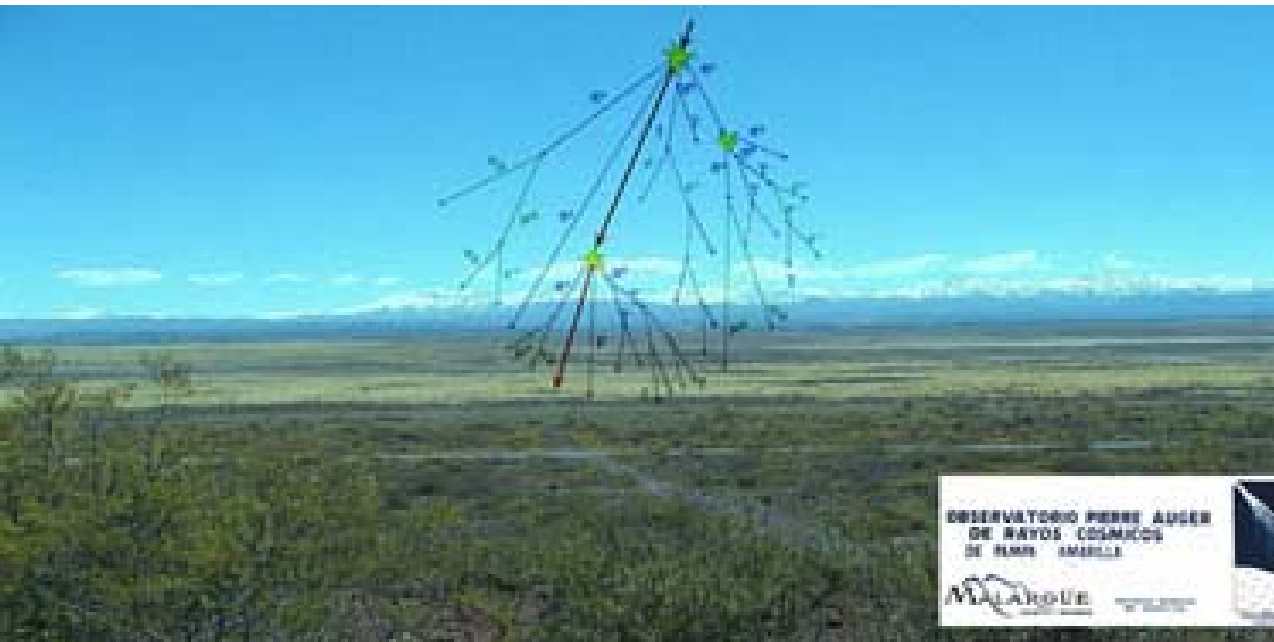


- Untersucht bei $4 \cdot 10^{15}$ eV
- 200×200 m²
- 252 Detektorstationen im Abstand von 13 m zueinander
- Innere 60 Stationen: je 4 Szintillationsdetektoren mit Nachweisfläche von 0.8 m²
- Äußere 192 Stationen, nur zwei Detektoren
- Zentrum: 20×16 m² großes Detektorsystem bestehend aus 4000 t Eisen-TMS/TMP-Sampling-Kalorimeter, welches von 40 000 Ionisationskammern ausgelesen wird

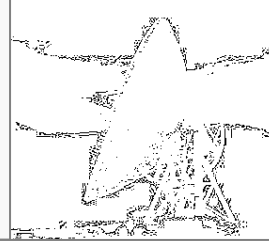
Pierre-Auger-Projekt



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



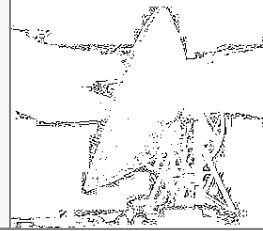
Pierre-Auger-Projekt



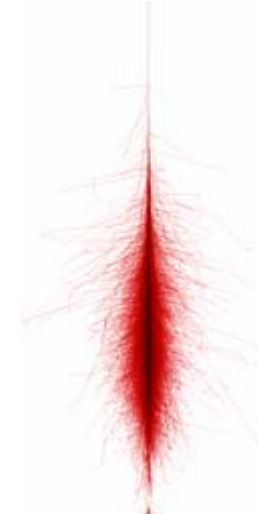
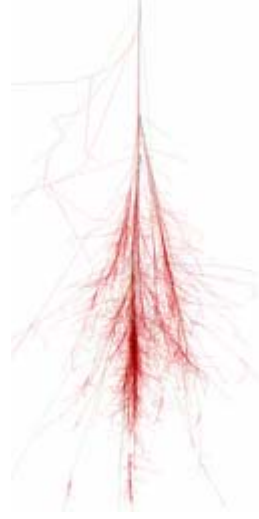
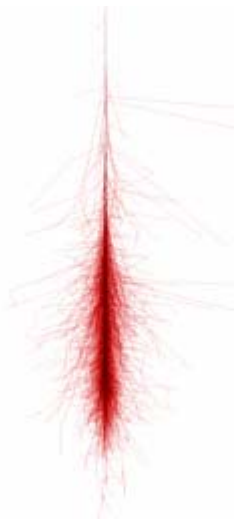
- 1938: Pierre Auger entdeckt ausgedehnte Luftschaer
- Projekt: 1600 Detektoren (12 m³ ultrahochreines Wasser), je 11.3 m² Grundfläche im Abstand von 1.5 km
- Zusätzlich: 30 Teleskope mit je 12 m² Fläche
- Über 100 Szintillationszähler
- Mendoza, Argentinien, 3000 km² (Saarland), weltweit größtes Experiment
- 15 Jahre Gesamtlaufzeit, 40 Institutionen in 16 Staaten
- 200 Wissenschaftler aus 19 Nationen
- 2. Teil in Utah, USA: **Süd- und Nord-Projekt**
- Jedes Jahr 10 000 Ereignisse oberhalb von 10 EeV und 100 oberhalb von 100 EeV
- Oberhalb von 10¹⁹ eV

Kosmische Strahlung /

Lufschschauersimulationsprogramm CORSIKA

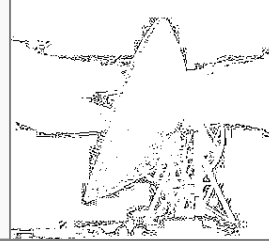


- Photon Proton Iron Myon Showers



- Hadronen eng (30m) um die Schauerachse
- Elektronen, Positronen, Photonen (=Elektronen), Myonen einige 100m bis zu mehreren km entfernt von der Schauerachse nachweisbar

Do it yourself!



- CORSIKA: COsmic Ray Simulations for KAscade
- Monte Carlo Code zur Simulation
- <http://www-ik.fzk.de/corsika/> ...
- Programm, Bilder, Filme

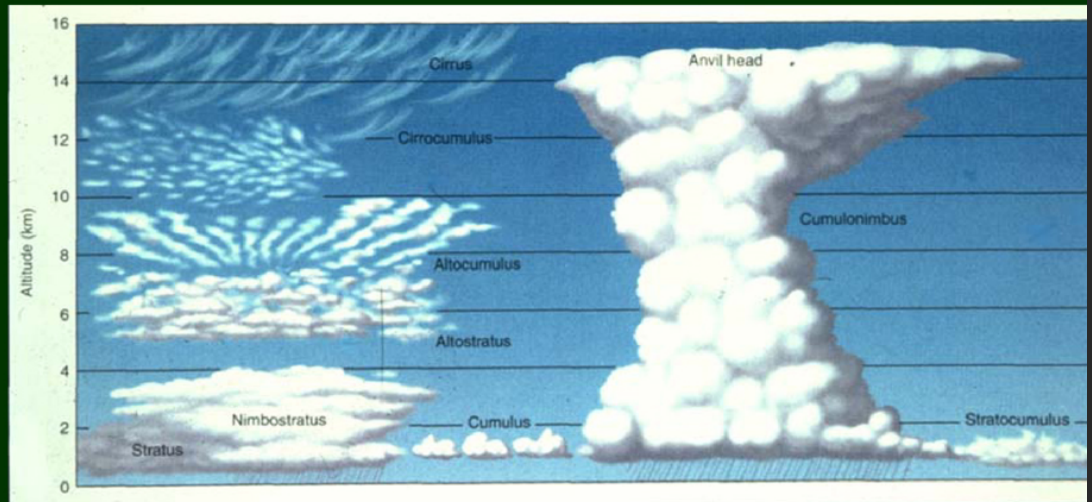
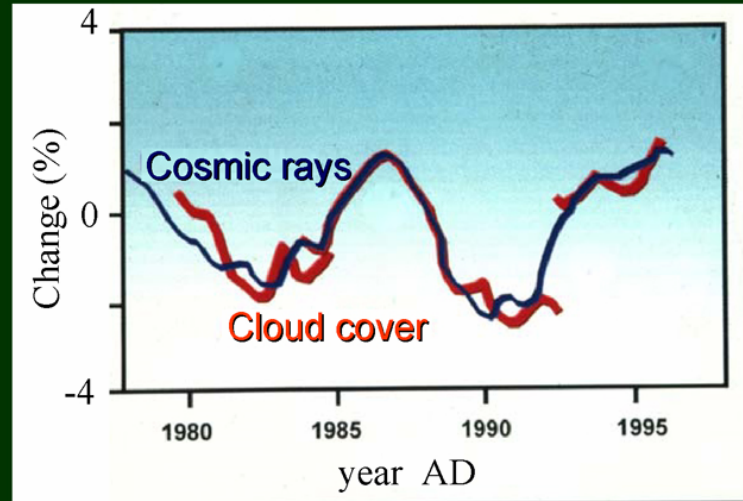
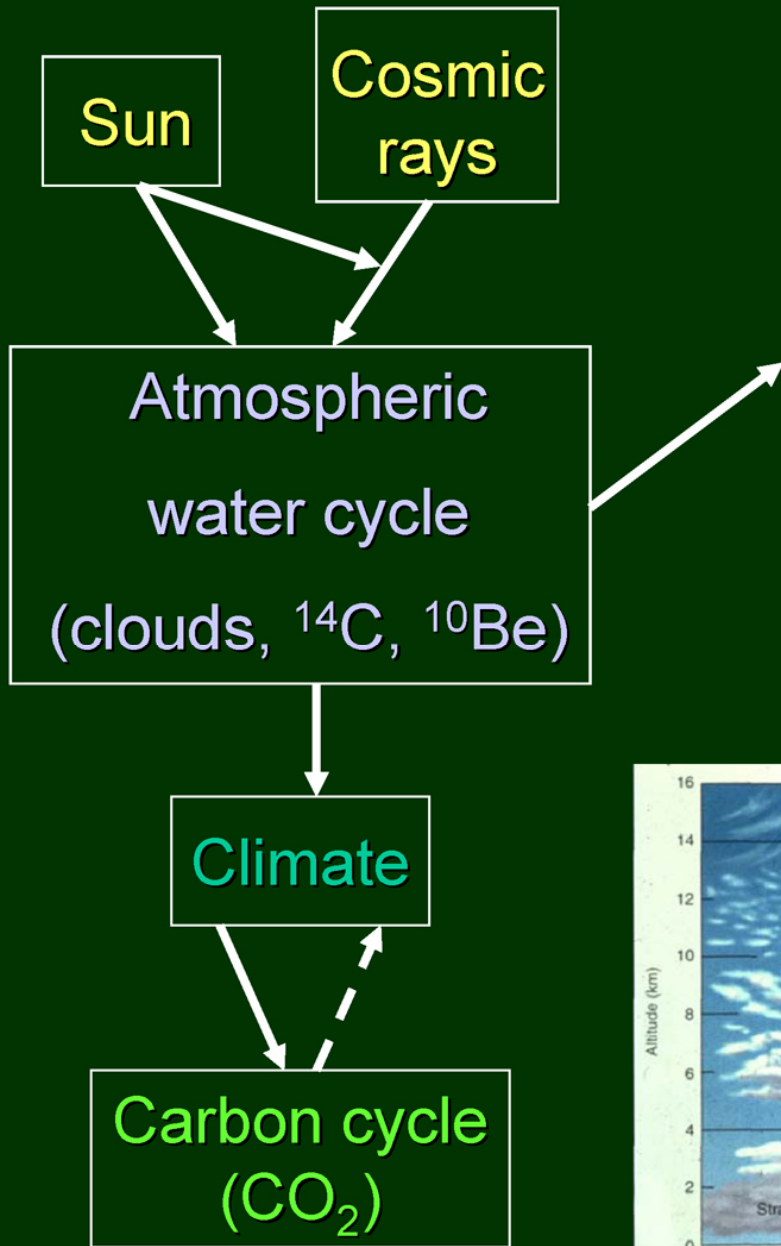
Extreme Universe Space Observatory

EUSO

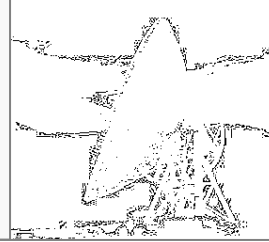


- Erste Weltraummission zur Entdeckung von kosmischer Strahlung und Neutrinos extremer Energie ($>5 \times 10^{19}$ eV)
- Benutzt die Erdatmosphäre als gigantischen Detektor
- Phase A, ESA

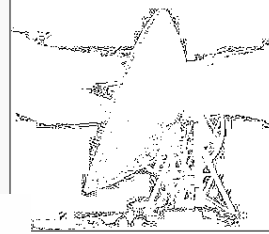
Kosmische Strahlung: Klimawandel?



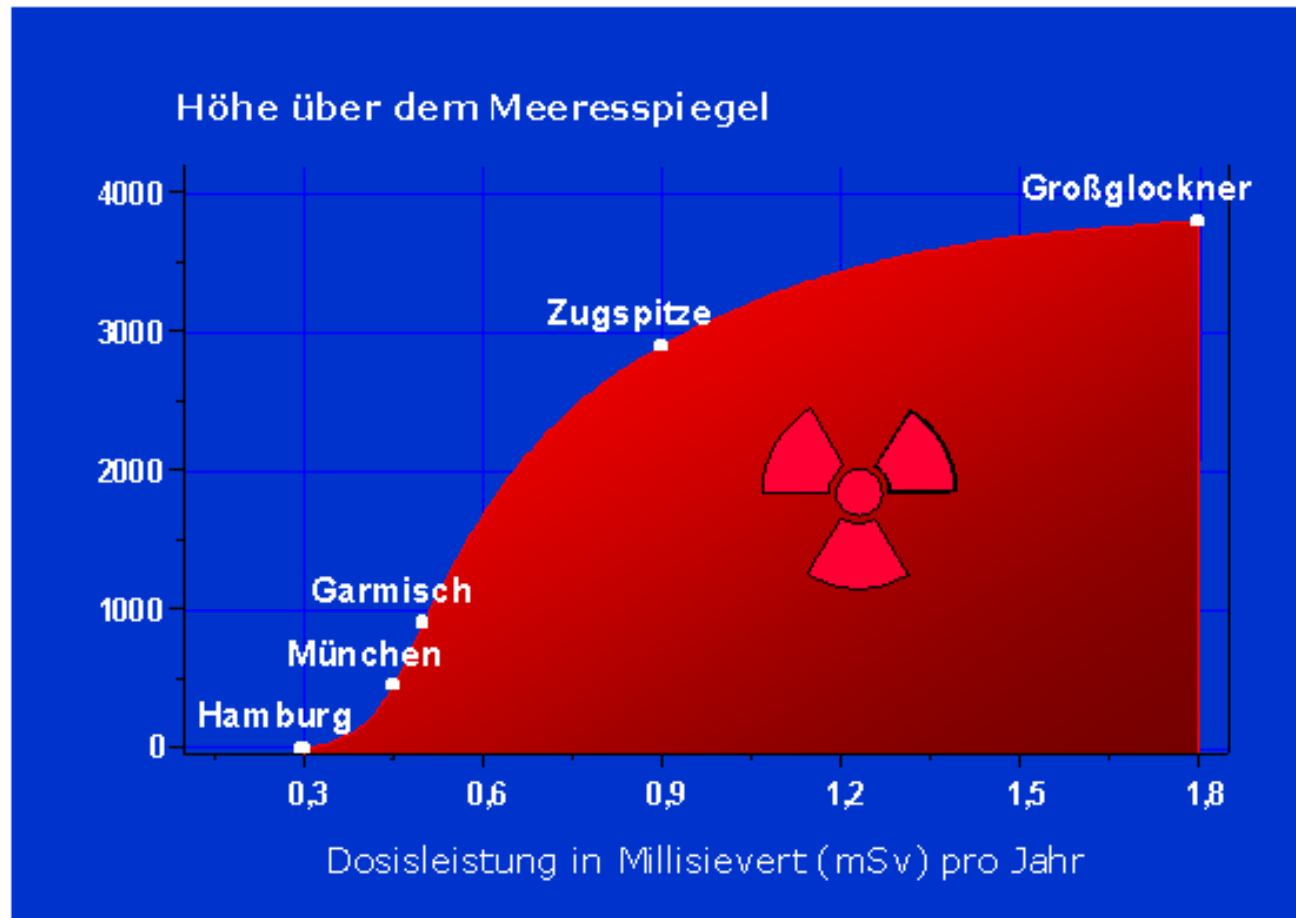
Himmlicher Treibhauseffekt?



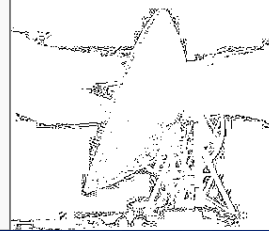
- These: Kosmische Strahlung könnte Hauptmotor der Erwärmung und Abkühlung sein
 - Beeinflußt Wolkenbildung und Wasserkreislauf
 - Klimadaten der letzten 600 Mio Jahre mit Intensität der kosmischen Strahlung: Periodizität (143 Mio Jahre)
 - Erdklima und Atmosphäre anhand von Sedimenten wie Kohlen und Salzen, Fossilien, etc. 42 Eisenmeteoriten
- Antithese: Treibhausgas hat das Klima stärker beeinflußt als kosmische Strahlung
 - Fossilien, versteinerte Blätter, Kalk-Sedimente, Gletscherablagerungen
 - Ergebnis: CO₂-Gehalt und Temperatur verliefen im Gleichschritt, kosmische Strahlung untergeordnete Rolle, CO₂ wichtiger Klimafaktor



Kosmische Strahlung



Kosmische Strahlung: Einfluss auf das Erdklima?



2.650 m Höhe, Vielkugelspektrometer mit 16 mit Helium gefüllten Detektoren, reagieren auf langsame Neutronen niedriger Energie (MeV-10GeV)

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen kosmischer Strahlung und atmosphärischen Zustandsgrößen? (gefördert vom Bayerischen Staatsministerium)
- Strahlungspartikel könnten beim Aufprall auf Atmosphärgase Kondensationskeime erzeugen, die zu verstärkter Wolkenbildung führen

„Brennpunkte extragalaktischer Forschung“ Themen

- 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 & Gamma-ray bursts)
- **02.12.** -> muß verschoben werden auf den:
- **16.12. Schwarze Löcher:**
 - Neue Ergebnisse und Spekulationen**

