

# *Das Rätsel der Kosmischen Strahlung*



PSI: Tag der offenen Tür  
30. Oktober 2005  
Felicitas Pauss / ETH Zürich

~ 40 km

~ 15 km

# Kosmisches Teilchen Primärteilchen

Atmosphäre

## Luftschauer Sekundärteilchen

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} \nu_{\mu}$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$$

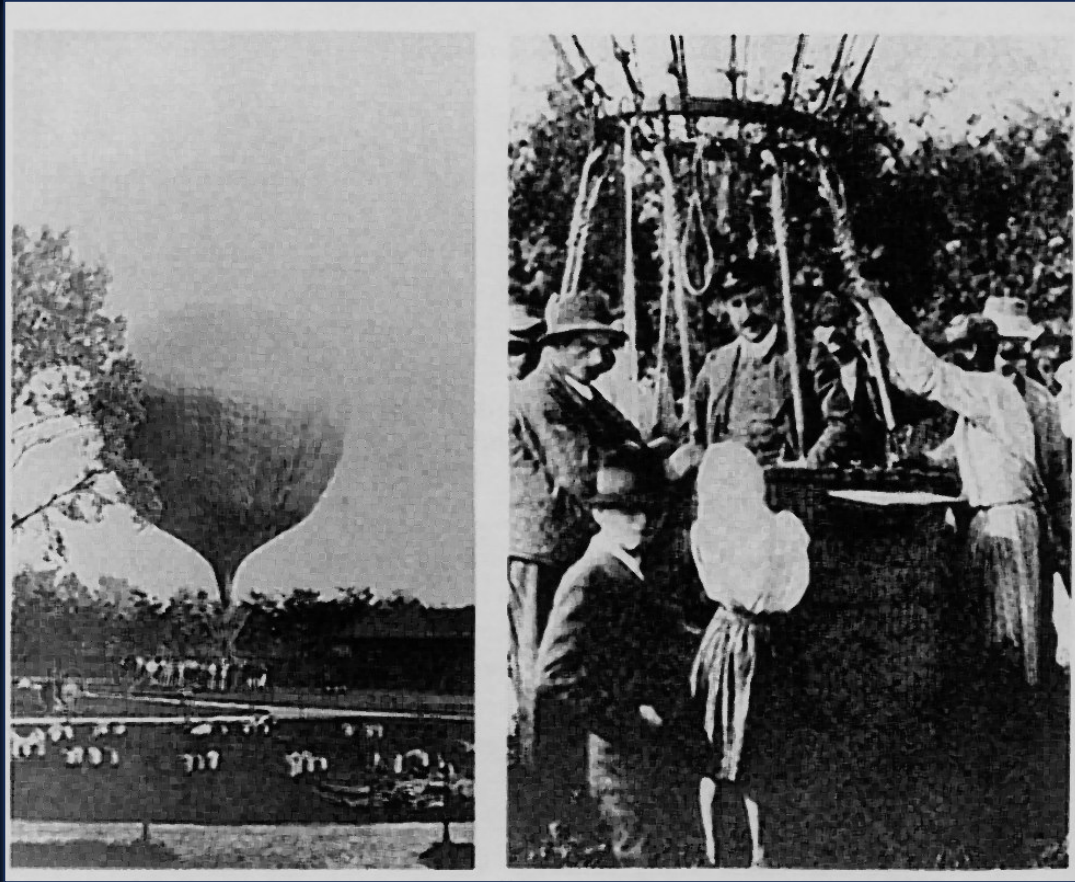
$\mu$

$\nu_{\mu}$





# *Kosmische Strahlung entdeckt von Victor Hess (1912)*



1936 Nobelpreis

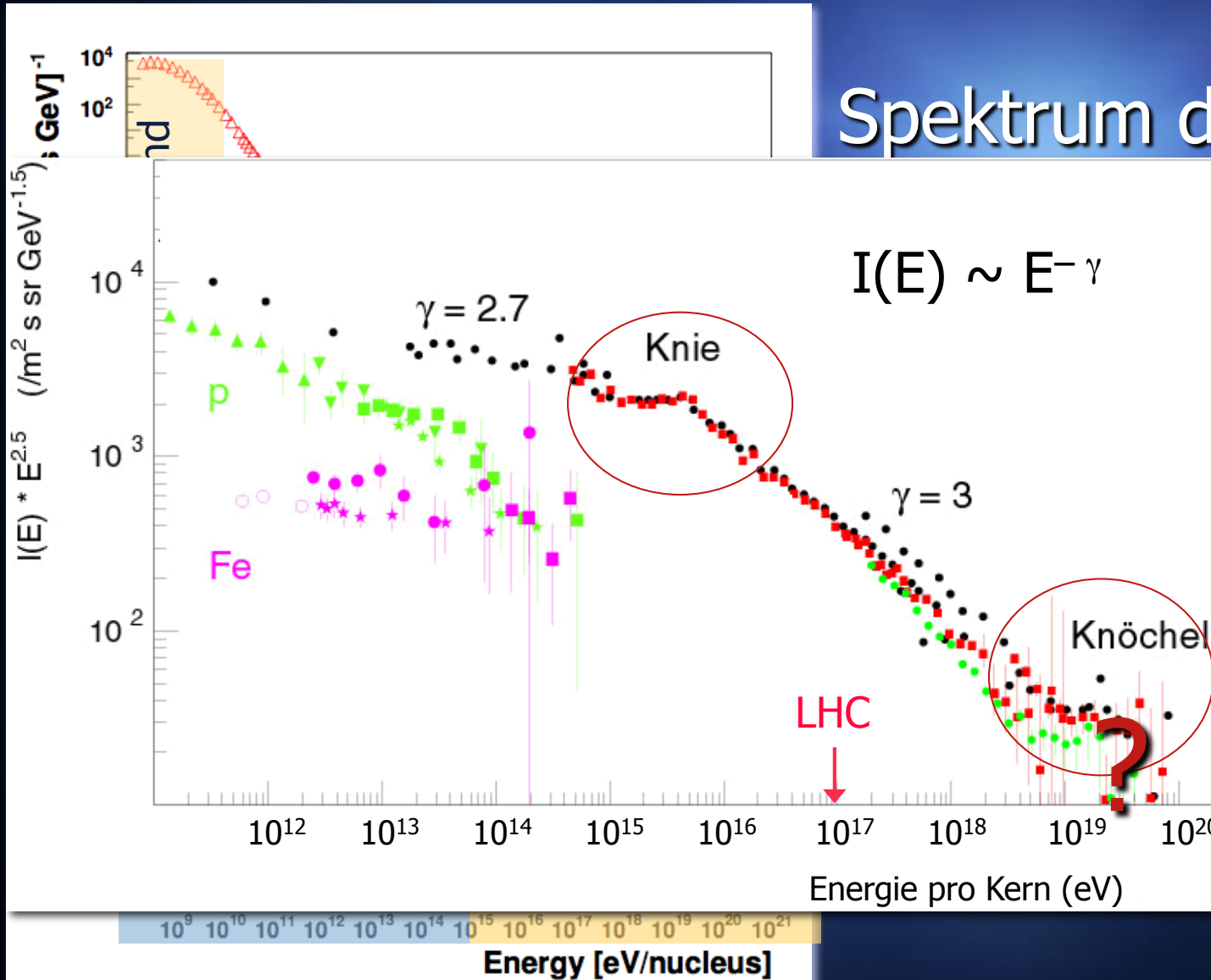


Heissluftballon bis auf Höhe  
von 5000 Meter  
Elektrometer zur Messung  
der Intensität von  
ionisierender Strahlung

1932: Anderson: Entdeckung der Antimaterie ( $e^+$ ) in der kosmischen Strahlung  
**Geburtsstunde der Teilchenphysik**

# Was wissen wir über die kosmische Strahlung ?

## Spektrum der Strahlung



g: isotrop

ammensetzung:  
m

en und Kerne  
en



# Warum interessiert uns die kosmische Strahlung?

Quellen der kosmischen Strahlung gehören zu den interessantesten und energiereichsten Prozessen in unserem Universum  
Sind wichtige Boten für hochenergetische Prozesse im Kosmos

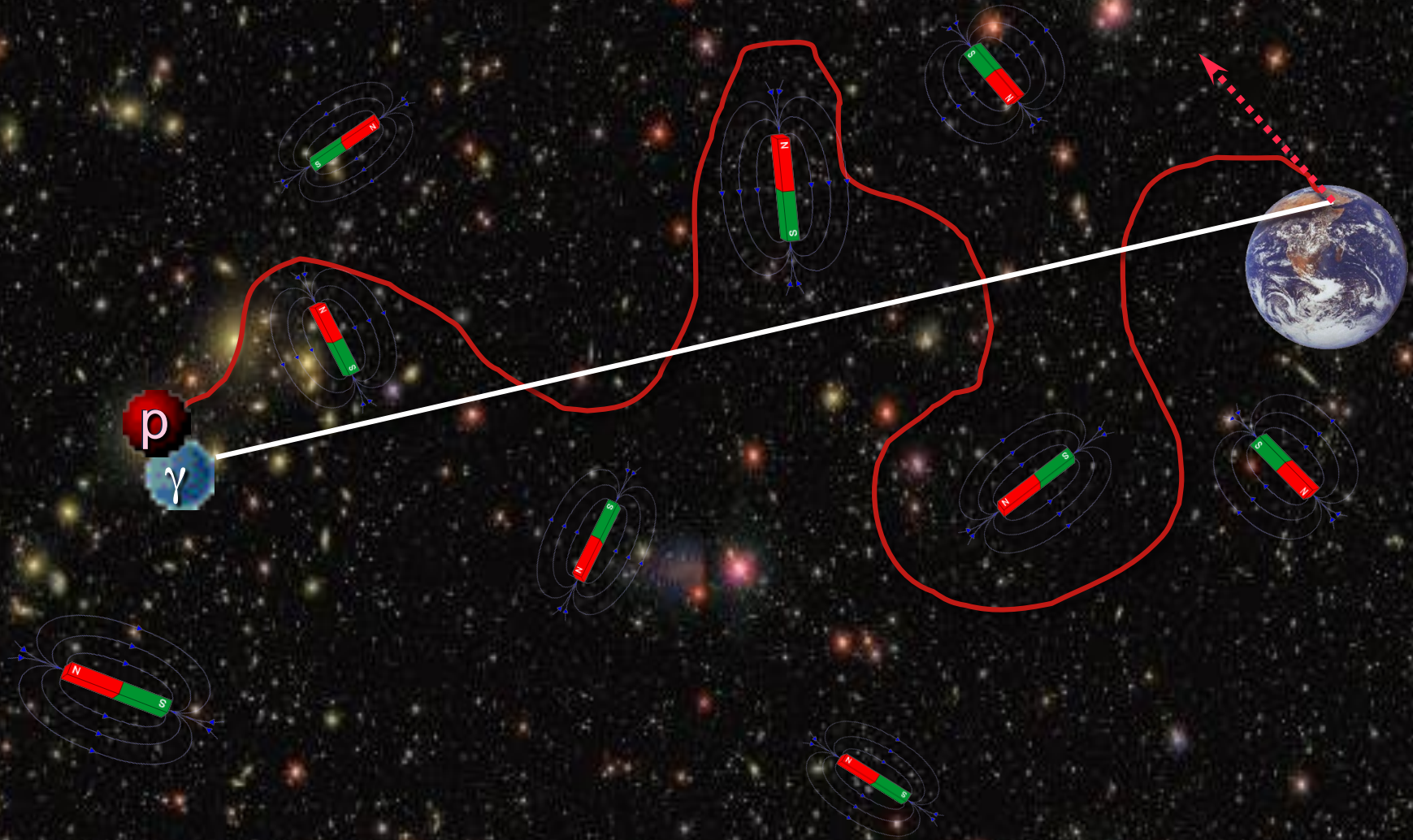


Explodierende Sterne

Aktive Galaxien



*Warum ist es schwierig den Ursprung (die Quelle) der kosmischen Strahlung zu sehen ?*





# Die meiste Information über unser Universum von der elektromagnetischer Strahlung



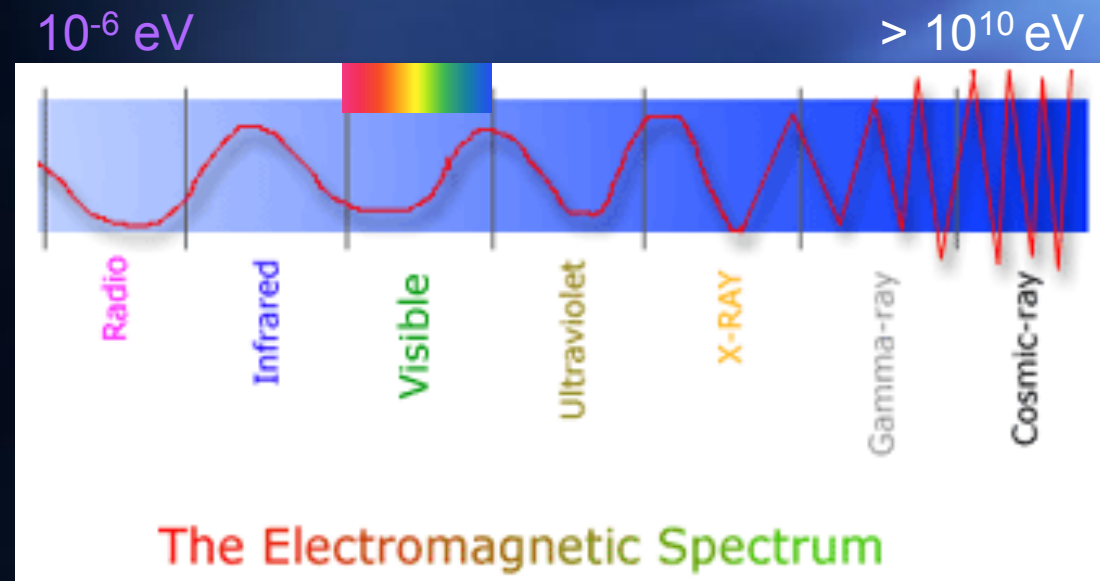
The spiral galaxy  
ESO 510-13  
(G. Conselice et al.,  
Hubble Heritage  
Team, NASA)

Antares Star Cloud  
Hubble Heritage  
Team, NASA)

The Cone Nebula  
(ACS Science and  
Engineering Team, NASA)

# Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

Von Radiowellen zu sehr hochenergetischer Gammastrahlung



Gesamtes Spektrum: > 70 Oktaven

Musik:  
1 Oktave entspricht  
Frequenzverdopplung

Sichtbares Licht ( $\sim$  eV)  
überdeckt 1 Oktave  
im Frequenzspektrum



W. Hofmann

Flügel: 7.5 Oktaven

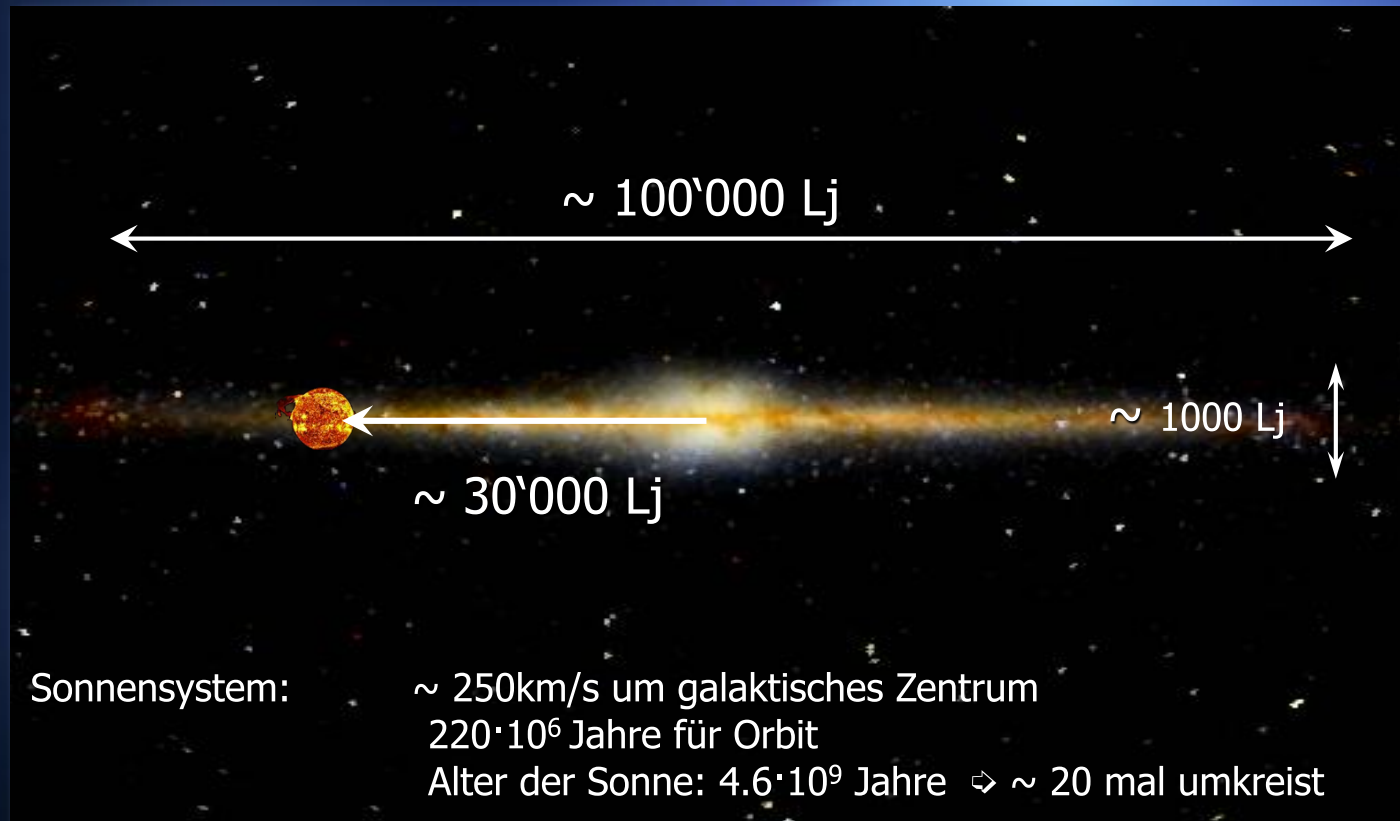
..... Natur spielt auf Flügel von mehr als 12 m langen Tastatur .....



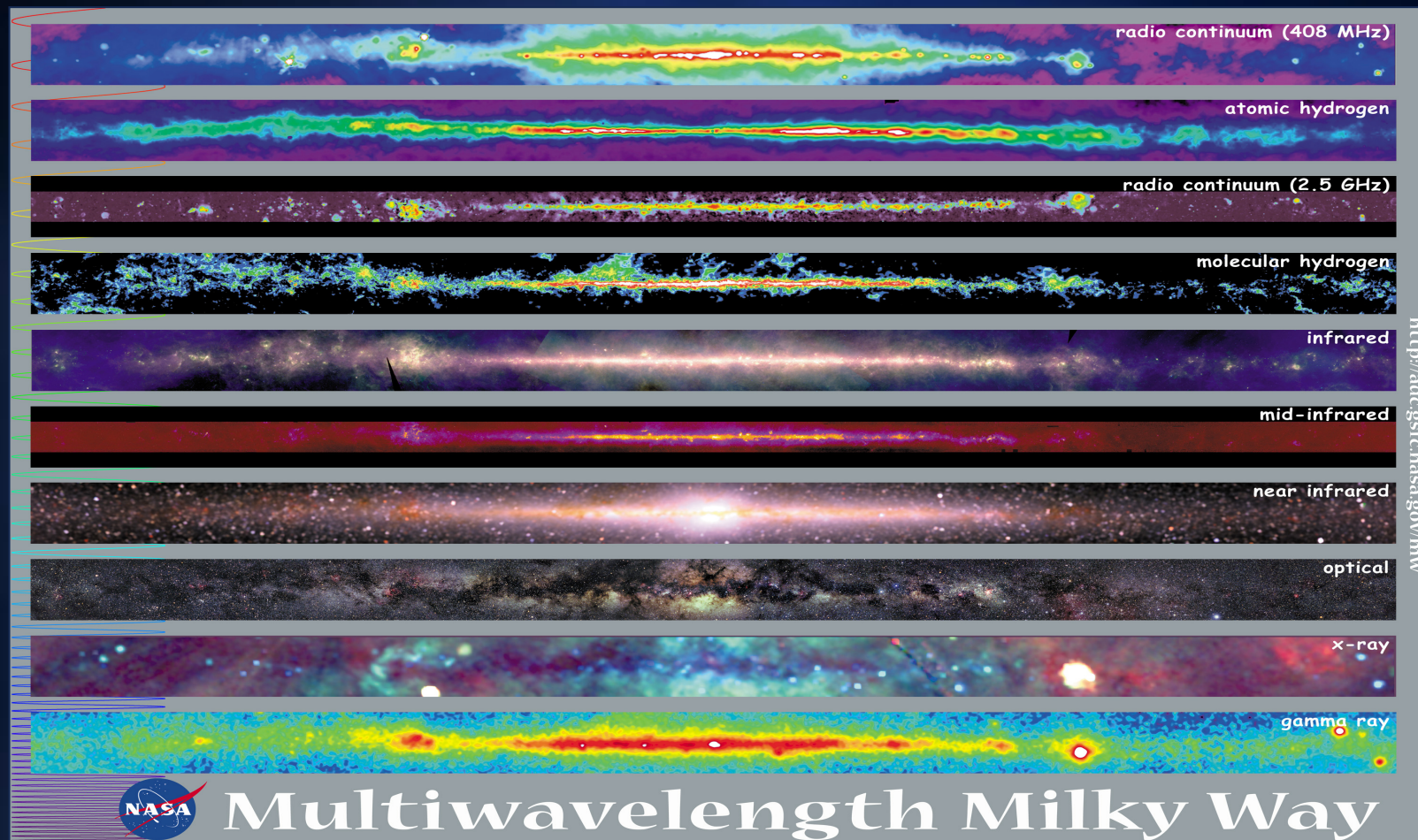


# Unsere Milchstrasse

$10^{11}$  Sterne,  $200 \cdot 10^9$  Sonnenmassen, spiralförmig



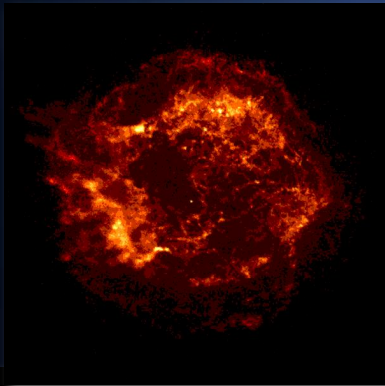
1 Lj =  $9.5 \cdot 10^{15}$  m, 1 parsec (pc) = 3.26 Lj



- ⇒ Infrarot: grosses schwarzes Loch im Zentrum der Galaxie ( $M \sim 10^6 M_{\odot}$ )
- ⇒ optischer Bereich: Zentrum der Galaxie ist durch Gaswolken versteckt
- ⇒ Gammastrahlung: kann im galaktisches Zentrum nach Quellen suchen



# Wie können sehr hochenergetische Gamma-Strahlen erzeugt werden ?



## **Supernova Explosion:**

Expandierende Sphäre von heissem Gas kollidiert mit interstellarem Gas  $\Rightarrow$  Schockfront wird geformt  
Teilchen werden beschleunigt  
Sehr hochenergetische  $e^-$  und  $p$  werden in Schockwelle erzeugt

Photonen:

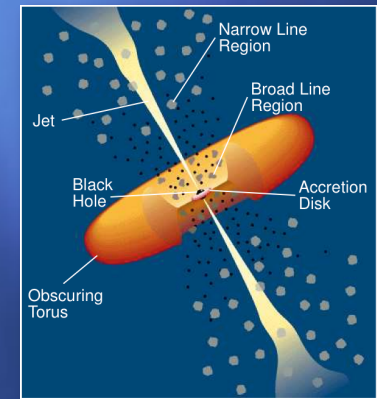
von  $e^-$  via inverser Compton Streuung  
von  $p$ : produzieren  $\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$

**SNR vermutlich die Hauptquelle  
der kosmischen Strahlung**

*Wie können sehr hochenergetische Gamma-Strahlen erzeugt werden ?*

## **Aktiv Galaktische Kerne (AGNs)**

Zentrale Region einer Galaxie, wo hochenergetische Prozesse stattfinden



### **Annahme:**

super-massives  
Schwarzes Loch  
( $10^6 - 10^{10}$ )  $m_{\odot}$   
in Zentralregion  
des AGN



# Wie können sehr hochenergetische Gamma-Strahlen erzeugt werden ?

Materie und Strahlungsfeld

proton  
 $e^\pm$

p

p

$\pi^0$

$\pi^\pm$

$e^\pm$

$\gamma$

$\gamma$

$\mu$

$\gamma$

$\nu$

AGN



**AGN** emittiert Strahlung bis to multi-TeV ( $> 10^{12}$  eV), sehr variabler Fluss

# Experimente zum Nachweis von hochenergetischer Gamma Strahlung

## Im Weltraum

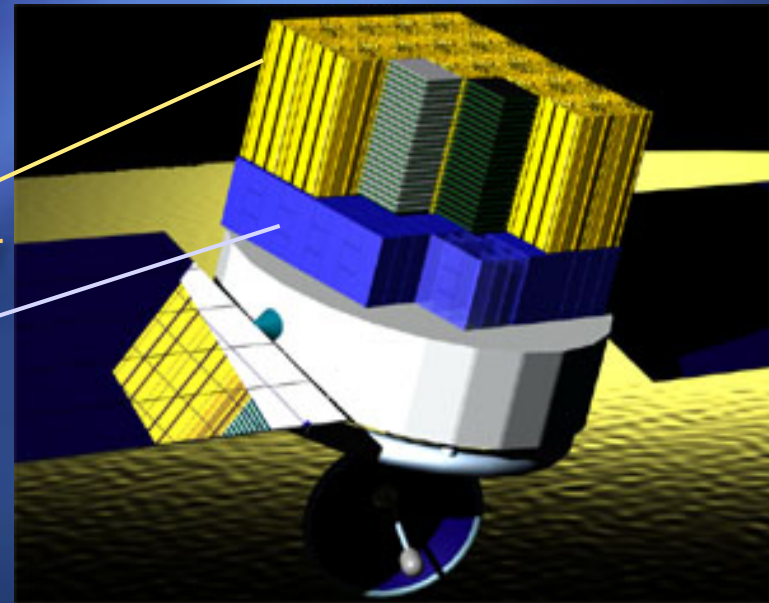
EGRET: auf Compton Gamma Ray Observatory (1991-2000),  $E_\gamma = 10 \text{ MeV} - 30 \text{ GeV}$

GLAST: Start im Februar 2007:  $E_\gamma = 10 \text{ MeV} - 100 \text{ GeV}$

Sensitivität  $\geq 50 \bullet$  EGRET

Silizium Streifen/Bleikonverter

CsI Kristalle



## Auf Erde

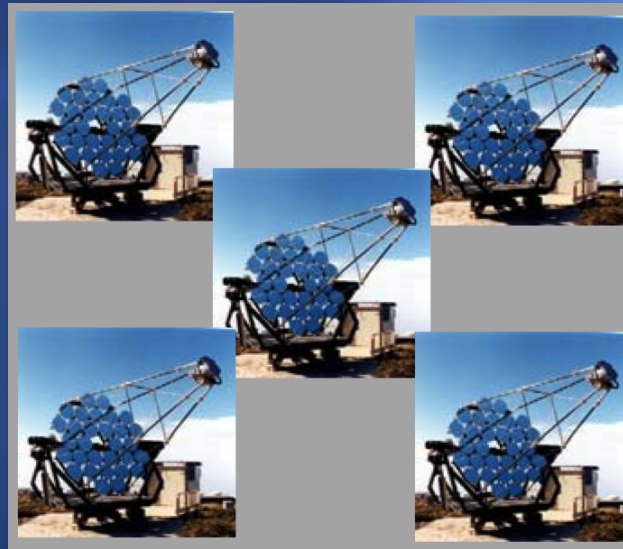
Cherenkov Telescope



# Cherenkov Teleskope

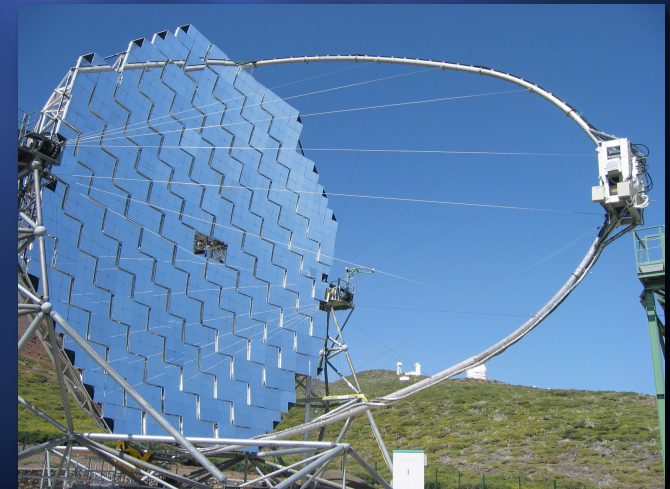


Erste Beobachtung des Krebsnebels ( $E_\gamma > 300$  GeV)  
Whipple (Arizona) 1989: 50 Stunden Beobachtungszeit



Hegra (La Palma) 1997:  
15 minutes ( $E_\gamma > 600$  GeV)

MAGIC (La Palma): 30 Sekunden,  
( $E_\gamma > 40$  GeV)





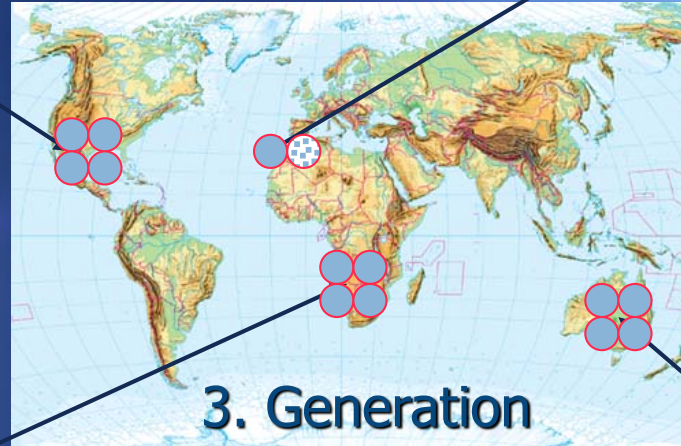
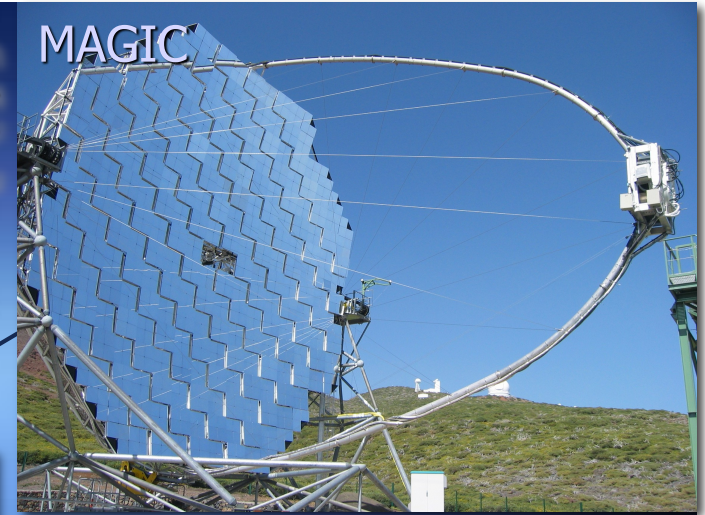
## VERITAS



Arizona, 1800m  
Start 2006, 4 Teleskope  
im Bau (1 fertig)  
D=12m, 100m<sup>2</sup>

La Palma, 2200m  
Beginn 2004  
D=17m, 234 m<sup>2</sup>  
MAGIC-II im Bau

## MAGIC



3. Generation

Südaustralien  
Start 2004, 300m  
4 Teleskope seit 2004  
D=10m, 57m<sup>2</sup>

## H.E.S.S.



Namibia, 1800m  
4 Teleskope seit 2004,  
D=12m, 101m<sup>2</sup>

## CANGAROO III



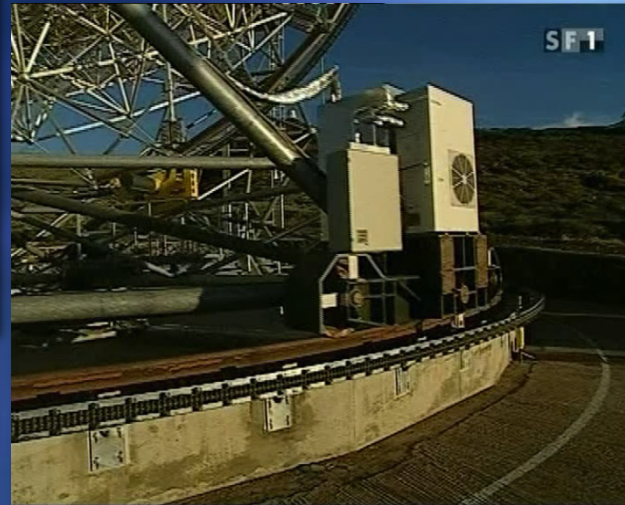
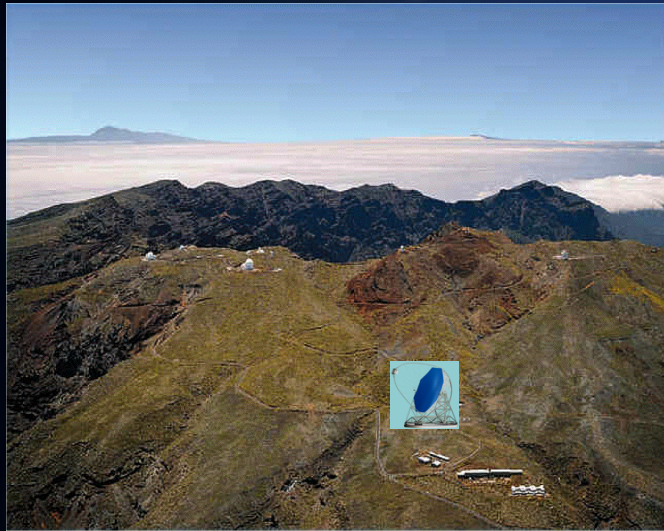
PSI / 30.10.2005



# MAGIC (Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov) Teleskop

Inauguration: 10.10.2003

Roque de los Muchachos in La Palma (2225 m)



## Technische Daten:

Spiegel: 234 m<sup>2</sup>, ~1000 Spiegel

Focale Länge: 17 m

Kamera: 577 Pixel, schnelle PMs,

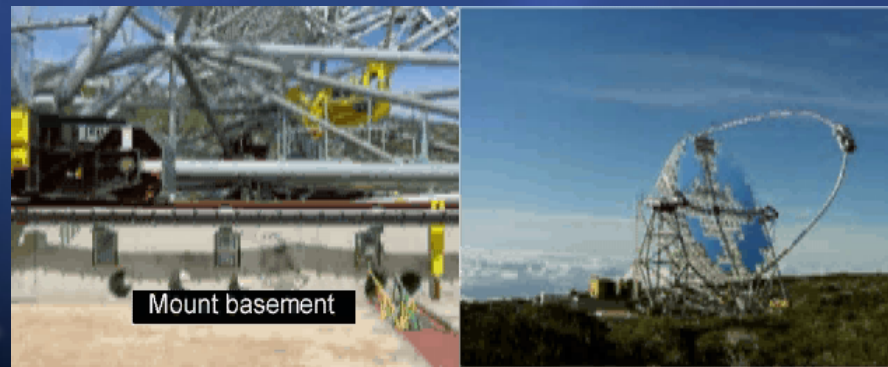
Winkelauflösung: ~ 0.08°

Gesichtsfeld: ~3.6°

Gewicht des Teleskops:

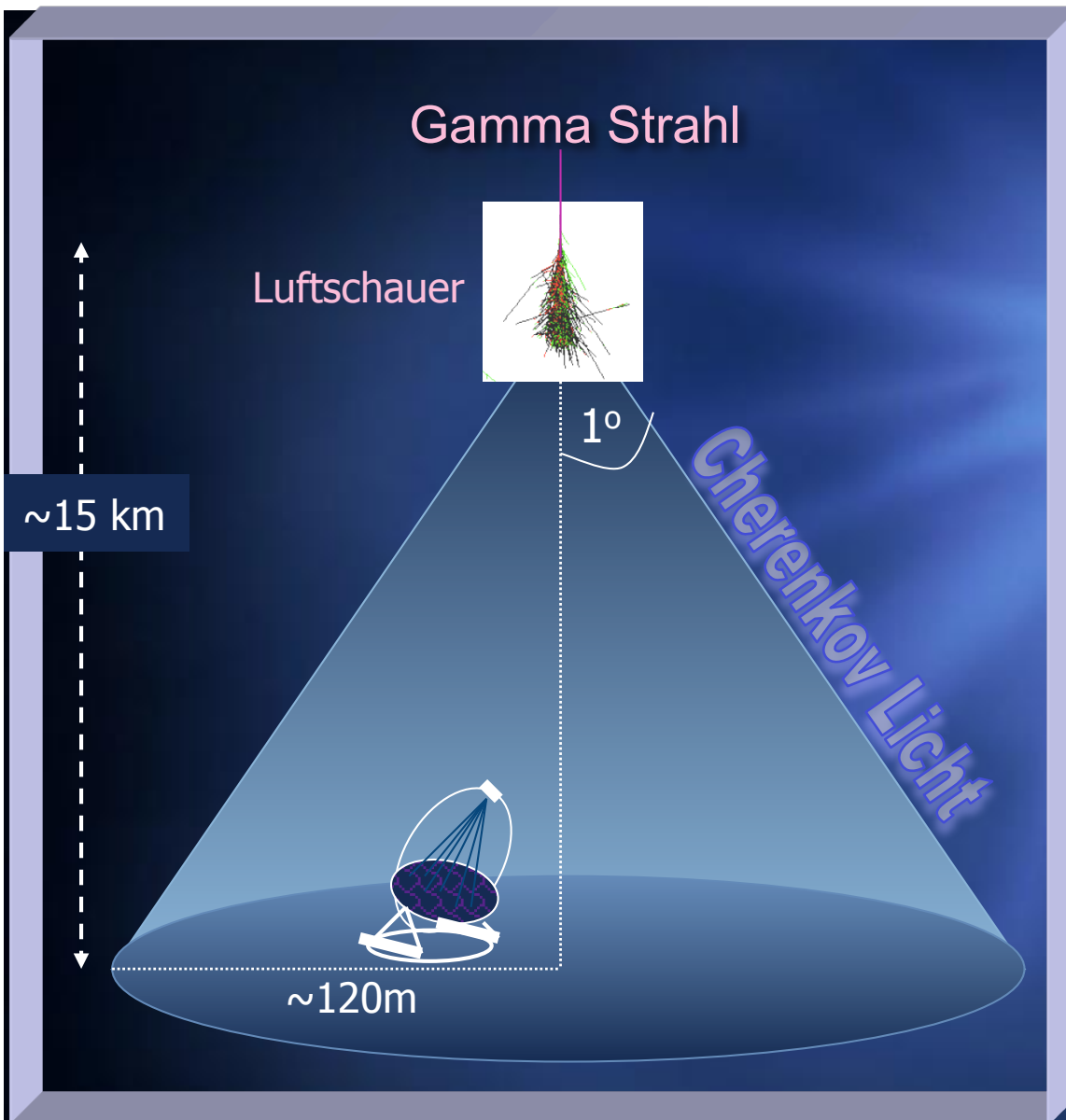
~ 60'000 kg

**Movie in Realzeit** →



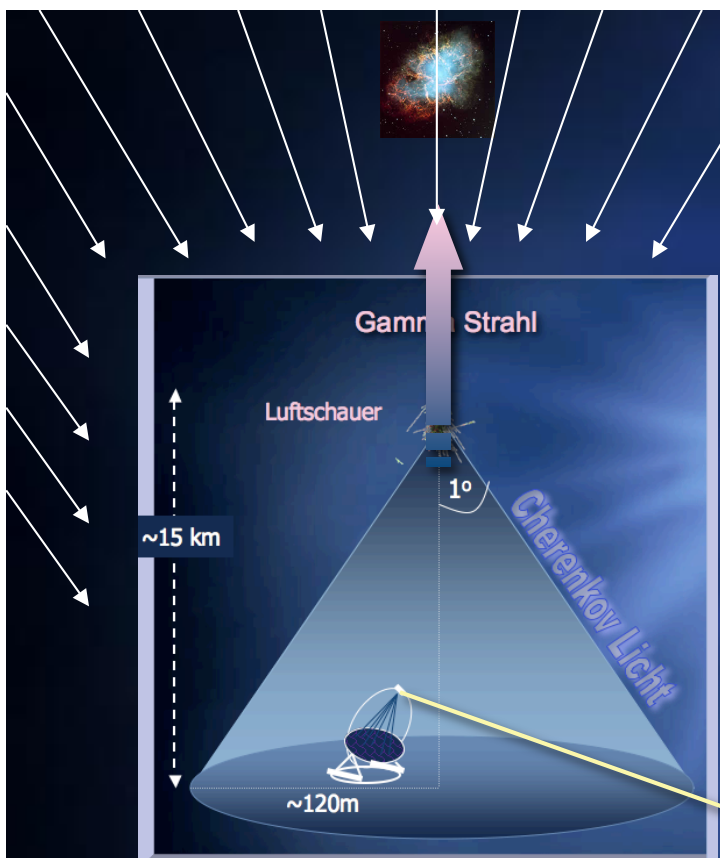
Beobachtung von  
Photonen

$E_\gamma > 40 \text{ GeV}$



Cherenkov Photonen: max  $E_\gamma = 350 \text{ nm (UV)}$   
 Lichtpulse in einigen ns ( $10^{-9} \text{ s}$ )



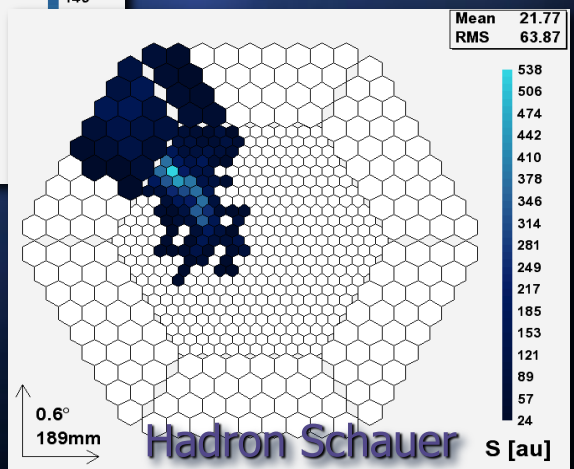
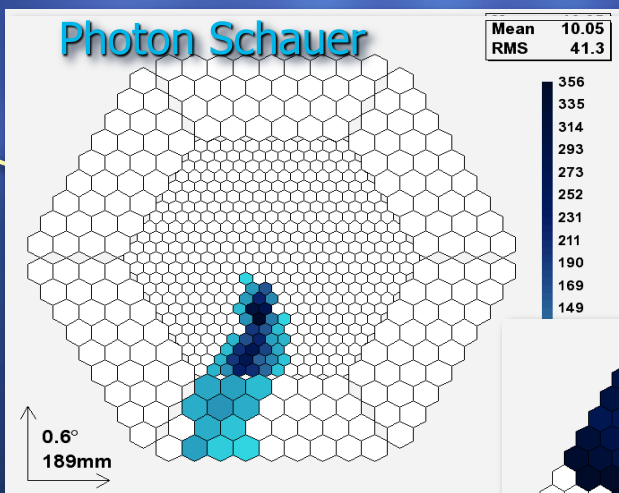


~ 10<sup>5</sup> mehr kosmische Strahlung im Gesichtsfeld  
 als VHE Gammas  
 Kosmische Strahlung: isotrop  
 VHE: (Punkt) Quelle

Intensität: Schauer-Energie

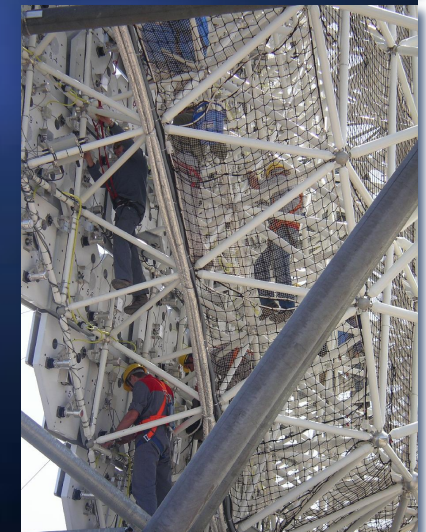
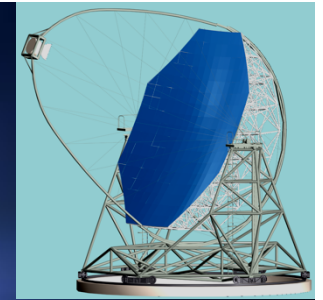
Bildachse: Schauer-Richtung

Bildform: Primärteilchen





# Konstruktion von MAGIC



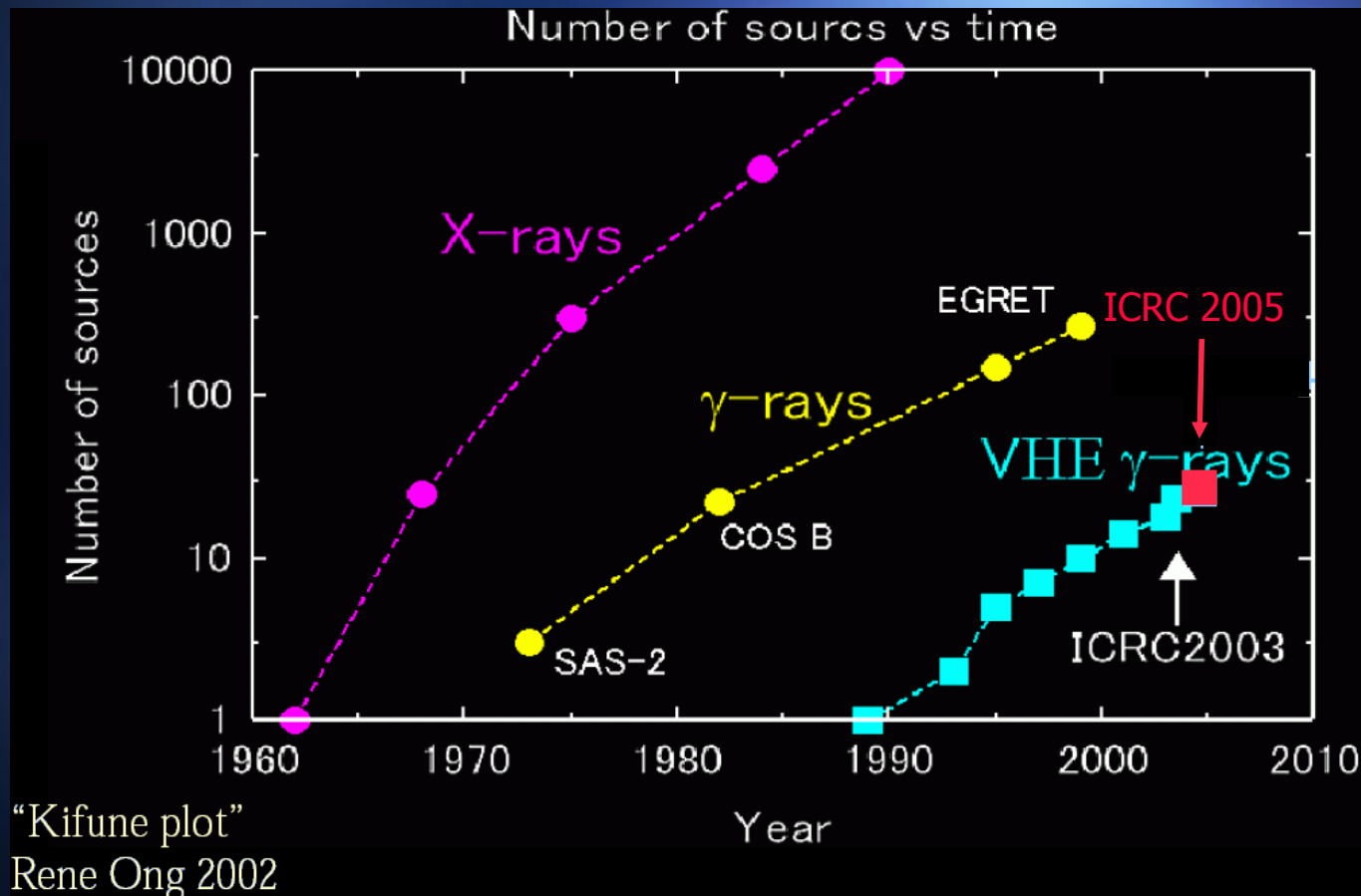


***It's MAGIC***

**Laser der automatischen Spiegelkontrolle an einem nebeligen Abend ...**



# Wichtige neue Ergebnisse in den letzten beiden Jahren







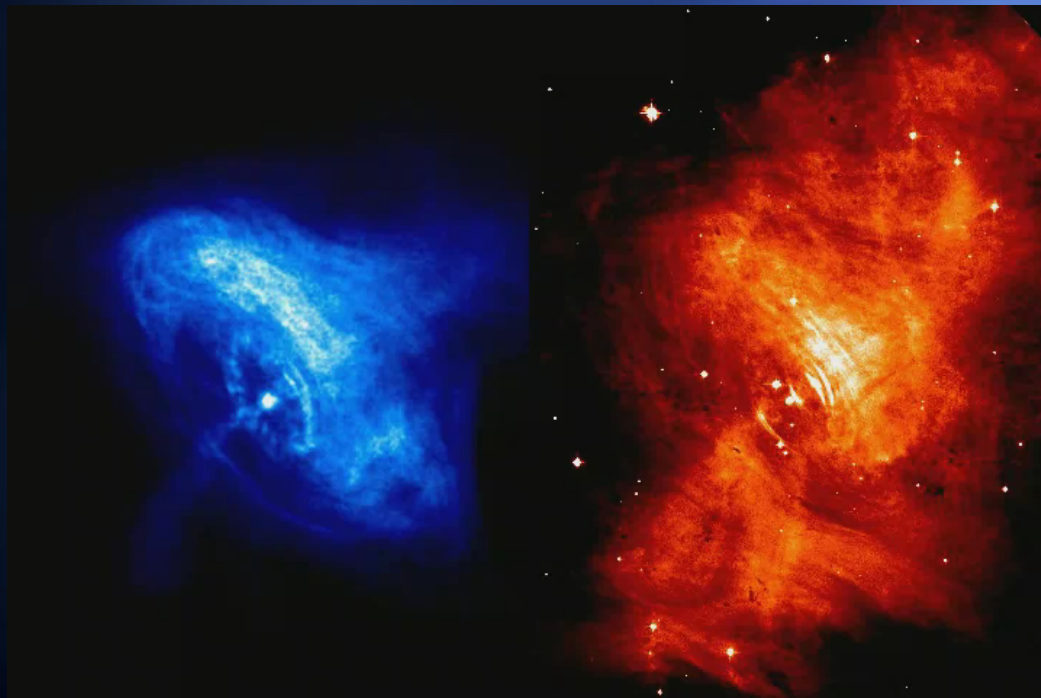
# *Resultate von MAGIC*

## *Einige Beispiele*

# Supernova:

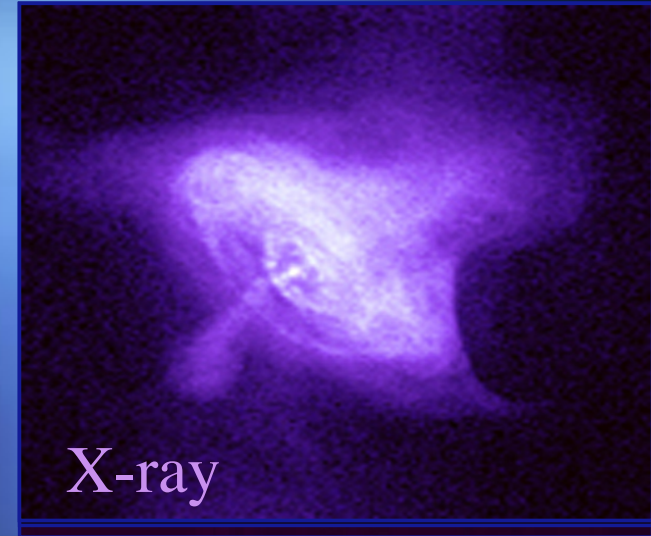
mit freiem Auge sichtbare SN in den Jahren:  
1006, 1054, 1572, 1604, 1987

**Krebs-Nebel:** SN1054 ~ 6'300 Lj entfernt  
Explosion vor ca 6'300 Jahre



X-ray: Chandra

Optical: Hubble



Film aus Bildern von  
Chandra und Hubble Beobachtungen  
Nov 2000 bis April 2001

NASA/CXC/ASU/J.Hester  
NASA/HAST/ASU/J.Hester



# Krebs-Nebel

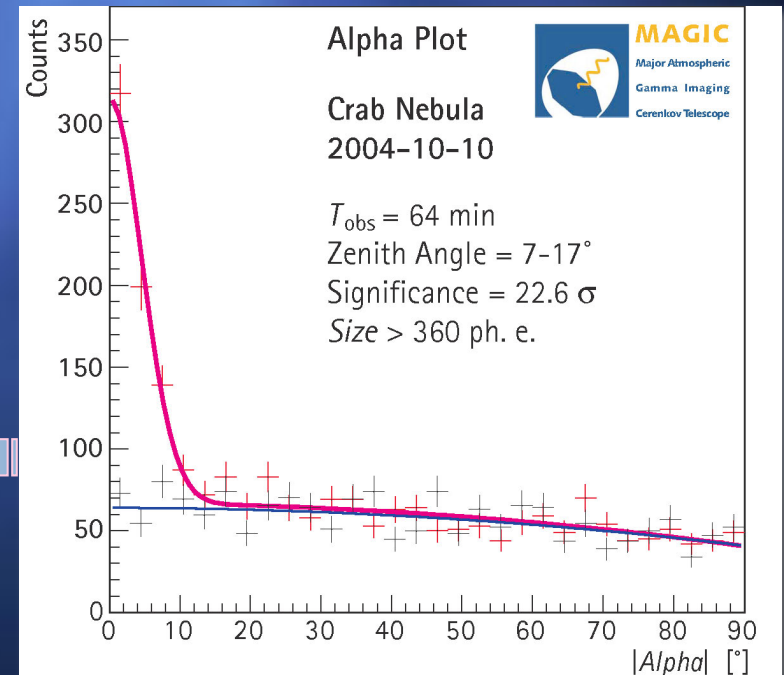


Whipple Teleskop: 1. starke Quelle mit VHE  
Gamma-Stahlen (multi-TeV)  
1989

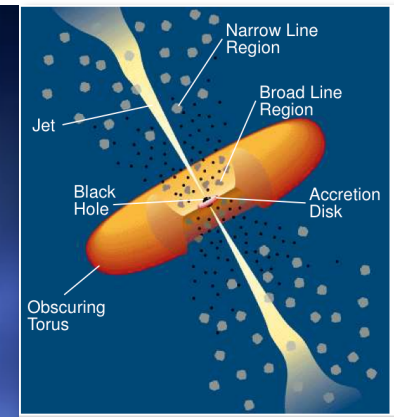
Heute: ' Standardkerze '



5  $\sigma$  in 3-4 Minuten



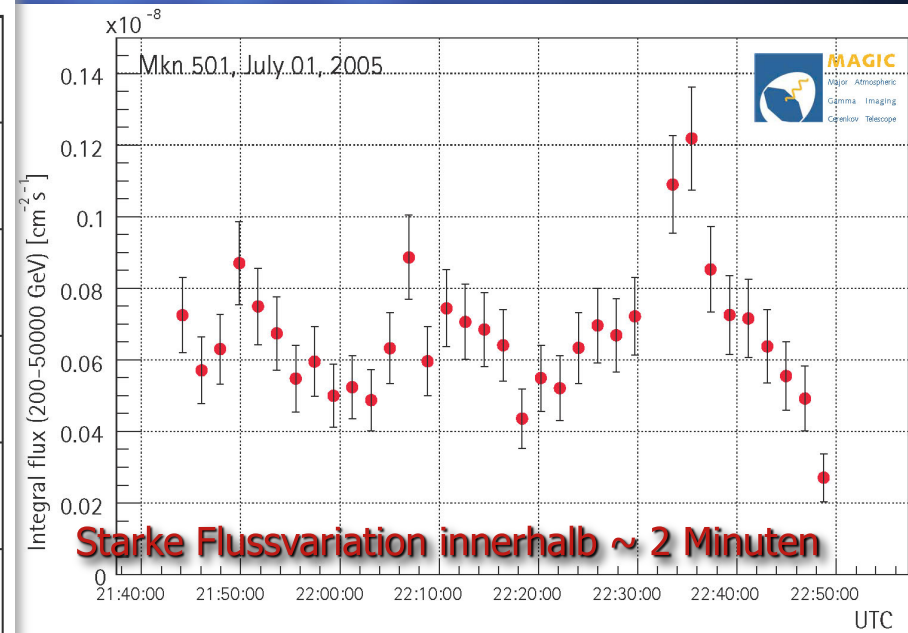
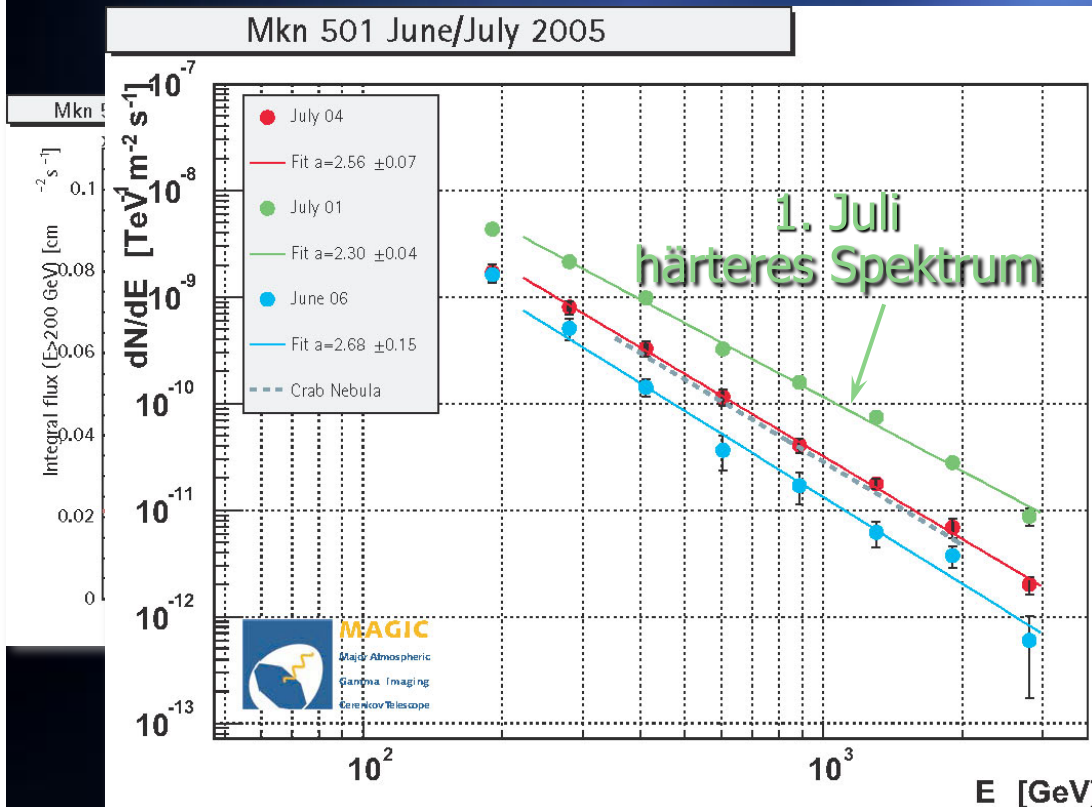
# AGN: Markarian 501



**Mrk501** 500 M Lj entfernt

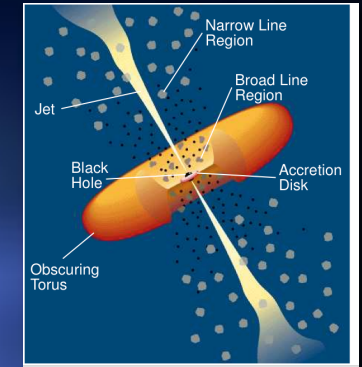
geplante Beobachtung im Juni/Juli 2005  
 vorhergesagt in sehr niedrigem Strahlungszustand

**Natur beschloss : Gigantischer Strahlungsausbruch am 1.Juli**

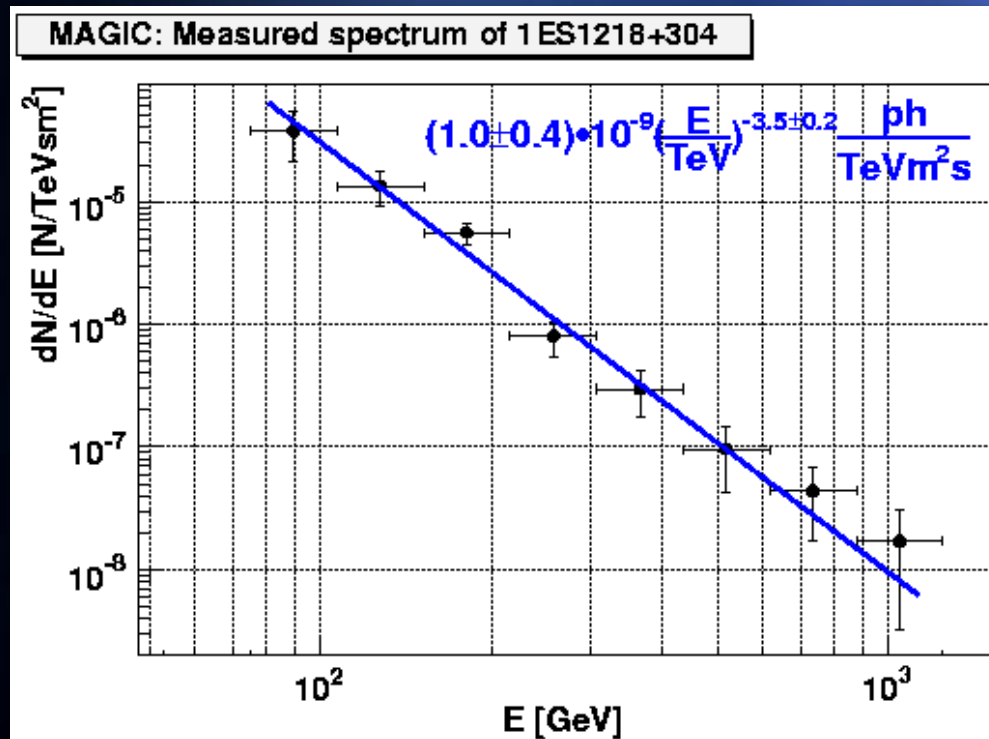




# AGN: 1ES1218+304



*Erste MAGIC Entdeckung :  
AGN mit grösstem  $z=0.182$  in VHE,  $\sim 2 \cdot 10^9$  Lj entfernt*



Informationen über  
extragalaktisches  
Untergrundlicht (EBL)

$$\gamma_{\text{VHE}} + \gamma_{\text{EBL}} \rightarrow e^+e^-$$

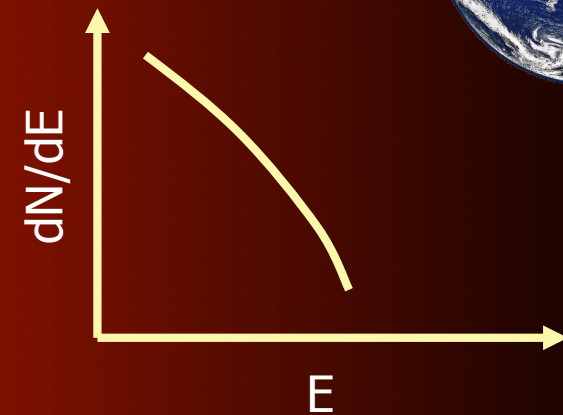
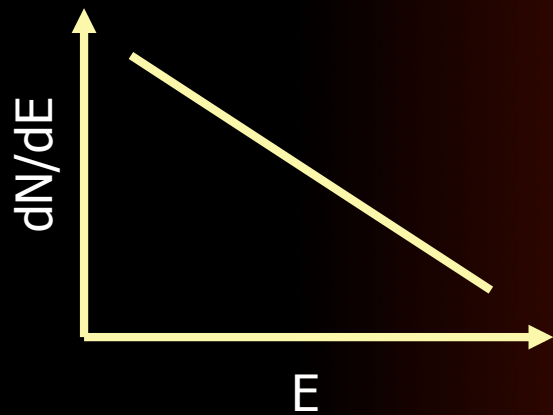
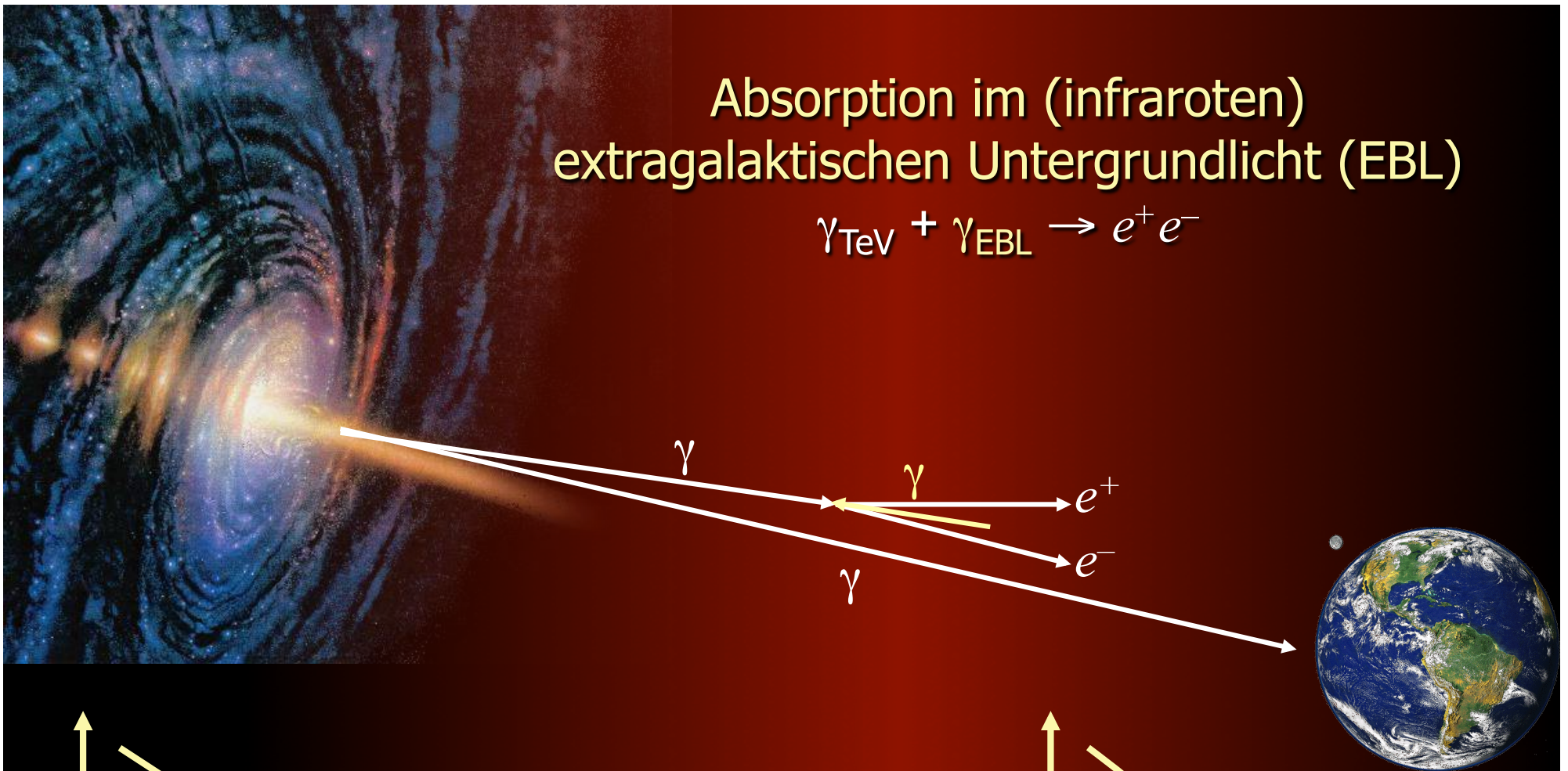
Kein starker cut-off:

⇒ Anzeichen einer relativ niederen  
 $\gamma_{\text{IR}}$  - Dichte

H.E.S.S. später eine AGN mit  $z=0.186$

# Absorption im (infraroten) extragalaktischen Untergrundlicht (EBL)

$$\gamma_{\text{TeV}} + \gamma_{\text{EBL}} \rightarrow e^+ e^-$$



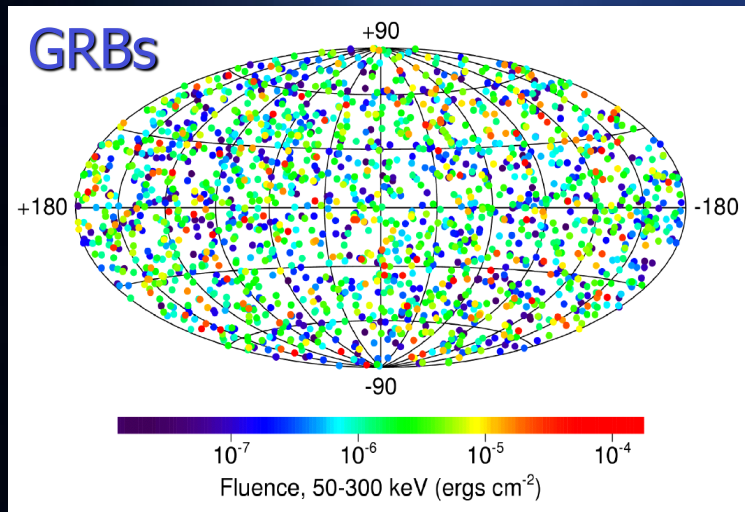
⇒ Kosmologie



# Gamma-Ray Burst (GRB)

## Extragalaktischen Ursprungs

BATSE: 1800 GRBs



Kurze Pulse: 30 ms – 1000 s  
Hauptanteil in  $100 \text{ keV} < E_\gamma < 1 \text{ GeV}$   
Afterglow (verspätete Komponente) beobachtet

GRBs beobachtet bis zu  $z = 4.5$  ( $\sim 13 \times 10^9 \text{ Lj}$ )

**Frage: emittieren GRBs auch VHE Gamma Strahlen?**

Problem: muss sehr schnell auf GRB-Alarm von Satelliten reagieren

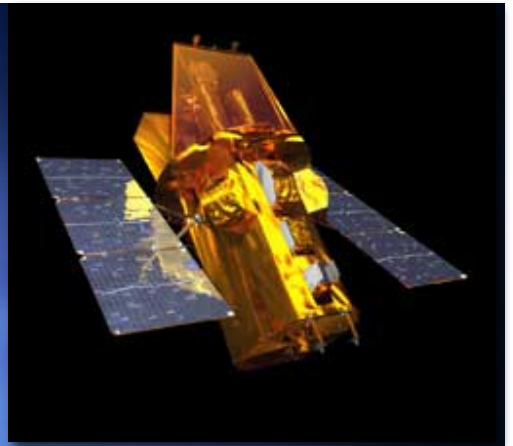
# GRB050713A

SWIFT

Gamma-Ray Burst Explorer

Launched: 20. Nov. 2004

Sensitivität: 3x schwächere GRBs verglichen zu BATSE



## MAGIC:

➤ SWIFT Alarm empfangen

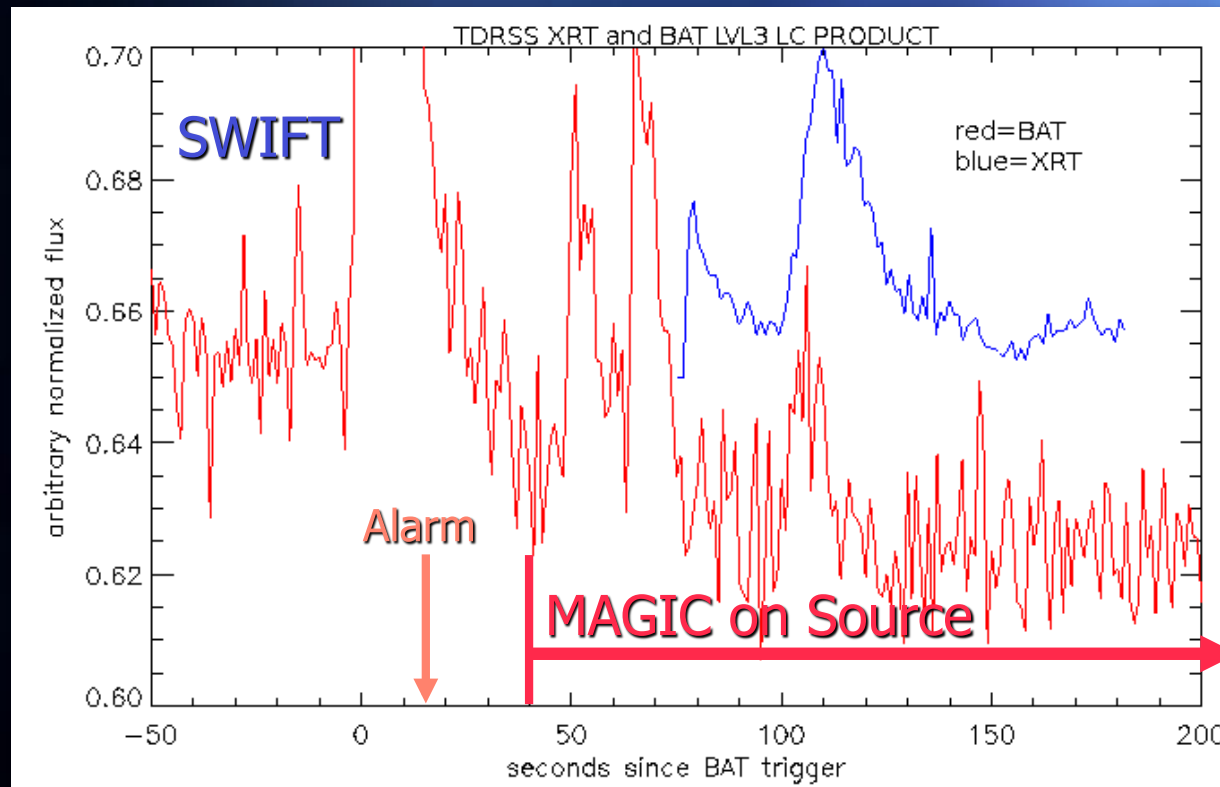
$T_0 + 17s$

➤ Start Datennahme

$T_0 + 40s$

schneller als XRT,  
X-Ray Teleskop auf SWIFT  
(0.3-10 keV)

Kein VHE Signal gefunden  
(jedoch unbekanntes z)





# MAGIC Zukunft

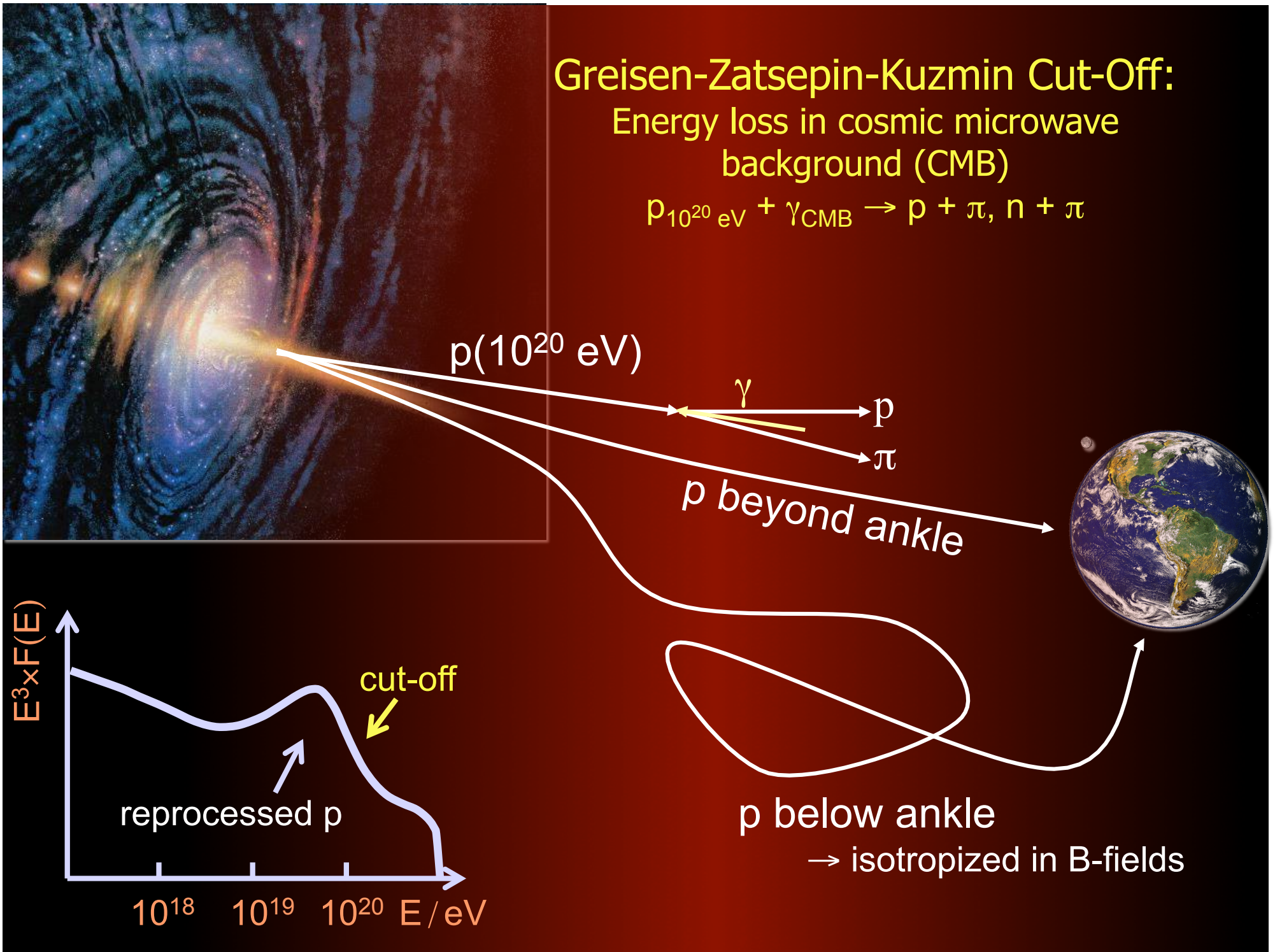


*" There are more things in heaven and earth, Horatio,  
than are dreamt of in your philosophy "*

Shakespeare, Hamlet

# Greisen-Zatsepin-Kuzmin Cut-Off: Energy loss in cosmic microwave background (CMB)

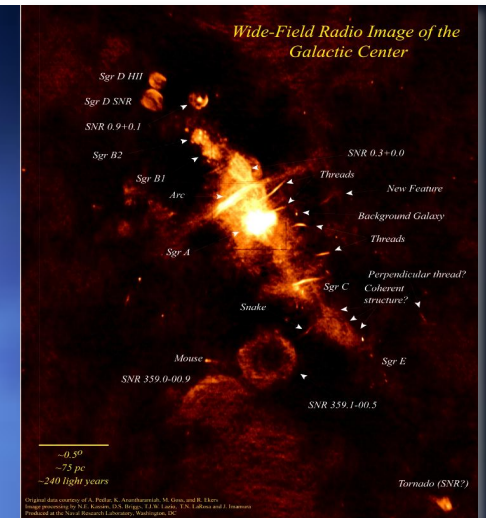
$$p_{10^{20} \text{ eV}} + \gamma_{\text{CMB}} \rightarrow p + \pi, n + \pi$$



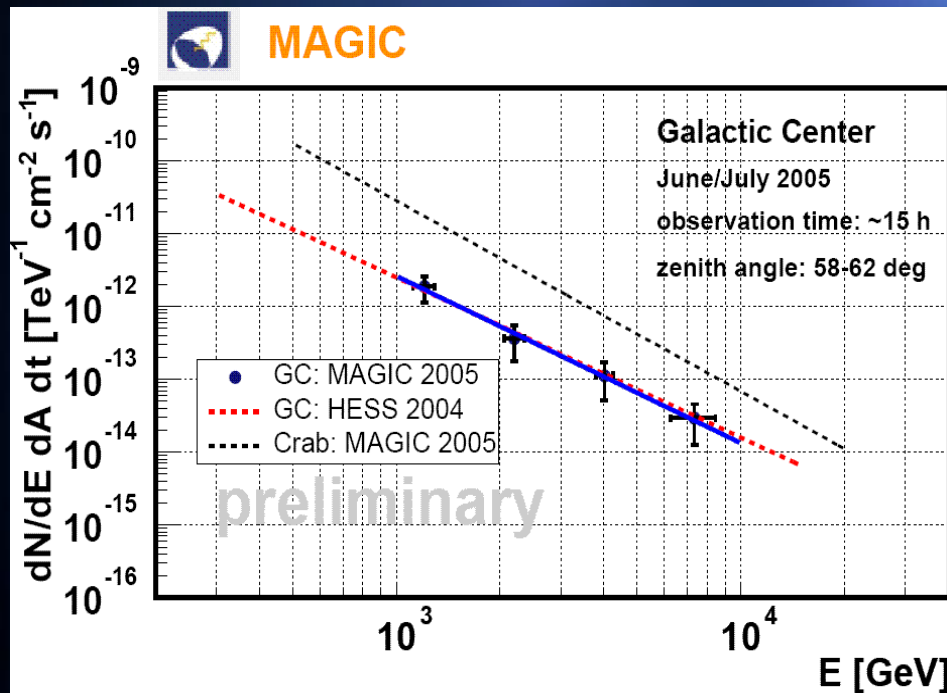


# Physik Beispiele

## Gemeinsame Beobachtungen mit H.E.S.S. Galaktisches Zentrum:



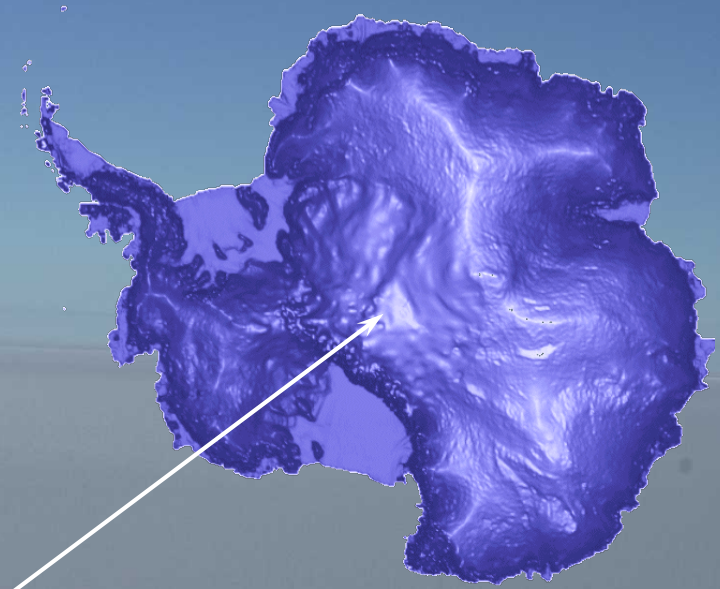
Von La Palma bei Zenithwinkel  $> 58^\circ$   $\rightarrow$  H.E.S.S. bessere Position  
Ergebnisse von CANGAROO (2003) und H.E.S.S. (2004) stimmten nicht überein



$\rightarrow$  Gute Übereinstimmung

# Neutrino Astronomie

Amanda / Icecube (im Bau)  
+ zukünftige Detektoren im Mittelmeer

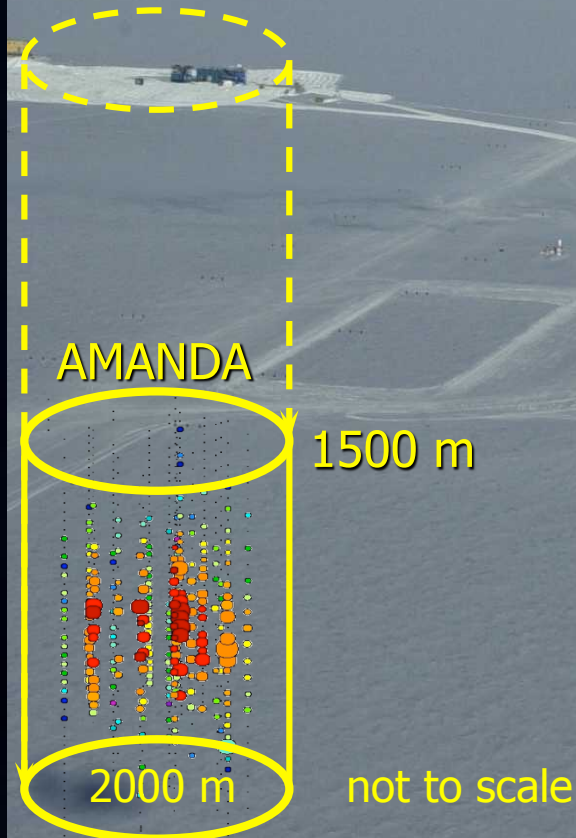


South Pole

Dome

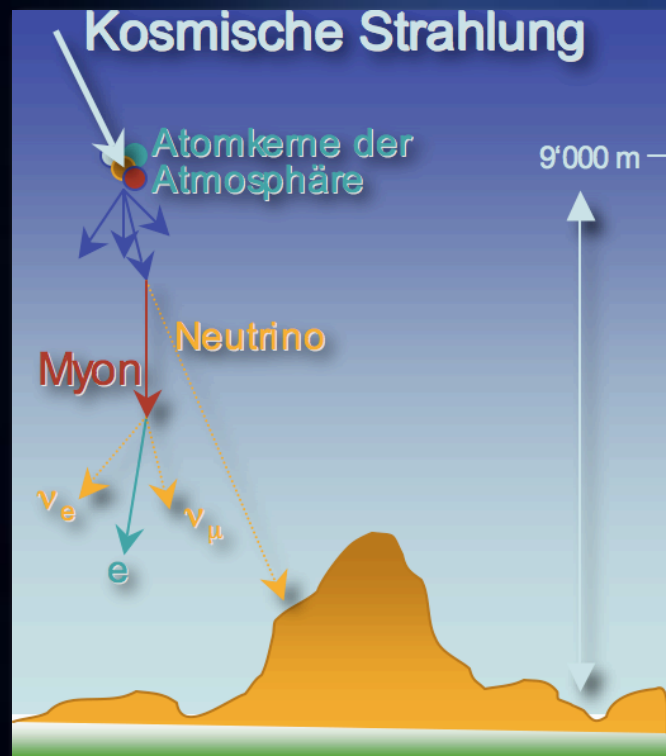
Summer camp

Amundsen-Scott Südpol Station

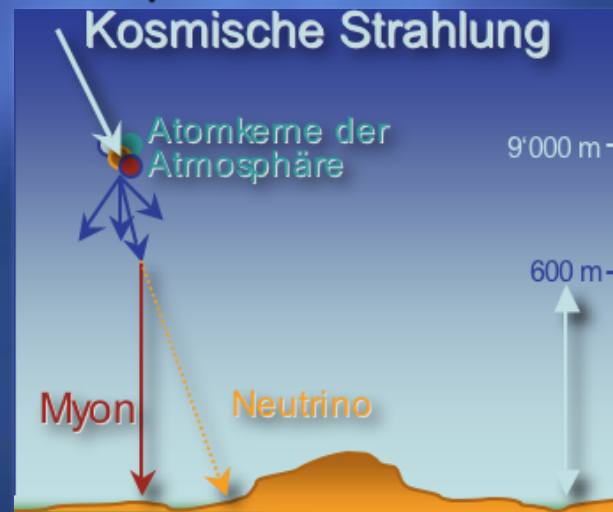




Myonen zerfallen in 0.000002 Sekunden:  $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$   
Sollten gar nicht bis zur Erdoberfläche kommen!



**Jedoch:** Myonen haben 99.8 % Lichtgeschwindigkeit  
Einsteins spezielle Relativitätstheorie:



Myonen leben ca. 15 mal länger bzw.  
sehen Distanzen um das 15-fache verkürzt!