

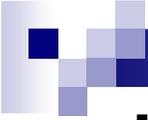
The background of the slide is a composite image. The top half shows a dark, starry sky with a bright, glowing nebula or galaxy core in the upper center. A prominent, bright purple and blue streak, representing a cosmic ray, originates from the top left and extends diagonally towards the bottom right. The bottom half of the image shows a view of Earth from space, with the blue and white clouds of the atmosphere and the dark surface of the planet visible. The cosmic ray streak appears to be hitting the Earth's atmosphere.

Kosmische Strahlung

Seminarvortrag am 17.12.2007
Scheinseminar zur Astro- und Teilchenphysik

Markus Ostler

**Friedrich-Alexander Universität
Erlangen-Nürnberg**

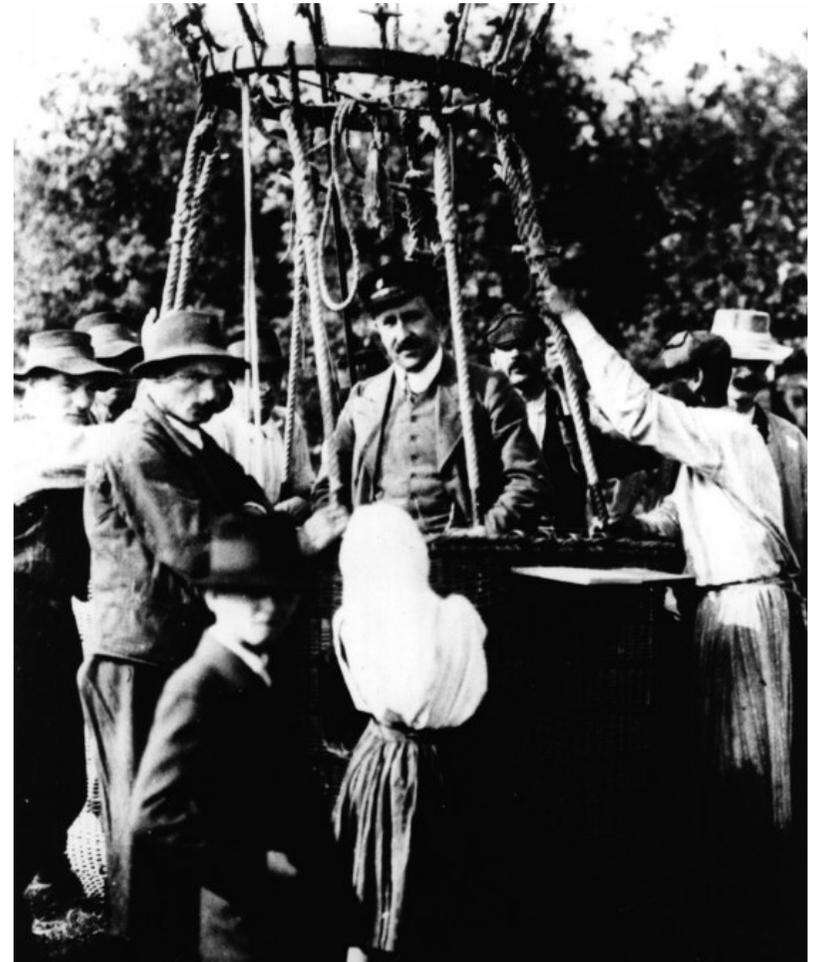


Übersicht – Kosmische Strahlung

- Geschichte
- Energiespektrum
- Zusammensetzung
- Ursprung
- Beschleunigung
- Experimente (KASCADE, AUGER)
- Ausblick

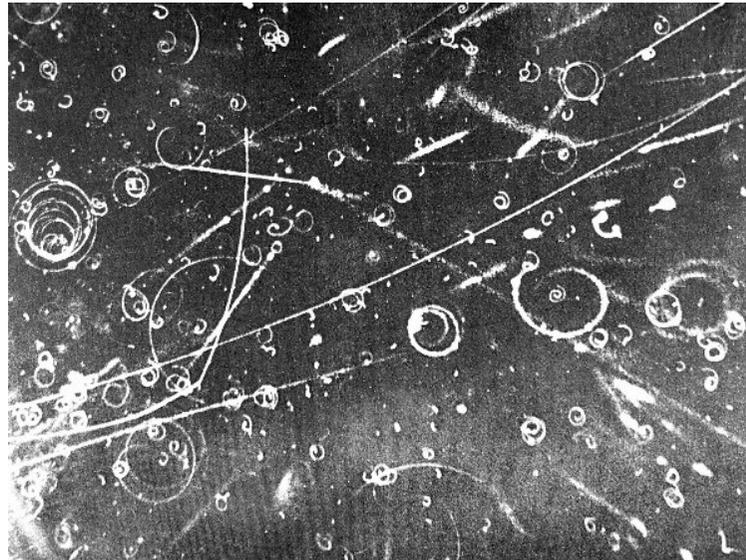
Geschichte

- 1910 Theodor Wulf
Leitfähigkeit der Luft durch ionisierende
Strahlung aus dem Weltall
- 1912 Viktor Hess
Ballonfahrt bis zu 5000m
Nobelpreis 1936



Geschichte

- 1927 Dimitry Skobelzyn
erste Photographien von Sekundarteilchen in
Nebelkammer



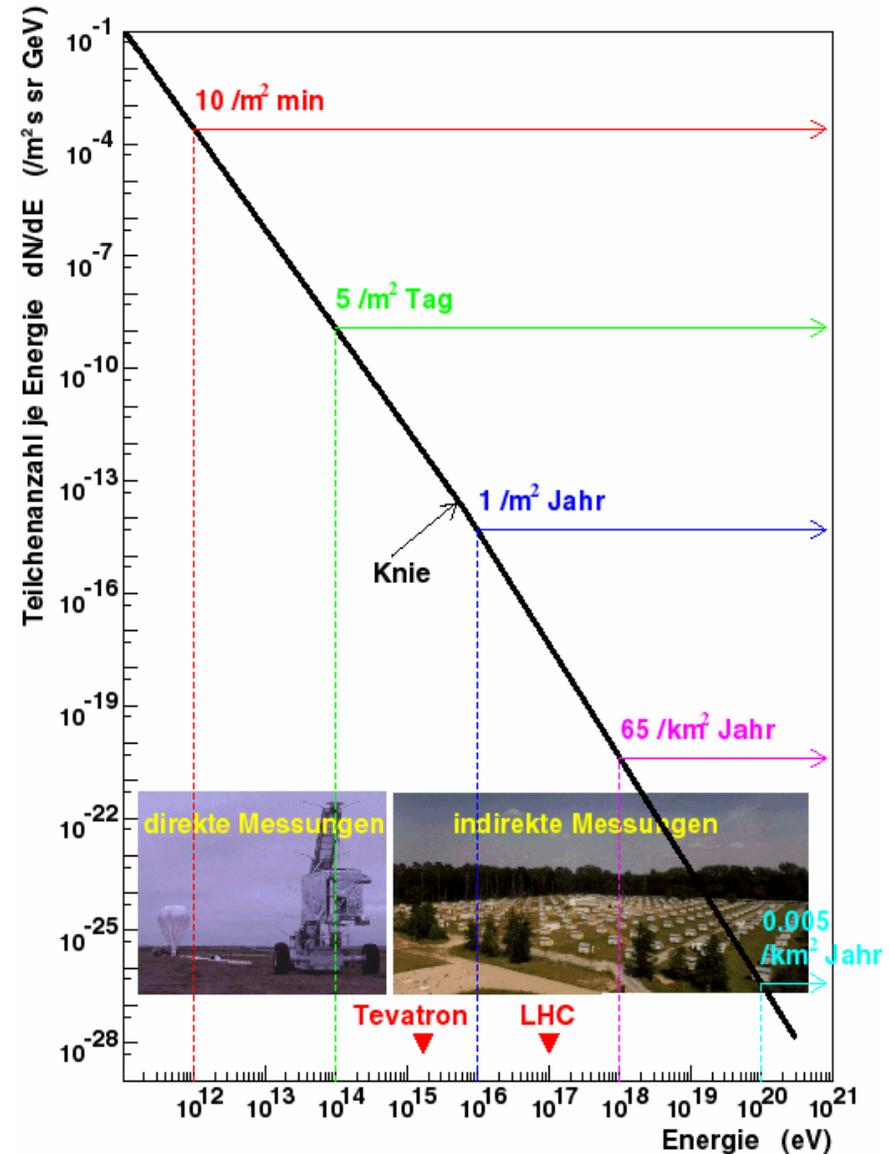
- 1938 Pierre Auger
Koinzidenzmessung mit Geigerzähler
Ausgedehnte Luftschauer

Energiespektrum

- Knie bei etwa 10^{15} eV
- Knöchel bei etwa 10^{18} eV
- Potenzgesetz

$$\frac{dN}{dE} \sim E^{-\gamma}$$

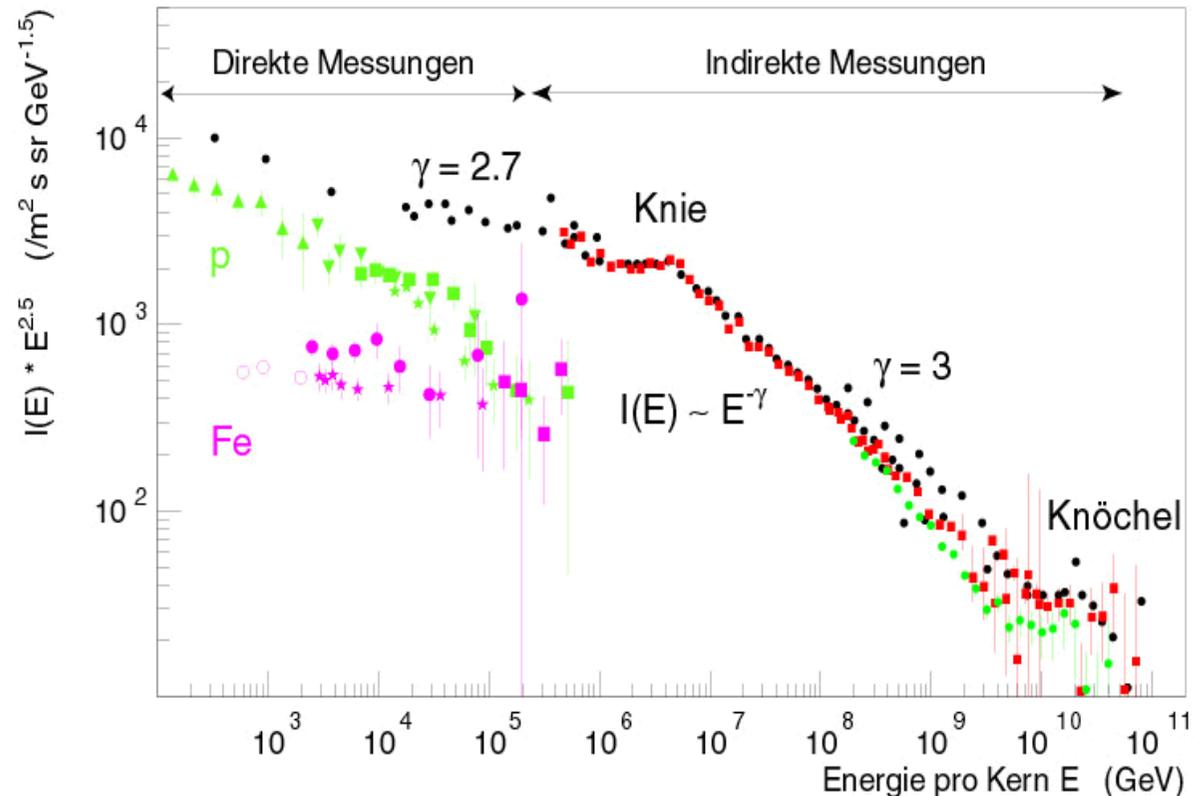
Energiespektrum der kosmischen Strahlung



Energiespektrum

- Knie bei etwa 10^{15} eV
- Knöchel bei etwa 10^{18} eV
- Potenzgesetz

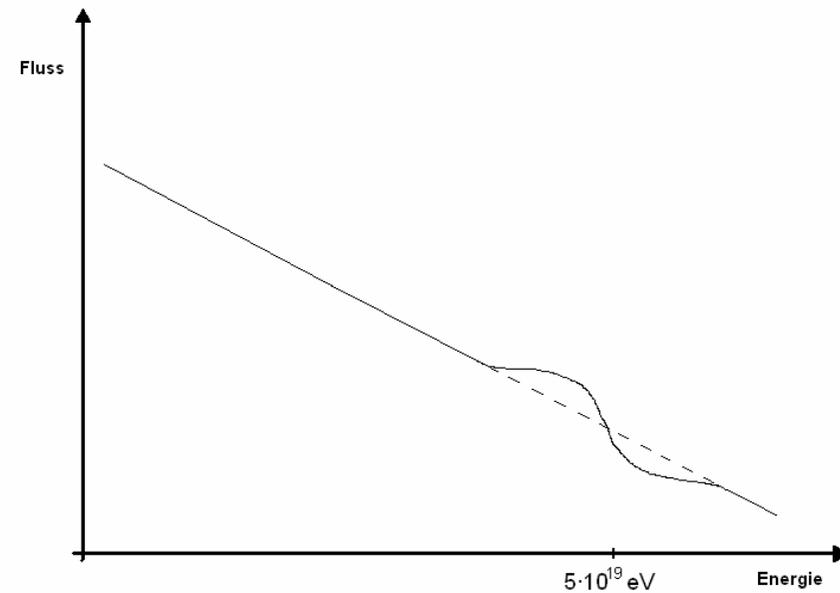
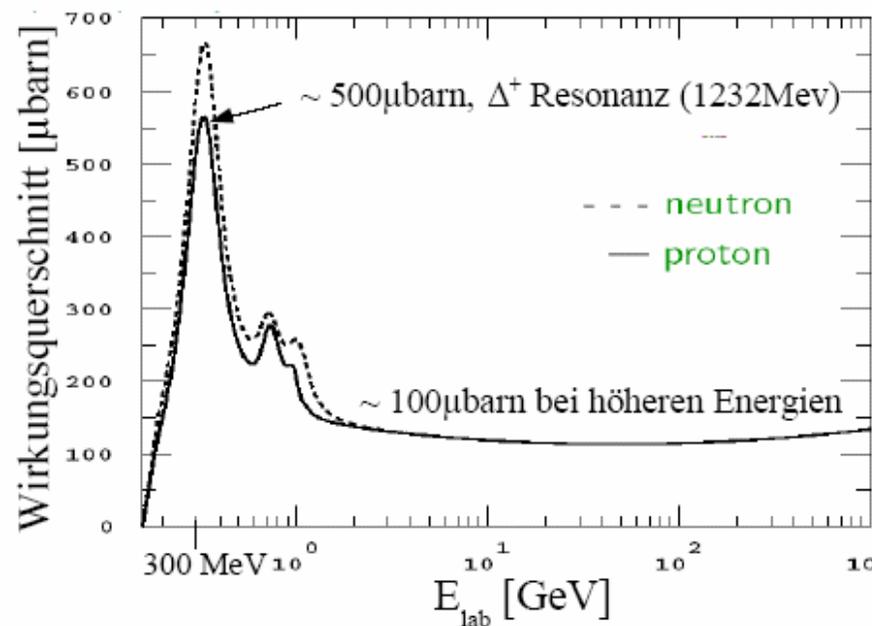
$$\frac{dN}{dE} \sim E^{-\gamma}$$



- $\gamma = 2,7$ für Energien bis 10^{15} eV
- $\gamma = 3$ für Energien 10^{15} - 10^{18} eV

Greisen-Zatsepin-Kuzim Effekt

- Protonen mit $E > 5 \cdot 10^{19}$ eV Wechselwirken sehr Effektiv mit der 2,7K Hintergrundstrahlung





Zusammensetzung

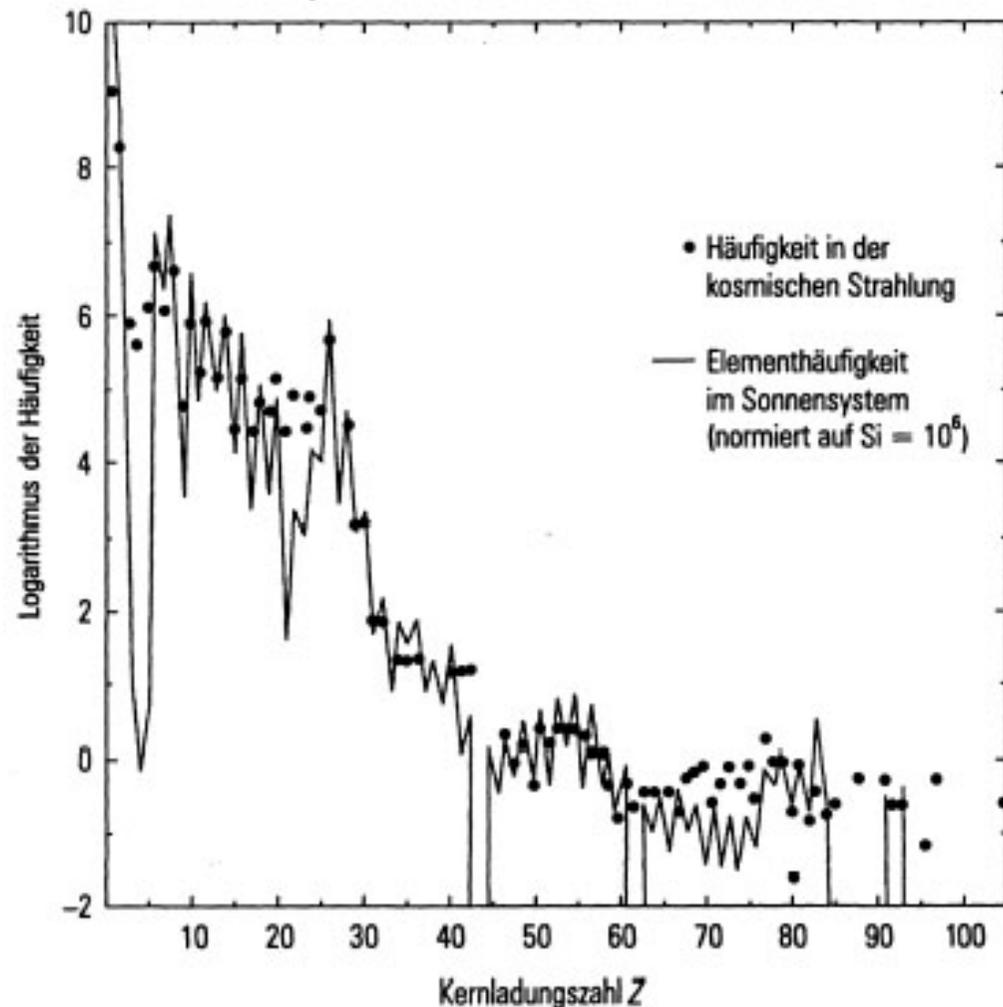
primäre kosmische Strahlung

- 98% Kerne
 - 87% Protonen
 - 12% Heliumkerne
 - 1% schwere Kerne
- 2% Elektronen

Zusammensetzung

Vergleich mit Sonnensystem

- Weitgehende Übereinstimmung
- H und He in CR weniger häufig
- Li, Be, B und Kerne unterhalb von Fe in CR häufiger





Ursprung der kosmischen Strahlung

- Hohe Energiespanne
 - ⇒ mehrere Quellen und Beschleunigungsmechanismen

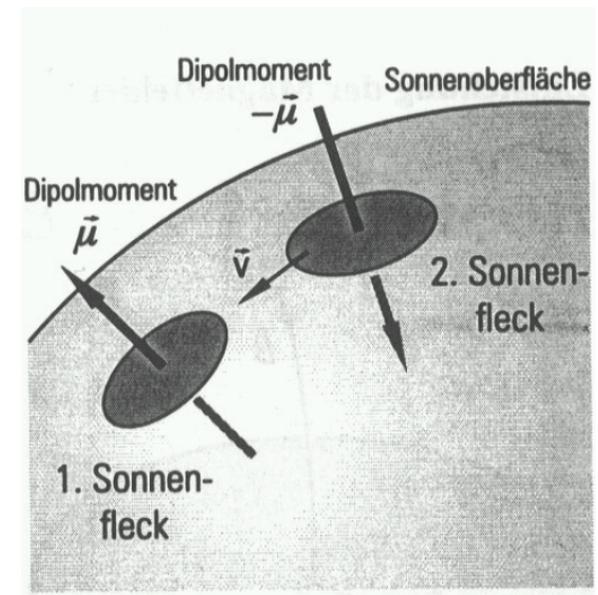
- Informationen aus
 - Elementzusammensetzung
 - Energiespektrum
 - Energiedichte

- Quellensuche
 - Neutrinos
 - γ -Strahlung
 - Sehr hochenergetische Teilchenstrahlung

Beschleunigung

- Zyklotron Mechanismus
 - Teilchen bewegen sich auf Kreisbahnen in zeitlich veränderlichen Magnetfeldern
 - Bis zu 10^{11} eV
- Sonnenfleckepaare
 - Unterschiedlich gepolte Sonnenflecken bewegen sich aufeinander zu
 - „magnetic reconnection“

⇒ Elektrische Felder



Beschleunigung

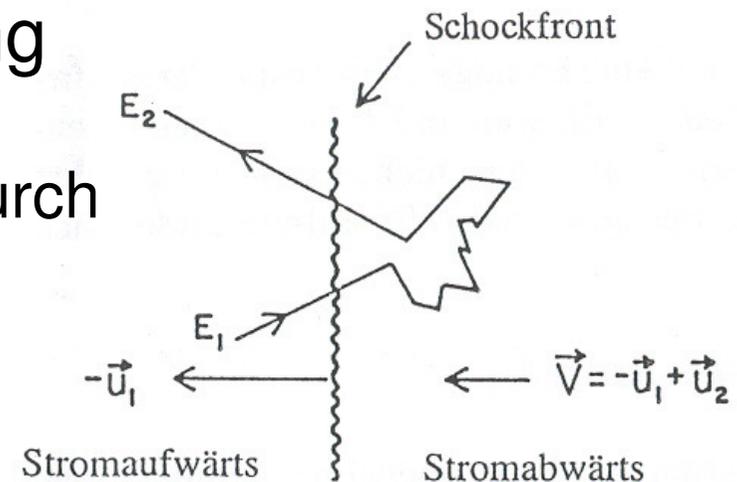
■ Schockwellenbeschleunigung

(Fermi-Beschleunigung 1. Ordnung)

- Teilchen gewinnen Energie durch mehrfaches Durchqueren der Schockfront einer Supernova

- Sowohl ausgestoßenes, als auch interstellares Material wird beschleunigt

- Energien bis zu 10^{14} eV



Beschleunigung

■ Fermi-Mechanismus

(Fermi-Beschleunigung 2. Ordnung)

- Wechselwirkung von kosmischen Teilchen mit Magnetwolken
- Abhängig von Relativbewegung Energiegewinn oder Energieverlust

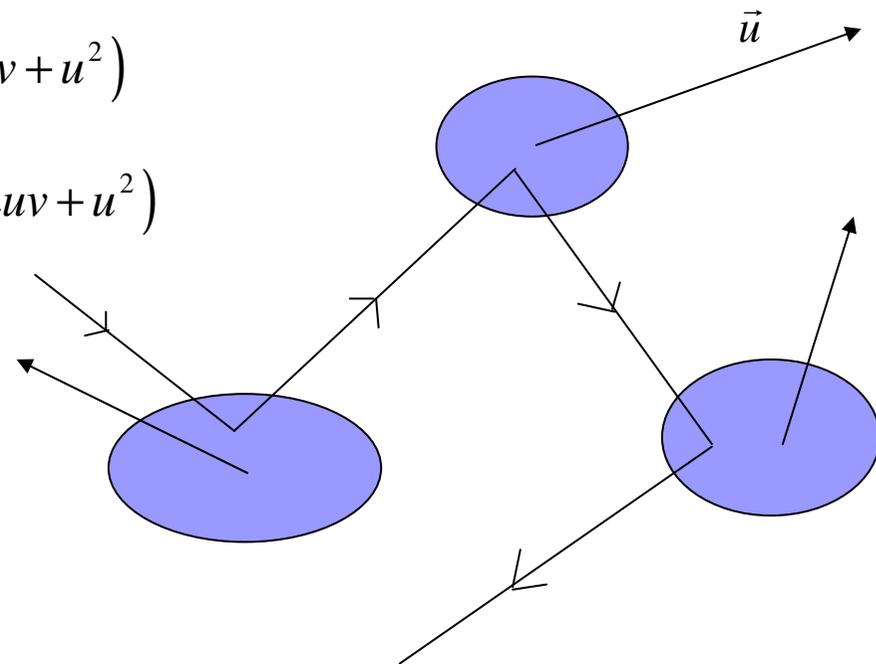
$$\Delta E_1 = \frac{1}{2}m(v+u)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(2uv + u^2)$$

$$\Delta E_2 = \frac{1}{2}m(v-u)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(-2uv + u^2)$$

- Im Mittel Energiegewinn

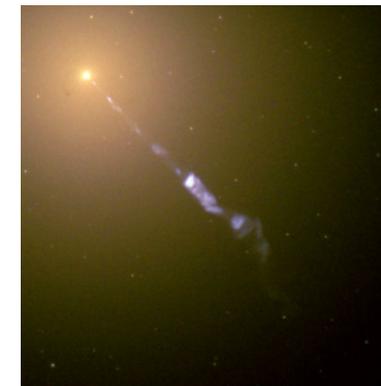
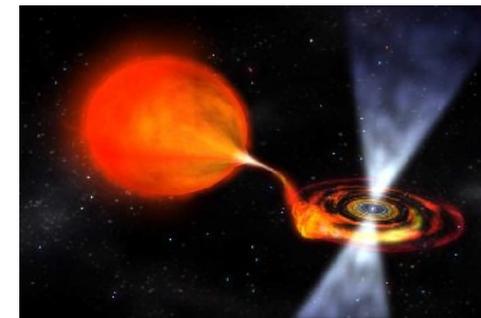
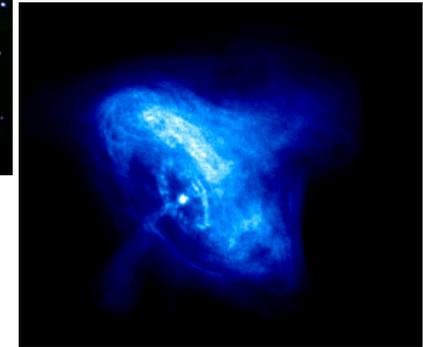
$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = mu^2$$

- Energien bis zu 10^{15} eV



Beschleunigung

- Supernovae
 - Schockwellenbeschleunigung
- Pulsare
 - Rotierende Magnetfeldachse induziert starke E-Felder
- Doppelsternsysteme
 - Plasmabewegungen durch Akkretion
 - Energien bis zu 10^{19} eV
- AGN (active galaxy nucleus)
 - Schockwellenbeschleunigung in den Jets
 - Wahrscheinlichste Kandidaten für Energien von mehreren 10^{20} eV





Messung

- Bei hohen Energien ($E > 10^{15}$ eV) nur indirekt möglich
- Primäre Teilchen erzeugen Luftschauer aus Sekundarteilchen

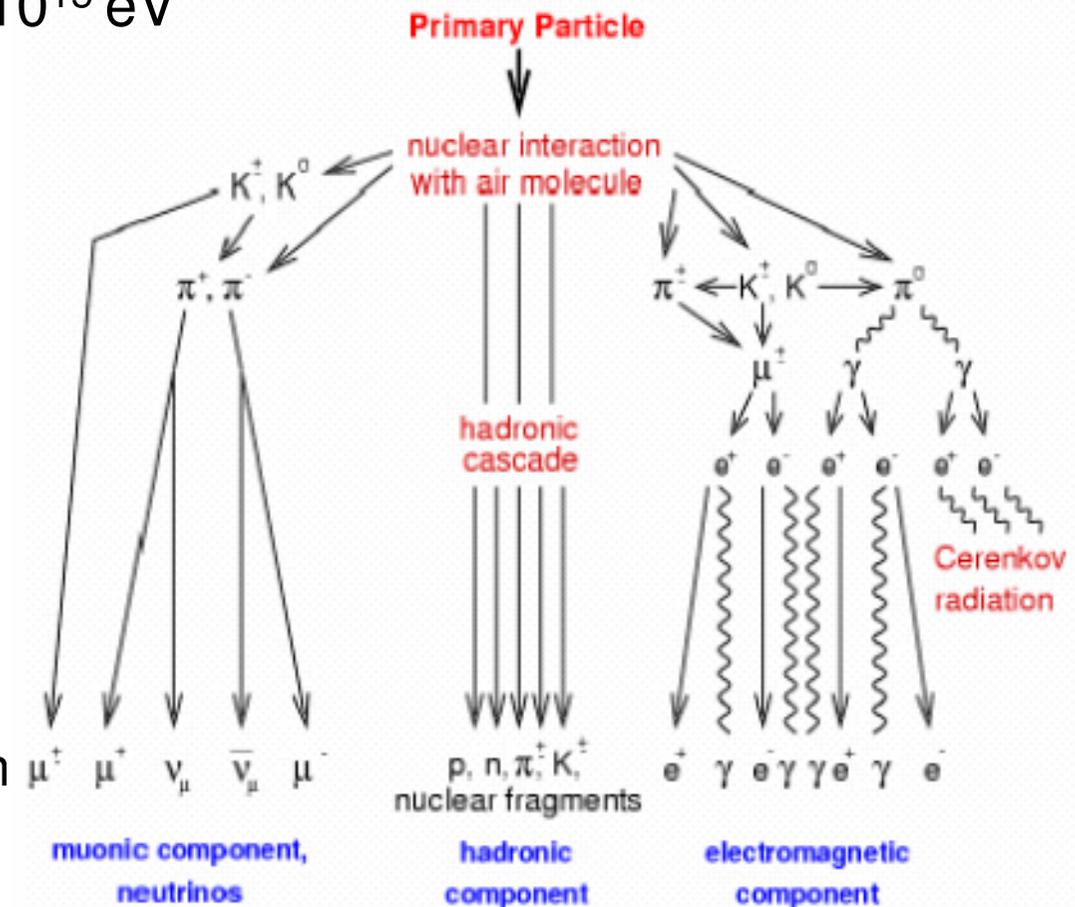
Teilchenschauer

- primäres Proton mit $E=10^{15}$ eV erzeugt ca. 1.000.000 Sekundärteilchen

- 80% Photonen
- 18% Elektronen und Positronen
- 1,7% Myonen
- 0,3% Hadronen)

- Richtung, Energie, Masse der Primärteilchen werden aus Eigenschaften der Luftschauer abgeleitet

- CORSIKA (**CO**smic **R**ay **S**imulations for **K**ascade and **A**uger)



KASCADE

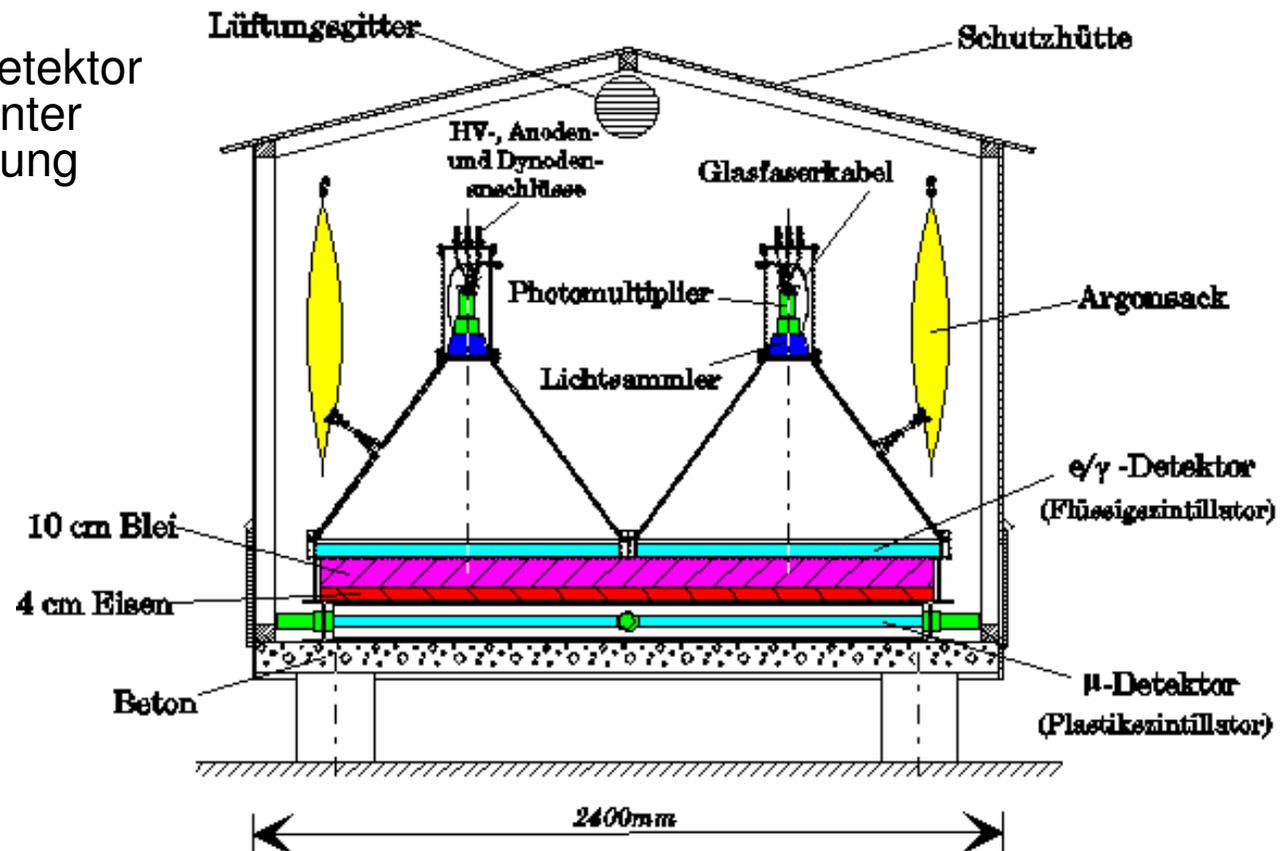
Karsruhe Shower Core and Array Detektor



- Messungen im Bereich des Knies
- 252 Detektorstationen im Abstand von 13m
- Großer Hadronenkalorimeter
- Myon-Tracking-Detektor

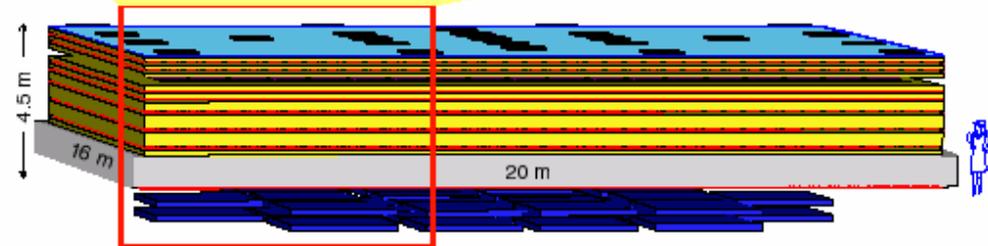
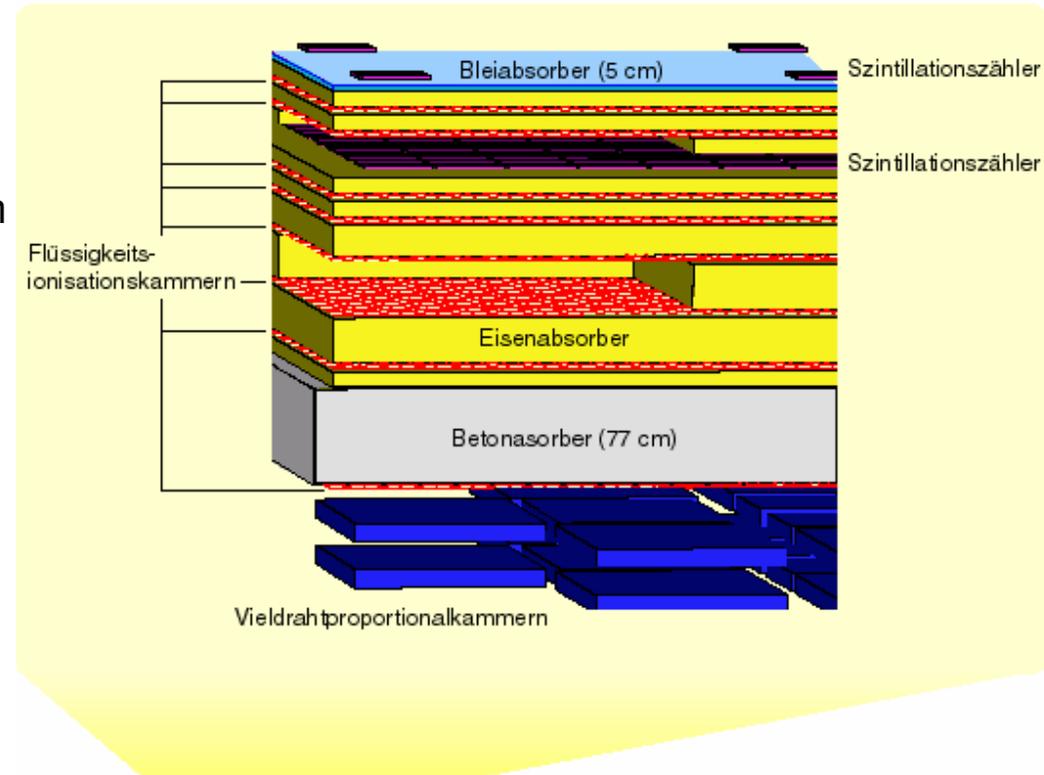
KASCADE: Detektorstationen

- Szintillationsdetektoren zum Nachweis der Elektronen und Photonen
- Plastikszintillationsdetektor als Myon-Detektor unter Blei-Eisen Abschirmung
- Messfläche 2% der Nachweisfläche



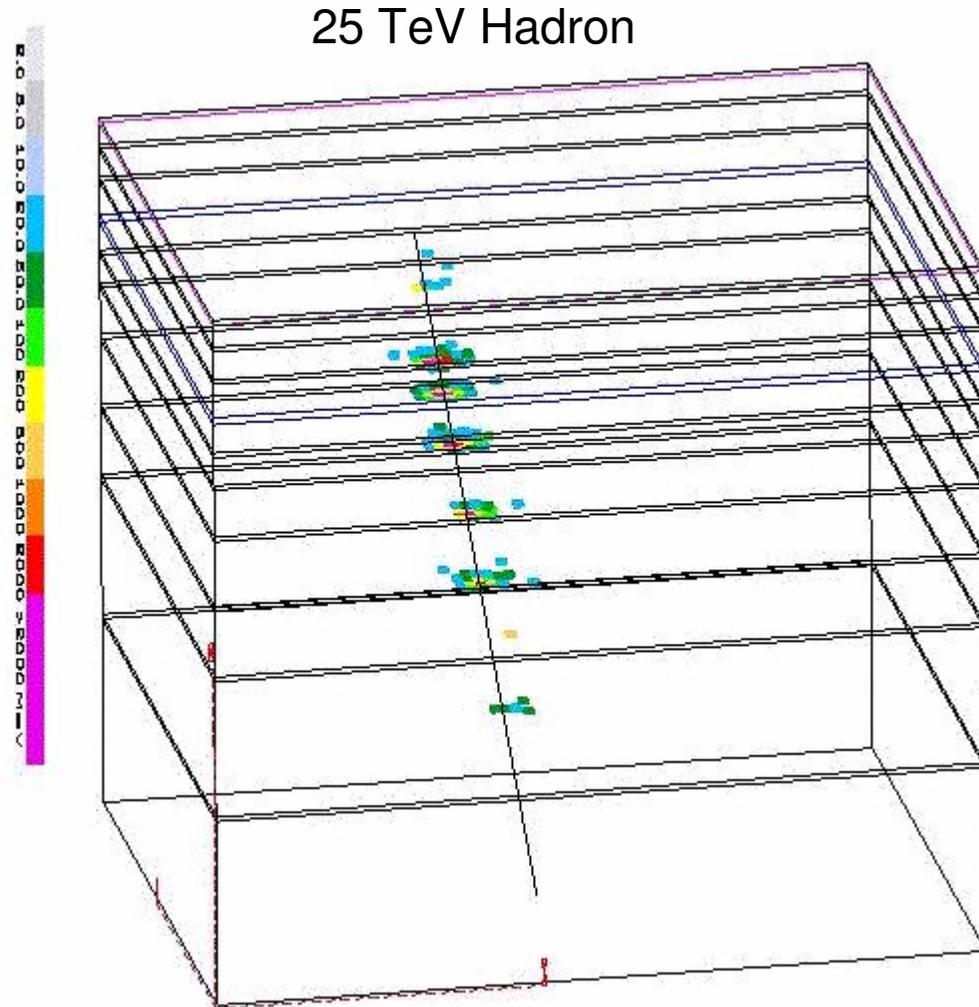
KASCADE: Hadronenkalorimeter

- Mehrere Schichten
 - Absorber
 - Flüssigkeitsionisationskammern
 - Szintillationszähler
- Sowohl minimal ionisierende Myonen als auch Hadronen bis zu $E=2,5 \cdot 10^{13}$ eV messbar
- Studium von Schauermodellen möglich



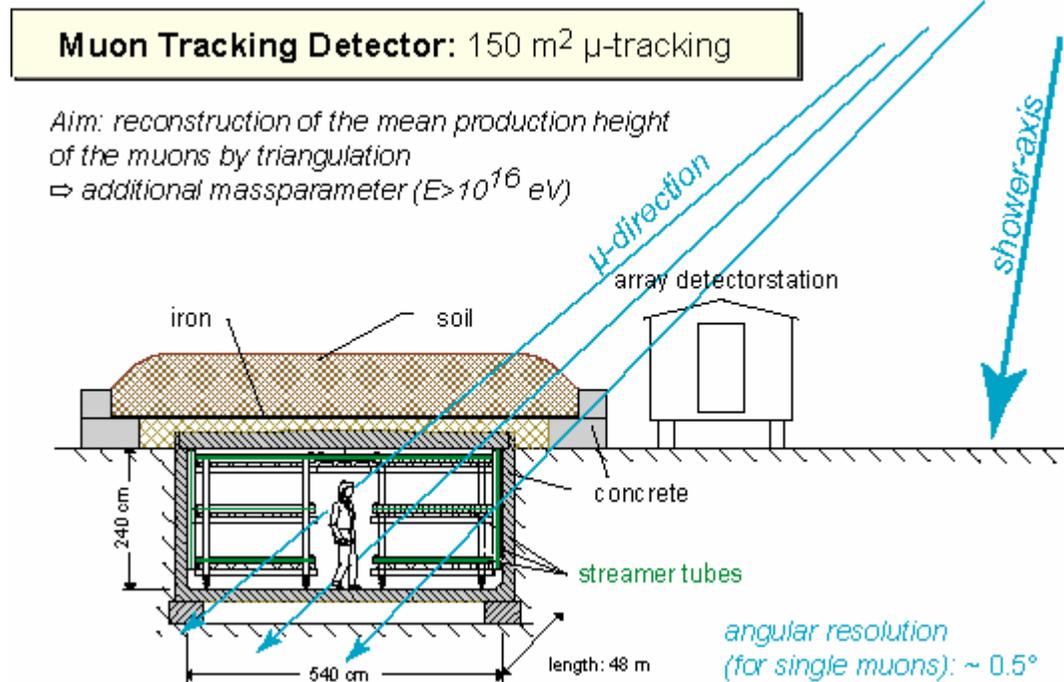
KASCADE: Hadronenkalorimeter

- Mehrere Schichten
 - Absorber
 - Flüssigkeitsionisationskammern
 - Szintillationszähler
- Sowohl minimal ionisierende Myonen als auch Hadronen bis zu $E=2,5 \cdot 10^{13}$ eV messbar
- Studium von Schauermodellen möglich

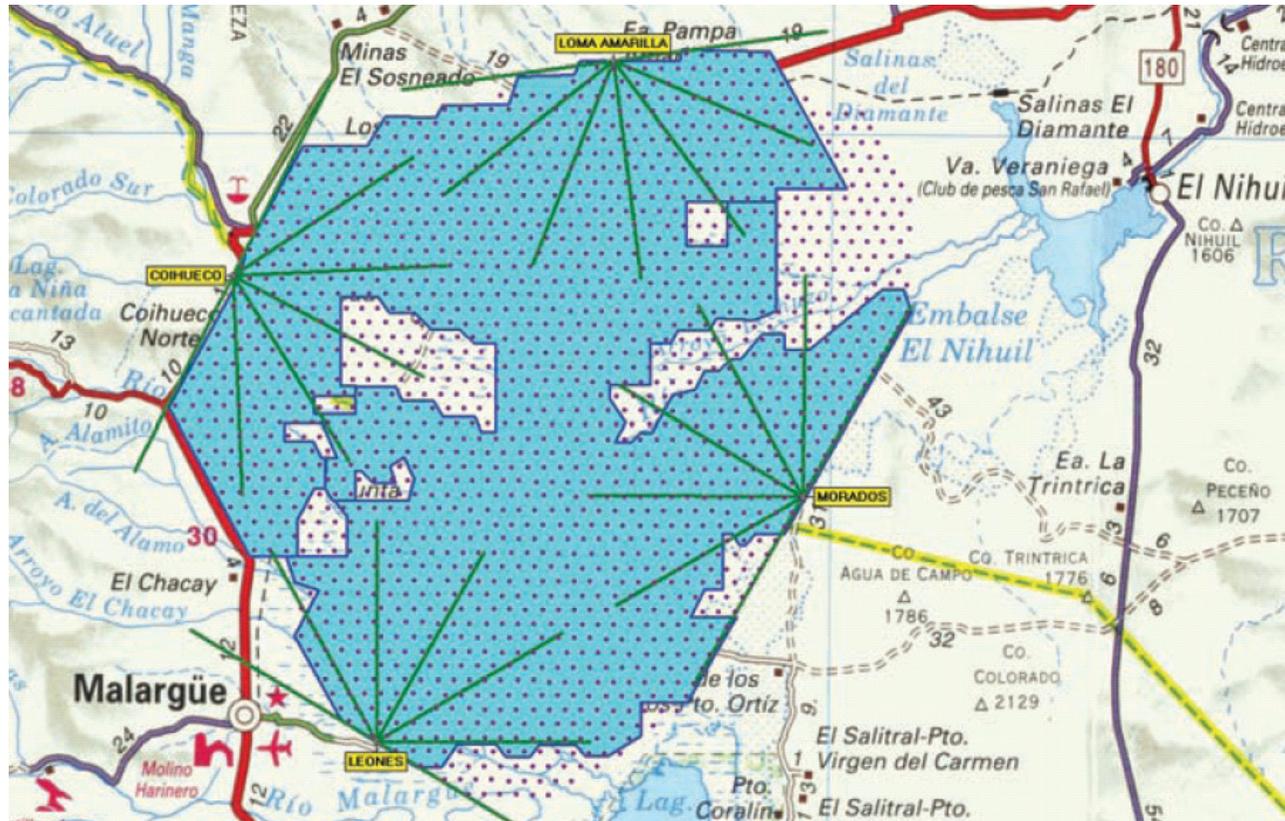


KASCADE: Myon-Tracking-Detektor

- gasgefüllte, unter Hochspannung stehende Detektoren in denen durch Myonen Entladungen ausgelöst werden
- Abgeschirmt gegen Elektronen und Photonen
- Winkelauflösung für Myonen $\sim 0,5^\circ$

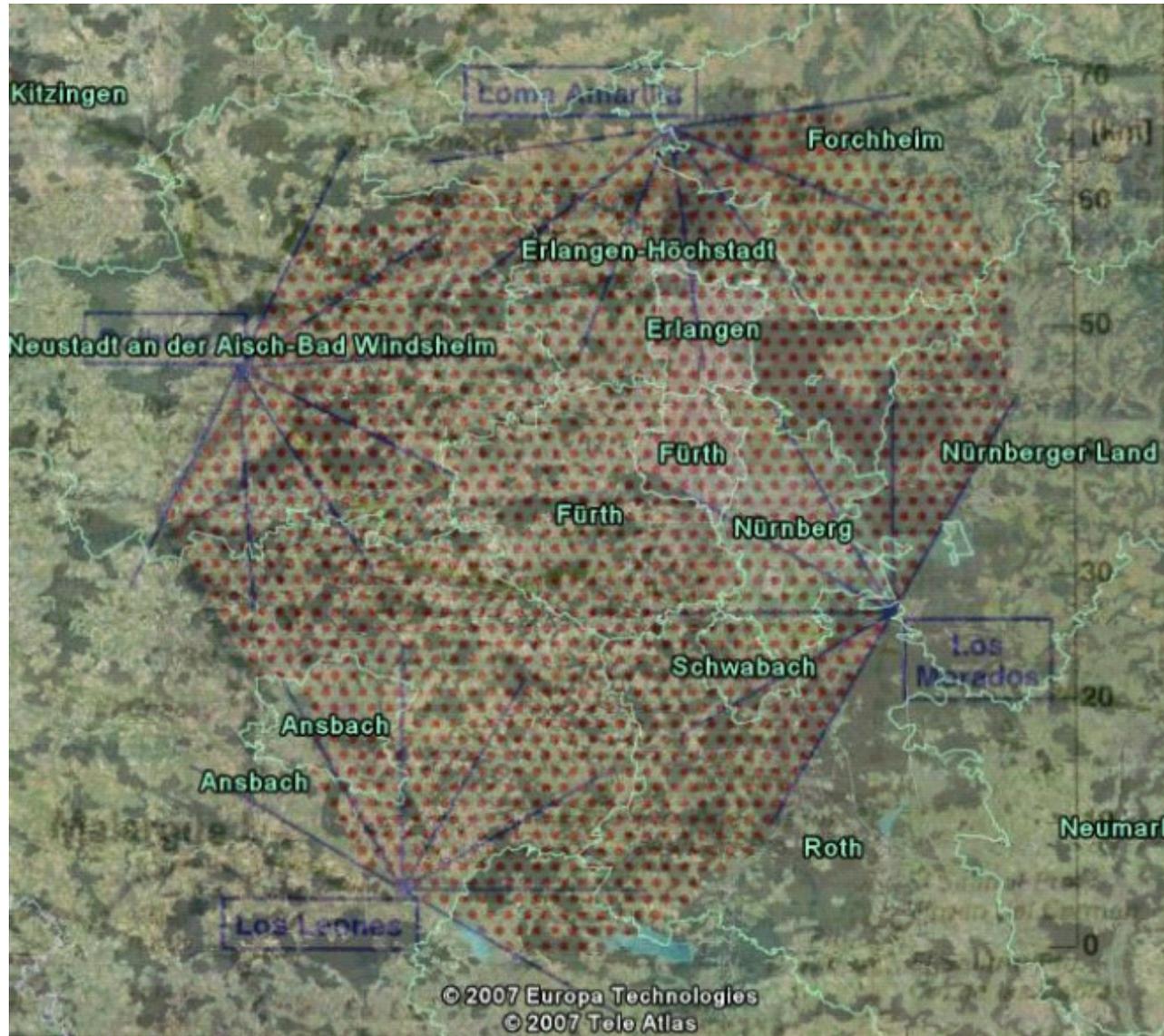


Pierre Auger Observatory



- 1600 Oberflächendetektoren im Abstand von 1,5 km
- 24 Fluoreszenzteleskope
- Auf einer Fläche von 3000 km²

Pierre Auger Observatory



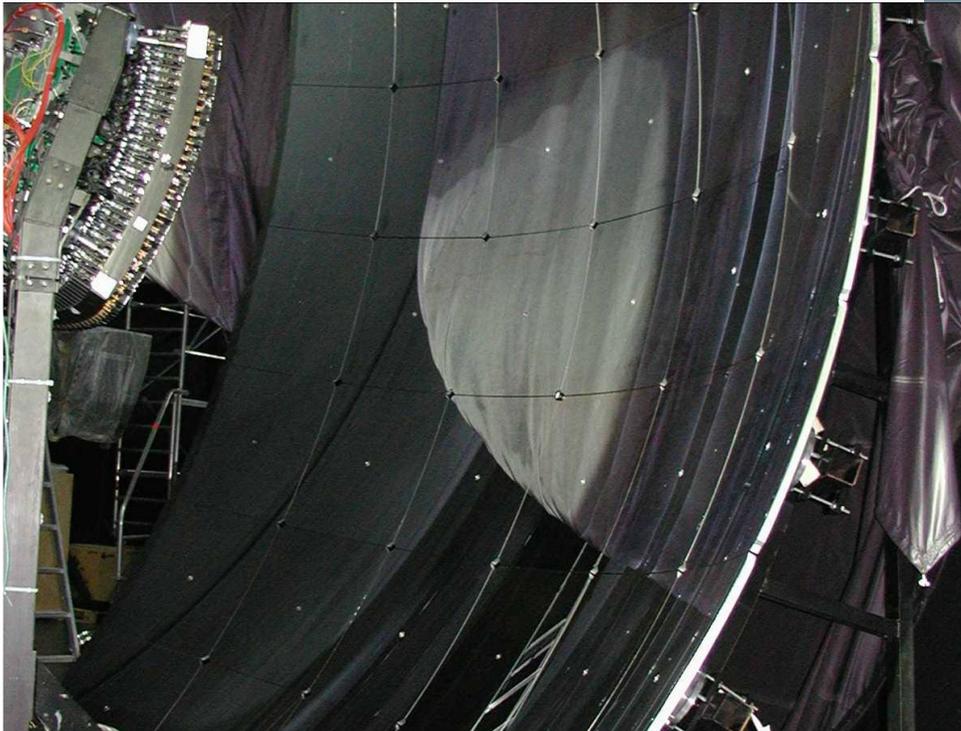
Auger: Wasser-Cherenkov-Dedektoren

- 12 t hochreines Wasser
- 3 Photomultiplier
- Autarke Stationen mit Funkverbindung



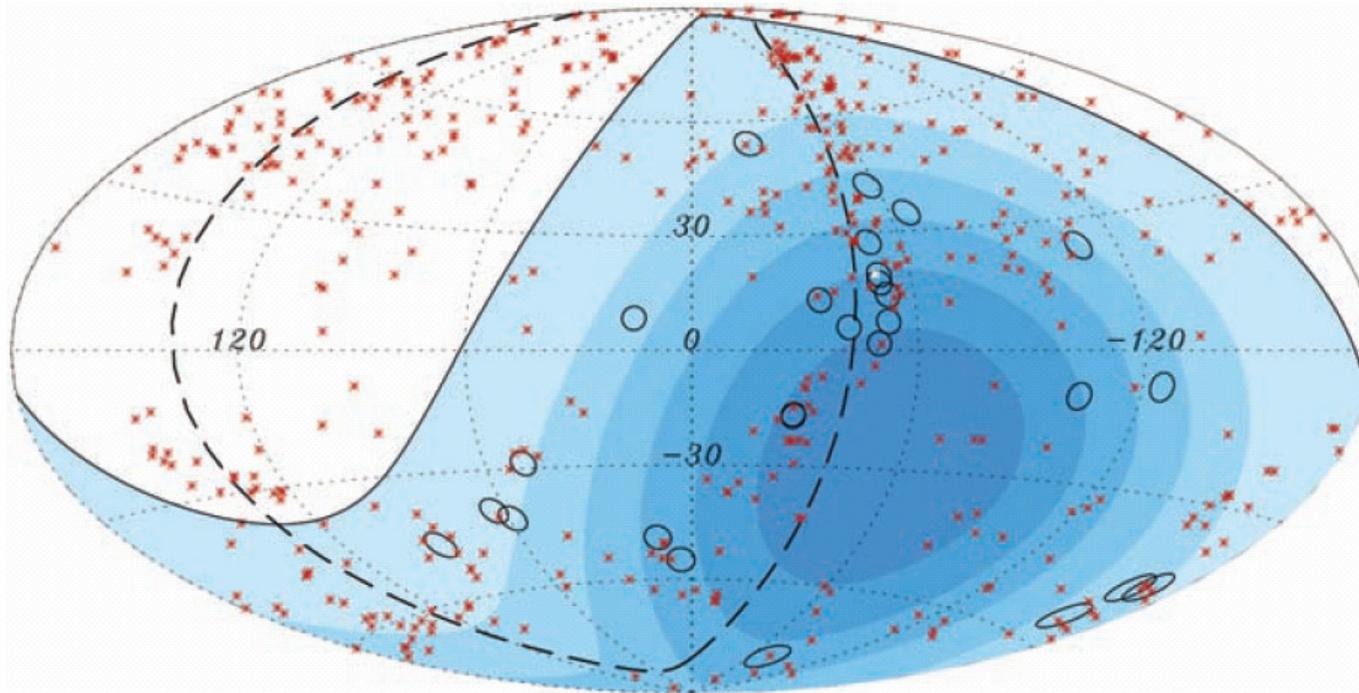
Auger: Fluoreszenzstelekope

- 4 Stationen mit je 6 Teleskopen
- 12 m² Spiegel
- Abbildung auf Kamera mit 440 Photomultipliern



- nur bei klaren, Mondfreien Nächten möglich (10-15%)
- Kalibrierung der Oberflächendetektoren

Auger: Ergebnisse



- Anisotropie der 27 energiestärksten Events $E > 5,7 \cdot 10^{19}$ eV
- Korrelation mit bekannten AGNs mit $D < 100$ Mpc



Ausblick

■ Auger

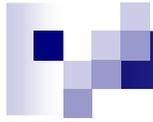
- Halbierung der Abstände der Bodenstationen auf 25 km²
- Installation von 61 Szintillationsdetektoren zum separaten Nachweis von Myonen

■ Auger Nord

- Noch größeres Areal in Colorado USA
- 4000 Oberflächendetektoren, 18 Fluoreszenzteleskope

■ LOPES

- Radioemission durch Geosynchrotronstrahlung
- Machbarkeitsstudien in KASCADE
- Später auch für AUGER



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Fragen?