



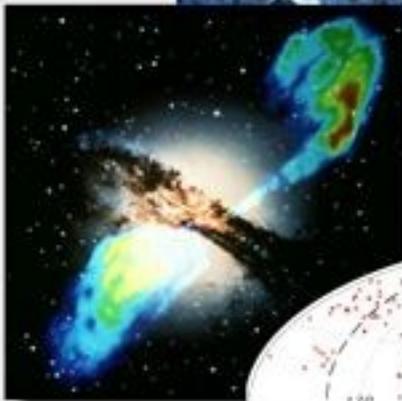
Das **Pierre-Auger-Observatorium:** Teilchensuche in der argentinischen Pampa

Gliederung

Kosmische Strahlung



Höchst-energetische Teilchen

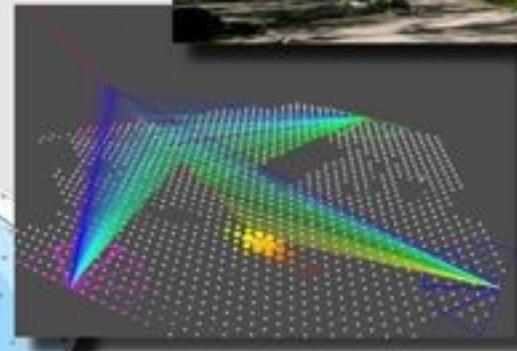


PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

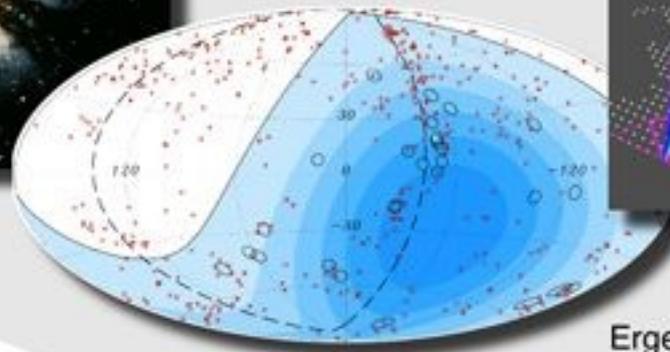
Das Observatorium



Ausgedehnte
Luftschauer



Ergebnisse



Entdeckung der kosmischen Strahlung

1912



Victor Hess



Ballonflüge in
Höhen bis 5 km
mit Elektroskopen

Ionisation nimmt zu!



Strahlung
extraterrestischen
Ursprungs

Nobelpreis 1936

Kosmische Strahlung

Unter kosmischer Strahlung versteht man heute geladene Teilchen die die Erde aus dem Weltall treffen.

Kosmische Strahlung besteht aus:

- 98% Atomkernen
- 2% Elektronen

Kerne teilen sich in:

- 87% Wasserstoffkerne
- 12% Heliumkerne
- 1% schwere Kerne

Energiespektrum

Trägt man die Zahl der Teilchen einer gewissen Energie in Abhängigkeit ihrer Energie auf so erhält man das Energiespektrum der kosmischen Strahlung (KS).

Solarer Einfluss bis 10^{10} eV

Direkte Messungen bis 10^{14} eV

Luftballon-, Satellit-Experimente

bis Knie: $I(E) \sim E^{-2.7}$

Supernova (SN) KS

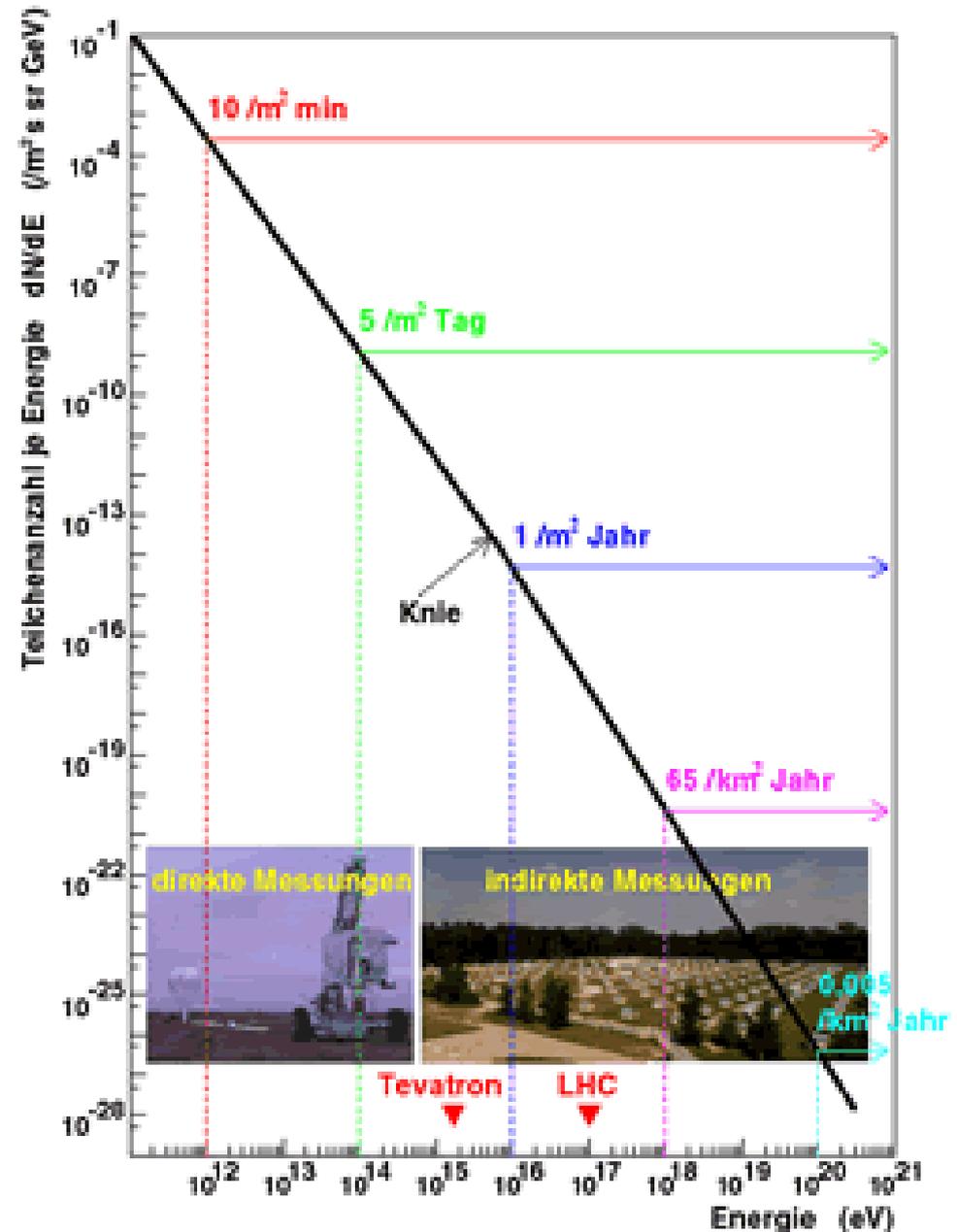
bis Knöchel: $I(E) \sim E^{-3}$

Galaktische-Extragalaktische KS

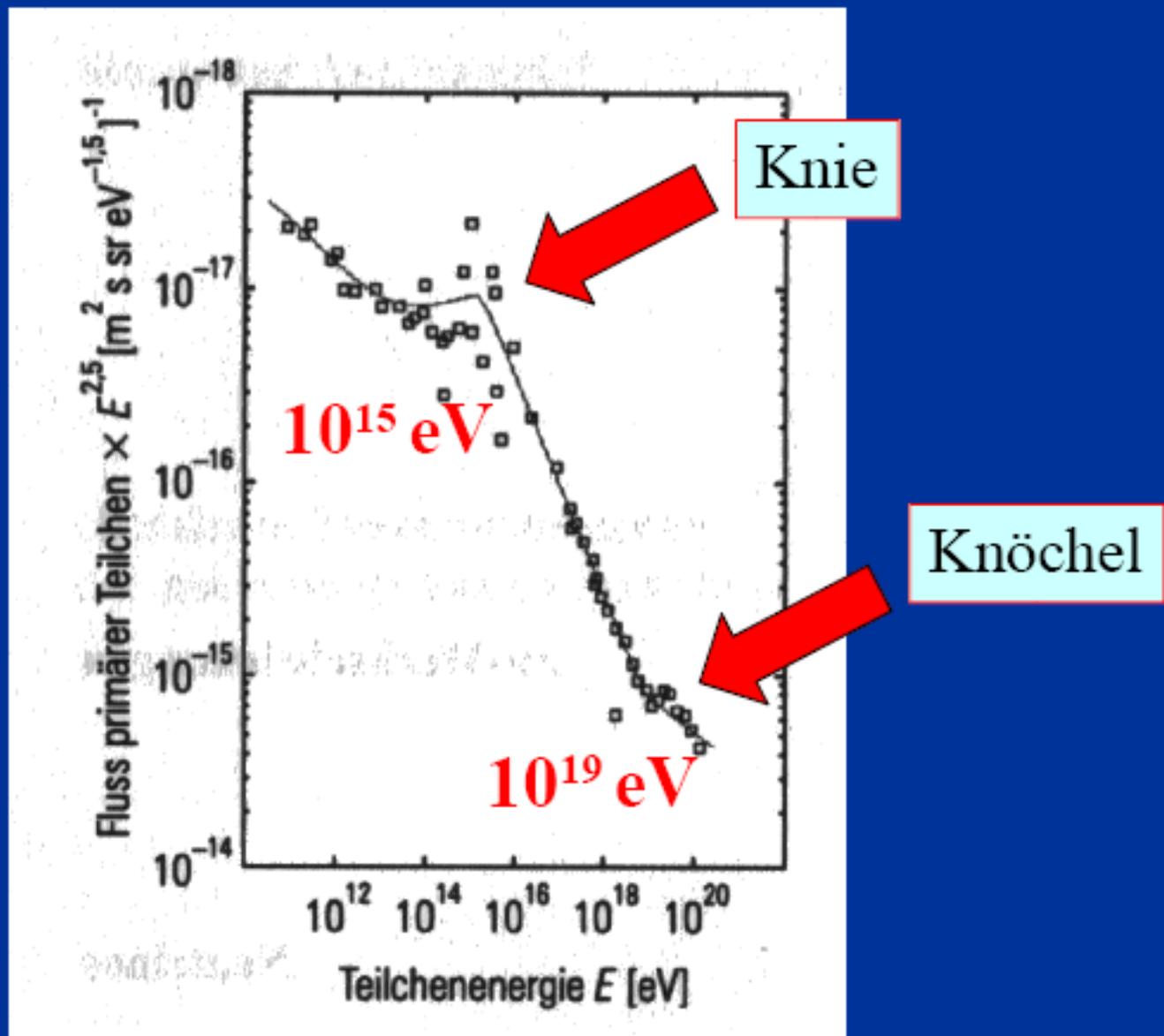
Energiequelle für 10^{20} eV ?

SN unzureichend

Energiespektrum der kosmischen Strahlung



Energiespektrum: Der Knöchel und das Knie



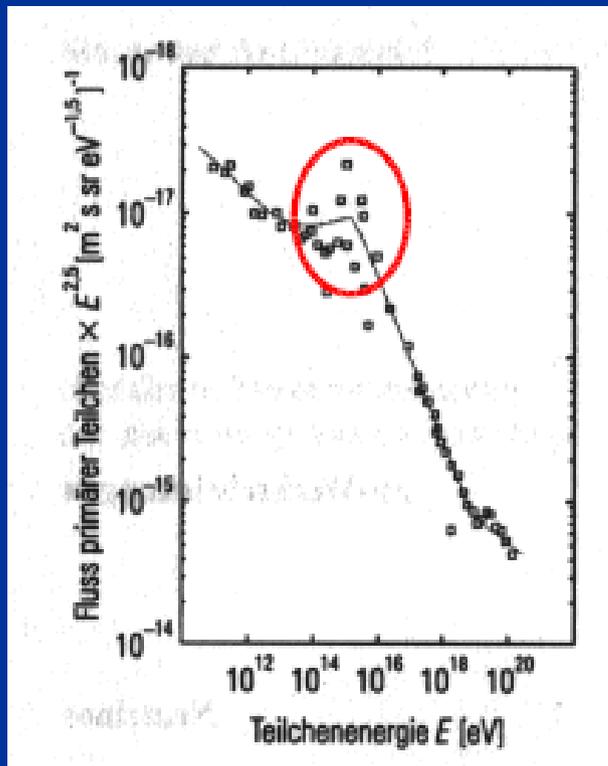
Mögliche Erklärungen des Knies

wenn Gyroradius \leq Milchstrassengrösse
werden Teilchen 'festgehalten'

Teilchen mit Energien $> 10^{15}$ eV
verlassen die Milchstrasse

10^{15} eV Energiemaximum das durch
Supernova-Explosionen geliefert
werden kann

Übergang zu einem anderen
Beschleunigungsmechanismus



Der Knöchel und das Rätsel der hohen Energien

Keine Beschleunigungsmechanismen für Energien $> 10^{20}$ eV bekannt !

Kosmische Untergrundstrahlung

Teilchen mit Energien $> 5 \cdot 10^{19}$ eV absorbiert

Greisen-Zatsepin-Kuzmin Cut-off

Also müssen Quellen der hochenergetischen Teilchen
< 50Mpc von uns entfernt sein...

(noch?) keine gefunden @ 10^{19} eV Fluss $1/\text{km}^2/\text{sr}/\text{Jahr}$ @ 10^{20}
eV Fluss $1/\text{km}^2/\text{sr}/\text{Jahrhundert!}$

Kosmische Beschleuniger

- Hauptteil der galaktischen kosmischen Strahlung erzeugt durch
 - **Supernova**
- Beschleunigung höchstenergetischer Teilchen überwiegend in
 - **Pulsaren**
 - **Doppelsternsysteme**
 - **Kerne aktiver Galaxien**

Quellen der hochenergetischen Teilchen



Centaurus A (NGC 5128) ist eine Galaxie im Sternbild Centaurus. Die Galaxie ist eine starke Radioquelle und ist mit ca. 14 Millionen LY Entfernung. In der Abbildung sind ein Radiobild (Keulenförmige Strukturen) und ein optisches Bild (aufgenommen mit dem Hubble-Space-Telescope) überlagert. Man erkennt eine gerichtete Emission von Teilchen vom Zentrum der Galaxie nach links oben.

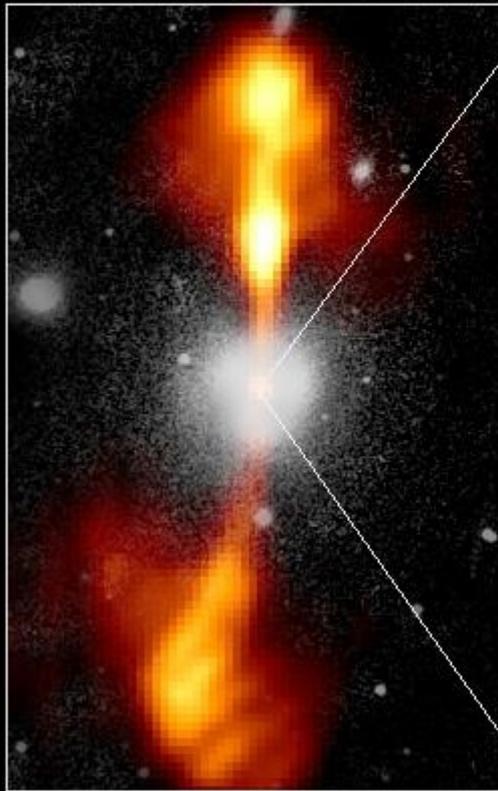
Quellen der hochenergetischen Teilchen

Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

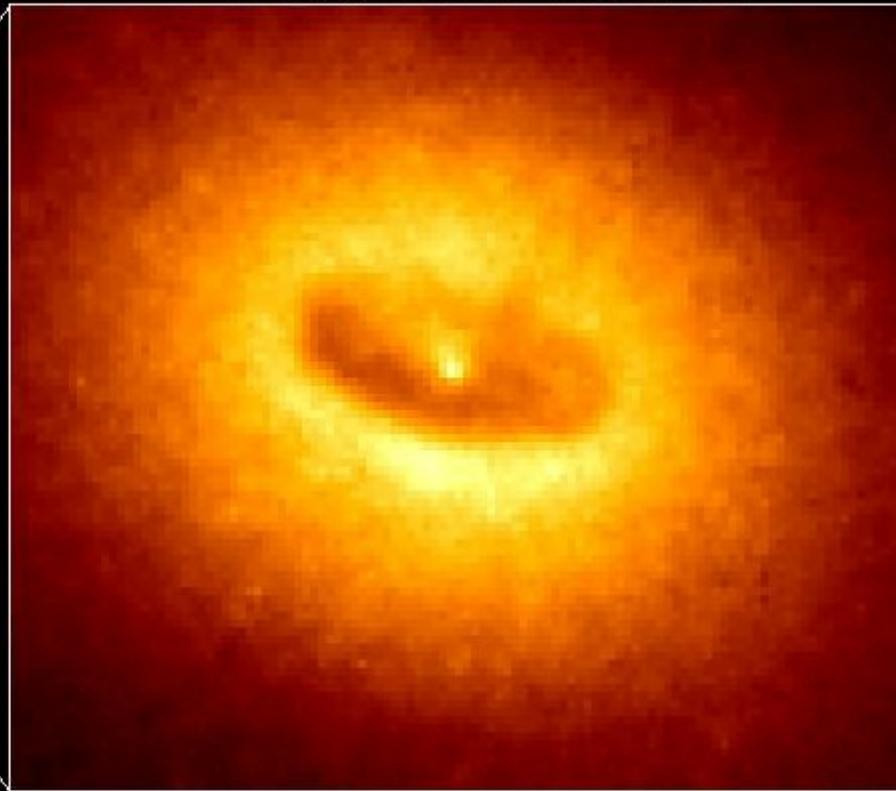
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHT-YEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk

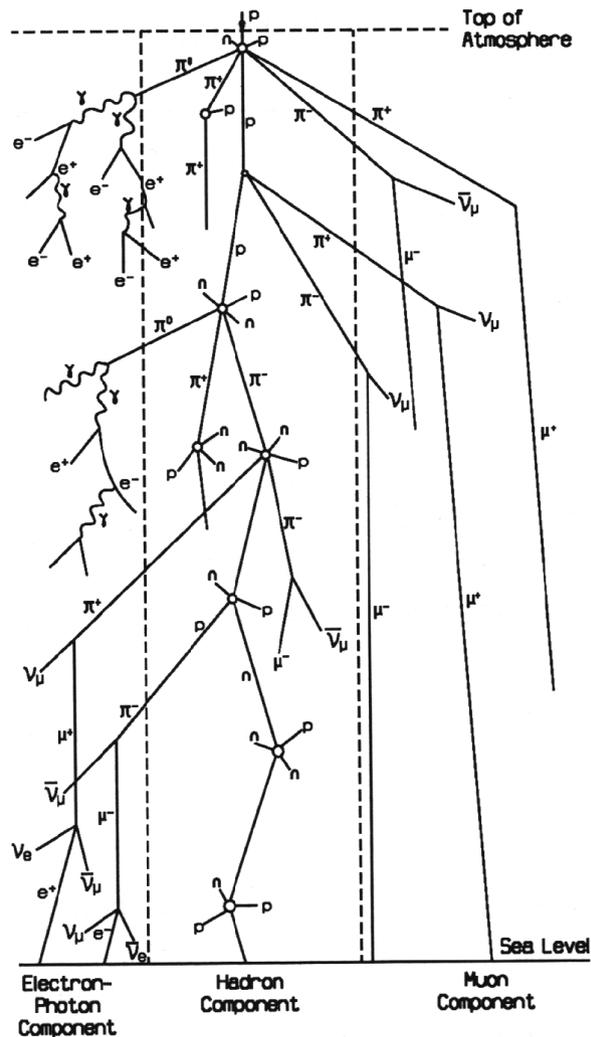


17 Arc Seconds
400 LIGHT-YEARS

Wissen und Vermutungen...

- 90 Jahre kosmische Strahlung: bereits in Astroteilchenphysik eingeordnet
- Was wir wissen
 - Direkte Messungen ausserhalb der Atmosphäre
 - Indirekte Messungen am Erdboden: ausgedehnte Luftschauer
- Was wir vermuten
 - Energiequelle, Ursprung, Zusammensetzung, Ausbreitung bei ‚mittleren‘ Energien
- Was wir nicht wissen
 - Es gibt Teilchen mit $E > 10^{20}$ eV..., aber:
 - Wie kommen solche Energien zustande? Welche Teilchen sind das?
 - Wo kommen sie her? Wie kommen sie zu uns?
- Antworten?
 - Das Pierre Auger-Observatorium in Argentinien
 - (andere Projekte)

Ausgedehnte Luftschauer



Hochenergetische Teilchen
nur durch ihre Wechselwirkungen
mit der Atmosphäre beobachtbar



Pierre Auger beobachtet
erste Schauer in 1938

Durch Wechselwirkungen hochenergetischer Teilchen mit den Atomkernen der Luftmolekülen entsteht eine Kaskade von **Sekundärteilchen** – ein **ausgedehnter Luftschauer**.

Das Auger-Projekt: Messung der Luftschauber

- Ziele:
- Strahlung mit Energien 10^{19} - 10^{21} eV zu untersuchen
 - Quellen zu finden

Fluoreszenz-Detektoren:

Ionisation von Stickstoff

Cherenkov-Detektoren:

Teilchendichte auf der Oberfläche



Typ, Energie, Einfallsrichtung
der kosmischen Teilchen

Mitinitiatoren des Pierre Auger Observatoriums

**Nobel-
preisträger
Prof.
Jim Cronin
Universität
Chicago (USA)**



**Prof.
Alan Watson
Universität
Leeds (England)**

Pierre Auger Observatory

Auger North Lamar, Colorado, USA

Nordhemisphäre
Utah, USA
- geplant

~20000 km²



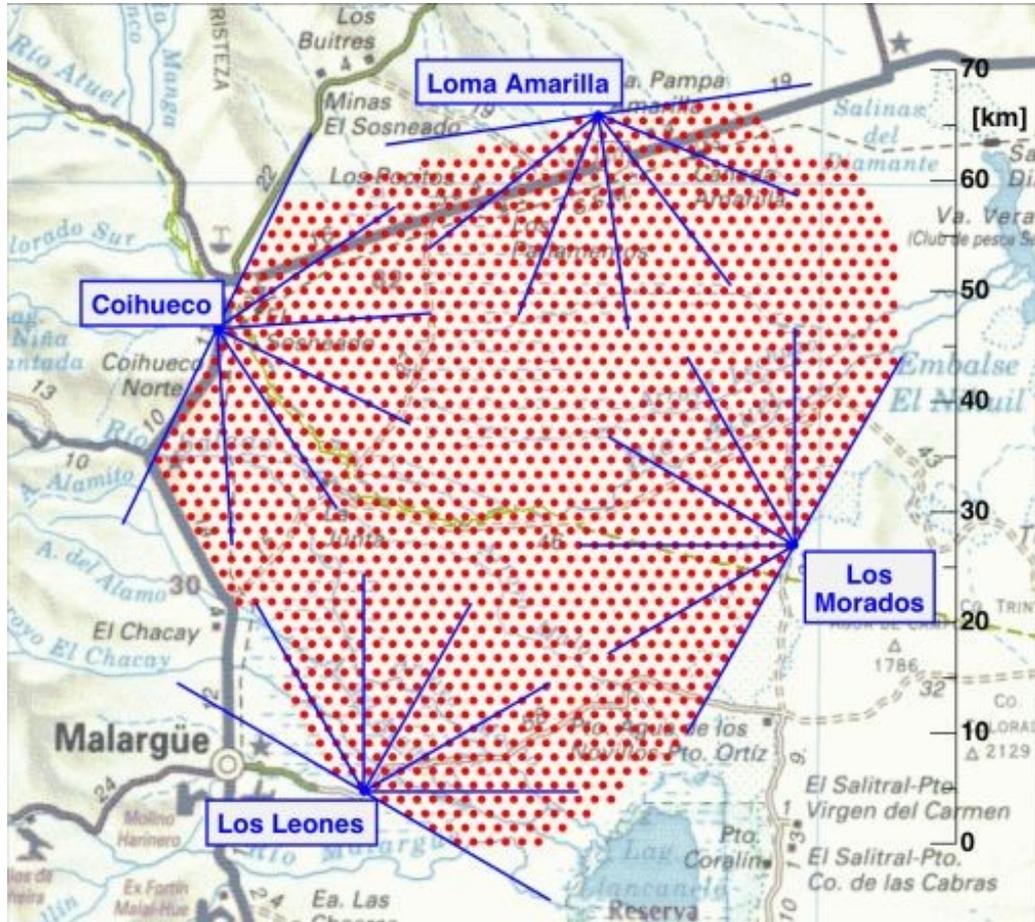
3000 km²

Auger South Malargüe, Argentina

Südhemisphäre
Argentinien
- angelaufen

Das südliche Auger-Observatorium

Hybrid-Detektor



4 Fluoreszenz – Stationen
jeder Station enthält 6 Teleskope

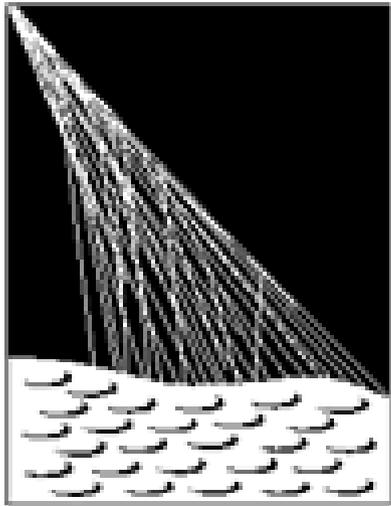


Detektorfläche: 3000 km²
Datennahme seit Januar 2004
Geplant: ca. 20 Jahre Datenaufnahme

1660 Oberflächen-Detektorstationen:
1500m voneinander entfernt

Office in Malargüe, Provinz Mendoza, Argentinien

Logo



**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY



The Pierre Auger Collaboration

Czech Republic

France

Germany

Italy

Netherlands

Poland

Portugal

Slovenia

Spain

United Kingdom

Argentina

Australia

Brasil

Bolivia*

Mexico

USA

Vietnam*

**Associate Countries*

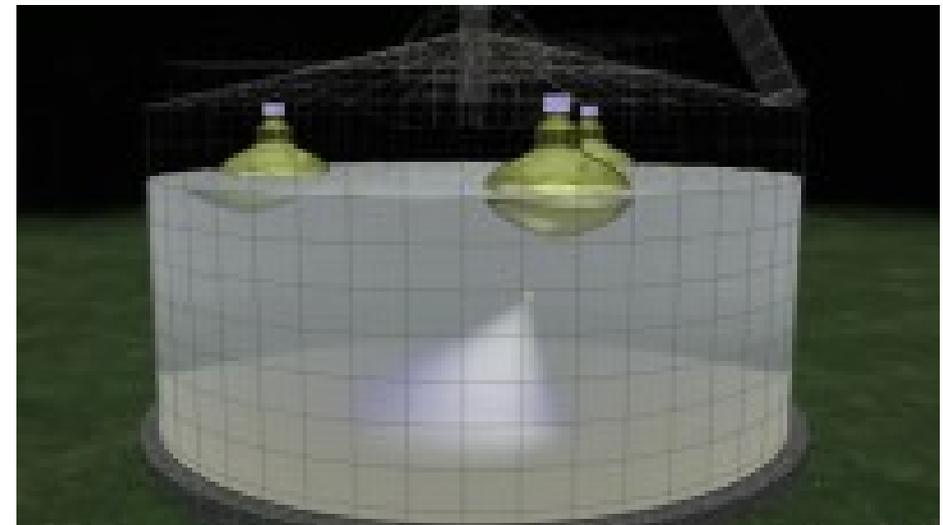
**~300 PhD scientists from
~70 Institutions and 17
countries**

Wasser-Cherenkov-Detektor



Jede Station besteht aus einem zylindrischen Tank:

- Von 10 m^2 Grundfläche
- 1,2 m Höhe, 3,4 m Durchmesser
- gefüllt mit 12 Tonnen Hochreinemwasser.



Cherenkov-Licht mit
3 Photomultipliern (PMT) gemessen.

Wasser-Cherenkov-Detektor

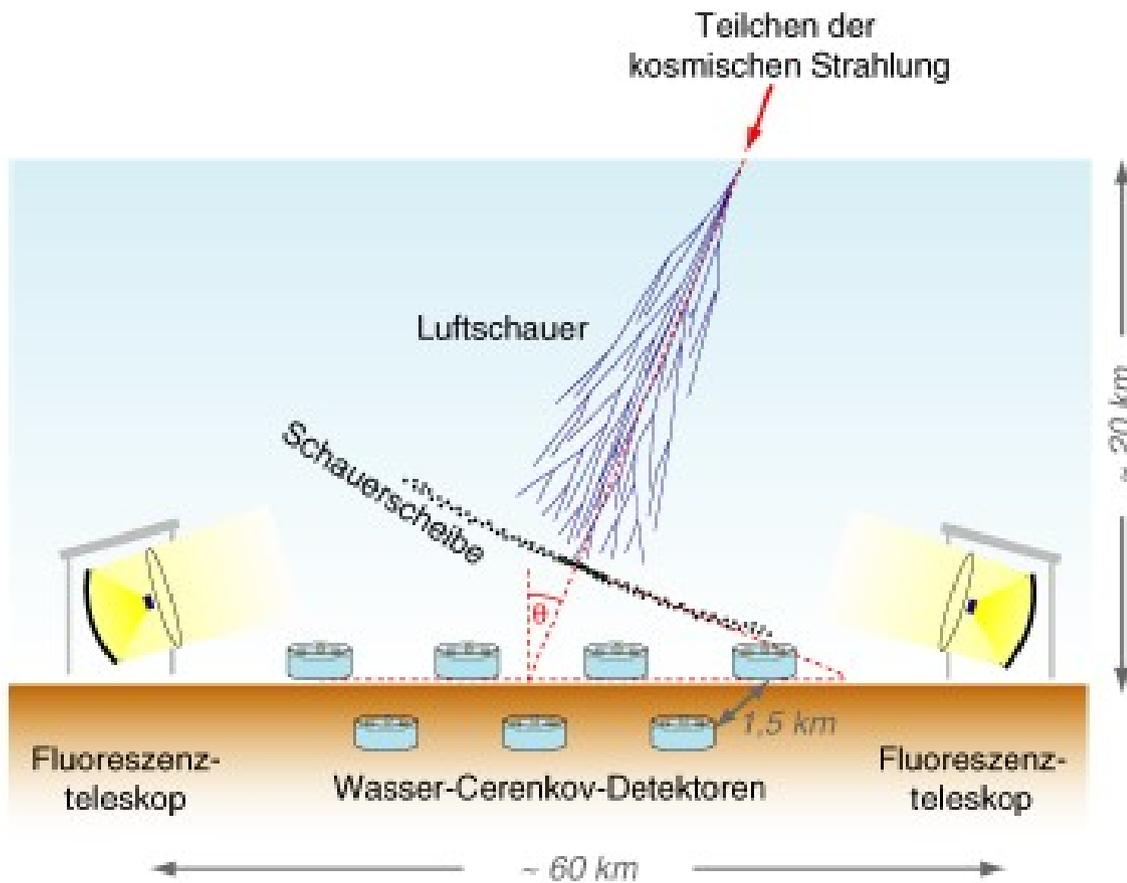


Sollarzellen: Autonome Stationen mit solarer Energieversorgung

Antena: Kommunikation mit der Datenerfassungszentrale (CDAS) über Mobiltelephontechnik

GPS-Empfänger: Die Identifikation von Signalen verschiedener Detektoren, die zu einem Ereignis gehören, erfolgt über eine von GPS-Signalen gesteuerte Uhr an jedem Detektor.

Zeitliche Datenkorrelation Genauigkeit: 10 ns



Teilchenkomposition am Erdboden (nach $25 X_0, 11 \lambda_{int}$)
≈ 80 % Photonen ≈ 18 % Elektr./Positr. ≈ 1.7 % Muonen ≈ 0.3 % Hadronen
≈ 10^6 Sekundärteilchen aus 10^{15} eV Proton

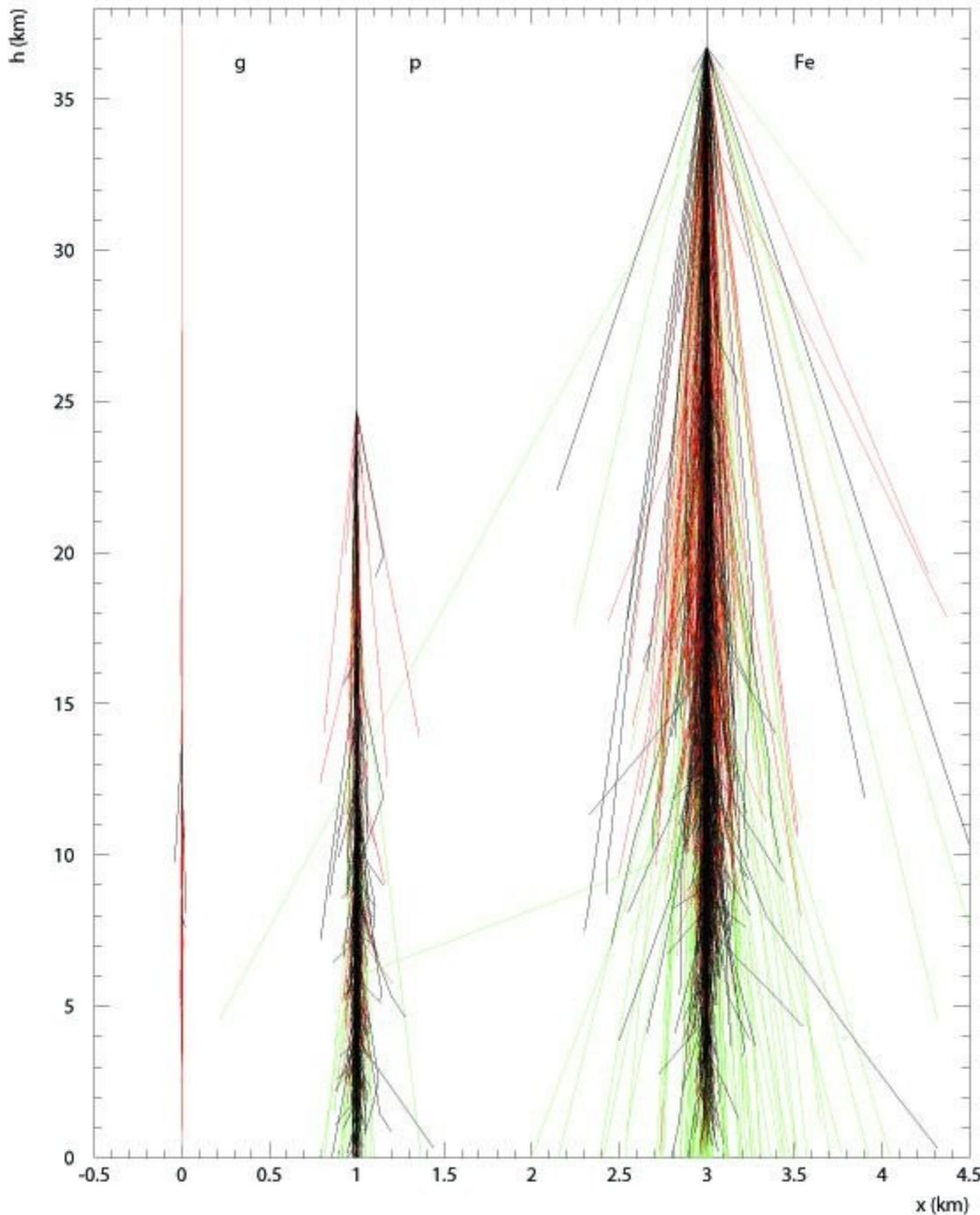
Die **Wasser-Cherenkov-Detektoren** messen:

- **Ankunftszeit:** Richtung des Schauers mit 1-2 Grad Genauigkeit rekonstruiert
 - **Lateralverteilung:** das Schauerzentrum und
 - **Dichte:** die integrale Teilchenzahl
- ⇒ Energie des Primärteilchens

Bestimmung von Masse und Energie durch Vergleich der **gemessenen Daten** mit **Schauer- und Detektor-Simulationen** ⇒ **Große Unsicherheiten !**

Andere Observablen? ⇒ Fluoreszenzteleskopen

Longitudinale Entwicklung des Luftshauers mit **Fluoreszenzteleskope** beobachtet.

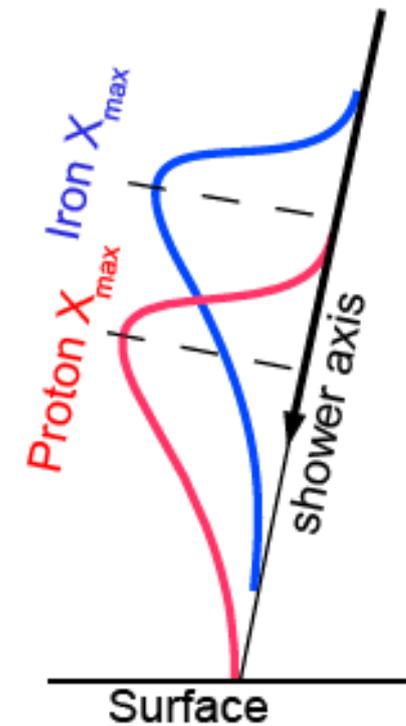


Energie Indikator:

- maximale Teilchenzahl N_{max}

Masse des Primärteilchens:

- Höhe der ersten Wechselwirkung
- Lage des Schauermaximum X_{max}



Die Fluoreszenzteleskope



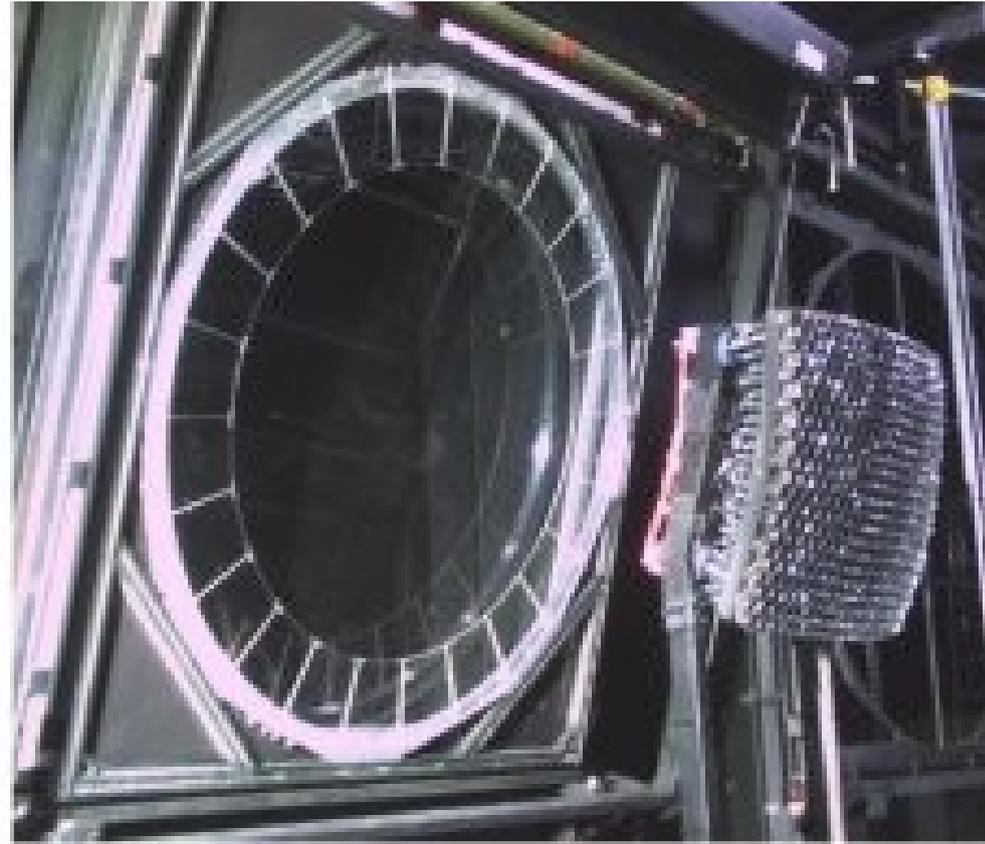
Die sekundär-, geladenen-Teilchen des Schauers den Stickstoff der Luft zur Emission von Ultraviolettlicht (300 – 420 nm): **Fluoreszenzlicht** anregen.

24 Fluoreszenzteleskope in 4 Beobachtungsstationen am Rand des Detektorfelds registrieren die Fluoreszenzlicht in **klaren mondlosen Nächten**.



10% - 15% Messzeit

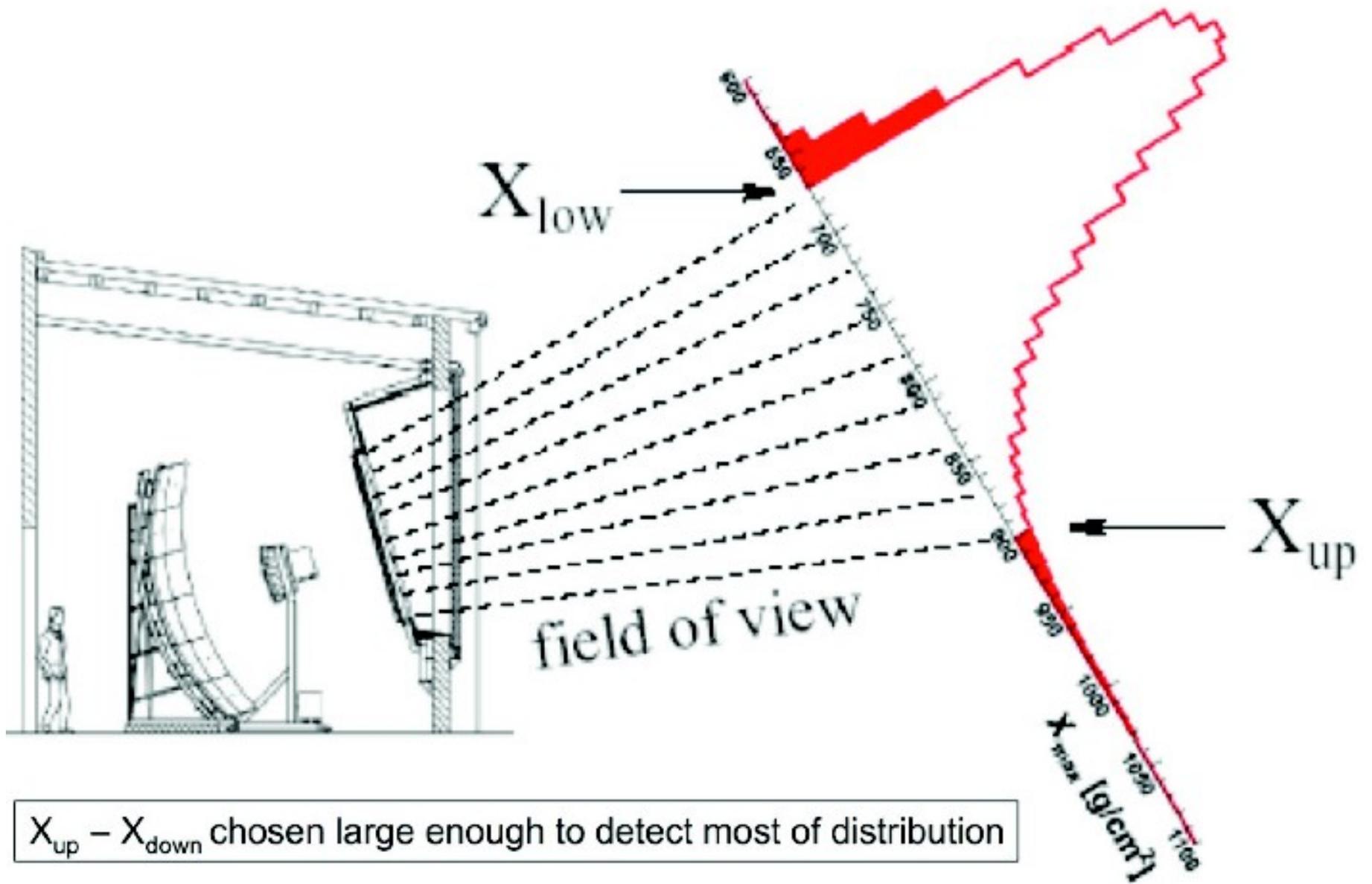
Die Fluoreszenzteleskope



Das einfallende Licht wird auf **Spiegelfläche von 12 m²** gesammelt

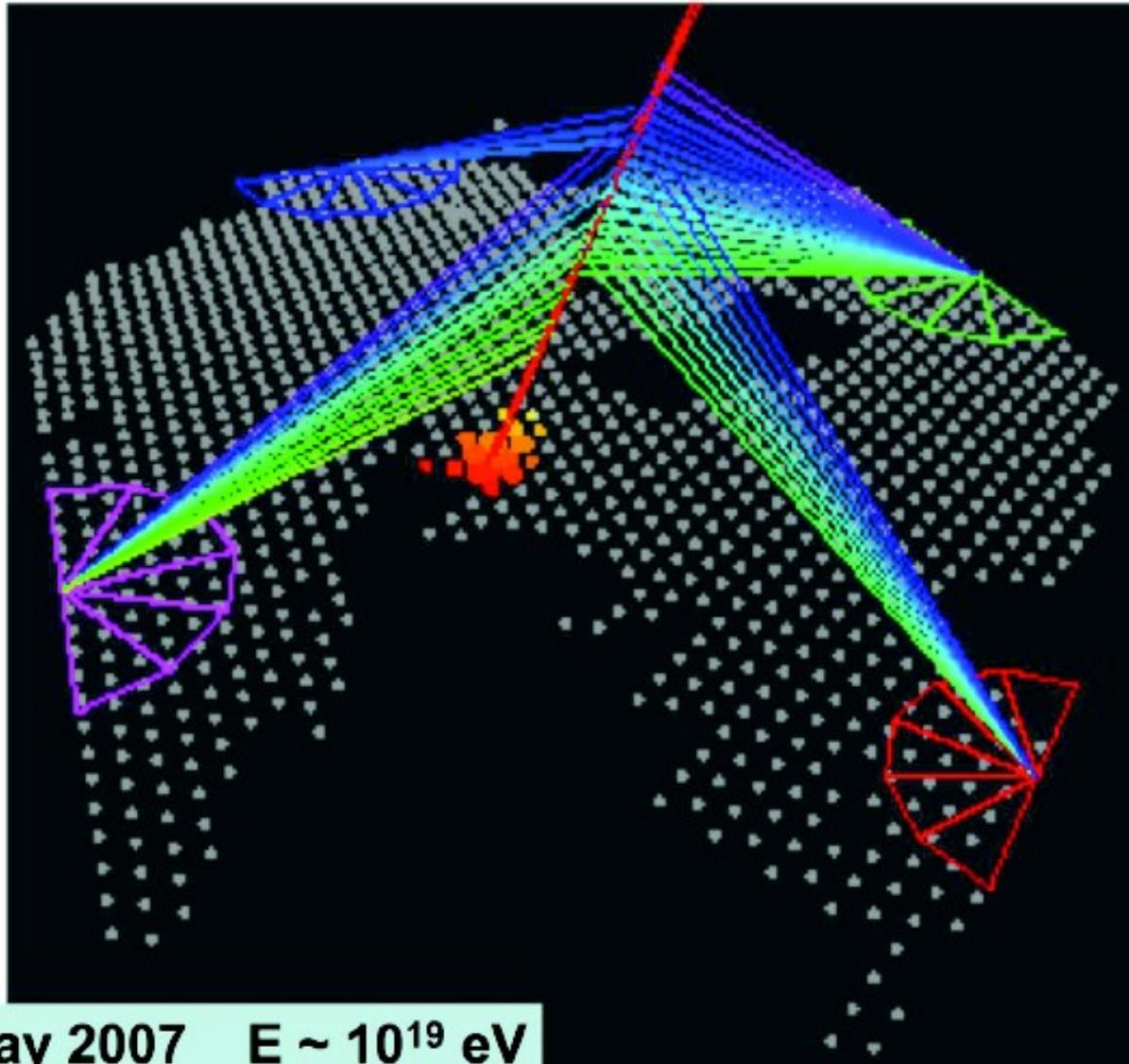
Gesichtfeld: 30° x 30° pro Teleskop

In der Fokalebene registrieren **440 Photomultiplier** die Fluoreszenzleuchtspur der Luftschaer mit einer **Zeitauflösung von 100 ns**.



$X_{up} - X_{down}$ chosen large enough to detect most of distribution

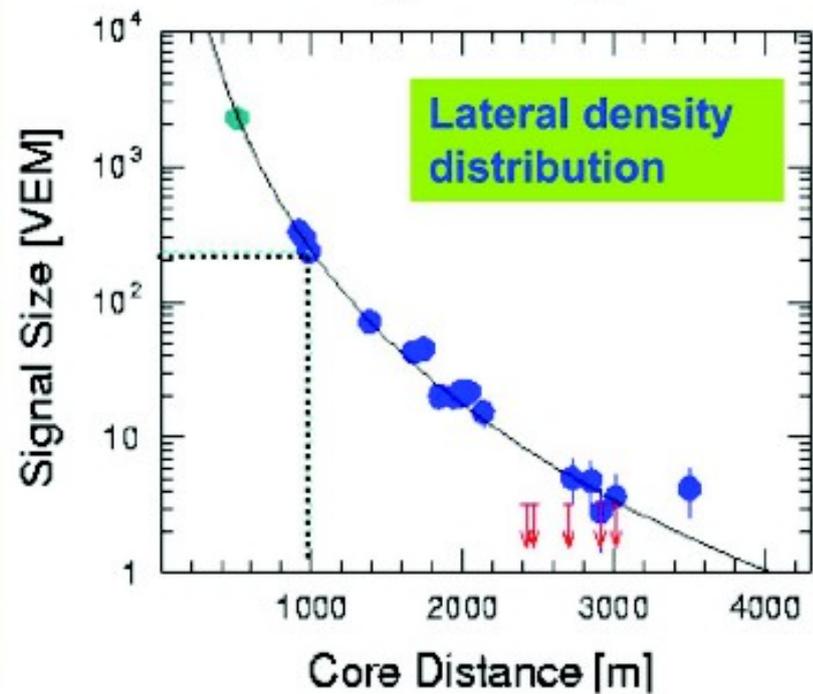
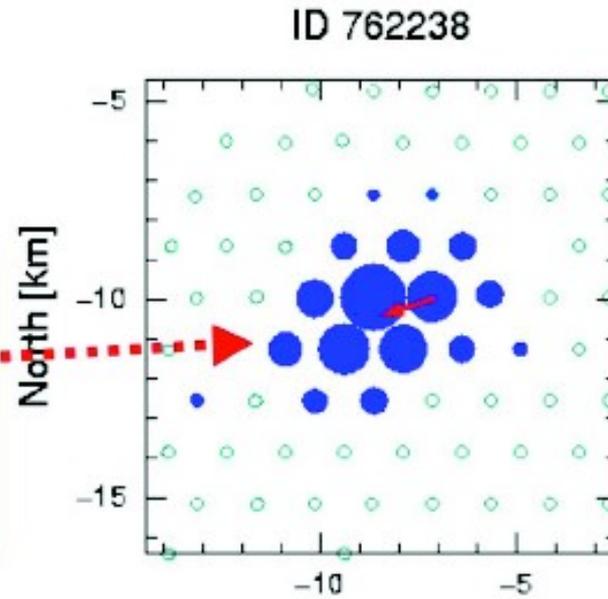
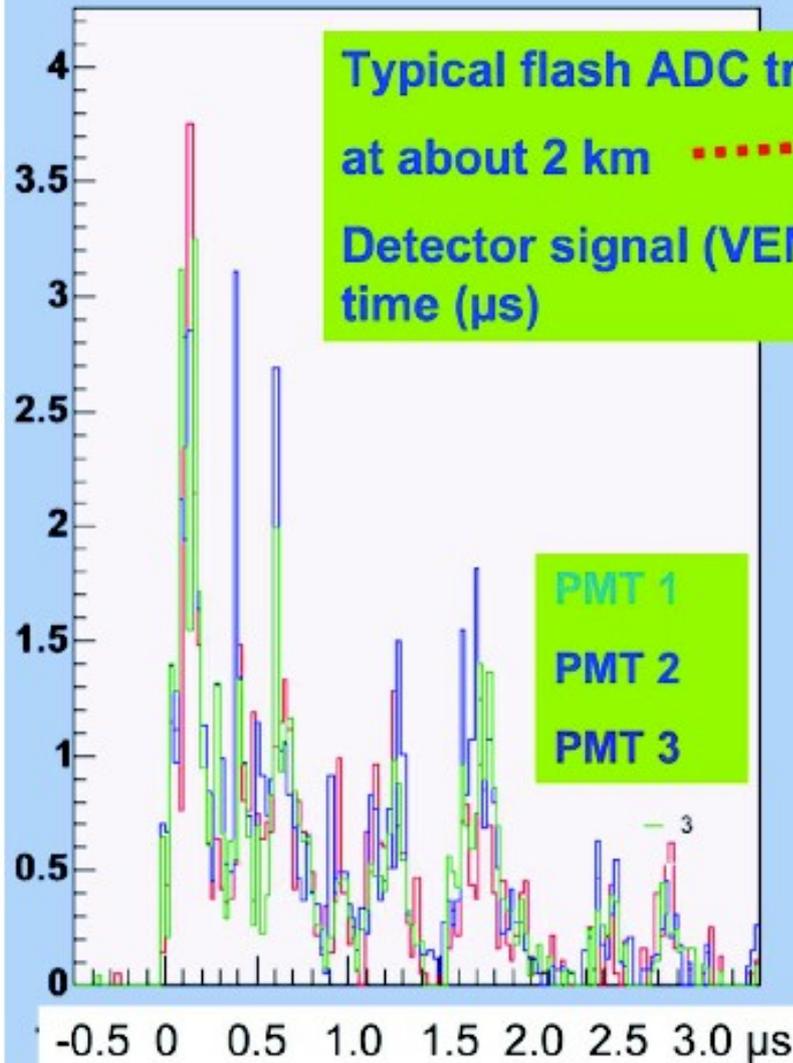
Ereignisse



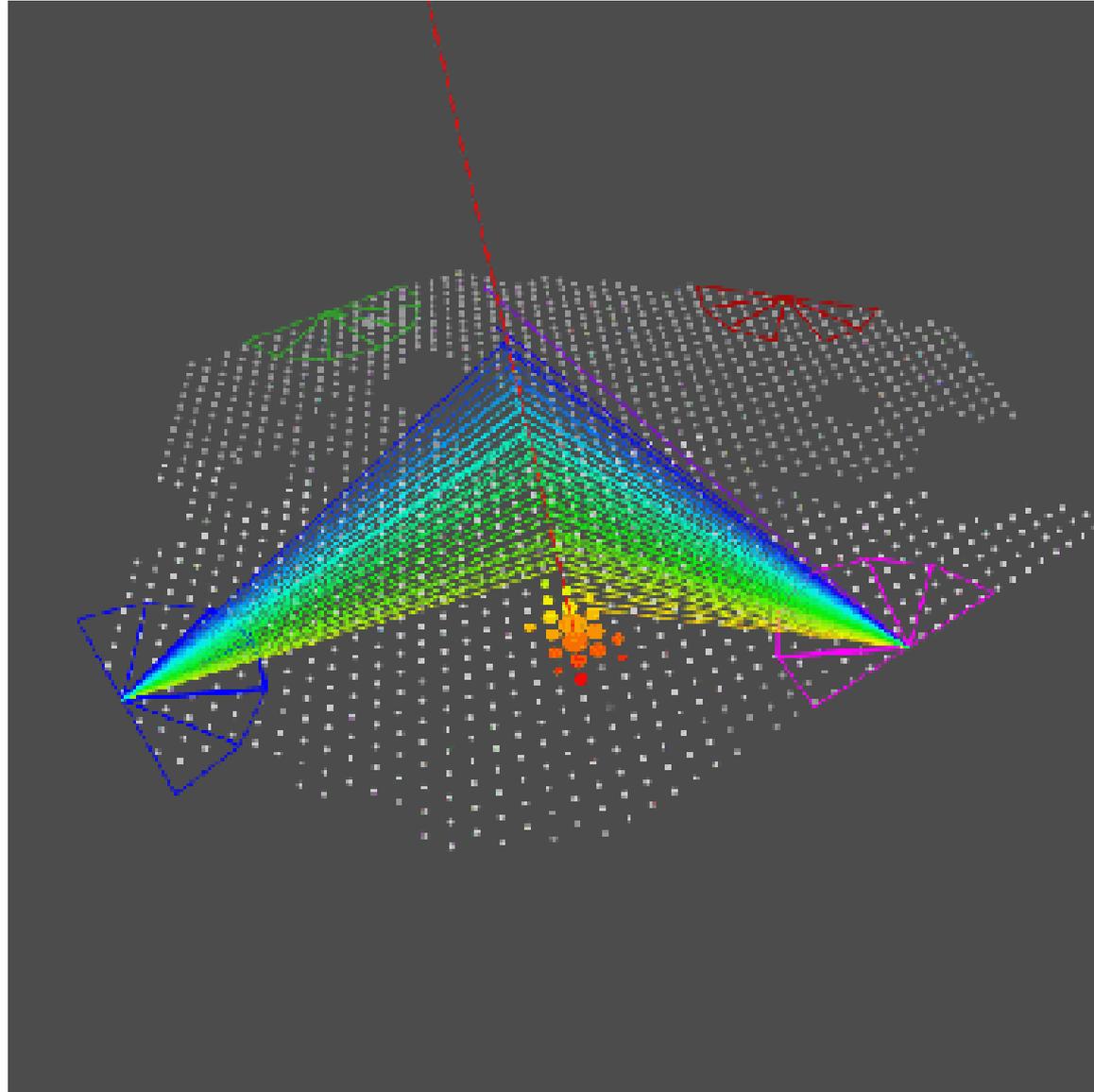
Ereignisse

$\theta \sim 48^\circ$, ~ 70 EeV

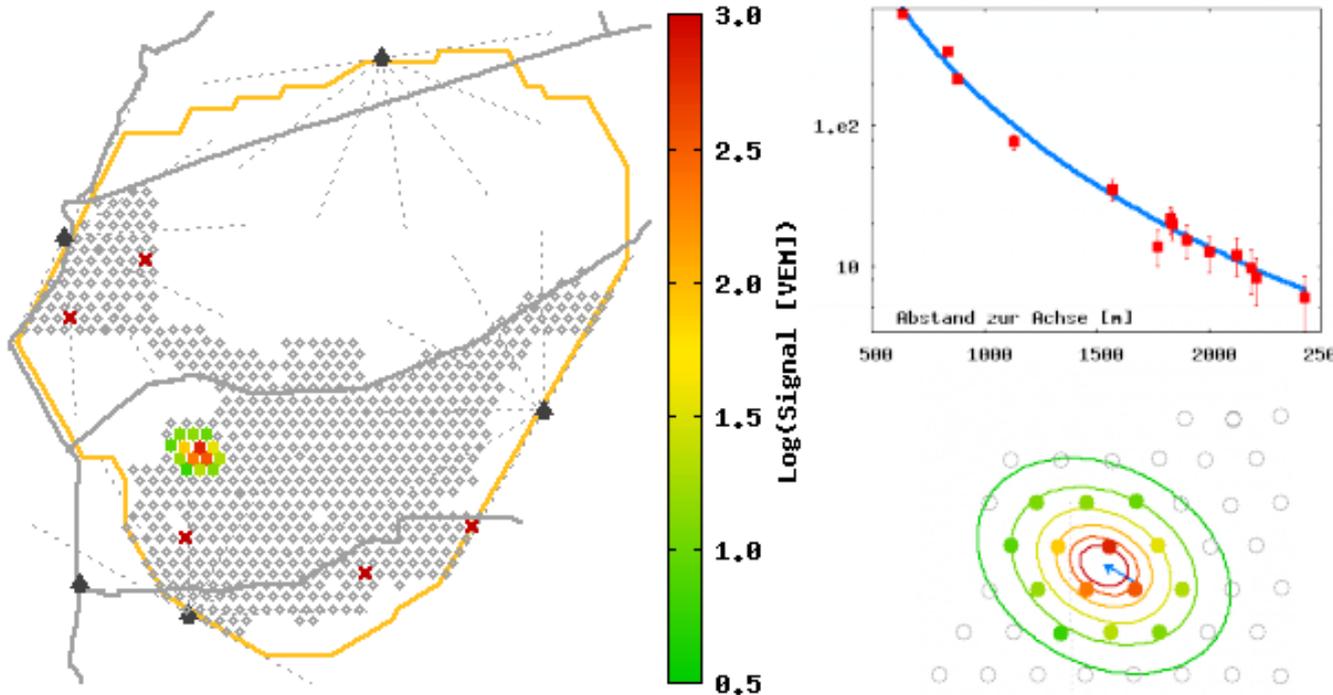
18 detectors triggered



Ereignis 1234800

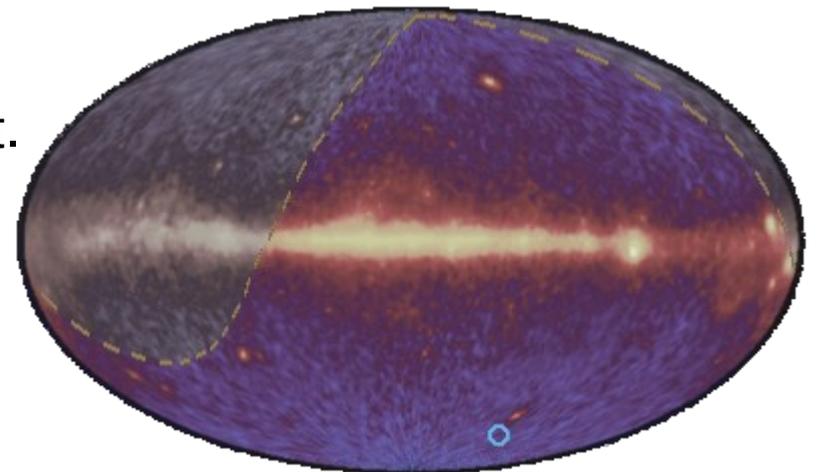


Ereignis 1234800

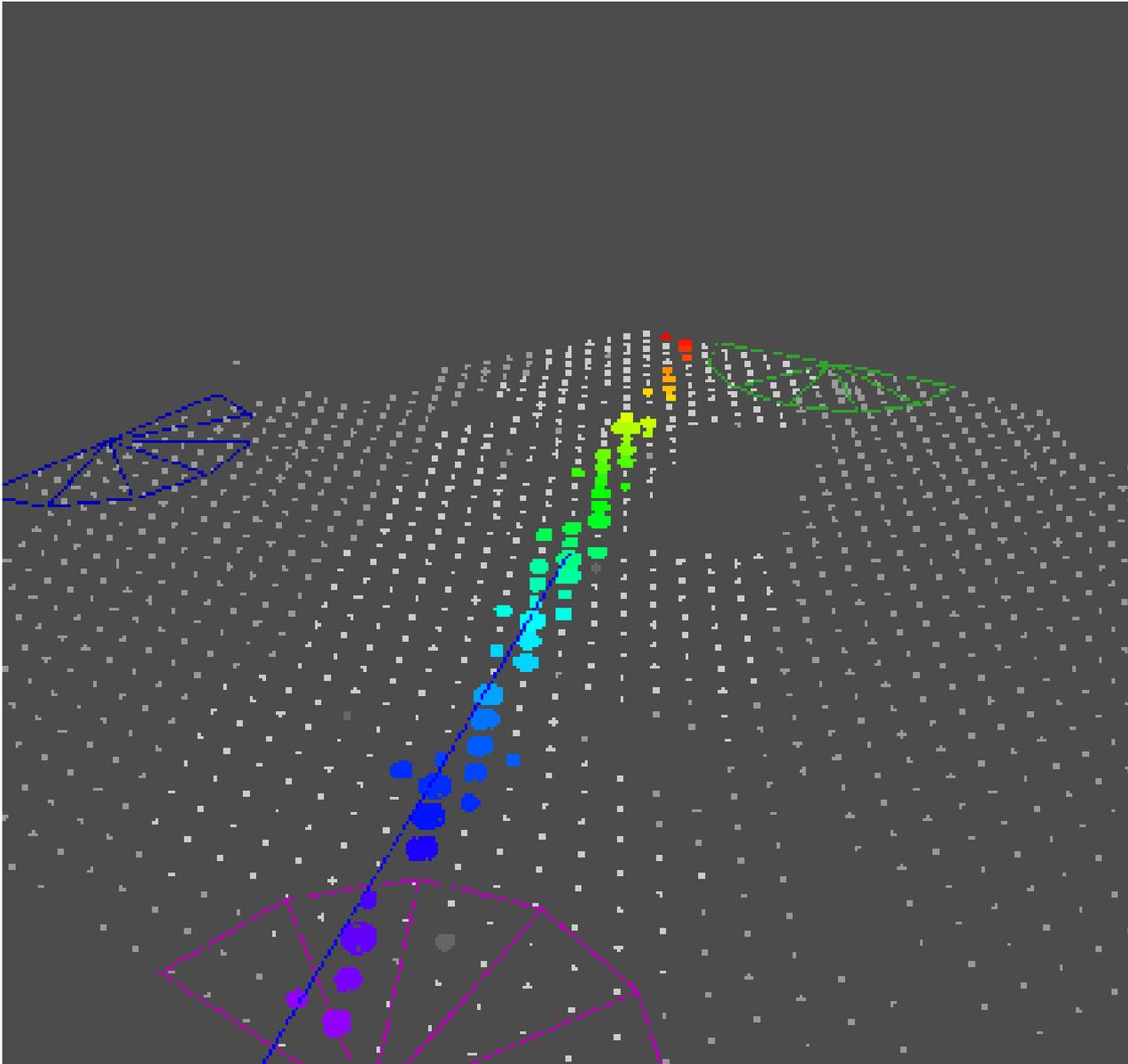


Anzahl Stationen = 14
 $E = 37 \text{ EeV}$
Theta = 43 Grad

Das Ereignis ist mit einem **blauen Kreis** markiert.
Die gestrichelte Linie kennzeichnet den für das südliche Pierre Auger Observatorium sichtbare Himmel.



Horizontale Schauer

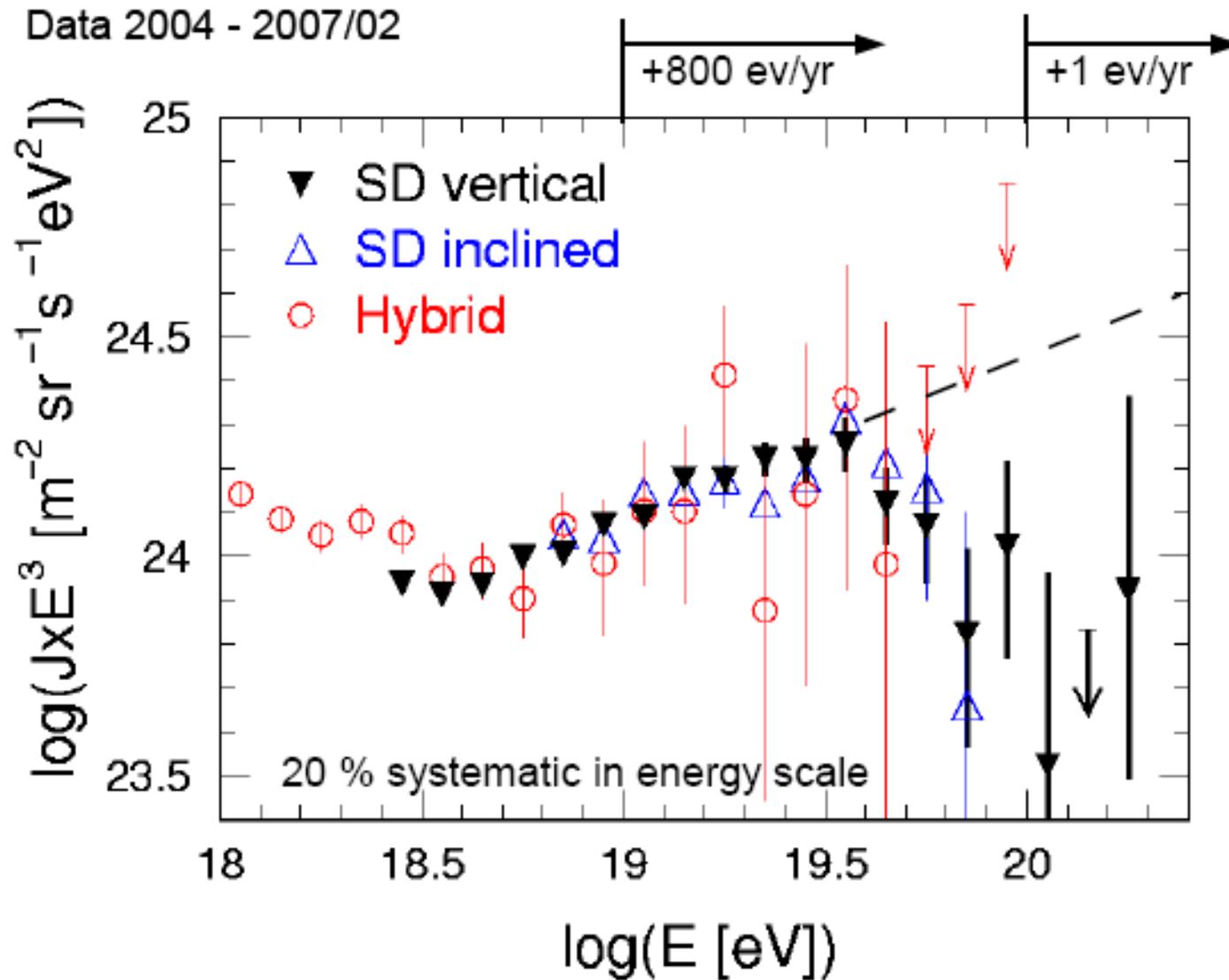


August 2007

50 Detektoren

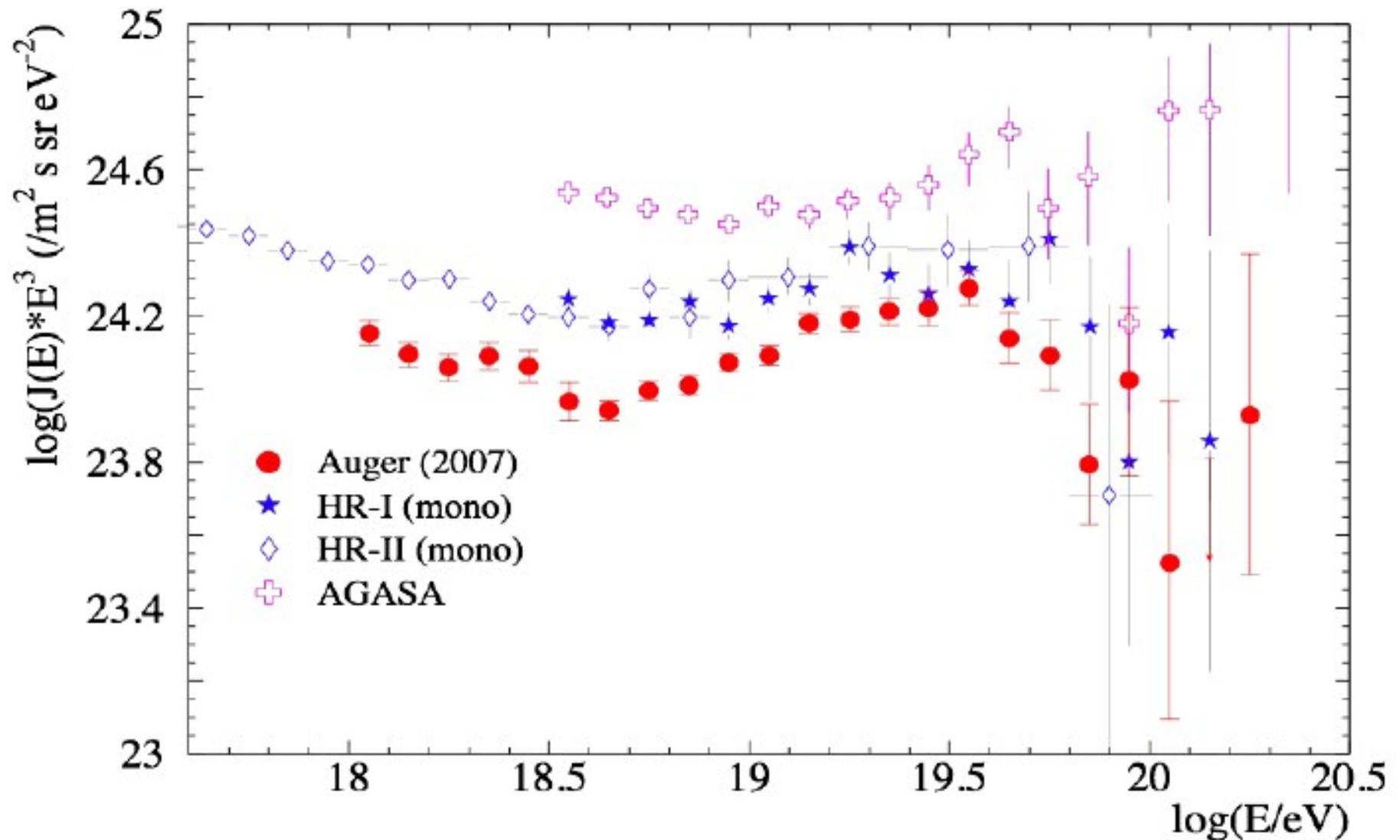
Länge mehr als 60 km

Ergebnisse: Energiespektrum



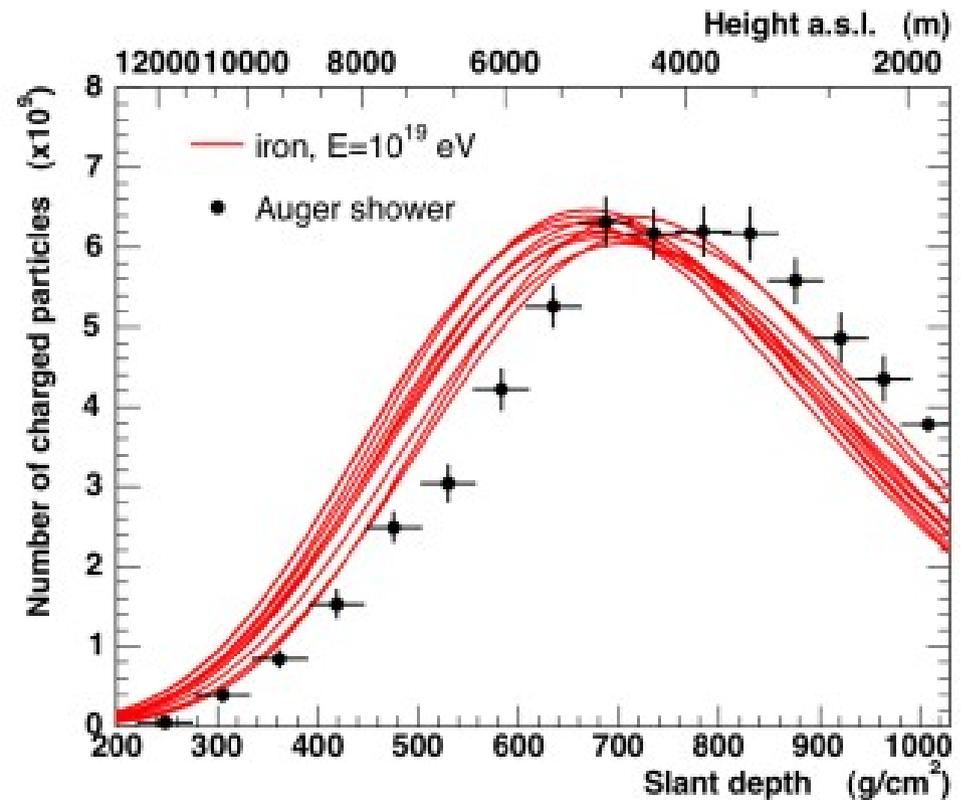
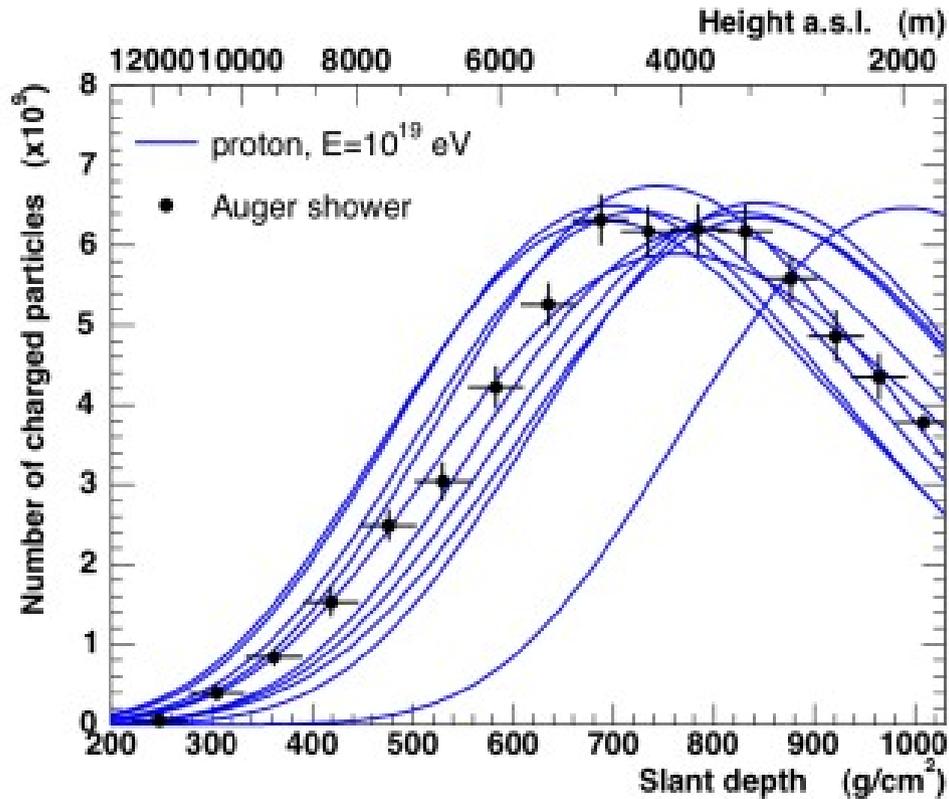
Eine Unterdrückung des Flusses Kosmischer Teilchen mit Energien $> 10^{19}$ eV nachgewiesen.

Ergebnisse: Energiespektrum

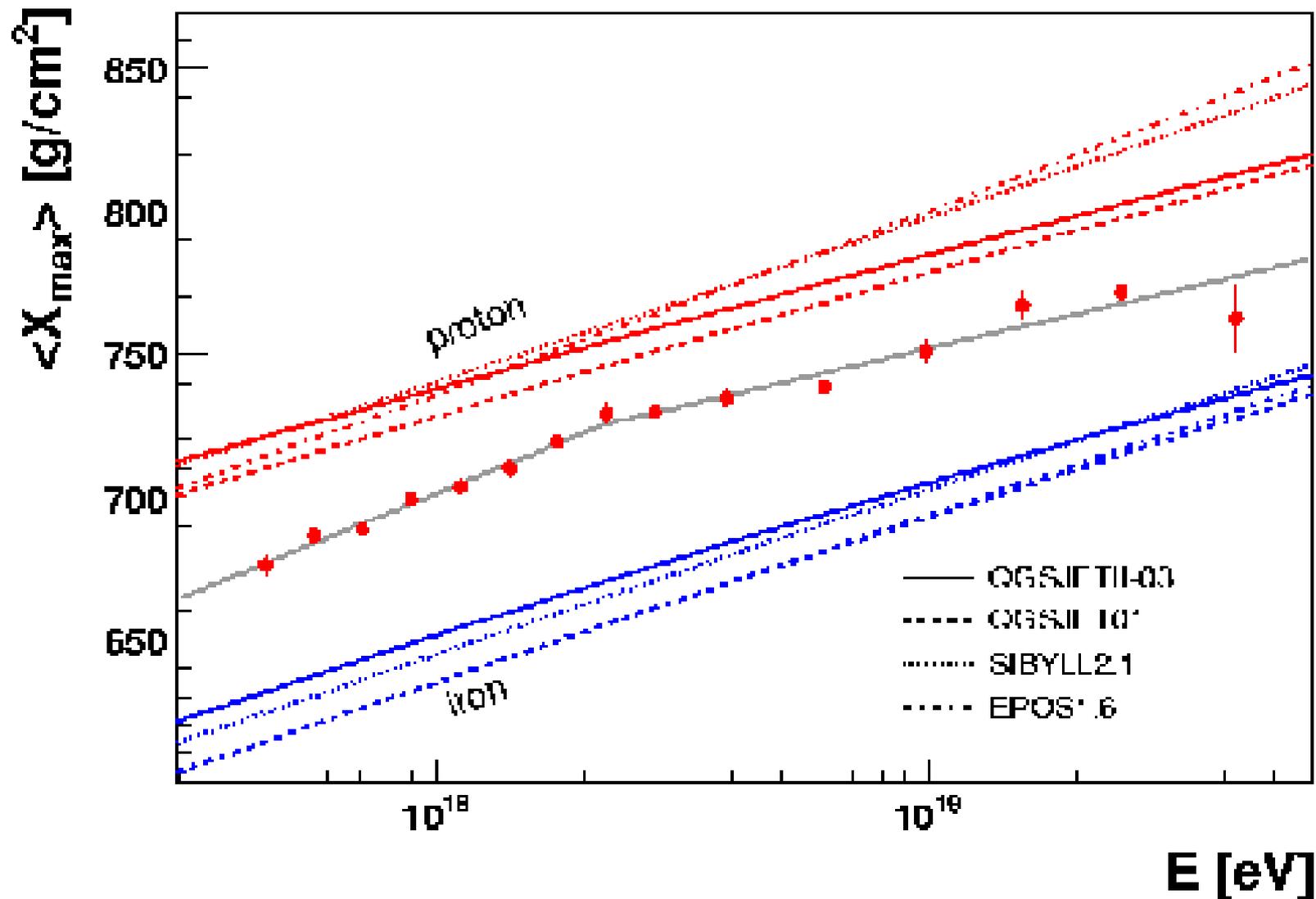


Widersprüchlichen Ergebnisse älterer Experimente geklärt.

Elementzusammensetzung



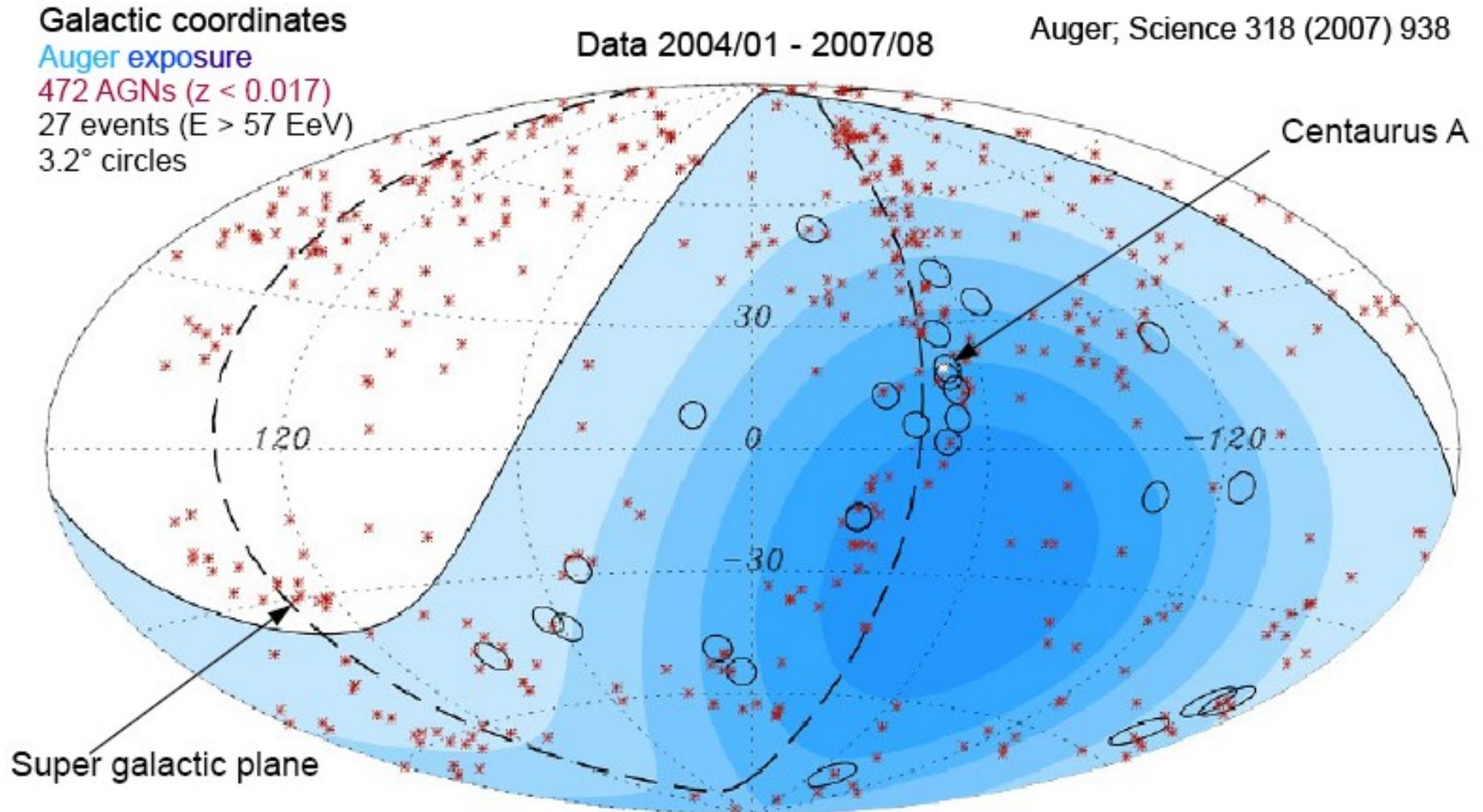
Elementzusammensetzung



Die höchstenergetischen Teilchensind eine Mischung aus leichten Atomkernen mit einer mittleren Masse im Massenbereich zwieschen **Helium** und **Silizium**.

Anisotropie

Aktive Galaxiekern: die wahrscheinlichsten Quellen der höchstenergetischen kosmischen Strahlung



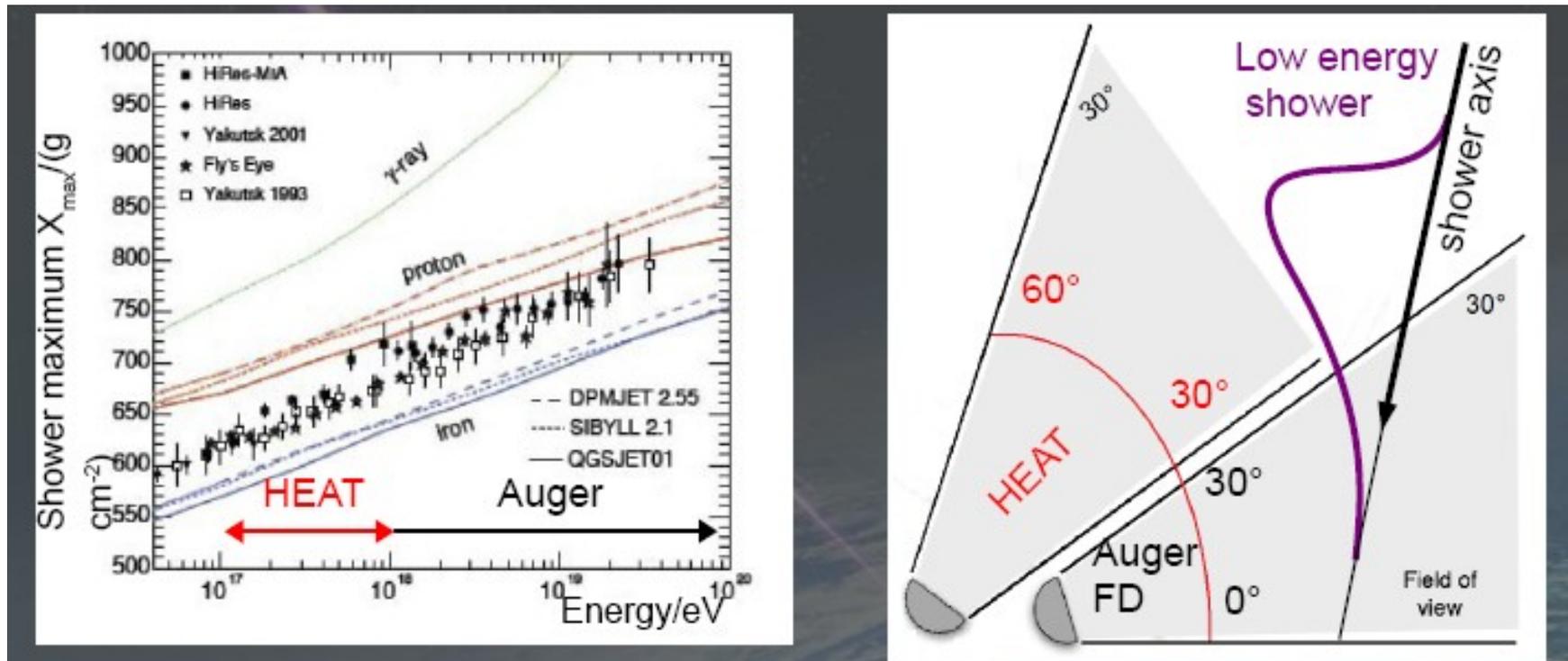
20 out of 27 events correlate, 5.6 expected
Chance probability $P < 10^{-5}$ (incl. penalty from 2nd scan)



9 November 2007

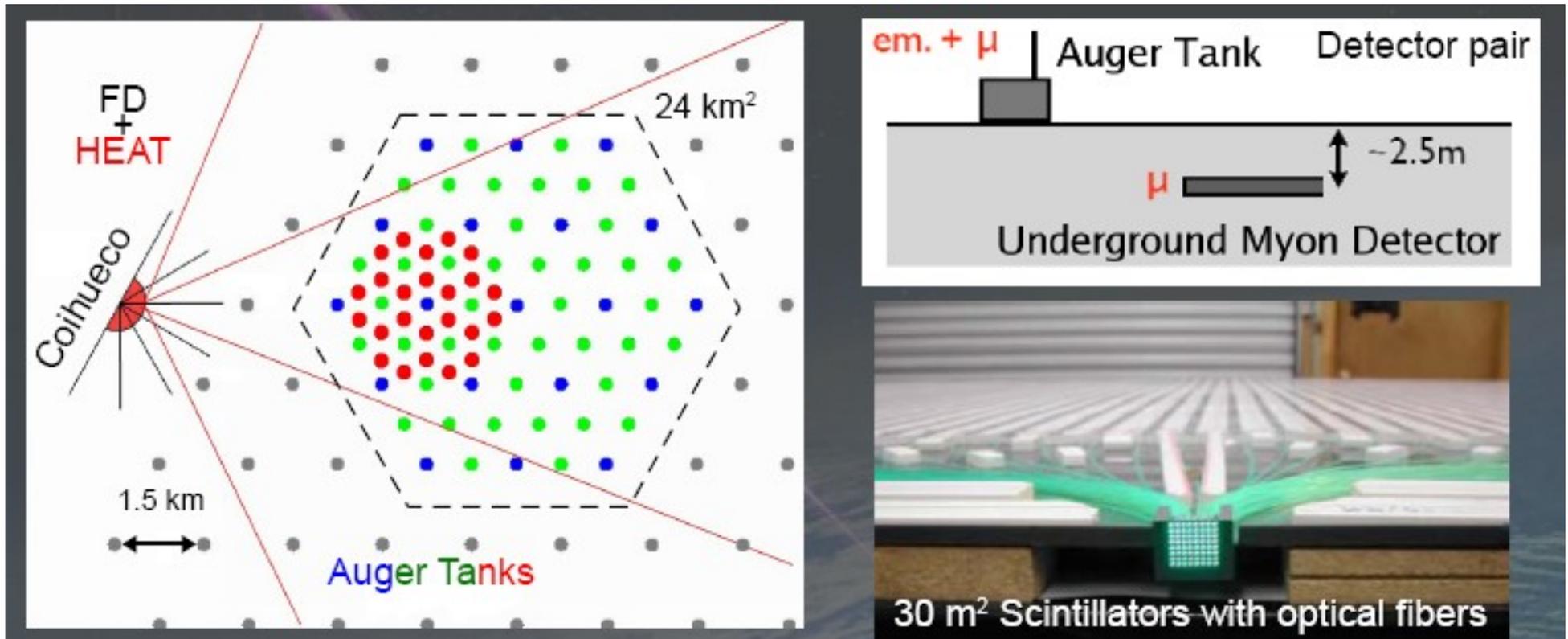
Zukunft

Auger Süd und niedrige Energien: **HEAT**



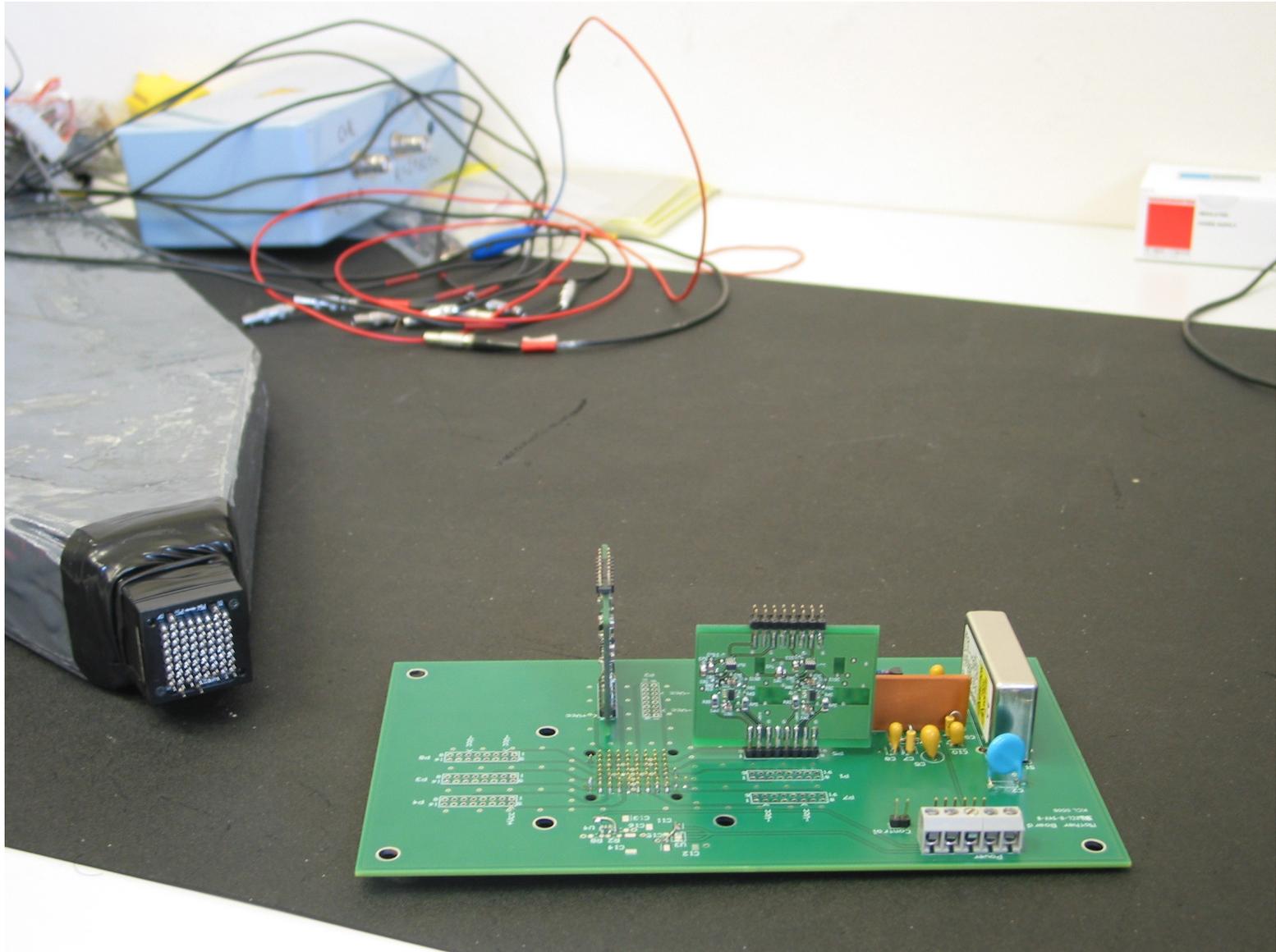
- **HEAT** High Elevation Auger Telescopes:
 - 3 Zusätzliche Fluoreszenzteleskope mit höheren Gesichtsfeld
 - In Zusammenarbeit mit COIHUECO und Wassertank-Detektoren
 - Energie Spektrum + Elementzusammensetzung im 10^{17} eV – 10^{18} eV
 - Vollständige Fertigstellung ist für Ende 2009 vorgesehen

Auger Süd und niedrige Energien: **AMIGA**

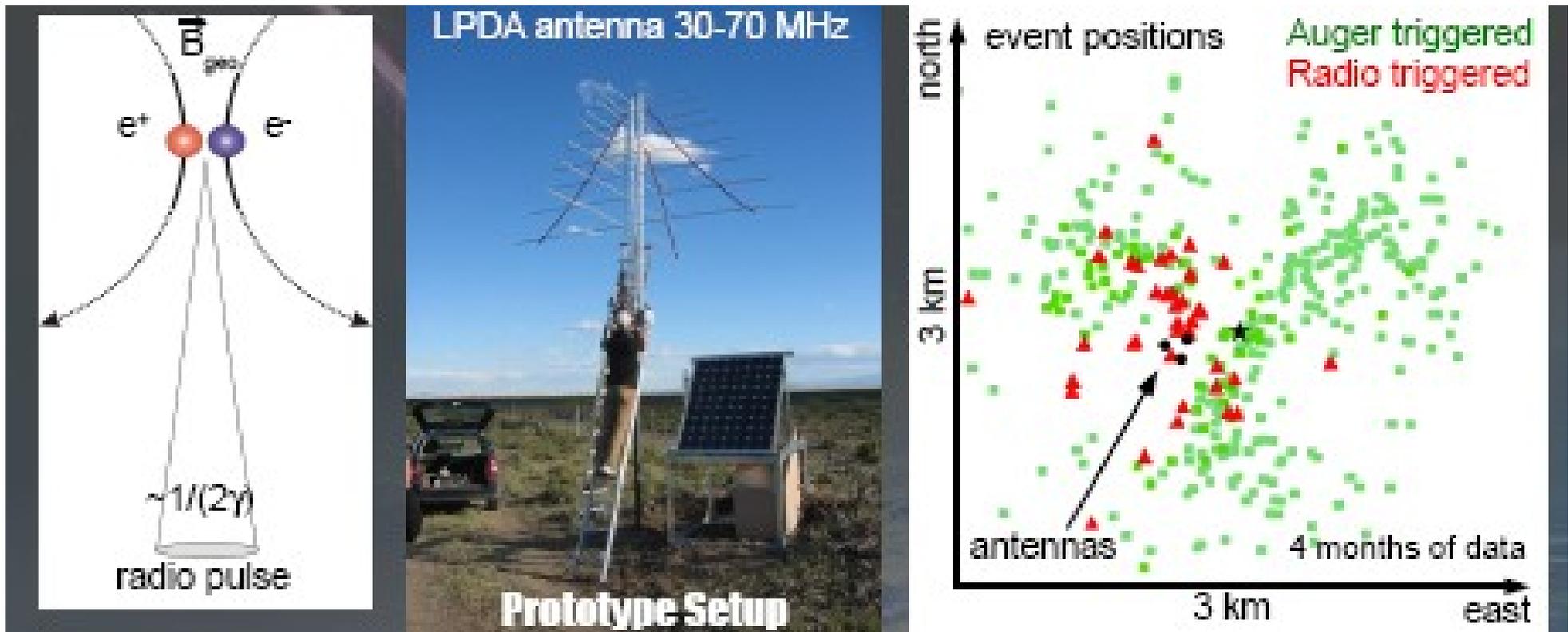


- **AMIGA:** Auger Muons and Infill for the Ground Array
 - Zusätzliche Auger Wassertanks auf 750 m und 433 m
 - ca. 25 m² Fläche
 - 85 großflächige Szintillationszähler ca. 3 m unter der Erde
 - Separate Nachweiss der Myonen im 10¹⁷ eV – 10¹⁸ eV

AMIGA Electronics in Siegen



Nachweis von Luftschauern mittels Radioantennen



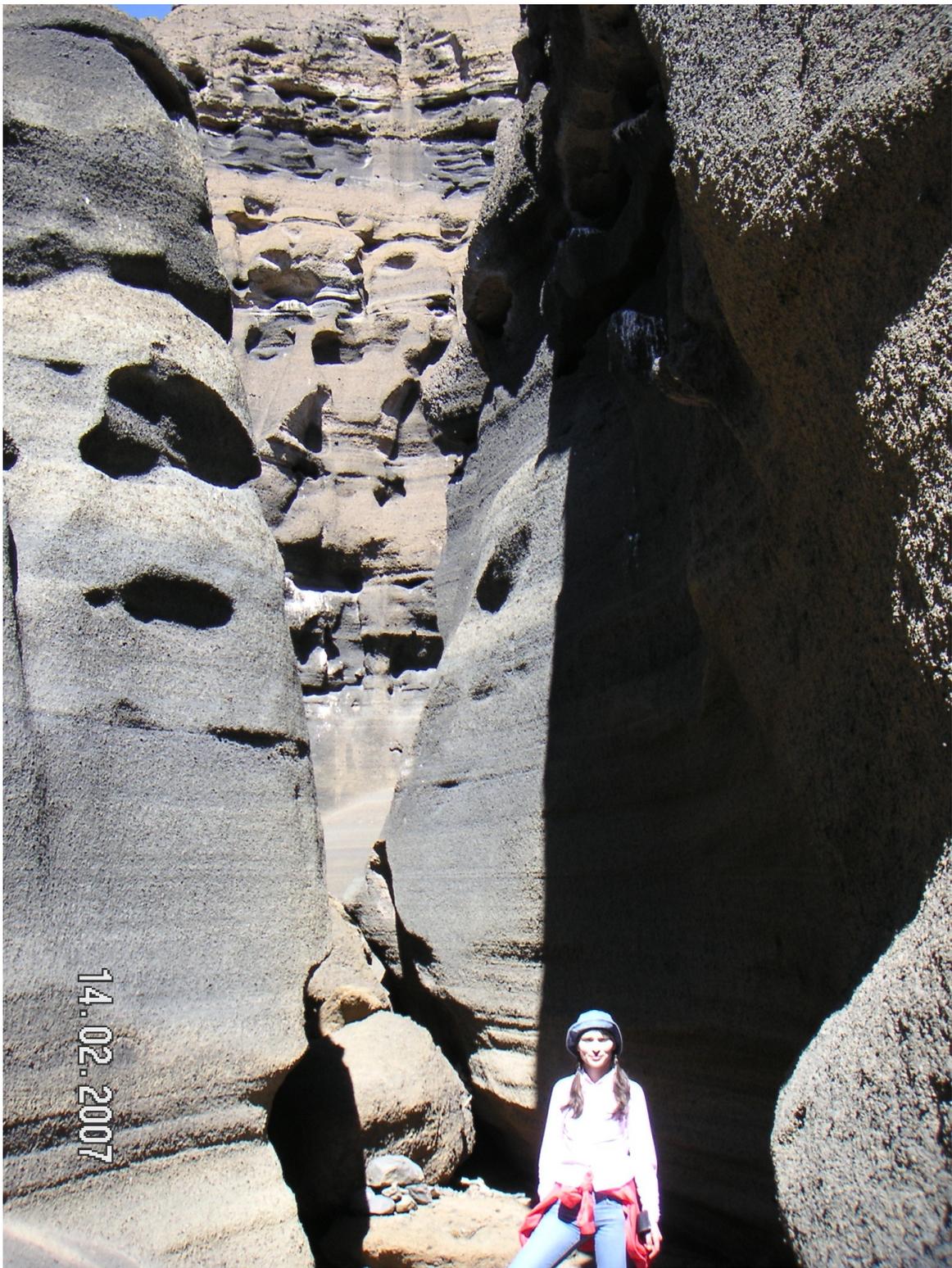
- Emission der Synchrotronstrahlung gemessen
- 20 km² Testfeld von Radioantennen integriert in das Infill-Array
- Beginn der Abbau im Frühjahr 2008

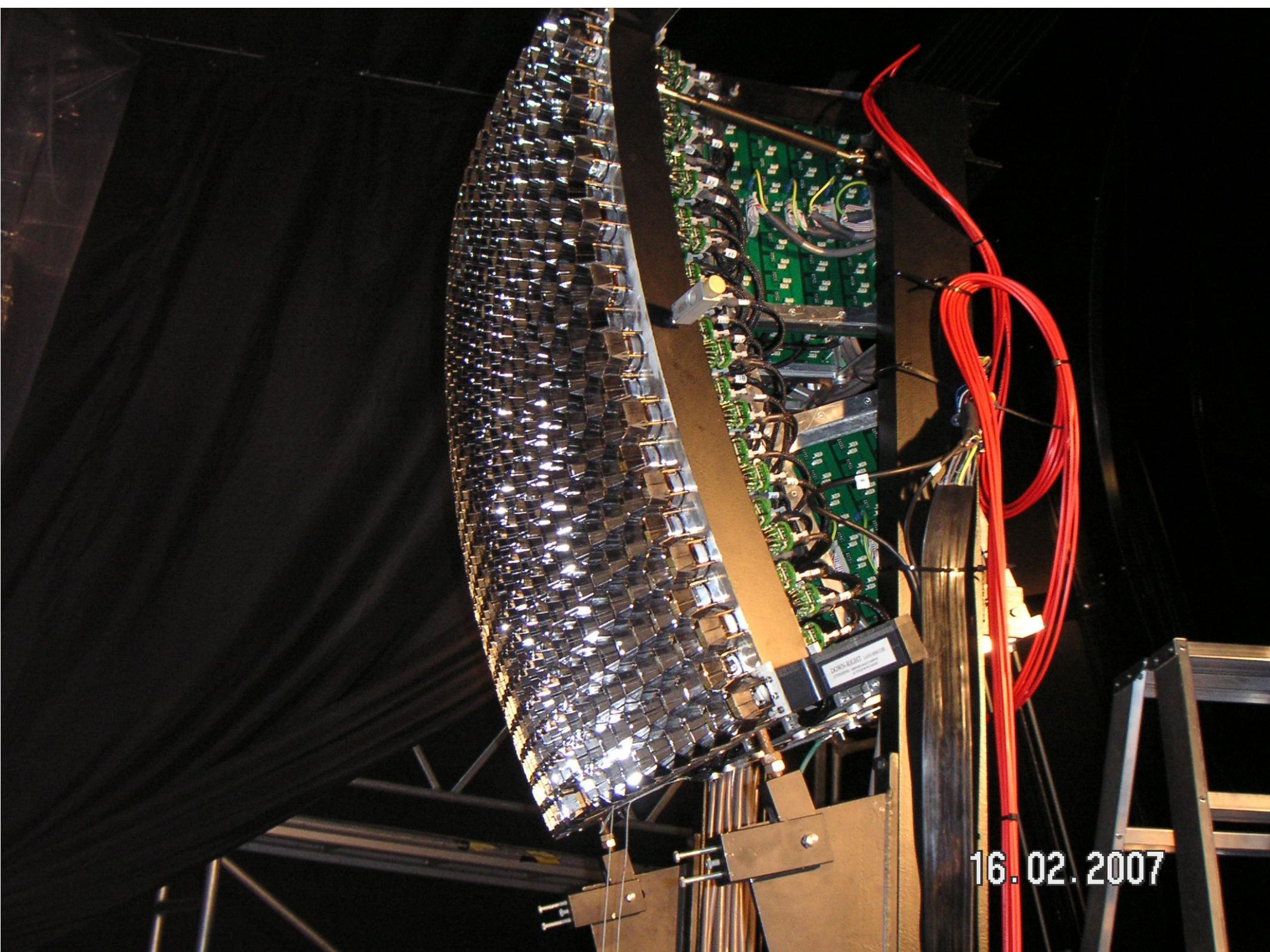


11.02.2007



11.02.2007





16.02.2007



18.02.2007



16.02.2007



18.02.2007