



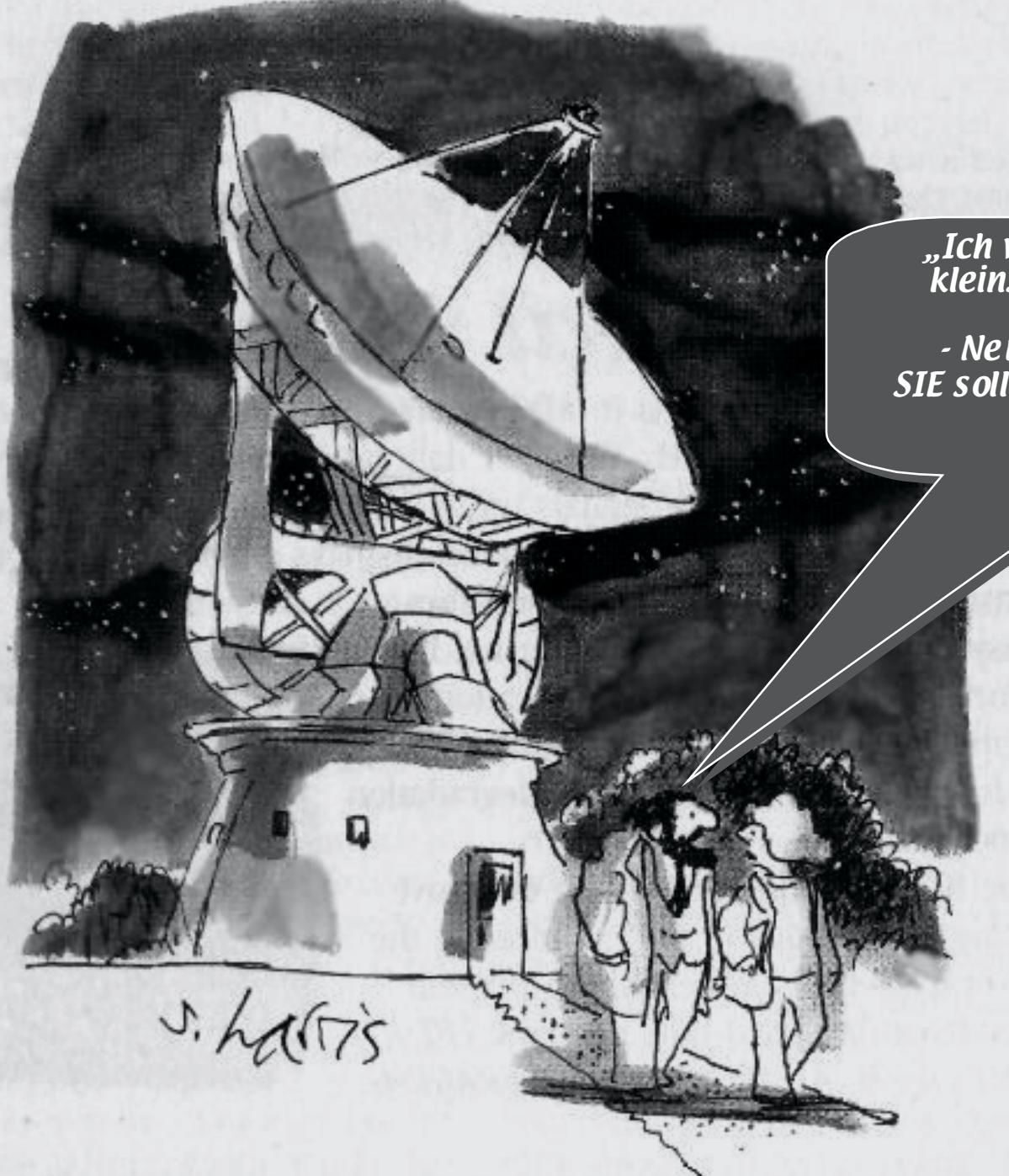
Forschungszentrum  
Karlsruhe  
Technik und Umwelt



Universität Karlsruhe  
(TH)

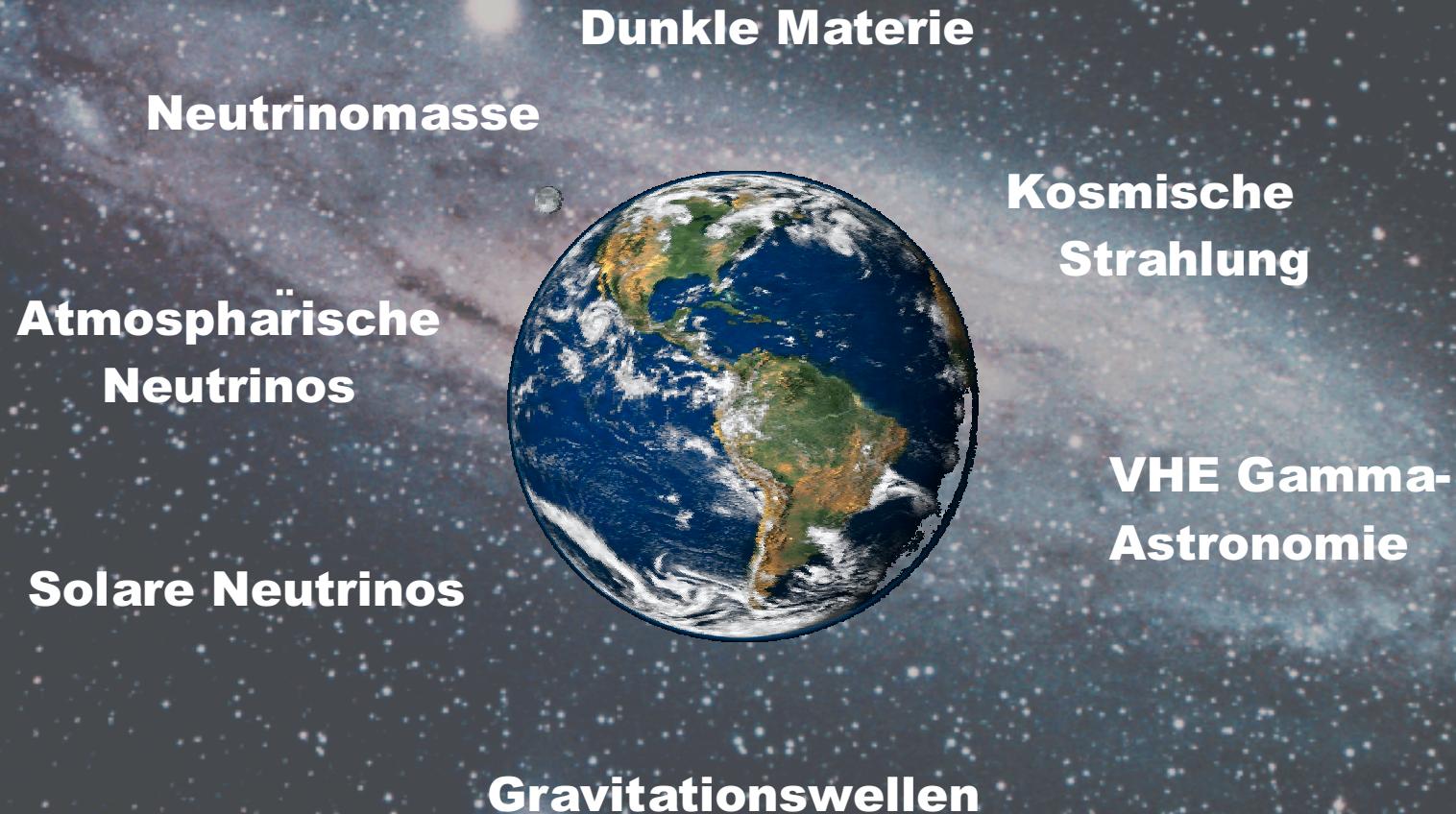
# Kosmische Strahlung bei den höchsten Energien

H. Blümner, Universität und Forschungszentrum Karlsruhe



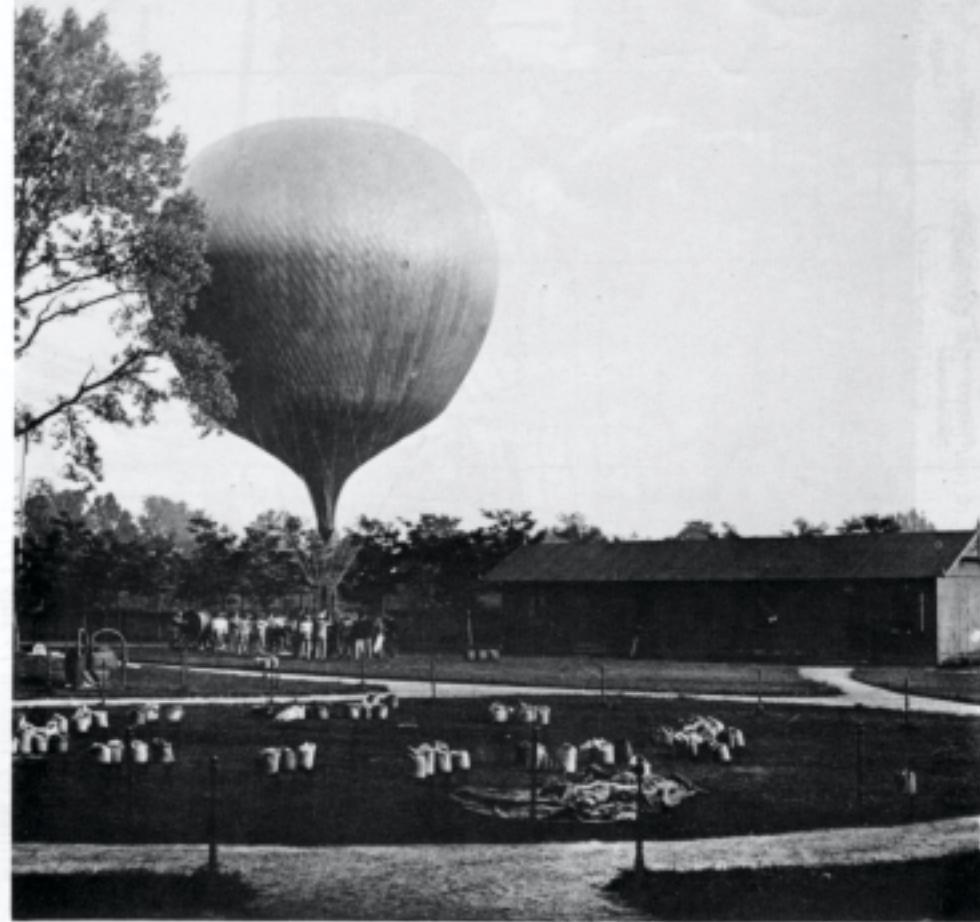
*„Ich werde an den größten und  
kleinsten Dingen im Universum  
arbeiten  
- Neutrinos und Supercluster!  
SIE sollen sich um alles dazwischen  
kümmern...“*

# Astroteilchenphysik



# Themen

- 90 Jahre kosmische Strahlung: bereits in Astroteilchenphysik eingeordnet
- Was wir wissen
  - Direkte Messungen ausserhalb der Atmosphäre
  - Indirekte Messungen am Erdboden: ausgedehnte Luftschauder
- 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?
    - Wo kommen sie her?
- Antworten?
  - Das Pierre Auger-Observatorium in Argentinien
  - (andere Projekte)

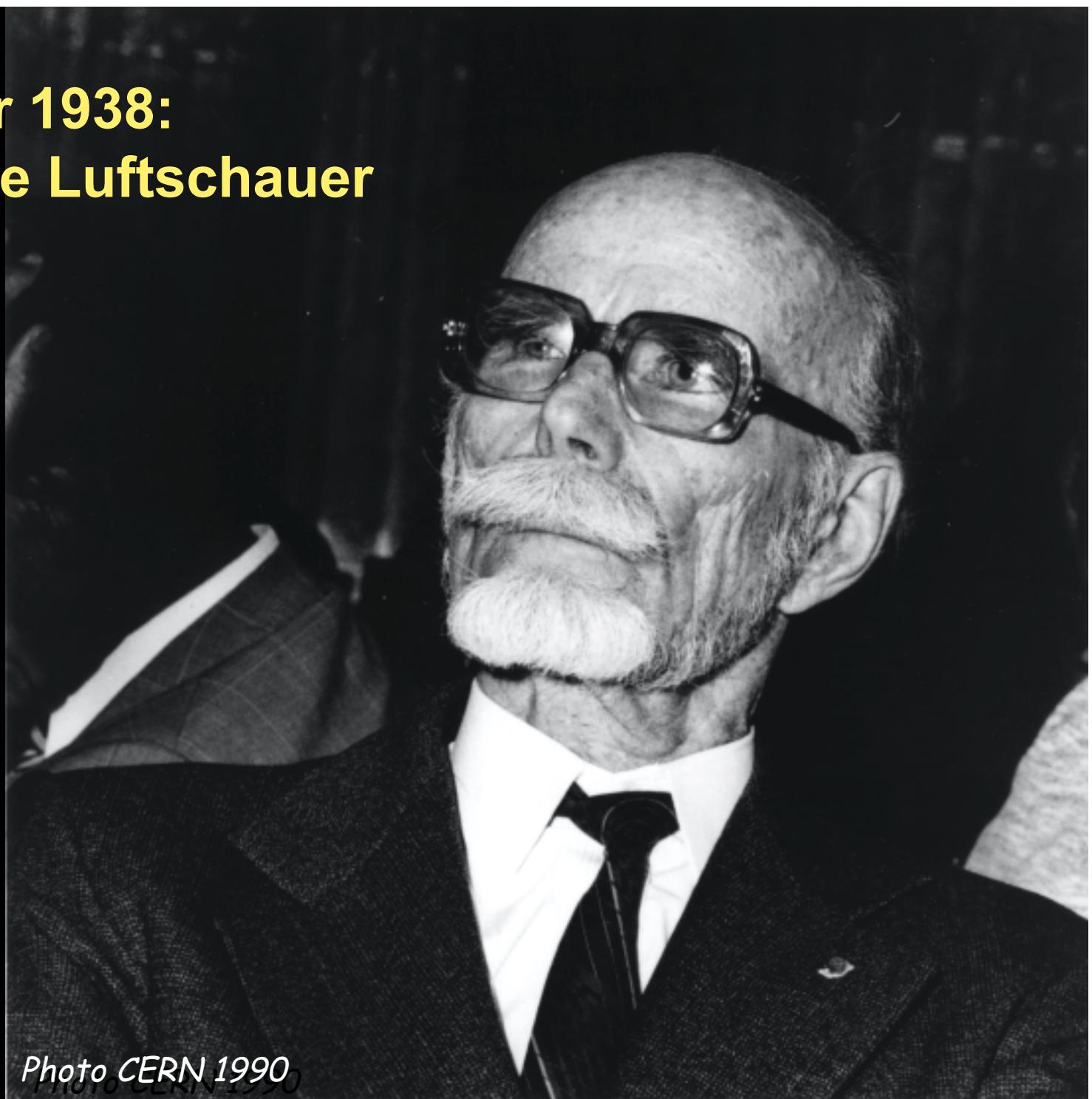


## Victor Hess 1912

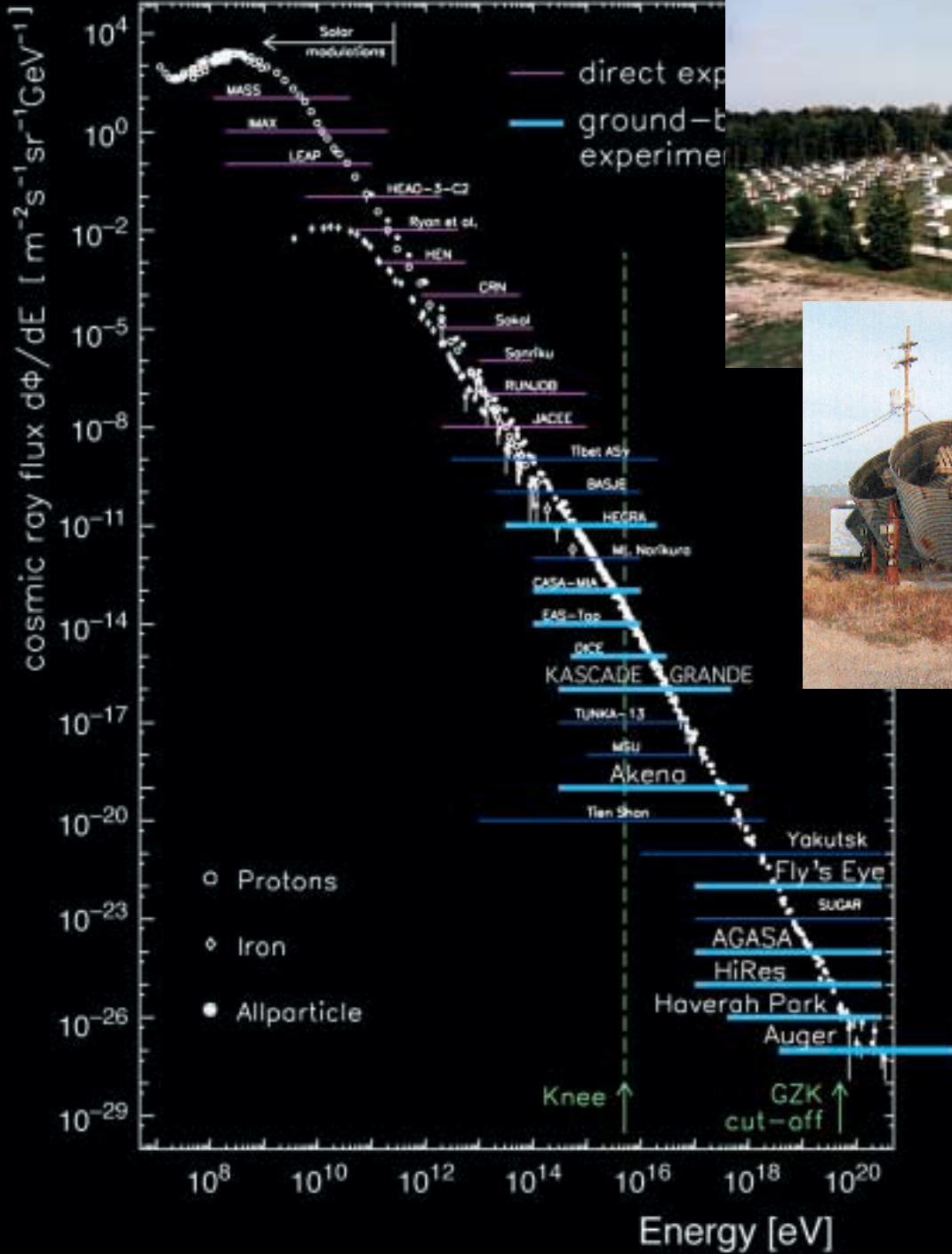
Aeronautisches Gelände im Wiener Prater, von dem aus V. F. Hess in den Jahren 1911/12 seine ersten Freiballon-Forschungsfahrten unternommen hatte. (Courtesy of Heeresgeschichtliche Museum, Vienna)

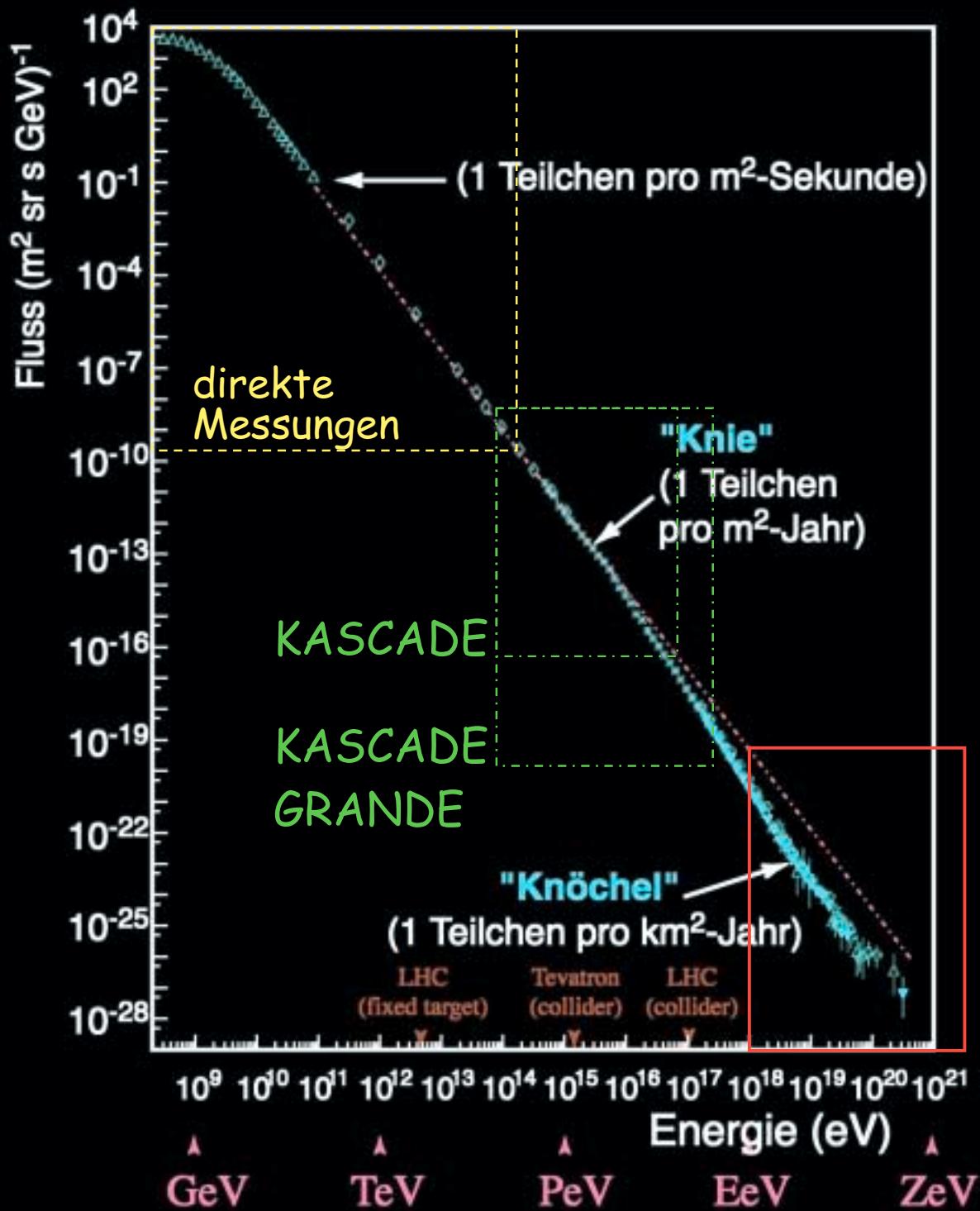
<Ed> Contributed by R. Steinmauerer. See p. 17.

# Pierre Auger 1938: Ausgedehnte Luftschauer



*Photo CERN 1990*





„Hohe Energien sind viel seltener als niedrige“

$$I(E) \propto E^{-3}$$

$$I(E > E_0) \propto E_0^{-2}$$

„die  
..  
hochsten  
Energien“

# Wissen und Vermutungen...

Solarer Einfluss bis 10 GeV

Direkte Messungen bis  
 $10^{14}$  eV

Darüber: große Boden-Anlagen

Teilchenart, Energiequelle?

Knie: spektr. Index 2.7 -> 3.1

Supernova-Schockwellen-Beschl.?

$$E_{\max} \propto Z B L$$

KASCADE sieht das !!!

Energiebetrachtungen...

Ausbreitung?

$$\text{Lamorradius: } R_L = E/(ZeB)$$

$$R \approx 900 \text{ pc } E_{18}/(ZB_{\mu G})$$

Galaktische - Extragalaktische KS

GZK-Effekt

Energiequelle für  $10^{20}$  eV?

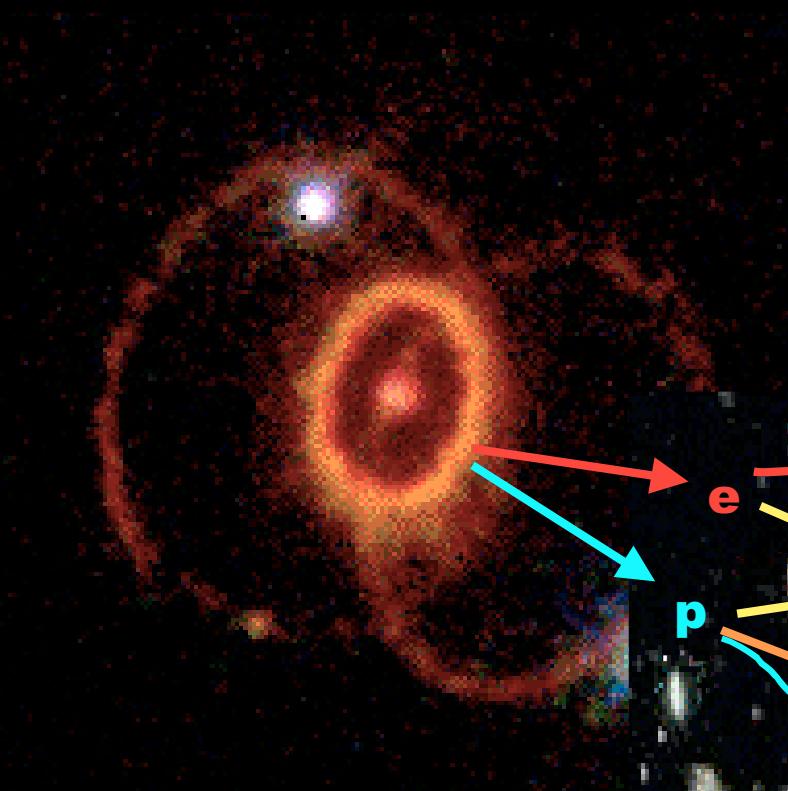
SN unzureichend

Hillas-Diagramm

Keine geeigneten nahen Quellen

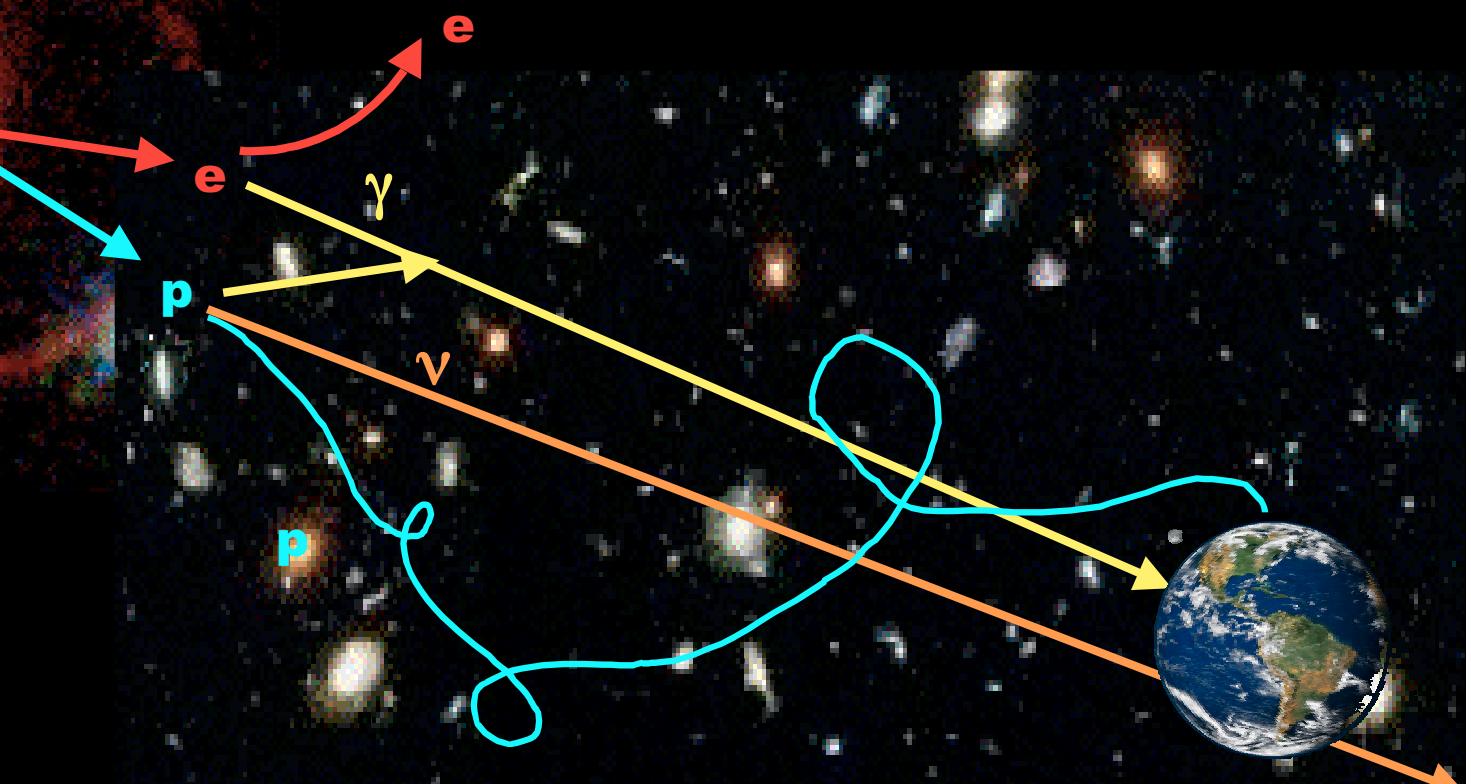
Top-Down-Szenarien

# Kosmische Beschleuniger im “Kniebereich”



**Supernova-  
Schockwellen**

Teilchenart  
Energiespektrum  
Anisotropien



Thanks to W Hofmann

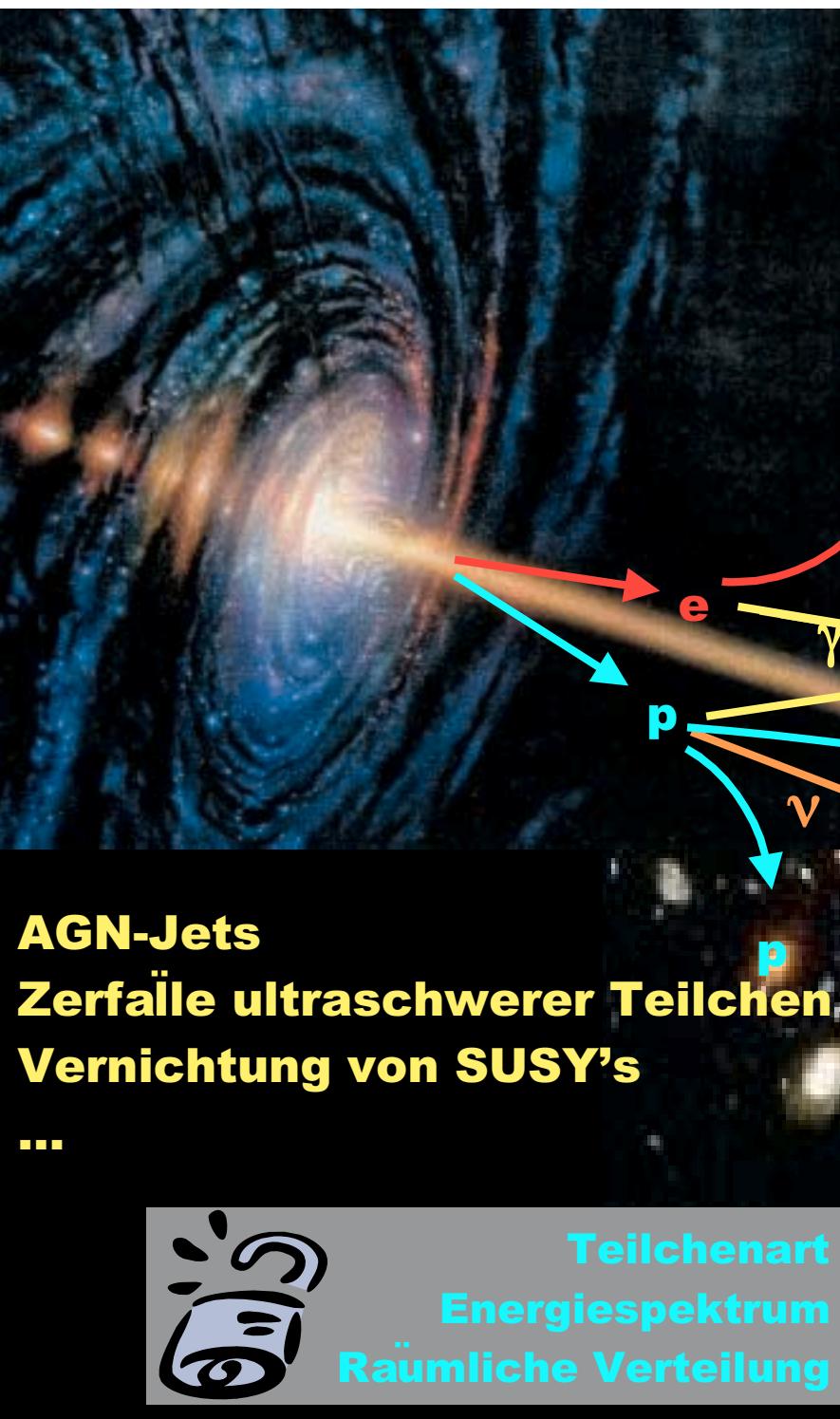
# Kosmische Beschleuniger bei den höchsten Energien

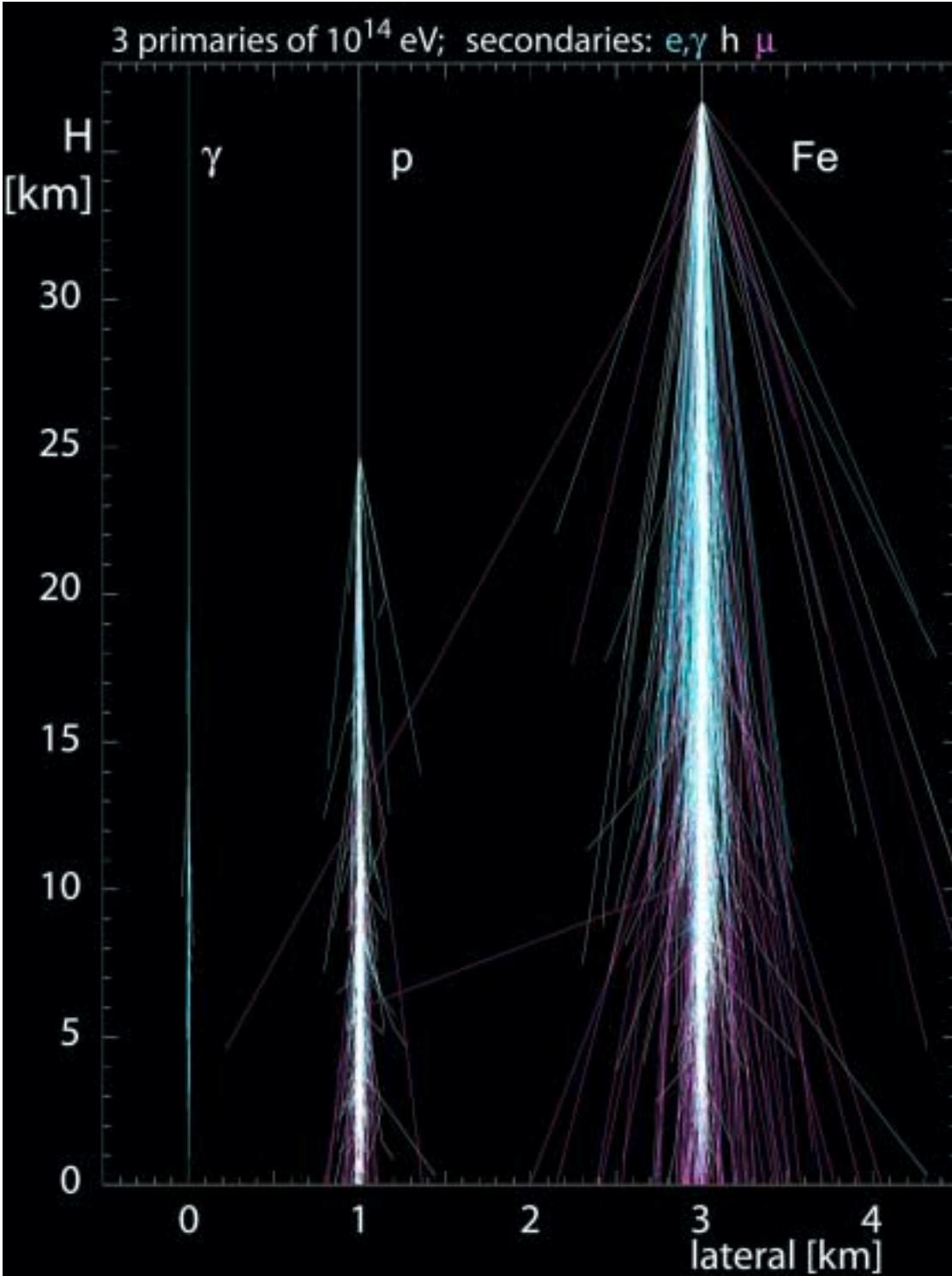


# **AGN-Jets**

# **Zerfälle ultraschwerer Teilchen**

# **Vernichtung von SUSY's**



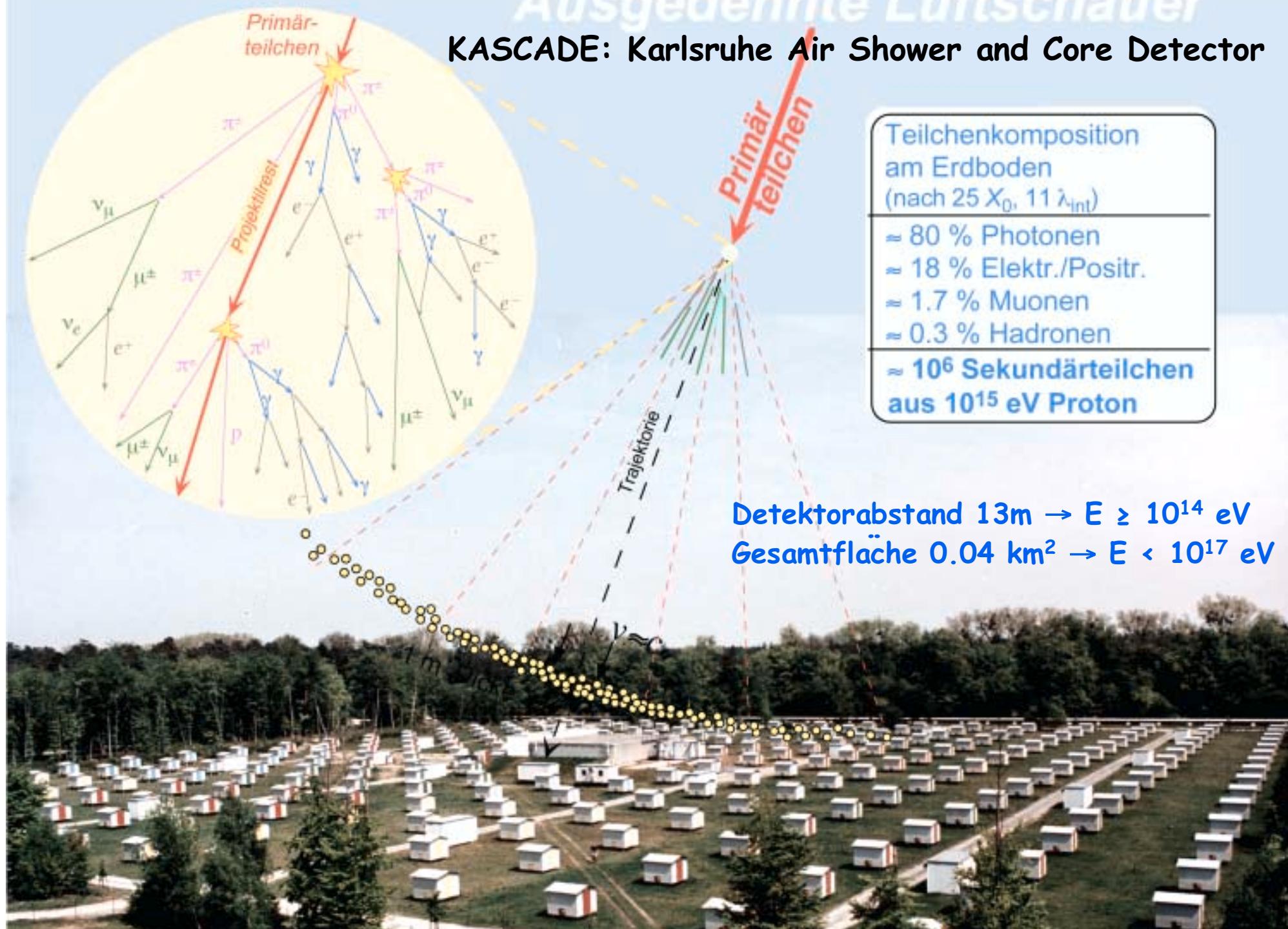


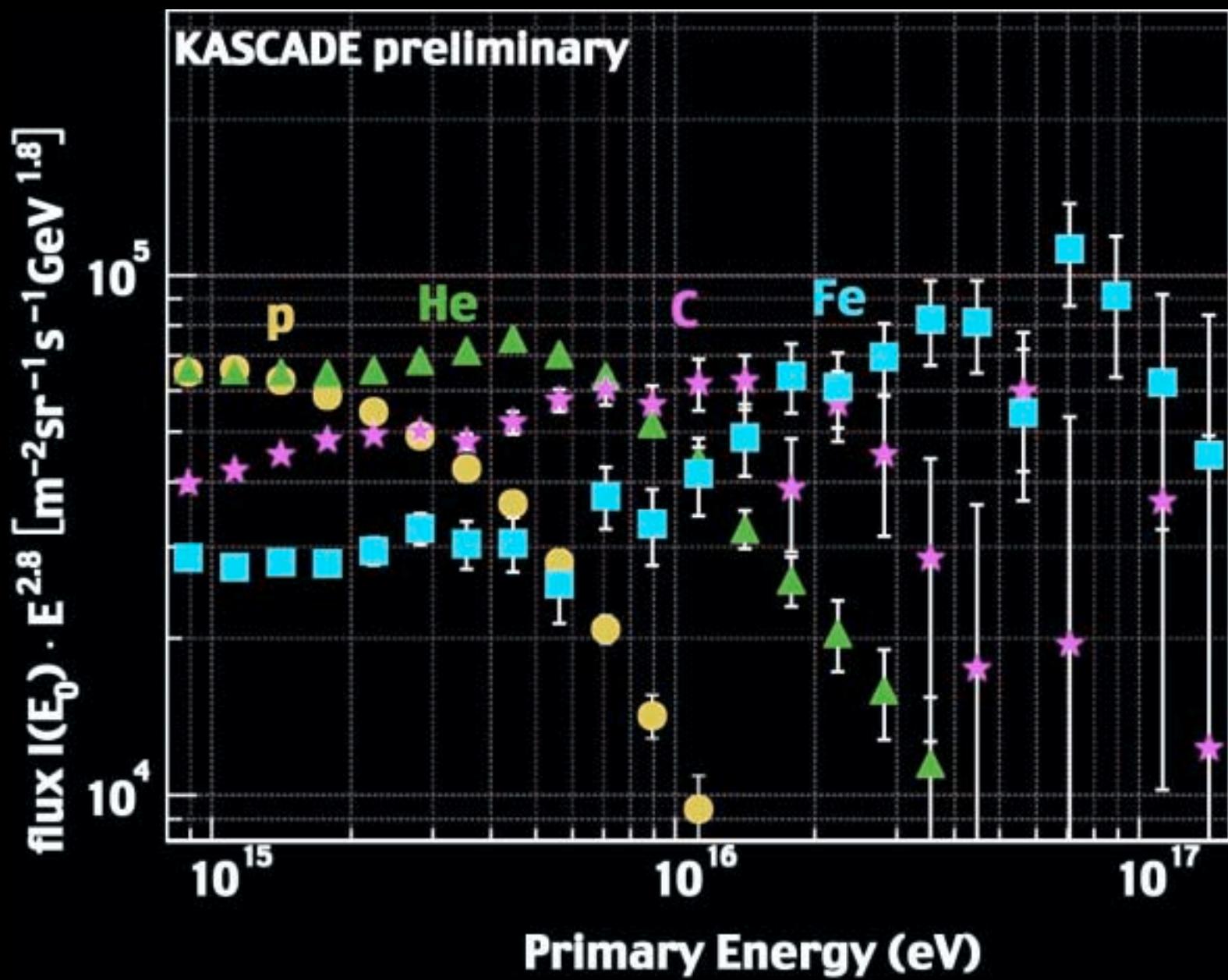
## Bemerkungen

- Informationsmangel für Detektoren am Erdboden...
- Masse des Primärteilchens:
  - Höhe der ersten Wechselwirkung
  - Lage des Schauermaximum
- $e, \gamma / \mu \Leftrightarrow A$

# Ausgedehnte Luftschauder

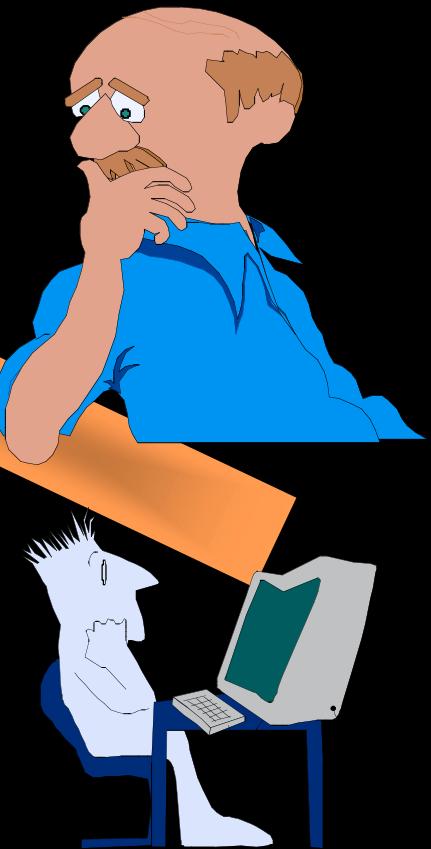
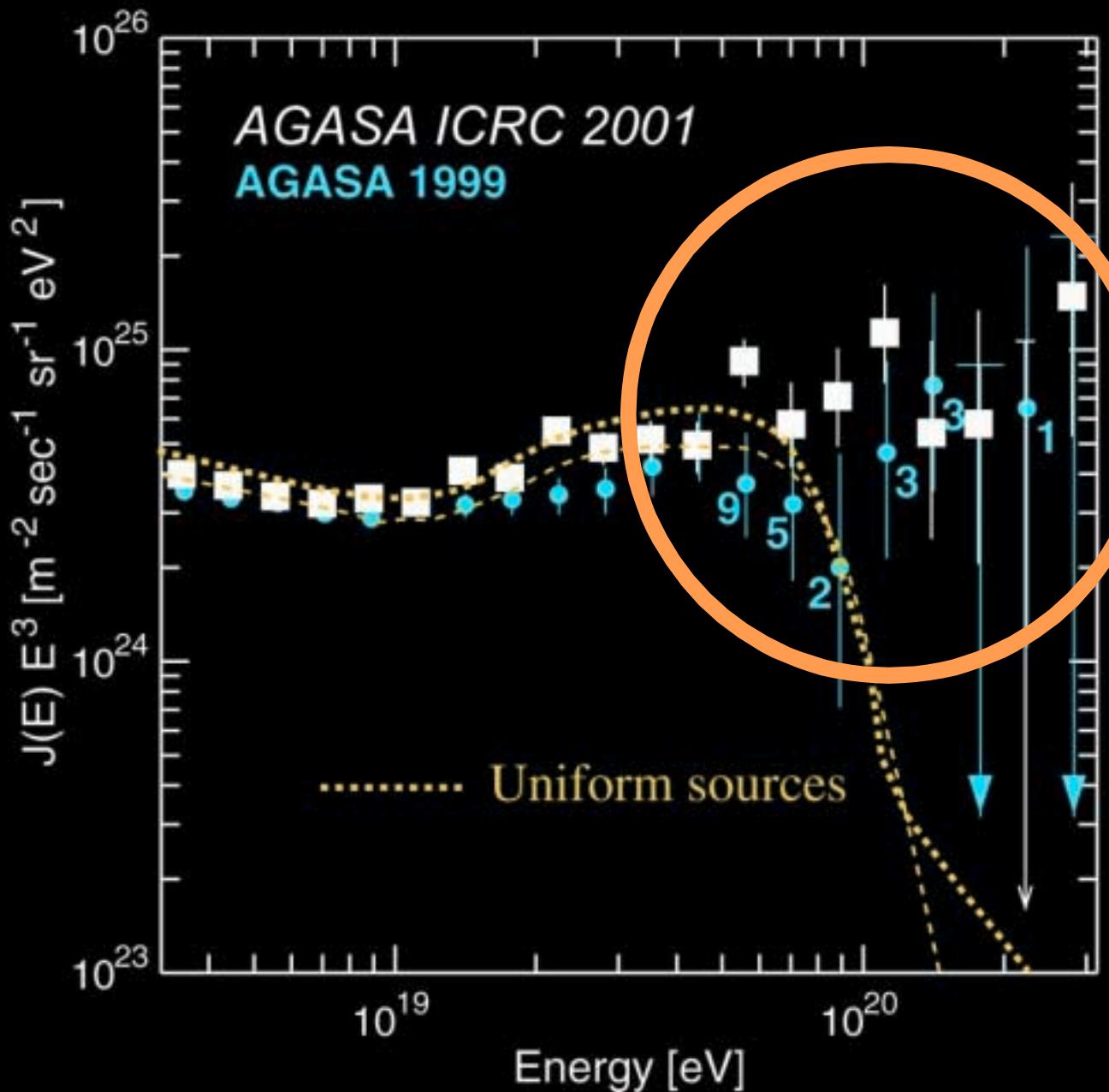
## KASCADE: Karlsruhe Air Shower and Core Detector





# Die höchsten Energien

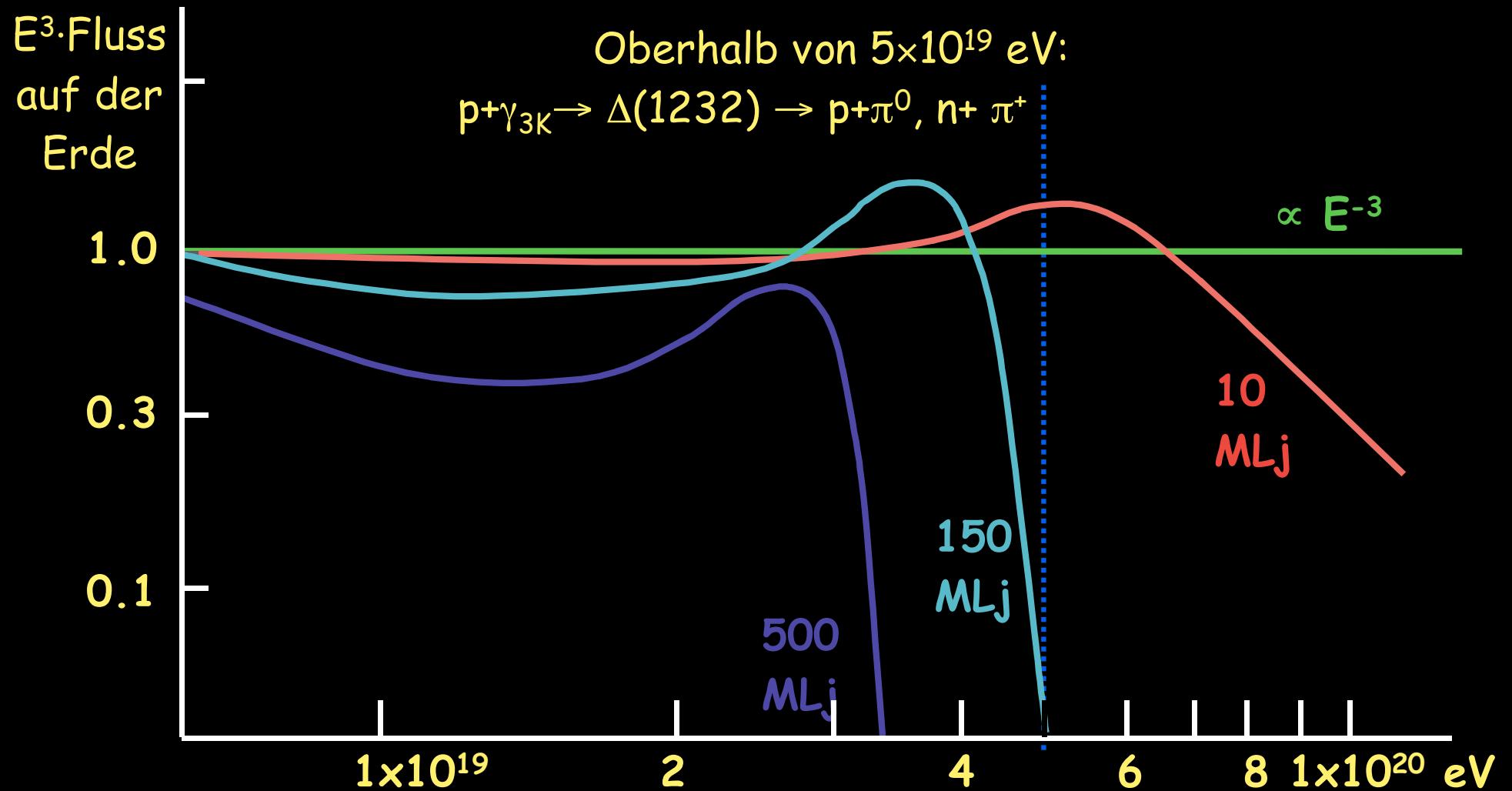
„KASCADE  $\times 100\ 000$ “

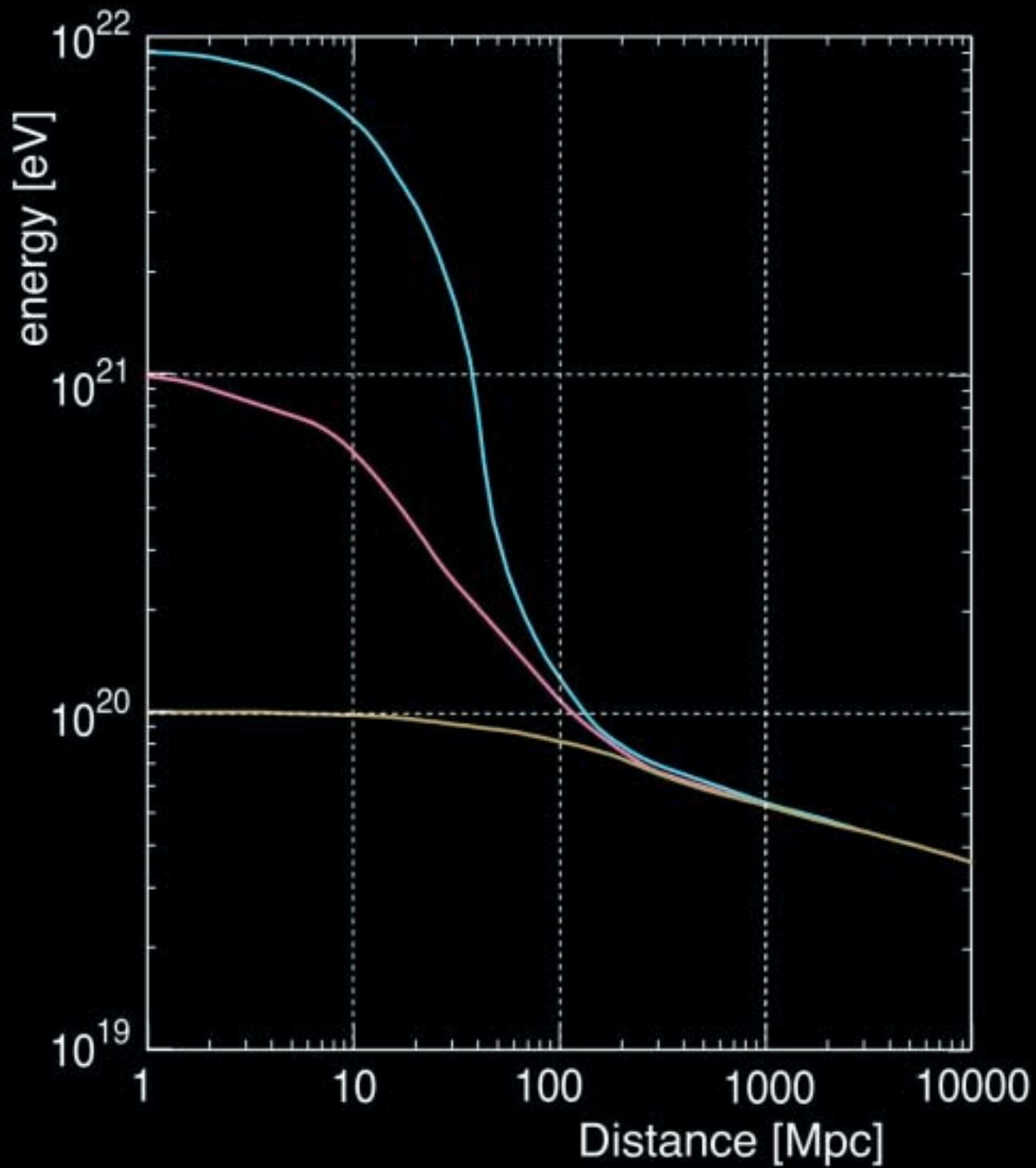


# GZK: Greisen-Zatsepin-Kuz'min-Effekt

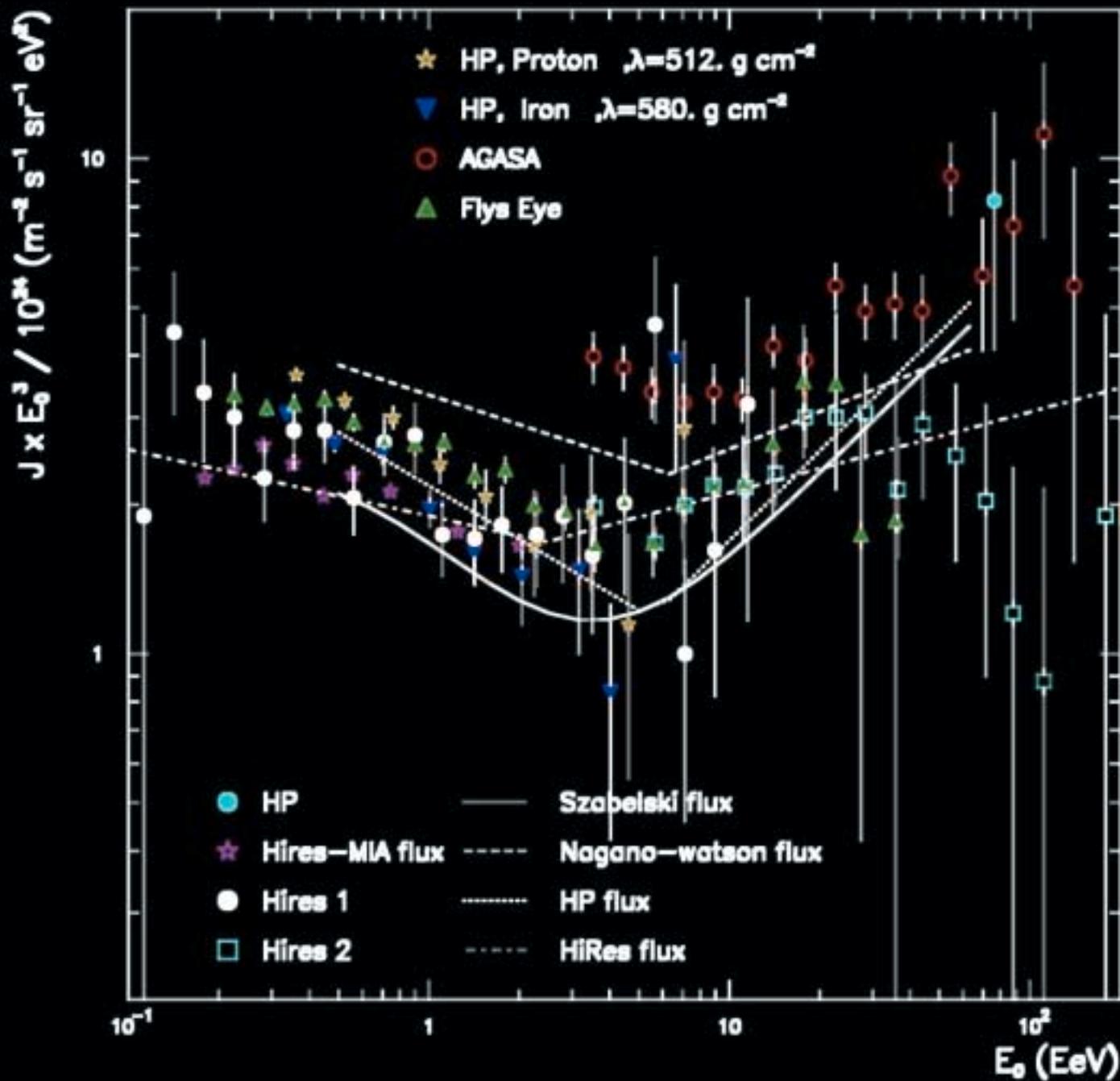
...1964: „Is there a limit to the cosmic ray energy spectrum?“

Streuung mit Photonen der 3K-Hintergrundstrahlung (meV)



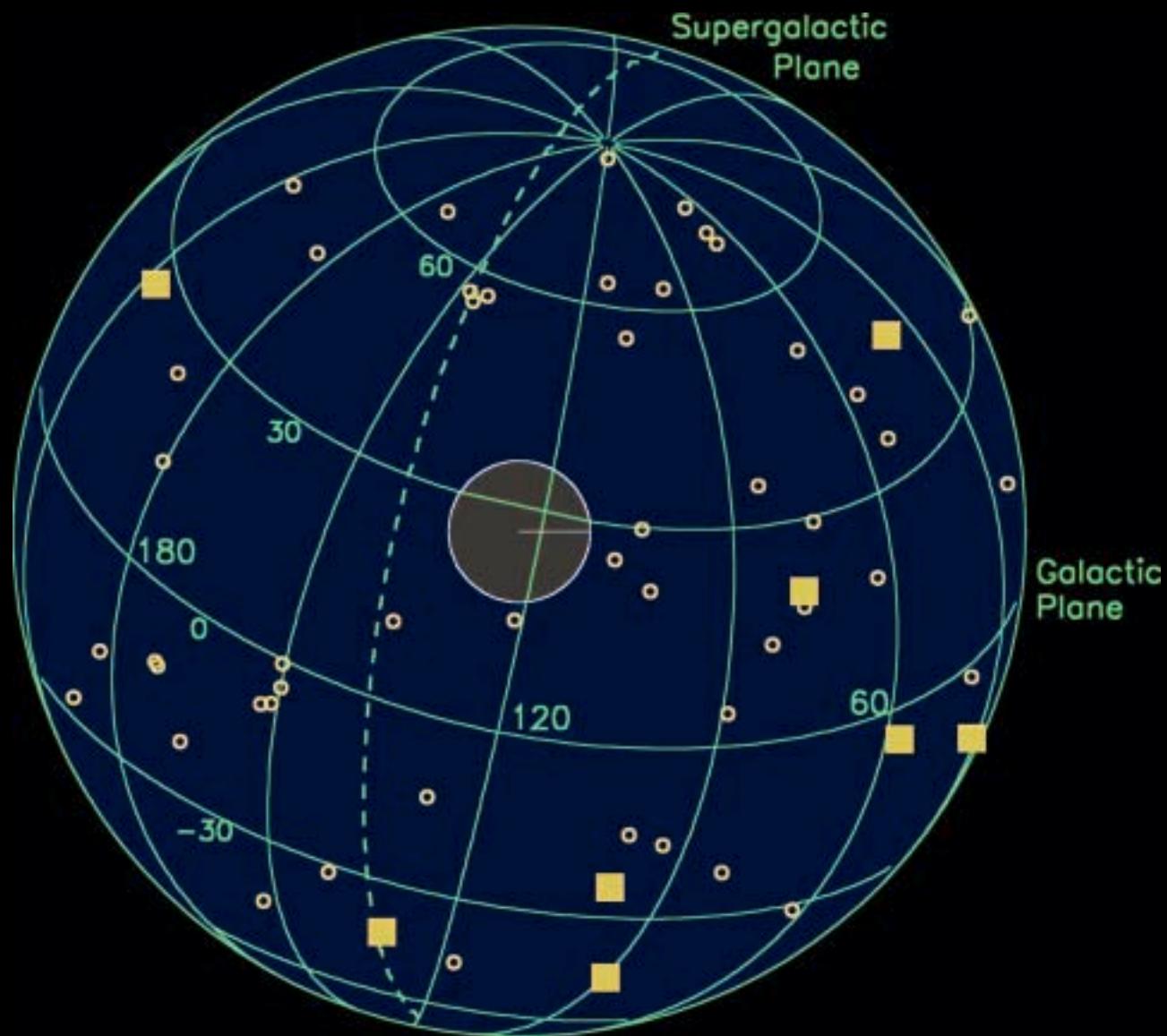


# HiRES ./. AGASA @ ICRC 2001



*AGASA 2001*

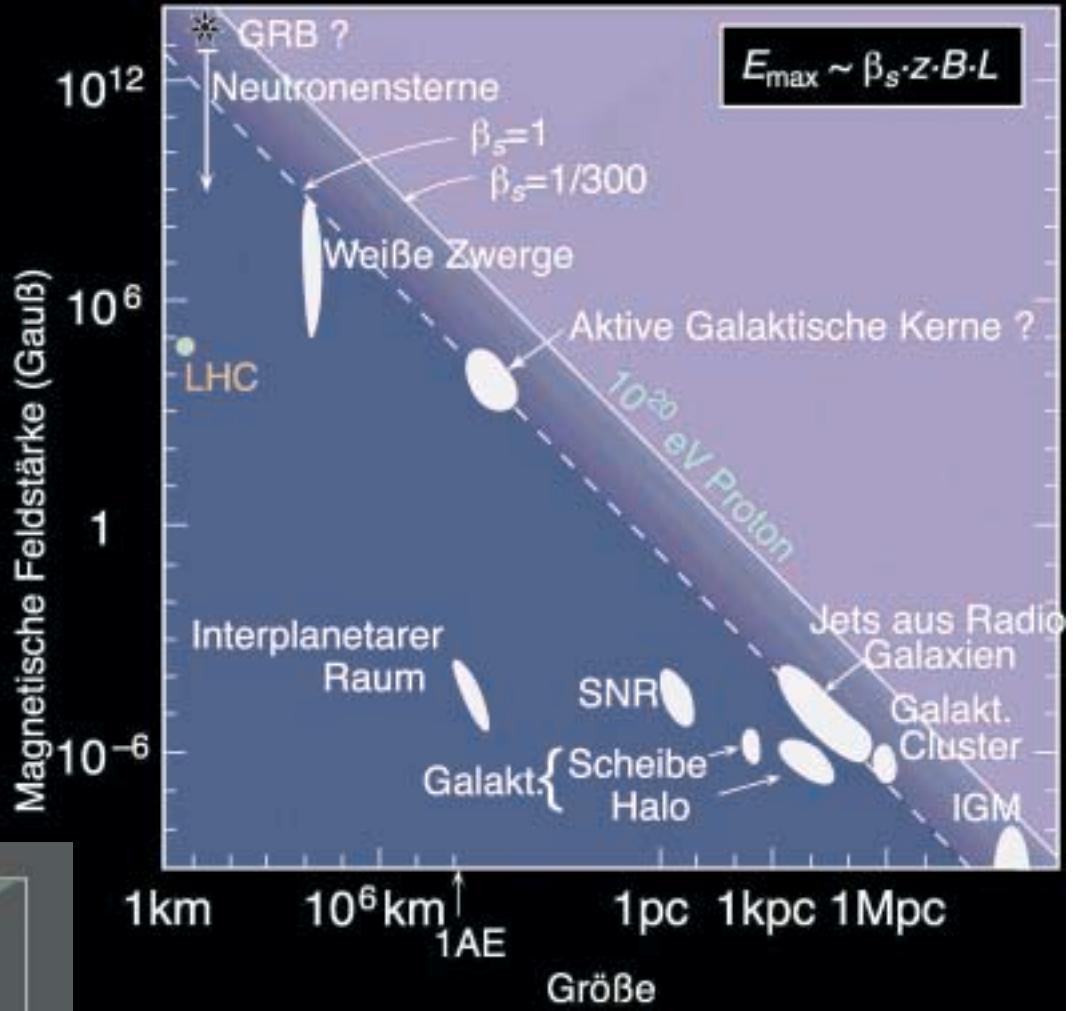
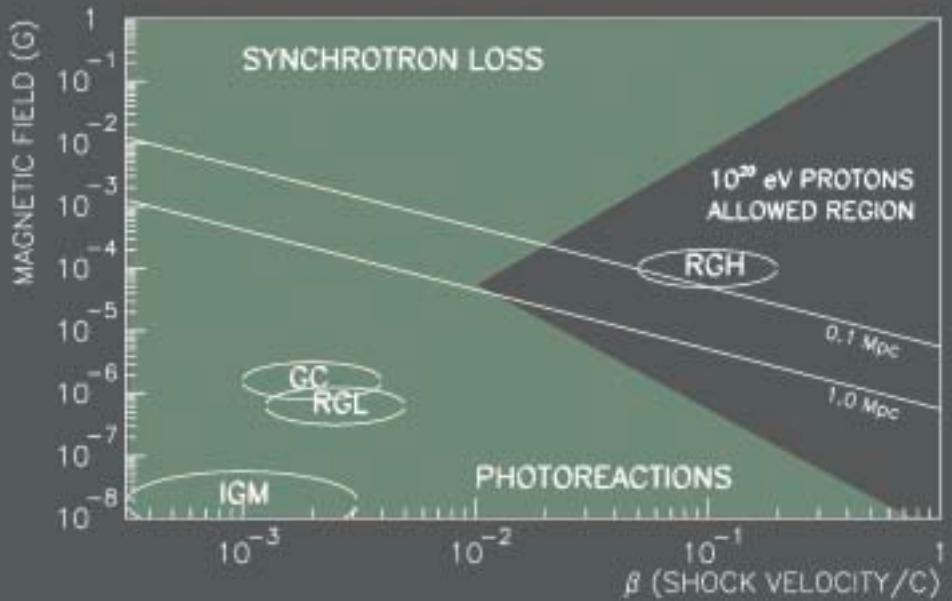
- 40-100 EeV
- >100 EeV



# Mögliche Quellen der kosmischen Strahlung?

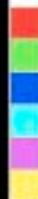
Analogie zu unseren terrestrischen Beschleunigern:

- Magnetfeld
- Ausdehung
- Ladung der Teilchen



Keine überzeugenden Kandidaten, schon gar nicht in der Nähe

# Kollidierende Galaxien

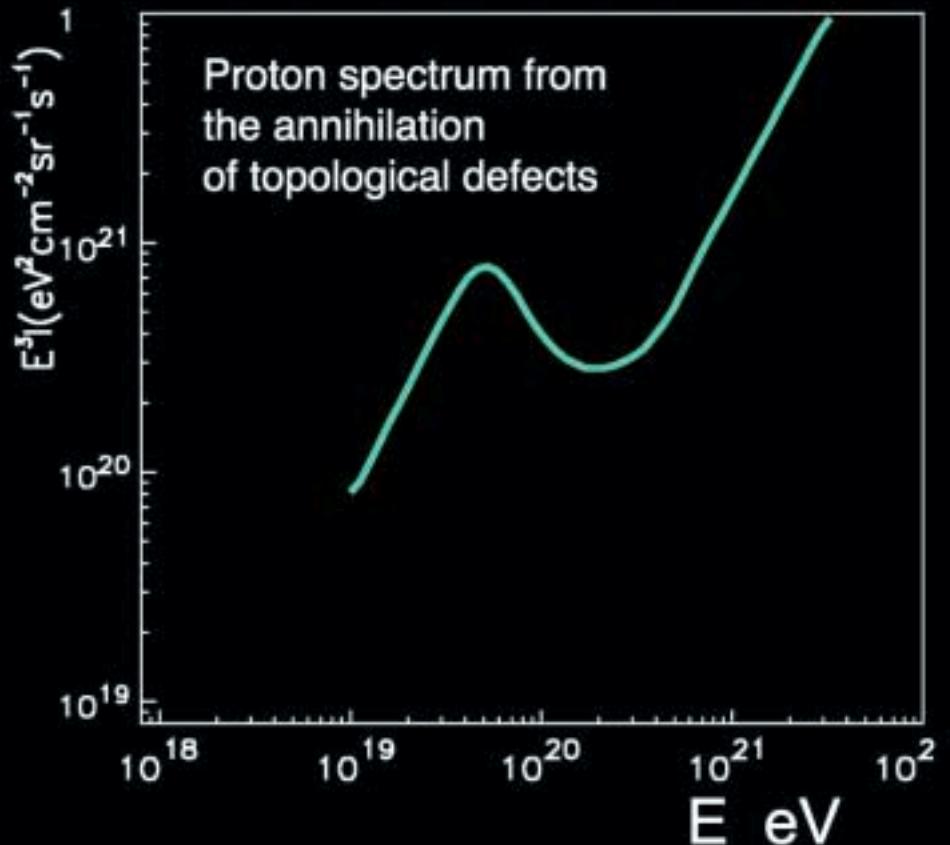


**Colliding Galaxies NGC 4038 and NGC 4039**  
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

# „Top-Down“-Szenarien

Alternative zu Beschleunigungsmodellen („Bottom-up“)

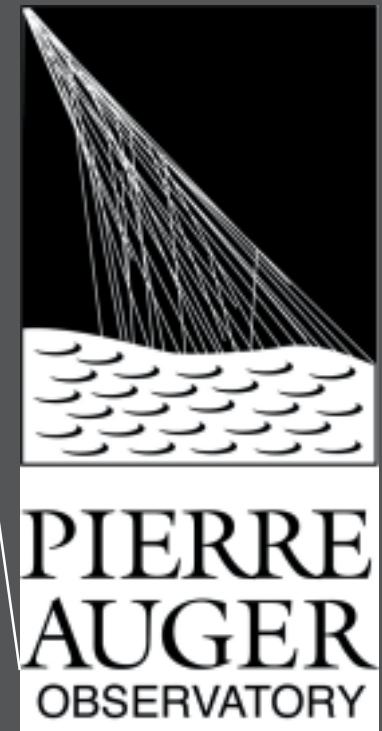
- Zerfall von
  - superschweren X-Teilchen
  - Magnetischen Monopolen
  - Topologischen Defekten
  - Supersymmetrischen Teilchen
- Risiken & Nebenwirkungen
  - Überproduktion von Photonen und Neutrinos ???
  - Monopol-induzierte Luftschauder ???
- Teilchen sind Neutrinos?
  - Weiler-Prozess  $\bar{W} \rightarrow Z^0 \rightarrow \text{UHEKs}$ 
    - Löst das Transportproblem, erfordert aber dichte Neutrinowolken...



# Die wichtigen Fragen...

- Gibt es eine „kosmische Maximalenergie“?
  - Form des Spektrums - GZK-Unterdrückung?
    - Entfernungsverteilung der Quellen
    - GZK produziert hochenergetische Neutrinos...
- Wie ist die Winkelverteilung? Astronomie mit kosmischer Strahlung...
  - Bei verschiedenen Energien?
  - Der galaktischen oder extragalaktischen Materieverteilung folgend?
    - Völlig isotrop ==> Top-Down-Szenarios
    - statt Beschleunigung...!?
  - Gibt es identifizierbare Punktquellen?
- Wie ist die Isotopenzusammensetzung?
  - sind exotische Teilchen und/oder Neutrinos beteiligt?

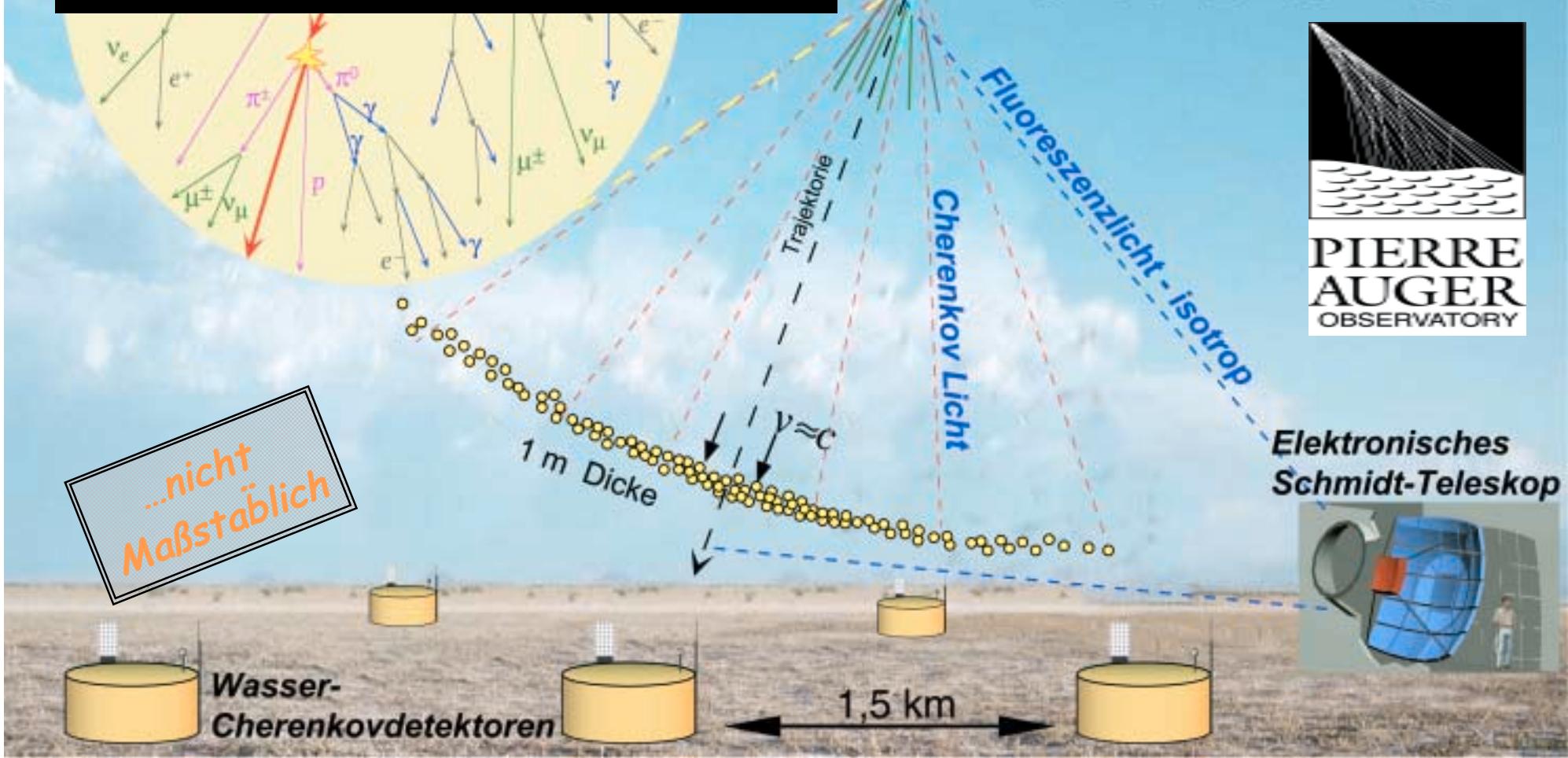
Antworten:



# Ausgedehnte Luftschauder

Pierre Auger Observatorium:  
1600 Wasser-Cherenkovdetektoren  
3000 km<sup>2</sup>, d.h. „Saarland+10%“  
4 Stationen mit 30 elektr. Teleskopen

Pierre Auger Observatorium:  
 $10^{19}$  eV < E <  $10^{21++}$  eV



# Argentinien...

Mendoza

El Nihuil

Pampa Amarilla

San Rafael -  
Malargüe

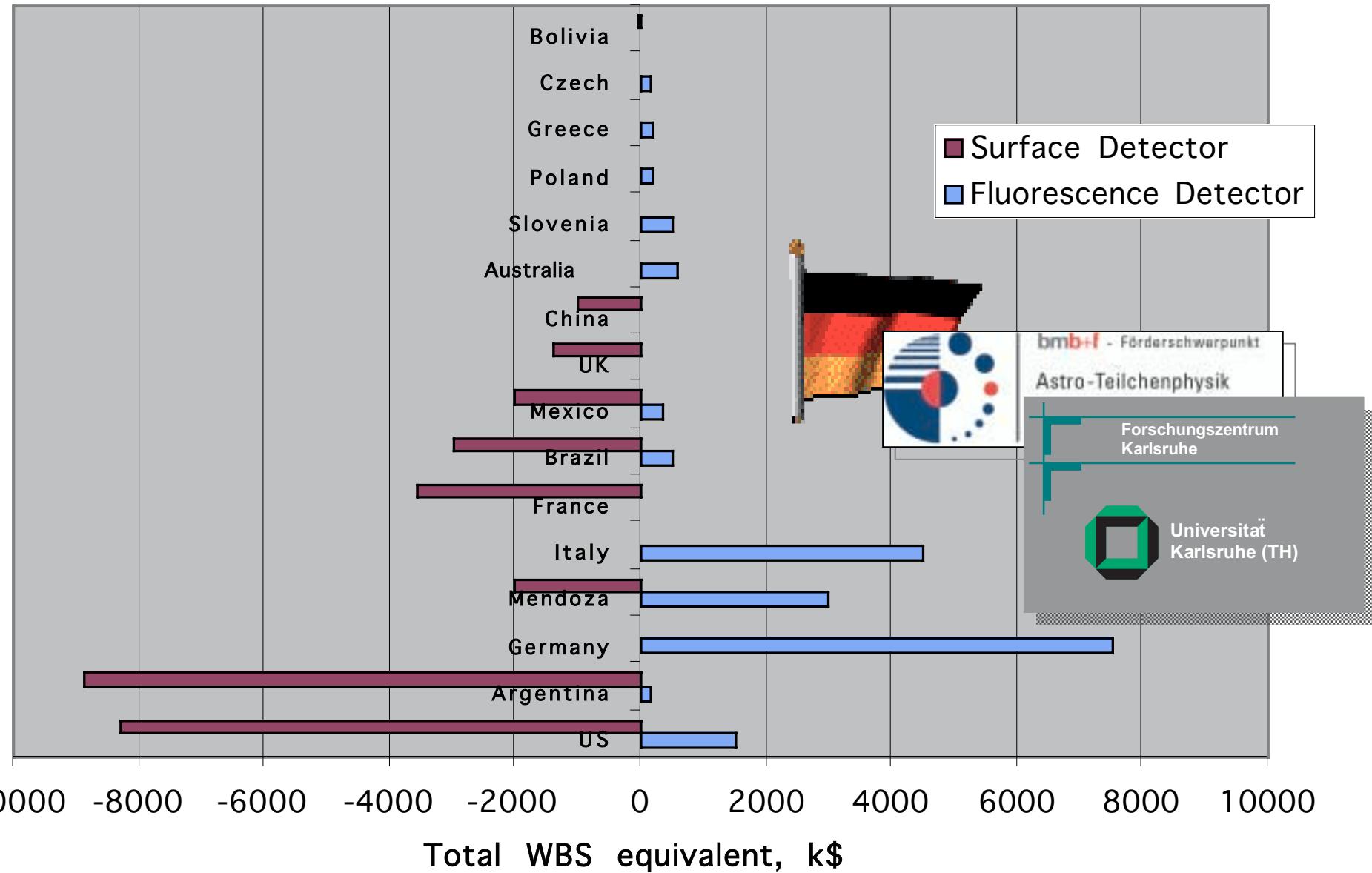


3000 km<sup>2</sup> flaches, unbesiedeltes Land  
Infrastruktur am Rande

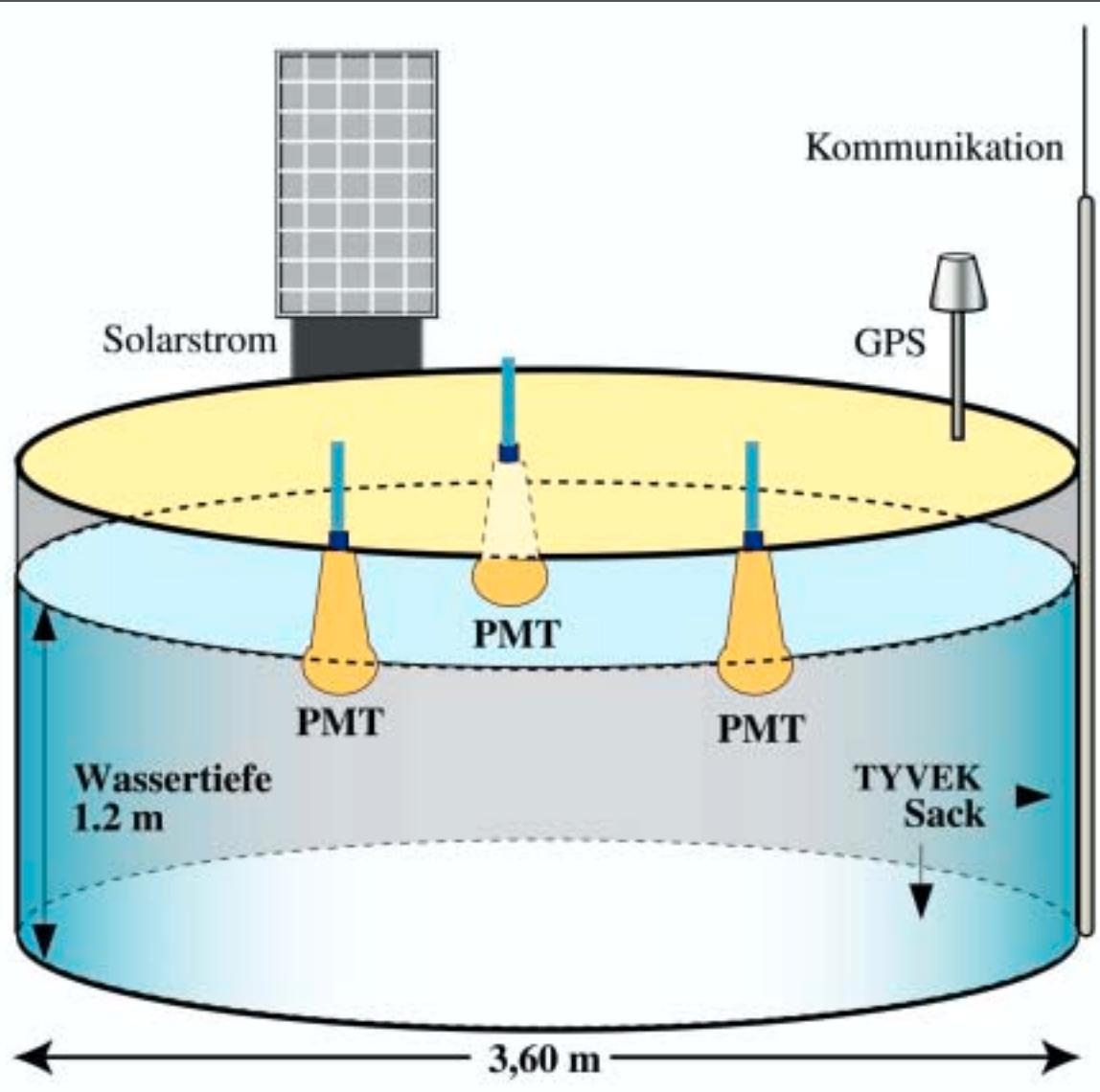
Klarer, dunkler Nachthimmel  
Unterstützung durch Sitzland



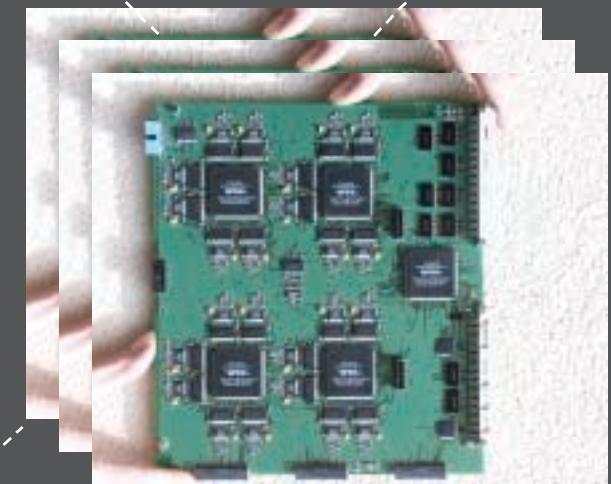
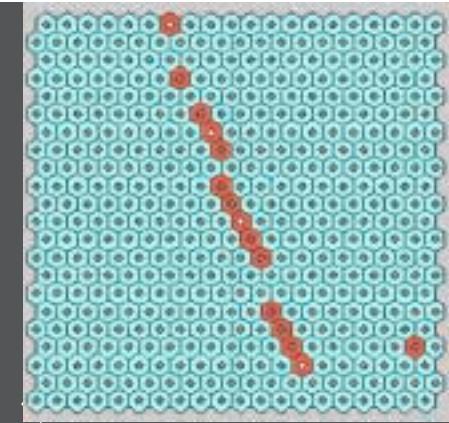
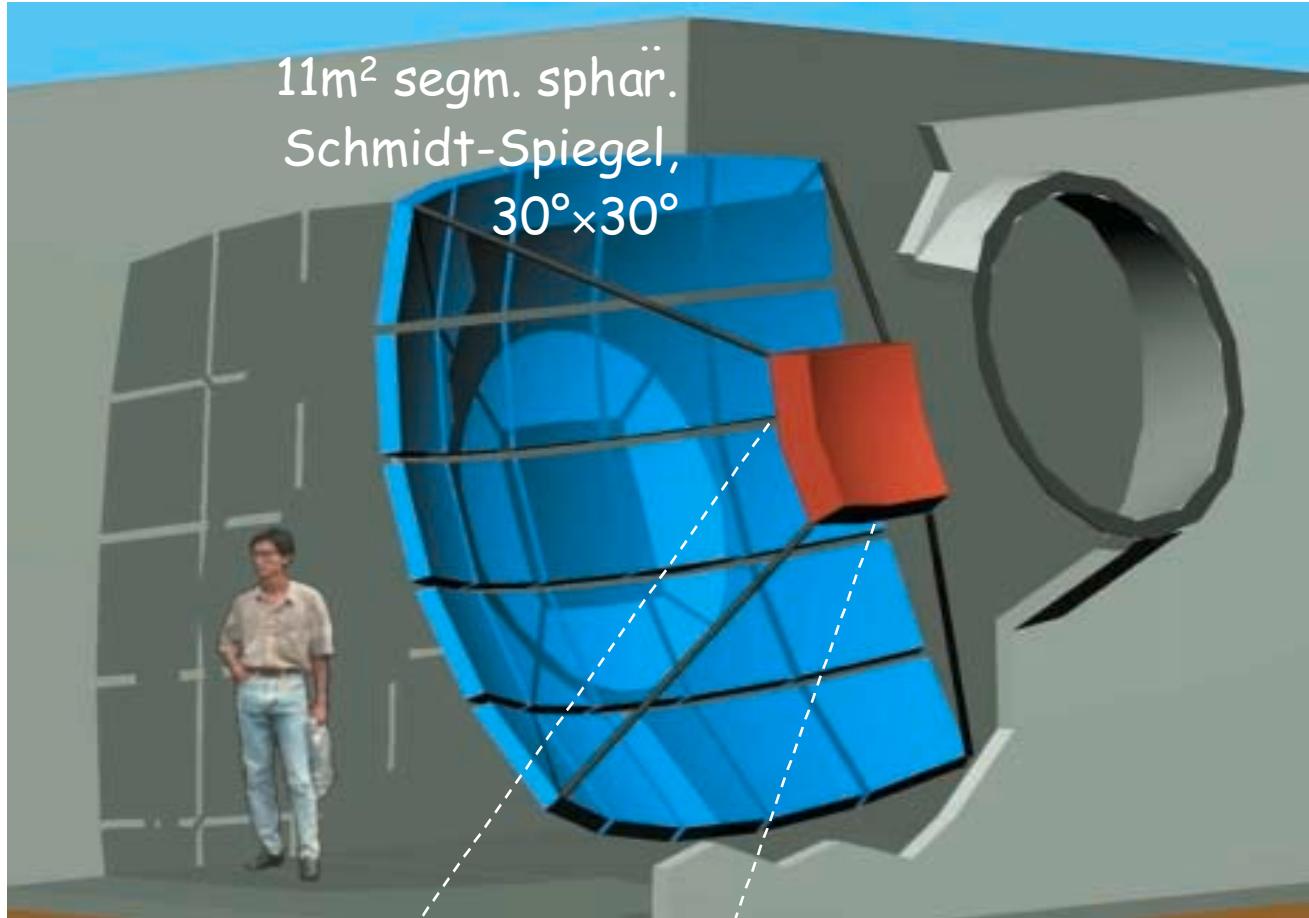
# Country Contributions



# Schauerdetektoren (SD): 1600 Wassertanks auf 1.5 km Hex-Gitter

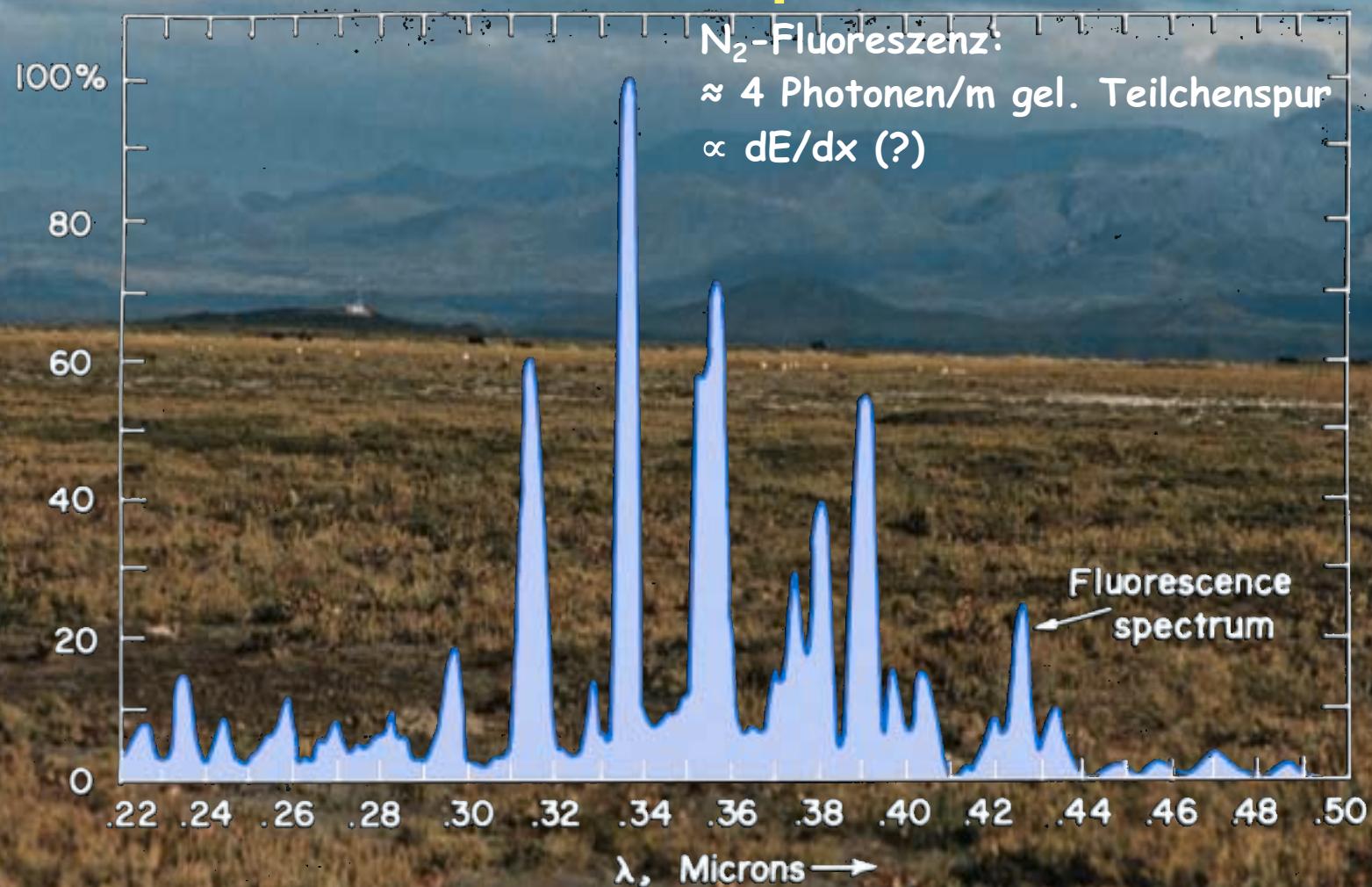


- autonome Systeme
- lokale Trigger
- 40 MHz FADC
- Unterscheidung  $e/\mu$
- Efficiency:  
0 - 30 - 98 % bei  
1 - 3 - 10 EeV



+CORSIKA:  
Cosmic Ray  
Simulation  
for KASCADE  
and Auger

# Fluoreszenzlichtspektrum

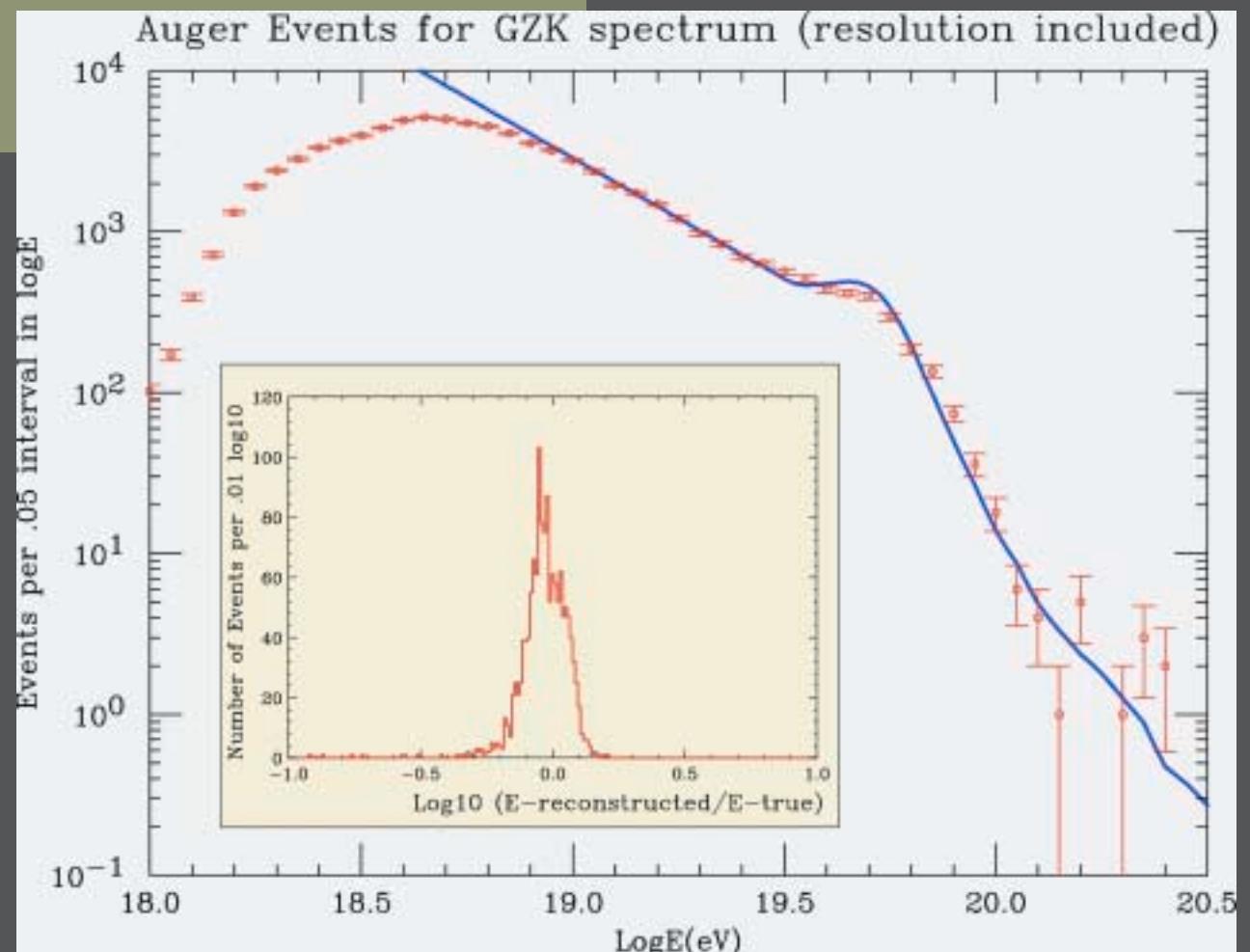


Fluoreszenzlicht: UV; Kalibration der Atmosphäre wichtig!  
Luftschauer sichtbar bis 30 (40) km, Abschwächung x20...  
Wolkenmonitor, LIDAR, Eichlichtquellen,  
Kalibrationsexperiment für Fluoreszenzausbeute machen!!!

## Ereignisse/Jahr (SD allein, FD=10%)

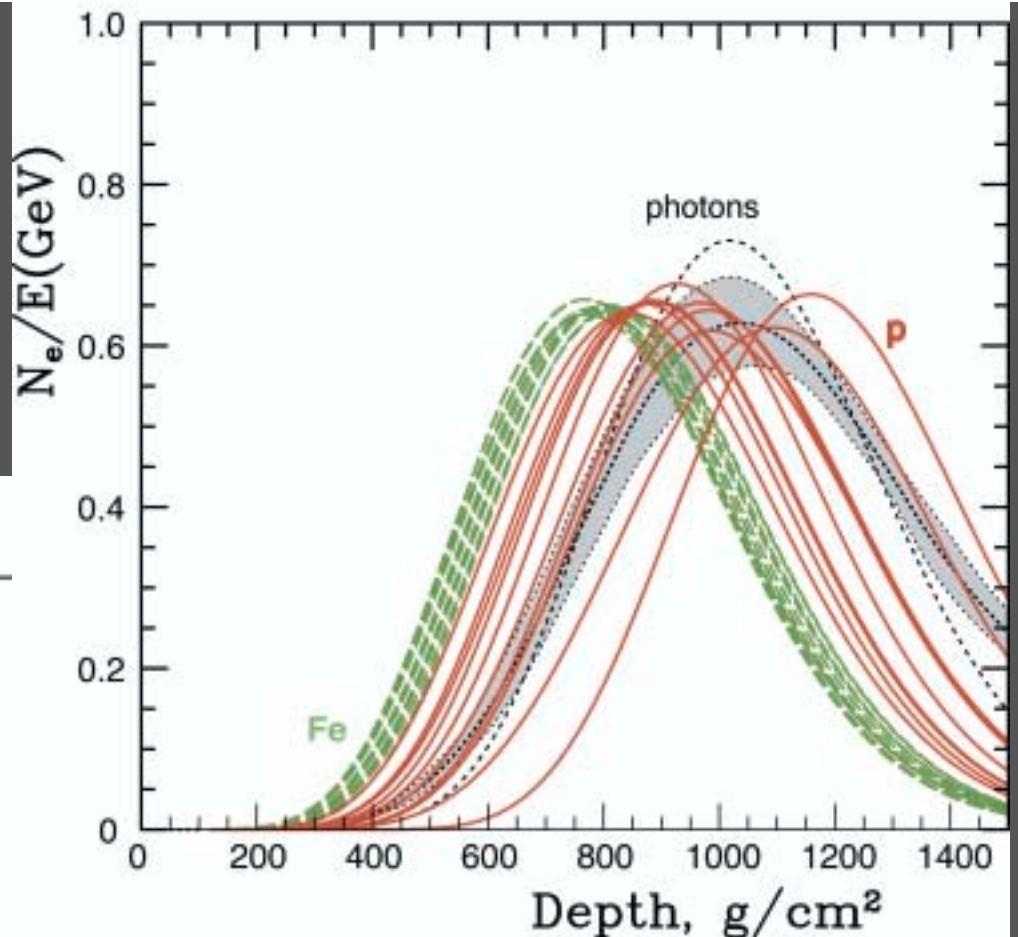
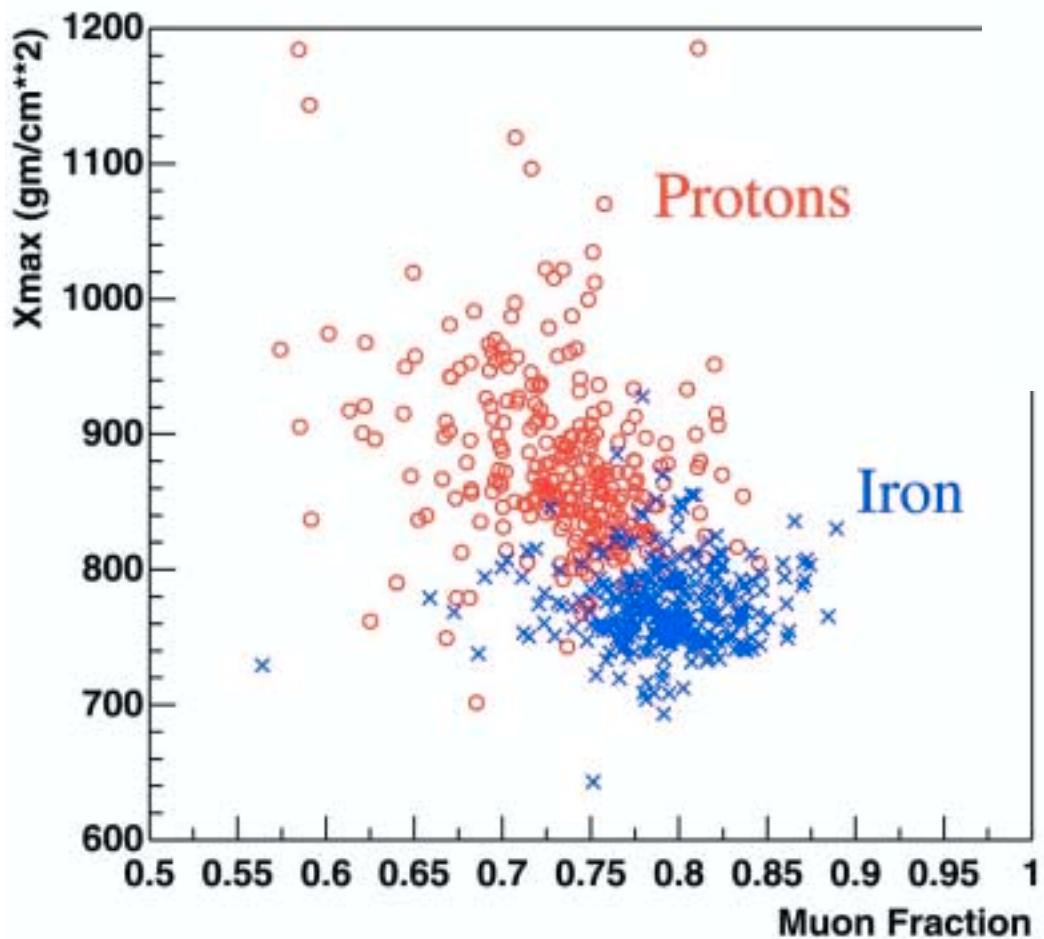
$E > 10^{19}$ eV	5000
$E > 5 \cdot 10^{19}$ eV	490
$E > 10^{20}$ eV	100
$E > 5 \cdot 10^{20}$ eV	10

## Physikerwartungen: Statistik, Energiemessung und Spektrum



Schauermaximum (FD) und  
Myonanteil ergeben die Identität  
des Primärteilchens "A"

FD



SD

+ Neutrinos !

# Los Leones mit Kommunikationsturm



# Los Leones vom Turm





# Priscilla im Wasser



Teleskop schräg v Seite



PROYECTO PIERRE AUGER

# Malargüe ya procesa los datos del cosmos y los envía por Internet

El cerebro que funciona

EDUARDO CASTÓ  
correspondiente

Ya está funcionando la adquisición de datos del Observatorio Pierre Auger, una modernísima red de detectores de rayos cósmicos que se extiende por la Argentina y que enviará los datos a través de Internet.

Ayer, con la gobernadora y el intendente, Arturo de Obras, el director del Observatorio, Alberto Eichler, dieron oficialmente la bienvenida al público.

En un predio en la provincia, en el límite entre la ciudad de Malargüe y la localidad de Tres Arroyos, se encuentra la obra de 100 hectáreas que forma parte de la red de observación. Se construyeron fondos de la tierra y se colocaron instrumentos de alta sensibilidad.

Este observatorio resuelve un problema que ha sido planteado por la ciencia: se sabe que existe una gran cantidad de partículas que vienen del espacio exterior, pero no se sabe cuál es su velocidad y qué tipo de partículas son.

Los científicos



En la foto, el director del Observatorio, Alberto Eichler.



La ceremonia de inauguración. La comunidad participó del acto donde quedó habilitado oficialmente el lugar.

tronin, premi

re, premio Nobel de Física. Su figura se ha convertido en un ícono de la Ciencia. Fue una figura muy importante en la ciencia argentina, y su muerte ha sido una gran pérdida para la ciencia argentina. Hoy, sus amigos y familiares le rinden homenaje en su ciudad natal, Rosario.

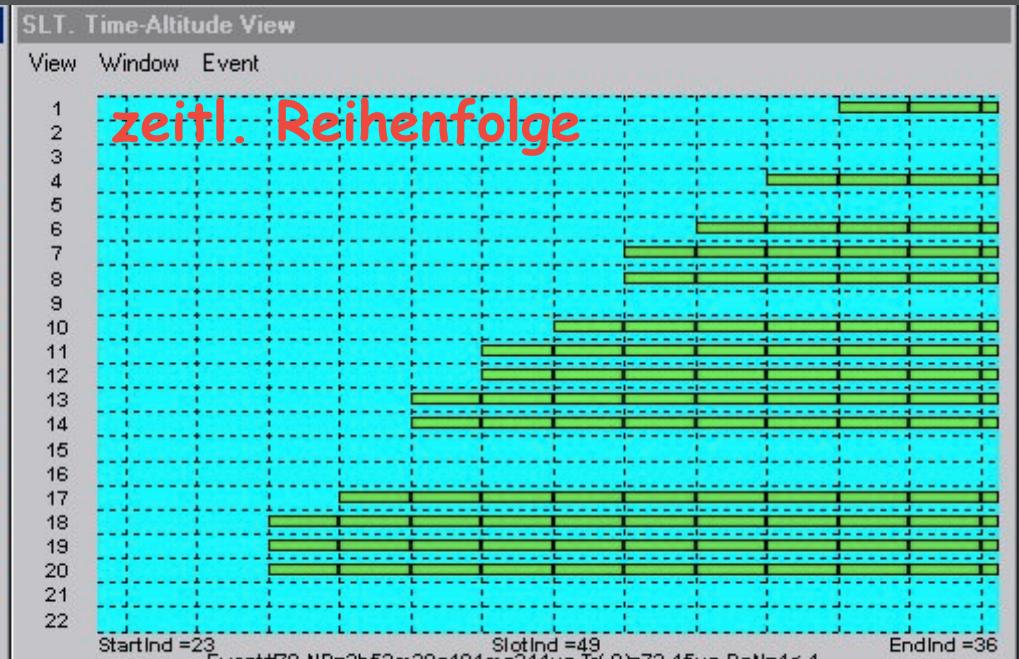
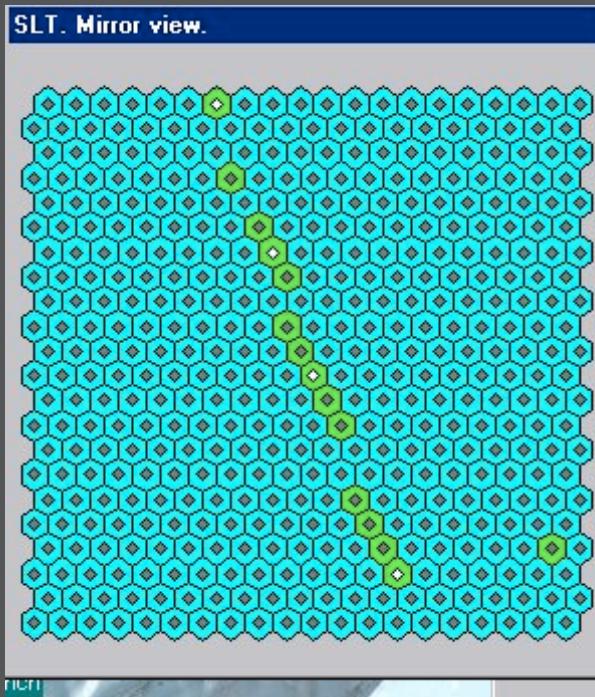
terior, tanto en instrumentos actualmente en uso como en los que se han desarrollado en los últimos años. Los instrumentos más avanzados son los telescopios de fluorescencia, que permiten detectar partículas de alta energía con una resolución muy buena.

Los instrumentos

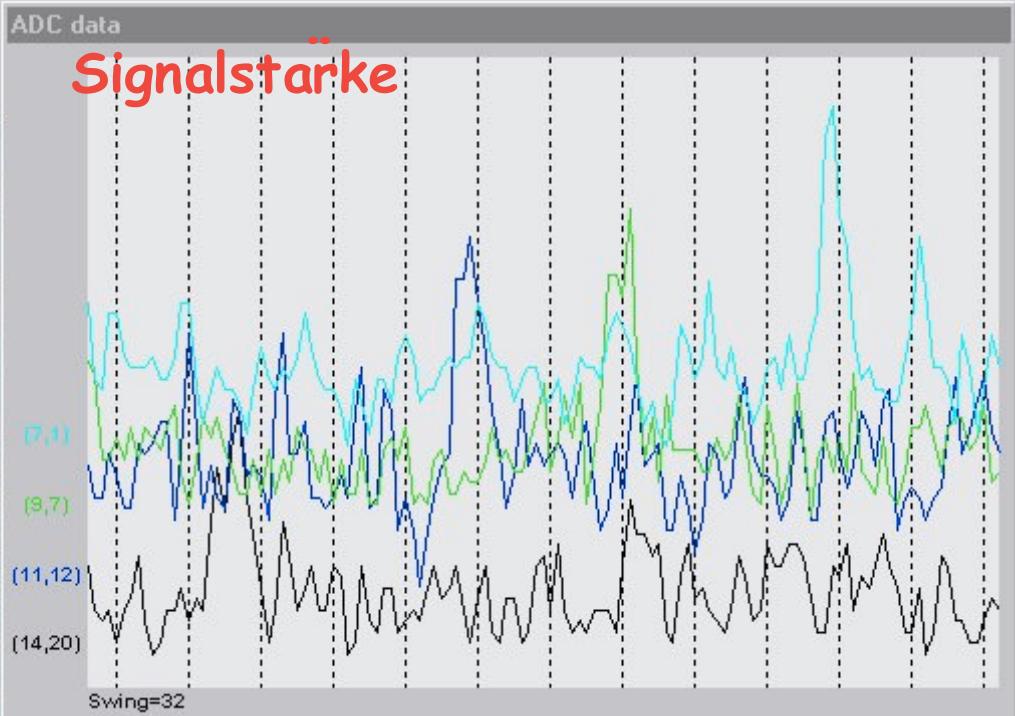


# „Erstes Licht“ im FD

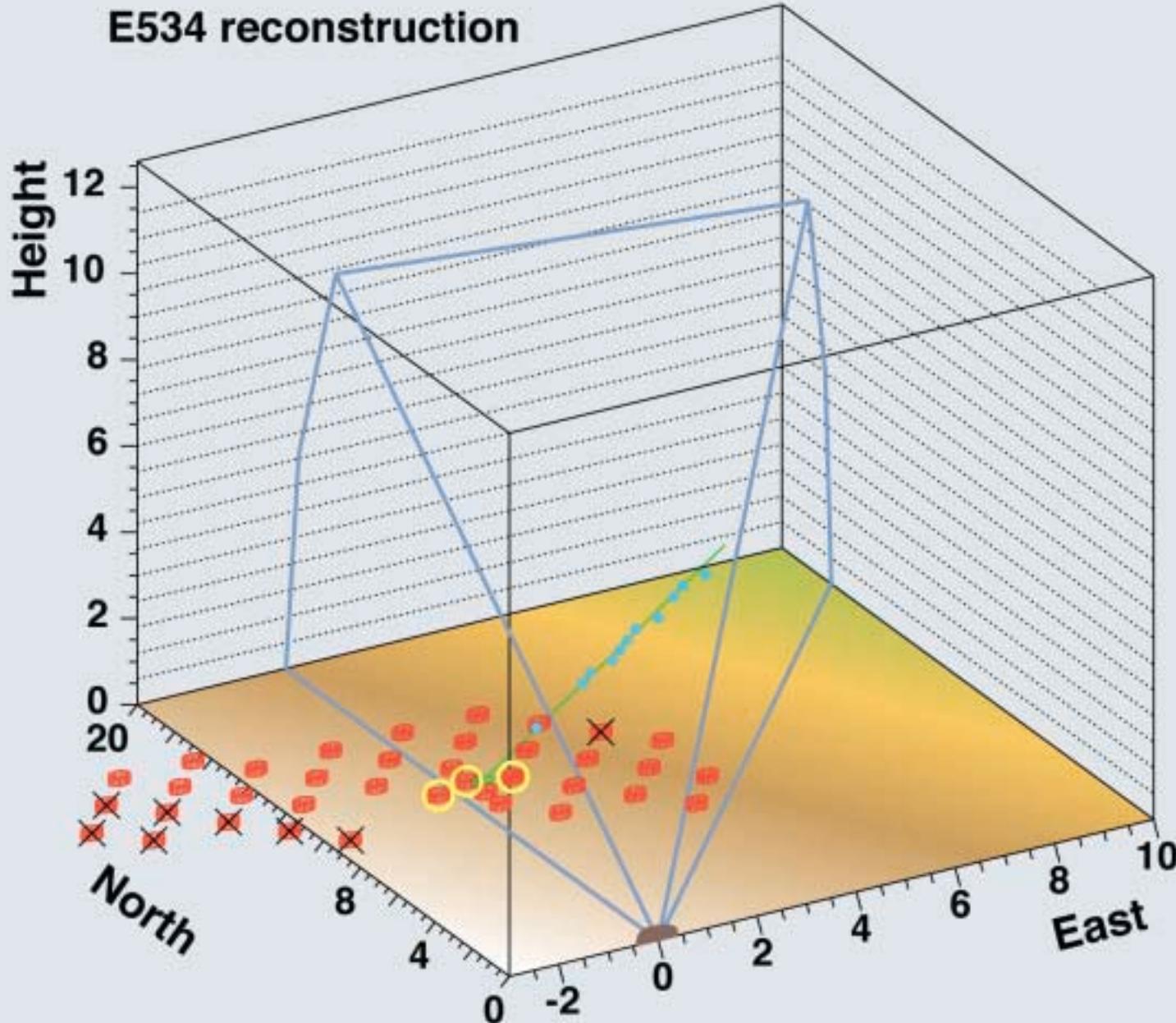
## Kamerabild



- 23. Mai 2001: „erstes Licht“ im Fluoreszenz-detektor
- Leuchtspuren kosmischer Teilchen nachgewiesen
- Optik und Elektronik arbeiten wie erwartet

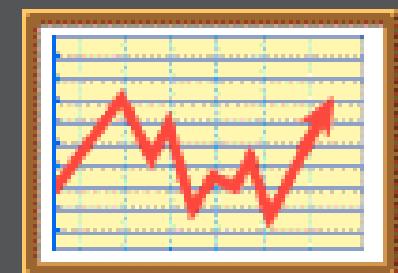


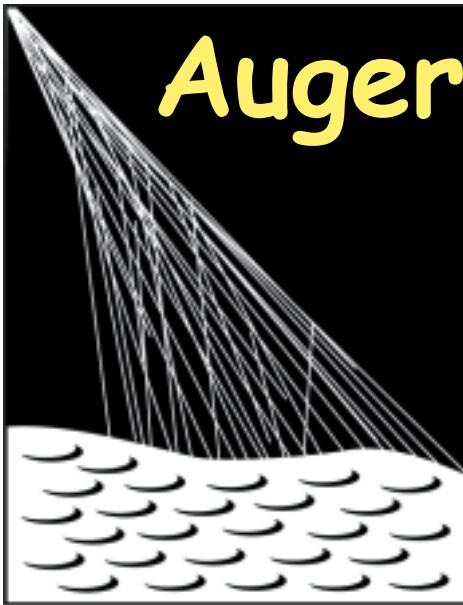
## E534 reconstruction



# Die aktuelle Situation...

- 2 Teleskope arbeiten routinemässig in Los Leones
- 20-25 Tanks arbeiten im 24/7-Modus
- 2-4 Hybridereignisse pro Nacht
  - STOP bei 100 total; Ersatz der Proto-Teleskope durch Serienmodell
- Vorserie 100 Tanks 2002; Vollausbau 1600 Tanks bis 2005
  - 10% Finanzdefizit
- Teleskopstation “Coihueco” (NW) dank BMBF - U Karlsruhe - FZK - CNEA “gerettet”; fertig April 2002
- Unklare politische und wirtschaftliche Lage in Argentinien
  - mässige finanzielle Rückwirkung auf Pierre Auger-Projekt
  - “auf dem Dorf ist alles ruhig”





# Auger nach 2004 ?

- Datennahme mit der vollen Konfiguration...
  - 10-15 Jahre lang
- Ausbauideen:
  - Array verdichten
  - Radioemission nachweisen
  - AGASA kalibrieren
  - Auger-Observatorium auf der Nordhalbkugel

## **Andere UHECR- und Neutrino-Experimente:**

**HiRes**, High Resolution Fly's Eye (US/Japan)

Utah, Fluoreszenzdetektor, Stereo, problematischer Betrieb, Ergebnisse...?

**TA**, Telescope Array (US/Japan)

Proposal für 10 Fluoreszenzdetektoren; incl. HiRes und AUGER-Nord?

**EUSO**, Extreme Universe Space Observatory (I, F, D, GB, US)

ESA/NASA FD auf ISS... 2007++?

**OWL**, Orbiting Wide-Angle Light Collector

„in study phase“

**SKYVIEW**

1000-5000 km<sup>2</sup> Szintillatorstationen in NRW u.a. Status?

**Amanda, ICECUBE**

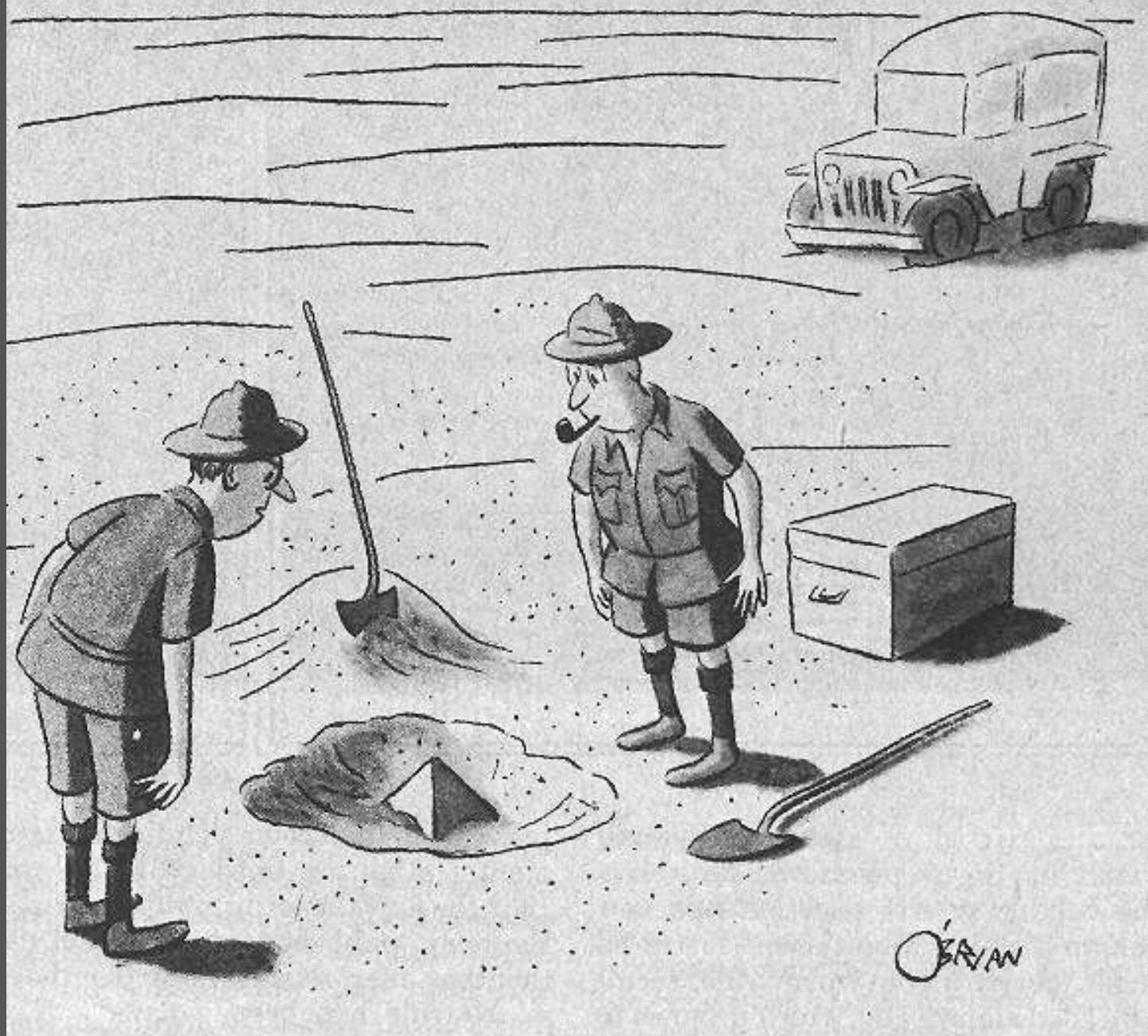
Neutrinos oberhalb von 1 TeV in antarktischem Eis; **in Betrieb/beginnend**

**ANTARES, NESTOR, NEMO**

Neutrinos oberhalb von 1 TeV in Mittelmeerwasser; **Vorstudien**

**HEGRA, MAGIC, HESS**

VHE-Gammas in La Palma bzw. Namibia; **im Aufbau**



*"This could be the discovery of the century. Depending,  
of course, on how far down it goes."*

# Astroteilchenphysik

