



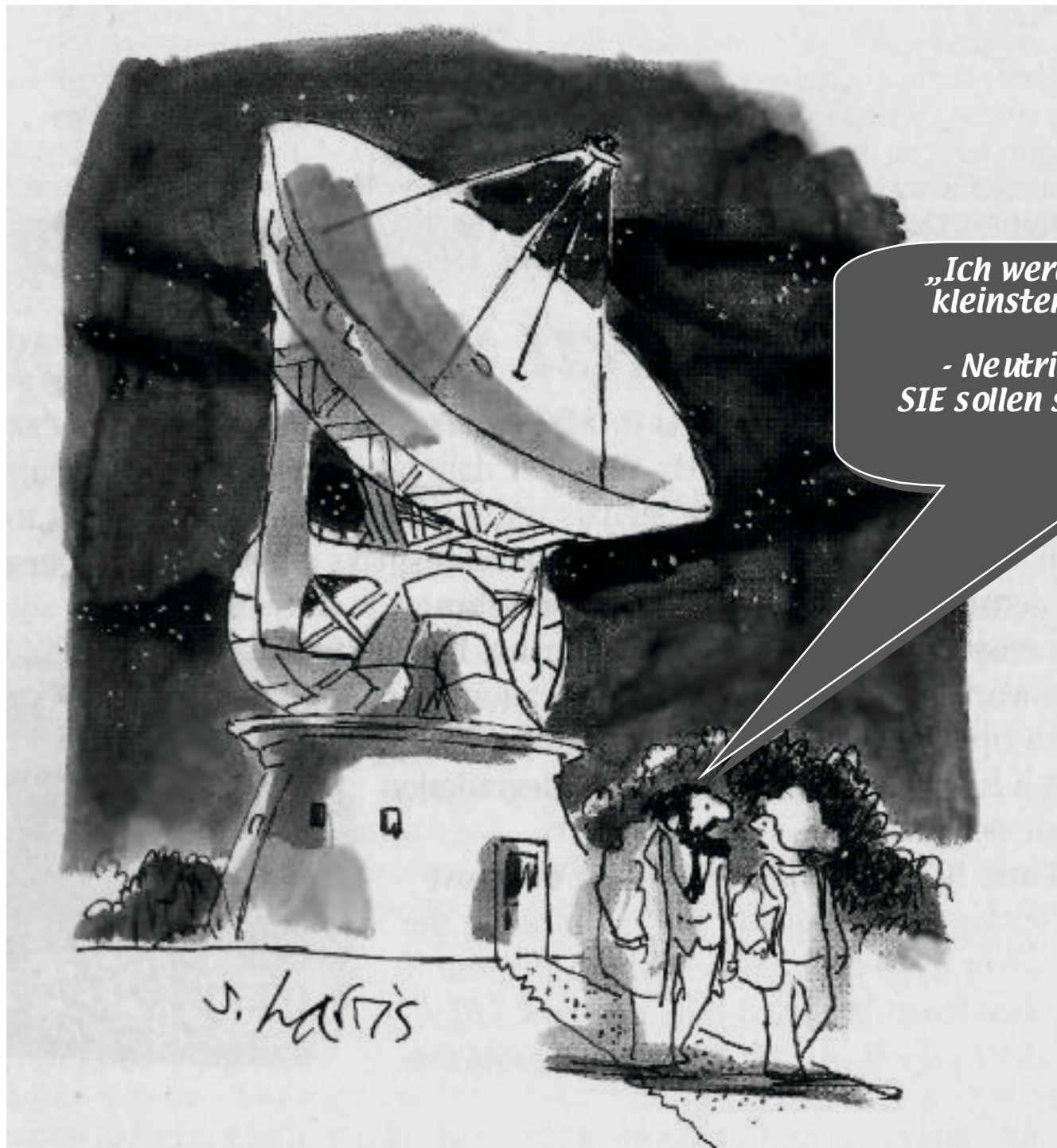
**Forschungszentrum  
Karlsruhe**  
Technik und Umwelt



**Universität Karlsruhe  
(TH)**

# Kosmische Strahlung bei den höchsten Energien

H. Blümer, Universität und Forschungszentrum Karlsruhe



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



# Astroteilchenphysik

**Teilchenphysik**

**Astrophysik**

**Dunkle Materie**

**Neutrinomasse**

**Kosmische  
Strahlung**

**Atmosphärische  
Neutrinos**

**VHE Gamma-  
Astronomie**

**Solare Neutrinos**

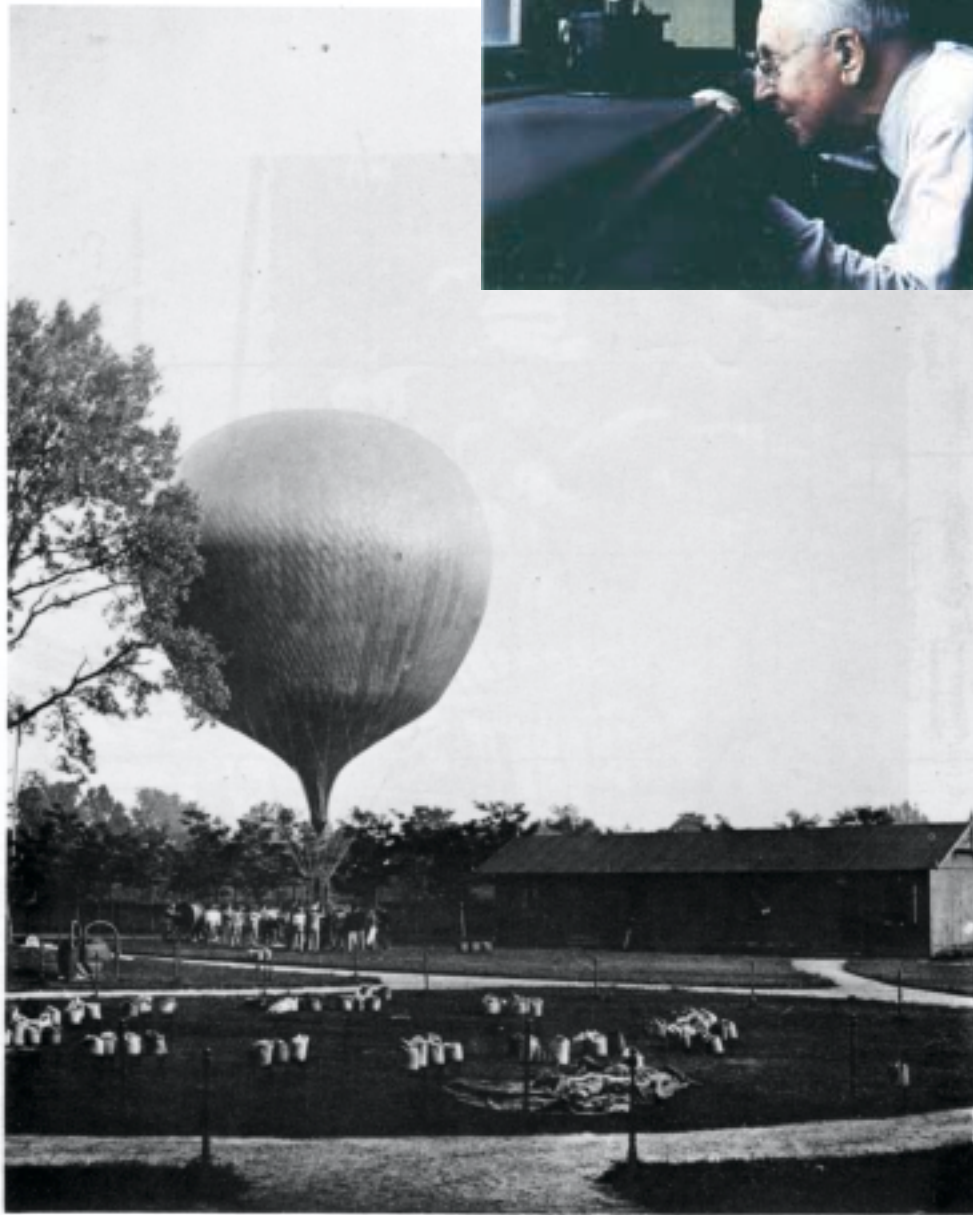
**Gravitationswellen**



# Themen

- 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)



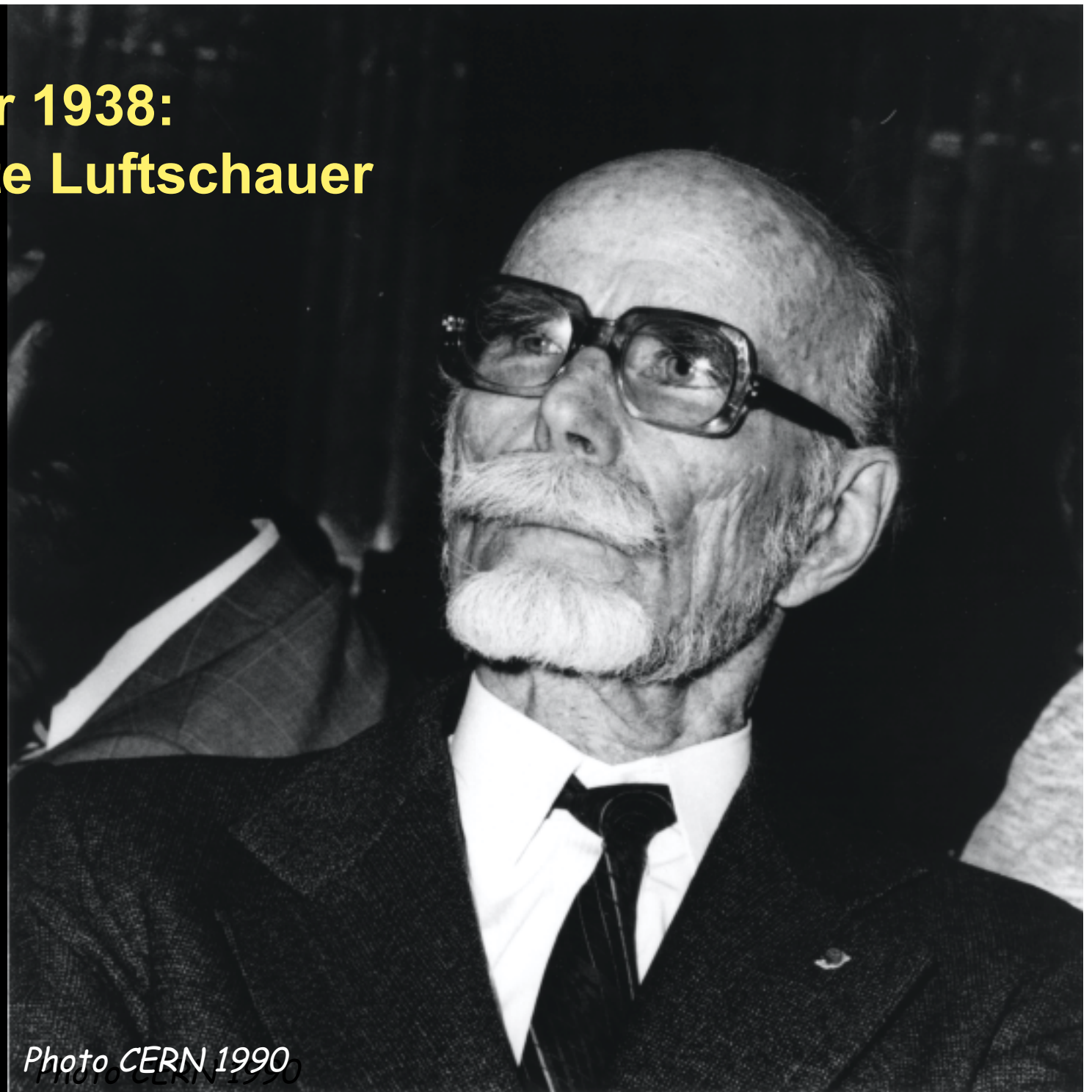


**Victor Hess 1912**

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)

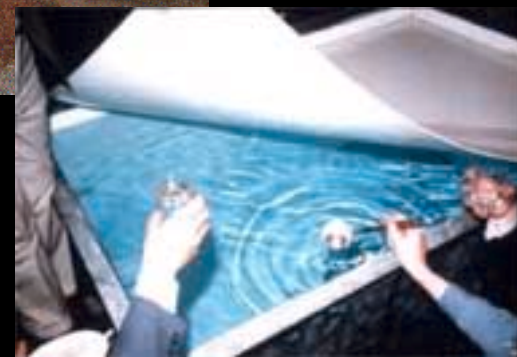
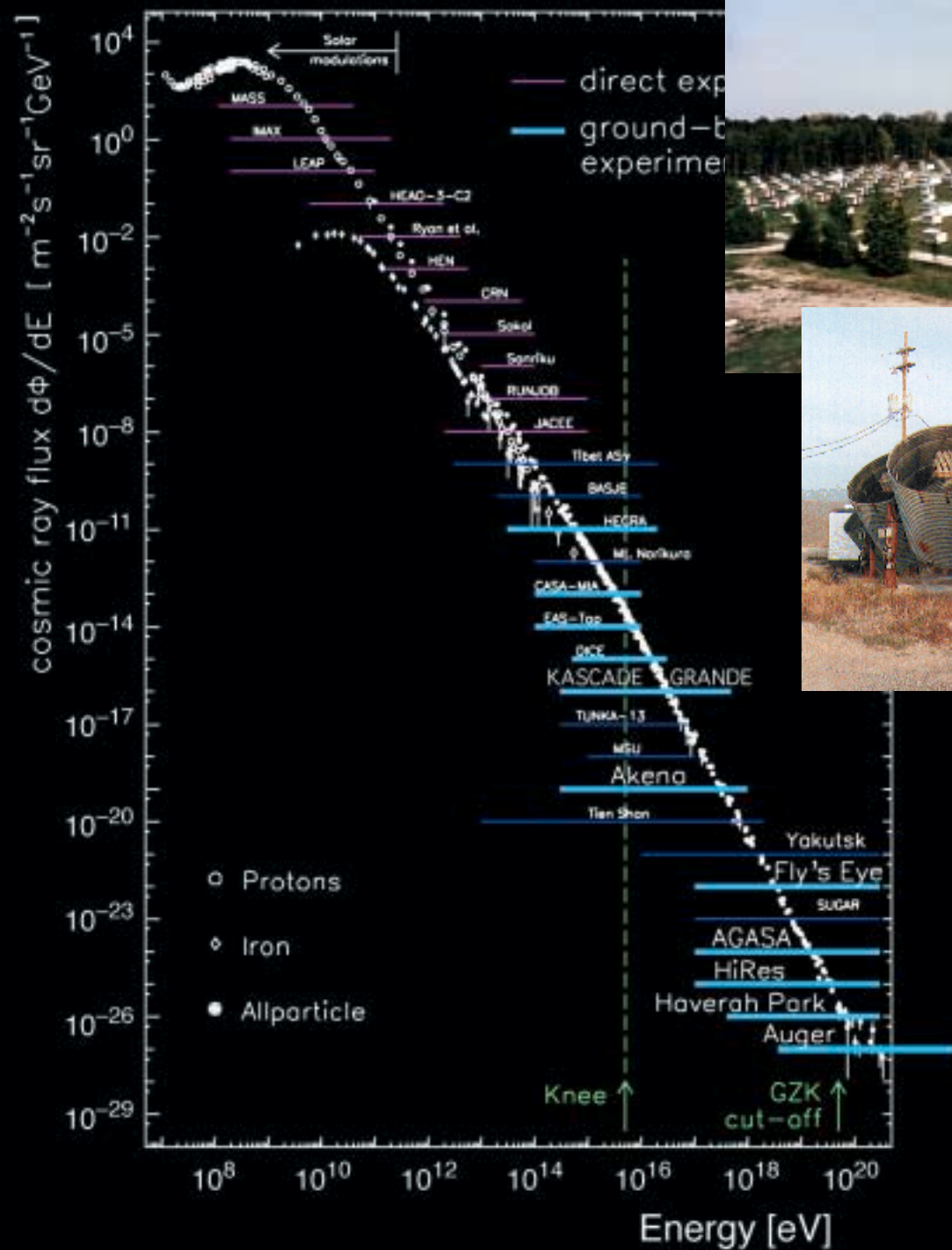
<Ed> Contributed by R. Steinmaurer. See p. 17.

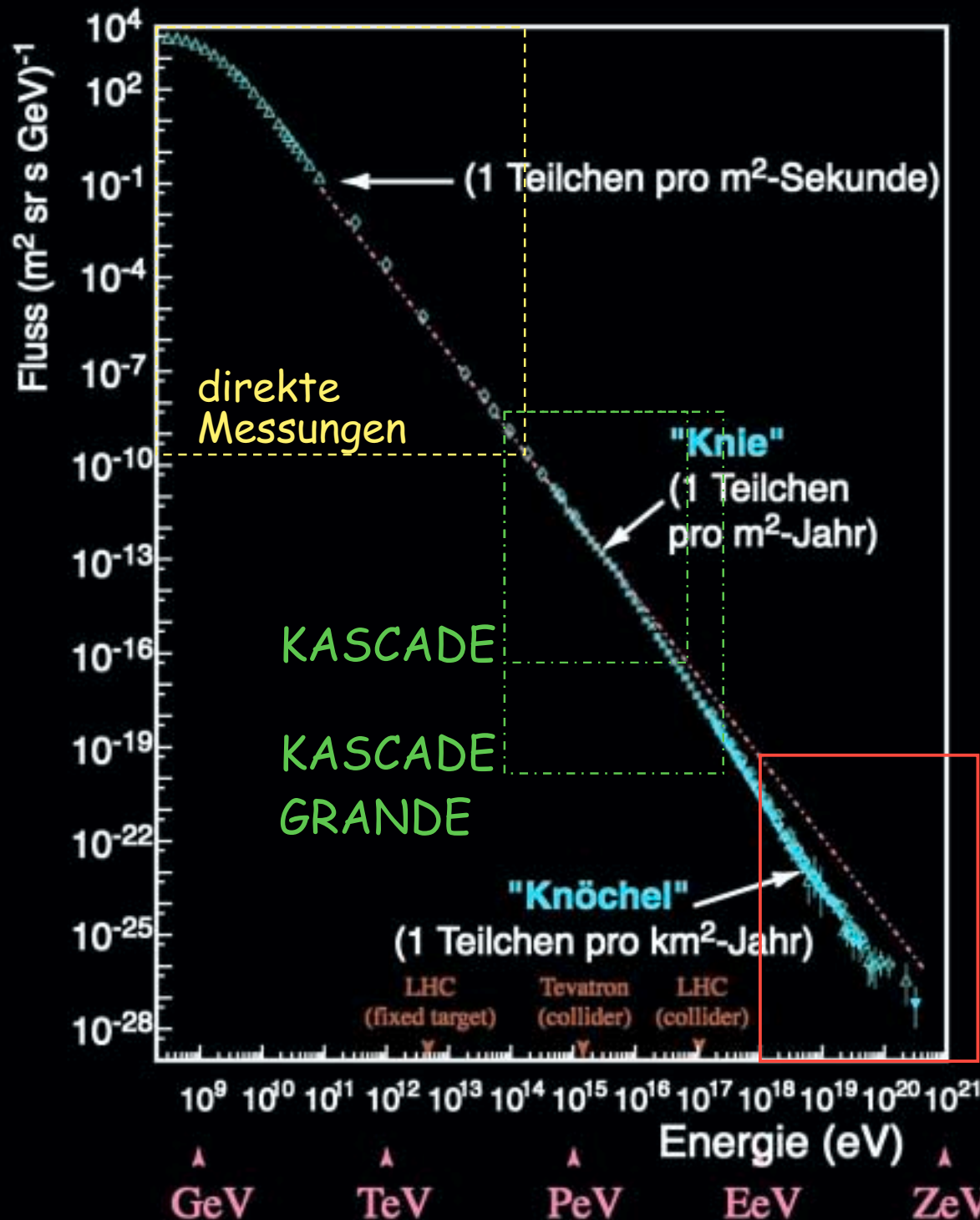
**Pierre Auger 1938:  
Ausgedehnte Luftschauer**



*Photo CERN 1990*







„Hohe Energien  
sind viel seltener  
als niedrige“

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

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

„die  
höchsten  
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  $\rightarrow$  3.1

Supernova-Schockwellen-Beschl.?

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

KASCADE sieht das !!!

Energiebetrachtungen...

Ausbreitung?

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

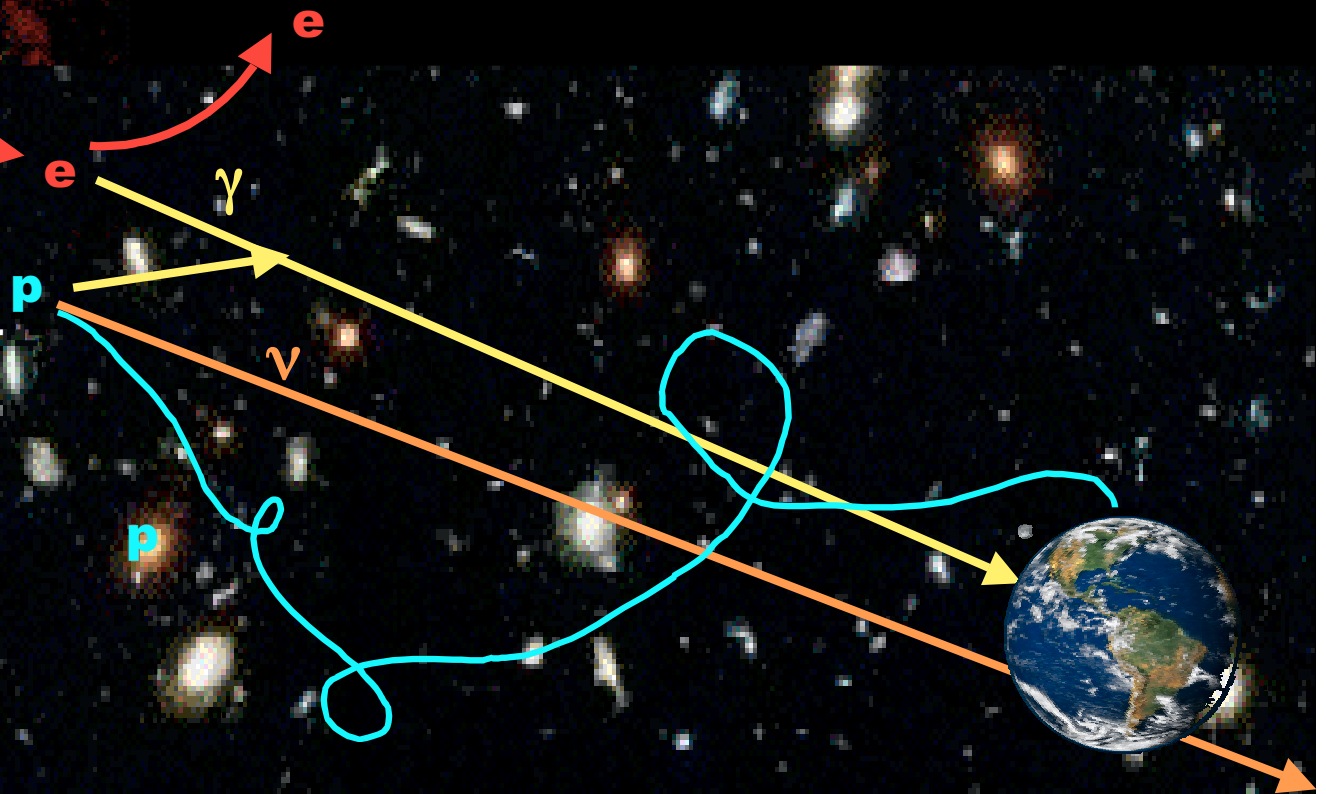
Top-Down-Szenarien

# Kosmische Beschleuniger im “Kniebereich”

**Supernova-  
Schockwellen**



**Teilchenart  
Energiespektrum  
Anisotropien**

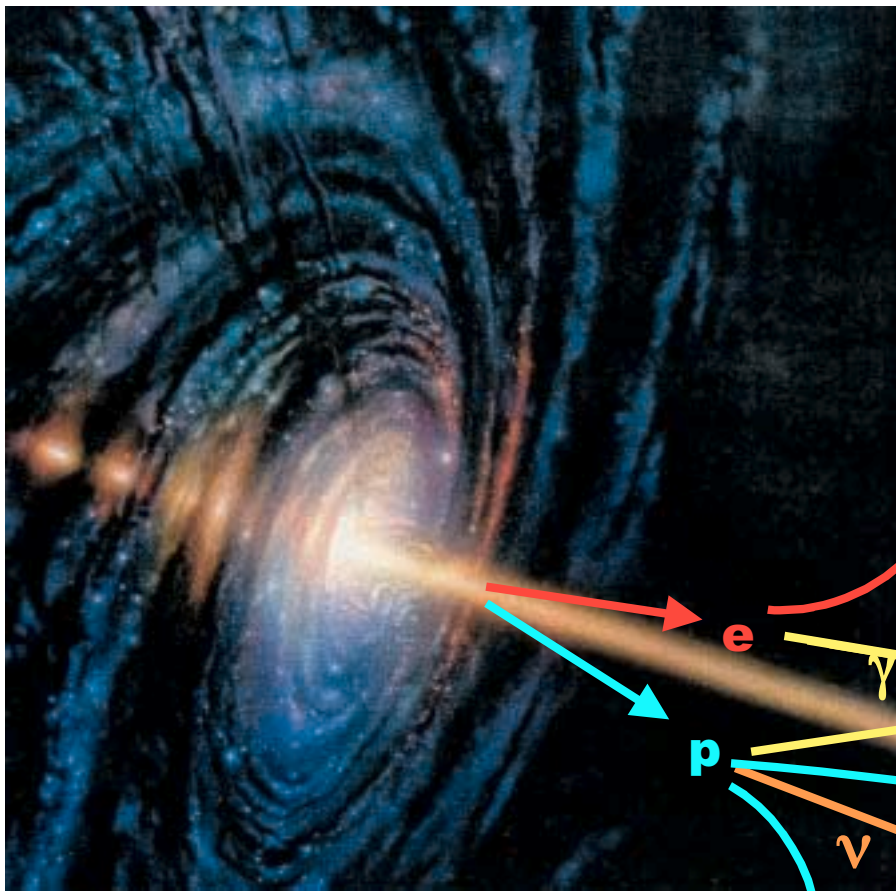




# Kosmische Beschleuniger bei den höchsten Energien



Optische dichte Quellen  
WW mit Hintergrund-Photonen  
Magnetfelder

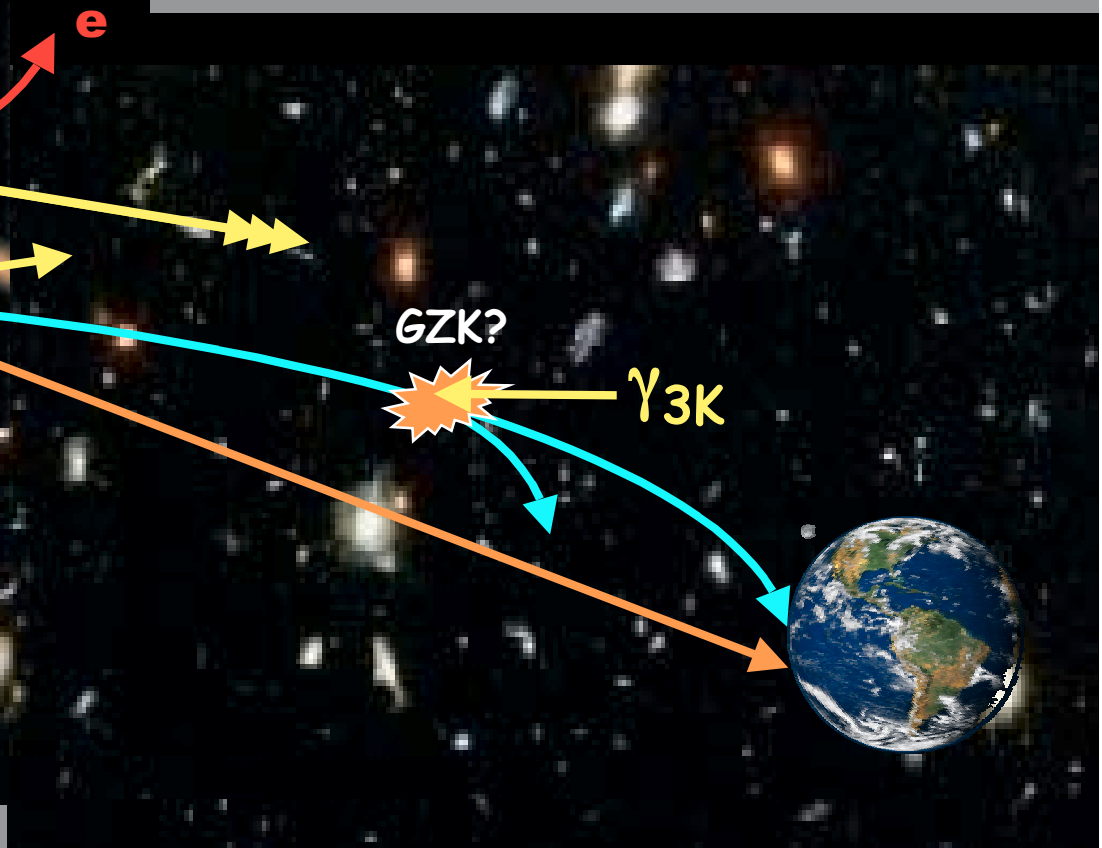


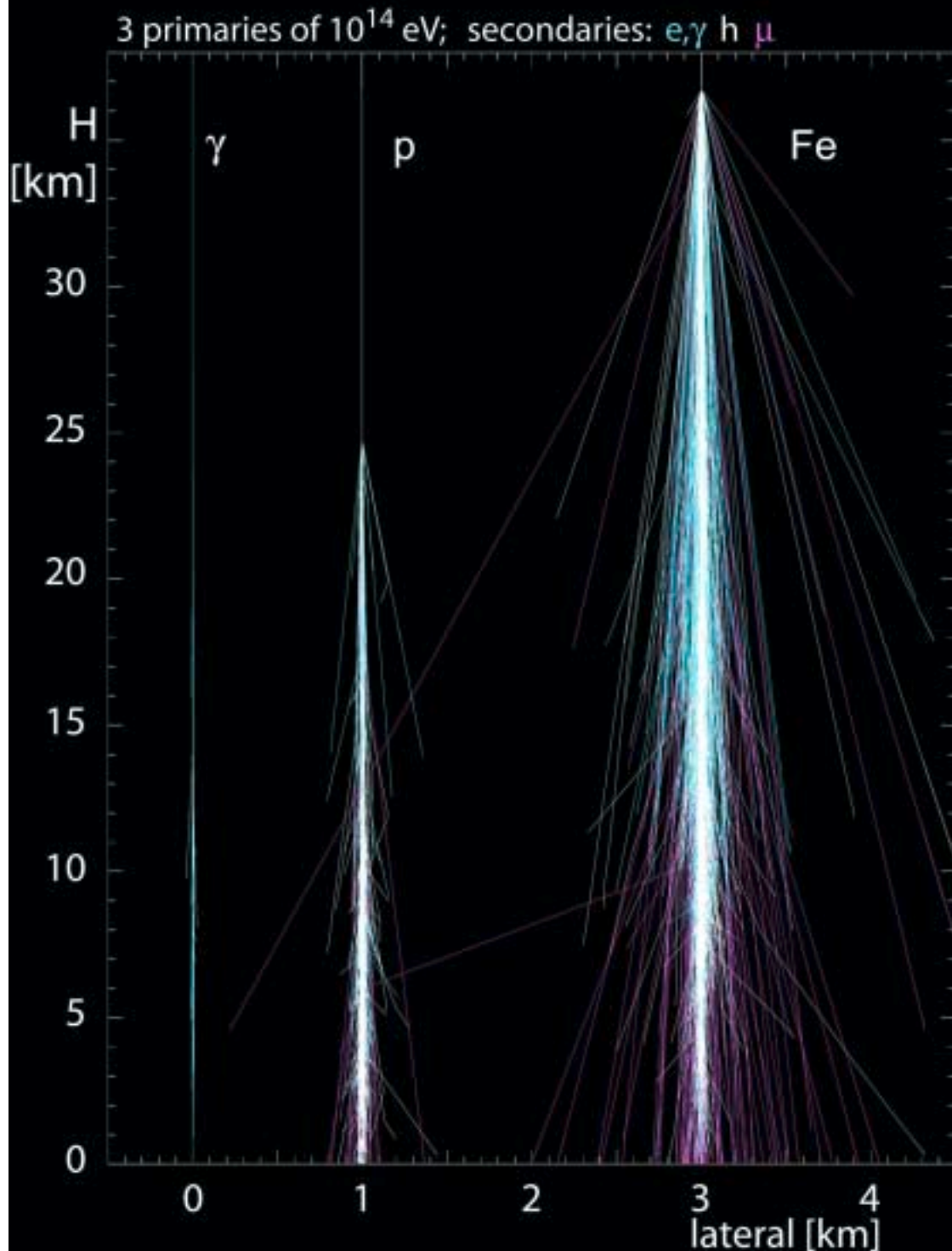
**AGN-Jets**  
**Zerfälle ultraschwerer Teilchen**  
**Vernichtung von SUSY's**

...



Teilchenart  
Energiespektrum  
Räumliche Verteilung





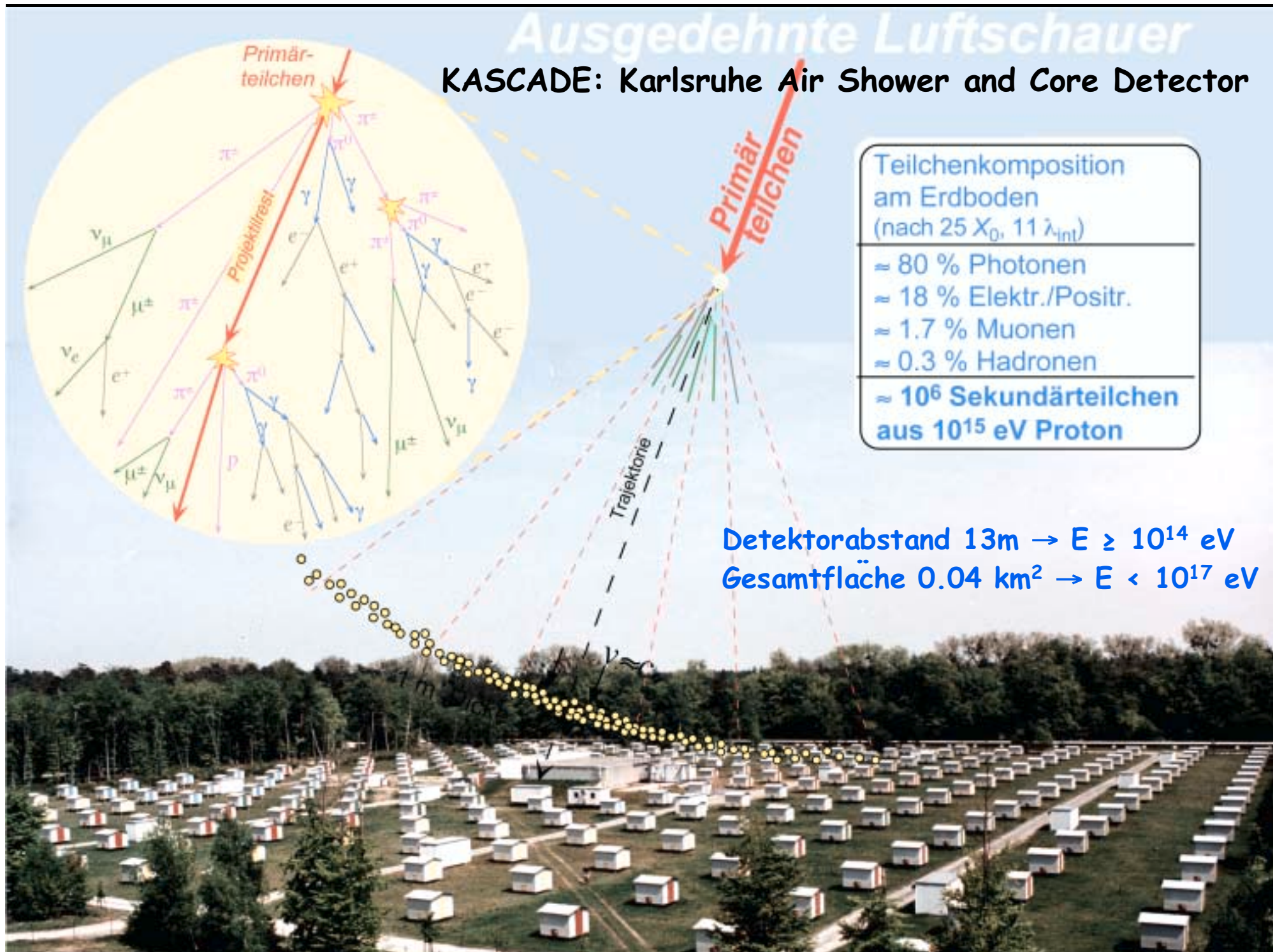
## Bemerkungen

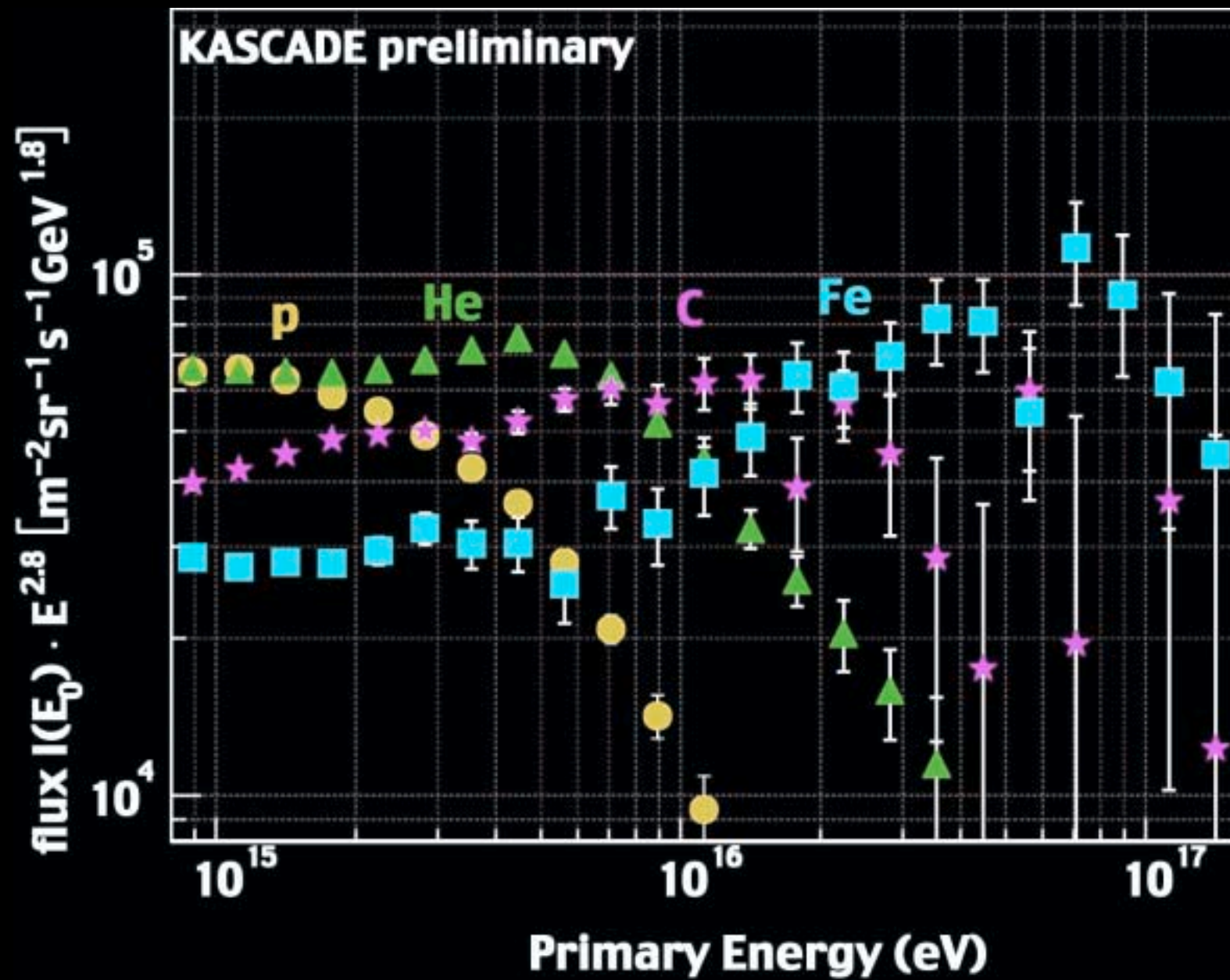
- Informationsmangel für Detektoren am Erdboden...
- Masse des Primärteilchens:
  - Höhe der ersten Wechselwirkung
  - Lage des Schauersmaximum
- $e, \gamma / \mu \Leftrightarrow A$



# Ausgedehnte Luftschauder

## KASCADE: Karlsruhe Air Shower and Core Detector

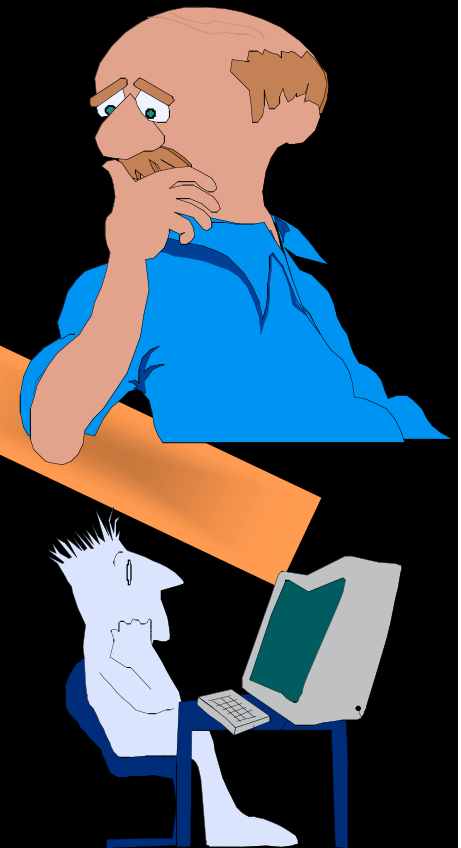
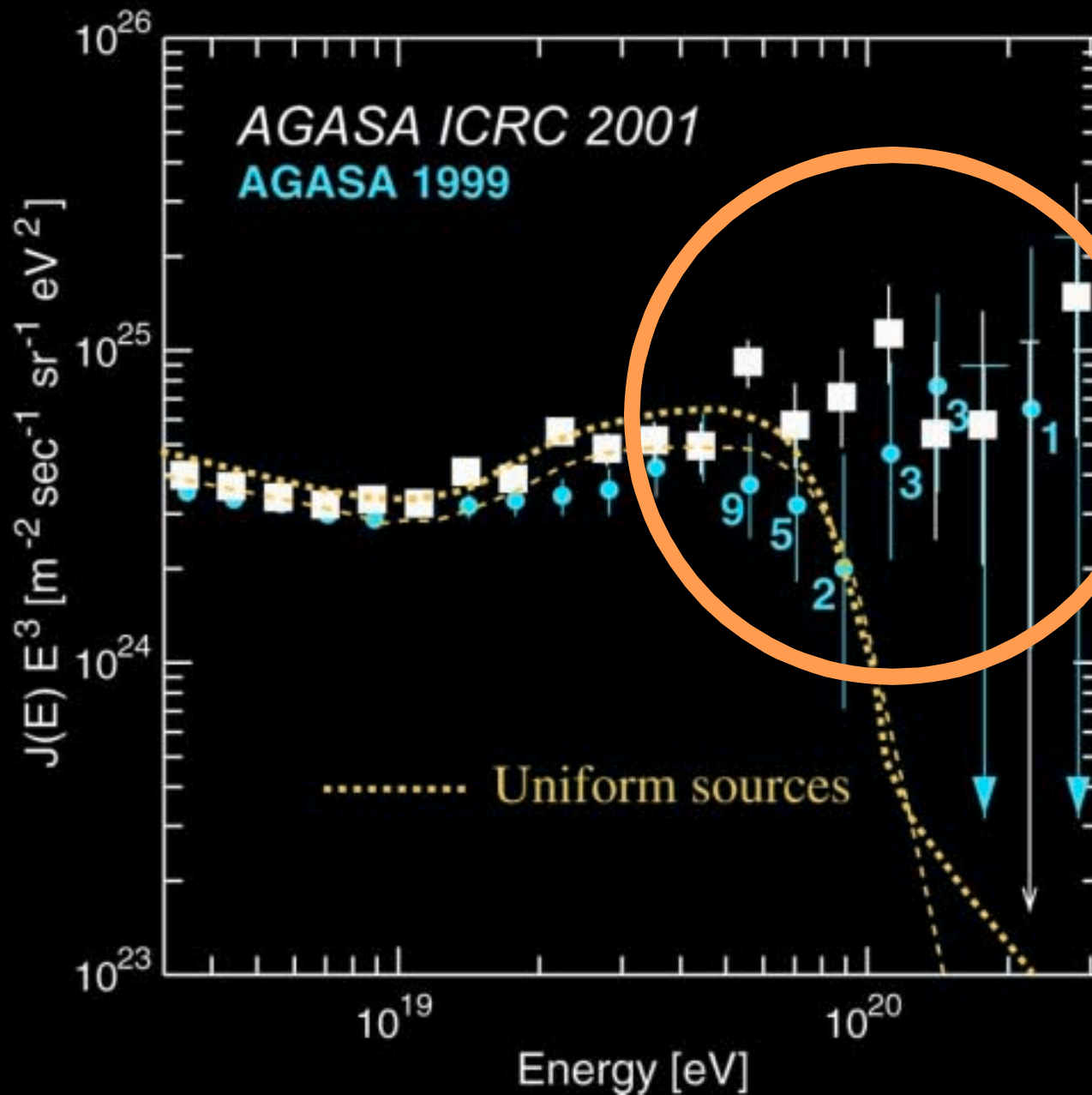






# Die höchsten Energien

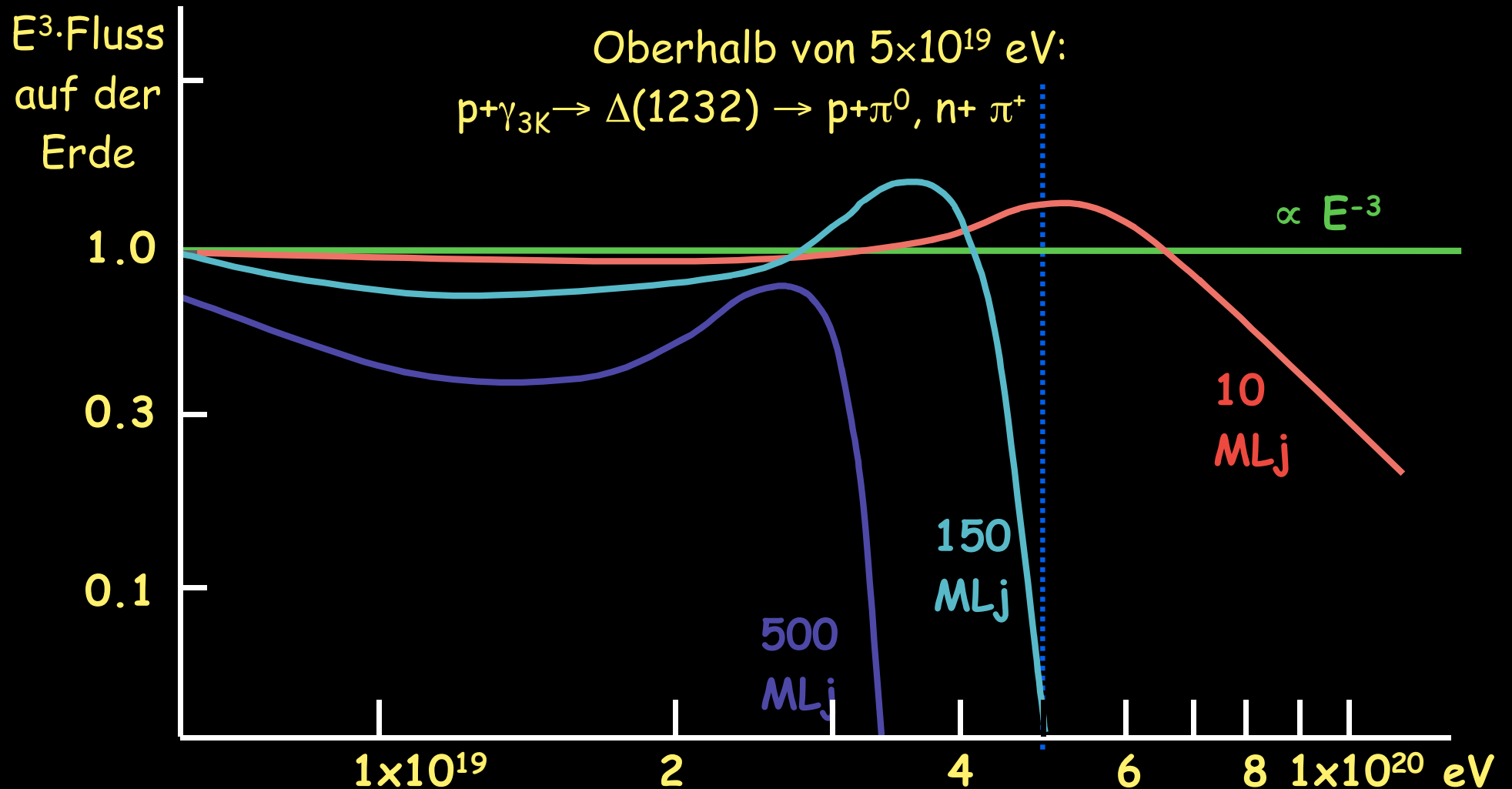
„KASCADE  $\times 100\,000$ “



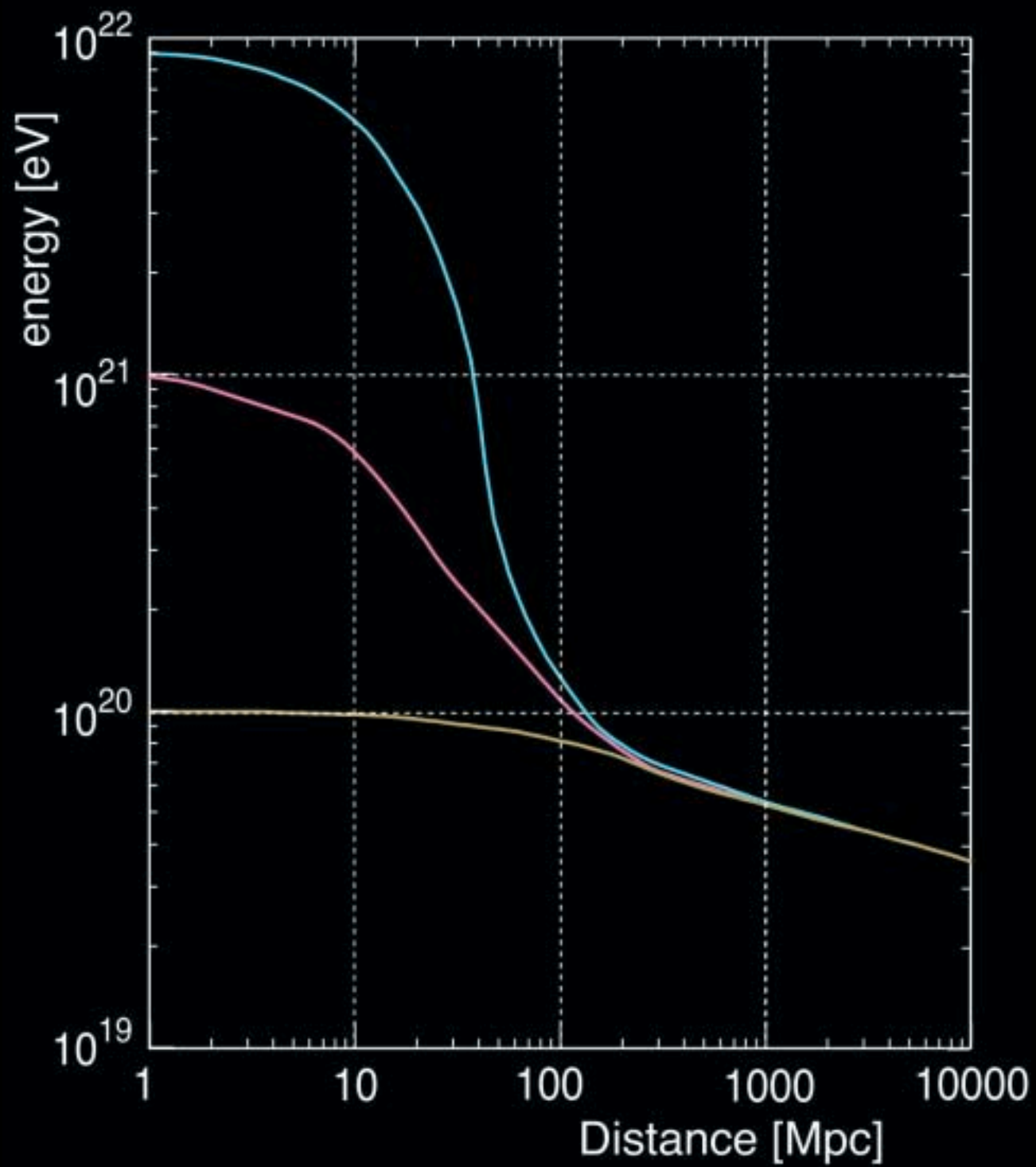
# GZK: Greisen-Zatsepin-Kuz'min-Effekt

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

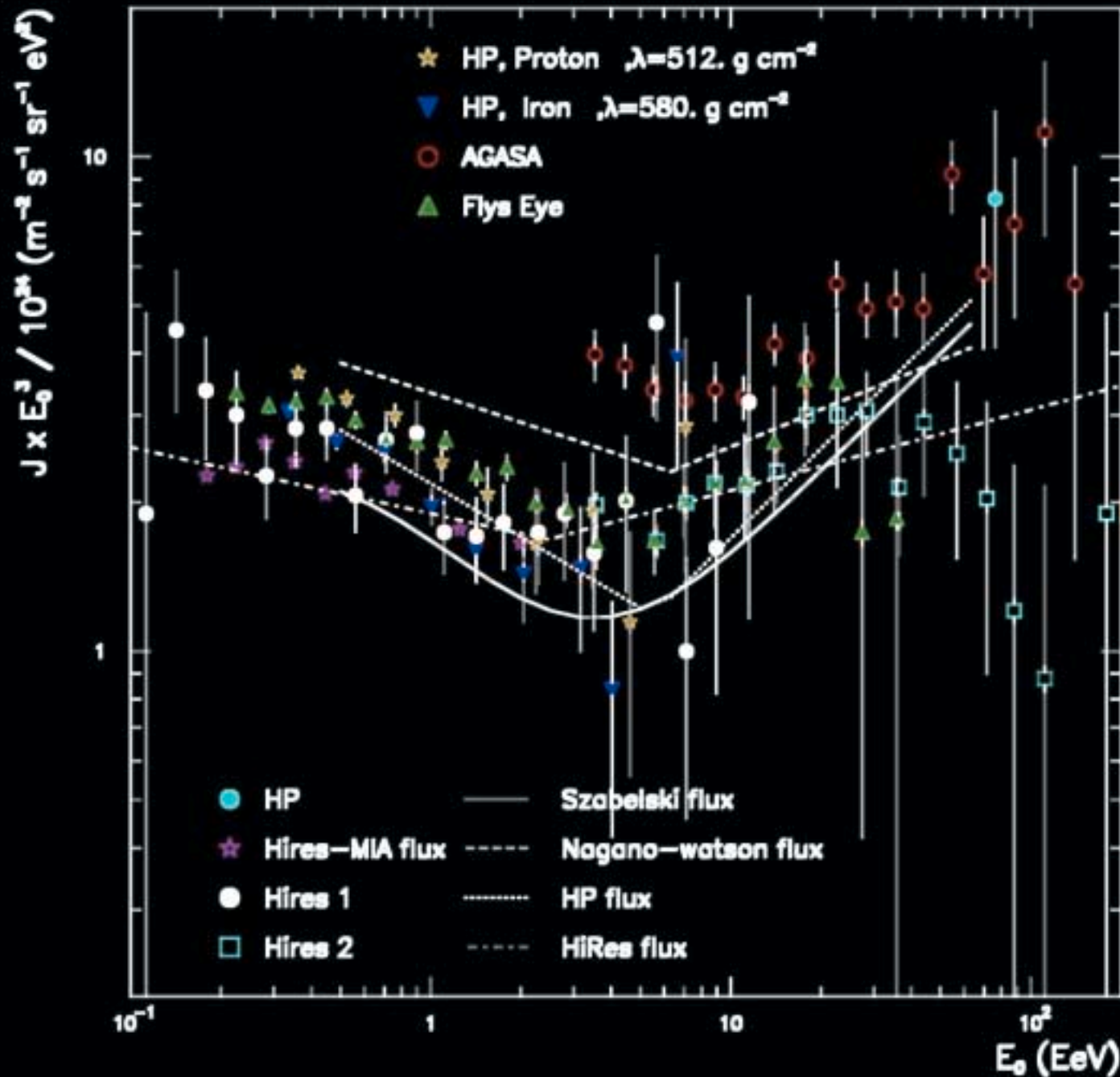
Streuung mit Photonen der 3K-Hintergrundstrahlung (meV)







# HiRES ./. AGASA @ ICRC 2001

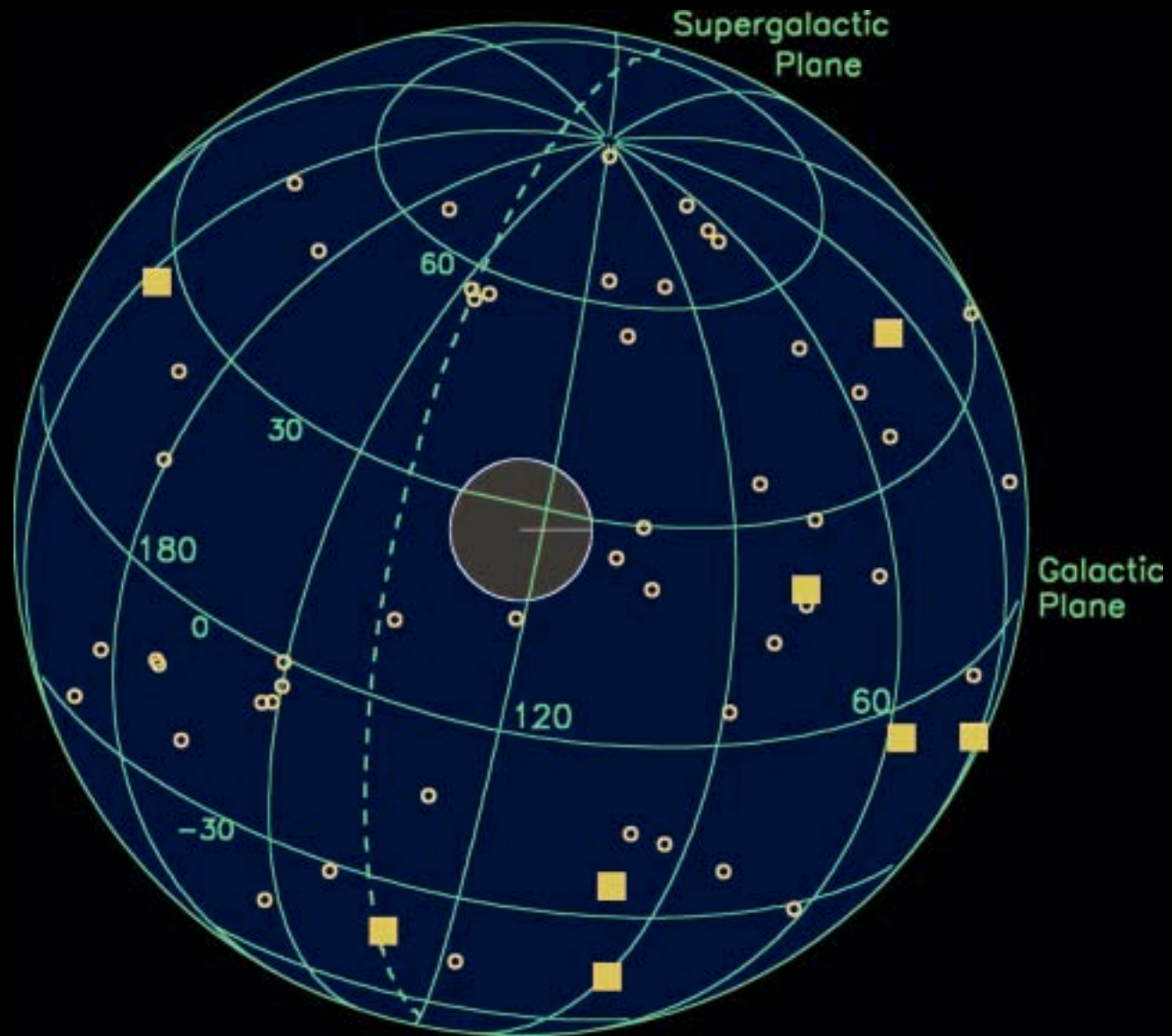




AGASA 2001

○ 40-100 EeV

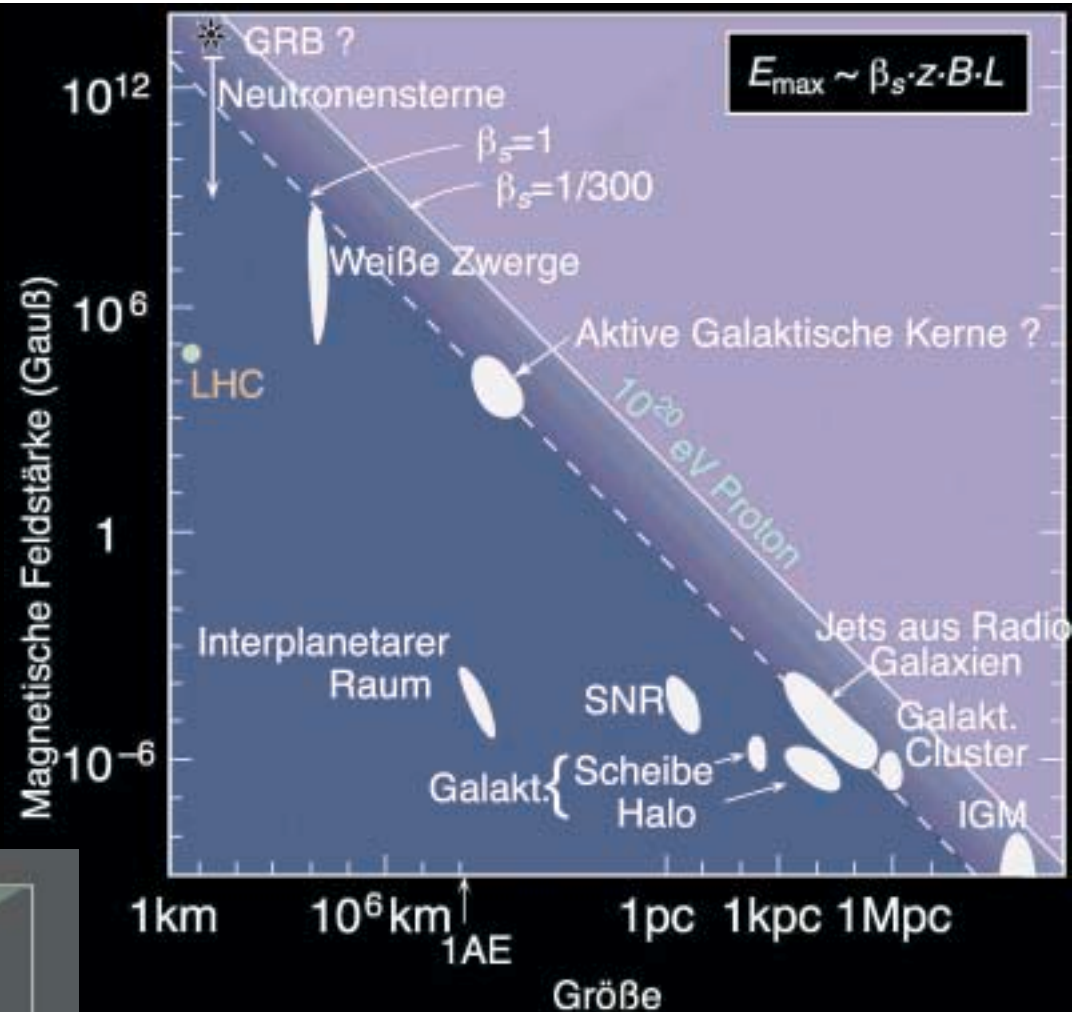
■ >100 EeV



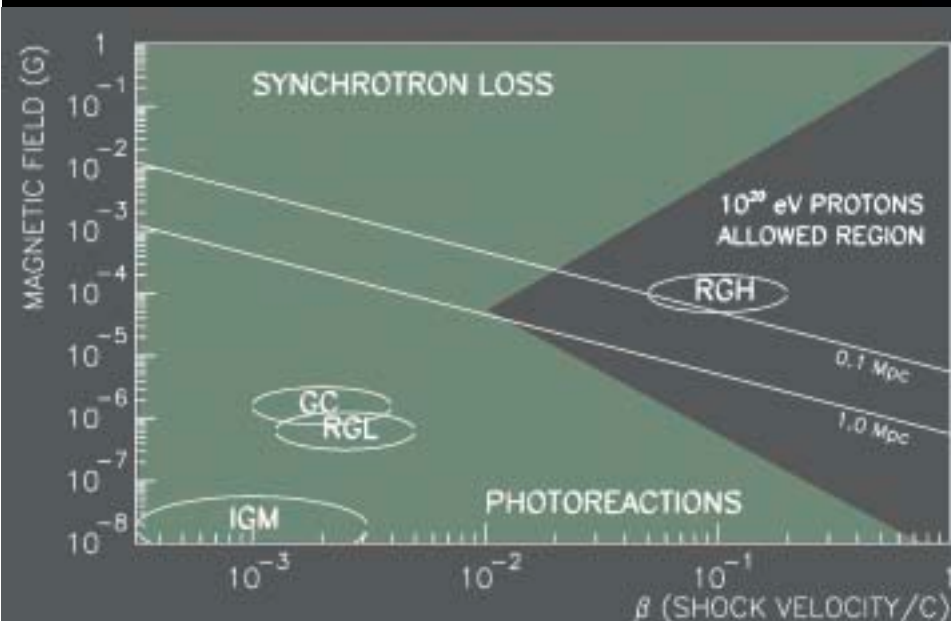
# Mögliche Quellen der kosmischen Strahlung?

Analogie zu unseren terrestrischen Beschleunigern:

- Magnetfeld
- Ausdehnung
- Ladung der Teilchen



Keine überzeugenden Kandidaten, schon gar nicht in der Nähe





# Kollidierende Galaxien

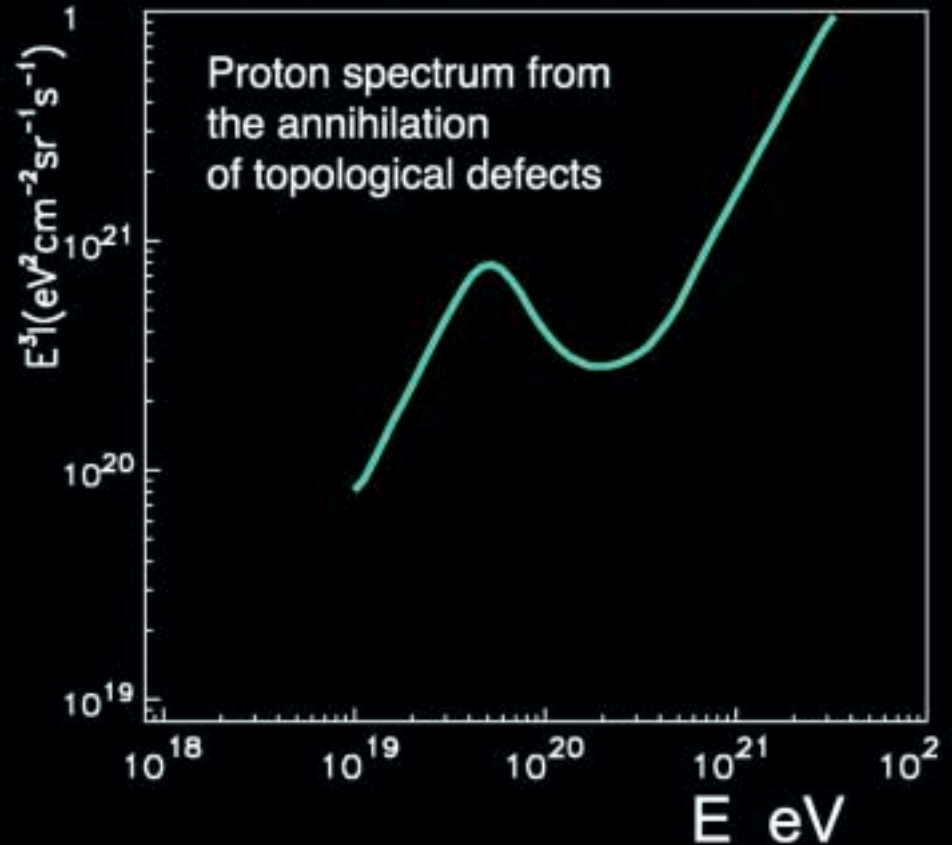


**Colliding Galaxies NGC 4038 and NGC 4039**  
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

# „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 Luftschauer ???
- Teilchen sind Neutrinos?
  - Weiler-Prozess  $\bar{\nu}\nu \rightarrow Z^0 \rightarrow UHEKS$ 
    - Löst das Transportproblem, erfordert aber dichte Neutrinowolken...

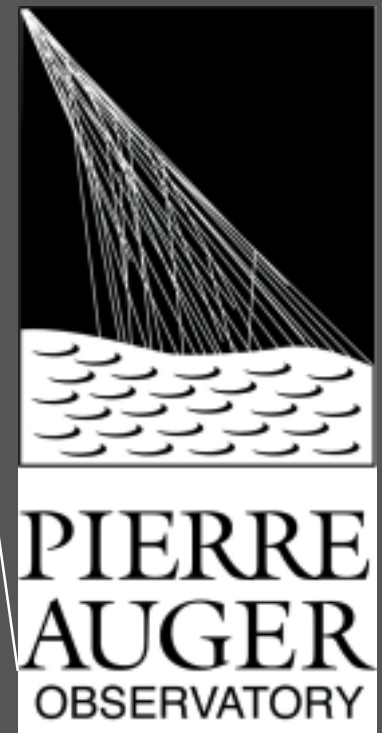




# Die wichtigen Fragen...

- 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:



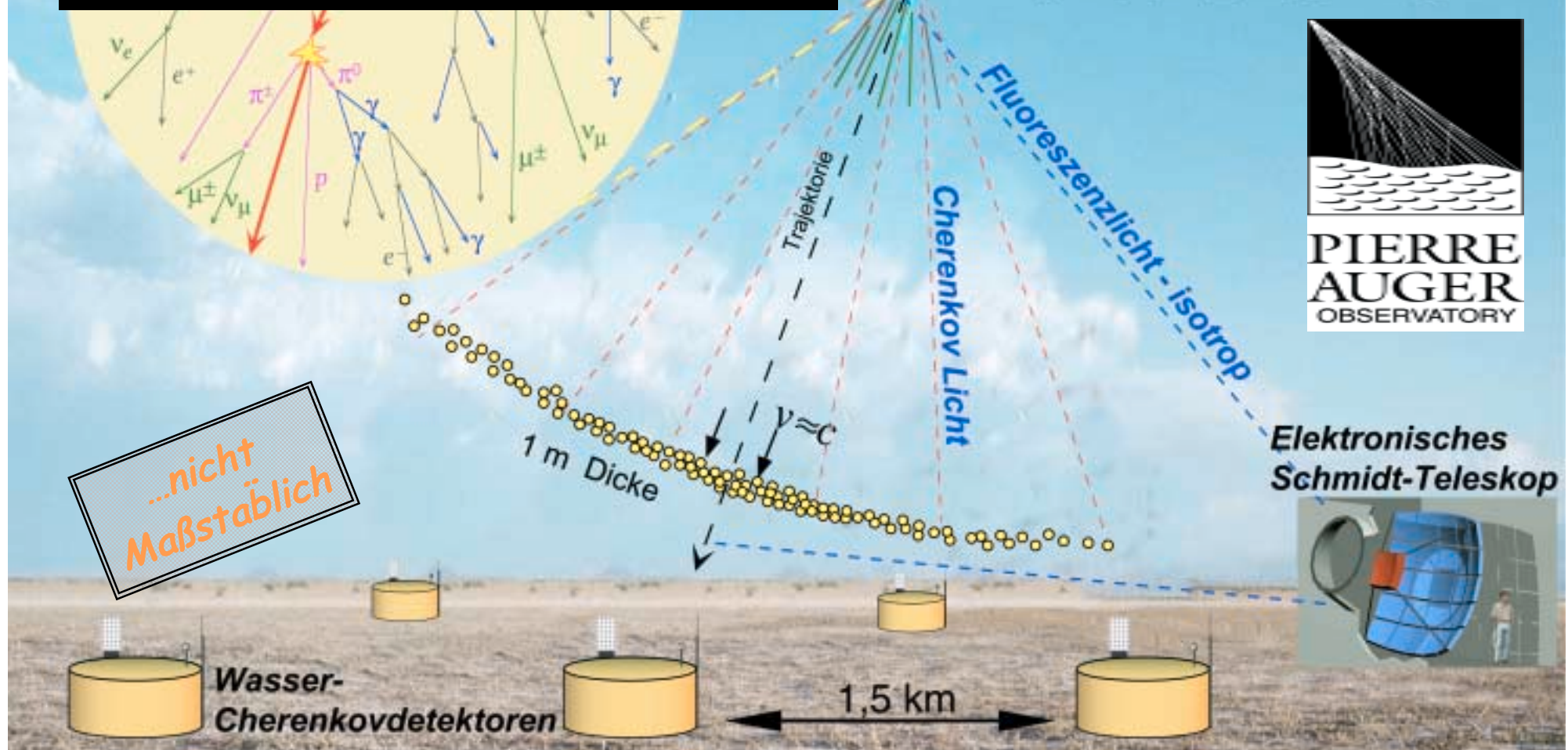
# Ausgedehnte Luftschauder

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

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



...nicht  
Maßstäblich





# Argentinien...

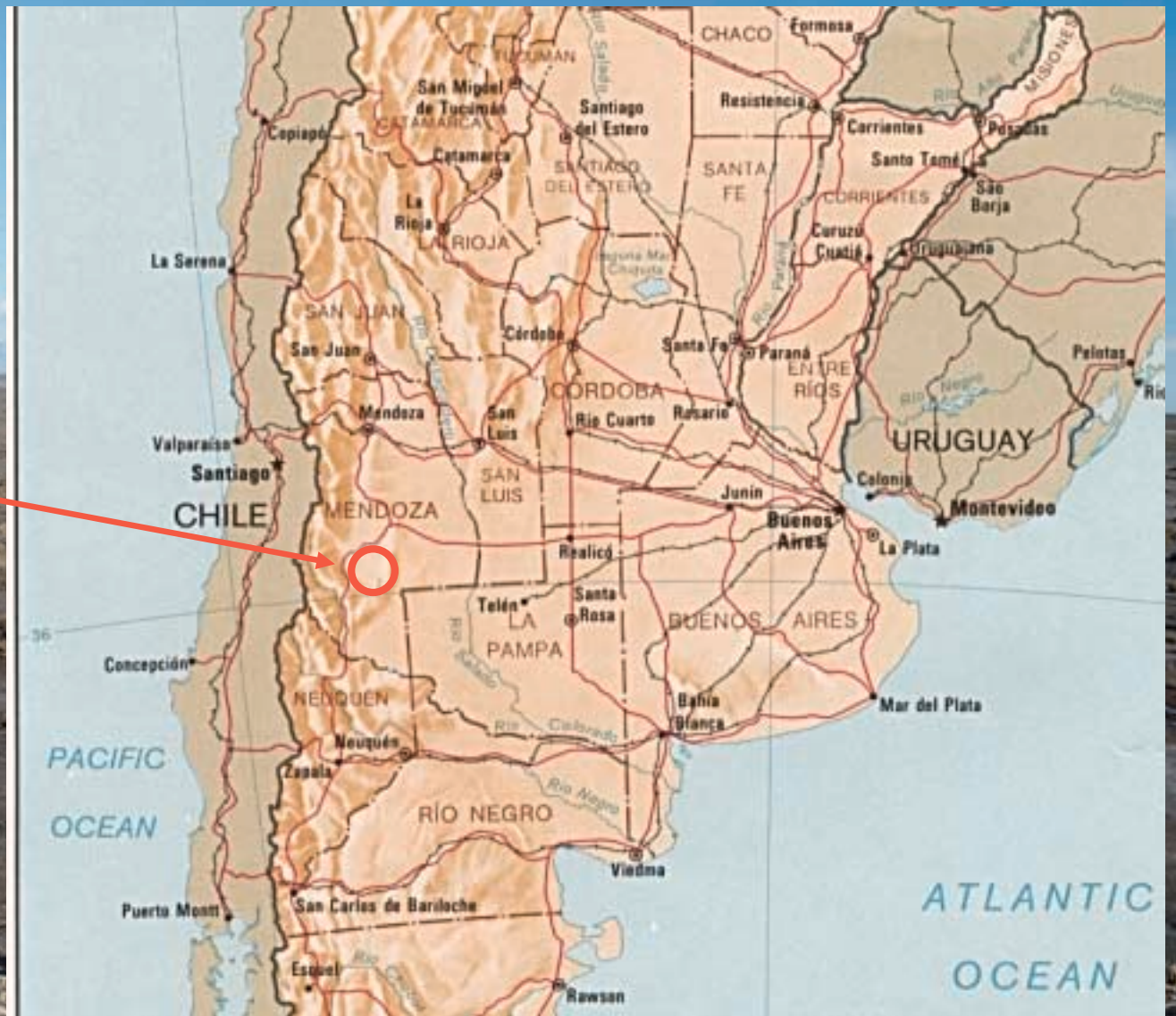
Mendoza

El Nihuil

Pampa Amarilla

San Rafael -

Malargüe



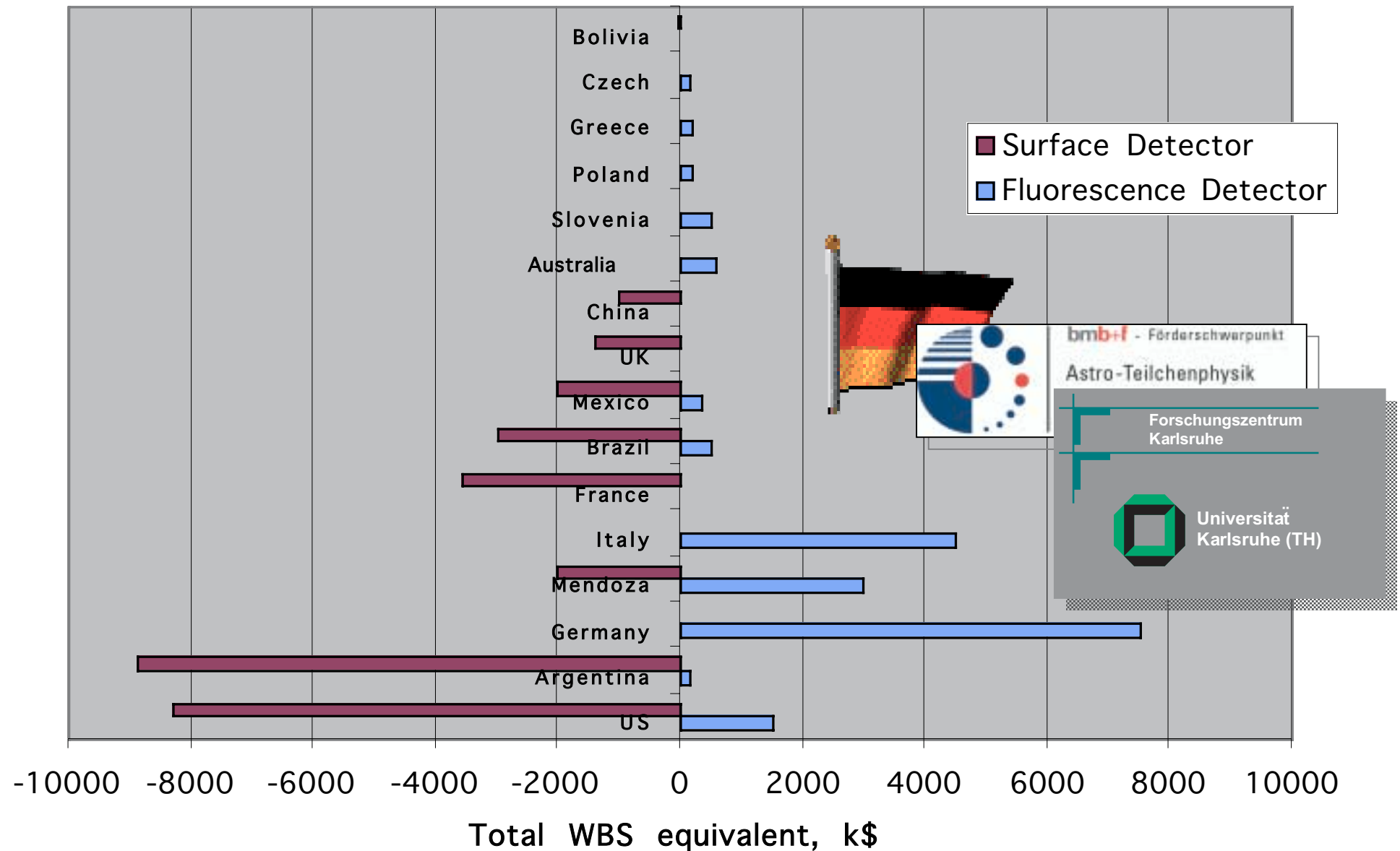
3000 km<sup>2</sup> flaches, unbesiedeltes Land  
Infrastruktur am Rande

Klarer, dunkler Nachthimmel  
Unterstützung durch Sitzland



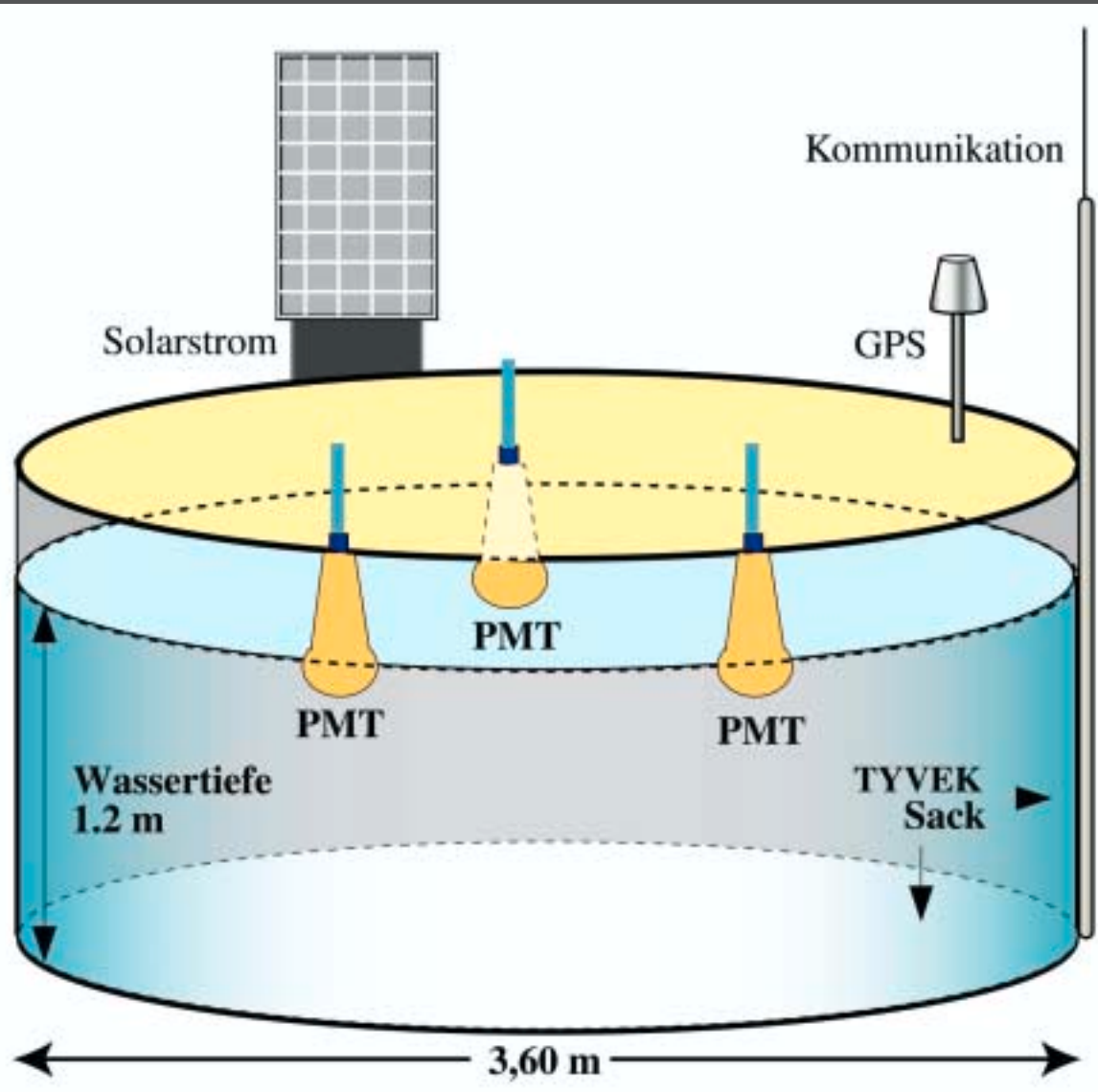


# Country Contributions



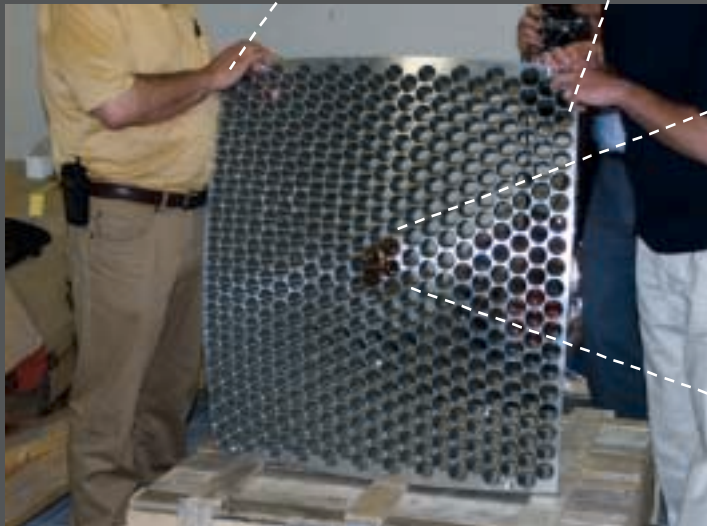
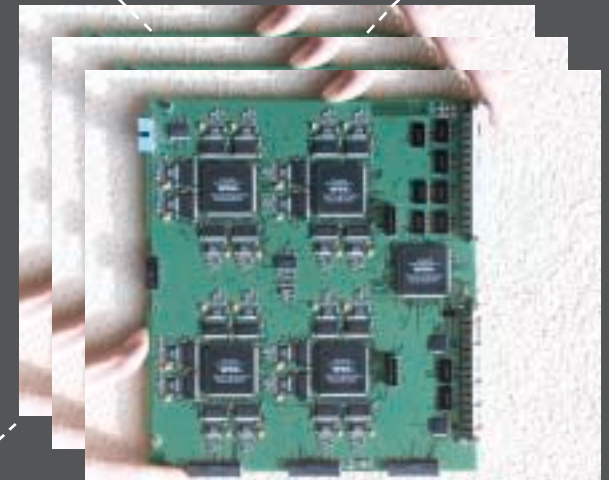
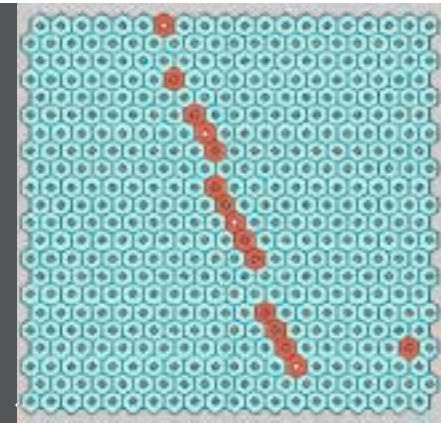
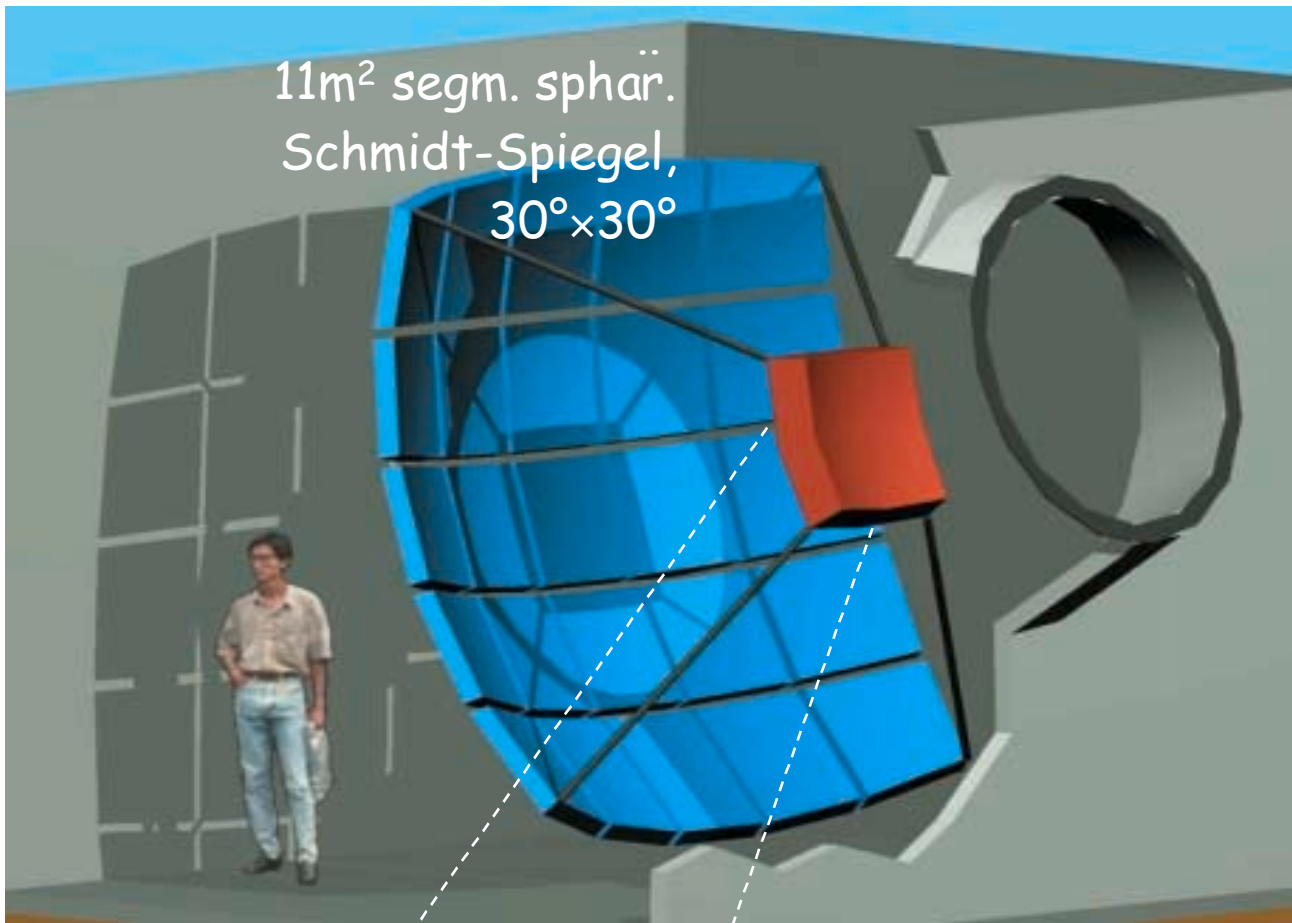


# Schauerdetektoren (SD): 1600 Wassertanks auf 1.5 km Hex-Gitter



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

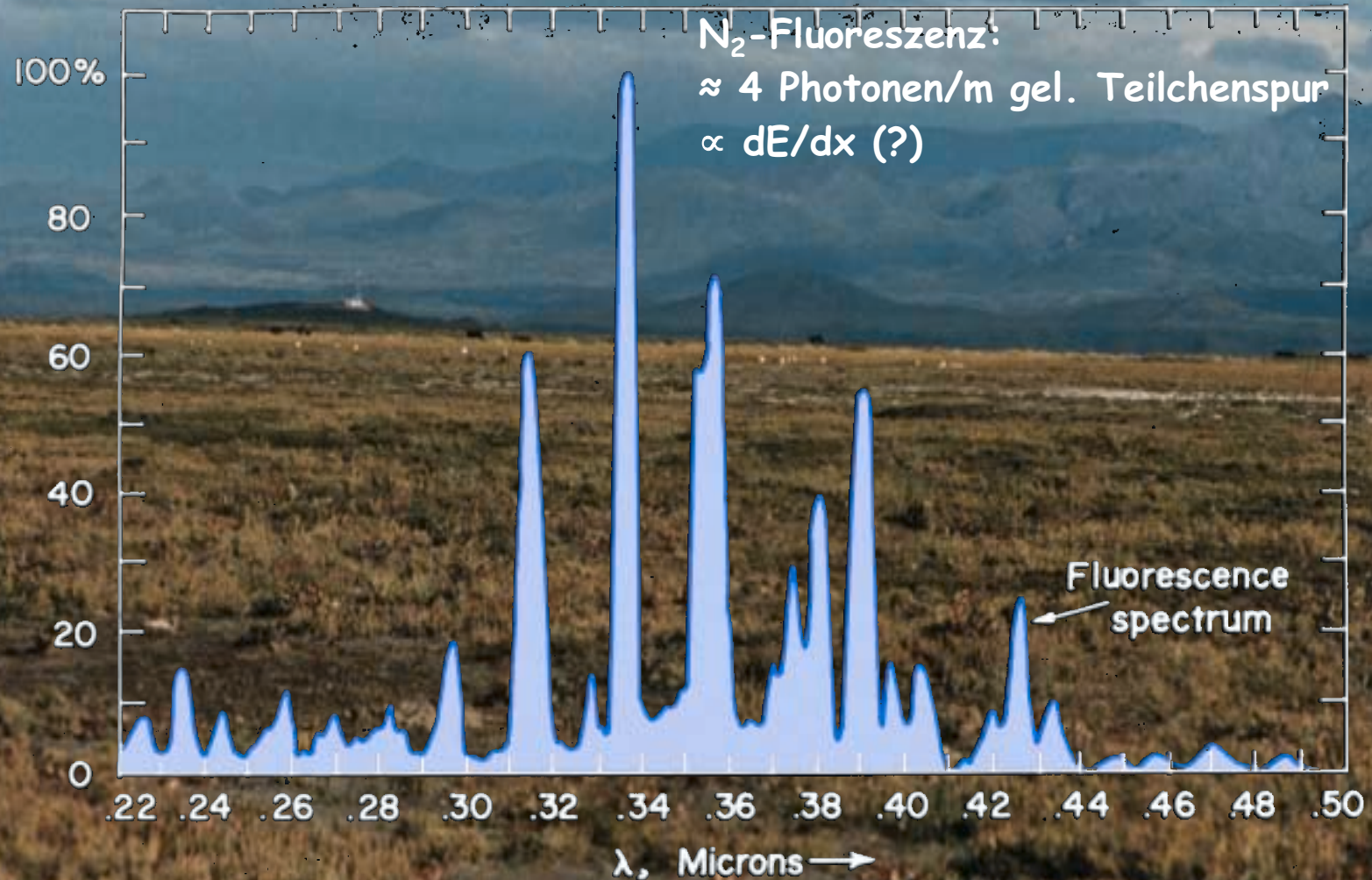
11m<sup>2</sup> segm. sphär.  
Schmidt-Spiegel,  
30°×30°



**+CORSIKA:**  
**C**osmic **R**ay  
**S**imulation  
for **K**ASCADE  
and **A**uger



# 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%)

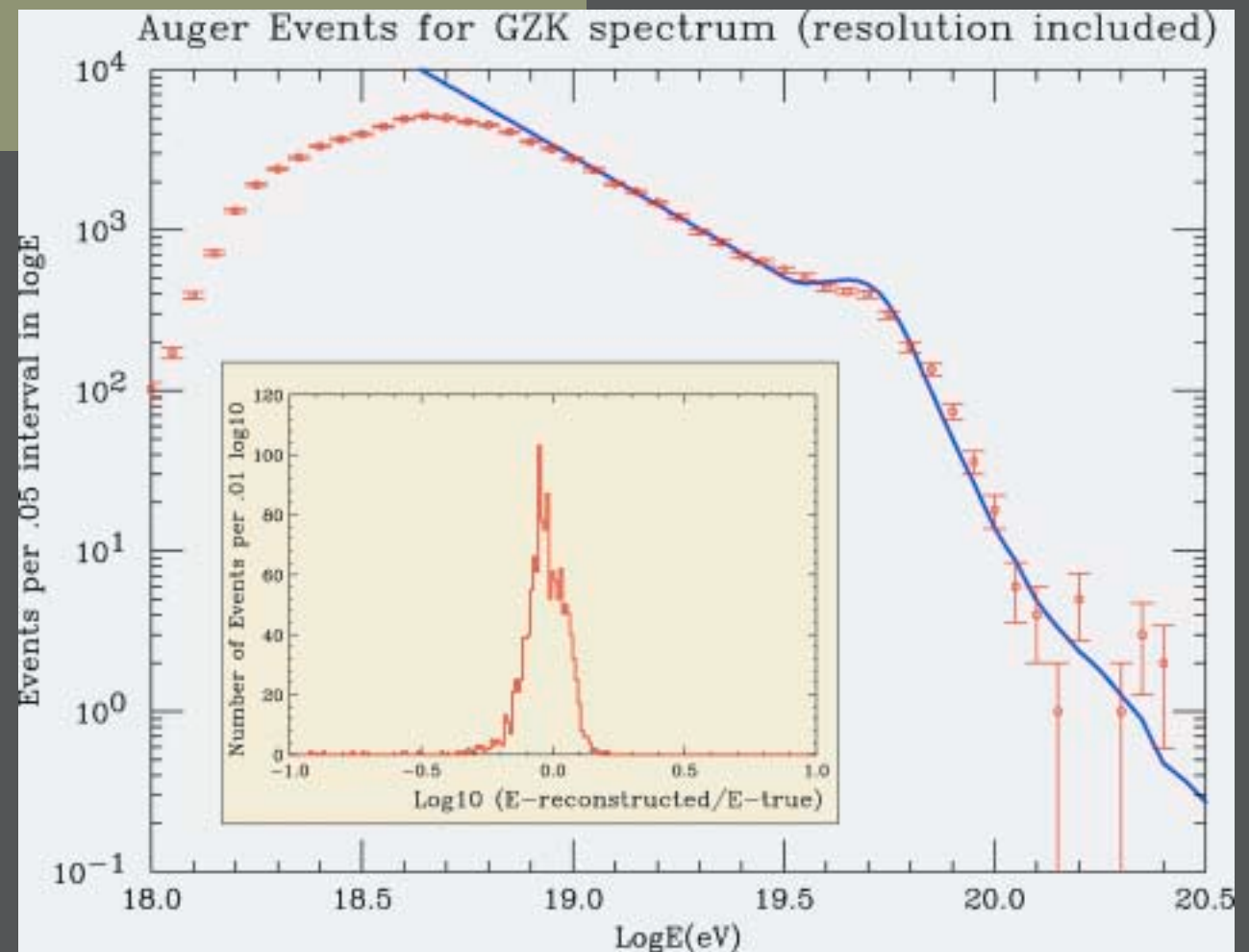
$E > 10^{19} \text{ eV}$  5000

$E > 5 \cdot 10^{19} \text{ eV}$  490

$E > 10^{20} \text{ eV}$  100

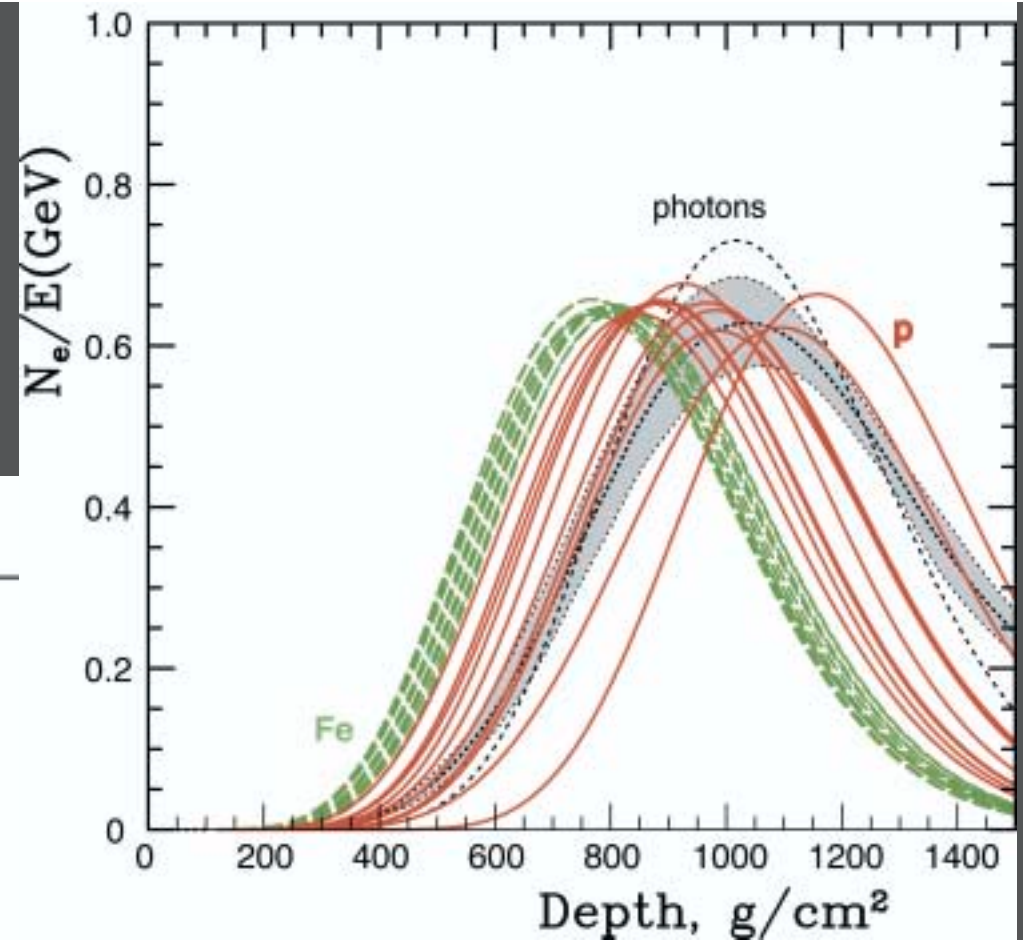
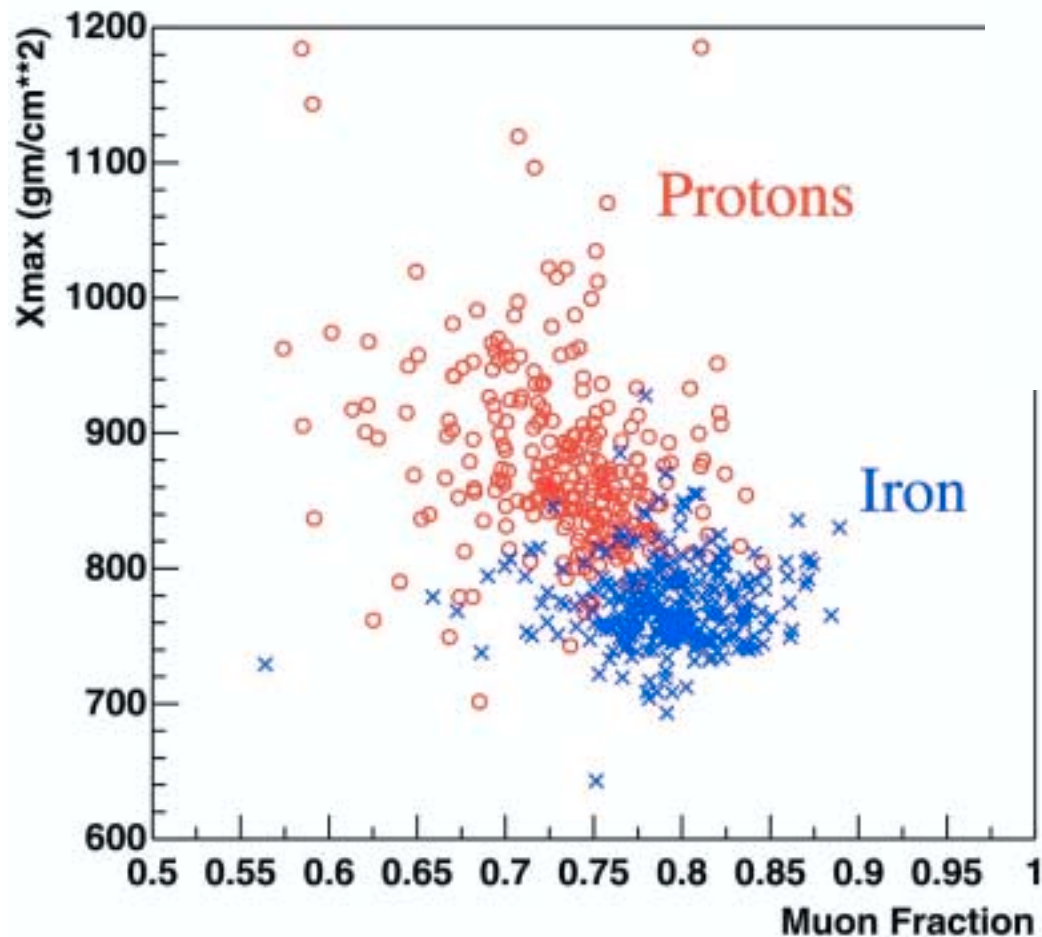
$E > 5 \cdot 10^{20} \text{ eV}$  10

Physikerwartungen:  
Statistik, Energiemessung  
und Spektrum



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

FD



+ Neutrinos !

SD

# Los Leones mit Kommunikationsturm





# Los Leones vom Turm







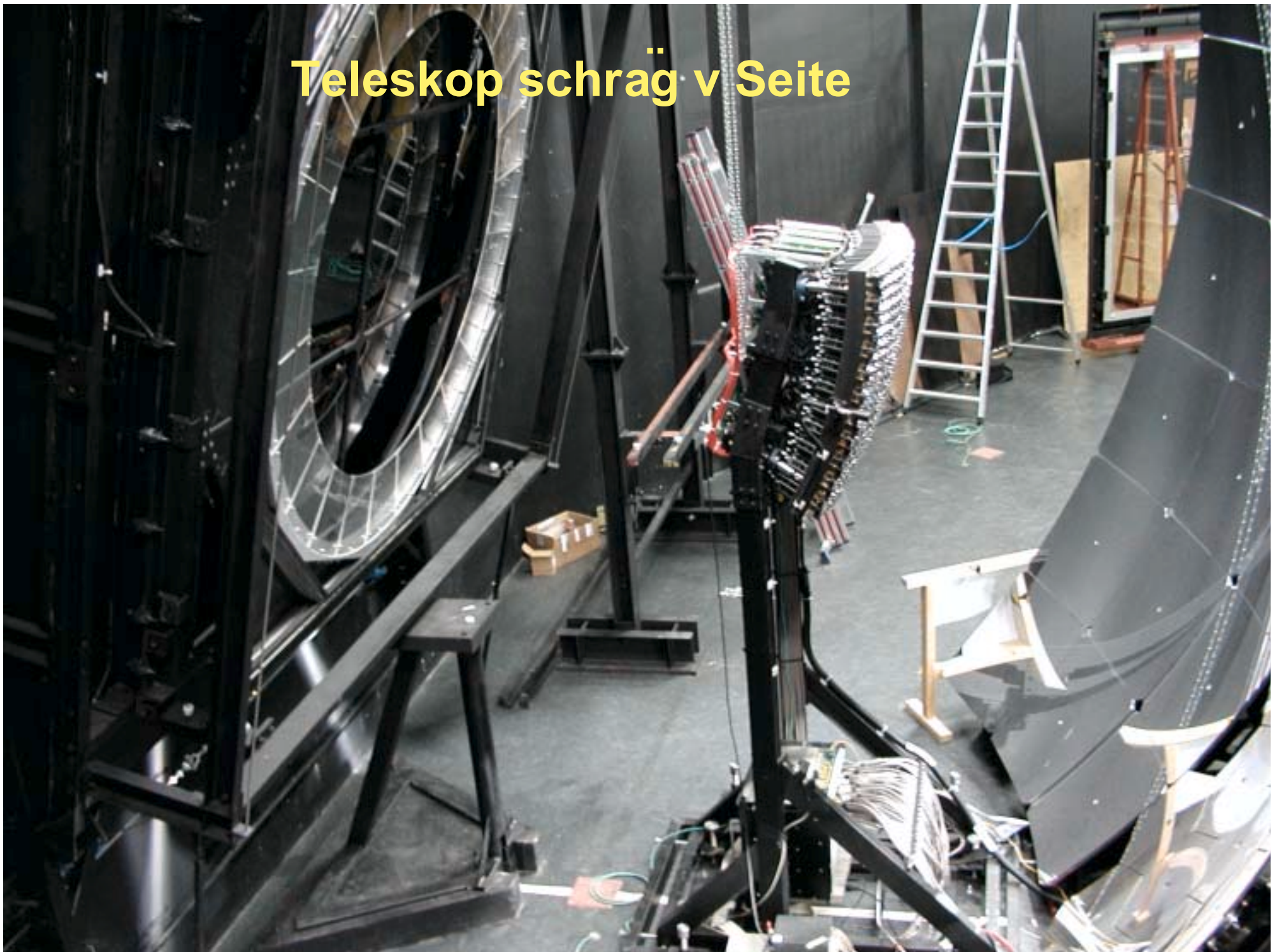


# Priscilla im Wasser





# Teleskop schräg v Seite





PROYECTO PIERRE AUGER

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

El cerebro funciona

EDUARDO CASTO  
corresponsal

Ya está funcionando el Observatorio Pierre Auger, una moderna instalación dotada de tecnología de punta que permitirá la investigación de la física de la energía y de su interacción con la materia.

Ayer, con la presencia del gobernador y el ministro de Obras, el presidente del Observatorio, el doctor Alberto Echagüe, dio el primer golpe de pico.

En un predio de 300 hectáreas, en el municipio de Turis, a una distancia de 100 km de la ciudad, se está construyendo la infraestructura necesaria para la observación de rayos cósmicos de ultra alta energía.

Esta observación se realiza mediante una red de detectores que captan la luz fluorescente producida por la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera.



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

ronin, prem

en, premio Nobel. Su figura se ha convertido en un símbolo de la ciencia. Fue una gran deportista con mucha capacidad de trabajo. Cronista, periodista, Alex abrió un camino para un deporte más profesional aquí en Malargüe.

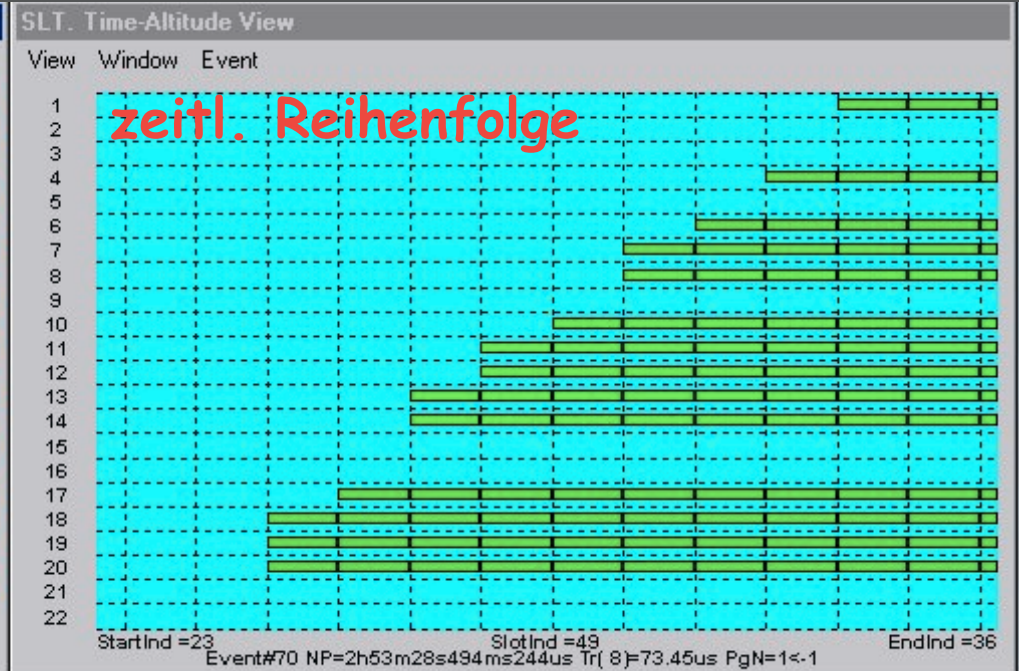
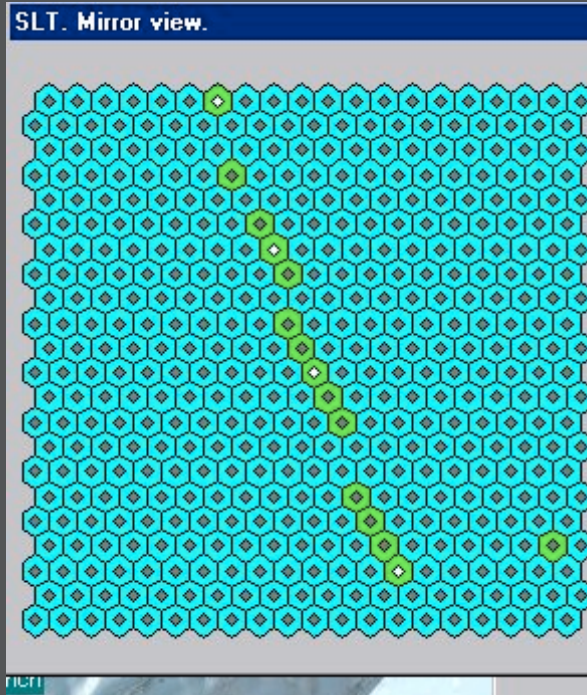
Anterior, también en instrumentos científicos, los habitantes de Malargüe ya habían sido protagonistas de eventos importantes. En el primer campeonato de observación de rayos cósmicos, se dio a conocer la importancia de observar los rayos cósmicos de ultra alta energía.



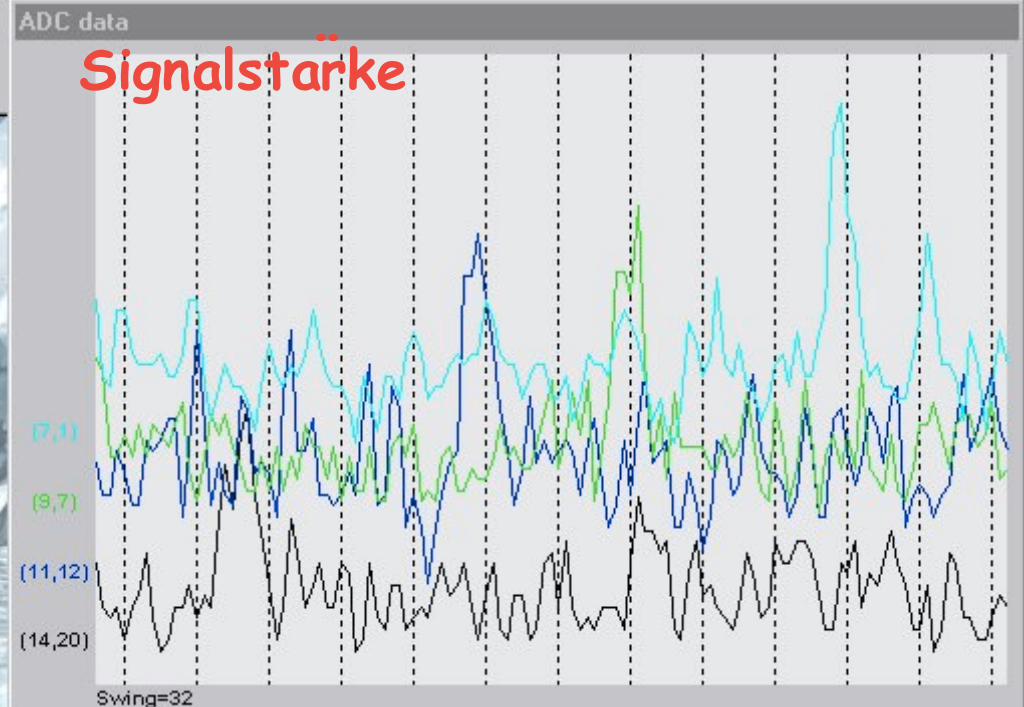


## Kamerabild

# „Erstes Licht“ im FD

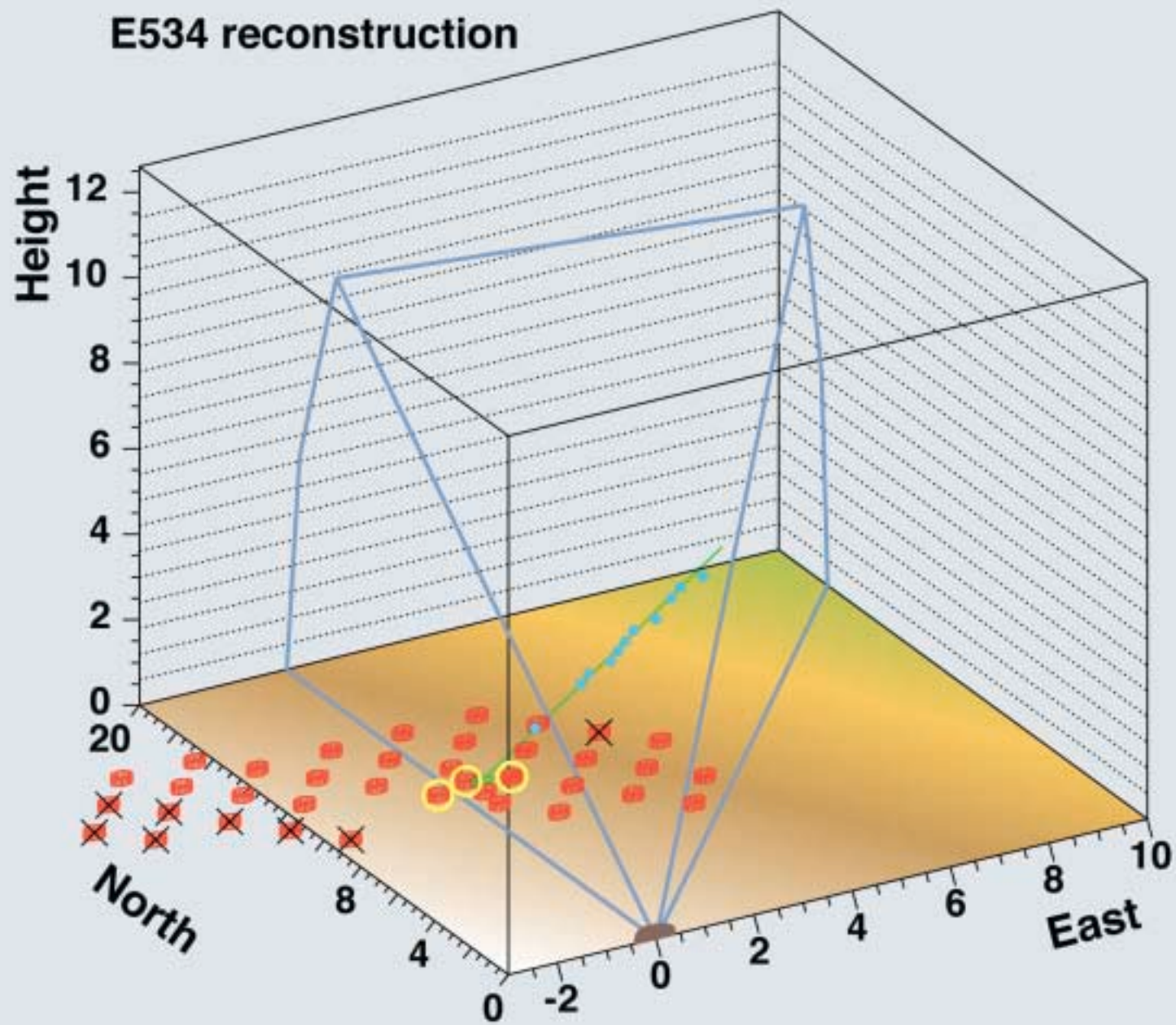


- 23. Mai 2001: "erstes Licht" im Fluoreszenz-detektor
- Leuchts Spuren kosmischer Teilchen nachgewiesen
- Optik und Elektronik arbeiten wie erwartet



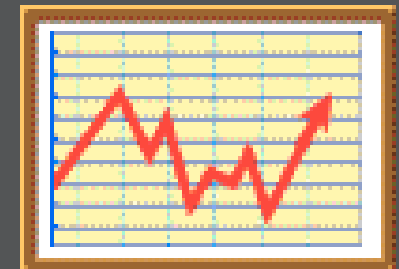


## E534 reconstruction

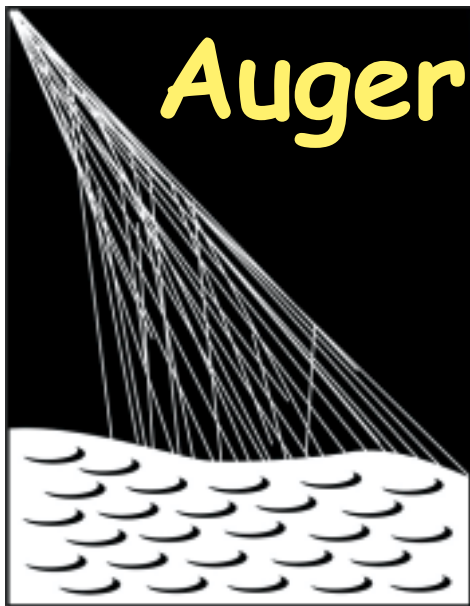


# Die aktuelle Situation...

- 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”







PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

# 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 antarktischen Eis; in Betrieb/beginnend

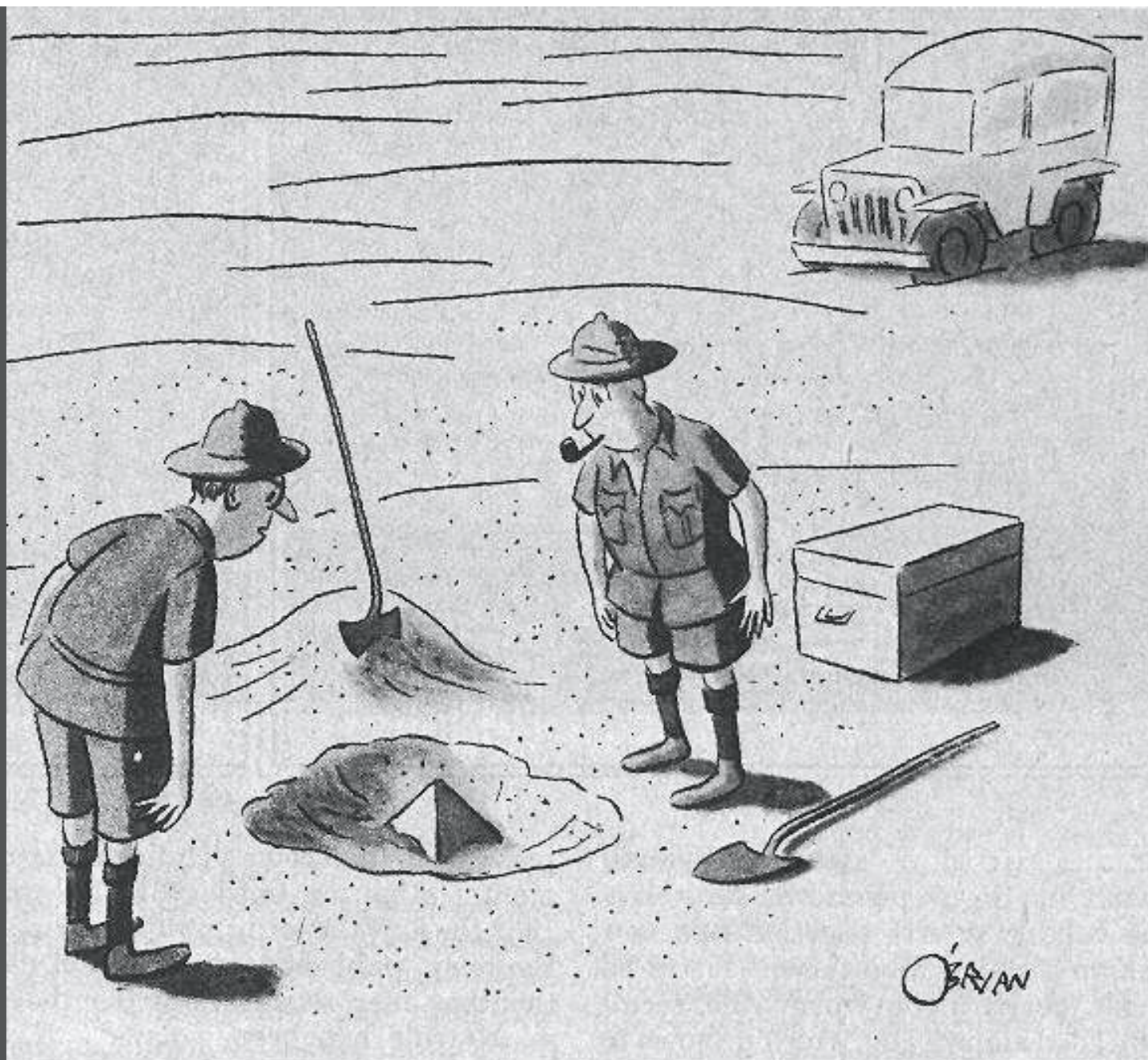
**ANTARES, NESTOR, NEMO**

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

**Teilchenphysik**

**Astrophysik**

**Dunkle Materie**

**Neutrinomasse**

**Kosmische  
Strahlung**

**Atmosphärische  
Neutrinos**

**VHE Gamma-  
Astronomie**

**Solare Neutrinos**



**Gravitationswellen**