

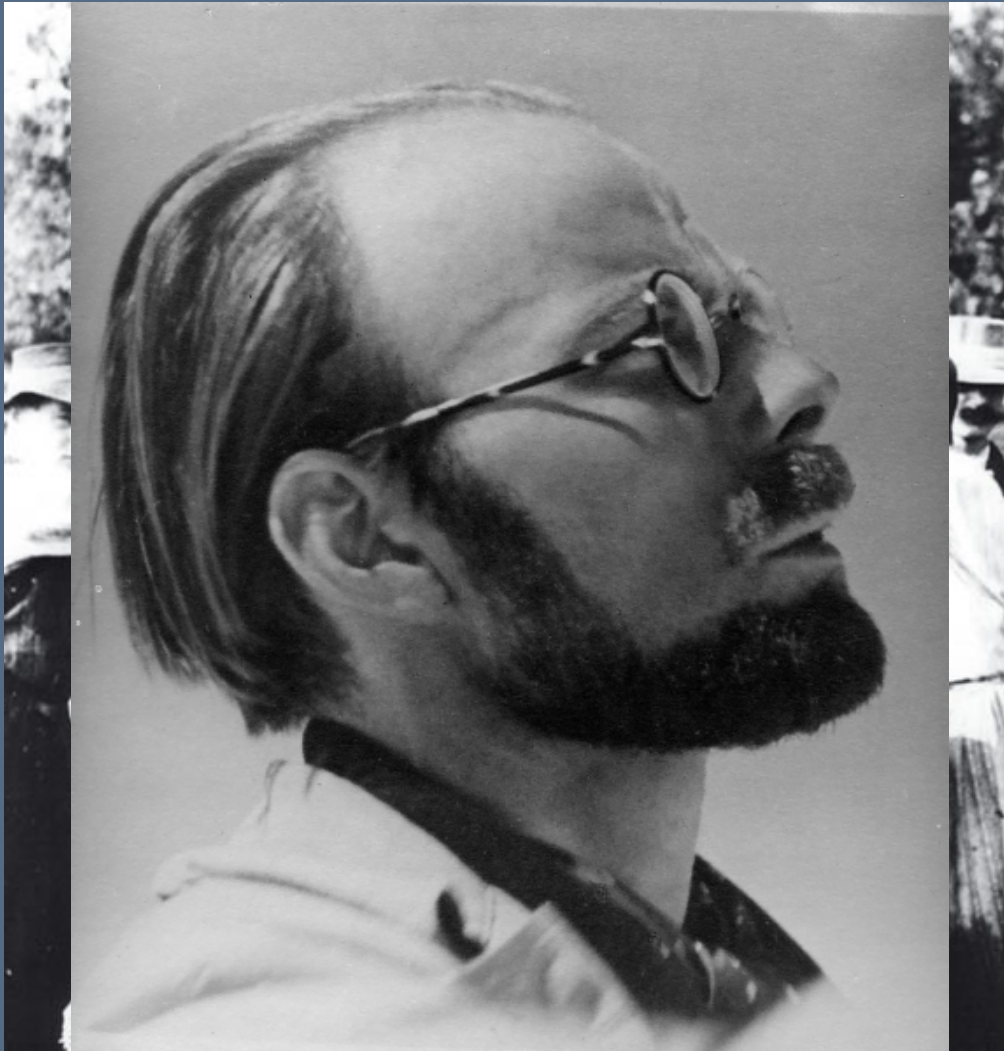
Kosmische Strahlung – Teilchen aus den Tiefen des Weltraums

Prof. Dr. Ulrich Katz

Erlangen Centre for Astroparticle Physics

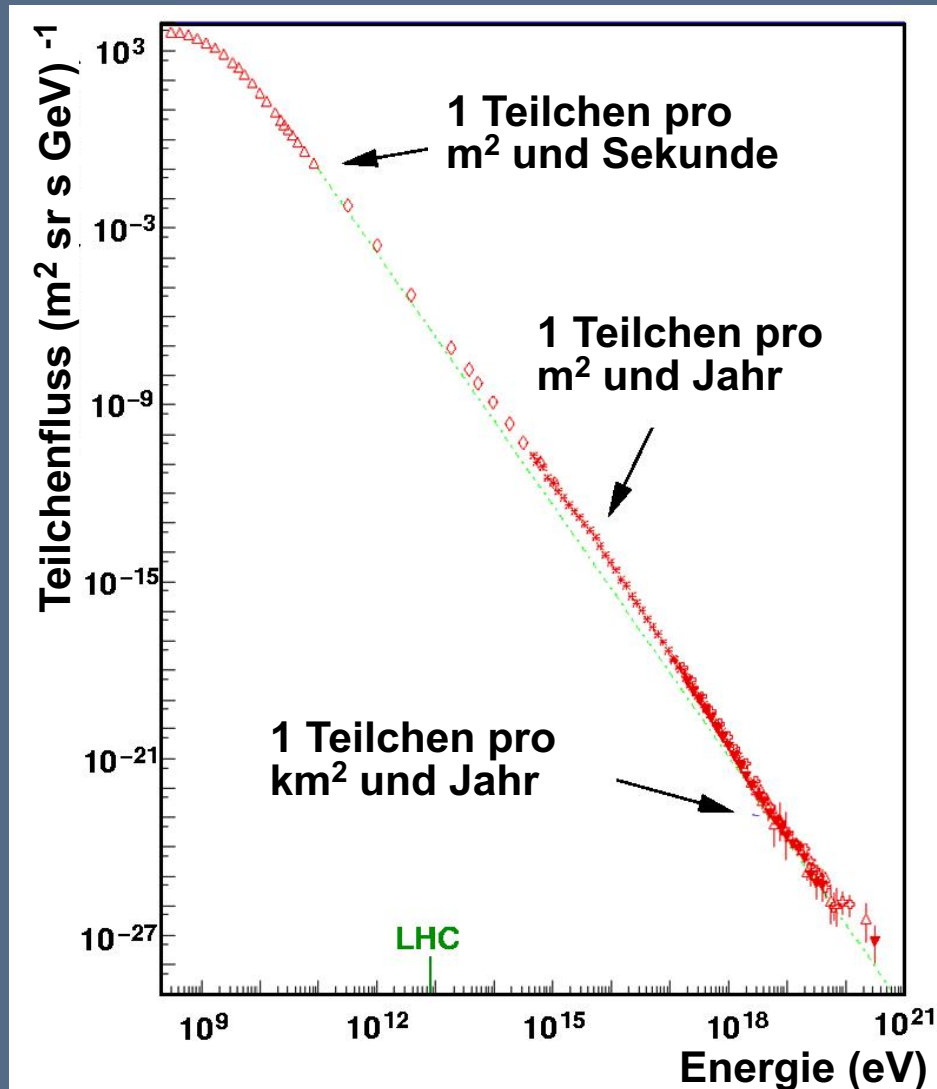
16. Juli 2009

Kosmische Strahlung: wie alles anfang



- 1912: Victor Hess entdeckt ionisierende Strahlung aus dem Weltraum
- 1938: Pierre Auger zeigt, dass die Teilchen der kosmischen Strahlung immense Energie haben
 $1.000.000.000.000.000 \text{ eV} = 10^{15} \text{ eV} = 100 \text{ mal LHC} !$

70 Jahre später wissen wir mehr ...



- Protonen und Atomkerne aus dem Weltall haben Energien bis 10^{21} eV
- Davon aber nur einige pro km^2 und Jahrhundert!
- (Ein Tennisball-Aufschlag vereint Atomkern! (Ein Tennisball hat 10^{23} davon ...))



... aber bei Weitem nicht alles!

- Wie und wo werden diese Teilchen im Universum beschleunigt?
- Was verraten sie uns über ihre Quellen?
- Was verraten sie uns über Teilchenphysik bei Energien, die wir an Beschleunigern nie erreichen werden?

Wir wissen es nicht!

Kosmische Botenteilchen

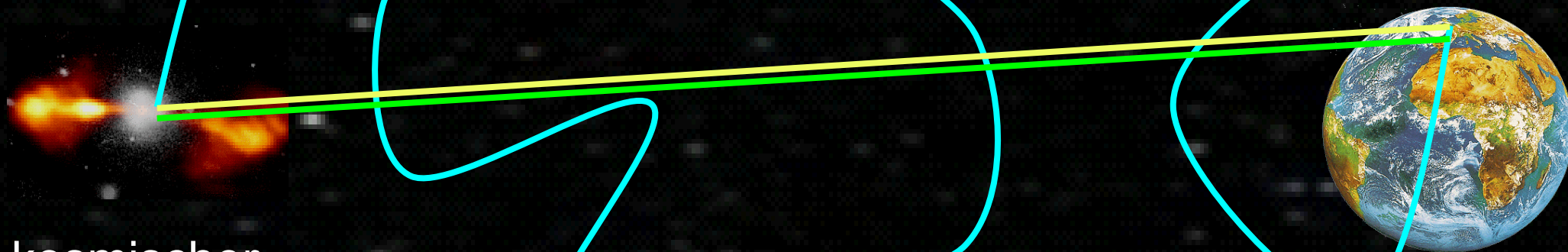
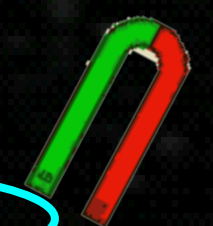
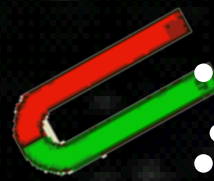
kosmischer
Beschleuniger

Elektromagnetische Strahlung:

- Radiowellen, Licht, Röntgen- und Gammastrahlung
- keine Ablenkung oder Absorption
- entkommen aus dichten Quellen
- geradlinige Ausbreitung
- Ablenkung in Magnetfeldern
- Nachweis schwierig
- Herkunft nicht rekonstruierbar

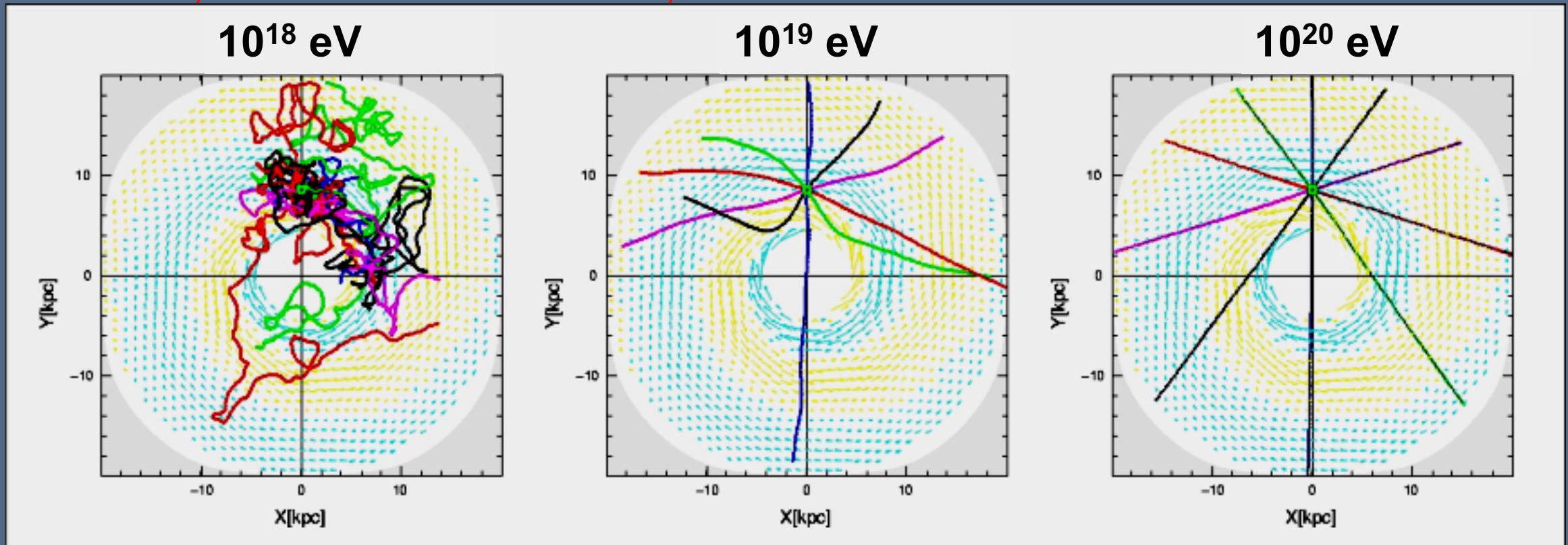
Neutrinos:

- keine Ablenkung oder Absorption
- entkommen aus dichten Quellen
- geradlinige Ausbreitung
- Ablenkung in Magnetfeldern
- Nachweis schwierig
- Herkunft nicht rekonstruierbar



Astronomie mit Protonen?

M. Teshima, Astroteilchenschule Bärnfels, 2004

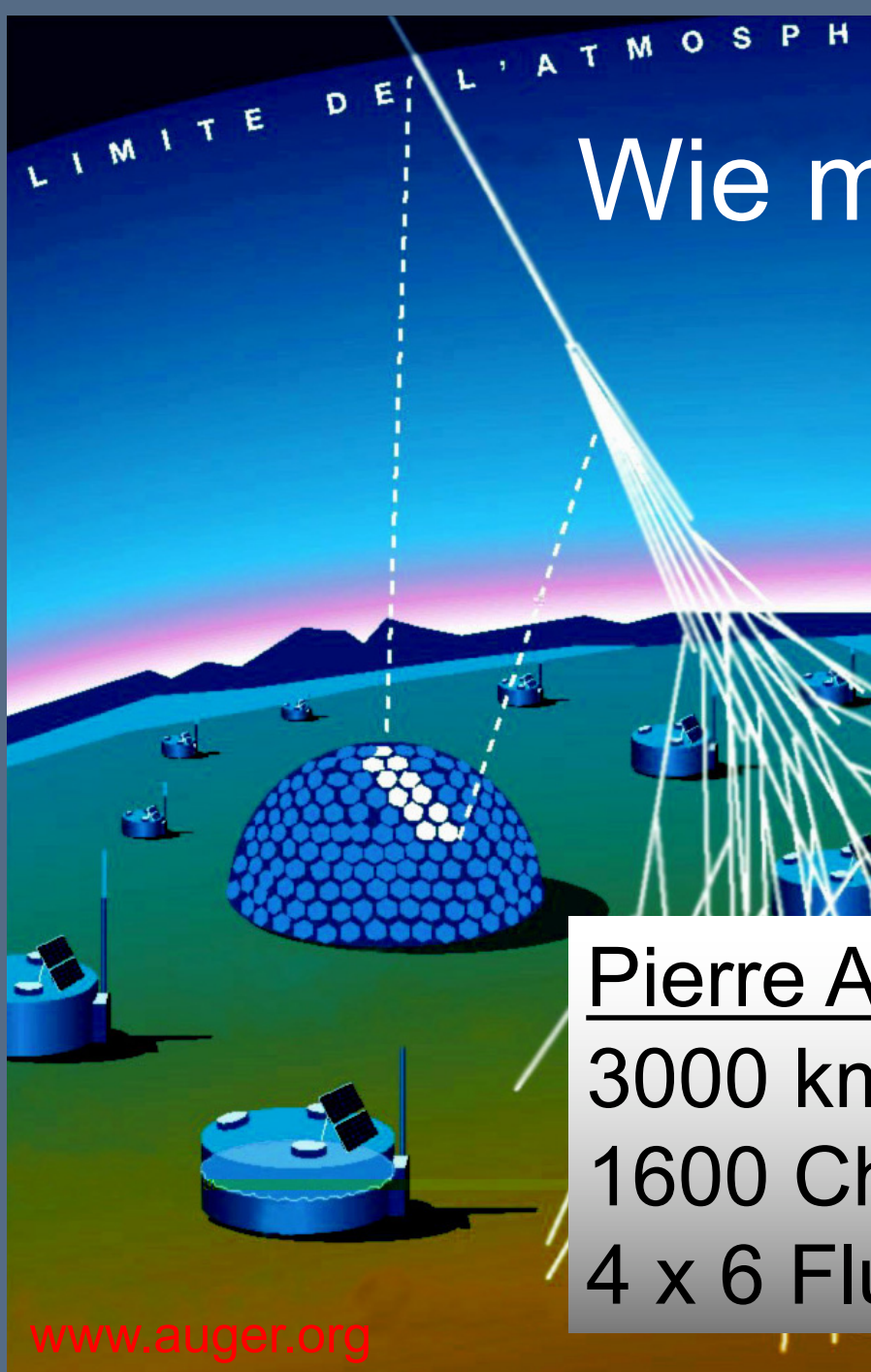


„Kleine“ Energien:
erratische Bewegung,
lange Verweildauer in Galaxis

Größte Energien:
fast geradlinige Bewegung,
Galaxis wird „nur einmal durchquert“

LIMITE DE L'ATMOSPHERE

Wie messen wir solche Teilchen?



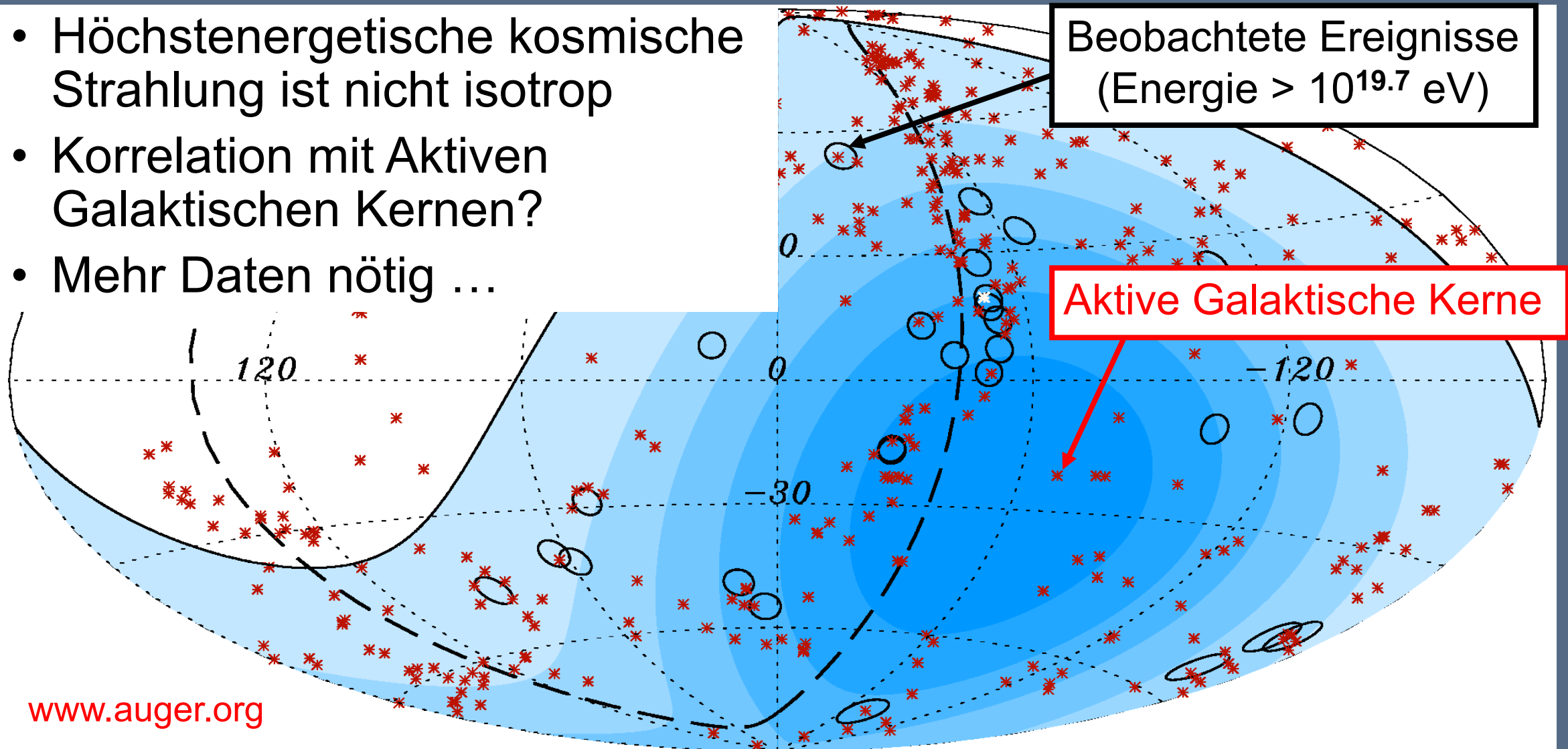
www.auger.org



Pierre Auger Observatory:
3000 km² in Argentinien
1600 Cherenkov-Detektoren
4 x 6 Fluoreszenz-Teleskope

... und was lernen wir daraus?

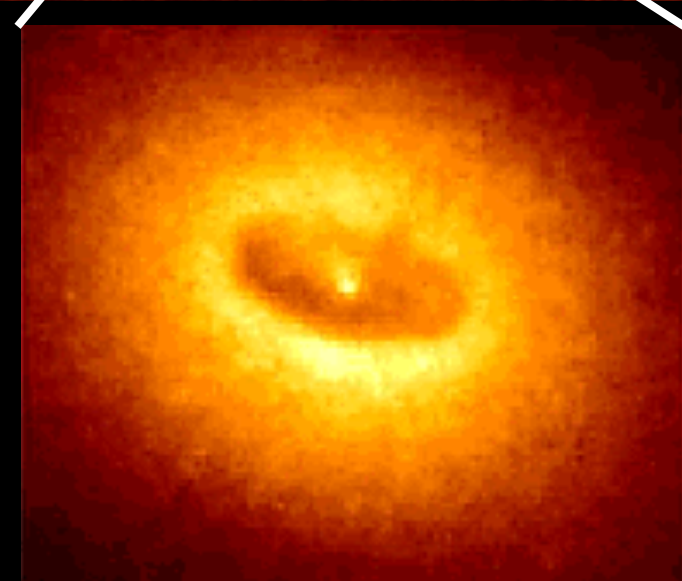
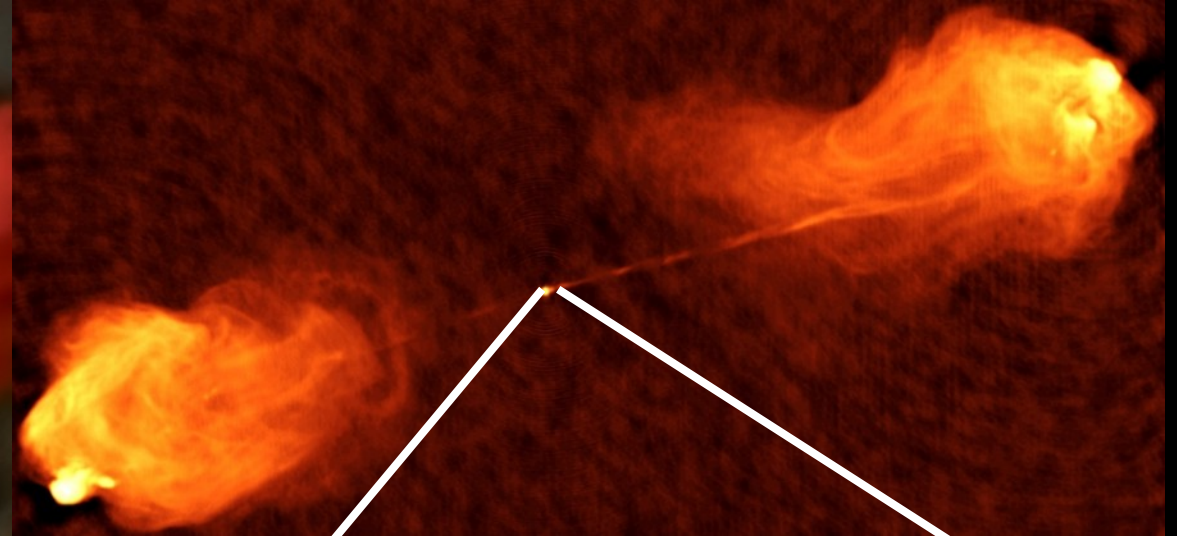
- Höchstenergetische kosmische Strahlung ist nicht isotrop
- Korrelation mit Aktiven Galaktischen Kernen?
- Mehr Daten nötig ...



Was ist ein Aktiver Galaktischer Kern?

alle Bilder auf dieser Seite:
www.nasa.gov

Supermassives Schwarzes Loch
mit Akkretionsscheibe
Hochrelativistischer Materieausfluss



Offene Fragen ...

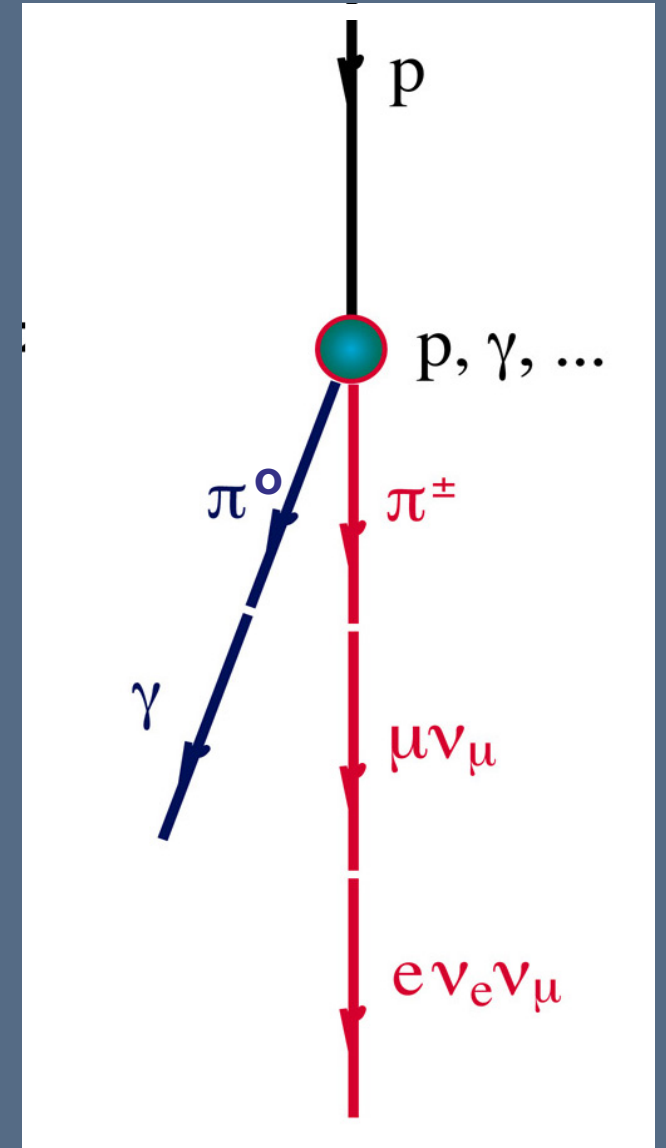
- Sind die Aktiven Galaktischen Kerne die gesuchten kosmischen Beschleuniger?
- Sind es die einzigen?
- Wie entstehen die Materie-„Jets“?

Wir wissen es nicht!

Wir brauchen mehr Information.

Protonen, Photonen und Neutrinos

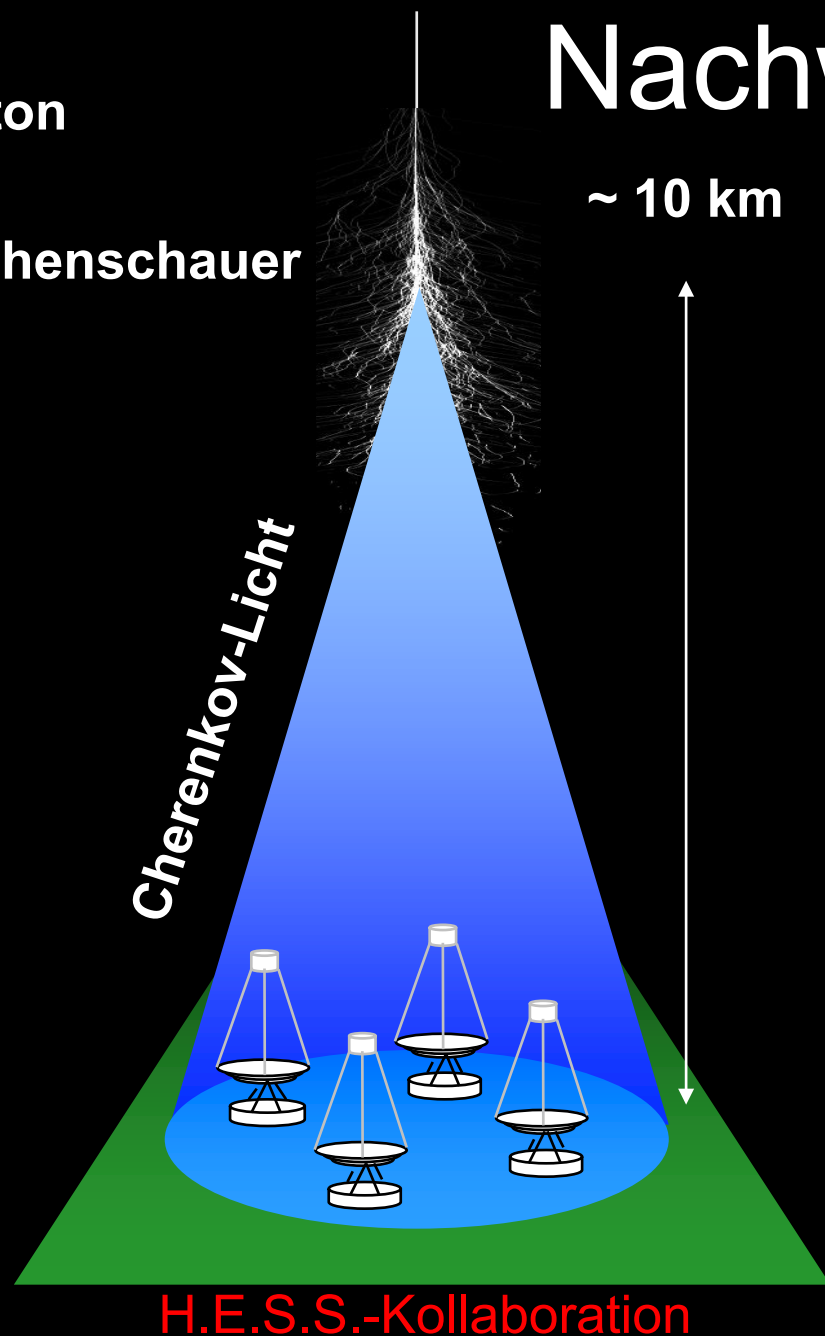
- Hochenergetische Protonen und Kerne reagieren mit Teilchen (Protonen, Kerne, Photonen) in ihrer Umgebung
- Dabei entstehen instabile Teilchen (π^0 , $\pi^\pm$), deren Zerfall Photonen und Neutrinos freisetzt
- Photonen können auch von Elektronen erzeugt werden, nicht aber Neutrinos!



Nachweis von Gammastrahlung

Photon

Teilchenschauer



- Nachweis ultrakurzer Lichtblitze
- Mehrere Teleskope verbessern Richtungsbestimmung
- Benötigt dunkle, klare Nächte
- Energiebereich: einige 10^{10} eV – ca. 10^{14} eV

Das H.E.S.S.-Teleskop in Namibia

- 4 mal 108 m² Spiegel

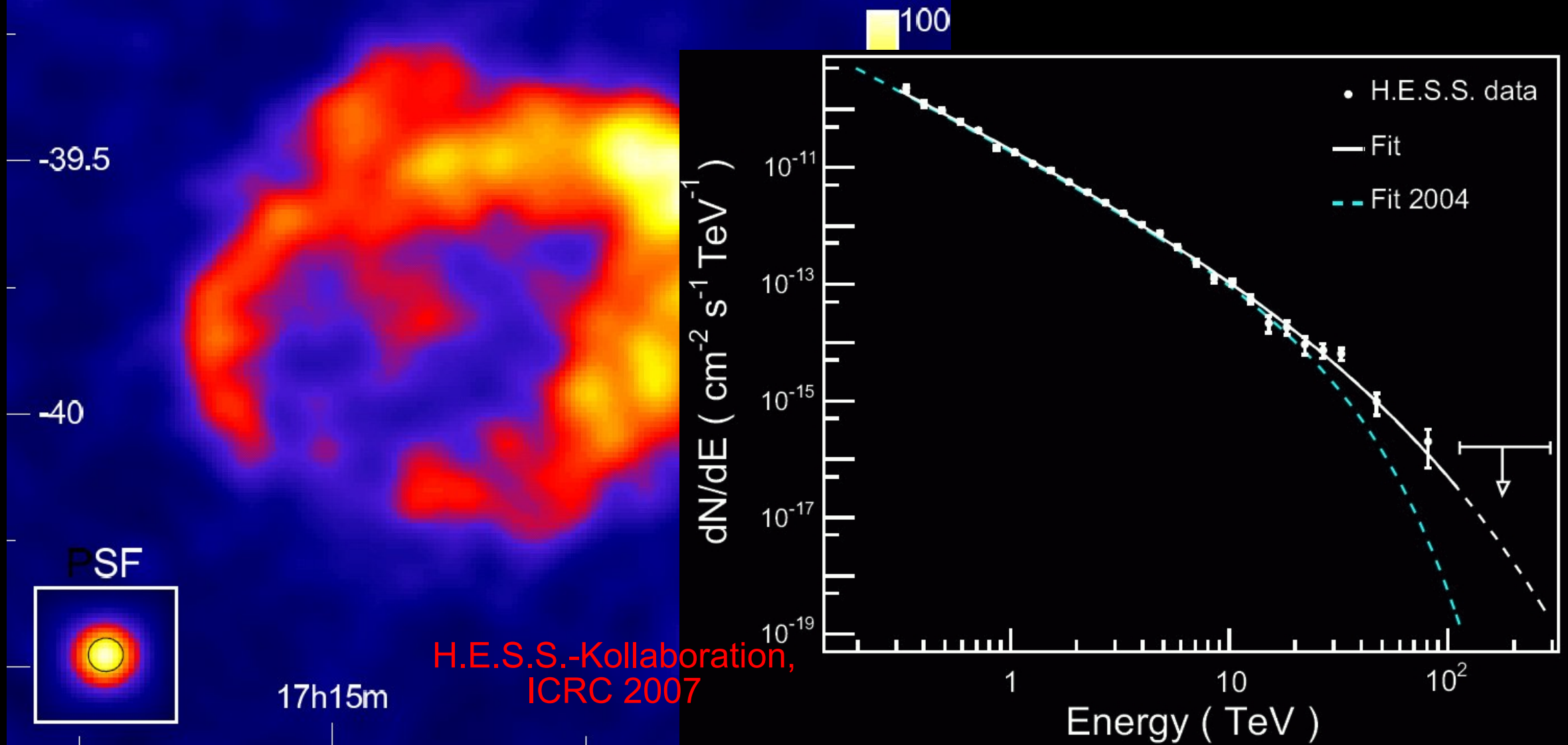


H.E.S.S.-Kollaboration



Montage: zentrales Teleskop mit 600 m² Spiegel (im Bau)

Ein eindrucksvolles H.E.S.S.-Ergebnis



Was haben wir gelernt?

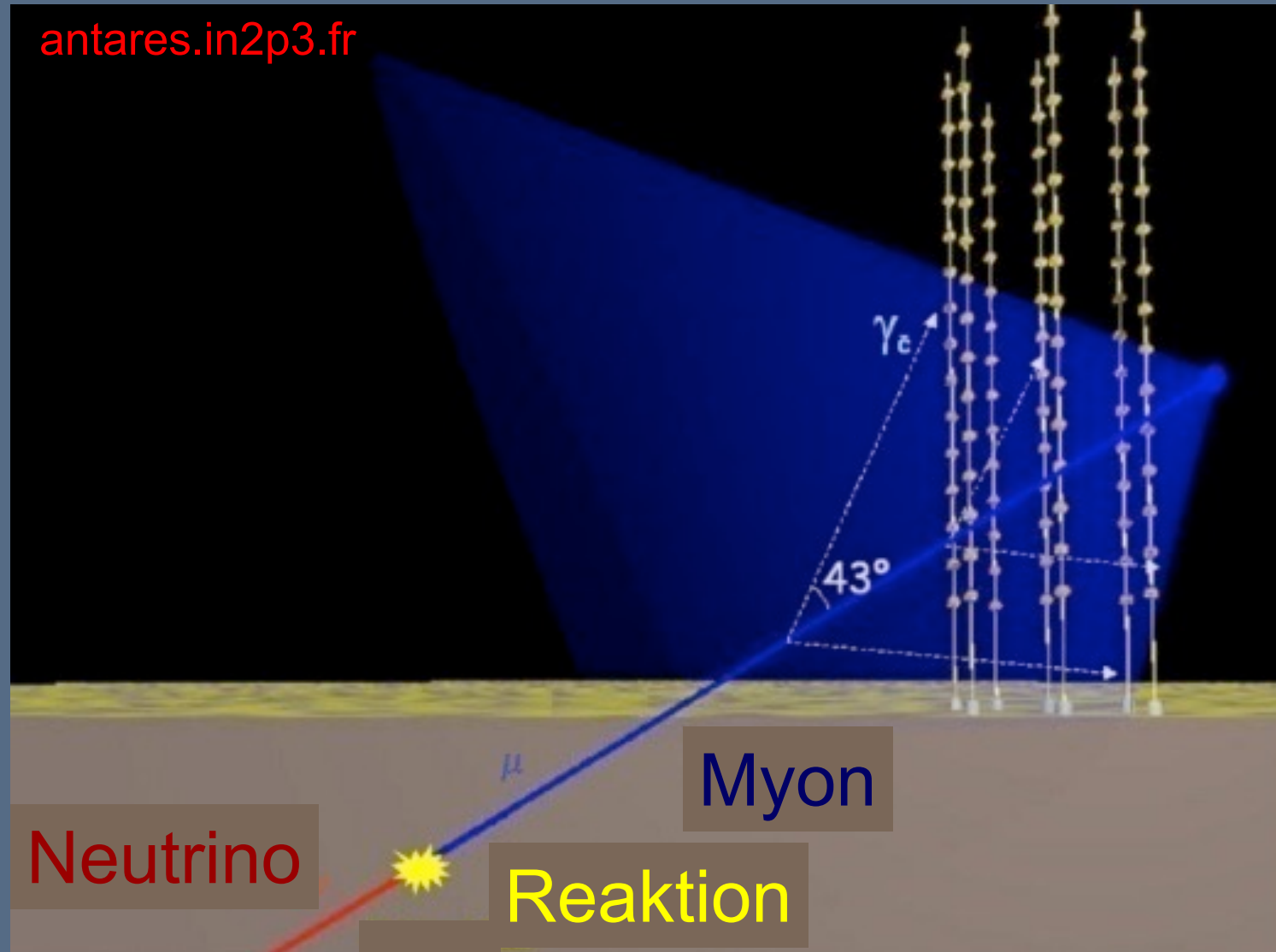
- Supernova-Reste sind gute Beschleuniger-Kandidaten, aber nicht bei höchsten Energien.
- Und Aktive Galaktische Kerne?
Emittieren tatsächlich Gamma-Strahlung ... aber es ist unklar, wie diese entsteht.

Sind wir so schlau als wie zuvor?
Nein – aber Neutrinos wären gut!

Neutrinos – was ist das?

- Elektrisch neutrale Elementarteilchen fast ohne Masse, erzeugt bei radioaktiven Zerfällen und Kernreaktionen
- Extrem schwach wechselwirkend – können ohne Problem die ganze Erde durchdringen
- Hauptquelle: Sonne (jede Sekunde durchqueren uns $100.000.000.000.000 = 10^{14}$ solare Neutrinos!)
- Nachweis ausschließlich über Sekundärteilchen aus den seltenen Neutrinoreaktionen.

Wie ein Neutrinoteleskop funktioniert



- Neutrino-Reaktion erzeugt Myon
- Myon fliegt bis zu einige km durch Wasser oder Eis
- Erzeugt kurzen blauen Lichtblitz (Cherenkov-Strahlung)
- Messung durch hochempfindliche Licht- Sensoren

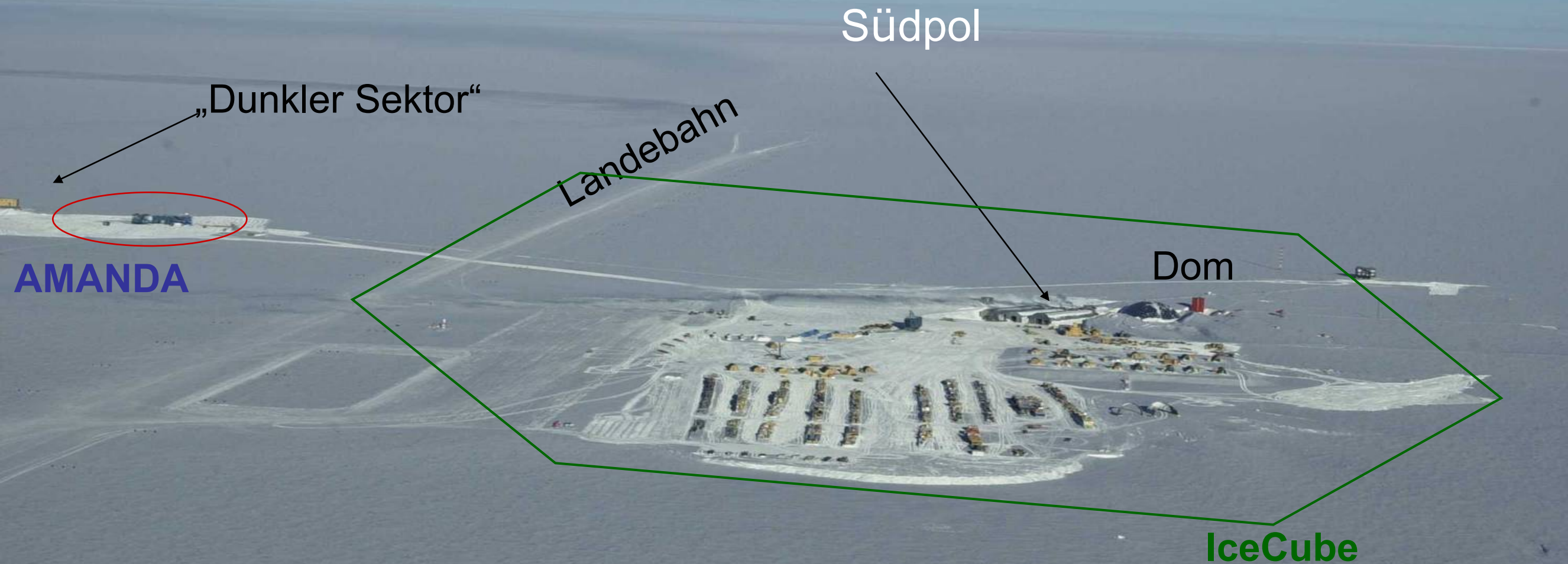
Unter Wasser: ANTARES

- Im Mittelmeer bei Toulon
- 2500 m Meerestiefe
- Etwa 0.03 km^3
- 900 Photomultiplier

400 m

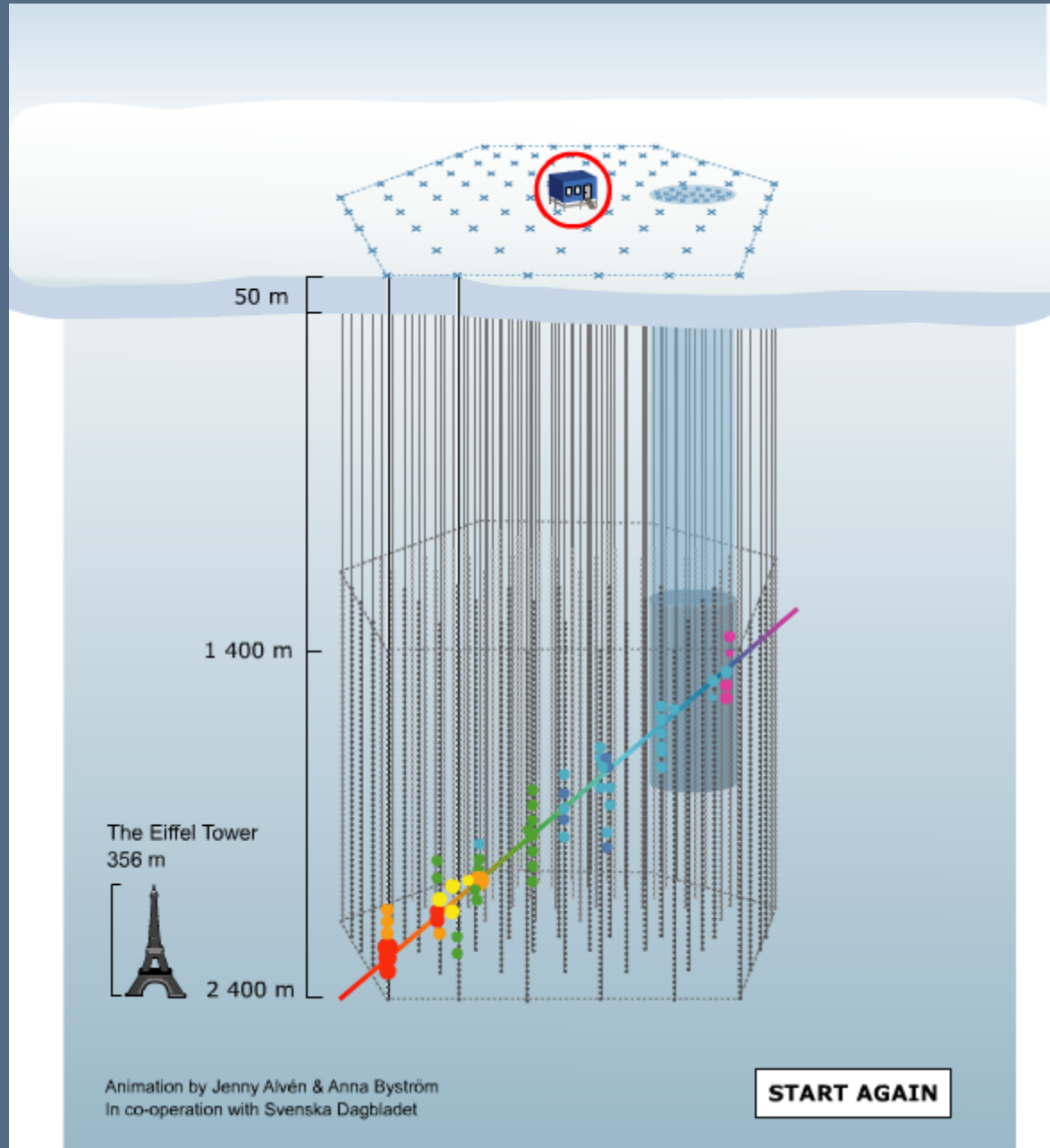
200 m

... und im Eis: IceCube

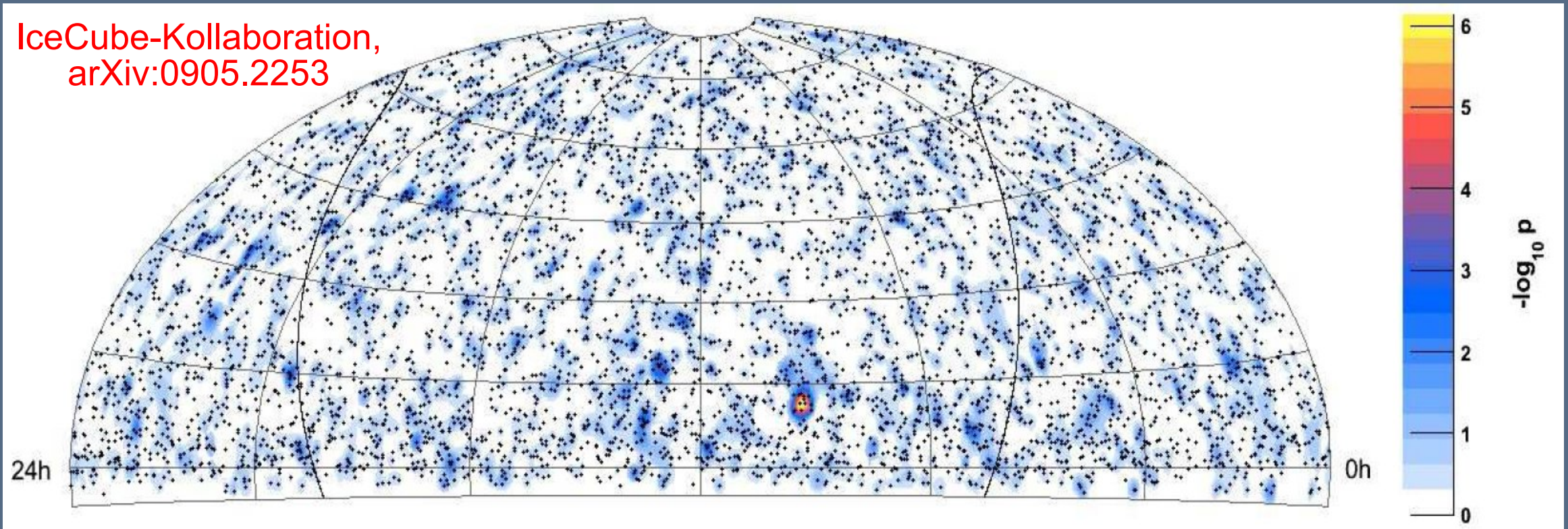


Ein IceCube-Ereignis

- Neutrino kommt von unten (Erde als Filter!)
- Myon wird erzeugt
- Präzise Messung der Ankunftszeiten des Cherenkov-Lichts an den Sensoren
- Rekonstruktion von Myon und Neutrino



Ergebnisse und doch keine



- „Himmelskarte“ von IceCube-Neutrino-Ereignissen
- Suche nach signifikanten Anhäufungen – noch nicht erfolgreich!

Zukunftsprojekte

- Kosmische Strahlung:
Pierre Auger Nord (Utah, USA): 3.000 km² → 20.000 km²
- Gammastrahlung:
H.E.S.S. u.a. → Cherenkov Telescope Array (**CTA^(*)**):
Zwei Anordnungen von je ca. 50 Cherenkov-Teleskopen
- Neutrinos:
ANTARES → **KM3NeT^(*)**: mehr als ein km³ im Mittelmeer

(*) Führende Beteiligung der Universität Erlangen

Zusammenfassung

- Hochenergetische Teilchen aus dem Weltraum überbringen spannende Botschaften
- Ihr Nachweis und ihre Vermessung erfordert große experimentelle Anstrengungen – oft an entlegenen Standorten
- Laufende Experimente liefern aufregende Daten. Neue, noch empfindlichere Detektoren werden vorbereitet
- Die Universität Erlangen ist in diesem Forschungsgebiet führend vertreten