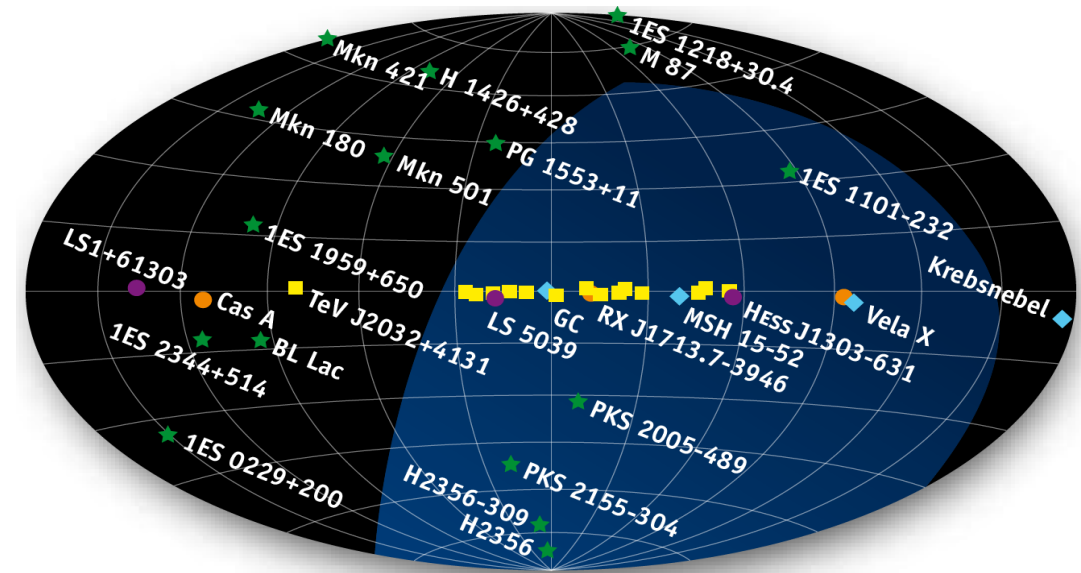


Astroteilchenphysik – I

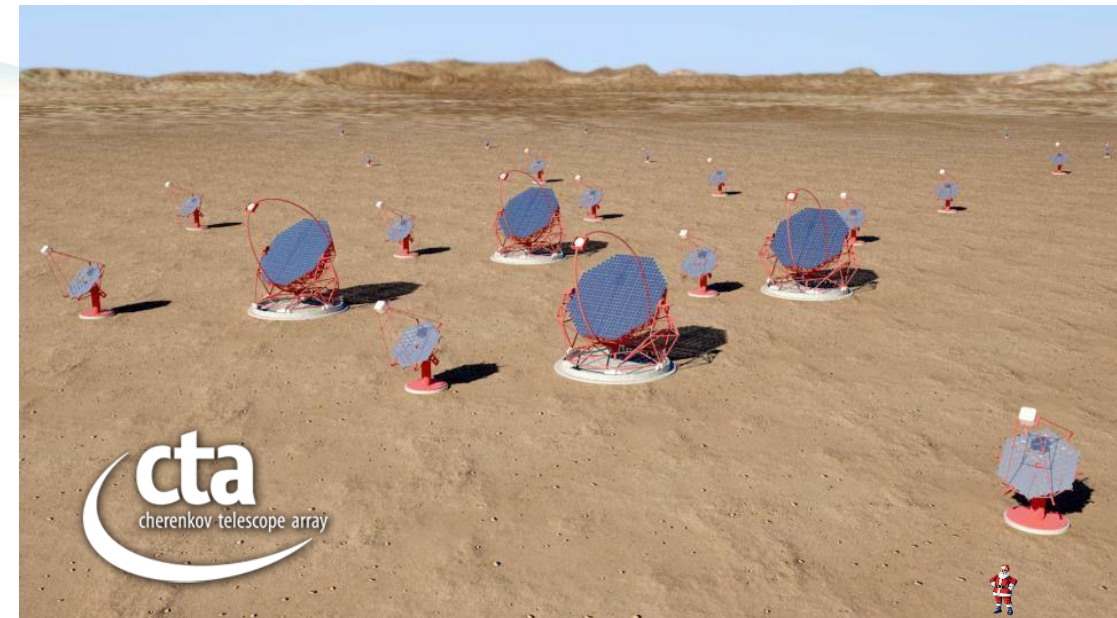
Wintersemester 2013/14
Vorlesung # 07, 05.12.2013

Guido Drexlin, Institut für Experimentelle Kernphysik

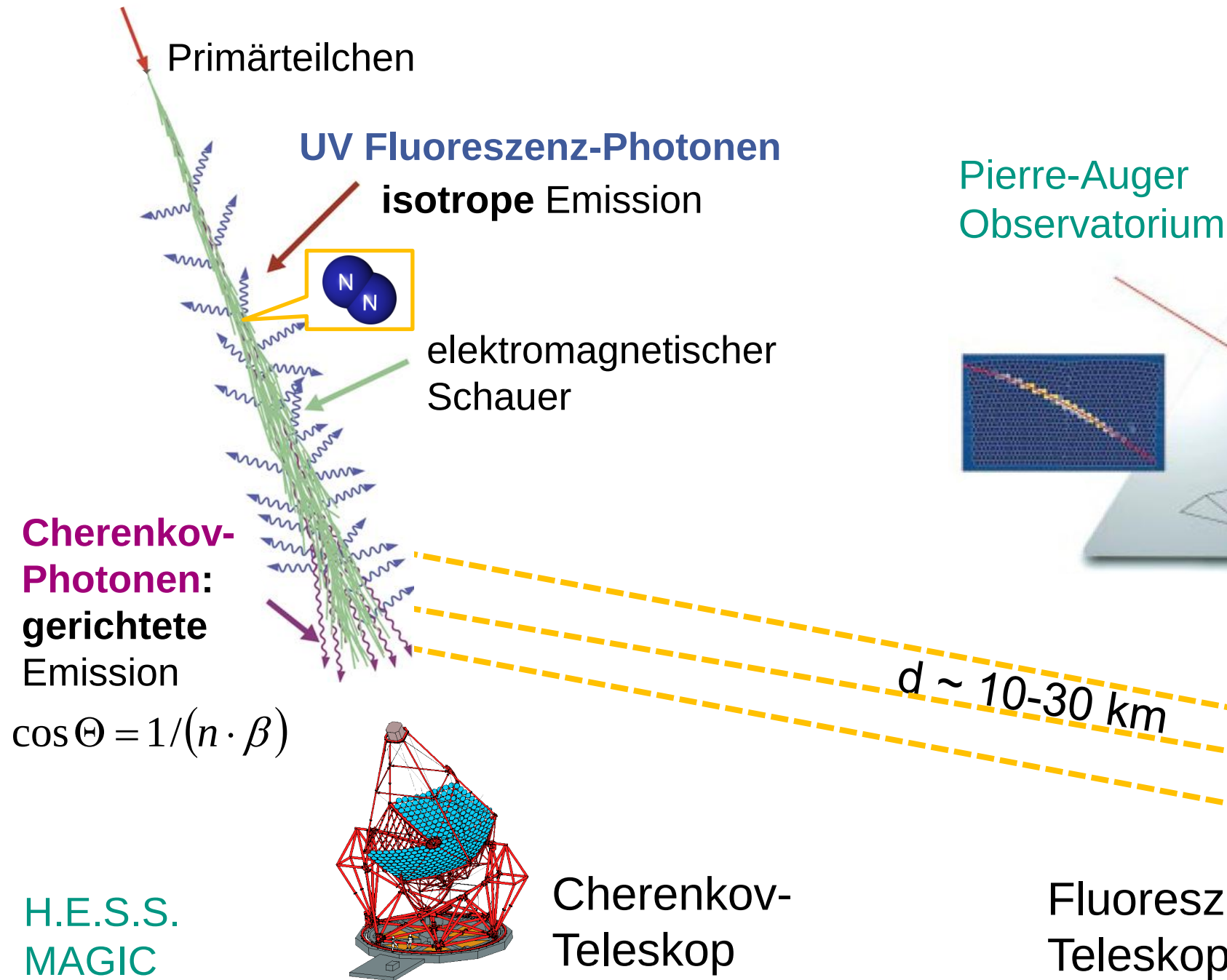


Experimentelle Techniken

- Cherenkov-Arrays
- TeV Gamma-Quellen:
leptonisch/hadronisch
- Einzelquellen & galakt. Scan
- Test fundamentaler Physik
- CTA-Observatorium



Fluoreszenz & Cherenkov-Teleskope



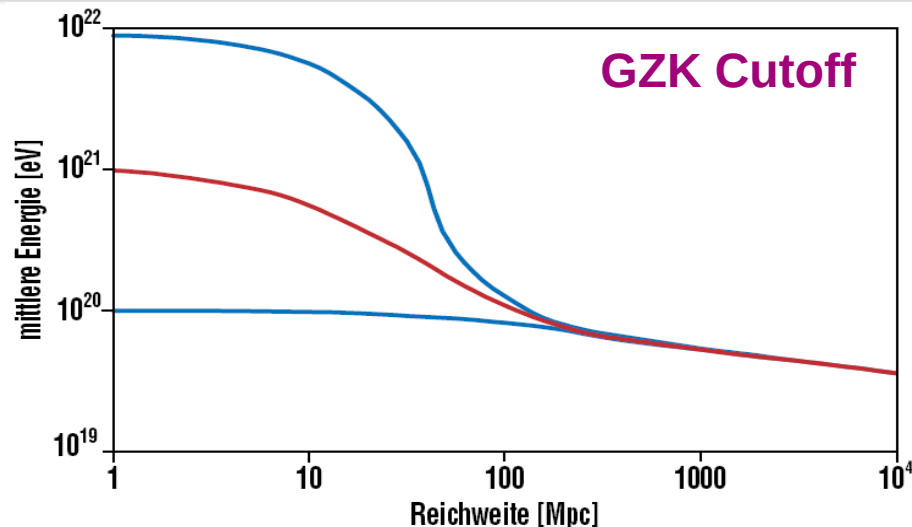
GZK-Cutoff & Gamma-Astronomie



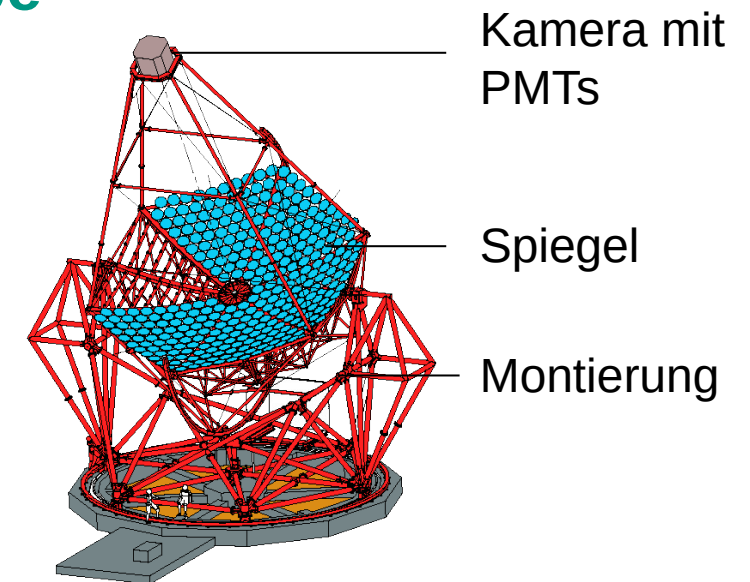
- **Höchste Energien (UHECR):** Auger beobachtet Unterdrückung des Flusses bei $E = 10^{19.5}$ eV (GZK-Cutoff oder E_{max} der Quellen?)
- **TeV-Gamma-Astronomie:** viele neue Gammaquellen in der letzten Dekade

■ Resonante Streuung mit CMB

UHECR erzeugt Δ^+ **Resonanz** mit 3K Hintergrundphotonen der CMBR

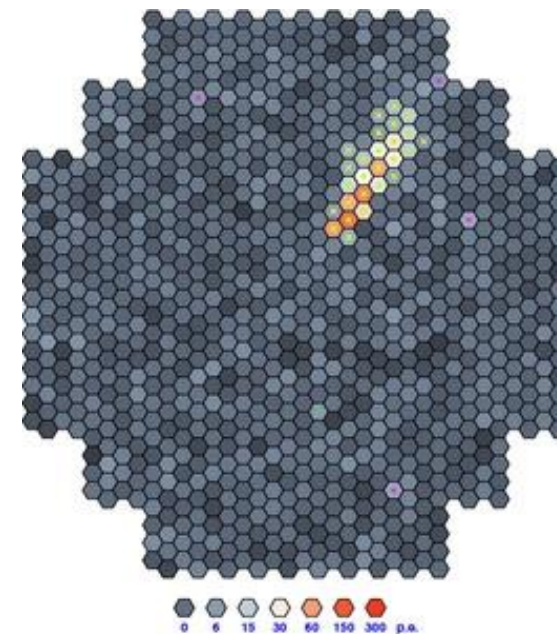
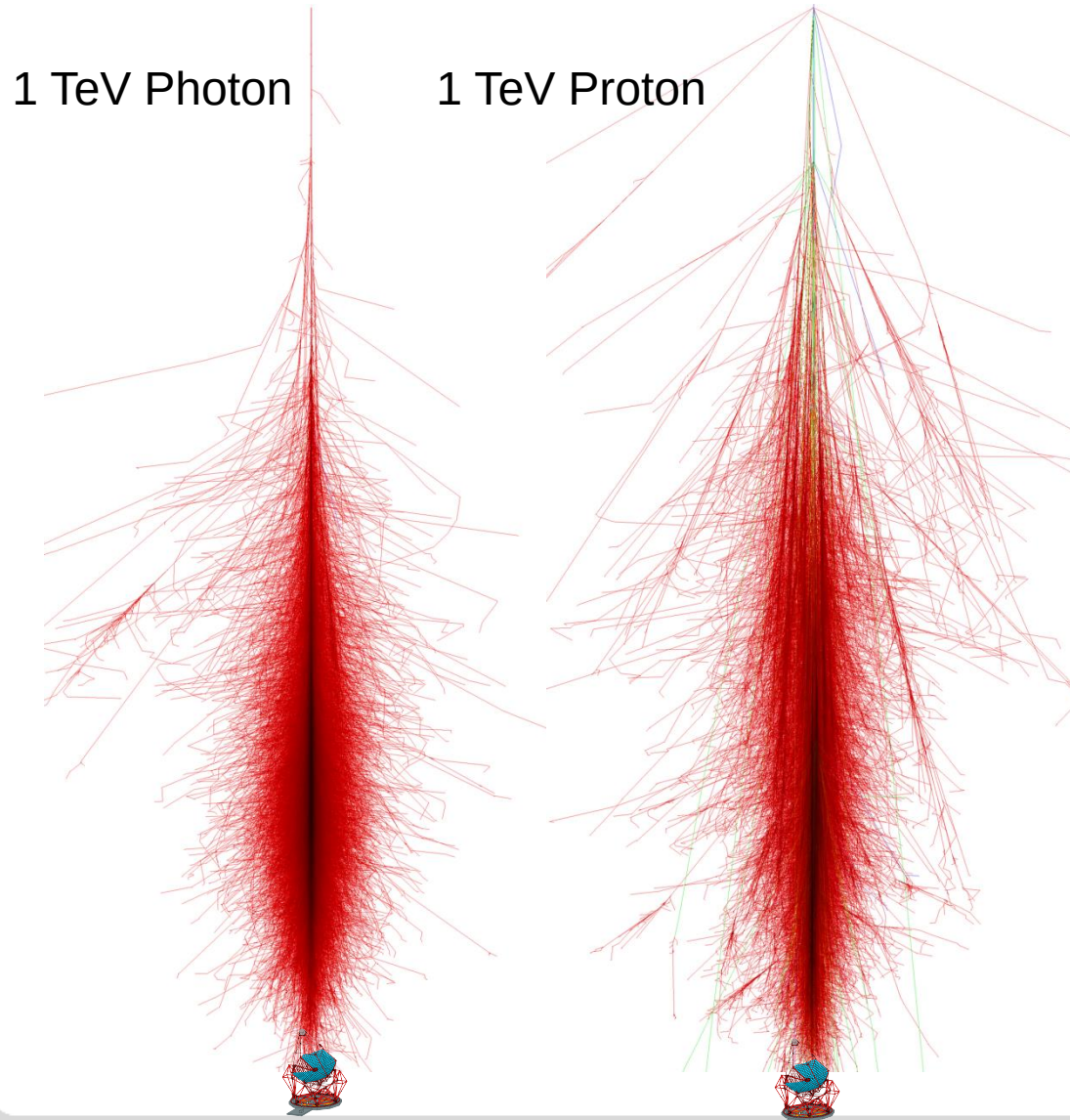


■ Atmosphärische Cherenkov Teleskope

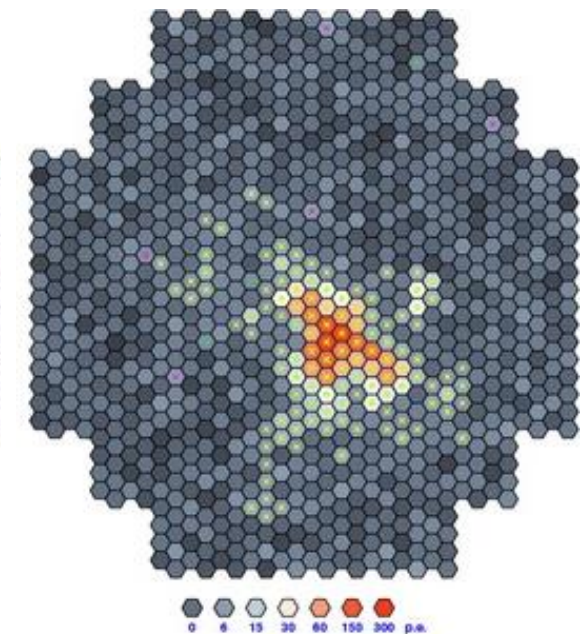


- **Fluss Einheit** für TeV- γ 's ($E_\gamma > 1$ TeV):
1 Crab = 1 Ereignis/10³ m² h

- **Teilchendiskriminierung:** Bildprofil zur Abtrennung der Gamma-induzierten Schauer von der geladenen kosmischen Strahlung



1 TeV **Photon**-
Schauer im
Cherenkov-Teleskop



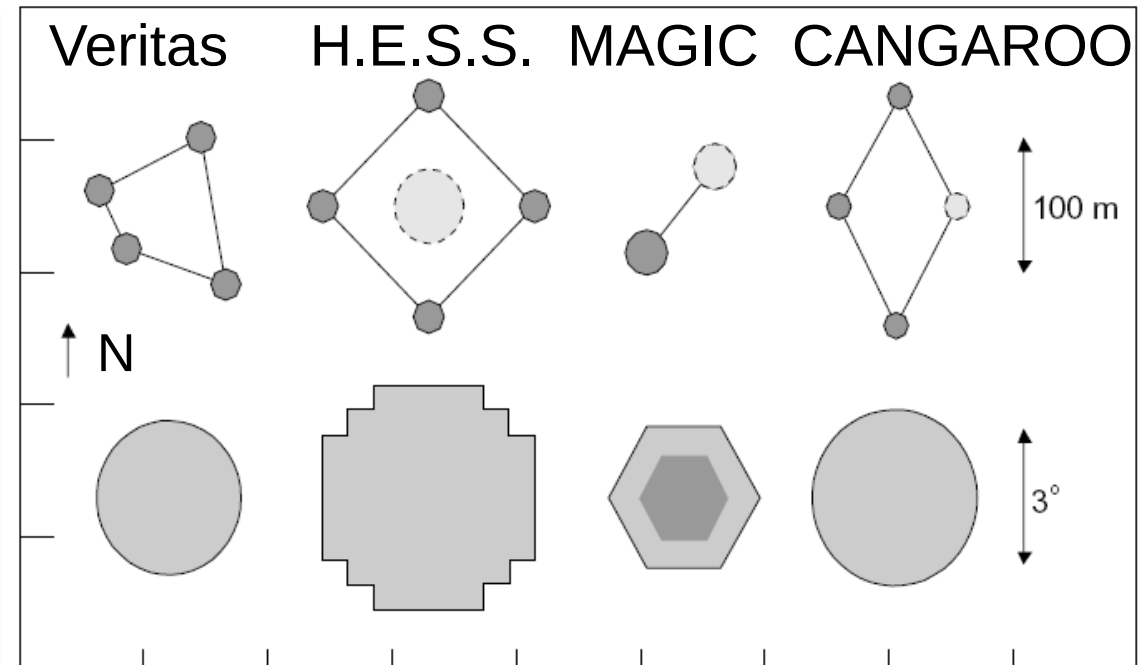
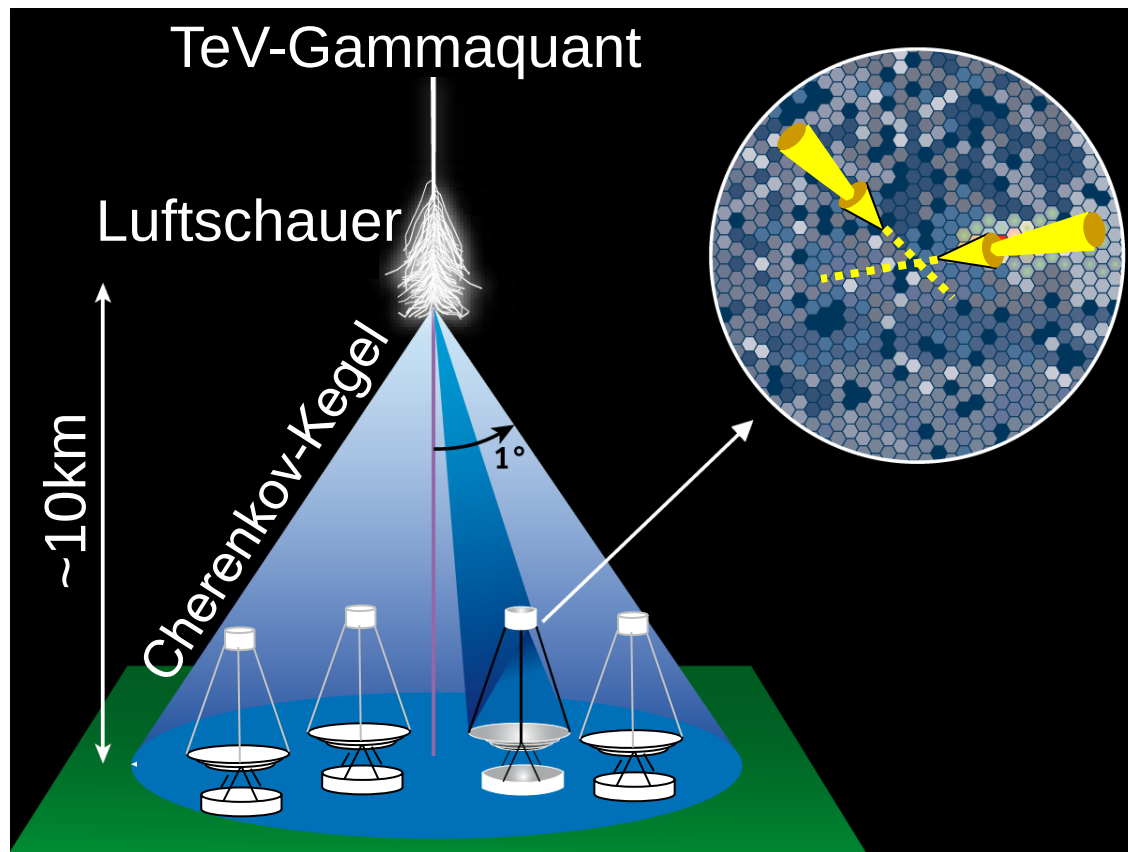
1 TeV **Proton**-
Schauer im
Cherenkov-Teleskop:
- diffusere Verteilung
- Pulsdauer

Arrays von Cherenkov Teleskopen

■ Stereoskopische Technik:

Aufbau großer Cherenkov-Arrays aus vielen Einzelteleskopen:

- Erhöhung der Sensitivität
- bessere Untergrundreduktion



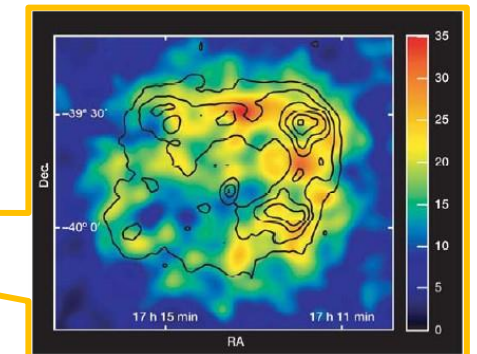
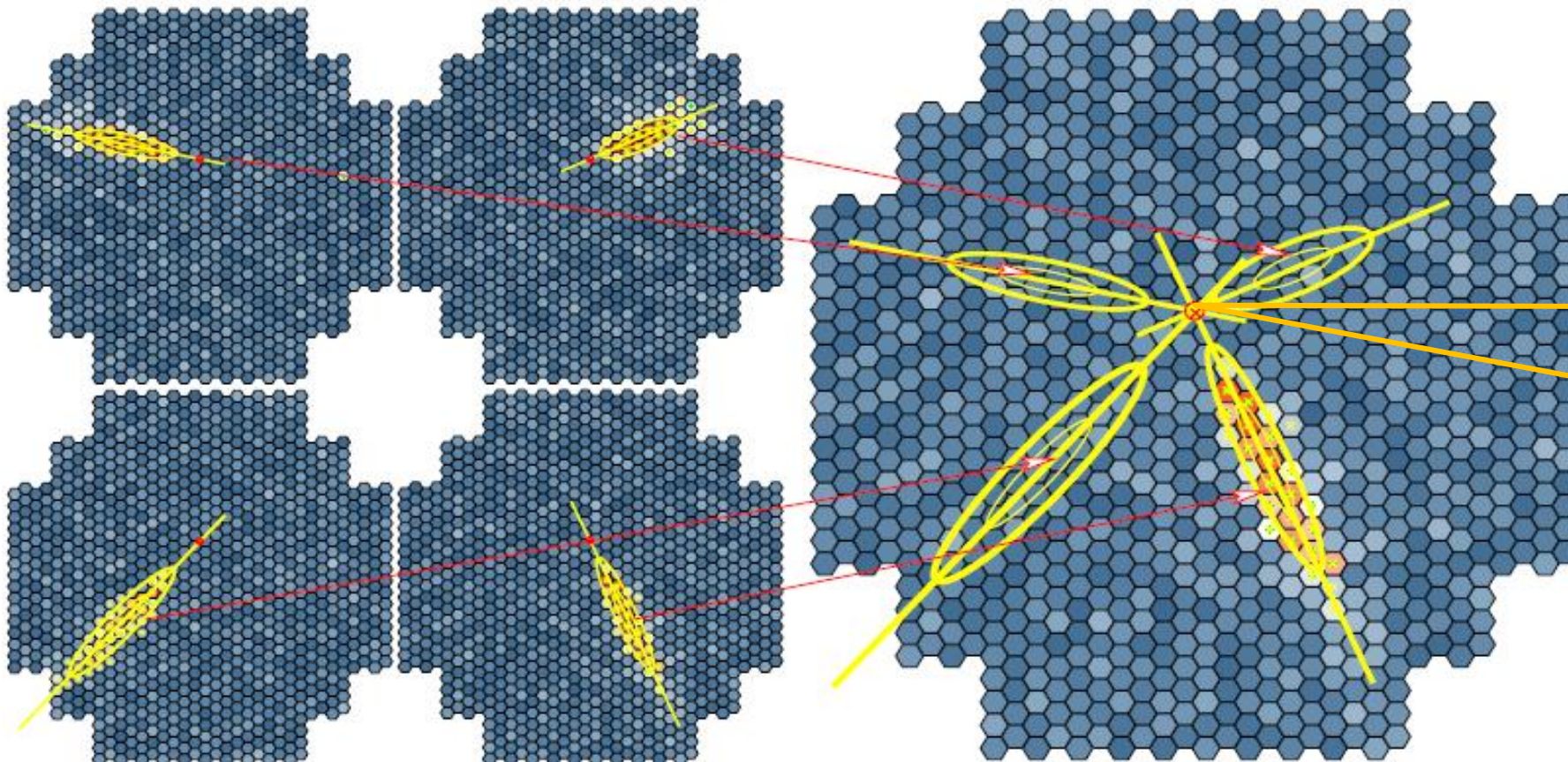
Layout großer Cherenkov-Teleskop-Arrays

Cherenkov Teleskope: H.E.S.S. Array

■ große Arrays:

H.E.S.S. in Namibia

Kombination von 4 (5) Teleskopen
zum Studium von ausgedehnten
TeV-Gammaquellen

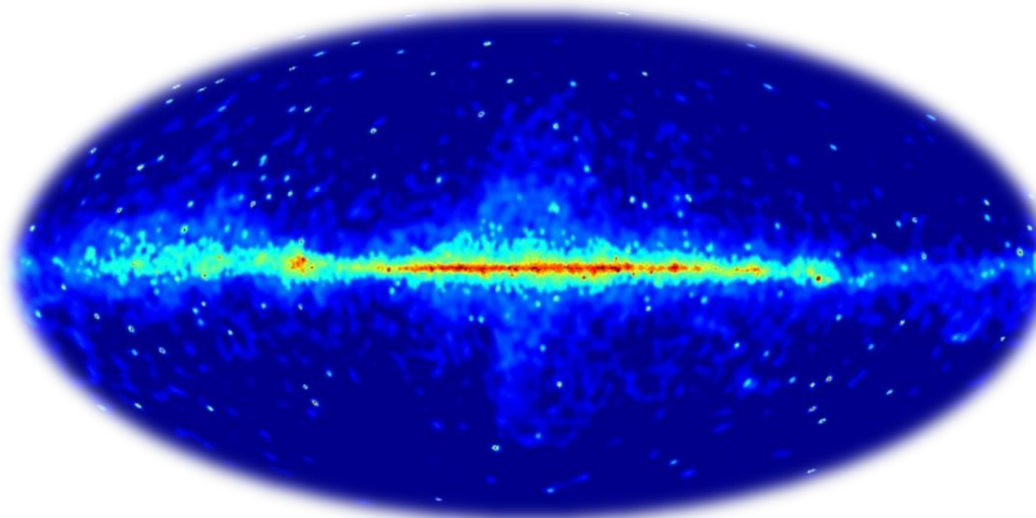
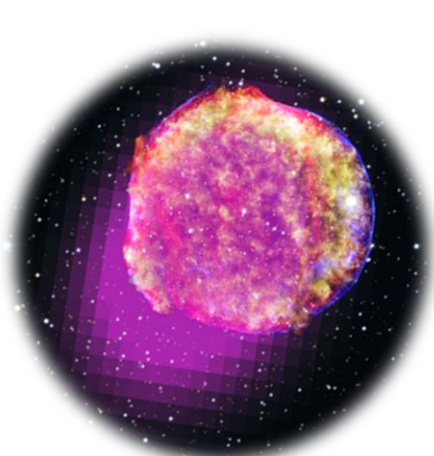
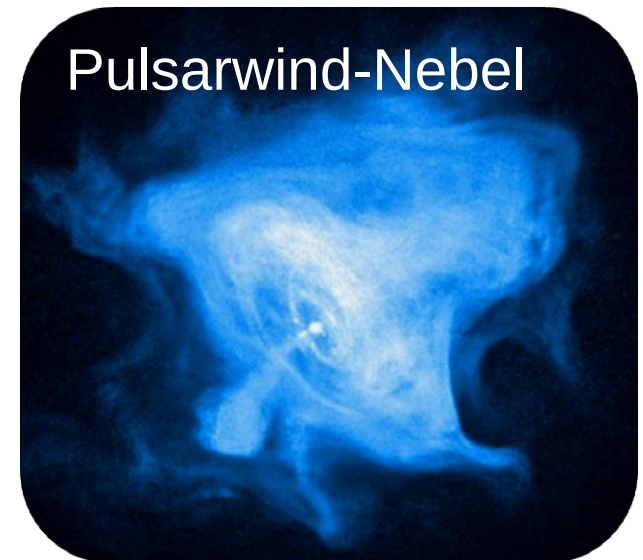
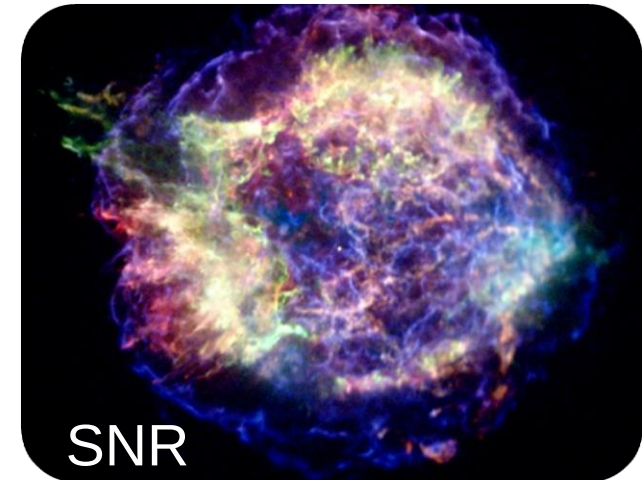


Kombination der
Information von
4 Teleskopen
bei H.E.S.S.

Gamma-Quellen

■ astrophysikalische Quellen für γ 's

- Entstehung bei Erzeugung und Reaktionen der geladenen kosmischen Strahlung
- zahlreiche galaktische Quellen:
 - a) **SN-Schockwellen** (Supernova-Remnants)
 - b) **Pulsarwinde**
 - c) Prozesse im interstellaren Medium (**ISM**)
- extragalaktisch
 - a) **aktive galaktische Kerne**



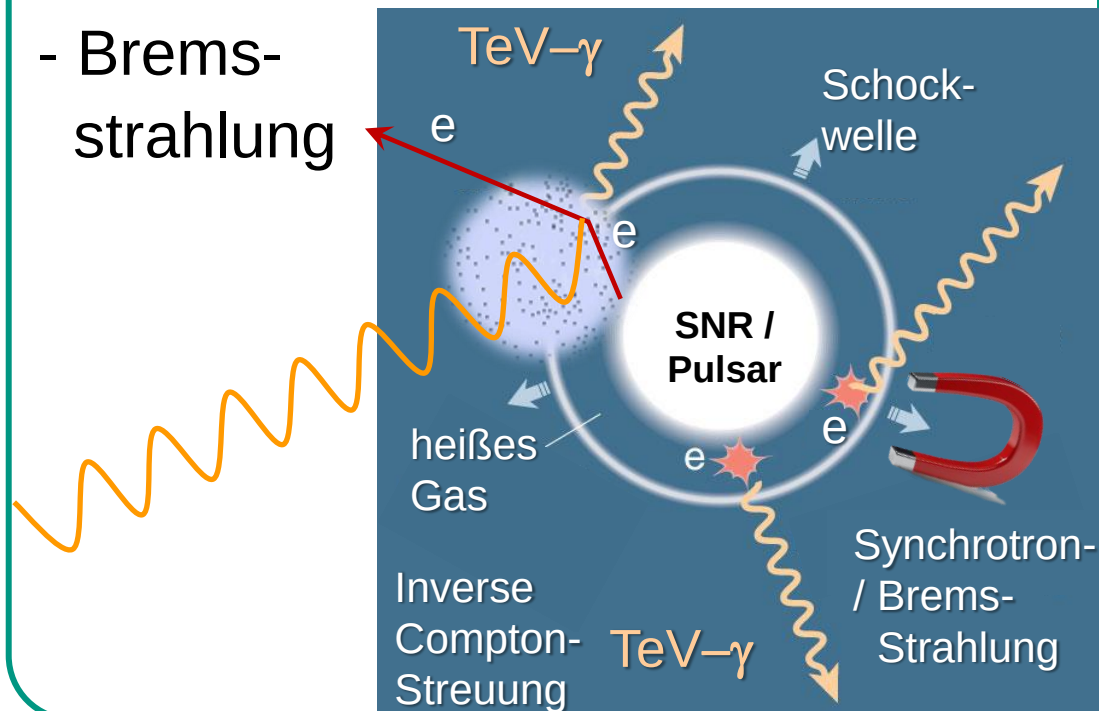
Gammas aus kosmischer Strahlung

- astrophysikalischer Quellen von Gammas im GeV-TeV Bereich:
Wechselwirkungen der hochenergetischen kosmischen Strahlung
- **Erzeugung von hochenergetischen Gammas:**
zwei grundlegende Erzeugungsmechanismen („LEP“ vs. „LHC“)

Elektron-Wechselwirkungen

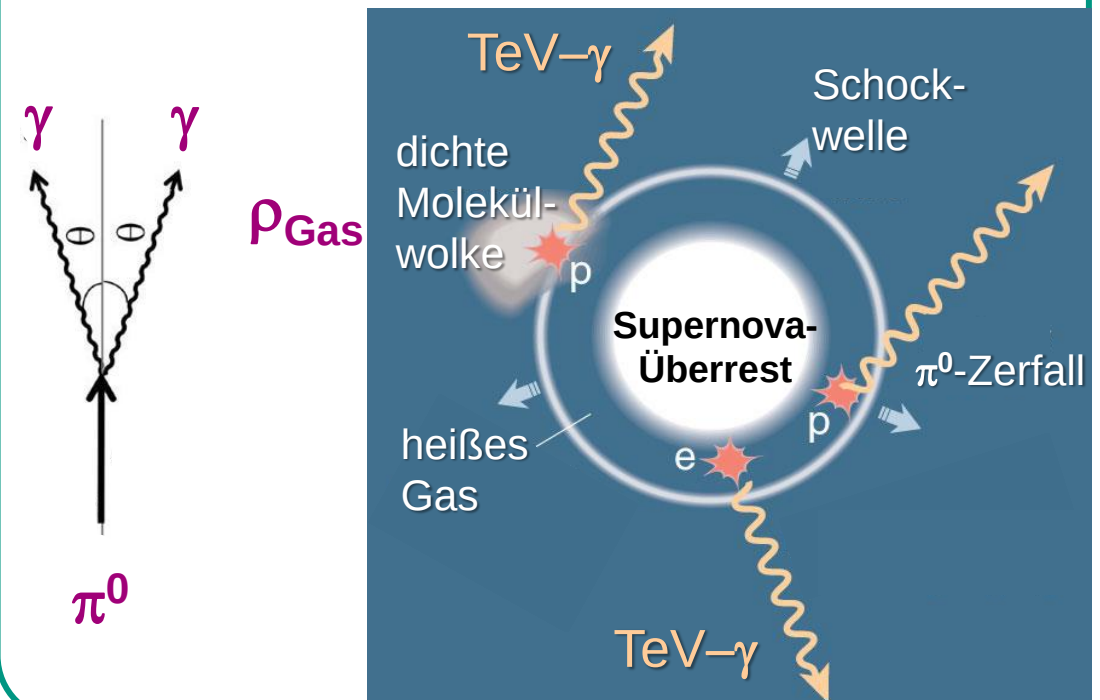
- inverser Compton: $\gamma + e \rightarrow \gamma + e$

- Bremsstrahlung



Hadron-Wechselwirkungen

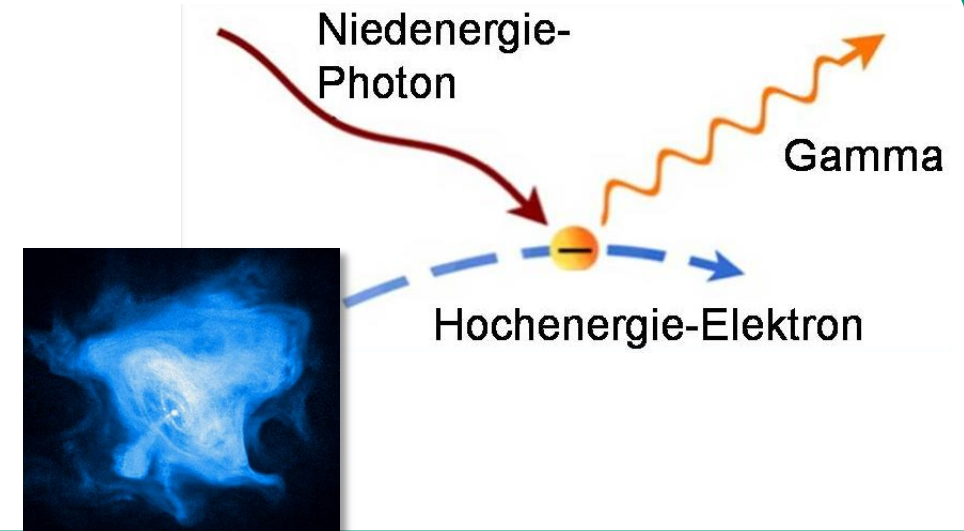
- Zerfall neutraler Pionen: $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$



- astrophysikalische Gamma-Quellen: Pulsarwindnebel, ...

Inverser Compton Effekt

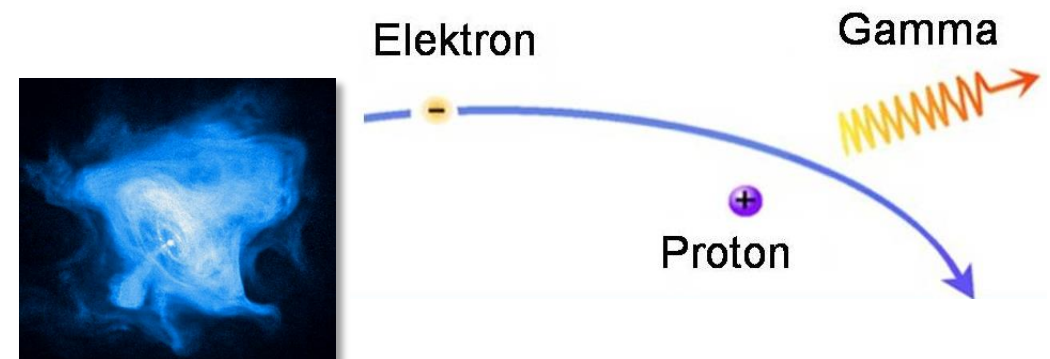
- niederenergetisches Photon wird durch hochenergetisches Elektron aus SNR/Pulsar auf TeV-Energien beschleunigt (effizienter Prozess)



Bremsstrahlung

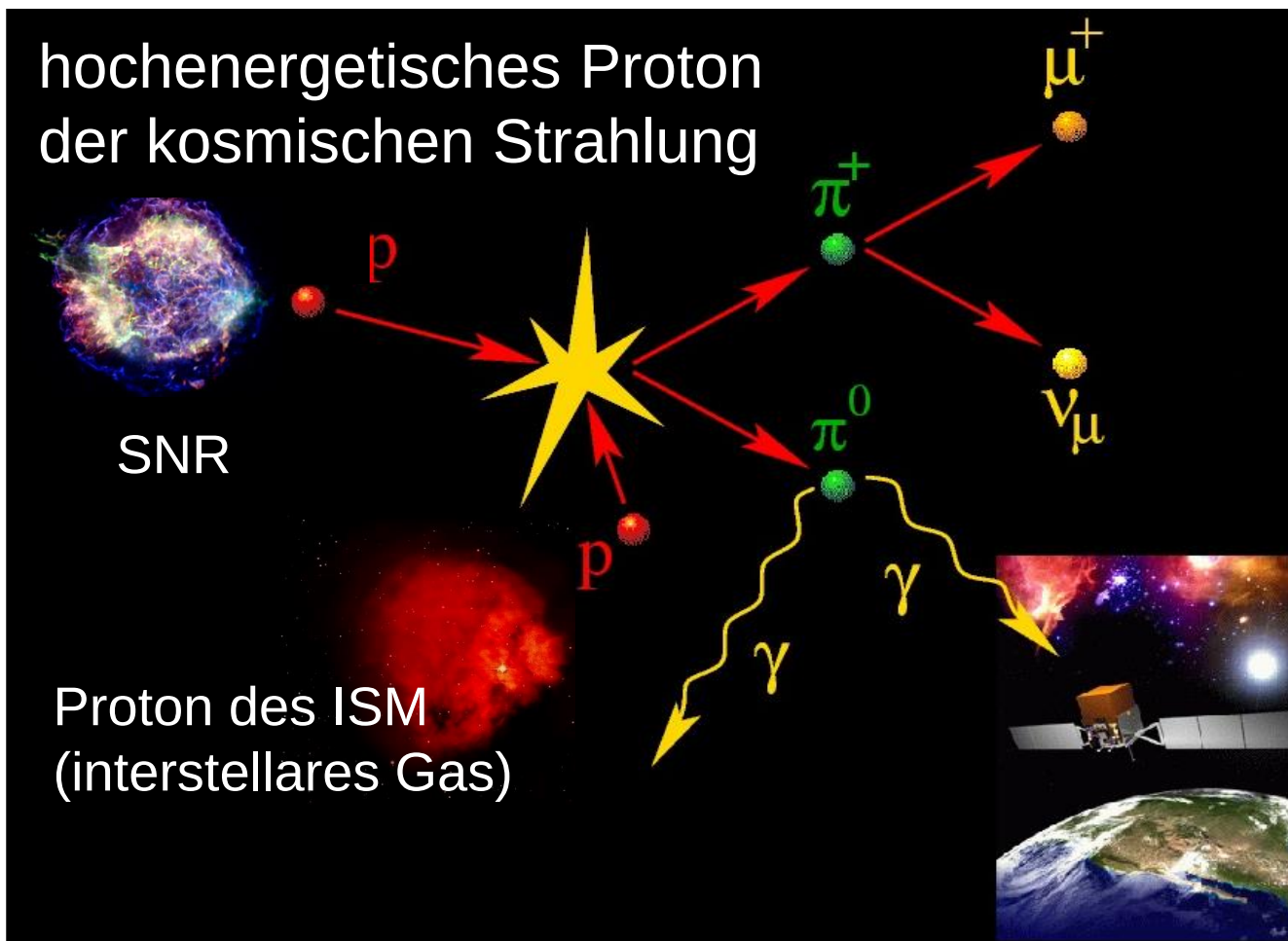
- hochenergetisches Elektron strahlt Gammas ab (GeV-TeV-Energien)

$$\left(\frac{dE}{dX} \right)_{\text{brems}} = \frac{4 \cdot \alpha^3 \cdot N_0}{m^2} \cdot \frac{Z^2}{A} \cdot \ln \left(\frac{183}{Z^{1/3}} \right) \cdot E$$



■ Hadron-Wechselwirkungen:

- **Protonen** werden von der Schockwelle eines SNR (Supernova-Überrest) beschleunigt & erzeugen beim Auftreffen auf das ISM viele Pionen ($\pi^\pm$, π^0)

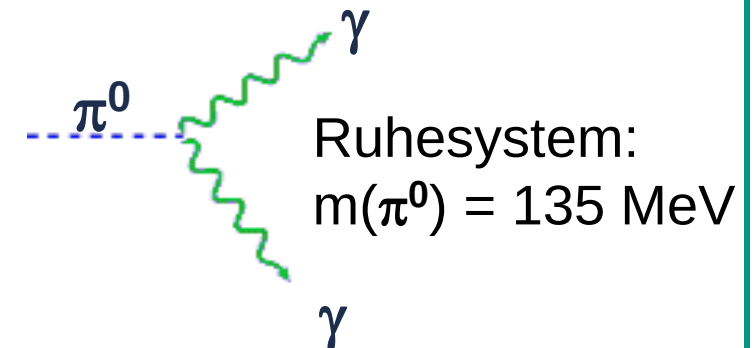


Pionzerfall

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

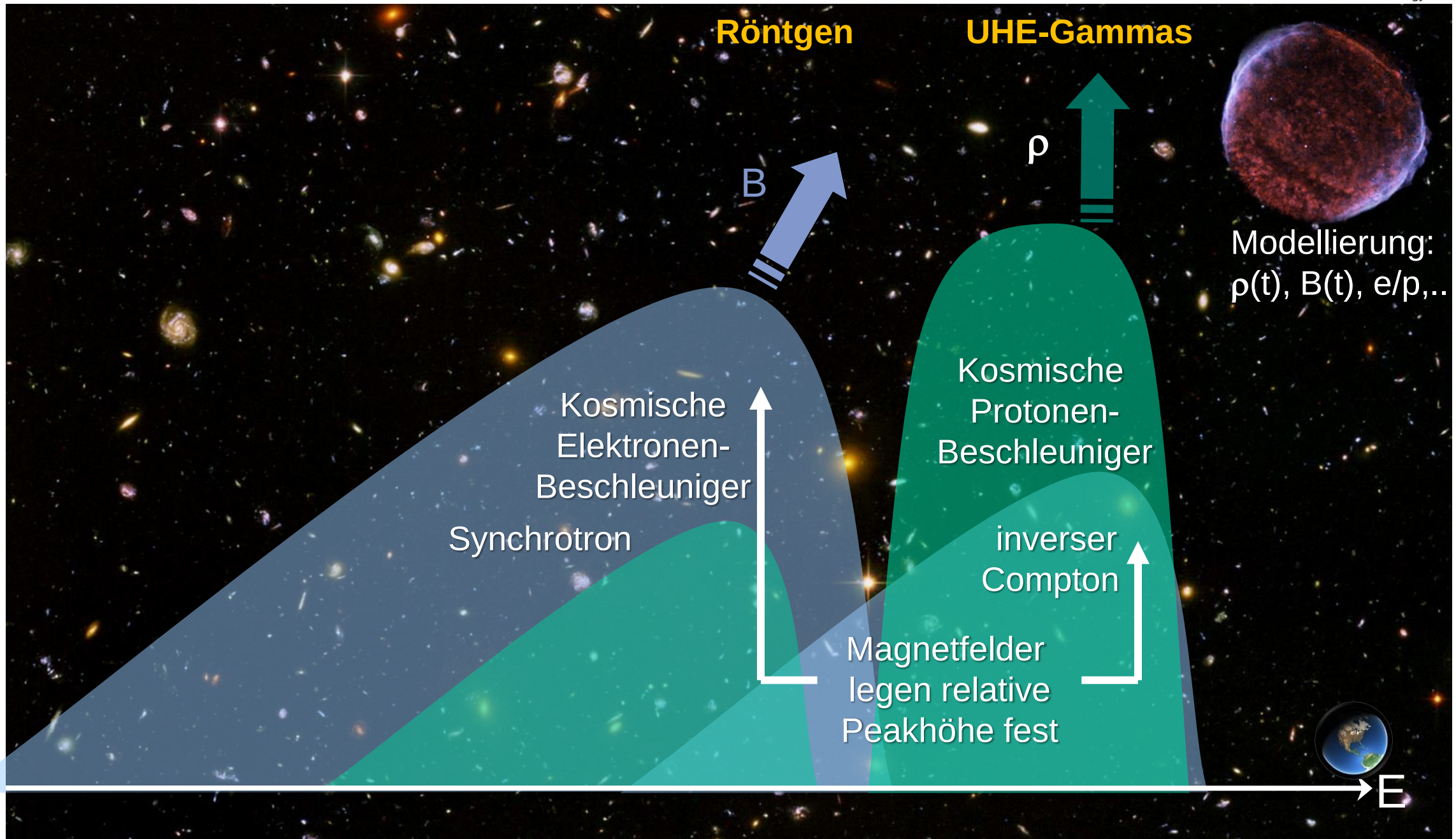
Gammas aus

π^0 -Zerfall:

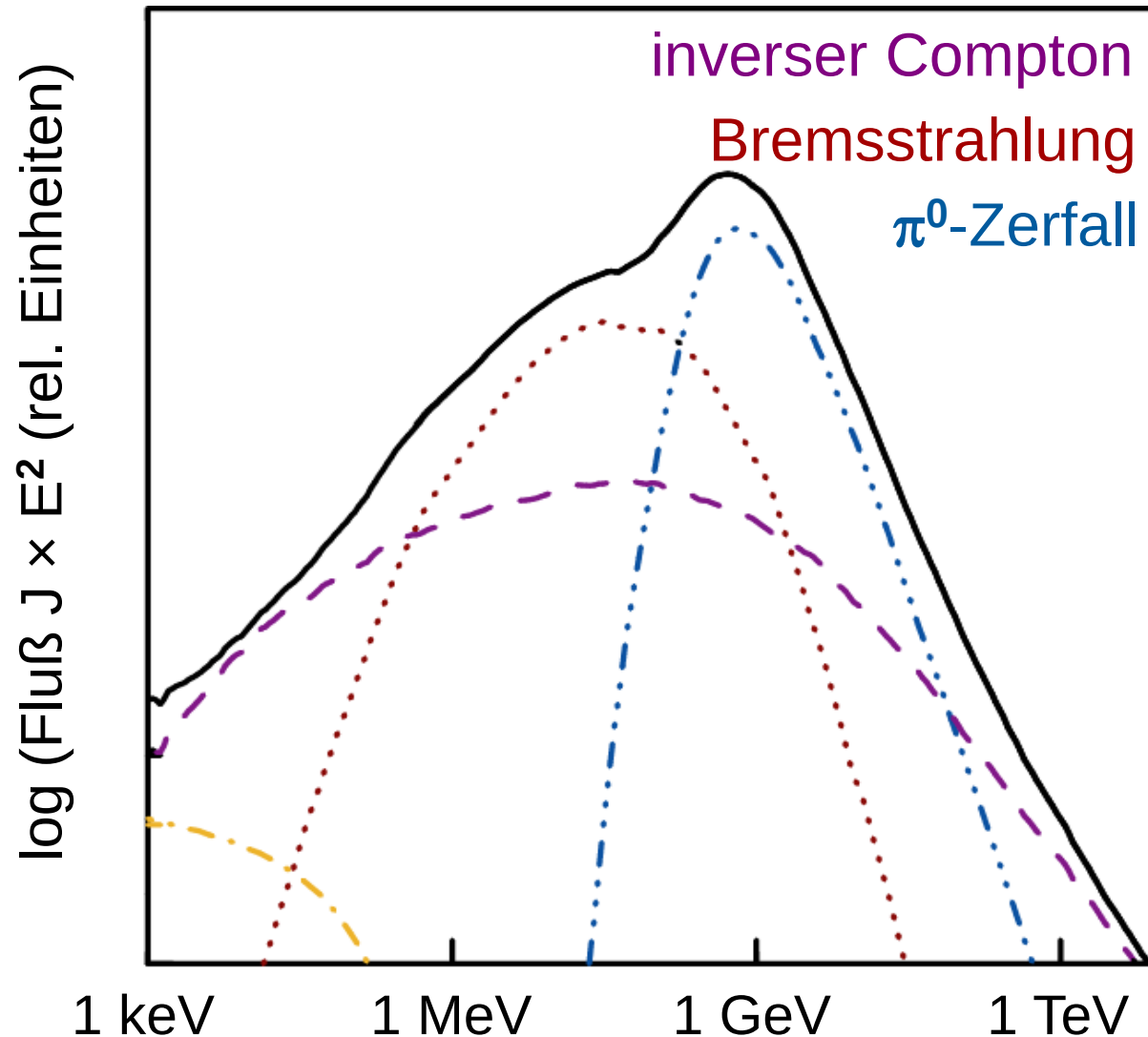


- Proton-Proton-Stöße:
Erzeugung von neutralen & geladenen Pionen:
UHE Gammas + Neutrinos

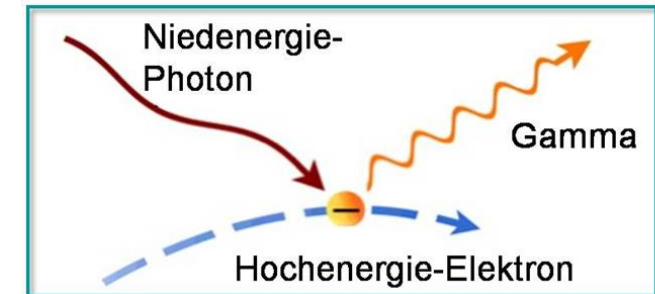
Spektrale Energieverteilung von Photonen



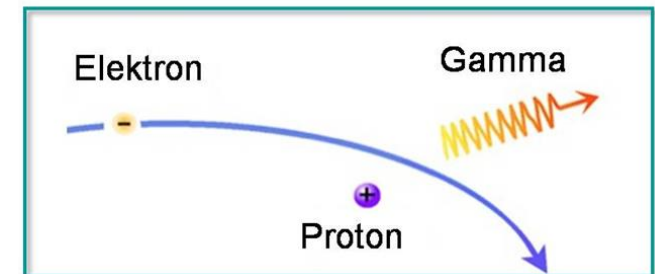
■ Modellierung des hadronischen π^0 -Beitrags und der Elektron-Reaktionen (innere Galaxis)



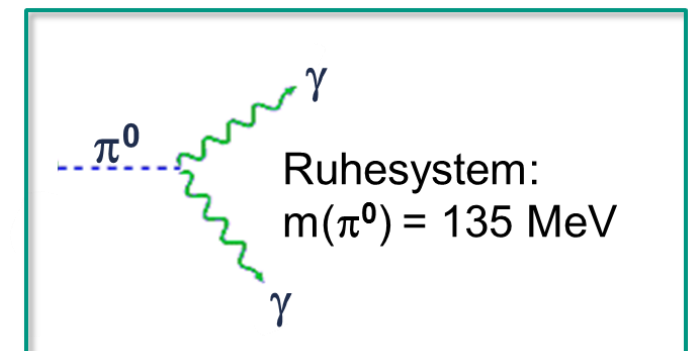
Inverser Compton Effekt



Bremsstrahlung



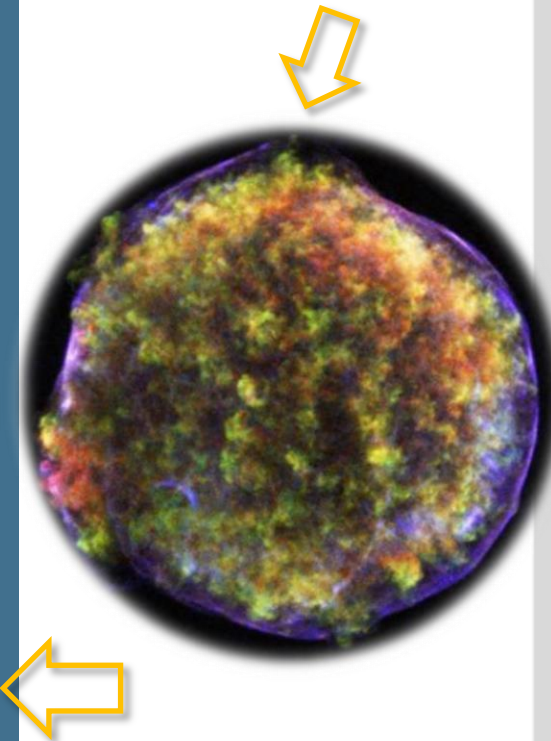
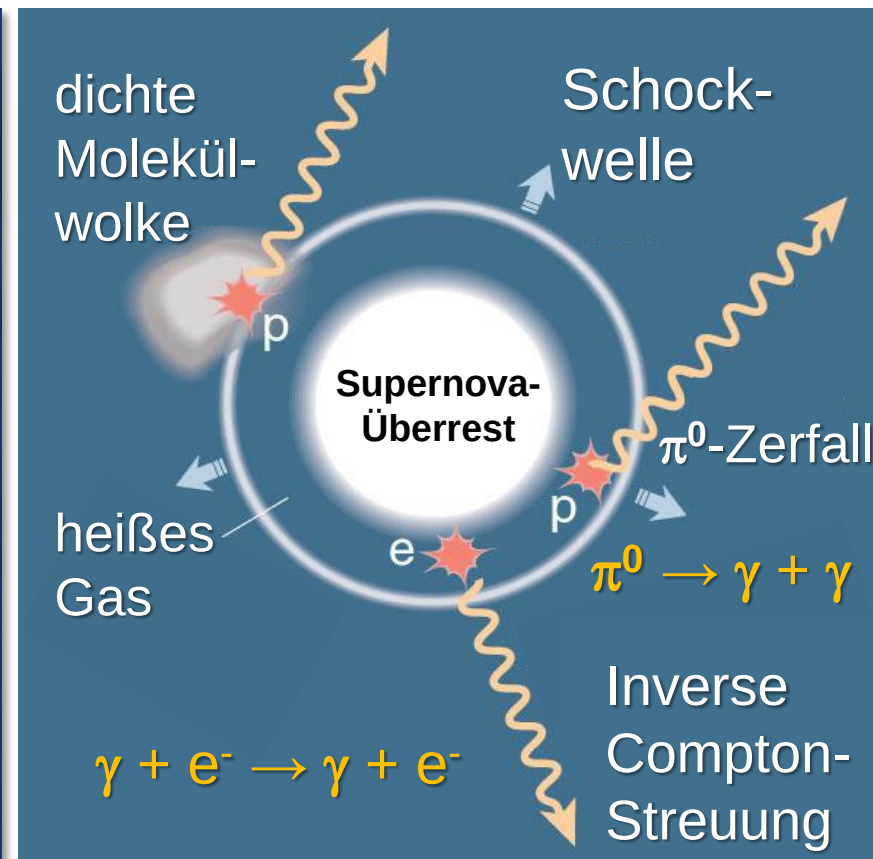
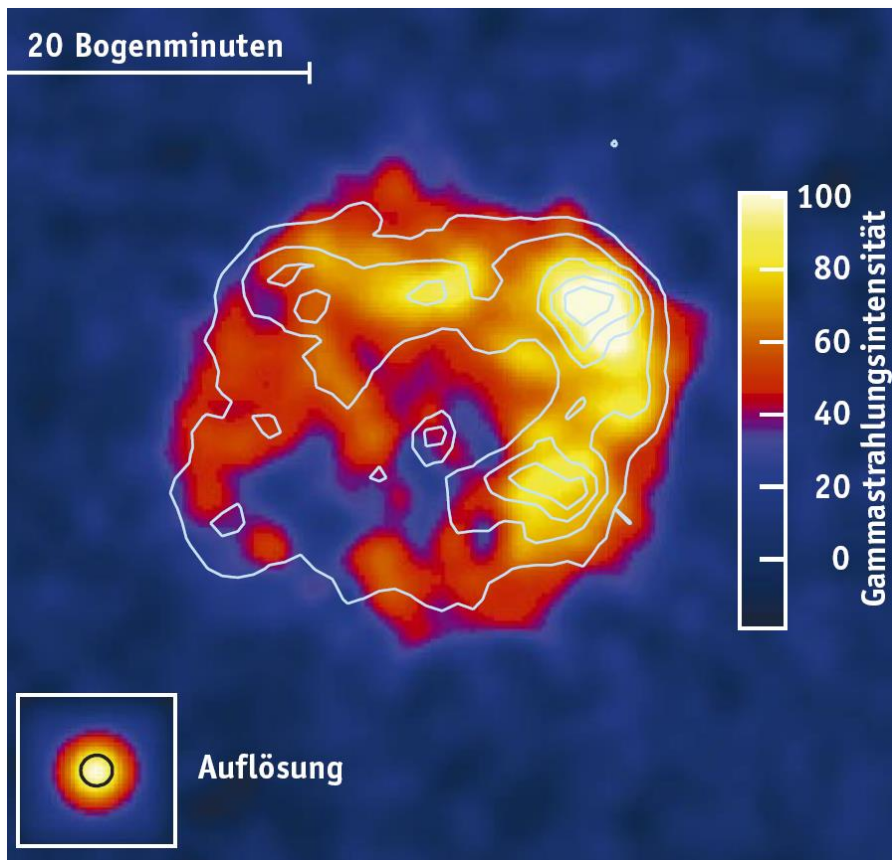
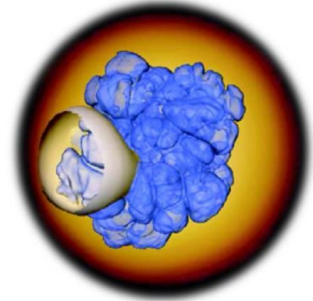
Pionzerfall



Supernovae: expandierende Hüllen

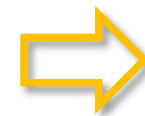
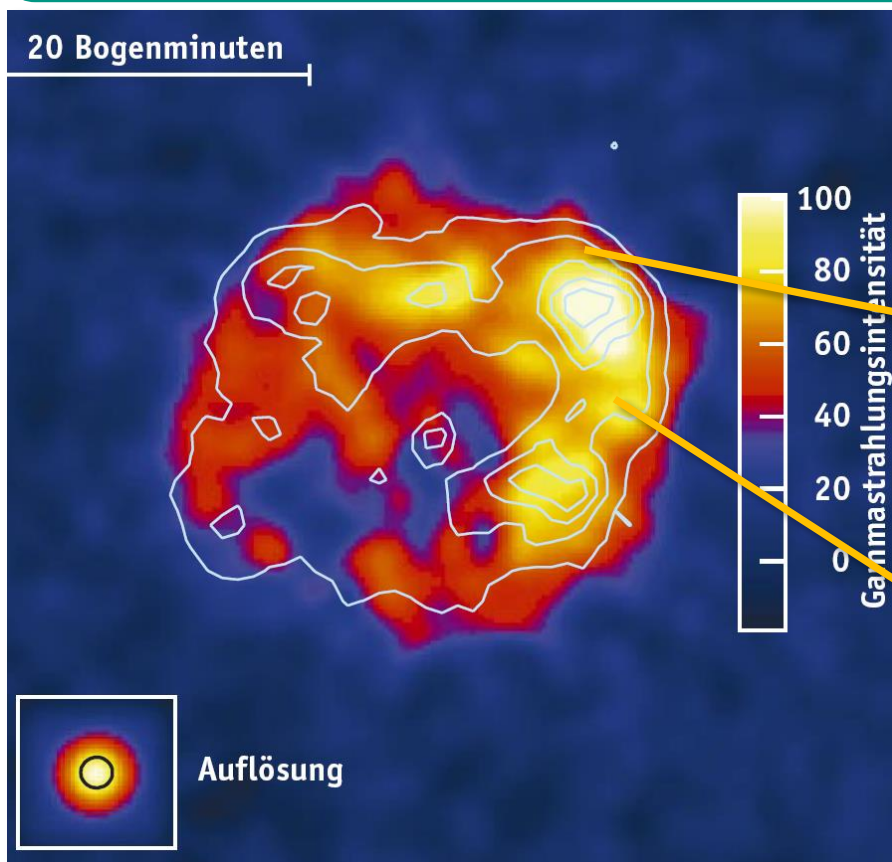
- SNR's & ihre expandierenden Hüllen sind Quellen der **galaktischen kosmischen Strahlung bis $\sim 10^{15}$ eV**
 - ⇒ **Fermi-Beschleunigung** von Protonen & Elektronen
 - zahlreiche SNRs (SN1006 & Tycho's SNR) im **GeV-TeV-Gamma-Energiebereich** nachgewiesen

Weißer Zwerg
⇒ SNIa

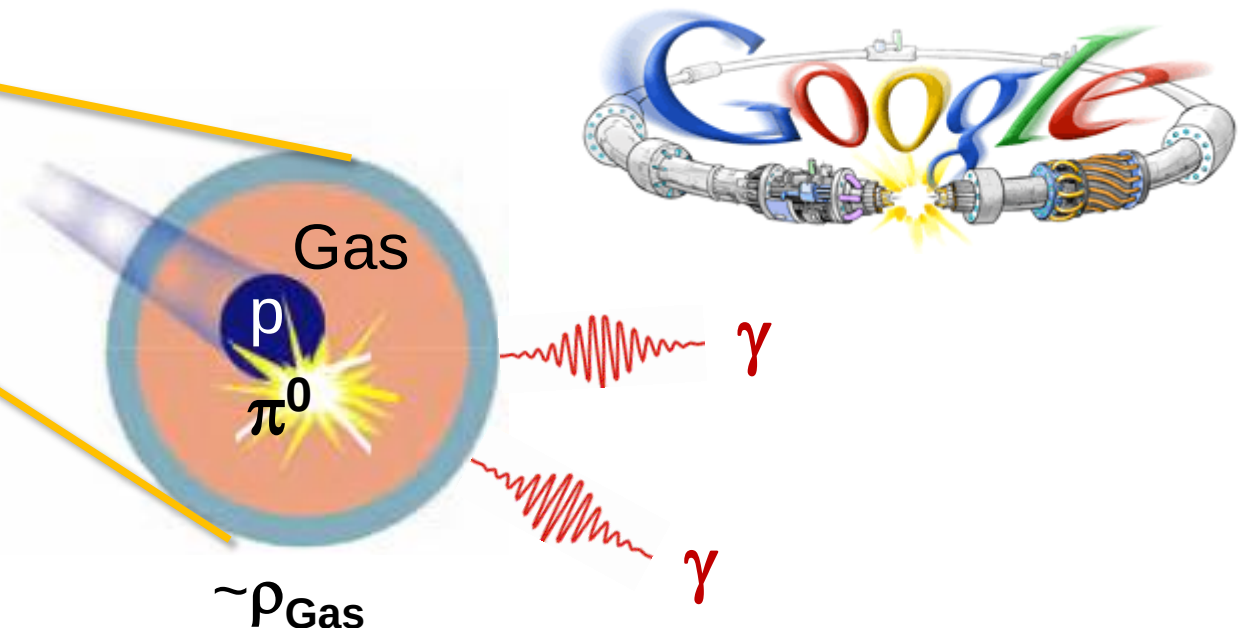


Supernovae: expandierende Hüllen

- **Modellierung** des ausgedehnten Supernova-Überrests RX J1713.7-3946 (SN393) in $d = 1$ kpc
 - erster SN-Schock, der als räumlich ausgehnte Quelle von TeV- Gammas identifiziert wurde (gute Übereinstimmung mit Röntgen-Kontour-Linien)
 - 33 h Messzeit mit 4 H.E.S.S. Teleskopen mit Schwelle $E_{\text{thres}} = 210$ GeV



hadronische Beschleunigung?

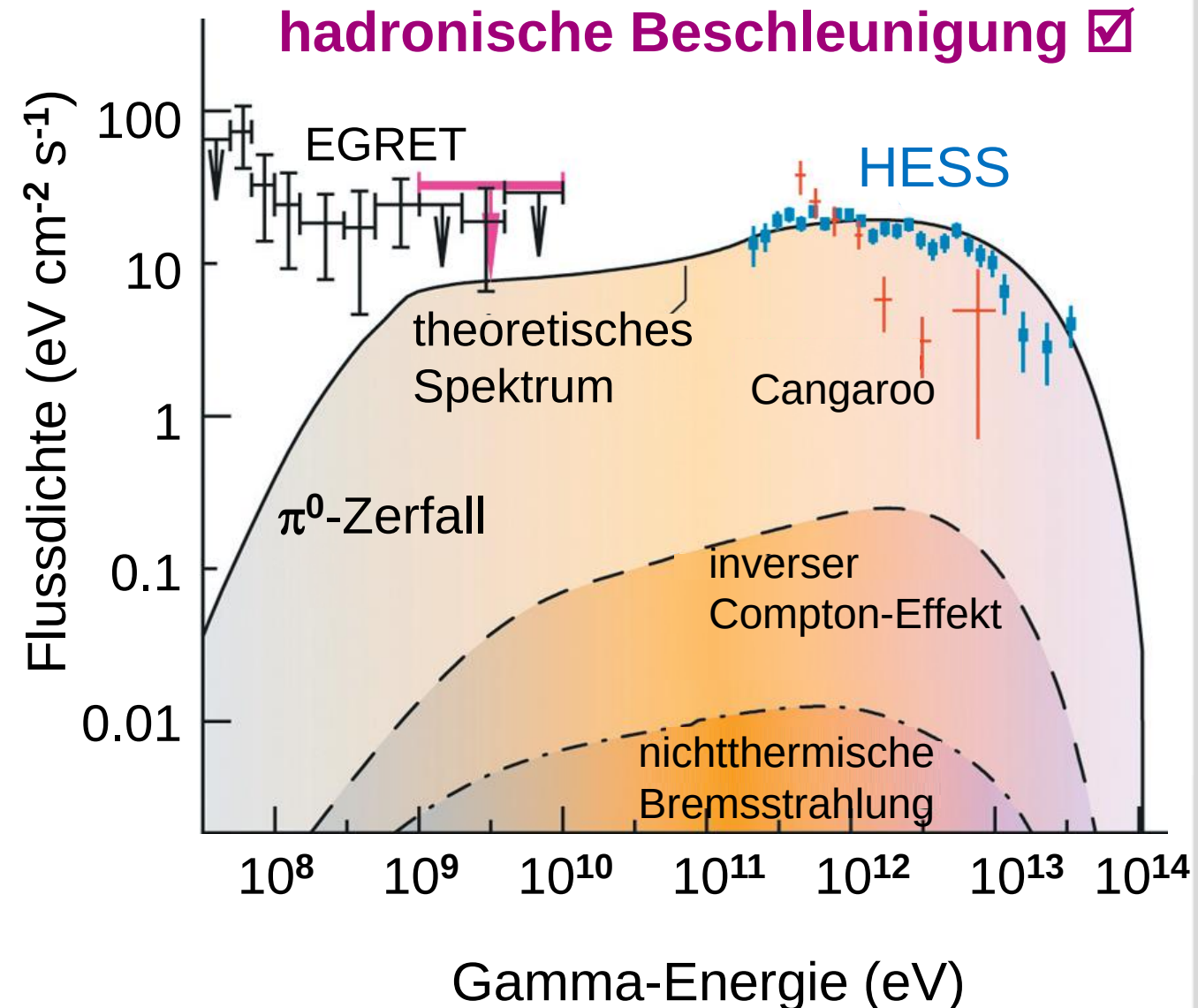
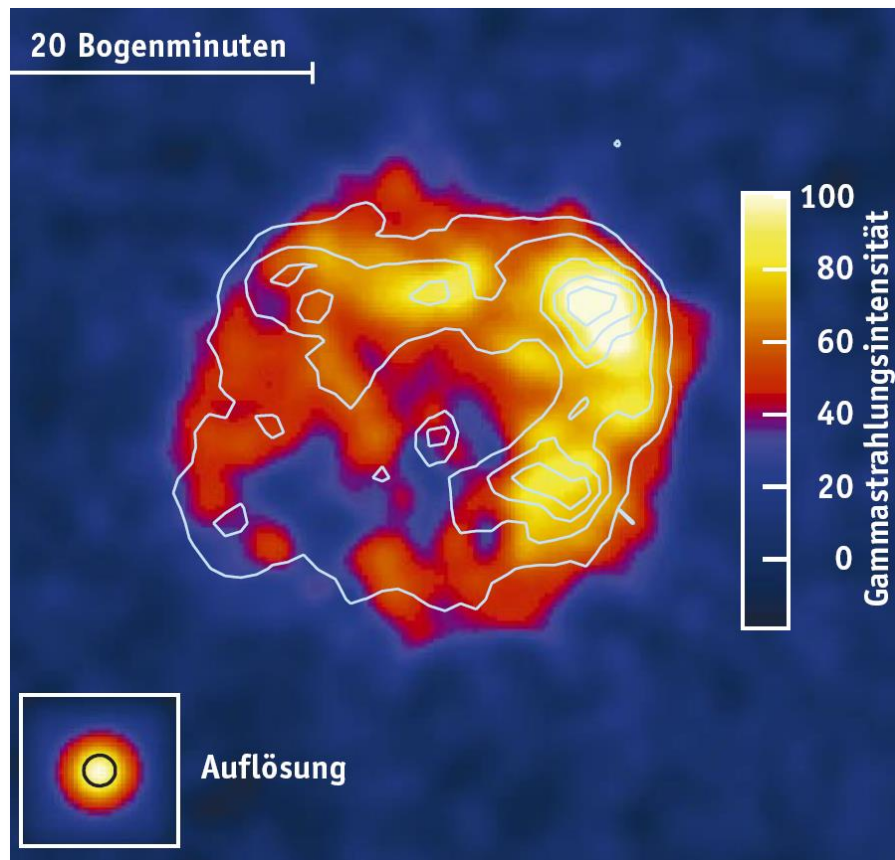


Supernovae: expandierende Hüllen

■ Modellierung des ausgedehnten Supernova-Überrests RX J1713.7-3946

(SN393) in $d = 1$ kpc

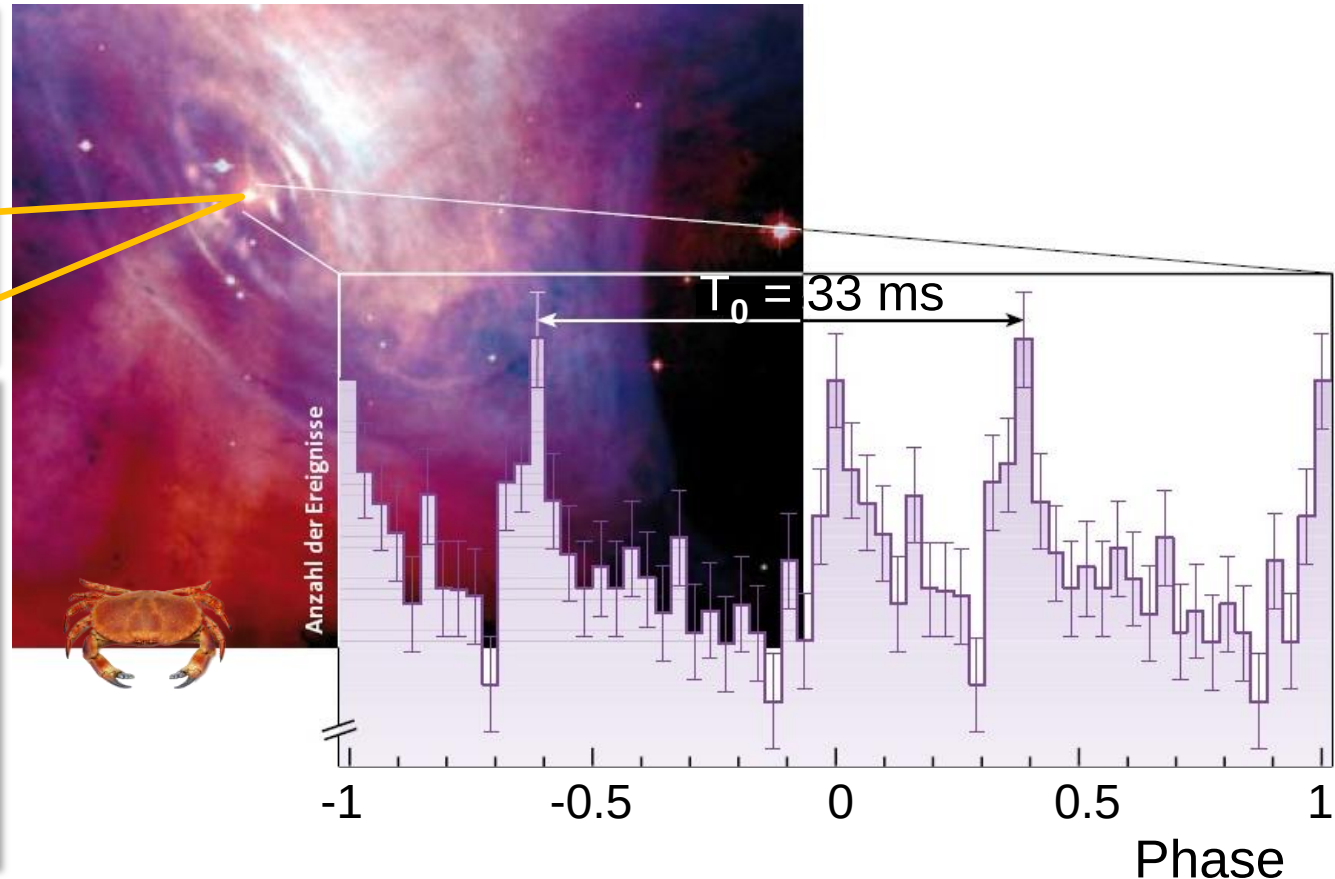
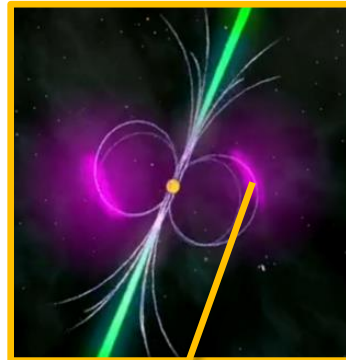
- π^0 -Zerfall erscheint als die dominante Gammaquelle
- max. Energie $E \sim 10^{14}$ eV



Pulsar im Crab Nebel: GeV γ -Signale

- Crab-Pulsar (SN 1054): **Standard-Referenzquelle** für GeV- γ -Strahlung
- 1989-2004: Whipple, HEGRA & H.E.S.S. Beobachtungen
- 2008: MAGIC beobachtet hochenergetische Gammas (E_γ bis 400 GeV!)
- Pulsstruktur aus dem äußeren Bereich der Magnetosphäre**
- ↪ Widerlegung des bisherigen Polkappenmodells für Pulse!

MAGIC-II



Pulsarwindnebel

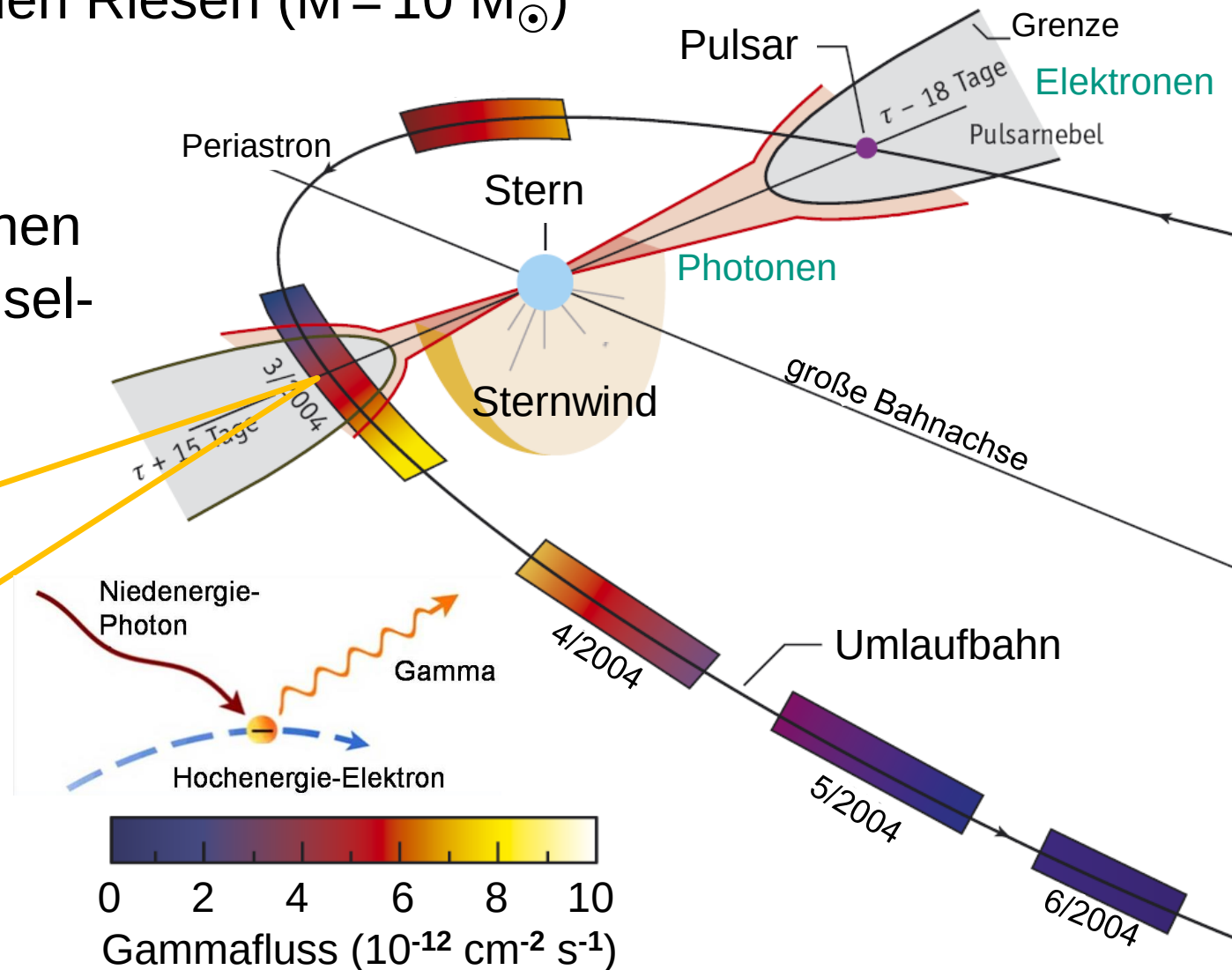
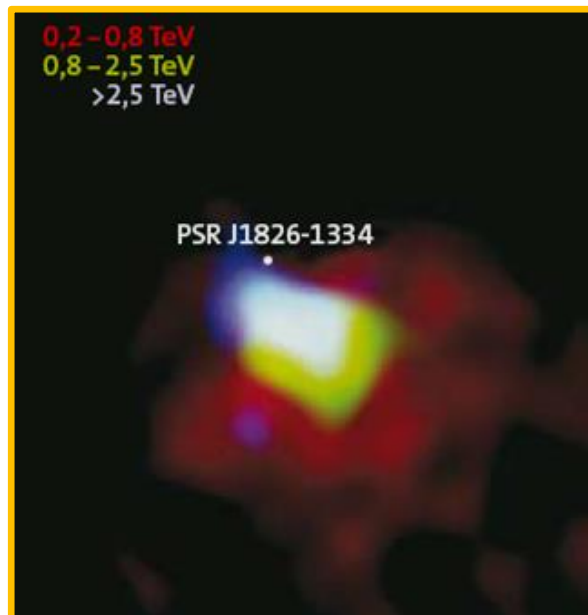
- erster Nachweis von TeV Gammas von einem Pulsar (PSR B1259-63)

zeitvariable Quelle:

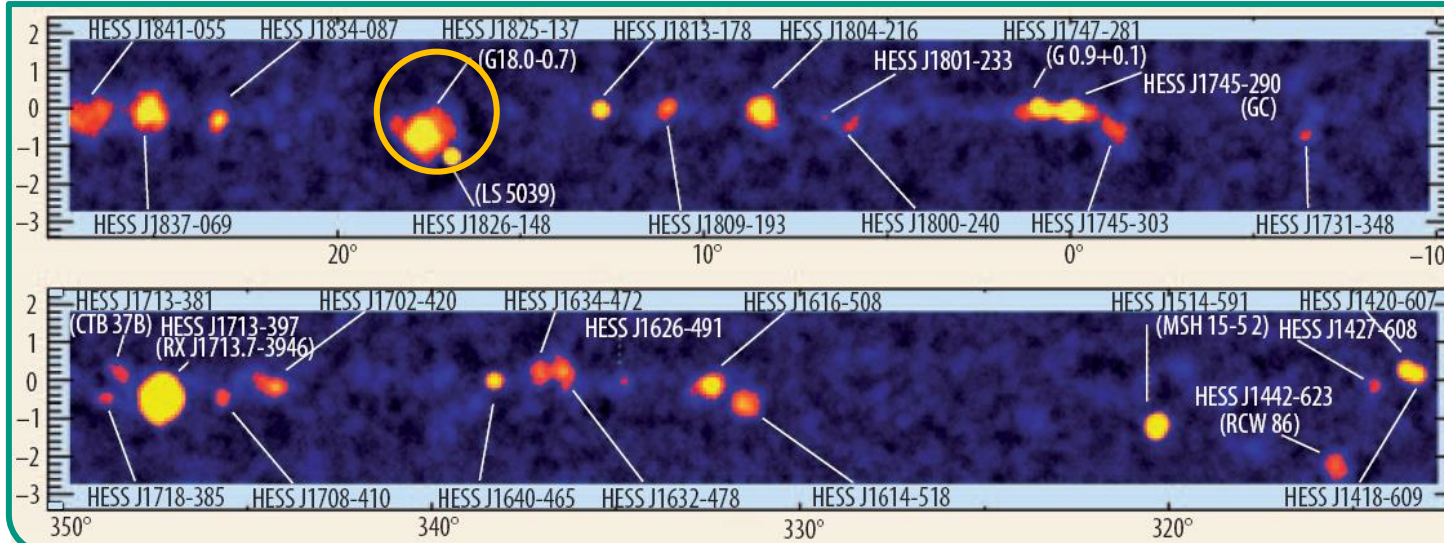
- Pulsar ($t_0 = 43$ ms) um blauen Riesen ($M = 10 M_{\odot}$)

TeV- γ 's aus inversem Compton Effekt:

- hochenergetische Elektronen aus dem Pulsarwind wechselwirken mit Sternlicht

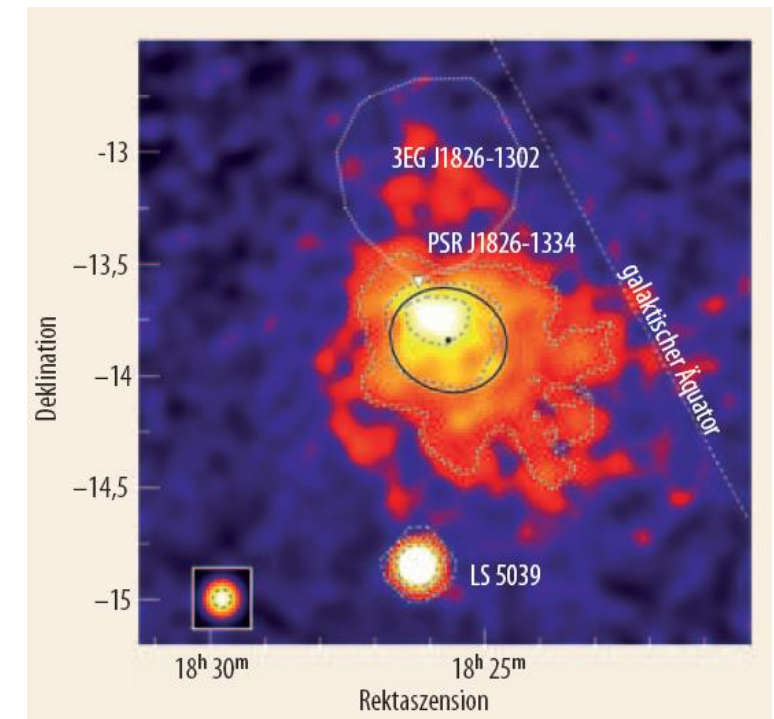
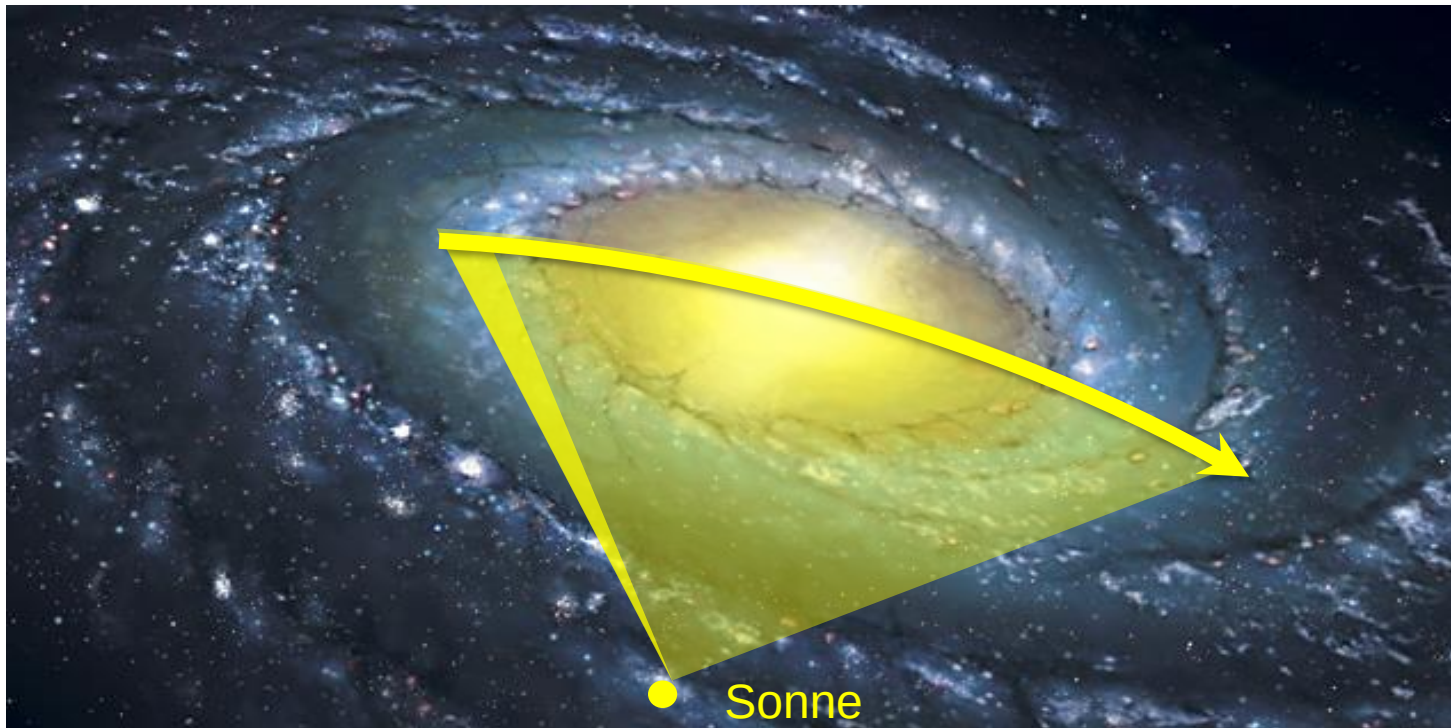


H.E.S.S. – Scan der galaktischen Ebene

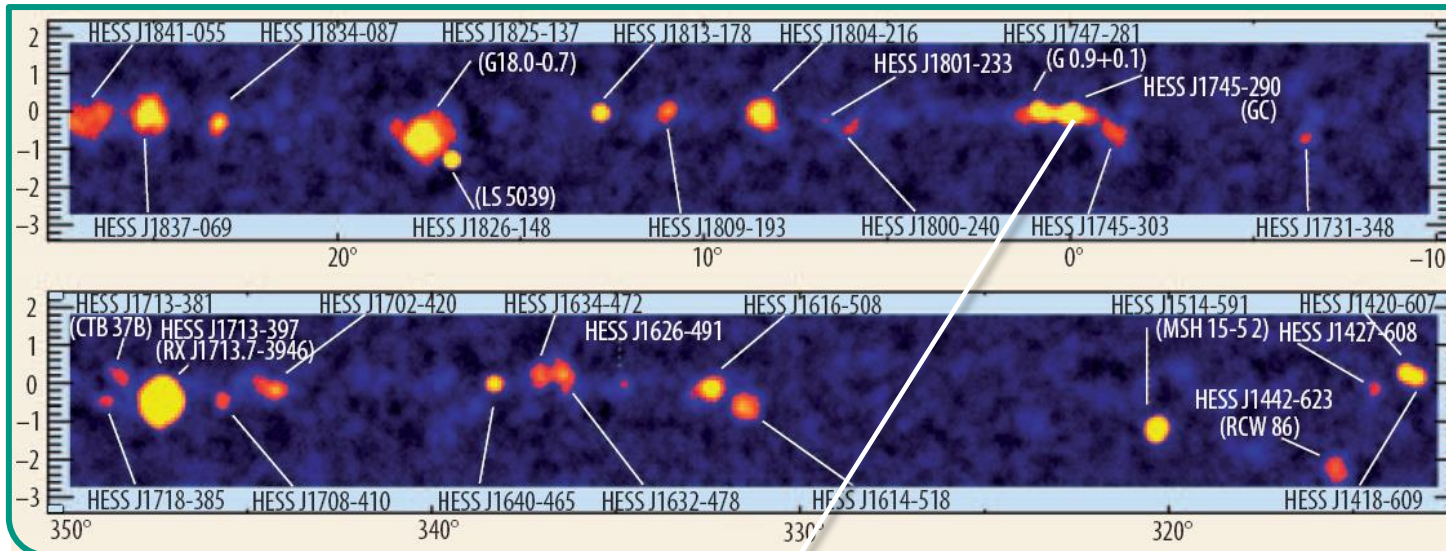


2004: 1. Durchmusterung
der galaktischen Ebene
(integrale Messzeit > 600 h)
- 30°...+ 30° galakt. Länge
± 3° galaktische Breite

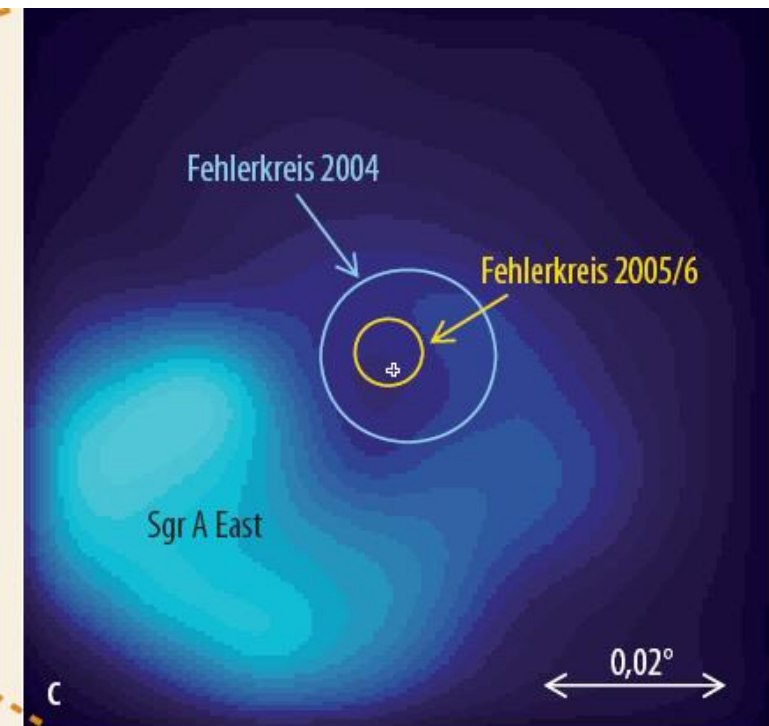
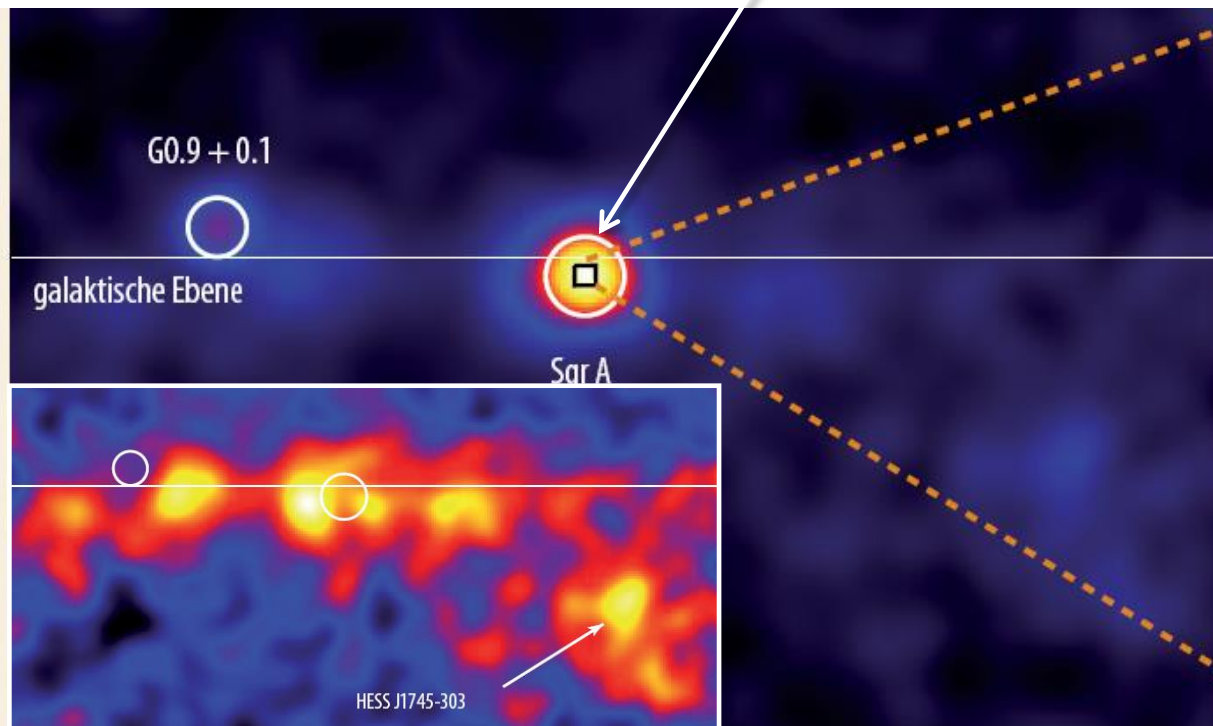
➡ **15 neue TeV γ -Quellen**



H.E.S.S. – Scan der galaktischen Ebene



- **galaktisches Zentrum**
Sgr A* und umgebende Molekülwolken im TeV-Gamma-Licht (vgl. Kap. 3.4.1, Suche nach DM-Annihilation)

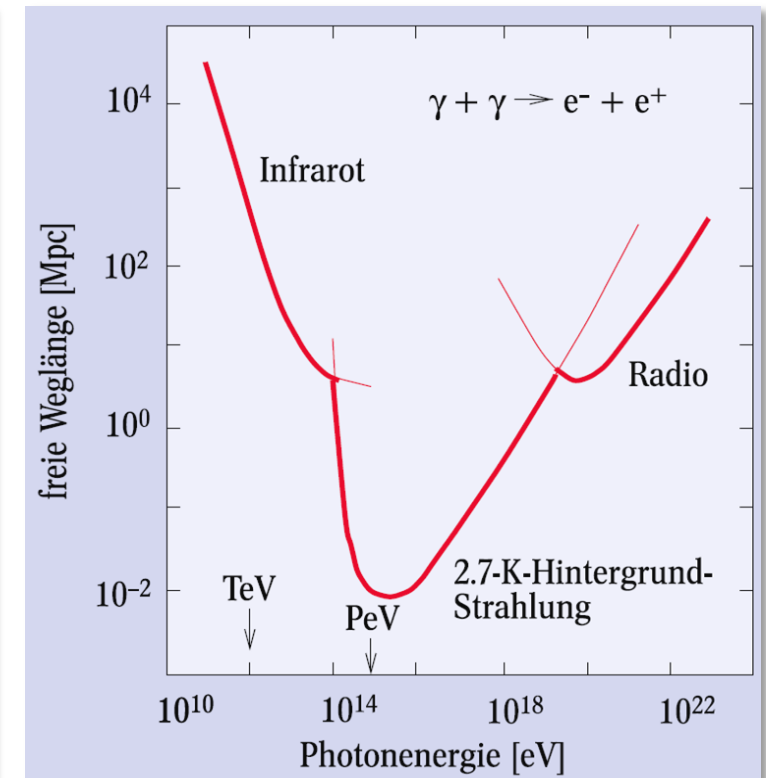
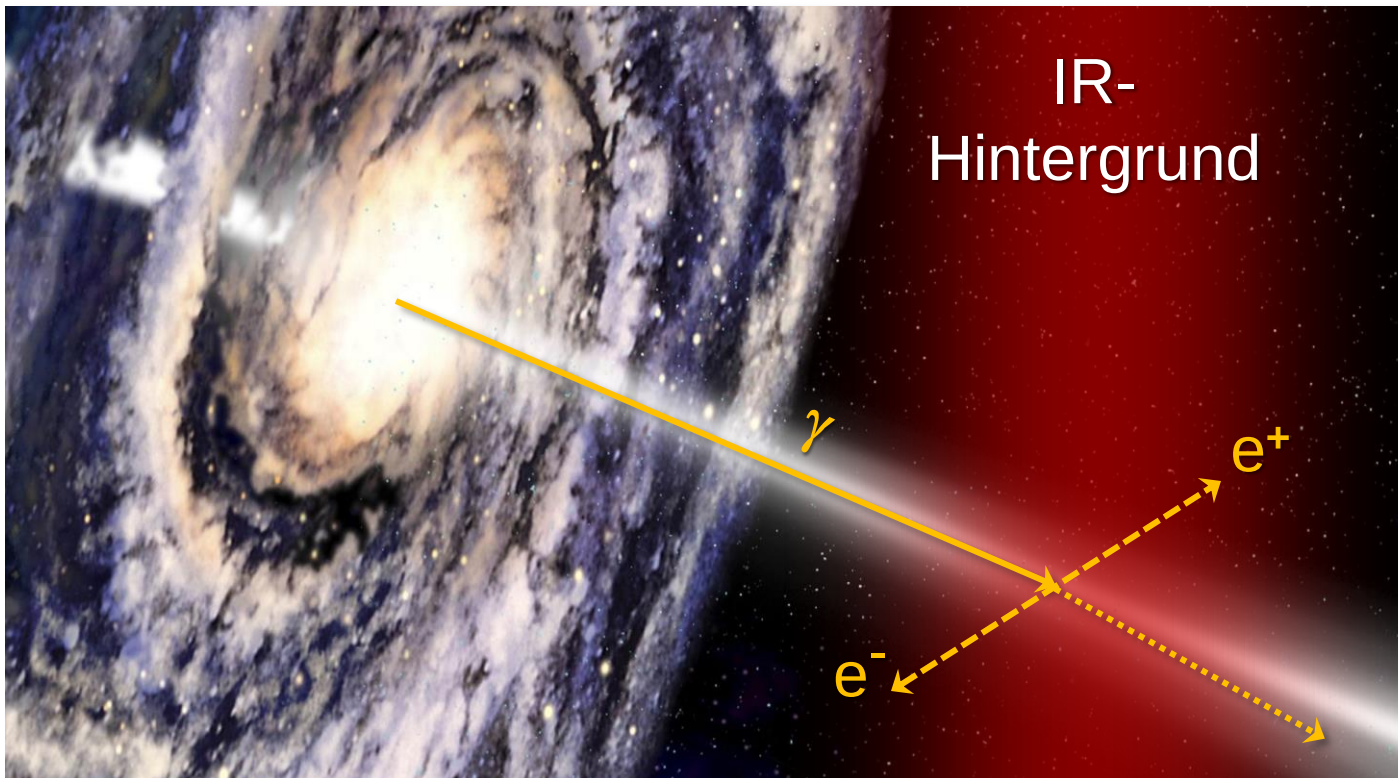


$$\gamma \text{ (TeV-Gamma)} + \gamma \text{ (IR-Photon)} \rightarrow e^+ + e^-$$

■ mittlere freie Weglänge λ von TeV-Gammaquanten (Paarbildung)

- definiert durch γ -Wechselwirkung mit den Infrarotphotonen (TeV- γ) & der 2.7 K Hintergrundstrahlung (PeV- γ): $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$

↳ begrenzte freie Weglänge λ (1 TeV: $\lambda \leq 1$ Gpc)



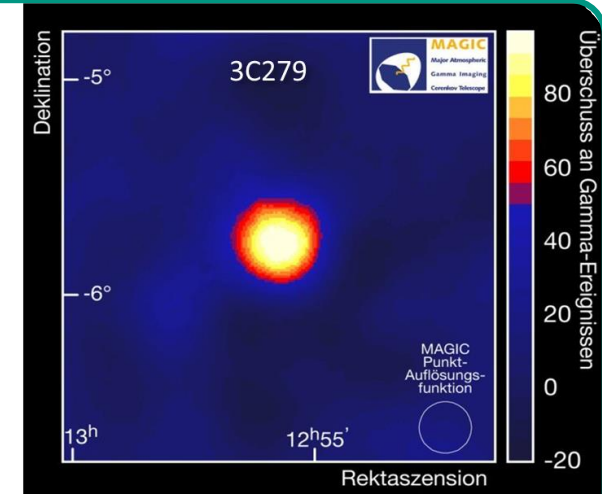
MAGIC Resultate 2008

■ erste Beobachtung eines weit entfernten Quasars

Quasar 3C279 ($d = 1.8$ Gpc) mit $E_\gamma > 50$ GeV

↪ Reichweite der TeV γ 's ist größer als erwartet

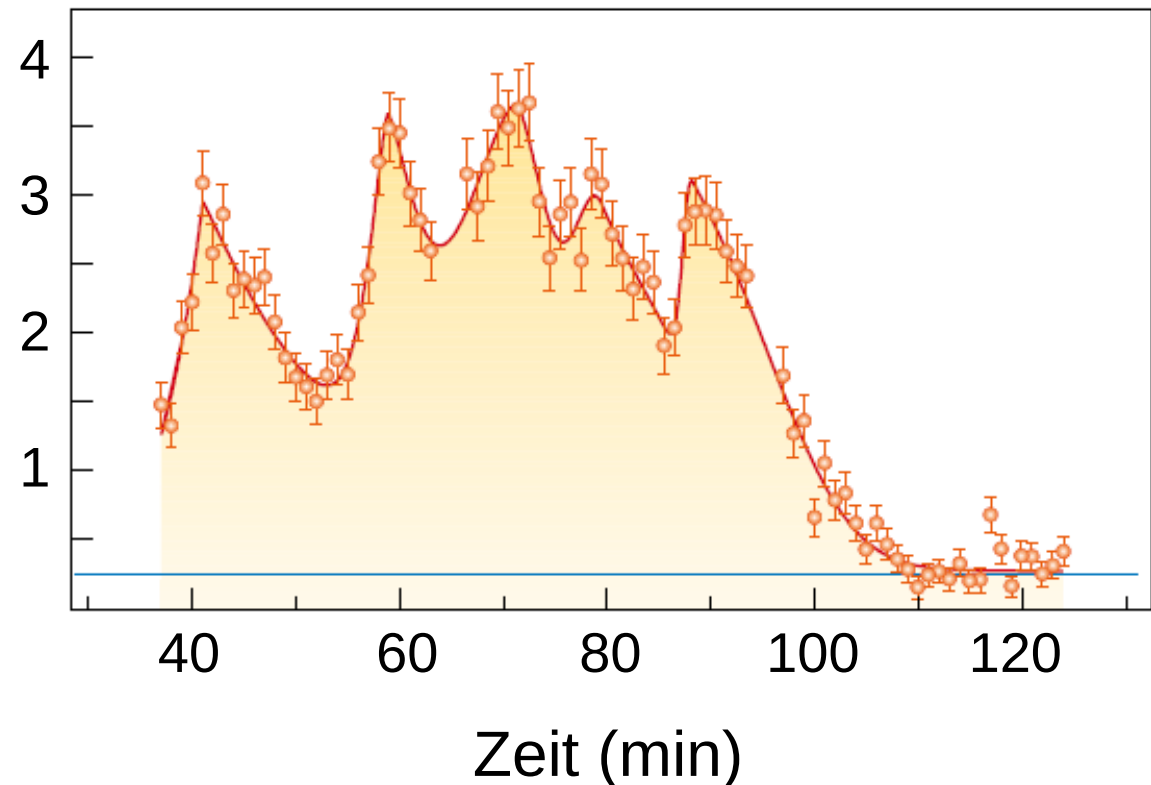
↪ neue Perspektiven für TeV- γ 's?



■ Suche nach zeitlicher Variabilität von AGNs

- wie schnell sind
Änderungen in AGNs?

Photonenfluß
[$10^{-9} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$]



Fundamentale Symmetrien & Astroteilchenphysik

■ weit entfernte Quasare als Test fundamentaler Prinzipien

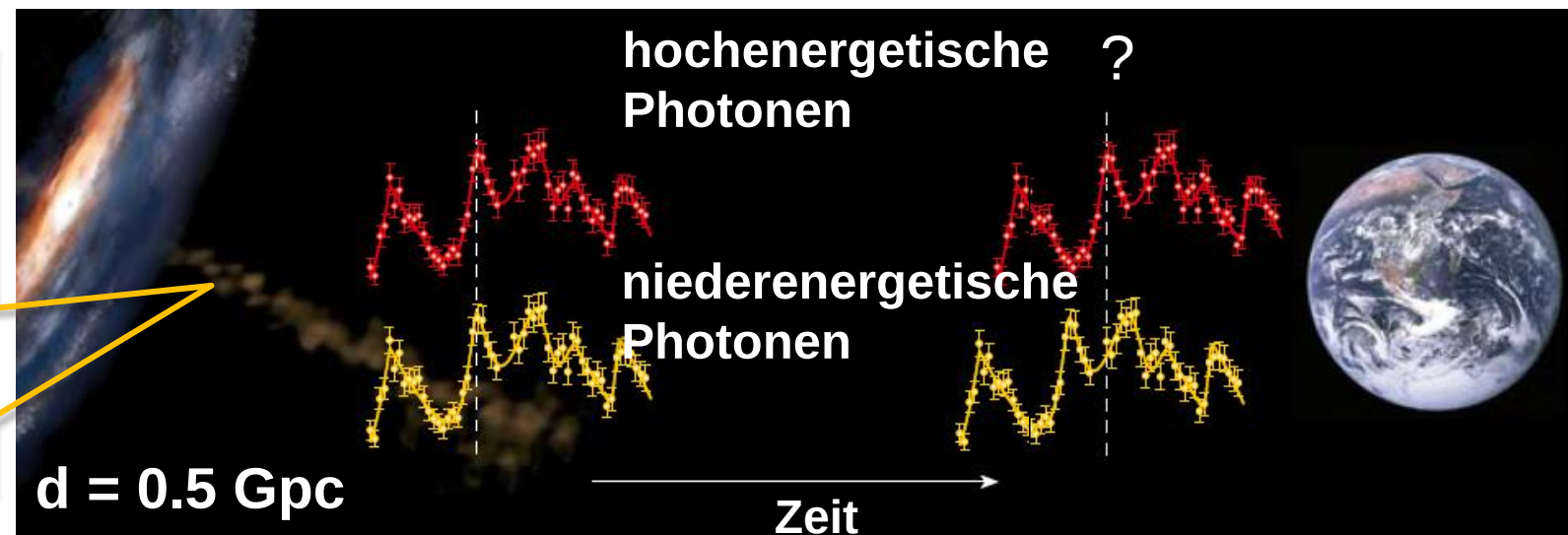
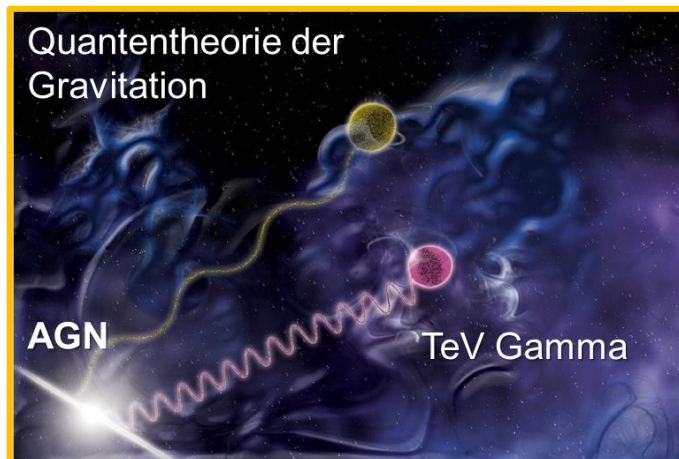
- Quantentheorien der Gravitation können Verletzungen der Lorentz-Invarianz beinhalten

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F^{\mu\nu}F_{\mu\nu} - \frac{1}{4}(k_F)_{\kappa\lambda\mu\nu}F^{\kappa\lambda}F^{\mu\nu}$$



■ Suche nach Verletzungen der Lorentz-Invarianz

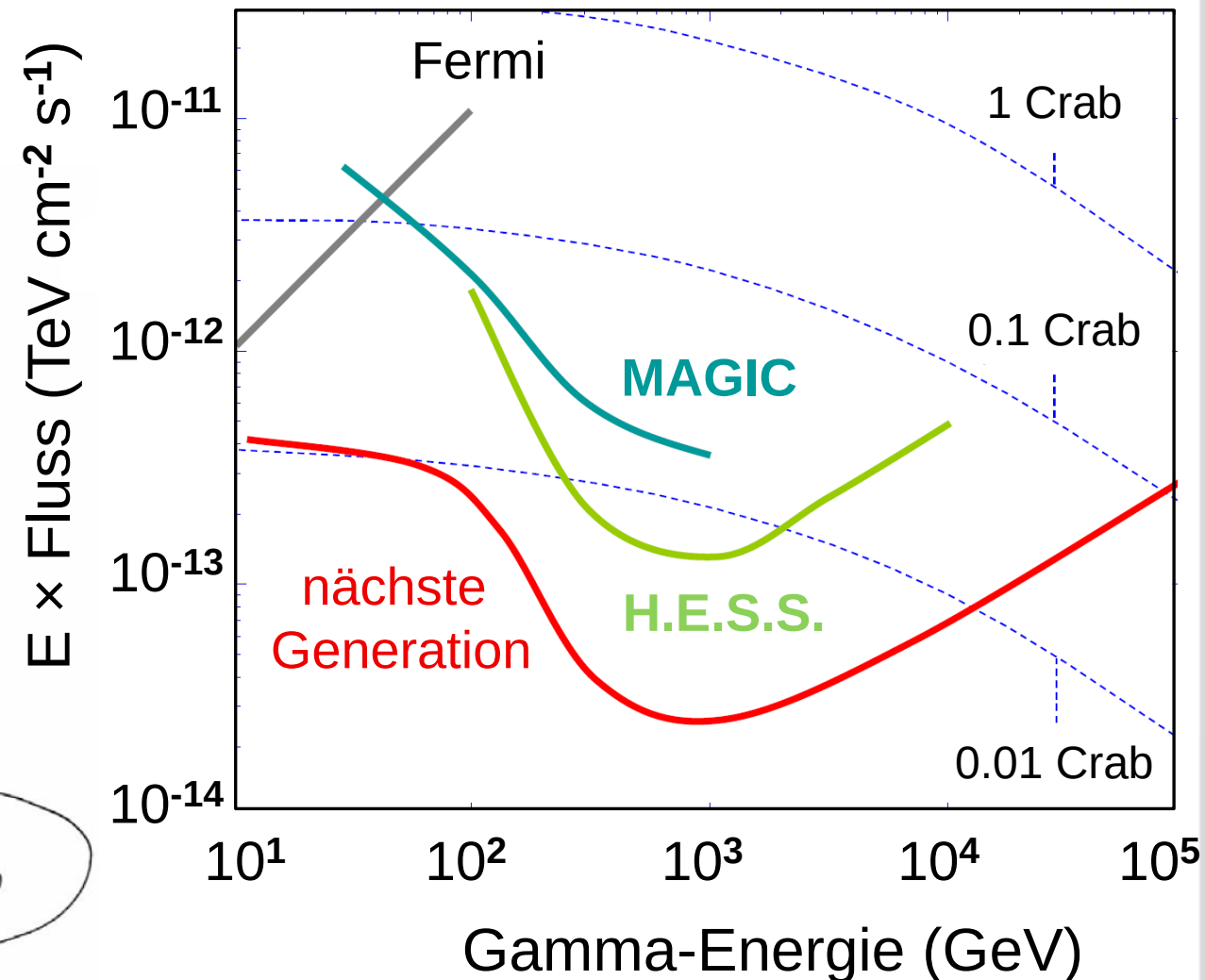
- sind Gammas unterschiedlicher Energie gleich schnell?



■ Weiterentwicklung der Gamma-Astronomie

- Verbesserung der Sensitivität, Erweiterung des Energiebereichs
- bessere Untergrundreduktion

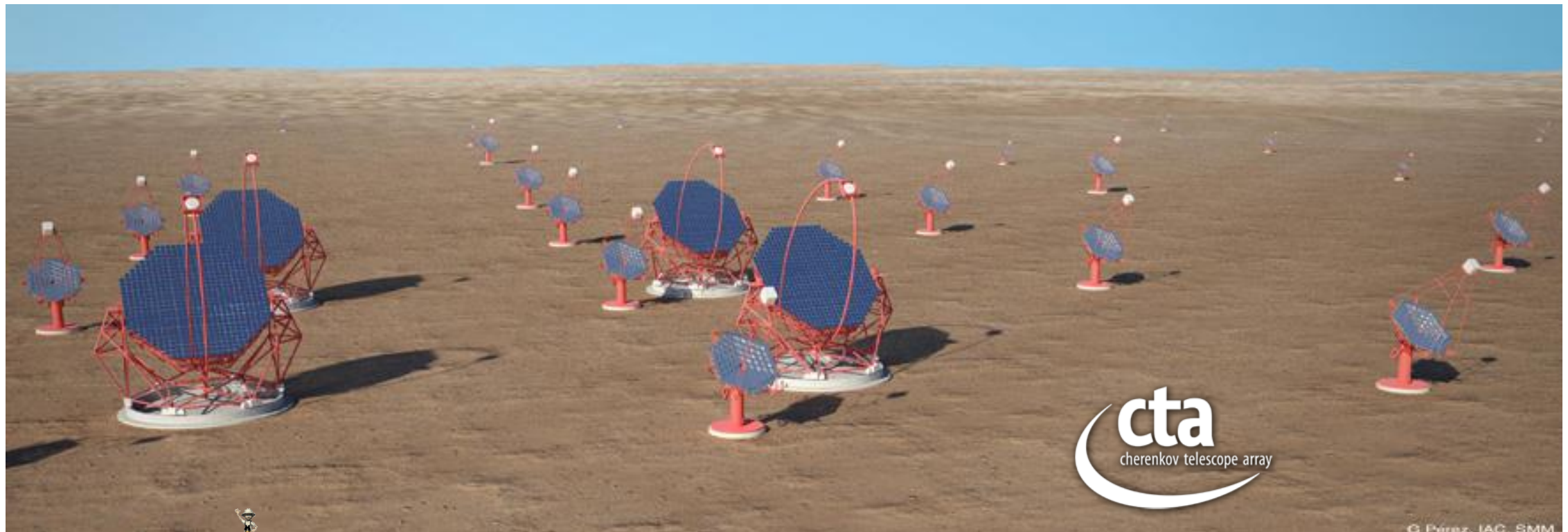
⇒ neues Array



CTA : Flaggschiff-Zukunftsprojekt der europäischen Astroteilchenphysik

Cherenkov Telescope Array CTA: (10 GeV – 100 TeV)

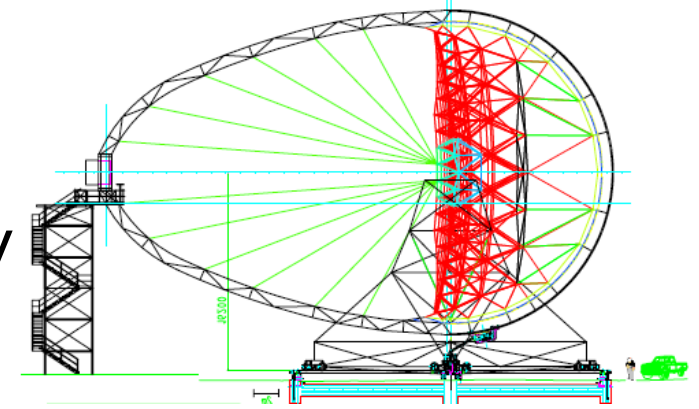
- geplantes neues Observatorium, 1 × Südhalbkugel, 1 × Nordhalbkugel
- mehr als 100 Cherenkov-Teleskope unterschiedlicher Größe
- Inbetriebnahme der beiden Arrays geplant ~ 2020



G Pérez, IAC, SMM

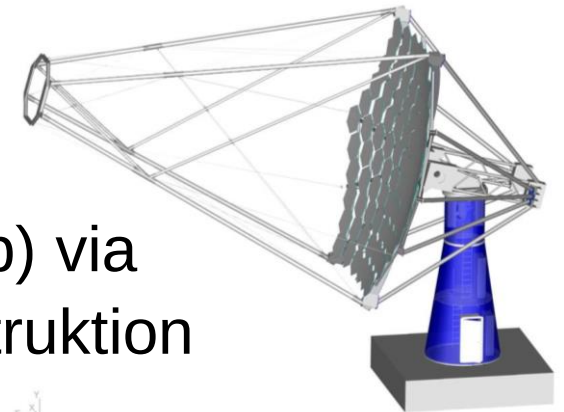
LST – Large Size Telescopes

- 3-4 **große** Teleskope mit $\varnothing = 24$ m
- **Ziel**: niedrige Energieschwelle bei einigen 10^1 GeV durch große Sammelfläche in 1 Kamera



MST – Medium Size Telescopes

- mehrere **mittlere** Teleskope mit $\varnothing = 12$ m
- **Ziel**: Erzielen der besten Gamma-Sensitivität (milli-Crab) via größere Bodenfläche & bessere Schauer-Rekonstruktion



SST – Small Size Telescopes

- zahlreiche **kleine** Teleskope mit $\varnothing = 6$ m
- **Ziel**: Abdeckung einer großen Fläche am Erdboden zur Verbesserung der Sensitivität bei hohen γ -Energien

