

Ergebnisse aus Beobachtungen junger offener Sternhaufen mit den HEGRA-Cherenkov-Teleskopen

Überblick

- Das HEGRA Experiment
- Motivation der Beobachtungen
- Berkeley 87
- Ergebnisse der Datenanalyse
- Modellierung des Energiespektrums
- Anpassung des Modells an die HEGRA-Ergebnisse
- Zusammenfassung / Ausblick

Martin Tluczykont

für die HEGRA-Kollaboration

Institut für Experimentalphysik

Universität Hamburg



Standort:

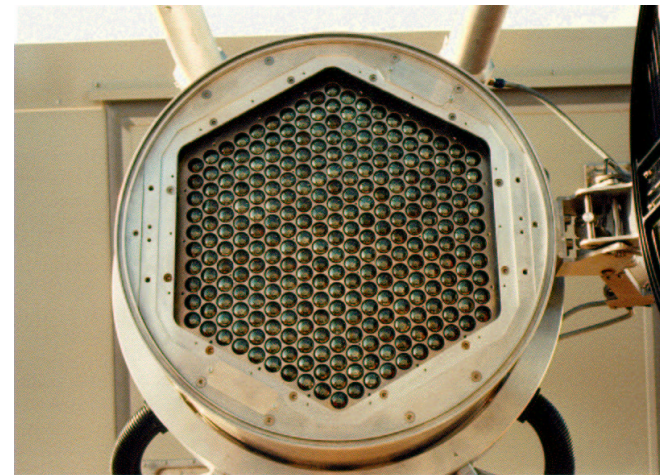
- Observatorio del Roque de los Muchachos, La Palma
- 2200 m über N.N.
- TeV- γ -Astronomie mit insgesamt 6 Cherenkov-Teleskopen

Das Cherenkov-Teleskop-System:

- Stereoskopisches System von 5 Teleskopen
- Energieschwelle 500 GeV
- Winkelauflösung ≤ 0.1 Grad
- Energieauflösung 10-20 %

Das H.E.S.S. Experiment

CT2, kurz vor Beginn der Messungen

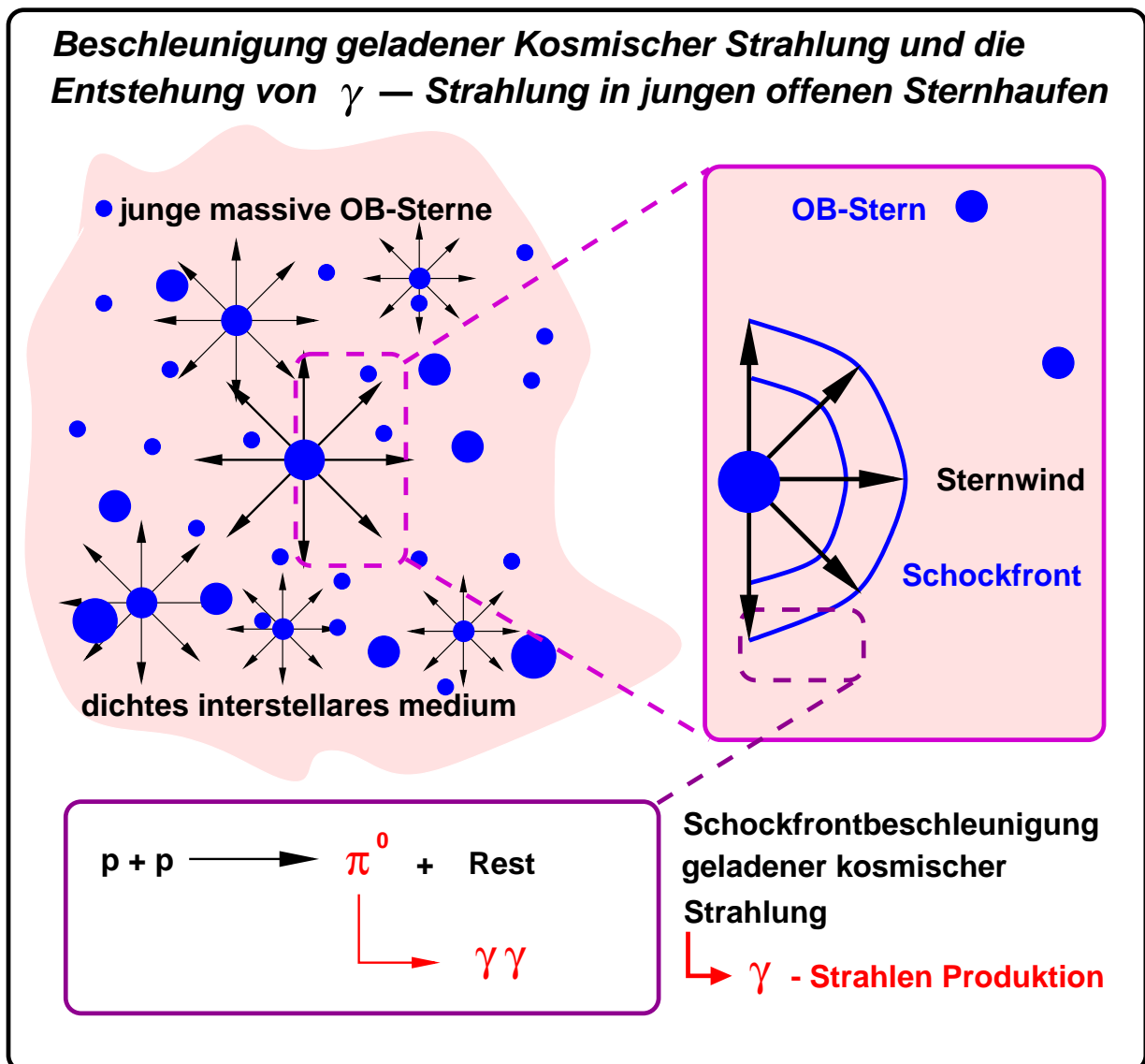


Kamera:
271 PMT-Pixel

Motivation der Beobachtungen

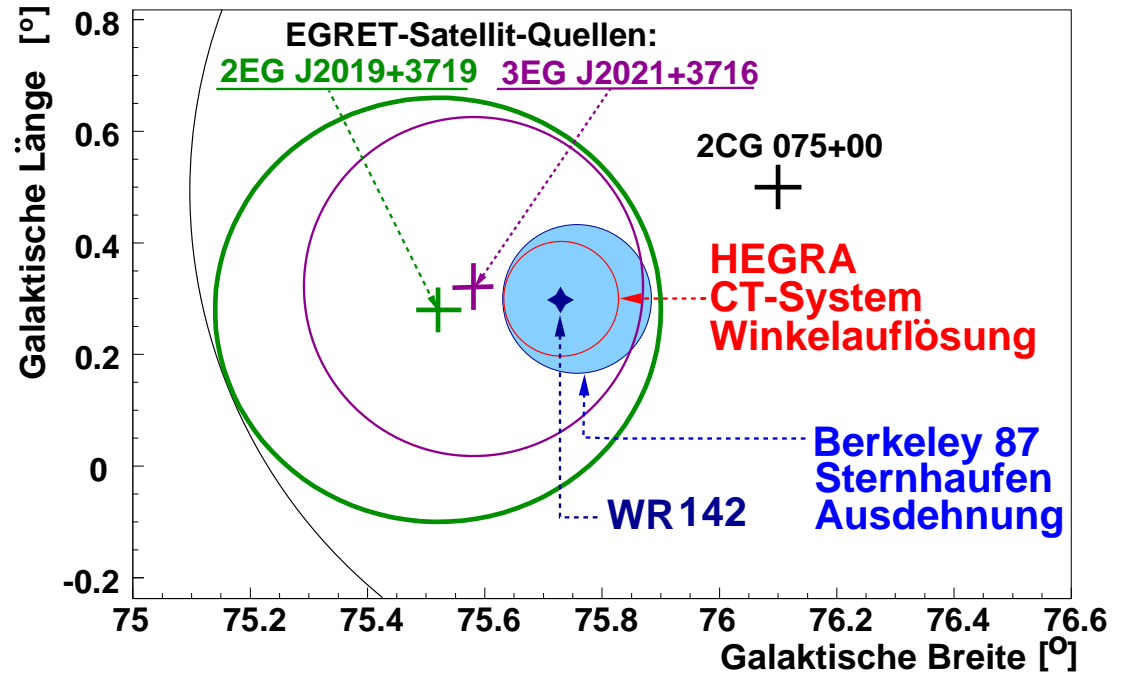
Suche nach dem Ursprung der Kosmischen Strahlung:

- **Supernova-Überreste (Cas A, SN 1006 → V. Vitale)**
- ... ?
- **Alternative: junge offene Sternhaufen**



Berkeley 87

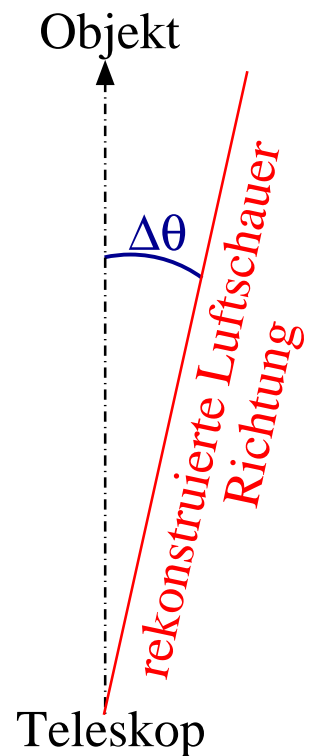
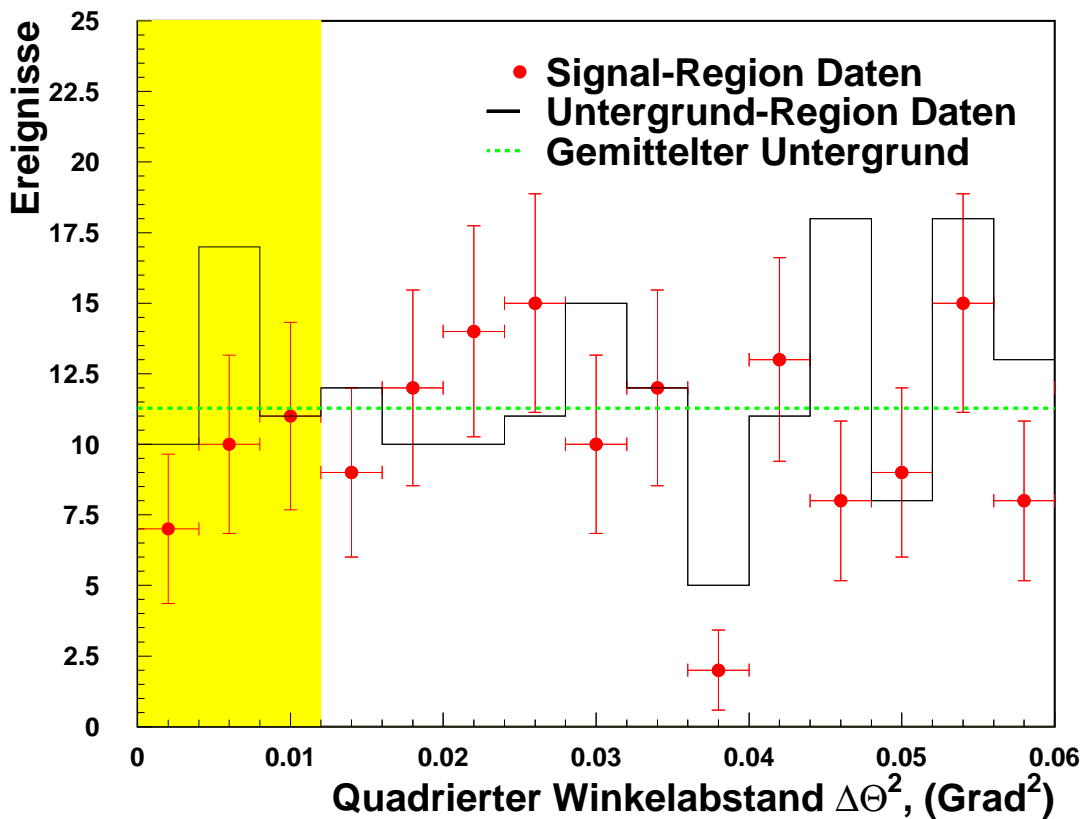
- ca. 100 Sterne mit jew. 20-60 M_{\odot}
- Teil des Sternentstehungsgebietes ON2
- Entfernung: 0.9 kpc (3000 Lichtjahre)
- Durchmesser $D = 5$ pc (16 Lichtjahre)
- Wolf-Rayet Stern WR-142:
Sternwind $w = 5200$ km/s (Mach 26)
- Assoziation mit EGRET-Quelle
(Satellitenexperiment, MeV/GeV)
 $2EG\ J2019+3719 \leftrightarrow 3EG\ J2021+3716$



HEGRA-Datenanalyse

- 12 h Daten aus den Jahren 1999, 2000 und 2001
- Krebs-Nebel-optimierte Schnitte
 - quadrierter Winkelabstand $\Delta\theta^2 < 0.012 \text{ Grad}^2$
 - γ -Hadron-Separation: $\text{mscw} < 1.1$

HEGRA Daten -- Berkeley 87



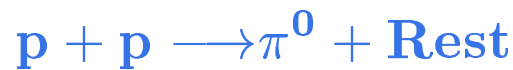
- keine Anzeichen für DC-Überschuss
- keine Anzeichen für variables Signal
- obere integrale Flussgrenze

$$\Phi_{\text{U.L.}}^{99\%}(E > 0.76 \text{ TeV}) = 2 \cdot 10^{-12} \text{ photonen cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Grundlagen zur Modellierung

Basis für die Berechnung eines integralen Spektrums:

- Modell: γ -Strahlen-Produktions-Spektrum gemäß Stephens & Badhwar 1980



$$\frac{d\sigma(\mathbf{E}_\pi, \mathbf{E}_p)}{d\mathbf{E}_\pi} = 2\pi \int_{\theta} p_{\perp} \left(\mathbf{E} \frac{d^3\sigma}{dp^3} \right) d\theta$$

$$q_{\pi^0} \sim \int_0^{\mathbf{E}_{\max}} \frac{d\sigma(\mathbf{E}_\pi, \mathbf{E}_p)}{d\mathbf{E}_\pi} d\mathbf{E}_p$$

$$q_{\gamma}(\mathbf{E}_{\gamma}) d\mathbf{E}_{\gamma} = \int_{\mathbf{E}'_{\pi}}^{\infty} \frac{2d\mathbf{E}_{\gamma} q_{\pi^0}(\mathbf{E}_{\pi})}{\sqrt{\mathbf{E}_{\pi}^2 - m_{\pi}^2}} d\mathbf{E}_{\pi}$$

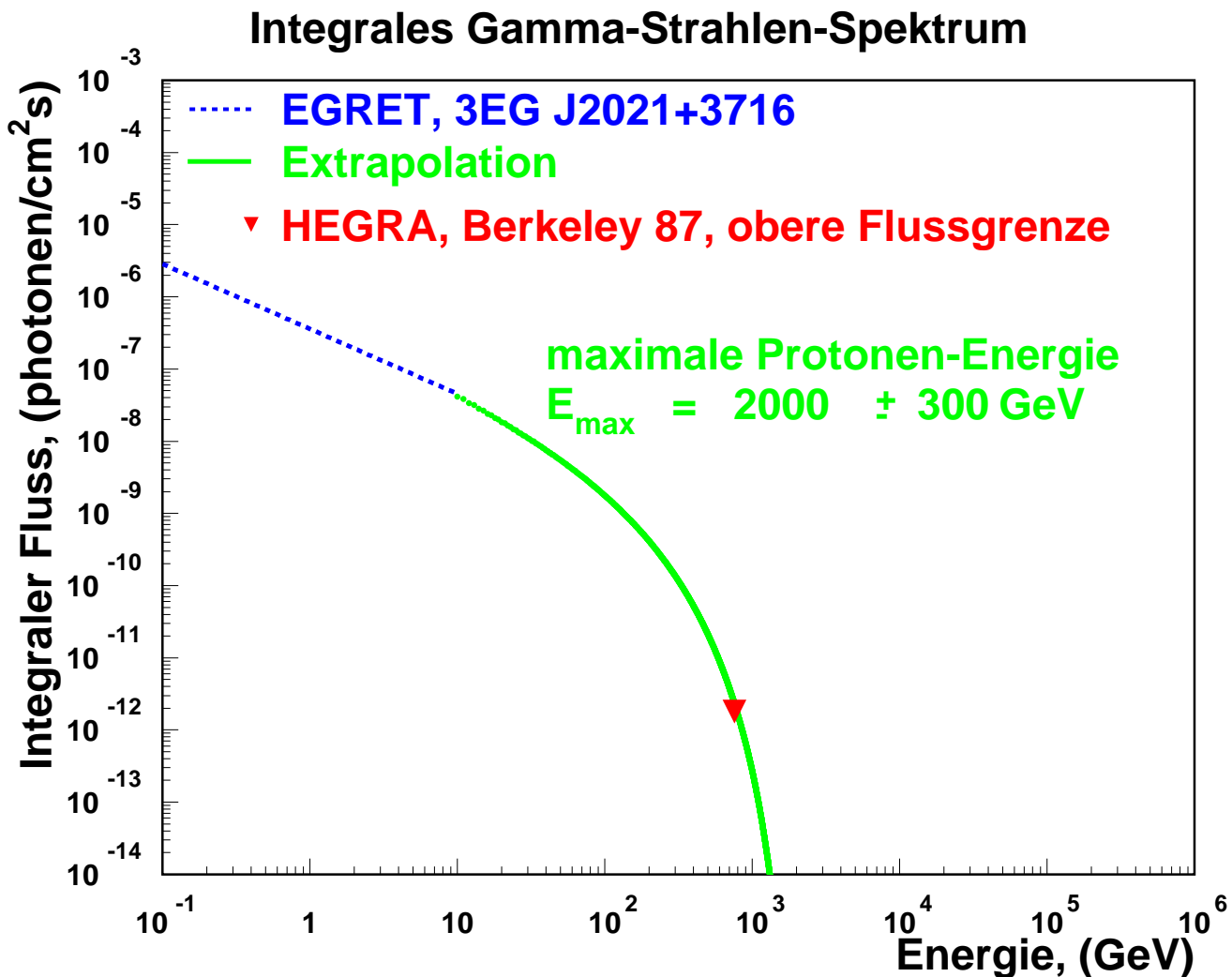
- Abschätzung der maximalen Protonenenergie \mathbf{E}_{\max} bei Schockfrontbeschleunigung in Sternwinden
- Polcaro et al., 1991: Assoziation von Berkeley 87 mit 2EG J2019+3719 \longleftrightarrow 3EG J2021+3716

Ergebnisse der Modellierung

Anpassung des Modells an die obere Flussgrenze aus den HEGRA-Daten:

1. Variation der maximalen Protonenenergie (cutoff-Energie E_{\max})
2. Skalierung an die EGRET-Daten (Spektralindex 0.9 ± 0.1)

→ Extrapolation in den TeV-Bereich



Berücksichtigung der Verletzung des Skalenverhaltens:

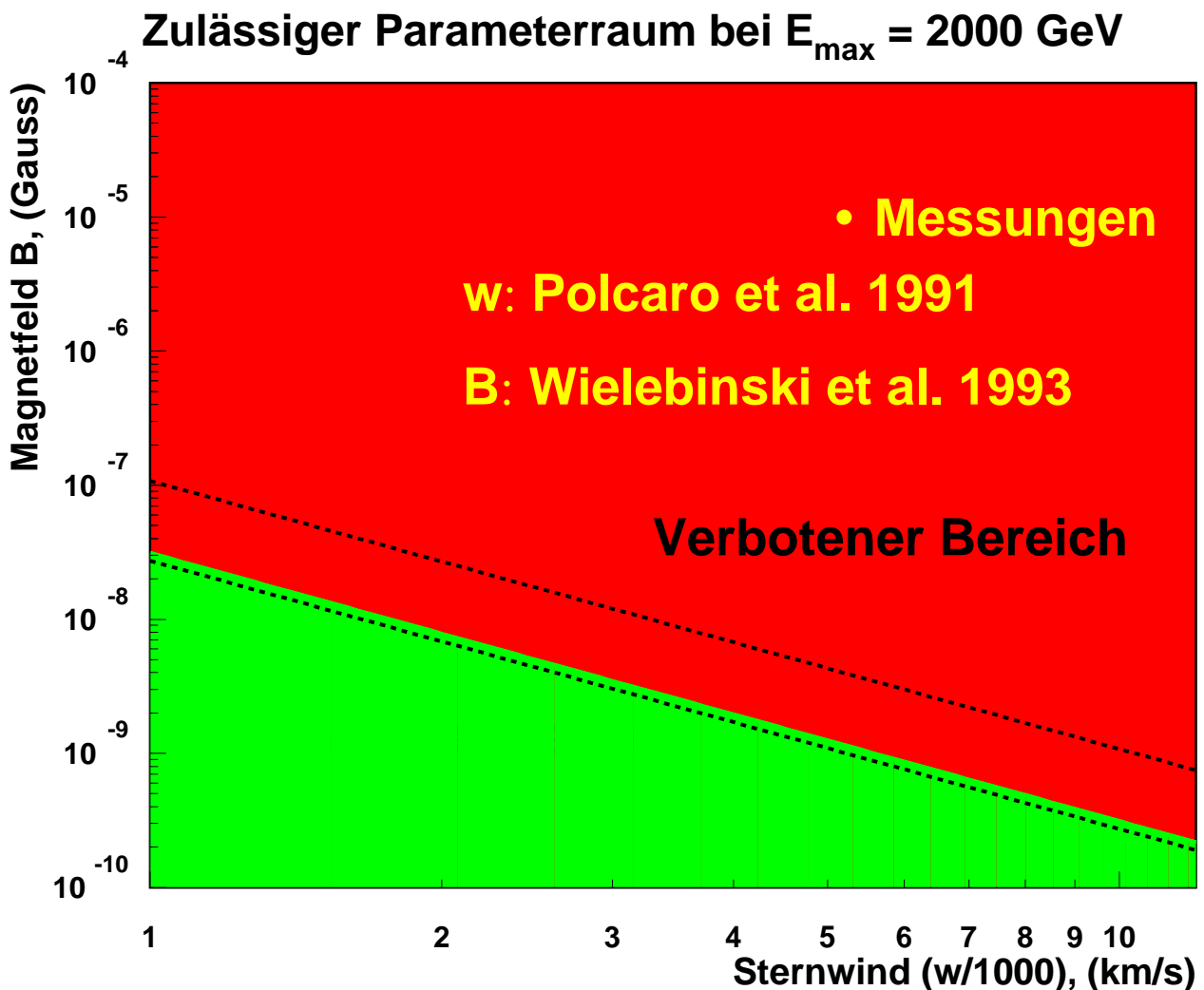
(Schätzung gemäß Giovanelli et al.) $E_{\max} \longrightarrow 3 \times E_{\max}$

Zulässiger Parameterraum

Abschätzungen für die maximale Protonen-Energie:

$$E_{\max} = 4 \times 10^6 \cdot \frac{B}{10^{-5}} \cdot \left(\frac{w}{2500} \right)^2 \text{ GeV}$$

Césarsky & Montmerle (1983)



Im Rahmen der vorgestellten Modellierung ist die Abschätzung der maximalen Protonen-Energie E_{\max} zu hoch

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- $\Phi_{\text{U.L.}}^{99\%}(E > 0.76 \text{ TeV}) = 2 \cdot 10^{-12} \text{ Photonen cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Junge Offene Sternhaufen leisten keinen großen Beitrag zur Beschleunigung der Galaktischen Kosmischen Strahlung
- Die aus den HEGRA-Daten errechnete obere Flussgrenze ermöglicht eine Einschränkung des vorgestellten Modells bezüglich der maximalen Protonen-Energie ($E_{\text{max}} < 7 \text{ TeV}$)

Ausblick:

- Ein speziell auf die physikalischen Bedingungen im offenen Sternhaufen Berkeley 87 abgestimmtes Modell zur Berechnung der maximalen Protonenenergie kann aufgestellt werden.