



bmb+f - Förderschwerpunkt

Astroteilchenphysik

Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung



H.E.S.S.: Die hochenergetische γ -Strahlung des Binärpulsars PSR B1259-63

Stefan Schlenker
Humboldt-Universität zu Berlin



Astroteilchenschule Bärnfels - 08. Oktober 2005

Inhalt

Kosmische Beschleuniger und γ -Strahlung

Das H.E.S.S. Experiment

γ -Strahlung von PSR B1259-63 — Ergebnisse



Die Beschleunigersuche

Wo?

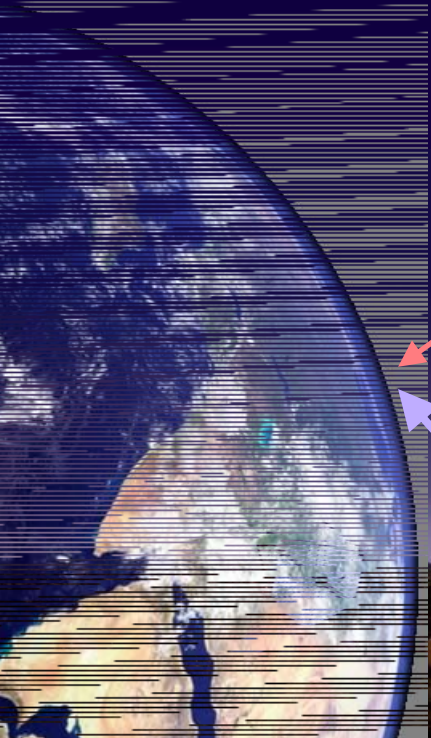
- ▶ geladene Teilchen verlieren in Magnetfeldern Richtungsinformation → keine direkte Identifikation möglich
- ▶ aber: Sekundärprodukte bei WW mit Materie
- ➔ Suche nach hochenergetischen Photonen:
Gamma-Astronomie: ab 10^6 eV

Photon

geladenes Teilchen

Funktionsweise?

- ➔ Spektroskopie

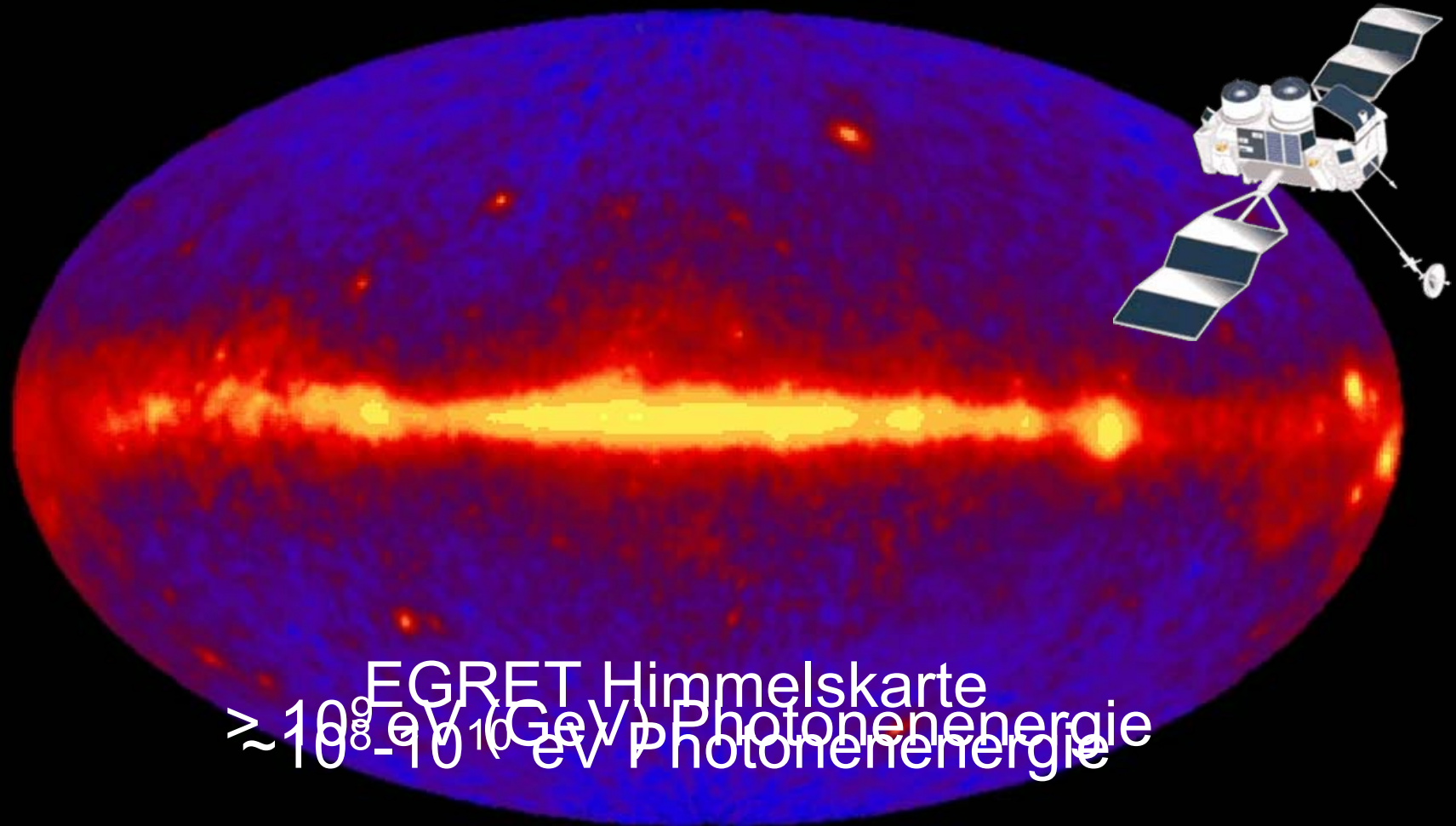


Kosmische Gamma-Strahlung

Satellitenbeobachtungen bei 10^8 - 10^{10} eV Photonenenergie:

- ▶ hohe Intensität von diffuser Gamma-Strahlung in galaktischer Ebene
- ▶ $> 10^9$ eV Photonenenergie: Punktquellen werden sichtbar
- ▶ Aber: Fluss der Photonen $> 10^{10}$ eV = 10 GeV zu gering für Satelliten

Größere Sammelflächen benötigt!

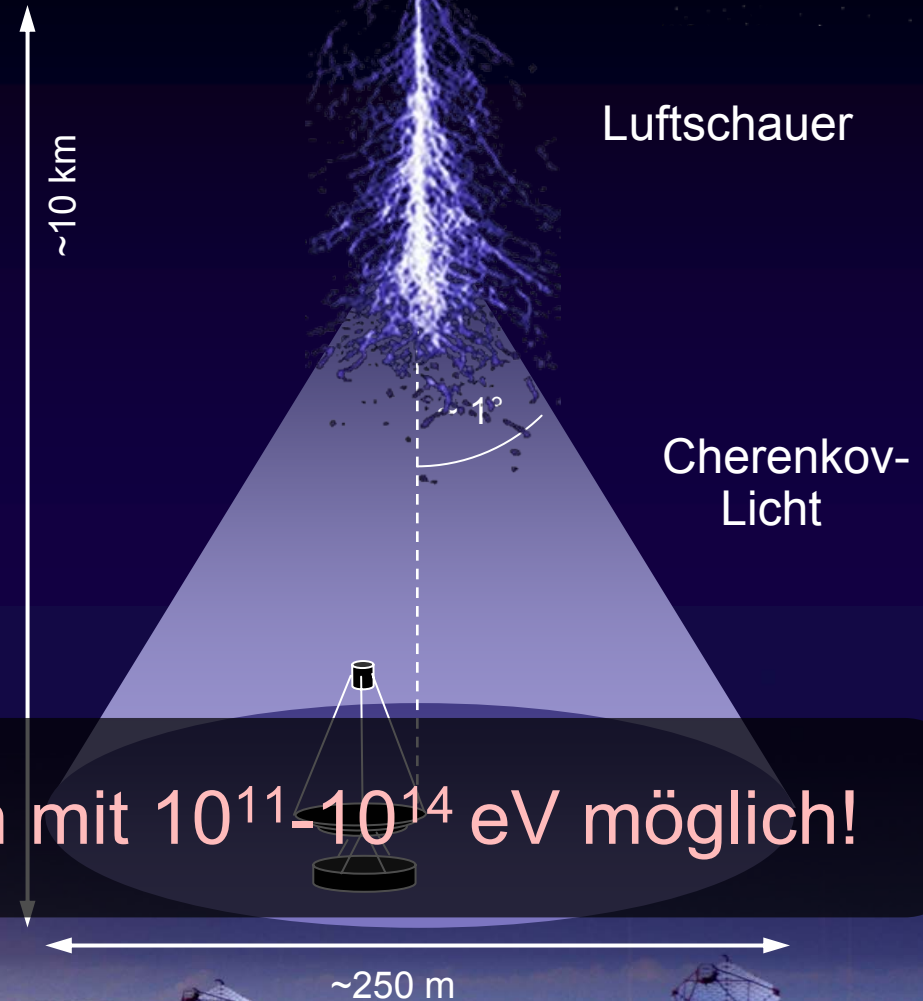


Cherenkov Teleskope

Nachweis von hoch-energetischer γ -Strahlung:

- ▶ Erdatmosphäre = Kalorimeter
- ▶ Nachweis von Cherenkov-Licht atmosphärischer Teilchenschauer
- ▶ hohe Sammelflächen von $> 10^5 \text{ m}^2$

Photon, $E \sim 1 \text{ TeV}$



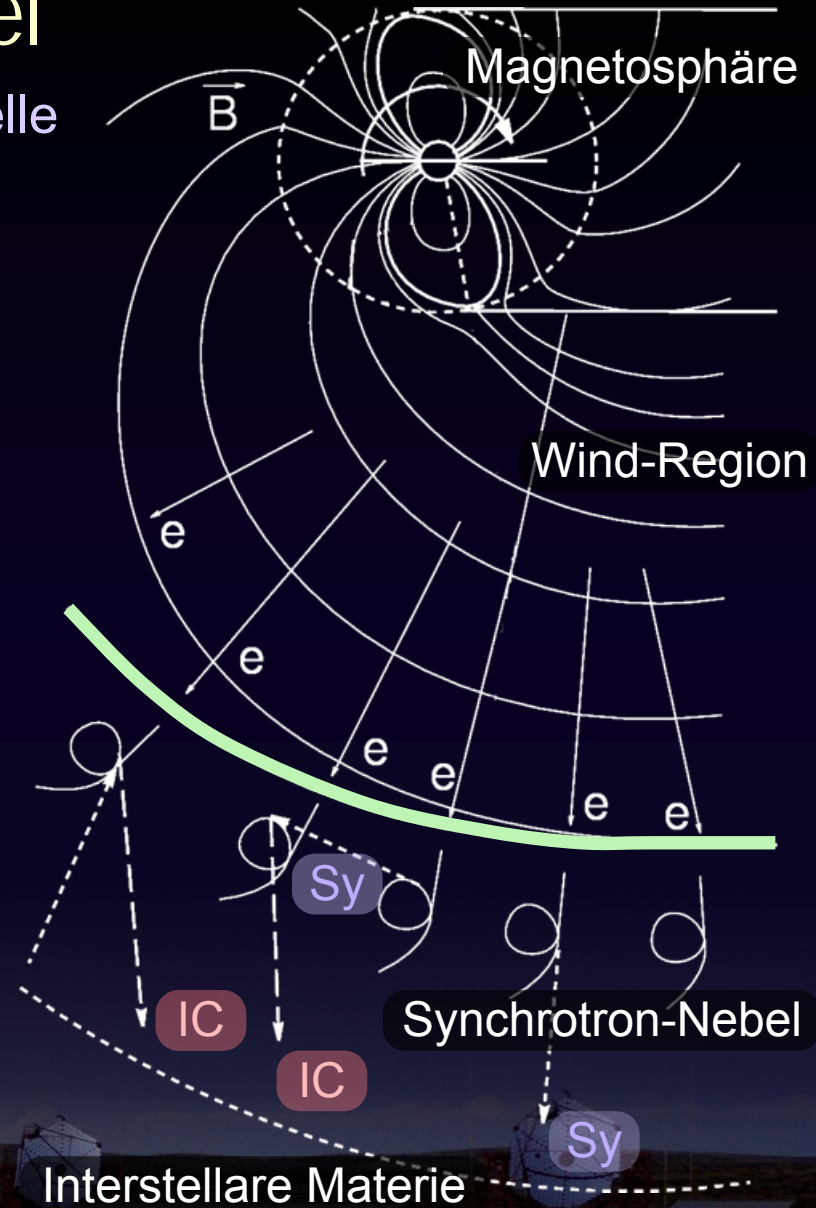
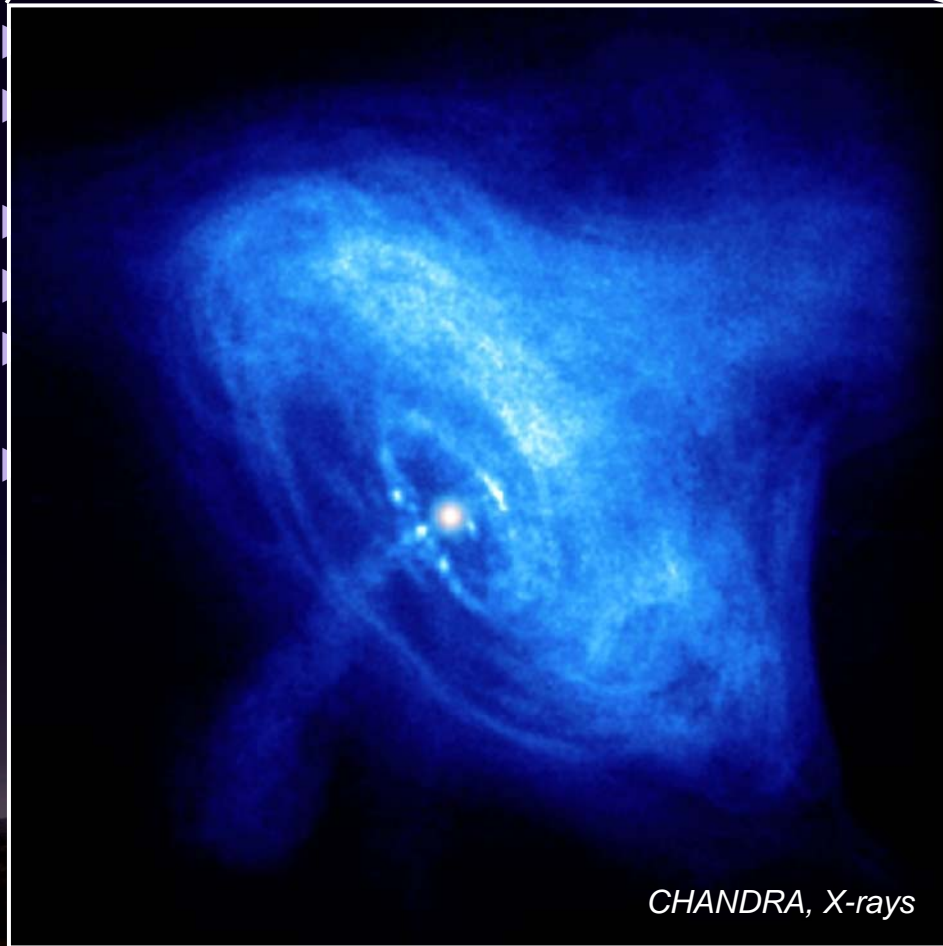
Nachweis von Photonen mit 10^{11} - 10^{14} eV möglich!



Der Krebs-Nebel

Stärkste bekannte Quelle
von TeV (10^{12} eV) γ 's!

Wissensstand der Funktionsweise



Der Krebs-Nebel: Spektrum

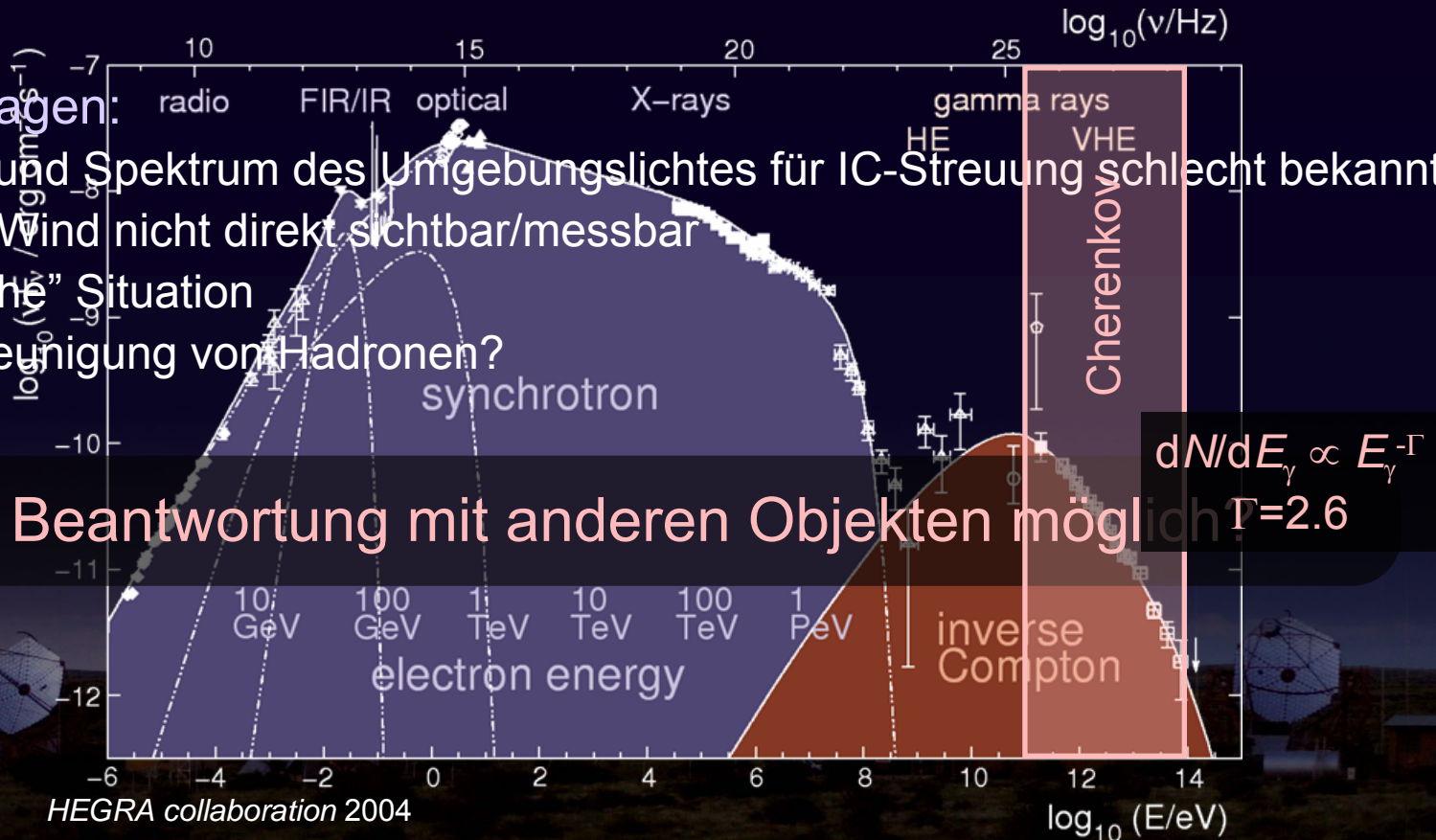


Spektrum des Synchrotron-Nebels:

- ▶ Fermi: Injektionsspektrum der e^\pm gemäß $dN/dE \propto E^{-\alpha}$, $\alpha=2$
- ▶ Zwei-Komponenten-Spektrum (Synchrotron, IC)
- ▶ Energieverlust \rightarrow Krümmung des Spektrums
- ▶ Beschleunigung von e^\pm bis 10^{15} eV (PeV)
- ▶ Magnetfeld im Nebel bestimmbar aus Verhältnis X-ray/ γ -Fluss $\rightarrow B \sim 10^{-4}$ G

Offene Fragen:

- ▶ Dichte und Spektrum des Umgebungslichtes für IC-Streuung schlecht bekannt
- ▶ Pulsar-Wind nicht direkt sichtbar/messbar
- ▶ "statische" Situation
- ▶ Beschleunigung von Hadronen?



Beantwortung mit anderen Objekten möglich

Das Binärsystem PSR B1259-63 / SS 2883

Pulsar

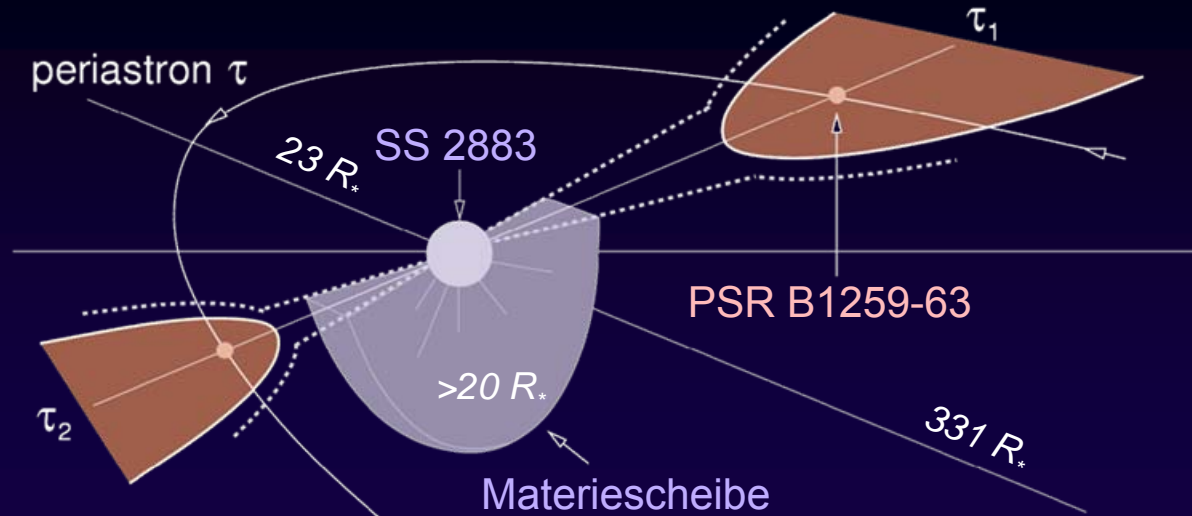
- ▶ Radiopulsar, $P = 48$ ms
- ▶ Bahnkurve sehr genau bekannt (0.1%)

Stern

- ▶ Heller und massiver Be-Stern, $M = 10 M_{\odot}$
- ▶ Dichter Masseausfluss, Materiescheibe (Orientierung?)

System

- ▶ Orbitperiode 3.4 Jahre
- ▶ Distanz 1.5 kpc \approx 5000 Lichtjahre



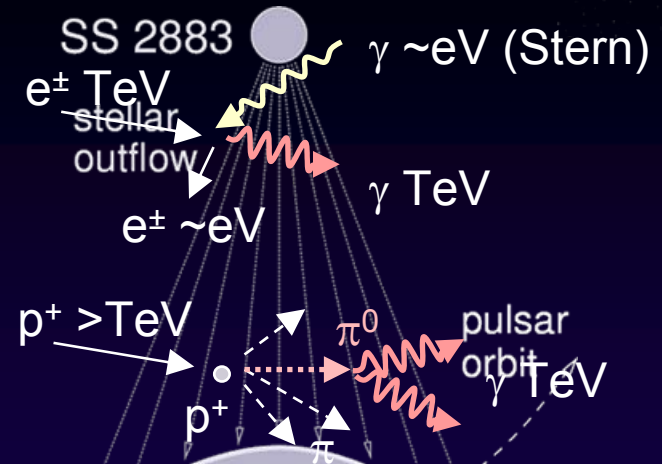
Johnston et al. 1995



γ -Strahlung von PSR B1259-63?

Pulsar-Stern Wechselwirkung:

- ▶ Kollision des Pulsar- und Sternenwinds (Scheiben- oder polare Komponente)
 - ▶ Schockbeschleunigung in zwei Regionen möglich
 - ▶ thermische Strahlung des Sterns = "Teststrahl" \Rightarrow IC-Streuung beschleunigter e^\pm
 - ▶ WW von beschleunigten Ionen $\Rightarrow \pi^0$ -Zerfall
 - ▶ Variable Umgebung
 - ▶ Erwartung: TeV γ -Strahlung
- Einzigartiges Labor zur Untersuchung von Schockbeschleunigung und Pulsar-Wind!



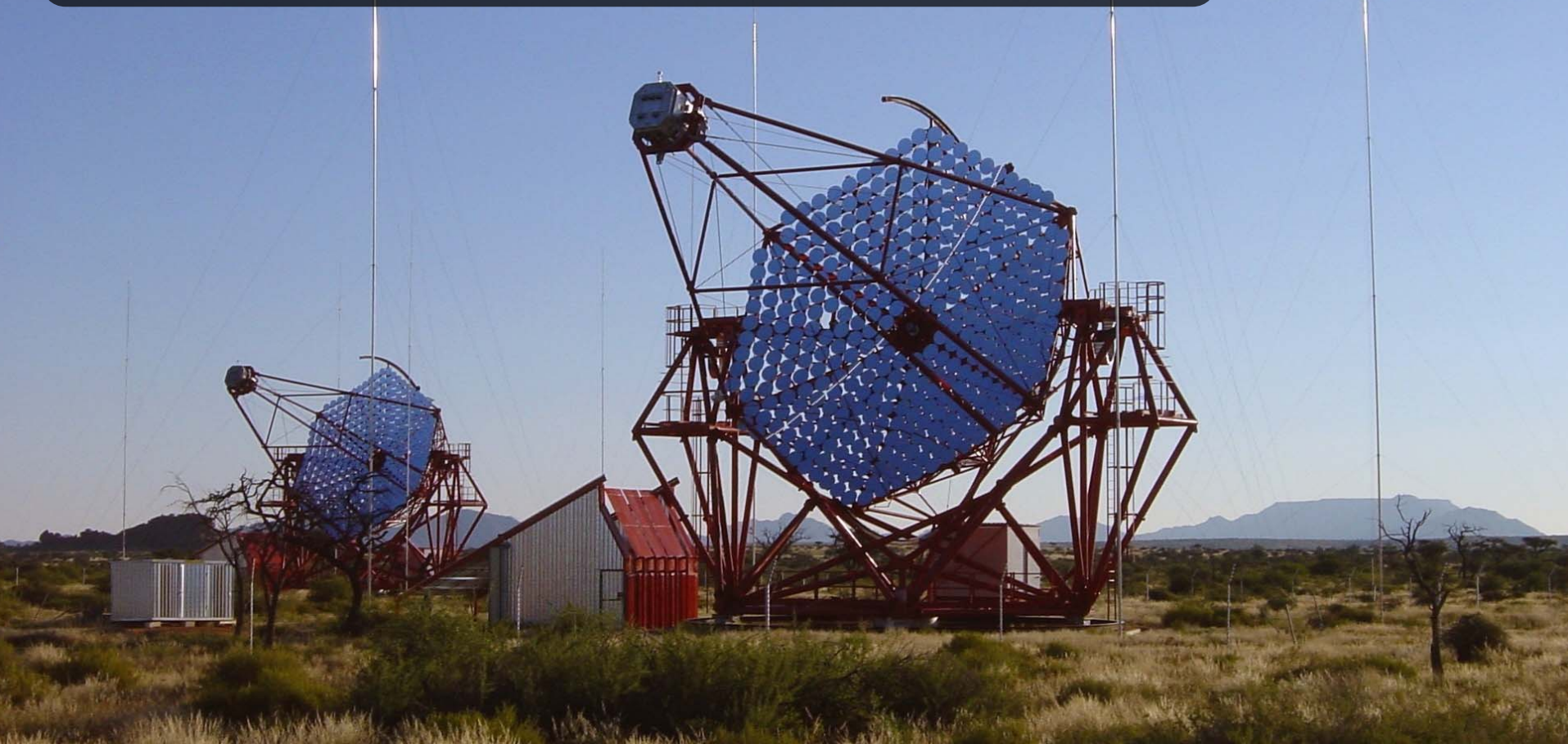
Periastron: 7. März 2004

Inhalt

Kosmische Beschleuniger und γ -Strahlung

Das H.E.S.S. Experiment

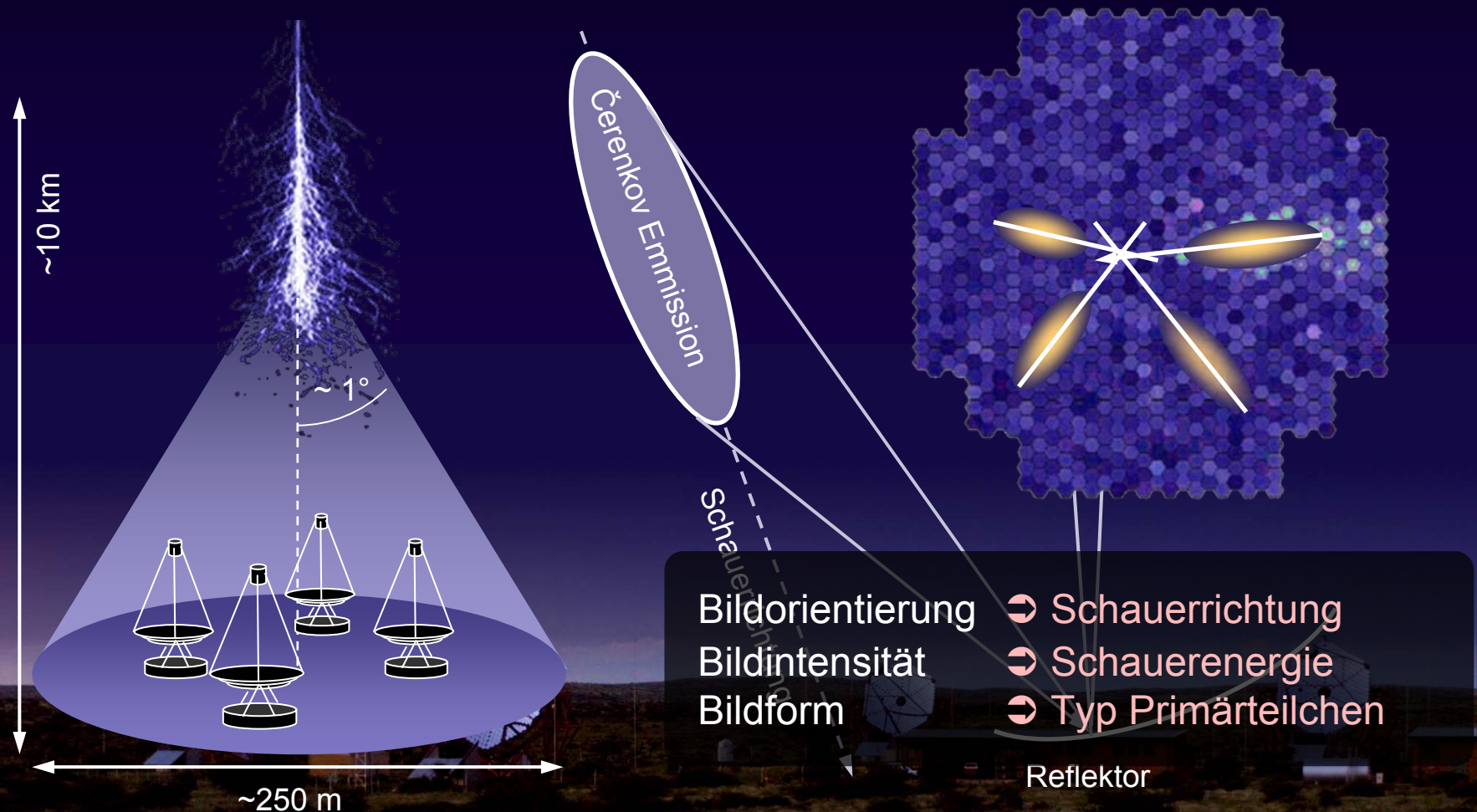
γ -Strahlung von PSR B1259-63 – Ergebnisse



Abbildende Cherenkov Teleskope

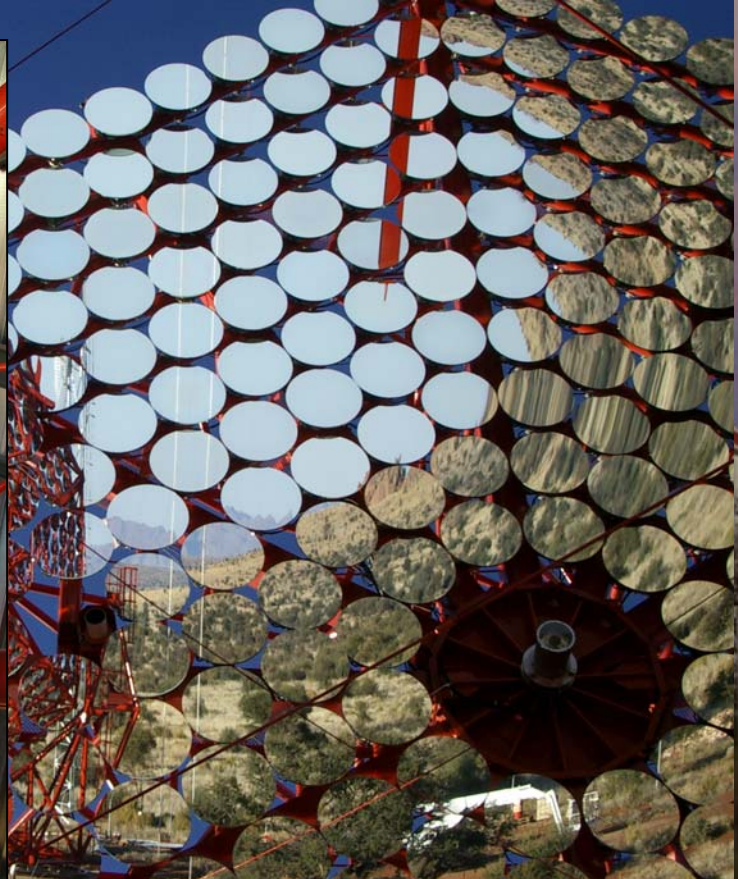
Meßprinzip:

- ▶ Abbildung der Schaueremission auf PMT-Kamera (~20 ns "Belichtung")
- ▶ Stereoskopie: höhere Sammelfläche, bessere Richtungsrekonstruktion



Kamera Teleskopsystem

- ▶ 960 Pixel (PMT)
- ▶ 5° Gesichtsfeld
- ▶ integrierte Elektronik
- ▶ zentraler Trigger



Datenselektion

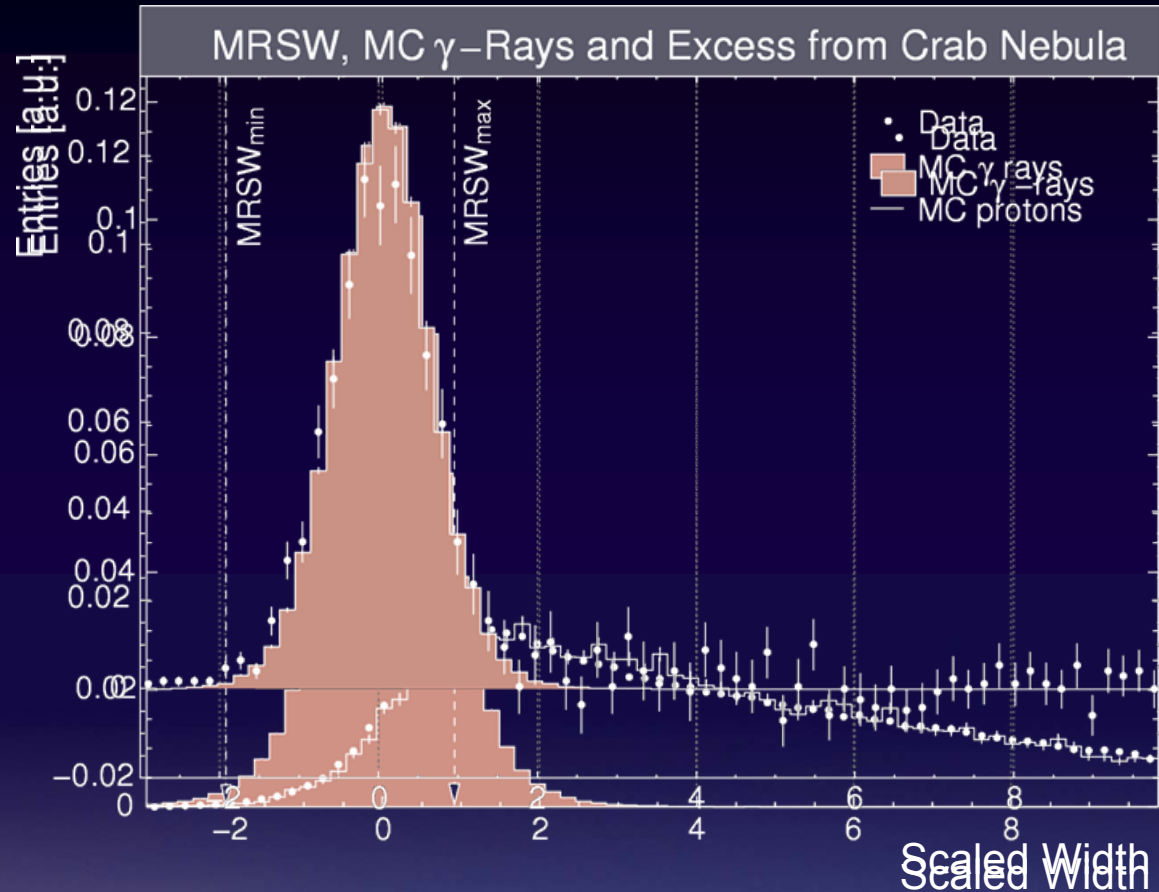
Skalierung der Bildparameter

- ▶ Abhängigkeit der Bildparameter von Schauerenergie
- ▶ Skalierung der Bildparameter mit Erwartungswerten (Simulation) z.B.

$$\text{Scaled Width} = \frac{\text{width} - \langle \text{width} \rangle}{\sigma_{\text{width}}}$$

Datenselektion:

- ▶ Schnitt auf skalierte Bildbreite \Rightarrow Unterdrückung > 90% Untergrund
- ▶ gute Übereinstimmung zwischen Krebsnebel-Daten ("Kalibrationsquelle") und Simulation





Inhalt

Kosmische Beschleuniger und γ -Strahlung

Das H.E.S.S. Experiment

γ -Strahlung von PSR B1259-63 — Ergebnisse

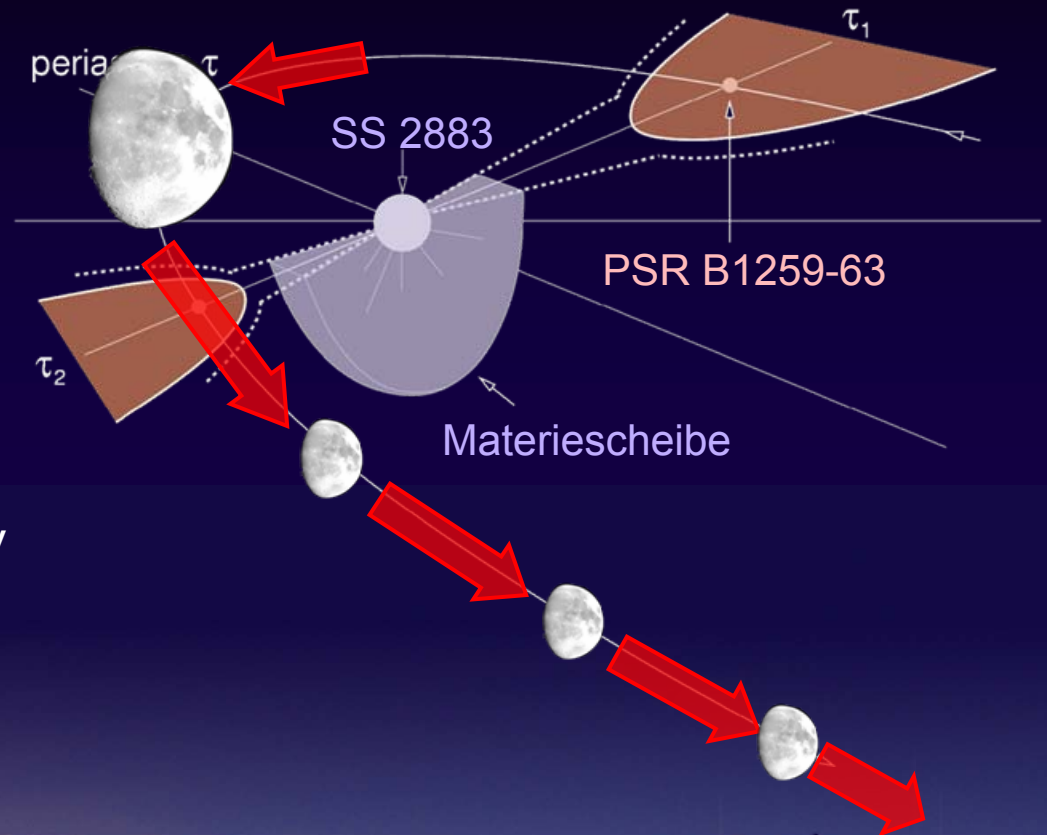
H.E.S.S. Beobachtungen von PSR B1259-63

Beobachtungen:

- ▶ Februar-Juni 2004
- ▶ Nur mondlose Nächte
- ➔ keine Daten bei Periastron

Datensatz:

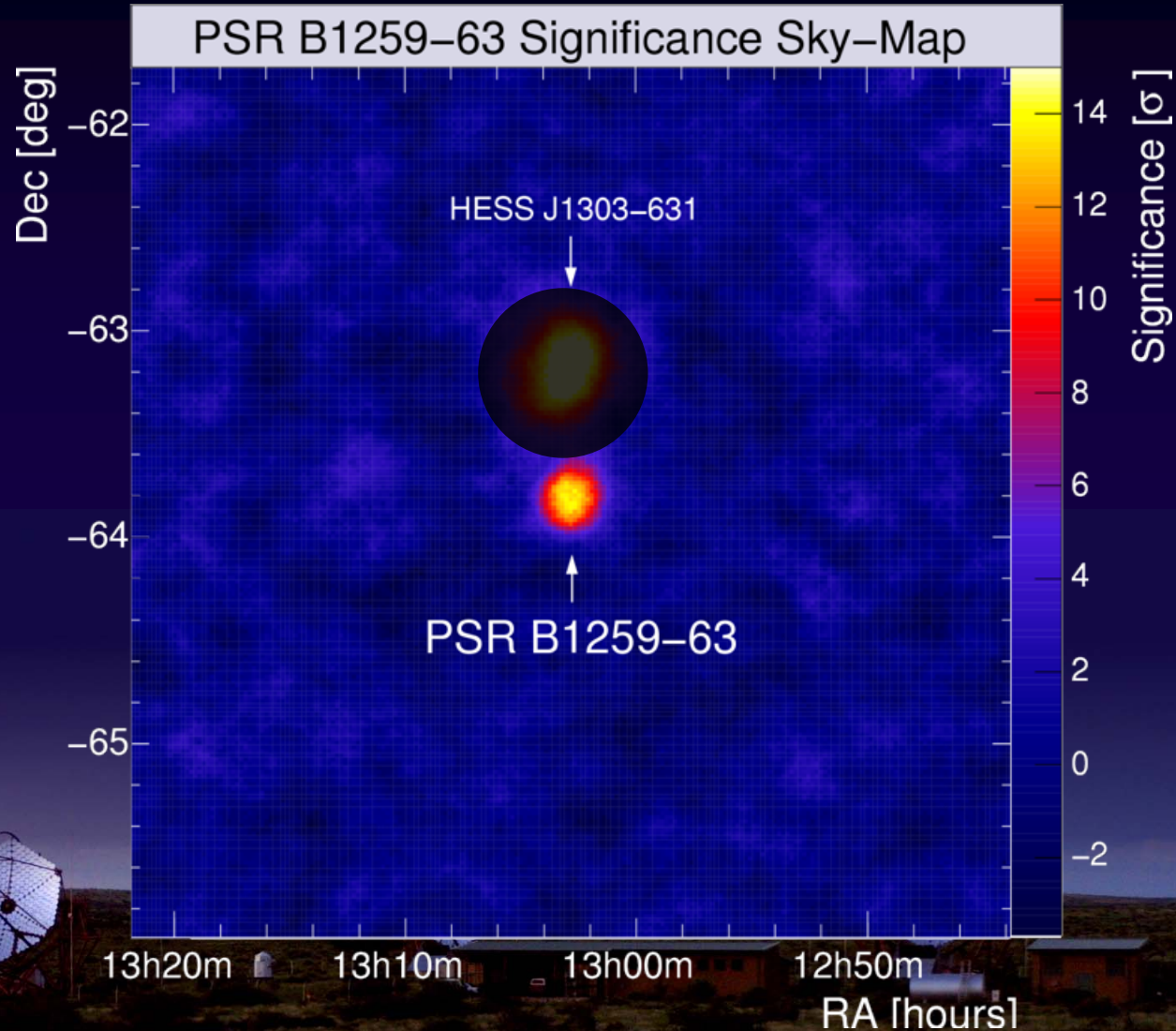
- ▶ Beobachtungszeit: 49.8 h
- ▶ Energieschwelle: 380 GeV
- ▶ Datenqualitätskriterien:
gutes Wetter, Kalibration OK



Ergebnisse – Signal

2D Analyse:

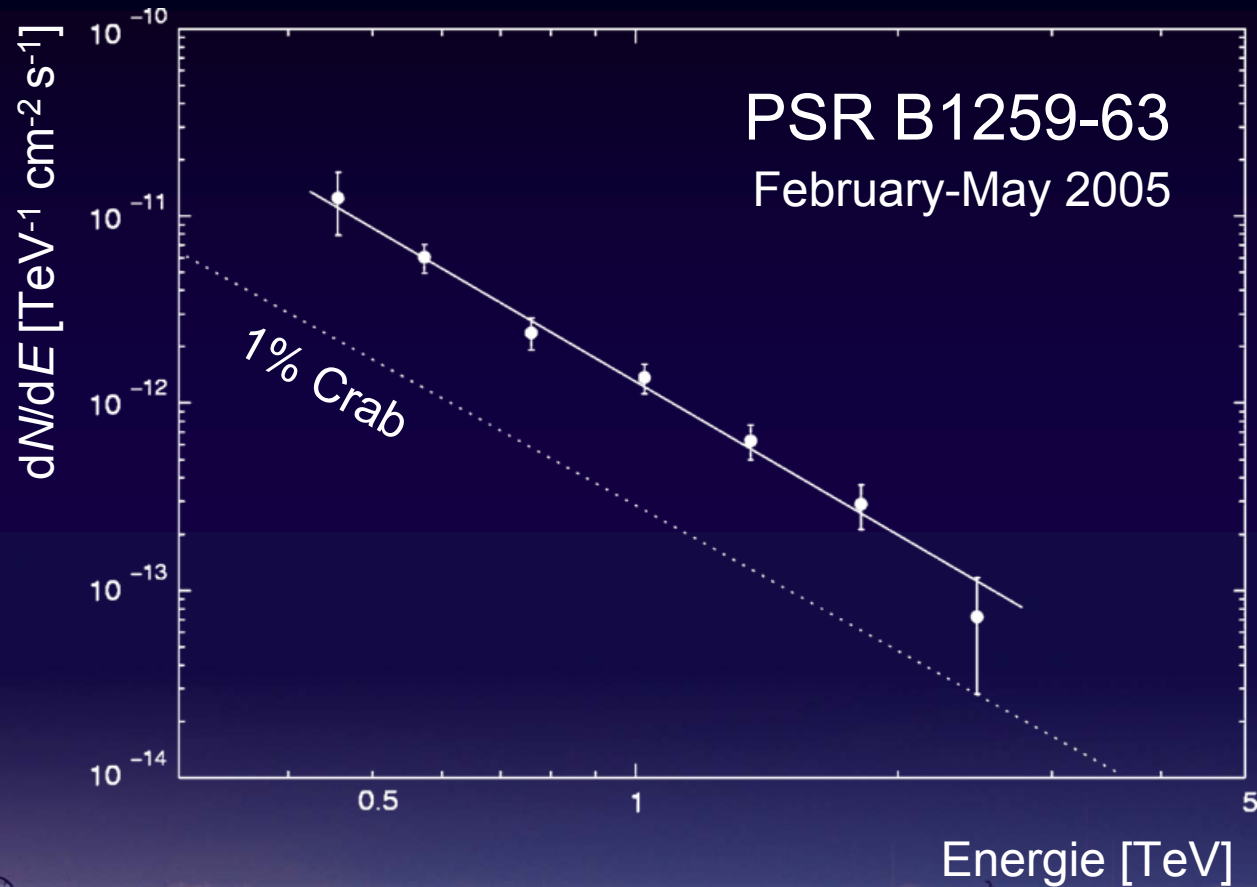
- ▶ Himmelskarte mit Gesichtsfeld = $2^\circ \times 2^\circ$
- ▶ Klares Signal nahe Pulsarposition, weiteres Signal 0.6° nördlich
➡ unbekannte Quelle!
- ▶ Signifikanz: 13.8σ
- ▶ Ereignisse: 955 ± 69
- ▶ Punktquelle
- ▶ Positionsbestimmung
➡ Position kompatibel mit PSR B1259-63



Ergebnisse – Spektrum

Rekonstruiertes
Spektrum:

- ▶ Fit mit Potenzgesetz
 $dN/dE \propto N_0 E^{-\Gamma}$
- ▶ Photon Index Γ :
 $2.7 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 0.2_{\text{sys}}$
- ▶ Norm N_0 :
 $1.3 \pm 0.1_{\text{stat}} \pm 0.3_{\text{sys}}$
 $10^{-12} \text{ TeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- ▶ Fluss equivalent zu
4.1% des Krebsnebels
- ▶ Photon Index Γ nicht
variabel



Ergebnisse – Spektrum Interpretation

IC Szenario (e^\pm):

Schock

- * Expansion
- * Strahlung

$$\alpha_{inj} = 2.0 \text{ (Fermi)}$$

$$= 2.2 \pm 0.3$$

$$= 1.2 \pm 0.3$$

$$\alpha = 2.2 \pm 0.3$$

$$\Gamma = 2.7 \pm 0.3$$

Energieverlust

- * IC-Streuung

IC-Photonen

► Fluss 2004 X-rays (*RXTE, INTEGRAL*)

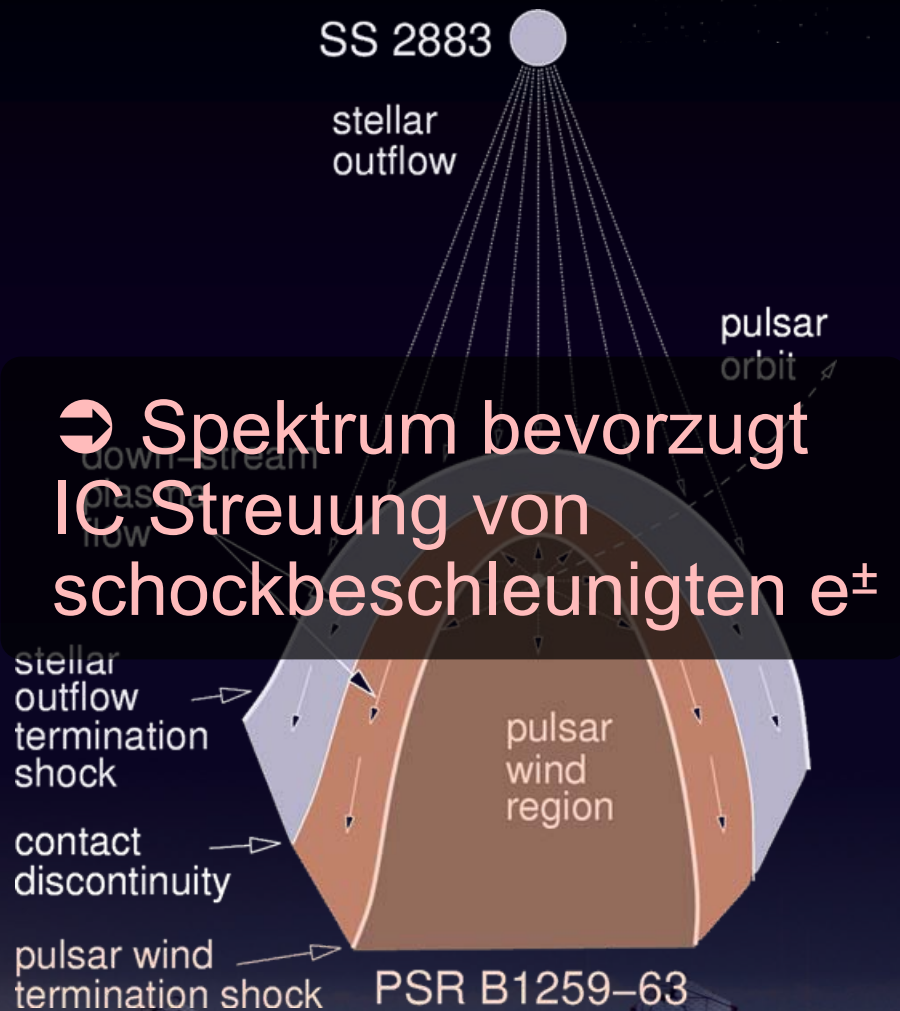
Fluss γ -Strahlung

➡ Magnetfeld im Plasma $B \sim 1 \text{ G}$

Hadronisches Szenario:

► Injektionsspektrum von Ionen:

$$\alpha_{inj} = 2.7 \pm 0.3$$



Ergebnisse – Lichtkurve

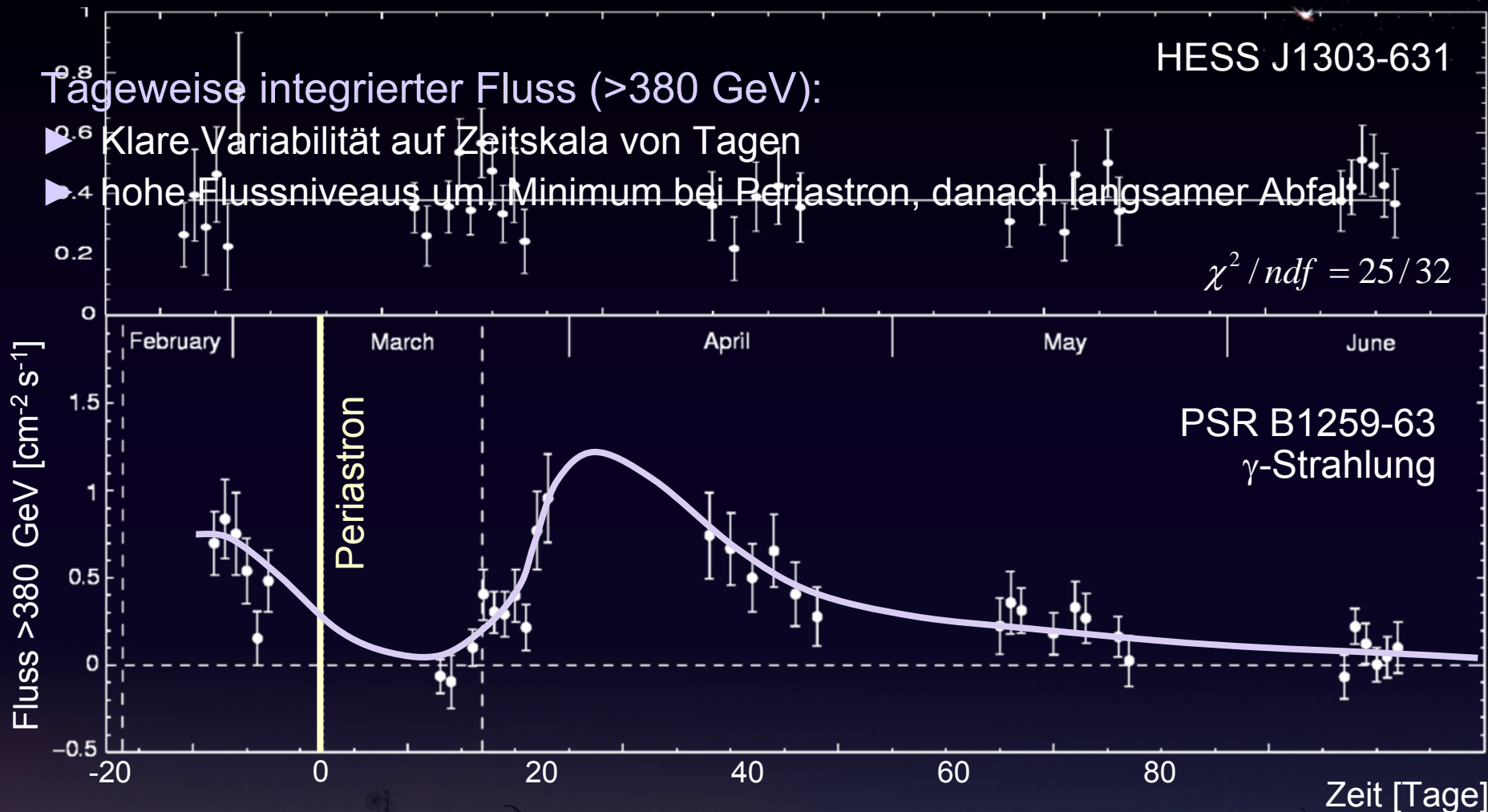
Täglich integrierter Fluss (>380 GeV):

▶ Klare Variabilität auf Zeitskala von Tagen

▶ hohe Flussniveaus um Minimum bei Periastron, danach langsamer Abfall

HESS J1303-631

$\chi^2 / ndf = 25 / 32$



Lichtkurve HESS J1303-631:

▶ kompatibel mit konstantem Fluss

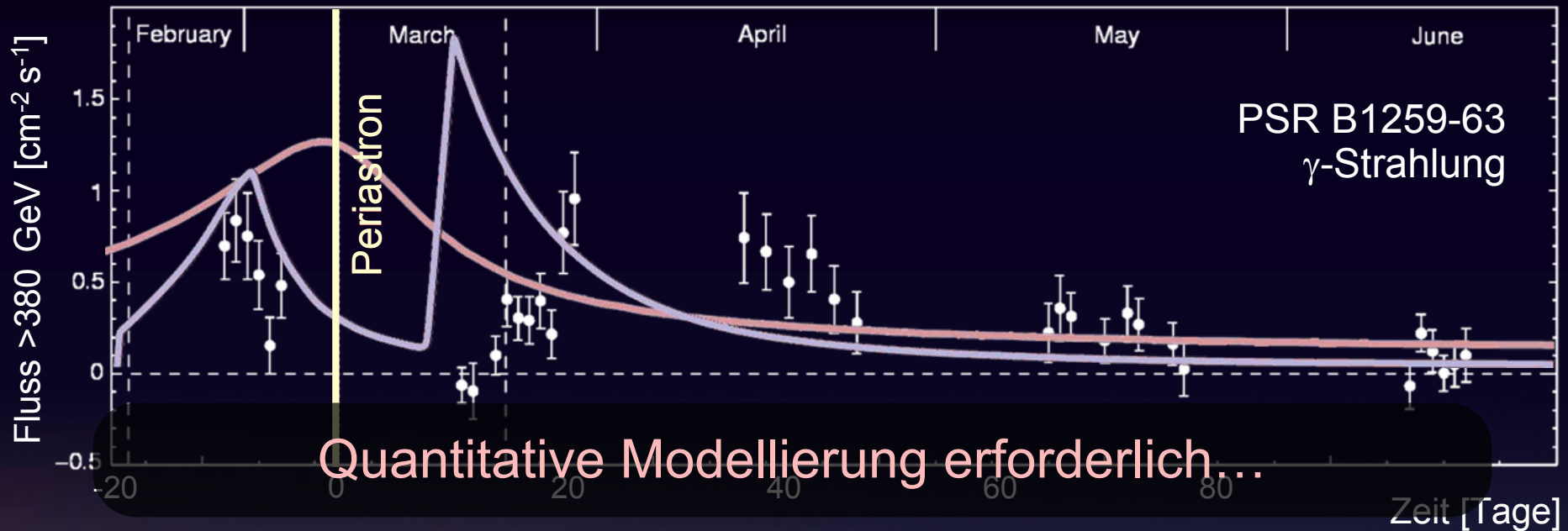
Ergebnisse – Modellvergleich Lichtkurve

IC Szenario (*Kirk et al. 1999*):

- ▶ Flussniveau (basierend auf X-ray Daten) bestätigt
- ▶ Verlauf nicht bestätigt

Hadronisches Szenario (*Kawachi et al. 2004*):

- ▶ qualitative Übereinstimmung, Flussniveau im Modell unbestimmt



Modellvergleich:

- ▶ keine quantitative Übereinstimmung beider Modelle
- ▶ Berücksichtigung der Materiescheibe erforderlich
- ▶ IC: Lichtkurve erklärbar bei dominanten Energieverlusten durch Plasmaexpansion

Zusammenfassung

TeV γ -Strahlung von PSR B1259-63 \rightarrow Beschleuniger entdeckt!

- ▶ Spektrum: Erzeugung durch IC-Streuung an schockbeschleunigten e^\pm , hadronischer Ursprung nicht ausgeschlossen
- ▶ In Kombination X-ray Daten: Magnetfeld im Plasma $B \sim 1$ G
- ▶ Signal variiert auf Zeitskala von Tagen \rightarrow Erste variable TeV-Quelle unserer Galaxie
- ▶ Variabilität: schlechte Übereinstimmung mit Modellen, Berücksichtigung der Materiescheibe erforderlich

