



bmb+f - Förderschwerpunkt

Astroteilchenphysik

Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung



# H.E.S.S.: Die hochenergetische $\gamma$ -Strahlung des Binärpulsars PSR B1259-63

Stefan Schlenker  
Humboldt-Universität zu Berlin



Astroteilchenschule Bärnfels - 08. Oktober 2005

# Inhalt

Kosmische Beschleuniger und  $\gamma$ -Strahlung

Das H.E.S.S. Experiment

$\gamma$ -Strahlung von PSR B1259-63 — Ergebnisse



# Die Beschleunigersuche

## Wo?

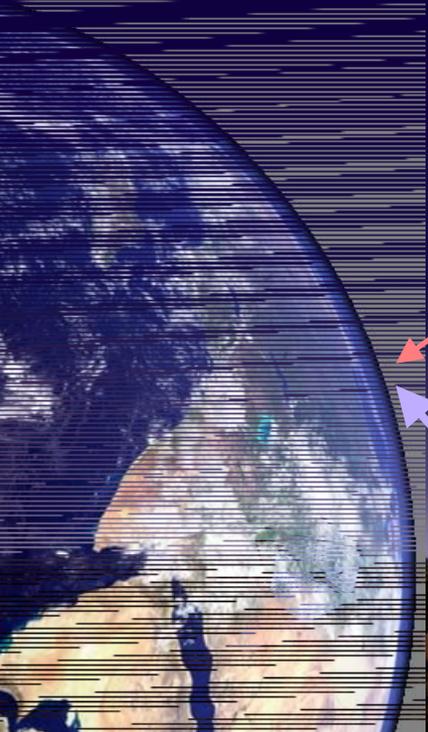
- ▶ geladene Teilchen verlieren in Magnetfeldern Richtungsinformation → keine direkte Identifikation möglich
- ▶ aber: Sekundärprodukte bei WW mit Materie
- Suche nach hochenergetischen Photonen:  
**Gamma-Astronomie:** ab  $10^6$  eV

Photon

geladenes Teilchen

## Funktionsweise?

- Spektroskopie

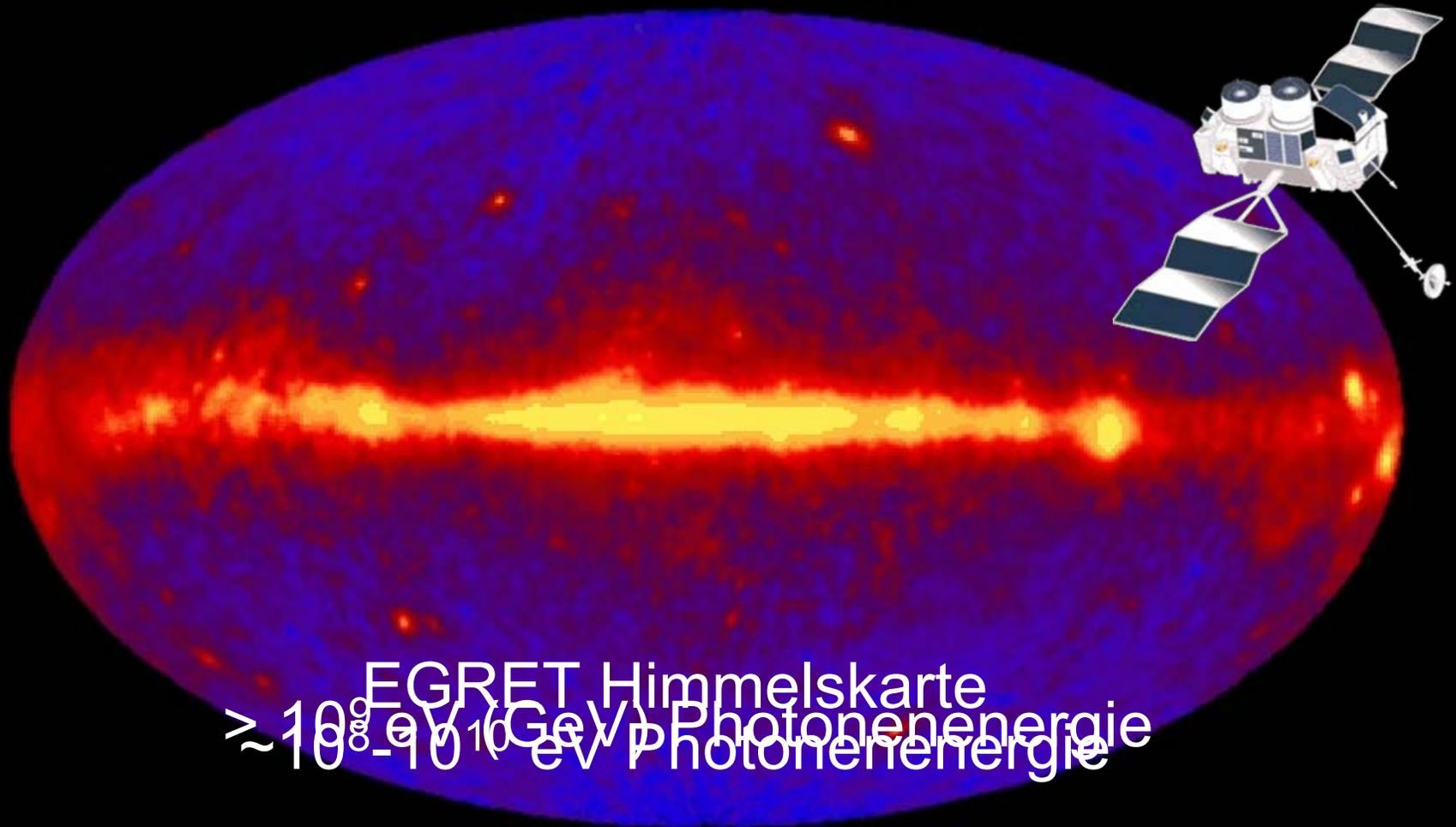


# Kosmische Gamma-Strahlung

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!**

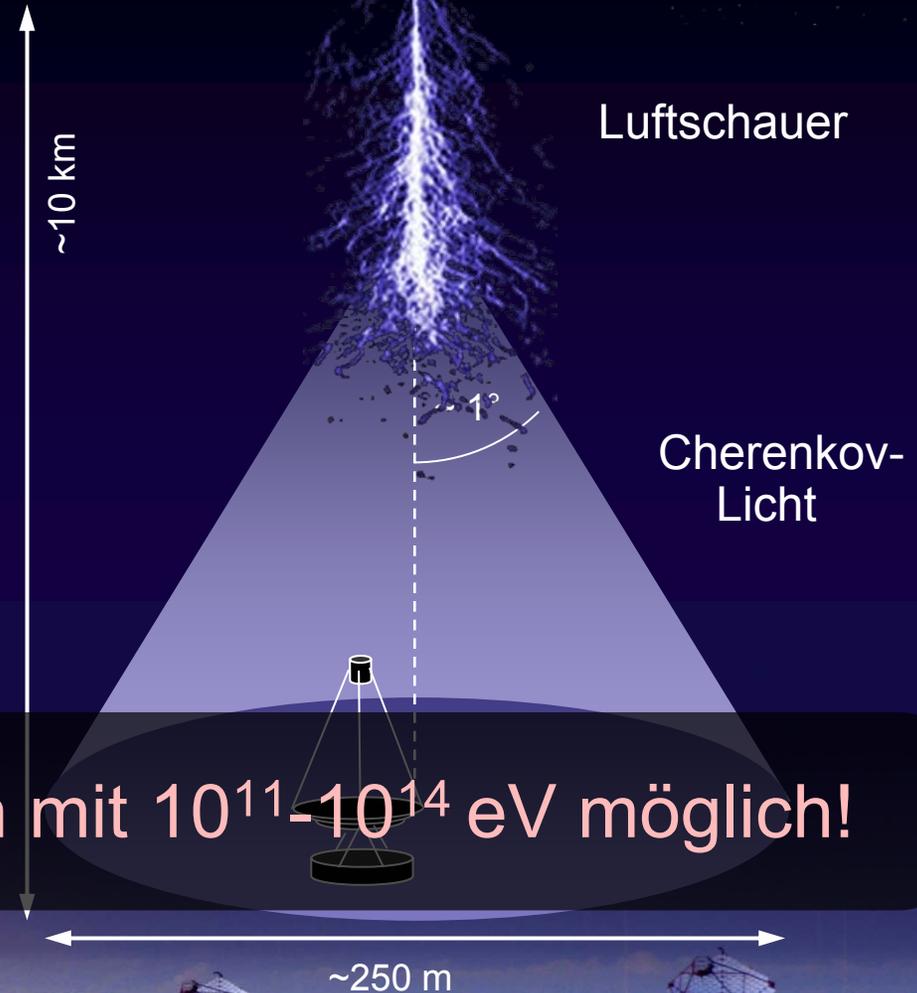


# Cherenkov Teleskope

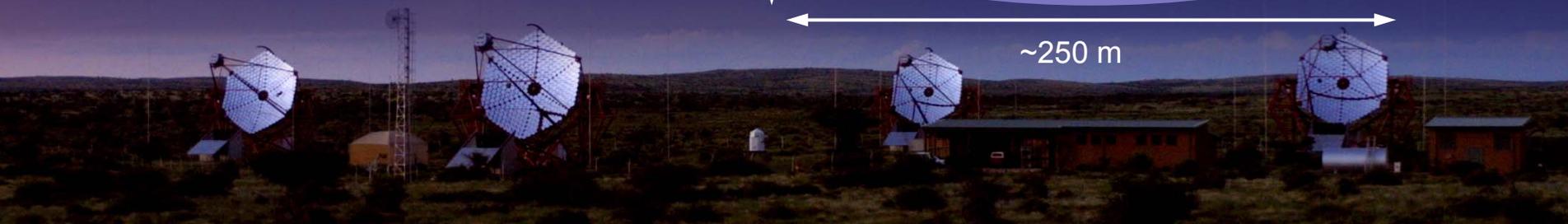
Nachweis von hoch-energetischer  $\gamma$ -Strahlung:

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

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



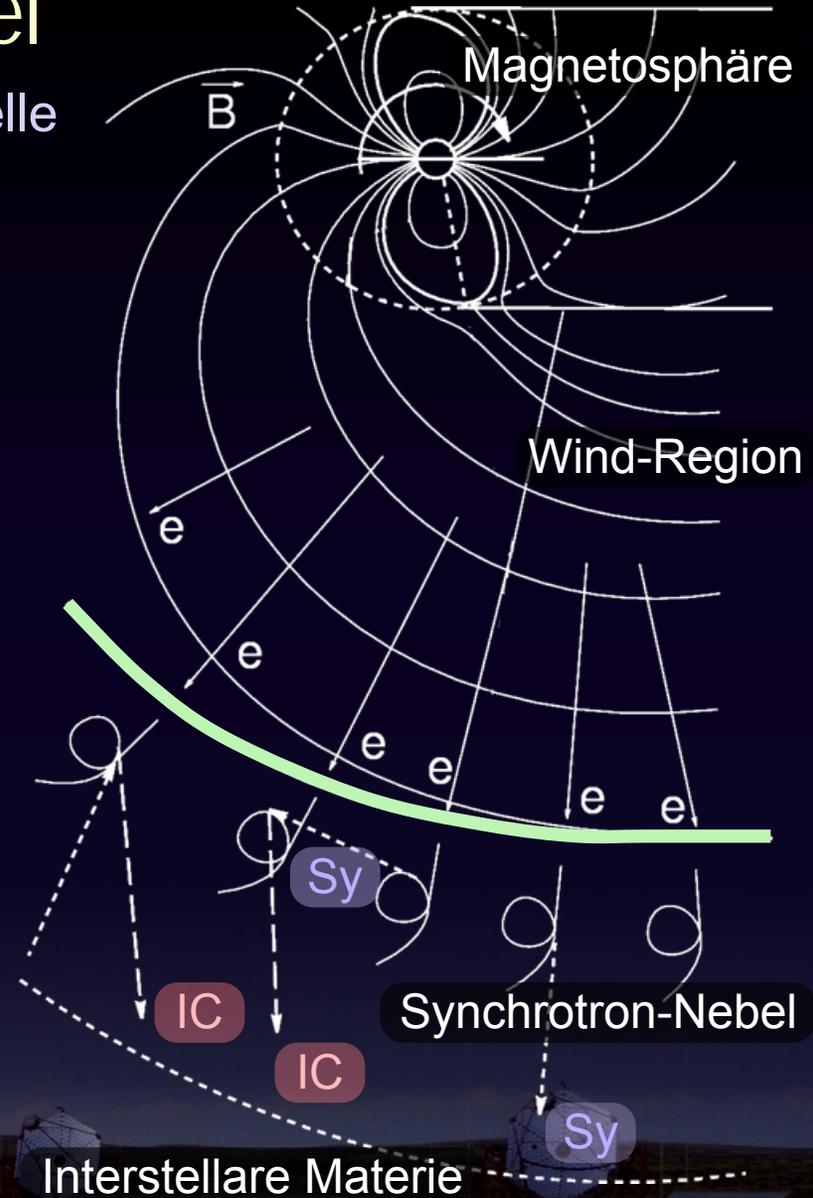
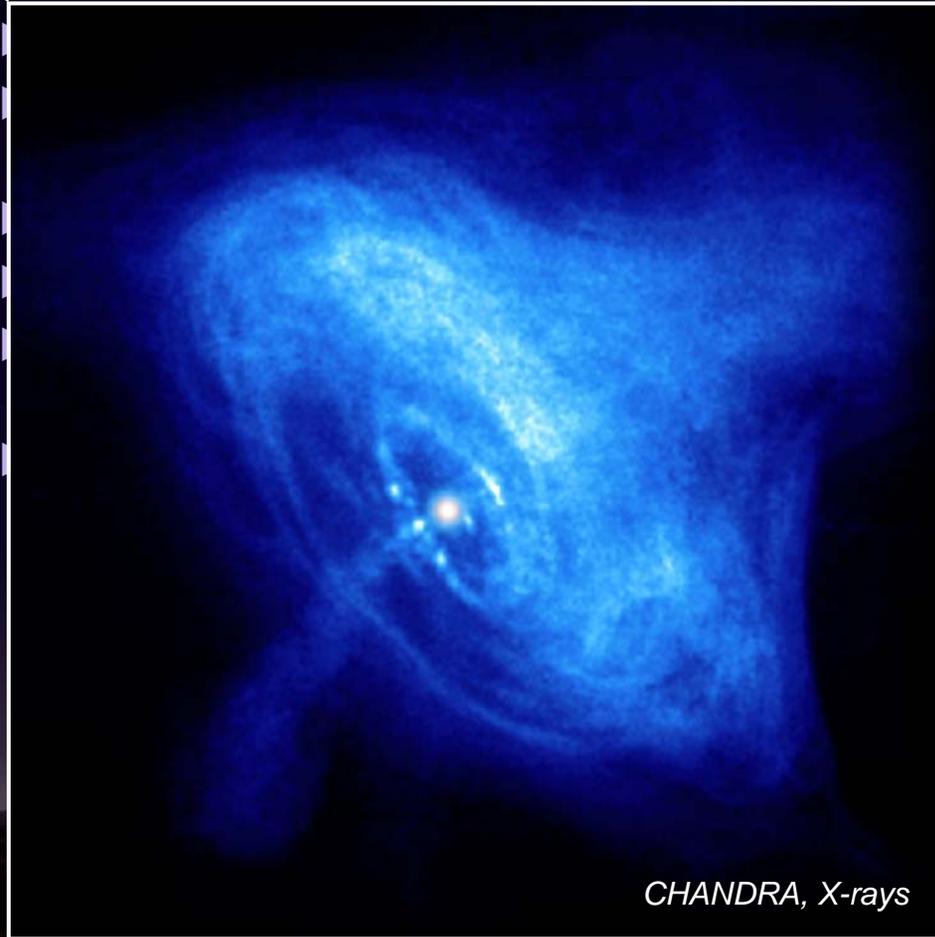
Nachweis von Photonen mit  $10^{11}$ - $10^{14}$  eV möglich!



# Der Krebs-Nebel

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

Wissensstand der Funktionsweise



# Der Krebs-Nebel: Spektrum

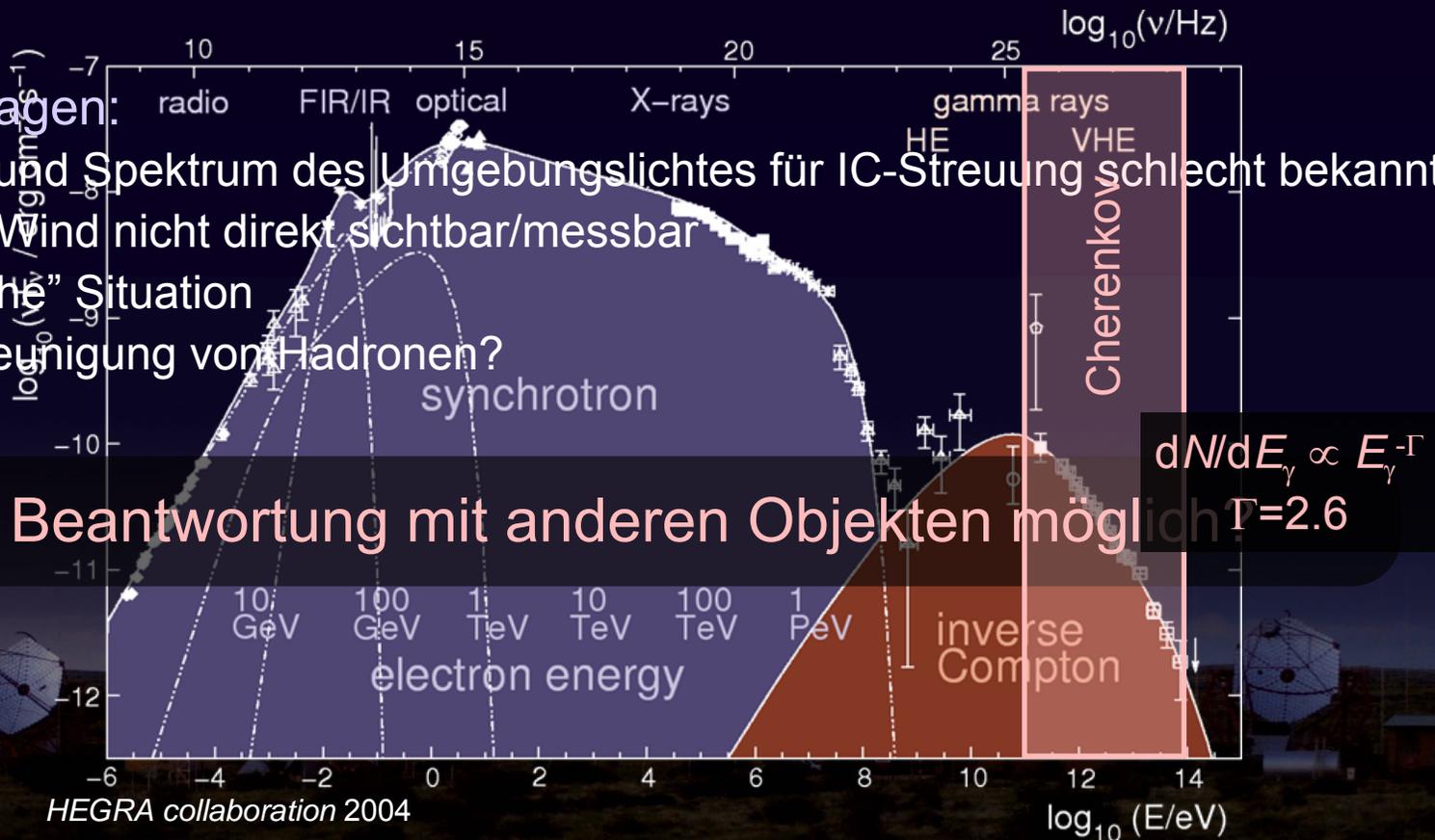


## Spektrum des Synchrotron-Nebels:

- ▶ 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/ $\gamma$ -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

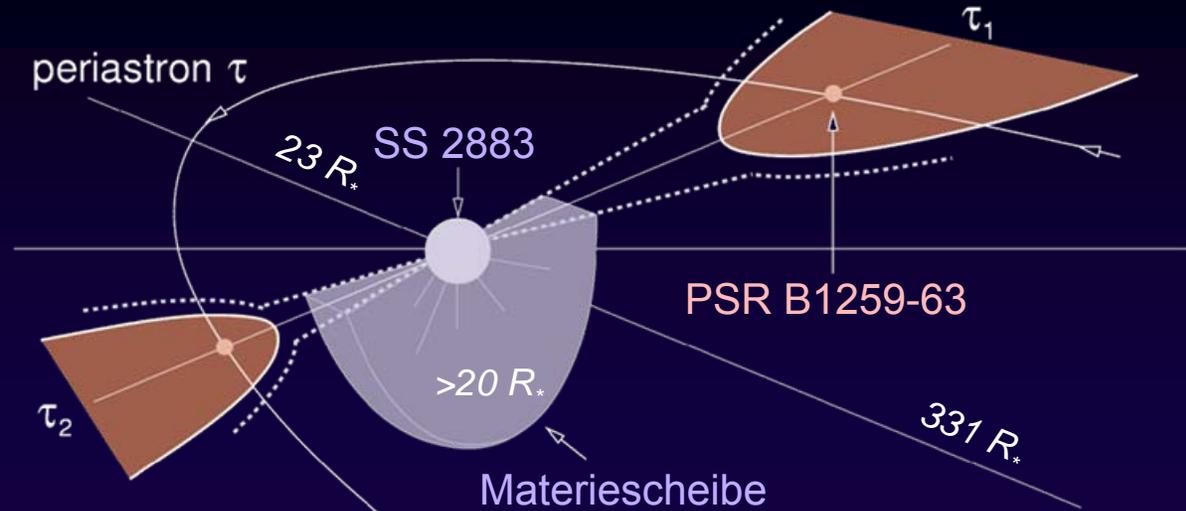
- ▶ Radiopulsar,  $P = 48$  ms
- ▶ Bahnkurve sehr genau bekannt (0.1‰)

## 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



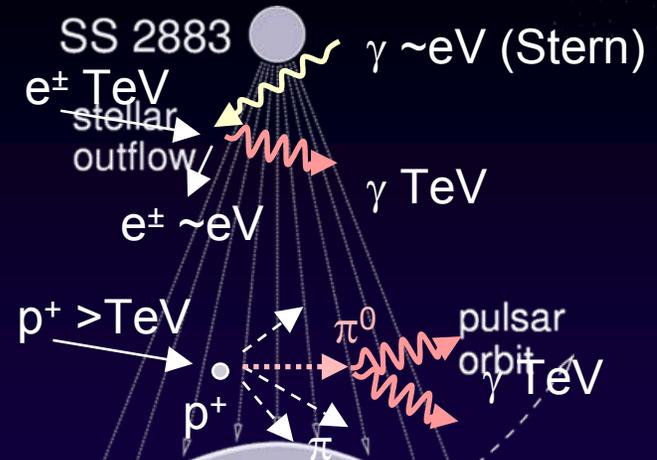
*Johnston et al. 1995*



# $\gamma$ -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  $\gamma$ -Strahlung
- Einzigartiges Labor zur Untersuchung von Schockbeschleunigung und Pulsar-Wind!



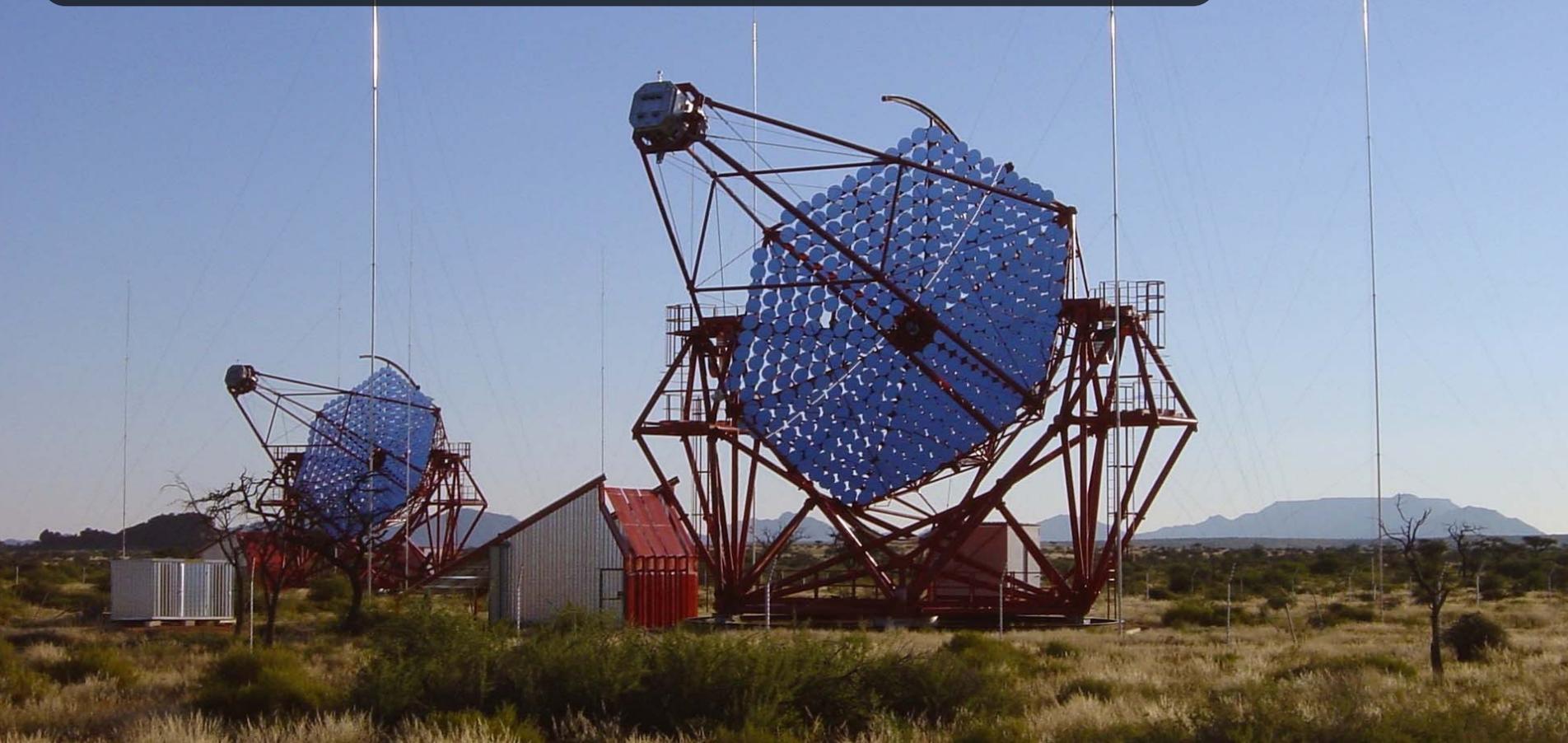
Periastron: 7. März 2004

# Inhalt

Kosmische Beschleuniger und  $\gamma$ -Strahlung

Das H.E.S.S. Experiment

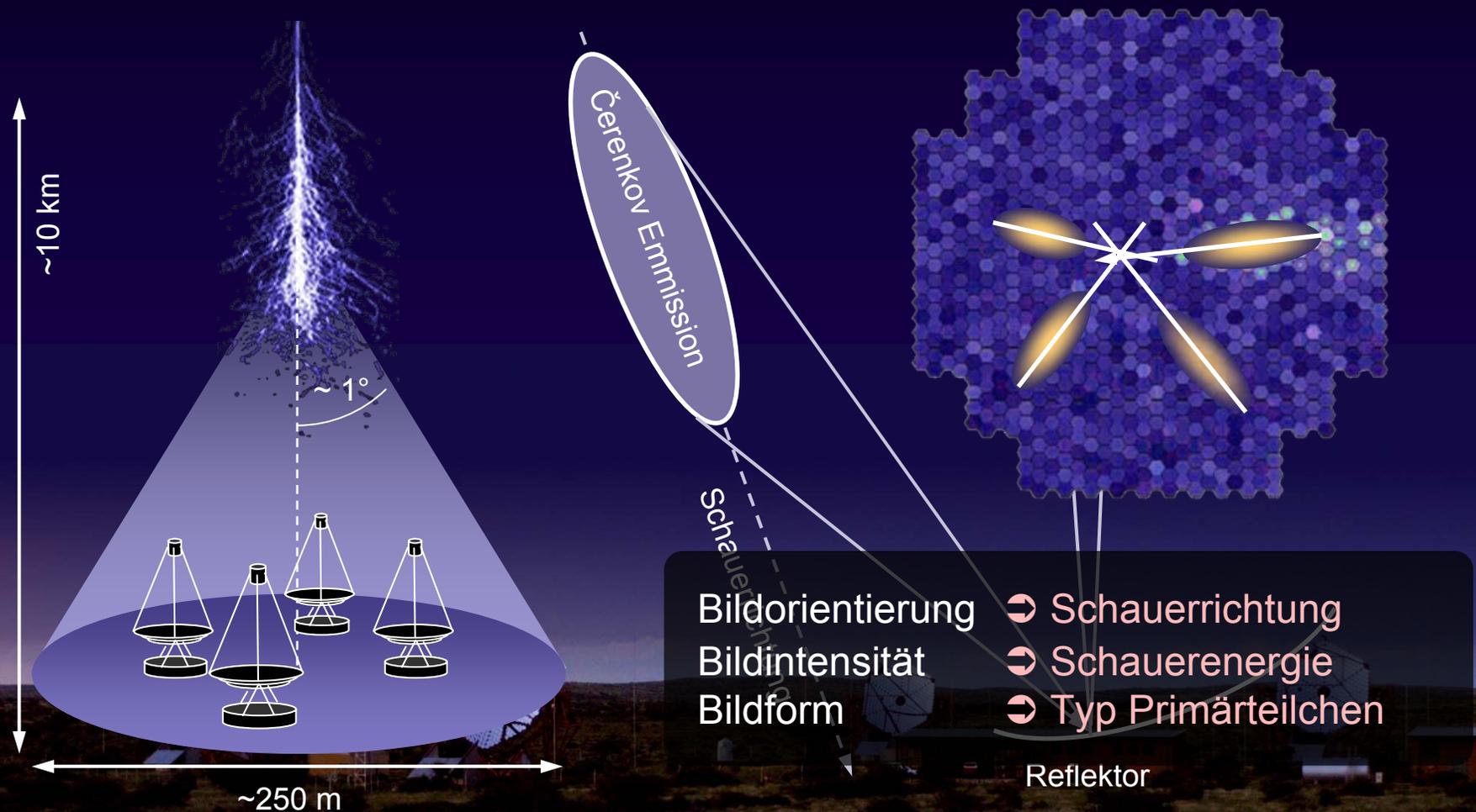
$\gamma$ -Strahlung von PSR B1259-63 – Ergebnisse



# Abbildende Cherenkov Teleskope

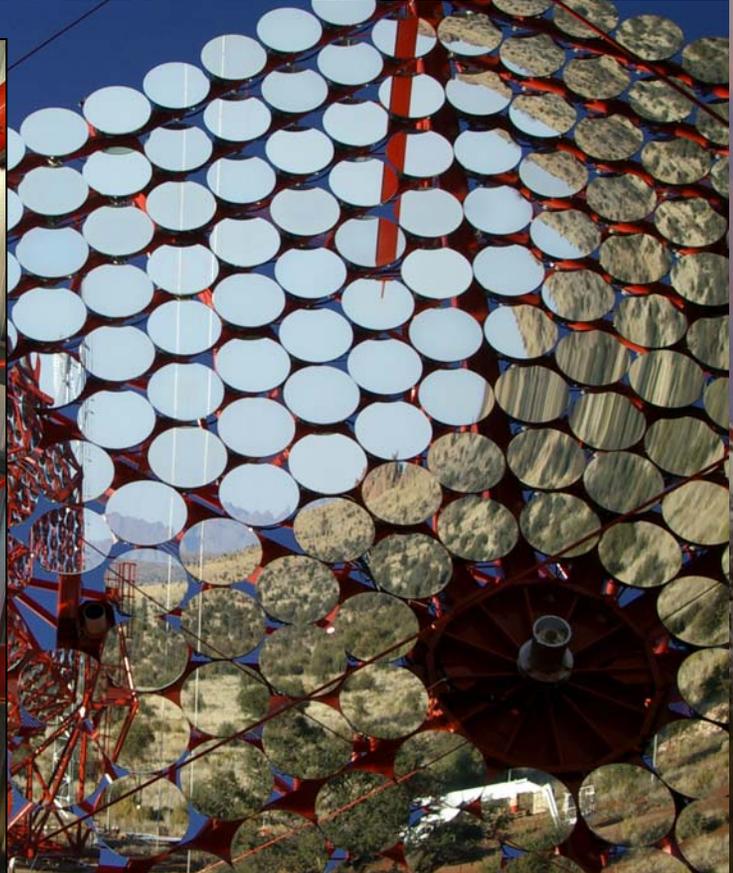
Meßprinzip:

- ▶ 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

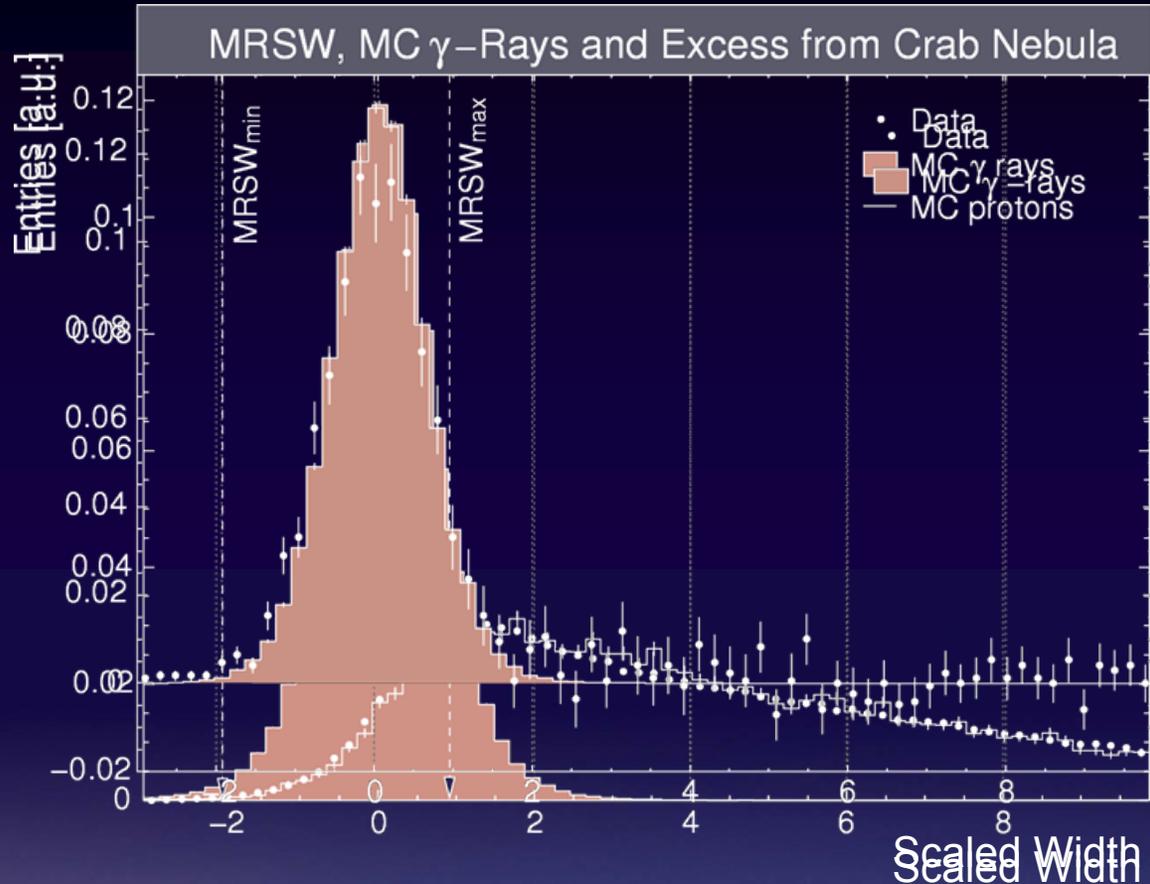
## Skalierung der Bildparameter

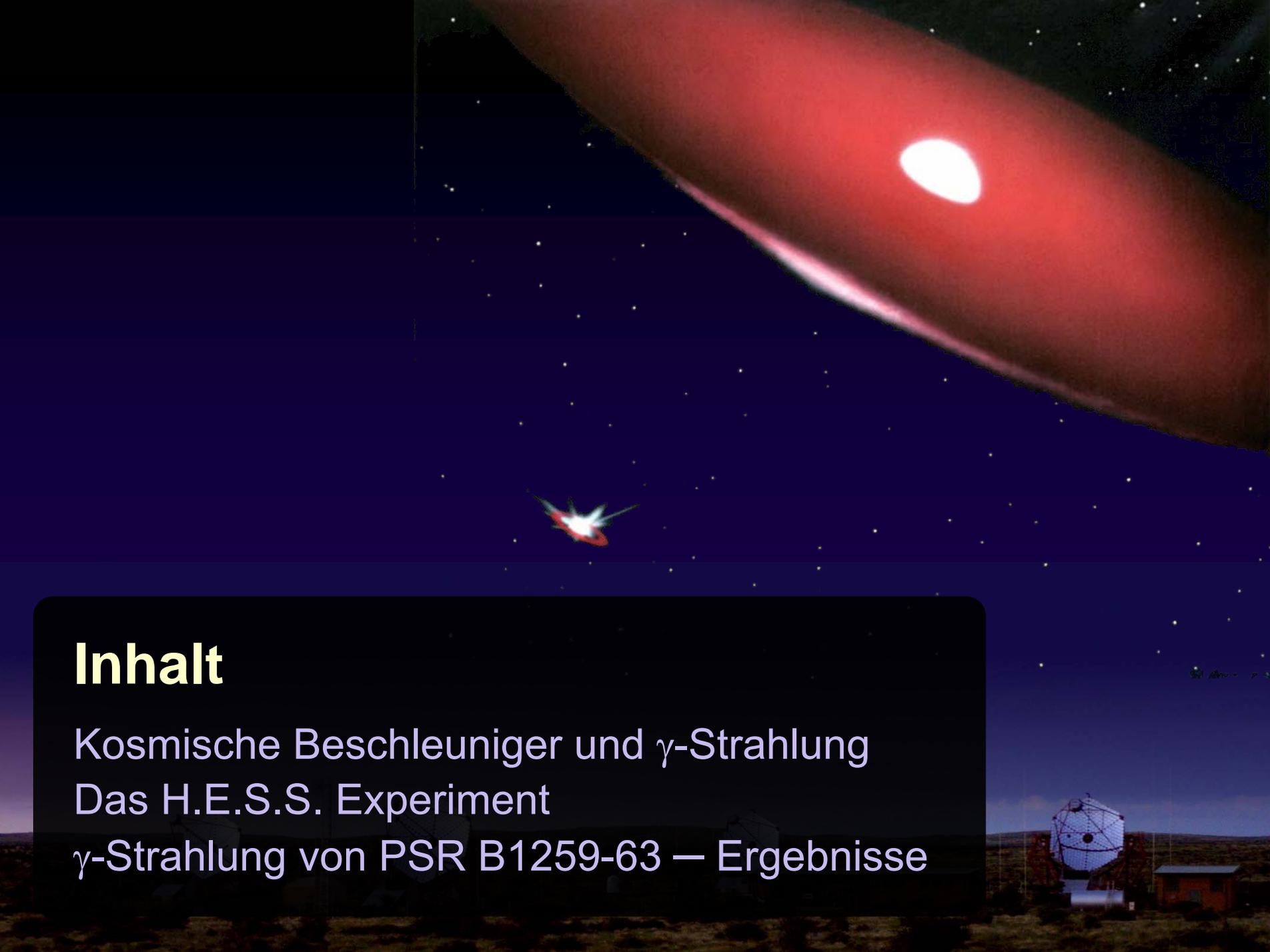
- ▶ Abhängigkeit der Bildparameter von Schauerenergie
- ▶ Skalierung der Bildparameter mit Erwartungswerten (Simulation) z.B.

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

## Datenselektion:

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





# Inhalt

Kosmische Beschleuniger und  $\gamma$ -Strahlung

Das H.E.S.S. Experiment

$\gamma$ -Strahlung von PSR B1259-63 — Ergebnisse

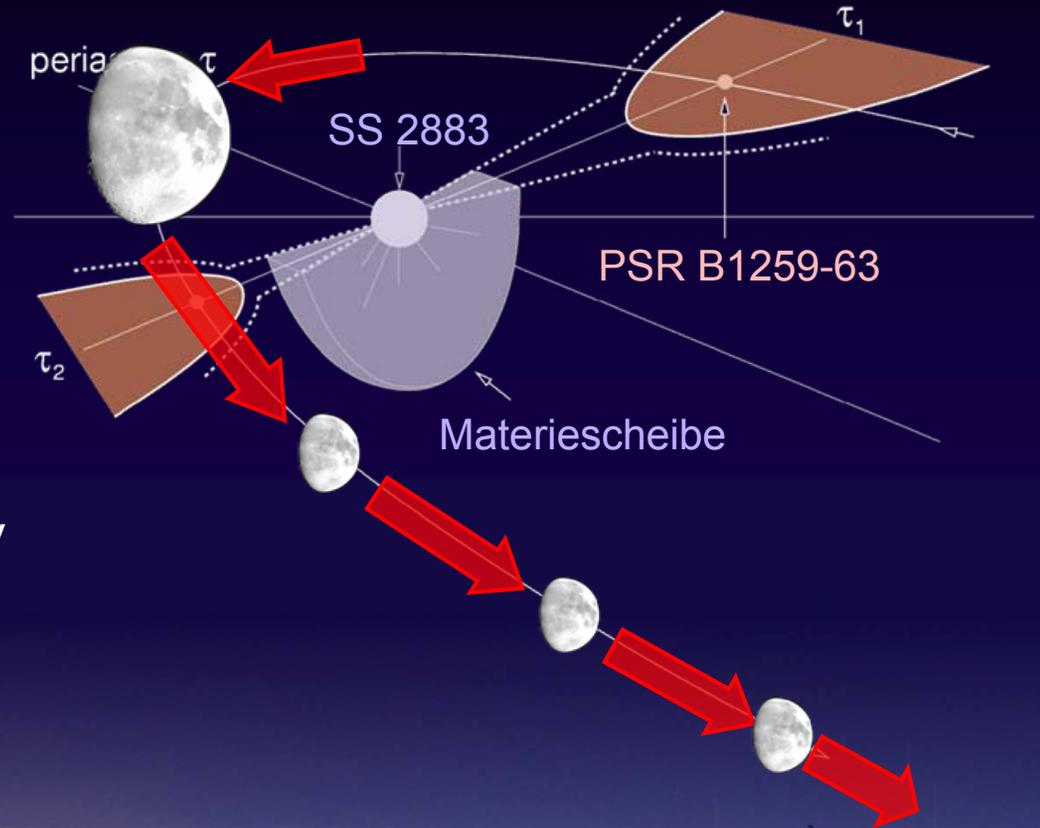
# H.E.S.S. Beobachtungen von PSR B1259-63

## Beobachtungen:

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

## Datensatz:

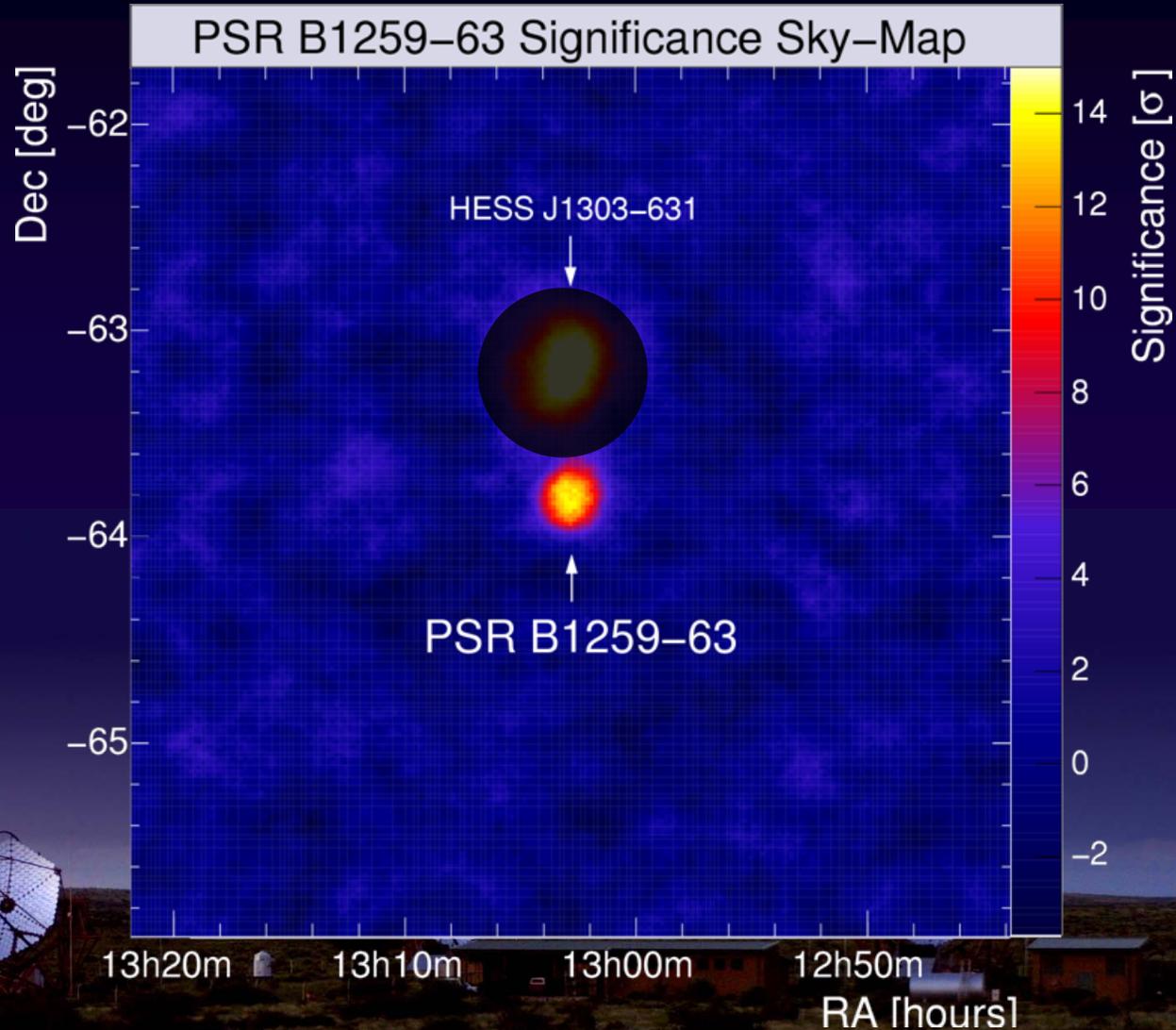
- ▶ Beobachtungszeit: 49.8 h
- ▶ Energieschwelle: 380 GeV
- ▶ Datenqualitätskriterien:  
gutes Wetter, Kalibration OK



# Ergebnisse – Signal

## 2D Analyse:

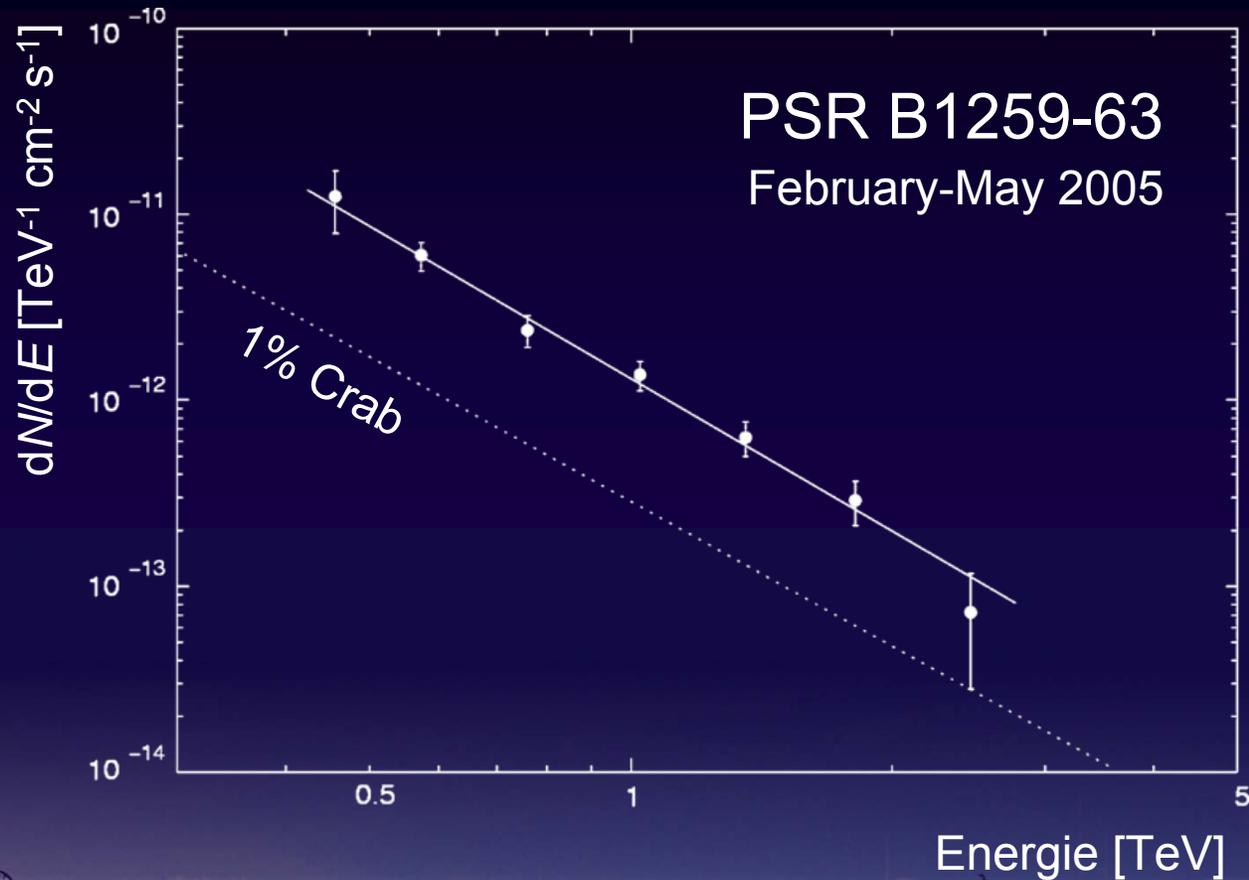
- ▶ Himmelskarte mit Gesichtsfeld =  $2^\circ \times 2^\circ$
- ▶ Klares Signal nahe Pulsarposition, weiteres Signal  $0.6^\circ$  nördlich  
➡ unbekannte Quelle!
- ▶ Signifikanz:  $13.8 \sigma$
- ▶ Ereignisse:  $955 \pm 69$
- ▶ Punktquelle
- ▶ Positionsbestimmung  
➡ Position kompatibel mit PSR B1259-63



# Ergebnisse – Spektrum

Rekonstruiertes  
Spektrum:

- ▶ Fit mit Potenzgesetz  
 $dN/dE \propto N_0 E^{-\Gamma}$
- ▶ Photon Index  $\Gamma$ :  
 $2.7 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 0.2_{\text{sys}}$
- ▶ 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  $\Gamma$  nicht  
variabel



# Ergebnisse – Spektrum Interpretation

## IC Szenario ( $e^\pm$ ):

Schock

- \* Expansion
- \* Strahlung

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

$$= 2.2 \pm 0.3$$

$$= 1.2 \pm 0.3$$

Energieverlust

- \* IC-Streuung

$$\alpha = 2.2 \pm 0.3$$

$$\Gamma = 2.7 \pm 0.3$$

IC-Photonen

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

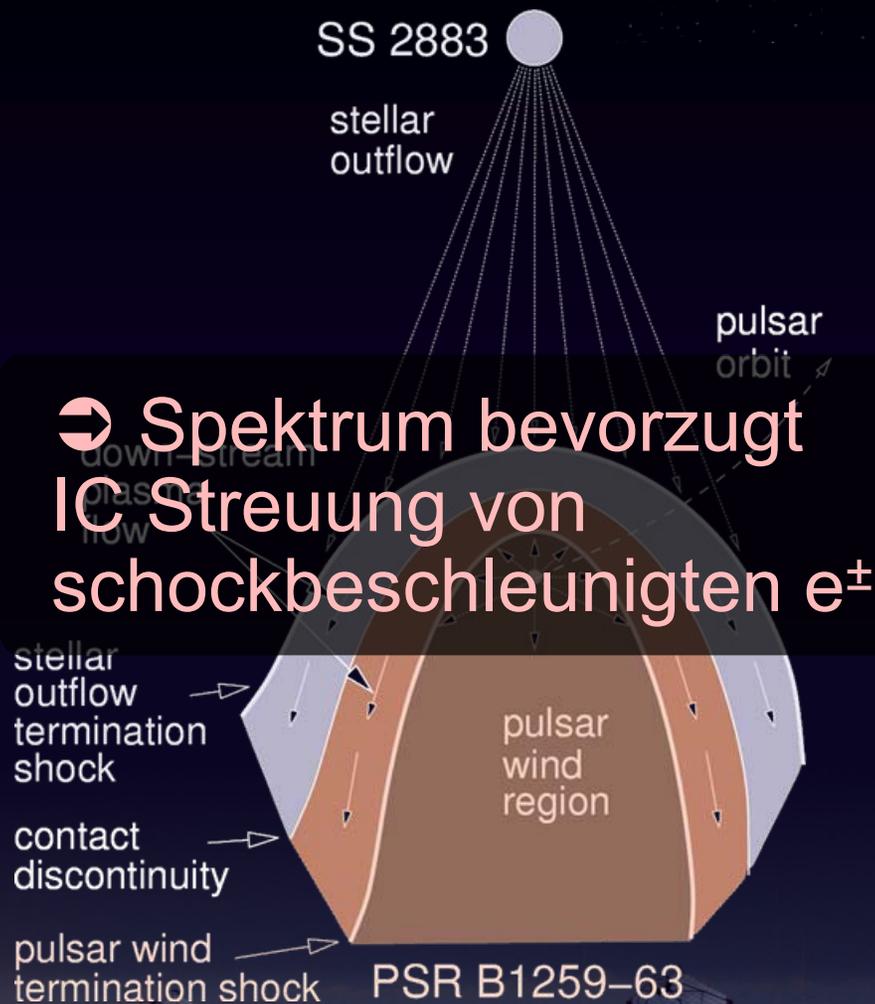
Fluss  $\gamma$ -Strahlung

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

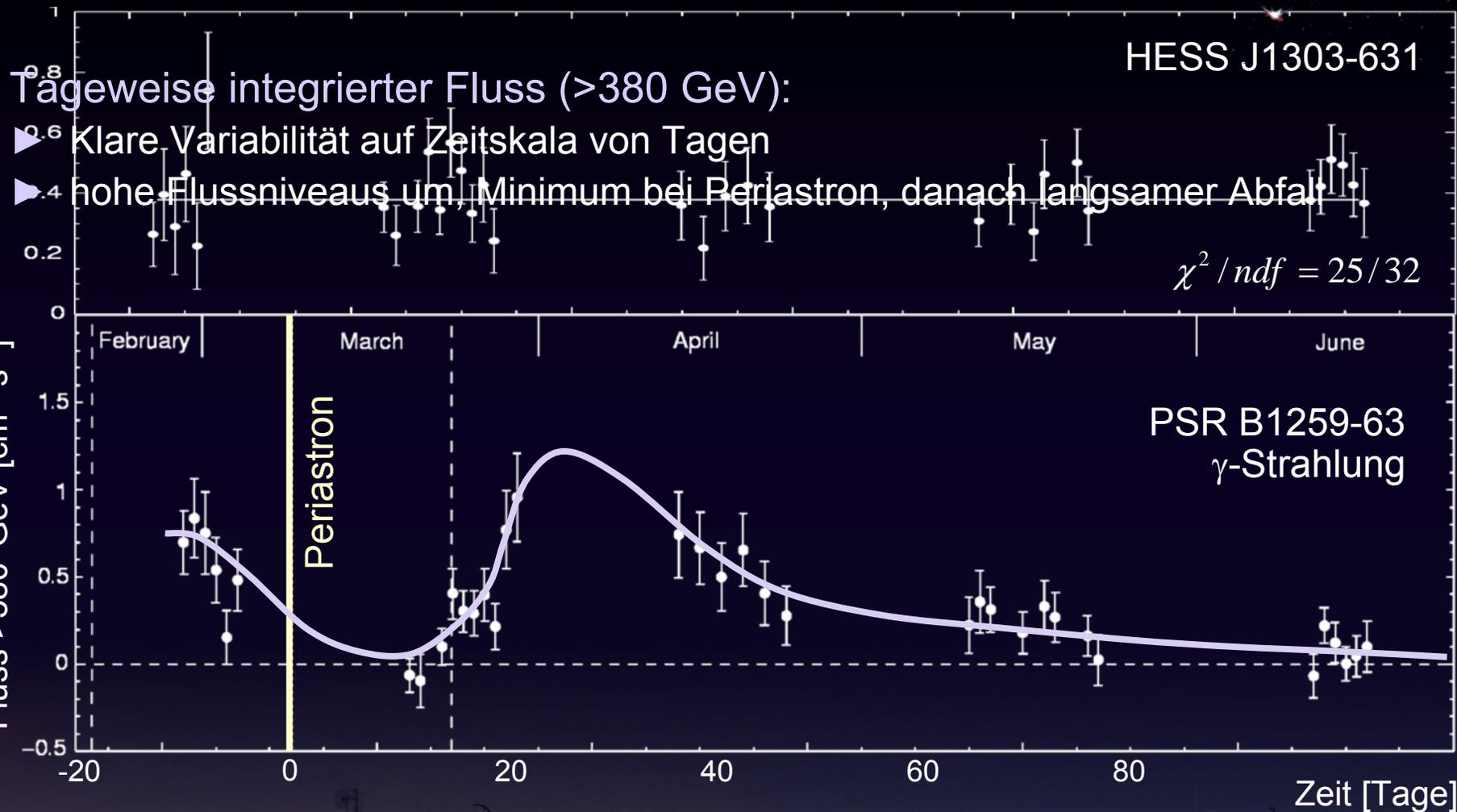
## Hadronisches Szenario:

► Injektionsspektrum von Ionen:

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



# Ergebnisse – Lichtkurve



Lichtkurve HESS J1303-631:

- ▶ kompatibel mit konstantem Fluss

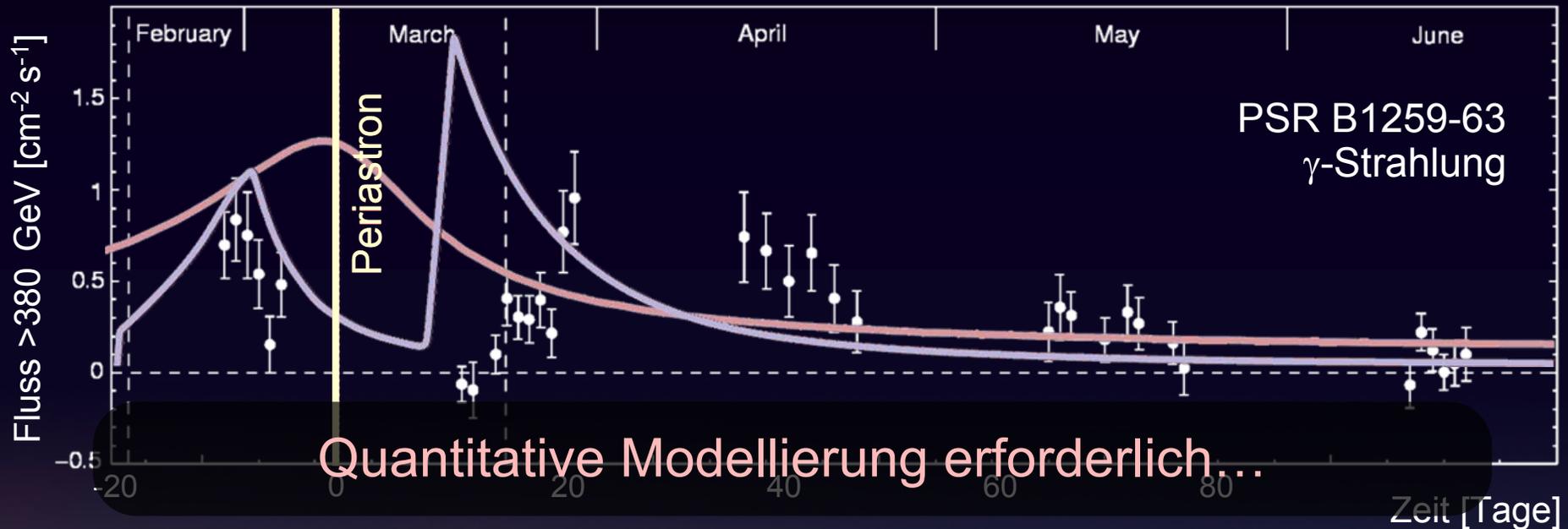
# Ergebnisse – Modellvergleich Lichtkurve

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  $\gamma$ -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

