

Auf der Suche nach **gepulster TeV Gamma- strahlung von Pulsaren** mit H.E.S.S.

Matthias Füßling
Humboldt-Universität zu Berlin

13. Oktober 2005



Outline

1. Pulsare
2. Simulationen
3. H.E.S.S. und Methodik
4. Resultate / Upper Limits
5. Niederenergiebereich

Entdeckung von Pulsaren

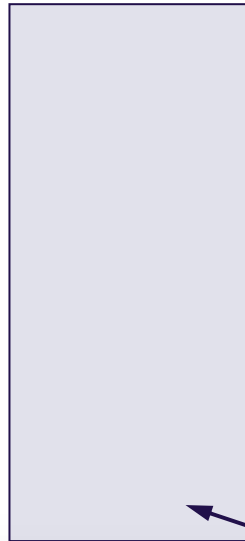
Merkmal: Pulse mit extrem regelmäßiger Periode im Bereich von ms bis s

- 1967 durch Zufall entdeckt von Bell & Hewish
- ~1500 Pulsare insgesamt bekannt
- 6 im hochenergetischen Gamma-Bereich (bis zu 10 GeV) beobachtet (darunter die beiden **hellsten Gamma-Quellen**)



Spektrum gepulster Emission von Gamma-Pulsaren

Energiefluss pro Energie-Dekade



Nicht-thermische Emission von hochenergetischen Teilchen:

Pulsare
||
Teilchenbeschleuniger

Großer Teil der abgestrahlten Energie im **Gamma-Bereich**



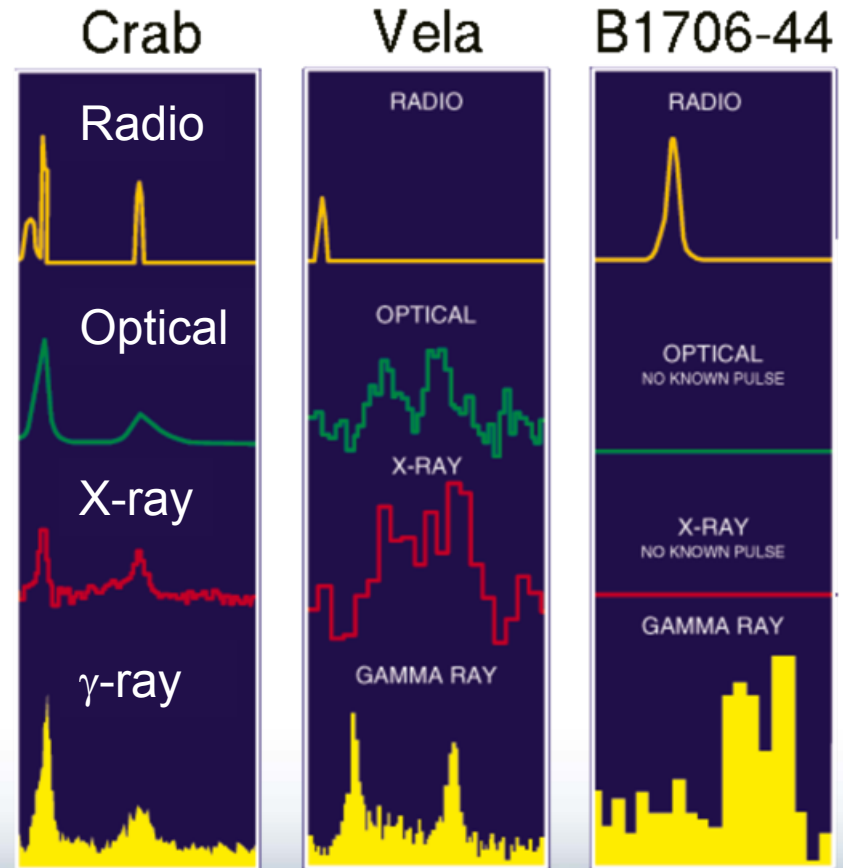
Pulsprofile von Gamma-Pulsaren

Vielfalt von Pulsprofilen in verschiedenen Wellenlängenbereichen

→ **“Phasogramm” = TeV Lichtkurve**

alle events in eine Periode von 0 bis 1 gefaltet

→ **Hohe Anforderungen an die Pulsartheorie**



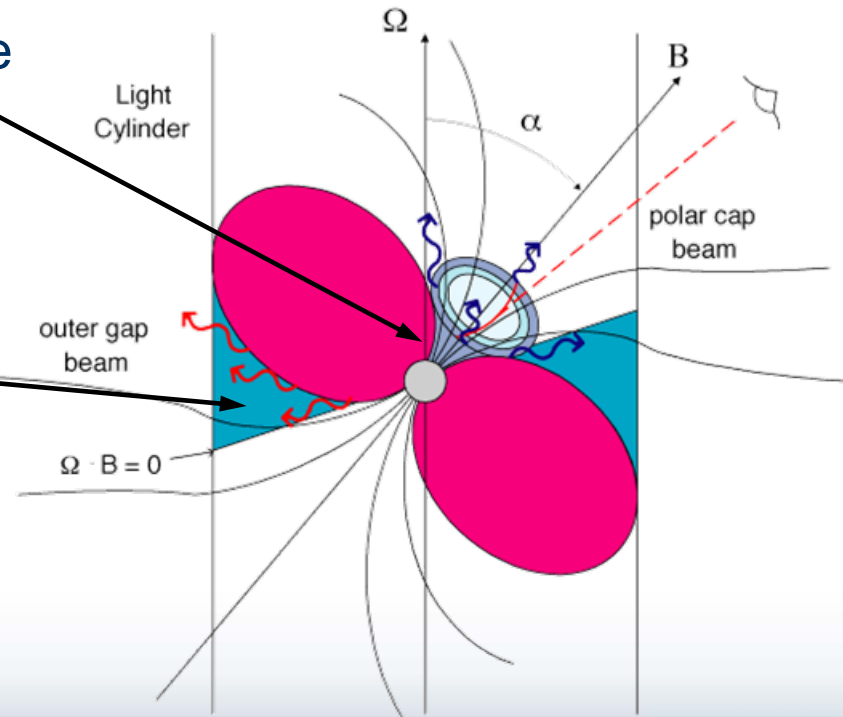
Theorien für gepulste Emission

Zwei Szenarien: wo die emittierende Region lokalisiert ist:

Polar Cap Modell: nahe der Oberfläche

Outer Gap Modell: in der äußeren Magnetosphäre

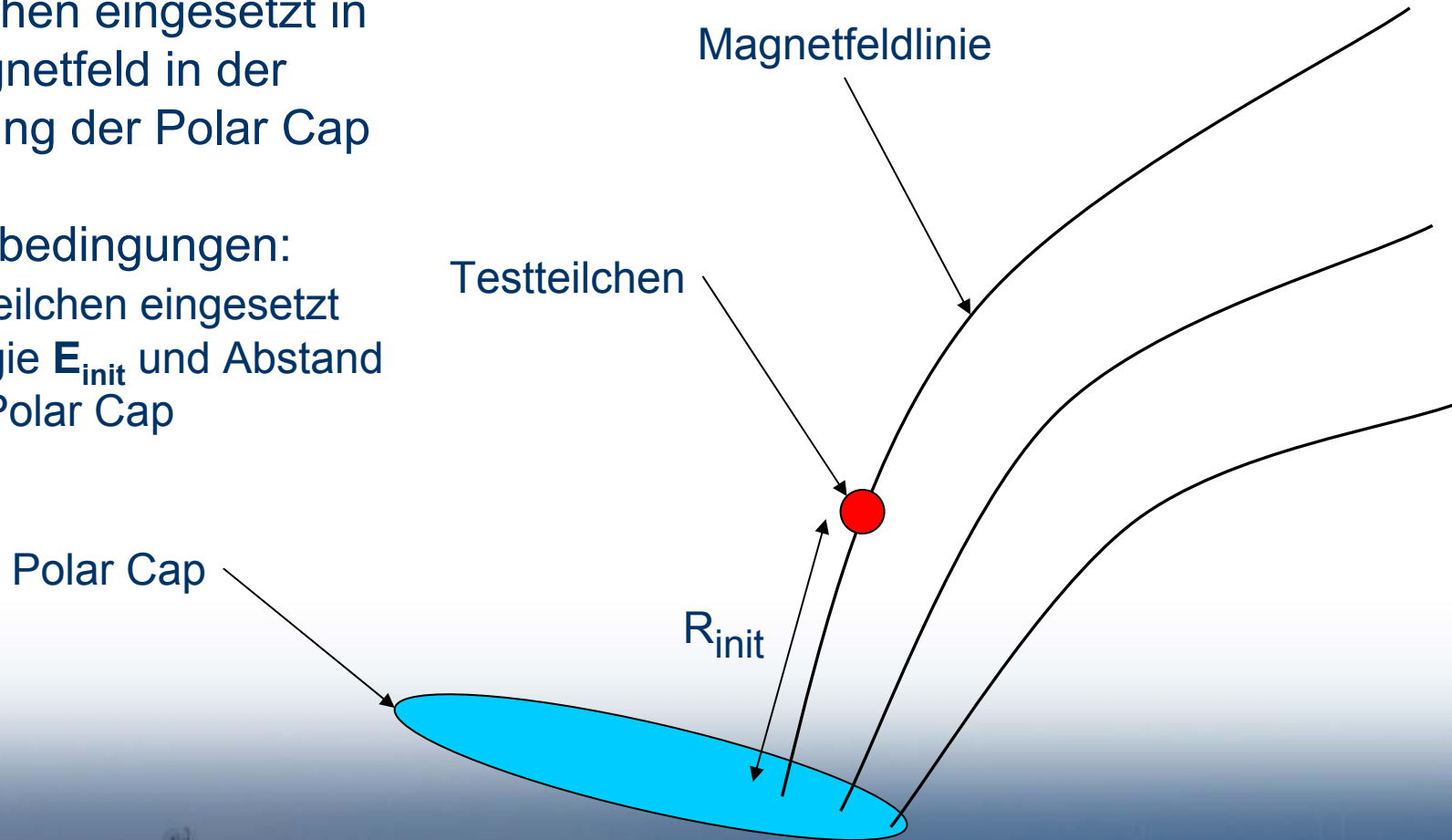
Welches Modell ist korrekt?



Simulationen Polar Cap Model

Testteilchen eingesetzt in
das Magnetfeld in der
Umgebung der Polar Cap

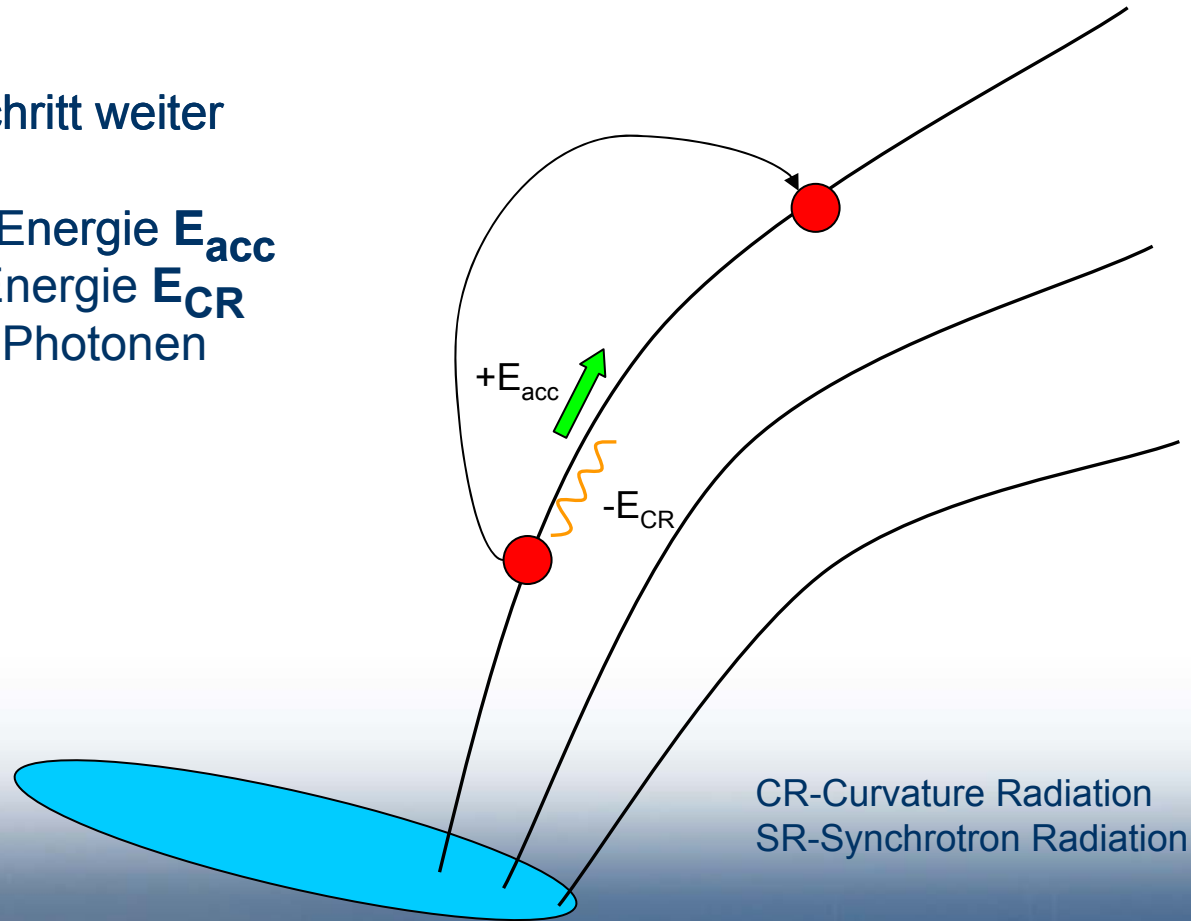
Anfangsbedingungen:
- Primärteilchen eingesetzt
mit Energie E_{init} und Abstand
 R_{init} zur Polar Cap



Simulationen Polar Cap Model

Schritte:

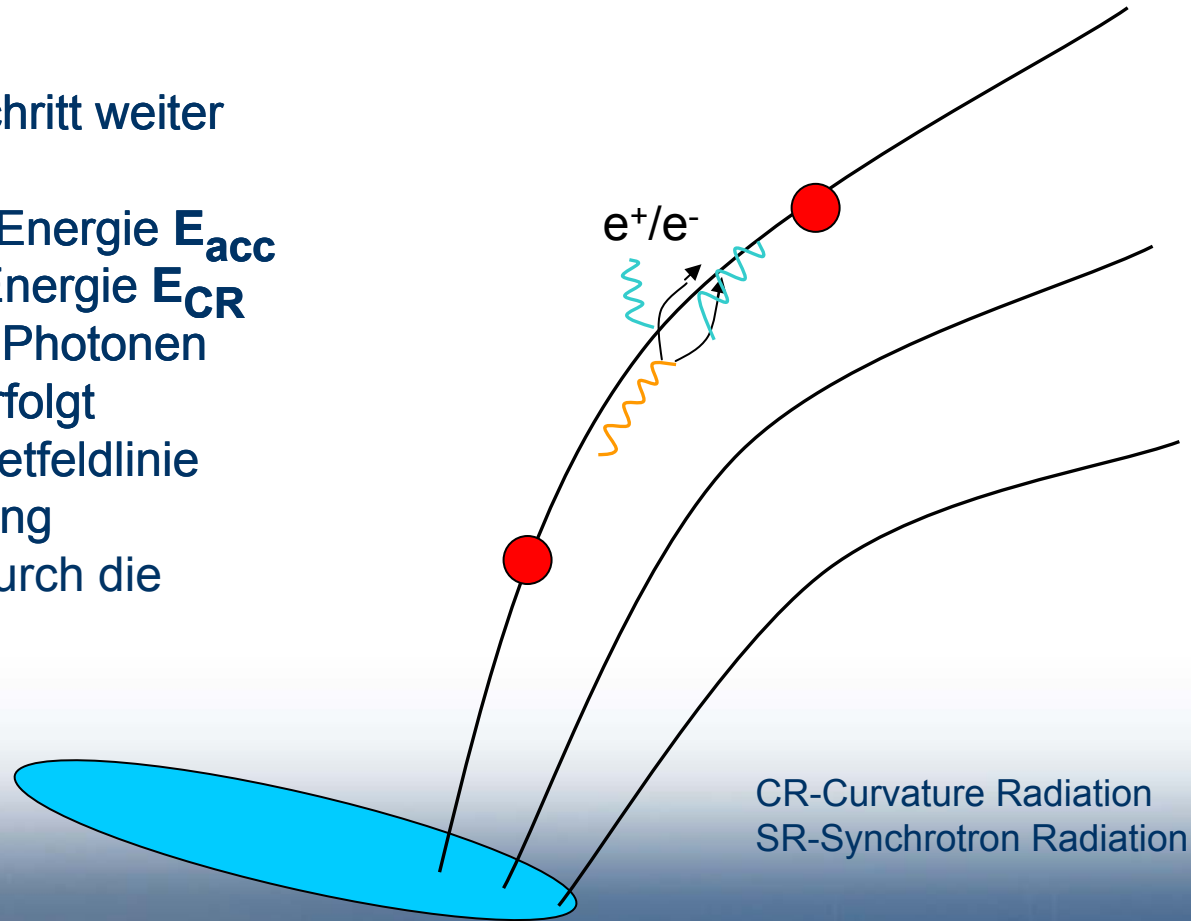
1. Primärteilchen einen Schritt weiter auf der Magnetfeldlinie
2. Primärteilchen gewinnt Energie E_{acc}
3. Primärteilchen verliert Energie E_{CR} durch Kaskade aus CR Photonen



Simulationen Polar Cap Model

Schritte:

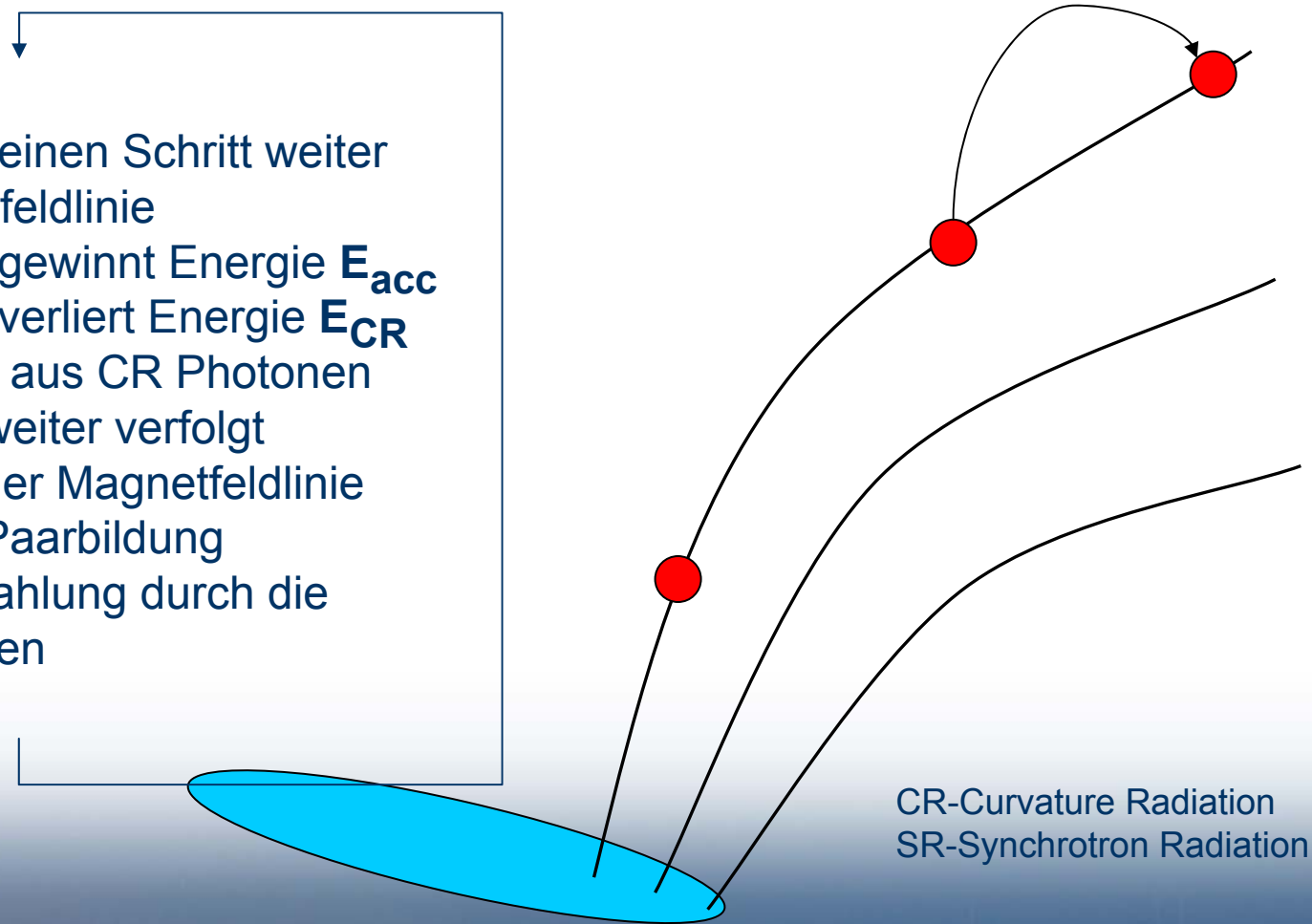
1. Primärteilchen einen Schritt weiter auf der Magnetfeldlinie
2. Primärteilchen gewinnt Energie E_{acc}
3. Primärteilchen verliert Energie E_{CR} durch Kaskade aus CR Photonen
4. Kaskade wird weiter verfolgt
5. in Umgebung der Magnetfeldlinie kommt es zur Paarbildung
6. Synchrotronstrahlung durch die Sekundärteilchen



Simulationen Polar Cap Model

Schritte:

1. Primärteilchen einen Schritt weiter auf der Magnetfeldlinie
2. Primärteilchen gewinnt Energie E_{acc}
3. Primärteilchen verliert Energie E_{CR} durch Kaskade aus CR Photonen
4. Kaskade wird weiter verfolgt
5. in Umgebung der Magnetfeldlinie kommt es zur Paarbildung
6. Synchrotronstrahlung durch die Sekundärteilchen



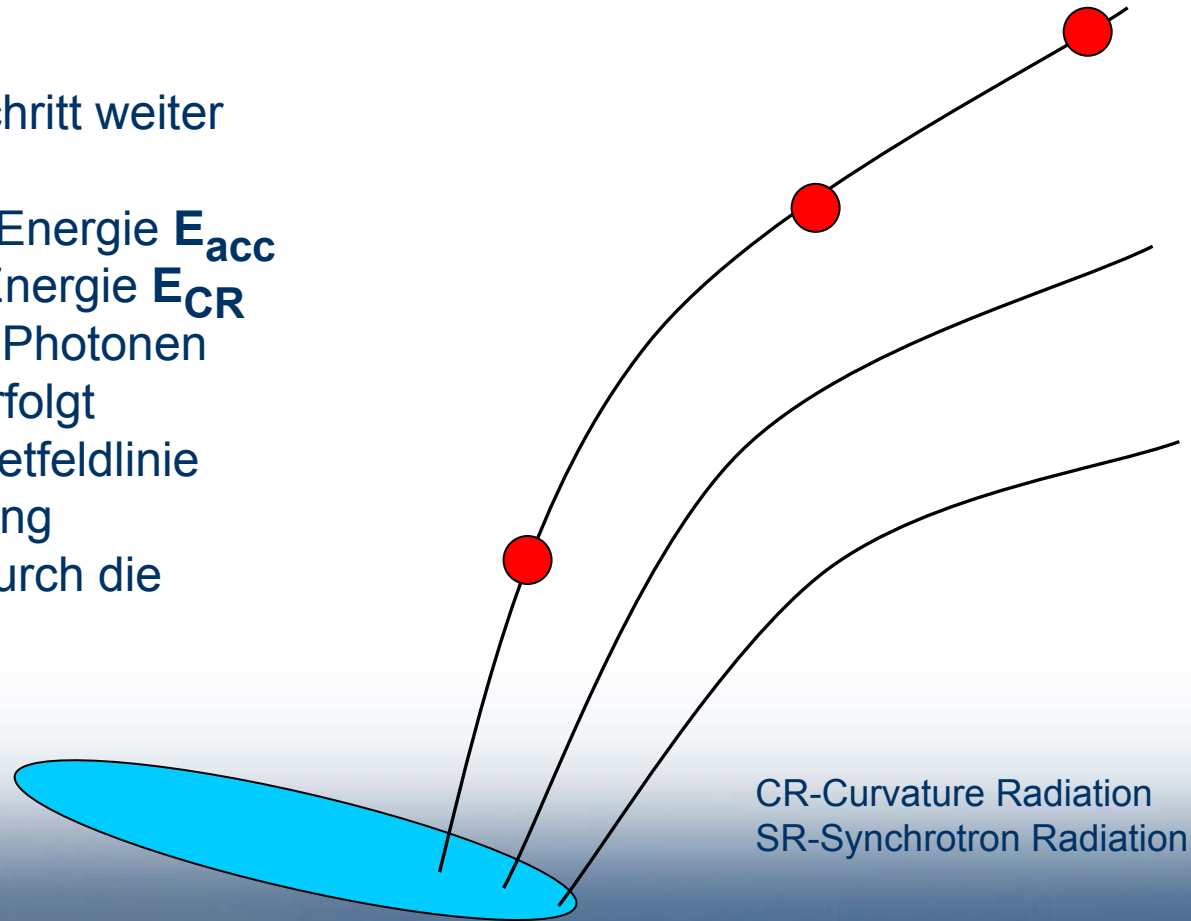
Simulationen Polar Cap Model

Schritte:

1. Primärteilchen einen Schritt weiter auf der Magnetfeldlinie
2. Primärteilchen gewinnt Energie E_{acc}
3. Primärteilchen verliert Energie E_{CR} durch Kaskade aus CR Photonen
4. Kaskade wird weiter verfolgt
5. in Umgebung der Magnetfeldlinie kommt es zur Paarbildung
6. Synchrotronstrahlung durch die Sekundärteilchen

Abbruchbedingung:

- $E_{\text{CR}} < 0.01 \text{ eV}$
- Abstand $> 0.9 R_{\text{lc}}$

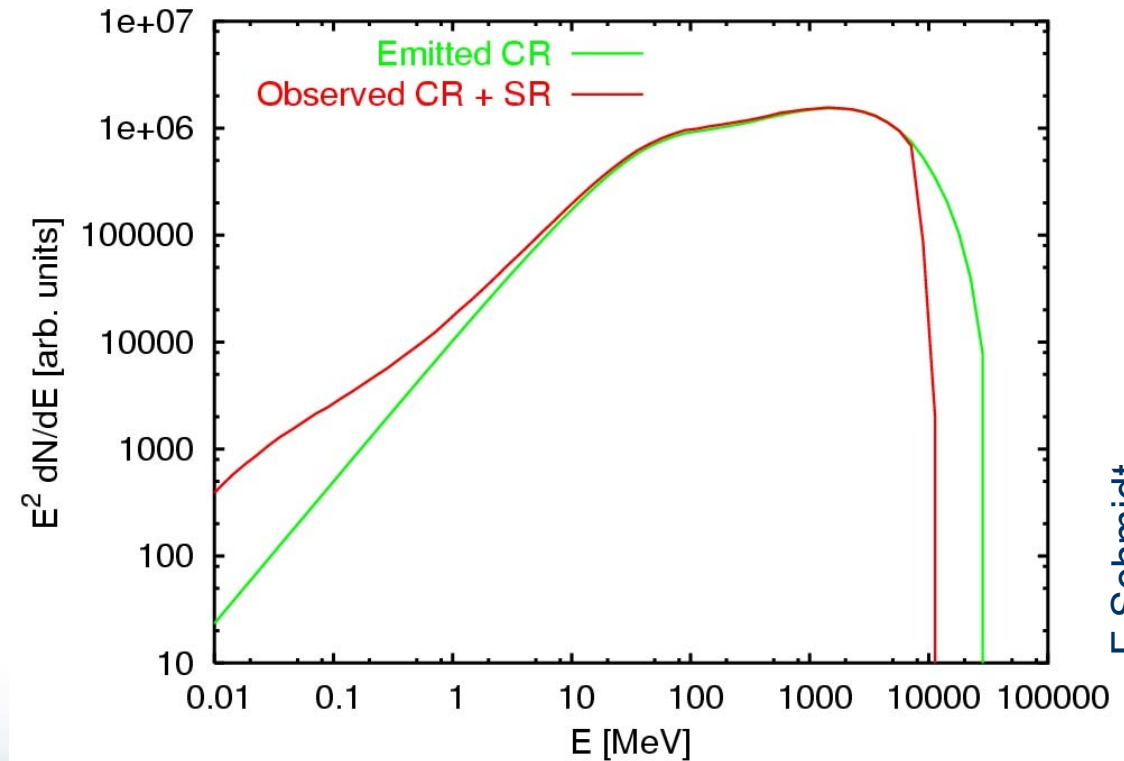


Simuliertes Energiespektrum für den Crab Pulsar

Crab Pulsar:
Beobachtbares Energiespektrum durch Synchrotronstrahlung verschoben zu kleineren Energien

Cut-off bei ~ 10 GeV

Wie robust ist der Cut-off gegenüber den Anfangsbedingungen?

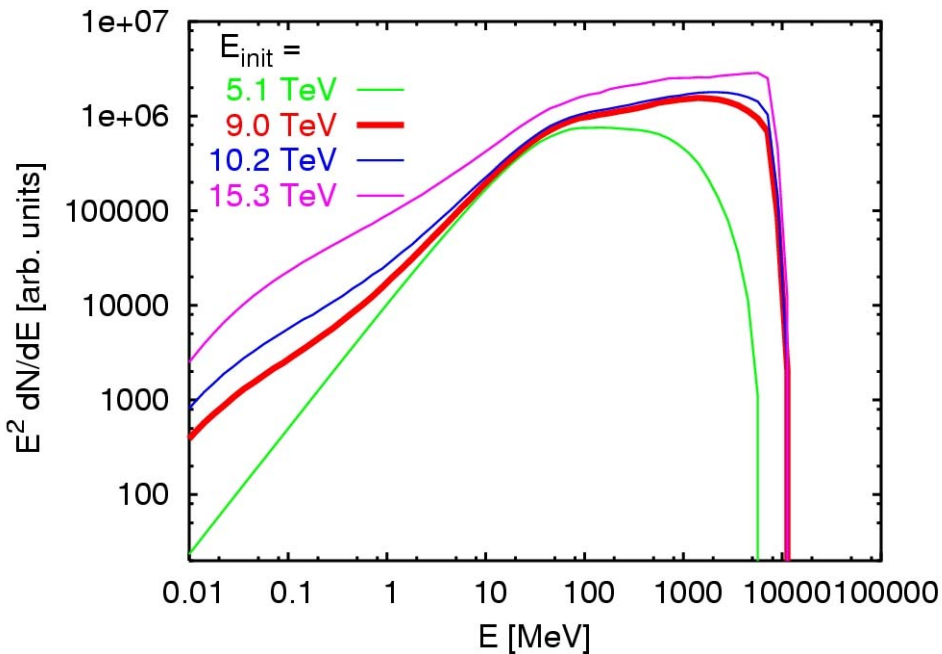


F. Schmidt

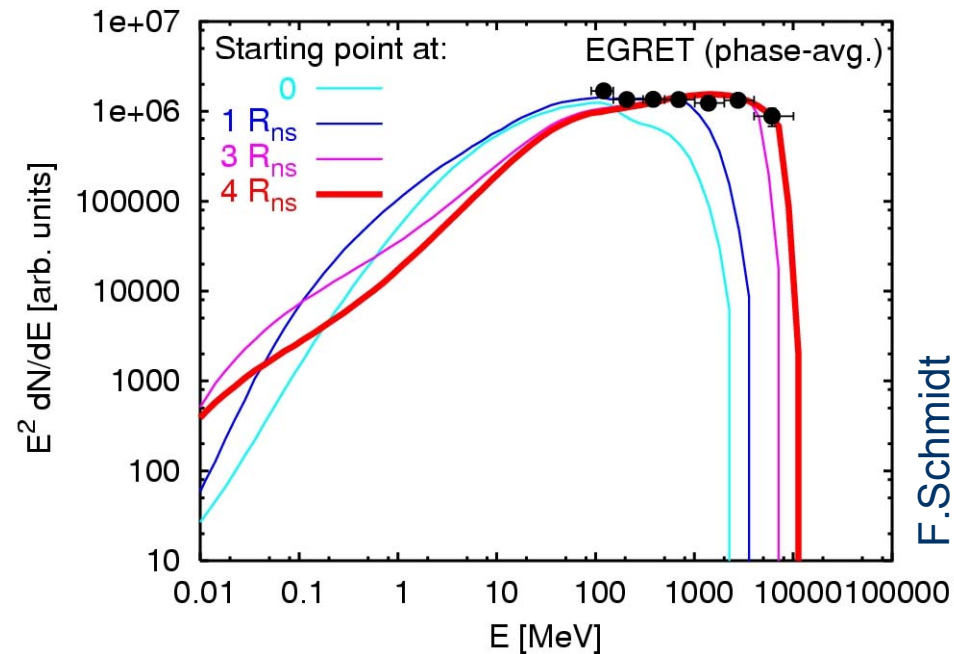


Verhalten des Energiespektrums bei verschiedenen Anfangsbedingungen

bei versch. Anfangsenergie



bei versch. Anfangshöhe



F. Schmidt

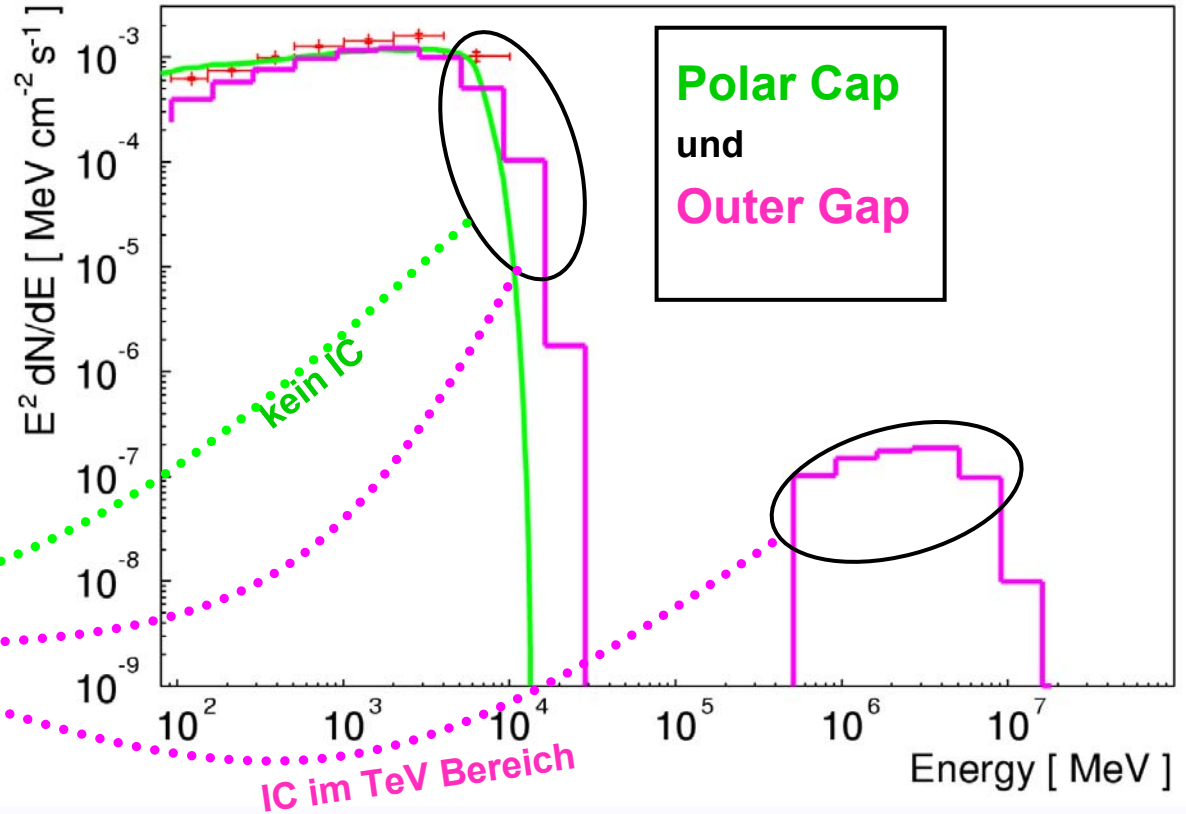
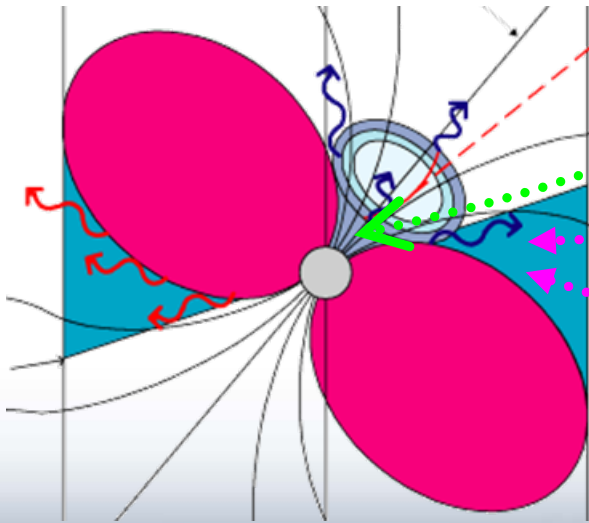
Cut-off abhängig von der Anfangshöhe



Spektren für den GeV-Bereich

Vorteil:

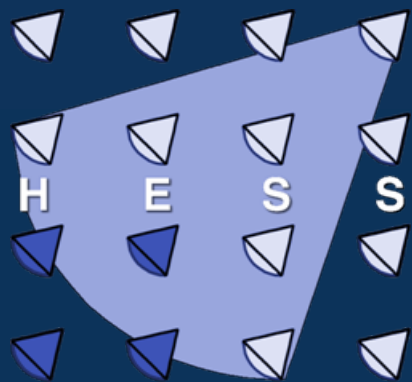
Die den Modellen zugrundeliegenden Prozesse unterscheiden sich bei > 10 GeV



F. Schmidt

→ **Einzigartige Möglichkeit zur Unterscheidung der beiden Modelle.**



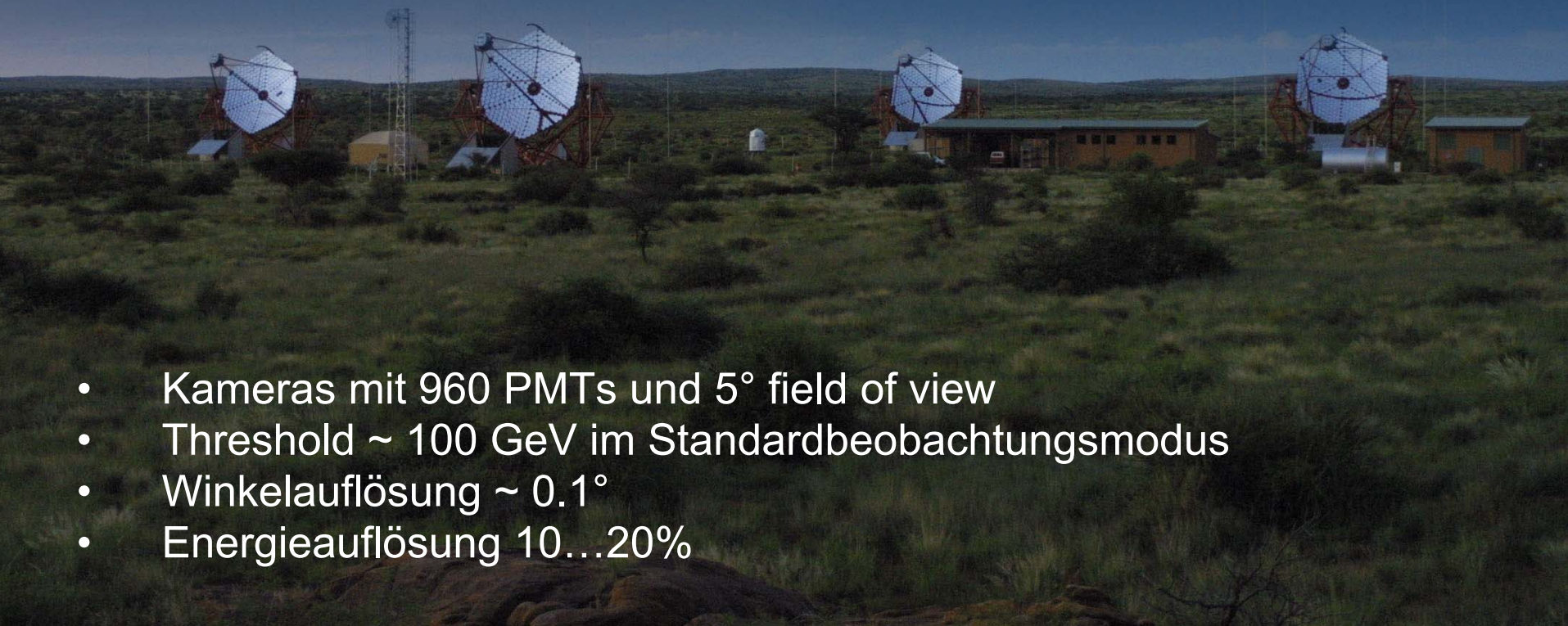


High Energy Stereoscopic System

Farm Göllschau, Namibia

Vier 13m Teleskope

voll funktionsbereit seit Dezember 2003



- Kameras mit 960 PMTs und 5° field of view
- Threshold ~ 100 GeV im Standardbeobachtungsmodus
- Winkelauflösung $\sim 0.1^\circ$
- Energieauflösung 10...20%

Stereoscopic Imaging Atmospheric Cherenkov Technique

bodengebundene Astronomie mit γ -Strahlen

→ **Luftschauer** → **Cherenkovstrahlung**

Stereoskopische Abbildung

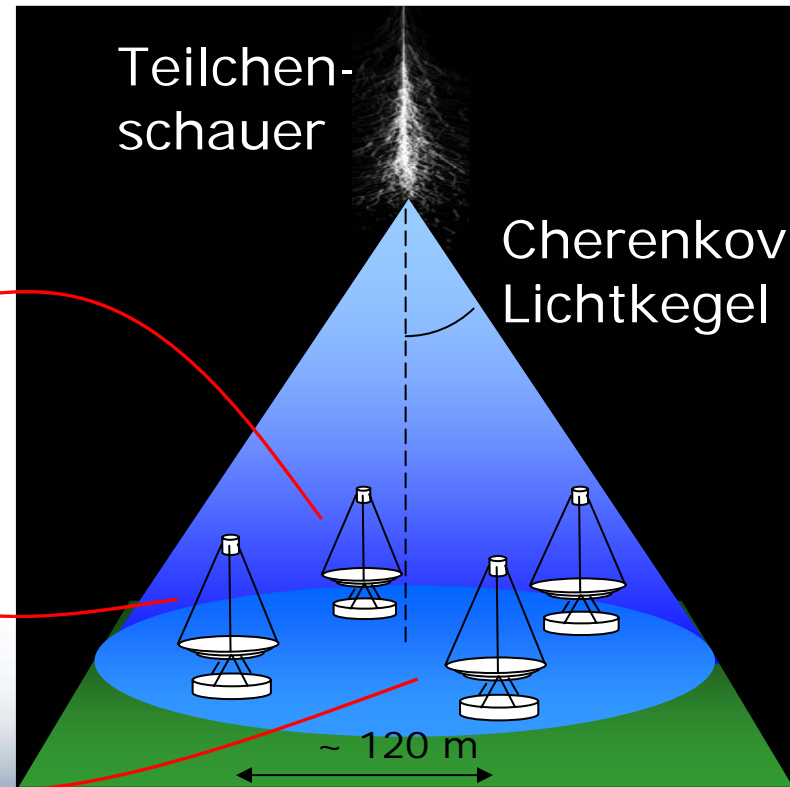
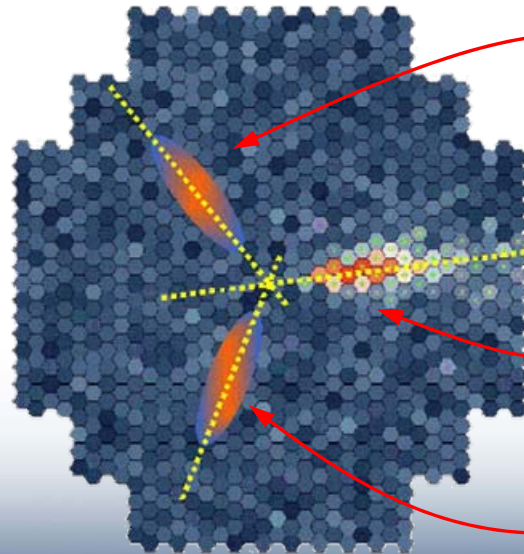
-> Quellrichtung

-> Energie

-> TeilchenID

für Phasogram

Ankunftszeitkorrektur



H.E.S.S.: Pulsprofil des Crab Pulsar

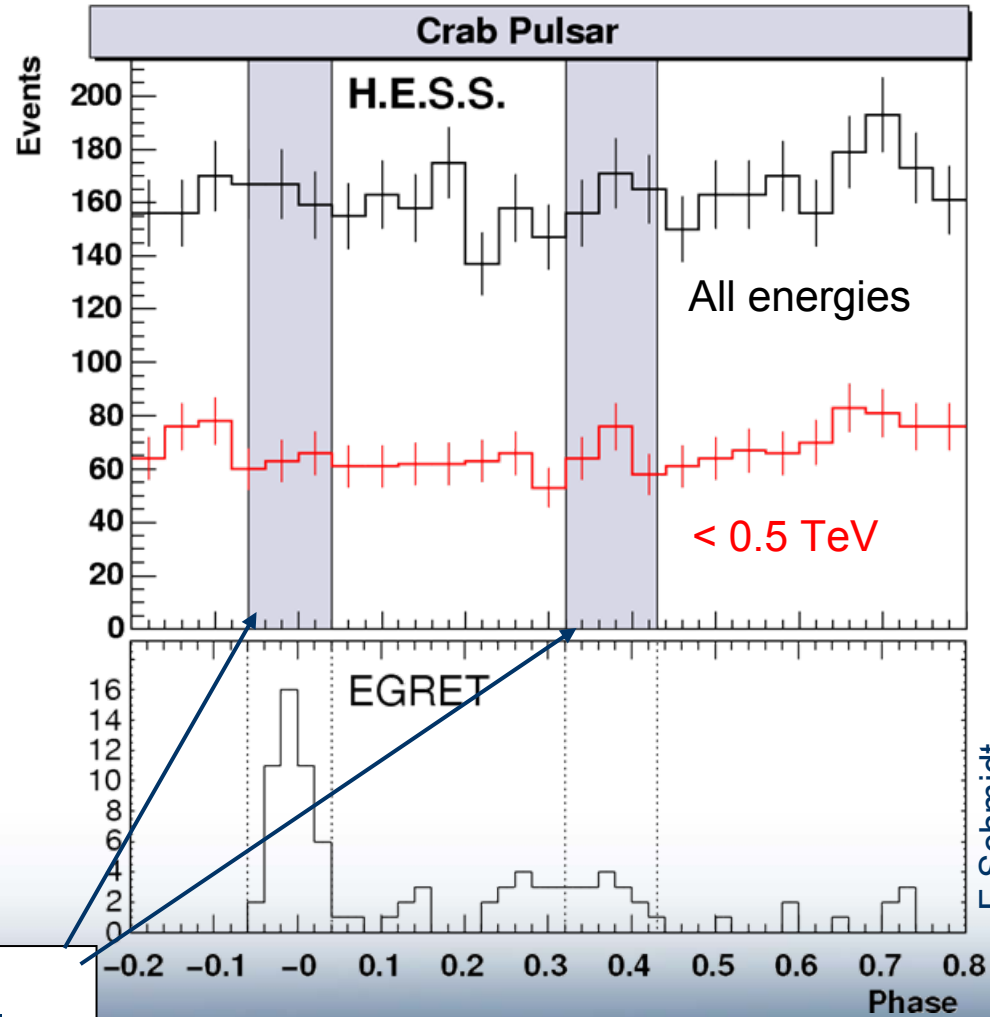
Mit 4 hrs Daten unter
Zenithwinkeln ab 45°:

Crab *Nebula*: gut bekannte
ungepulste TeV Quelle
Crab *Pulsar*: Suche nach *gepulster*
Strahlung

Gepulste Emission:
Phasogramm mit statistischen
Tests (χ^2 , Z_m^2 , H-Test) auf
Abweichung von Uniformität
ausgewertet:
keine gepulste Emission

Upper Limit auf gepulsten Fluss:

- **Signalregionen** (blau)
nach EGRET für $E > 1$ GeV
- **Offregionen** (weiss)



Flussberechnung

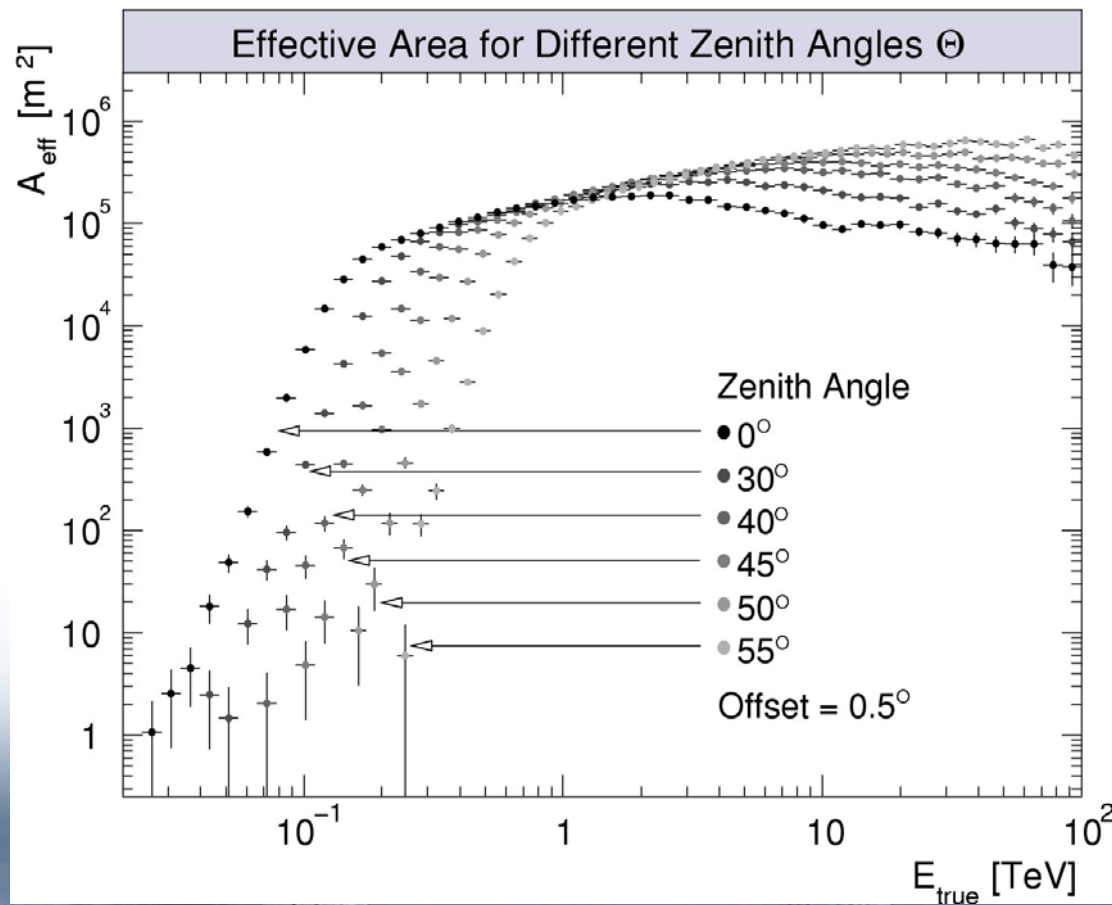
Effektive Flächen = Flächen, in denen die Teleskope Gammastrahlung detektieren können

Excess:

$$\tilde{N} = \sum_{i=1}^{N_{on}} \frac{1}{A_{eff}^i} - \alpha \sum_{j=1}^{N_{off}} \frac{1}{A_{eff}^j}$$

Fluss:

$$F = \frac{1}{t_{live}} \cdot \tilde{N}$$



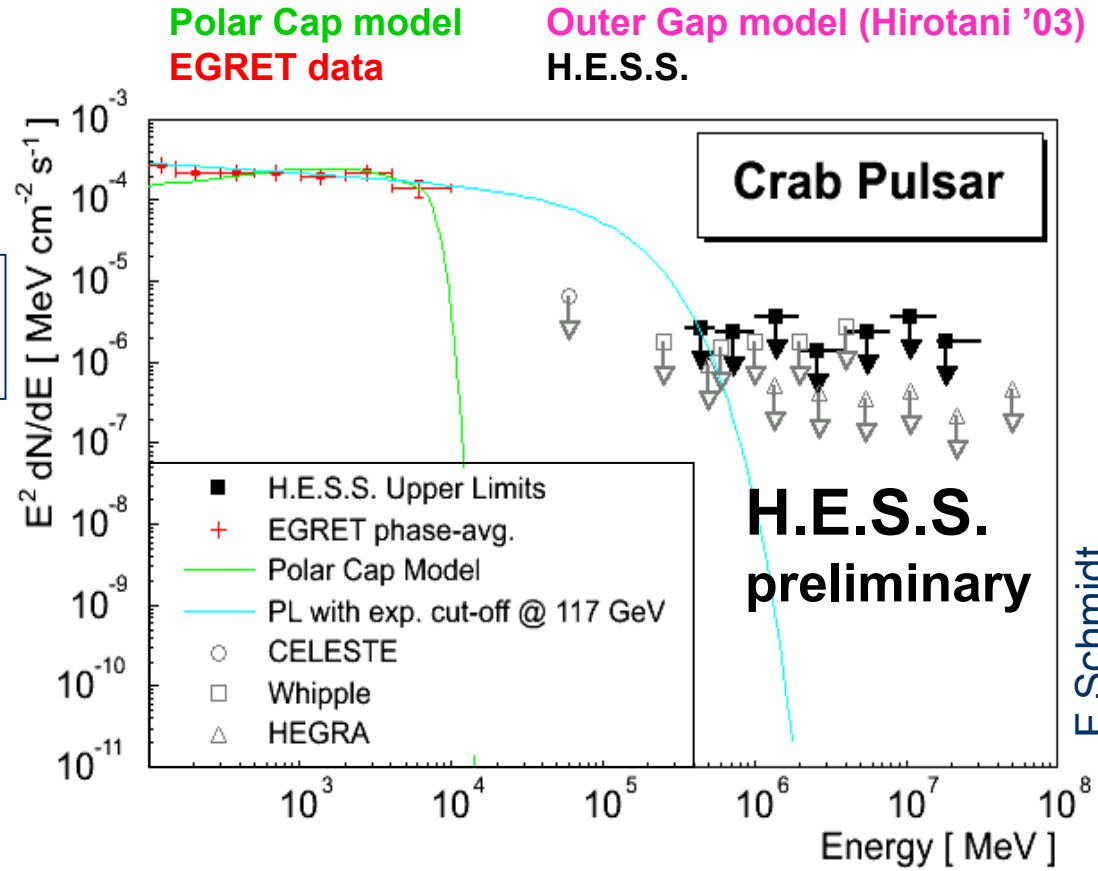
Gepulster Fluss des Crab Pulsar

Integrierter gepulster Fluss:

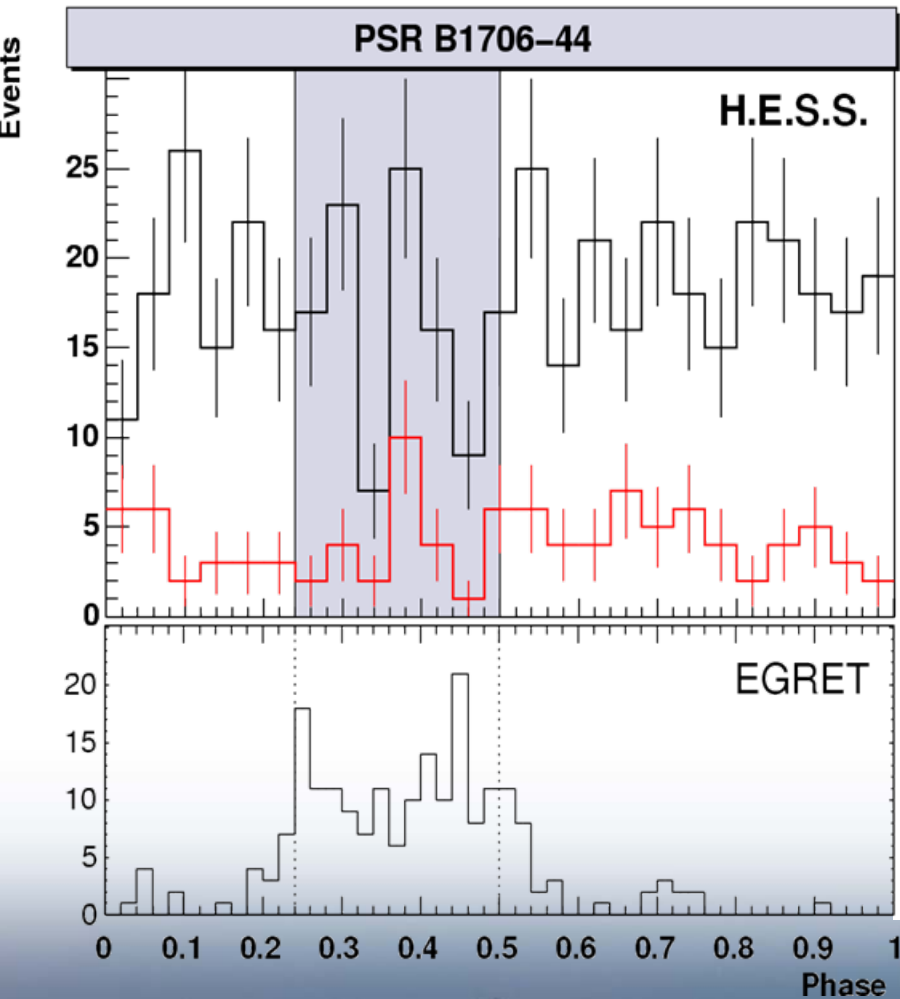
$$F(> 350 \text{ GeV}) < 4.67 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

99% C.L., nach Feldman & Cousins

Post-cut threshold: 350 GeV

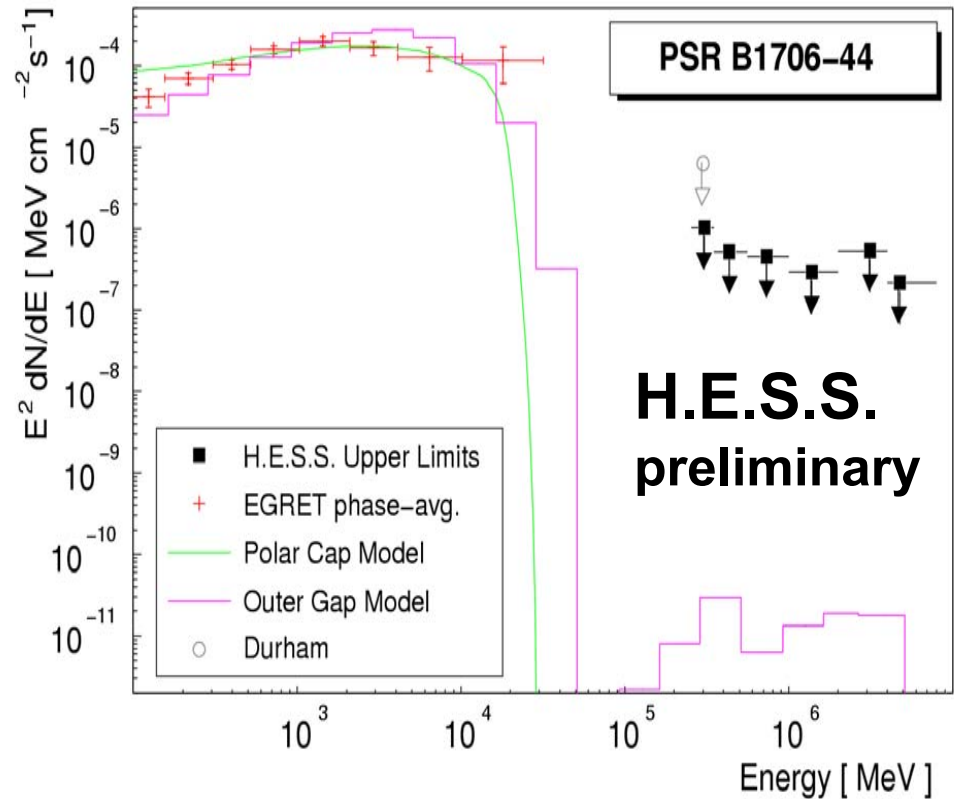


H.E.S.S.: PSR B1706-44 (14 hrs)



Polar Cap model
EGRET data

Outer Gap model (Hirotani '03)
H.E.S.S.



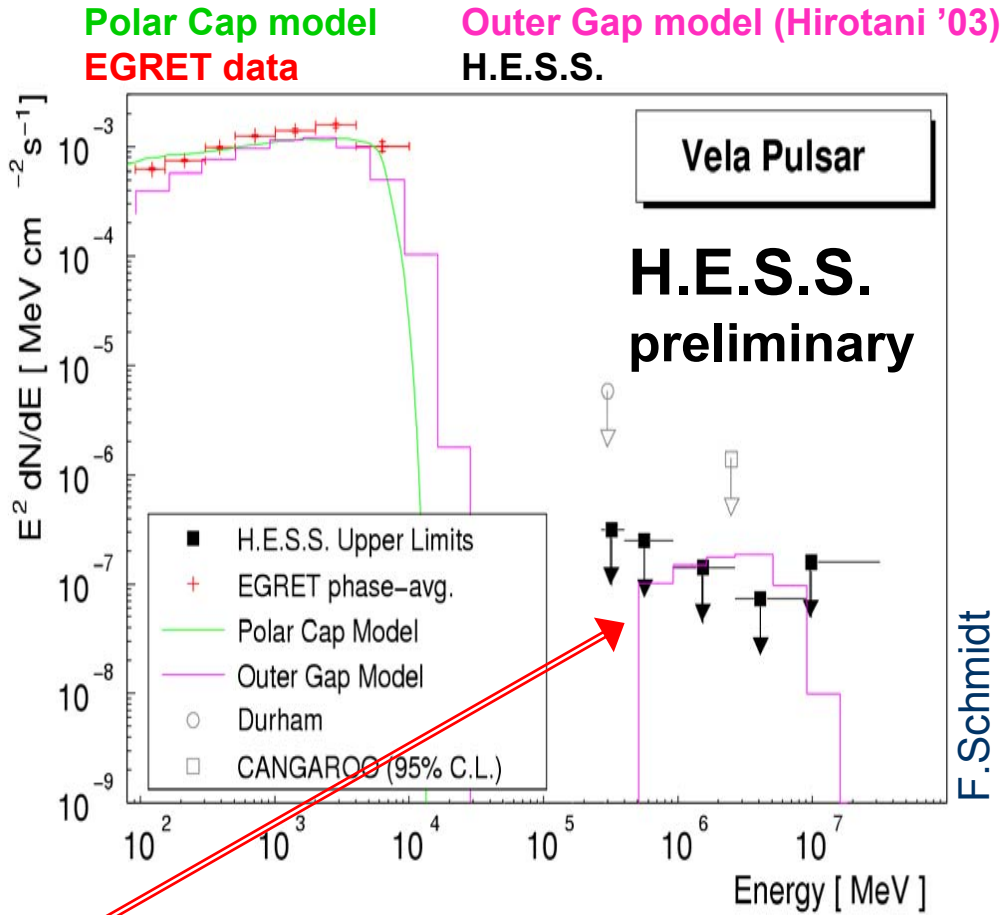
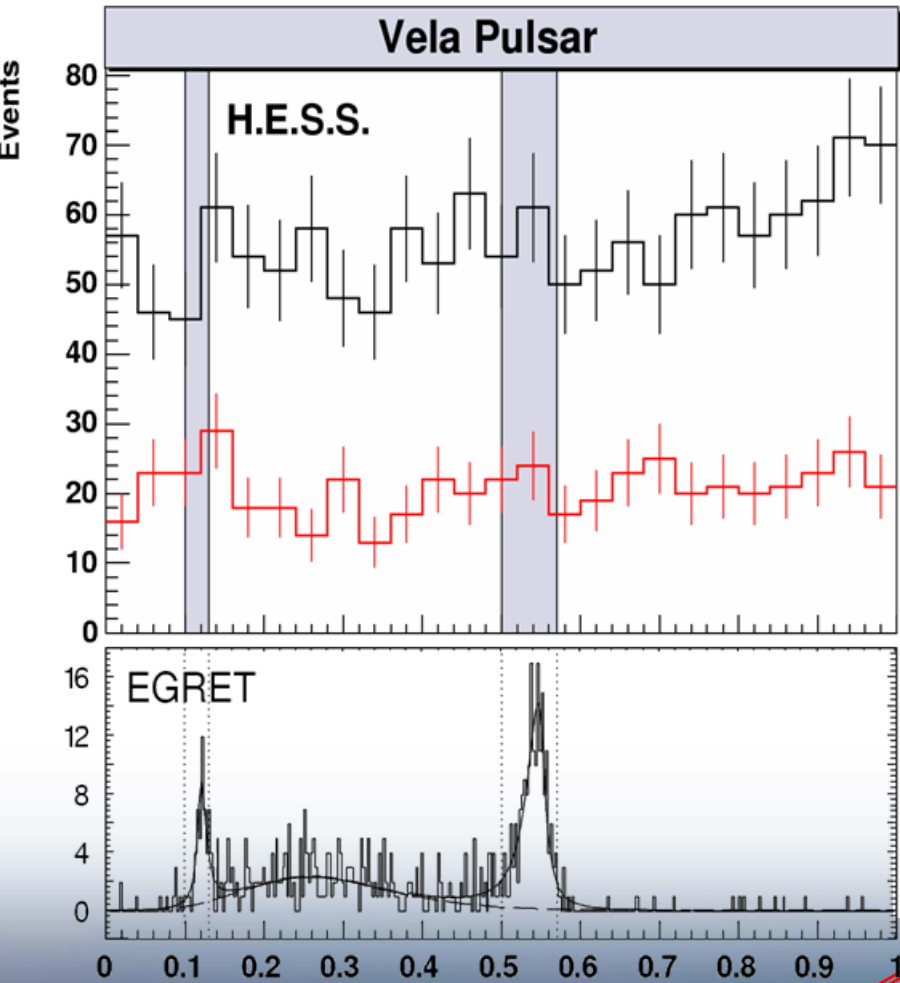
F. Schmidt

➤ Keine gepulste Emission

$F(> 255 \text{ GeV}) < 1.06 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Post-cut threshold: 255 GeV

H.E.S.S.: Vela Pulsar (13 hrs)

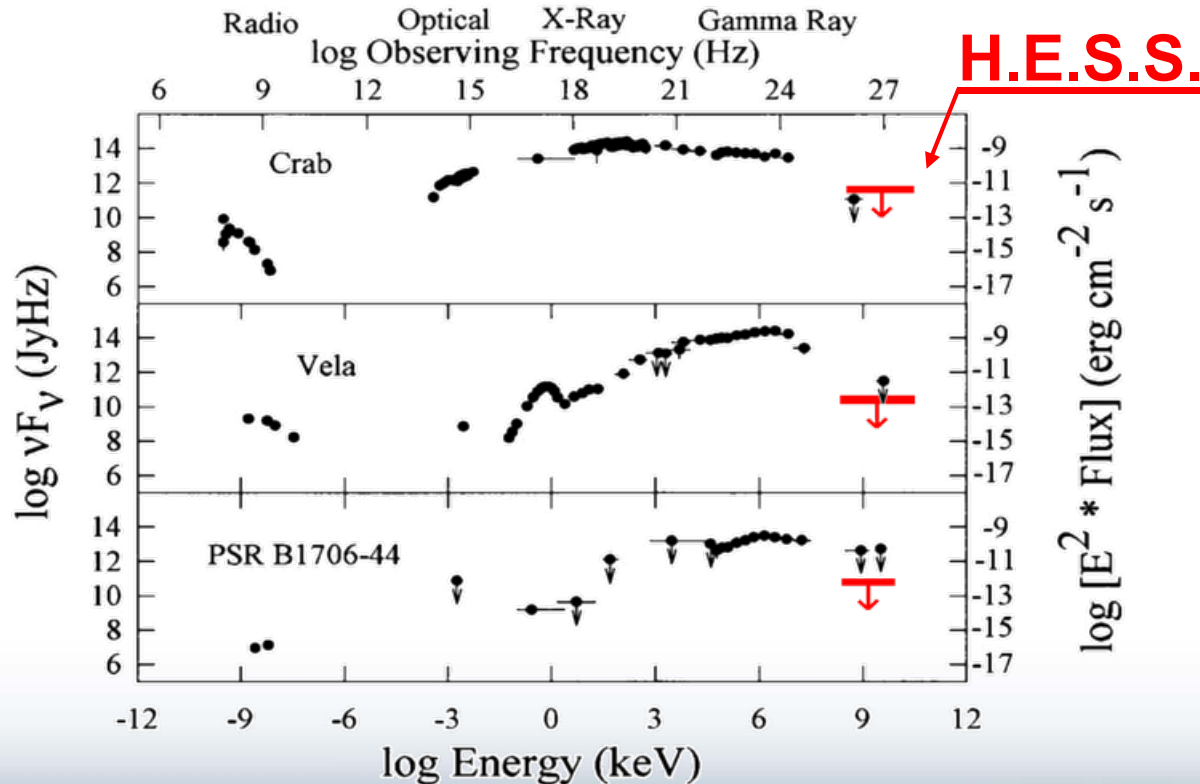


F. Schmidt

IC Vorhersage vom Outer Gap Model eingeschränkt (preliminary)

$F(> 235 \text{ GeV}) < 7.17 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 Post-cut threshold: 235 GeV

H.E.S.S. Upper Limits im Standardbeobachtungsmodus



Damit geben wir uns nicht zufrieden: Änderung des Beobachtungsmodus

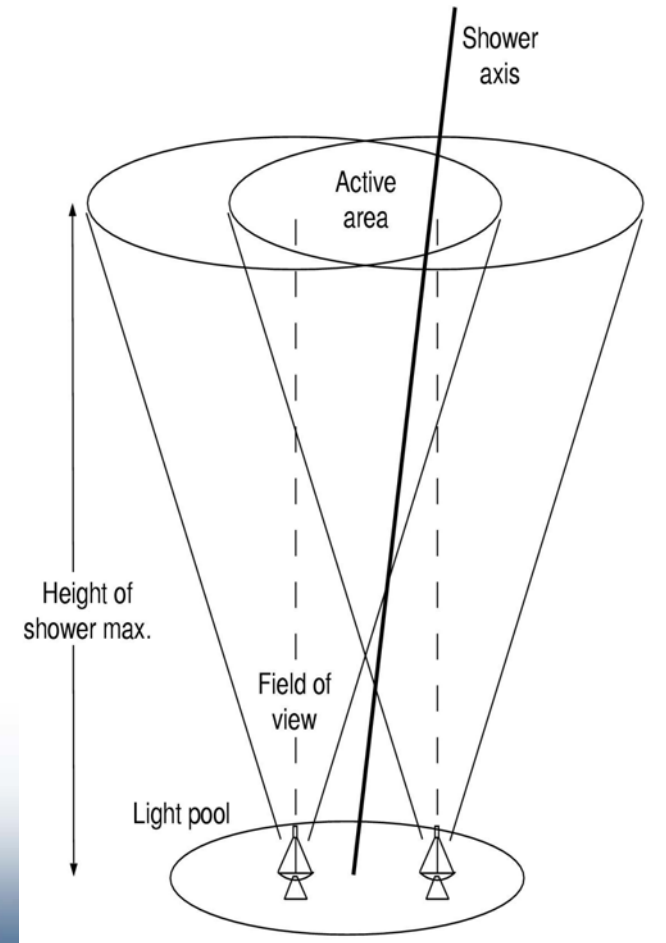
Standardbeobachtungsmodus

Standardbeobachtungskonfiguration:

Ausrichtung auf die Quelle mit parallelen Teleskopachsen

aktive Fläche gibt Detektionsfläche als Schnittmenge der Gesichtsfelder der einzelnen Teleskope wieder

Stereoskopisches System:
bessere Rekonstruktion
große Detektionsfläche



Konvergenter Beobachtungsmodus

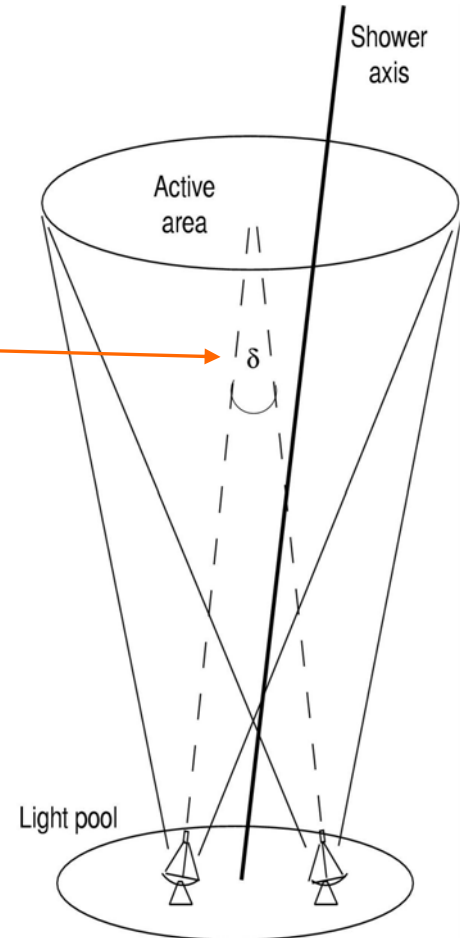
Neue Beobachtungskonfiguration:

Ausrichten der Teleskope auf das Schauermaximum in finiter Höhe („**Verkanten**“ um den Winkel δ)

- Vergrößerung der aktiven Region in der Höhe vom Maximum des Schauers

Ausrichten auf niederenergetische Schauer:

mittlerer 100 GeV Gamma-Schauer mit einer Höhe von 8,5 km



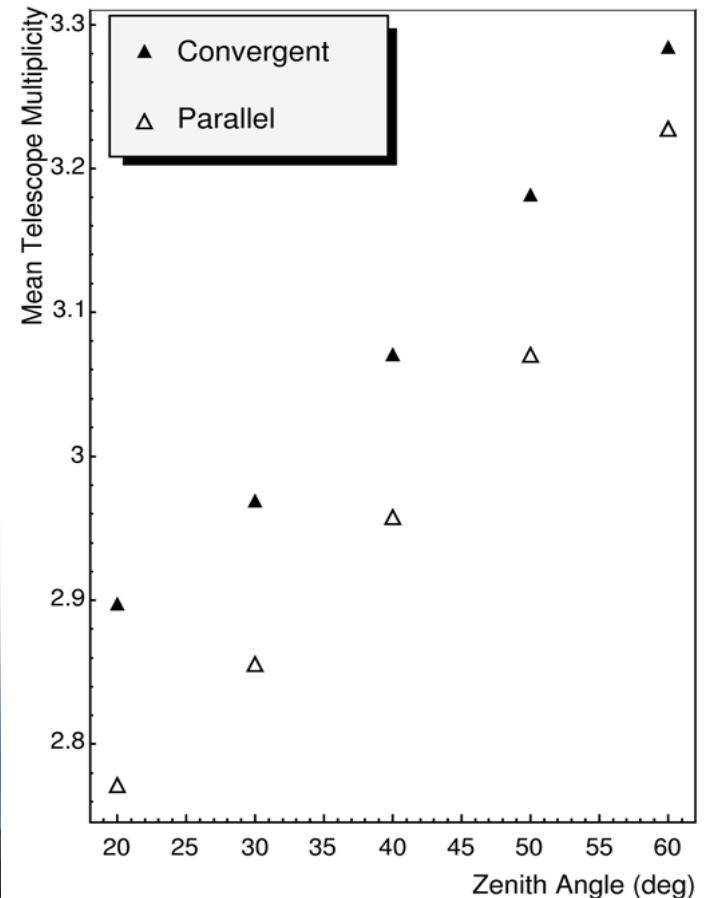
Erhöhung der Teleskopmultiplizität

Multiplizität = Anzahl der getriggerten Teleskope

- **Konvergent:** Erhöhung der Multiplizität für alle Zenithwinkel
- Effekt nimmt mit größerem Zenithwinkel ab

→ **bessere Rekonstruktion**

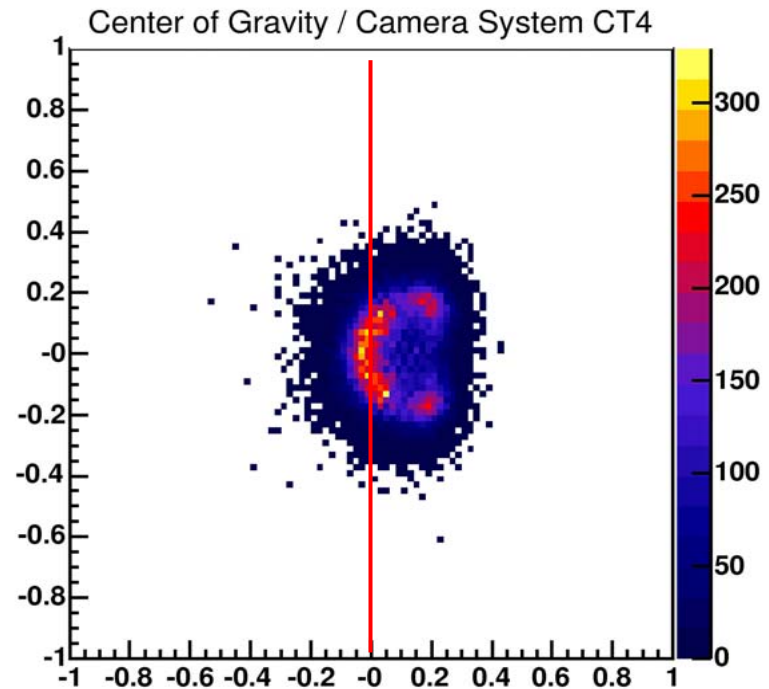
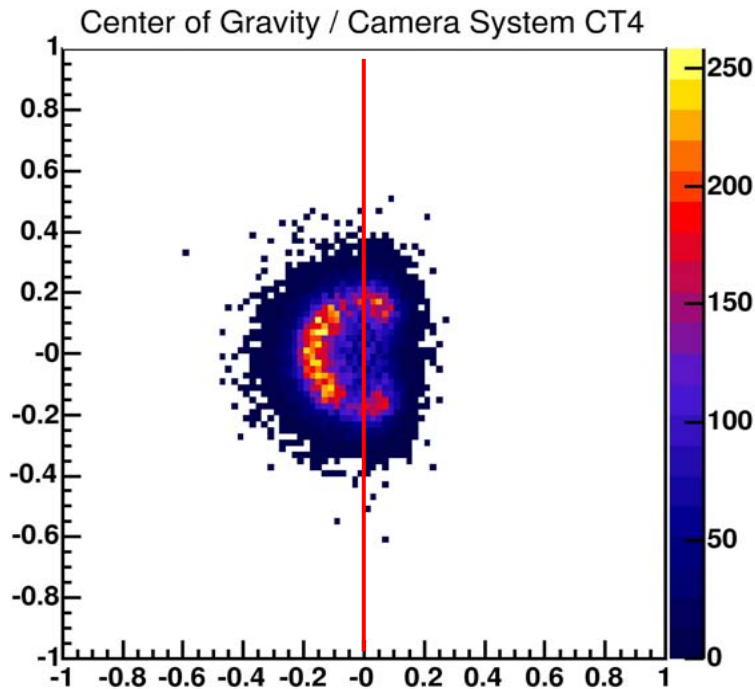
Mittlere Teleskopmultiplizität für Proton-MonteCarlos



Ausleuchtung der Kamera

Schauerbilder werden ins Kamerazentrum verschoben
→ Schauer am Ort höherer Kameraakzeptanz

Gamma-MonteCarlos für 20° Zenithwinkel:



Reduzierte Triggerfläche und Triggerschwellwert

Triggerrate abhängig von:

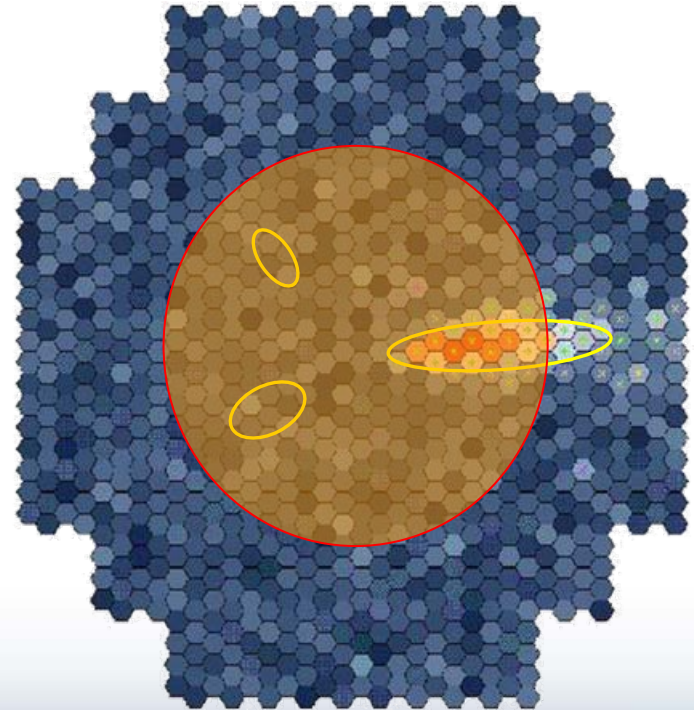
- Triggerfläche
- Triggerschwelle

Triggerfläche reduzieren

Triggerschwelle reduzieren

Vorteile:

- sensitiver auf niederenergetische Schauer
- größere effektive Fläche bei niedrigen Energien



Schlussbemerkungen

H.E.S.S. ist auf der Suche nach gepulster Strahlung im TeV-Bereich.

H.E.S.S. Upper Limits auf gepulste TeV Gammastrahlung:

- **erstmals** Energien < 300 GeV für Vela und PSR B1706-44 untersucht
- Interessante Rückwirkungen auf die Pulsartheorie

Weitere Pulsare einschließlich **ms-Pulsare** werden beobachtet.

Ein **spezieller Beobachtungsmodus mit niedrigerer Energieschwelle** wird bei der Suche nach gepulster Strahlung eingesetzt.

Mit H.E.S.S. beobachtete Pulsare

- **Crab Pulsar** (P = 33 ms, d ~ 2 kpc, Alter ~ 1,000 years)
 - **Vela Pulsar** (P = 89 ms, d ~ 300 pc, Alter ~ 11,000 years)
 - **PSR B1706-44** (P = 102 ms, d ~ 1...3 kpc, Alter ~ 17,000 years)
-
- Standard EGRET Quellen
 - gepulste Emission im **GeV Bereich beobachtet**



Ankunftszeitkorrektur

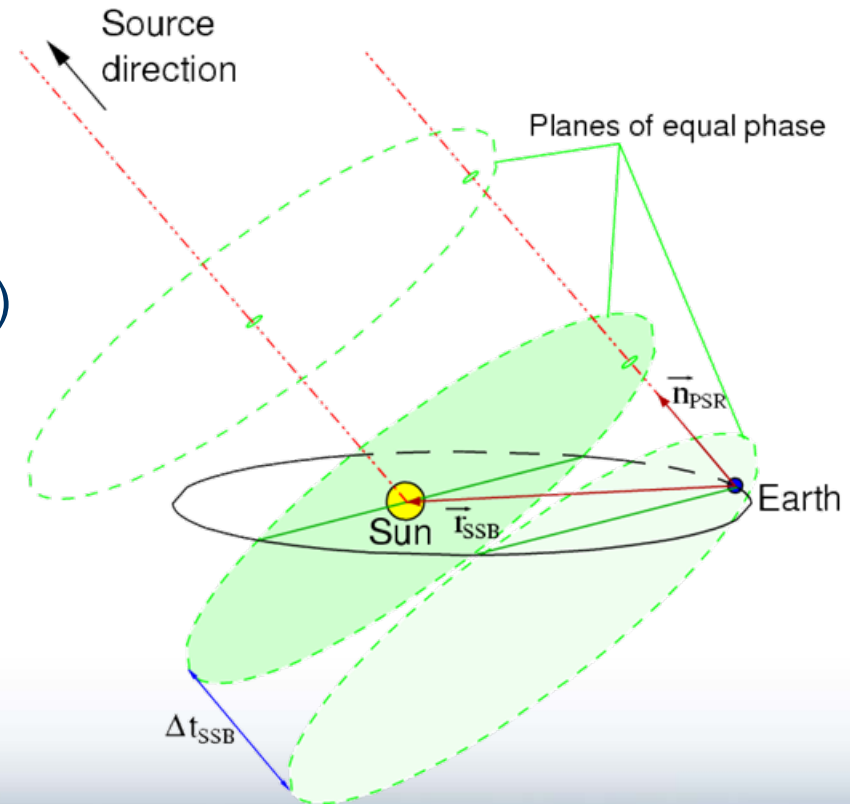
zeitauflösendes System notwendig:

- ⇒ jedes Event mit einem GPS-Zeitstempel versehen
- ⇒ Transformation ins Schwerpunktsystem der Sonne (SSB)
- ⇒ Korrektur der Erdbewegung
- ⇒ Phasenberechnung:

$$\varphi = f \Delta t + \frac{1}{2} df/dt \Delta t^2$$

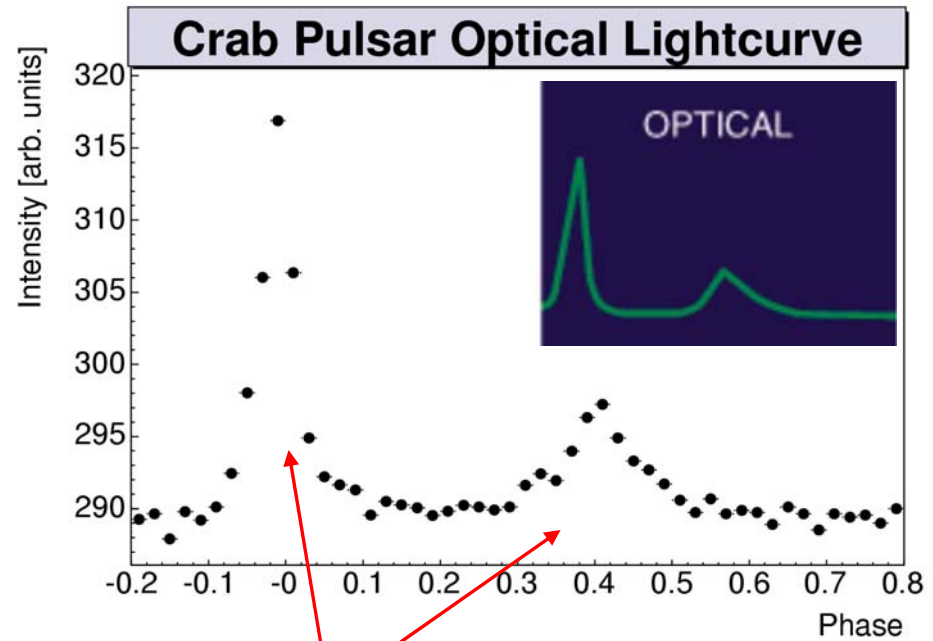
$$\varphi(T_0) = 0, \Delta t = T_{SSB} - T_0$$

(f und df/dt aus Radiobeobachtungen)



Test der Ankunftszeitkorrektur

Ankunftszeitkorrektur getestet
mittels optischer Beobachtungen
des **Crab Pulsars** mit einem
H.E.S.S. Teleskop



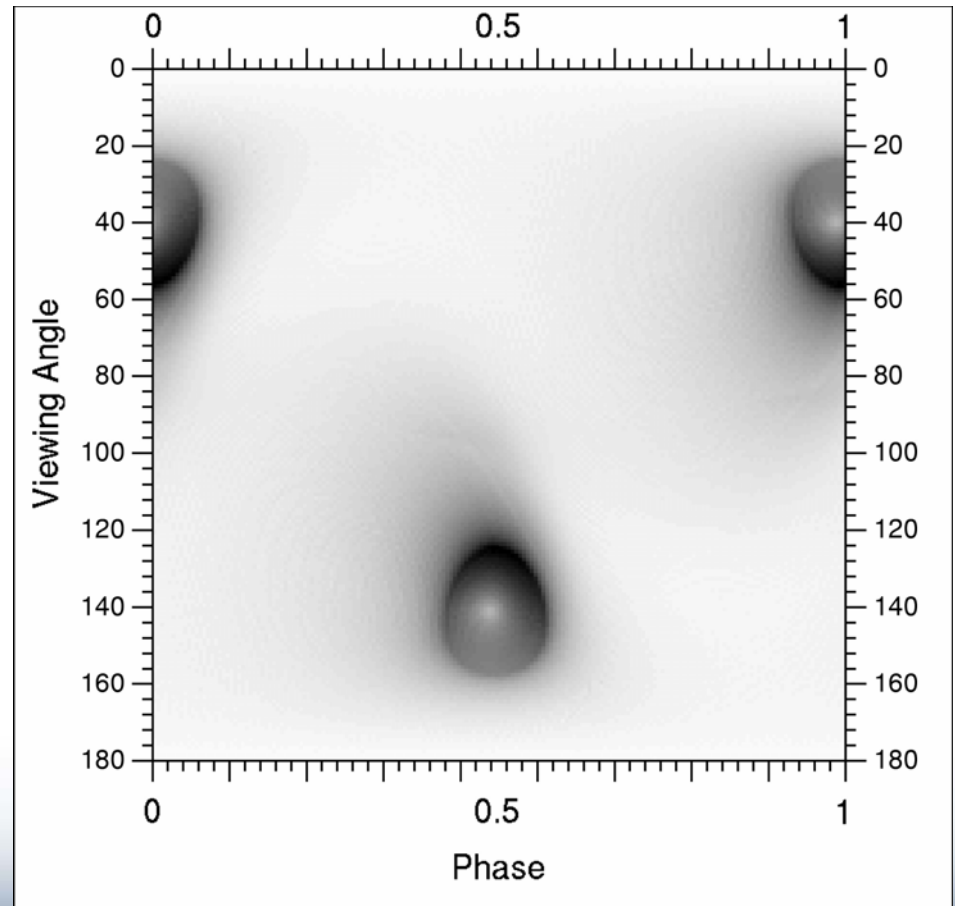
Zwei Peaks im Phasogramm an der
richtigen Stelle



Simulation: gepulste Form

Pulsform als Schnitt
für einen bestimmten
Sichtwinkel

Keine Pulse sichtbar
für 0° und 180°
Sichtwinkel



Ungepulste TeV Emission vom Krebsnebel

Standardkerze in der TeV Gammaastronomie

→ Crosscheck der Analyse

