

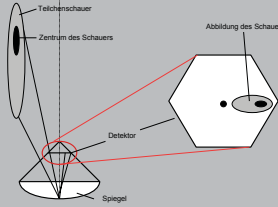
# Auswertung von Daten des MAGIC Teleskops

Marco Lafrentz, Philipp Leser

## Was ist MAGIC?

MAGIC ist das weltgrößte Luft-Cherenkov-Teleskop und dient der Messung kosmischer Gammastrahlung im Energiebereich von 30 GeV bis 30 TeV. Da hochenergetische Gammateilchen aufgrund von Wechselwirkungen in der Atmosphäre den Erdboden nicht erreichen können, erfolgt die Messung indirekt über das in den Teilchenschauern entstehende Cherenkovlicht, das am Boden mit empfindlichen Photomultipliern gemessen werden kann.

Ein solcher Schauer findet in der oberen Atmosphäre statt, in der die Teilchen der kosmischen Strahlung vielfache und zum Teil komplizierte Wechselwirkungen mit den Luftteilchen erfahren. Die Form eines derartigen Schauers im Raum ist grob elliptisch. Der Spiegel des Teleskops übernimmt hier die Aufgabe einer Kameraoptik und bildet den Schauer auf die Kamera-



ebene ab, wobei der Schauer dort die Form einer Ellipse behält (s. Abbildung). Insbesondere wichtig ist die Tatsache, dass kollinear in den Detektor einfallende Strahlung so abgebildet wird, dass eine Achse zur Kameramitte in den Daten erkennbar ist.

Photonen durchqueren den Raum geodätisch, da sie nicht durch magnetische Wechselwirkungen abgelenkt werden. Richtet man das Teleskop auf eine zu beobachtende Quelle, so kann man davon ausgehen, dass Photonen aus dieser Quelle auf einer Linie auf das Teleskop fallen und daher in den Daten als zur Kameramitte hinziehende Ereignisse sichtbar sind.

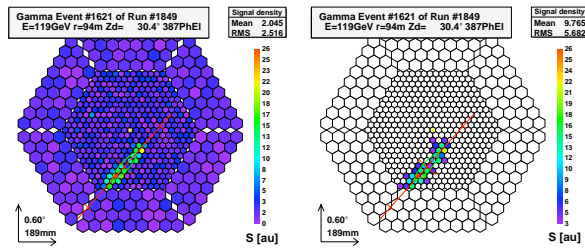
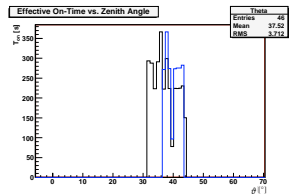
## Zielsetzung

Im durchgeführten Versuch sollten Daten des Krebsnebels, einer wohlbekannten Strahlungsquelle, ausgewertet werden. Dabei kann schließlich ein Strahlungsspektrum errechnet werden. Zur Auswertung wurde das Programm MARS benutzt, dessen Schritte hier genauer erläutert werden sollen.

## 1. Datencleaning

Die Rohdaten der Kamera werden im ersten Schritt vom CALLISTO-Programm bearbeitet. Die Hauptaufgabe des Programms ist es, das sogenannte Pedestal von den Daten zu subtrahieren. Unter dem Pedestal versteht man das Hintergrundsignal der Elektronik sowie das Hintergrundlicht der Umgebung.

Um die nötigen Kalibrationsdaten zu erhalten, wird die Kamera vorher mit genau definiertem Laserlicht bestrahlt.



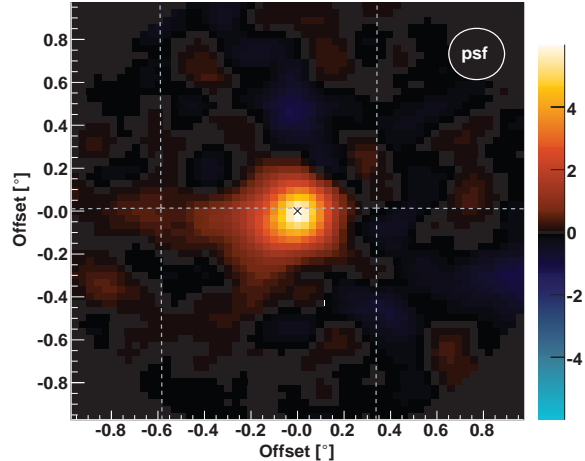
## 2. Charakterisierung

Im zweiten Schritt werden die bereits bereinigten Daten von STAR nach zuvor festgesetzten Schwellenwerten und Hillas-Parametern (Maße der Schauerellipse; „size“ beschreibt beispielsweise die Anzahl der gemessenen Photoelektronen) klassifiziert, so dass irrelevante Bilder direkt entfernt werden können. Mit statistischen Methoden wird ebenfalls eine Bereinigung um das Rauschen durchgeführt. Die oben aufgeführten Bilder zeigen den Unterschied zwischen einem unbereinigten und einem bereinigten Signalbild.

## 4. Spektrum

Im letzten Schritt berechnet SPONDE die Energien der Ereignisse eigentl. durch Vergleiche mit Monte Carlo Simulationen. Für diesen Versuch wurde jedoch eine Funktion der Form  $E = a \cdot (\text{size})^b$  benutzt. Für den Parameter  $b$  wurde hier als Erfahrungswert 0.81 angesetzt. Aus diesen Informationen wird dann ein Energiespektrum der beobachteten Quelle erstellt.

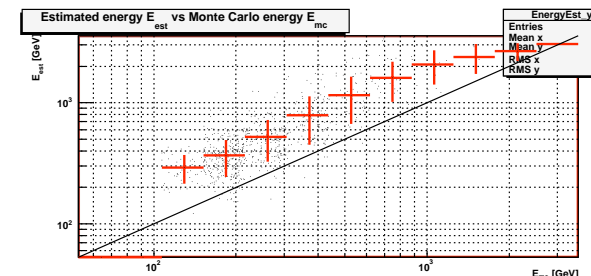
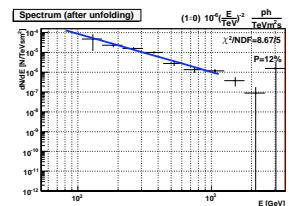
Der Exponent im Spektrum wurde hier als -2 bestimmt, was nur grob mit dem akzeptierten Literaturwert von -2.59 (aus [3]) übereinstimmt. Der schlechte Wert kann vor allem mit unpassenden Monte Carlo Simulationen erklärt werden, die für die Auswertung benutzt wurden. Die benutzten Monte Carlo Daten deckten nicht den gesamten beobachteten Winkelbereich ab und können daher nur grob für die Abschätzung benutzt werden (Abbildung oben; die blaue Kurve zeigt die vorhandenen Monte Carlo Daten, die schwarze die Messdaten). Das zuvor erwähnte vereinfachte Modell für den Energiezusammenhang ist eine weitere Fehlerquelle.



## 5. Energieabschätzung durch SPONDE

Die Zuordnung zwischen den Bildern und einer geschätzten Energie kann durch Vergleich mit vorher bekannten Monte Carlo Bildern (bei definierter Energie) qualitativ beurteilt werden. Der unten stehende Plot zeigt dieses Verhältnis zwischen der geschätzten und der tatsächlichen Monte Carlo Energie für einen großen Datensatz. Man erkennt, dass die Energien systematisch zu hoch geschätzt werden und dass die Streuung trotz der Größe des Datensatzes immer noch sehr groß ist.

Diese systematische Abweichung ist im benutzten Modell begründet, das nur einen einfachen Zusammenhang zwischen den Größen ansetzt. Durch eine Optimierung dieses Modells wäre auch das recht schlecht ermittelte Spektrum besser zu errechnen.



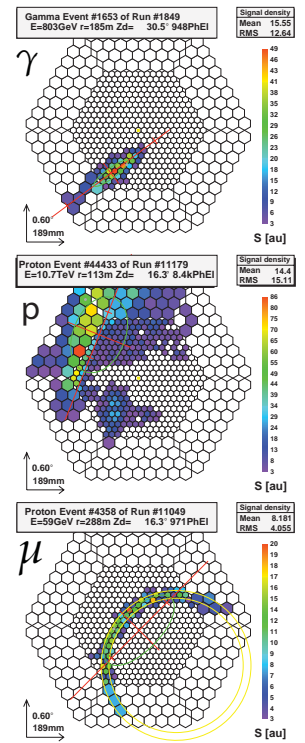
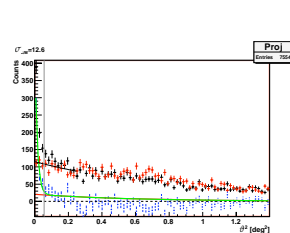
Die hohe Streuung der geschätzten Energien im Vergleich zu den Monte Carlo Energien ist statistisch begründet, d.h. man benötigt sehr viele Daten, um eine Aussage machen zu können.

## 3. Eventtypen

Photonenevents zeigen typischerweise zum Zentrum der Kamera bzw. im Wobblemodus knapp daneben. Hadronische Events sind oft deutlich breiter, nicht parallel zur Teleskopachse und haben eine deutliche Zeitverteilung. Myonen sind relativ leicht daran zu erkennen, dass sie den Detektor durchqueren und einen Cherenkovkegel hinter sich herziehen. Dieser Kegel wird durch die Kameralebene geschnitten und zeigt sich so in der Abbildung als Kreisring.

Die Unterscheidung und Klassifizierung der Events wird im Rahmen der Analyse durch GANYMED automatisch durchgeführt, wobei dort Daten aus Monte Carlo-Simulationen zum Vergleich benutzt werden, da eine Zuordnung nur über die Ereignisgeometrie nicht zuverlässig ist. Die nachstehenden Abbildungen zeigen typische, leicht erkennbare, Vertreter der drei Ereigniskategorien.

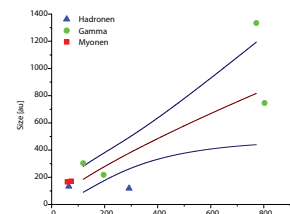
GANYMED berechnet ebenfalls die Signifikanz des beobachteten Objekts, die hier nach einer Optimierung der Parameterschnitte 12.6 Sigma umgebungen beträgt, wie man im untenstehenden Plot erkennt. Der nebenstehende Plot zeigt eine Himmelskarte, auf der man die Anzahl der Events erkennen kann.



## 6. Energieabschätzung von Hand

SPONDE benutzt für die Ermittlung der Energien sehr große Datensätze. Eine interessante Frage ist es, ob man auch durch bloßes Abzählen der Zelleninhalte in einigen Bildern bereits einen Zusammenhang zwischen den Events und der Energie erkennen kann. Hierfür wurden Monte Carlo Daten mit bekannten Energien als Vergleichsmöglichkeit benutzt.

Der nebenstehende Plot, in dem die abgezählten Zelleninhalte mit den Monte Carlo Energien verglichen werden, zeigt, dass es keinen einfachen Zusammenhang zu geben scheint. Wir haben an dieser Stelle den im Abschnitt 4 erwähnten Power-Law-Zusammenhang benutzt, um einen Fit der Gamma-Daten (grün) zu erstellen. Hierbei ergibt sich ein Exponent von 0.79, was vor allem in Anbetracht der kleinen Datenmenge für den Fit gut mit dem angesetzten Erfahrungswert von 0.81 übereinstimmt. Die Kurven über und unter dem Fit geben die Umgebung einer Standardabweichung um den gefitteten Wert an.



Man erwartet hier eigentlich einen in erster Ordnung linearen Zusammenhang. Es spielen jedoch noch viele andere Größen, wie z.B. der Zenitwinkel, eine relativ wichtige Rolle, so dass der Zusammenhang bei tatsächlichen Messungen komplizierter wird. In der Realität ist der so kompliziertere Zusammenhang zwischen diesen Größen der Grund, warum man zuerst versucht, mit Monte Carlo die Ergebnisse für bestimmte Energien zu simulieren, um dann die Bilder automatisiert vergleichen zu können. Auf diese Weise kann man die vielfältigen Reaktionen in der Atmosphäre statistisch berücksichtigen.

### Literatur

- [1] MAGIC-Datenauswertung – Anleitung zur Versuchsdurchführung, 25.06.2007
- [2] Atmosphere is Magic, Diplomarbeit von Marijke Haffke
- [3] The Energy Spectrum of TeV Gamma Rays from the Crab Nebula as measured by the HEGRA system of imaging air Cherenkov telescopes, F.A. Aharonian et al., arXiv:astro-ph/0003182v1