



Untersuchung der optischen Eigenschaften der Fluoreszenzteleskope des Pierre Auger Observatoriums

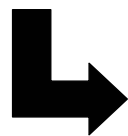
- Jan Becker
- Johannes Blümer
- Hans Klages
- Bianca Keilhauer
- Tilo Waldenmaier



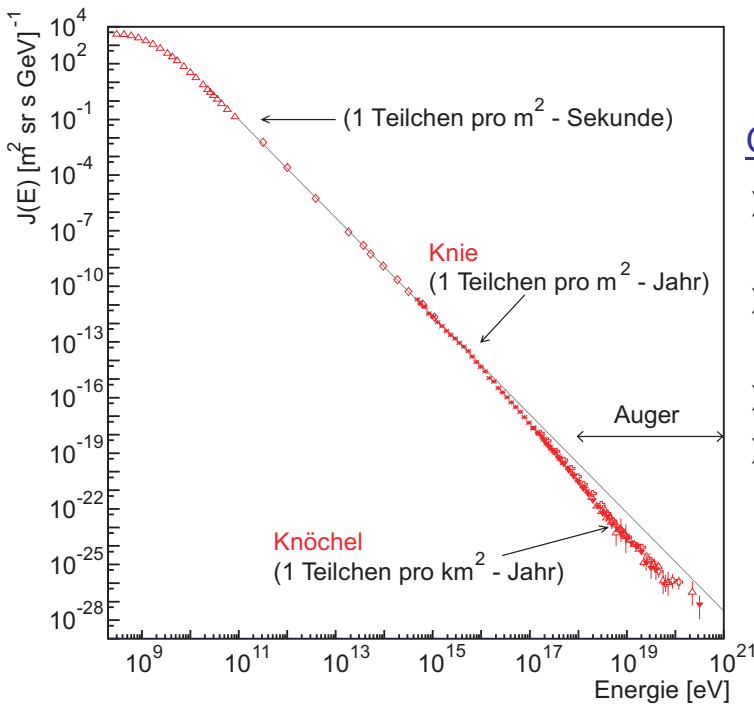
Die Kosmische Strahlung



- Geladene Teilchen, die sich durchs Weltall bewegen
- 1912 von Victor Hess entdeckt
- Besteht aus 98% Atomkernen, 2% e^\pm



- 87% Protonen
- 12 % α -Teilchen
- ~ 1% schwerere Elemente
- Neutrinos und Photonen zählen nicht zum klassischen Begriff der Kosmischen Strahlung
- Gesamte Fluss liegt bei ~ 1000 Teilchen / Sekunde und cm^2



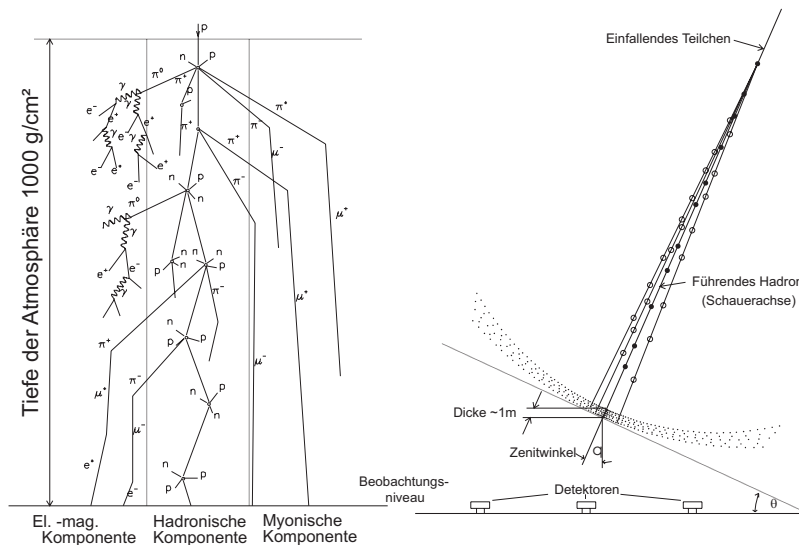
Energien bis zu 10^{20} eV
 $\cong 10^8$ -fache von LHC (CERN)

Offene Fragen:

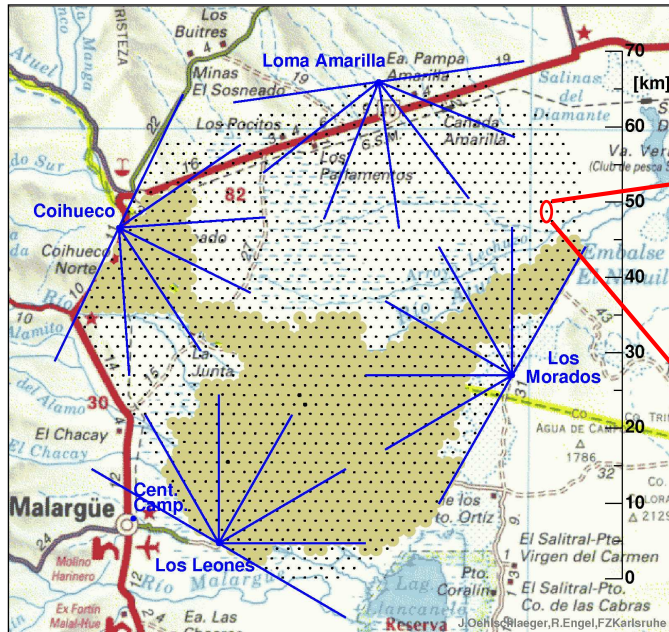
- Quellen und Beschleunigungsmechanismus der Teilchen
- Ursprünge der Knicke im Spektrum (Knie und Knöchel)
- Fluss bei höchsten Energien
- Ankunftsrichtung: einzelne Punktquellen oder isotrope Verteilung

➔ **Pierre Auger Observatorium**

... werden durch die Kosmische Strahlung in der Erdatmosphäre erzeugt

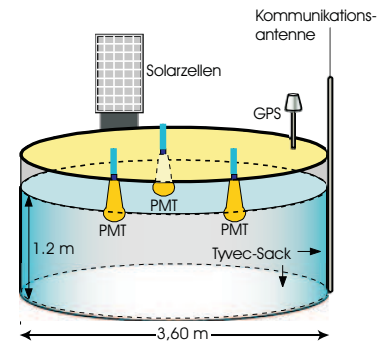


- aus stichprobenartiger Messung der (e^\pm, μ^\pm) -Anzahl lässt sich auf Art und Energie des Primärteilchens schließen
- e^\pm regen in Atmosphäre N_2 -Moleküle an ➔ Emission von Fluoreszenzlicht



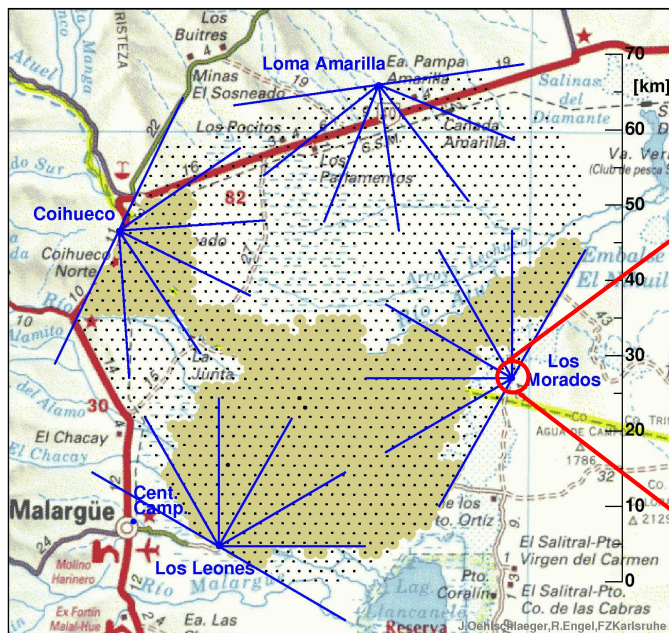
2 Detektorsysteme

1. Oberflächendetektoren



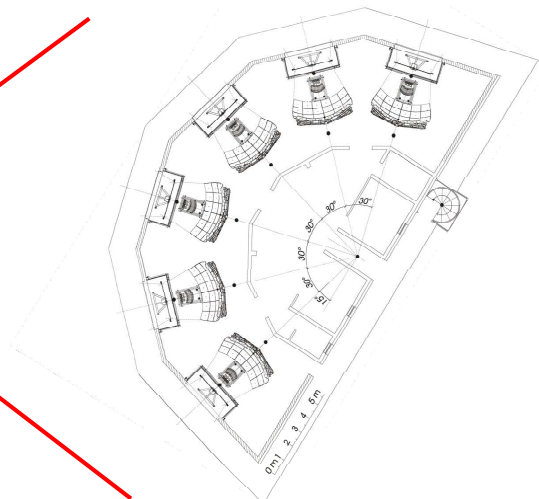
- 1600 Wasser-Cherenkov-Detektoren
- 1.5 km Abstand untereinander
- messen die Sekundärteilchen

in Argentinien am Fuße der Anden
Fläche von 3000 km² $\hat{=}$ Größe des Saarlandes



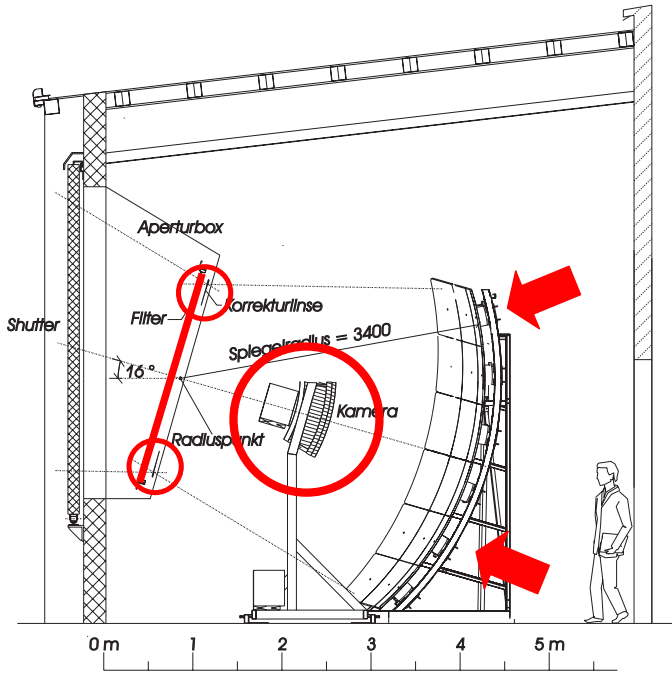
2 Detektorsysteme

2. Teleskopstationen



- 4 Teleskopstationen
- 6 Teleskope pro Station

in Argentinien am Fuße der Anden
Fläche von 3000 km² $\hat{=}$ Größe des Saarlandes

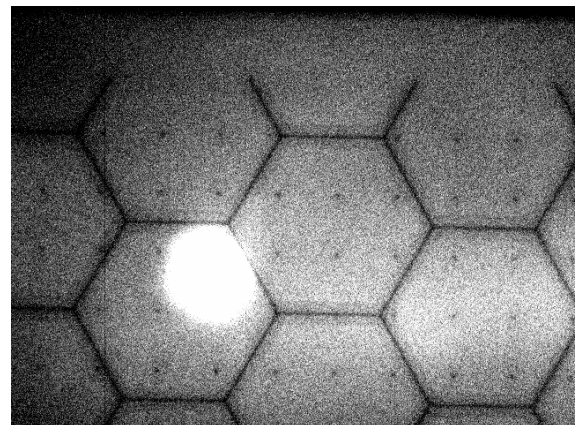
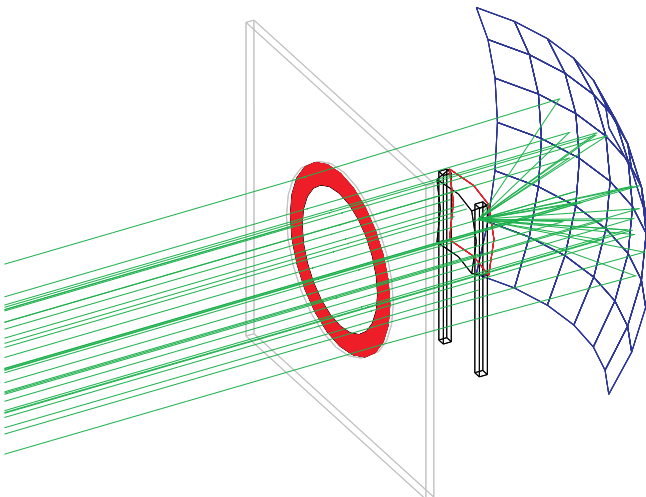


Aufbau des Teleskops:

- ➔ segmentierter sphärischer Spiegel
- ➔ Photomultiplier-Kamera
- ➔ Korrekturlinse
- ➔ UV-Filter mit Durchlassbereich 300-400nm

Eigenschaften des Teleskops:

- Gesichtsfeld von $30^\circ \times 30^\circ$
- Aufgrund der geringen Fluoreszenzrate nur Messungen in klaren mondlosen Nächten möglich
- ➔ Duty-Cycle von 10-15%



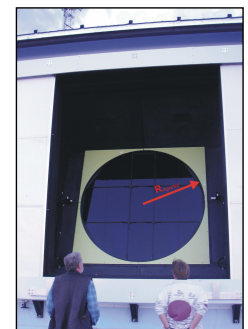
Maximal erlaubte Spotgröße:

$0.5^\circ \cong 7.42\text{mm}$ Spotradius

➔ Aperturradius maximal 850mm

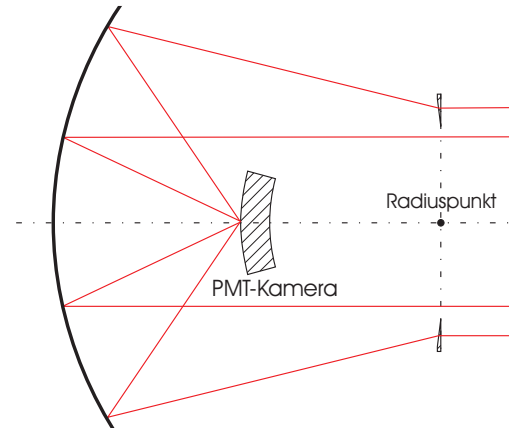
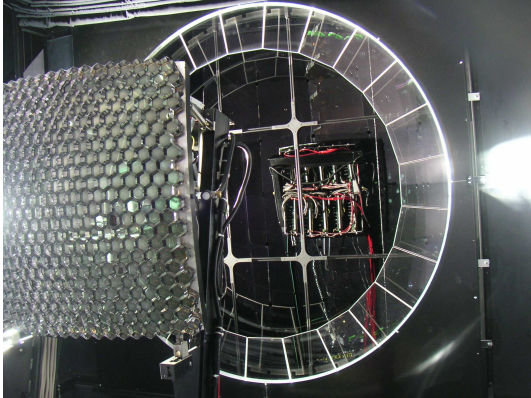
Information über optische Eigenschaften:

➔ **Untersuchung der Spotstruktur**

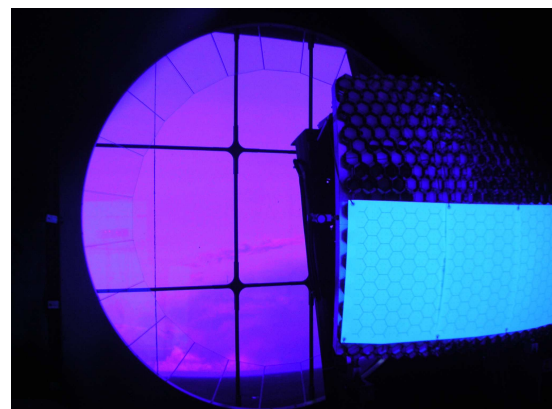
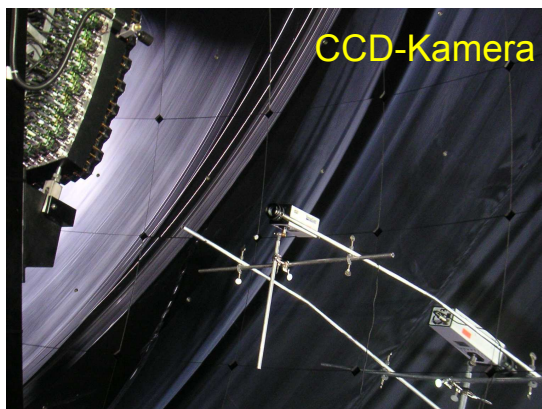
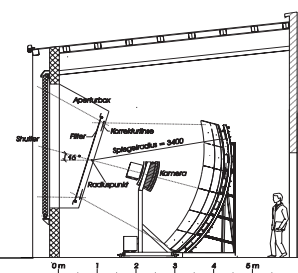
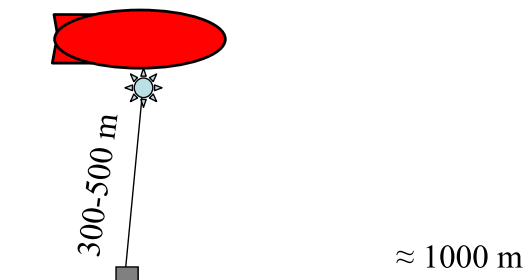


Erhöhung der Empfindlichkeit des Teleskops gewünscht:

- ➔ Vergrößerung des Aperturradiuses auf 1100mm notwendig
- ➔ Spotgröße würde sich allerdings auf 1.5° vergrößern
- ➔ Installation eines Korrekturrings



- ➔ Strahlen durch den Ring werden nach außen gebrochen
- ➔ Treffen den Spiegel weiter außen ➔ Stärkere sphärische Abberation
- ➔ **Spotgröße bleibt bei 0.5°**





Testaufnahme mit Wega

- ➔ 10sec Belichtungszeit notwendig
- ➔ Benötigte Photonenzahl ausgerechnet

Anforderungen:

- kurze Pulsdauer wg. Ballonbewegungen
- geringes Gewicht um Nutzlast zu minimieren

Eigenschaften der Lichtquelle:

- 6 High-Power-LED-Arrays mit Maximum bei 395nm
- Niedriges Gewicht (80 Gramm)
- 250mW ausgestrahlte Leistung
- Gepulster Modus mit Pulslängen 1/10 sec - mehrere Sekunden
 - ➔ Energiesparend
 - ➔ kein Kühlsystem erforderlich



Eigenschaften:

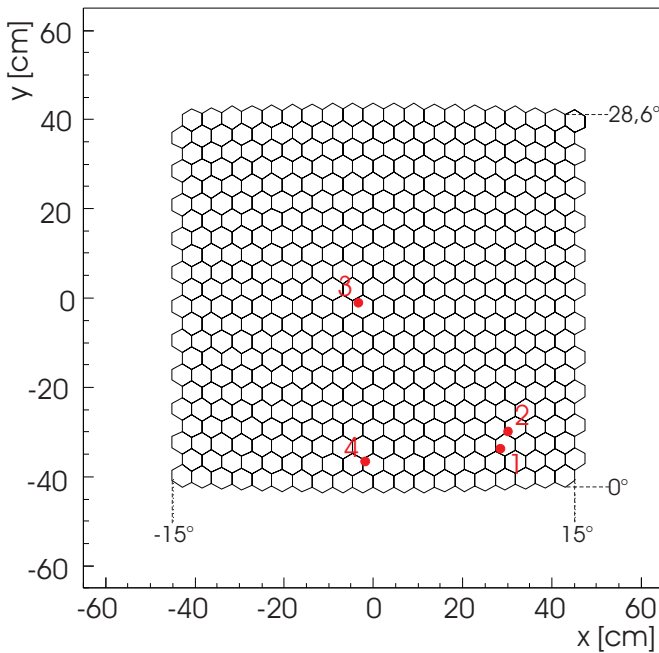
- Nutzlast: 3 – 4 kg
- Größe: 7.5m³
 - Länge: 4.5m
 - Höhe: 2.2m
- Maximale Höhe: 1500m
- Position über GPS bekannt (für Auswertung notwendig)

Wenn Lichtquelle nah am Teleskop:

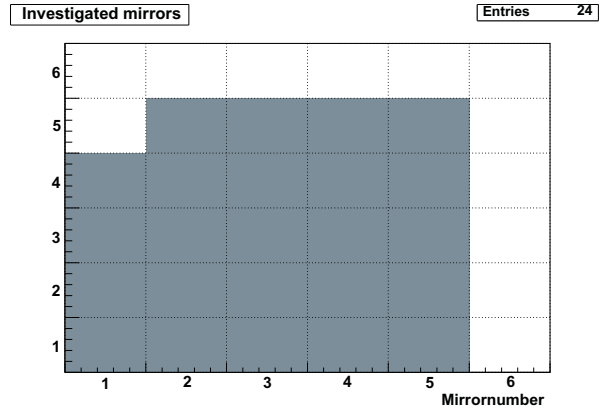
- Lichtstrahlen weniger parallel
 - ➔ Spot vergrößert sich
- Ballonbewegungen im Wind haben größere Auswirkungen
 - ➔ Spot hat größere Verschmierung

➔ **Mindestabstand zum Teleskop: ~1000m**

4 verschiedene Ballonpositionen

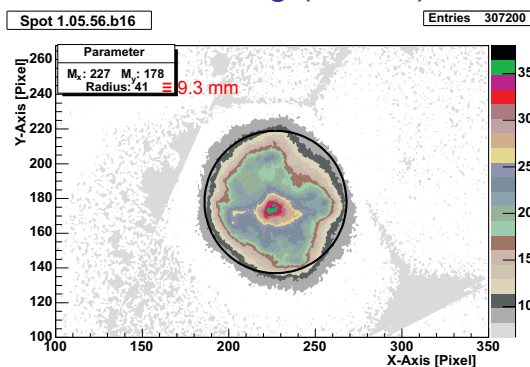


Je nach Ballonposition werden unterschiedliche Spiegel beleuchtet
 → 24 von 36 Spiegeln untersucht

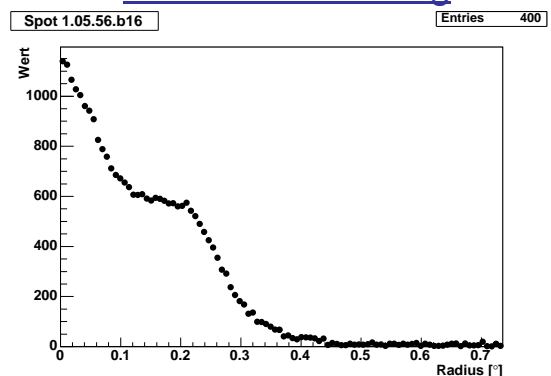


Untersuchung der Spotgröße

Messung (Pos. 3)



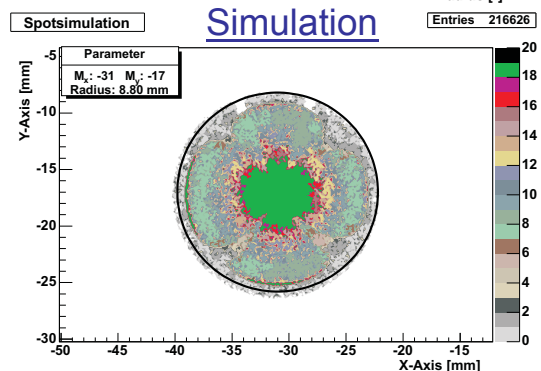
Intensitätsverteilung



- Bedingung: 95% der Photonen im Kreis
 - ➔ Bestimmung der Intensitätsverteilung
 - ➔ Spotradius $R_R = 9.3\text{mm}$
- mit zugehörigen GPS-Koordinaten simulation eines idealen Spots möglich
 - ➔ Spotradius $R_S = 8.8\text{mm}$

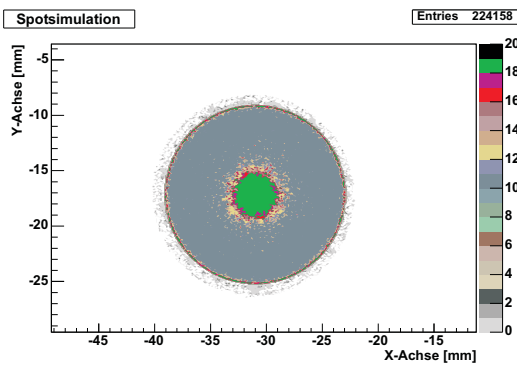
- ➔ R_R nur $0.5\text{mm} \cong 5.3\%$ größer als R_S
- ➔ Hohe Qualität des Teleskopaufbaus

Simulation

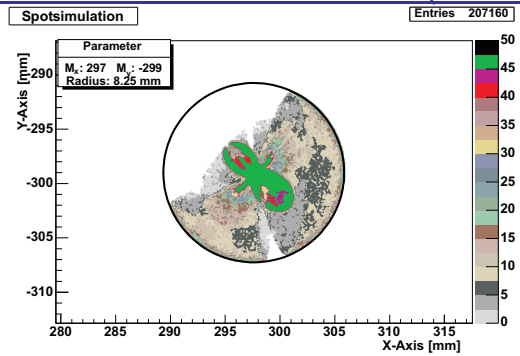




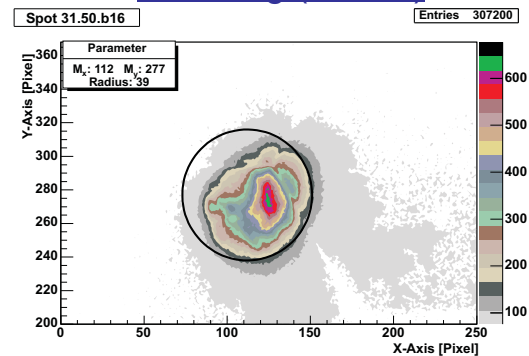
Simulation ohne PMT-Kamera



Simulation mit PMT-Kamera (Pos. 2)



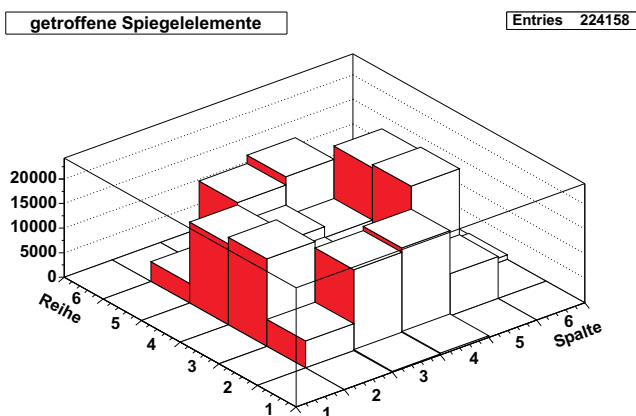
Messung (Pos. 2)



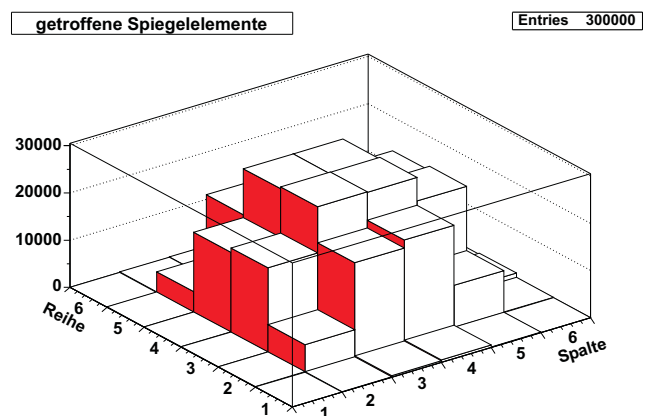
- Ohne PMT-Kameraschatten hat Spot eine Kreisform
 - Abhängig von Einfallswinkel der Lichtes entstehen Abweichungen zur Kreisform
 - Untersuchung der Aufnahmen nach Abweichungen von der Kreisform
- ➔ Abweichungen deutlich zu erkennen



Getroffene Spiegel (Pos. 3)



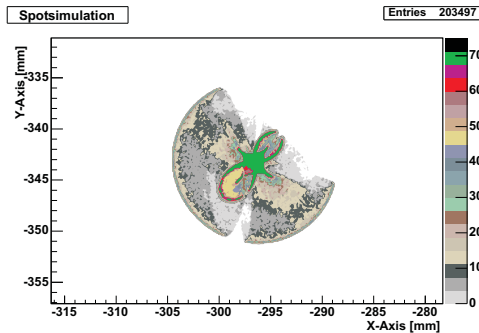
Simulation (Pos. 3) ohne PMT-Kamera



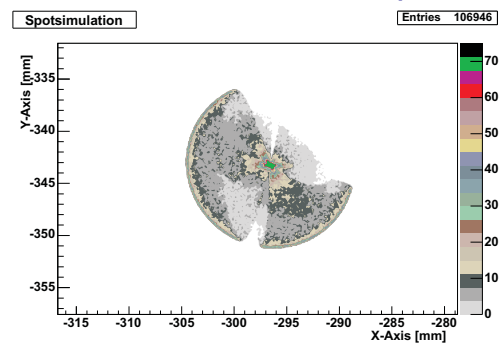
- mittlere Spiegel werden aufgrund der Photomultiplier-Kamera weniger getroffen
- ➔ Simulation ergibt, dass 25 – 30% des einfallenden Lichtes durch die Photomultiplier-Kamera absorbiert wird, abhängig vom Einfallswinkel

Simulation

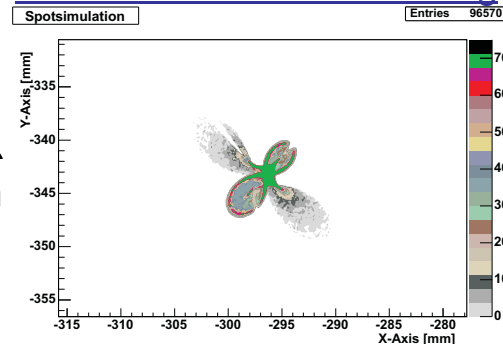
Azimutwinkel = 10° , Erhebungswinkel = 10°



Photonen durch innere Apertur



Photonen durch Korrekturring



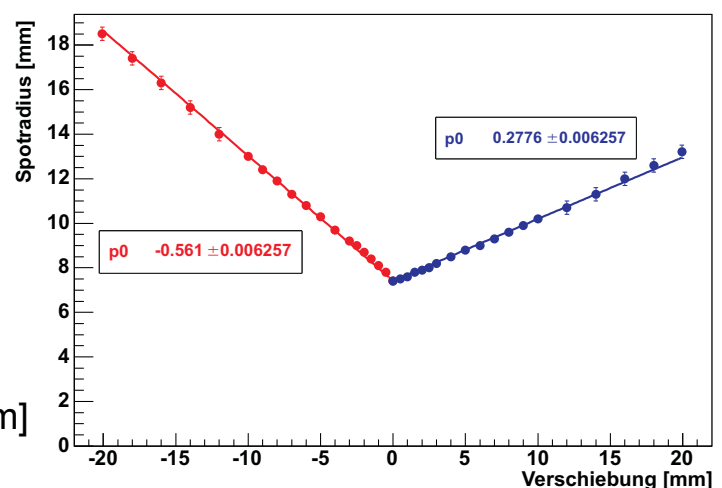
- Photonen durch den Korrekturring erzeugen komplizierte Formen
- Formen sind abhängig vom Einfallswinkel (wegen Koma-Aberration in Linse)

- In Simulationssoftware lässt sich die Position der PMT-Kamera verschieben
- Im Idealfall beträgt der Spotradius = 7.42mm
- Verschiebung der PMT-Kamera aus idealer Position führt zur Vergrößerung des Radius um:

$$0.56 \cdot d \text{ bzw. } 0.28 \cdot d$$
 d: Abstand aus Idealposition / [mm]
- Realer Spotradius R_R ist 0.5mm größer als simulierter Spot R_S

➔ Platzierung der Photomultiplier-Kamera weicht maximal $\sim 2\text{mm}$ von der Idealposition ab

Verschiebung der PMT-Kamera



Apertur

Spiegel

Verschiebung Richtung

- Aufgrund des ungewöhnlich schlechten Wetters nur ein Teleskop untersucht
 - ➔ **Untersuchung weiterer Teleskope**
- Auflösung der Spotposition auf der PMT-Kamera
 - Position der Lichtquelle über GPS bekannt
 - ➔ **Überprüfung der Orientierung der Teleskope (sog. Pointing)**
- Mit Simulationssoftware ist Intensitätsverteilung im Spot für jeden Einfallswinkel ermittelbar
 - Einbinden in die Rekonstruktionssoftware
 - ➔ **Verbesserung der Luftschaererrekonstruktion**
- Isotropie der Lichtquelle (z.Z. bis ~12% Abweichung vom MW) auf < 1.5% verbessern
 - Stabilisierung der Leuchtleistung (sehr temperaturabhängig)
 - ➔ **Kalibration der Photomultiplier**

