



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY

Neuer Triggeralgorithmus der Auger-Fluoreszenzteleskope und Validierung ihrer Ein-Elektron-Auflösung

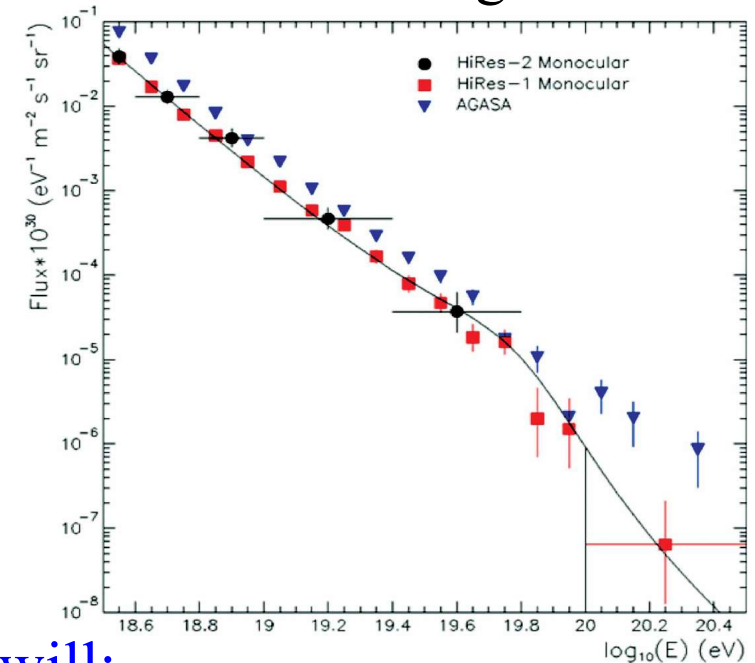
Thomas Asch
(IPE Forschungszentrum Karlsruhe)
Astroteilchenschule 2005

- Motivation für das Pierre Auger Observatorium
- Das Triggersystem der Fluoreszenzteleskope
- Die Ein-Elektron-Auflösung
- Ausblick

Ziel:

Bestimmung des **Energiespektrums**, der **Herkunft** und der chemischen **Zusammensetzung** der kosmischen Strahlung für Energien $E > 10^{19}$ eV.

Problem: sehr geringer Teilchenfluß
1 Ereignis pro km^2 und pro 100 Jahre
(@ $E > 5 \cdot 10^{19}$ eV)



Fragen, die das Auger Experiment beantworten will:

- Gibt es spezifische astronomischen Quellen?
- Wie werden Teilchen auf solch hohe Energie beschleunigt?
- Hinweise auf neue Physik?

Pierre Auger Süd Observatorium

nahe Malargüe, Prov. Mendoza, Argentinien



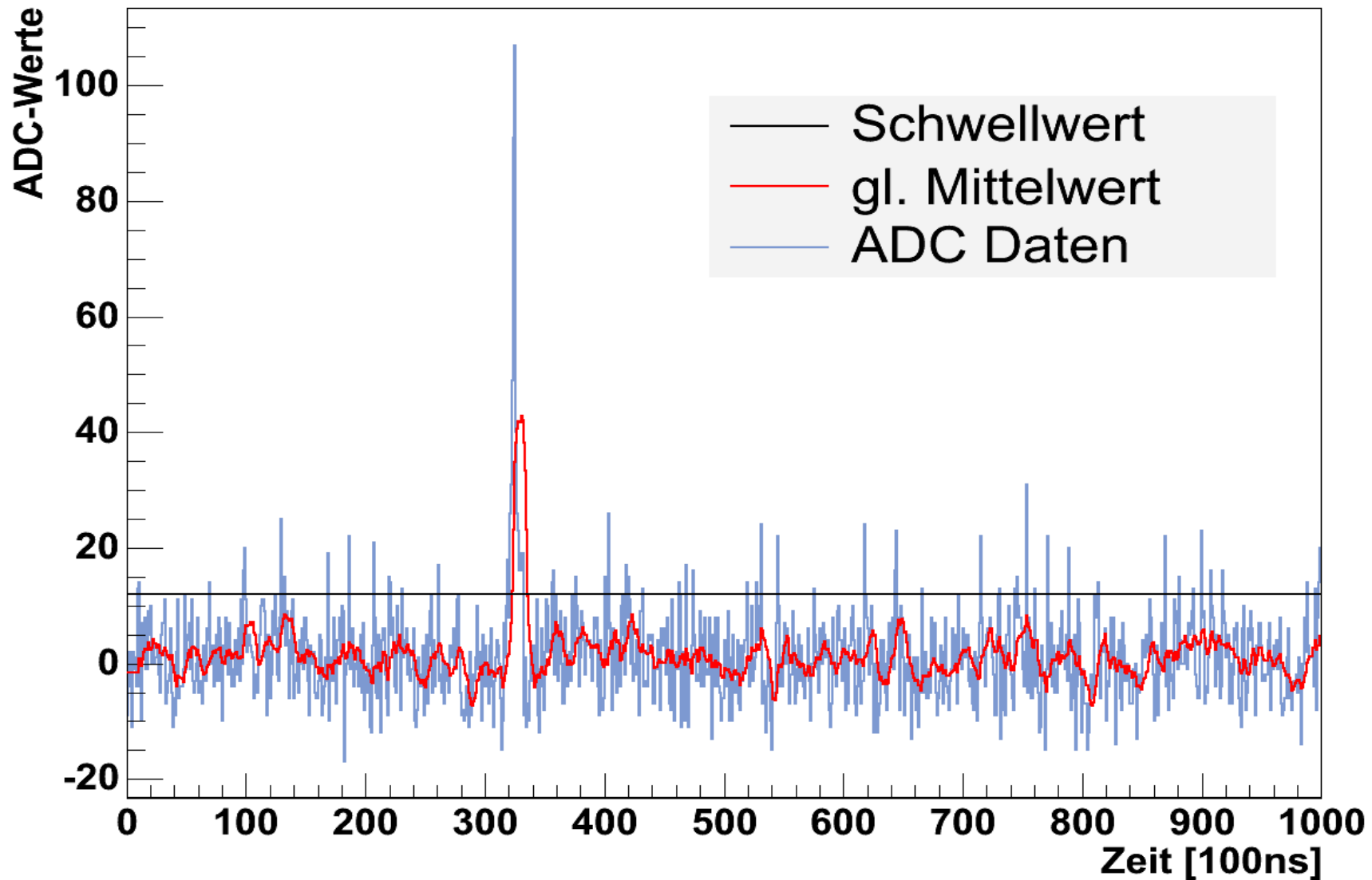
Hybrid Design:

- 1600 **Wassertanks** messen die **laterale Ausdehnung** der Sekundärteilchen am Erdboden.
- Beobachtungsgebiet: 3000 km²

- 24 **Fluoreszenzteleskope**, verteilt auf 4 Teleskopgebäude, beobachten die **longitudionale Entwicklung** des Schauers.
- Signale von 440 PMTs/Teleskop werden gefiltert, digitalisiert (10 MHz), gespeichert und online in **3 Trigger- Stufen** reduziert.

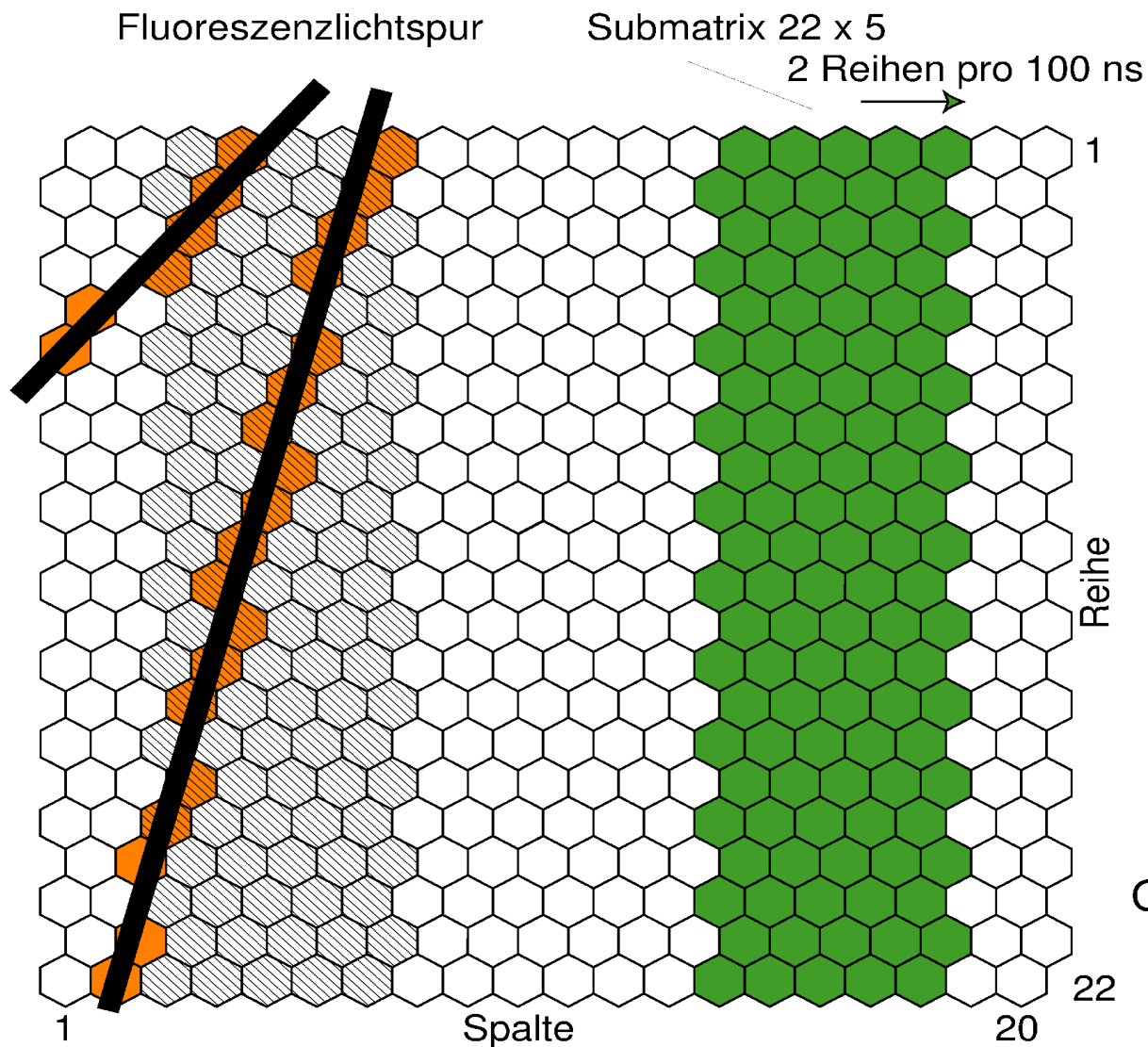


First Level Trigger - FLT

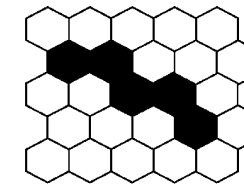
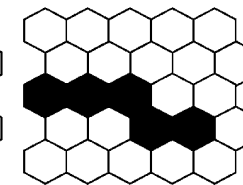
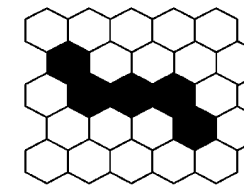
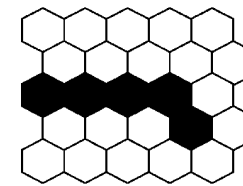
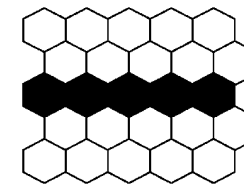


➤ Trigger auf Helligkeit einzelner Pixel

Second Level Trigger - SLT



Basismuster



Durch Drehung
und Spiegelung

39 Typen, 108

Typen mit Loch

Typ 2_2_1

Gesamtzahl an Kombinationen

2102 pro Reihe,

37163 pro Teleskop.

Third Level Trigger – TLT

- **Software- Trigger** pro Teleskop
- Trigger auf Basis der SLT und ADC Informationen
 - Konsistenzprüfung des zeitlichen Verlaufs
 - Vielfach Mustererkennung
- Erkennung von Myonen, Wetterleuchten, Rauschen etc

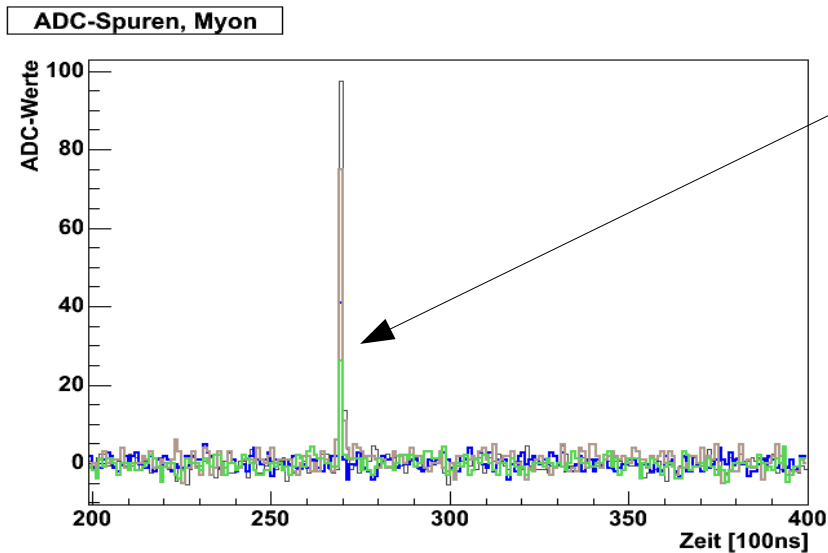
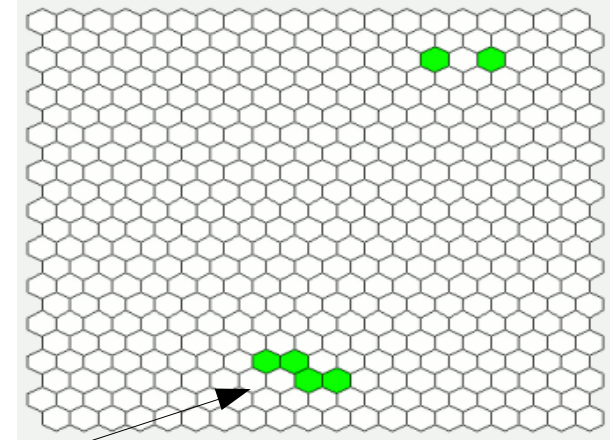
weitere DAQ Schritte folgen:

- Zusammenführen der Daten aller Teleskope eines Gebäudes (Eventbuilder)
- **Klassifizierung** der Ereignisse: z.B. Myon, Schauer
- T3- Triggeralgorithmus basierend auf ADC Daten berechnet **Richtung** und **Abstand** des Schauers
- Vergleich der Daten mit denen der Wassertanks → **Hybrid Ereignis**

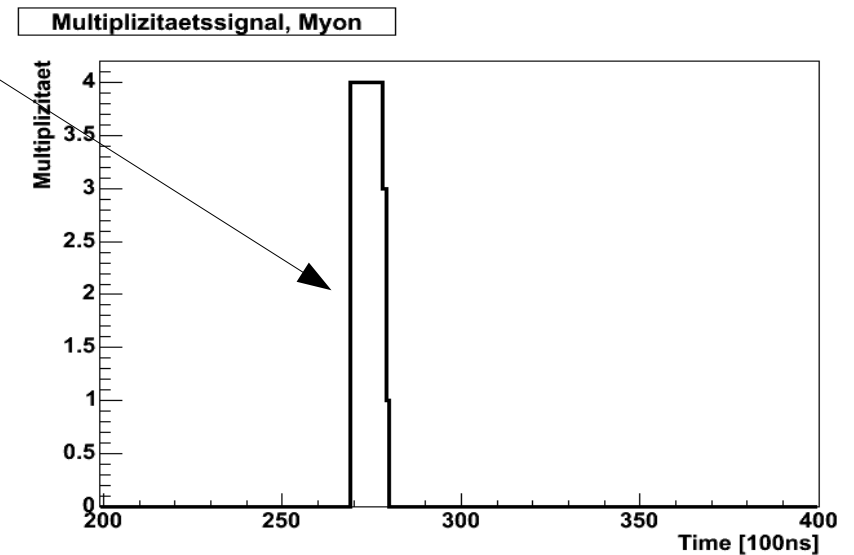
Multiplizitätssignal

Problem:

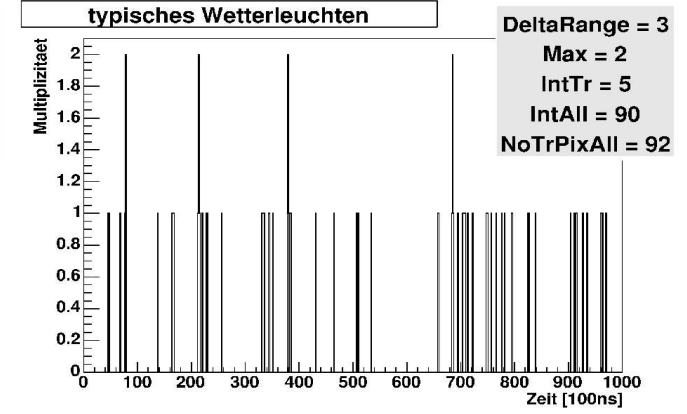
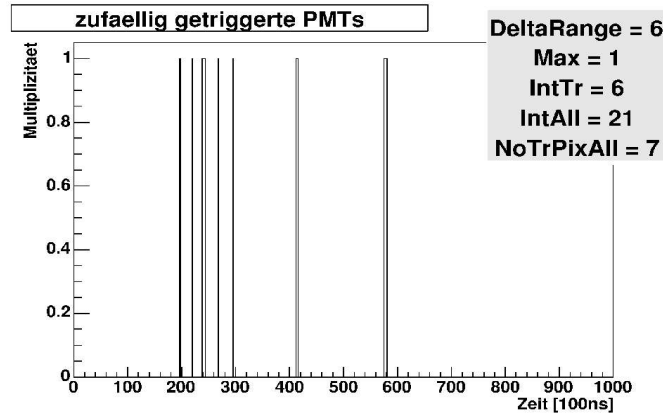
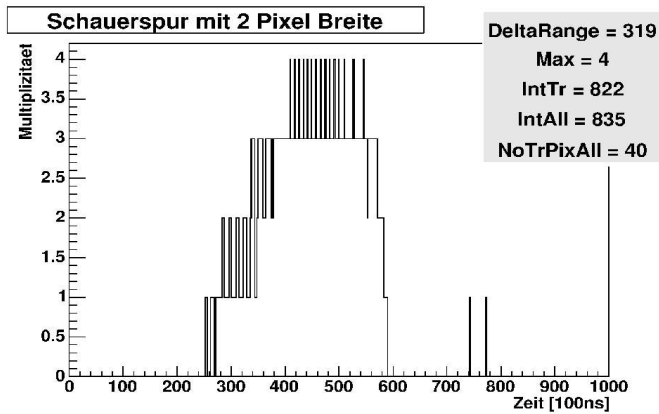
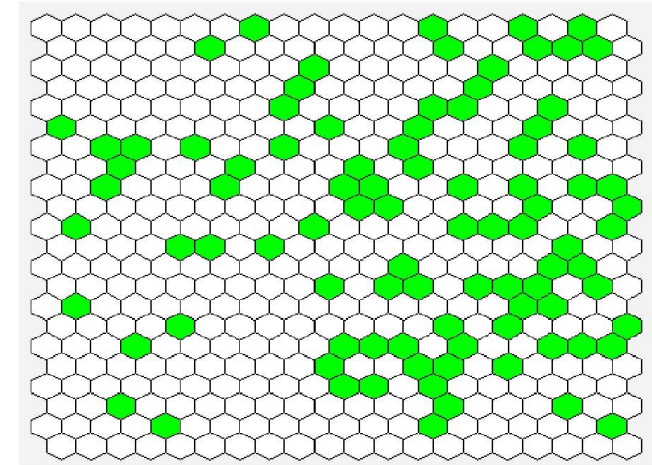
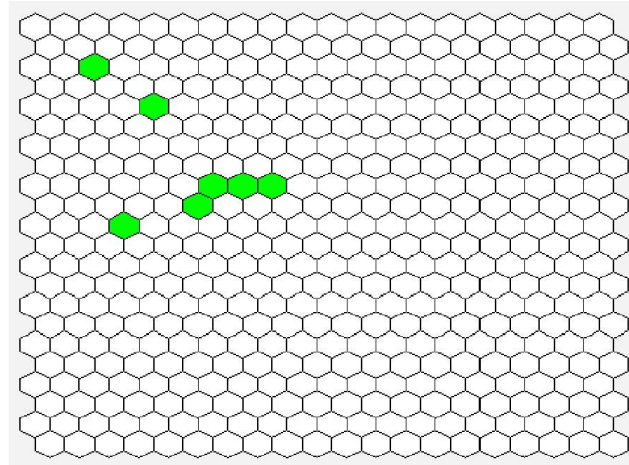
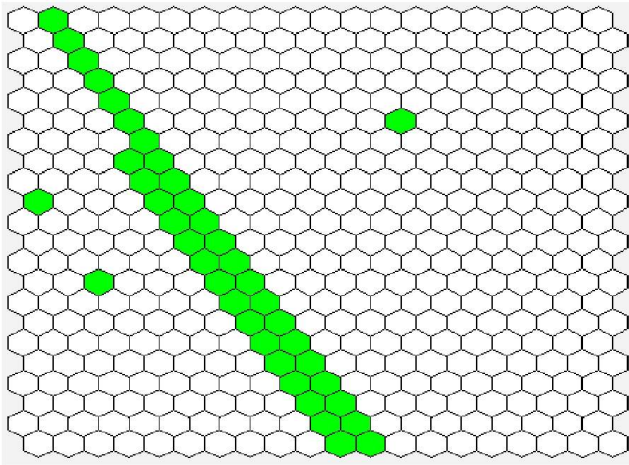
- SLT- Trigger- Daten → Zeitauflösung von $1 \mu\text{s}$
- ADC Daten → Zeitauflösung von 100 ns
- **schneller** und **effizienter** Trigger, sollte **keine ADC Daten** auslesen



Myon



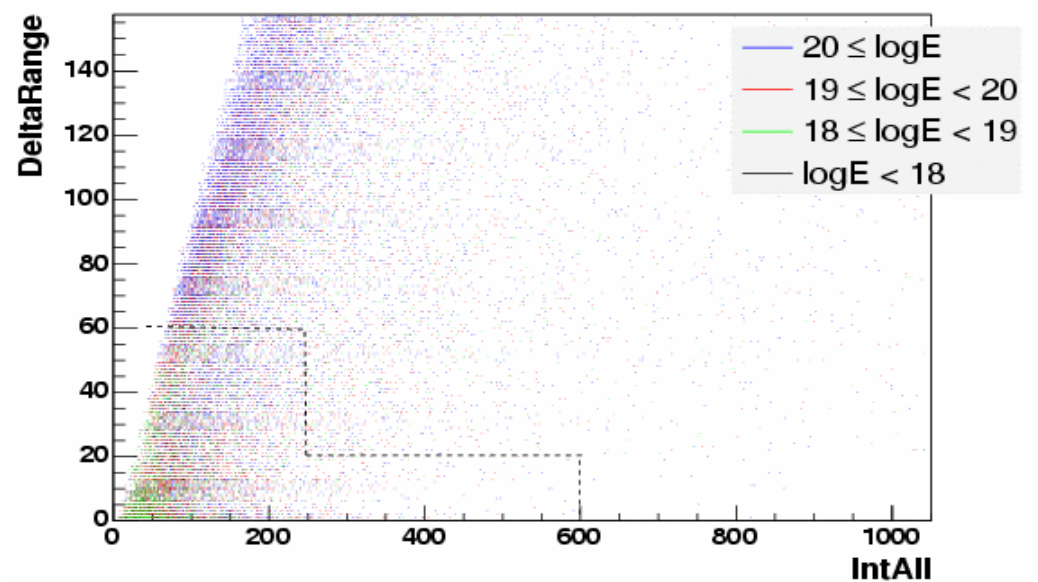
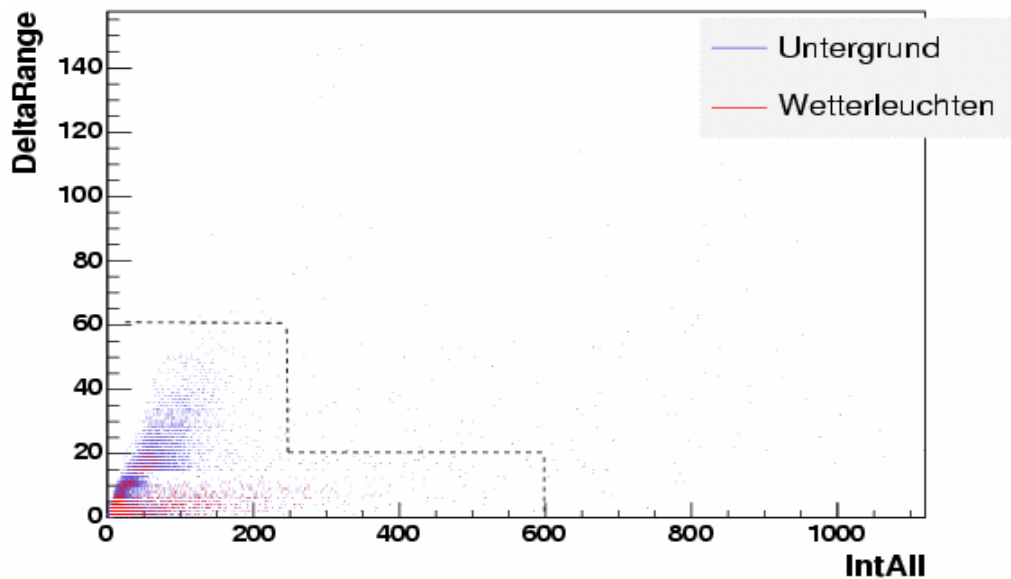
Charakterisierung des Multiplizitätssignales



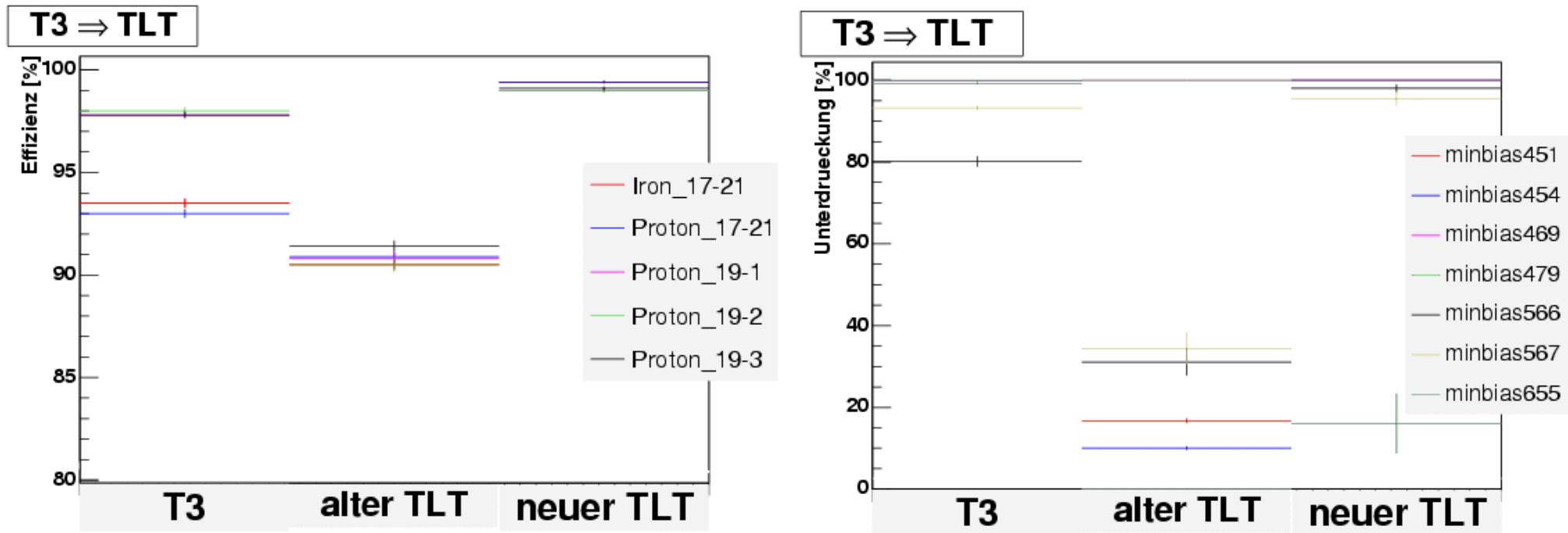
Parameter: **DeltaRange, Max, IntTr, IntAll, NoTrPixAll**

Der Parameterraum

- **Prinzip:**
lieber Untergrund akzeptieren als Schauer verwerfen
- fünf Schnitte teilen den Parameterraum auf



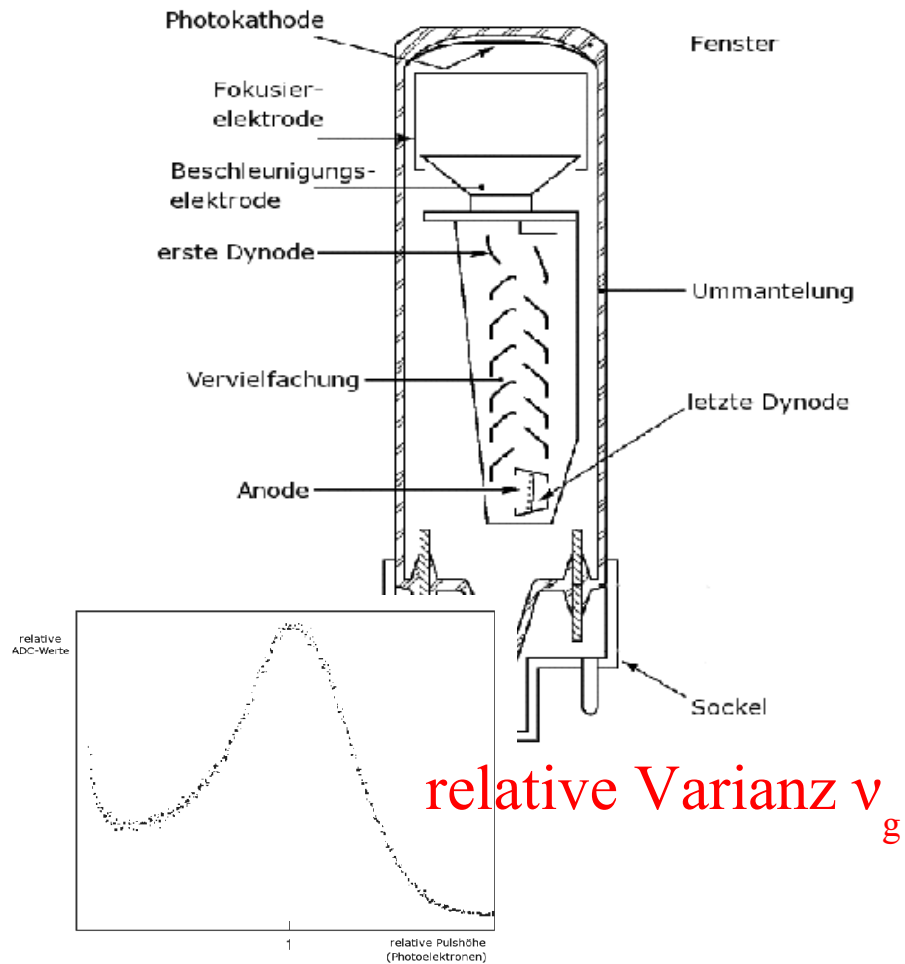
Ergebnisse



- Effizienz wurde von 91 % auf 99 % gesteigert.
- Unterdrückung des TLT konnte um einen **Faktor 10** bessert werden.
- Unterdrückung von Wetterleuchten um 50 bis 70 %

Ein-Elektron-Auflösung

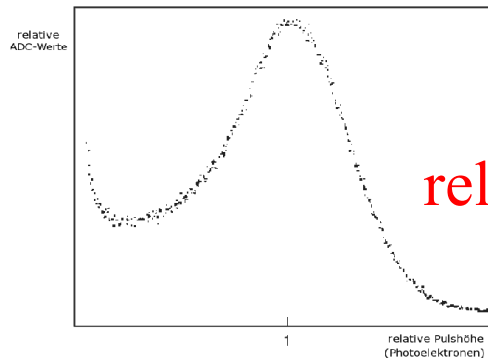
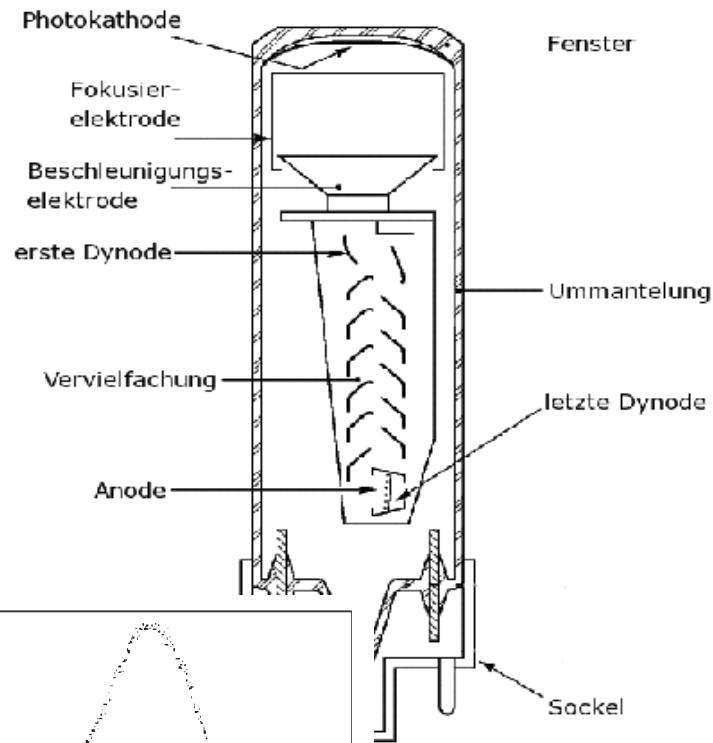
Photomultiplier (PMT)



Ein-Elektron-Auflösung

Photomultiplier (PMT)

Kalibrationsmethoden

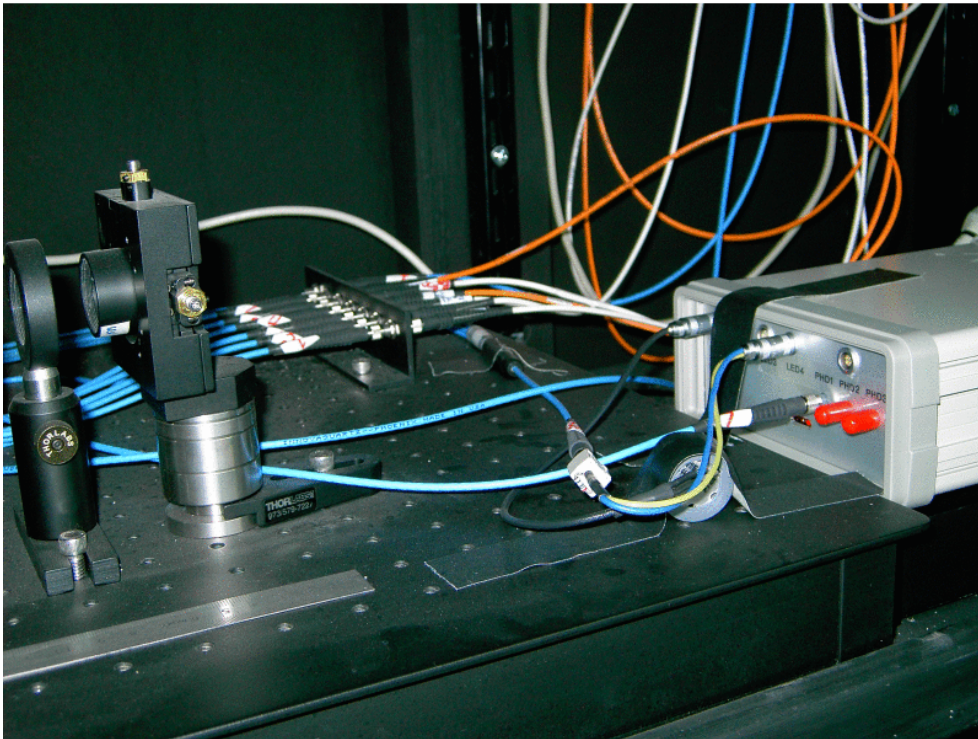


relative Varianz v_g

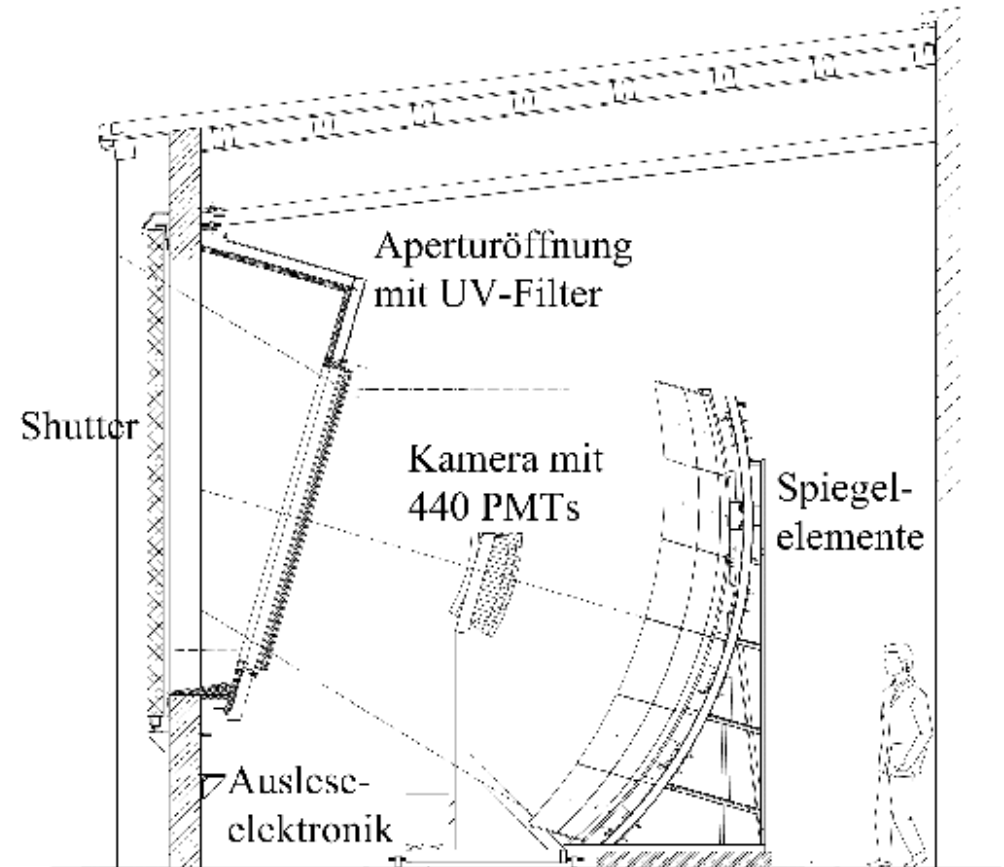
- Gesamte Verstärkung G_0 des Teleskops kann man direkt messen.
- Elektronische Verstärkung G_e (PMT und Elektronik) kann ebenfalls bestimmt werden.
- Das Verhältnis von G_0 zu G_e muss zeitlich konstant sein.
- Genaue Kenntnis von G_e erforderlich.

$$G_e \sim (1 + v_g)^{-1}$$

Messaufbau

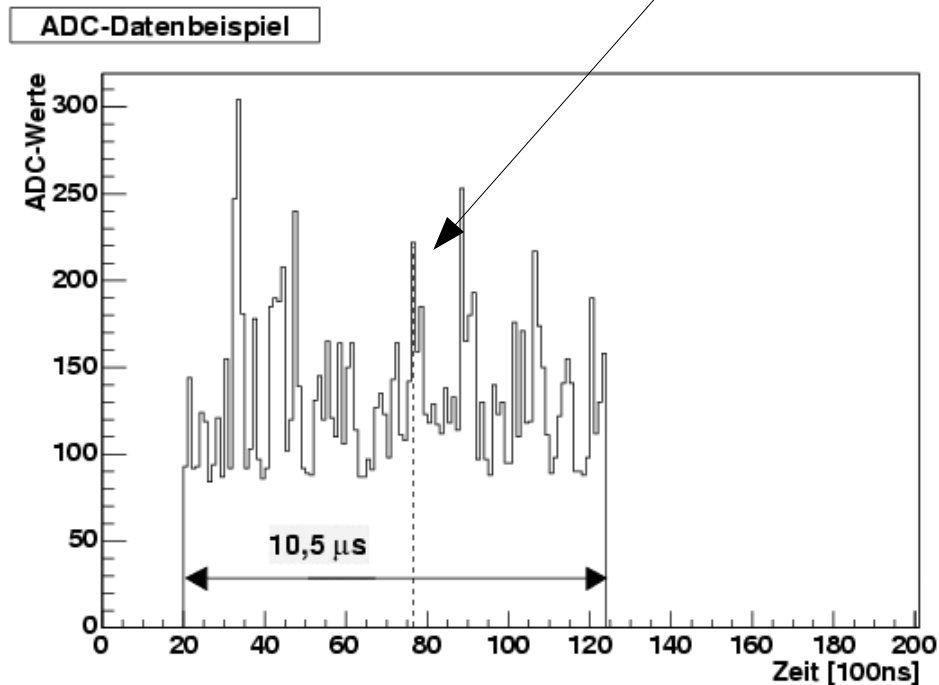


LED Control Unit (LCU)



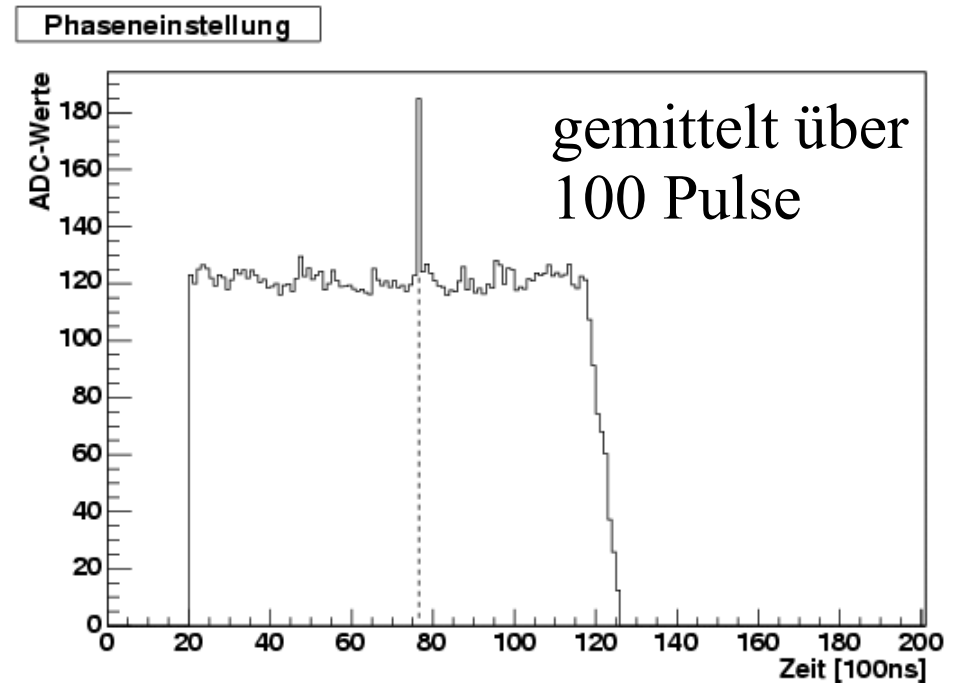
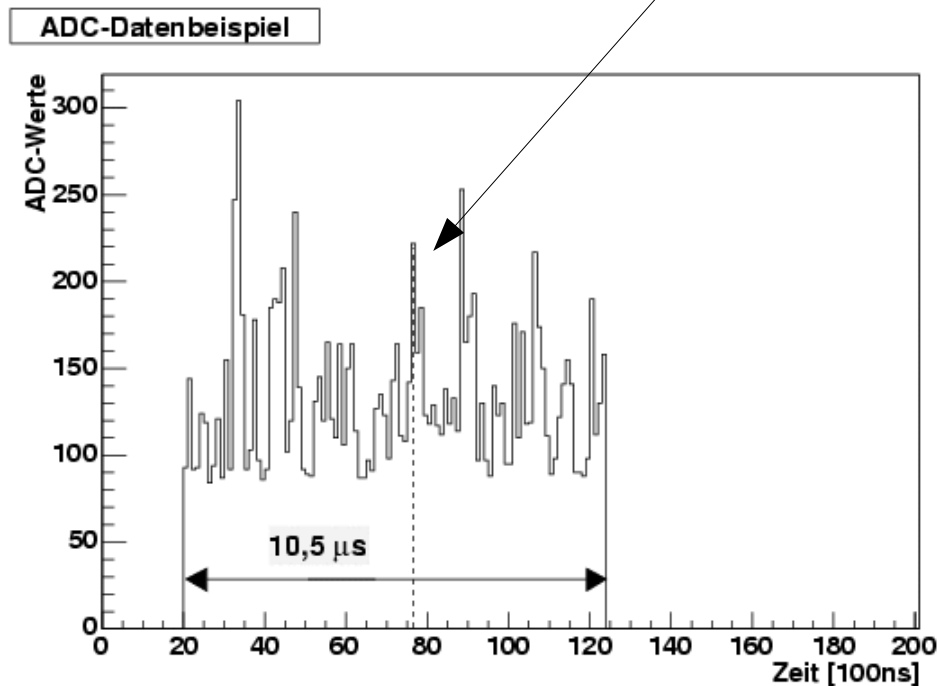
Datenauslese

- › Messung in Argentinien mit Standard Ausrüstung.
- › Technisch flexibles Konzept,
lediglich spezial LED für kurze Pulse ($<50\text{ns}$) wurde eingesetzt.
- › relative Phaseneinstellung zum 10 MHz \rightarrow ein Signalbin
- › $10,5\ \mu\text{s}$ Zeitfenster definiert die Auslesezeit der ADC Daten
- › Signal in Zeitbin Nr. 77



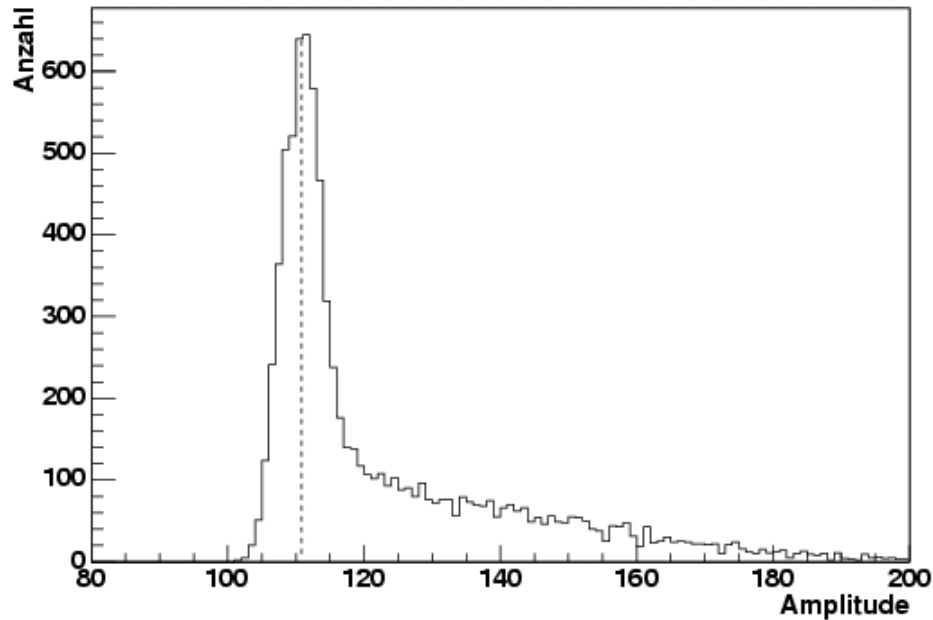
Datenauslese

- › Messung in Argentinien mit Standard Ausrüstung.
- › Technisch flexibles Konzept, lediglich spezial LED für kurze Pulse ($<50\text{ns}$) wurde eingesetzt.
- › relative Phaseneinstellung zum 10 MHz \rightarrow ein Signalbin
- › $10,5\ \mu\text{s}$ Zeitfenster definiert die Auslesezeit der ADC Daten
- › Signal in Zeitbin Nr. 77



Behandlung des Untergrundes

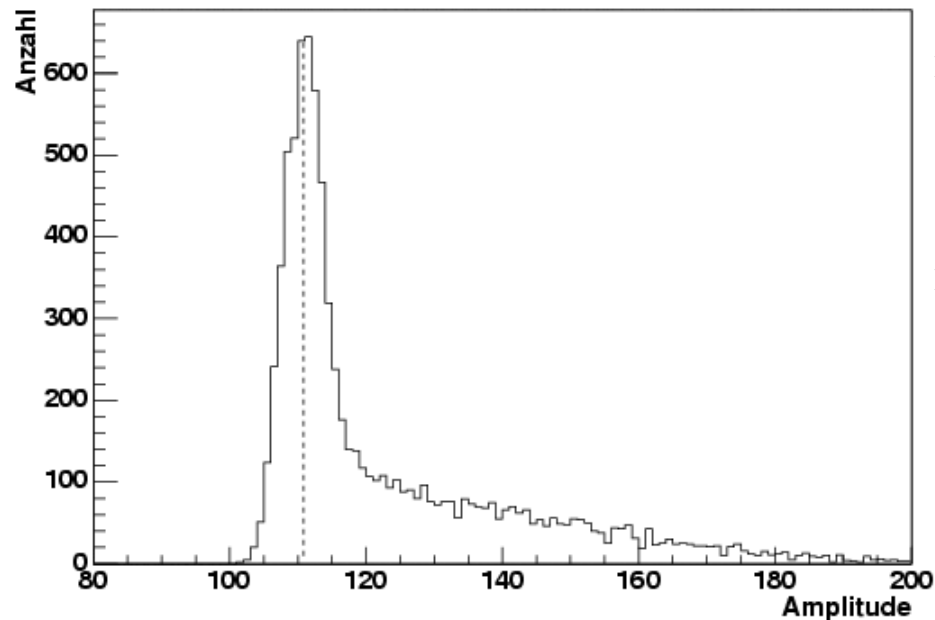
typischer Untergrundverteilung



- Verteilung eines **beliebigen** Zeitbins vor dem Signalbin.
- Maximum bei Amplitude 111:
Rauschen der PMT und Elektronik
- Flacher Abfall: Streulicht im Gebäude

Behandlung des Untergrundes

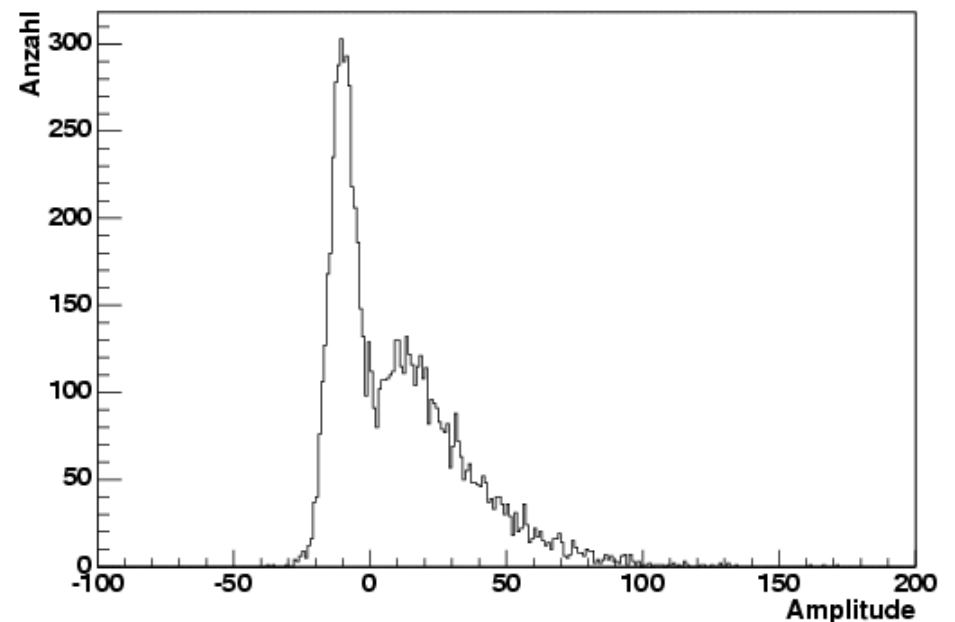
typischer Untergrundverteilung



- Mitteln über geeignete ADC Werte (37) vor dem Signalbin.
- Subtraktion des Mittelwertes vom Signalbin ergibt das Ein-Elektron-Spektrum

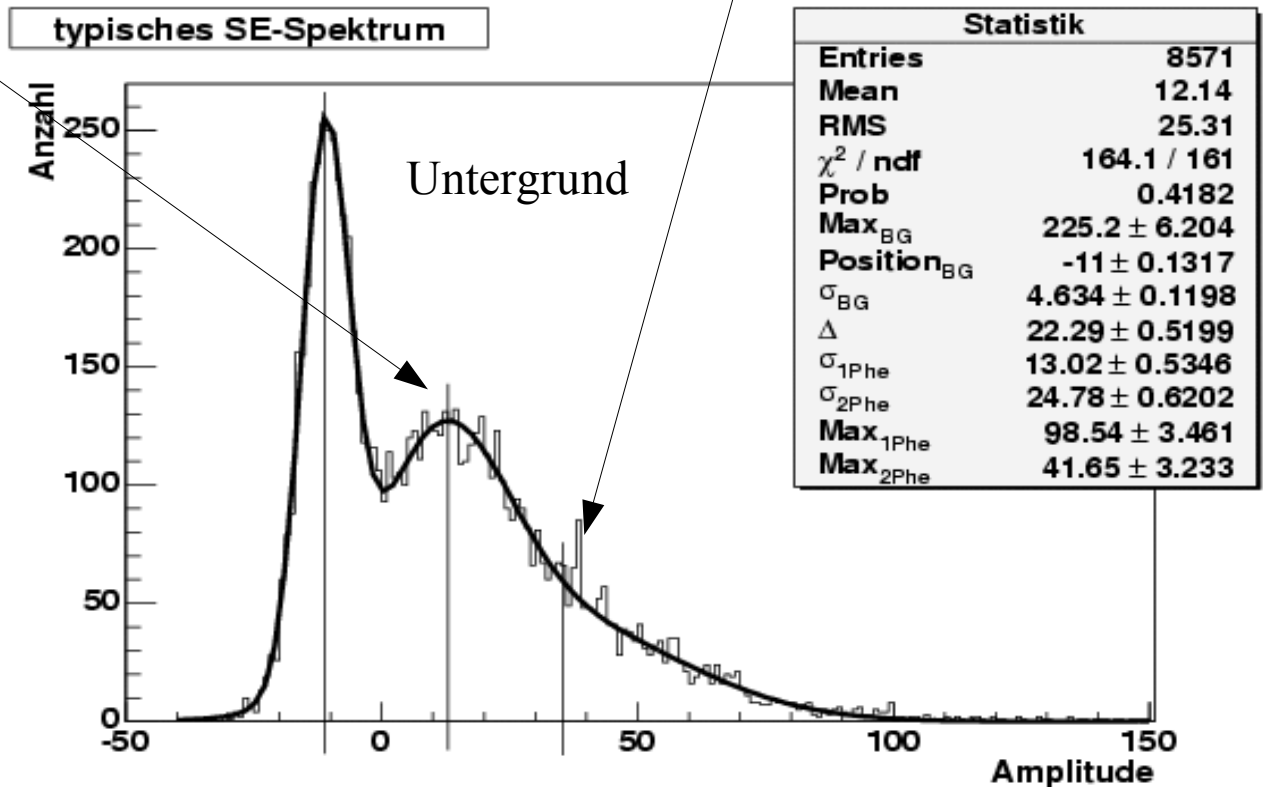
- Verteilung eines beliebigen Zeitbins vor dem Signalbin.
- Maximum bei Amplitude 111:
Rauschen der PMT und Elektronik
- Flacher Abfall: Streulicht im Gebäude

mit Berücksichtigung des Untergrundes



Parametrisierung der Spektren

- Überlagerung von drei Gauß-Funktionen
- Lage durch Parameter Δ festgelegt:
 $1 \cdot \Delta$ für 1 Photoelektron und $2 \cdot \Delta$ für 2 Photoelektronen

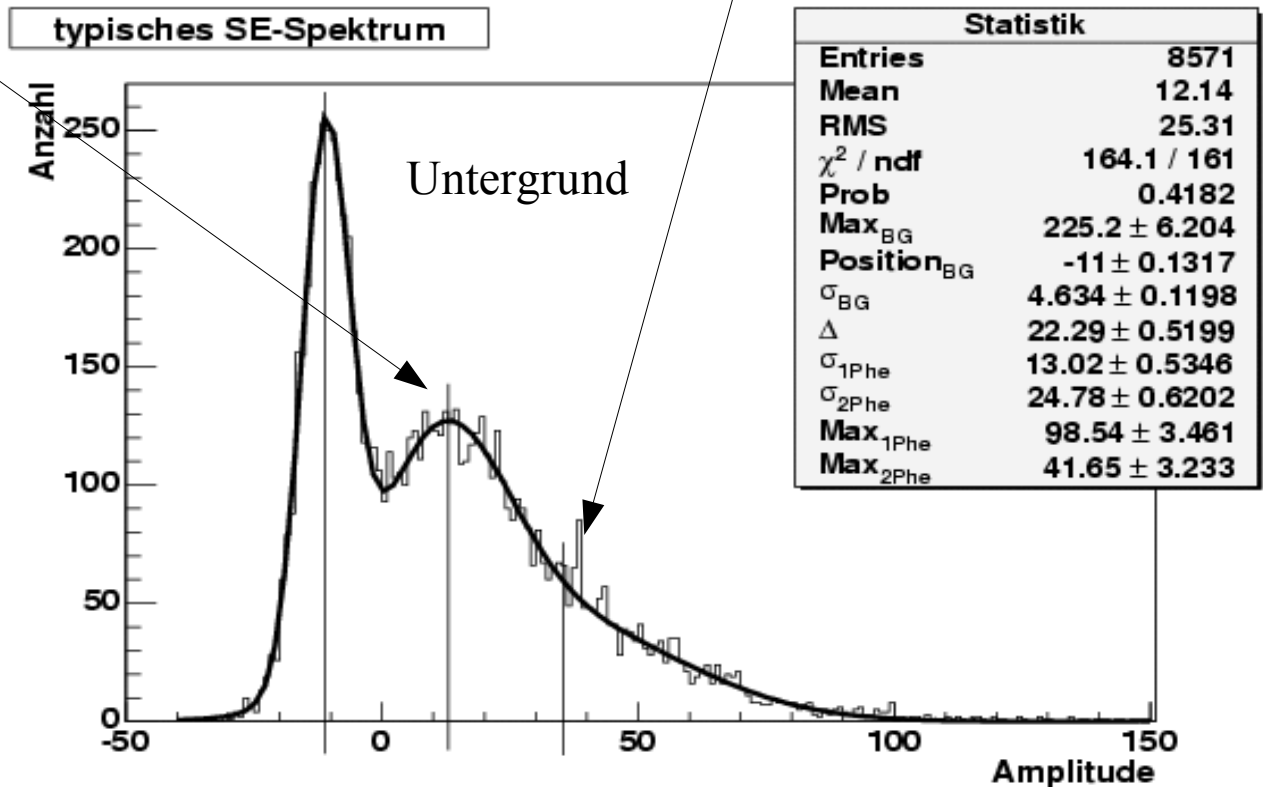


Parametrisierung der Spektren

- Überlagerung von drei Gauß-Funktionen
- Lage durch Parameter Δ festgelegt:
 $1 \cdot \Delta$ für 1 Photoelektron und $2 \cdot \Delta$ für 2 Photoelektronen

relative Varianz ν_g

$$\nu_g = \left(\frac{\sigma}{\Delta} \right)^2$$



Fehlerbetrachtung

Einzelmessung

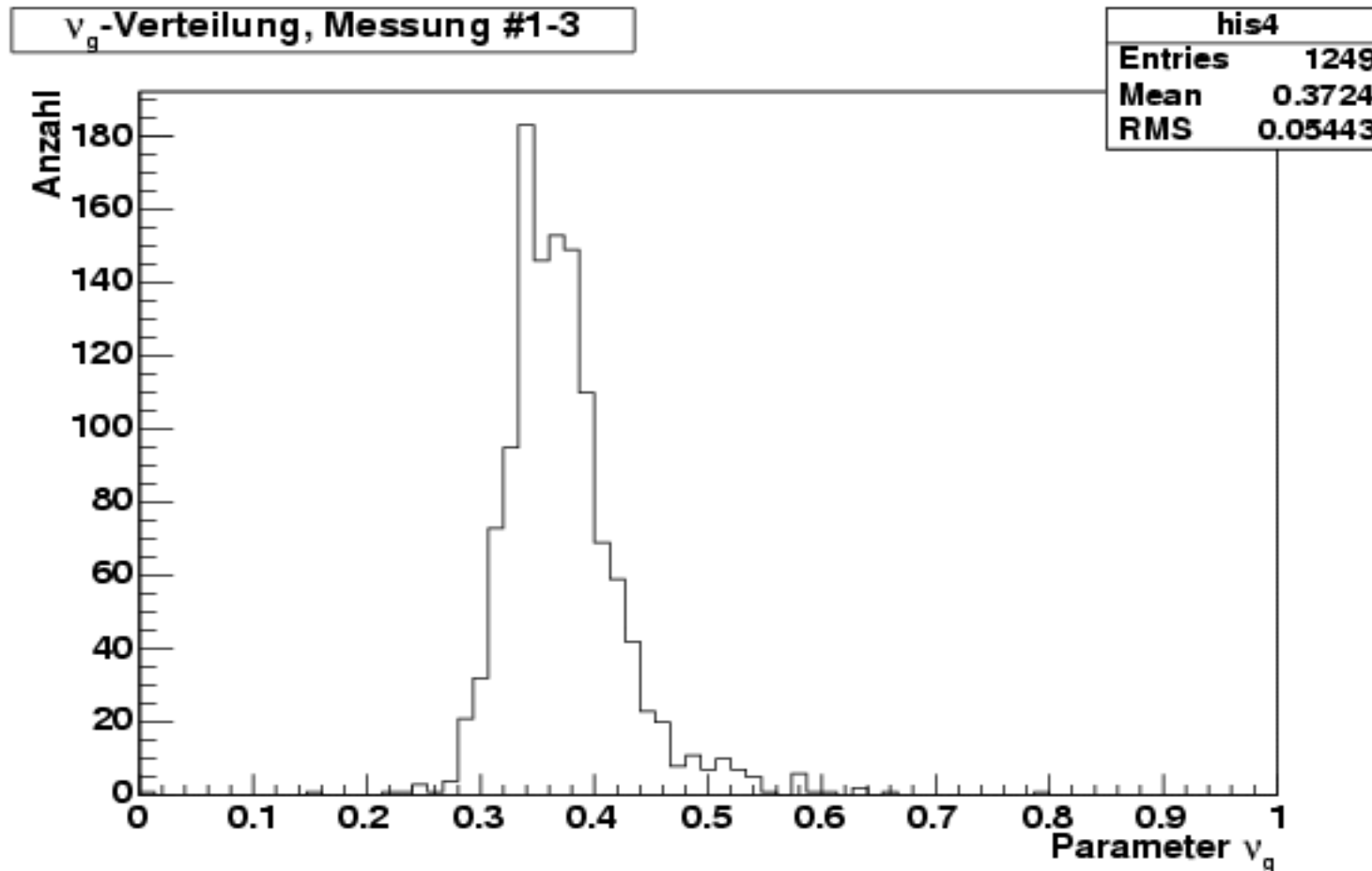
- Fehlerfortpflanzung nach Gauß ohne Kovarianzen:
relativen statistischen Fehler für die relative Varianz v_g von 10 %
- Ein-Elektron-Auflösung Φ ist mit einem Fehler von 2,6 % behaftet.

$$\Phi = (1 + v_g)$$

Gesamtmessung

- Streuung der relativen Varianz der Einzelmessungen
ergibt einen relativen Fehler von 14 %
- Ein-Elektron-Auflösung Φ hat damit einen relativen Fehler von knapp 4 %

Verteilung der relativen Varianz v_g



$$\bar{v}_g = 0,37 \pm 0,05 \quad \longrightarrow \quad \bar{\Phi} = 1,37 \pm 0,05$$

Ergebnisse

- Kleiner relativer Fehler von Φ deutet auf geringe Exemplarstreuung der verwendeten PMTs hin.
- Ein-Elektron-Auflösung kann als konstant betrachtet werden.
- Das experimentelle Ergebnis $\Phi_{\text{Exp}} = 1,37 \pm 0,05$ ist mit dem aus Monte Carlo Simulationen $\Phi_{\text{Sim}} = 1,41$ verträglich.

Ausblick

- Titel der Dissertation: *Qualifizierung eines Detektorsystems für Radiopulse aus komischen Schauern*
- Geomagnetischer Synchrotroneffekt emittiert elektro. magn. Pulse im Bereich 10 ... 200 MHz
- Selbst-triggerndes Empfangssystem wurde am IPE entwickelt.
- Überprüfung der Korrelation des Ereignistriggers, Energie, Richtung und Polarisation mit Hilfe des KASKADE- und LOPES-Experiments.



ENDE