

Rekonstruktion hadronischer Schauer mit ANTARES

Ralf Auer

`Ralf.Auer@physik.uni-erlangen.de`

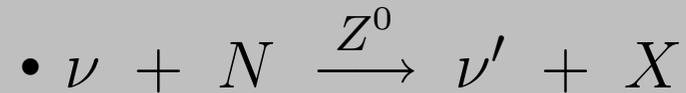
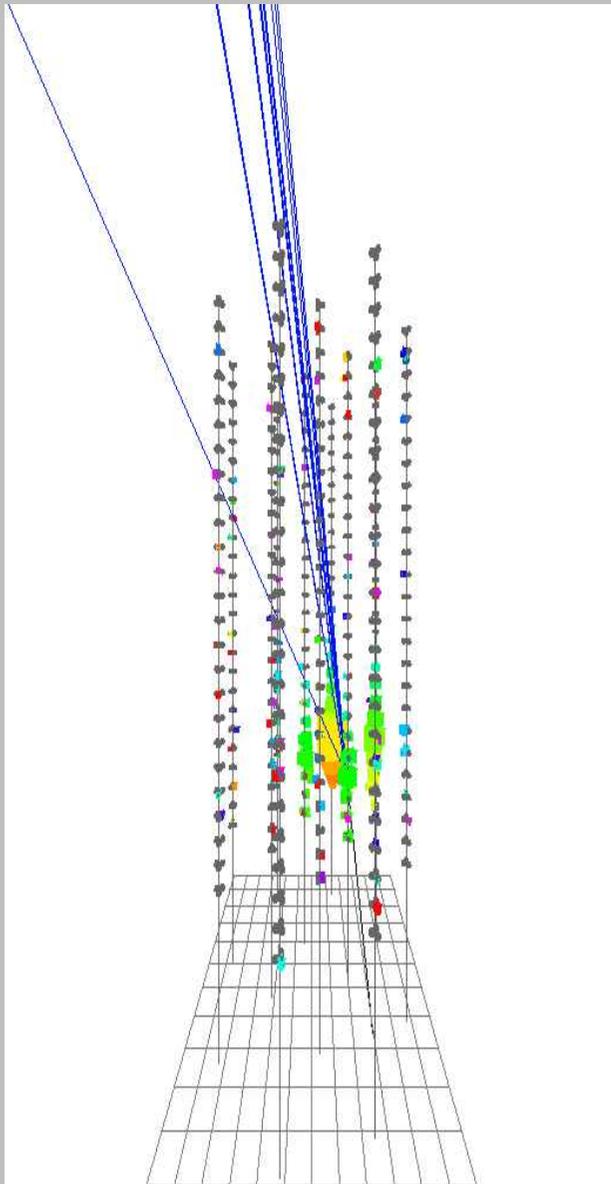
Physikalisches Institut IV - FAU Erlangen-Nürnberg

September 2005

Übersicht

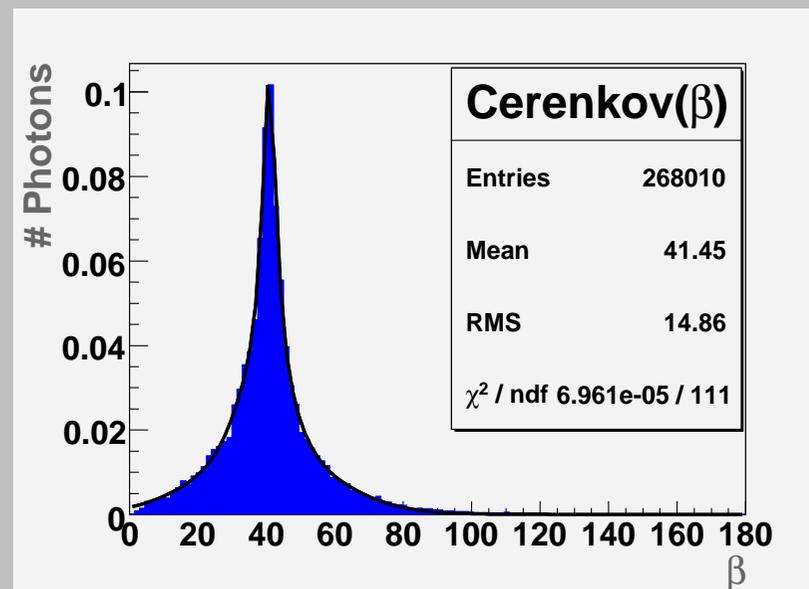
1. Eigenschaften von hadronischen Schauern
2. Energie- und Richtungsrekonstruktion
 - Die Modellierung
 - Die Minimierung
 - Ergebnisse I
3. Ortsrekonstruktion
 - Die Modellierung
 - Ergebnisse II
4. Todo's...

Eigenschaften von Schauern



• Detektorstruktur:

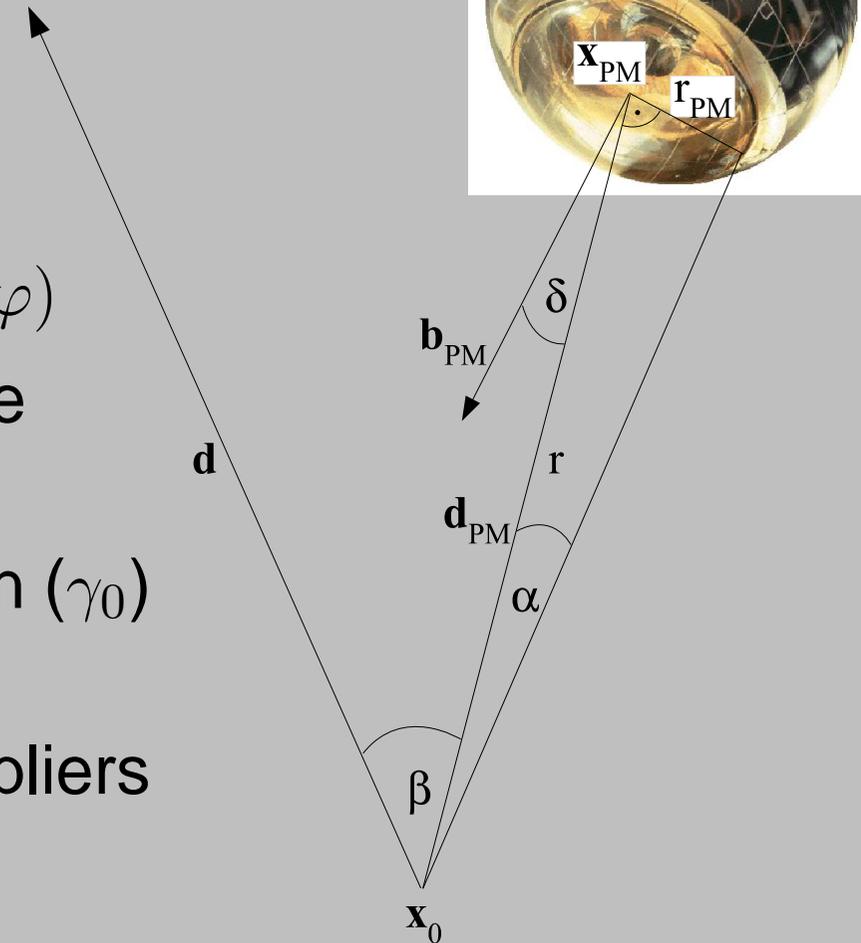
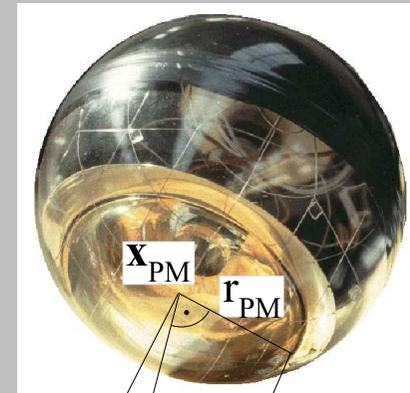
- Schauerreichweite $\leq 15\text{m}$
- Ereignisdauer $t_{\text{Event}} \leq 1500\text{ ns}$
- Verteilung der Čerenkov-Photonen:



Energie- und Richtungsreko

- Log-Likelihood Methode
- zunächst MonteCarlo-Ort \vec{x}_0
- Hilfsgrößen: $\alpha(\vec{x}_0, \vec{x}_{\text{PM}})$, $\beta(\vartheta, \varphi)$, $\delta(\vartheta, \varphi)$
- Vernachlässigung der PM-Unschärfe
- Annahme:
 $E \propto$ Anzahl aller erzeugten Photonen (γ_0)
- Damit:
Erwartung \mathcal{E}_i des i -ten Photomultipliers berechenbar:

$$\mathcal{E}_i(\gamma_0, \vartheta, \varphi) = \gamma_0 \cdot \frac{\alpha_i^2}{4} \cdot \eta(\delta_i) \cdot \exp\left(-\frac{r_i}{\tau}\right) \cdot \check{C}(\beta_i)$$



Die Likelihood-Funktion \mathcal{L}_{ED}

- Die Log-Likelihood-Funktion: (\mathcal{M}_i : Messung)

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{M}_i \leq 20 : P_i = \frac{\mathcal{E}_i^{\mathcal{M}_i}}{\Gamma(\mathcal{M}_i+1)} \cdot e^{-\mathcal{E}_i} \\ \mathcal{M}_i > 20 : P_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \cdot e^{-\frac{(\mathcal{E}_i - \mathcal{M}_i)^2}{2\sigma_i^2}} \end{array} \right\} \mathcal{L}_{\text{ED}}(\gamma_0, \vartheta, \varphi) = - \sum_{i=1}^{i_{\text{max}}} \ln(P_i)$$

... zu minimieren!

- kontinuierliche „Poisson“-Verteilung via Gamma-Funktion
- $i_{\text{max}} \leq 900$: 15m CutOff, da Punktquellenannahme!
- Annahme eines $\sigma_i = \sqrt{\mathcal{M}_i}$ -Fehlers

Die Minimierung

- Probleme:

- Großer Parameterraum
- Hohe Auflösung gewünscht
- Mehrere Minima vorhanden!

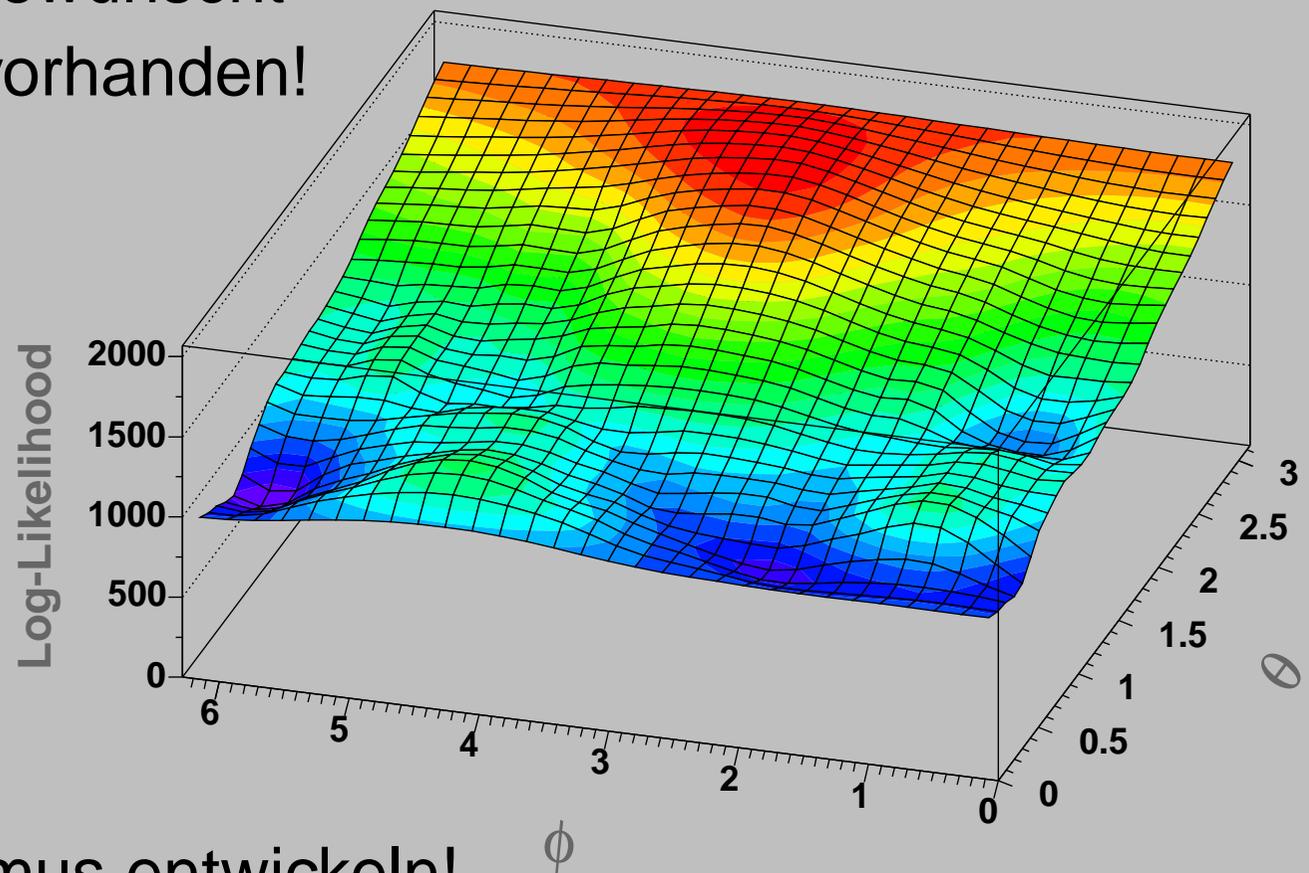
$$(0 \leq \varphi \leq 2\pi, 0 \leq \vartheta \leq \pi, 10^7 \leq \varepsilon \leq 10^{11})$$

- Aufgabe:

- Absolutes
Minimum
finden!

- Lösung:

- Sicheren Algorithmus entwickeln!





Minimierungsstrategien

Minimierungsstrategien

ÜBLICH

- *Prefit* zur Reduzierung des möglichen Suchraumes + *Fit*

Minimierungsstrategien

ÜBLICH

- *Prefit* zur Reduzierung des möglichen Suchraumes + *Fit*

OPTIMAL

- „*Brute-Force*“–Scan für alle möglichen Parameterwerte

Minimierungsstrategien

ÜBLICH

- *Prefit* zur Reduzierung des möglichen Suchraumes + *Fit*



möglich, aber unsicher

OPTIMAL

- „*Brute-Force*“–Scan für alle möglichen Parameterwerte

Minimierungsstrategien

ÜBLICH

- *Prefit* zur Reduzierung des möglichen Suchraumes + *Fit*



möglich, aber unsicher

OPTIMAL

- „*Brute-Force*“-Scan für alle möglichen Parameterwerte



sicher, aber unmöglich

Minimierungsstrategien

ÜBLICH

- *Prefit* zur Reduzierung des möglichen Suchraumes + *Fit*



möglich, aber unsicher

OPTIMAL

- „*Brute-Force*“–Scan für alle möglichen Parameterwerte



sicher, aber unmöglich

Minimierungsstrategien

ÜBLICH

- *Prefit* zur Reduzierung des möglichen Suchraumes + *Fit*



möglich, aber unsicher

OPTIMAL

- „*Brute-Force*“-Scan für alle möglichen Parameterwerte

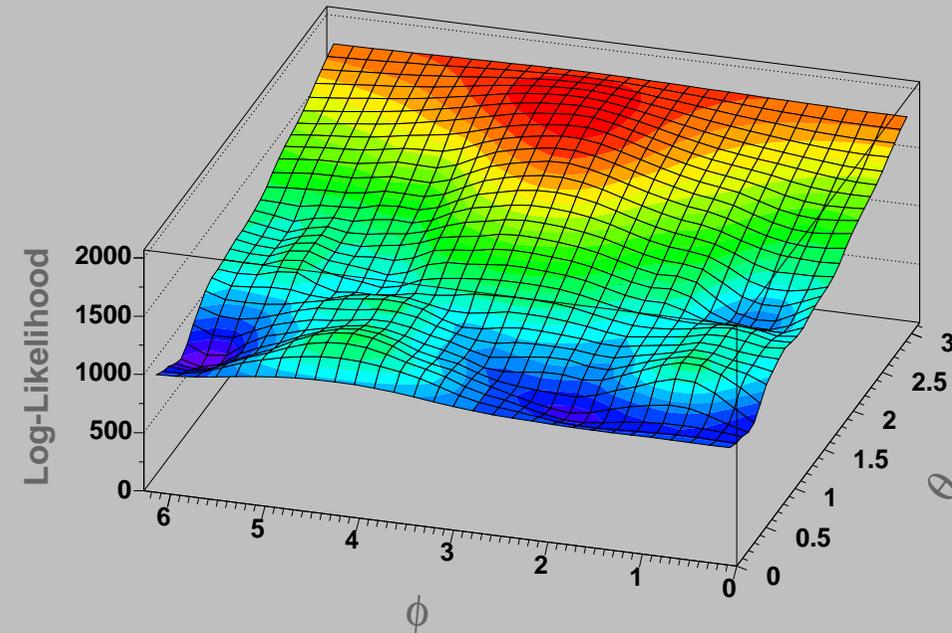


sicher, aber unmöglich

mögliche und sichere Kombination!

Realisierung

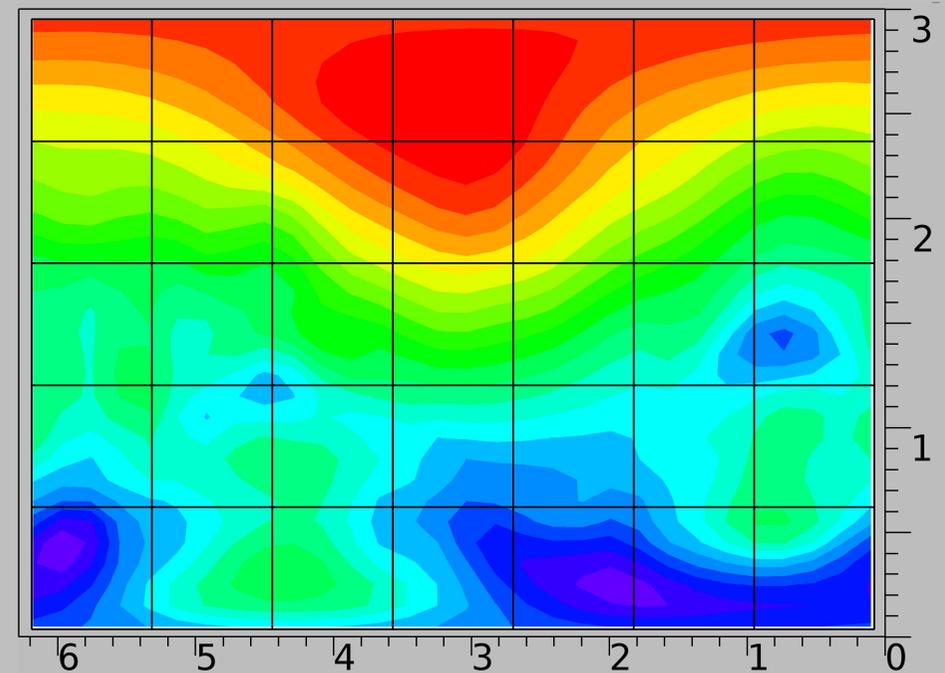
- Auffälligkeiten der $\mathcal{L}_{ED}(\gamma_0, \vartheta, \varphi)$:
 - mehrere Minima, aber:
 - keine δ -förmigen Minima, sondern ausgedehnte Minimumsregionen (\propto Tiefe)!
 - Grund: „Trägheit“ des Systems
- Vorteil: großzügige Einteilung des Parameterraumes in Unterräume möglich!
- Dann: iterative Reduzierung möglicher Unterräume anhand stichprobenartiger Berechnung der Log-Likelihood-Werte
- Ergebnis: beliebig kleiner Bereich um globales Minimum!



Im Detail

1. Schritt: Einteilung des Parameterraumes in 315 Unterräume

- Pro Gitterpunkt j ($= 1 \dots 315$): Berechnung von $\mathcal{L}_j(\gamma_0, \vartheta, \varphi)$
- Auswahl der k ($=7$) Intervalle mit kleinster \mathcal{L}_{ED}



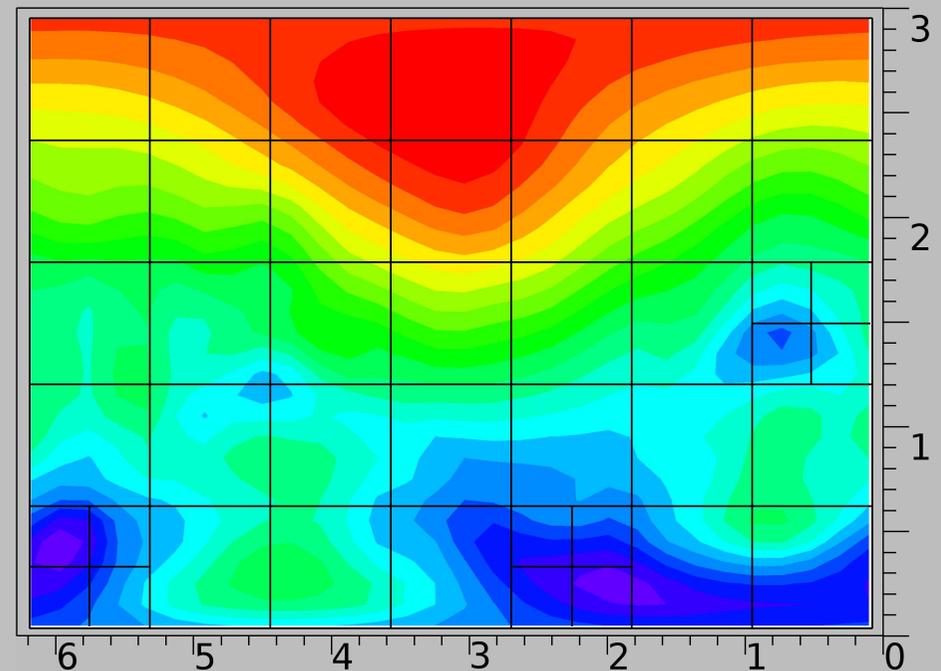
Im Detail

1. Schritt: Einteilung des Parameterraumes in 315 Unterräume

- Pro Gitterpunkt j ($= 1 \dots 315$): Berechnung von $\mathcal{L}_j(\gamma_0, \vartheta, \varphi)$
- Auswahl der k ($=7$) Intervalle mit kleinster \mathcal{L}_{ED}

2. Schritt: Neueinteilung der k Bereiche in 8 Unterbereiche

- $\mathcal{L}_{k,l}$ berechnen, aber jeweils nur $\mathcal{L}_{k_{\min}}$ weiter berücksichtigen
 → wieder k Bereiche



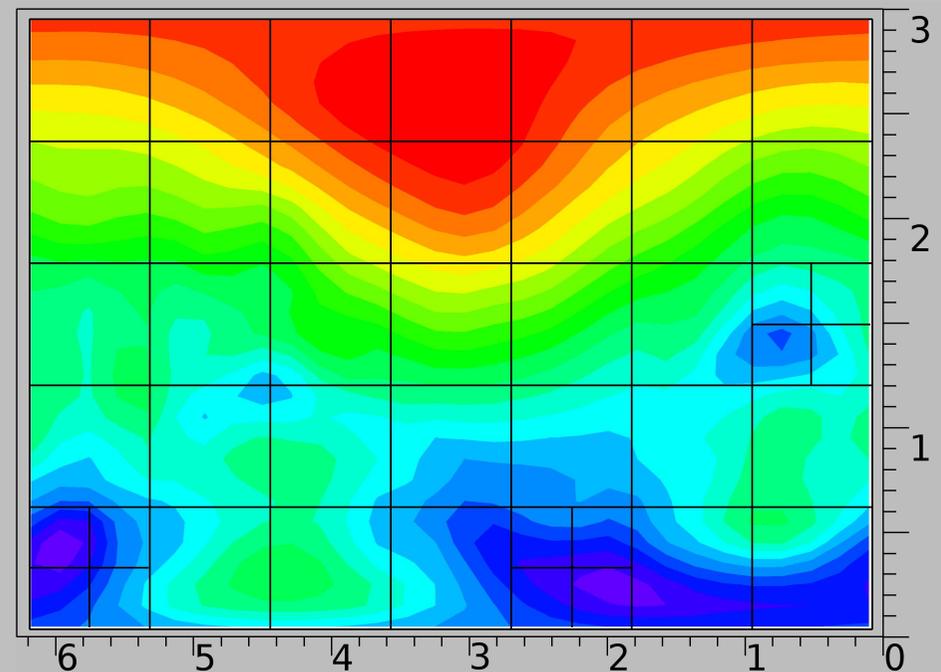
Im Detail

1. Schritt: Einteilung des Parameterraumes in 315 Unterräume

- Pro Gitterpunkt j ($= 1 \dots 315$): Berechnung von $\mathcal{L}_j(\gamma_0, \vartheta, \varphi)$
- Auswahl der k ($=7$) Intervalle mit kleinster \mathcal{L}_{ED}

2. Schritt: Neueinteilung der k Bereiche in 8 Unterbereiche

- $\mathcal{L}_{k,l}$ berechnen, aber jeweils nur $\mathcal{L}_{k_{\min}}$ weiter berücksichtigen
 → wieder k Bereiche



3. – n. Schritt: 2. Schritt m -mal wiederholen

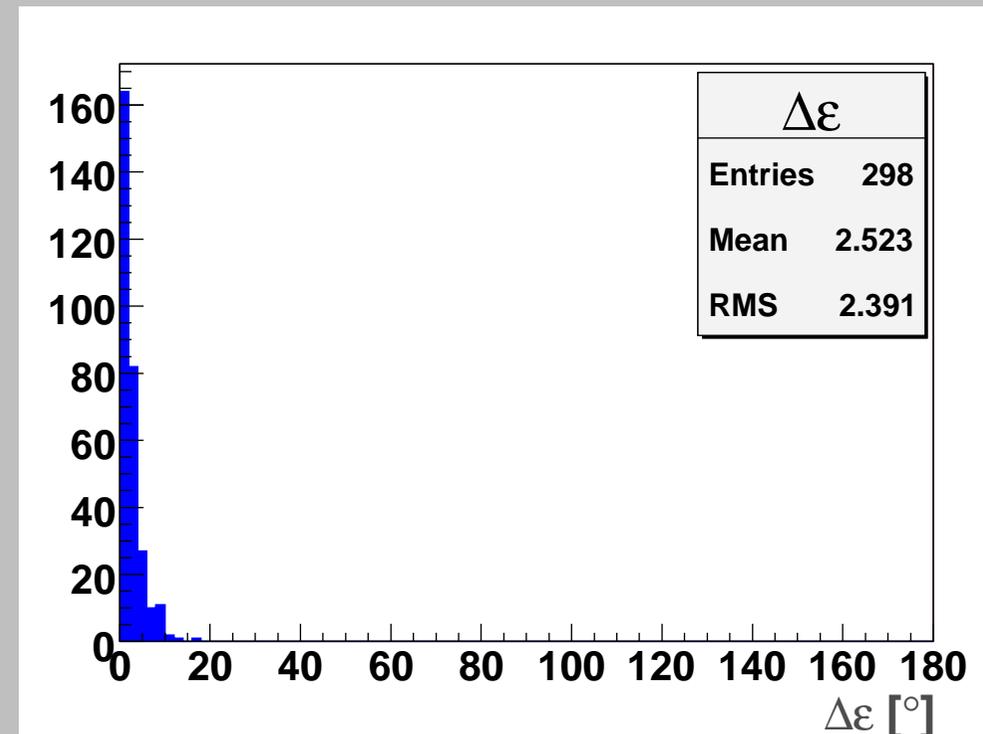
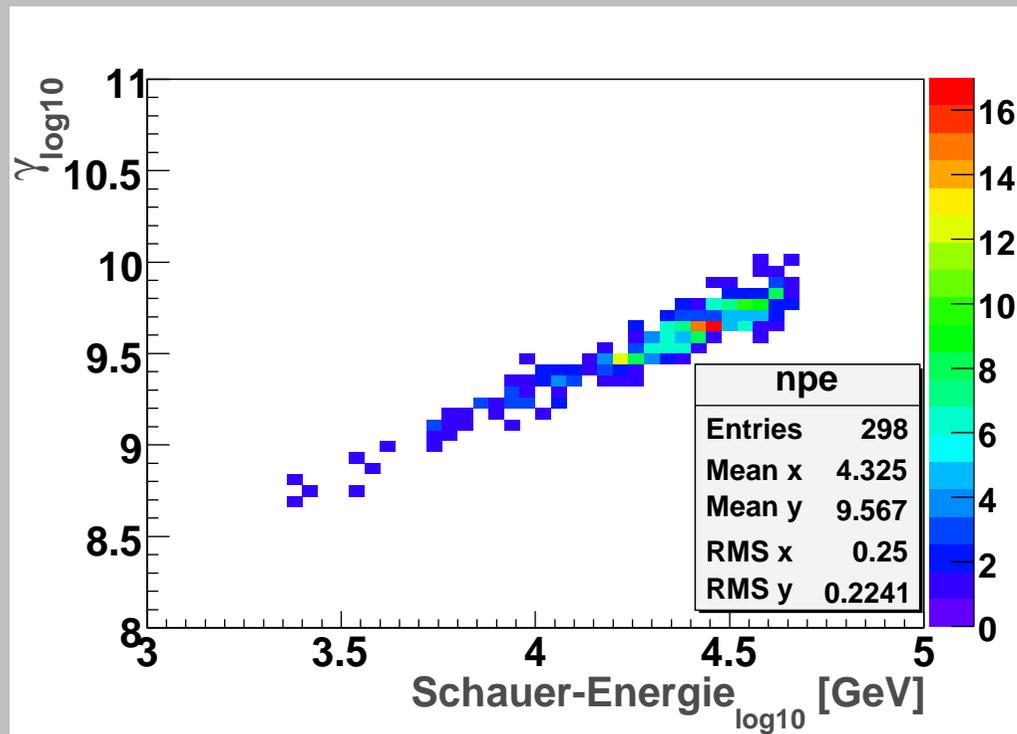
➔ kleinster \mathcal{L}_{ED} -Wert beliebig nahe an globalem Minimum!

Bedeutung & Vorteile

- benötigte Konvergenzkriterien: Feinheit des Rasters, k, l, m
- Kein *Prefit + Fit*, sondern Abtastung des *gesamten* Parameterraumes
- Auswahl „verdächtiger“ Parameterbereiche
- Sukzessive Reduzierung möglicher Bereiche durch Intervallschachtelung bei gleichzeitiger Präzisierung der einzelnen Minima
- Weder erste, noch zweite Ableitung müssen berechnet werden
- Dadurch Modifizierung der Modellierung ohne weiteren Aufwand möglich
- Keine Matrixinversionen (SVD, ...)
- Universell verwendbar

Ergebnisse I

- Ergebnisse der Energie- und Richtungsrekonstruktion mittels simulierter Messdaten:
 298 fully contained events, $30 \text{ TeV} \leq E \leq 50 \text{ TeV}$,
 60kHz Hintergrund, MC-Position, $k = 7, m = 10, R_{(5,7,9)}$



Ortsrekonstruktion

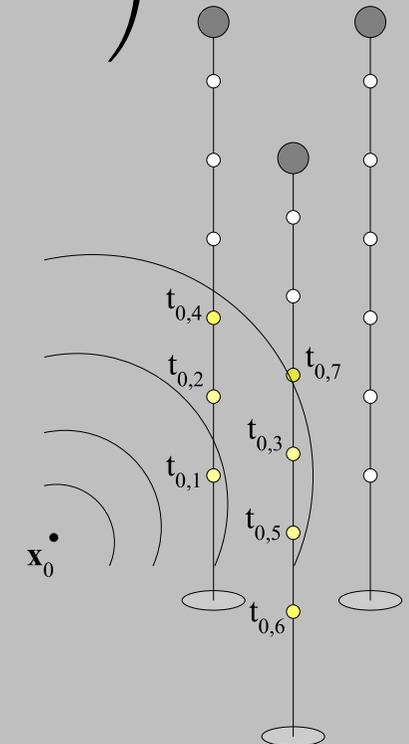
- Selbe Strategie wie für Energie- und Richtungsreko
- Optimierte Licht-Laufzeitunterschiede zwischen gemessener und erwarteter Zeit (Kugelwelle)

$$\mathcal{L}_{\text{Pos}}(t_{\text{mess}}, t_{\text{erw}}) = - \sum_{i=1}^{\mathcal{P}} \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi t_{\text{PM}_i}}} \cdot e^{-\frac{(t_{\text{PM}_i} - t_{0,i})^2}{2t_{\text{PM}_i}}} \right)$$

- Parameterraum:

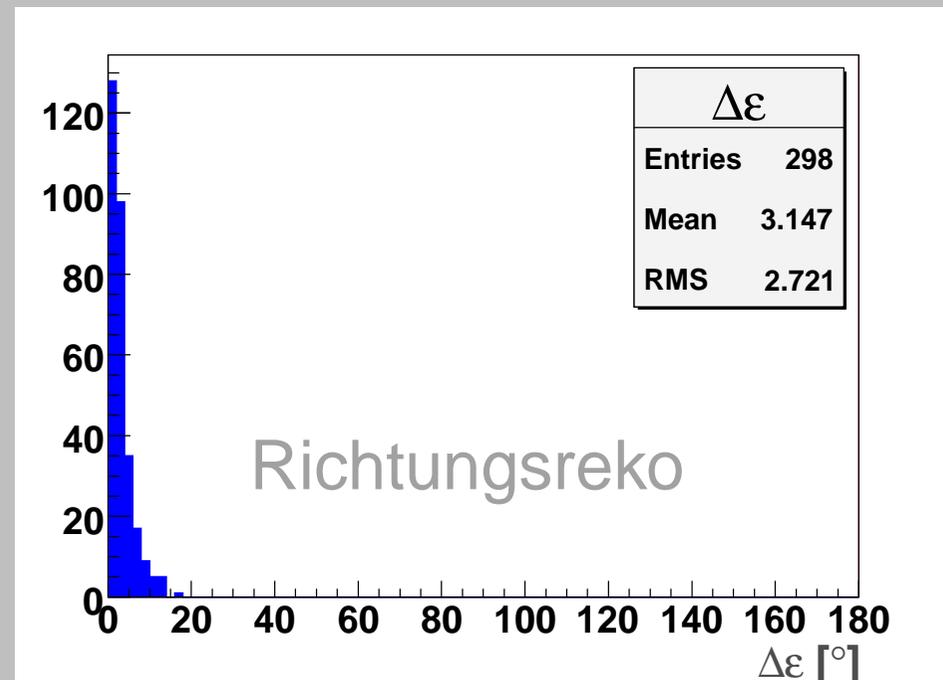
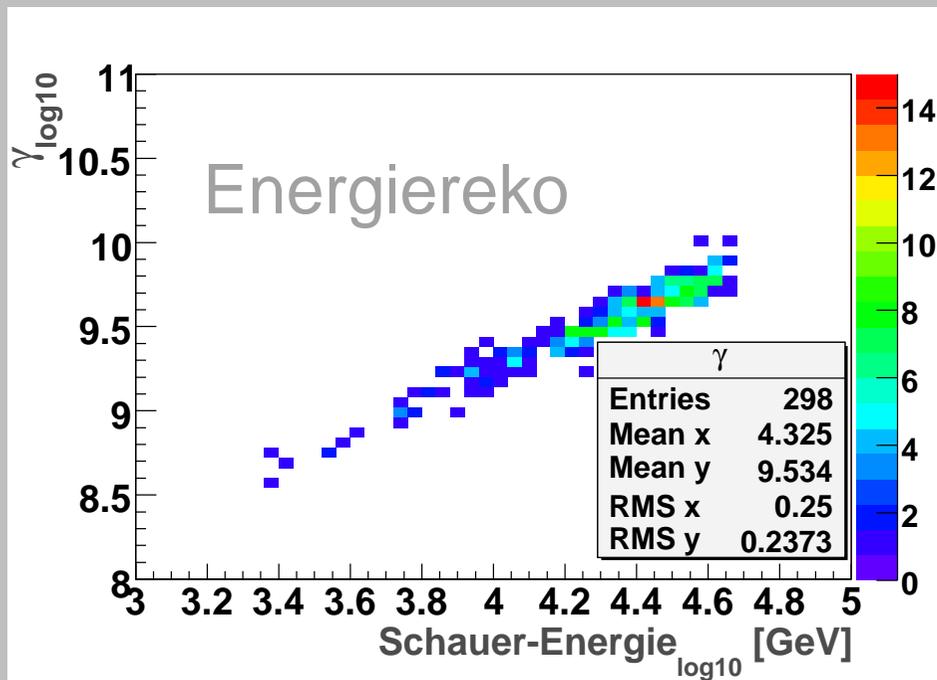
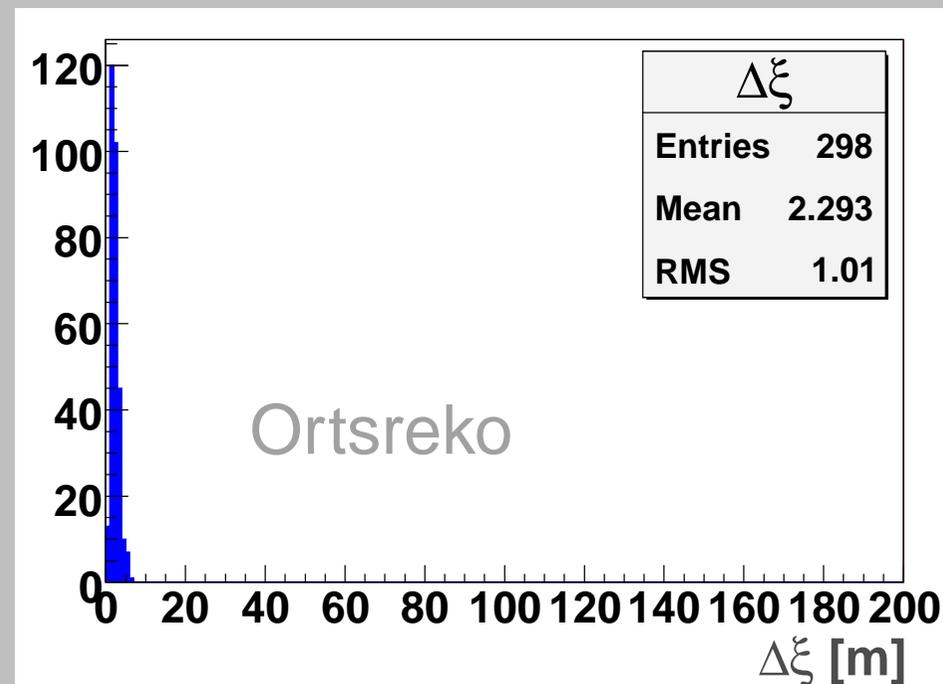
$$\left. \begin{array}{l} -100 \text{ m} \leq x \leq 100 \text{ m} \rightarrow 5 \\ -100 \text{ m} \leq y \leq 100 \text{ m} \rightarrow 5 \\ -200 \text{ m} \leq z \leq 200 \text{ m} \rightarrow 10 \end{array} \right\} \text{Intervalle}$$

- Nur Hits mit mehr als 3 Photoelektronen
- $\sqrt{t_{\text{PM}_i}}$ -Fehler



Ergebnisse II

- Ortsrekonstruktion und Energie-/Richtungsreko (unter Verwendung des rekonstruierten Ortes)



TODO I

- Ortsrekonstruktion

- Erweiterung auf Ereignisse, die nur teilweise innerhalb Detektors liegen

➔ *Erweiterung des Parameterraumes*



- t_0 -Abhängigkeit ausschalten

➔ *Vergleich der relativen Laufzeiten*

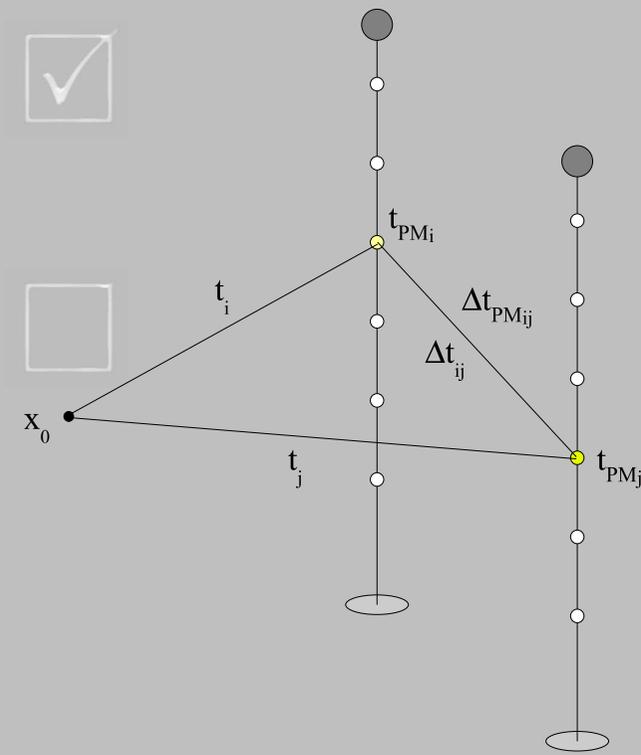


- Verbesserung der Modellierung (σ , ...)

➔ σ_i *in Abhängigkeit vom Abstand, ...*



- .?.



TODO II

- Energie- und Richtungsrekonstruktion
 - Energieabhängige Parametrisierung der Čerenkov-Verteilung
➔ *anhand simulierter Daten*
 - Explizite Modellierung von Hintergrundrauschen
➔ *Faltung von Signal- und Rauscherwartung*
 - Berücksichtigung der Photomultiplierunschärfe
➔ *anhand von PM-Analysen*
 - .?.

TODO III

- Endziel:

- Gleichzeitige Rekonstruktion aller Variablen mittels *einer* einzigen Log-Likelihood-Funktion:

$$\rightarrow \mathcal{L}_{\text{Pos}}(x, y, z) \oplus \mathcal{L}_{\text{ED}}(\gamma_0, \vartheta, \varphi) \longrightarrow \mathcal{L}_{\text{Tot}}(x, y, z, \gamma_0, \vartheta, \varphi) \quad \square$$

- Danach: Feintuning der Modellierung ($\sigma = \sigma(\vartheta, \varphi), \dots$)

- Vorteile:

- Falscher Ort bedeutet nicht zwangsweise falsche Energie und Richtung, sondern *gegenseitige* Korrektur!
- Gleiches Minimierungsverfahren kann verwendet werden!

Noch Fragen?



Vielen Dank!