

Spursegmente innerhalb hadronischer Schauer in einem hochgranularen Kalorimeter

Lars Weuste

Max-Planck-Institut für Physik

DPG Frühjahrstagung Bonn
16. März 2010



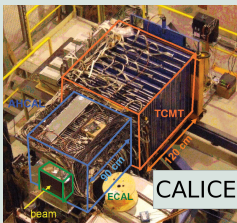
- 1 CALICE
- 2 Spurfindung in hadronischen Schauern
- 3 Monte Carlo - Data Vergleich
- 4 Zusammenfassung

CALICE

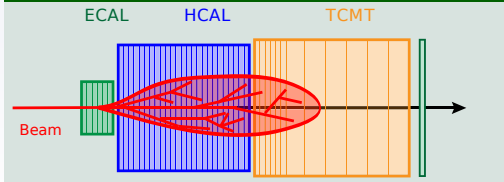
CALICE

- Internationale Kollaboration (≈ 300 Mitglieder)
- Ziel: Test neuer Kalorimeter Technologien für den ILC (International Linear Collider)
- Testbeam am DESY (2006), CERN (2006/07) und FNAL (2008/09)
- Hier: nur Hadron-Kalorimeter (AHCAL) Daten benutzt

Testbeam Setup (Foto)



Testbeam Setup (Illustration)



CALICE: Das Analog Hadron Calorimeter (AHCAL)

AHCAL Eigenschaften

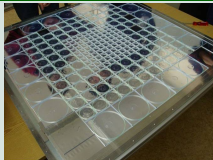
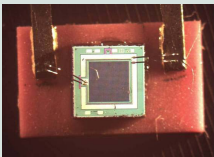
- Hoch granulares ("imaging") Kalorimeter
- Szintillator tiles mit SiPM readout
- Tile Größe: $3 \times 3 \text{ cm}^2$ - $12 \times 12 \text{ cm}^2$
- 38 Stahlabsorber-Lagen $\Rightarrow \approx 4.5 \lambda$
- Kein B-Feld



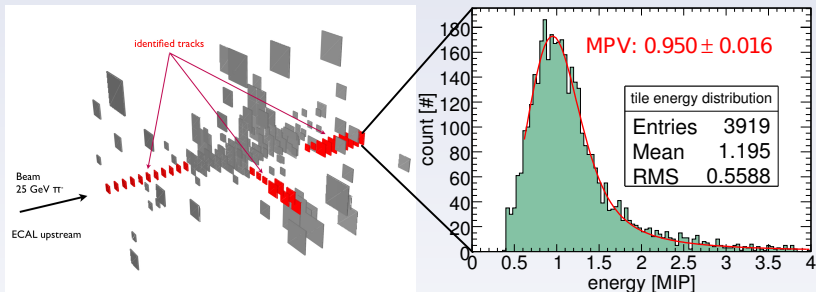
Lagen Struktur

		13 / 79	25 / 79	37 / 79	49 / 79	61 / 79						
	13 / 79	19 / 73	25 / 73	31 / 73	37 / 73	43 / 73	49 / 73	55 / 73	61 / 73	67 / 73	73 / 73	
1 / 61	13 / 61	19 / 55	25 / 55	31 / 55	37 / 55	43 / 55	49 / 55	55 / 55	61 / 55	67 / 55	73 / 55	79 / 55
1 / 49	13 / 49	19 / 43	25 / 43	31 / 43	37 / 43	43 / 43	49 / 43	55 / 43	61 / 43	67 / 43	73 / 43	79 / 43
1 / 37	13 / 37	19 / 31	25 / 31	31 / 31	37 / 31	43 / 31	49 / 31	55 / 31	61 / 31	67 / 31	73 / 31	79 / 31
1 / 25	13 / 25	19 / 25	25 / 25	31 / 25	37 / 25	43 / 25	49 / 25	55 / 25	61 / 25	67 / 25	73 / 25	79 / 25
1 / 13	13 / 13	19 / 13	25 / 13	31 / 13	37 / 13	43 / 13	49 / 13	55 / 13	61 / 13	67 / 13	73 / 13	79 / 13
		19 / 1	31 / 1	43 / 1	55 / 1	67 / 1						

SiPM / AHCAL Lage



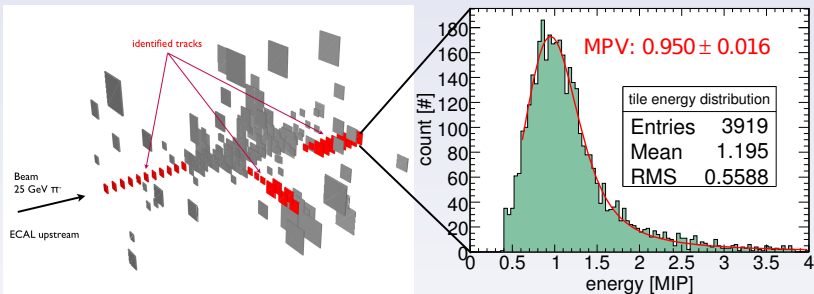
Isolierte Spursegmente in hadronischen Schauern



Hadronische Schauer sind breit und verstreut

- ⇒ Viele (minimalionisierende) Teilchen ("MIP") kommen aus dem Schauerkerneln
- ⇒ Viele Zellen werden nur von einem einzelnen Teilchen getroffen
- ⇒ Identifikation von Spursegmenten isolierter Teilchen möglich
- $B = 0 \Rightarrow$ Spursegmente sind gerade

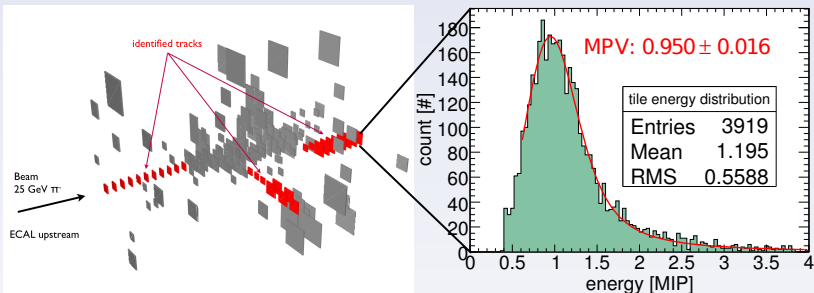
Suche nach Spursegmenten in hadronischen Schauern



Eigenschaften hadronischer Spursegmente

- Bestehen aus isolierten Hits: \Rightarrow MIP \Rightarrow Landau-Verteilung
- Sensitiv auf räumliche Struktur (Schauer-Tail)
- Verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, z.B.:
 - Detektorstudien, z.B. Temperaturabhaengigkeit der SiPMs
 - Transport von Kalibrationskonstanten
 - Vergleich von Monte-Carlo Simulation zu Teststrahl-Daten

Suche nach Spursegmenten in hadronischen Schauern



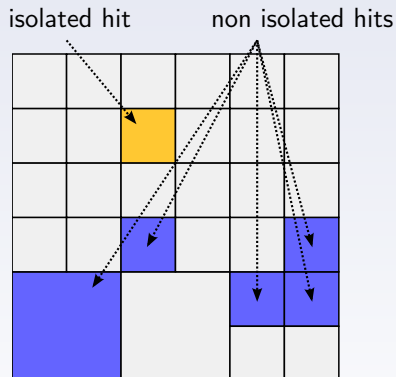
Eigenschaften hadronischer Spursegmente

- Bestehen aus isolierten Hits: \Rightarrow MIP \Rightarrow Landau-Verteilung
- Sensitiv auf räumliche Struktur (Schauer-Tail)
- Verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, z.B.:
 - Detektorstudien, z.B. Temperaturabhaengigkeit der SiPMs
 - Transport von Kalibrationskonstanten
 - Vergleich von Monte-Carlo Simulation zu Teststrahl-Daten

Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

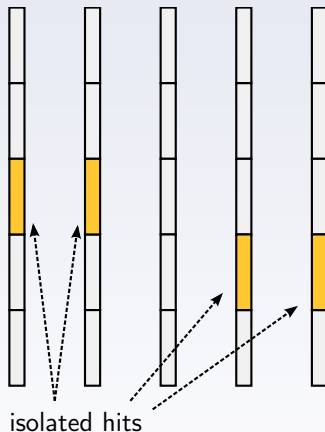
- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)



Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

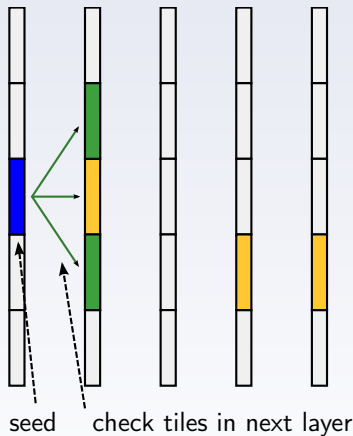
- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)



Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

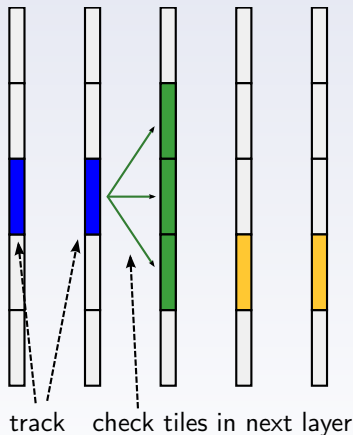
- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)
- 2 Suche nach Spurfortsetzung in nachfolgender Lage



Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

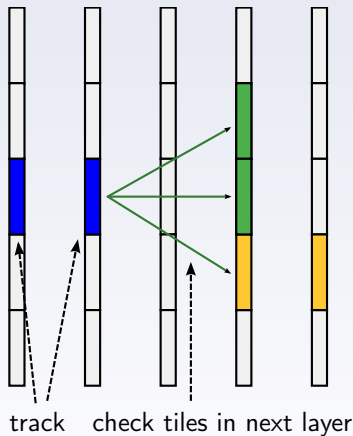
- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)
- 2 Suche nach Spurfortsetzung in nachfolgender Lage
- 3 Überspringe etwaige Lücken



Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

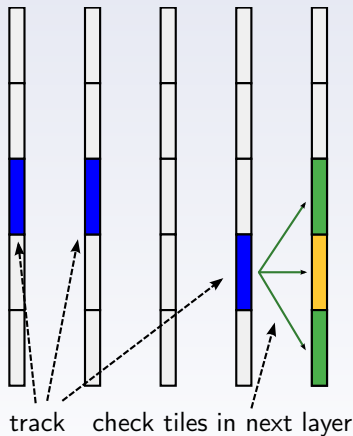
- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)
- 2 Suche nach Spurfortsetzung in nachfolgender Lage
- 3 Überspringe etwaige Lücken



Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

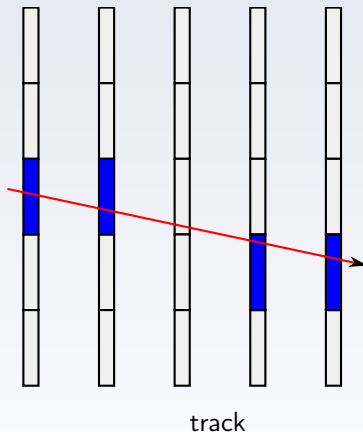
- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)
- 2 Suche nach Spurfortsetzung in nachfolgender Lage
- 3 Überspringe etwaige Lücken



Suche nach Spursegmenten: "Follow-Your-Nose"

Algorithmus

- 1 Suche isolierte Hits / Lage (verwirft Zellen die von mehr als 1 Teilchen getroffen wurden)
- 2 Suche nach Spurfortsetzung in nachfolgender Lage
- 3 Überspringe etwaige Lücken
- 4 Falls kein Hit zur Fortsetzung gefunden werden kann
⇒ Fertiges Spursegment

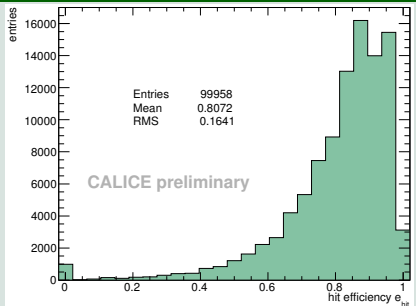


Effizienz

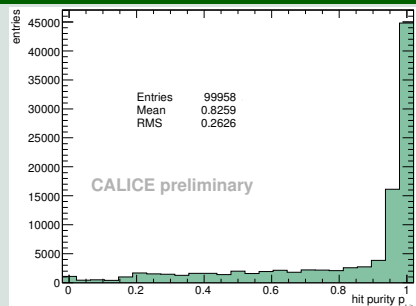
Effizienzbestimmung

- Basierend auf MC Simulation geradliniger Myonen
- Vergleich gefundener Spur mit bekannter MC Position
- Effizienz *überhaupt* Teile der Myon-Spur zu finden: 98,9%

Effizienz einzelne Hits zu finden



Spur-Reinheit



Anwendungsbeispiel: Monte Carlo - Daten Vergleich

Monte Carlo Simulation

- Hadronische Wechselwirkung nicht exakt beschreibbar
- Für versch. Energieregionen existieren versch. Modelle
⇒ Kombination der Modelle nötig (⇒ “physics list”)
- Bisläng: Nutzung von Schauerprofilen zum Vergleich zu Daten
- Ein Ziel von CALICE: Hilfe in “physics lists” - Optimierung

Anwendungsbeispiel: Monte Carlo - Daten Vergleich

Monte Carlo Simulation

- Hadronische Wechselwirkung nicht exakt beschreibbar
- Für versch. Energieregionen existieren versch. Modelle
⇒ Kombination der Modelle nötig (⇒ “physics list”)
- Bislang: Nutzung von Schauerprofilen zum Vergleich zu Daten
- Ein Ziel von CALICE: Hilfe in “physics lists” - Optimierung

Nutzung von Spurfindungsalgorithmen

- + Spursegmente liefern viel detailliertere Informationen als Schauerprofile
⇒ Spureigenschaften als Vergleichsobservable
- Spursegmente bestehen nur aus Hits von MIPs
⇒ Unterschiede nur außerhalb des Schauerkerns (z.B. Schauer-Tails) messbar

Anwendungsbeispiel: Monte Carlo - Daten Vergleich

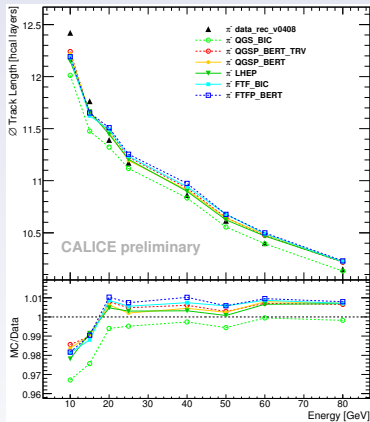
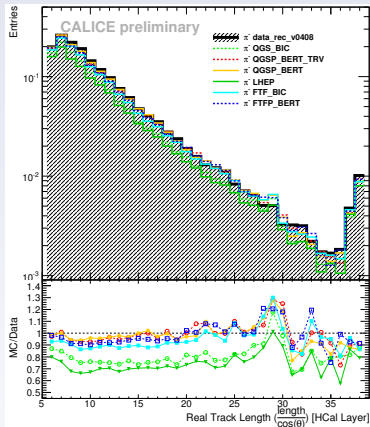
Benutzte physics lists von Mokka (Geant4 basiert)

- QGSP_BERT
- QGSP_BERT_TRV
- QGS_BIC
- LHEP
- FTF_BIC
- FTFP_BERT

Vergleichs-Obervablen

- Spur-Länge: Schauerlänge
- Spur-Multiplizität: Schauerbreite und -dichte
- Spur-Winkel: Schauerbreite

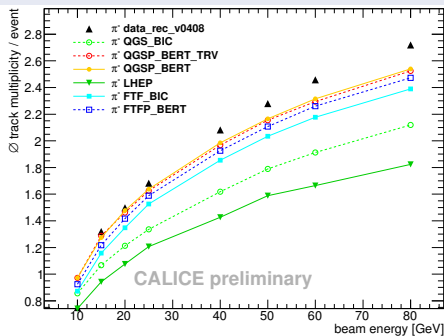
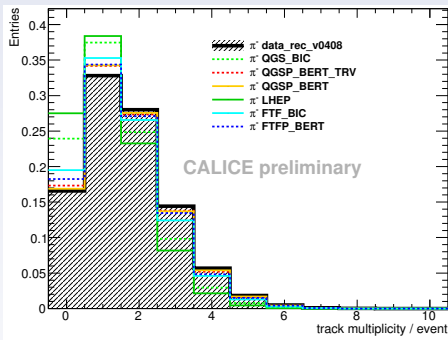
Monte Carlo - Daten Vergleich: Spurlänge



Vergleich

- Alle physics lists dicht beieinander
- Alle Spuren zu lang für hohe Energien
- Ausnahme: QGS_BIC und LHEP (nur für mittl. E)

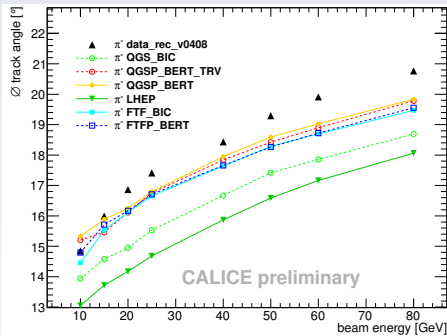
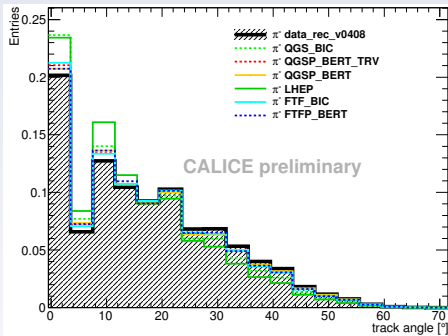
Monte Carlo - Daten Vergleich: Spurmultiplicität



Vergleich

- Alle physics lists erzeugen zu wenige Spuren bei hohen E
- Gruppierung: QGSP_BERT , QGSP_BERT_TRV , FTF_BIC , FTFP_BERT

Monte Carlo - Daten Vergleich: Spurwinkel



Vergleich

- Spuren aller physics lists haben zu kleine Winkel
- Gleiche Gruppierung wie bei Multiplizität
- Größte Diskrepanz wieder bei LHEP und QGS_BIC

Vergleich Monte Carlo - Daten: Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Gruppierung von QGSP_BERT , QGSP_BERT_TRV , FTF_BIC und FTFP_BERT
 - Keine großen Diskrepanzen zu Teststrahl-Daten
 - Mittelwert stimmt oftmals besser als tatsächliche Verteilung
 - Wahl der "besten" physics lists schwierig (evtl. QGSP_BERT /QGSP_BERT_TRV ?)
- QGS_BIC und LHEP haben große Ausreißer in Spurmultiplicität und -winkel
 - ⇒ Interpretation: Zu wenig sekundäre Teilchen unter hohen Winkeln (Schauer zu sehr nach "vorn" geboosted)

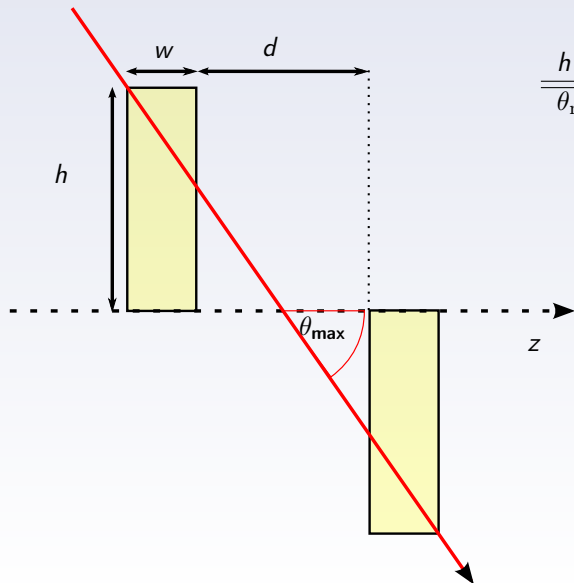
Zusammenfassung

Zusammenfassung

- CALICE: Neuer Kalorimetertyp mit hoher Granularität (“imaging calorimeter”)
- Algorithmus zur Spursegment Suche: Follow-Your-Nose
 - Hohe Reinheit und gute Effizienz in Spurfindung
- Gefundene Spuren dienen als Observablen für MC-Daten Vergleich:
 - Empfindlich ggü. Schauer Tails
 - Ähnliche Ergebnisse und gute Übereinstimmung mit Daten für QGSP_BERT , QGSP_BERT_TRV , FTF_BIC und FTFP_BERT
 - Größere Diskrepanzen bei LHEP und QGS_BIC
 - Aktiver Dialog mit GEANT4 Entwicklern

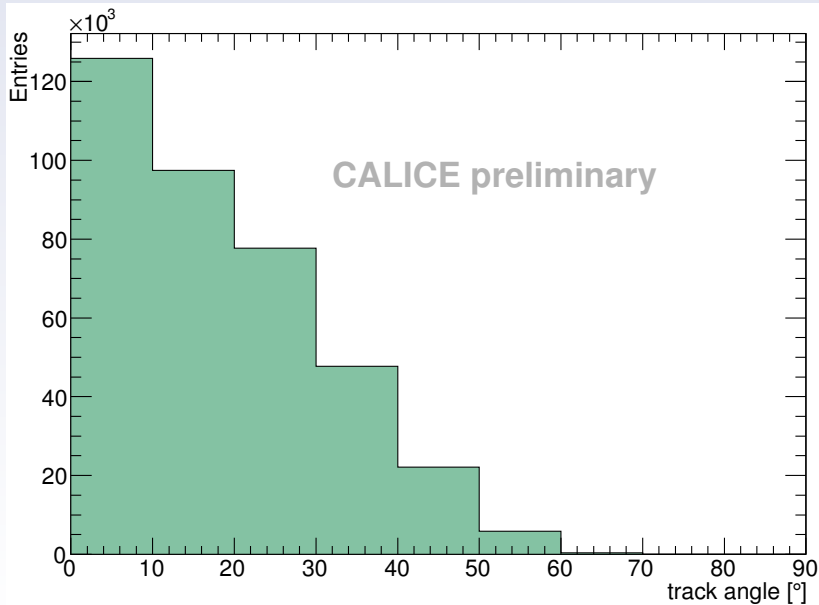
BACKUP

FYN: max angle

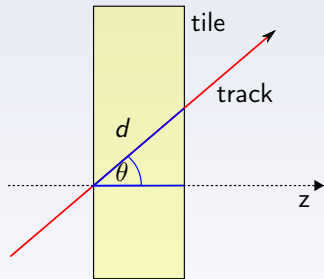


h [mm]	30	60	120
θ_{\max} [°]	58	72	81

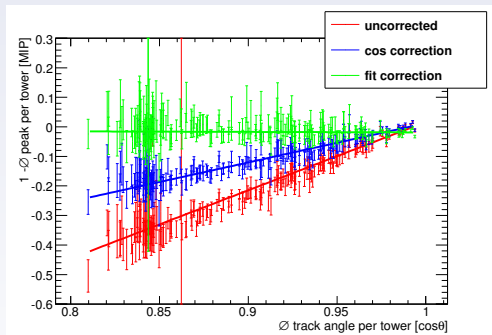
angle distribution



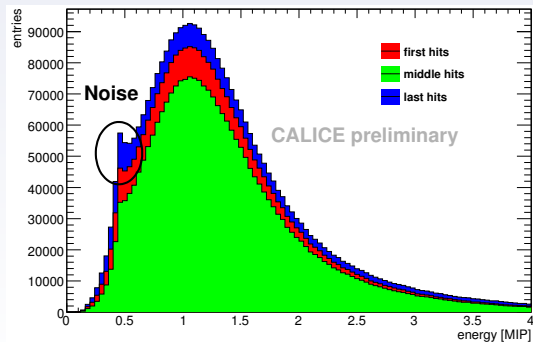
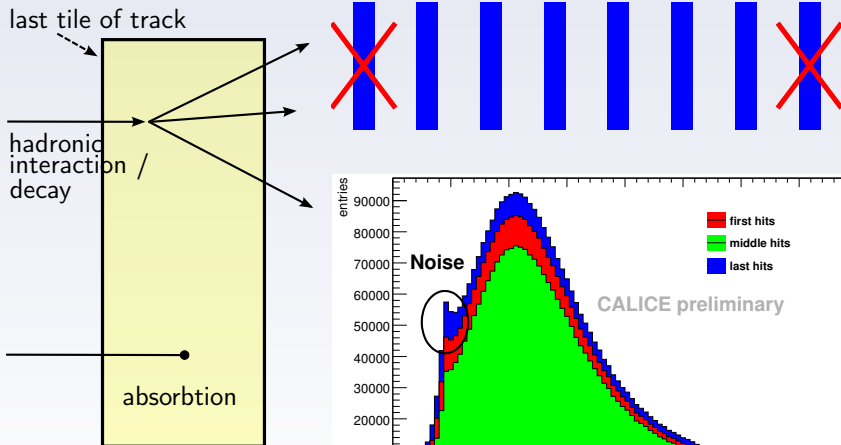
angle correction



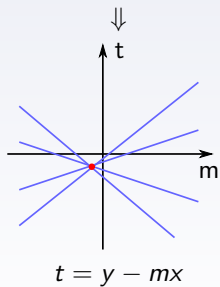
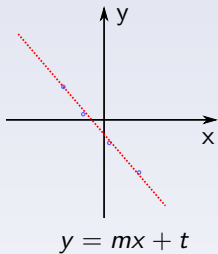
$$E_{\text{used}} = \cos \theta \cdot E_{\text{deposited}}$$



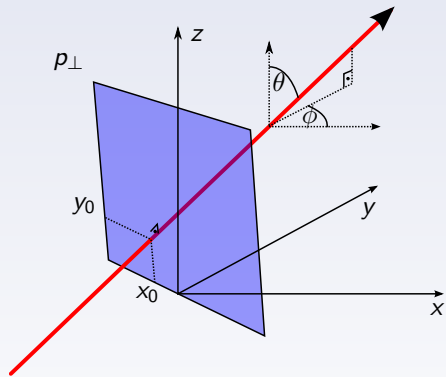
no first/last hit correction



Hough Transformation based tracking

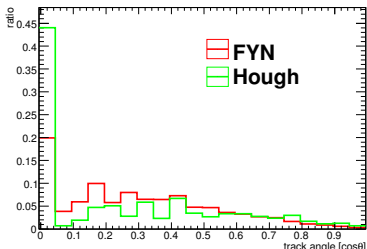
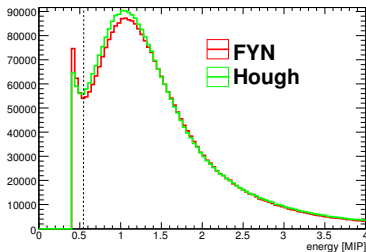
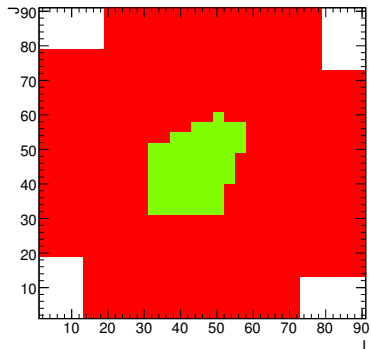
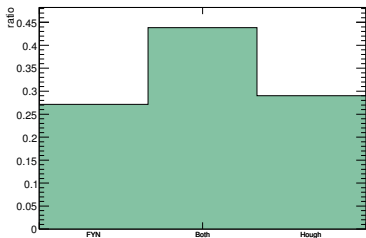


(1)

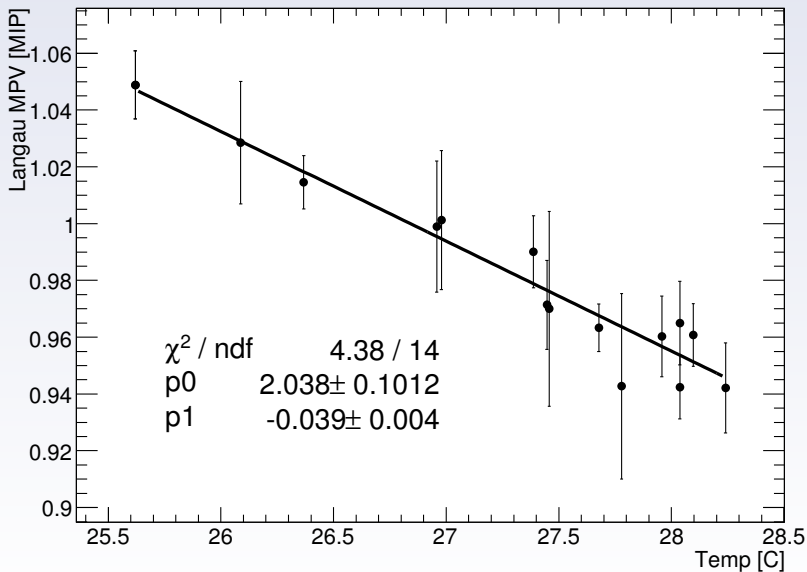


(2)

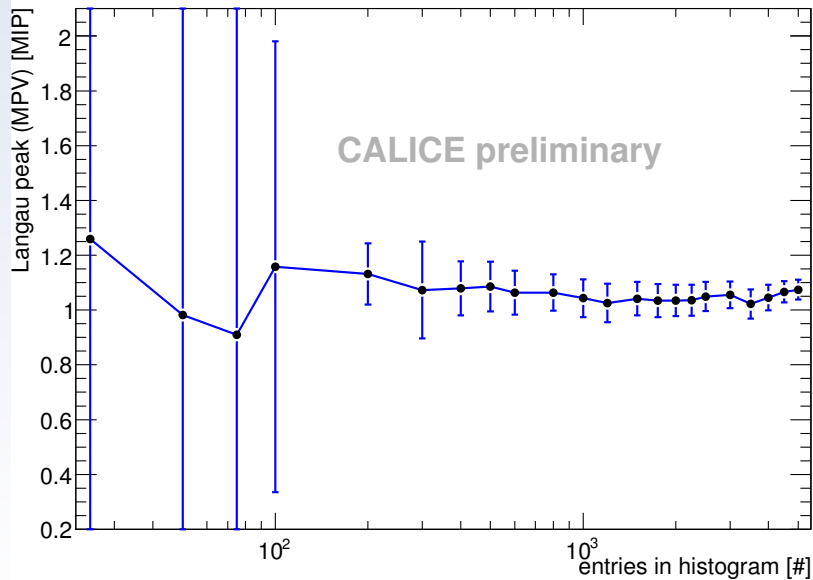
Differences FYN to Hough



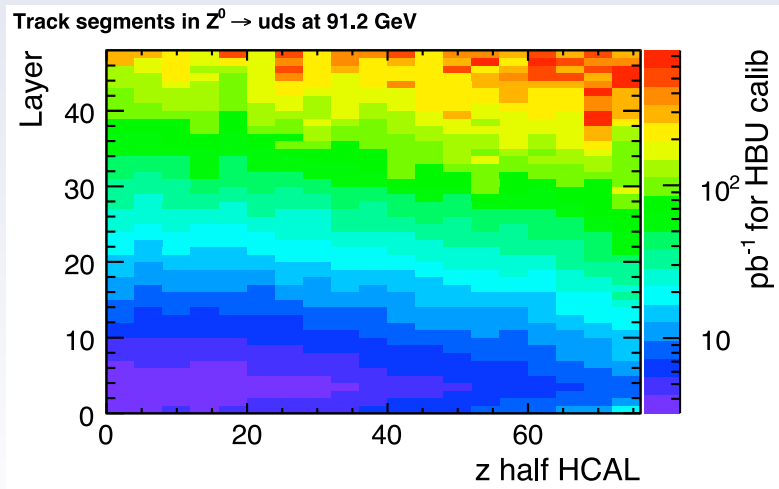
SiPM temperature dependence



Langau: statistical fit errors



Luminosity needed for Tracking Based Calibration at ILD



⇒ done within a few days plot by S. Lu

Calibration Constant Transportation Calculation

2 possibilities:

$$A(\text{TU corr}) = A_{\text{FNAL}} + \frac{dA}{dT} \Delta T + \frac{dA}{dU} \Delta U \quad (3)$$
$$A(\text{G corr}) = A_{\text{FNAL}} + \frac{dA}{dG} \Delta G$$

A Calibration constants

T Temperature

U SiPM applied Voltage

G SiPM Gain

used parameters

- FYN algorithm with default settings
 - min length: 6 layers
 - max gap size: 1 layer
- GEANT4 version 4.9.2
- Mokka version 0608-p01
- Mokka model TBCern0707_p0709

Geant4 hadronic models and physics lists

- high energy ($E > 20 \text{ GeV}$)
 - QGS: Based on Quark-Gluon-String theory model
 - FTF: Fritiof like theory model
- low energy ($E < 10 \text{ GeV}$) cascade models
 - Bertini
 - Binary
- $E < 10 \text{ MeV}$: Chiral Invariant Phase Space (CHIPS)
 - photo-nuclear and electro-nuclear
 - stopping negatively charged particles at rest in nuclei
- nucleus deexcitation: precompound model
- parametrized models: LEP and HEP \rightarrow LHEP
 - Based on GHEISHA from Geant3
 - Fast, but not as accurate as theory driven models
 - Used as backup if other models don't provide data

