

# Das T3B Experiment

Erste Ergebnisse zur Zeitauflösung hadronischer Schauer im  
hochgranularen CALICE Szintillator-Wolfram Kalorimeter

Tungsten Timing



TestBeam

DPG Frühjahrstagung – 31. März 2011



Max-Planck-Institut für Physik  
(Werner-Heisenberg-Institut)

C. Soldner, F. Simon, L. Weuste  
Max-Planck-Institut für Physik





# Überblick



- Einführung
- Das T3B Setup (Tungsten Timing Test Beam)
- Methoden zur Datenanalyse
- Simulationsstudien
- Erste Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick



# EINFÜHRUNG



# Einführung: ILC, CLIC



## Planung eines Linearbeschleunigers für Präzisionsstudien neuer Physik:

**2 Konzepte:** International Linear Collider (ILC) <-> Compact Linear Collider (CLIC)

500 GeV

3TeV

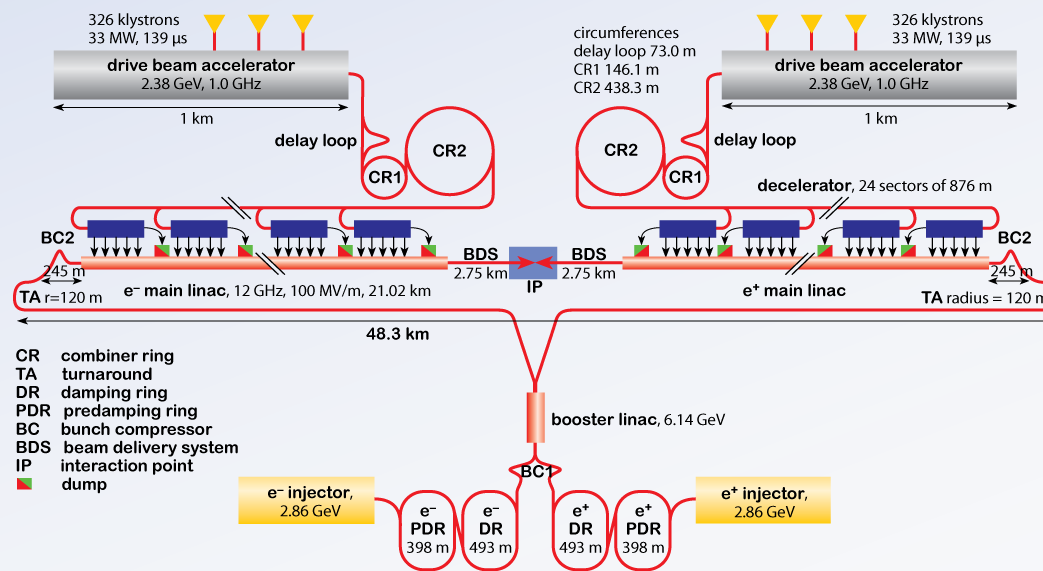
fortgeschrittenes Planungsstadium

in Konzeptionsphase

→ Letztendlich entscheidet LHC

→ Hier thematisiert: Anforderungen an ein Kalorimeter für CLIC

CLIC  
Layout





# Die Anforderungen an ein CLIC Kalorimeter



## Besonderheit bei CLIC:

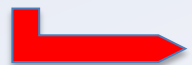
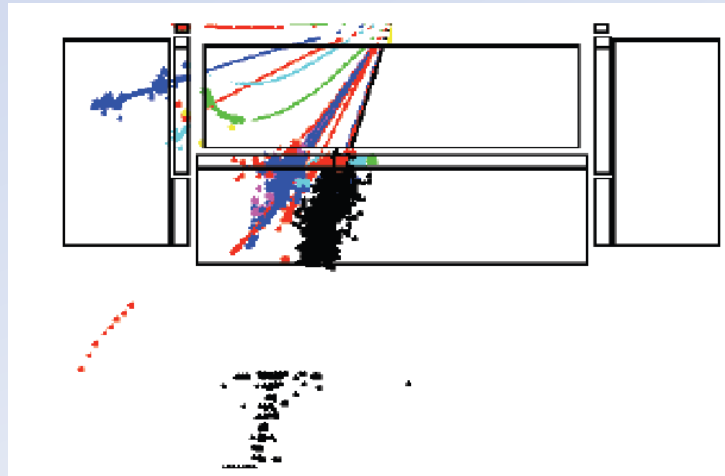
- Kollisionsenergie 3TeV
- Zeitlicher Bunch Abstand: **0.5ns**
- # BX/Bunch Train: **312 (in 156ns)**

## Herausforderungen:

- Hoher Untergrund durch  $\mathcal{N} \rightarrow$  Hadronen  
~ 9 Hadronen / Bunch Crossing in Barrel Region
- Vollständige Vermessung hochenergetischer Jets
- Erfüllung räumlicher Beschränkungen (Magnet)

Untergrundunterdrückung nötig  
→ Versee Ereignisse mit  
Zeitstempel (auch im CAL)

Sehr dichtes HCAL nötig  
→ Wolfram als Absorber  
(statt Stahl)



Potentielle Probleme durch die Eigenschaften von Wolfram



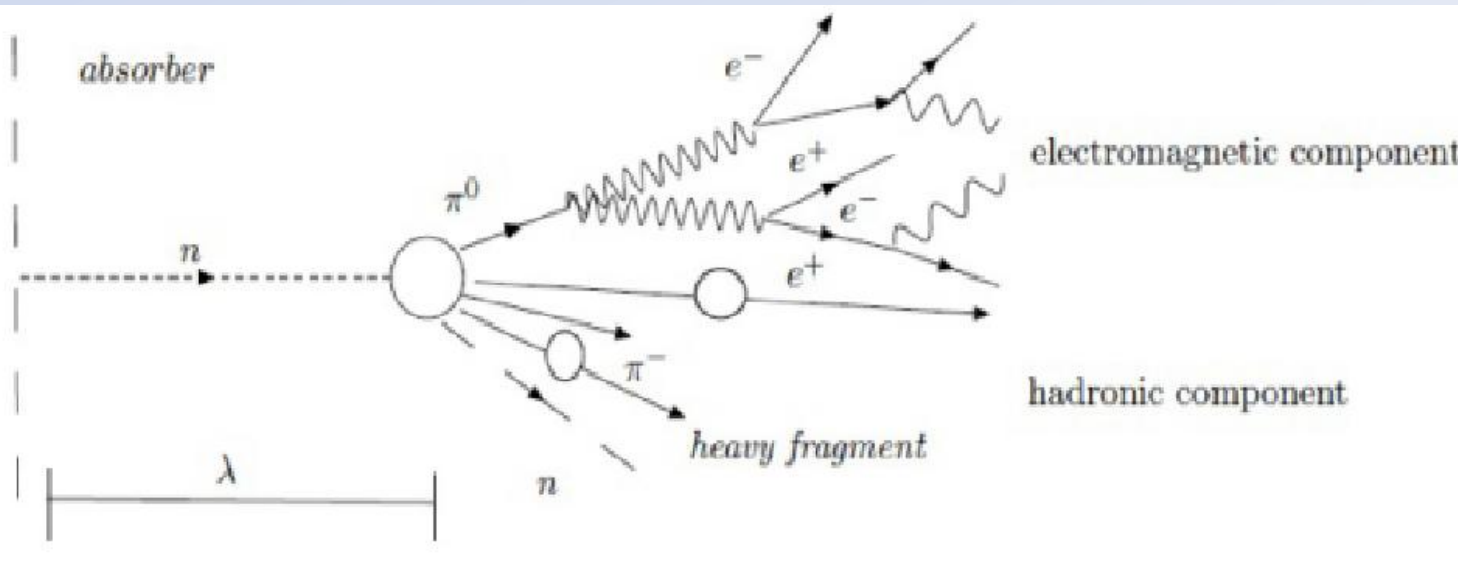
# Ziele des T3B Experiments



Mit welcher zeitlichen Präzision können Teilchenschauer markiert werden?

## Faktoren:

- Was kann die Detektortechnologie leisten?
- Teilchenschauer sind nicht instantan



**Verspätete Komponente:**  
Photonen,  
Neutronen,  
Protonen von  
angeregten Kernen

- Einfluss der verspäteten Komponente abhängig vom Nukleus des Absorbermaterials  
→ Höherer Einfluss bei Wolfram erwartet (schwererer Kern, unabgeschlossene Schalen...)



# Ziele des T3B Experiments



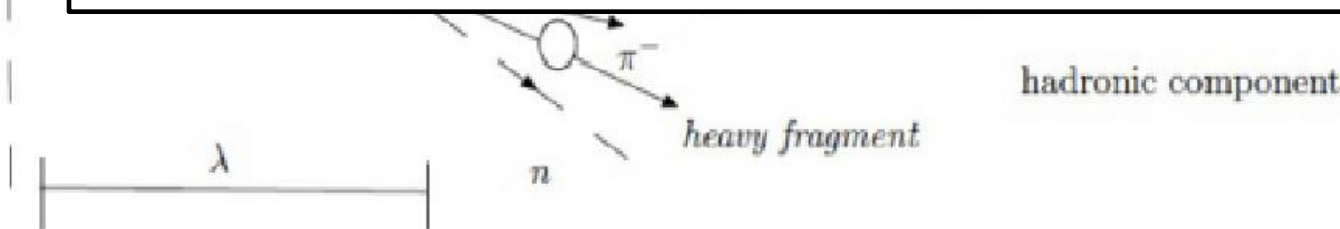
Mit welcher zeitlichen Präzision können Teilchenschauer markiert werden?

Faktoren:

- Was kann die Detektortechnologie leisten?
- Teilchenschauer sind nicht instantan

Ziele des T3B Experiments:

- Untersuchung der zeitlichen Struktur hadronischer Schauer im W-HCAL
- Performance Checks für CLIC Detektor werden mit GEANT4 durchgeführt  
→ Ist die standardmäßig verwendete Physikliste die Richtige?



Protonen von  
angeregten Kernen

- Einfluss der verspäteten Komponente abhängig vom Nukleus des Absorbermaterials  
→ Höherer Einfluss bei Wolfram erwartet (schwererer Kern, unabgeschlossene Schalen...)



# **DAS T3B SETUP**

## **(TUNGSTEN TIMING TEST BEAM)**

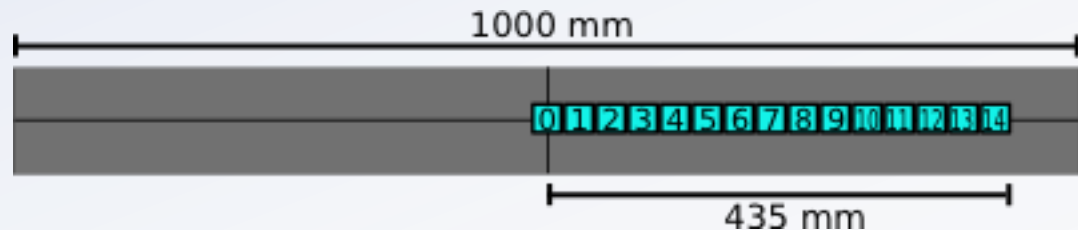
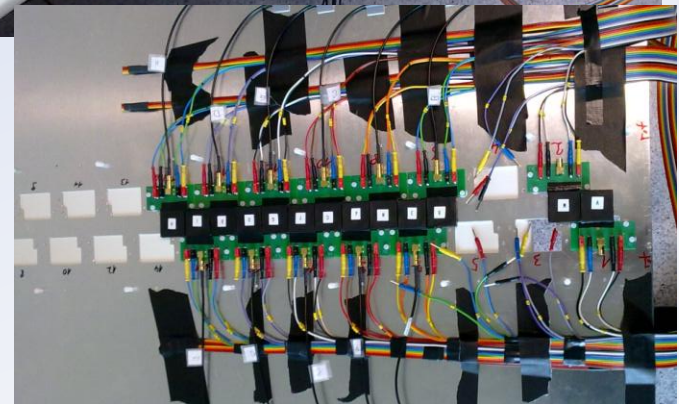
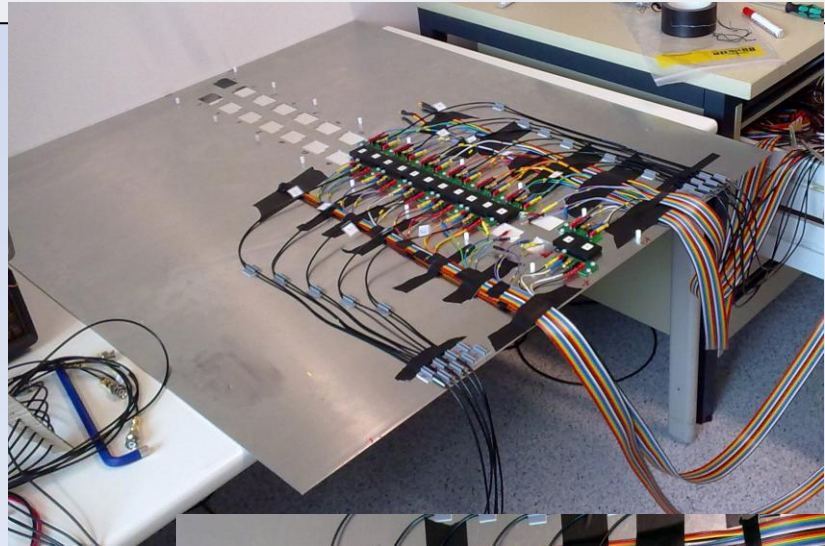




# Der Test Beam Setup von T3B



- Eine Lage mit 15 Szintillatorkacheln
- Kacheldim  $3 \times 3 \times 0.5 \text{ cm}^3$  (wie CALICE)
- SiPM: Hamamatsu MPPC-50C
- Datennahme: 4 x PicoScope 6403
  - Schnelle Digitizer (1.25GSa/s auf 4CH)
  - Speichertiefe von 1GSa
  - Hohe Rate der Datennahme (bis zu 1MHz)

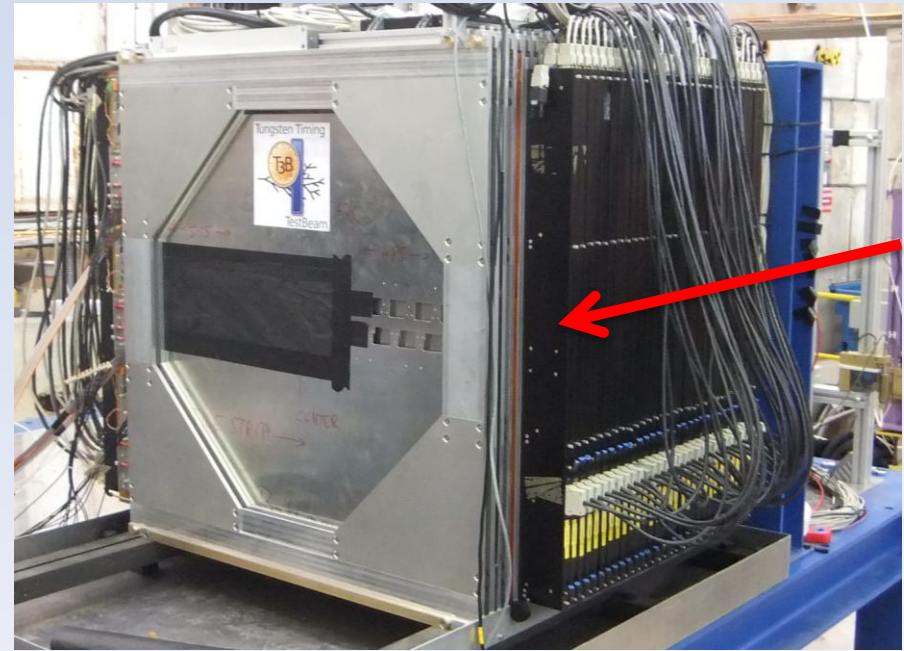




# Das T3B Experiment und CALICE



- Die T3B Lage wird hinter dem CALICE Wolfram HCAL positioniert
- T3B war Teil des Testbeamprogramms im Nov 2010 am CERN PS
- Strahlzusammensetzung: e, mu, pi, K, p
- Energiebereich: 2-10GeV

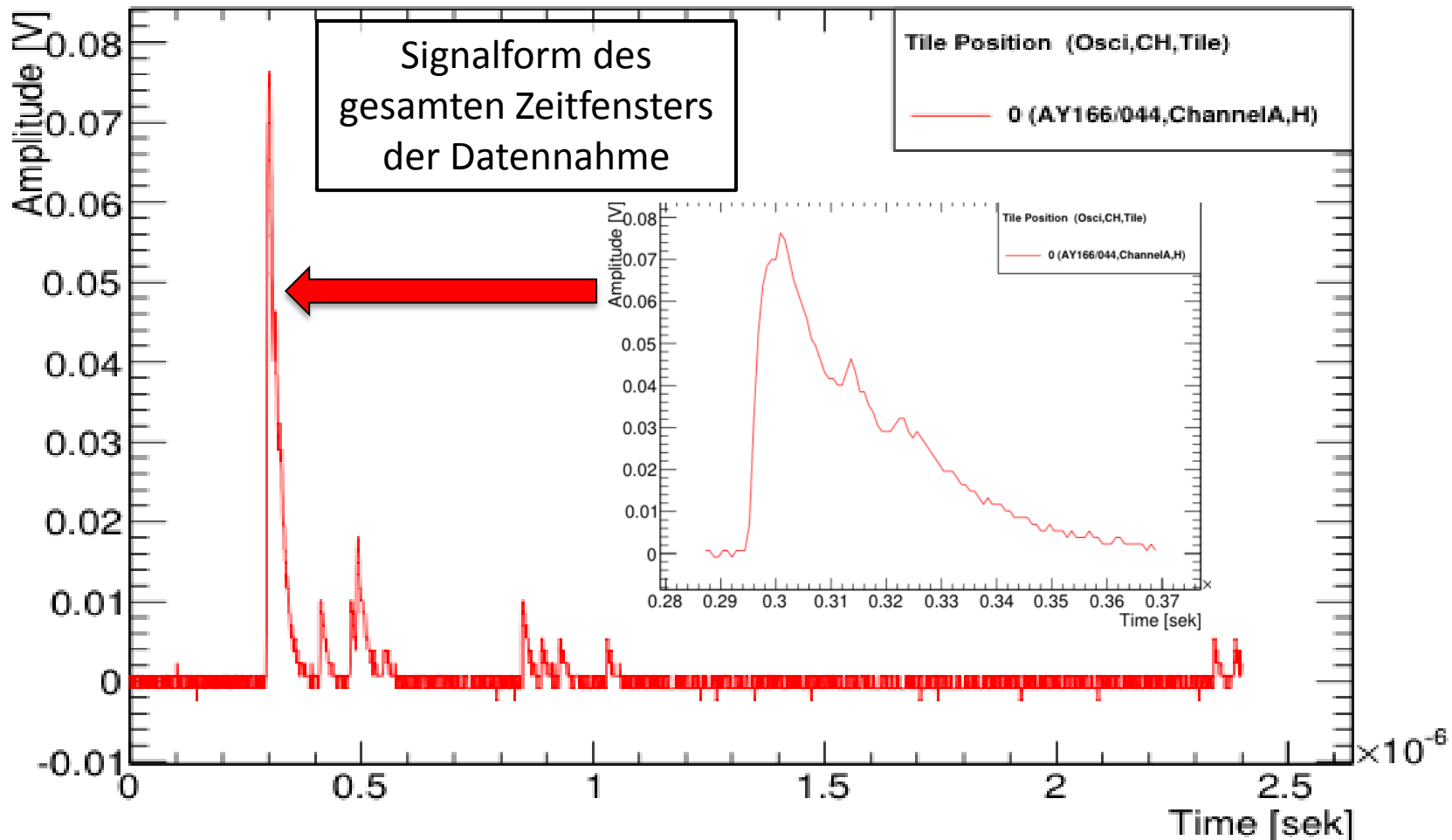




# **METHODEN ZUR DATENANALYSE**



# Methoden zur Datenanalyse



Signalform eines typischen T3B-Ereignisses auf einem Kanal:

Charakteristika: → Hohe primäre Energiedeposition  
→ gefolgt von späten Signalen



# Methoden zur Datenanalyse



Schritte der Datenprozessierung (wird immer zellenweise durchgeführt):

**Pedestal Subtraktion**



# Methoden zur Datenanalyse

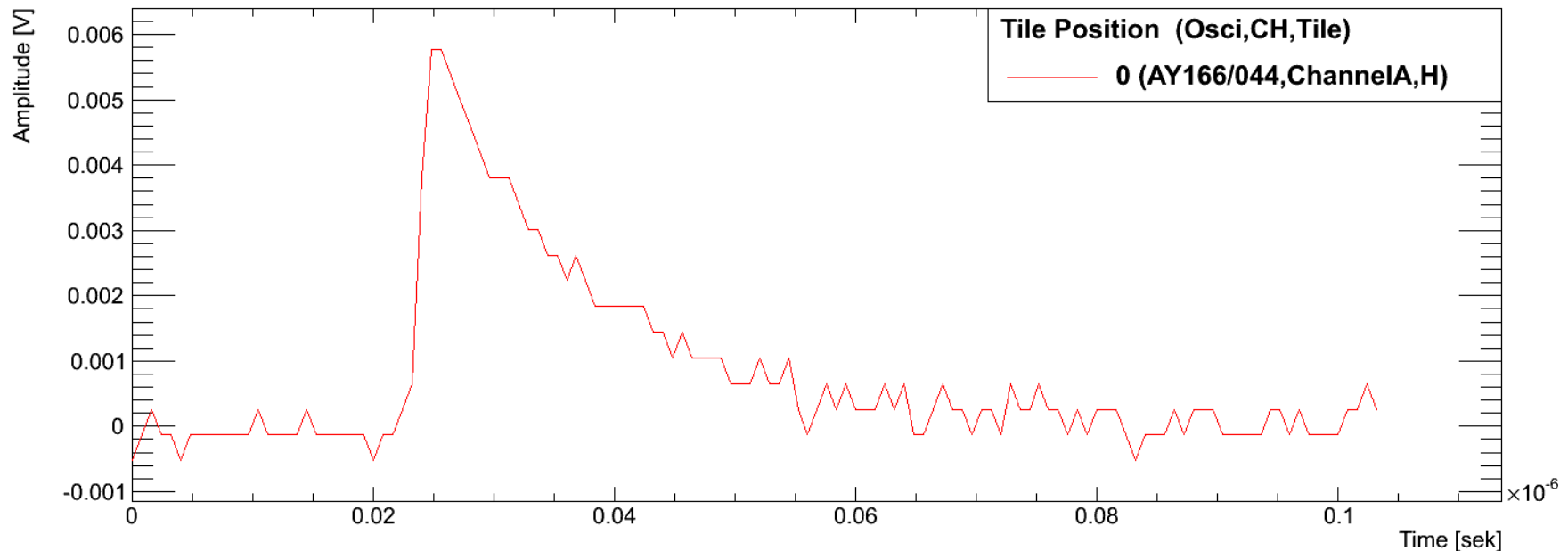


Schritte der Datenprozessierung (wird immer zellenweise durchgeführt):

Pedestal Subtraktion → **Mittelung**

- **Mittelung** von 1p.e. Waveforms (entspricht 1 gefeuerten SiPM Pixel)

Typical 1 p.e. Waveform @ Tile Position: 0







# Methoden zur Datenanalyse

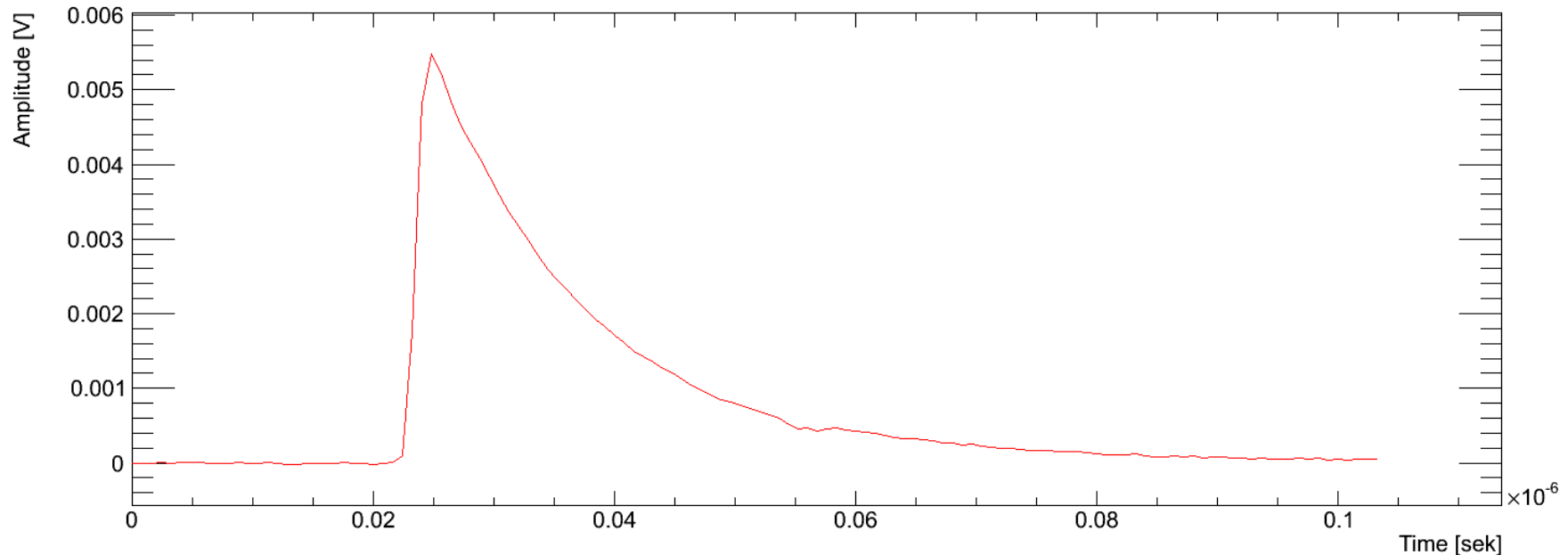


Schritte der Datenprozessierung (wird immer zellenweise durchgeführt):

Pedestal Subtraktion → **Mittelung**

- **Mittelung** von 1p.e. Waveforms (entspricht 1 gefeuerten SiPM Pixel)

Averaged 1 p.e. Waveform @ Tile Position: 0





# Methoden zur Datenanalyse

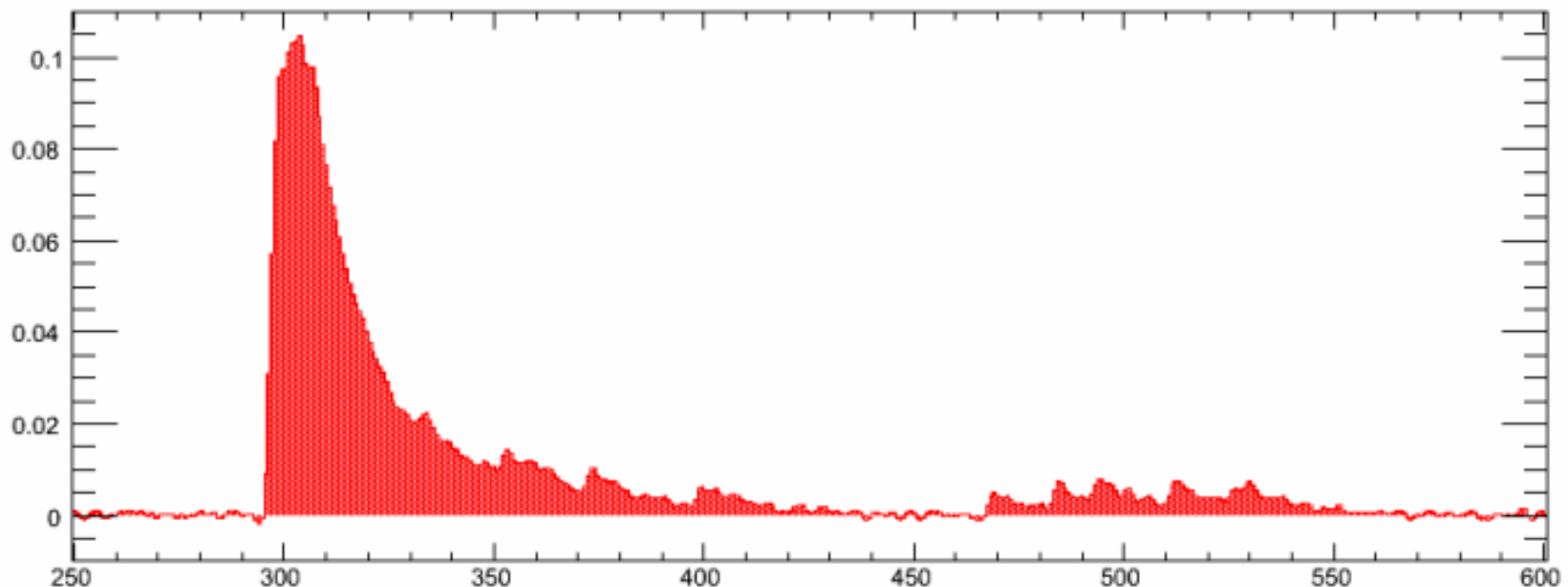


Schritte der Datenprozessierung (wird immer zellenweise durchgeführt):

Pedestal Subtraktion → Mittelung → **Zerlegung der Waveforms**

- **Zerlegung der Waveforms:** Iterative Substraction der gemittelten 1p.e. Waveforms vom lokalen Maximum der Waveform.

Event1212 Tile Position0 - Step1







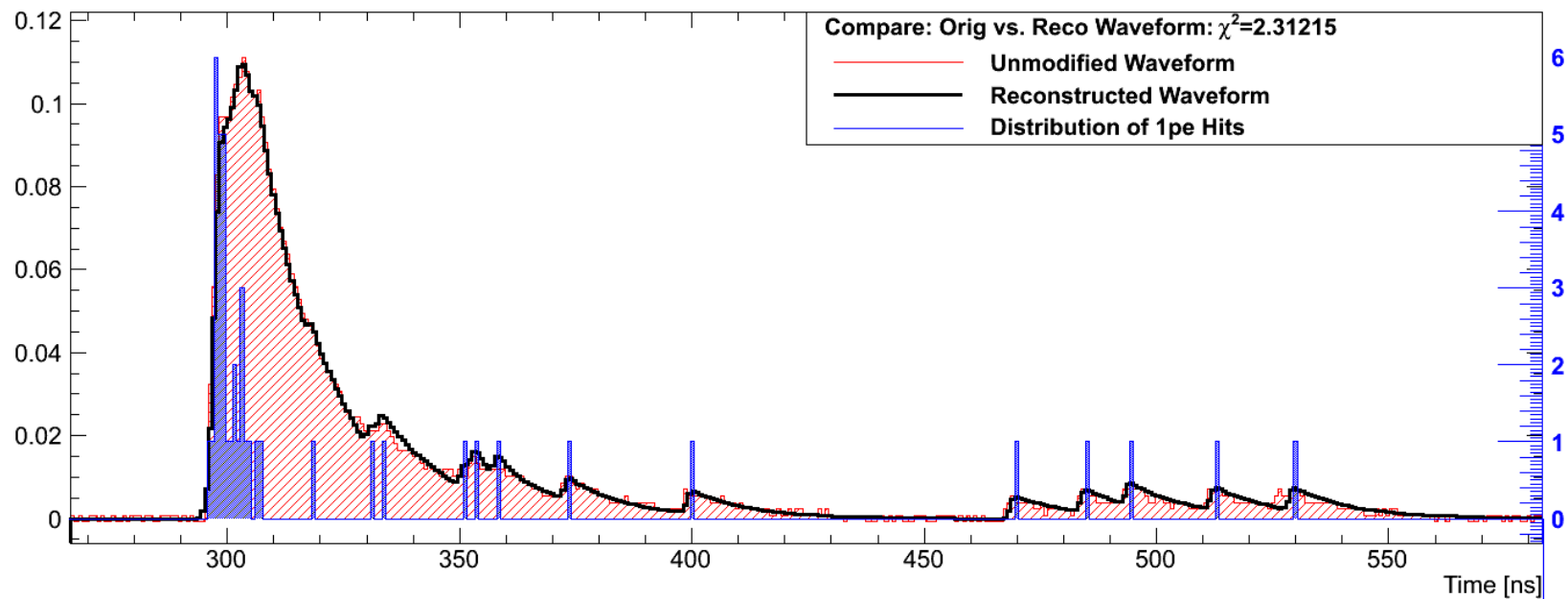
# Zerlegung der Waveforms



## Überprüfung des Erfolgs der Prozedur:

Rekonstruktion der ursprünglichen Waveform aus dem 1p.e. hit histogram

→ Gute Übereinstimmung



→ Präzise Angabe der Ankunftszeiten der Photonen auf dem Photosensor möglich

→ Die Analyse wird im Folgenden auf dem 1p.e. Hit Histogram ausgeführt

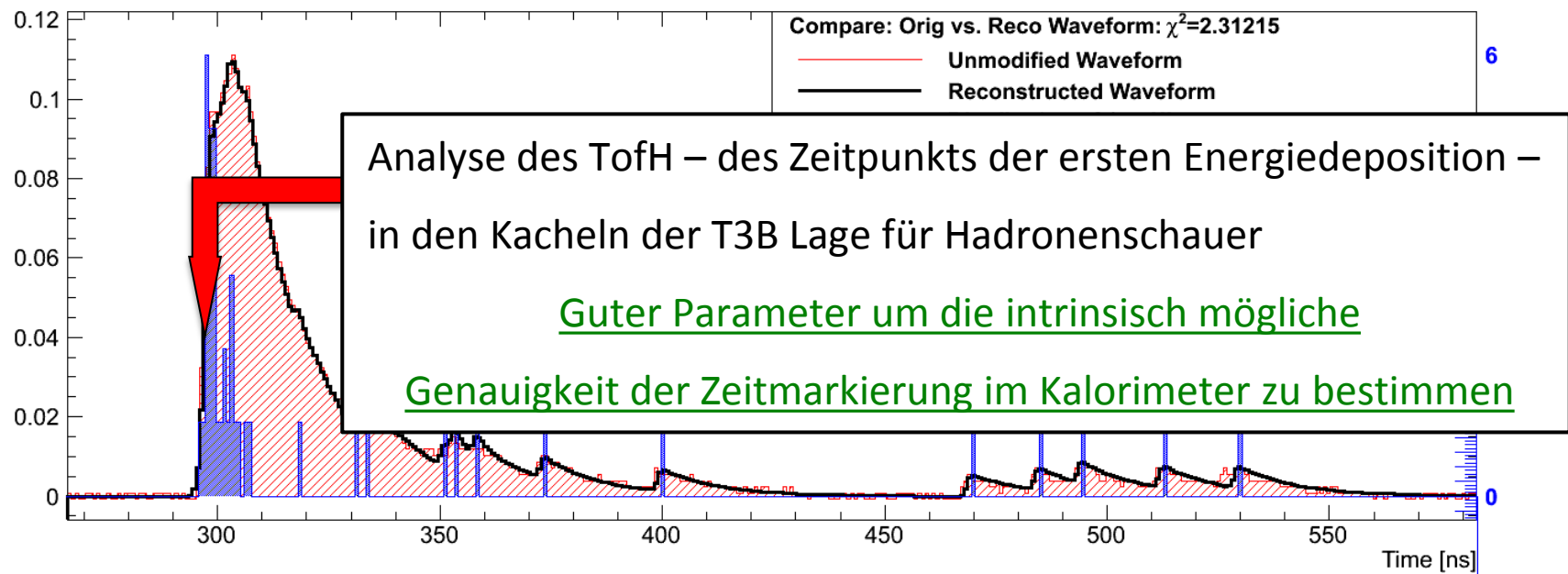


# Zerlegung der Waveforms

## Überprüfung des Erfolgs der Prozedur:

Rekonstruktion der ursprünglichen Waveform aus dem 1p.e. hit histogram

→ Gute Übereinstimmung



→ Präzise Angabe der Ankunftszeiten der Photonen auf dem Photosensor möglich

→ Die Analyse wird im Folgenden auf dem 1p.e. Hit Histogram ausgeführt

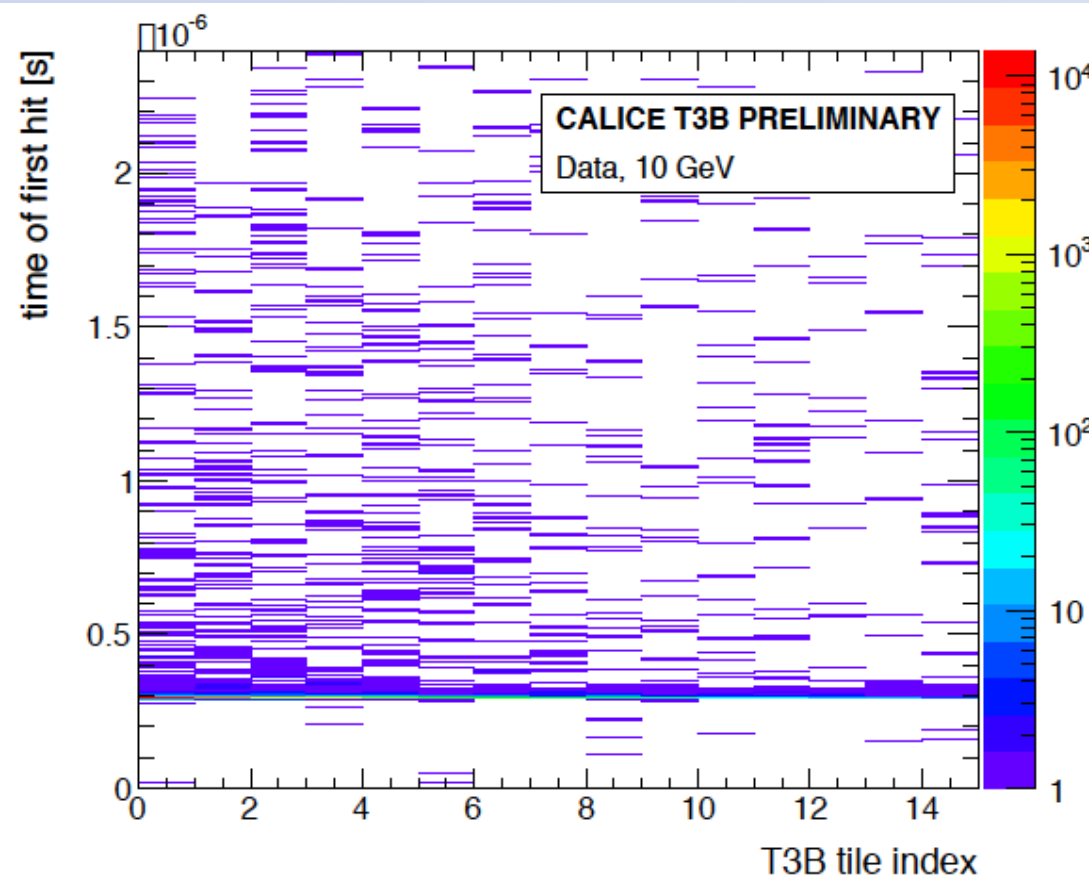


# Datenanalyse: Time of first Hit (TofH)



Daten Run: 645k  $\pi^-$  Ereignisse bei 10 GeV

**Verteilung des time of first hit als Funktion der radialen Kachelposition:**



- Beamachse durch T3B Kachel 0
  - Distanz:  
Kachel 10  $\leftrightarrow$  Strahlachse: 30cm
- Ereignisse akkumulieren bei 300ns  
(Koinzidenz mit Strahlteilchen)
- Ausserdem deutlich sichtbar:  
Späte Aktivität im Hadronschauer



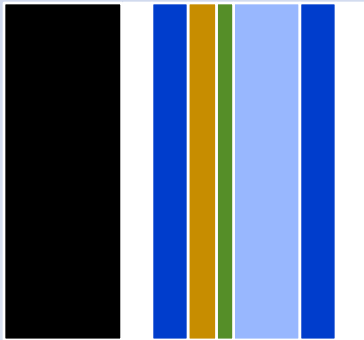
# SIMULATIONSSTUDIEN



# GEANT4 Simulation



- Das CALICE Wolfram Kalorimeter wird approximiert durch:
  - 31 Lagen (T3B wird als 31<sup>te</sup> Calice Lage approximiert)  $\sim 4$  Lambda



10 mm Tungsten    2 mm Steel    5 mm Scintillator  
1 mm Steel    1.5 mm Cable/Fiber    2 mm Steel  
1.5 mm Air    1 mm PCB    1.5 mm Air

Die Lagen wurden gemäß der CALICE  
Geometriebeschreibung modelliert (ohne 3M Folie)  
Wolfram: 94% W, 4% Ni, 2% Cu, Dichte  $17.6 \text{ g/cm}^3$   
Totale Lagendicke: 24.5 mm

- Simulation in GEANT4.9.3:

**Physiklisten:** QGSP\_BERT: Standardliste für ILC und LHC

QGSP\_BERT\_HP (high prec. neutron tracking): Erweiterung von QGSP\_BERT

- 800k  $\pi^-$  Ereignisse bei 10 GeV



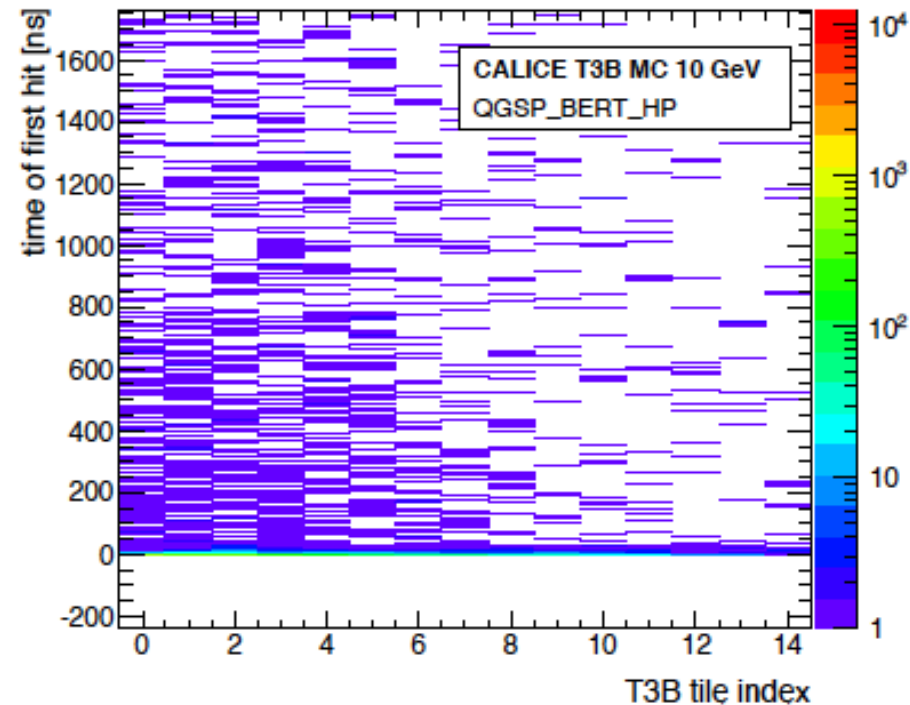
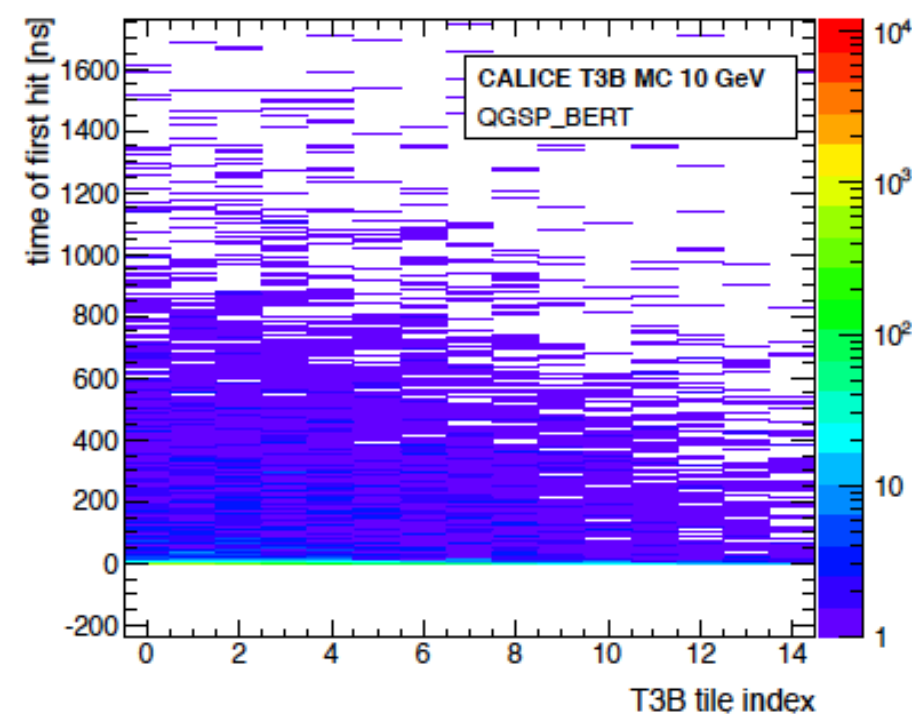
# Simulation: Time of first Hit (TofH)



Vergleich der time of first hit Verteilung für QGSP\_BERT vs. QGSP\_BERT\_HP

- Ausgeprägte Unterschiede in der späten Schauerentwicklung sichtbar

Signifikante Reduktion später Energiedepositionen für QGSP\_BERT\_HP





# ERSTE ERGEBNISSE



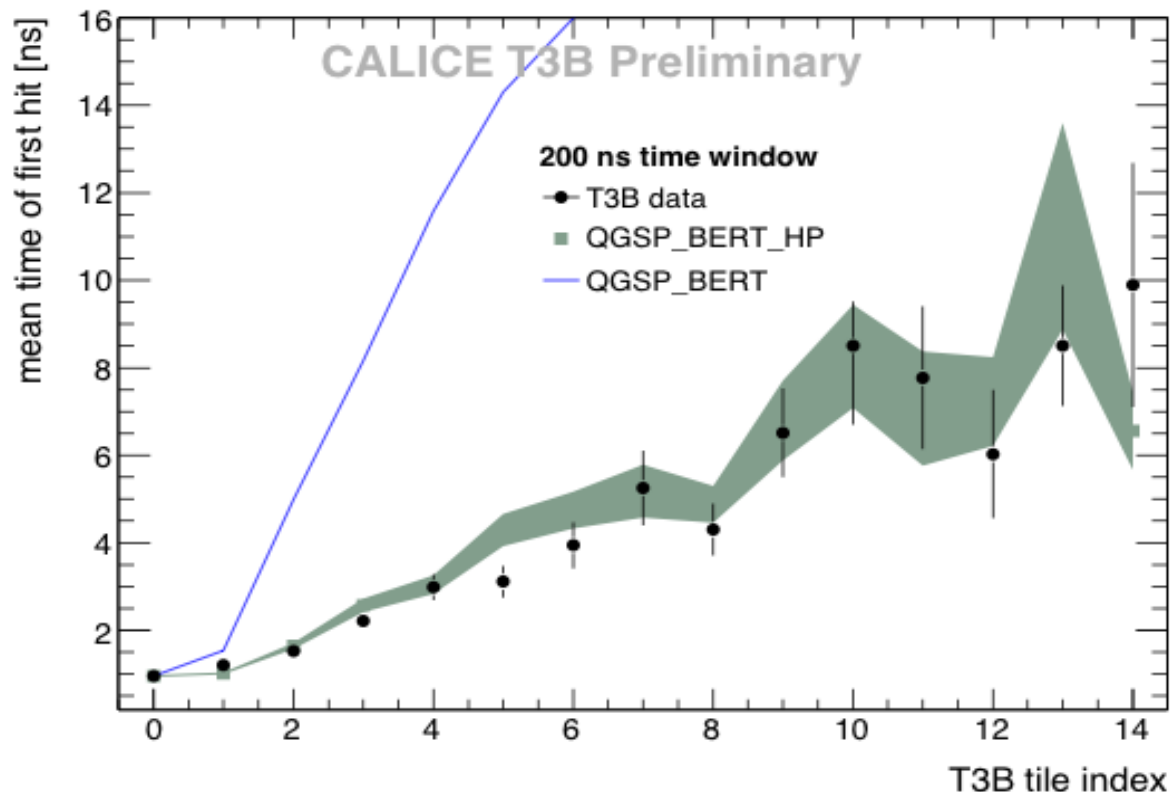
# Erste Ergebnisse: Daten vs. MC



Verlässlicher Vergleich von Daten zu MC erfordert:

- Zellweise Bestimmung des mean ToFH
- Wähle Zeitfenster von 200ns (-10ns to +190ns) um Teilchenkoinzidenz

Grund: Länge des CLIC Bunch Trains ist 156ns



- Daten gut reproduziert durch QGSP\_BERT\_HP
- QGSP\_BERT überschätzt späte Beiträge bei großen Radian





# **ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK**



# Zusammenfassung und Ausblick



## Zusammenfassung:

Präsentiert wurden erste Ergebnisse zur Zeitstruktur hadronischer Schauer

**Setup:** Wir untersuchten  $\pi^-$  Ereignisse bei 10 GeV im CALICE W-HCAL in einer Tiefe von 4 Absorptionslängen mit dem T3B Timing Layer

**Time of first hit:** Schlüsselparameter für erste Untersuchung der Zeitstruktur

**Vergleich Daten <-> MC:** Gute Übereinstimmung mit QGSP\_BERT\_HP und signifikante Unterschiede mit QGSP\_BERT (der Standardliste für ILC, LHC)

## Ausblick:

**Detailliertere Untersuchung** durch Einbeziehung der CALICE Daten möglich  
(erste 3D (Zeit + 2 Raumdim.) Untersuchungen durch Schauerstartpunkt)

**2011:** T3B Teil des CERN SPS Test Beam Programm

Hadronenschauer bis ca. 300GeV vermessbar



# BACKUP



# Datenanalyse: Time of first Hit (TofH)



Analyse des TofH – des Zeitpunkts der ersten Energiedeposition – in der T3B Lage für Hadronenschauer:

- Durchsuche die Waveform nach dem ersten Zeitfenster von 9.6ns Breite in dem mehr als 8 p.e. deponiert wurden
- Der erste Abtastpunkt dieses Zeitfensters entspricht dem TofH

Konfiguration:	T3B Standalone Analysis
Energie:	10GeV (Größte Hitwahrscheinlichkeit für T3B)
Statistik:	720.000 Ereignisse (650.000 akzeptiert)
Teilchen:	Pi- (neg. um Kontamination mit Protonen zu vermeiden, eine Cerenkov Selektion wird in Zukunft durchgeführt)

Anmerkung: **Im Moment wird noch keine zellweise MIP Amplitudenkalibration durchgeführt**

→ **Es wird erwartet, dass dies nur durch Korrekturen höherer Ordnung beiträgt**

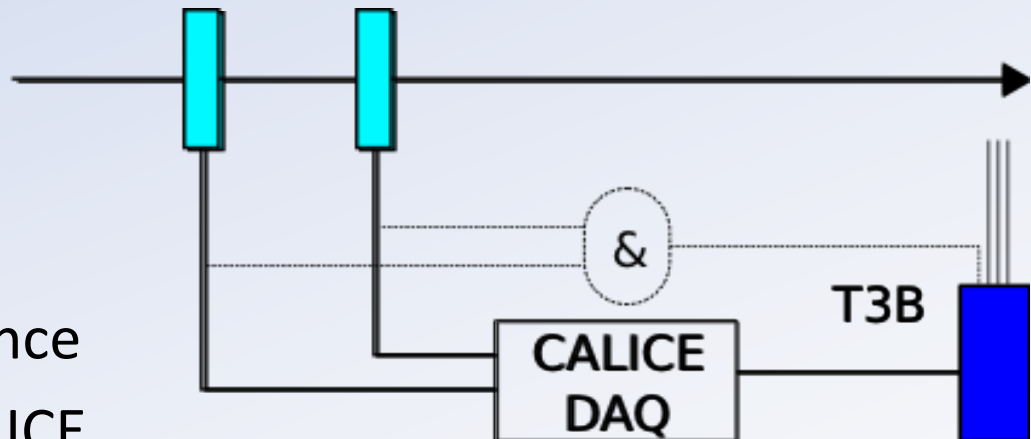


# CALICE <-> T3B: Synchronisation



- Goal: Use CALICE HCAL to determine shower start information
  - T3B events need to be in sync with CALICE

- Trigger Setup:
  - CALICE Trigger on Scintillator Coincidence
  - T3B Trigger on CALICE
  - T3B monitors Scintillator Coincidence on one channel





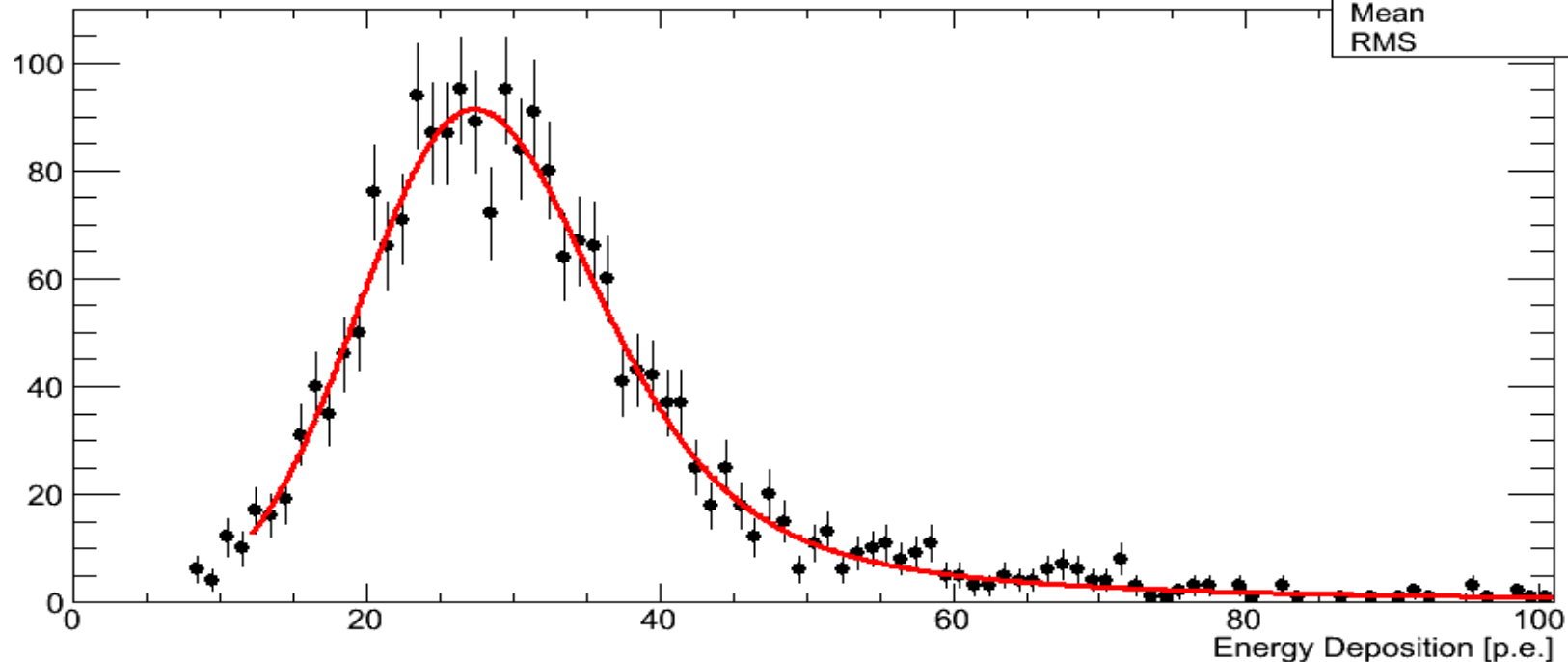
# Data Analysis: Waveform Decomposition



Check the data processing with muon runs:

Consider a hit if  $> 8\text{p.e.}$  are deposited within  $9.6\text{ns}$  (or  $96\text{ns}$ )

**Muon Distribution for TilePosition: 0 - LangauPeak: 27.4083 PeakError: 0.393583**



→ Obtain a reduced MIP amplitude of  $20\text{p.e.}$  ( $27.4\text{p.e.}$  for  $96\text{ns}$ )

→ A large fraction of SiPM afterpulses are excluded

→ Reduction of the muon peak width as fluctuations from afterpulsing are



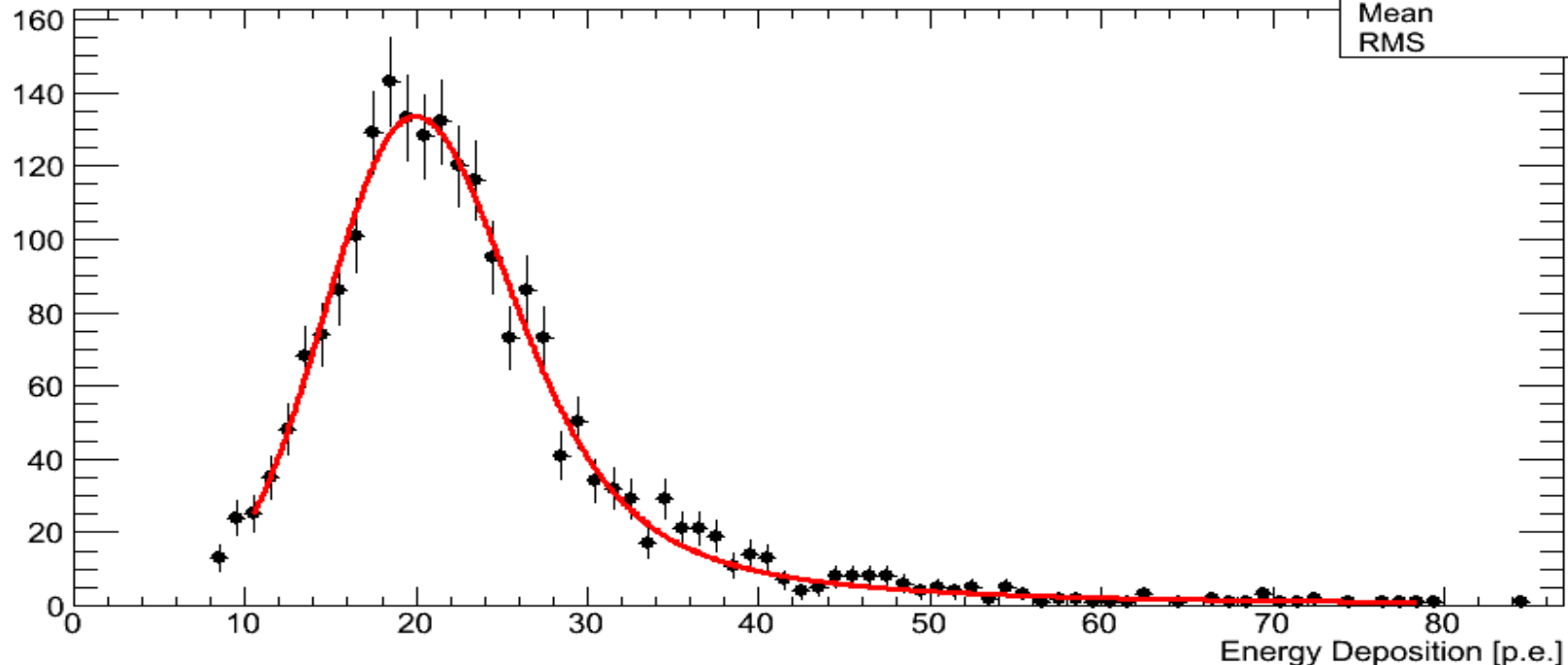
# Data Analysis: Waveform Decomposition



Check the data processing with muon runs:

Consider a hit if  $> 8$  p.e. are deposited within 9.6ns (or 96ns)

**Muon Distribution for TilePosition: 0 - LangauPeak: 19.9926 PeakError: 0.262278**



→ Obtain a reduced MIP amplitude of 20p.e. (27.4p.e. for 96ns)

→ A large fraction of SiPM afterpulses are excluded

→ Reduction of the muon peak width as fluctuations from afterpulsing are

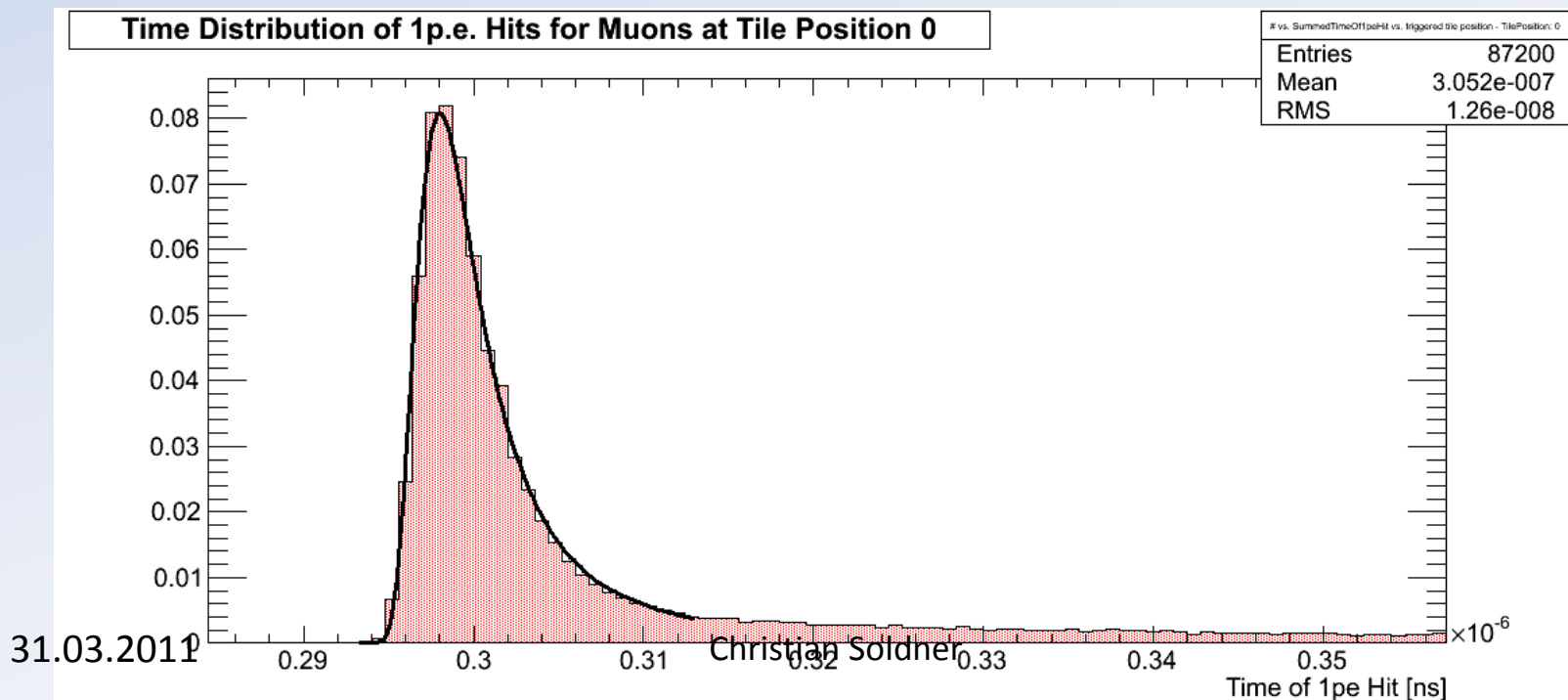


# Simulation: Data Processing



Simulation processing very close to data processing procedure:

- **Subdivide** the GEANT4 energy depositions in 0.8ns time bins
- **Time smearing**: Include the time structure of the response of the T3B system to instantaneous edeps (scintillator const, SiPM response, photon travel time)  
→ approximate the 1p.e. hit distribution of muons (data) and smear each time bin
- (Sim) Demand  $> 0.4\text{MIP}$  within 9.6ns and accept the first time bin as the **TofH**





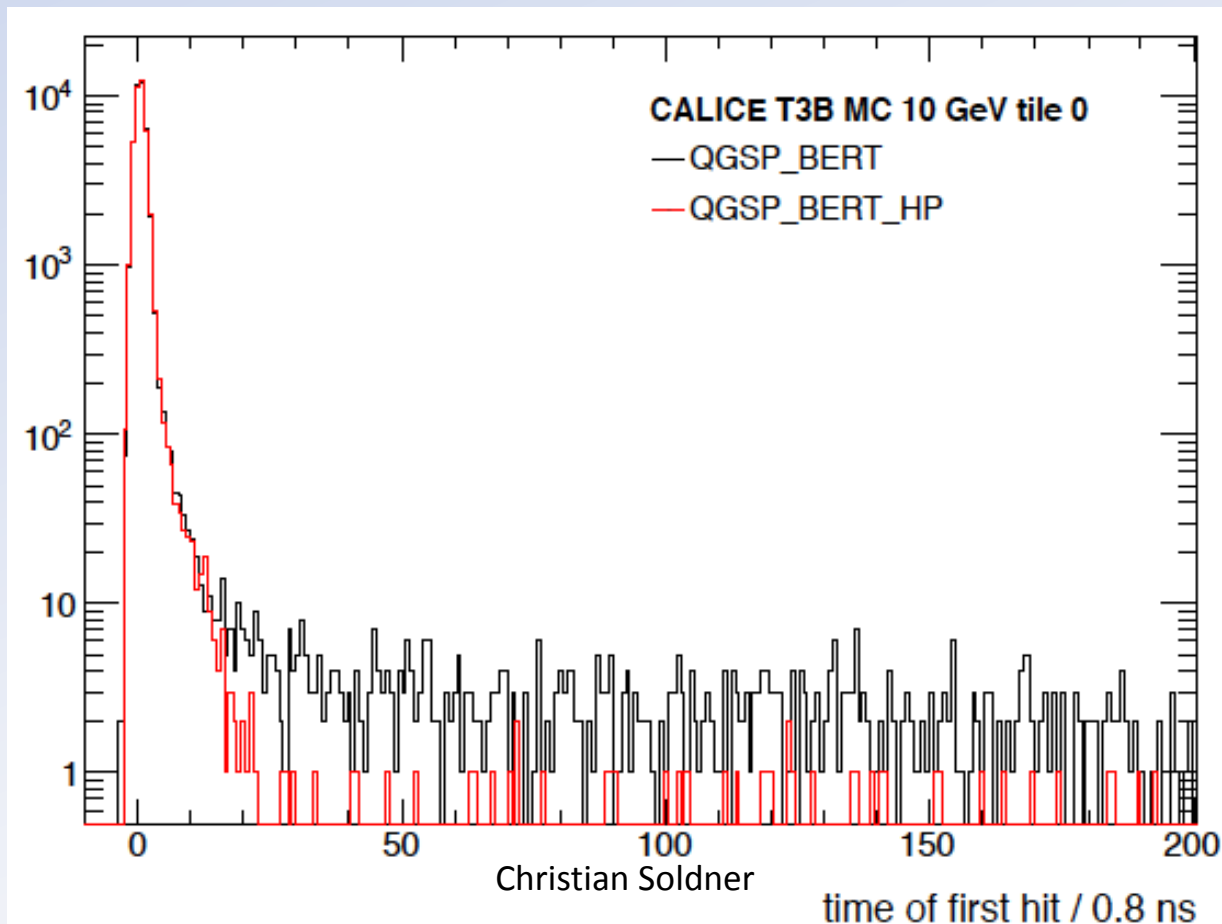


# Simulation: Time of first Hit (TofH)



Comparison of the time of first hit distribution: QGSP\_BERT vs. QGSP\_BERT\_HP

- Striking difference in the late shower evolution  
→ delayed energy depositions considerably reduced in HP





# Methoden zur Datenanalyse



Schritte der Datenprozessierung (wird immer zellenweise durchgeführt):

- **Pedestal Subtraktion**
- **Filter:** Waveforms mit einem totalen Integral  $< 0.3\text{MIP}$  werden nicht prozessiert  
→ Erhöhung der Geschwindigkeit der Datenprozessierung
- **Mittelung** von 1p.e. Waveforms (entspricht 1 gefeuerten SiPM Pixel)
- **Zerlegung der Waveforms:** Iterative Substraction der gemittelten 1p.e. Waveforms vom lokalen Maximum der Waveform. Stop der Iteration sobald kein Maximum größer 0.5p.e. mehr gefunden werden kann

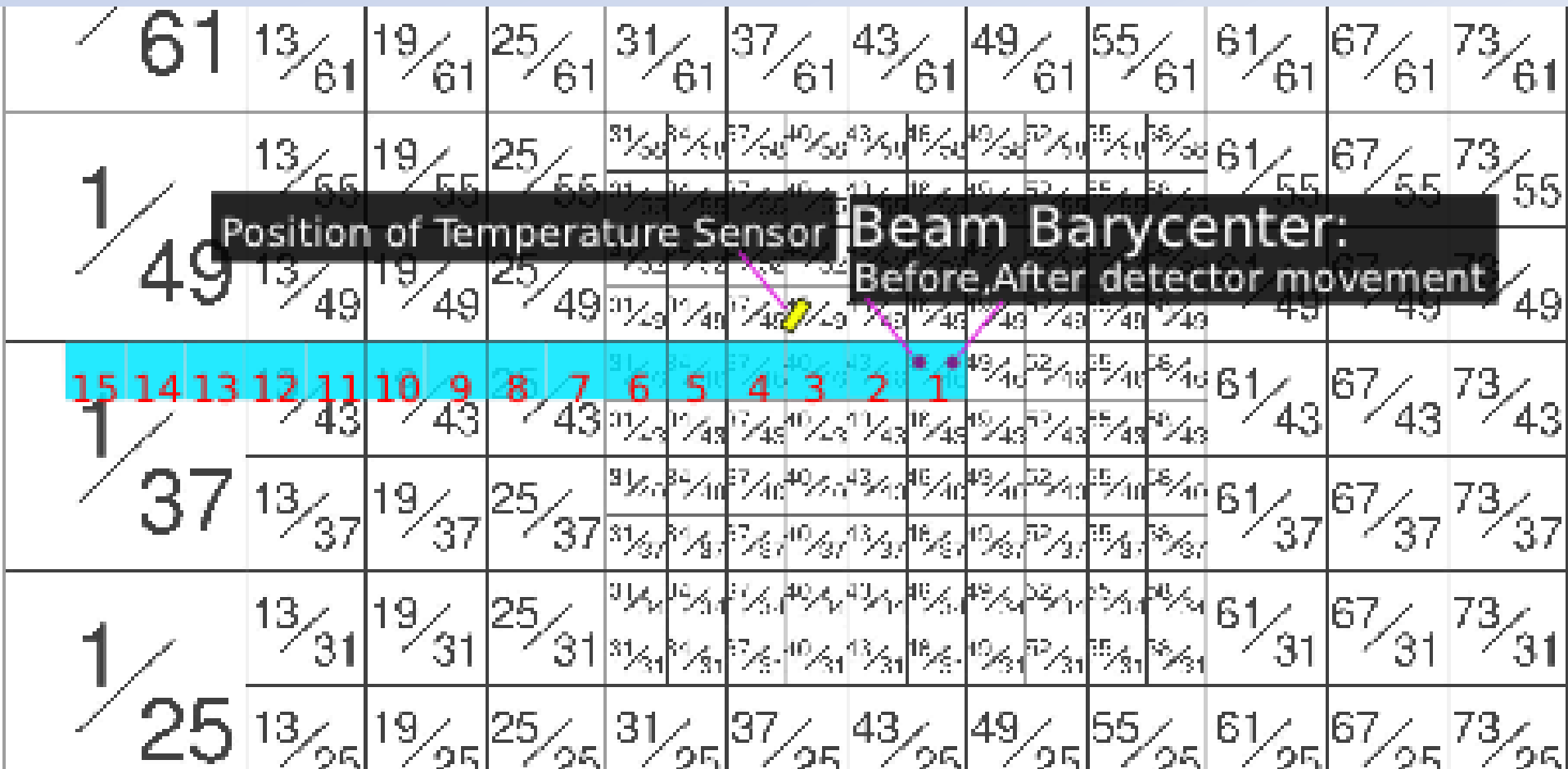
**Beachte: Die beschriebene Prozedur ist nicht als vollständige Kalibration zu sehen  
(in Arbeit...)**

→ Im Folgenden werden wir uns auf die Analyse des “Time of first Hit” (TofH), also dem Zeitpunkt der ersten erfassten Energiedeposition, beschränken

(Eine vollständige Kalibration wird zum TofH nur Korrekturen höherer Ordnung beitragen)



# T3B Strip Position





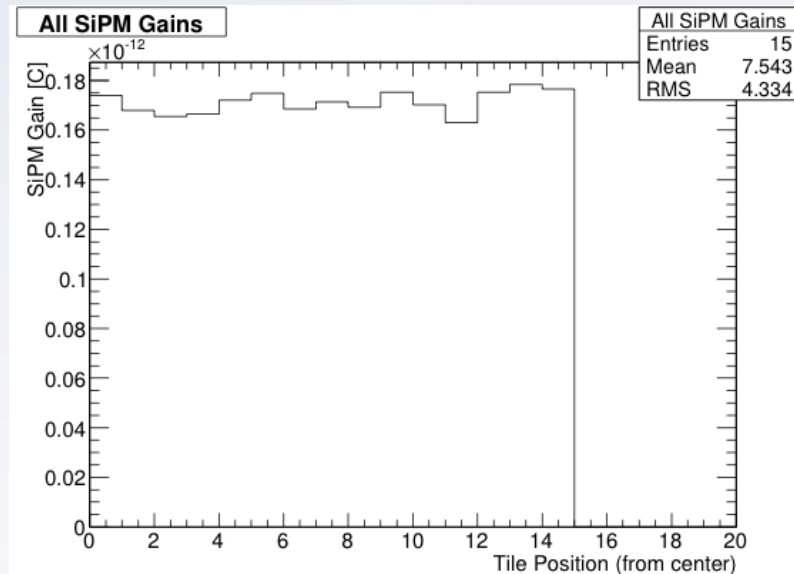
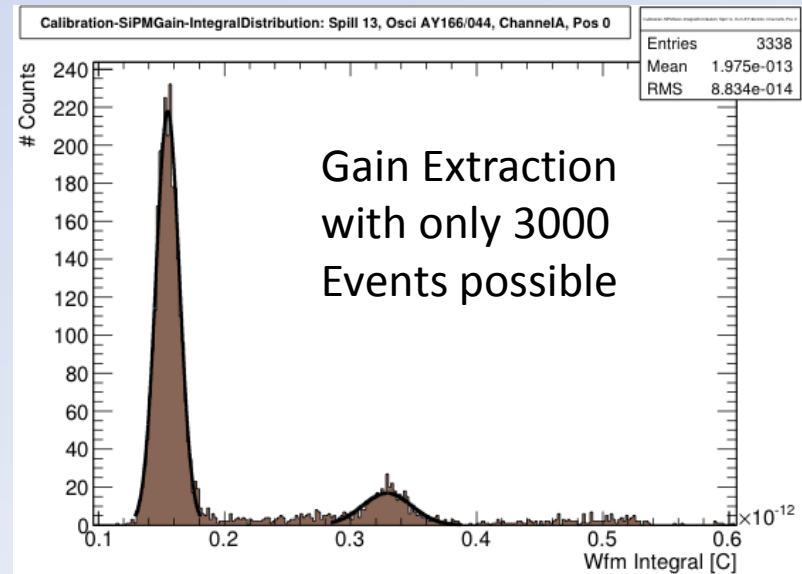
# T3B Framework: Calibration



## Calibration Mode: SiPM Gain

- We have ~125 Darkrate Events per Channel after each spill processing
- ~3000-4000 Events suffice for SiPM Gain extraction
- choose 31 Spills
  - one independent gain calibration value every  $\approx 12$  minutes (assuming on average 2 Spills per supercycle)

**Very high gain extraction efficiency**  
**( $\approx 100\%$ )**

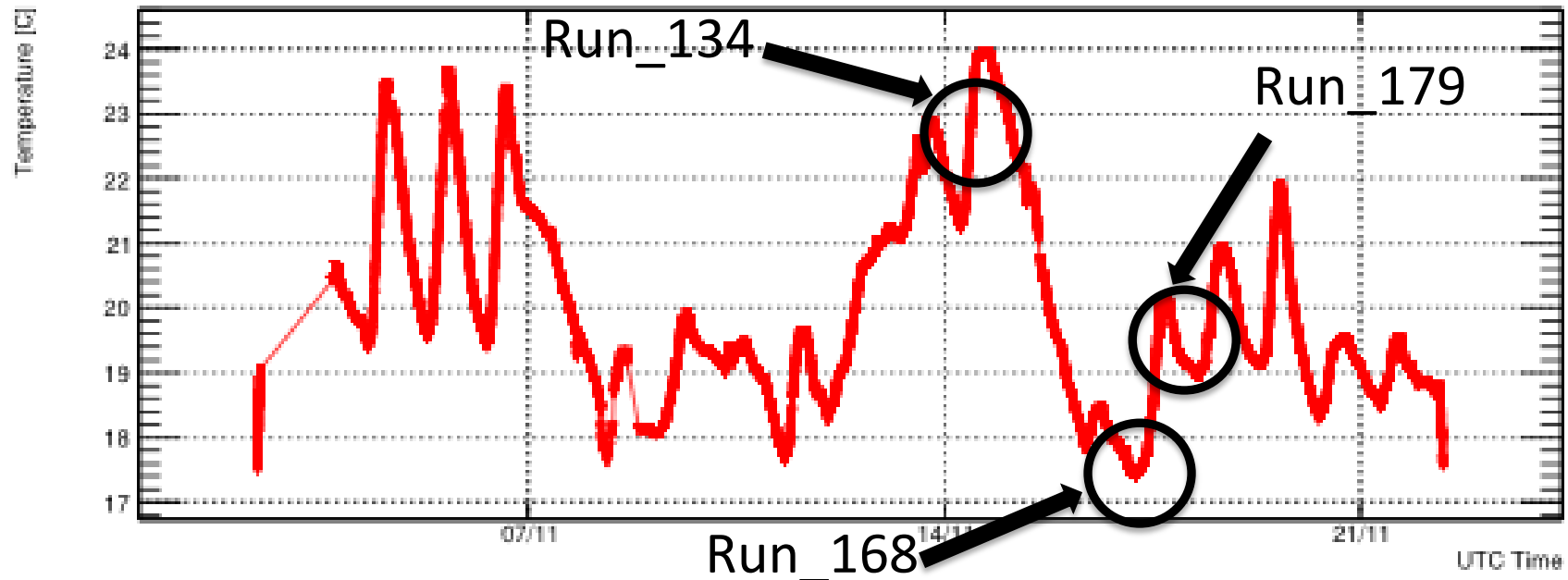




# T3B Framework: Calibration



Time vs. Temperature for whole Test Beam Period



Wide Temperature Range of 17.5C-24C during TB Phase

→ Choosing 3 good Runs with extreme temperatures



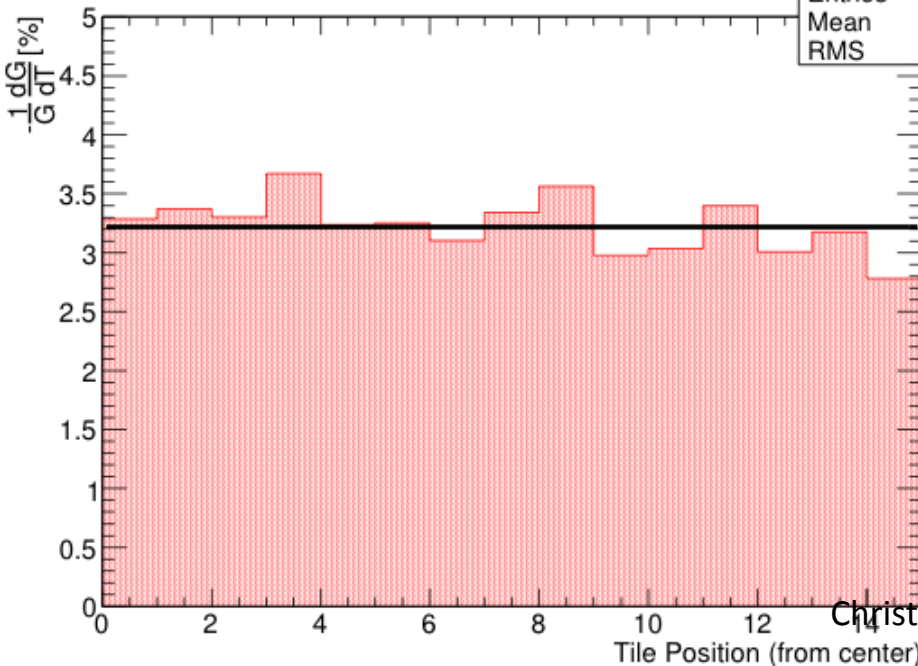
# T3B Framework: Calibration



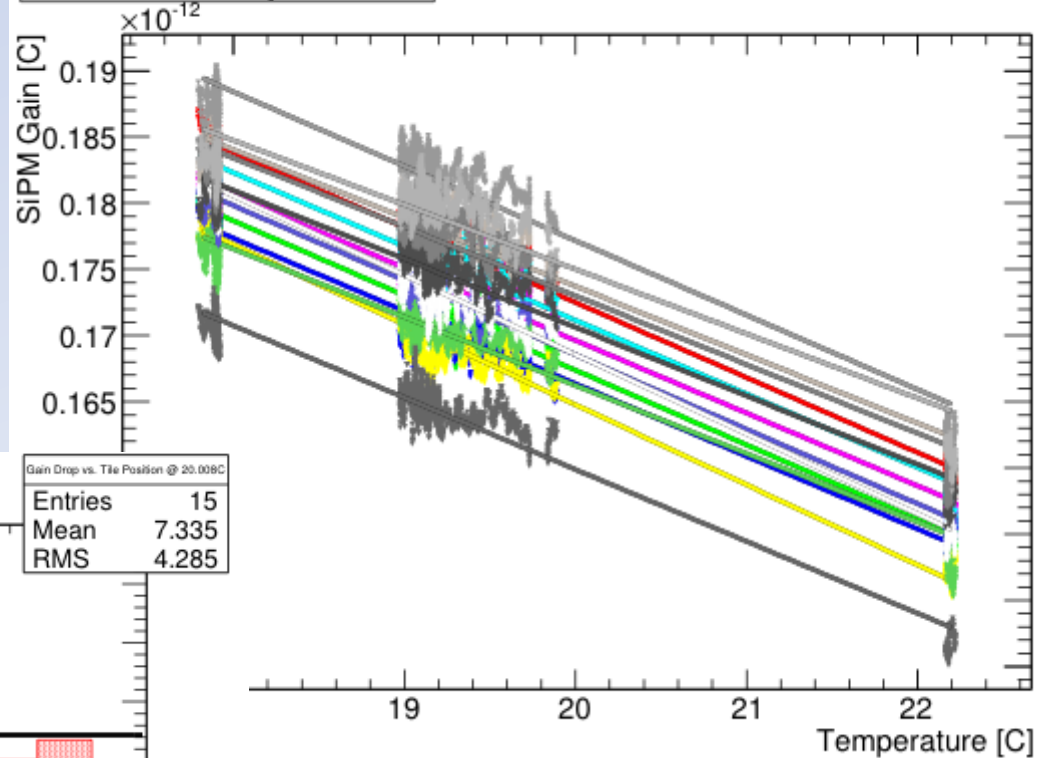
Gain Temperature Dependence for all channels

→ Extracting the gain drop  
 $1/G \, dG/dT$  from Fits

Gain Drop vs. Tile Position @ 20.008C - Average Gain Drop: 3.21794 %/K



Gain vs. Temperature



Average Gain drop of:

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{dT} = 3.2 \frac{\%}{K}$$



# T3B Framework: Calibration



## Next Steps:

- Gain extraction fit has still room for improvement → reduce fluctuations
- get SiPM Gain values for all runs

## But:

- Gain Calibration is not the end of the story → Need MIP Calibration
- Test Bench: Gain-Amplitude Correlation
  - Measure #p.e./MIP with Sr90  
(note: e- ≠ MIP but correlation identical)
  - Steer through different Bias Voltages and Temperatures and create dictionary
  - Obtain:  $A(T, U_{Bias}) = c(T, U_{Bias}) \cdot G(T, U_{Bias})$
  - Check consistency for different cells

Perform a MIP Calibration using  
SiPM Gain Data



# T3B Framework: Calibration



## Further Challenges:

- SiPM Saturation correction:

- Requires another Test Bench Setup, a calibrated low-intensity blue emitting LED, an efficient method to couple the light into the tile, and quite some time...

- Correction for Afterpulsing:

- Need a dictionary: which pulse height causes on average which afterpulse contribution at a certain time after the initial pulse?

### Procedure:

- Record cosmics and rare very high darkpulses
  - Average all waveforms in a certain pulse height range
  - Subtract the extracted AC from the average energy deposition at a certain time

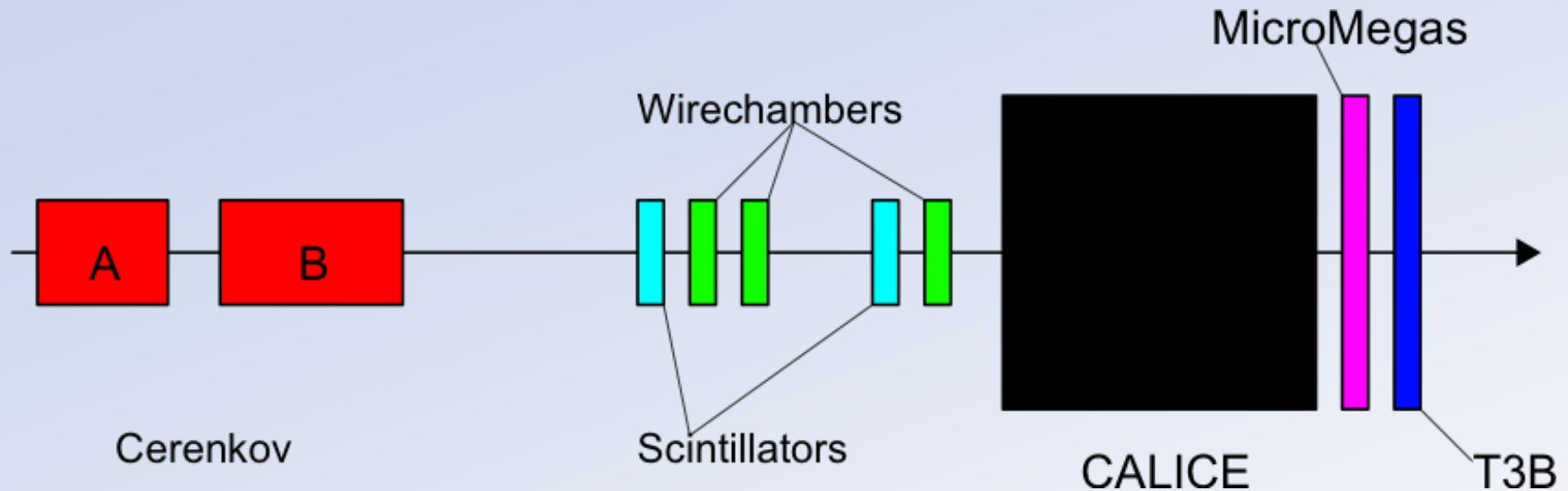
### Challenge:

- Acquiring enough statistics requires a long term measurement
  - This was already done over the Christmas Holidays
  - Analysis is still to be done ...





# Testbeam Setup November 2010



- Cerenkov used for particle ID
- MicroMegas in front of T3B