

Untersuchungen zum **Particle FLOW** Ansatz anhand von Simulation und Daten



Sandra Christen, 41. HS f. HEP Maria Laach

DESY - Hamburg



8.-18. Sept. 2009



Universität Hamburg



Übersicht

1 Was ist PFLOW?

- ILC
- $\sigma_{Konfusion}$

2 Testbeam

- Setup
- Schematisch

3 Analyse

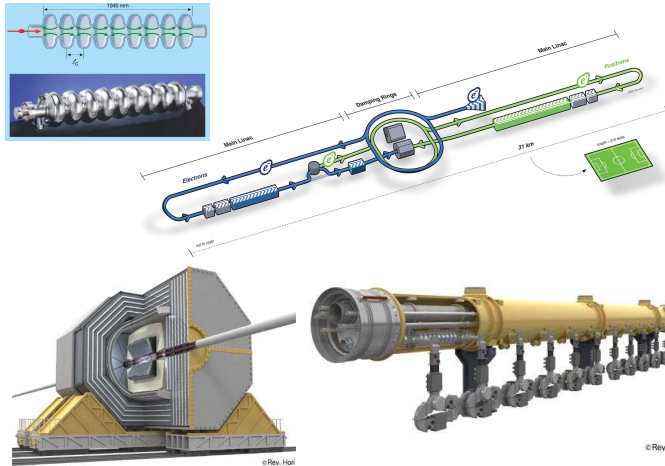
- Event Selektion
- Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

4 Future

- PFLOW und Detektordesign
- Neuer Prototyp



LHC vs ILC



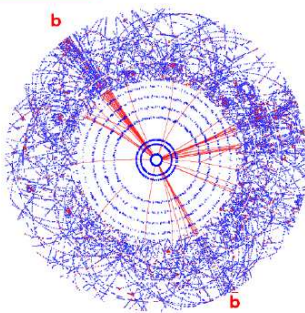
© Rev. Hori



LHC vs ILC

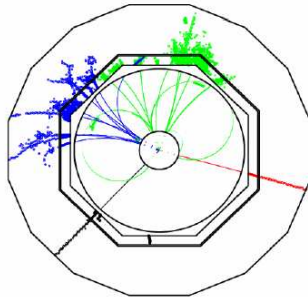
The LHC

$$pp \rightarrow H + X$$



The ILC

$$e^+e^- \rightarrow HZ$$



★ At electron-positron the final state corresponds to the underlying physics interaction, e.g. above see $H \rightarrow b\bar{b}$ and $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$



Theorie

Di-Jet Energie Auflösung

- e^+e^- Beschleuniger: H aus $WW_{\nu\nu}, ZZ_{\nu\nu}$
- ILC: *benötigte* Detektor Auflösung:

$$\frac{\sigma_{E_{Jet}}}{E_{Jet}[GeV]} = \frac{0.3}{\sqrt{E_{Jet}/GeV}}$$

(Mehr als 2 mal besser als LEP)



Theorie

Di-Jet Energie Auflösung

- e^+e^- Beschleuniger: H aus $WW_{\nu\nu}$, $ZZ_{\nu\nu}$
- ILC: *benötigte* Detektor Auflösung:

$$\frac{\sigma_{E_{Jet}}}{E_{Jet}[GeV]} = \frac{0.3}{\sqrt{E_{Jet}/GeV}}$$

(Mehr als 2 mal besser als LEP)

Erreichbar durch PFA (**P**article **F**low **A**pproach)

Volle '**Rekonstruktion**' aller Teilchen.

(Assoziiere alle Energie Depositionen mit den entsprechenden Teilchen)



JM. A. Thomson, *Progress with Particle Flow Calorimetry*, CLHEP-07/08 (2007), 1

Rekonstruktion aller Teilchen: PFLOW

Hardware:

- ★ Need to be able to resolve energy deposits from different particles

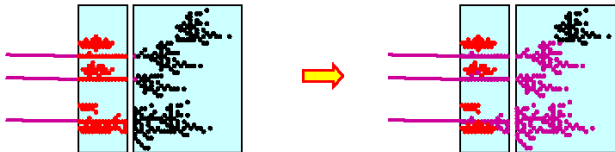
➡ **Highly granular detectors (as studied in CALICE)**



Software:

- ★ Need to be able to identify energy deposits from each individual particle !

➡ **Sophisticated reconstruction software**



Jet Komposition & Intrinsische Auflösungen

Theorem

- **62%** *geladene T . (haupts. Hadronen)*
- **27%** *Photonen (aus $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$)*
- **10%** *lang-lebige neutrale Hadronen (haupts. n und K_L)*
- **1%** *Neutrinos*



Jet Komposition & Intrinsische Auflösungen

Theorem

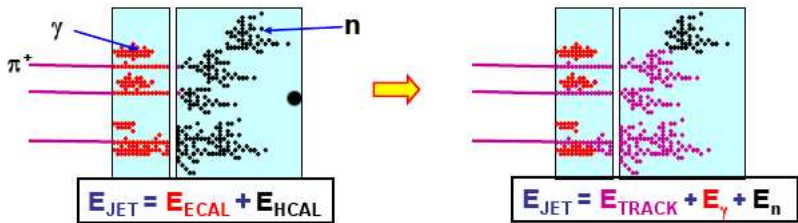
- **62%** *geladene T. (haupts. Hadronen)*
- **27%** *Photonen (aus $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$)*
- **10%** *lang-lebige neutrale Hadronen (haupts. n und K_L)*
- **1%** *Neutrinos*

Theorem

<i>Spurdetektor</i>	<i>ECAL</i>	<i>HCAL</i>
$\sigma_{H^\pm}$	σ_γ	σ_{h^0}
$\frac{\sigma_{E_{X^\pm}}}{E_{X^\pm}}$ vernachl.bar	$\frac{0.15}{\sqrt{E_\gamma/\text{GeV}}}$	$\frac{0.55}{\sqrt{E_{h^0}/\text{GeV}}}$



PFLOW Paradigma



★ Particle Flow Calorimetry paradigm:

- charged particles measured in tracker (essentially perfectly)
- Photons in ECAL: $\sigma_E/E < 20\% / \sqrt{E(\text{GeV})}$
- Neutral hadrons (ONLY) in HCAL
- Only 10 % of jet energy from HCAL $\Rightarrow$ much improved resolution



PFLOW ist Konfusion

Sigma Konfusion

Falsche(fehlende, zusätzliche) Zuweisung ($\sigma_{Konfusion}$)
dominieren die Auflösung

$$\Rightarrow \sigma_{E_{Jet}}^2 = \sigma_{E_{X\pm}}^2 + \sigma_{E_{\gamma}}^2 + \sigma_{E_{h^0}}^2 + \sigma_{Konfusion}^2$$

$X^{\pm}$: Geladene T. (haupts. Hadronen), γ : Photonen,
 h^0 : Neutrale Hadronen, Konfusion: Falsche Energie Zuweisungen.



PFLOW ist Konfusion

Sigma Konfusion

Falsche(fehlende, zusätzliche) Zuweisung ($\sigma_{Konfusion}$)
dominieren die Auflösung

$$\Rightarrow \sigma_{E_{Jet}}^2 = \sigma_{E_{X^\pm}}^2 + \sigma_{E_\gamma}^2 + \sigma_{E_{h^0}}^2 + \sigma_{Konfusion}^2$$

$X^\pm$: Geladene T. (haupts. Hadronen), γ : Photonen,
 h^0 : Neutrale Hadronen, Konfusion: Falsche Energie Zuweisungen.

Feedback-Schleife zw. Hardware und Software

Jet-Energie Auflösung ist abhängig von

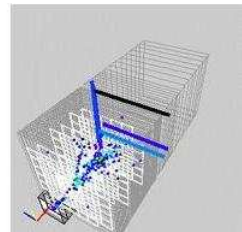
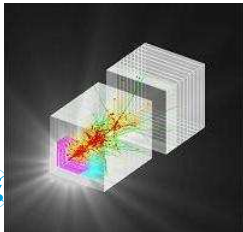
INTRINSISCHER AUFLÖSUNG

und PFLOW SOFTWARE Leistungsfähigkeit!



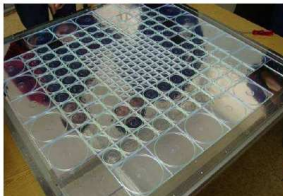
Komponenten Samplingkalorimeter

- ECAL: 30 Lagen Si-Pixel 1x1 cm mal 36, Wolfram Absorber
- HCAL: Analog SiPM Readout und WSF, 38 Lagen Plastiksintillatoren 3x3, 6x6, 12x12 cm, Stahl Absorber
- TCMT: Analog SiPM Readout und WSF, 10 Lagen Plastik Szintillator Streifen, Stahl Absorber



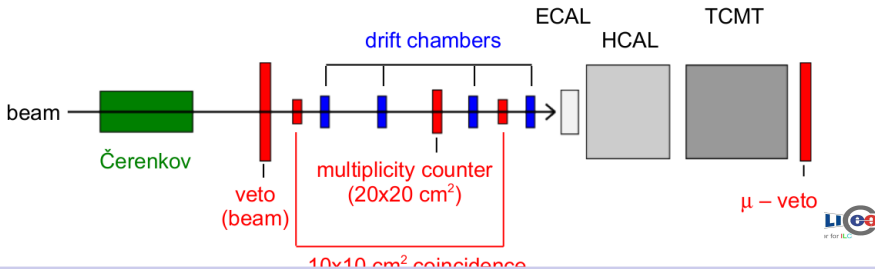
Komponenten Samplingkalorimeter

- ECAL: 30 Lagen Si-Pixel 1x1 cm mal 36, Wolfram Absorber
- HCAL: Analog SiPM Readout und WSF, 38 Lagen Plastikszintillatoren 3x3, 6x6, 12x12 cm, Stahl Absorber
- TCMT: Analog SiPM Readout und WSF, 10 Lagen Plastik Szintillator Streifen, Stahl Absorber



Triggersystem, ECAL, HCAL und TCMT am Strahlplatz

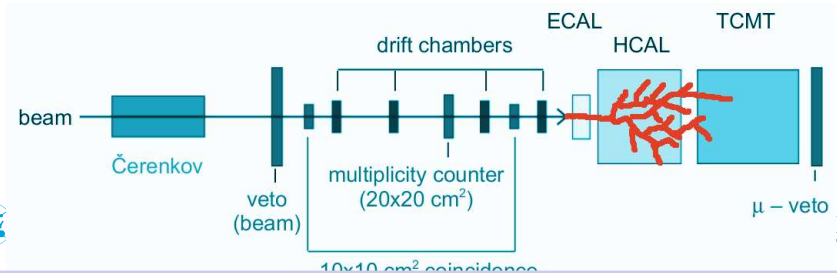
- CERN: 2006, 2007; FNAL: 2008, 2009
- Teilchensorte: $\mu^\pm, \pi^\pm, e^\pm, p, \dots$
- Energien: 1 - 180 GeV
- Winkel zum Strahl: 0, 10, 20, 30 Grad



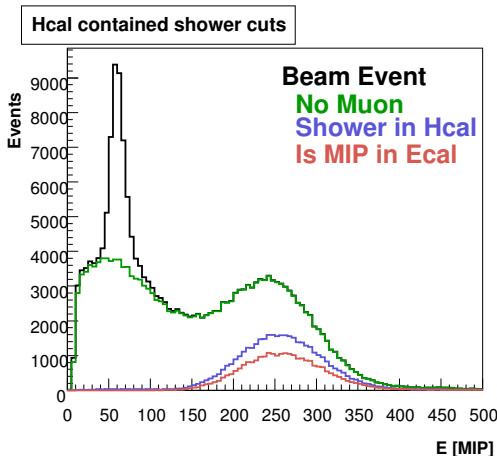
Schematisch

Triggersystem, ECAL, HCAL und TCMT am Strahlplatz

- CERN: 2006, 2007; FNAL: 2008, 2009
- Teilchensorte: $\mu^\pm, \pi^\pm, e^\pm, p, \dots$
- Energien: 1 - 180 GeV
- Winkel zum Strahl: 0, 10, 20, 30 Grad



Cuts auf vollständig im HCAL enthaltene Schauer



■ Beam Event:

Kein Noise
 Beam trigger
 Pion trigger

■ Kein Muon:

100 100 Trigger Durchflug
 Keine Energie Hits Ende TCMT

■ Schauer in HCAL

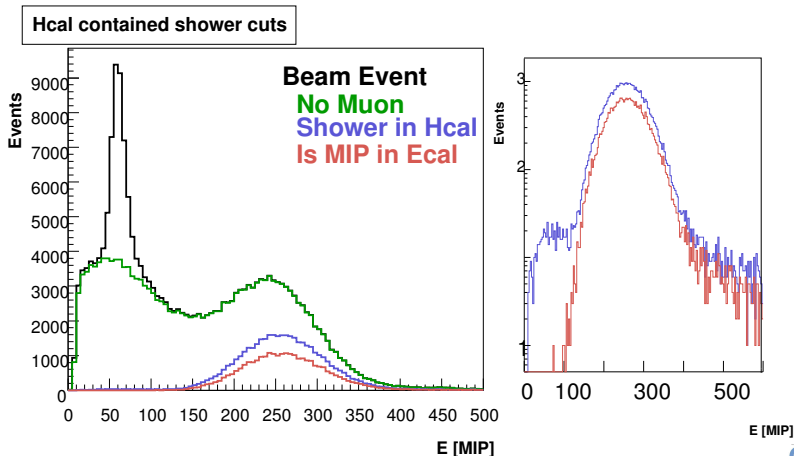
Kein Leakage in TCMT Front
 Leerer TCMT
 Schauerstart HCAL Lage 1 0

■ Is MIP in Ecal

MIP Spur in ECAL

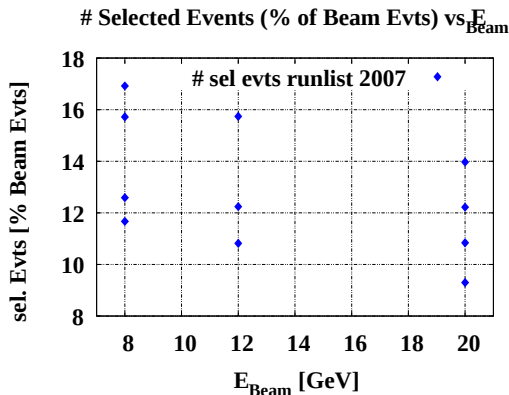


Cuts auf vollständig im HCAL enthaltene Schauer



PFlow runs 2007

- Nach Selektion:
8-17 %
contained
- $E > 25$ GeV:
HCAL
Volumen
begrenzt
Schauer
Volumen



Naïve PFLOW

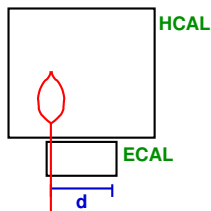
- 1 Nimm Schauer A, Schauer B
- 2 Nimm Position (MIP Spur in Ecal)
- 3 Überlagere 2 Schauer mit bekanntem Abstand
- 4 Trackwise Clustering: Schauertrennung
- 5 Vergleiche Rekonstruierte Schauerenergien mit Singles Spektren
- 6 Plots Effizienz f. Schauertrennung gegen Spur Abstand



Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

Naïve PFLOW

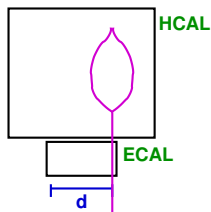
- 1 Nimm Schauer A, Schauer B
- 2 Nimm Position (MIP Spur in Ecal)
- 3 Überlagere 2 Schauer mit bekanntem Abstand
- 4 Trackwise Clustering: Schauertrennung
- 5 Vergleiche Rekonstruierte Schauerenergien mit Singles Spektren
- 6 Plots Effizienz f. Schauertrennung gegen Spur Abstand



Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

Naïve PFLOW

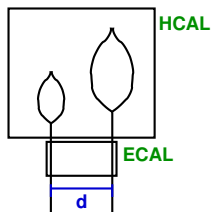
- 1 Nimm Schauer A, Schauer B
- 2 Nimm Position (MIP Spur in Ecal)
- 3 Überlagere 2 Schauer mit bekanntem Abstand
- 4 Trackwise Clustering: Schauertrennung
- 5 Vergleiche Rekonstruierte Schauerenergien mit Singles Spektren
- 6 Plots Effizienz f. Schauertrennung gegen Spur Abstand



Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

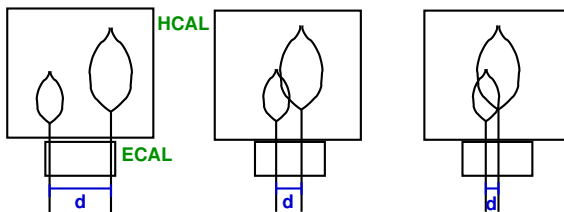
Naïve PFLOW

- 1 Nimm Schauer A, Schauer B
- 2 Nimm Position (MIP Spur in Ecal)
- 3 Überlagere 2 Schauer mit bekanntem Abstand
- 4 Trackwise Clustering: Schauertrennung
- 5 Vergleiche Rekonstruierte Schauerenergien mit Singles Spektren
- 6 Plots Effizienz f. Schauertrennung gegen Spur Abstand



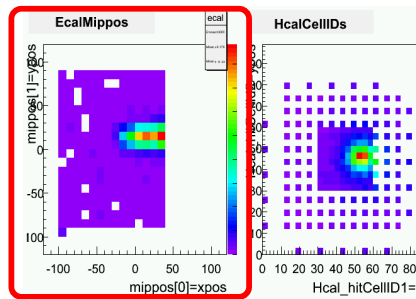
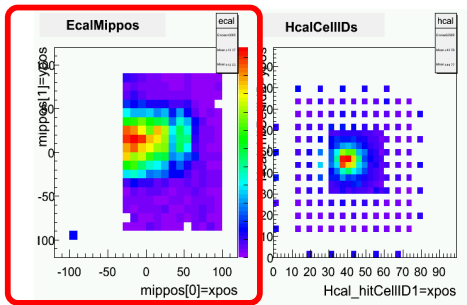
Naïve PFLOW

- 1 Nimm Schauer A, Schauer B
- 2 Nimm Position (MIP Spur in Ecal)
- 3 Überlagere 2 Schauer mit bekanntem Abstand
- 4 Trackwise Clustering: Schauertrennung
- 5 Vergleiche Rekonstruierte Schauerenergien mit Singles Spektren
- 6 Plots Effizienz f. Schauertrennung gegen Spur Abstand



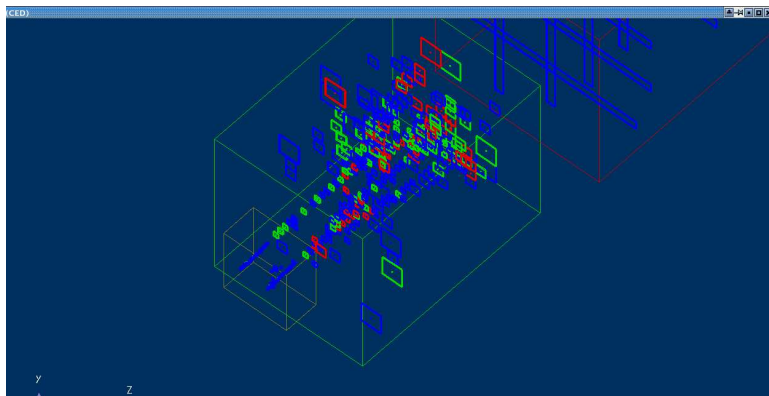
Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

Abstand (Position) MIP Spur im ECAL



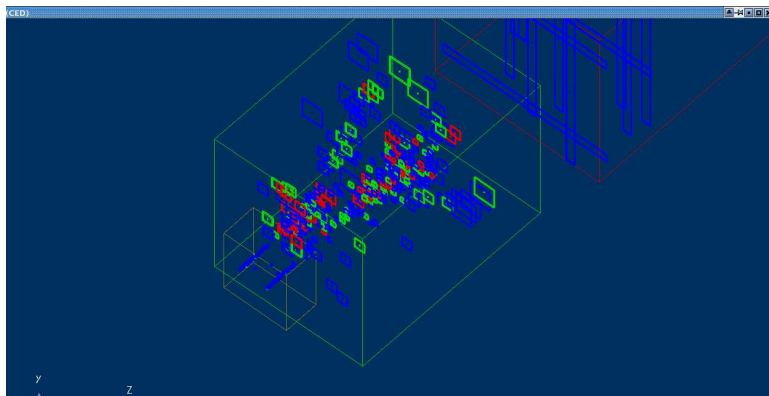
Spuren in ECAL: fester Abstand selektiert

ECAL Pixelgröße: 1x1 cm, Abstand bekannt, falls Alignment u.s.w. stimmt



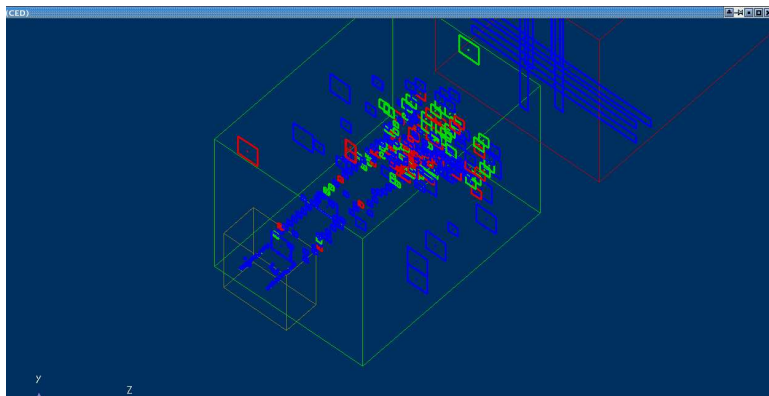
Spuren in ECAL: fester Abstand selektiert

ECAL Pixelgröße: 1x1 cm, Abstand bekannt, falls Alignment u.s.w. stimmt



Spuren in ECAL: fester Abstand selektiert

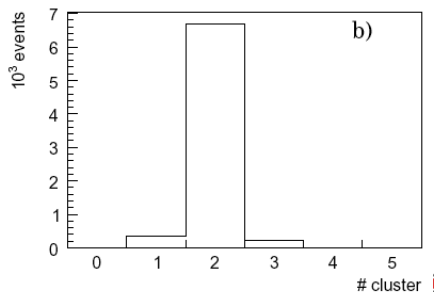
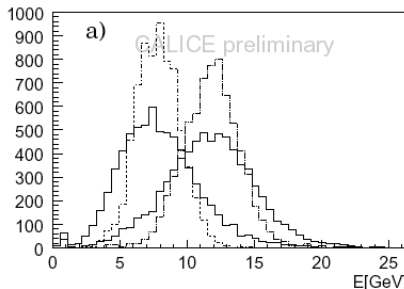
ECAL Pixelgröße: 1x1 cm, Abstand bekannt, falls Alignment u.s.w. stimmt



Rekonstruierte Energien vor und nach Clustering

Falls zwei Cluster gefunden werden:

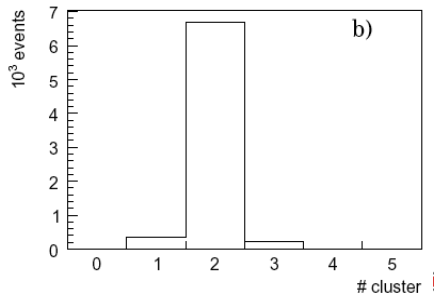
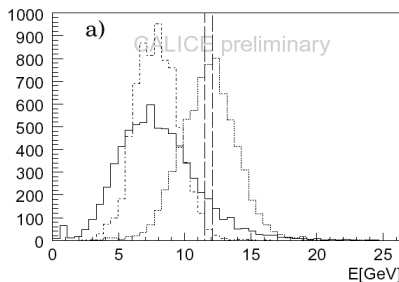
- 1 Plots: $E1_{Single}$, $E2_{Single}$ und $E1_{Cluster}$, $E2_{Cluster}$
- 2 Zuweisung: $E2_{Cluster} \equiv E_{Spur} \equiv E1_{Single}$
- 3 Vergleich (Energie und Auflösung): $E1_{Single}$ und $E1_{Cluster}$



Rekonstruierte Energien vor und nach Clustering

Falls zwei Cluster gefunden werden:

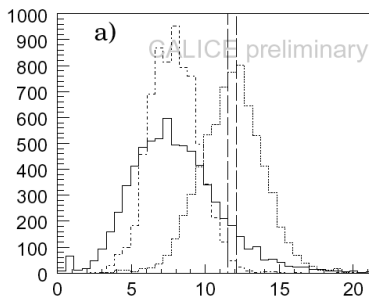
- 1 Plots: $E1_{Single}$, $E2_{Single}$ und $E1_{Cluster}$, $E2_{Cluster}$
- 2 Zuweisung: $E2_{Cluster} \equiv E_{Spur} \equiv E1_{Single}$
- 3 Vergleich (Energie und Auflösung): $E1_{Single}$ und $E1_{Cluster}$



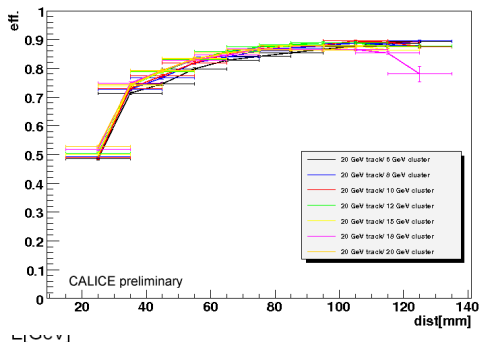
Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

Separations Eff. [CAN-011(2008)]

$$eff_{NPflow} = \frac{\int_{-3\sigma}^{+3\sigma} E_{Cluster}}{\int_{-\infty}^{+\infty} E^{1single}}$$



Eff. find two clusters



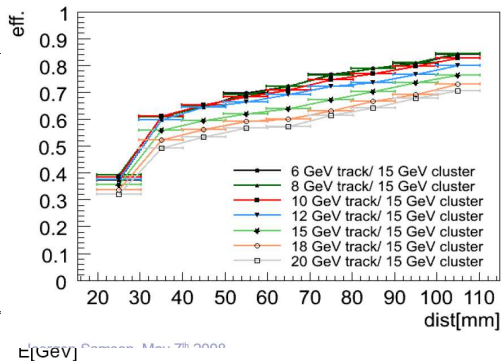
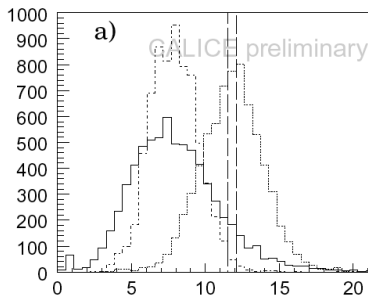
J. Samson 2008



Vorauswahl fuer 2-Teilchen Evts

Separations Eff. [CAN-011(2008)]

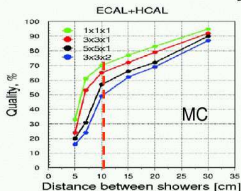
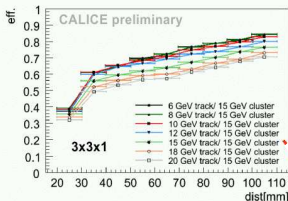
$$eff_{NPflow} = \frac{\int_{-3\sigma}^{+3\sigma} E_{Cluster}}{\int_{-\infty}^{+\infty} E^{1single}}$$



J. Samson 2008



Zusammenfassung, Ausblick



A. Raspereza 200

qualitativer Vergleich mit
MC fuer Detektor Optimierung 200

- Daten liegen unterhalb 10 cm bei 60 - 80 %
- Zwei Spuren in ECAL helfen Clustering

- MC PFLOW fuer ein gel. und ein neutr. Hadron
- Vorschlag: 10 cm Kacheln, sehr gut bestaetigt

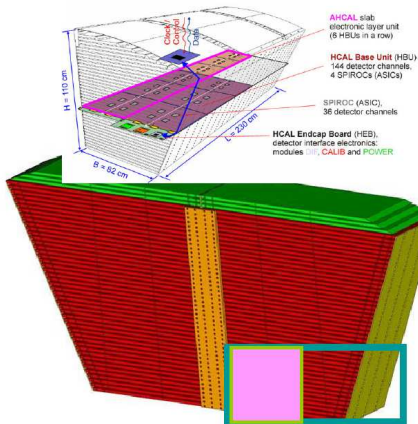
Ausblick:

- MC Simulation von Teststrahl Daten und DIREKTER Vergleich
- Neue Teststrahldaten von 2007, 2008 und 2009
- Neue Abstände der Spuren im ECAL
- Entfernen der zweiten Spur bis zum Schauerstart
- Neue Cluster Algorithmen Tuning



Neuer Prototyp

Der Plan: ILC Detektor Segment

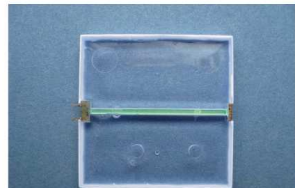
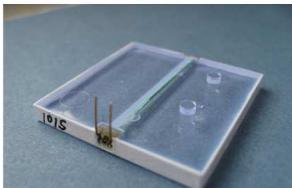


ILC Detektor Segment Teststrahl Herbst 2009

Neue HCAL Scintillator Kacheln mit SiPM Readout chip, 3x3
cm

Schlussendlich: $8 \cdot 10^9$ Kanäle/Kacheln in 2π

Baubeginn: Erstes Oktett 2008/09

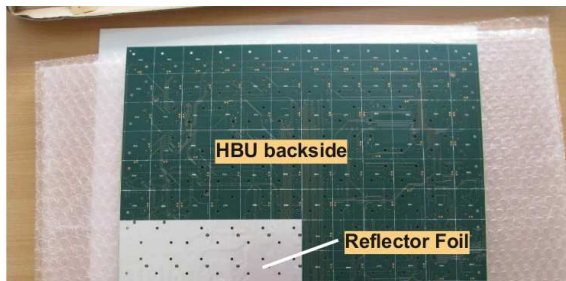


ILC Detektor Segment Teststrahl Herbst 2009

Neue HCAL Scintillator Kacheln mit SiPM Readout chip, 3x3
cm

Schlussendlich: $8 \cdot 10^9$ Kanäle/Kacheln in 2π

Baubeginn: Erstes Oktett 2008/09



ILC Detektor Segment Teststrahl Herbst 2009

Neue HCAL Scintillator Kacheln mit SiPM Readout chip, 3x3
cm

Schlussendlich: $8 \cdot 10^9$ Kanäle/Kacheln in 2π

Baubeginn: Erstes Oktett 2008/09



Neuer Prototyp

Danke



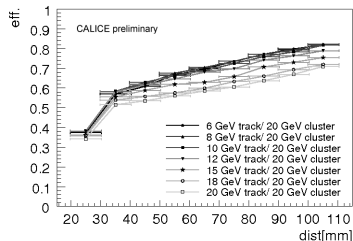
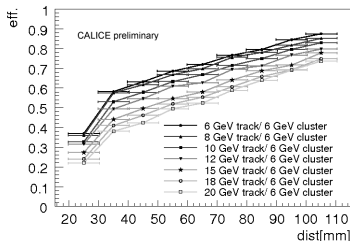
T. Behnke, E. Garutti, N. Meyer, J. Samson, F. Sefkow



Naïve PFlow Eff. BACKUP

$$E_{singles} = E_{single}^1 + E_{single}^2, \quad E_{NPflow} = E_{Cluster} + E_{Spur}$$

$$eff_{NPflow} = \frac{\int_{-3\sigma}^{+3\sigma} E_{Cluster}}{\int_{-\infty}^{+\infty} E_{single}^1}$$



[E. Garutti et al., *Preliminary results from hadron shower data with the CALICE tile AHCal prototype*, CAN-011 (2008)]

