

Detektorentwicklung für den ILC

Martin Killenberg

Physikalisches Institut der



Frühjahrstagung der
Deutschen Physikalischen Gesellschaft
6. März 2008

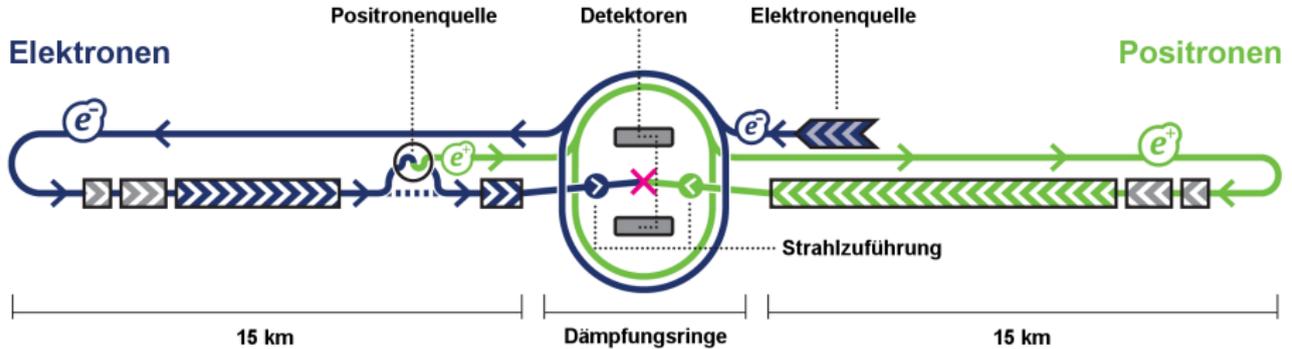
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

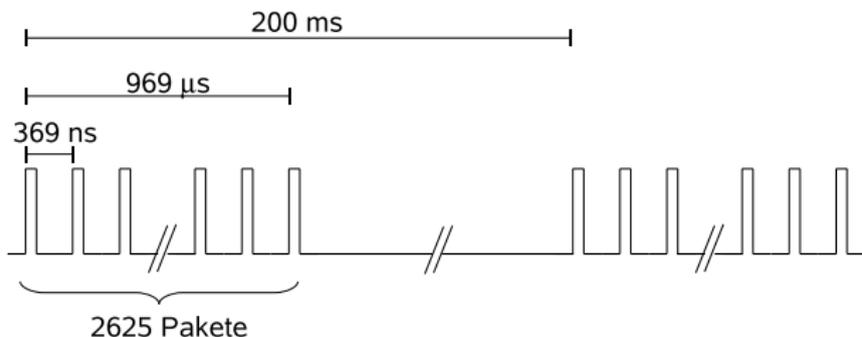


- 1 Einführung
 - Der International Linear Collider
- 2 Der International Large Detector
 - Der Vertexdetektor
 - Die Zeitprojektionskammer
 - Kalorimetrie und das Teilchenfluss-Konzept
- 3 Zusammenfassung und Ausblick



- Geplanter e^+e^- -Linearbeschleuniger: Präzisionsmaschine
- Supraleitende Resonatoren
- 500 GeV Schwerpunktsenergie
1 TeV in zweiter Ausbaustufe

- Luminosität $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Polarisiertes Elektronen- und Positronenstrahl
- 2 Detektoren im Wechselbetrieb



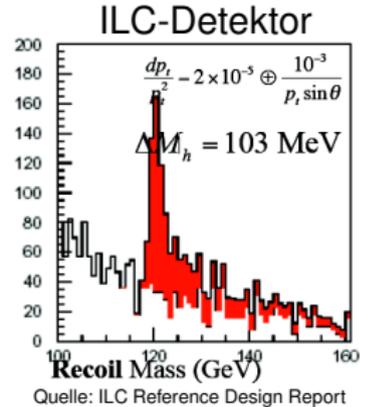
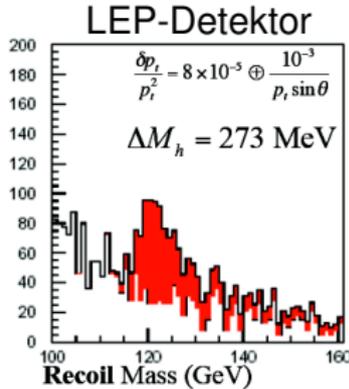
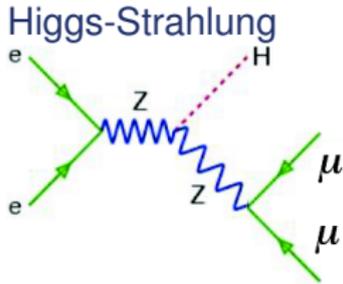
- Paketabstand: 369 ns (vgl. 25 ns am LHC)
- $2 \times 10^{10} e^+/e^-$ pro Paket

Bunchtrains

- 2625 Pakete pro Zug
 - Länge eines Zuges ≈ 1 ms
 - 5 Züge pro Sekunde
- ⇒ 199 ms zwischen den Zügen

- Ungetriggert Betrieb während eines Bunchtrains möglich
- Abschalten der Detektoren zwischen den Bunchtrains

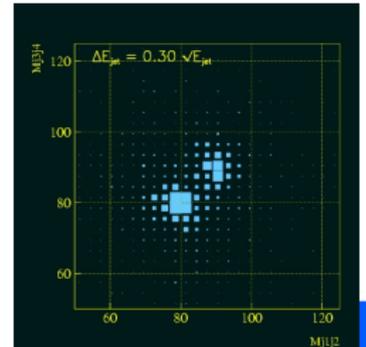
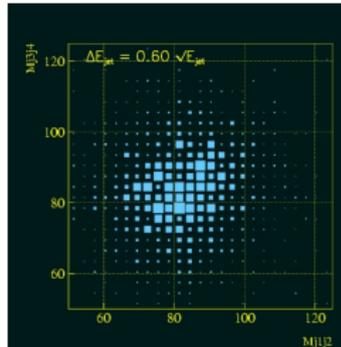
Weniger Kühlung → weniger Material



Hadronische W- und Z-Zerfälle

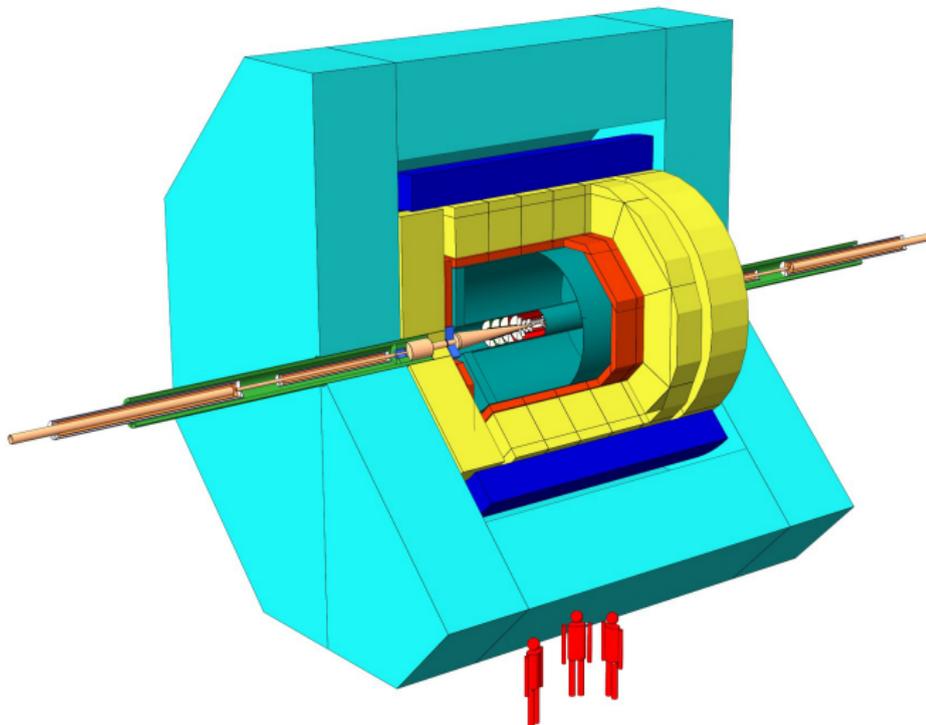
$$e^+ e^- \rightarrow WW \nu \bar{\nu}$$

$$e^+ e^- \rightarrow ZZ \nu \bar{\nu}$$



- Impulsauflösung und Doppelspurauflösung mit noch nie da gewesener Präzision
- Jet-Energie-Auflösung in der Größenordnung der natürlichen W -und Z -Breite
- Exzellente Trennung von b - und c -Jets
- Hermetizität um fehlende Energie zu bestimmen

- ILD
- SiD
- 4th Concept



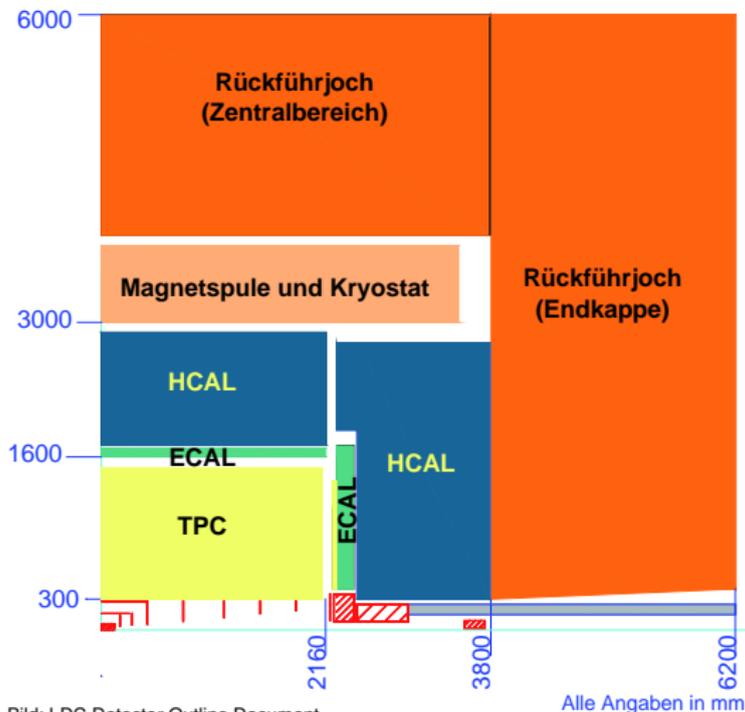


Bild: LDC Detector Outline Document

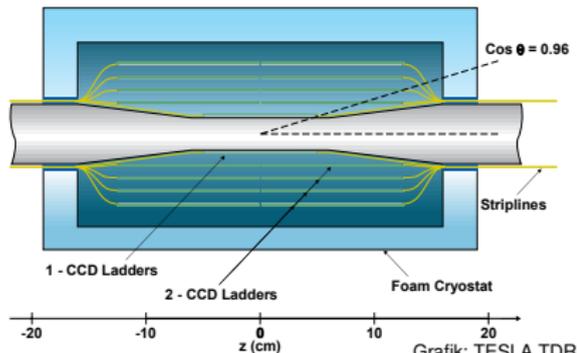
- Si-Pixel Vertexdetektor
- Si-Streifen vor der TPC
- Si-Detektoren in Vorwärtsrichtung
- Zeitprojektionskammer (TPC) als Haupt-Spurkammer
- ECAL und HCAL innerhalb der Spule
- Rückführjoch mit Myonkammern instrumentiert
- LumiCAL und BeamCAL in extremer Vorwärtsrichtung

Detektoranforderungen

- Exzellente Spurauflösung ($< 4 \mu\text{m}$)
- Innerste Lage $R = 16 \text{ mm}$
- Dünne Sensoren ($< 0.1\% X_0/\text{Lage}$)
- Geringer Stromverbrauch ($< 100 \text{ W}$)

Technologien

- Charge-Coupled Devices (CCDs)
- Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)
- Chronopixels
- DEpleted P-channel Field Effect Transistors (DEPFET)
- Silicon on Insulator (Sol)
- Image Sensor with In-Situ Storage (ISIS)
- ...



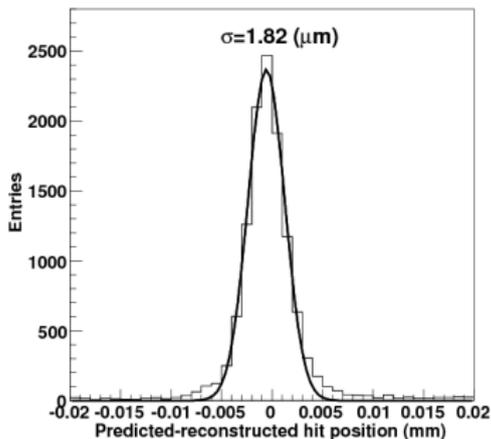
Deutsche Beteiligung:

Aachen, Bonn,
Mannheim,
MPI München,
DESY Hamburg

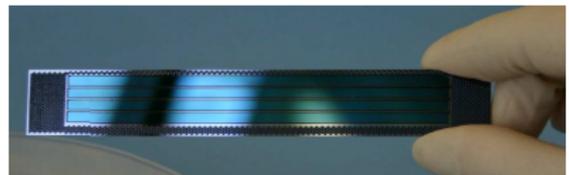
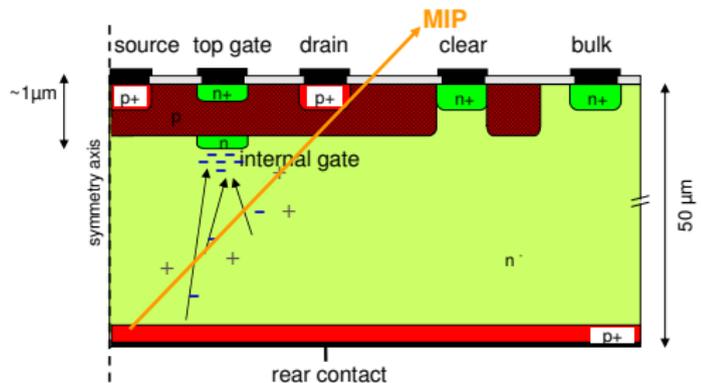
Intermediate Tracker:
Karlsruhe

DEpleted P-channel Field Effect Transistors

- p-FET in jedem Pixel
- Vollständig verarmter Hauptteil
- Ladungen vom MIP modulieren den Transistorstrom



Quelle: doi:10.1109/TNS.2007.914031



Gedünntes Muster, 50 μm Silizium

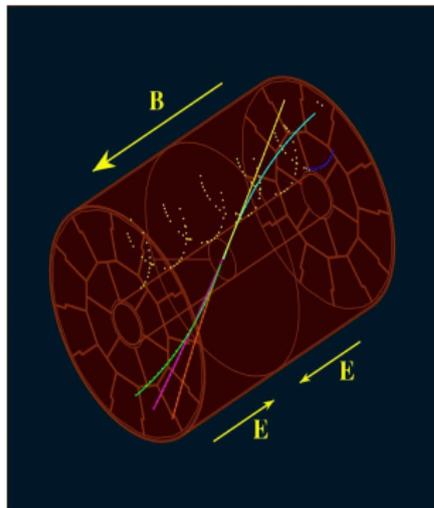


Bild: Jean Claude Brient

Deutsche Beteiligung:
Aachen, Bonn,
DESY HH, Freiburg,
Mainz, Rostock, Siegen

Vorteile

- Großes Detektorvolumen bei geringer Materialbelegung (3% X_0 im Barrel)
- Echte 3D Spurinformaton
- ≥ 200 Messpunkte auf der Spur
- Teilchenidentifikation durch dE/dx

Herausforderungen

- Einzelpunktauflösung $< 100 \mu\text{m}$
 - Auslesezeit $\mathcal{O}(50 \mu\text{s})$
- ⇒ Überlagerung von 150 Strahlkreuzungen
- 30% X_0 in der Endkappe (Auslese)
 - Ionenrückdrift

- Strukturgröße $\varnothing(100 \mu\text{m})$
- 2D-Symmetrie
- Direkte Messung des Elektronensignals
- Unterdrückung der Ionenrückdrift

Gas Electron Multiplier (GEM)

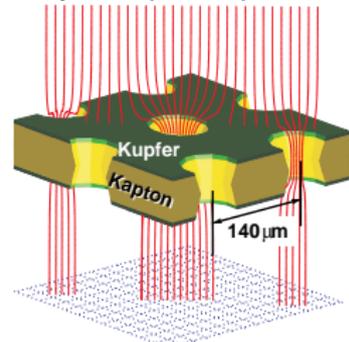
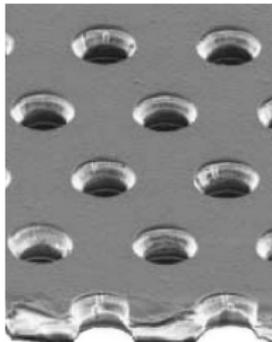
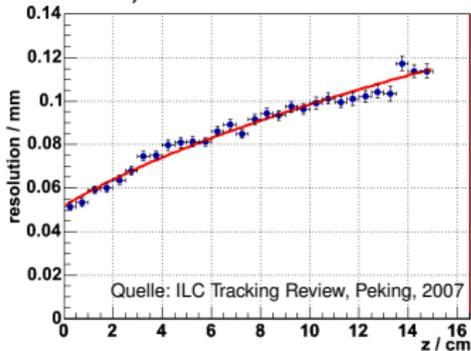


Foto: CERN Gas Detector Development Group

Detektoren mit kleinen Pads ($1 \times 4 \text{ mm}^2$) erlauben hohe Auflösung



Micromegas

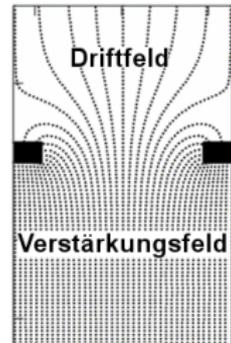
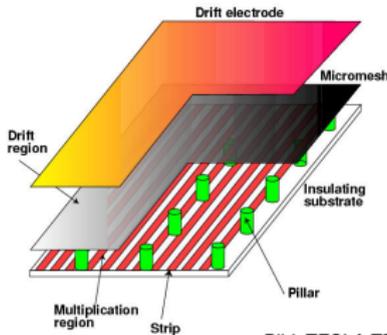


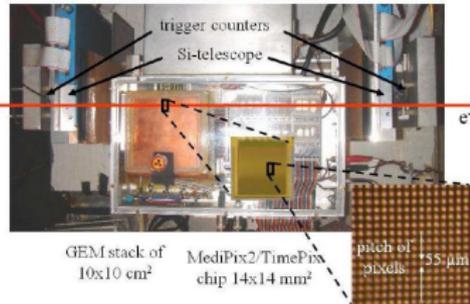
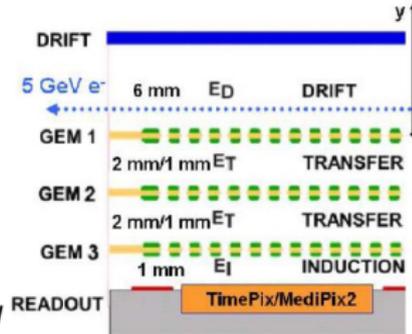
Bild: TESLA TDR

TimePix Chip

- $55 \times 55 \mu\text{m}^2$ Pixel
- 256×256 Pixel
- Fläche $14 \times 14 \text{mm}^2$
- Time

oder *Time Over Threshold*

~ Ladung



Quelle: Freiburg, arXiv:0709.2837v1

TimePix + Ingrid + SiProt

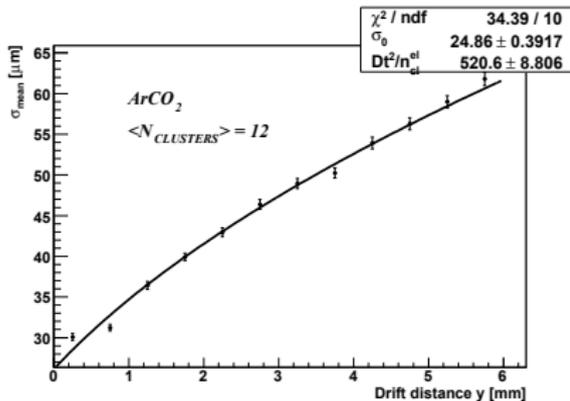
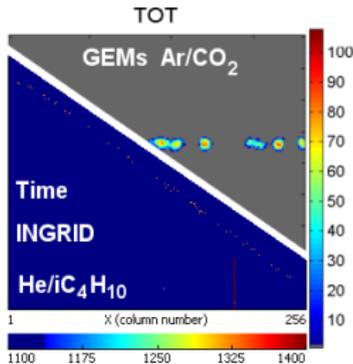
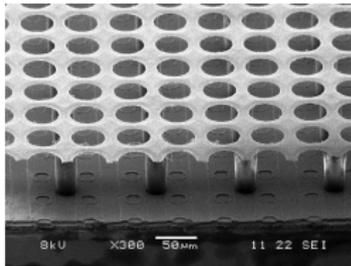


Foto: NIKHEF

- Gemeinsamer Prototyp aller LCTPC Gruppen (42 Gruppen aus Amerika, Asien und Europa)
- Driftlänge 60 cm
- Durchmesser 80 cm
- 7 Auslesemodule
- Magnet mit 1.25 T Feldstärke

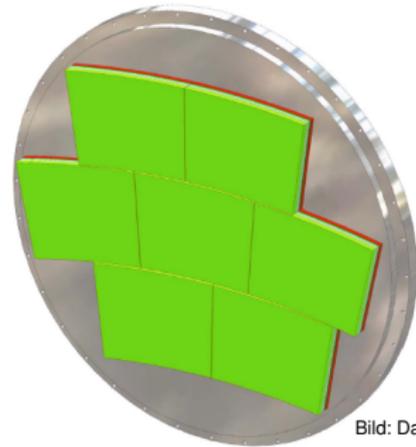


Bild: Dan Peterson



Installation des Magneten am DESY, Hamburg

Module für alle Auslesetechnologien

- GEMs
- Micromegas
- FADCs
- TDCs
- TimePix



Zusammensetzung eines Jets

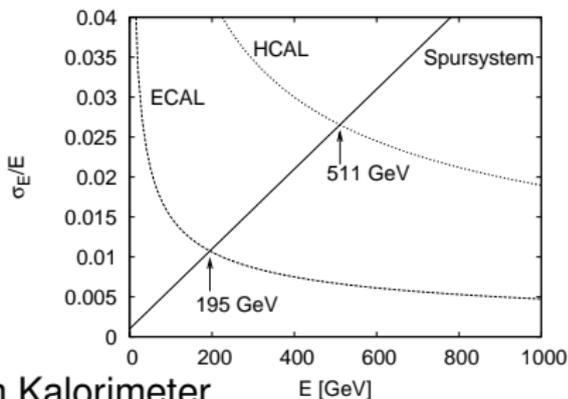
- 60% der Energie in geladenen Hadronen
- 30% in Photonen
- 10% in neutralen Hadronen

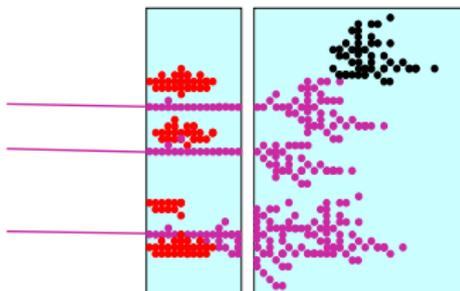
Traditioneller Ansatz

- Messe die Energie des Jets im Kalorimeter
70% der Energie wird im hadronischen Kalorimeter bestimmt.
($\sigma_{E_{\text{HCAL}}}/E = 60\%/\sqrt{E [\text{GeV}]}$)

Der Teilchenfluss-Ansatz

- Energiemessung der geladenen Teilchen im Spursystem
 - Photonen im elektromagnetischen Kalorimeter
 - Nur **neutrale** Hadronen im hadronischen Kalorimeter
- ⇒ Erhebliche Verbesserung der Energieauflösung erwartet

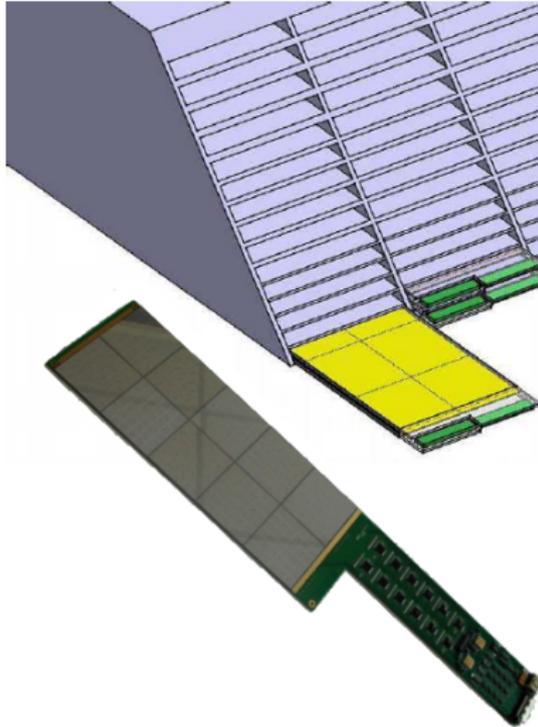




Grafik: Mark Thomson

- Doppeltzählen der Energien, die im Spurdetektor gemessen werden, muss vermieden werden
- Feingranulares Kalorimeter, um Cluster zu trennen
- Zuordnen der Energiedepositionen zu den Spuren
- Alle Energiedepositionen neutraler Teilchen müssen erfasst werden

Teilchenfluss-Kalorimetrie = **HARDWARE** + **SOFTWARE**



Quelle: ILC Reference Design Report

Technologie:
Silizium-Wolfram-Sandwich

Prototyp:
Zellgröße $10 \times 10 \text{ mm}^2$
30 Lagen



Höhenstrahlungsteststand

Foto: LCWS07 - Calorimeter R&D Review

Analoge Auslese: *Scintillator Tile HCAL*

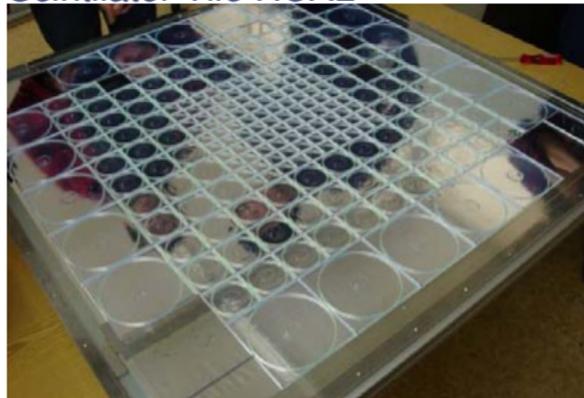


Foto: LC-DET-2007-07

Eine Lage des 1 m³ Prototypen
der Calice Kollaboration

Deutsche Beteiligung:
DESY Hamburg, Wuppertal,
Heidelberg, MPI München

- Eisen-Szintillator-Sandwich
- 3×3 cm² Zellgröße
- 38 Lagen
- Auslese über Silizium-Photomultiplier (SiPMs)

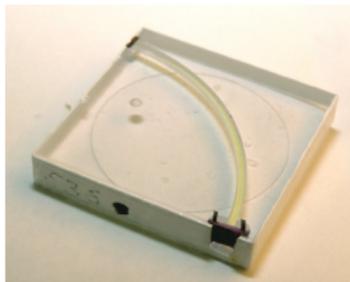
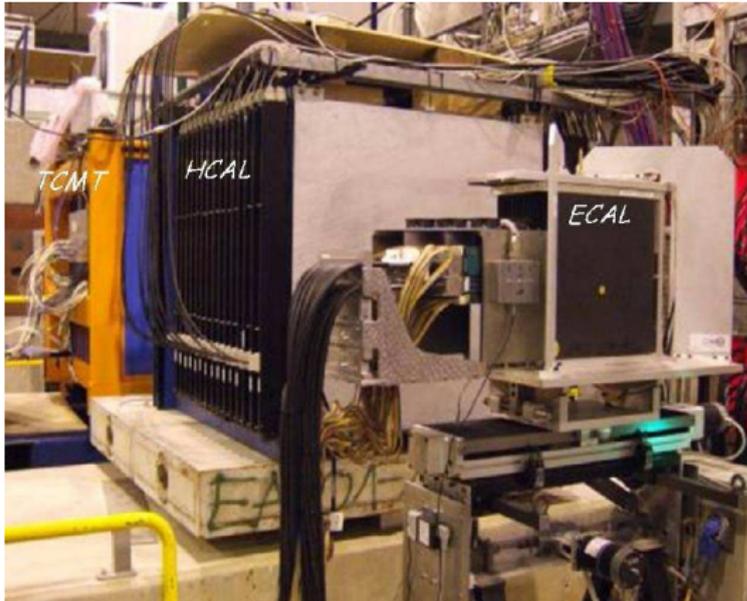


Foto: LDC Detector Outline Document

Szintillatorzelle mit Faser als
Wellenlängenschieber und SiPM

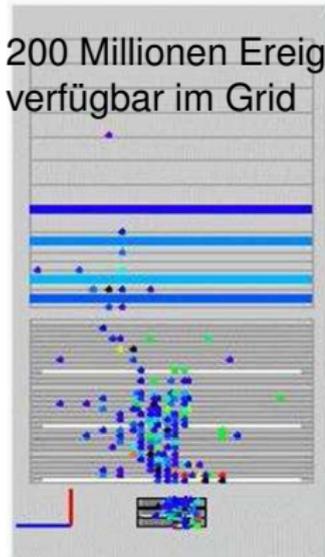
Messungen mit ECAL, HCAL und *Tail Catcher / Muon Tagger* (TCMT) am SPS (CERN)



Abbildungen: ILC Reference Design Report

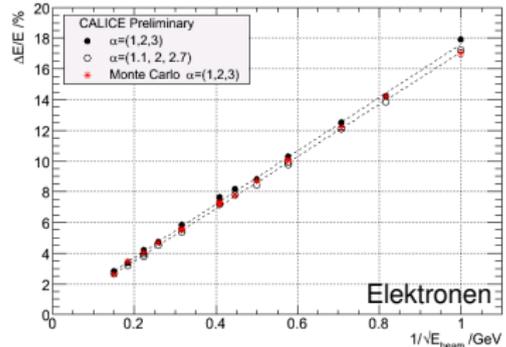
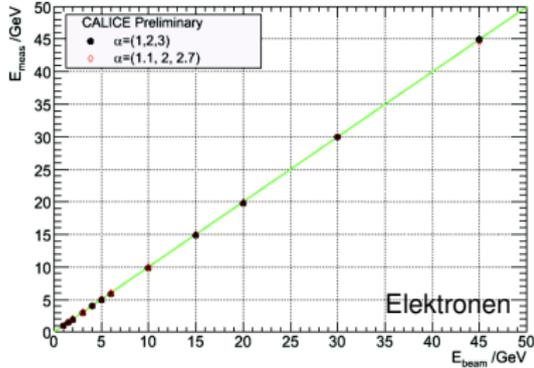
Gemeinsames
Datennahmesystem:
18 000 Kanäle

200 Millionen Ereignisse
verfügbar im Grid



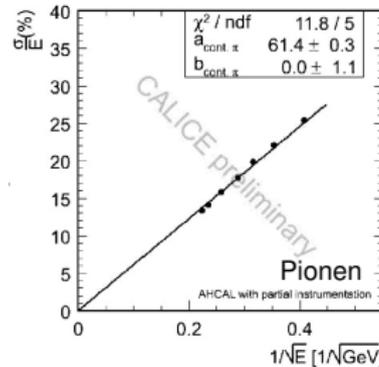
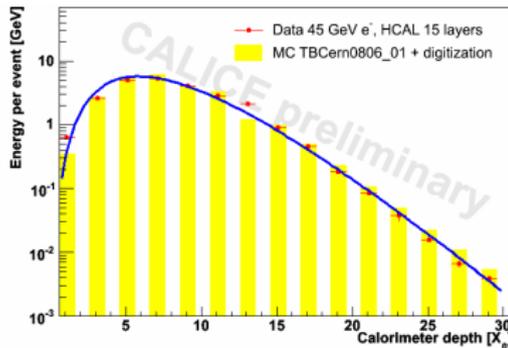
40 GeV π^+

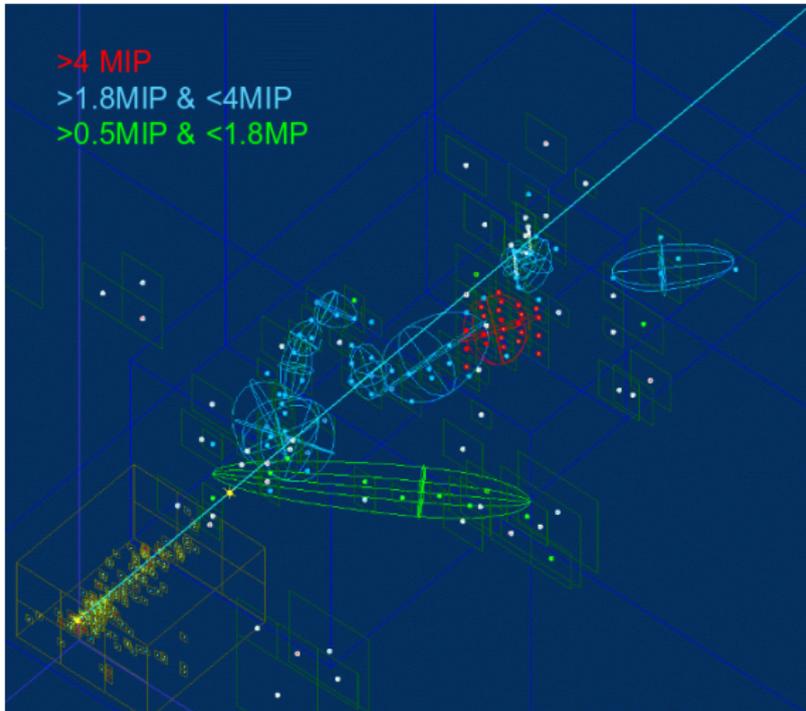
W-Si ECAL



Quelle: LC-DET-2007-007

W-Scintillator HCAL





Quelle: Vasily Morgunov

Analyse von
Teststrahl-Daten

Rekonstruktion von
einzelnen Clustern

Klassifizierung als

- Elektromagnetisch
- Hadronisch
- Minimalionisierend
- Neutronartig

Alternative Technologien

- ECAL mit W-Scintillator-Auslese
- Digitales "Tera-Pixel" ECAL
 - Auslese mit MAPS
 - Pixelgröße $50 \times 50 \mu\text{m}^2$
- Digitales HCAL
 - Zellgröße $1 \times 1 \text{ cm}^2$
 - Auslese mit *Resistive Plate Chambers*, GEM- oder Micromegas-Detektoren

Deutsche Beteiligung: MPI München

LumiCAL, Low Angle HCAL, BeamCAL

Deutsche Beteiligung: DESY Zeuthen, Dresden

- Detektoren am ILC sollen eine noch nie da gewesene Auflösung erreichen
- Viele Entwicklungen speziell für Hochpräzisionsdetektoren
- Forschung und Entwicklung für alle Subdetektoren
 - Ultradünne, hochauflösende Silizium-Vertexdetektoren
 - Mikrostruktur-Gasdetektoren für die TPC
 - Hochgranulare Kalorimeter für den Teilchenfluss

- Nächster Schritt:
Große, realistische und skalierbare Prototypen