

Teststrahlungsmessungen mit dem EUDET Pixelteleskop

Jörg Behr

für das EUDET-Konsortium

DPG Frühjahrstagung München

März 2009



- ① Was ist EUDET?
- ② Experimenteller Aufbau
- ③ Datennahmesoftware
- ④ Ergebnisse von Teststrahlmessungen
- ⑤ Zusammenfassung

EUDET

- Verbesserung der Infrastruktur für Detektorentwicklung (Unterstützung für den ILC)
 - Vertex-Detektoren
 - Gas- und Silizium-Spurdetektoren
 - elektromagnetische und hadronische Kalorimeter
- Förderung durch das 6. Rahmenprogramm der EU

Verbesserung der Teststrahl-Infrastruktur innerhalb von EUDET:

- 1 Tesla Magnet (PCMAG)
- 2 hochauflösendes Pixelteleskop

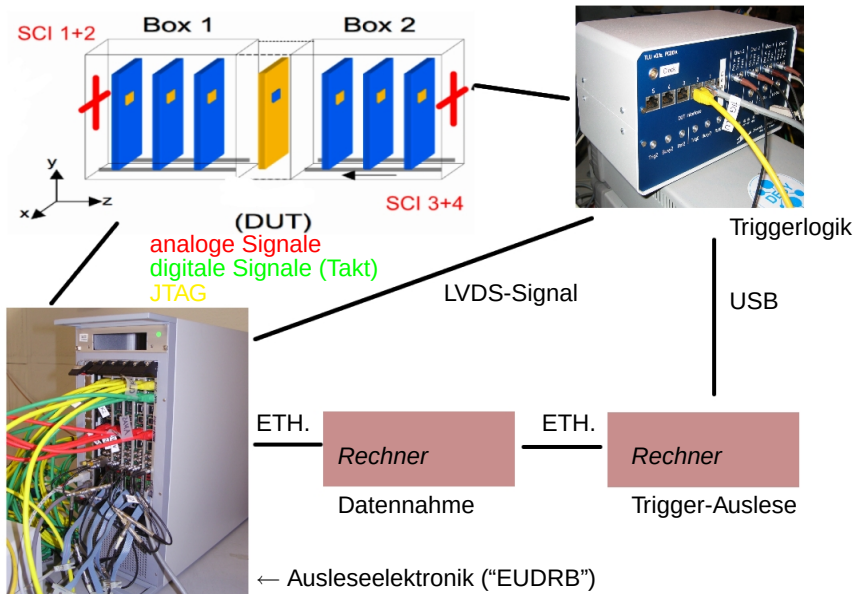
Erste Phase:

- "Demonstrator"-Teleskop, einfache Siliziumsensoren analog ausgelesen

Zweite Phase:

- mehr Datenverarbeitung auf den Sensoren (Nullpunktsunterdrückung), digitale Auslese
- verfügbar Spätsommer 2009

Experimenteller Aufbau



Einige Wichtige Hardware Komponenten

Sensoren:

- MAPS (“Monolithic Active Pixel Sensor”)
- **MimoTEL**
 - 65536 Pixel
 - Abstand: $30\ \mu\text{m}$
 - Größe: $7.7 \otimes 7.7\ \text{mm}^2$
 - Rauschen: $15\ e^-$ (bei Raumtemperatur)
 - $S/N > 22$
 - intrinsische Auflösung: $3.0\ \mu\text{m}$
- **Mimosa18**
 - $512 \otimes 512$ Pixel
 - Abstand: $10\ \mu\text{m}$
 - Größe: $5 \otimes 5\ \text{mm}^2$
 - Rauschen: $9.9\ e^-$ (bei Raumtemperatur)
 - $S/N \approx 27$
 - intrinsische Auflösung: $1.0\ \mu\text{m}$

“EUDRB”:

- Datenerfassung
- Anschlüsse: VME64x, USB 2.0 und Trigger
- 2 Modi:
 - ① “RAW”
 - ② “ZS” (Nullpunktunterdrückung)

“TLU”:

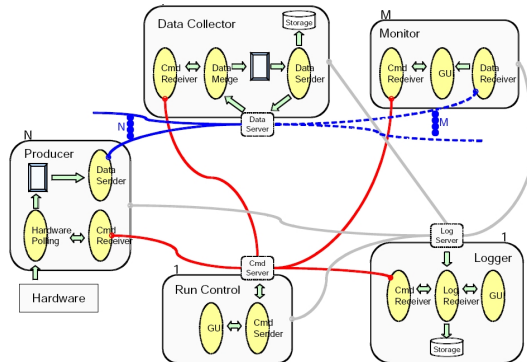
- Triggerlogik
- einfache Steuerung über Computer
- Koinzidenz von Szintillatorsignalen
- generiert Ereignisnummern und Zeitmarkierungen
- kann mit fester Frequenz Triggersignale generieren (zum Testen)

Datennahmesoftware (“EUDAQ”) (1/2)

- Die Datennahmesoftware ist eine eigene Implementation in objektorientiertem C++
- verteilter Betrieb über Netzwerk
- Benutzer können ihre Detektoren mit der Software auslesen
 - ↪ erfolgreich getestet mit DEPFET-Kollaboration

- modularer Aufbau:

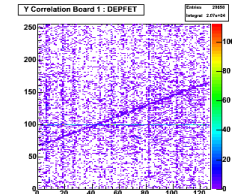
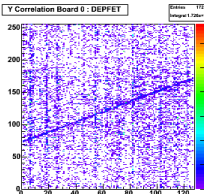
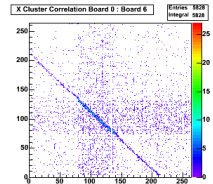
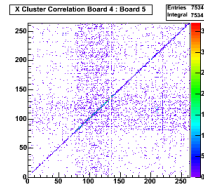
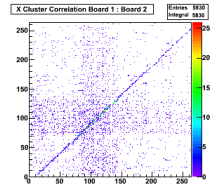
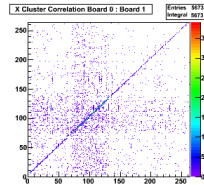
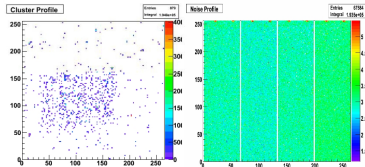
- “Run-Control”
- “Log-Collector”
- “Data-Collector”
- diverse Prozesse, die die Hardware auslesen
- Online-Überwachung der Datenqualität



Datennahmesoftware ("EUDAQ") (2/2)

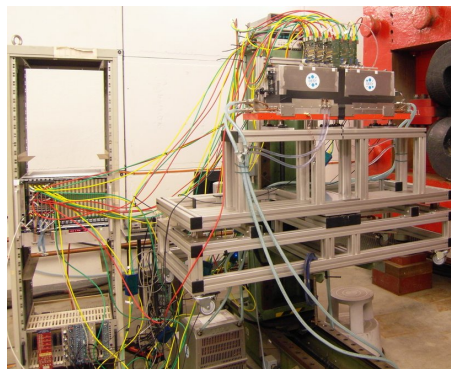
Online-Überwachung der Datenqualität (Online-Monitoring):

- Rauschen, Rekonstruktion von Clustern, ...
- (Dekodierung von DEPFET-Sensoren)
- Korrelationen zwischen den Sensorebenen (z.B.):
 - Cluster Position
 - Anzahl der Cluster⇒ Erleichtert Ausrichtung im Strahl



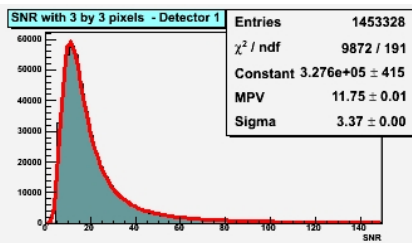
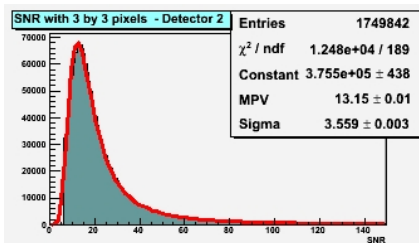
Teststrahlmessungen

- Im Sommer/Herbst 2007 wurde das “Demonstrator”-Teleskop am DESY and am CERN in Betrieb genommen und getestet
- Die Integration von Benutzern wurde erfolgreich getestet und durchgeführt
- Dezember 2007 und im Sommer 2008 haben verschiedene Benutzer das Teleskop am CERN und am DESY verwendet:
 - **DESY:** BeamCal, EUDET
 - **CERN PS:** CALICE, DEPFET
 - **CERN SPS:** DEPFET, EUDET, SiLC, MimoRoma, ISIS
- Sommer 2008 war die Kampagne von Teststrahlmessungen länger als 13 Wochen! → mehr als 10 Millionen gemessene Ereignisse



Leistung der Sensoren (6 GeV Elektronen)

Sensor		Keimpixel S/N (MPV)	$3 \otimes 3$ Cluster S/N (MPV)	$3 \otimes 3$ Cluster Rauschen [ADC]
0	MimoTEL	16.14 ± 0.01	11.57 ± 0.02	9.5
1	MimoTEL	14.73 ± 0.01	11.75 ± 0.01	9.7
2	MimoTEL	16.43 ± 0.01	13.15 ± 0.01	8.7
3	Mimosa18	21.48 ± 0.01	14.96 ± 0.01	7.1
4	MimoTEL	13.09 ± 0.01	11.69 ± 0.01	10.1
5	MimoTEL	11.62 ± 0.01	9.683 ± 0.004	11.9

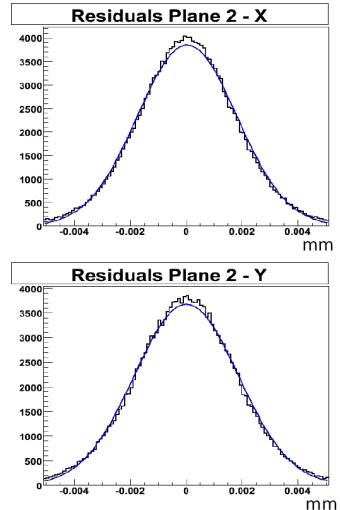


- Sensortemperatur $T \approx 20$ Grad C
- Mimosa18 zeigte höheres S/N and niedrigeres Rauschen

“Alignment”

- Die “Alignment”-Prozedur basiert auf **MILLEPEDE II** und nutzt volle Spuren
- typische Werte der “Alignment”-Konstanten sind:
 - Verschiebungen in X- und Y-Richtung:
einige 100 μm
 - Rotationen um die Strahlrichtung:
einige mrad

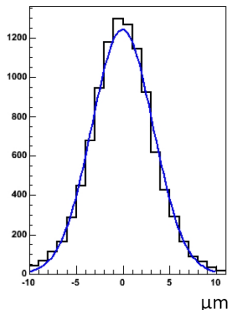
- **“Alignment” Präzision besser als 0.05 μm**
- neue Entwicklung: Benutzer können ihren Detektor zusammen mit dem Teleskop alignieren!



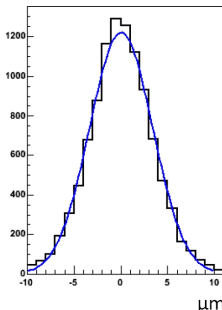
Auflösung mit Hadronen

- bei hochenergetischen Hadronen kann die Vielfachstreuung vernachlässigt werden
 - $\sigma^2 = \sigma_{\text{MO}}^2 + \sigma_{\text{TEL}}^2 + \cancel{\sigma_{\text{VS}}^2}$
 - ⇒ geradlinige Spuren lassen sich anpassen
- **Messobjekt-Modus:**
 - mittlerer Sensor wird bei der Spuranpassung nicht berücksichtigt
 - ⇒ Auflösung lässt sich mit Hilfe der Residuen bestimmen

Residuals in DUT - CERN - X



Residuals in DUT - CERN - Y



Beobachtete Breite:

→ $\sigma = 3.3 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$

Entspricht der Erwartung:

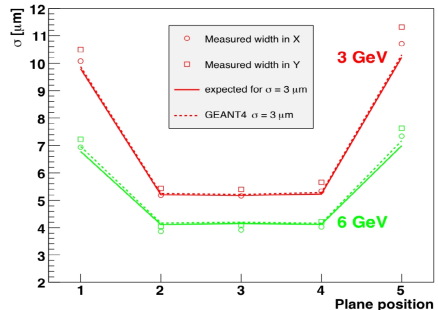
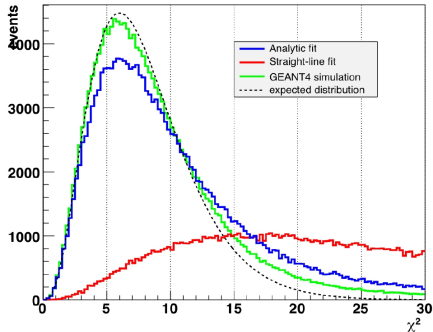
→ $\sigma_{\text{MimoTEL}} = 3.0 \mu\text{m}$

Auflösung mit Elektronen

- Vielfachstreuung der Elektronen wird bei der Spuranpassung berücksichtigt:

$$\rightarrow \Delta\chi^2 = \underbrace{\left(\frac{y_i - p_i}{\sigma_i}\right)^2}_{\text{Ortsmessung}} + \underbrace{\left(\frac{\theta_i - \theta_{i-1}}{\Delta\theta_i}\right)^2}_{\text{Vielfachstreuung}}$$

- ⇒ Verbesserung der χ^2 -Verteilung
- ⇒ gute Übereinstimmung mit der Simulation



Zusammenfassung

- Das “Demonstrator”-Teleskop wurde erfolgreich während der Teststrahlungsmessungen im Jahre 2007 getestet und wird seitdem intensiv von Benutzern verwendet
- Die bisherigen Ergebnisse entsprechen der Erwartung.
- Verschiedene Benutzer wurden erfolgreich integriert.
- Das endgültige Teleskop soll im Spätsommer 2009 zur Verfügung stehen.

Das Teleskop kann jeder verwenden!

→ Weitere Informationen: <http://www.eudet.org/>

Backup - "MAPS"

- "MAPS" basieren auf CMOS-Technologie
- auf dem gleichen Siliziumsubstrat befindet sich das Detektionselement und die Ausleseelektronik
- p-dotierte epitaktische Schicht als empfindliches Medium (Dicke $< 20 \mu\text{m}$, Füllfaktor $\approx 100\%$)
- Muster von n-dotierten "Wells" (Photodioden)
- epitaktische Schicht ist nicht verarmt $\rightarrow$ thermische Diffusion
- Sensoren wurden optimiert um bei Raumtemperatur nur einen kleinen Dunkelstrom aufzuweisen
- Verdünnung auf $50 - 120 \mu\text{m}$ wurde erreicht

