

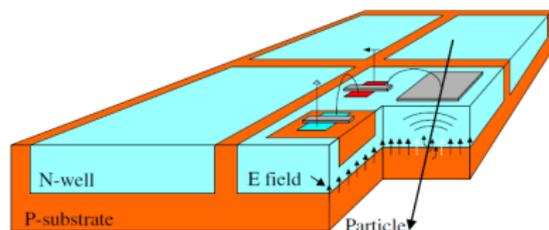
Strahlteleskop für niederenergetische Teilchen DPG Frühjahrstagung in Mainz

Lennart Huth
für die Mu3e Kollaboration

26. März 2014

HV-MAPS

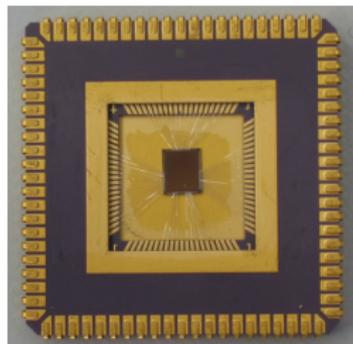
HV-MAPS = High Voltage-Monolithic Active Pixel Sensor



I. Peric, P. Fischer et al., NIM A
582 (2007) 876

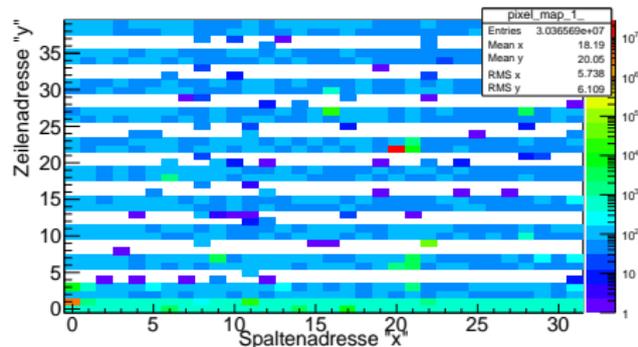
- Für das Mu3e Experiment entwickelt (A. Herkert)
- nullunterdrückte digitale Auslese
- starkes E-Feld zwischen N-Well und Substrat
→ Drift statt Diffusion
- Zeitauflösung < 17 ns
- kommerzieller IBM 180nm Prozess
- auf $50 \mu\text{m}$ dünnbar

Der MuPix4 Prototyp



- Pixel Größe: $92 \times 80 \mu\text{m}^2$
- Aktive Fläche: $2.9 \times 3.2 \text{ mm}^2$
- MuPix4 gedünnt: 1 ‰
Strahlungslänge
- Sensor + Träger: 10 %

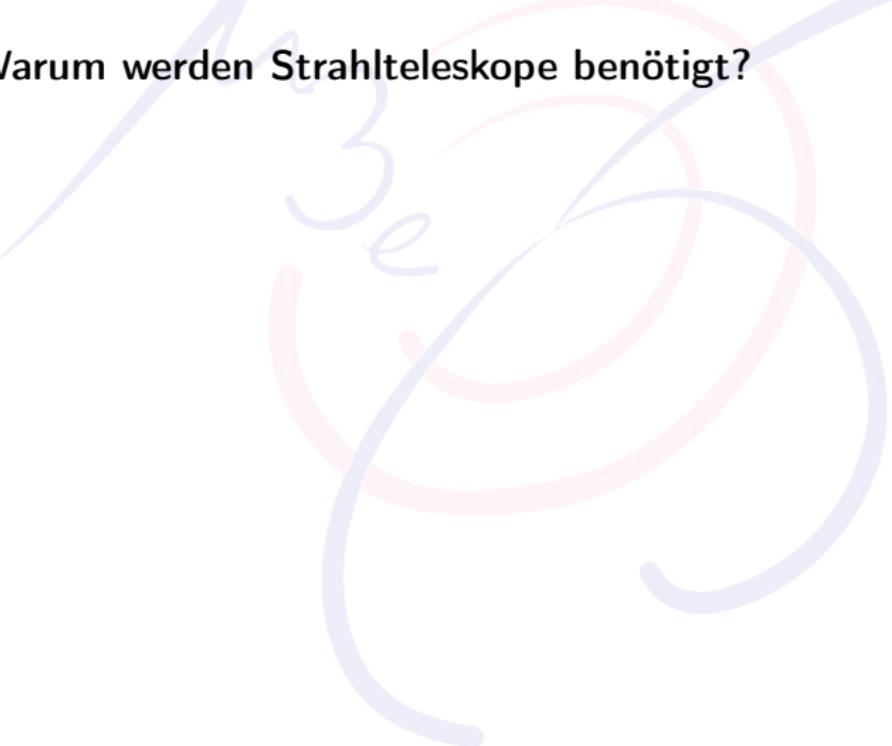
- Effizienz > 99 %
- Zeitstempel
- Adressinformation
- kontinuierliche Auslese





Motivation

Warum werden Strahlteleskope benötigt?





Motivation

Warum werden Strahlteleskope benötigt?

- Spurrekonstruktion
→ Test neuer Sensoren
- Charakterisierung der Vielfachstreuung von Materialien



Motivation

Warum werden Strahlteleskope benötigt?

- Spurrekonstruktion
→ Test neuer Sensoren
- Charakterisierung der Vielfachstreuung von Materialien

Warum ist ein Strahlteleskop aus HV-MAPS sinnvoll?

Motivation

Warum werden Strahlteleskope benötigt?

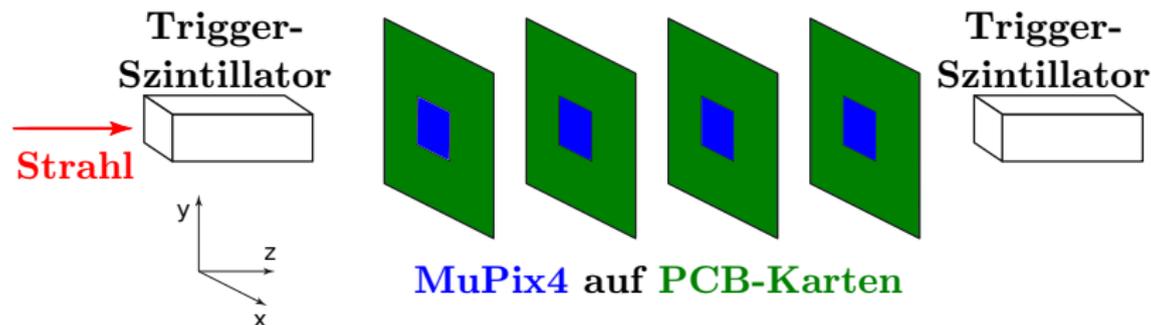
- Spurrekonstruktion
→ Test neuer Sensoren
- Charakterisierung der Vielfachstreuung von Materialien

Warum ist ein Strahlteleskop mit HV-MAPS sinnvoll?

- Ist ein Teleskop für niederenergetische Teilchen, welches hohe Raten verarbeiten kann
- $\Theta_{MS} \propto \sqrt{\frac{x}{X_0}} \frac{(1+0.038 \ln(\frac{x}{X_0}))}{p}$ → Minimierung des Materials
- Integrationstest des Mu3e Experiments (mehrere Lagen)
- Die Hardware für ein Teleskop existiert größtenteils schon



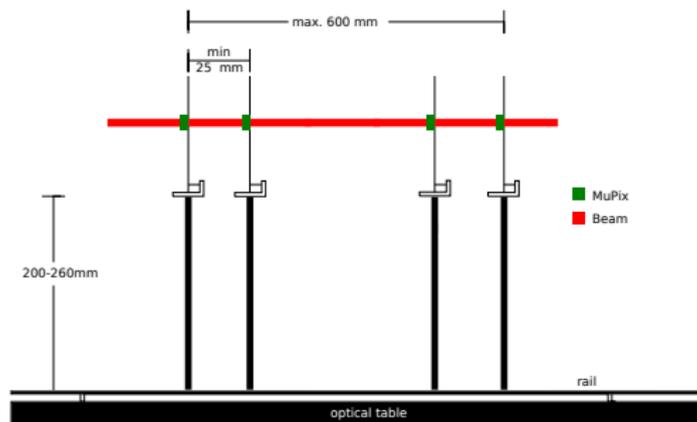
Konzept



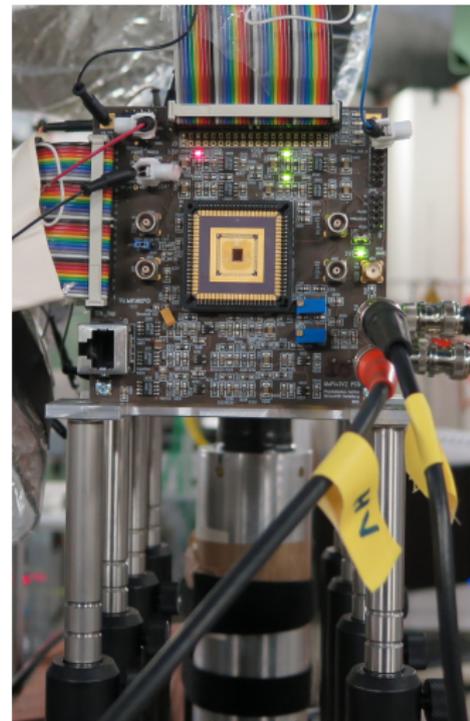


Mechanik

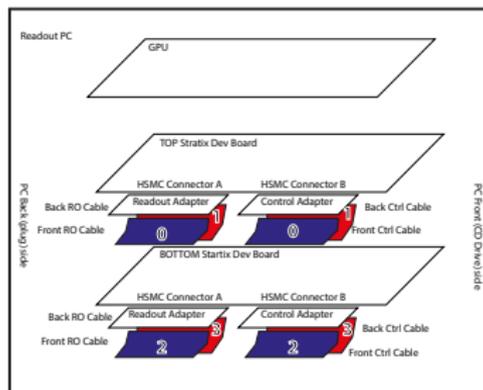
Optomechanische Komponenten von Thorlabs®



- auf optischer Schiene montiert
- Lagen sind mechanisch unabhängig
- kompaktes System
- bisher Sensoren ungedünnt auf Träger

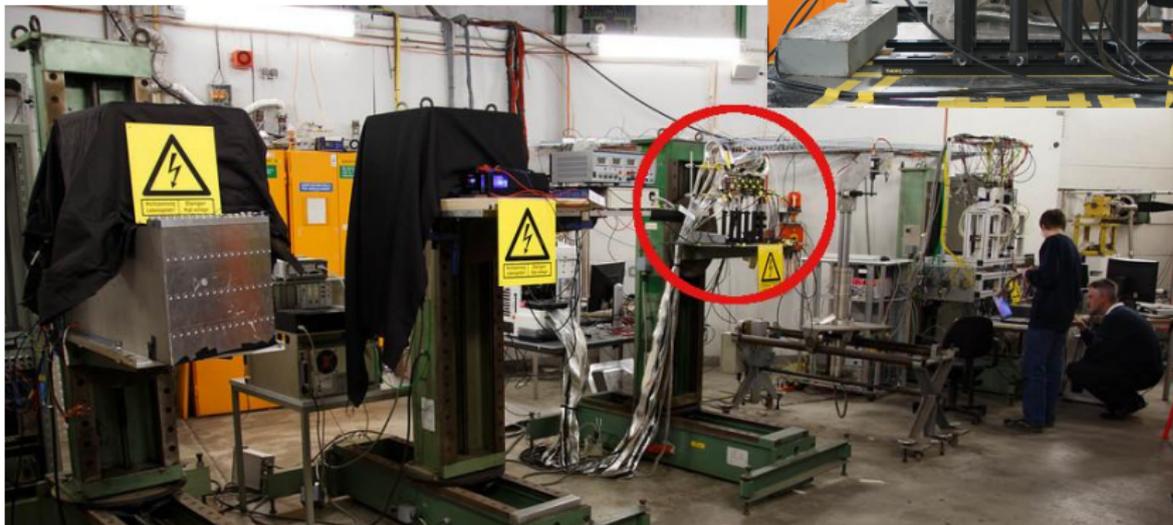


Software und Auslese



- 2 Stratix IV FPGA Karten für je 2 Sensoren
- Speziell entwickelte HSMC Adapterkarten
- Verbindung zum MuPix-PCB via Flachbandkabel
- FPGAs sind synchronisiert
- Auslese entweder getriggert oder kontinuierlich

02.02.2014 - 09.02.2014
Mu3e Testbeam @ DESY T22



Datenauslese

DAQ - Leistung

Insgesamt 2.5 Tage stabile Datennahme!

maximale Spurrate

maximal erreichte Trefferrate: 1.5 MHz

→ kein Problem für die DAQ

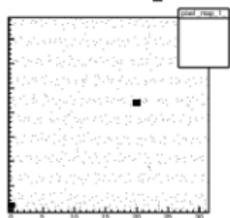
→ Flaschenhals:

- Auslesegeschwindigkeit des FPGA
- lange Flachbandkabel

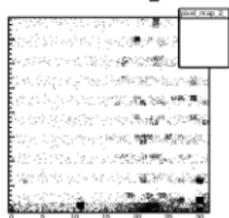


Online Monitor

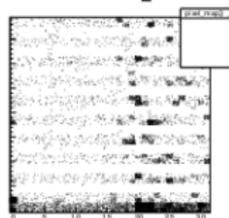
Hitmap 1



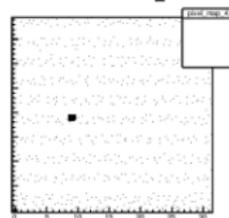
Hitmap 2



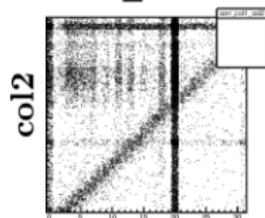
Hitmap 3



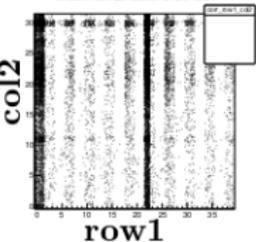
Hitmap 4



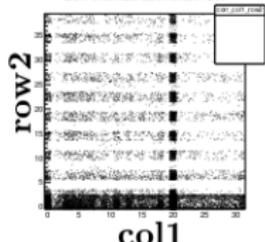
col1_col2



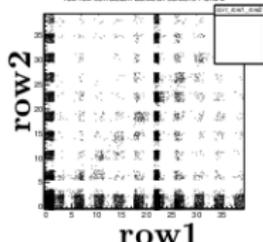
row-column correlation between sensors 1 and 2



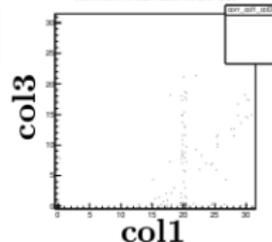
column-row correlation between sensors 1 and 2



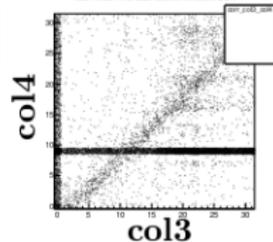
row-row correlation between sensors 1 and 2



column-column correlation between sensors 1 and 2



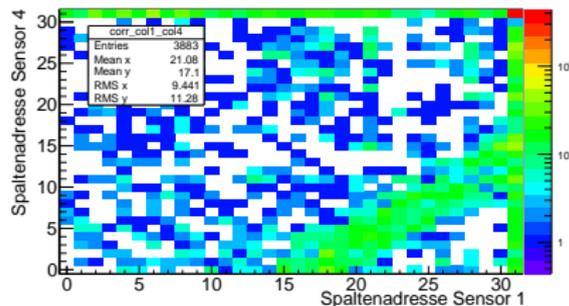
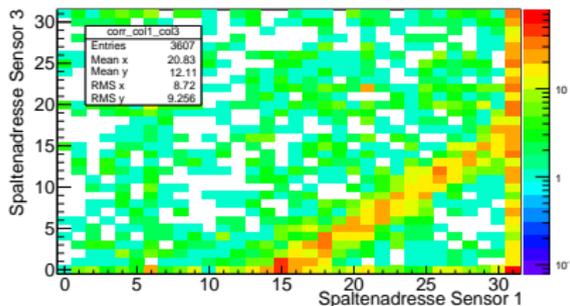
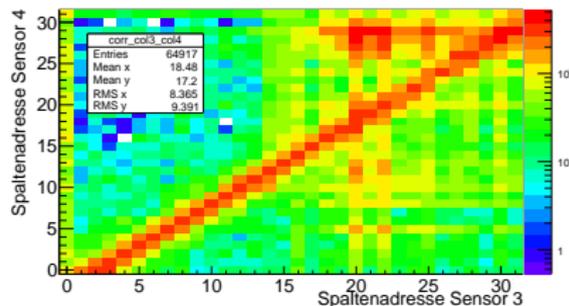
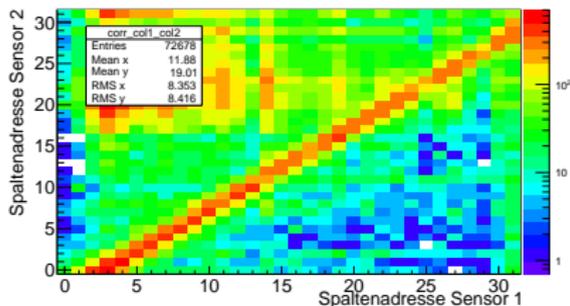
column-column correlation between sensors 2 and 4





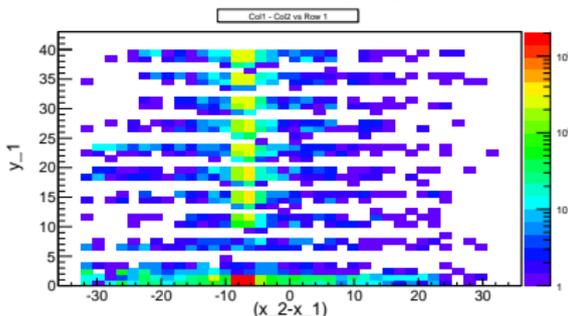
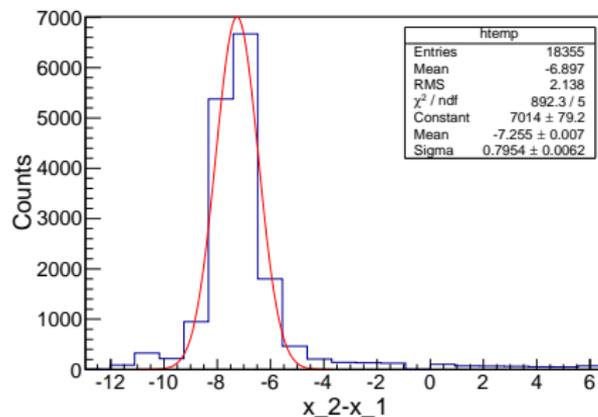
mechanische Präzision & Korrelationen

maximale Verschiebung zweier Lagen: 16 Pixel $\hat{=}$ 1.5 mm





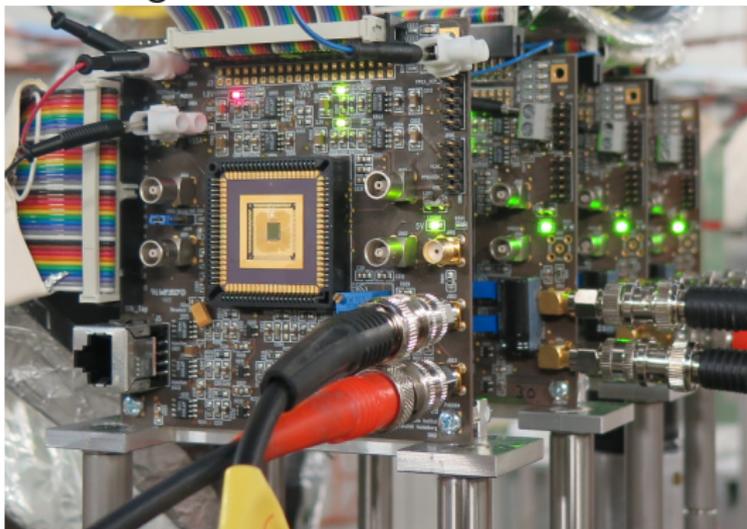
Verteilungsbreiten



- 5 GeV Elektronen Strahl
- Mittelwert: 7.3 Pixel
- Sigma: 0.79 Pixel
- Intrinsische Pixelauflösung:
 $\frac{1}{\sqrt{12}} \approx 0.28$ Pixel
- keine sichtbaren Rotationen

- Pixelgröße ausreichend klein
- Sensoren dünnen

- Erstes HV-MAPS Teleskop erfolgreich im Betrieb
- Hohe Teilchenraten können verarbeitet werden (≈ 1 MHz)
- Funktionalität bestätigt
- Teststrahlanalyse noch nicht beendet:
→ weitere Ergebnisse werden folgen
- neuer MuPix6 Prototyp geliefert!
→ Fehler der letzten Version behoben
- Erneuter Einsatz am PSI im Mai 2014





Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

- **M. Kiehn:** Do, 17:30 T 115: Teststrahlmessungen mit dem MuPix4 Sensor für das Mu3e Experiment
- **S. Corrodi:** Do, 18:30 T 121: Schnelle Auslese des HV-MAPS Trackers des Mu3e Experiments



BACKUP



	Timepix Telescope [5]	EUDET Telescopes [6]	HV-MAPS Telescope
Pixel size	55 μm	18.4 μm	80 μm
Pointing resolution (180 GeV π)	2 μm	1.8 μm	\approx 12 μm
50 MeV e^- ⁽¹⁾	400 μm	180 μm	150 μm
Material	300 μm sensor 700 μm readout	50 μm sensor 50 μm protective foil	50 μm sensor
in radiation lengths	2.8%	0.7 ‰	0.5 ‰
Time resolution	1 ns (in special plane) 16 ms otherwise	115.2 μs	50 ns
Frame rate	60 Hz	9 KHz	20 MHz
Maximum track rate	15.5 KHz	\approx 100 KHz	\approx 20 MHz
Track reconstruction	offline	offline	online