

Messungen an einer TPC mit GEM-basierter
Gasverstärkung und hochgranularer Pixelauslese
DPG-Tagung 2012 in Göttingen

C. Brezina, K. Desch, J. Kaminski und T. Krautscheid

Universität Bonn

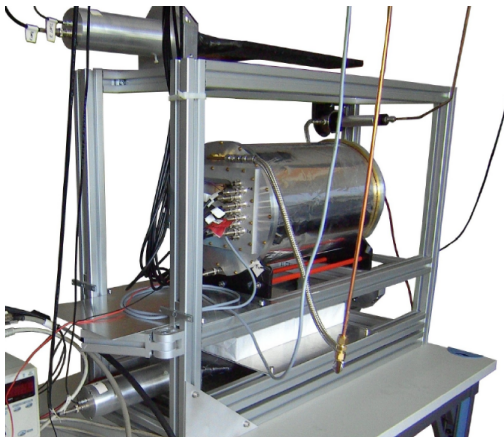
27. Februar 2012



- 1 Versuchsaufbau
- 2 Datenanalyse
- 3 Ortsauflösung
- 4 Zusammenfassung & Ausblick

TPC Teststand

Zeitprojektionskammern (**T**ime **P**rojection **C**hamber) erfüllen mit ihrem kleinem Material Budget, der hohen Effizienz und exakten Teilchenidentifikation die Anforderungen zukünftiger e^+e^- Beschleuniger.



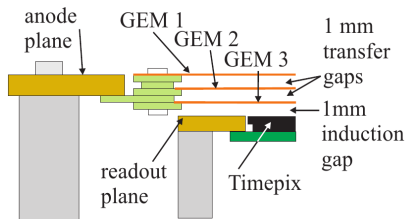
TPC Prototyp

- Driftstrecke 26 cm
- Durchmesser 23 cm
- Materialbudget $1\%X_0$

Setup

Trigger auf kosmische Strahlung
($\gtrsim 4$ GeV Myonen)
Driftgas ist Helium/CO₂ (70/30)

Gasverstärkung



GEM Stapel

- $U_{\text{GEM}} = 415 \text{ V}$
- Transferfelder = 2.2 kV/cm
- Induktionsfeld = 3.0 kV/cm

Simulation mit ANSYS und
Garfield++

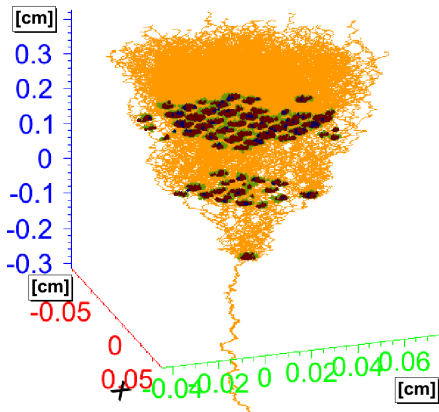


Abbildung: K. Zenker, C. Hasterok,
GEM Simulation Studies, DESY/TU
Dresden

Üblicherweise werden TPCs ausgelesen mit:

- Pads ($\mathcal{O} \approx \text{mm}^2$)
- Verdrahtung vom Pad zur Elektronik

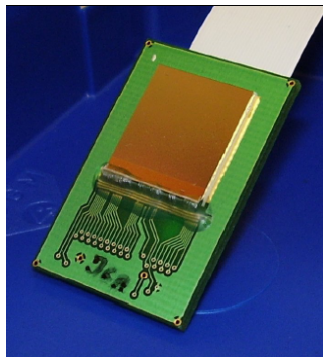
Beides kann die Performance herabsetzen.

Unsere TPC wird ausgelesen mit dem Timepix ASIC (am CERN entwickelt):

- 256×256 Pixel
- Rauschen $\approx 100 e^-$
- $55 \times 55 \mu\text{m}^2/\text{Pixel}$
- Schwelle $\approx 350 e^-$

Ein Pixel besteht aus:

- einem CSA und einem Diskriminator in der analogen Domäne
- einer 14 bit Zähl-Logik in der digitalen Domäne

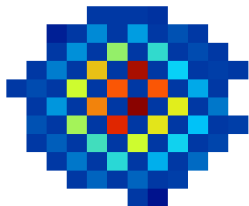


Pixel-Logik

Ein Pixel mißt entweder:

- die deponierte Ladung (ToT),
- oder die Ankunftszeit (ToA).

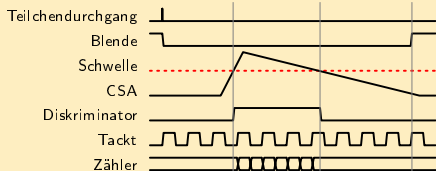
⇒ Pixel im Schachbrettmuster konfiguriert.



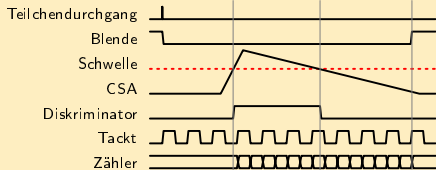
Farbkodiert: ToT

Dunkelblau: ToA

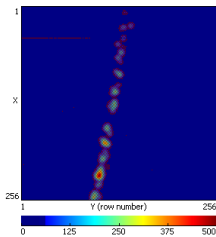
Time over Threshold Modus



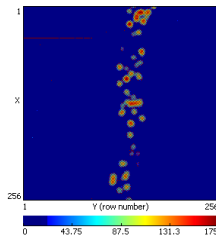
Time of Arrival Modus



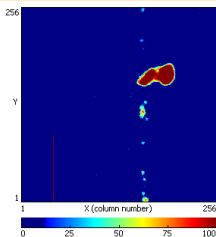
Beispiel Ereignisse



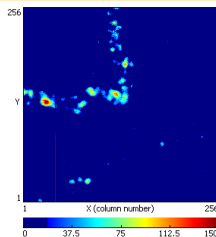
Spur mit
kurzer
Driftstrecke



Spur mit
langer
Driftstrecke

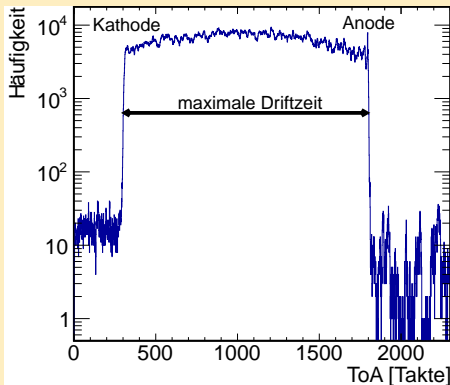


Ereignis mit
 δ -Elektron

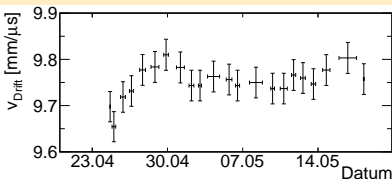


W-Ereignis

Ankunftszeit Spektrum



Mittlere Driftgeschwindigkeit

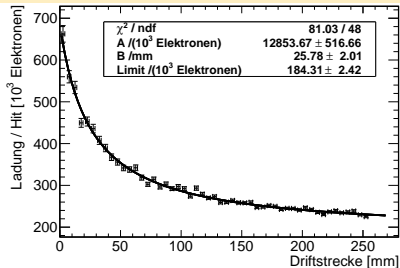


Die mittlere gemessene Driftgeschwindigkeit von $9.75 \mu\text{m}/\text{ns} \pm 0.8\%$ ist in guter Übereinstimmung mit den Magboltz Simulationen.

Die Effekte an den Rändern des Spektrums sind verstanden.

Eigenschaften der Ladungsdepositionen

Mittlere Ladungsdeposition



$$Q(z) = \frac{A}{B+z} + \text{Limit}$$

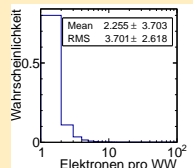
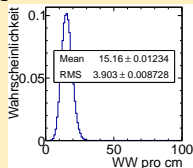
Gasverstärkung: $\approx 185k$

Diffusionseffekt

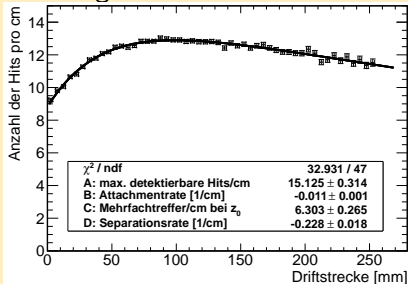


Ionisationsdichte

Simulation:

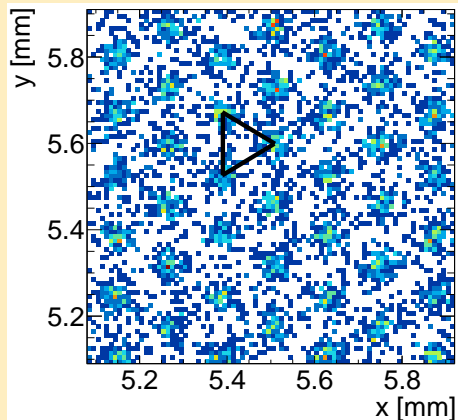


Messung:



$$N(z) = Ae^{Bz} - Ce^{Dz}$$

Rekonstruierte Zentren der Ladungsdepositionen

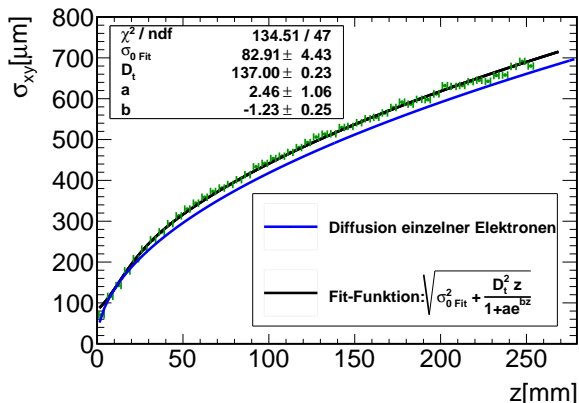


Das hexagonale Raster der GEM ist in den Daten deutlich sichtbar. (Pitch: $140\ \mu\text{m}$)

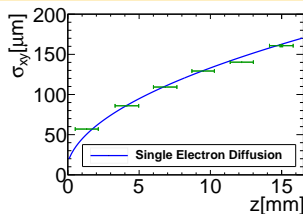
Die Punktauflösung für ein einzelnes Elektron kann niemals besser sein, als die GEM-Auflösung
($\sigma_{GEM} \approx 40\ \mu\text{m}$)

(Für Ladungsdepositionen aus mehreren Elektronen muss das nicht der Fall sein.)

Punktauflösung in der XY-Ebene



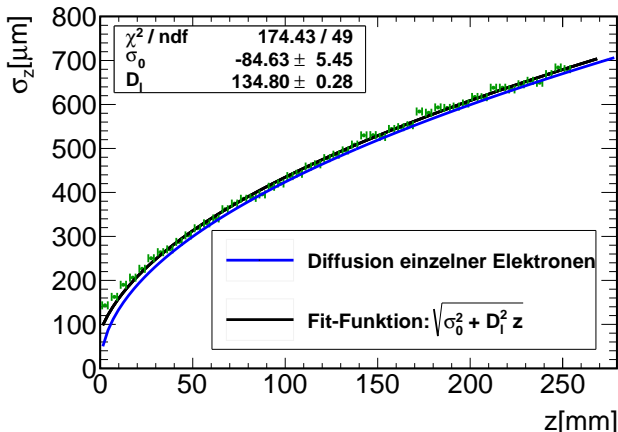
Zoom für kurze Driftstrecken



Intrinsische
Detektorauflösung:
 $\sigma_0 \approx 50 \mu\text{m}$

Die Ortsauflösung für einzelne Primärelektronen ist begrenzt durch die transversale Diffusion während der Drift: $\sigma = D_t \sqrt{z}$.
Für kurze Driftstrecken kann eine Ladungsdeposition aus mehreren Primärelektronen bestehen, dies wird in der Fit-Funktion berücksichtigt.

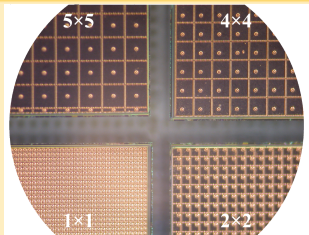
Punktauflösung in Z-Richtung



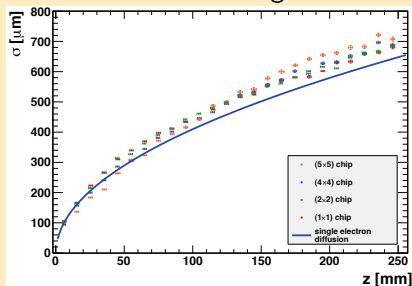
Die Ortsauflösung für einzelne Primärelektronen ist begrenzt durch die longitudinale Diffusion während der Drift: $\sigma = D_l \sqrt{z}$
Ab 50 mm Driftstrecke ist die Auflösung in Z-Richtung begrenzt durch diese theoretische Grenze.

Ausblick: Nachbearbeitung der Timepixchips

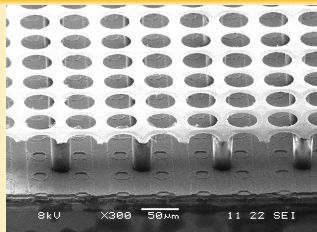
Pad Vergrößerung



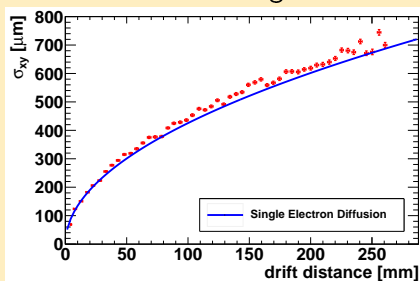
Transversale Auflösung:



InGrid (Micromegas)



Transversale Auflösung:



Zusammenfassung

- Eine TPC mit maximaler Auslesegranularität wurde erfolgreich betrieben. Daten mit He/CO₂ wurden untersucht.
- Die erzielte Einzelpunktauflösung erreicht die theoretische Grenze.
- Die Anwendung der erprobten Auslese in einer großen TPC wird verfolgt.

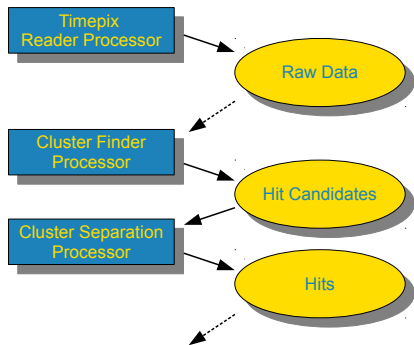
Die (nahe) Zukunft

- Verbesserungen der Hit-Separation (SExtractor).
- Entwicklung eines Auslesesystems für einige 100 Chips wird verfolgt (SRS RD51).
- Die nächste Generation des Auslesechips (Timepix3) wird verbesserte Features haben.
- Chips mit vergrößerten Pixeln werden derzeit untersucht.
- Ingrid-Strukturen zeigen ausgezeichnete Performance. Verbesserungen für große Anwendungen sind jedoch nötig.

Herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit!

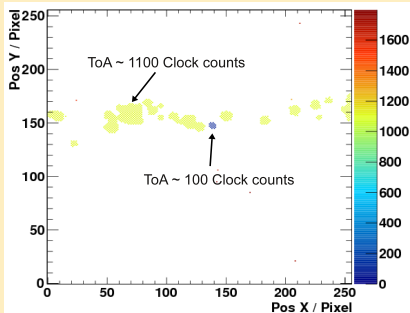
Modular Analysis & Reconstruction for the Linear Collider

- Developed within the LC-TPC collaboration
- Data processing is highly modular
- Each algorithm is encapsulated in a *processor*
- Unified data model LCIO is used
- Sequence and parameter of individual processors are defined in a XML steering file



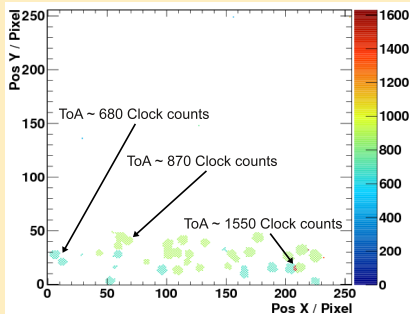
Backup: Late and Early Hits

Late Hit (Few Clock Counts)



The hit belongs obviously to the track but is 1000 clock counts of track (≈ 18 cm drift). Effect can be explained by attachment/detachment effects.

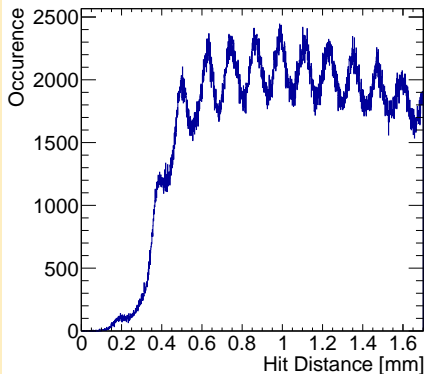
Early Hit (Many Clock Counts)



Due to a rare error in the chip logic counters are not reset between two events. Thus pixels which are hit by electrons from two different tracks count the ToA twice.

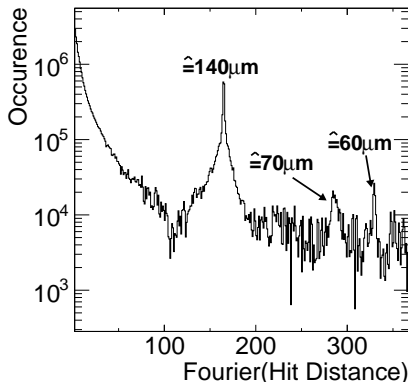
Backup: Separation Power

Distance of two hits in an event



Hits closer than 200 – 400 μm may not be separated by the current separation algorithm.

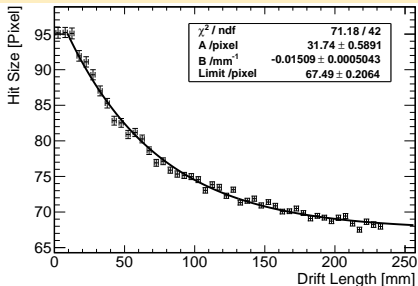
Spectrum of left plot



The characteristic distances of the GEM are found in the spectrum of the distance between two hits.

Properties of the Detected Charge Depositions

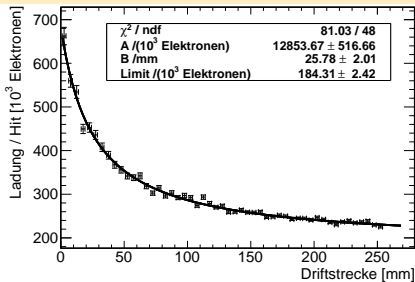
Mean Size of a charge deposition



$$N(z) = Ae^{Bz} + \text{Limit}$$



Mean charge deposition

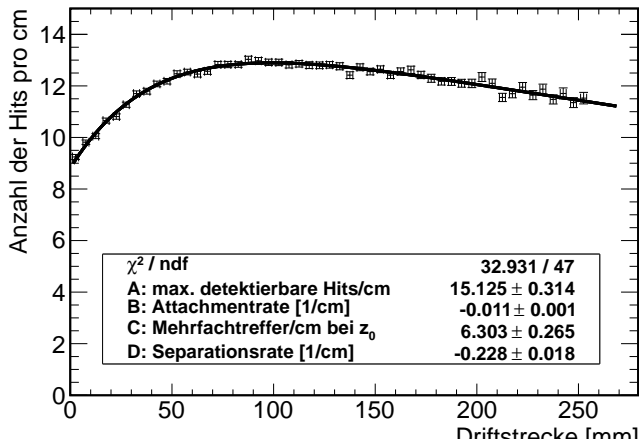


$$Q(z) = \frac{A}{B+z} + \text{Limit}$$



Charge depositions get smaller with longer drift due to better separability.
Gas gain from charge per hit: $\approx 185\text{k}$

Detected Ionization Density



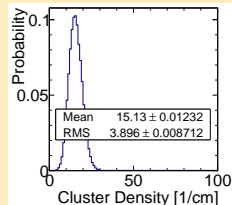
Rise due to declustering

Decrease due to attachment (O_2 content ≈ 10 ppm)

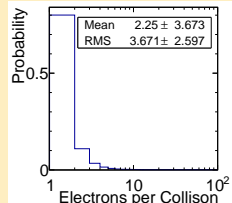
Data described by: $N(z) = Ae^{Bz} + Ce^{Dz}$

Simulations

Collisions per cm



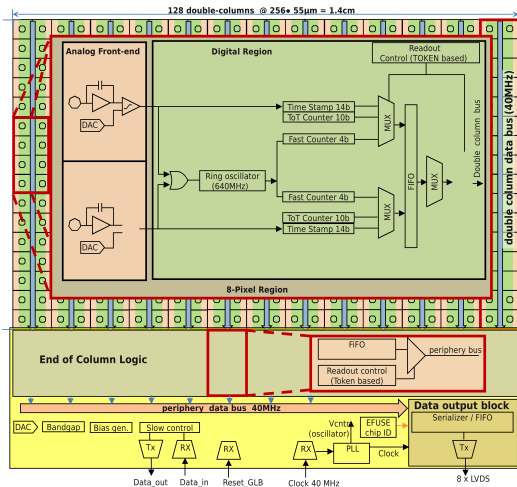
Electrons per collision



Outlook: Timepix successor

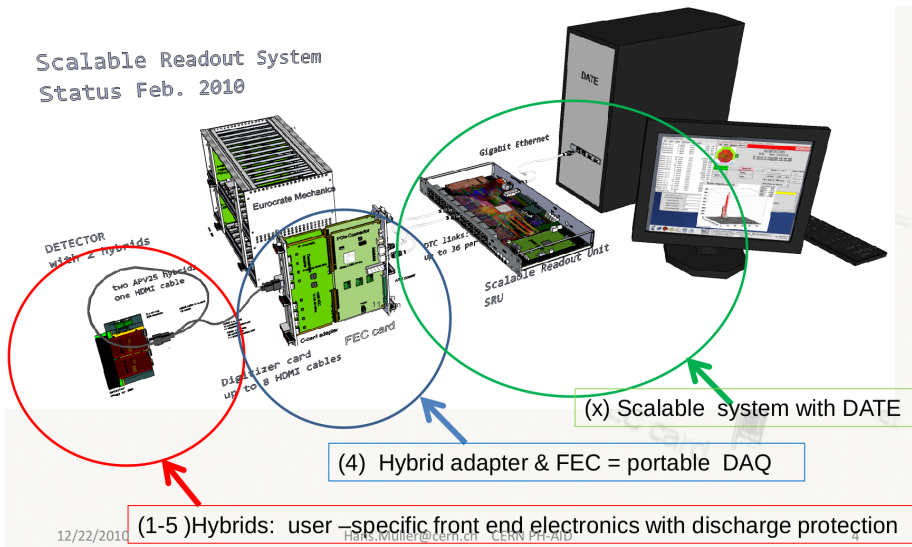
Timepix 3:

- $55 \times 55 \mu\text{m}^2$ per Pixel
- 8192 superpixel with 8 pixels each
- one 640 MHz oscillator per superpixel
- ToA accuracy: 1.6 ns
- ToA range: 0 - 100 μs
- ToA & ToT measured simultaneous.
- Sparse and frame-based high speed readout
- Rate up to $20 \frac{\text{MHz}}{\text{cm}^2}$
- **Ready in spring 2012**



Backup: Scalable Readout System

Scalable Readout System
Status Feb. 2010



12/22/2010

(1-5) Hybrids: user-specific front end electronics with discharge protection

Abbildung: Hans Müller, CERN