



Aufbau und Inbetriebnahme einer Prototypen-TPC mit hochgranularer Auslese für den ILC

Christoph Brezina - LCTPC Kollaboration

Herbstschule für Hochenergiephysik
vom 2. bis zum 12. September 2008
in Maria Laach

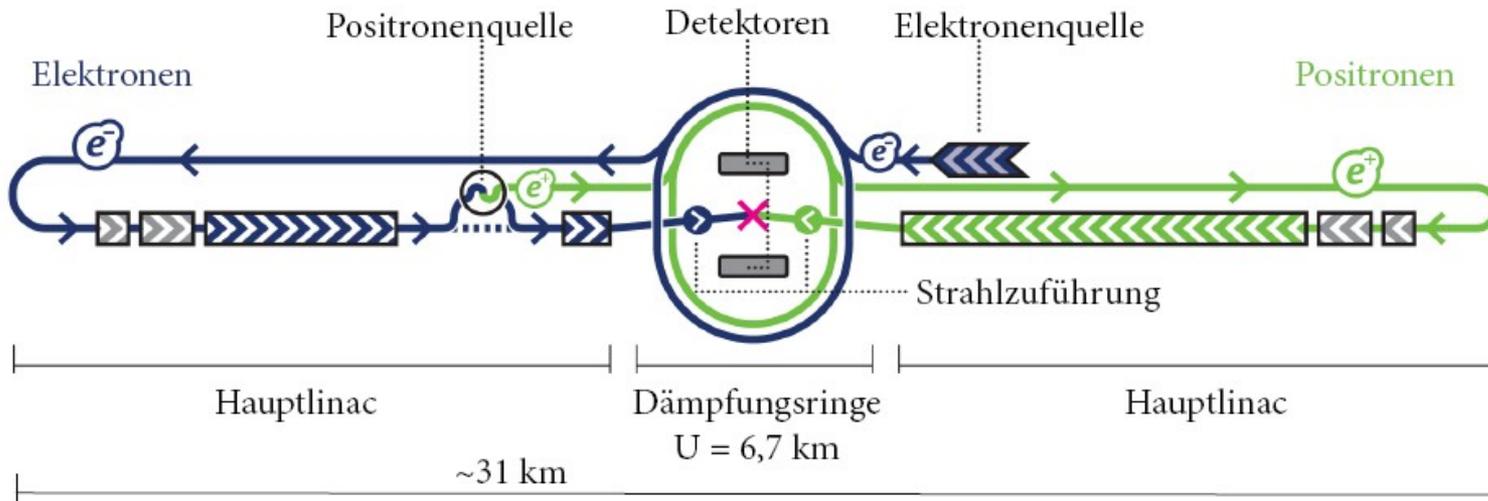
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

universität  **bonn**

- ILC
- Detektorprinzip
- Aufbau des Testdetektors
 - Sensitives Volumen
 - Erste Signal-Verstärkungsstufe
 - Auslese
- Erste Messungen
 - Mit kosmischen Myonen
 - Mit ^{90}Sr
- Neue Konzepte
 - Microchip Postprocessing



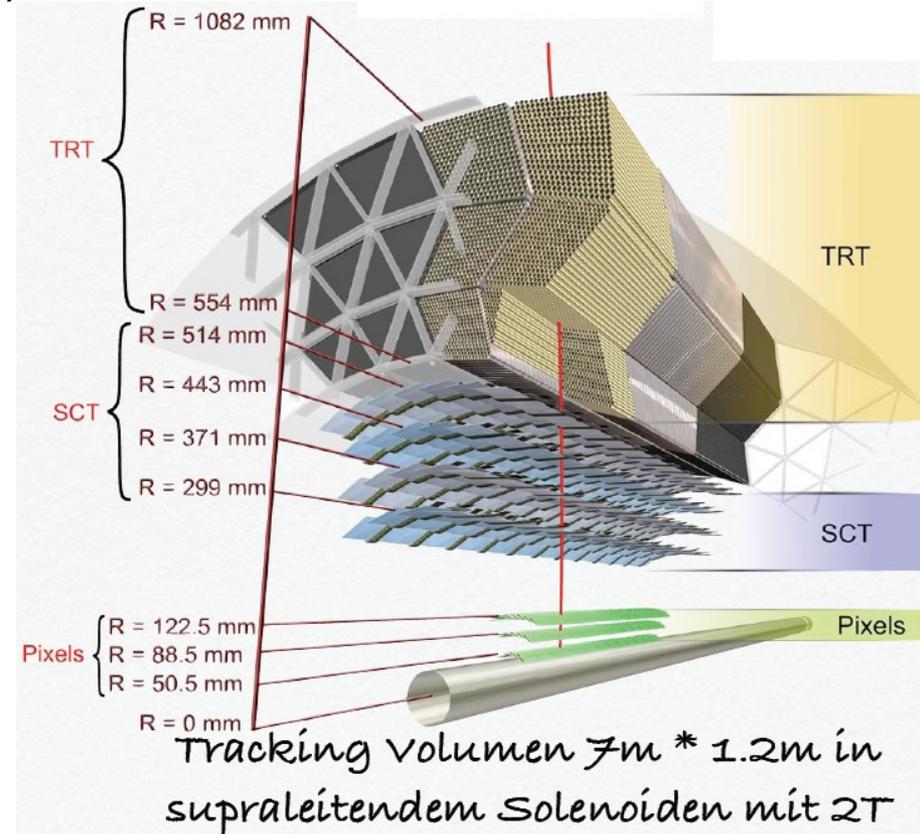
- e⁺-e⁻-Linearbeschleuniger
 - Wenig Untergrund
- Hochpräzisionsmessung
- Schwerpunktsenergie $\sqrt{S} = 500\text{GeV}$ (Option 1TeV)
- Luminosität $L = 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$
- „Higgs Fabrik“

LHC Tracking vs. ILC Tracking



- ATLAS

- Schnelle Ereignissfolge (25nsec)
- Relativ wenige Spurpunkte
- PP-Collider, daher großer Untergrund & große Detektorbelegung
- Pixellebensdauer ca. 5 Jahre



LHC Tracking vs. ILC Tracking

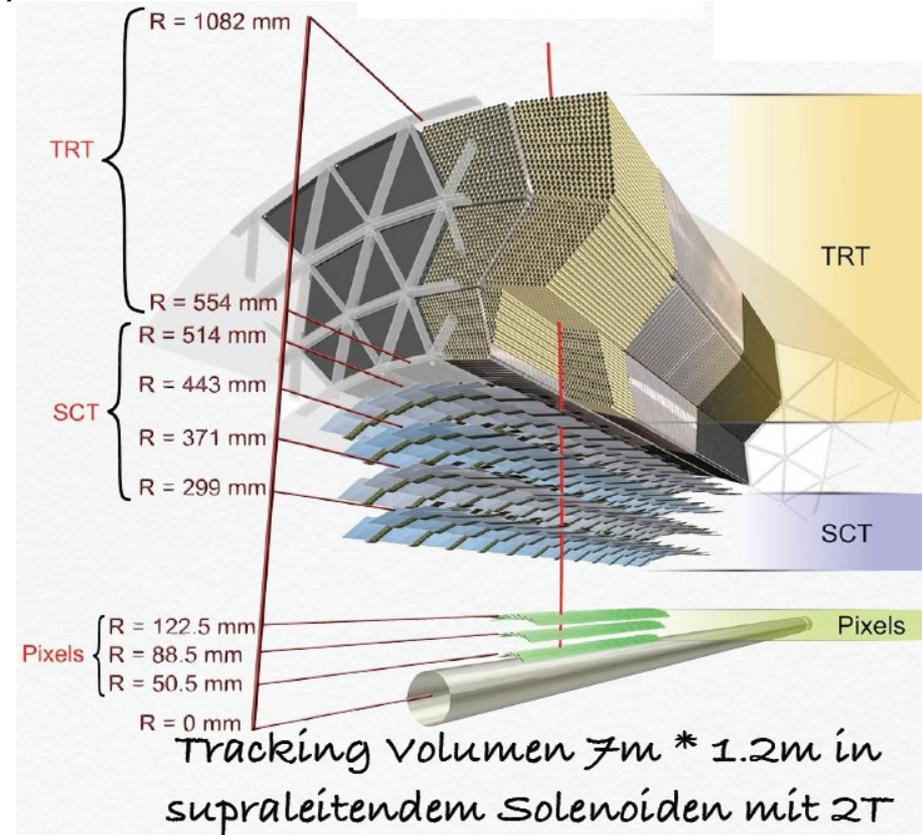


• ATLAS

- Schnelle Ereignissfolge (25nsec)
- Relativ wenige Spurpunkte
- PP-Collider, daher großer Untergrund & große Detektorbelegung
- Pixellebensdauer ca. 5 Jahre

• ILC Anforderungen

- Geringe Eventrate
(BunchX ca. alle 350nsec)
- Geringer Untergrund
- Min. 200 Punkte / Spur
- Impulsauflösung
 $\delta(1/P_T) < 2,4 * 10^{-4} (\text{GeV}/c^2)^{-1}$
- $dE/dx < 5\%$
- Materialbudget $< 0,03X_0$
- Strahlenhart



Detektorkonzept

GEFÖRDERT VOM

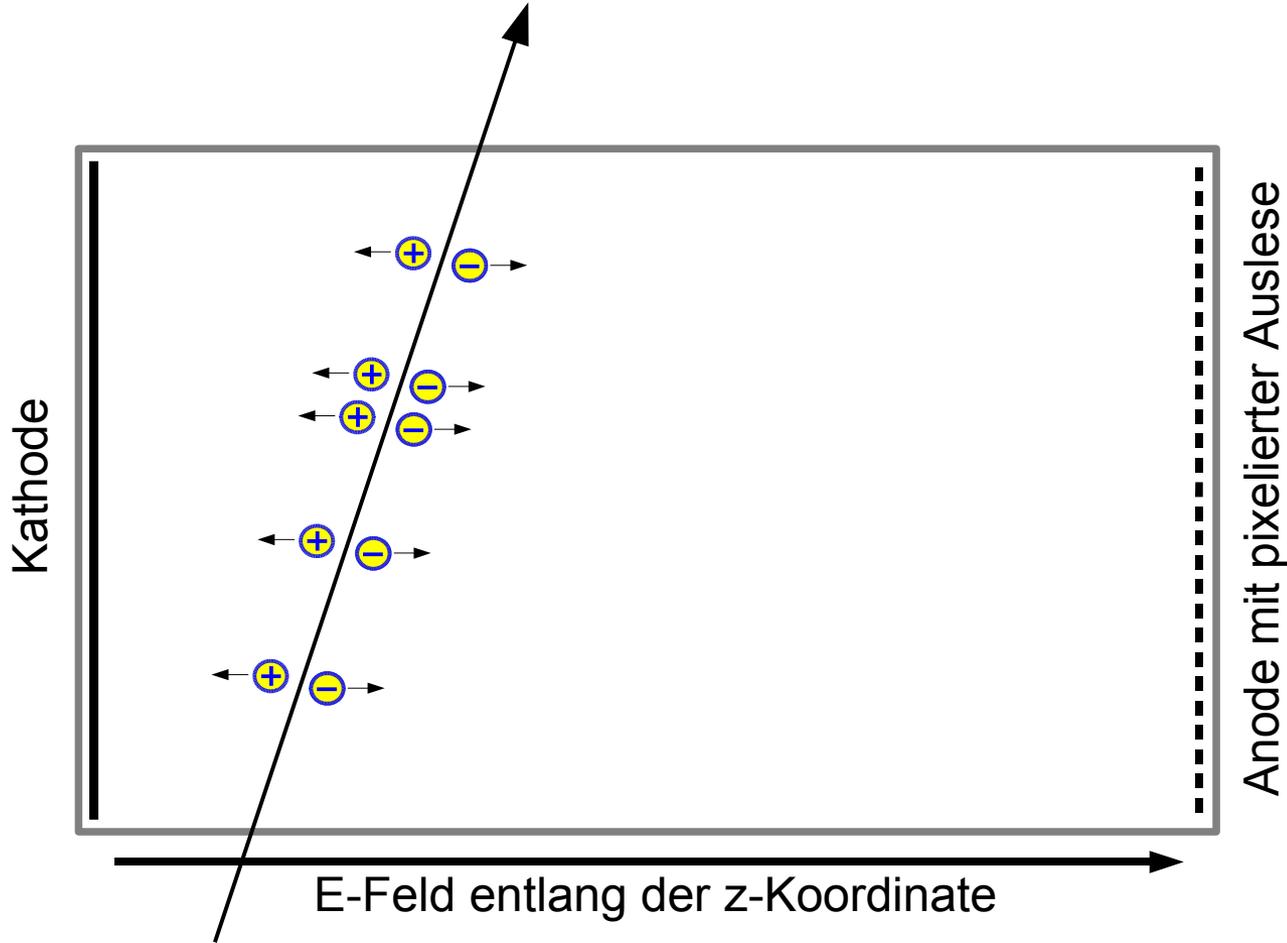


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

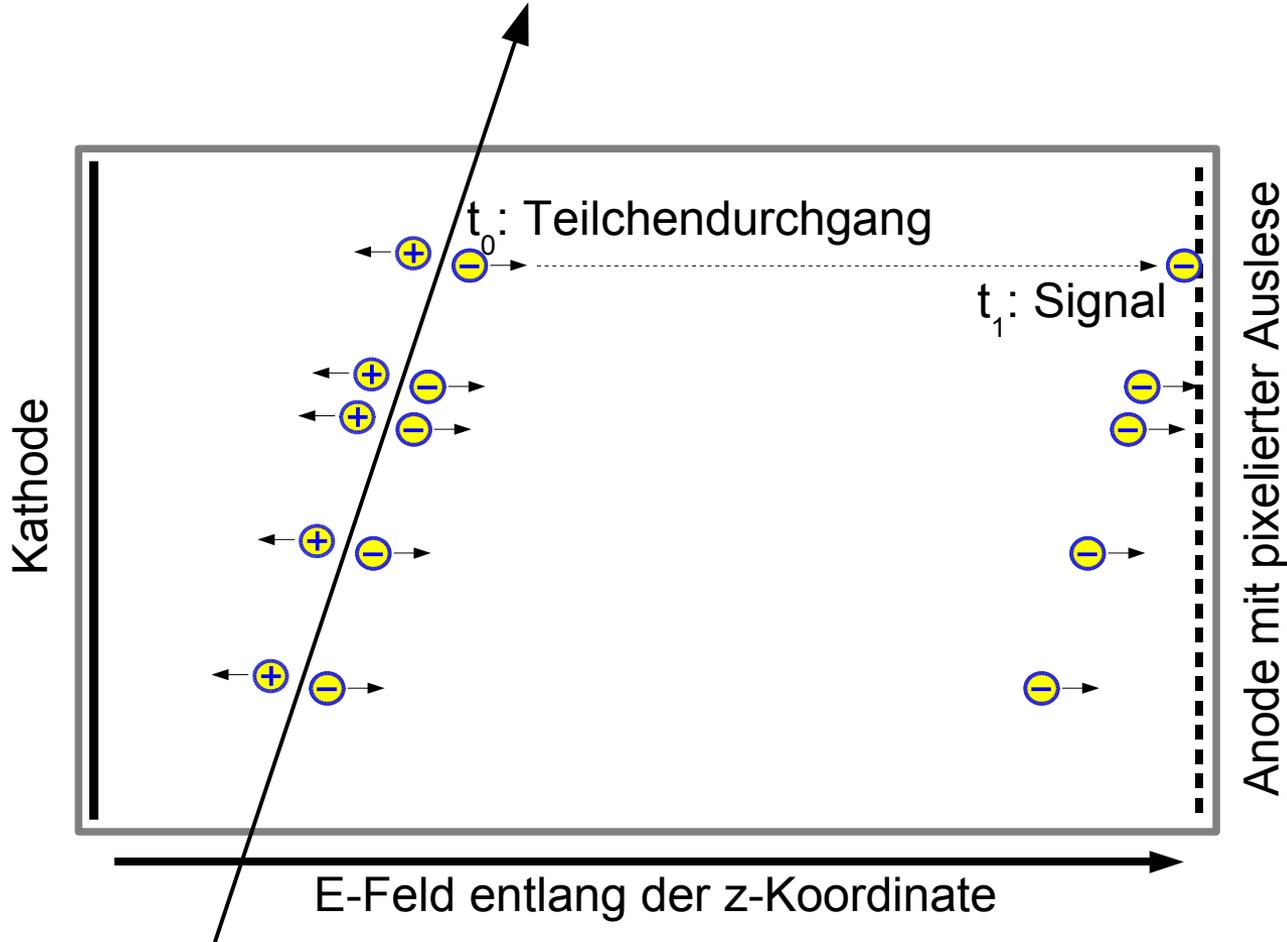
Detektorprinzip



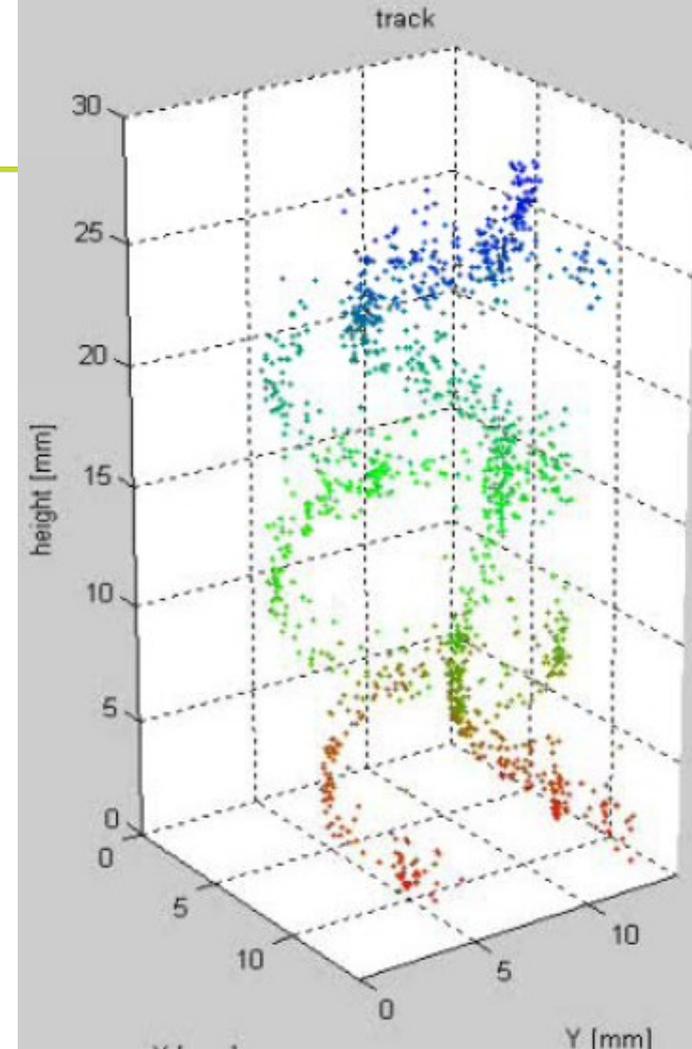
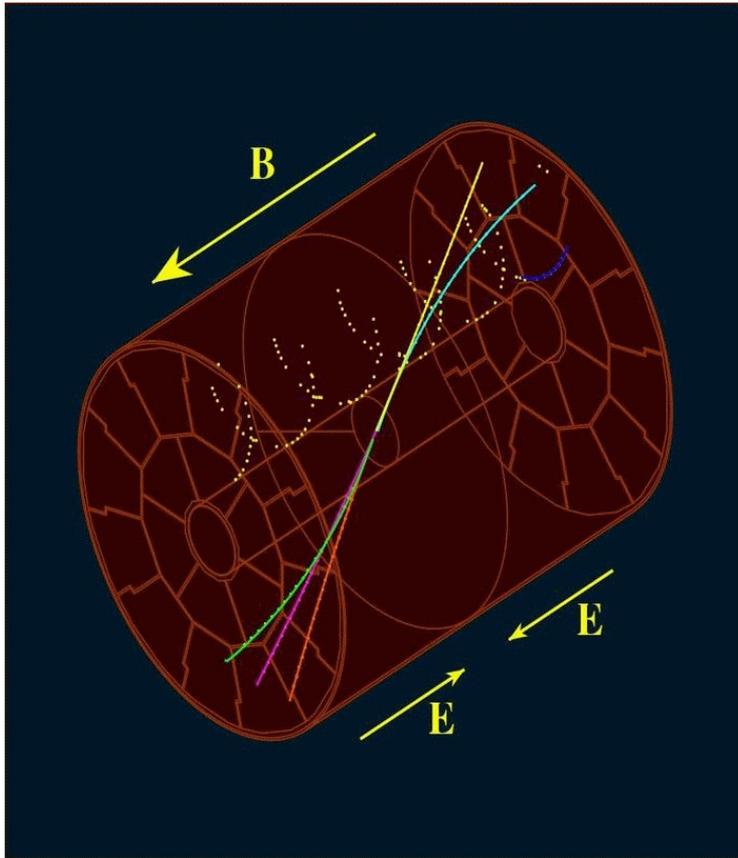
Detektorprinzip



Detektorprinzip



Detektorprinzip



- Ein B-Feld parallel zum E-Feld reduziert die transversale Diffusion und ermöglicht die Bestimmung des Teilchenimpulses
- Mit entsprechender Auslese:

Digitale Blasen-kammer

LC-TPC Prototyp

GEFÖRDERT VOM

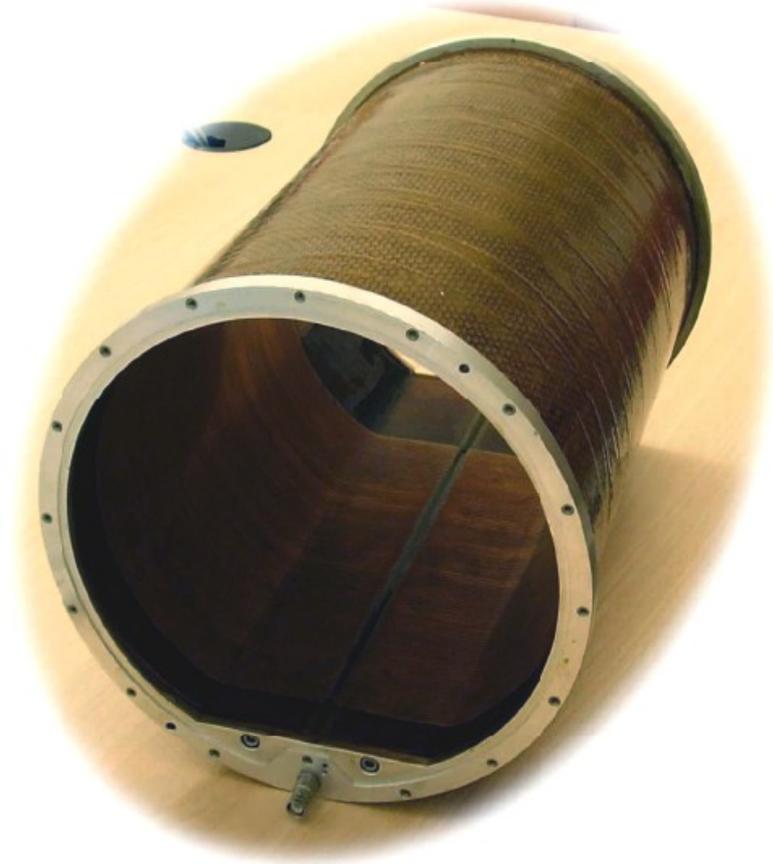
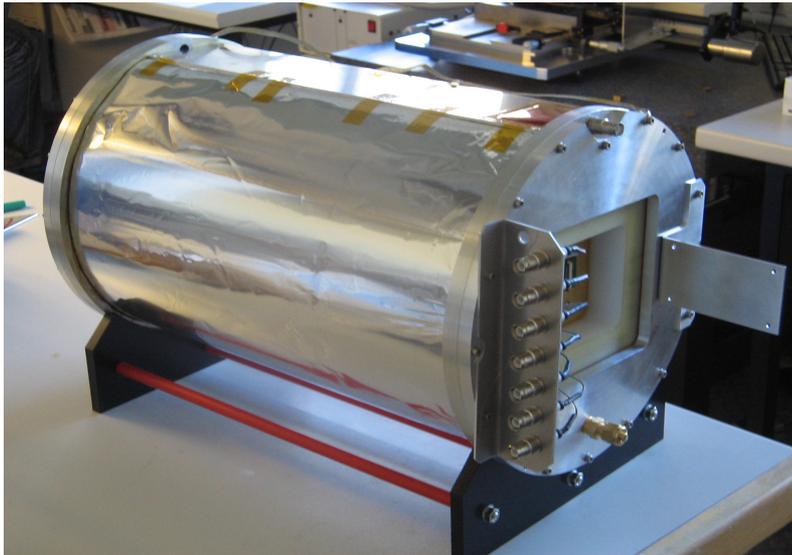


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Aufbau des Testdetektors



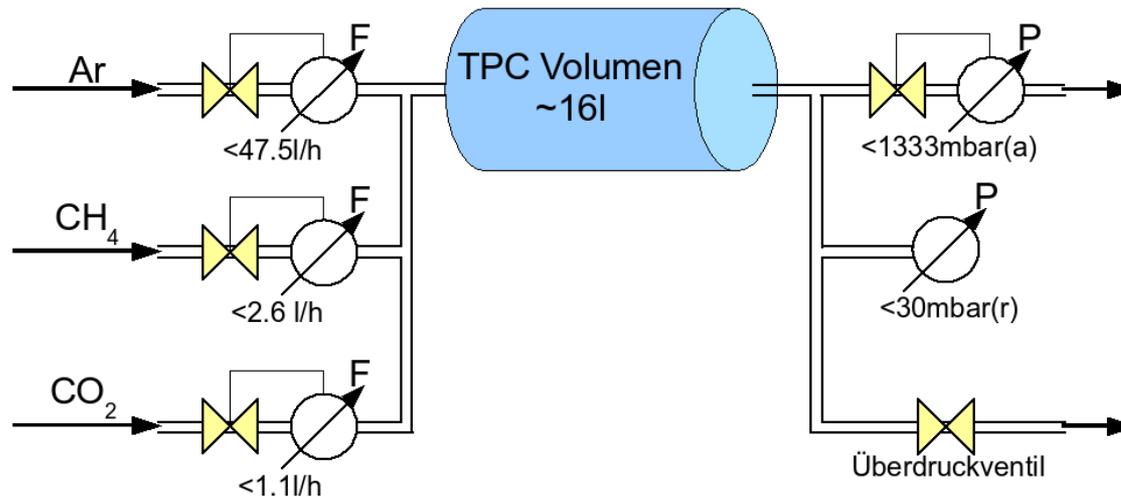
- Feldkufig entworfen an der RWTH Aachen
- 1% Strahlungslange
- Durchmesser: 23cm
- Driftstrecke: 26cm
- Driftfeldgradient: $<1\text{kV/cm}$



Aufbau des Testdetektors



- Komplexes Gassystem
 - Mischt bis zu 3 komponentige Gase dynamisch mit $< 1\%$ Fehler an den einzelnen Flüssen



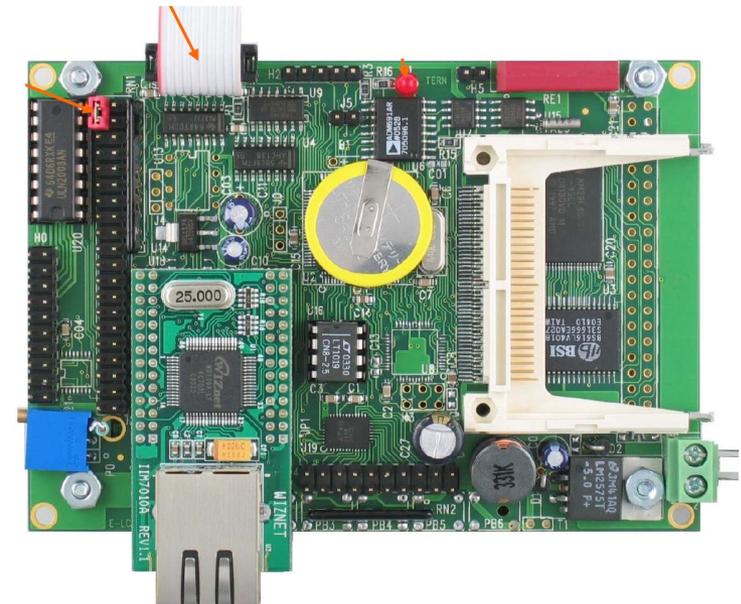
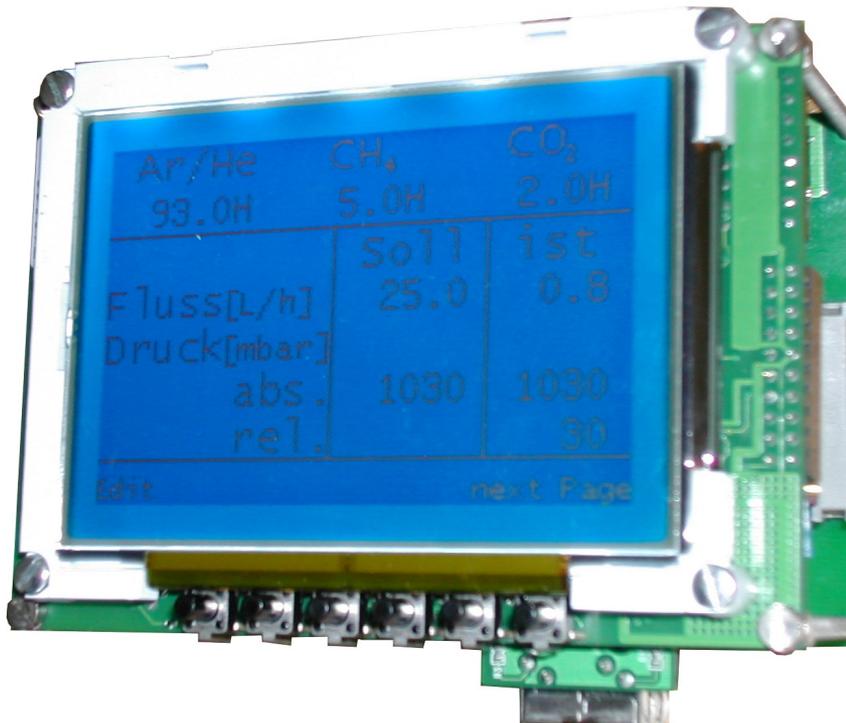
- Mischkammer ohne bewegliche Teile



Aufbau des Testdetektors



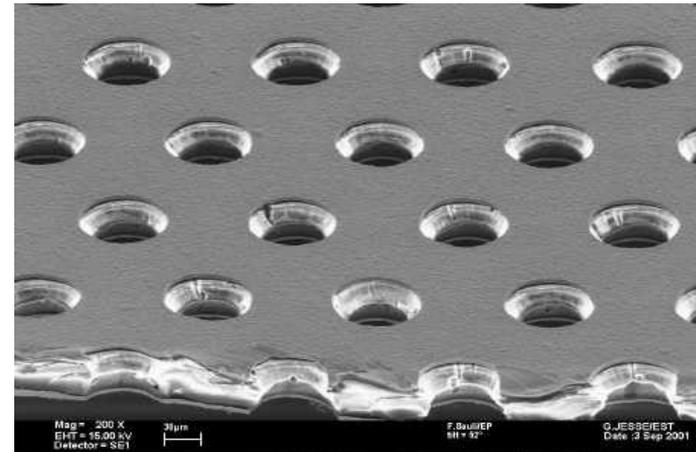
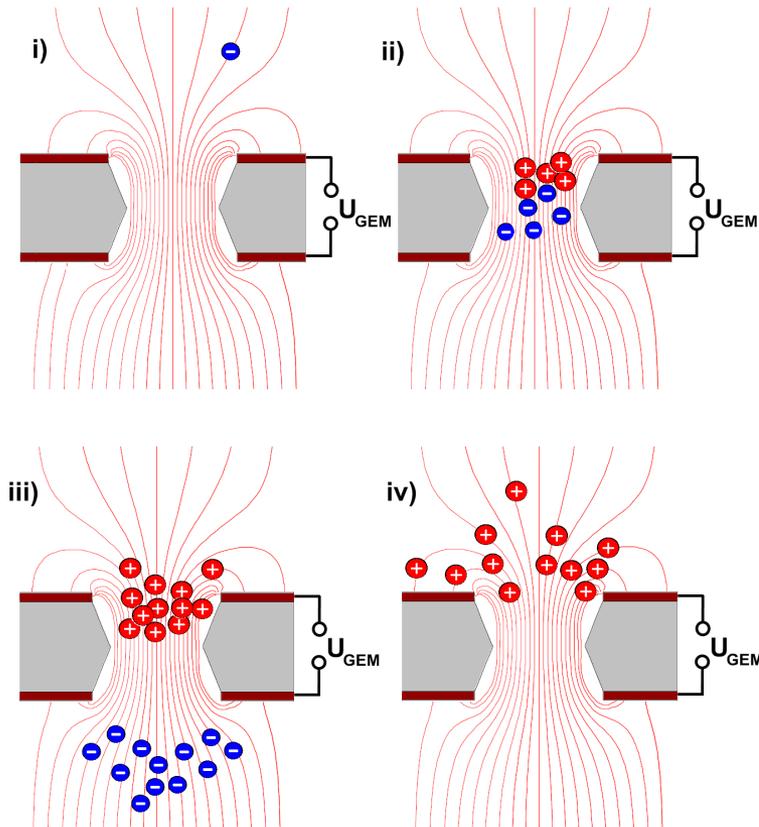
- Steuerung des Gassystems durch einen embeddedPC mit AM186 CPU
 - Steuerung von Fluss und Druck durch hochauflösende ADC / DAC
 - Überwachung von Temperatur und Luftdruck
 - Fernsteuerbar via RS232 oder TCP/IP
 - 3.5" LCD



Aufbau des Testdetektors



- Signal-Verstärkung im Gas durch GEMs
(**G**as **E**lectron **M**ultiplier – kupferbeschichtete Kaptonfolie)

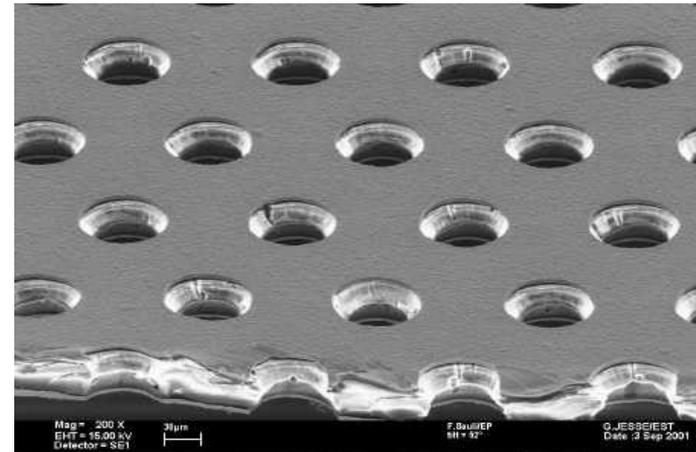
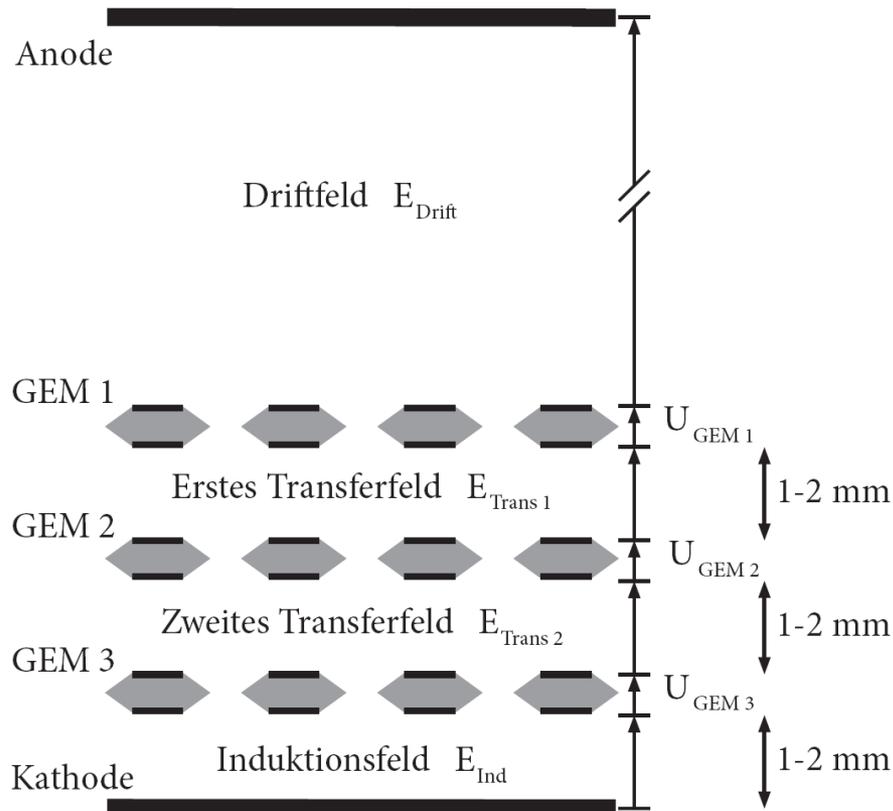


- Elektronen driften durch ein starkes E-Feld in den GEM Löchern und erzeugen dort sekundäre Elektronen

Aufbau des Testdetektors



- Signal-Verstärkung im Gas durch GEMs
(**G**as **E**lectron **M**ultiplier – kupferbeschichtete Kaptonfolie)

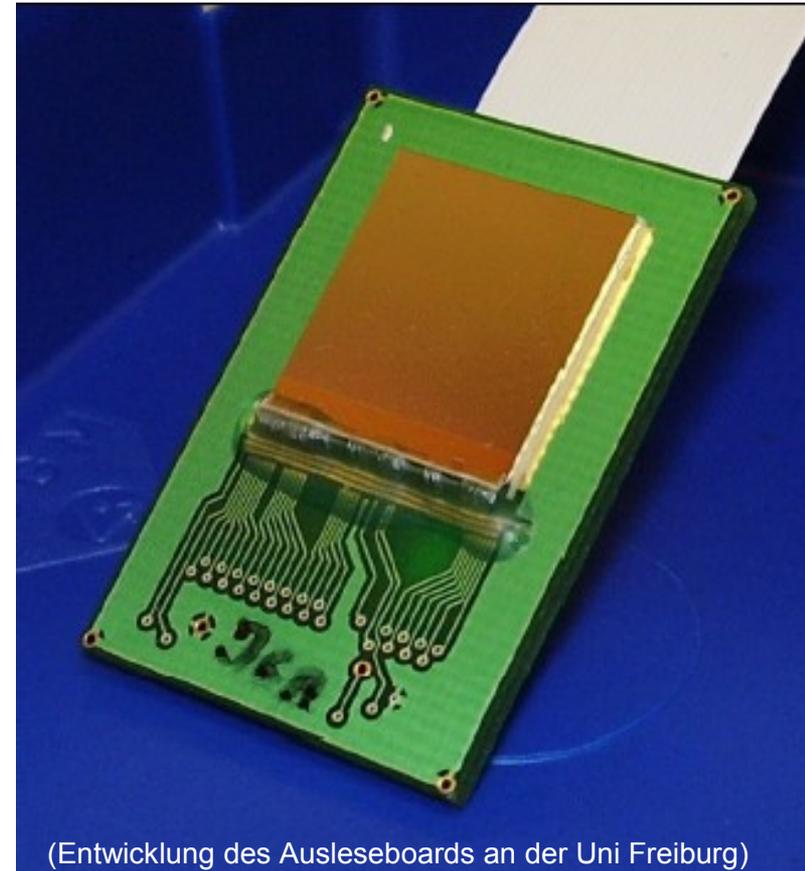


- Elektronen driften durch ein starkes E-Feld in den GEM Löchern und erzeugen dort sekundäre Elektronen

Auslese – hoch integriert

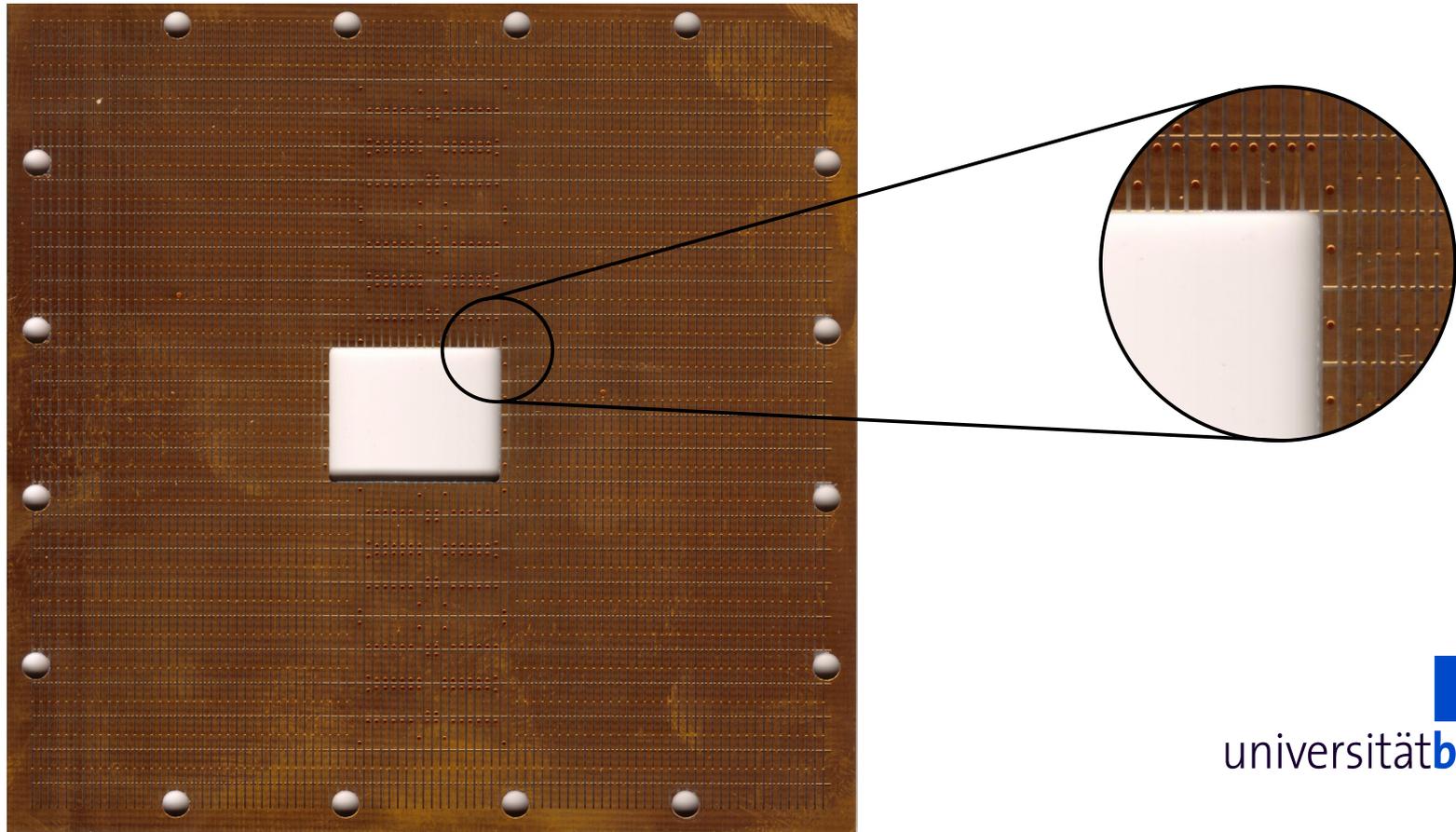


- TimePix mit 256 x 256 Pixel
 - Jeweils 55 x 55 μm^2
- 4 verschiedene Modi je Pixel:
 - Deponierte Ladung
 - Zeit zwischen Treffer und Trigger
 - Anzahl der Treffer im Zeitfenster
 - Logische Information ob es zu einem Treffer kam
- Schwelle bei $\sim 400 e^-$
- Takt $< 100\text{MHz}$
 - entspricht Zeitauflösung 10nsec
 - z-Auflösung Gasabhängig $< 500\mu\text{m}$
- Aktuell Pixel in Schachbrettanordnung zur Zeit oder Ladungsmessung konfiguriert



(Entwicklung des Ausleseboards an der Uni Freiburg)

- Auslese mit konventionellen Pads um den ASIC herum
 - Einige 1000 Pads à 4 x 1 mm
 - direkter Vergleich zwischen den Ausleseverfahren



Ergebnisse aus den ersten Testläufen

GEFÖRDERT VOM

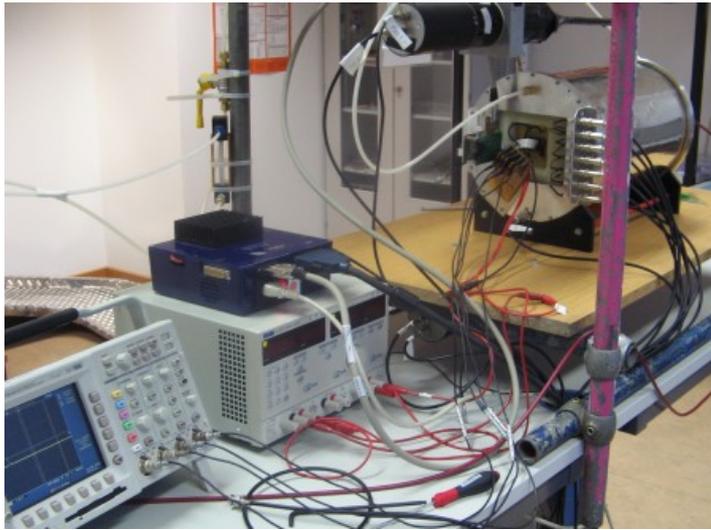


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



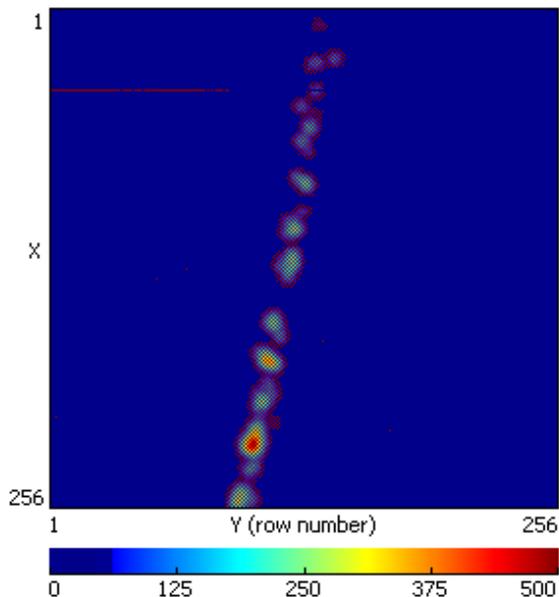
- Trigger aus Koinzidenz von zwei Szintillatoren

Kosmische Myonen

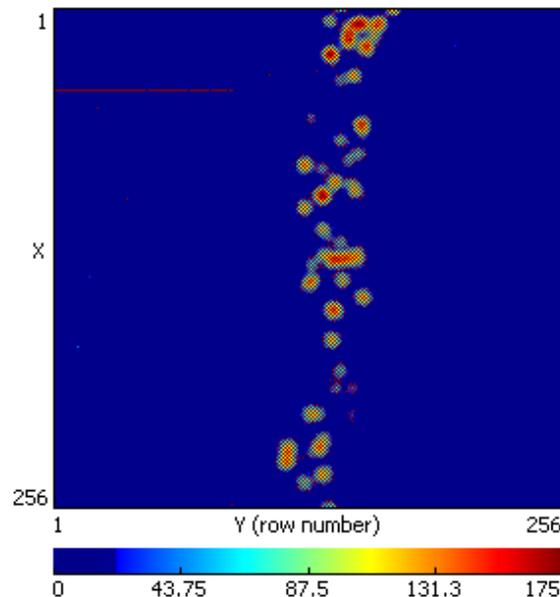


- Trigger aus Koinzidenz von zwei Szintilatoren

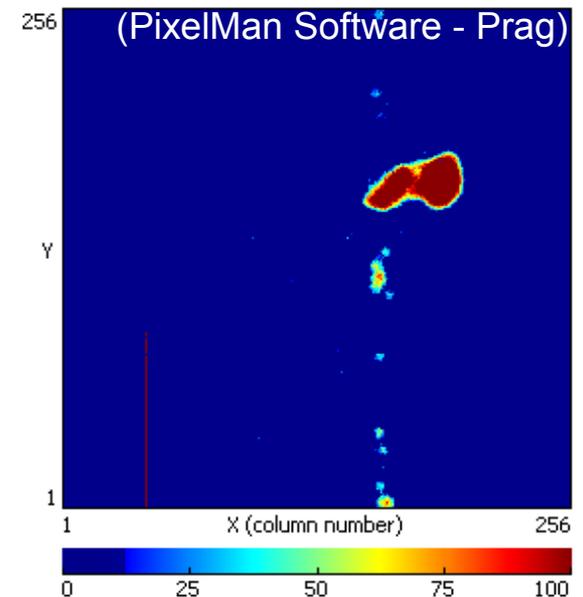
kurze Driftstrecke

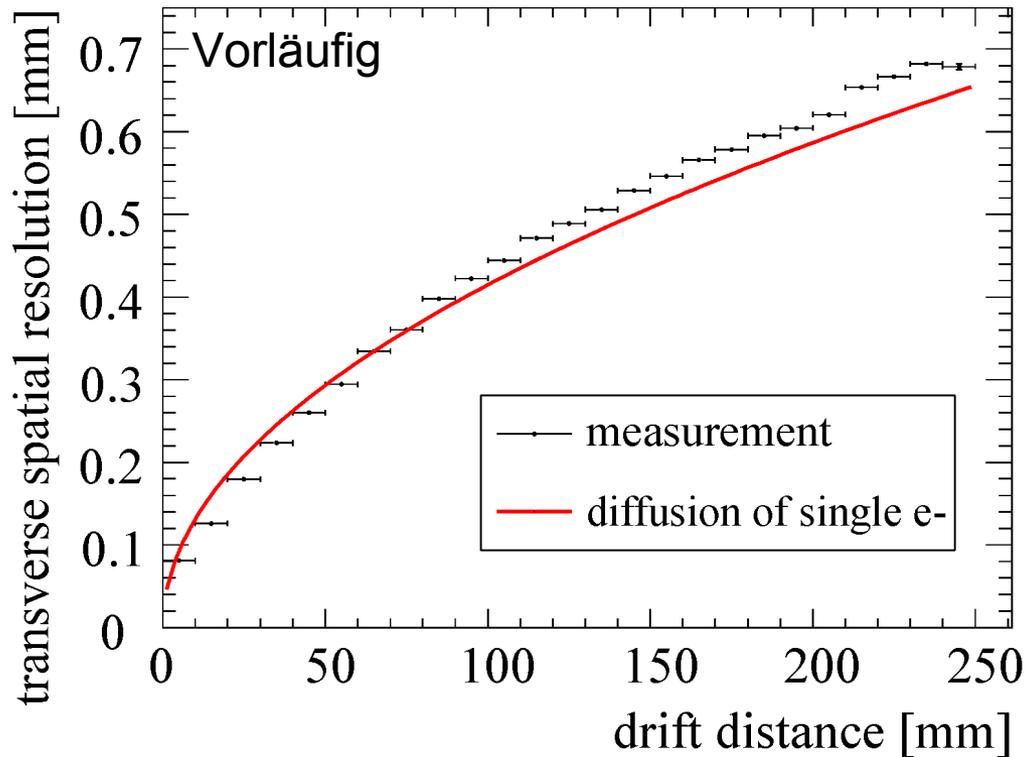


lange Driftstrecke



δ -Elektron





- Diffusion eines einzelnen Elektrons:

$$\sigma = D_T * \sqrt{x}$$

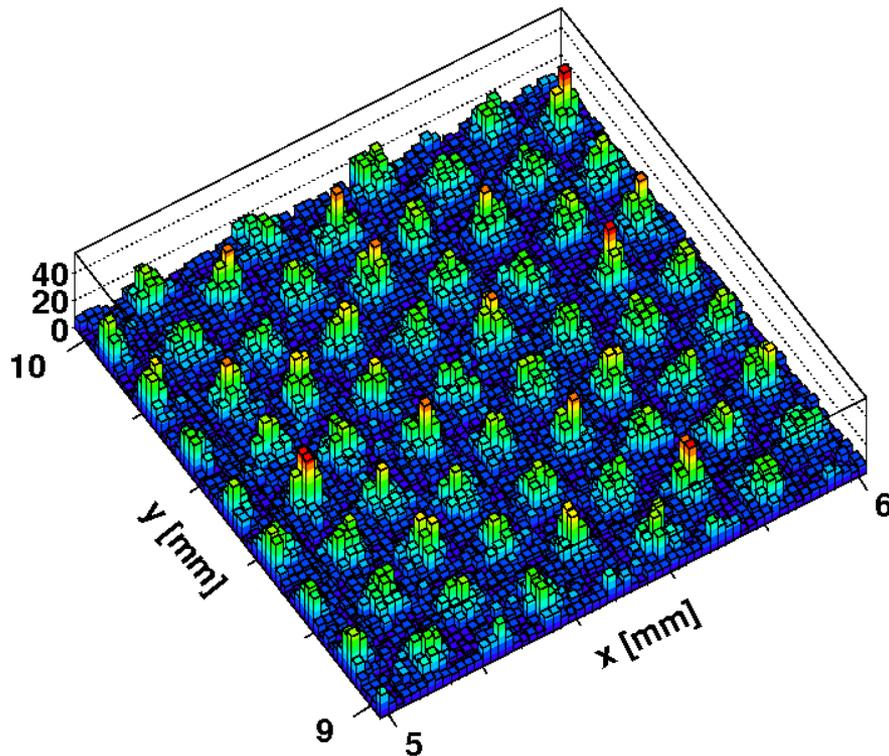
- Auflösung abgeleitet aus dem Abstand eines Punktes zu der ihm zugeordneten Spur

GEM – „Elektronen Tomographie“

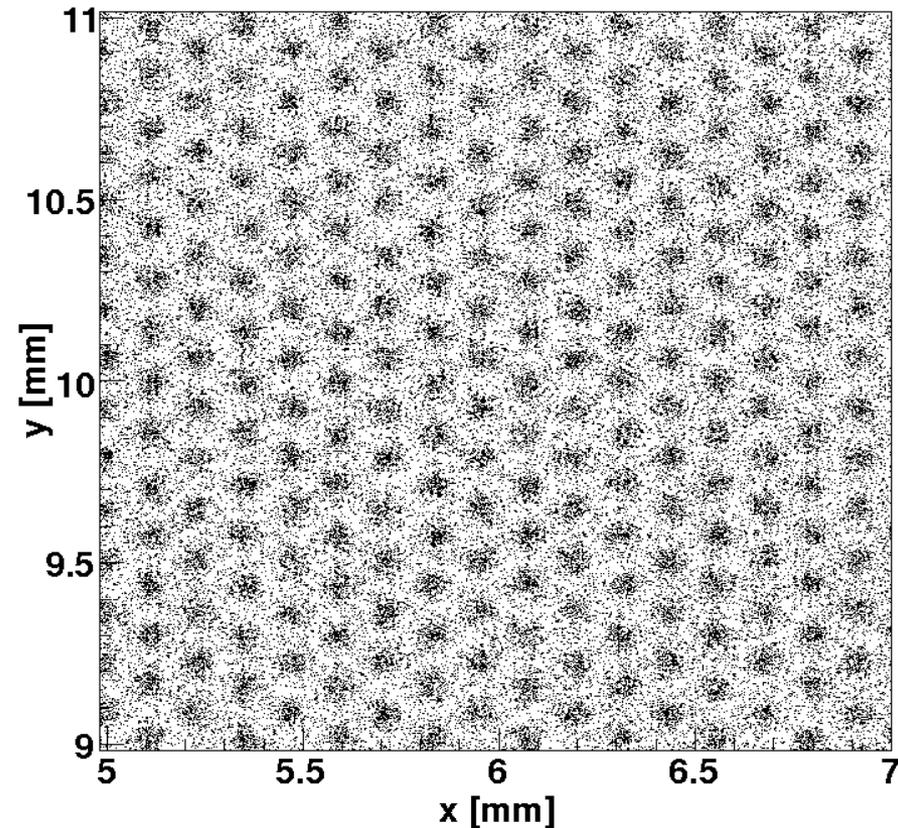


- Homogene Signalbelegung der TPC durch Bestrahlung mit ^{90}Sr im hinteren Bereich
- Häufungspunkte im Raster der GEM Löcher sind klar zu erkennen

Distribution of Cluster Centres



Distribution of Cluster Centres



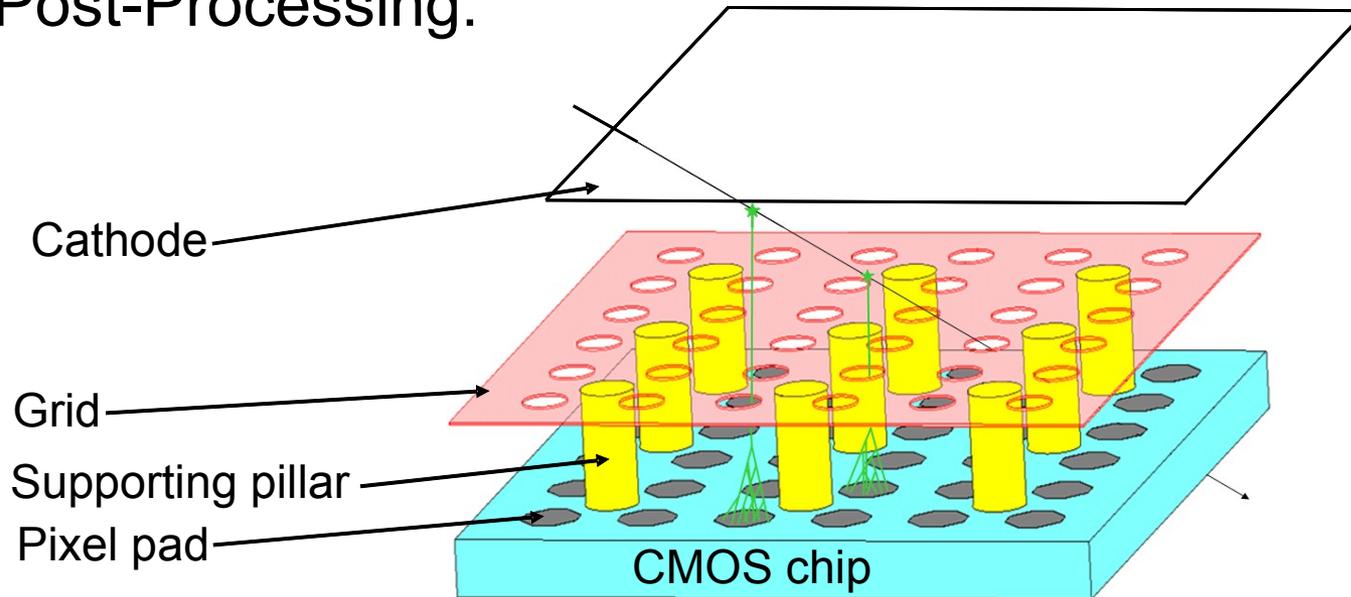
Neue Konzepte

GEFÖRDERT VOM



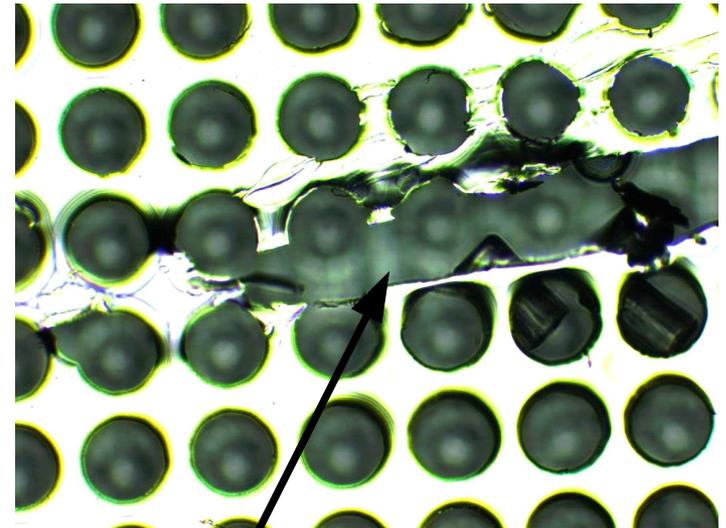
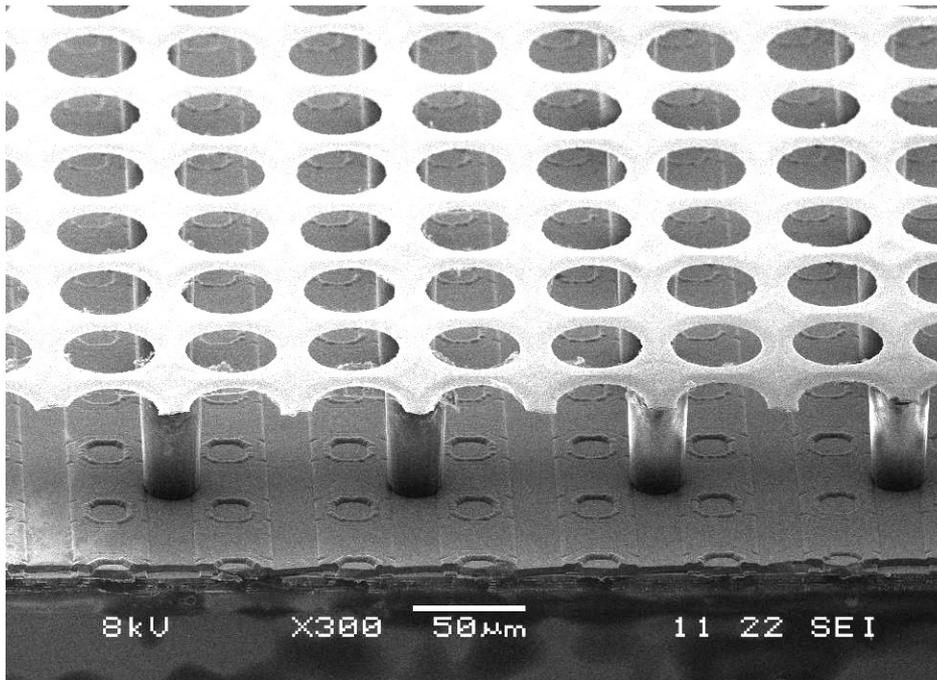
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

- Limitierung der Auflösung durch die GEMs erfordert einen neuen Ansatz zur Gasverstärkung
- Post-Processing:



- Perfektes Alignment
- keine ungenutzte Fläche

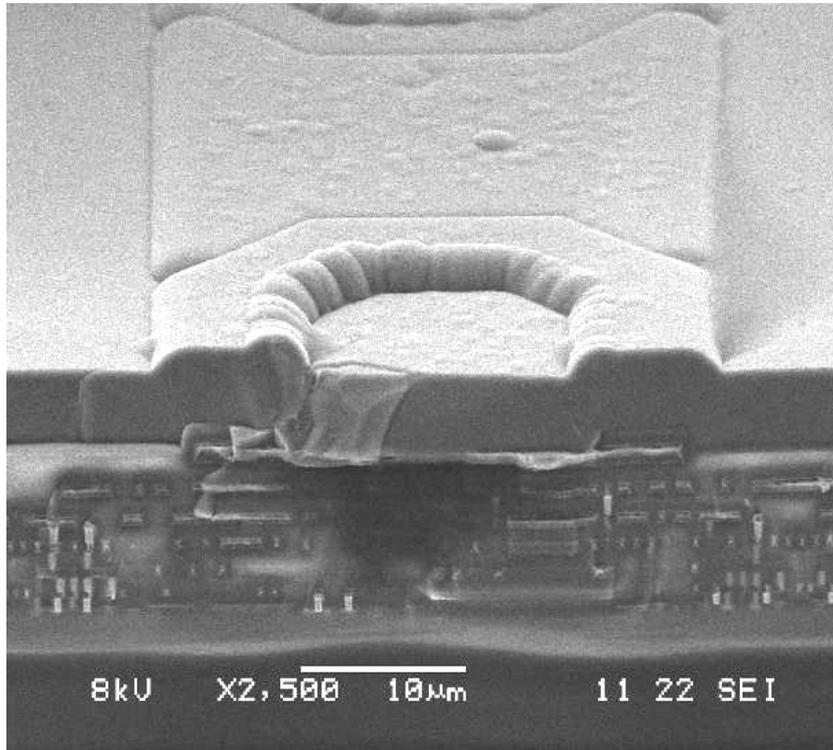
- Mechanisch relativ robust
- Problematisch ist die direkte Nähe zwischen HV und dem Pixel-Chip
HV-Entladungen zerstören i.d.R. den Chip



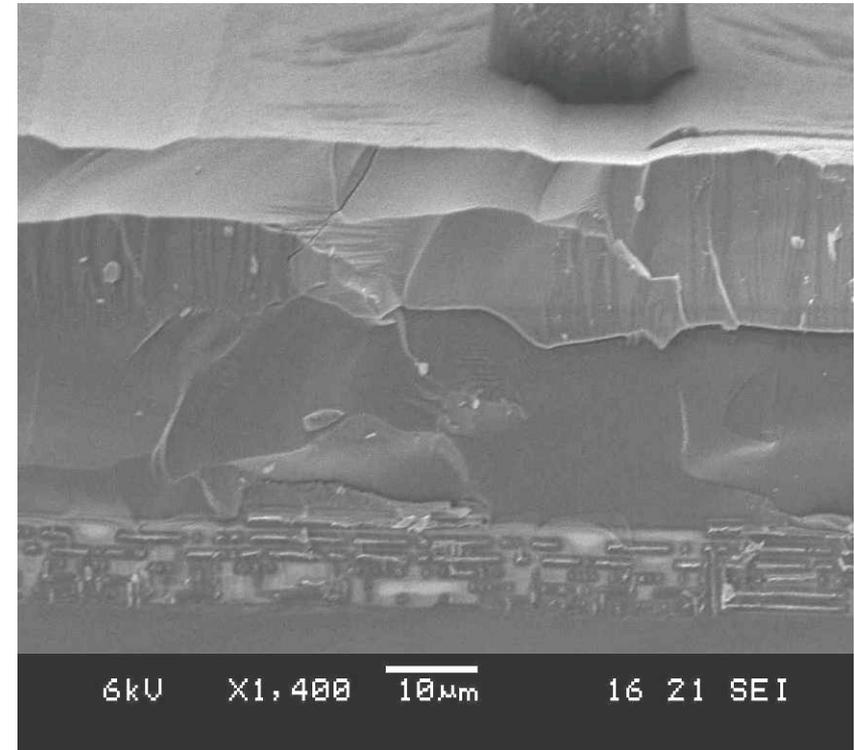
Kratzer

- Zum Schutz vor Entladungen wird eine Isolationsschicht aufgebracht – **SiProt** (amorphes Silizium)

3 μ m a-Si

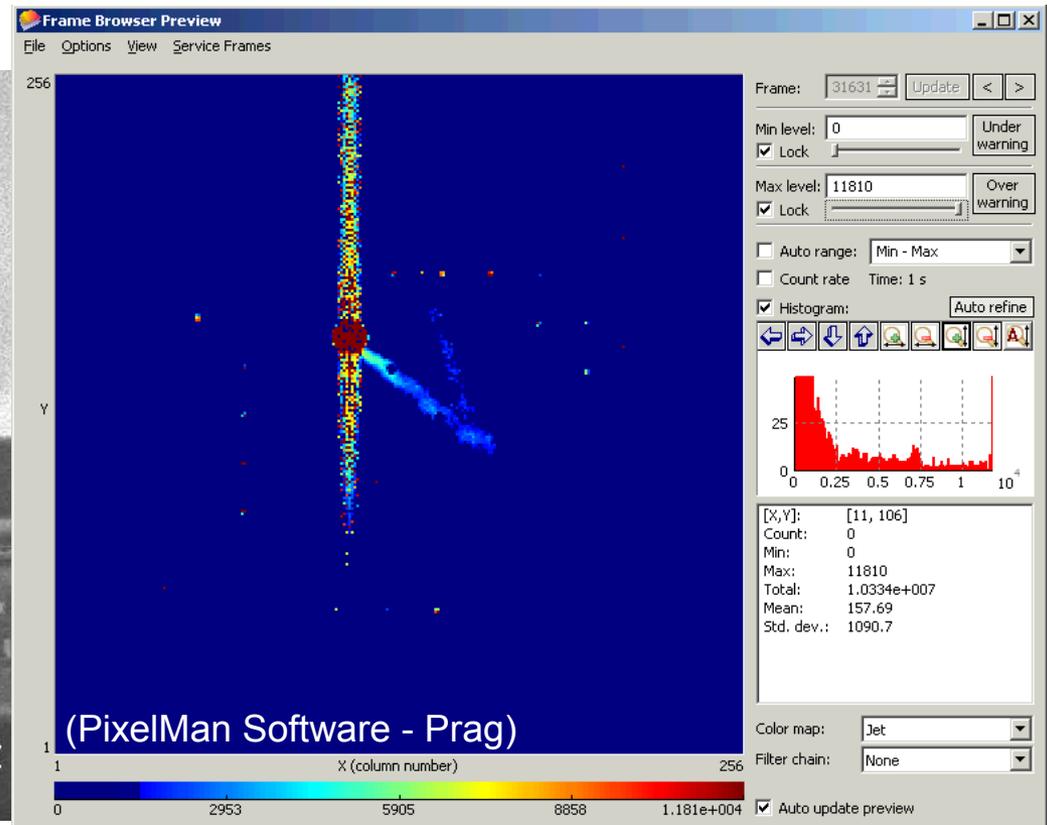
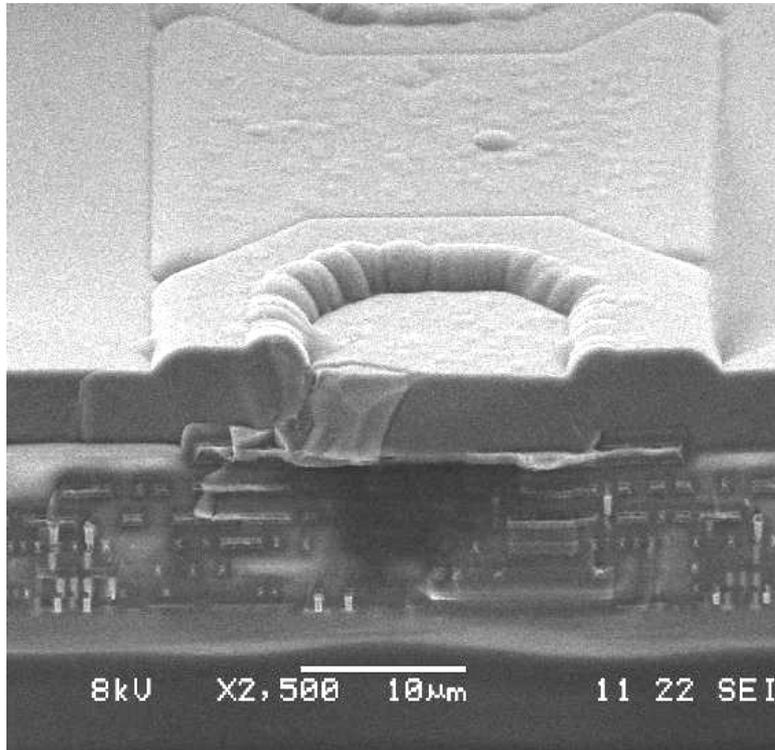


30 μ m a-Si



- Zum Schutz vor Entladungen wird eine Isolationsschicht aufgebracht – **SiProt** (amorphes Silizium)

3 μ m a-Si



- Der ILC benötigt einen Detektor mit exzellenter Orts- und Impulsauflösung, eine TPC scheint hier ideal zu sein
- Eine Prototypen TPC mit großer Driftstrecke wurde aufgebaut und befindet sich im kontinuierlichen Ausbau
- Die hochgranulare Auslese von TPCs auf Basis von Pixelchips ist viel versprechend
- Die Auflösung ist durch die Gasverstärkung eingeschränkt
 - Die InGrid-Technologie bleibt zu erproben
- Agenda:
 - Integration mehrerer Pixelchips zur Auslese

GEFÖRDERT VOM

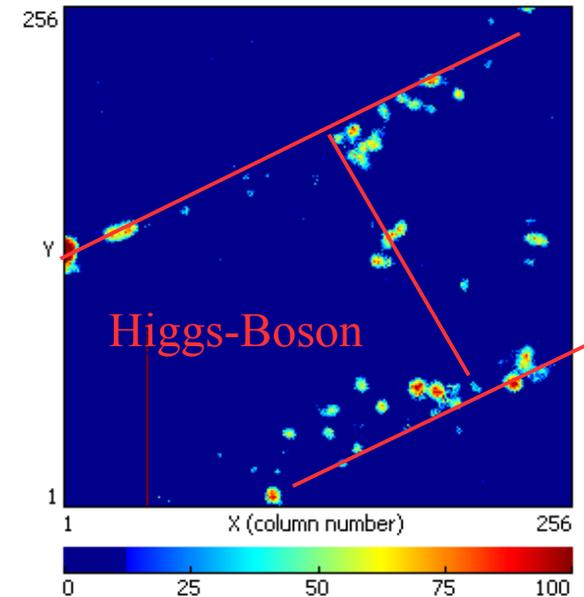
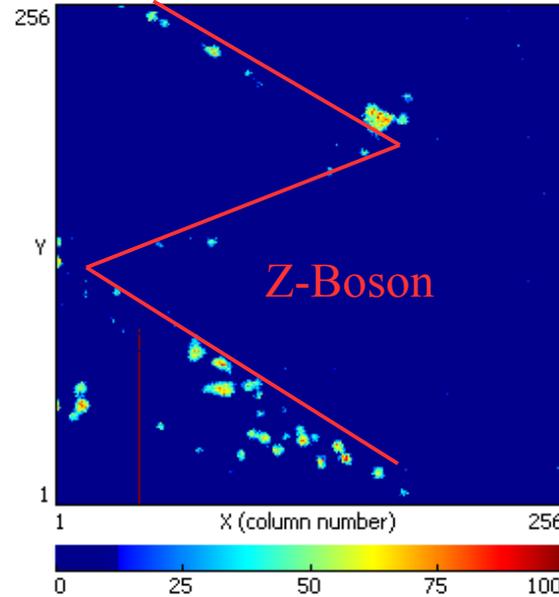
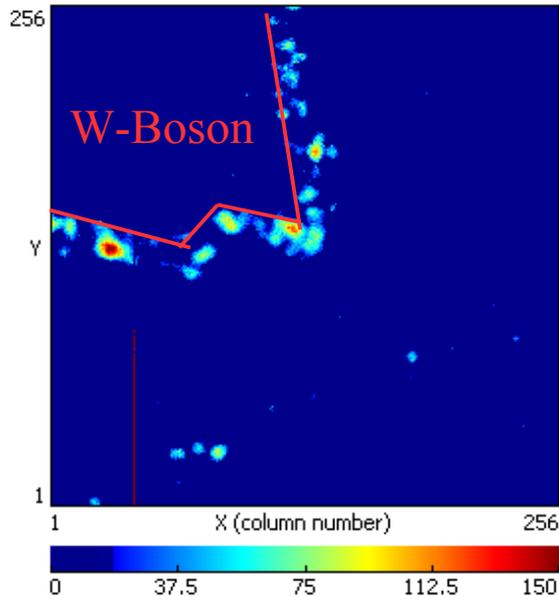


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Leistungsfähigkeit einer TPC



- Nachweis verschiedener Bosonen bereits im Testdetektor erfolgreich!!



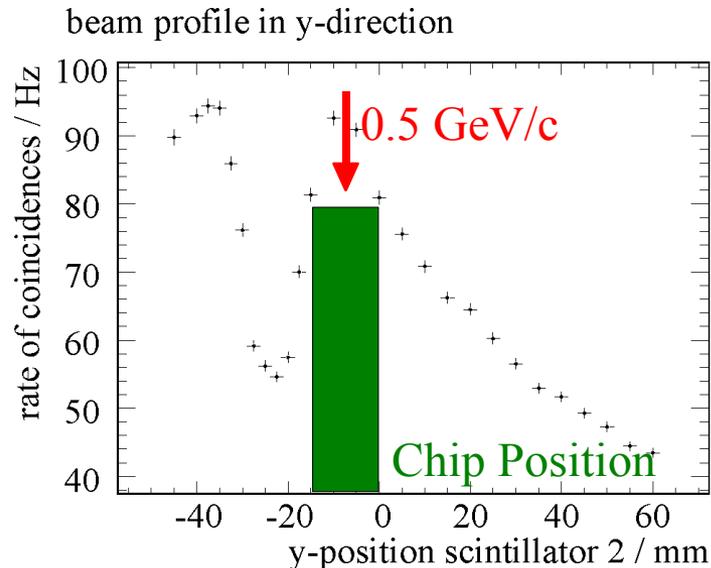
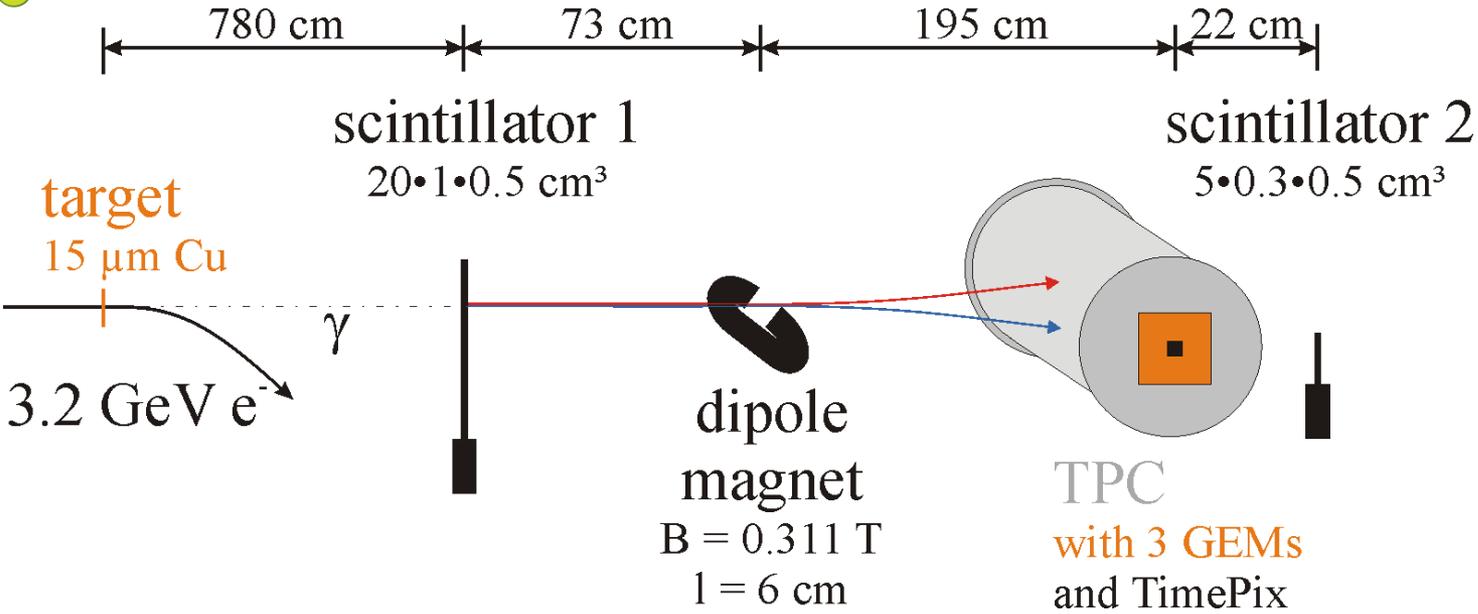
Backup

GEFÖRDERT VOM



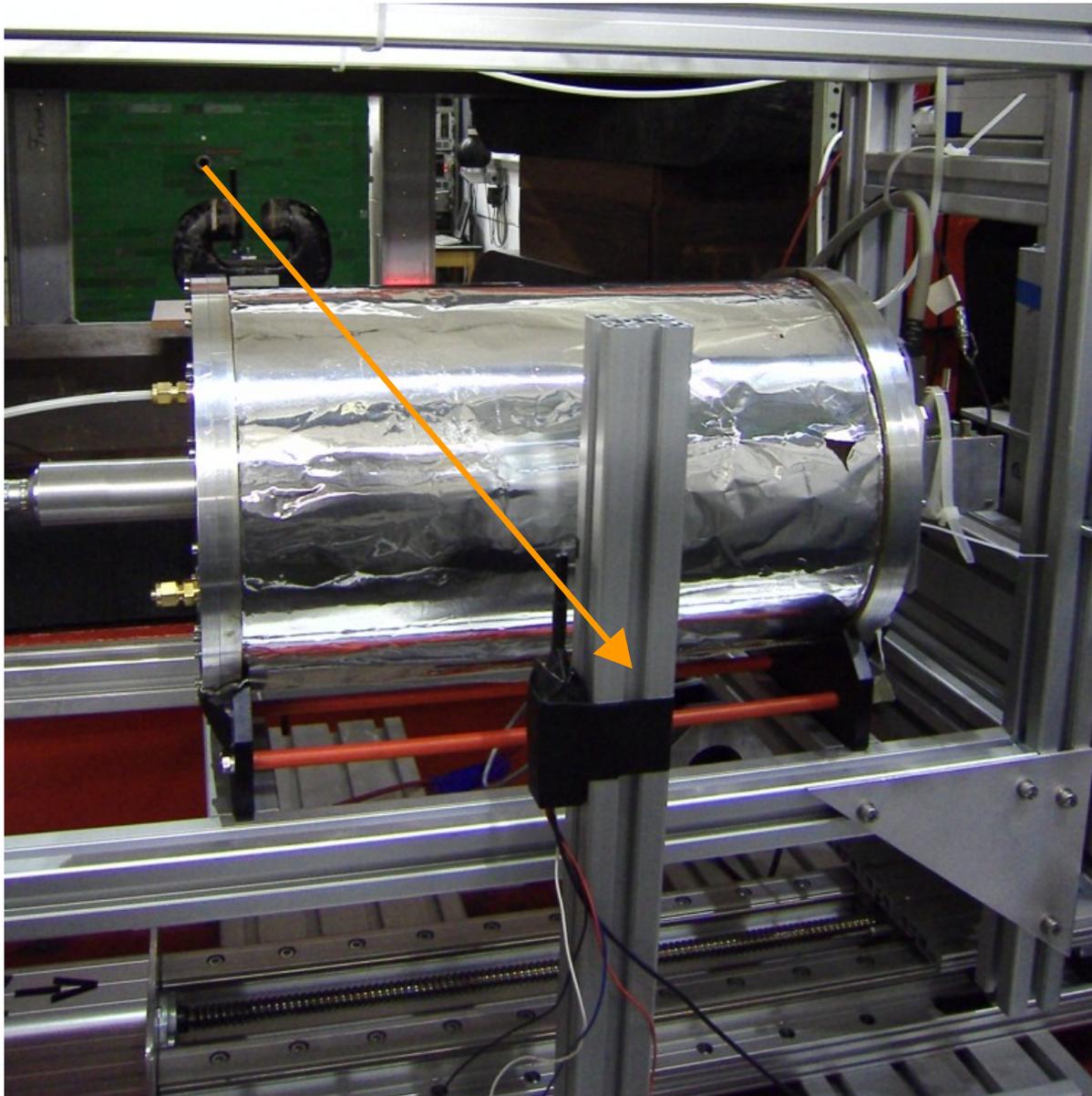
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

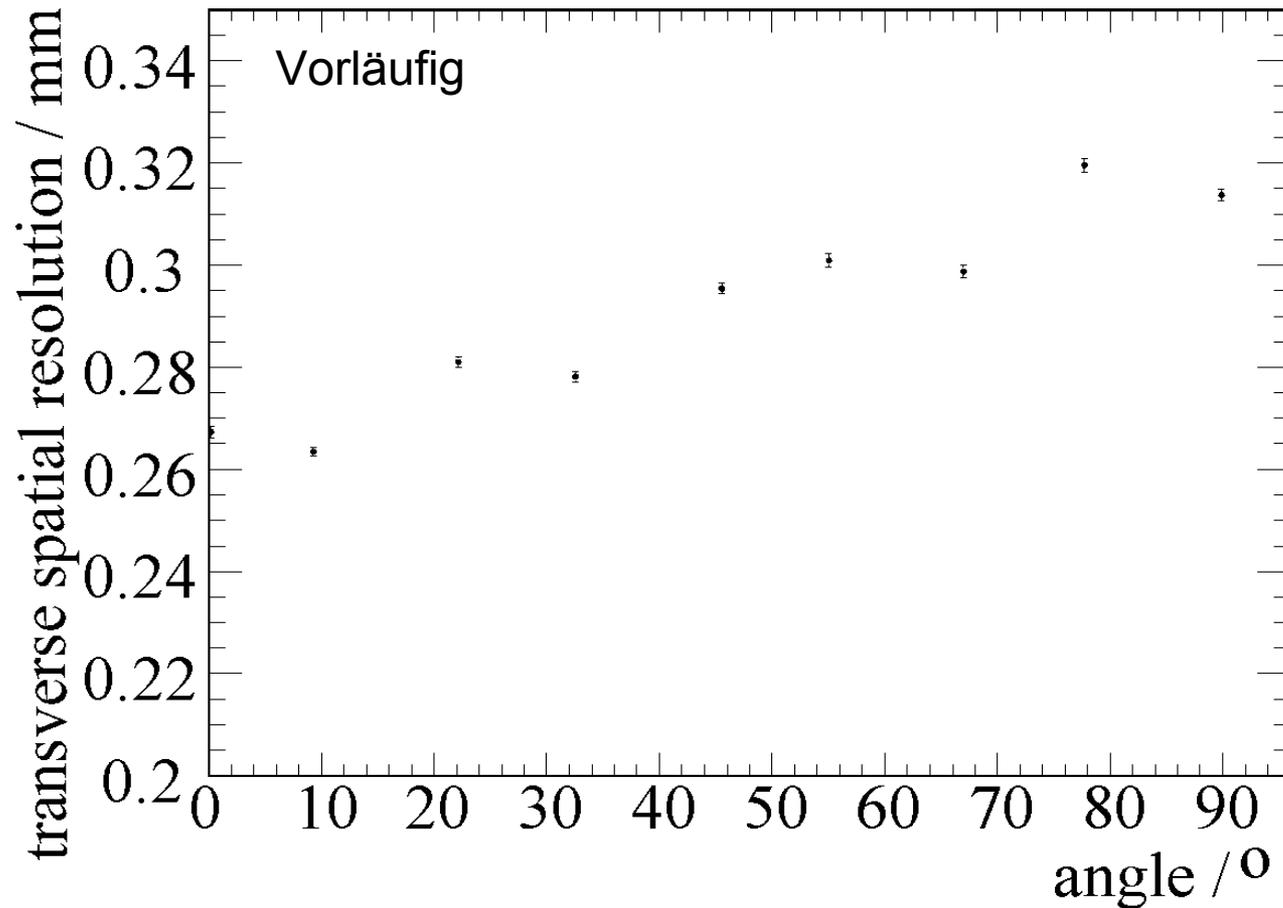
Strahlzeit an ELSA



- Produktion von γ an einem Kupfer Target
- Photonkonversion im Szintillator 1
- Separation von e^+/e^- im Dipol
- Selektion von einzelnen Spuren durch eine Koinzidenz

Strahlzeit an ELSA





- Ortsauflösung in Abhängigkeit der Strahlneigung
- Variation der Ortsauflösung erklärbar durch die Geometrie der GEMs

InGrid

1) Pre-process chip

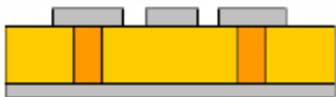
2) Spin SU-8



3) UV exposure



4) Deposit metal



5) Pattern metal



6) Develop resist

