



# Der Flugzeitdetektor des Mu3e Experiments

Patrick Eckert

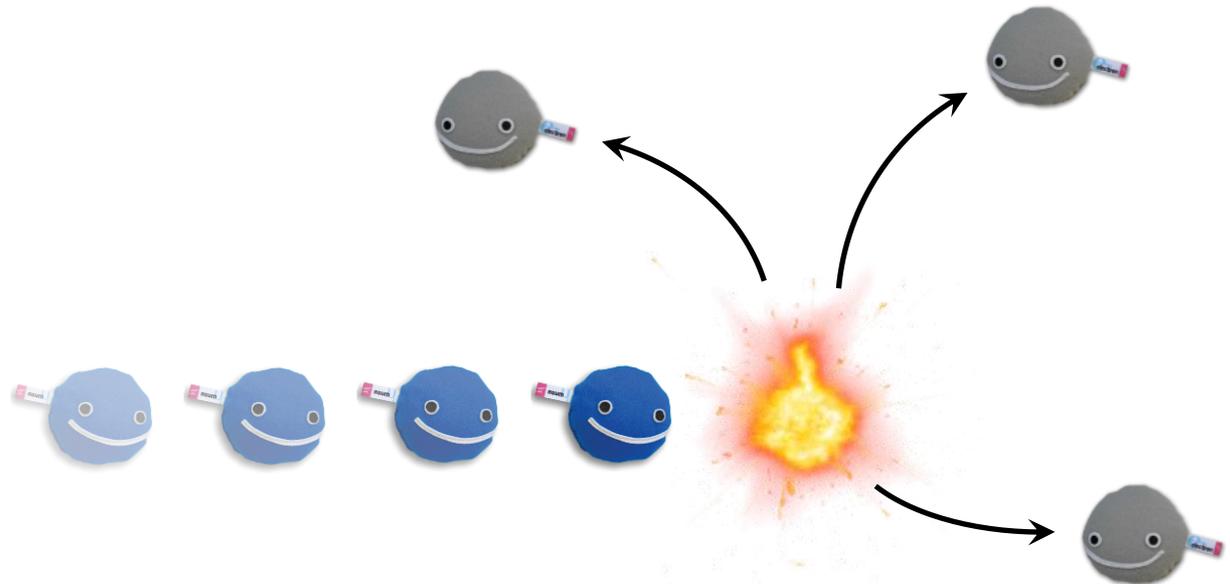
*Kirchhoff-Institut für Physik*



KIRCHHOFF-  
INSTITUT  
FÜR PHYSIK

**DPG Tagung**

**Mainz 24.03.2014**

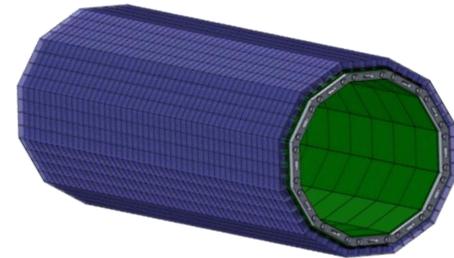




- Das Mu3e Experiment



- Der Mu3e Kachel-Flugzeitdetektor



- Prototype Testbeam Messungen

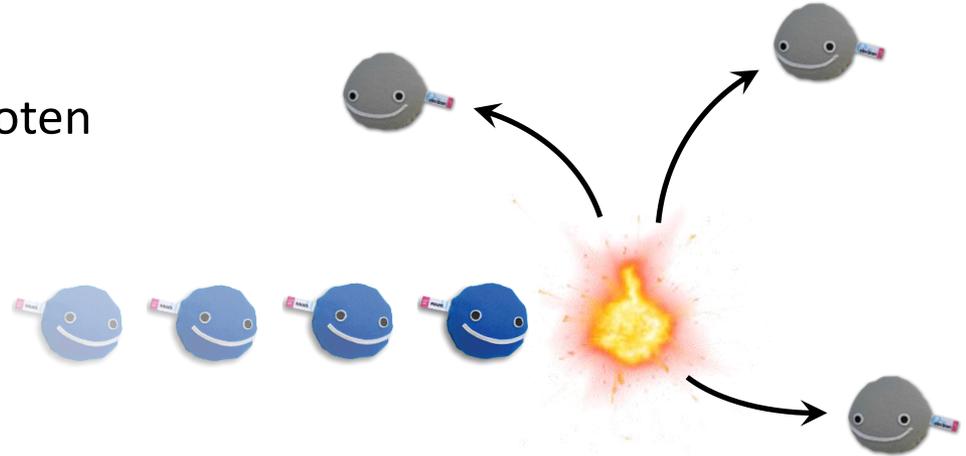




# Das Mu3e Experiment

2/17

- Suche nach  $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$
- Im Standard Modell praktisch verboten  
⇒ Klares Signal für *Neue Physik*
- Verzweigungsverhältnis:
  - Bisheriges Limit:  $\approx 10^{-12}$
  - Ziel für Mu3e:  $\approx 10^{-16}$



## Signal

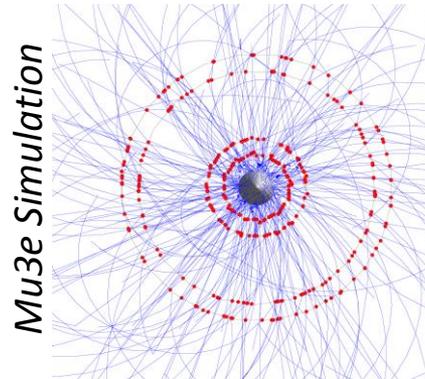
2 Positronen + 1 Elektron:

- Von gleichem Vertex  
⇒ Best mögliche Vertexauflösung
- Mit  $(p_1 + p_2 + p_3)^2 = m_\mu^2$   
⇒ Best mögliche Impulsauflösung
- Koinzidentes Signal  
⇒ Best mögliche Zeitauflösung



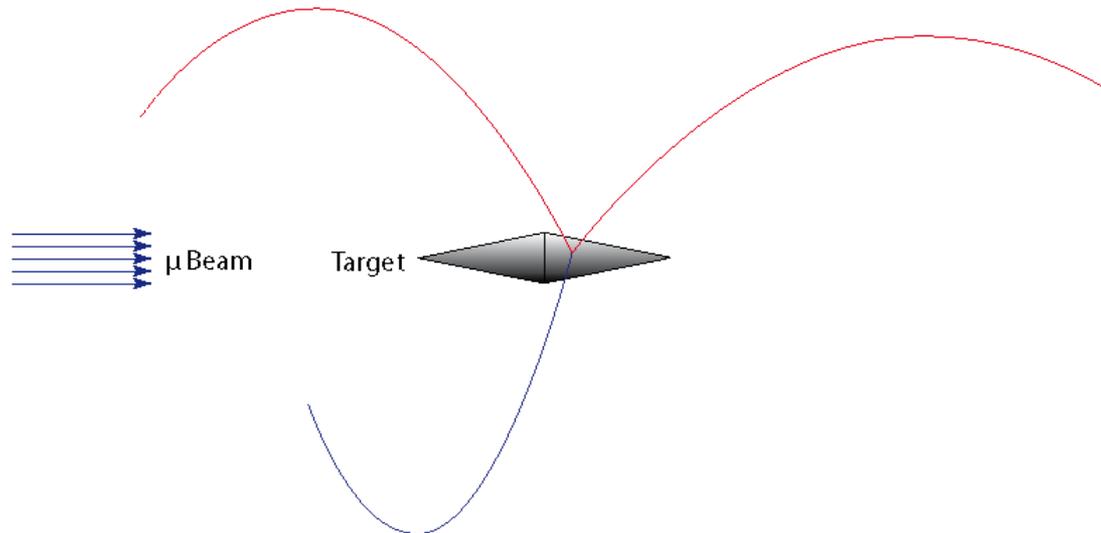
# Das Mu3e Experiment

3/17



## Hohe Raten

- Muonstrahl @ PSI
- Phase I:  $1 \times 10^8 \mu/s$
- Phase II:  $2 \times 10^9 \mu/s$





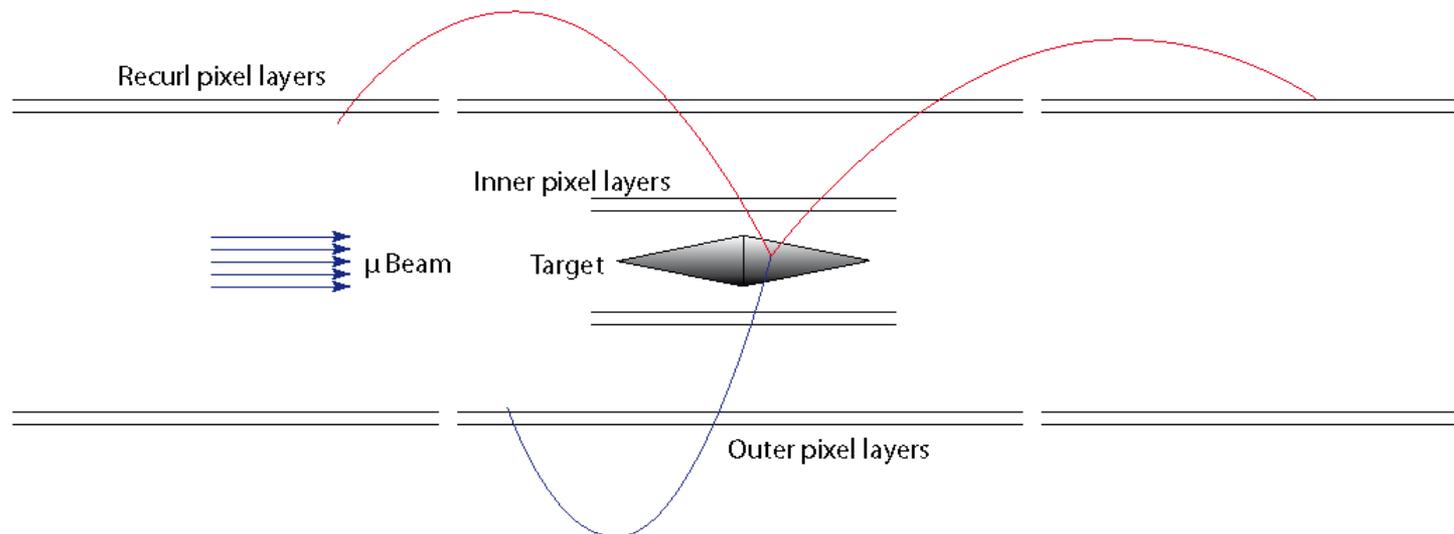
# Das Mu3e Experiment

4/17



## Spur- & Vertexdetektor

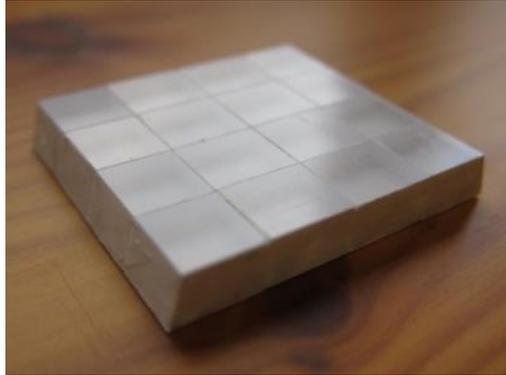
- Impulsauflösung  $\approx 0.3$  MeV
  - Vertexpfösung  $\approx 200$   $\mu\text{m}$
- $\Rightarrow < 50$   $\mu\text{m}$  dünne Pixelsensoren (HV-MAPS)





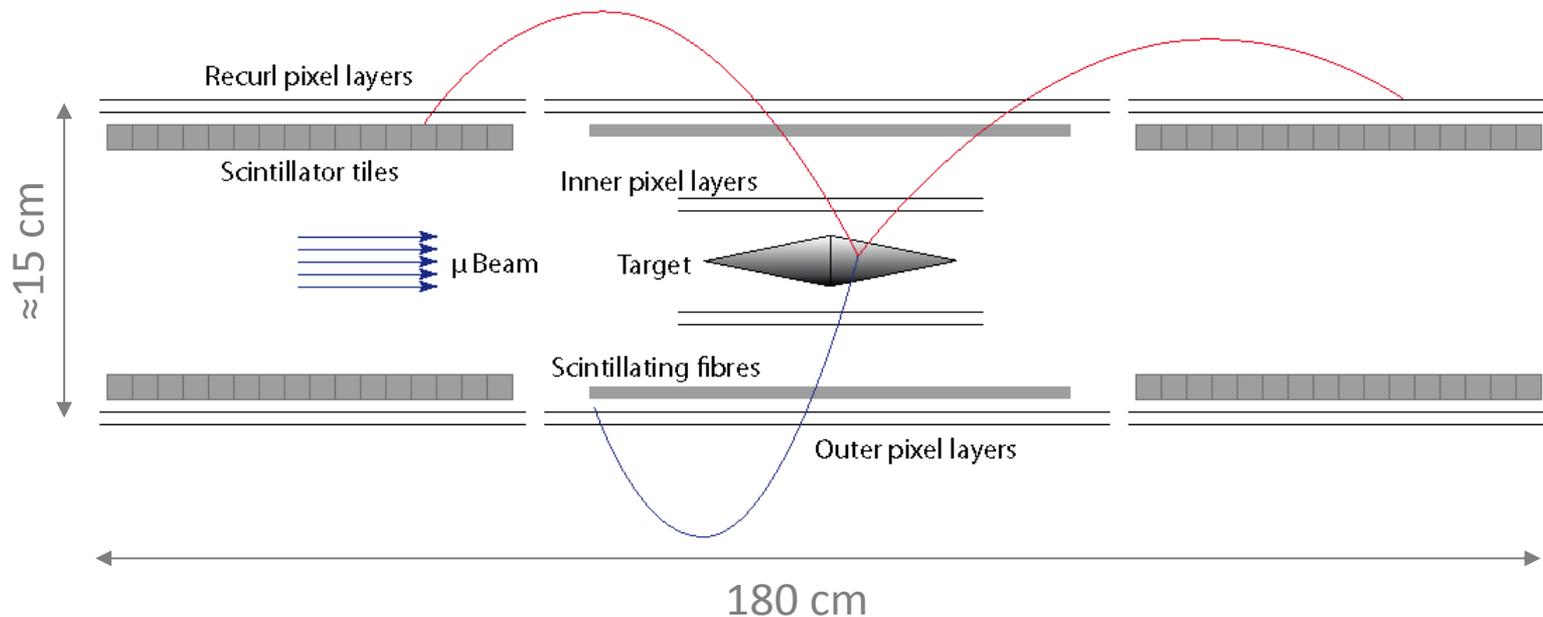
# Das Mu3e Experiment

5/17



## Timing

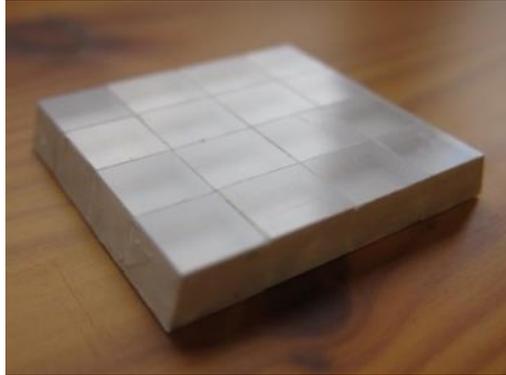
- Zeitauflösung  $< 100$  ps
- ⇒ Szintillierende Fasern (innen)
- ⇒ Szintillierende Kacheln (ausen)





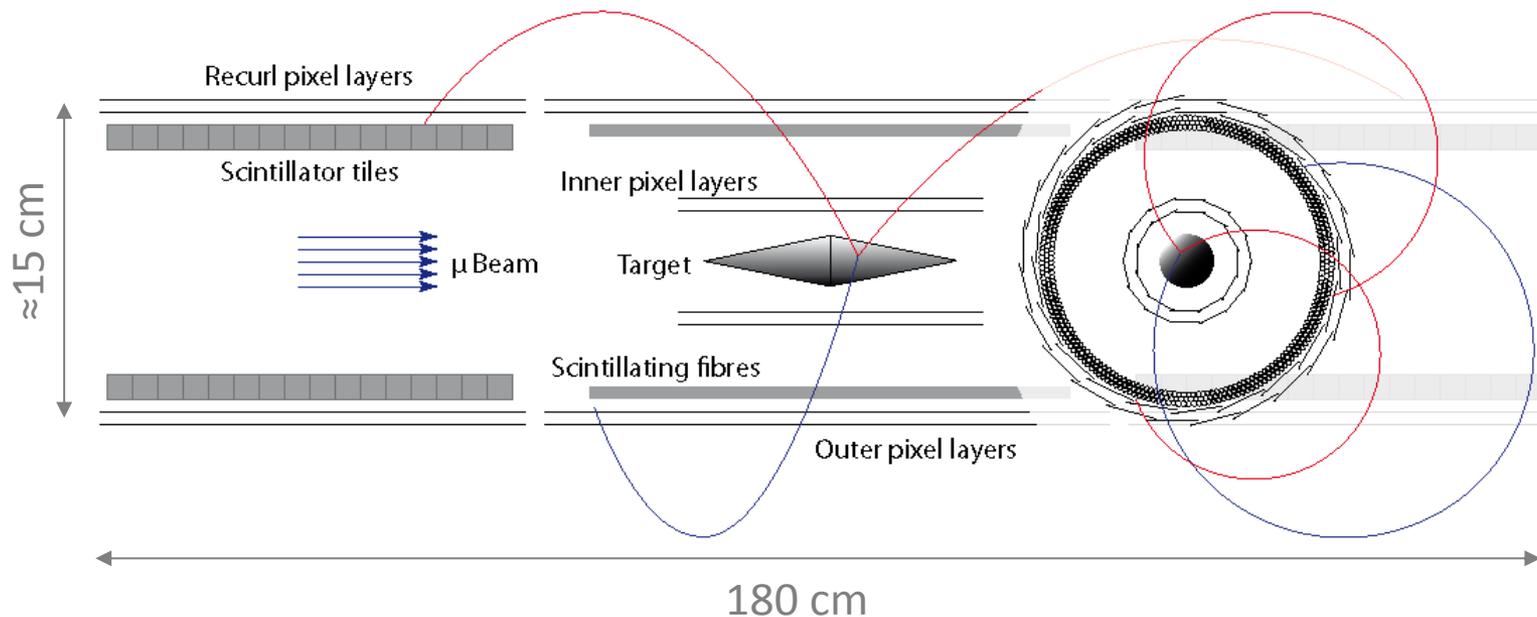
# Das Mu3e Experiment

6/17



## Timing

- Zeitauflösung  $< 100$  ps
- ⇒ Szintillierende Fasern (innen)
- ⇒ Szintillierende Kacheln (ausen)

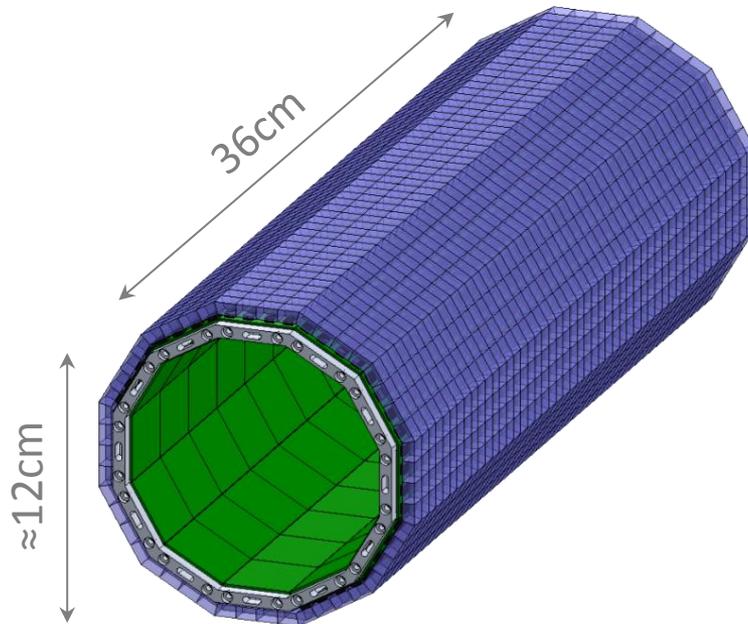




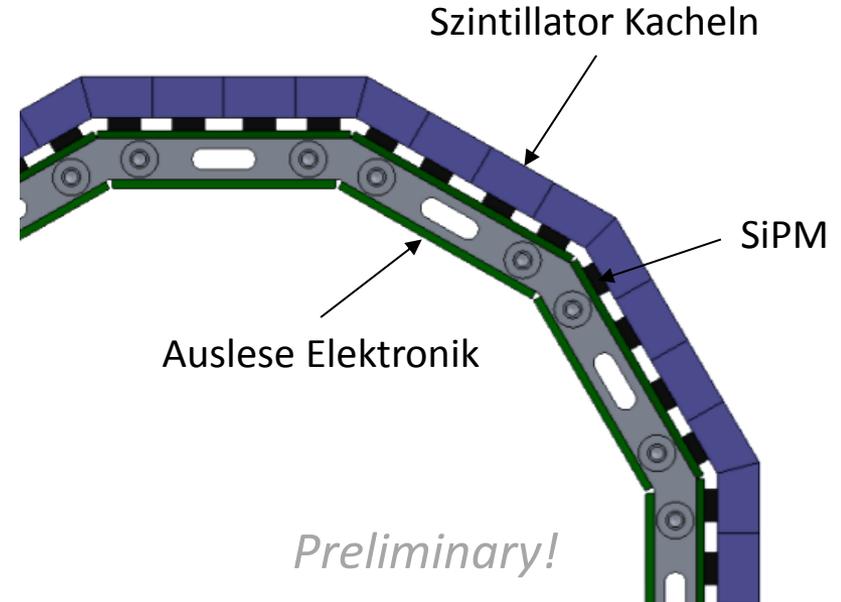
# Kachel Detektor Design

7/17

- Szintillator Kacheln –  $7.5 \times 8.5 \times 5.0 \text{ mm}^3$
- Silizium Photomultiplier (SiPM) Auslese
- Ca. 10.000 Kanäle
- Auslese Elektronik im Detektor



*Preliminary!*



*Preliminary!*



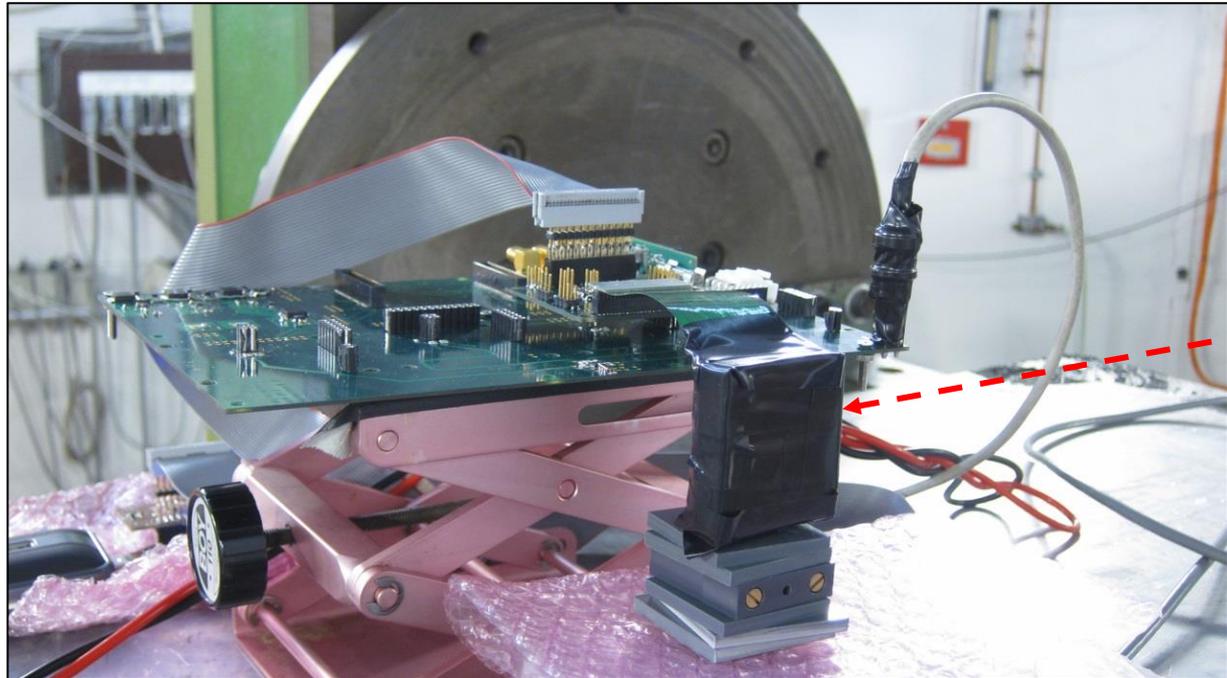
## Anforderungen:

- Zeitauflösung  $< 100$  ps
- Hohe Effizienz
- Hohe Raten bis einige MHz pro Kanal
  - ⇒ Kurze Totzeit
  - ⇒ Strahlenhärte



# Testbeam @ DESY

9/17

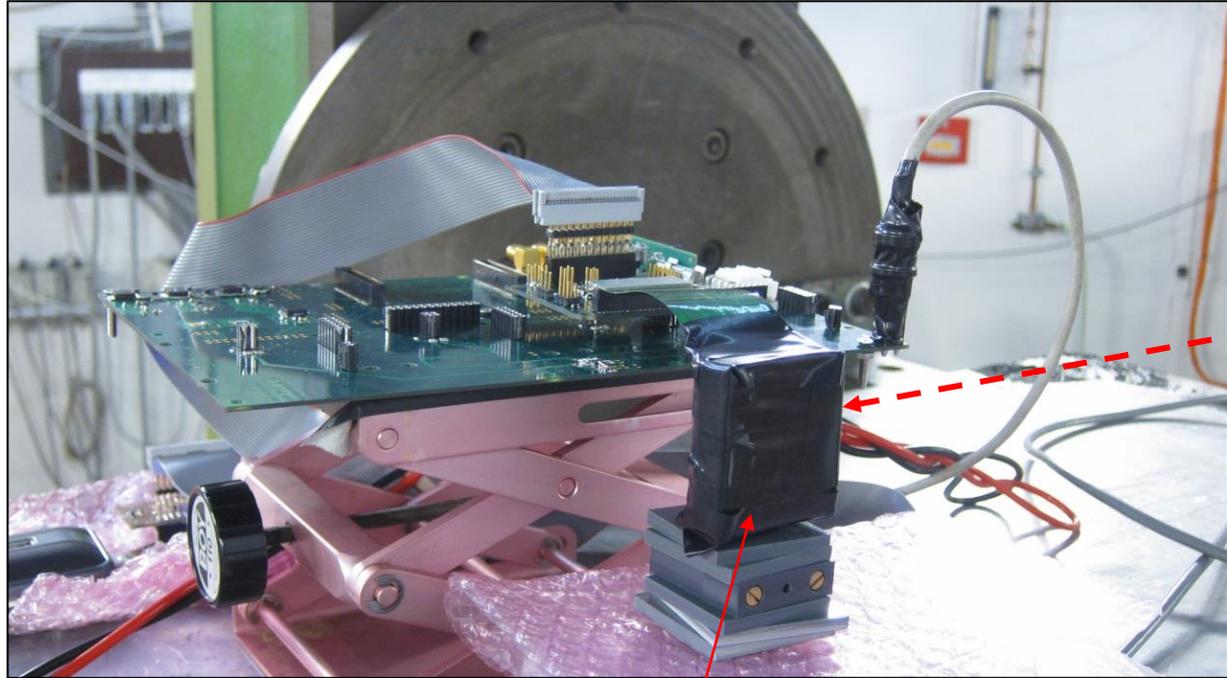


3 GeV  
 $e^-$



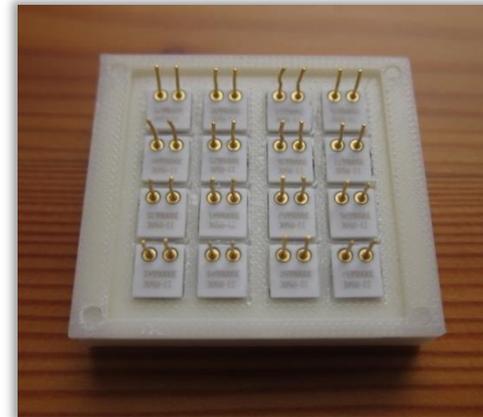
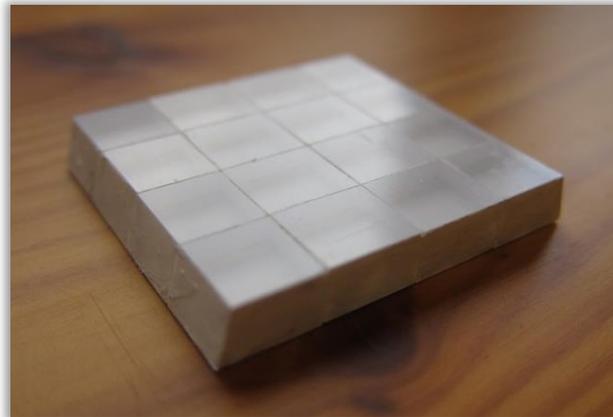
# Testbeam @ DESY

10/17



3 GeV  
 $e^-$

*Szintillator Matrix*



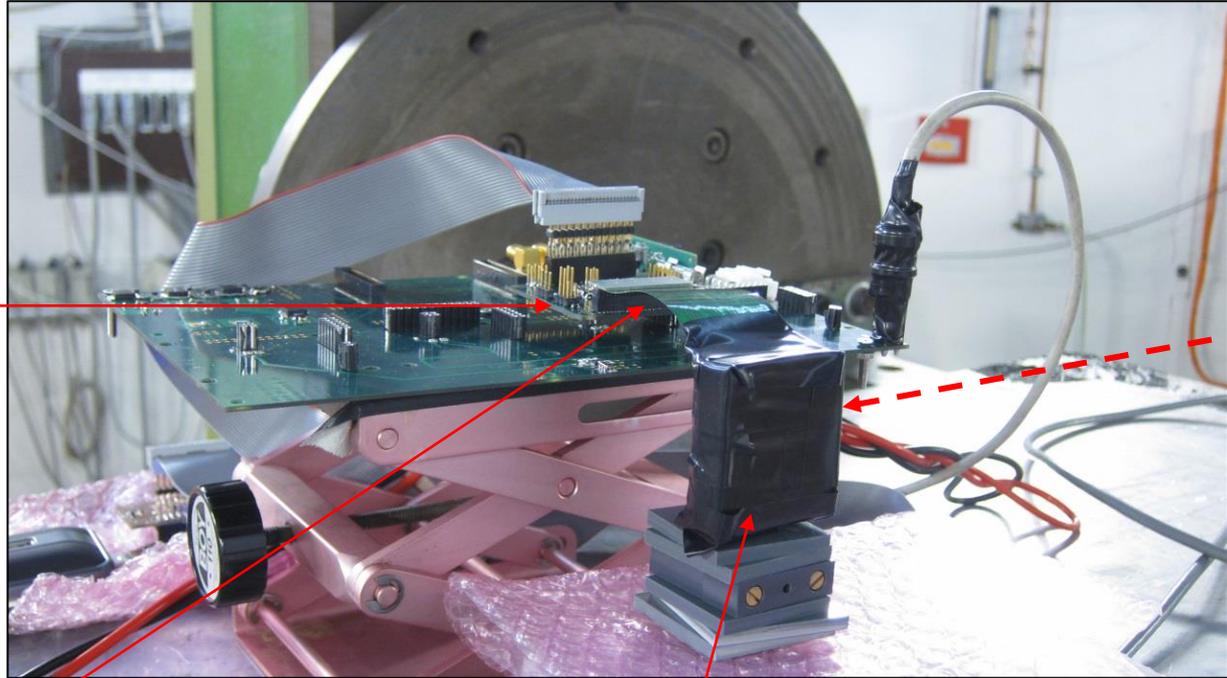
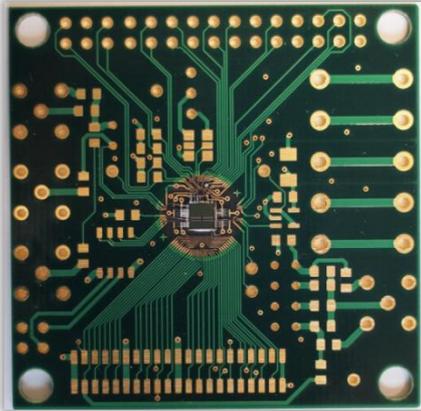
*Detektor Matrix*



# Testbeam @ DESY

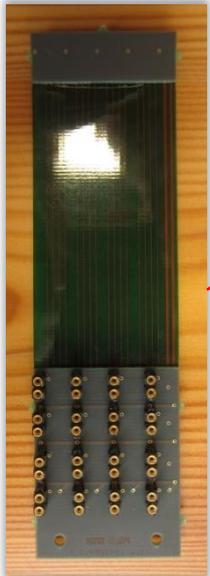
11/17

Auslese Chip

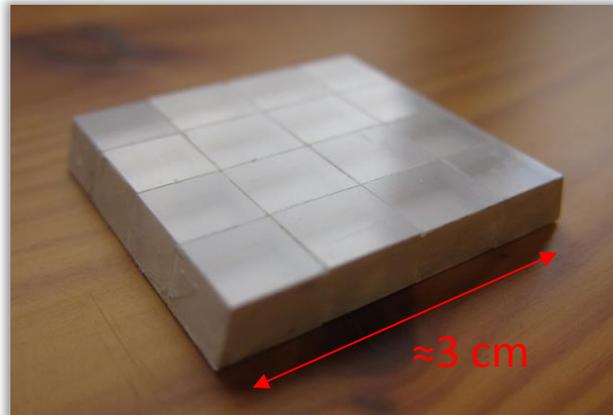


3 GeV  
 $e^-$

Flexprint Kabel

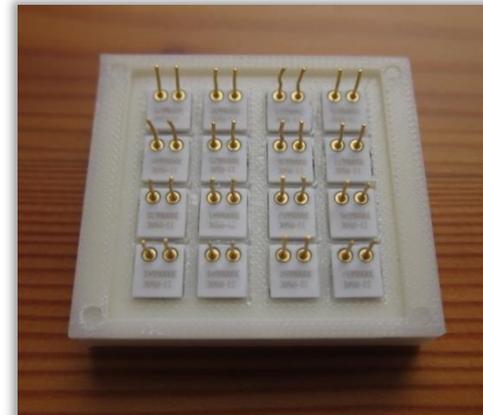


Szintillator Matrix



≈ 3 cm

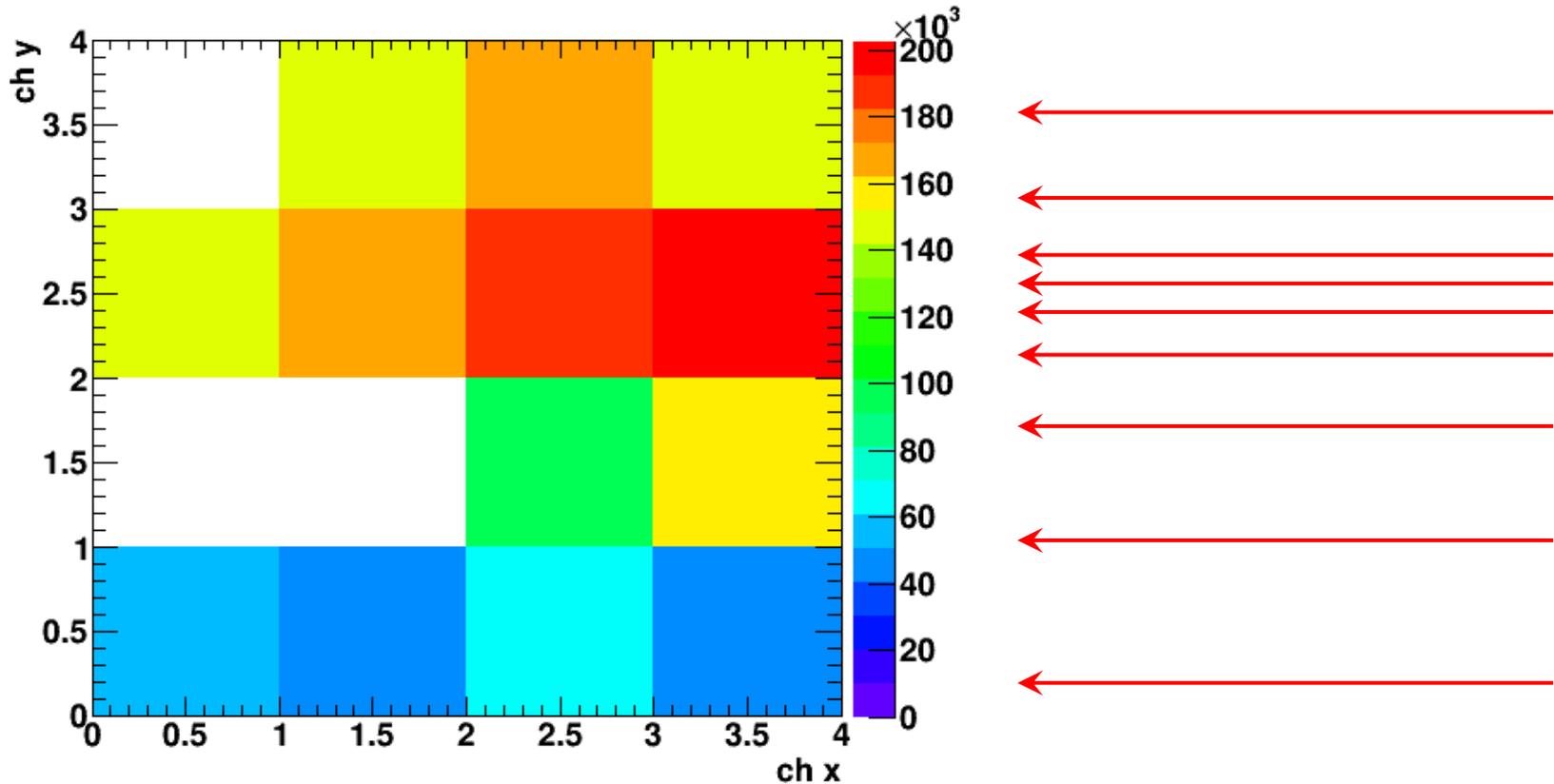
Detektor Matrix





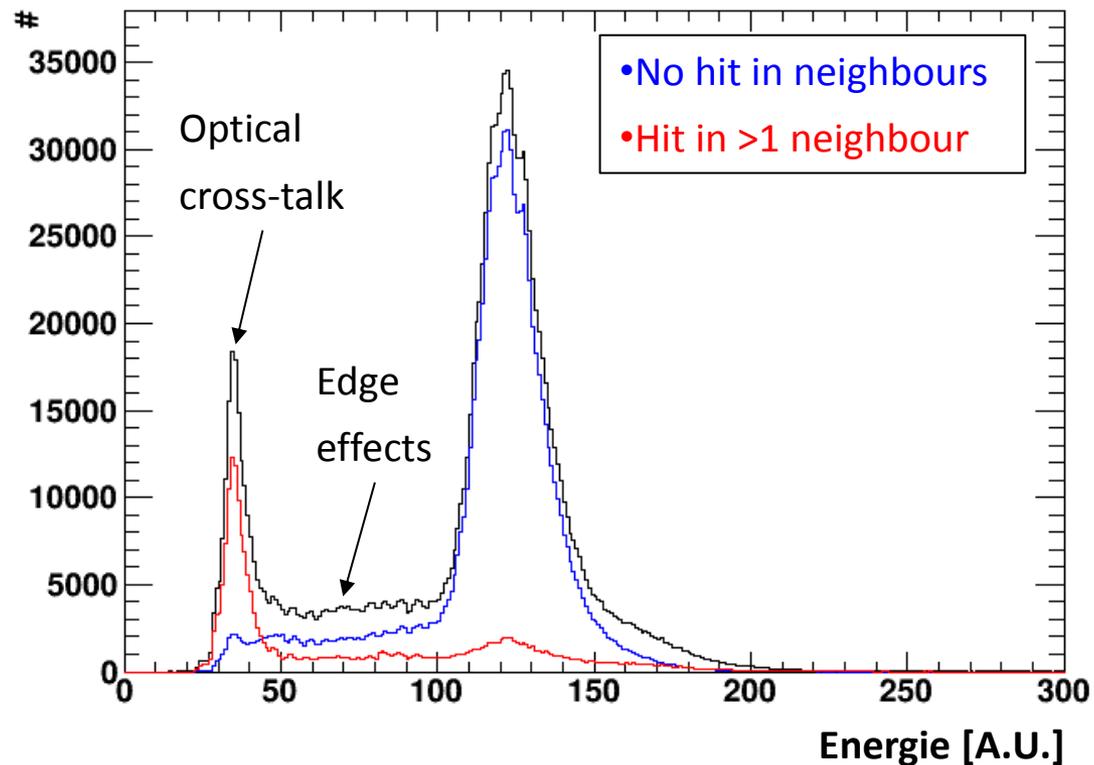
# Hitmap

- 13 von 16 Kanälen funktionsfähig
- 3 defekte Verbindungen auf Flexprint Karte





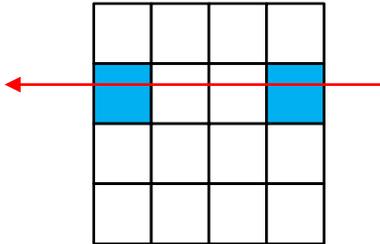
- Kacheln schlecht isoliert 😞  
⇒ Optisches Übersprechen
- Signale durch Übersprechen in Analyse aussortiert  
⇒ Kein Einfluss auf Zeitmessung



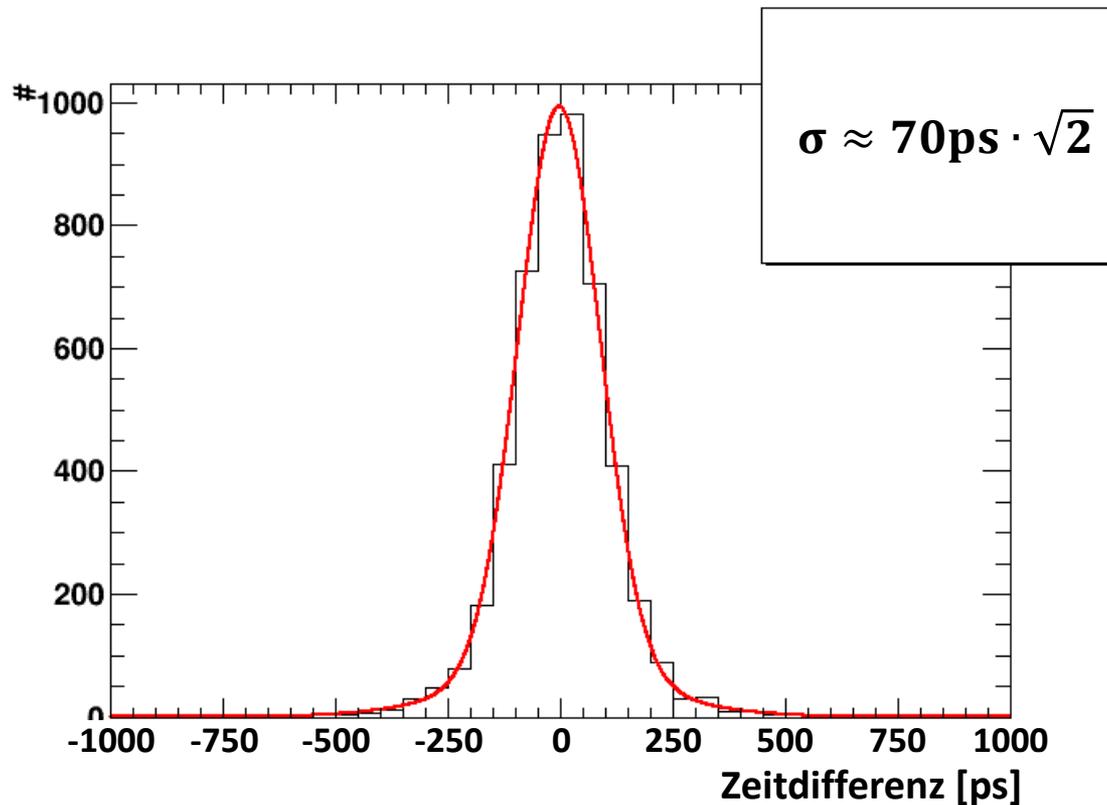


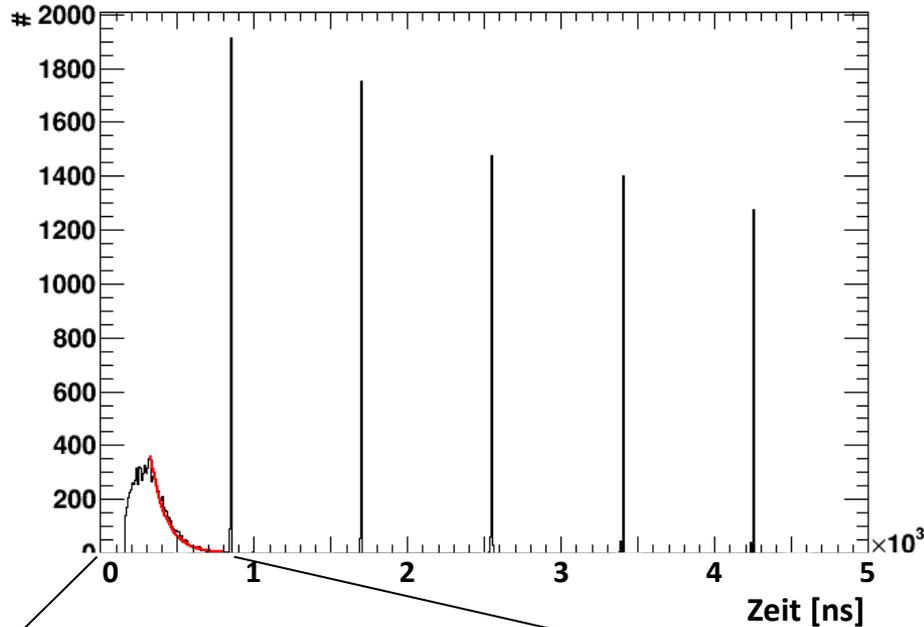
# Zeitauflösung

14/17



- Koinzidenz zwischen 2 Kacheln in einer Reihe
- **Zeitauflösung  $\approx 70$  ps**

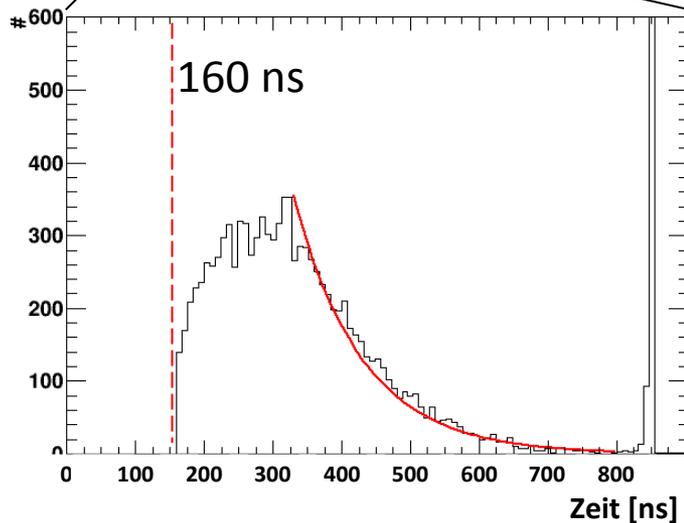




- Zeitintervall zwischen Hits in einem Kanal
- Totzeit  $\approx 150$  ns – 300 ns
  - Durch SiPM Signalbreite

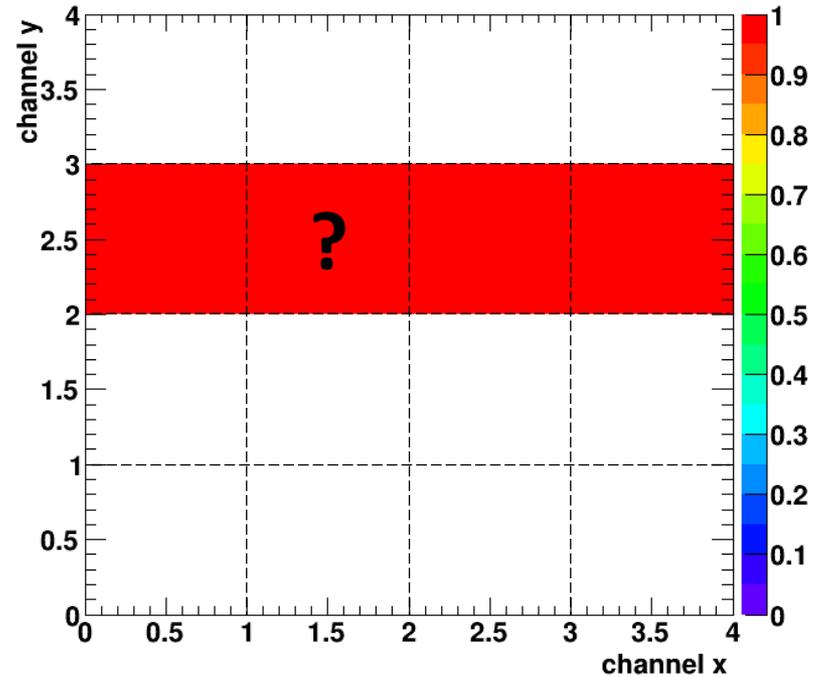


- Kleinere Totzeit mit Signal-Shaping im neuen Auslese-Chip
  - $< 100$  ns erwartet





- Ereignisse mit  $>3$  Signalen in einer Reihe
- **Effizienz für 4ten Kanal  $> 99.5\%$**





- Mu3e: Suche nach neuer Physik in  $10^{16}$  Muonzerfällen
  - Mu3e Kachel Detektor: Szintillator + SiPM
  - Prototyp mit 16 Kanälen:
    - Zeitauflösung  $\approx 70$  ps
    - Effizienz  $> 99\%$
    - Totzeit  $\approx 200$  ns
- ⇒ Erfüllt die Anforderungen für Mu3e Phase I

## **Ausblick:**

- Prototyp eines ganzen Kachel-Detektor Moduls (Mechanik, Elektronik, Kühlung, ...)



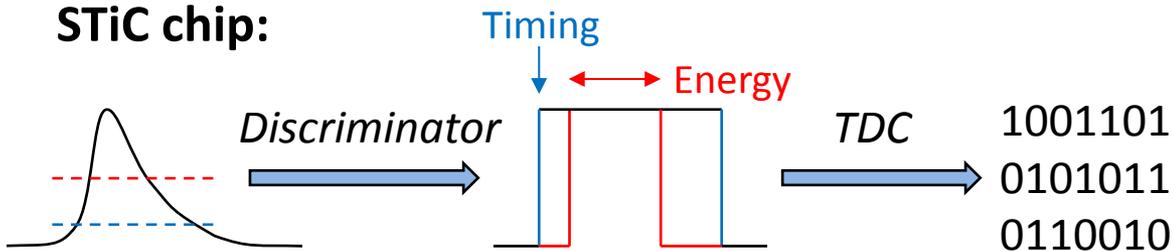
# Backup

---

## Anforderungen:

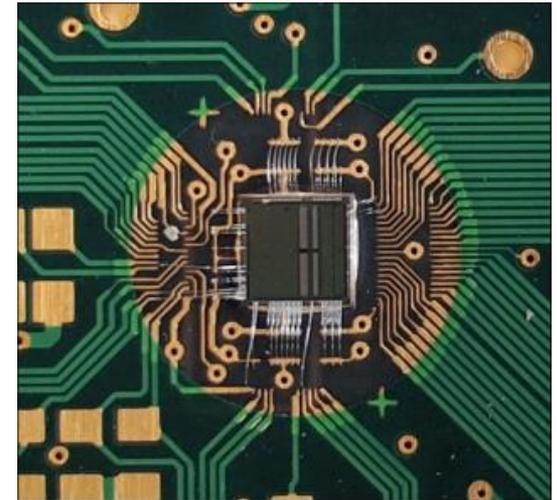
- Gute Zeit Auflösung  $< 100$  ps
- Kleine Totzeit  $< 100$  ns
- Hohe Daten Rate  $\approx 1$  MHz/Kanal

## STiC chip:



- Entwickelt für PET
- 50 ps TDC Bin-Breite
- 64 Kanäle (Version 3.0)
- SiPM Spannungsanpassung
- SiPM Signal-Shaping (Version 3.0)
- Neue Version mit hoher Daten Rate geplant

STiC 2.0



STiC 3.0

