

# Entwicklung schneller Spurrekonstruktionsalgorithmen für den auf den ATLAS MDT-Kammern beruhenden Level-0-Myontrigger für HL-LHC

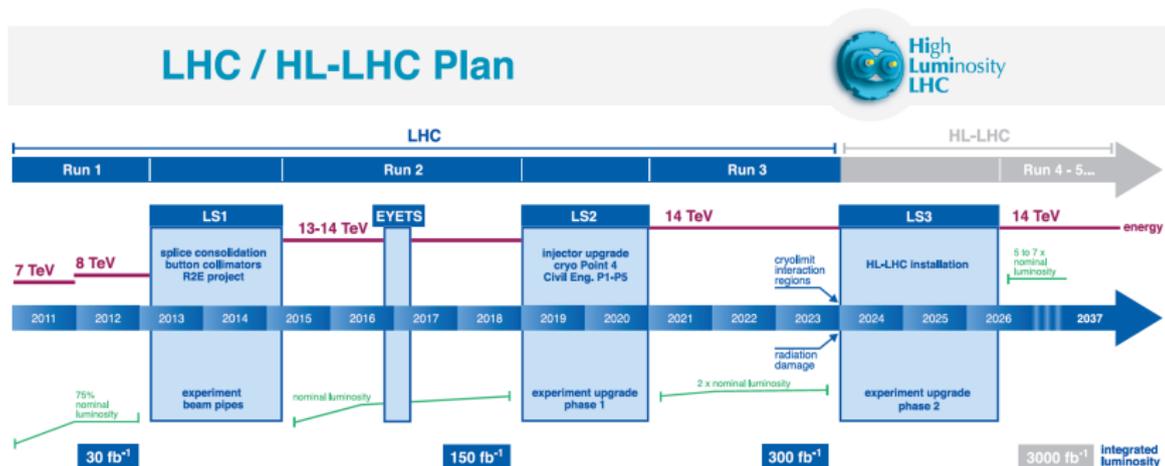
Philipp Gadow  
Betreuer: Oliver Kortner

Max-Planck-Institut für Physik, München



DPG-Frühjahrstagung Hamburg 2016

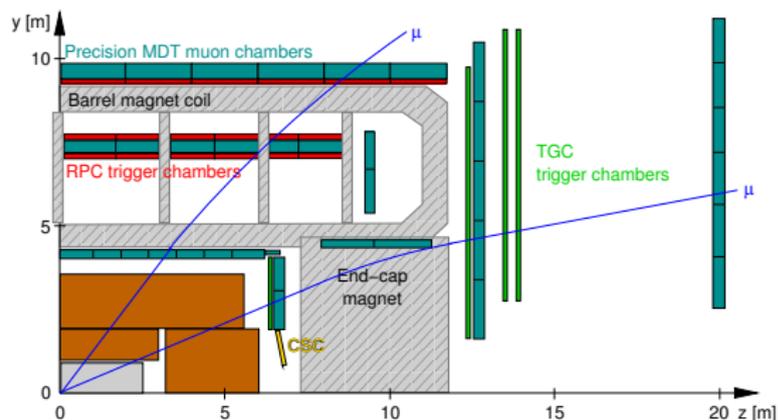
# Vom Large Hadron Collider zum High Luminosity-LHC



[1, CERN-LHCC-2015-020]

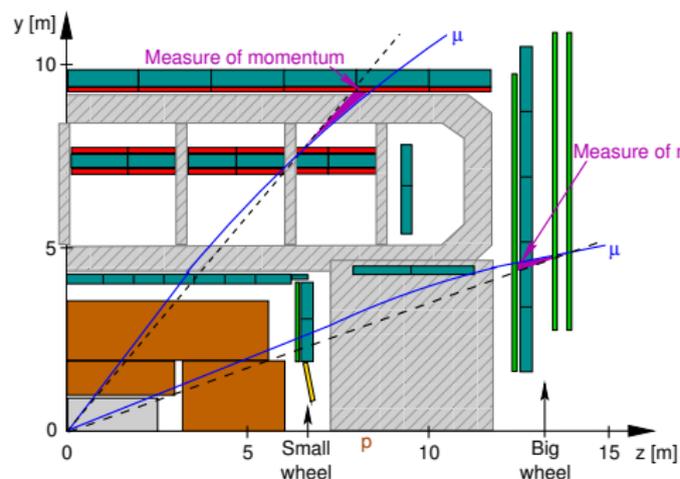
- ▶ Nominelle Luminosität nach Phase-2 Upgrade:  $7 \times 10^{34} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$
- ▶ Upgrades der Experimente für hohe Ratenfähigkeit notwendig

# Das ATLAS-Myonenspektrometer und Trigger



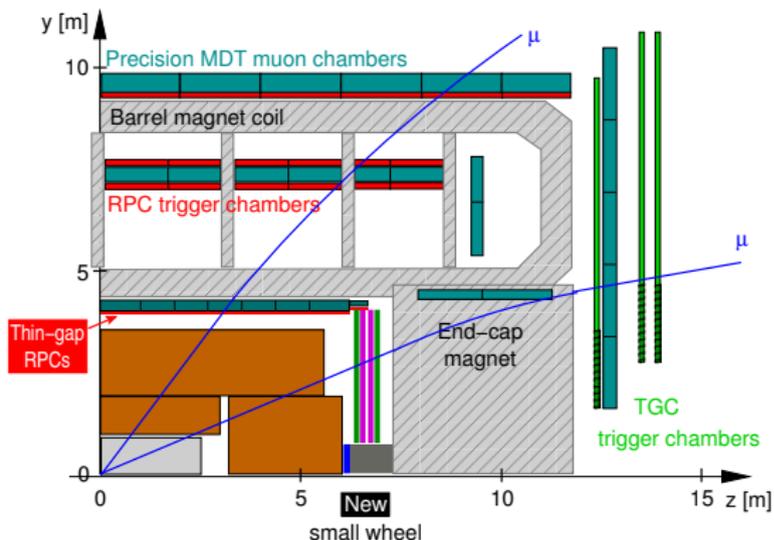
- ▶ Myonenspektrometer:
  - ▶ schnelle Triggerkammern  $\mathcal{O}(1 \text{ ns})$ : **RPC**, **TGC**
  - ▶ Präzisions-Spurdetektoren  $\mathcal{O}(30 \mu\text{m})$ : **MDT**
  - ▶ Phase-1/2 Upgrades: neue Detektoren und **schnelle Ausleselektronik**
  - ▶ Einbeziehen der Präzisions-Spurdetektoren in Triggerentscheidung

# Das ATLAS-Myonenspektrometer und Trigger



- ▶ Myonenspektrometer:
  - ▶ schnelle Triggerkammern  $\mathcal{O}(1 \text{ ns})$ : **RPC**, **TGC**
  - ▶ Präzisions-Spurdetektoren  $\mathcal{O}(30 \mu\text{m})$ : **MDT**
  - ▶ Phase-1/2 Upgrades: neue Detektoren und **schnelle Ausleselektronik**
  - ▶ Einbeziehen der Präzisions-Spurdetektoren in Triggerentscheidung

# Das ATLAS-Myonenspektrometer und Trigger



- ▶ Myonenspektrometer:
  - ▶ schnelle Triggerkammern  $\mathcal{O}(1 \text{ ns})$ : **RPC**, **TGC**
  - ▶ Präzisions-Spurdetektoren  $\mathcal{O}(30 \mu\text{m})$ : **MDT**
  - ▶ Phase-1/2 Upgrades: neue Detektoren und **schnelle Ausleselektronik**
  - ▶ Einbeziehen der Präzisions-Spurdetektoren in Triggerentscheidung

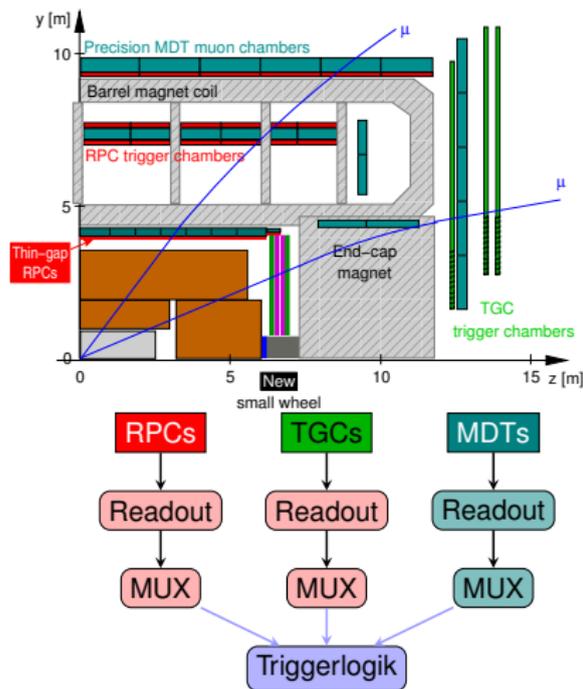
# Der ATLAS Myonentrigger für den HL-LHC

## Zweistufiges Triggerschema

- ▶ Triggerstufe L0:
  - 6 - 10  $\mu\text{s}$  Latenz, 1 MHz Rate
- ▶ High-Level-Trigger:
  - volle Offline-Rekonstruktion

## Erste Triggerstufe

1. Kontinuierliche Auslese der Myondaten zur Triggerlogik (1  $\mu\text{s}$ )
2. Koinzidenz der Treffer in den drei Triggerkammerschichten (1  $\mu\text{s}$ )
3. MDT-Präzisionsmessung verfeinert Triggerkammer-Impulsmessung (1  $\mu\text{s}$ )
4. Finale Triggerentscheidung (3  $\mu\text{s}$ )



# Spurfindungsalgorithmen auf Triggerebene

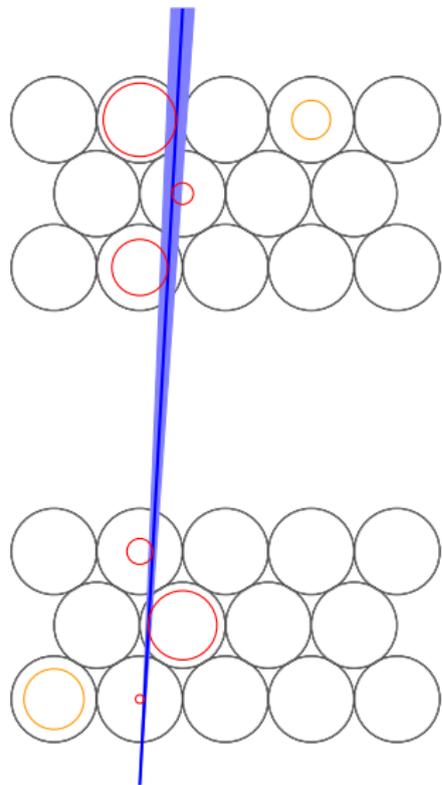
## Anforderungen an den Myonentrigger

- ▶ schnelle Rekonstruktion einer Myonenspur (**Latenz: 3  $\mu$ s**)
- ▶ robust auch bei **hoher Hintergrundstrahlung** und Belegungsrate  
( Endkappe: 7% – 13%,  
Barrel: 1% – 7%)

## verfügbare Ressourcen

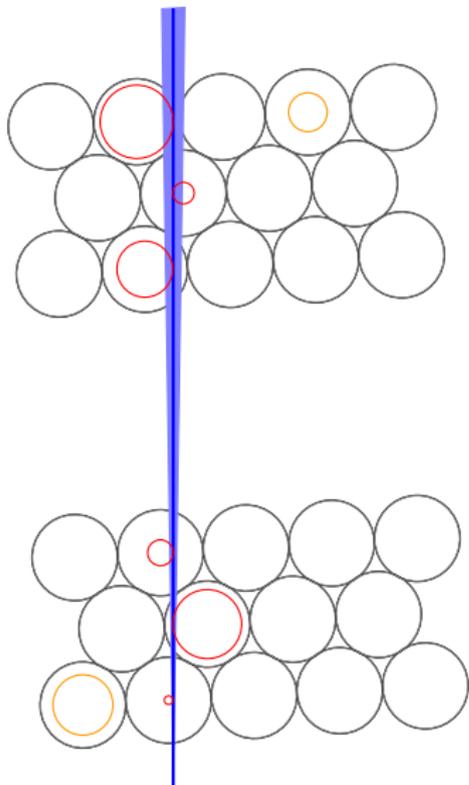
- ▶ schnelle Auslese der MDT-Kammern mit 12.5 ns Zeitauflösung
- ▶ Vorinformation der **RPC/TGC**-Triggerkammern mit  $\sim 0.015$  bzw. 0.003 rad Genauigkeit

# Histogramm-basierte Mustererkennung



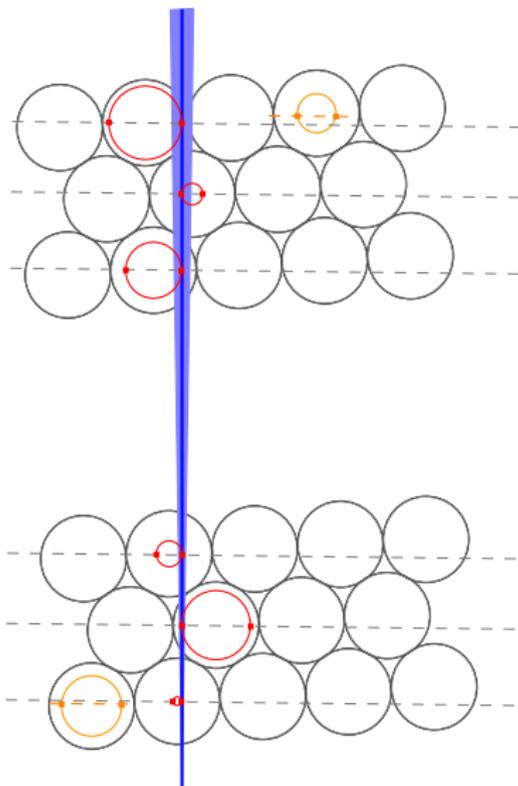
- ▶ Triggerkammer-Spur mit  
Seed-Winkel  $\alpha \pm 0.003$  rad  
Winkelgenauigkeit

# Histogramm-basierte Mustererkennung



- ▶ Triggerkammer-Spur mit Seed-Winkel  $\alpha \pm 0.003$  rad Winkelgenauigkeit
- ▶ Rotation um  $\alpha$

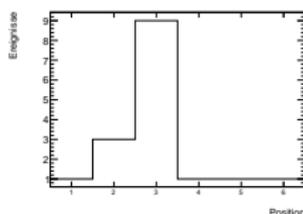
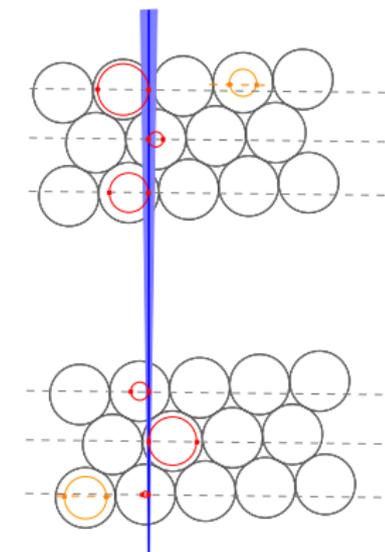
# Histogramm-basierte Mustererkennung



- ▶ Triggerkammer-Spur mit Seed-Winkel  $\alpha \pm 0.003$  rad Winkelgenauigkeit
- ▶ Rotation um  $\alpha$
- ▶ Mögliche Trefferpositionen:

$$d^{\pm} = x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha \pm r_{\text{Drift}}$$

# Rekonstruktion mit Seed



- ▶ Triggerkammer-Spur mit Seed-Winkel  $\alpha \pm 0.003$  rad  
Winkelgenauigkeit (in dem strahlnächsten Endkappensektor)

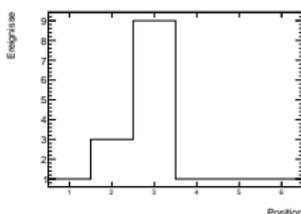
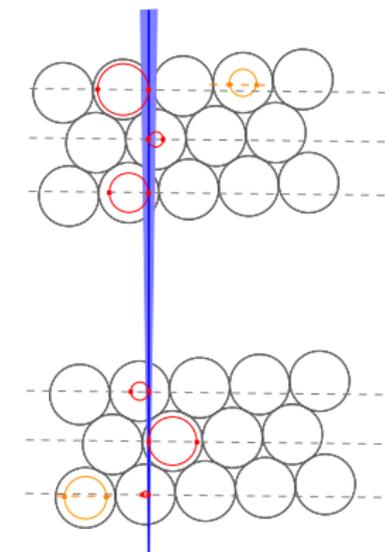
- ▶ Rotation um  $\alpha$

- ▶ Mögliche Trefferpositionen:

$$d^{\pm} = x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha \pm r_{\text{Drift}}$$

- ▶ Fülle Positionen in Histogramm mit Binbreite  $b$

# Rekonstruktion mit Seed



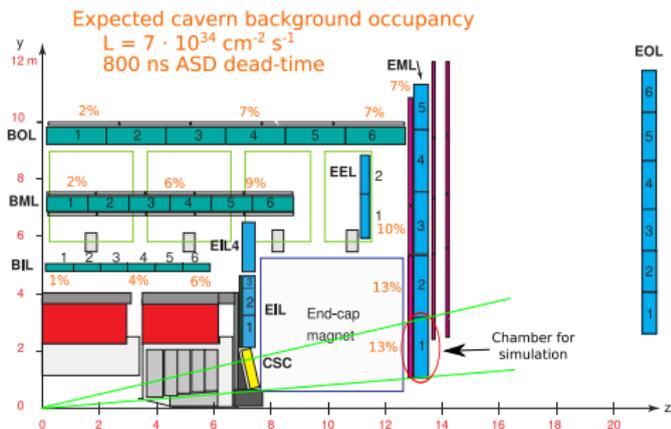
- ▶ Triggerkammer-Spur mit Seed-Winkel  $\alpha \pm 0.003$  rad Winkelgenauigkeit (in dem strahlnächsten Endkappensektor)
- ▶ Rotation um  $\alpha$
- ▶ Mögliche Trefferpositionen:

$$d^{\pm} = x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha \pm r_{\text{Drift}}$$

- ▶ Fülle Positionen in Histogramm mit Binbreite  $b$
- ▶ Geraden-Spurfit mit Treffern aus Bin mit meisten Einträgen

# MC-Studie

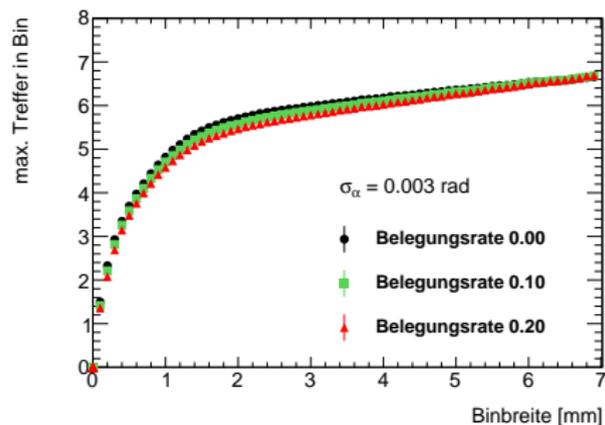
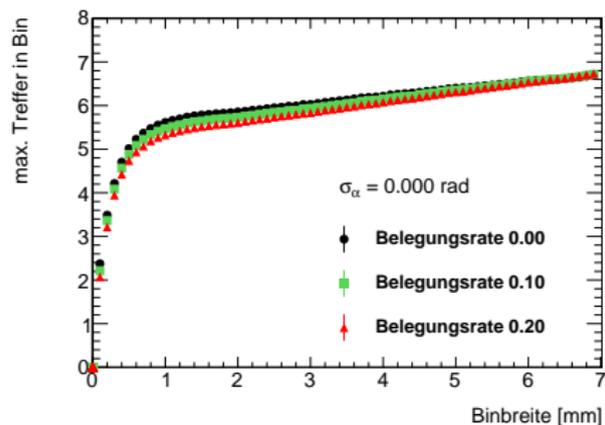
- ▶ Betrachte EML1 Kammer mit höchster Belegungsrate (n und  $\gamma$  Untergrund)
- ▶ Je 100 000 gerade Spuren mit zufällig generiertem Einfallswinkel vom IP ( $0.12 < |\alpha| < 0.24$ ) und Position
- ▶ Variiere
  - ▶ Binbreite von 0 bis 7 mm,
  - ▶ Belegung: 0.0, 0.1, 0.2,
  - ▶ Winkelauflösung: 0.000, 0.003



# Histogramm-basierte Mustererkennung

## optimale Binbreite

### max. Anzahl von Treffern



Anzahl der Treffer im maximalen Histogramm nimmt mit Binbreite zu

# Histogramm-basierte Mustererkennung

## optimale Binbreite

### Effizienz

Myonspur-Segment:

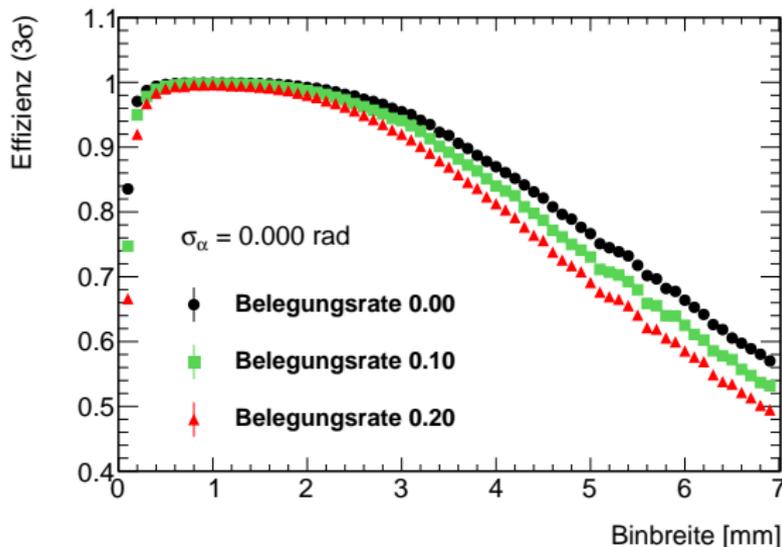
$$y = m \cdot x + b$$

Definition Effizienz:

$$|m_{\text{rec}} - m_{\text{gen}}| < 0.003$$

Bei zu großen Binbreiten  
werden

Geradensteigungen  
falsch rekonstruiert.

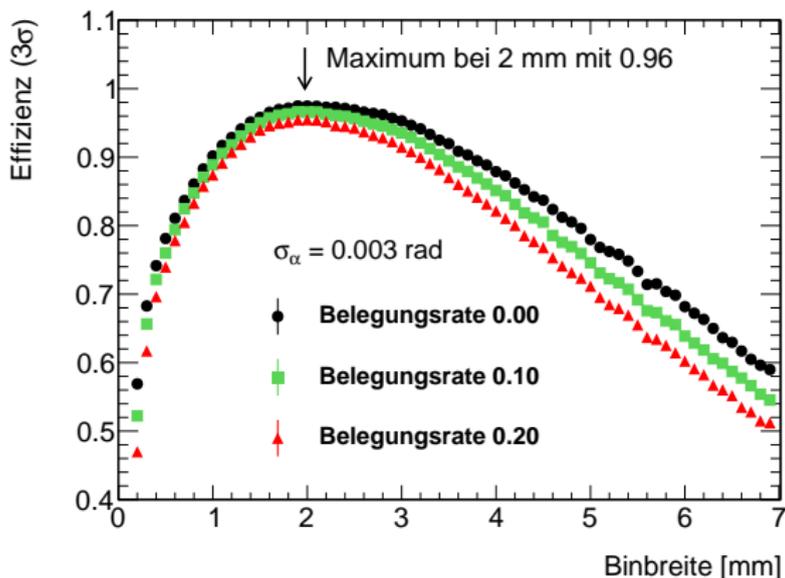


# Histogramm-basierte Mustererkennung

## optimale Binbreite

### Effizienz

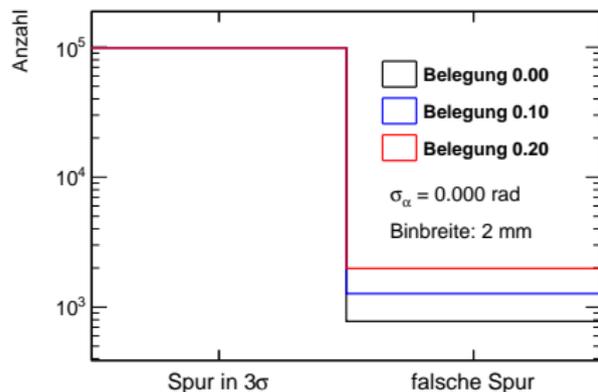
Optimale Binbreite für  
maximale Effizienz bei  
endlicher  
Winkelauflösung: **2 mm**



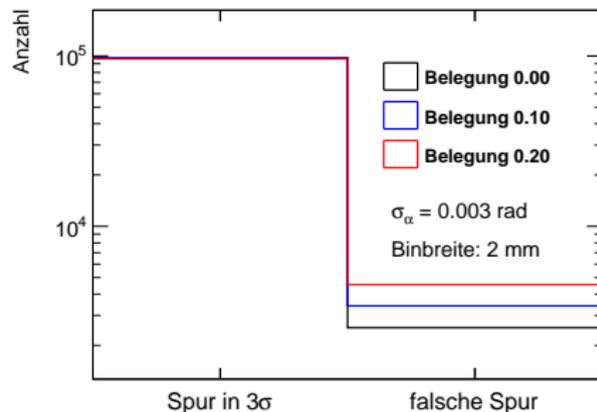
# Histogramm-basierte Mustererkennung

## falsch rekonstruierte Spuren

### perfekte Winkelauflösung

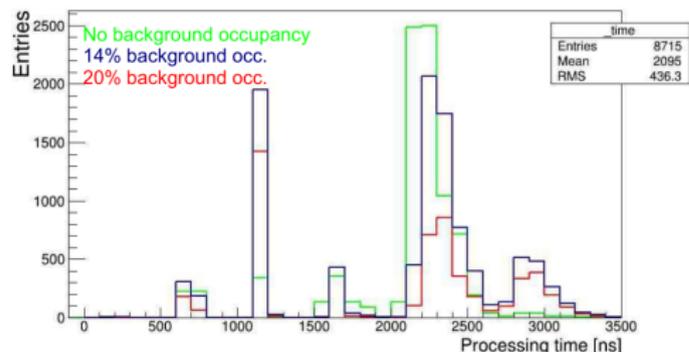


### endliche Winkelauflösung



Bei höchstem Untergrund (Belegungsrate 20%) werden 4,5% Spuren mit falscher Steigung gefunden.

# Test mit Demonstrator-Hardware



[2, SN]

- ▶ Mikroprozessor für schnelle Fließkommaoperationen
- ▶ **Demonstrator-Hardware:**  
Xilinx Evaluation Kit ZC806 (SoC Zynq-7045 mit 1 GHz ARM Cortex-A9)



- ▶ Algorithmus in ARM Assembler programmiert (S. Nowak)



# Zusammenfassung und Ausblick

- ▶ Die **Histogramm-basierte Mustererkennung** ist eine auf eine Dimension projizierte Hough-Transformation.
- ▶ Mit **gewählter Binbreite von 2 mm** können auch bei dem doppelten Untergrund mit **0.95 Effizienz** Spuren rekonstruiert werden.
- ▶ Auf einem SoC Zynq-7045 mit 1 GHz ARM Cortex-A9 läuft der Algorithmus in **unter 3  $\mu$ s**.
- ▶ **Weitere Möglichkeit:** Verschiedene diskret verteilte Einfallswinkel als Startwert (gebinnte 2D Hough-Transformation) für höhere Effizienz



[ATLAS-PH2-SCOPING] The ATLAS Collaboration  
*ATLAS Phase-II Upgrade Scoping Document*  
CERN-LHCC-2015-020. LHCC-G-166



[SN] Sebastian Nowak  
*private Kommunikation*