

# Gamma-Imaging mit hochsegmentierten HPGe-Detektoren

**T. Steinbach, R. Hirsch, B. Birkenbach,**  
J. Eberth, H. Hess, L. Lewandowski, P. Reiter  
**IKP, Universität zu Köln**

R. Gernhäuser, L. Maier, M. Schlarb,  
B. Weiler, M. Winkel  
**E12, TU München**



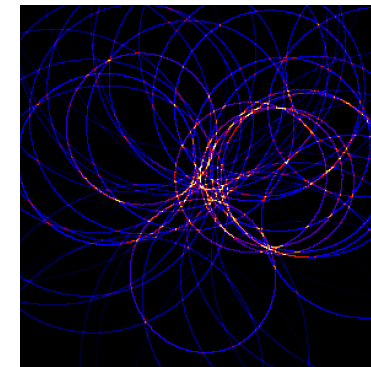
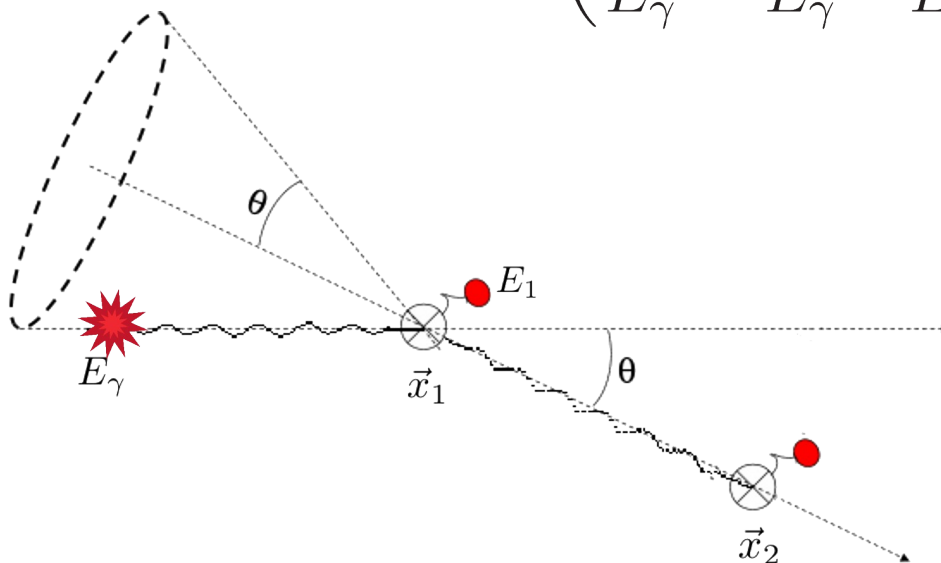
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Prinzip der Compton-Kamera

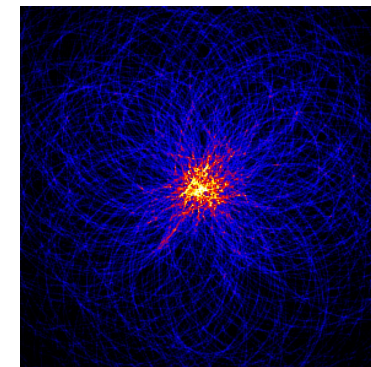
Bildgebendes Verfahren benötigt:

- ◆ Energie  $E_\gamma$
- ◆ Energieverlust Streuung
- ◆ Wechselwirkungsorte
- ◆ mehrere Wechselwirkungen

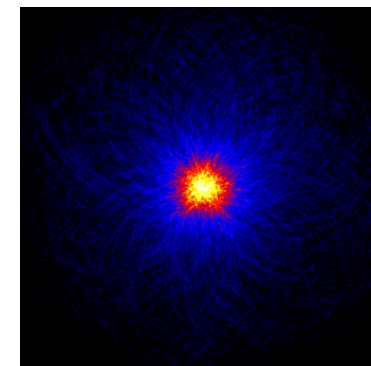
$$\cos(\theta) = 1 + m_e c^2 \left( \frac{1}{E_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma - E_1} \right)$$



50 events



500 events

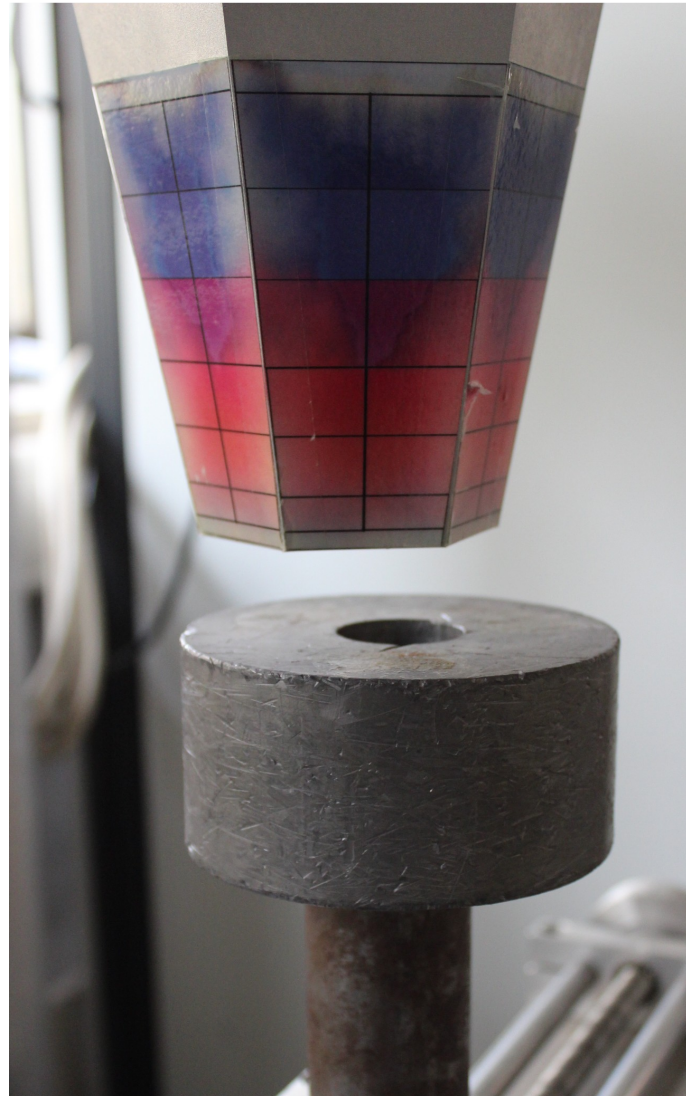
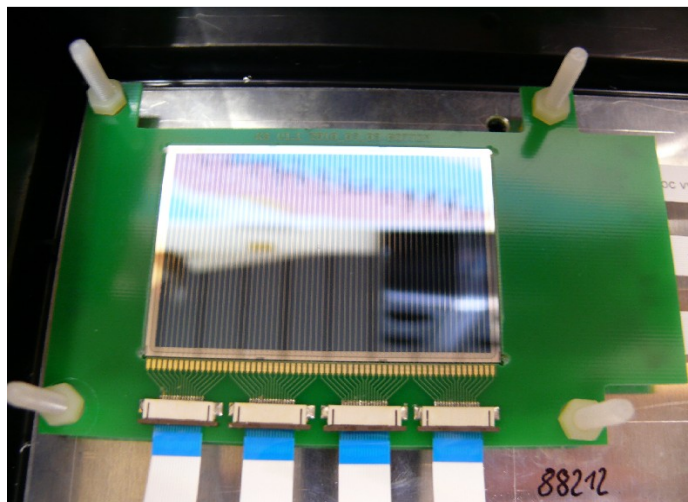


5000 events

# Experimenteller Aufbau im koinzidenten Betrieb

## DSSD Streudetektor

- ◆ 60x40x1 mm
- ◆ 60x32 Kanäle



## Hochsegmentierter AGATA-HPGe-Detektor

- ◆ 36-Segmente
- ◆ Ortssensitiv durch  
Impulsformanalyse  
(PSA)

## digitale Pixie-16 Elektronik

- ◆ Listmode-Daten
- ◆ 12bit ADC
- ◆ 100 MSPS

# Koinzidenz-Modus mit DSSD

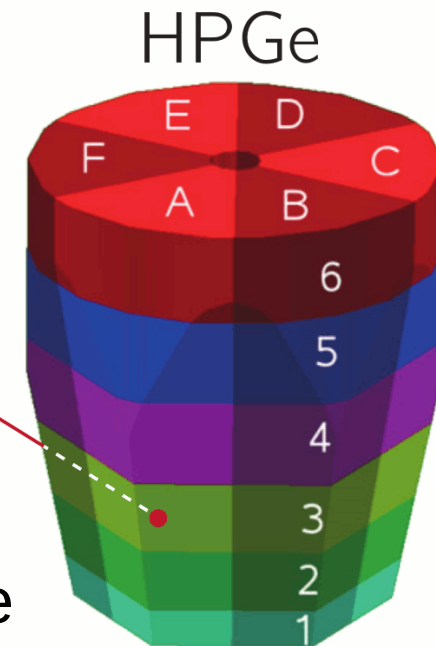
Vollständige  
Energieabsorption  
in zwei Detektoren

- hohe Winkelauflösung
- moderate Energieauflösung
- niedrige Effizienz

Source

erste Interaktion im  
DSSD-Streudetektor  $\Delta x = 1 \text{ mm}$

mindestens eine  
koinzidente Interaktion  
im HPGe  $\Delta x = 4\text{-}5 \text{ mm}$



# High-Efficiency Modus

Vollständige  
Energieabsorption  
im HPGe-Detektor

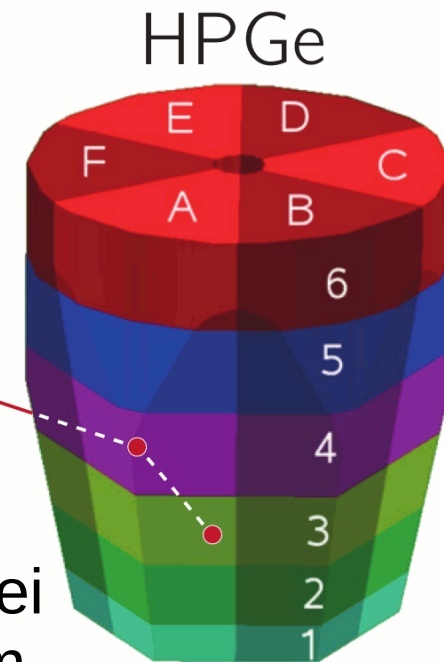


Source

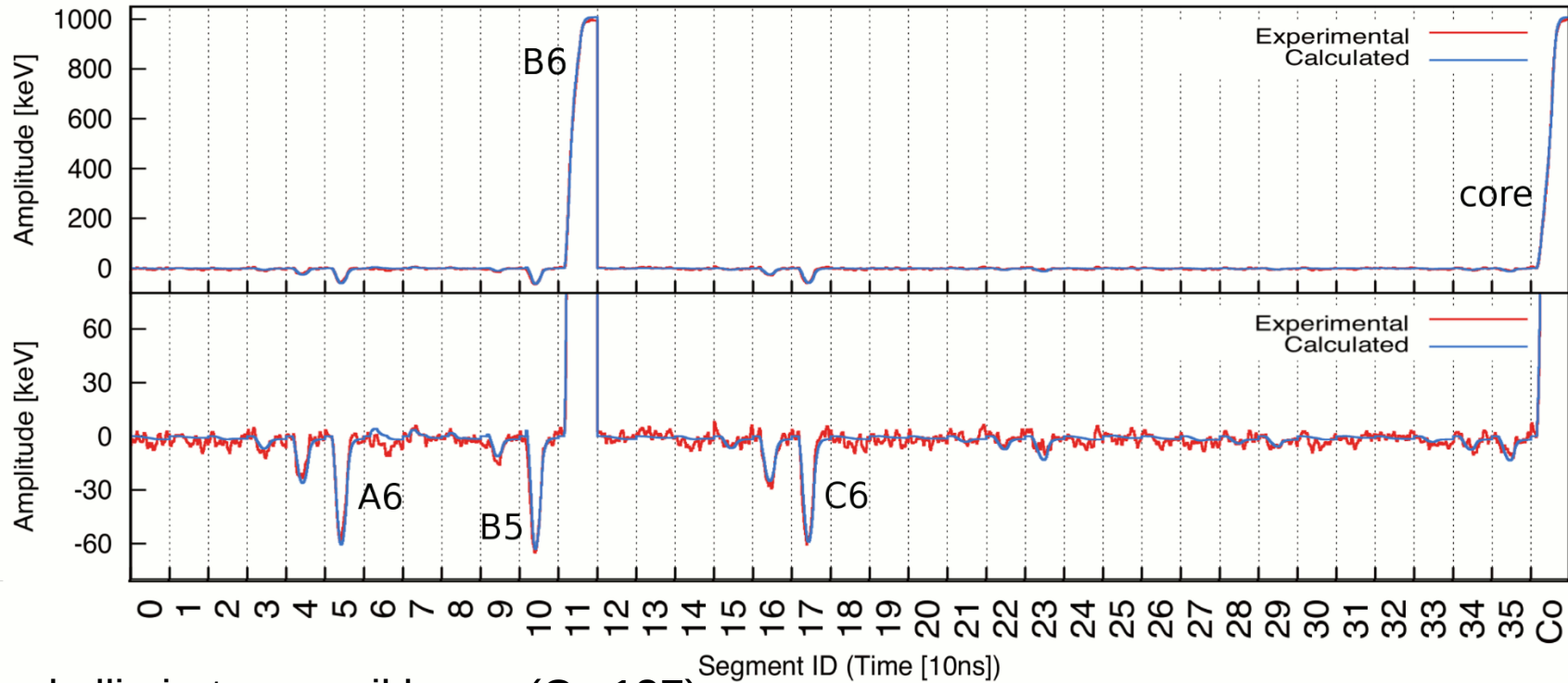
Unsicherheit bei  
Interaktionsorten  
dominiert  
Fehlerbetrachtung

- gute Energieauflösung
- hohe Effizienz
- Winkelauflösung ?

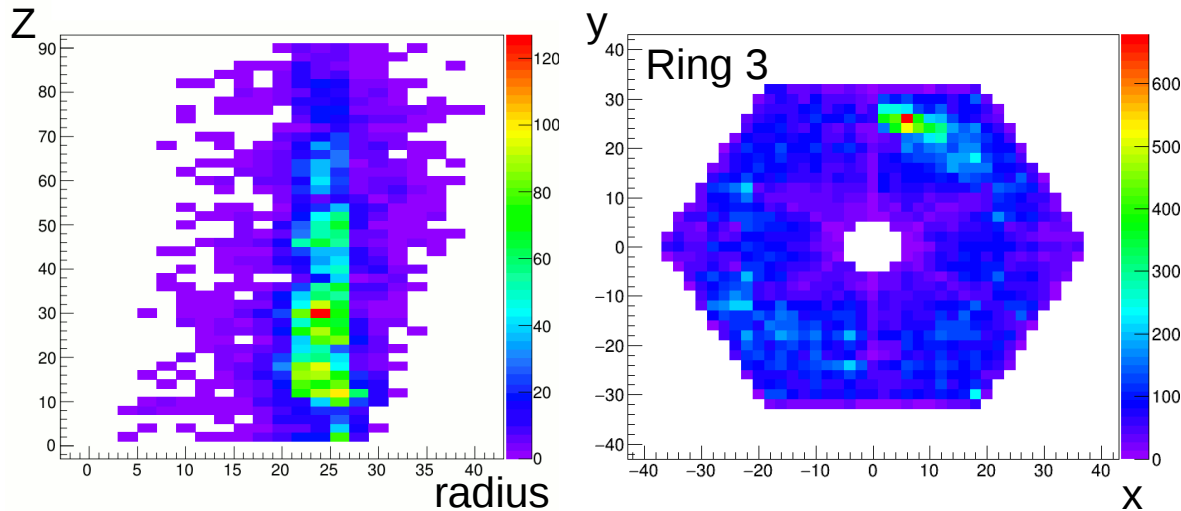
Mindestens zwei  
Interaktionen im  
HPGe-Detektor



# Pulse Shape Analysis



kollimierter pencil beam (Cs-137)



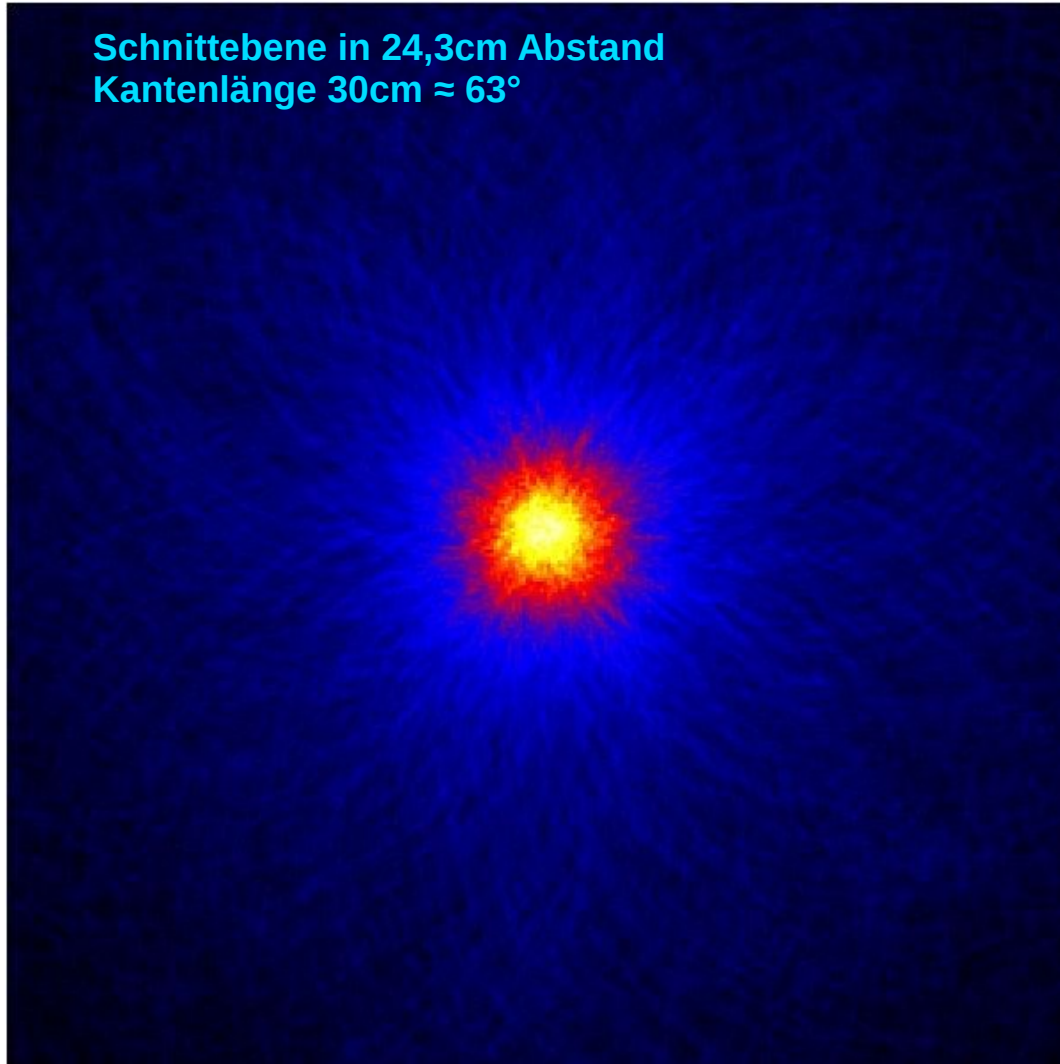
Konvertierung  
Pixie Output → AGATA-Format

Nutzung der AGATA-  
Software-Bibliothek

siehe L. Lewandowski HK 15.5

# Ortsbestimmung einer Quelle im Koinzidenz-Modus

Schnittebene in 24,3cm Abstand  
Kantenlänge 30cm  $\approx 63^\circ$



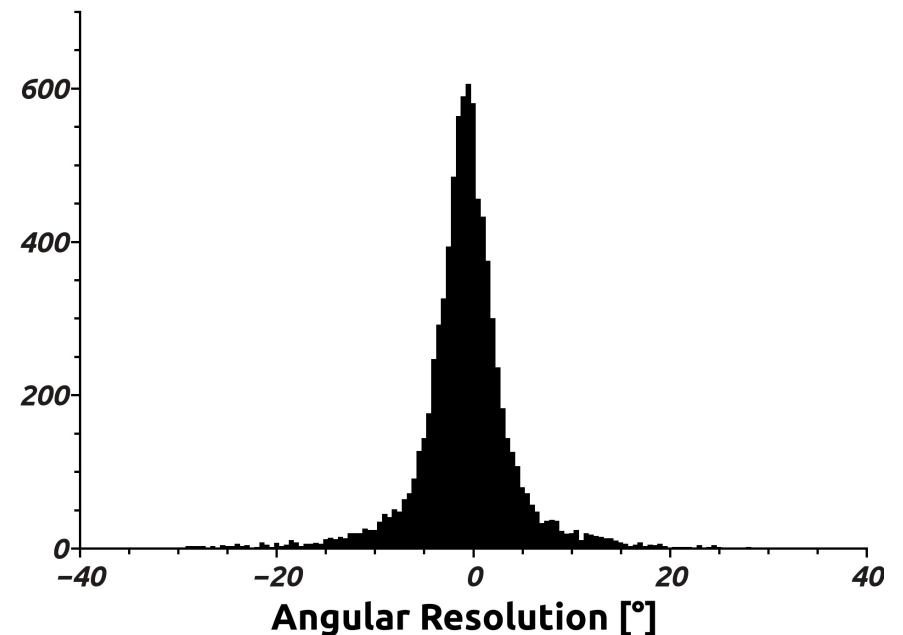
Quelle: Na-22 ( $E_\gamma = 1275\text{keV}$ )

Aktivität: 450 kBq

Abstand Quelle  $\leftrightarrow$  DSSSD: 24,3cm

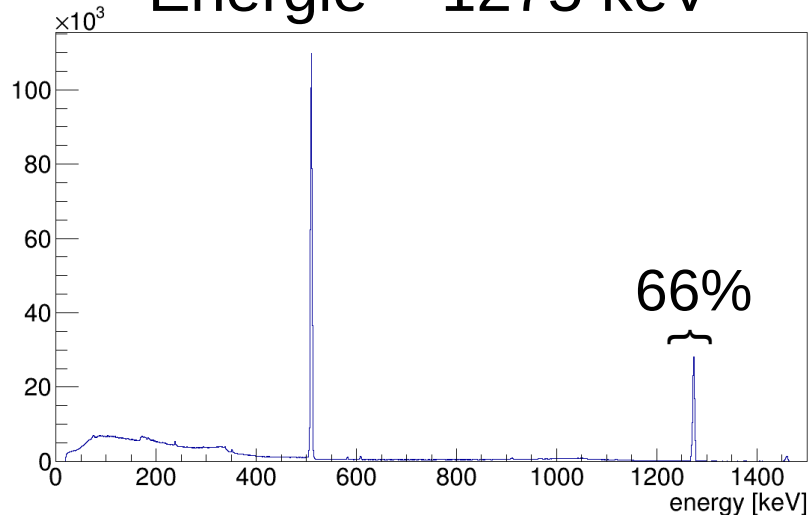
Effizienz:  $\sim 1.7 \times 10^{-5}$

Winkelauflösung (AR):  $\Delta\theta = 4,6^\circ$

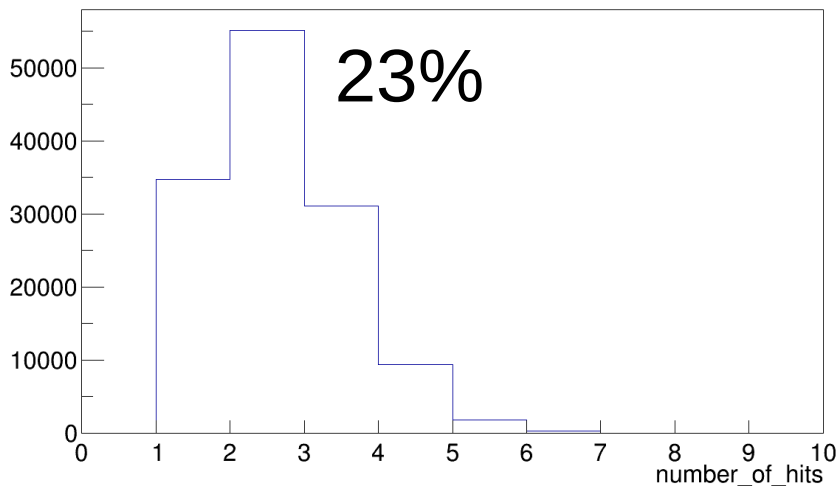


# Notwendige Schnitte

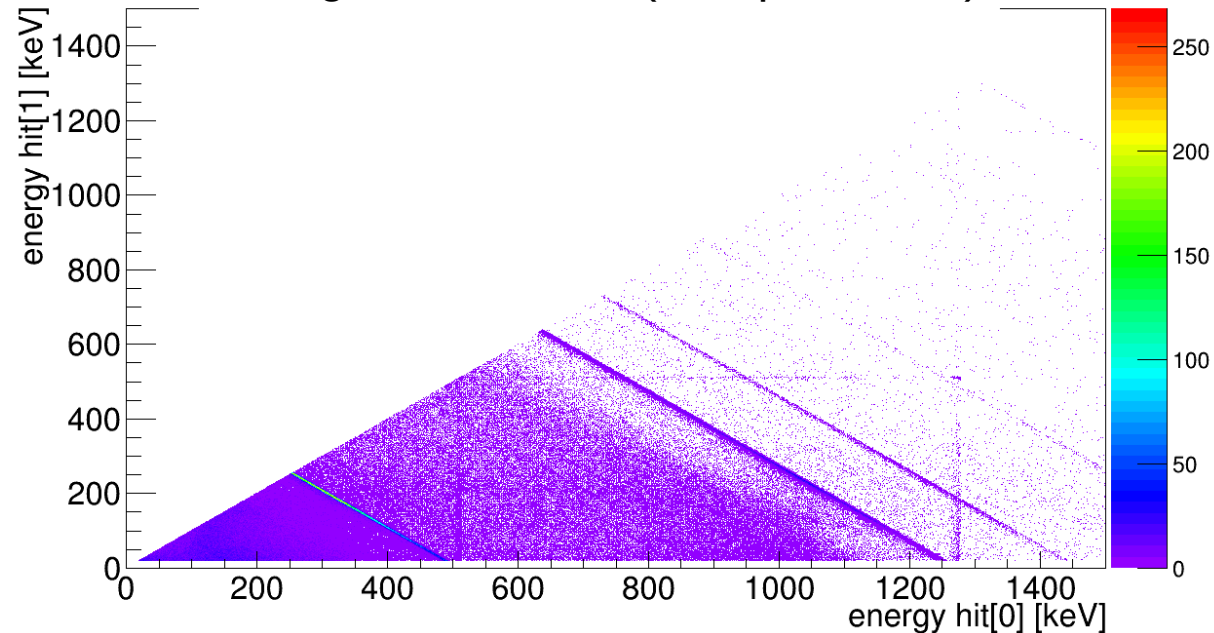
Energie ~ 1275 keV



Multiplizität = 2



Energie Korrelation (multipizität = 2)



Quelle: Na-22 (75 kBq)

Messdauer 30 min

Abstand Quelle  $\leftrightarrow$  HPGe: 33 cm

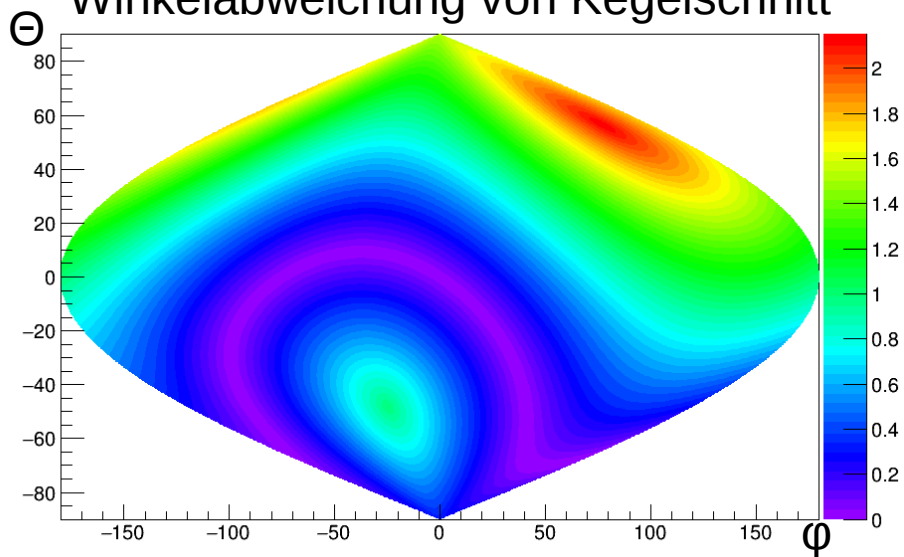
Effizienz: 23 % (korrigiert für Aktivität und Geometrie)

vgl: koinz. Messung:  $\sim 1.7 \times 10^{-5}$



# Near-Field Imaging

Winkelabweichung von Kegelschnitt



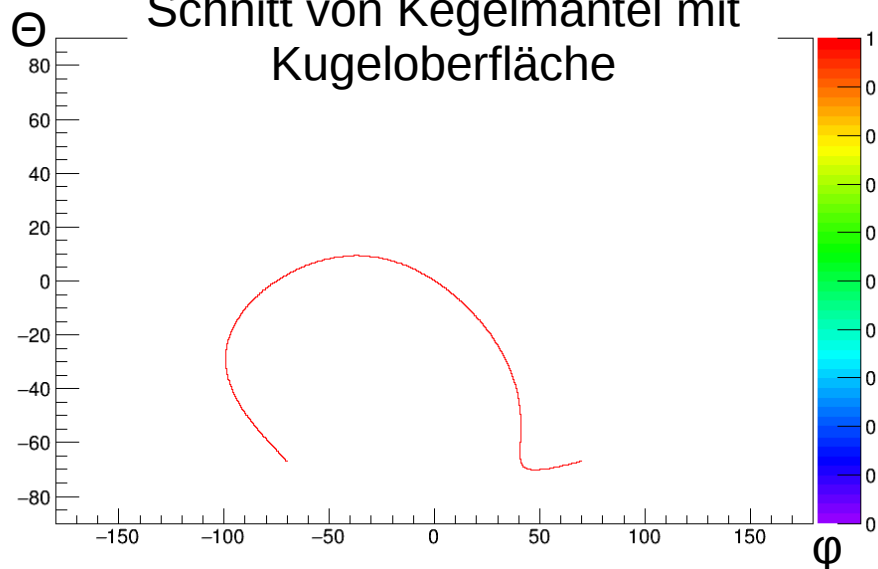
Schnittpunkt: Compton-Kegelmantel mit Kugelsphäre

Walking-Algorithmus auf sinusoidaler Projektion

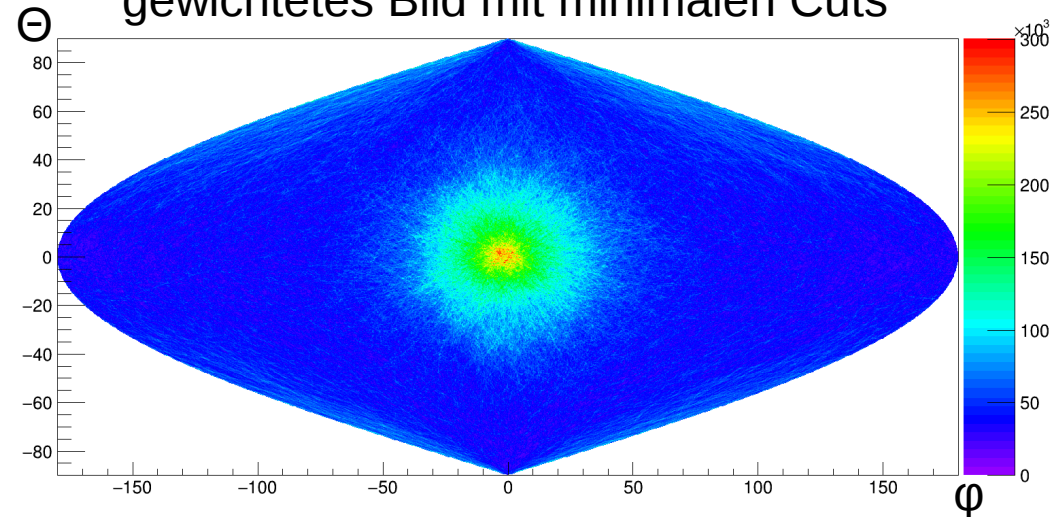
S.J. Wilderman, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-45 (1998) 957.

Gewichtung:  $w = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^2$

Schnitt von Kegelmantel mit Kugeloberfläche

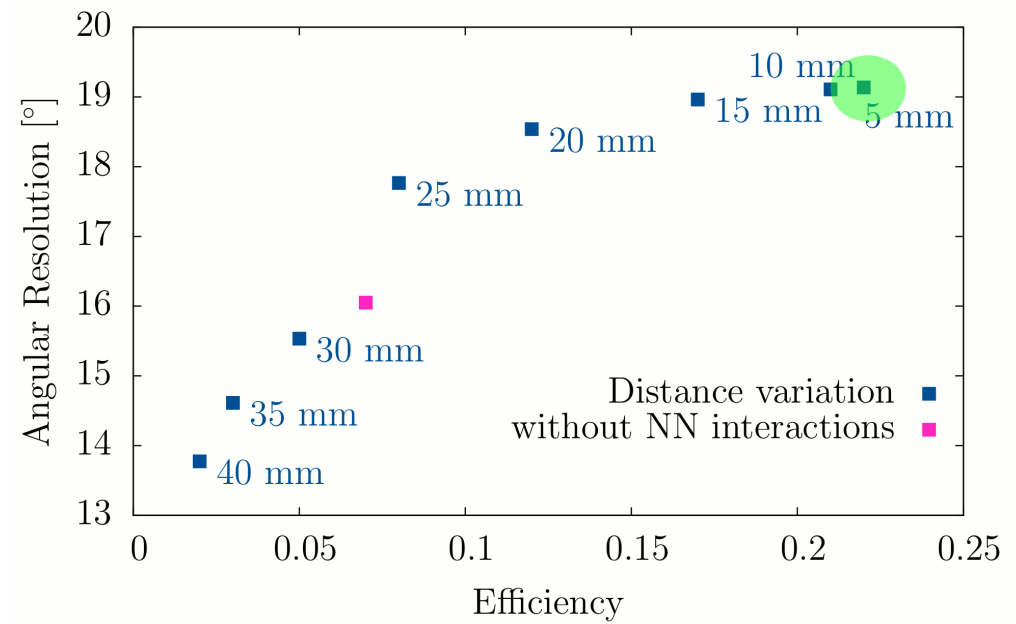
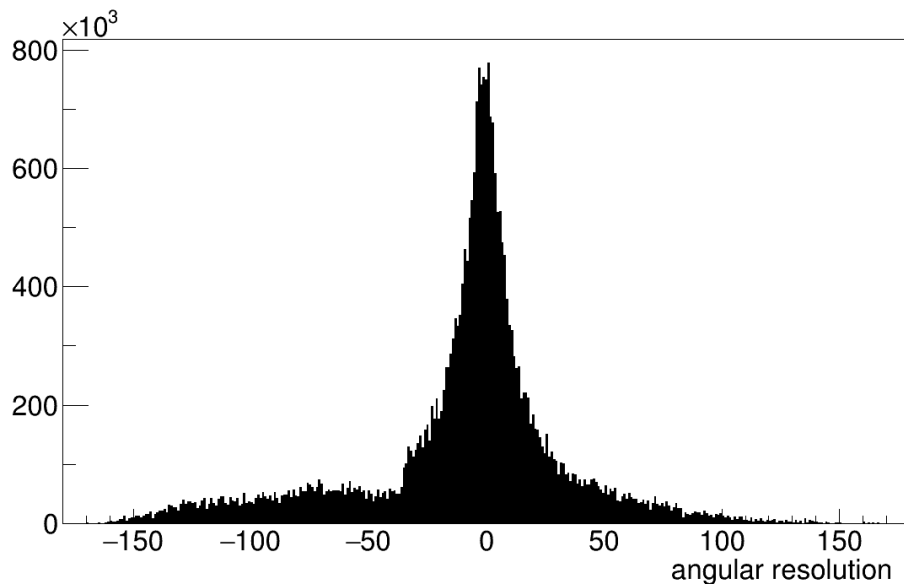


gewichtetes Bild mit minimalen Cuts



Winkelauflösung (AR):  $\Delta\theta=19,1^\circ$

# Winkelauflösung in Abhängigkeit der Wechselwirkungsdistanz



Entfernung zwischen Interaktionspunkten bestimmt Fehler der Kegelachse

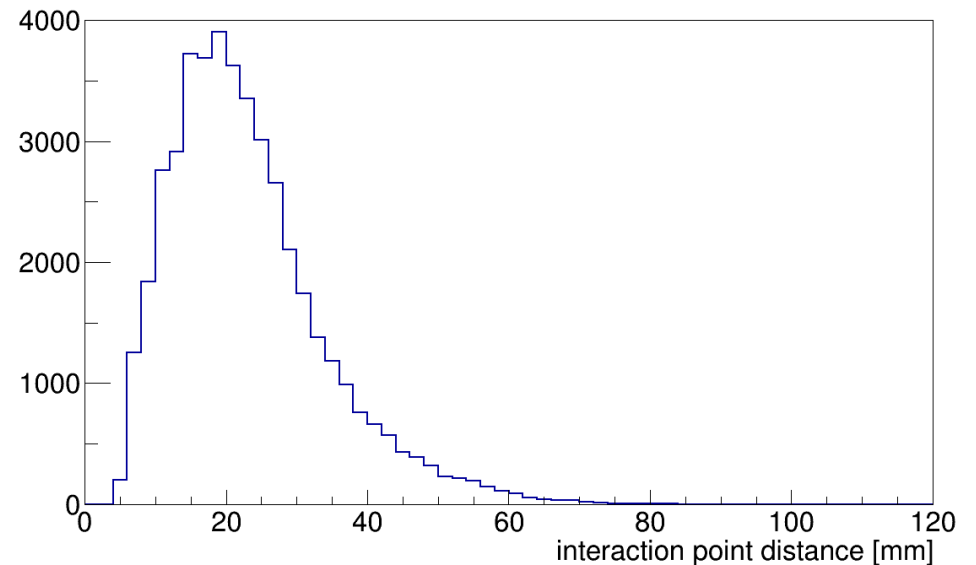
$$\Delta x \text{ (PSA)} \sim 4\text{-}5 \text{ mm}$$

P.A. Söderström et al., NIM A 638, 96 (2011)

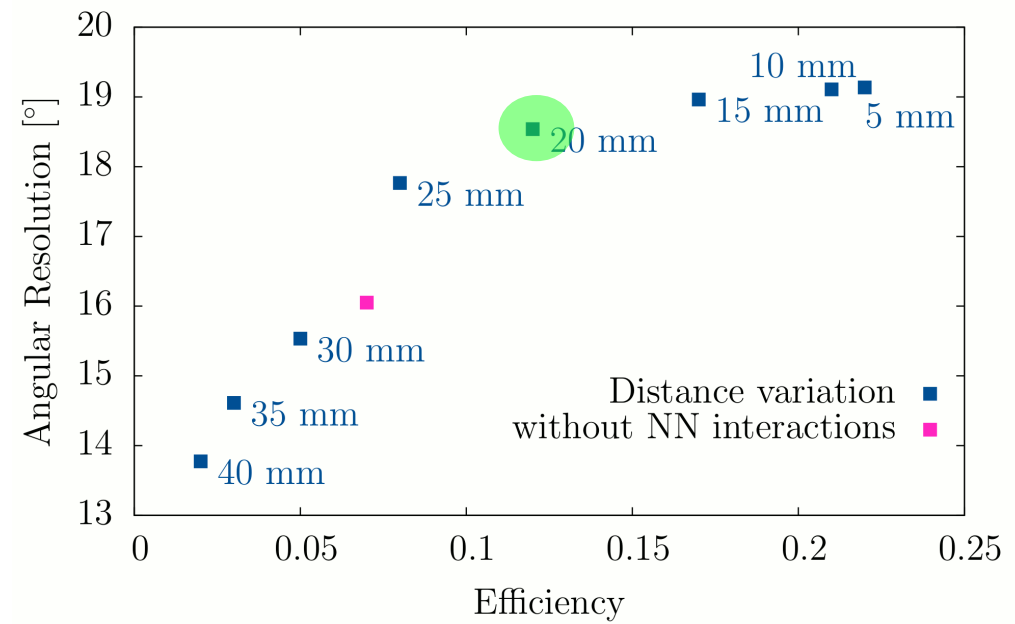
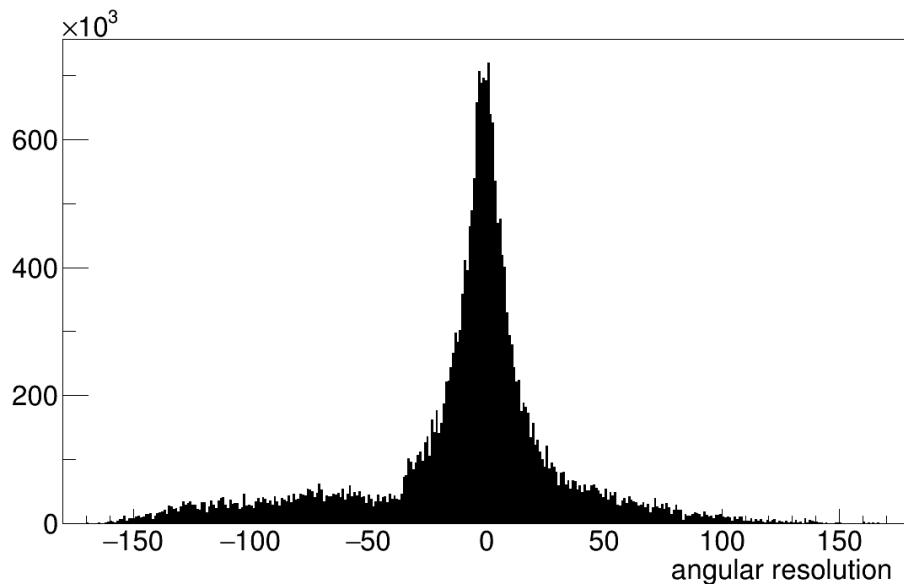
vgl: koinz. Messung:

AR:  $4,6^\circ$

Eff.:  $\sim 1.7 \times 10^{-5}$



# Winkelauflösung in Abhängigkeit der Wechselwirkungsdistanz



Entfernung zwischen Interaktionspunkten bestimmt Fehler der Kegelachse

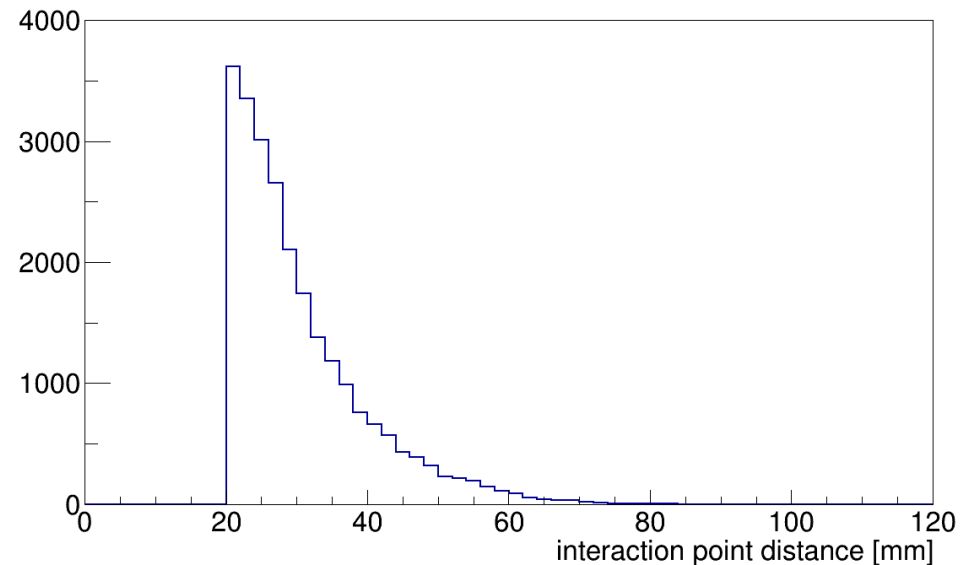
$\Delta x$  (PSA)  $\sim$  4-5 mm

P.A. Söderström et al., NIM A 638, 96 (2011)

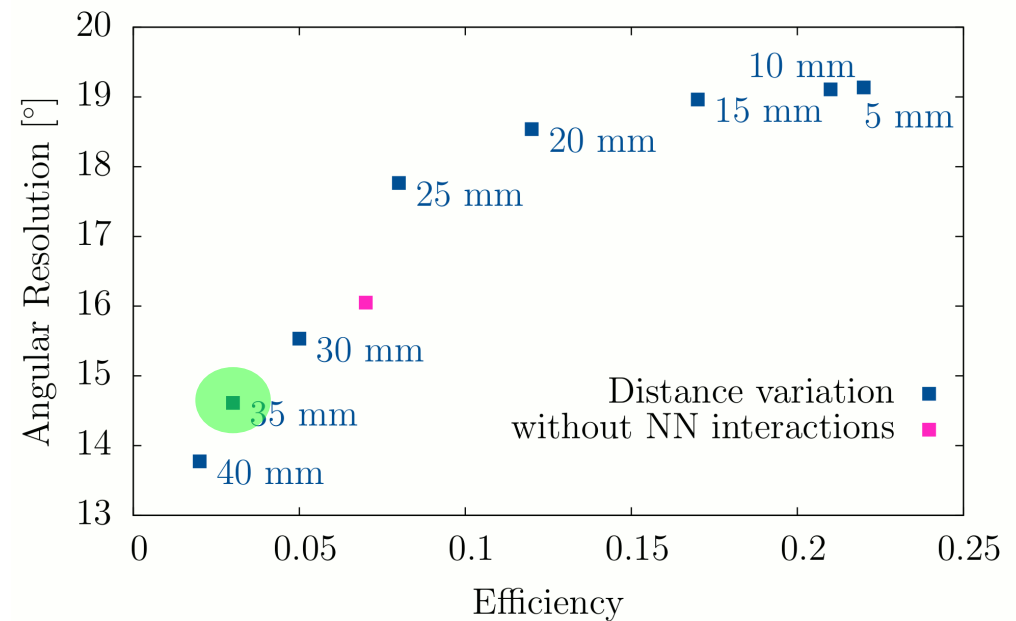
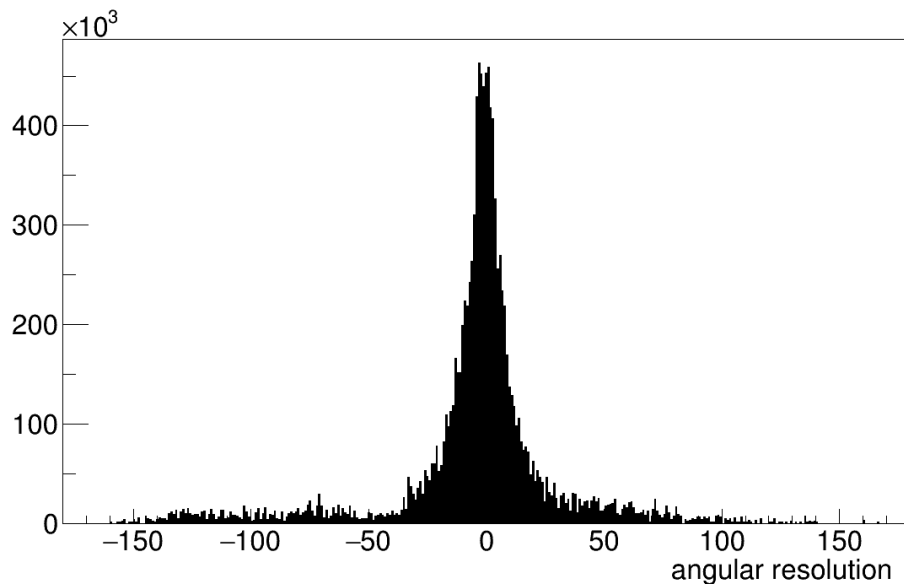
vgl: koinz. Messung:

AR: 4,6 °

Eff.:  $\sim 1.7 \times 10^{-5}$



# Winkelauflösung in Abhängigkeit der Wechselwirkungsdistanz



Entfernung zwischen Interaktionspunkten bestimmt Fehler der Kegelachse

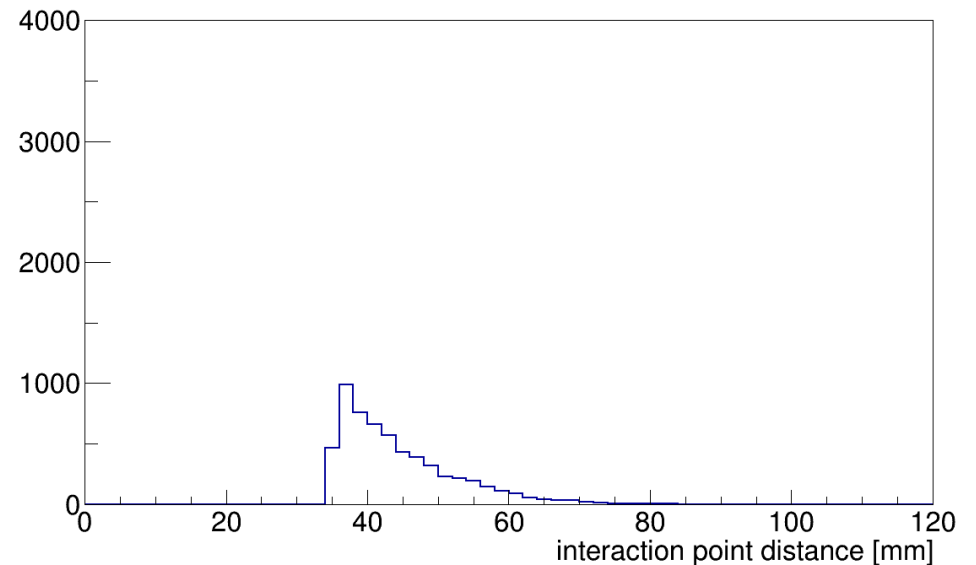
$\Delta x$  (PSA)  $\sim$  4-5 mm

P.A. Söderström et al., NIM A 638, 96 (2011)

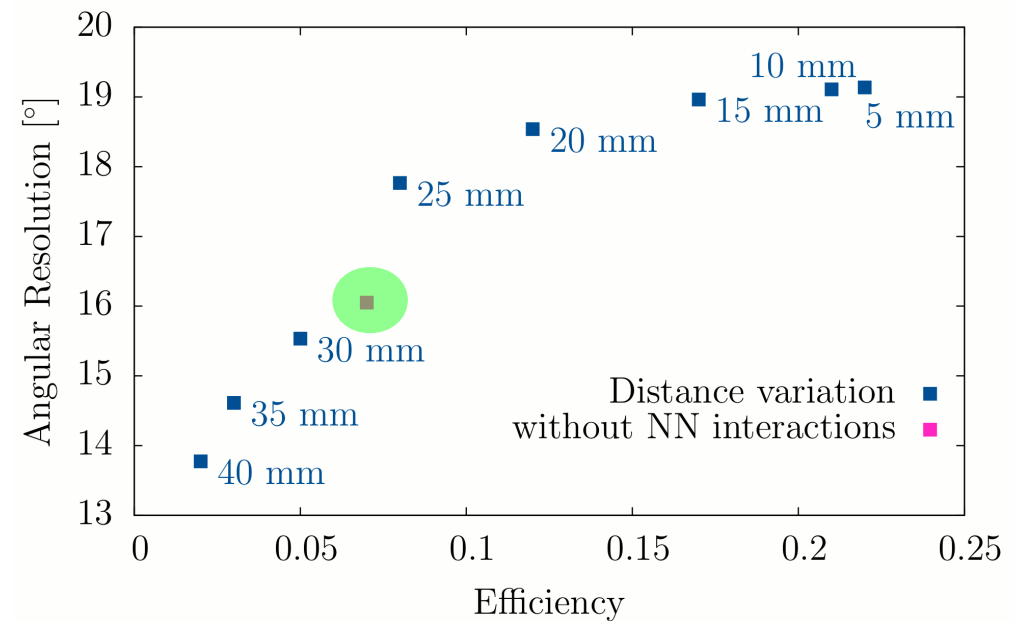
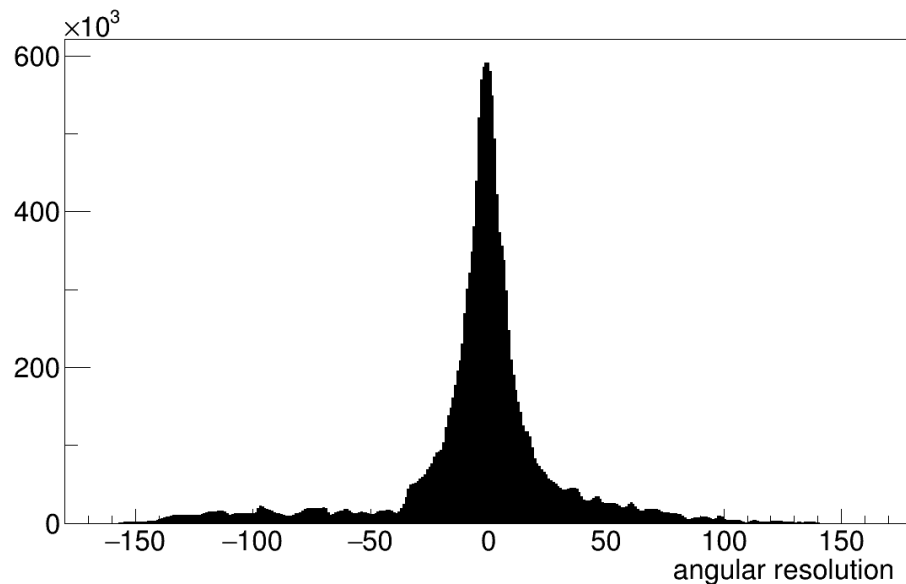
vgl: koinz. Messung:

AR: 4,6 °

Eff.:  $\sim 1.7 \times 10^{-5}$



# Winkelauflösung ohne Wechselwirkung in nächsten Nachbarn

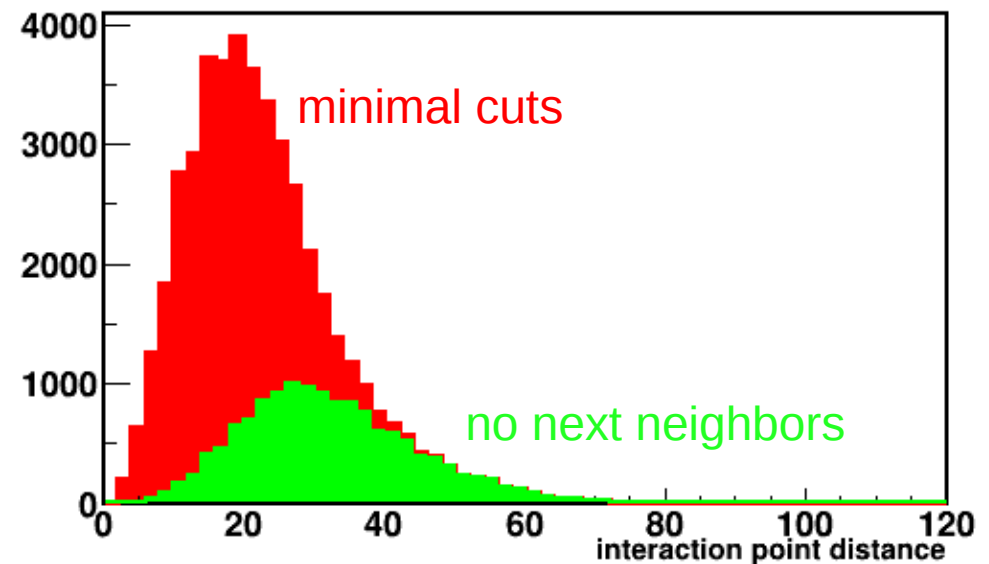


Entfernung zwischen Interaktionspunkten bestimmt Fehler der Kegelachse

$\Delta x$  (PSA)  $\sim$  4-5 mm

P.A. Söderström et al., NIM A 638, 96 (2011)

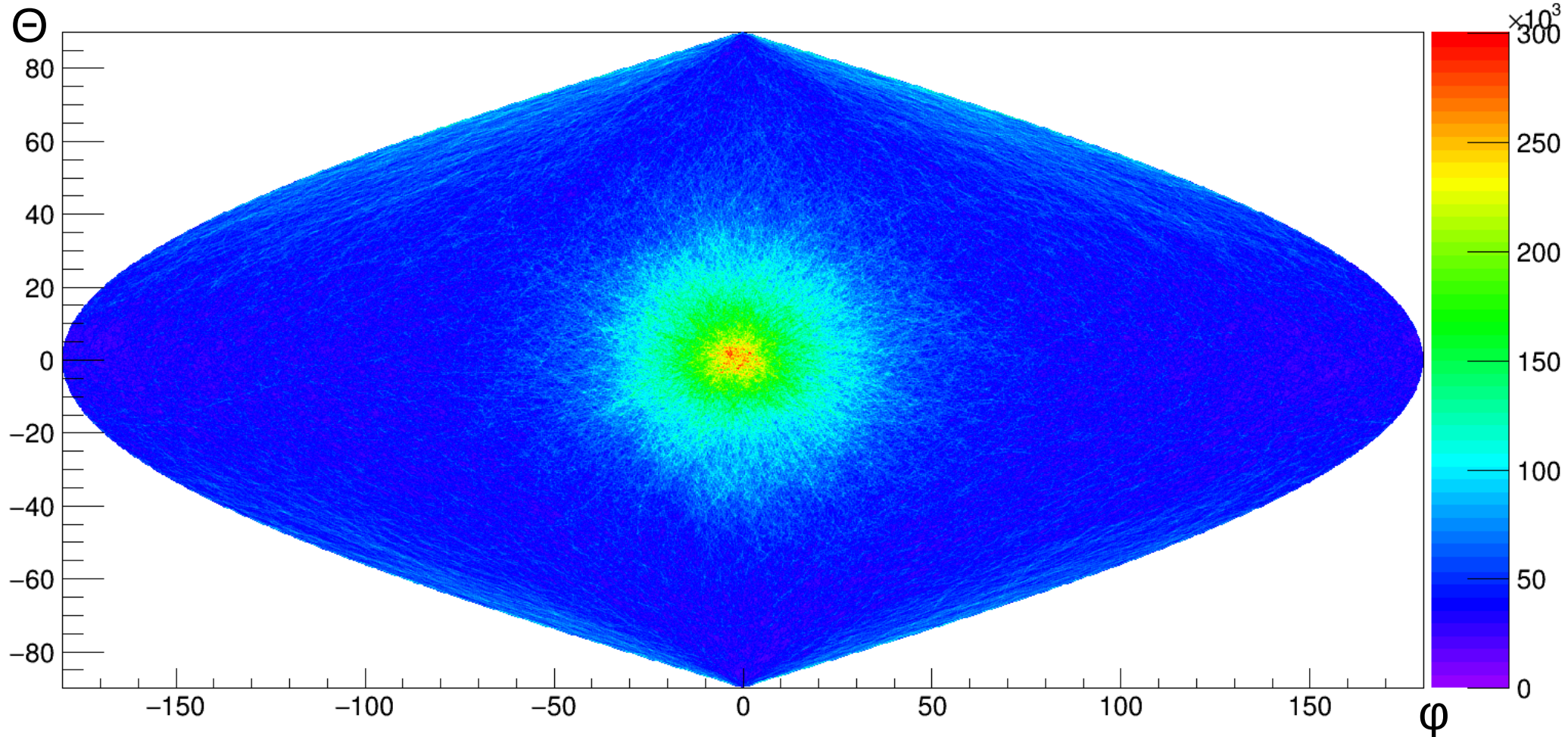
Keine Events mit Interaktionen in Nachbarsegmenten



# Bild mit minimalen Schnitten

Effizienz: 23 %

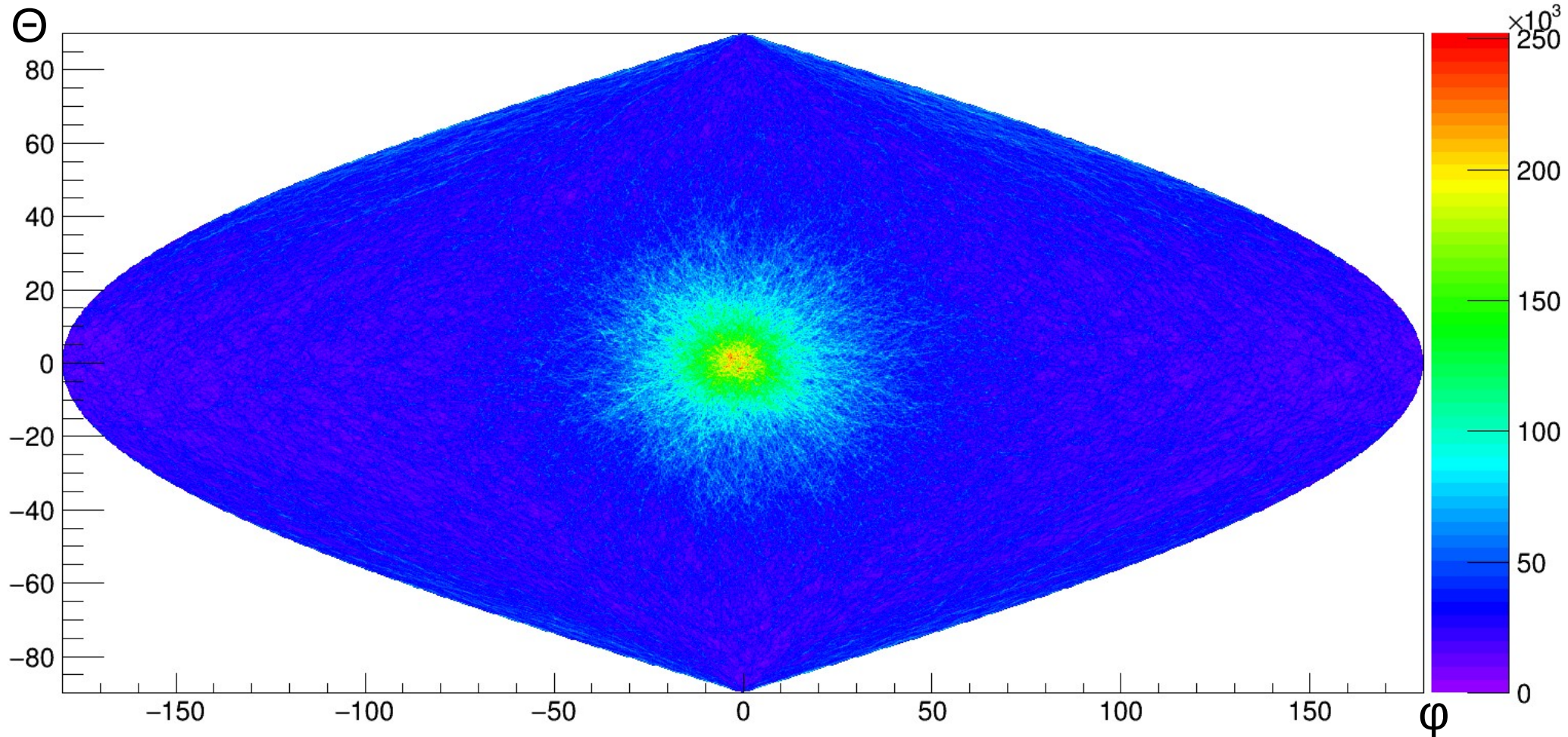
Winkelauflösung (AR):  $\Delta\theta=19,1^\circ$



# Bild ohne nächste Nachbarn Wechselwirkung

Effizienz: 7 %

Winkelauflösung (AR):  $\Delta\theta=16,1^\circ$



# Zusammenfassung und Ausblick

- High-Efficiency Modus
- Pixie- zu AGATA-Format Konvertierung
- Near-Field-Imaging
- Untersuchungen von Effizienz und Auflösung



Beide komplementären Modi in Betrieb

High Efficiency Modus:	AR: 16,1°	Effizienz: 0,07
Koinzidenz Modus:	AR: 4,6°	Effizienz: $\sim 1,7 \times 10^{-5}$

Ausblick

- Tracking
- Maximum Likelihood Methode



# Ende

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**T. Steinbach, R. Hirsch, B. Birkenbach,  
J. Eberth, H. Hess, L. Lewandowski, P. Reiter  
IKP, Universität zu Köln**

**R. Gernhäuser, L. Maier, M. Schlarb,  
B. Weiler, M. Winkel  
E12, TU München**

Gefördert von:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung