



Max-Planck-Institut für Physik  
(Werner-Heisenberg-Institut)

# Homogenität der Nachweiseffizienz von segmentierten Germaniumdetektoren

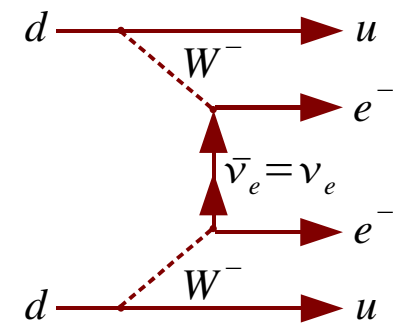
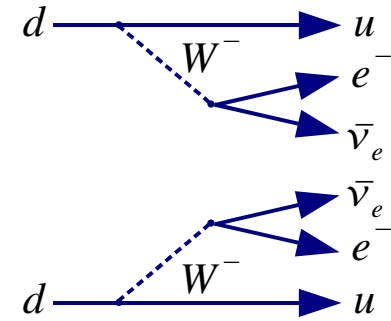
Allen Caldwell, Béla Majorovits, Xiang Liu, Jozsef Janicsko, Jing Liu, Daniel Lenz und \*Annika Vauth  
für die GERDA-Kollaboration

# Übersicht

- Motivation: Doppelbetazerfall & das GERDA-Experiment
- Segmentierte HPGe-Detektoren
- Homogenität und das aktive Volumen
- Datennahme für Homogenitätsuntersuchung
- Monte Carlo - Simulation
- Analyse
- Zusammenfassung

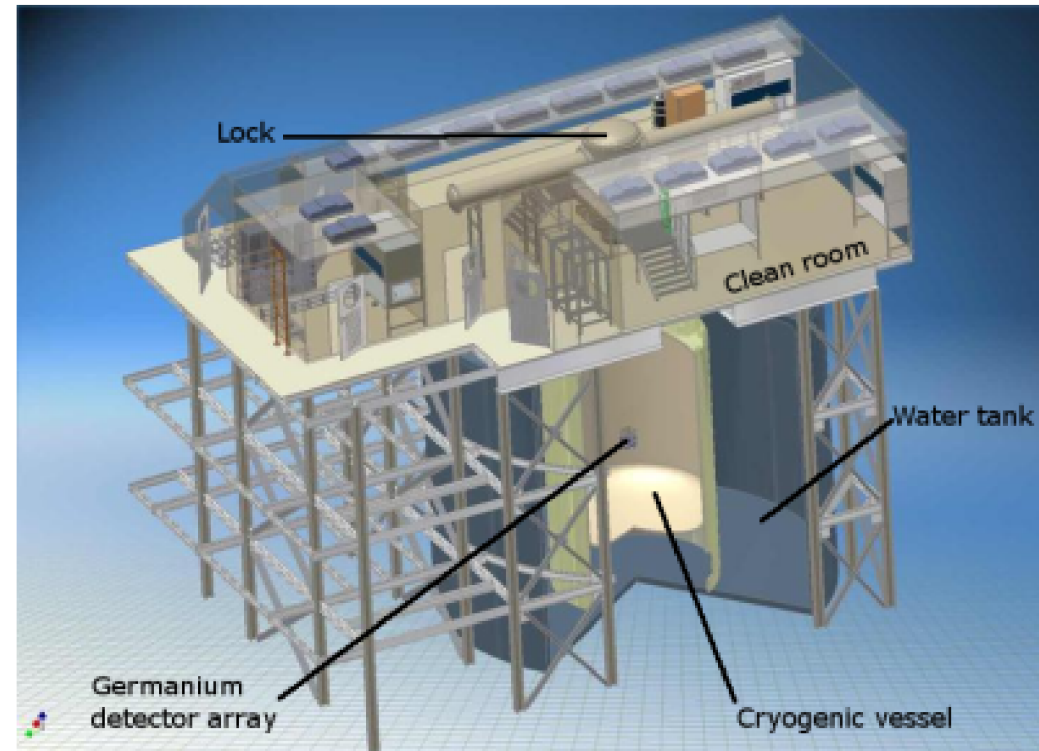
# Neutrinoloser Doppelbetazerfall

- Betazerfall  ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + e^- + \bar{\nu}_e$
- Doppelbetazerfall ( $2\nu\beta\beta$ )  ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+2} Y + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$
- $2\nu\beta\beta$  für verschiedene Isotope zu beobachten, eins davon ist  ${}^{76}\text{Ge}$
- $2\nu\beta\beta$ : Sehr lange Halbwertszeit,  $T_{2\nu\beta\beta}^{1/2}({}^{76}\text{Ge}) = 1.55 \cdot 10^{21} \text{ a}$
- Neutrinoloser Doppelbetazerfall ( $0\nu\beta\beta$ )  ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+2} Y + 2e^-$ 
  - ▶ Natur des Neutrinos?
  - ▶ Absolute Massenskala?
- $0\nu\beta\beta$ : noch seltener als  $2\nu\beta\beta$ , weniger als 1 Ereignis / kg Jahr



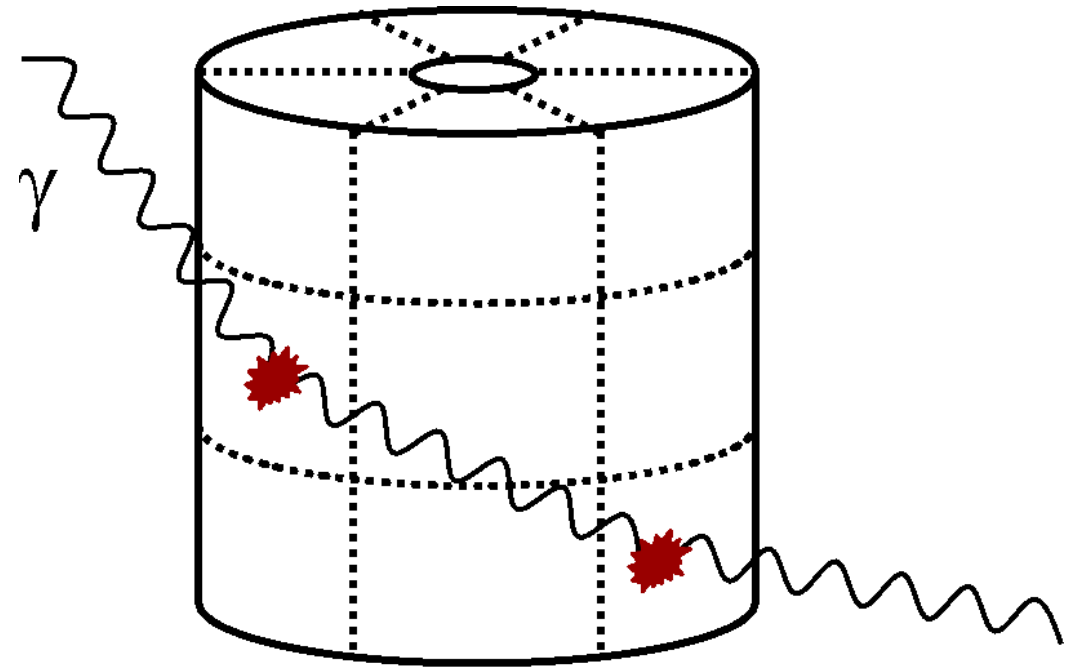
# GERmanium Detector Array

- Untergrundreduktion wichtig!
- Methoden zur Untergrundreduzierung:
  - ▶ Untergrundlabor
  - ▶ Reine Materialien
  - ▶ Wassertank
  - ▶ Detektoren direkt in Kryoflüssigkeit
  - ▶ Germanium-Detektoren:
    - ▶ Sehr reines Material
    - ▶ Quelle ist gleichzeitig Detektor



# Segmentierte HPGe-Detektoren

- 18-fach segmentierte Detektoren (6-fach in  $\phi$ , 3-fach in  $z$ )
- Unterscheidung zwischen lokaler Energiedeposition und Depositionen in mehreren Segmenten



Comptonstreuung in segmentiertem Detektor

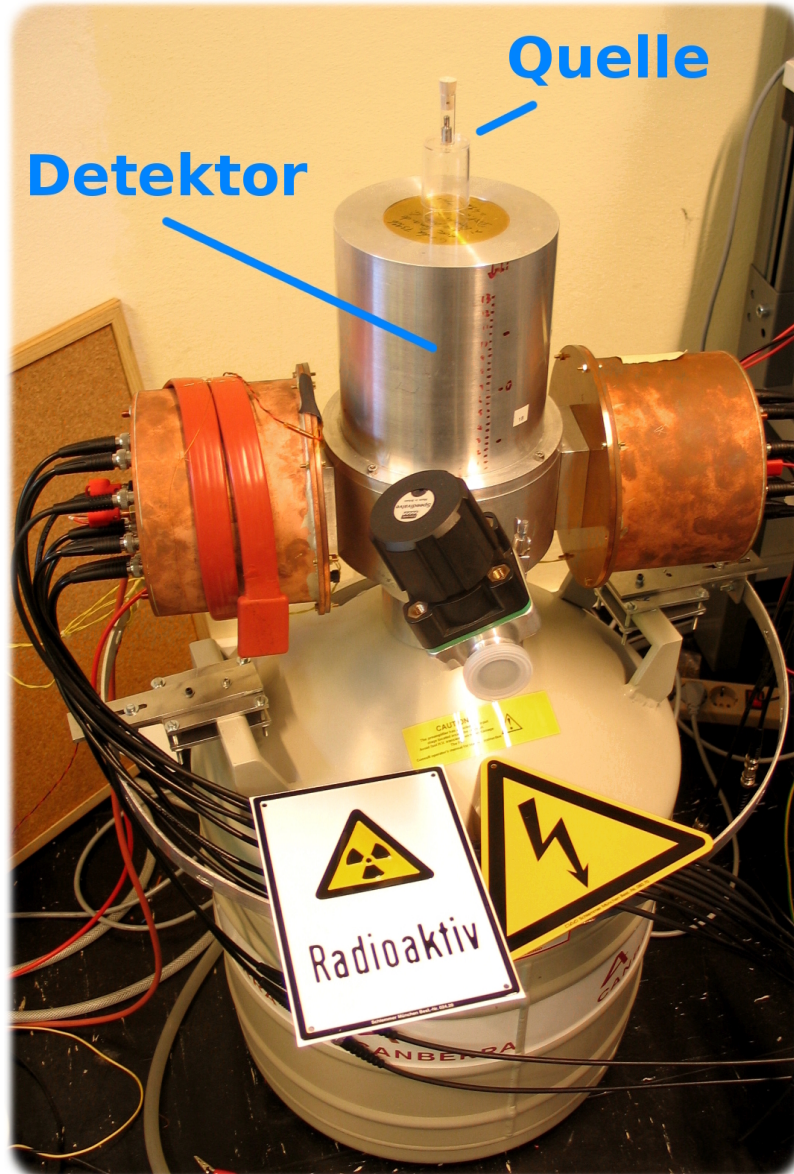
- Aktives Volumen geht in Halbwertszeit-Bestimmung ein
- Detektoren so genau wie möglich kennen!

# Bestimmung des aktiven Volumens

- Allgemein: Vergleich von Messung mit Simulation
- Wie ist das aktive Volumen über den Detektor verteilt?
- Passivierungsschichten: Oberflächeneffekte erwartet
- $2\nu\beta\beta$  homogen verteilt, wäre ideal zur Untersuchung
- Hier stattdessen: z-Schichten einzeln betrachten
- Vorteil: durch Bilden von Doppelverhältnissen (DV)  
Vermeidung von systematischen Effekten

$$DV = \frac{\text{Außenlage}_{\text{Daten}}}{\text{Mittellage}_{\text{Daten}}} \div \frac{\text{Außenlage}_{\text{Simulation}}}{\text{Mittellage}_{\text{Simulation}}}$$

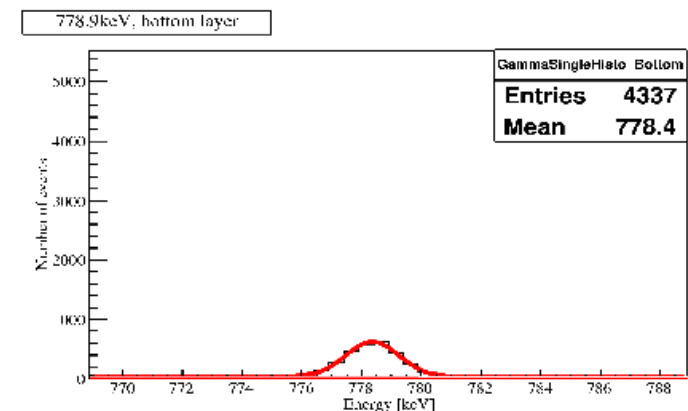
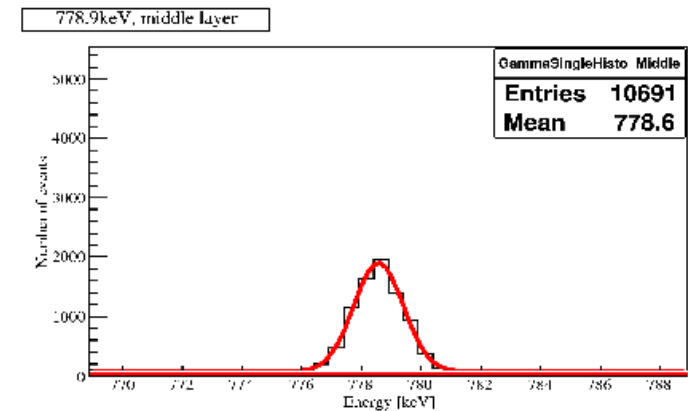
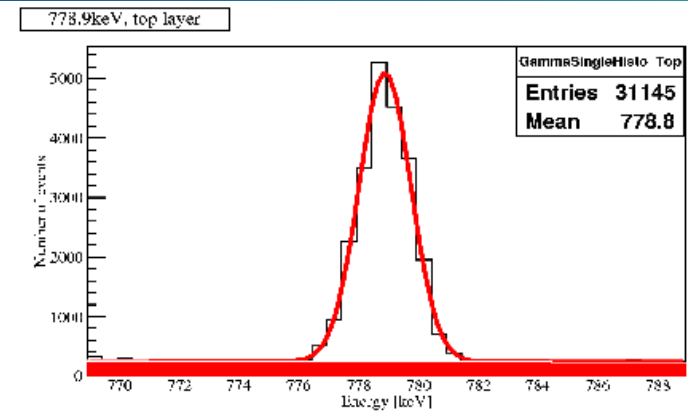
# Datennahme



- 18-fach seg. Prototyp-Detektor
- Vakuumteststand
- Verschiedene radioaktive Quellen oberhalb des Detektors (Th-228, Eu-152, Co-60)
- Eindringtiefe
  - ▶ unterschiedliche Anzahl Ereignisse in den verschiedenen Schichten

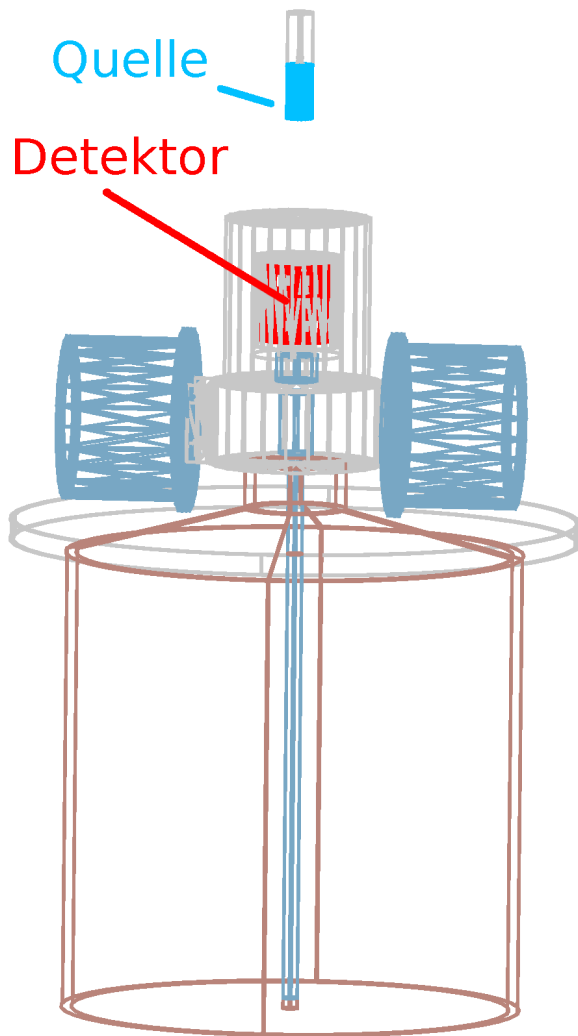
# Auswahl der Ereignisse

- Ereignisse mit Energiedeposition in nur einem Segment
- Betrachte alle Segmente einer Schicht gemeinsam
- Fit mit Gauß + Gerade
- Anzahl der Ereignisse:  
2 $\sigma$  Bereich innerhalb des Peaks oberhalb Untergrund





# Monte Carlo - Simulation

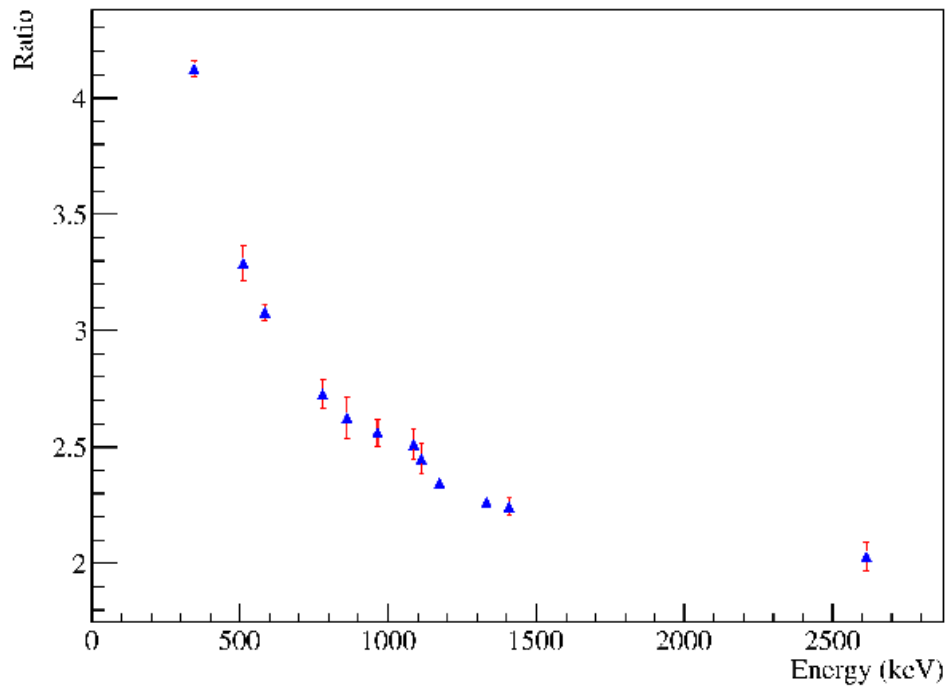


- Simulation des Aufbaus und der Quellen in Geant4
- Berücksichtigung der Detektorauflösung
- Selbe Ereignisauswahl wie bei den Experiment-Daten
- Außerdem: variierte Quellposition zur Bestimmung von systematischem Fehler

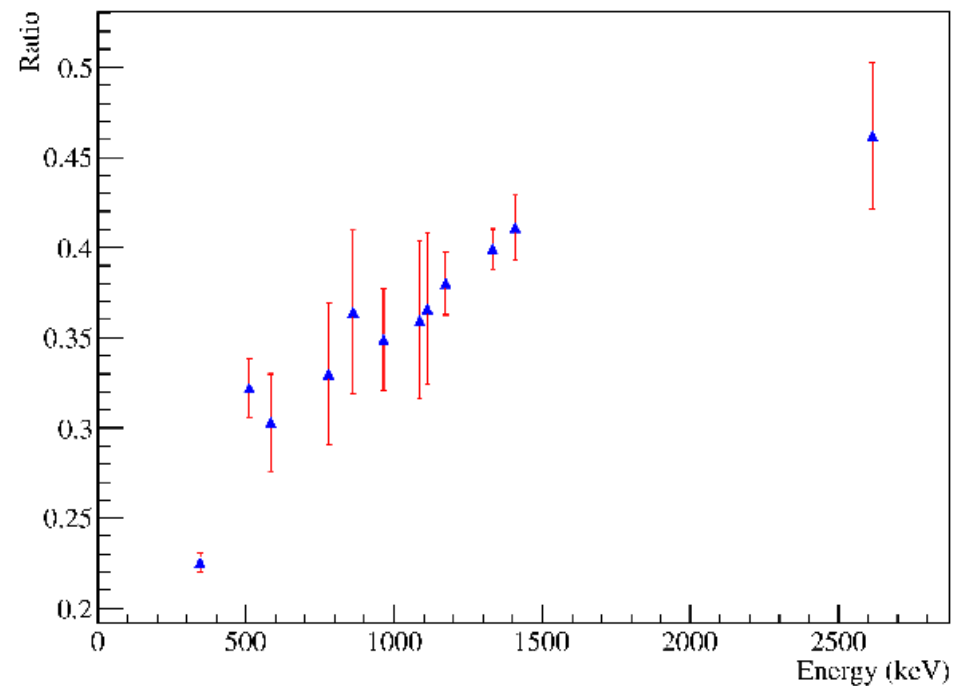
# Analyse (1) - Direktvergleich

- Erster Schritt: direktes Verhältnis von oberer / unterer zur mittleren Schicht

Top / Middle ratio (Data)



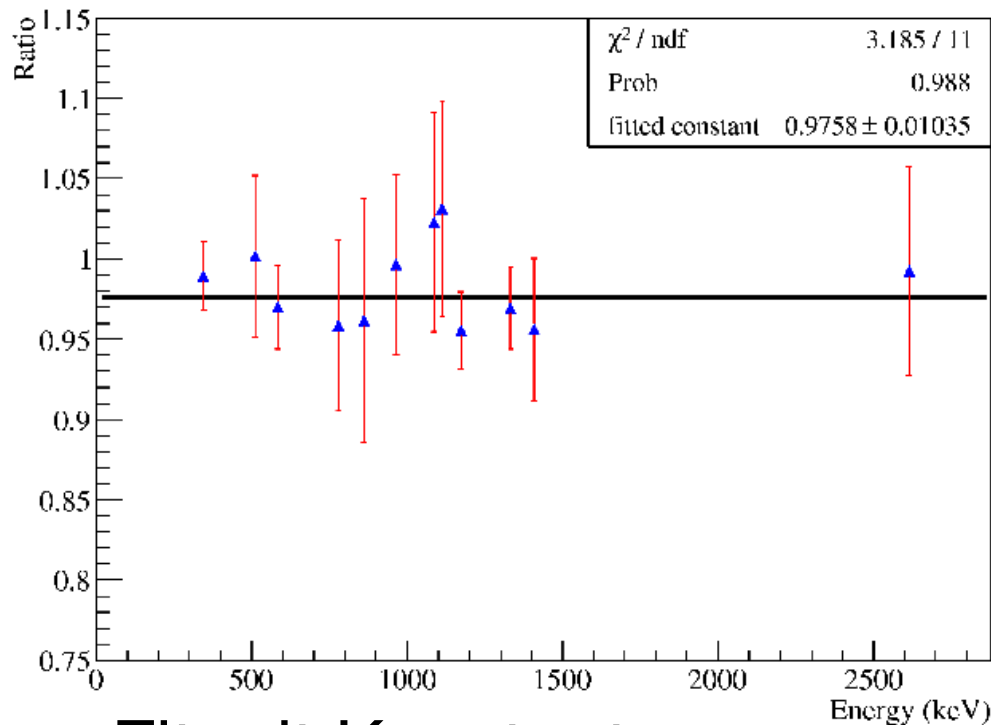
Bottom / Middle ratio (Data)



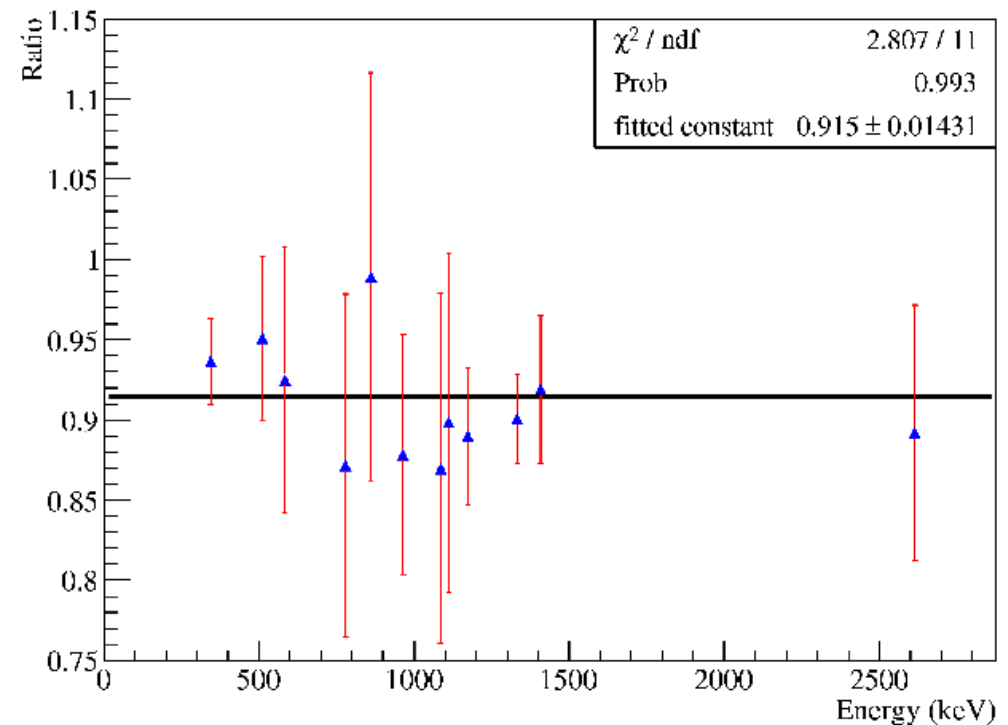
# Analyse (2) - Doppelverhältnis

- 2. Schritt: Bilden von  $DV = \frac{Au\beta enlage_{Daten}}{Mittellage_{Daten}} \div \frac{Au\beta enlage_{Simulation}}{Mittellage_{Simulation}}$

Top / Middle double ratio (Data / Simulation)



Bottom / Middle double ratio (Data / Simulation)



- Fit mit Konstante:

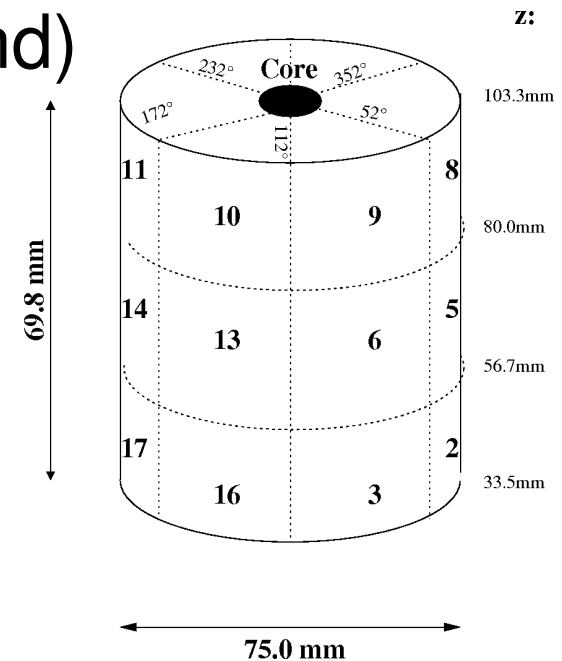
$$\Rightarrow DV_1 = \frac{oben}{mitte} = 0.98 \mp 0.01 \quad , \quad DV_2 = \frac{unten}{mitte} = 0.92 \mp 0.01$$

# Analyse (3) – Aktives Volumen

- Detektor-Geometrie (unter Berücksichtigung der bekannten Totschicht) → Volumen  $V_0 = 301 \text{ cm}^3$
- Annahme, da keine Passivierungsschicht: mittlere Schicht zu 100 % aktives Volumen (nicht ganz korrekt, aber hier ausreichend)

$$V_{\text{aktiv}} = V_0 \cdot \frac{1}{3} \left( \underset{\text{oben}}{DV_1} + \underset{\text{mitte}}{1} + \underset{\text{unten}}{DV_2} \right)$$

$$\Rightarrow V_{\text{aktiv}} = 289 \pm 2 \text{ cm}^3$$



# Zusammenfassung

- Untersucht wurde Homogenität der Nachweiseffizienz von 18fach segmentiertem HPGe-Detektor
- Vergleich Daten / Monte Carlo:  
Äußere Detektorlagen unterscheiden sich von der mittleren: aktives Volumen kleiner, v.a. unten
- Verschiedene Ursachen möglich  
(Passivierungsschicht auf Oberfläche, Verteilung der Störstellenkonzentration, ...?)
- Aktives Volumen ist erwartungsgemäß kleiner als nach Geometrie zu erwarten!

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!



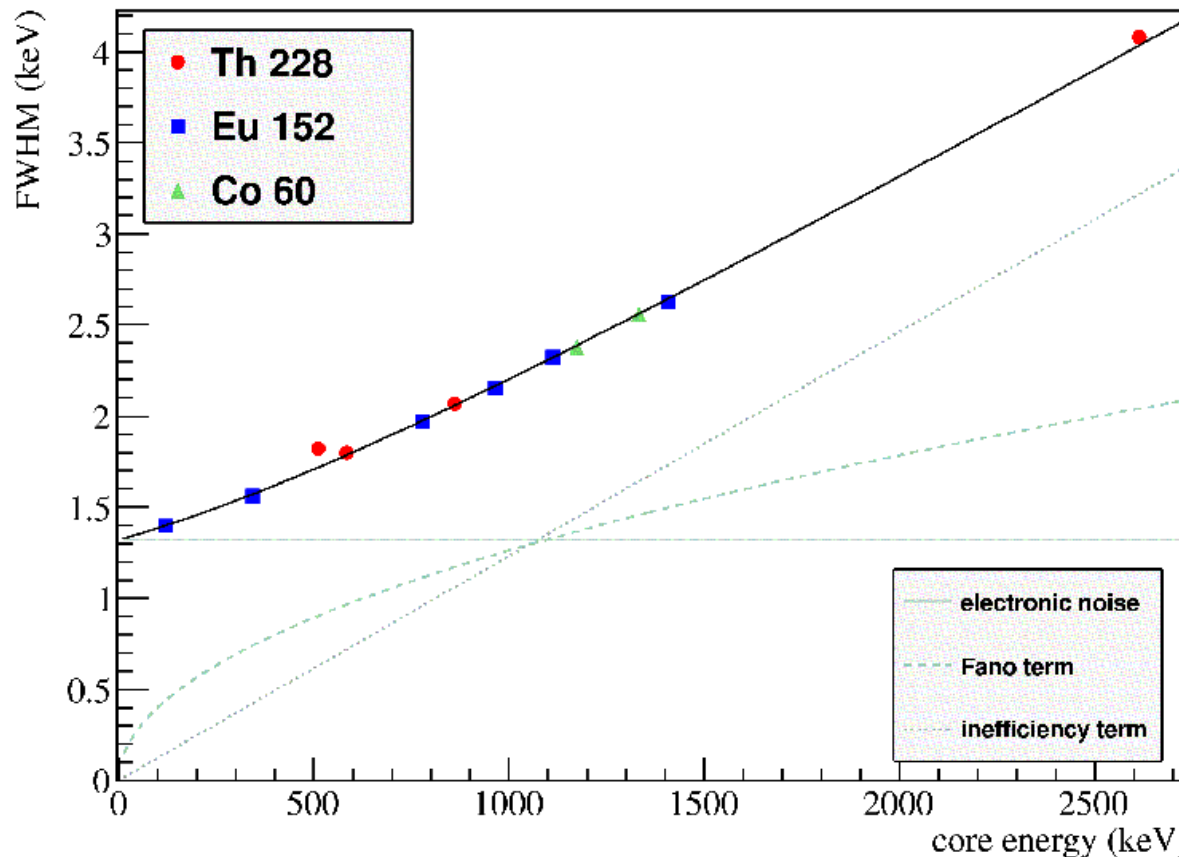
# Backup Slides

# Backup: Auflösung

- Fit an die Daten-Auflösung

$$FWHM^2 = \underbrace{W_D^2}_{\text{stat error } e-h\text{-pairs incl. Fano}} + \underbrace{W_X^2}_{\text{charge collection inefficiency}} + \underbrace{W_E^2}_{\text{electronic noise}}$$

FWHM over energy (Core)



$$W_D^2 = 2.35^2 \cdot 0.1 \cdot 0.00296 \cdot E \quad (\text{keV})$$

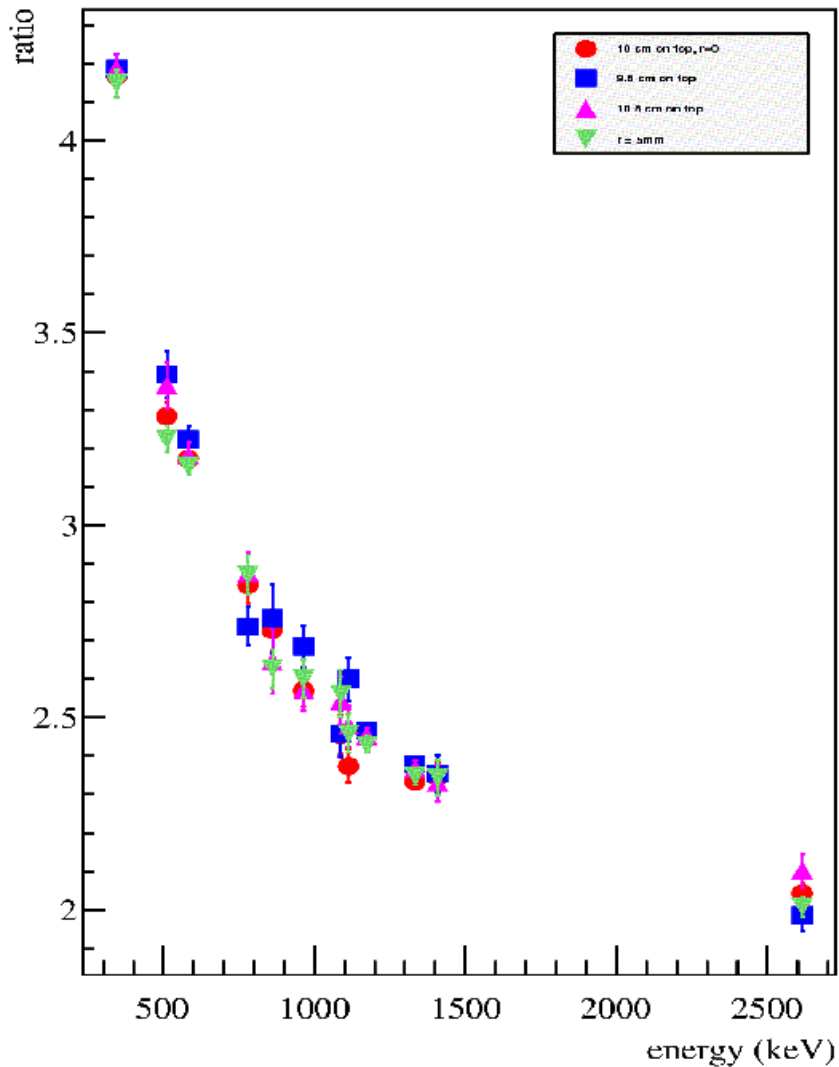
$$W_X^2 = 0.0015^2 \cdot E \quad (\text{keV})$$

$$W_E^2 = (1.32 \text{ keV})^2$$

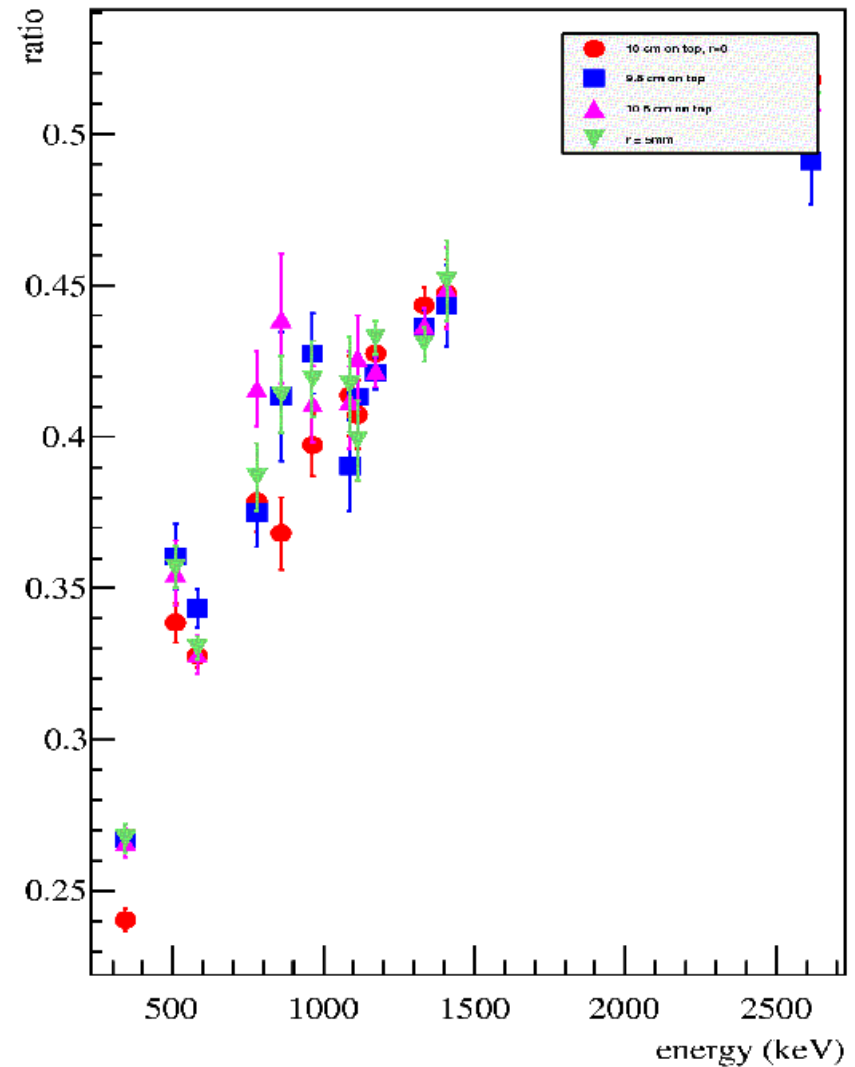


# Backup: Systematischer Fehler

top / middle ratio, different source positions (single segment events)



bottom / middle ratio, different source positions (single segment events)

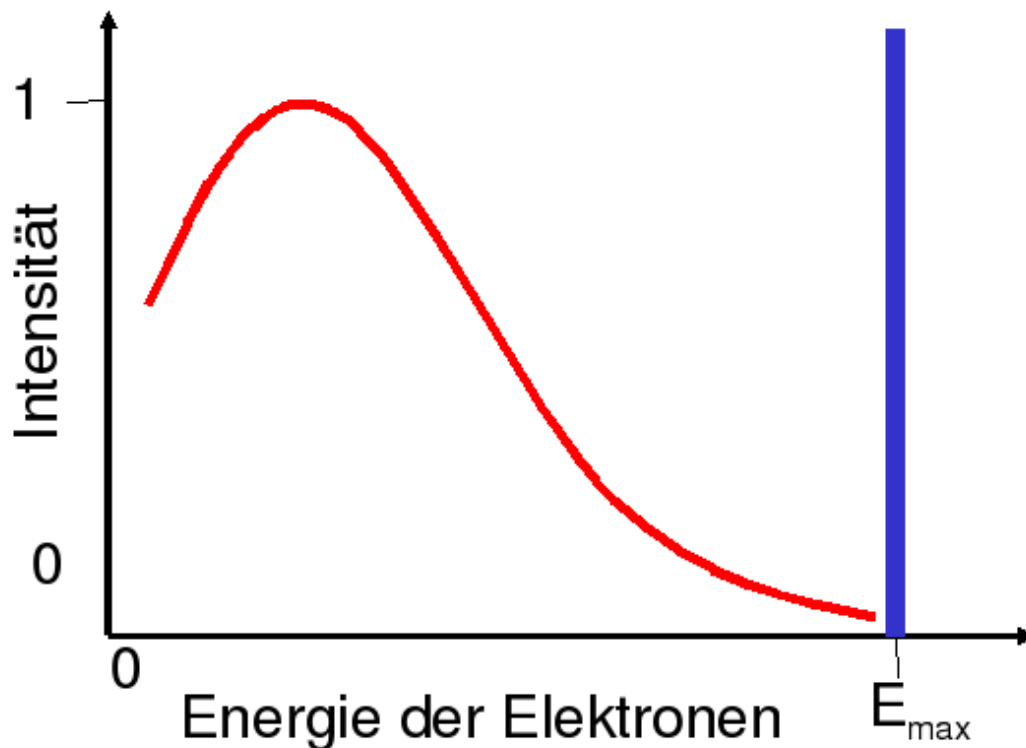


# Backup: Spektrum $0\nu\beta\beta$

Neutrinobegleiteter Doppelbetazerfall:

Neutrinos verlassen Detektor

→ Spektrum kontinuierlich



Neutrinoslos:

gesamte Energie kann nachgewiesen werden

→ Linie im Spektrum