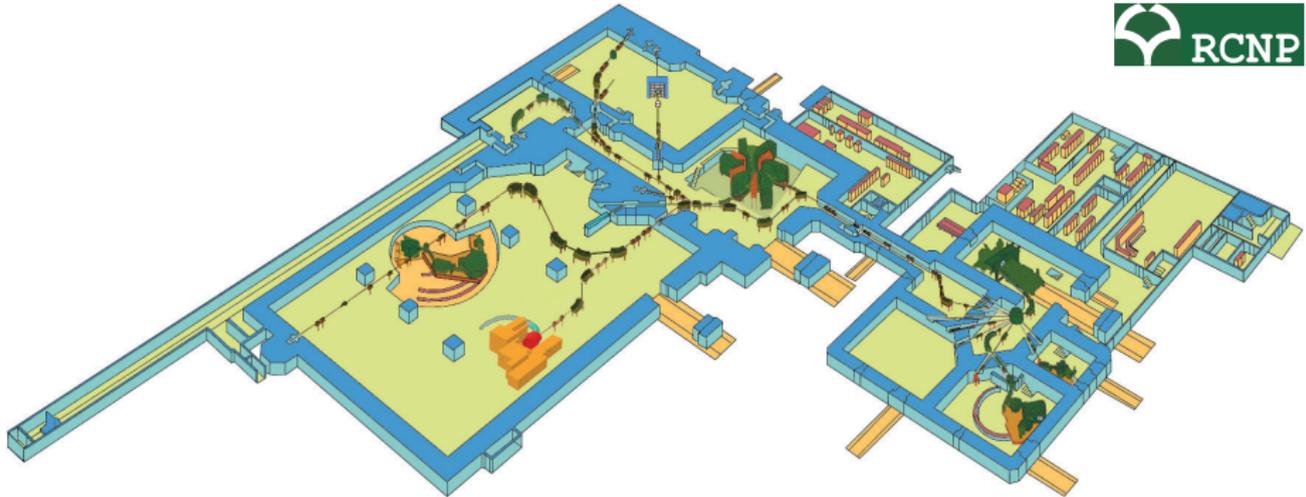


Analyse von Daten zur Reaktion $^{144}\text{Sm}(p, p')$ unter extremen Vorwärtswinkeln*

Dirk Martin



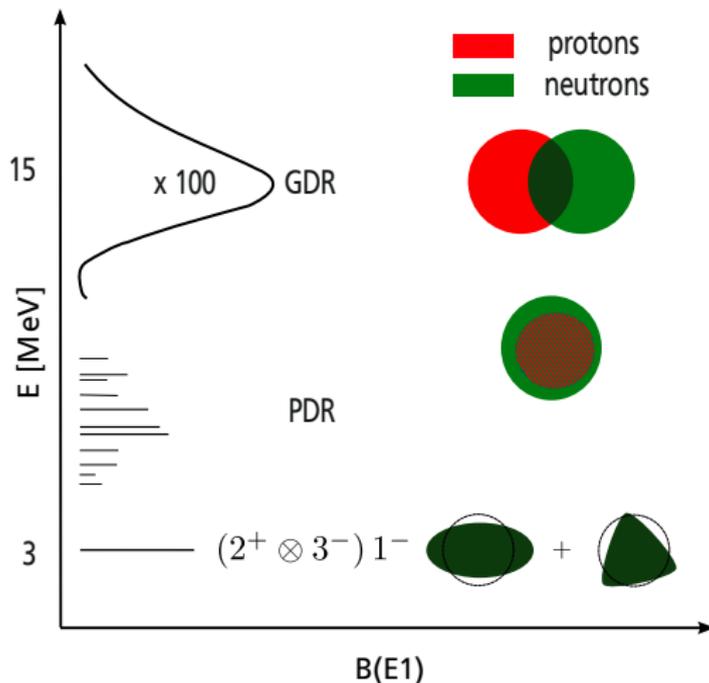
* Gefördert durch die DFG im Rahmen des SFB 634 und durch NE 679/3-1.



- ▶ Einleitung
- ▶ Grundlagen der inelastischen Protonenstreuung
- ▶ Protonenstreuexperiment am RCNP
- ▶ Datenanalyse
- ▶ Ergebnisse
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

- ▶ PDR: Übergangsstärke \longleftrightarrow Dicke der Neutronenhaut
- ▶ ^{144}Sm protonenreich (p-Prozess, Isotopenhäufigkeiten)
- ▶ Einfluss der Deformation in ^{154}Sm auf GDR und PDR:
 ^{144}Sm als Referenz

B(E1)-Stärke in stabilen sphärischen Kernen



Experimente zur Untersuchung der Dipolstärke



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Kernresonanzfluoreszenz:
 - + Hohe Auflösung
 - + Sehr sensitiv auf Dipolanregungen
 - Messungen nur bis zur Teilchenseparationsschwelle
 - Verzweigungsverhältnisse unbekannt
 - Annahme: $\frac{\Gamma_0}{\Gamma} \approx 1 \Rightarrow$ untere Grenze
 - Alternativ: statistisches Modell \Rightarrow obere Grenze

Experimente zur Untersuchung der Dipolstärke

- ▶ Kernresonanzfluoreszenz:
 - + Hohe Auflösung
 - + Sehr sensitiv auf Dipolanregungen
 - Messungen nur bis zur Teilchenseparationsschwelle
 - Verzweigungsverhältnisse unbekannt
 - Annahme: $\frac{\Gamma_0}{\Gamma} \approx 1 \Rightarrow$ untere Grenze
 - Alternativ: statistisches Modell \Rightarrow obere Grenze
- ▶ (γ, x) Reaktionen messen oberhalb der Schwelle

Experimente zur Untersuchung der Dipolstärke

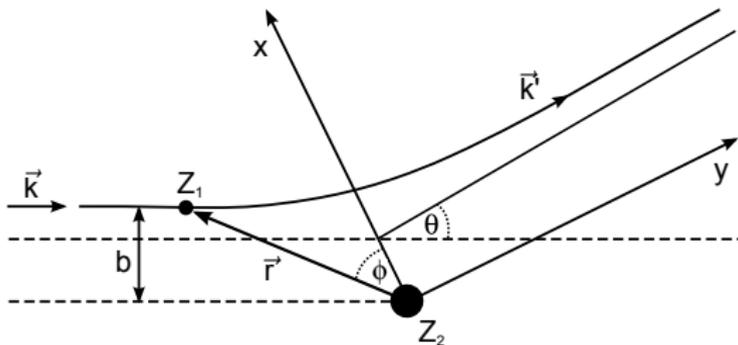
- ▶ Kernresonanzfluoreszenz:
 - + Hohe Auflösung
 - + Sehr sensitiv auf Dipolanregungen
 - Messungen nur bis zur Teilchenseparationsschwelle
 - Verzweigungsverhältnisse unbekannt
 - Annahme: $\frac{\Gamma_0}{\Gamma} \approx 1 \Rightarrow$ untere Grenze
 - Alternativ: statistisches Modell \Rightarrow obere Grenze
- ▶ (γ, x) Reaktionen messen oberhalb der Schwelle

Neuer experimenteller Zugang über (p, p') Reaktionen!

Inelastische Protonenstreuung unter 0°

- ▶ Messungen bis zu Anregungsenergien von über 20 MeV
- ▶ Auflösung: $\frac{\Delta E}{E} \approx 8 \cdot 10^{-5}$ (FWHM)
- ▶ Sensitiv auf Übergänge mit kleinem ΔL
 - ▶ Coulomb-Streuung (E1, $\Delta L = 1$)
 - ▶ Kernkraft (M1, $\Delta L = 0$)
- ▶ Multipolentfaltung
- ▶ Referenzfall: $^{208}\text{Pb}(p, p')$

Inelastische Protonenstreuung: Klassische Coulomb-Streuung



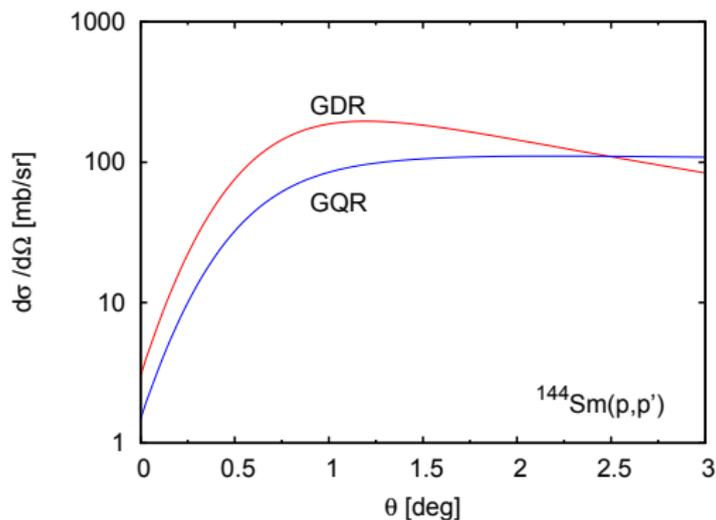
$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{Ruth} = a^2 \frac{1}{\sin^4 \left(\frac{\theta}{2} \right)}$$

$$\text{mit } a = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E}$$



$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \int \sigma_{\gamma}^{E1}(E_{\gamma}) \frac{dN_{E1}}{d\Omega} \frac{1}{E_{\gamma}} dE_{\gamma} \propto B(E1)$$

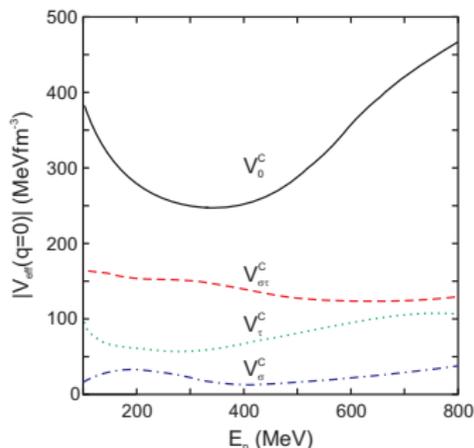
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \int \sigma_{\gamma}^{E1}(E_{\gamma}) \frac{dN_{E1}}{d\Omega} \frac{1}{E_{\gamma}} dE_{\gamma} \propto B(E1)$$



Inelastische Protonenstreuung: Nukleon-Kern Wechselwirkung

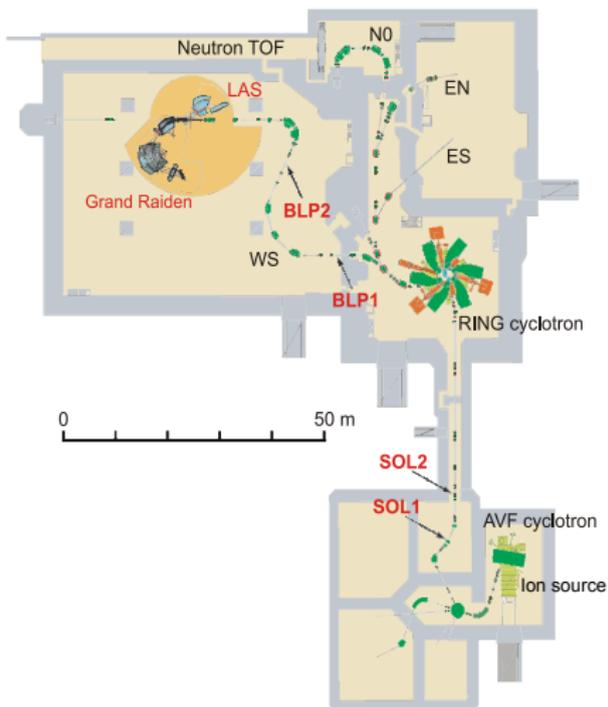
Kleine Impulsüberträge $q < 1 \text{ fm}^{-1}$: Spin-Orbit- und Tensor-Term sind klein verglichen mit zentralem Term

$$V(\vec{r}) = V_0^C(r) + V_{\sigma}^C(r)\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2 + V_{\tau}^C(r)\vec{\tau}_1 \cdot \vec{\tau}_2 + V_{\sigma\tau}^C(r)\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2 \vec{\tau}_1 \cdot \vec{\tau}_2$$



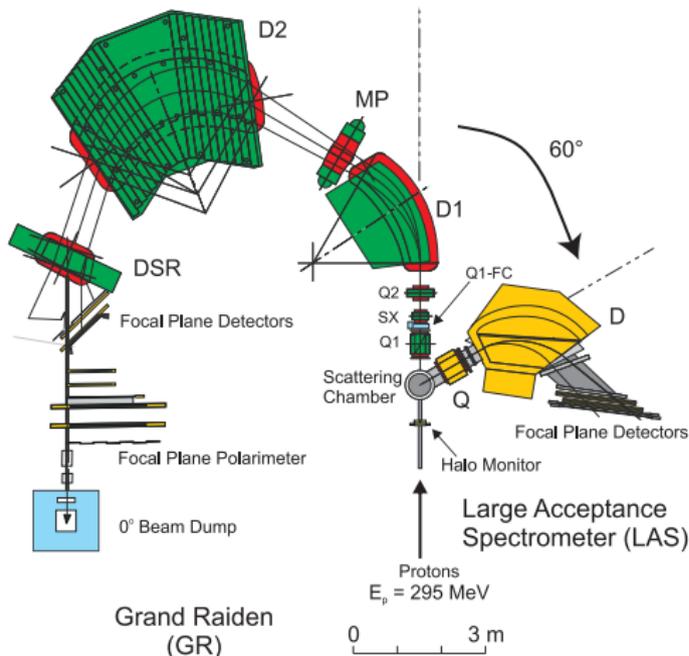
- ▶ $\vec{\tau}_1 \cdot \vec{\tau}_2 \rightarrow$ Isospin-Flip-Übergänge
- ▶ $\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2 \rightarrow$ Spin-Flip-Übergänge
- ▶ Messungen mit $E_p = 300 \text{ MeV}$
- ▶ Besonders gut: M1 Stärke

Research Center for Nuclear Physics (RCNP) in Osaka, Japan



- ▶ $E_p = 295 \text{ MeV}$
- ▶ Strahlintensität: 1 – 6 nA
- ▶ Dispersion Matching:
 $\Delta E = 25 - 30 \text{ keV}$
- ▶ Polarisierte (HIPIS) und unpolarisierte (NEOMAFIOS) Quellen

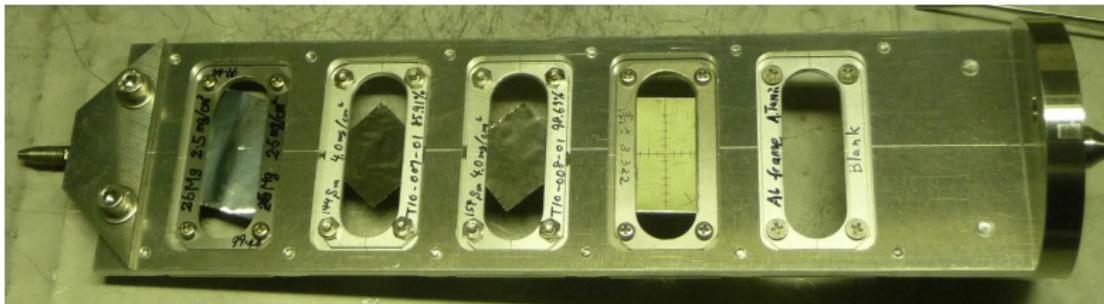
Grand Raiden (GR) und Large Acceptance Spektrometer (LAS)



- ▶ Impulsauflösung:
 $p/\Delta p \approx 37000$
- ▶ Impulsakzeptanz: $\pm 2,5 \%$
- ▶ Dipolmagnet für Spinrotation (DSR) bei Polarisationsmessungen
- ▶ Detektorsystem: Vertikale Driftkammern mit Plastiksintillator

Experimentelle Bedingungen und Targets

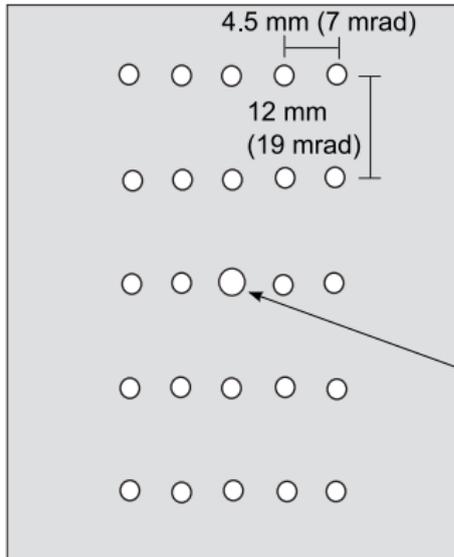
- ▶ Strahlzeit: 14 Tage (ca. 2 Tage ^{144}Sm)
- ▶ GR Winkel: 0° und 3°
- ▶ Hochangereicherte Targets:
 - ▶ ^{144}Sm ($4,0 \text{ mg/cm}^2$)
 - ▶ ^{154}Sm ($4,0 \text{ mg/cm}^2$)
 - ▶ ^{26}Mg ($2,5 \text{ mg/cm}^2$)
 - ▶ ^{58}Ni ($100,1 \text{ mg/cm}^2$ unter $\theta_{GR} = 16^\circ$)
 - ▶ Weitere Messungen mit ^{120}Sn und ^{208}Pb





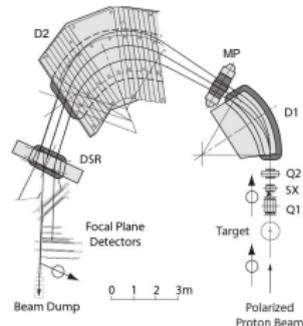
- ▶ Konversion der Driftzeiten zu Driftlängen
- ▶ Effizienz der VDCs
- ▶ Rekonstruktion der Streuwinkel am Target
- ▶ Hochauflösungskorrektur
- ▶ Energiekalibrierung
- ▶ Untergrundabzug

Rekonstruktion der Streuwinkel

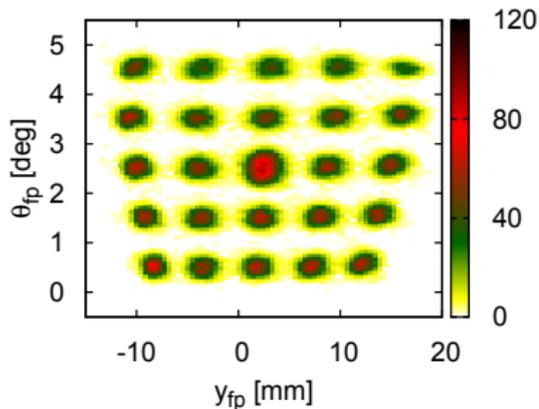


center hole:
3 mm diameter
other diameters:
2 mm
material: brass
thickness: 5 mm

- ▶ ^{58}Ni (100,1 mg/cm²)
- ▶ $\theta_{GR} = 16^\circ$
- ▶ Mehrere Magnetfeld-einstellungen
- ▶ Zentral und ± 1 mm (vertikal) für jedes Setting

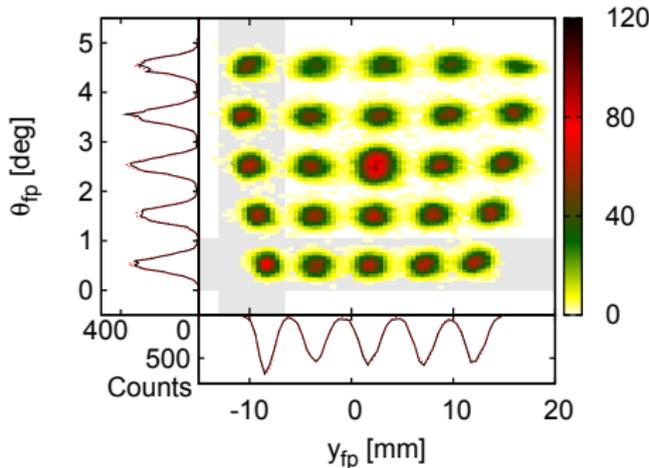


Rekonstruktion der Streuwinkel: Methode



Bestimmung der Zentren:
► Einteilung in Bereiche

Rekonstruktion der Streuwinkel: Methode



Bestimmung der Zentren:

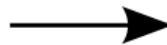
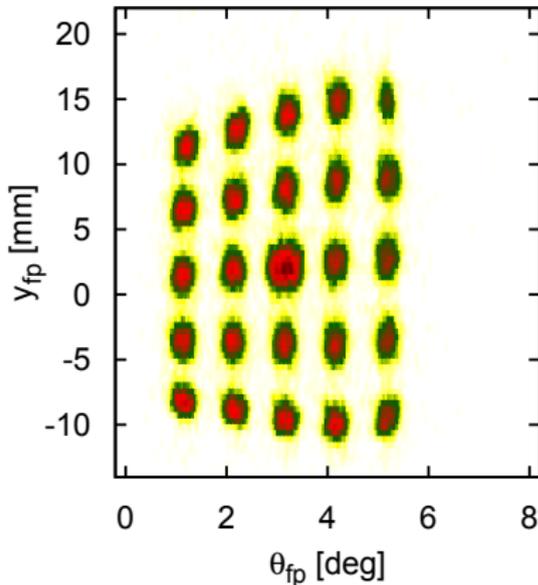
- ▶ Einteilung in Bereiche
- ▶ Fit mit Gauß-Funktionen
- ▶ Gleiches Vorgehen in $y_{fp} - \phi_{fp}$ -Ebene
- ▶ Berücksichtigung von x_{fp} und y_{LAS}

$$\theta_t(x_{fp}, \theta_{fp}) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 a_{ij} \cdot x_{fp}^i \theta_{fp}^j$$

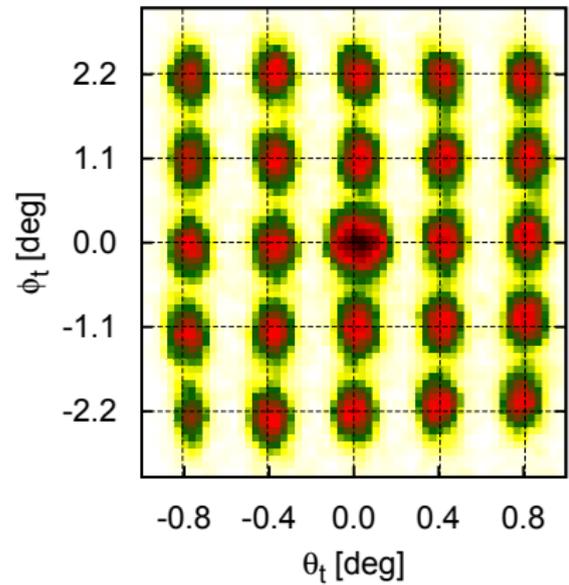
$$\phi_t(x_{fp}, \theta_{fp}, y_{fp}, \phi_{fp}, y_{LAS}) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 b_{ijkl} \cdot x_{fp}^i \theta_{fp}^j y_{fp}^k \phi_{fp}^l + \sum_{m=0}^1 c_m \cdot x_{fp}^m y_{LAS}$$

Rekonstruktion der Streuwinkel: Ergebnis

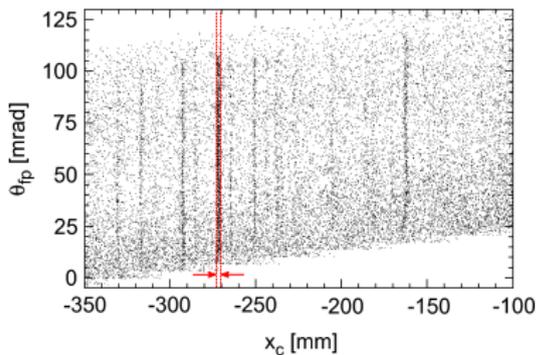
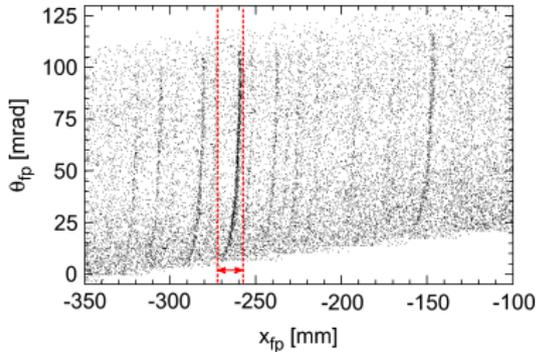
Vorher



Nachher

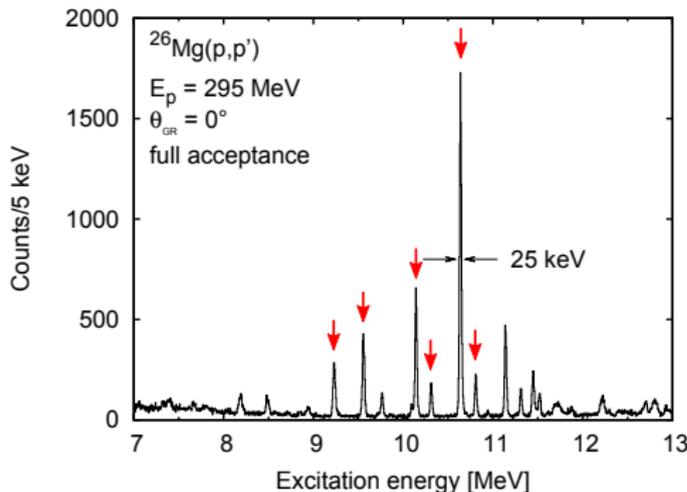


Hochauflösungskorrektur



- ▶ ^{26}Mg : diskrete Linien
- ▶ Verzerrung in der Fokalebene
- ▶ Aberration (\rightarrow Optik)
- ▶ Polynomieller Fit 4. Grades:

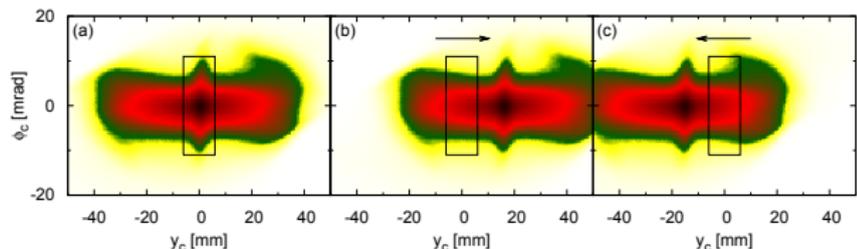
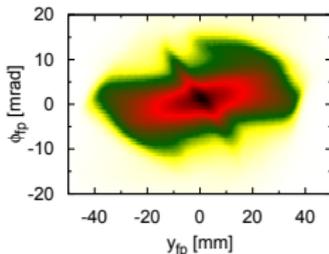
$$x_c = x_{fp} + \sum_{i=0}^1 \sum_{j=1}^4 d_{ij} \cdot x_{fp}^i \theta_{fp}^j$$



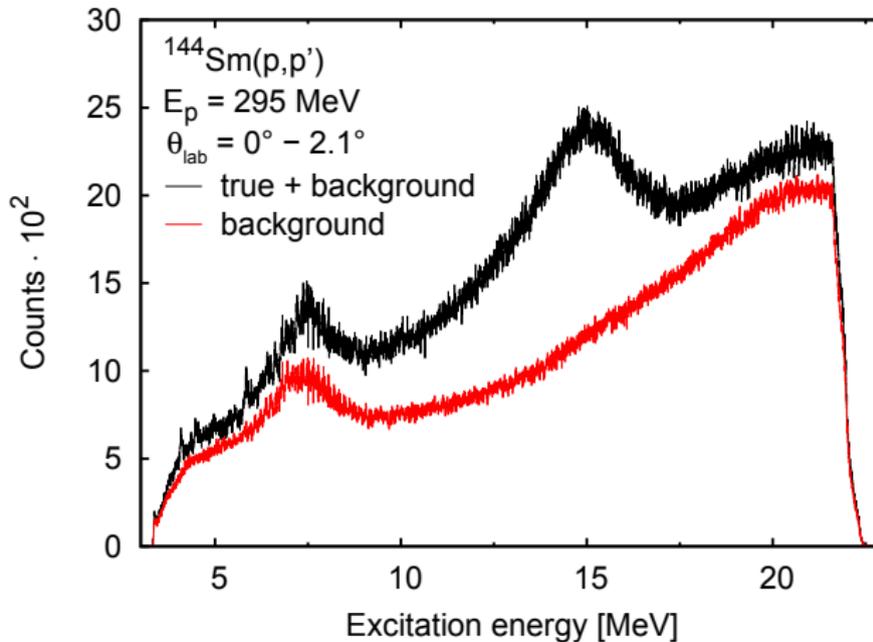
- ▶ ^{26}Mg Spektren vor jeder Messung
- ▶ Linearer Fit mit ausgewählten Peaks
- ▶ Energieverschiebung anhand des höchsten Peaks
- ▶ Systematische Unsicherheit: $< 5 \text{ keV}$

„Erweiterte Methode“:

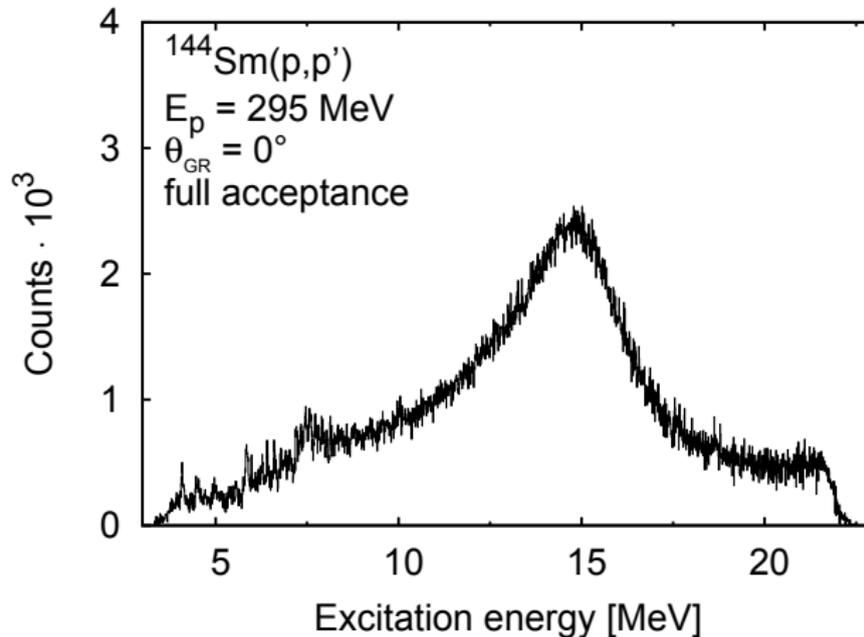
- ▶ Weitere Korrekturen: $y_{fp}, \phi_{fp} \longrightarrow y_c, \phi_c$
- ▶ Wahre Ereignisse dicht um $y_c = 0$ verteilt
- ▶ Verschiebung der gesamten Daten um eine Konstante und Mittelung
- ▶ Verwendung derselben Gates \Rightarrow modellunabhängig!



Untergrundabzug (2)

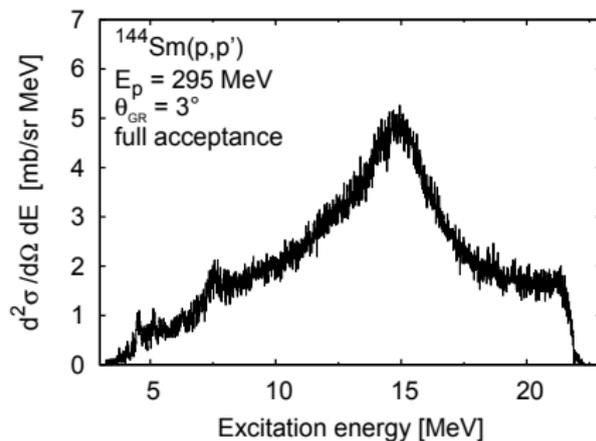
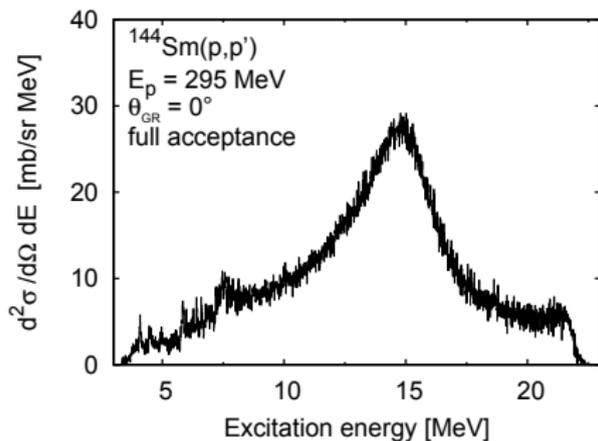


Untergrundabgezogenes Spektrum

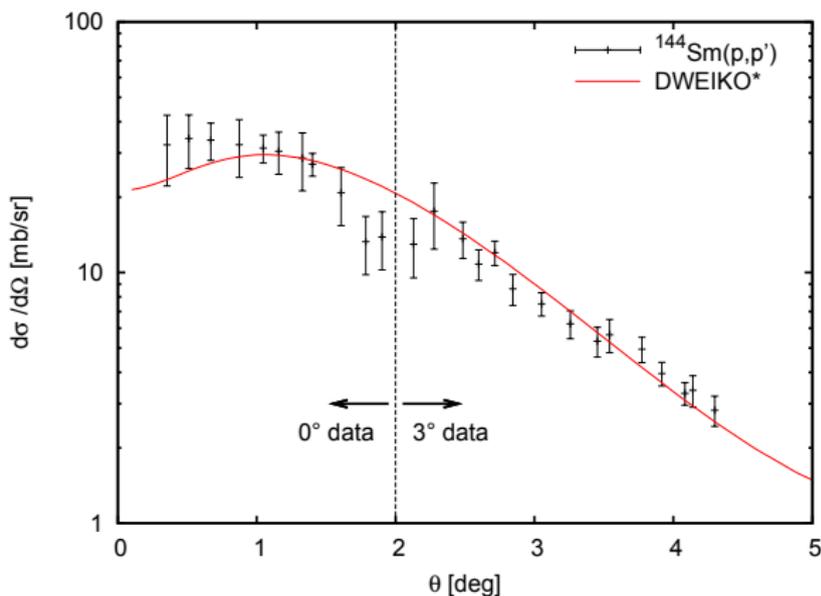
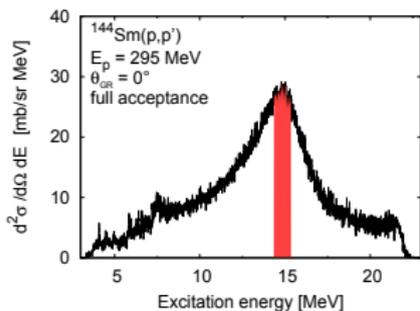


$^{144}\text{Sm}(p, p')$ Spektren

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE} = N_{\text{Counts}} \frac{1}{\Omega_{\text{Lab}}} \frac{1}{L\epsilon} \frac{e}{Q} \frac{A}{N_{\text{At}}\eta} J$$



Berechnung von differentiellen Wirkungsquerschnitten

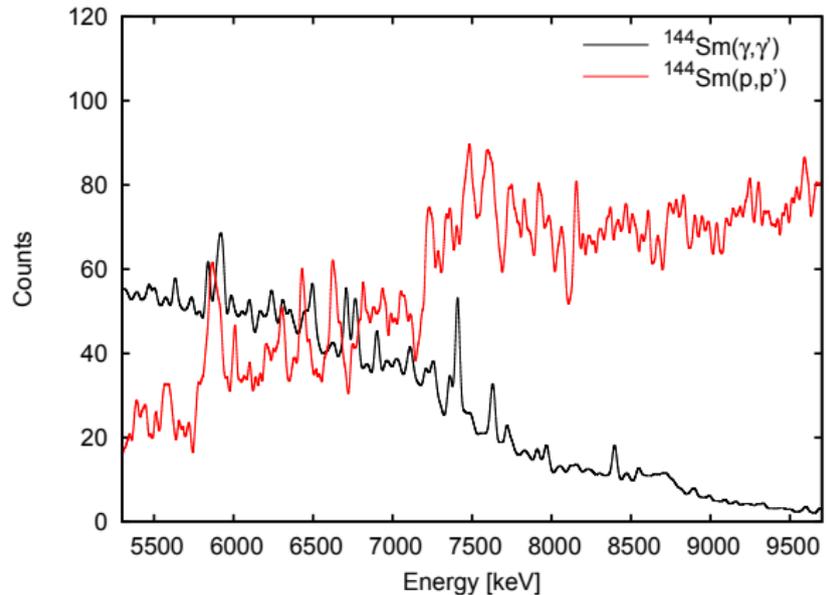


*C. A. Bertulani, C. M. Campbell and T. Glasmacher, *Comp. Phys. Comm.* 152 (2003) 317-340.

Qualitativer Vergleich mit (γ, γ') Experimenten

$^{144}\text{Sm}(\gamma, \gamma')$ Reaktion:

- ▶ Gemessen am S-DALINAC (S. Volz, 2001)
- ▶ $E_0 = 9,9 \text{ MeV}$
- ▶ $\theta = 90^\circ$
- ▶ Gefaltet mit $\Delta E = 30 \text{ keV}$





- ▶ Anregungsspektrum von ^{144}Sm in (p, p') bis ca. 22 MeV unter Vorwärtswinkeln einschließlich 0°
- ▶ Energieauflösung: $\Delta E = 25 - 30$ keV
- ▶ Modellunabhängiger Untergrundabzug
- ▶ Differentielle Wirkungsquerschnitte
- ▶ Qualitativer Vergleich mit (γ, γ') Spektrum

- ▶ Anregungsspektrum von ^{144}Sm in (p, p') bis ca. 22 MeV unter Vorwärtswinkeln einschließlich 0°
 - ▶ Energieauflösung: $\Delta E = 25 - 30$ keV
 - ▶ Modellunabhängiger Untergrundabzug
 - ▶ Differentielle Wirkungsquerschnitte
 - ▶ Qualitativer Vergleich mit (γ, γ') Spektrum
-
- ▷ Multipolentfaltung | Polarisationstransferobservablen: $E1 \longleftrightarrow M1$
 - ▷ Vergleich mit theoretischen Vorhersagen (QPM, RQTBA, ...)
 - ▷ Wavelet-Analyse: Feinstruktur der GDR
 - ▷ Rolle der Deformation: ^{154}Sm

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



EPPS0 Collaborators:

Osaka University

Y. Fujita

University of Tokyo

Y. Sasamoto

IFIC-CSIC, Valencia

B. Rubio

iThembaLABs

R. Neveling, F.D. Smit

Univ. of Witwatersrand

J. Carter

Kyoto University

H. Sakaguchi, J. Zenihiro

Texas A&M University, Commerce, USA

C. Bertulani

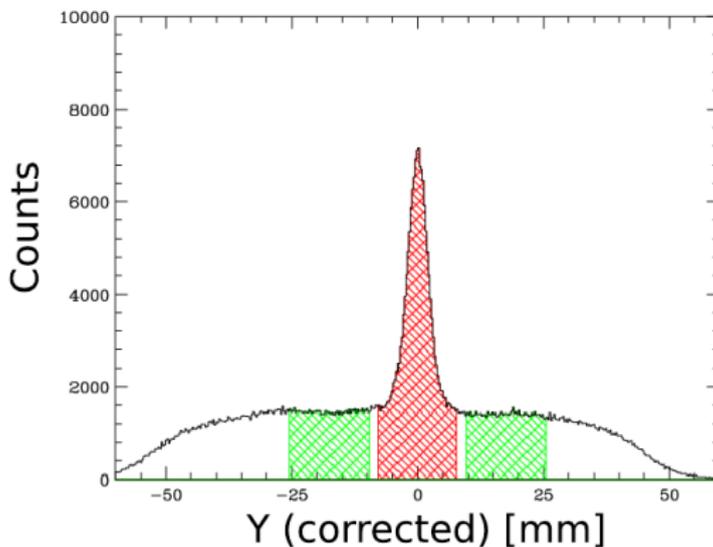
RCNP, Osaka University

T. Adachi, H. Fujita, K. Hatanaka, M. Kato,
H. Matsubara, M. Okamura, Y. Sakemi,
Y. Shimizu, Y. Tameshige, A. Tamii, M. Yosoi

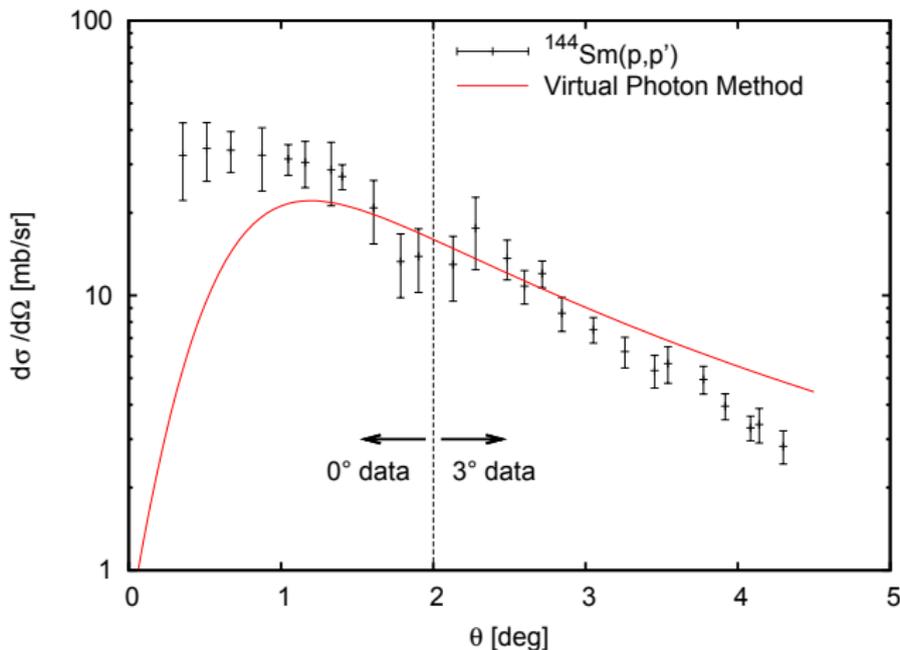
IKP, TU Darmstadt

N. Pietralla, B. Bozorgian,
A. M. Krumbholz, A. Krugmann, J. Simonis,
P. von Neumann-Cosel, A. Richter,
I. Poltoratska, V. Ponomarev, D. Martin

Anhang 1: Konventionelle Untergrundabzugsmethode



Anhang 2: Vergleich mit Rechnungen zur virtuellen Photonen Methode



Anhang 3: Kinematische Korrekturen

Rückstoß-Effekt von ^{144}Sm beeinflusst Energie gestreuter Protonen:

$$E(\theta) = -7.28 \cdot 10^{-4} \theta^2 \text{ MeV/deg}^2 + 295 \text{ MeV}$$

