



Neue experimentelle Methoden zur Bestimmung der 1s Lambverschiebung

Regina Reuschl

IKF, Universität Frankfurt
und
GSI, Darmstadt
05.02.2008

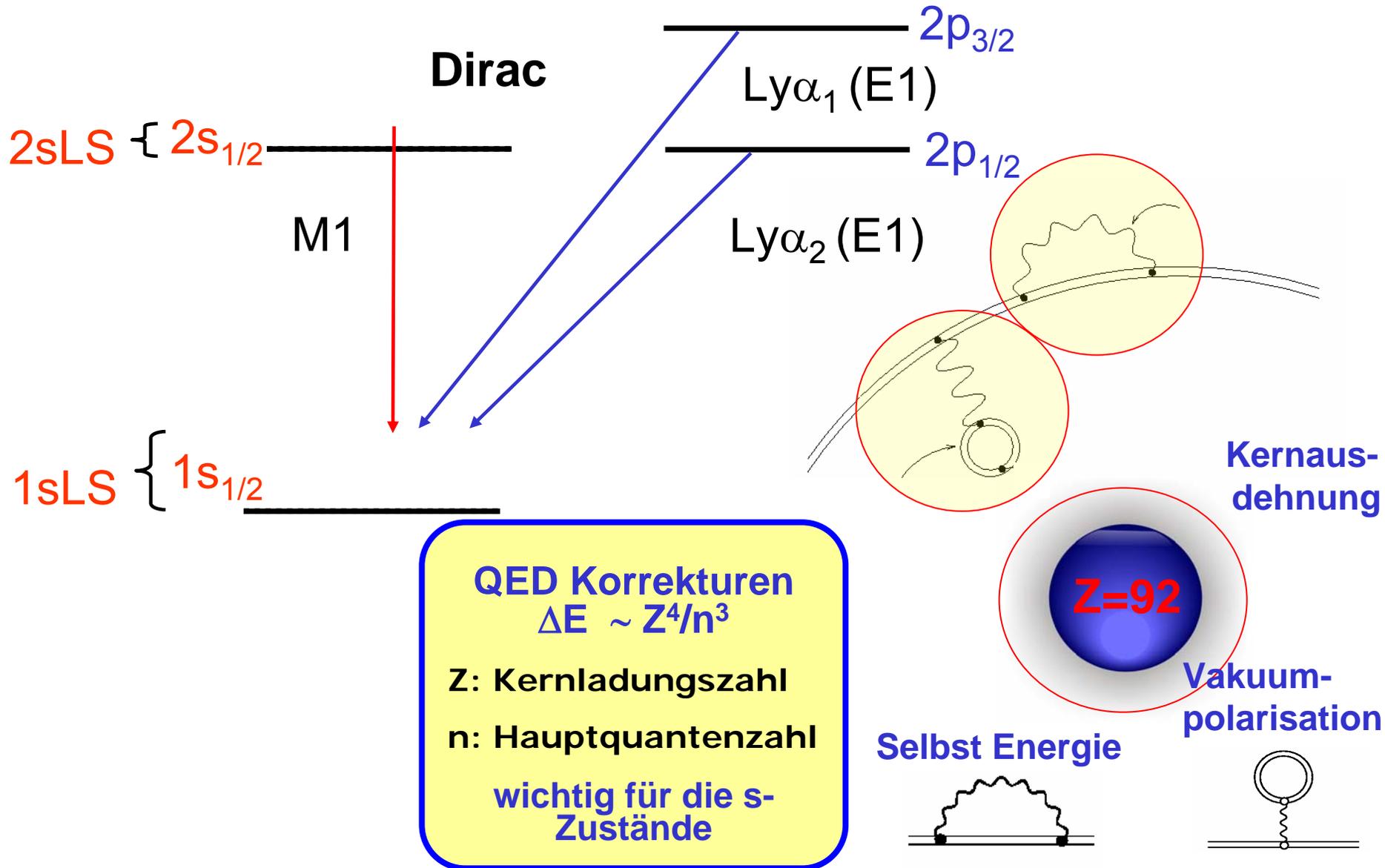
Kollaboration: D.Attia³, D.Banas⁴, H. F. Beyer¹, E.-O.Le Bigot³, F.Bosch¹, S.Chatterjee¹, J.-Cl.Dousse⁵, E.Förster⁶, A.Gumberidze¹, S.Hagmann^{1,2}, S.Hess^{1,2}, J.Hoszowska⁷, P.Indelicato³, P.Jagodziniski⁴, Chr.Kozhuharov¹, Th.Krings⁸, D.Liesen¹, X.Ma⁹, B.Manil¹⁰, I.Mohos⁸, M.Pajek⁴, D.Protic⁸, J.Rzadkiewicz¹¹, A.Simionovici¹², U.Spillmann^{1,2}, Z.Stachura¹³, Th.Stöhlker^{1,14}, M.Trassinelli^{1,15}, S.Trotsenko^{1,2}, A.Warczak¹³, G.Weber^{1,14}, O.Wehrhan⁶, E.Ziegler⁷

¹GSI, Darmstadt, ²Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt, ³Lab. Kastler Brossel, Paris, ⁴Swietokrzyska Academy, Kielce, ⁵Universität Fribourg, Schweiz, ⁶Friedrich Schiller Universität, Jena, ⁷ESRF, Grenoble, ⁸Forschungszentrum Jülich, ⁹Lanzhou, China, ¹⁰CIRIL-GANIL, Caen, ¹¹Soltan Institute for Nuclear Studies, Swierk, ¹²ENS, Lyon, ¹³Jagiellonian Universität, Krakau, ¹⁴Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, ¹⁵INS, Paris

Inhalt

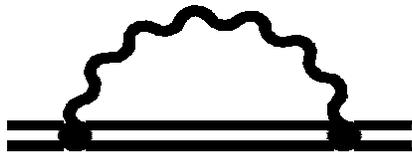
- **Motivation / atomare Struktur**
- **Kristallspektrometer**
- **Experiment**
- **Zusammenfassung**

Struktur von Ein-Elektronen Systemen

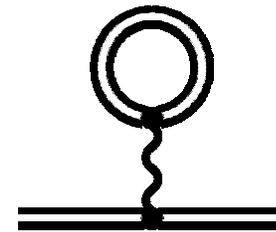


1s Lamb-Verschiebung

Selbstenergie



Vakuumpolarization



Die Summe aller Korrekturen führt zu Abweichungen von der Dirac-Theorie für einen punktförmigen Kern.

U^{91+} SE VP Kern
 355.0 eV -88.6 eV 198.7 eV

$$\Delta E = \alpha/\pi (\alpha Z)^4 F(\alpha Z) m_e c^2$$

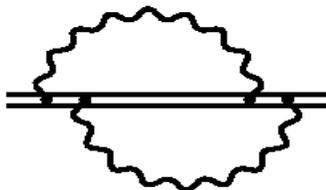
niedriger Z-Bereich: $\alpha Z \ll 1$

$F(\alpha Z)$: Reihenentwicklung in αZ angemessen

hoher Z-Bereich: $\alpha Z \approx 1$

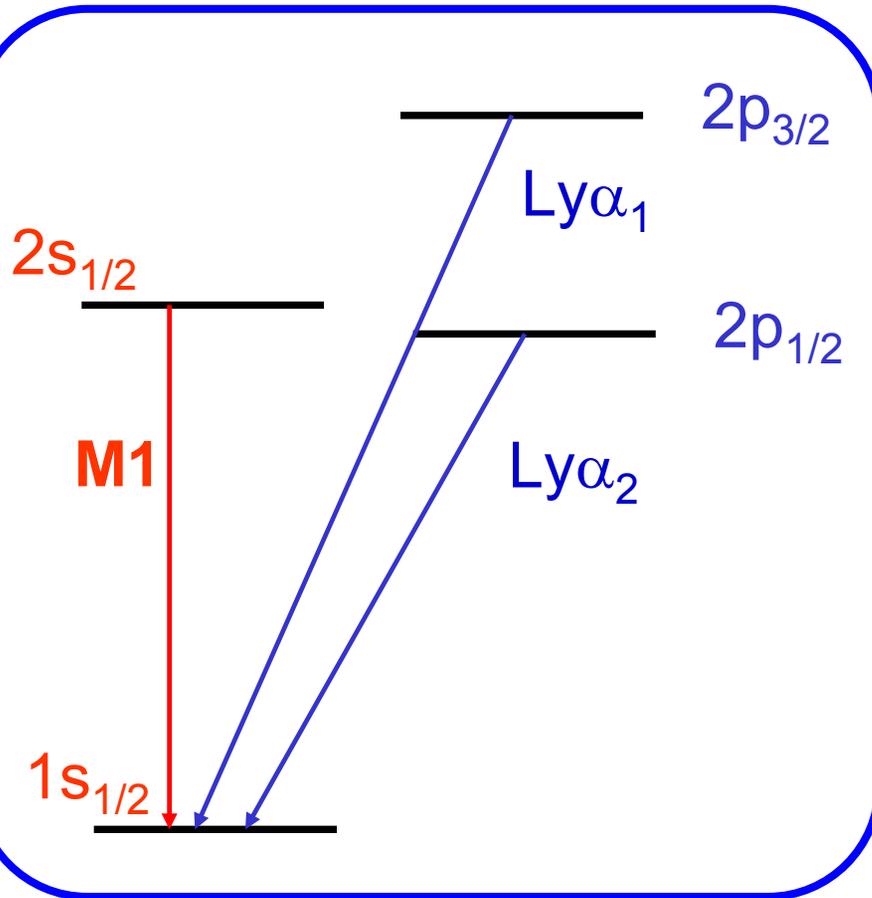
$F(\alpha Z)$: Reihenentwicklung in αZ nicht angemessen

Ziel:



± 1 eV

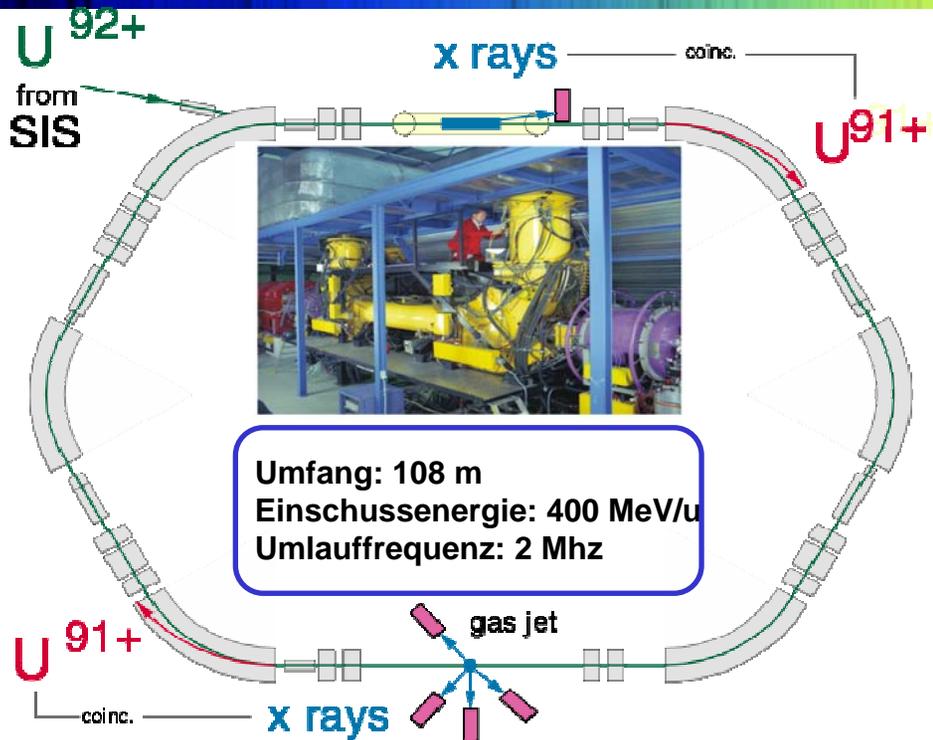
Struktur von Ein-Elektron Systemen



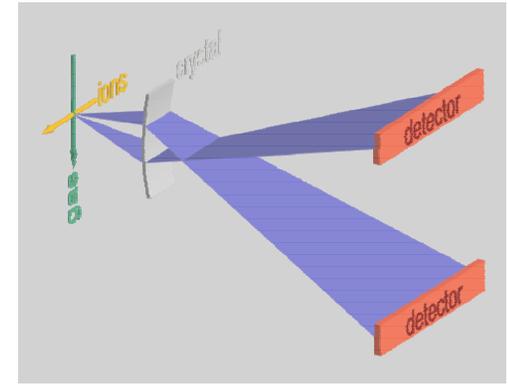
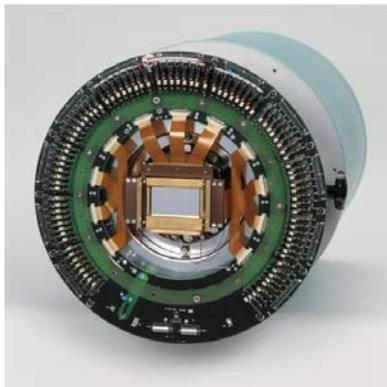
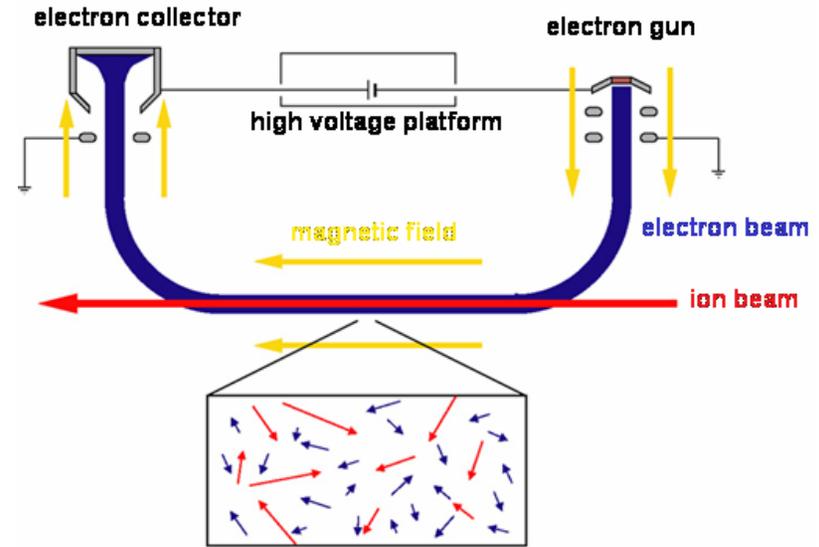
Atomare Systeme bei hohem Z

- Starke relativistische Effekte auf die Energieniveaus und Übergangsraten (z.B. Feinstrukturaufspaltung)
- Übergangsenergien im Bereich von 100 keV
- Multipolübergänge höherer Ordnung

Röntgenspektroskopie an der GSI



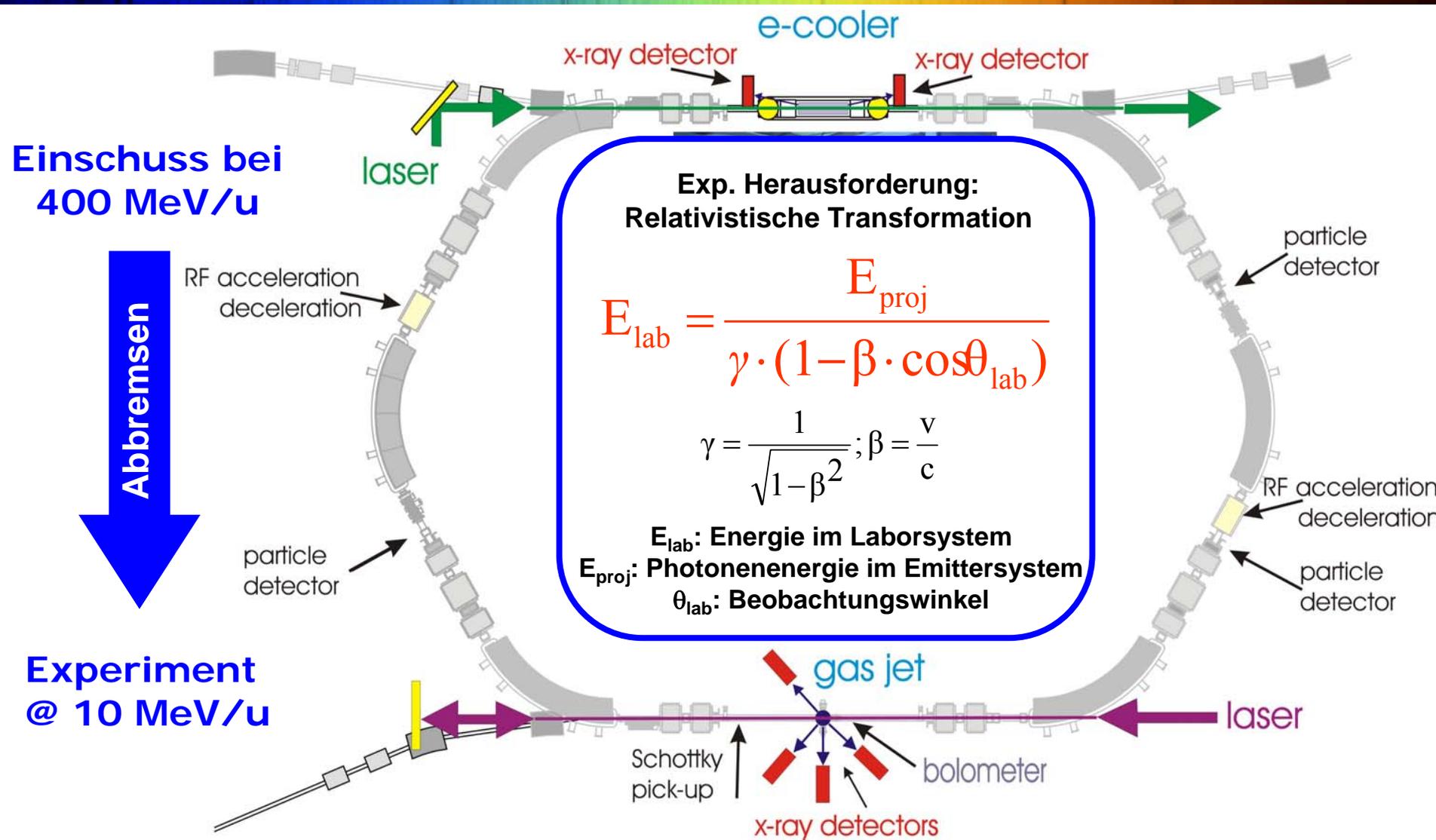
Elektronenkühlung



Speichern und Kühlen

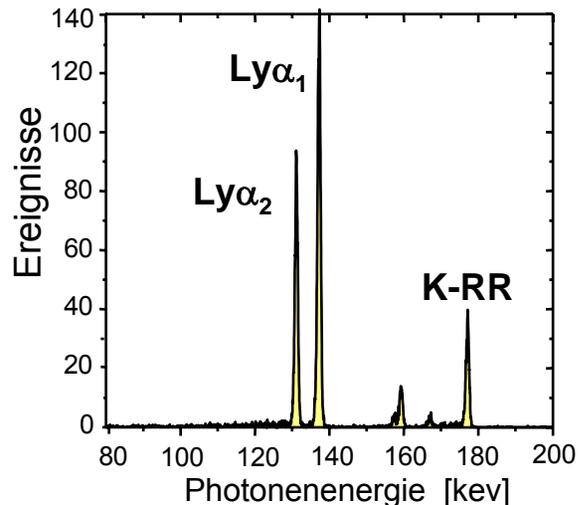
Detektor und Spektrometer

Röntgenspektroskopie am ESR



Test der Quantenelektrodynamik (1s-LS)

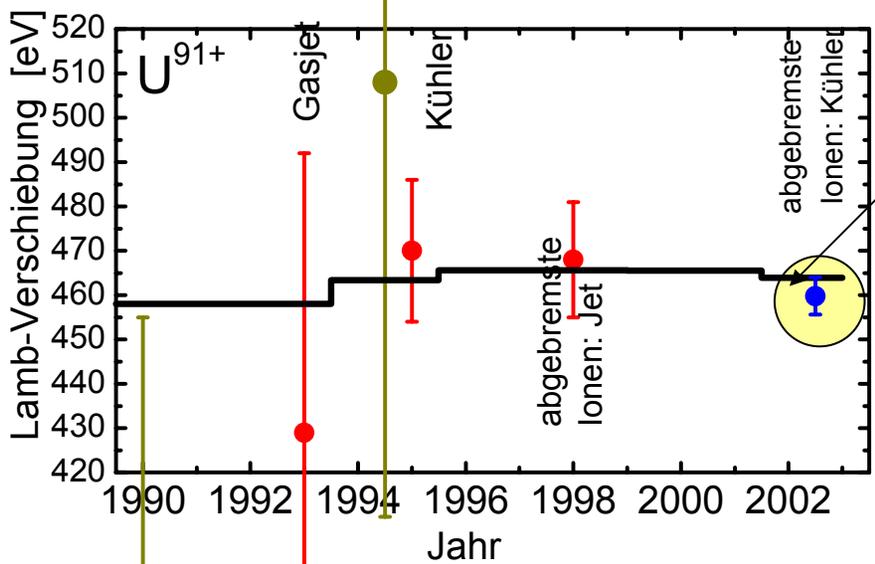
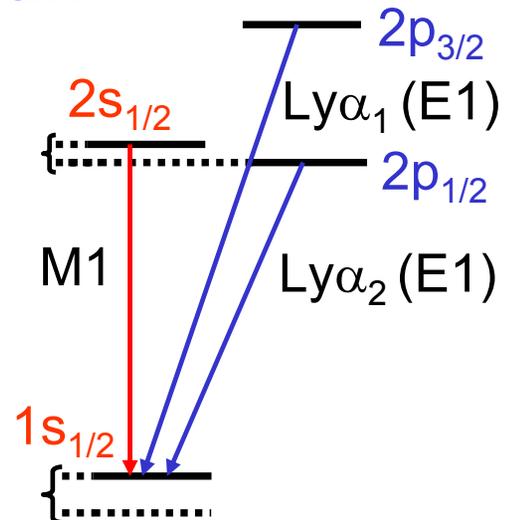
Die 1s-LS in H-artigem Uran



1s-Lamb-Verschiebung

Experiment: $459.8 \text{ eV} \pm 4.6 \text{ eV}$

Theorie: 463.95 eV



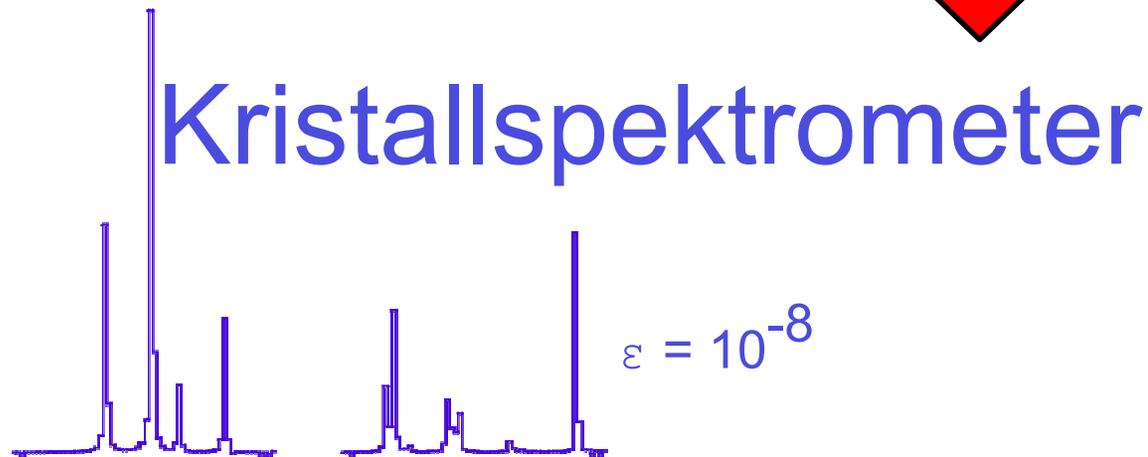
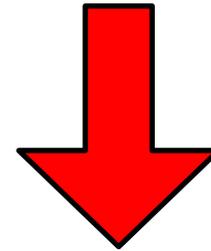
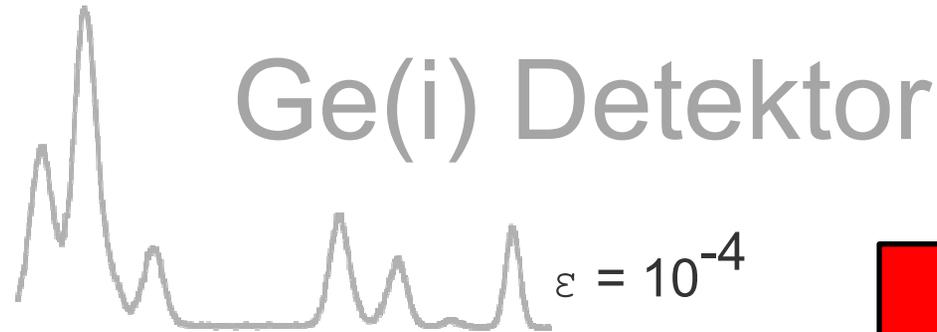
Theorie

A. Gumberidze
Dissertation 2003,
PRL 94, 223001
(2005)

nature

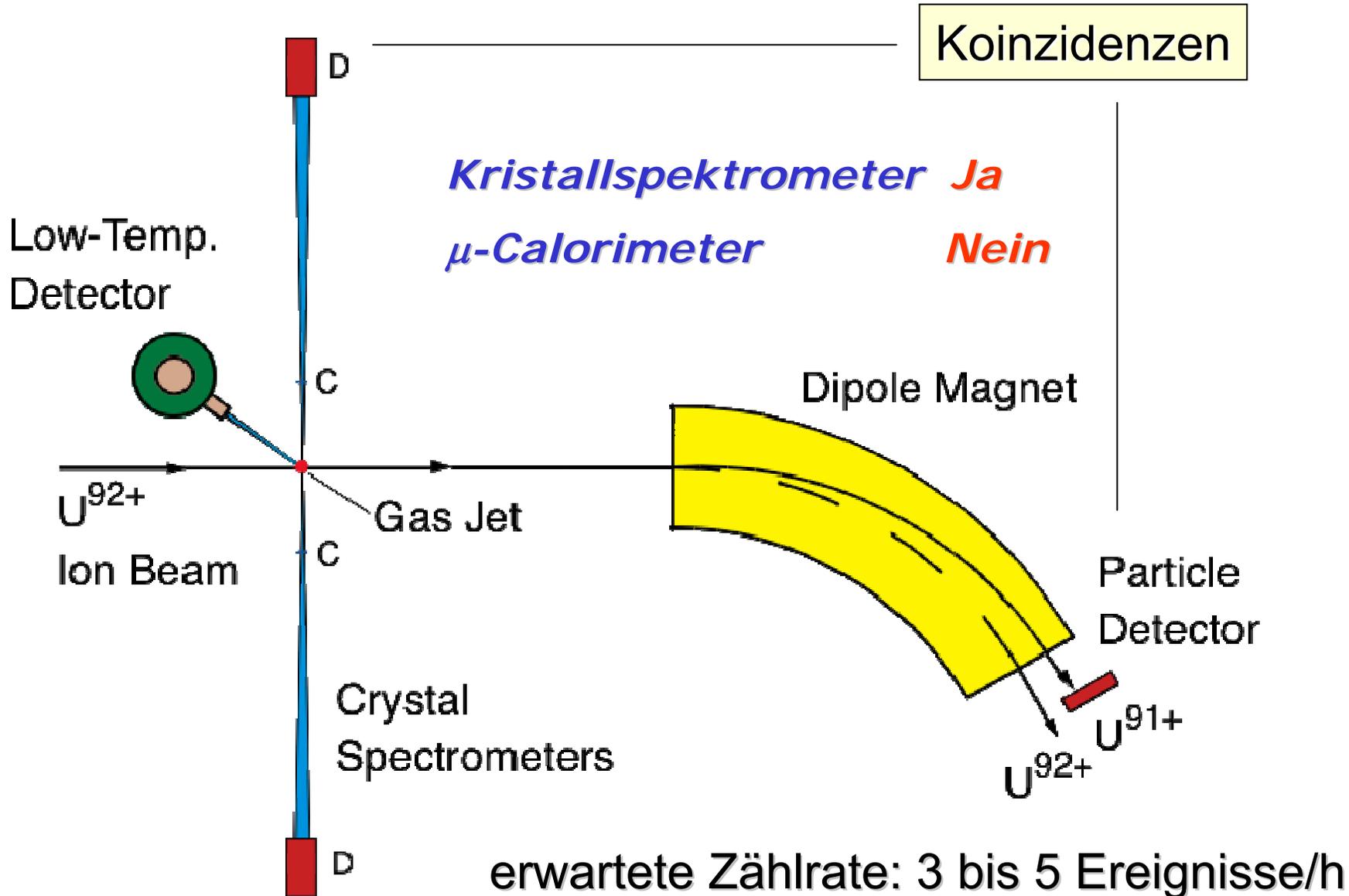
Research Highlights
Nature **435**, 858-859
 (16 June 2005)

Wege zu einer Genauigkeit von 1 eV

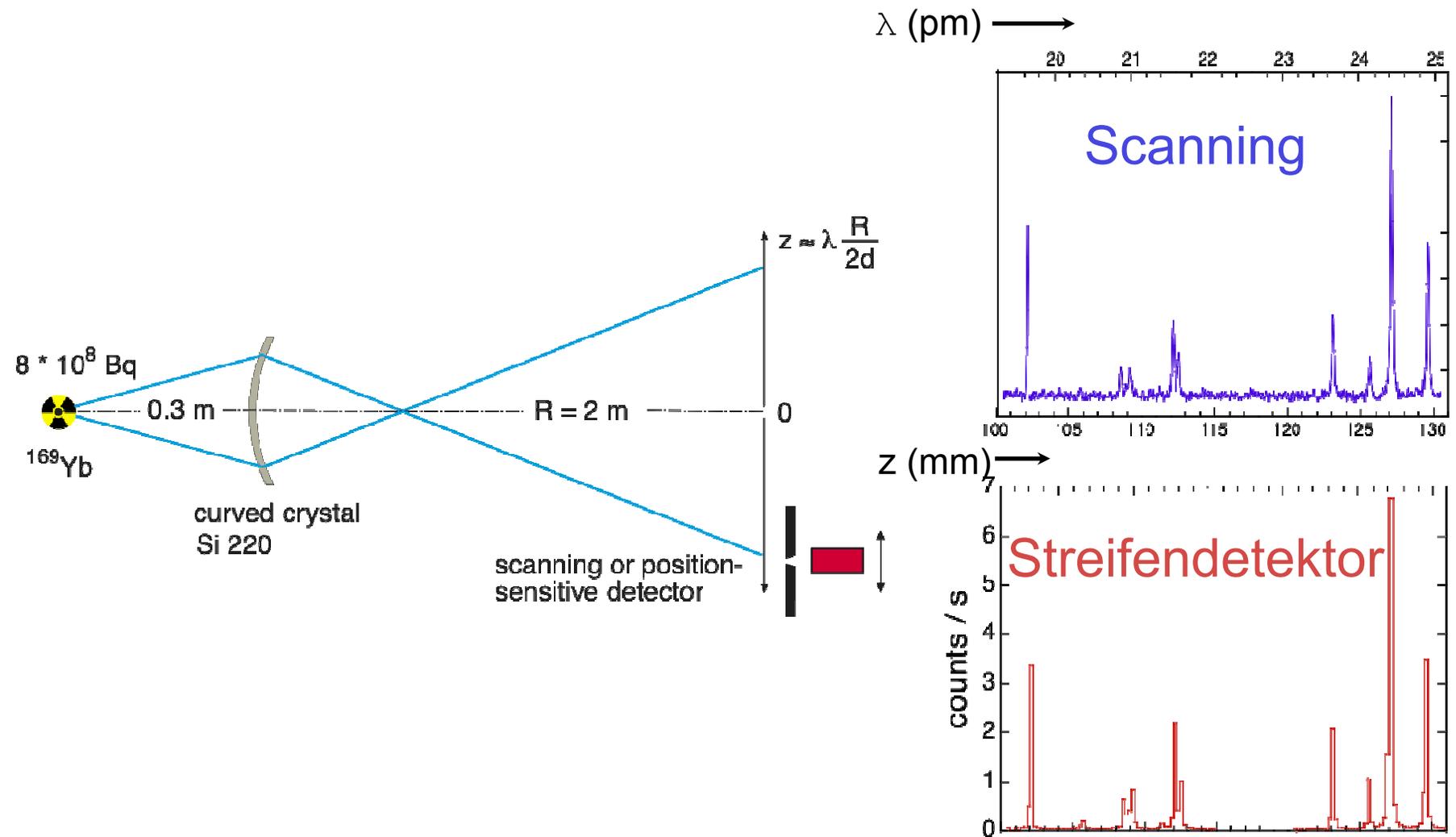


Kristallspektrometer und μ -Calorimeter

Transmissionskristallspektrometer



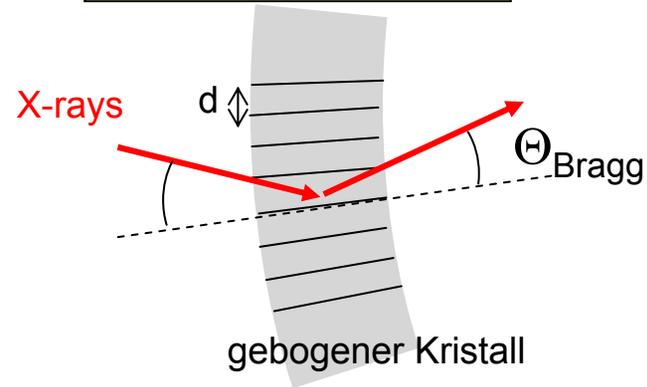
Vergleich: Scanning – Streifen-Detektor



Ein Laue-Kristallspektrometer

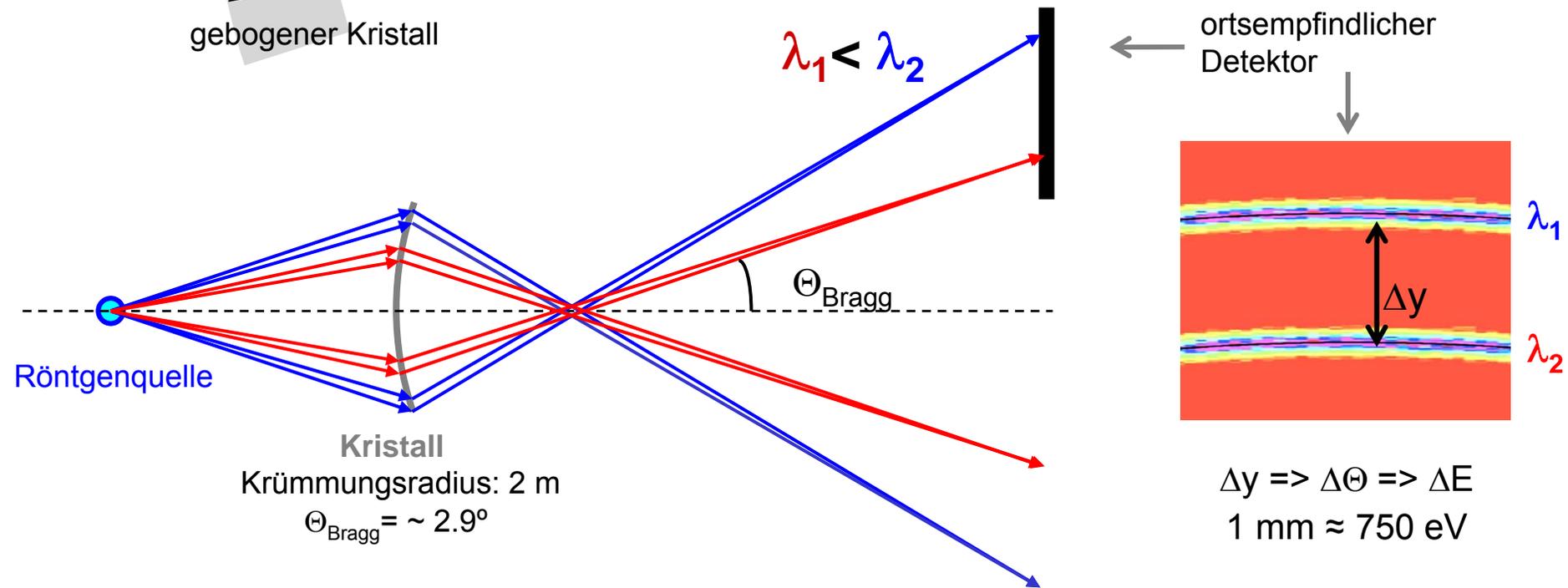
Bragg-Laue Relation

$$\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \Theta$$



Kristallspektroskopie

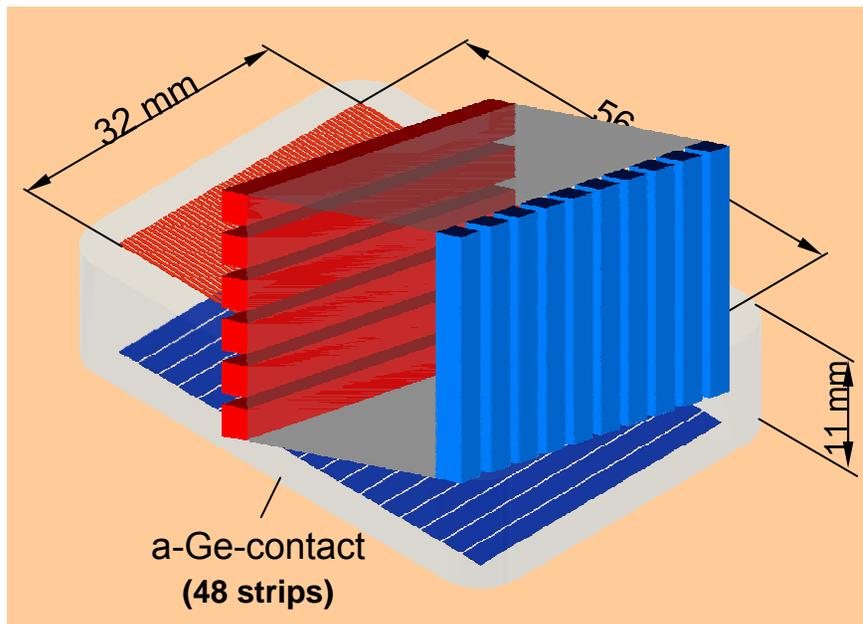
- Messung der Reflexionswinkel
⇒ Messung der Wellenlänge
- Auflösung: $\sim 75 \text{ eV @ } 60 \text{ keV}$



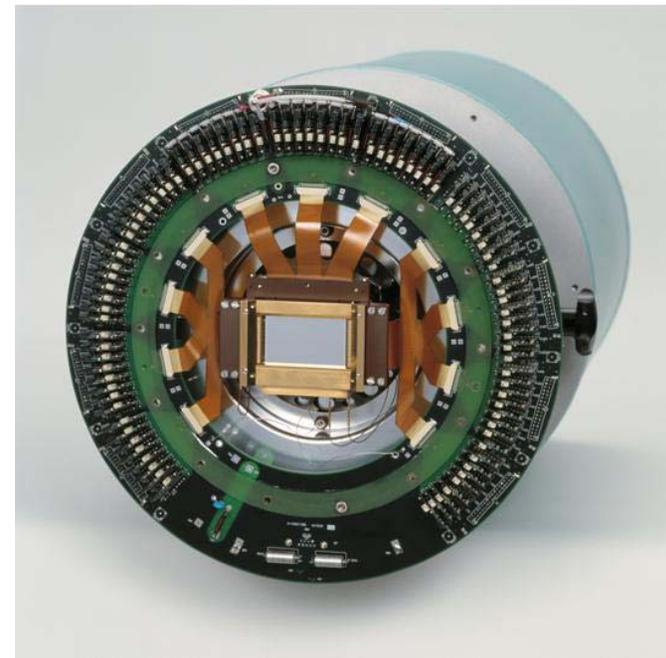
Prototyp 2D μ STRIP Germanium Detektor

2D μ STRIP planares Detektorsystem für Präzisions-Röntgenspektroskopie Experimente (FOCAL)

Energieauflösung – Timing - 2D Ortsauflösung



vorne: 128 Streifen Breite $\sim 250\mu\text{m}$
hinten: 48 Streifen Breite $\sim 1167\mu\text{m}$
äquivalent zu 6144 Pixeln

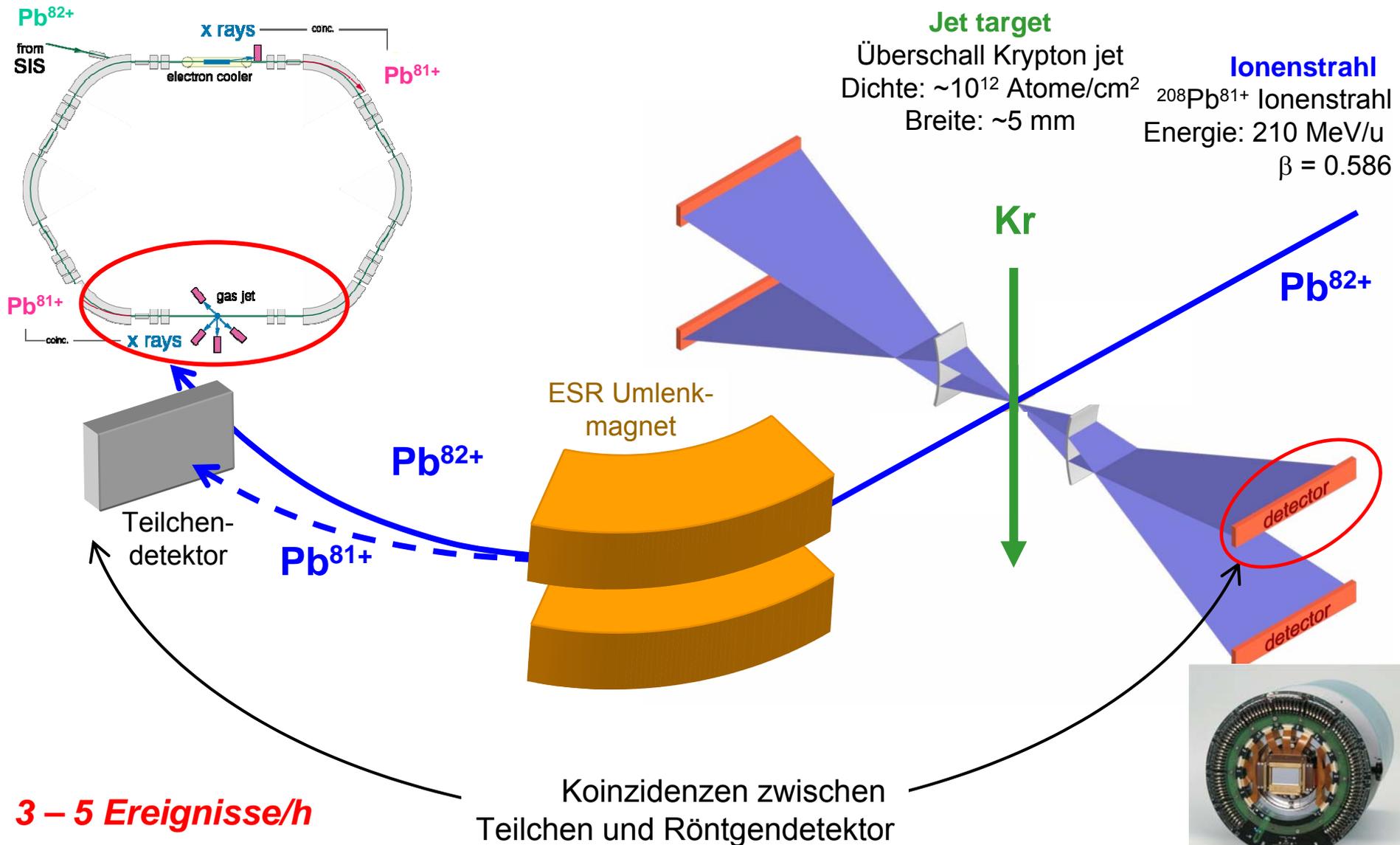


μ STRIP Detektor entwickelt von
D. Protic and T. Krings
IKF, FZ-Jülich

2D μ STRIP
germanium detector

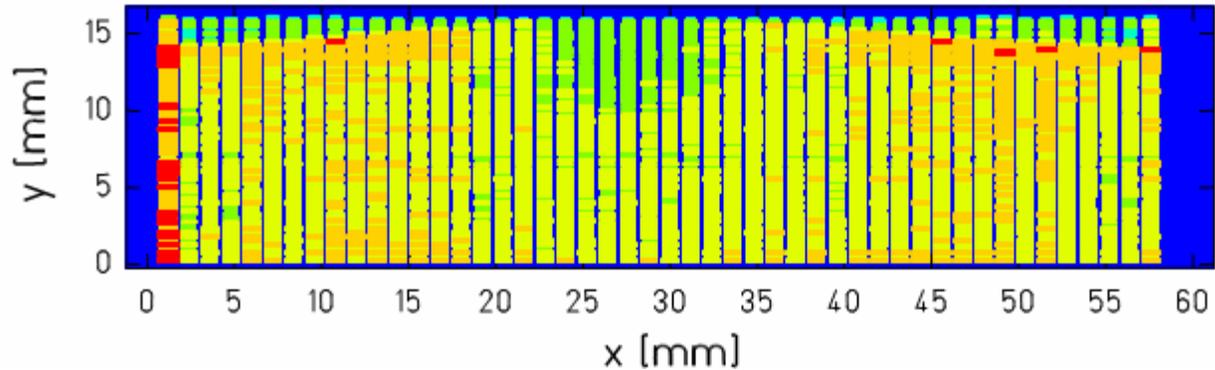


FOCAL Aufbau

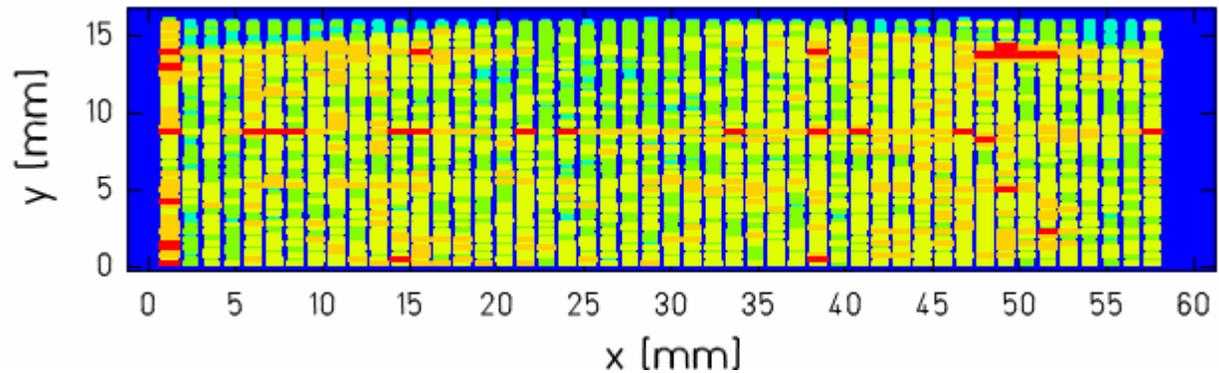


Orts- und Energieauflösung

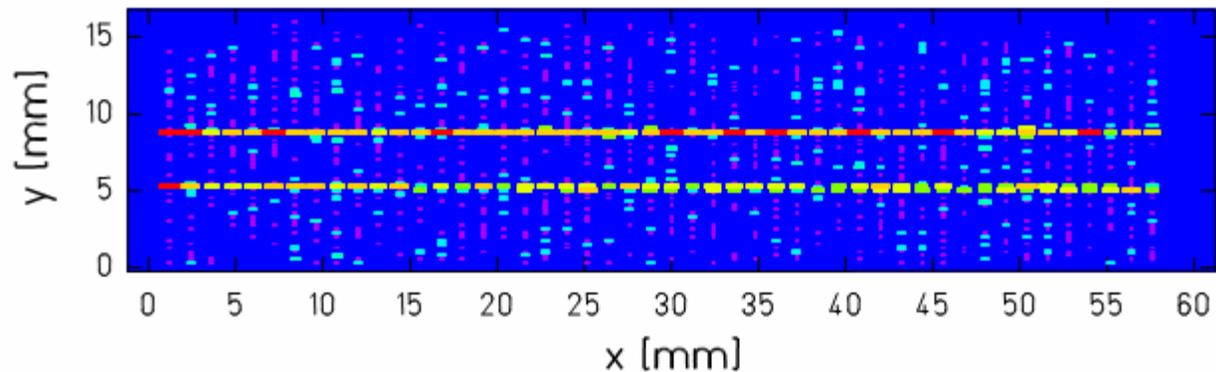
2D Spektrum
(10 keV to 130 keV)

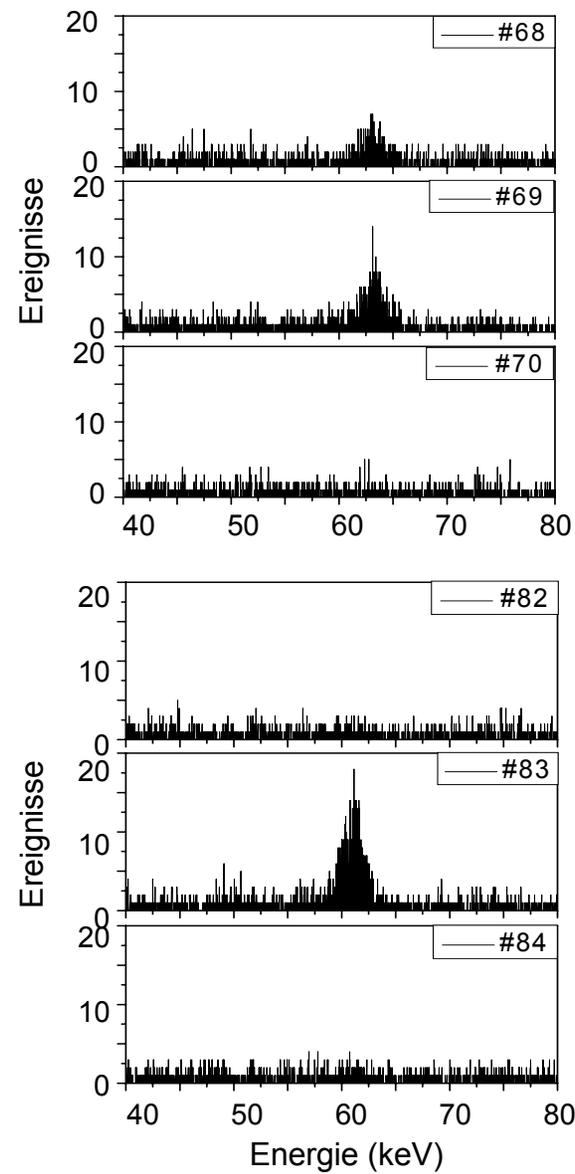
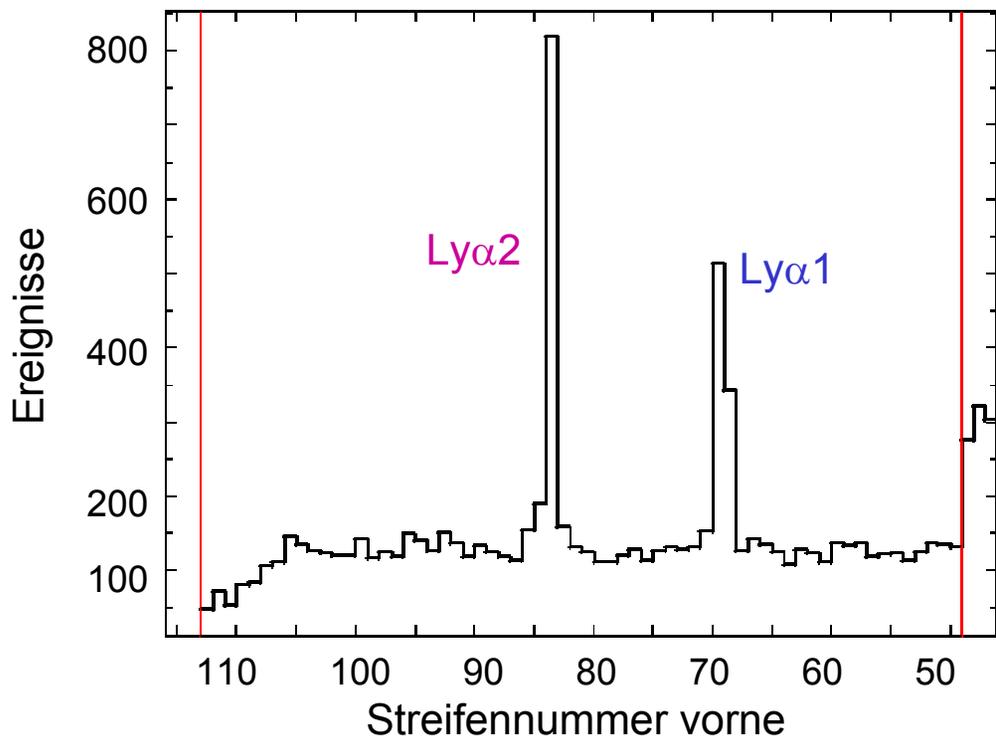


Spektrum
(10 keV to 130 keV)
+ Zeitbedingung

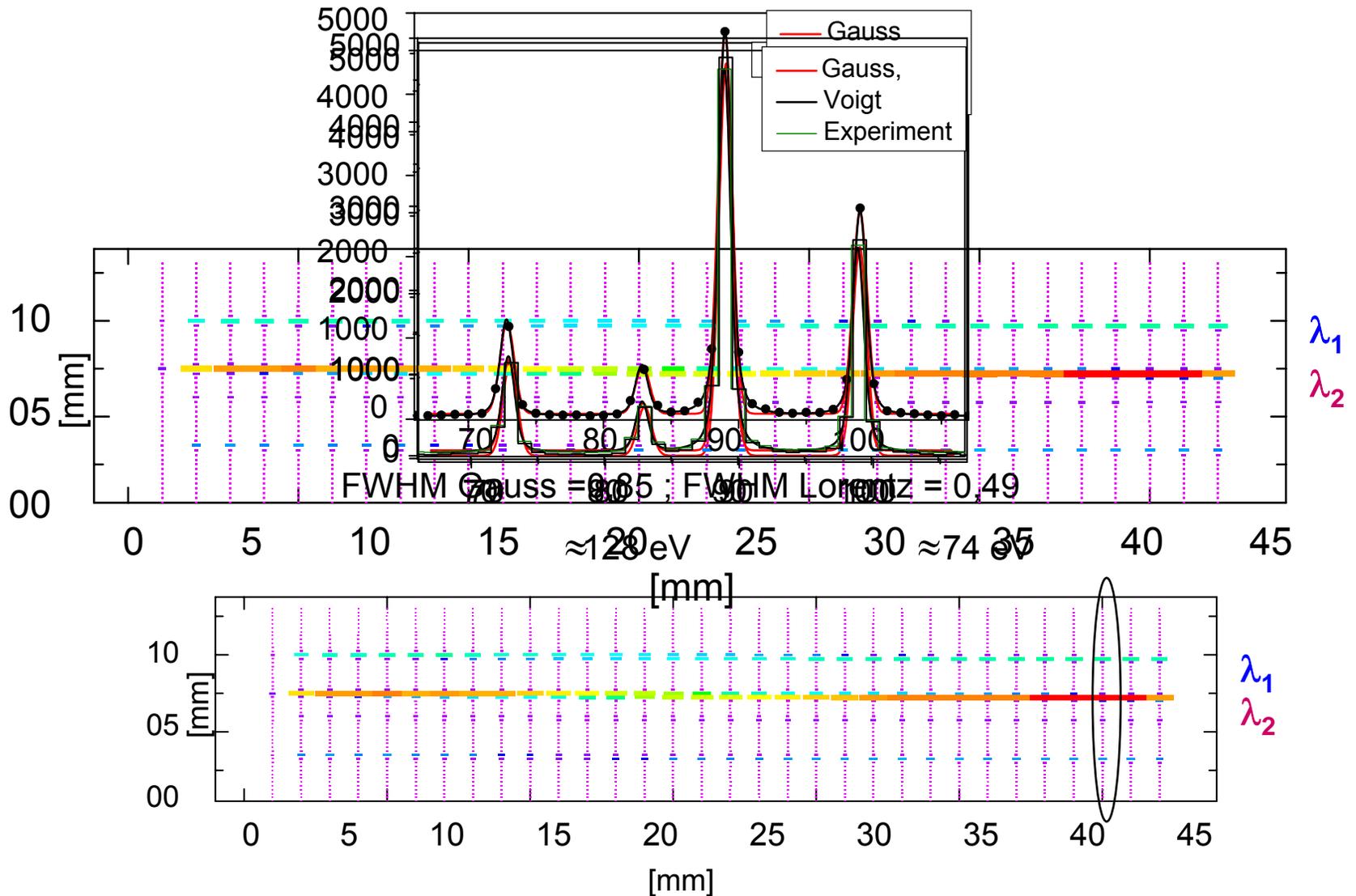


Spektrum
+ Energiebedingung
(58 keV to 65 keV)
+ Zeitbedingung





Kalibration mit ^{169}Yb (53keV – 49keV)



Zusammenfassung

- 1s LS in H-artigem Uran ist auf einem Niveau von 1% bestimmt
- weiterer Fortschritt auf dem Weg zu einer absoluten Genauigkeit von 1 eV kann durch eine Kombination aus 2D Detektoren und hoch-auflösenden Spektrometern erzielt werden, welche zur Zeit in Experimenten getestet werden
- DSP-Auslese zur genaueren Positionsauslese (kleiner als ein Streifen)
- anderen Verkippungswinkel, damit die Linie besser gefittet werden kann