

High-Speed PIXE – schnelle Multielementanalyse mit Ionenstrahlen

R. Ziegenrucker¹, J. Buchriegler¹, D. Hanf¹, J. Gutzmer¹, S. Ihle², S. Merchel¹, F. Munnik¹, A.D. Renno¹, G. Rugel¹, O. Scharf³

¹ Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden

² PNSensor GmbH, Römerstr. 28, 80803 München

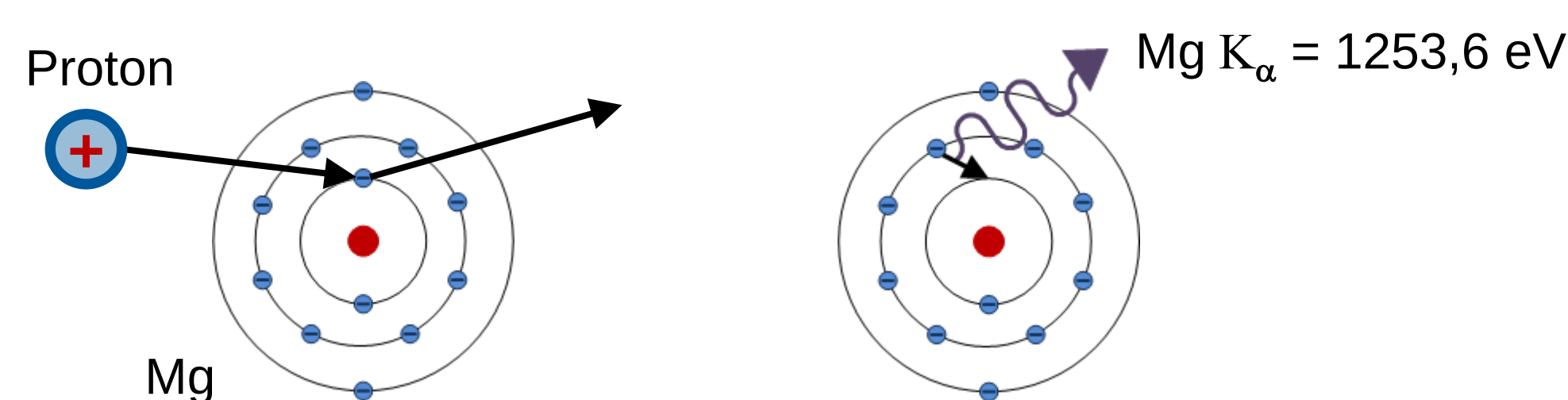
³ IFG Institute for Scientific Instruments GmbH, Rudower Chaussee 29/31, 12489 Berlin

Motivation

- neue Technologien zur Erkundung, Gewinnung, Nutzung und Recycling von Rohstoffen müssen bewertet werden
- Entwicklung einer schnellen orts aufgelösten Analysenmethode

Grundlage – Was ist High-Speed PIXE?

- PIXE = Particle-Induced X-ray Emission (Teilcheninduzierte Röntgenemission)



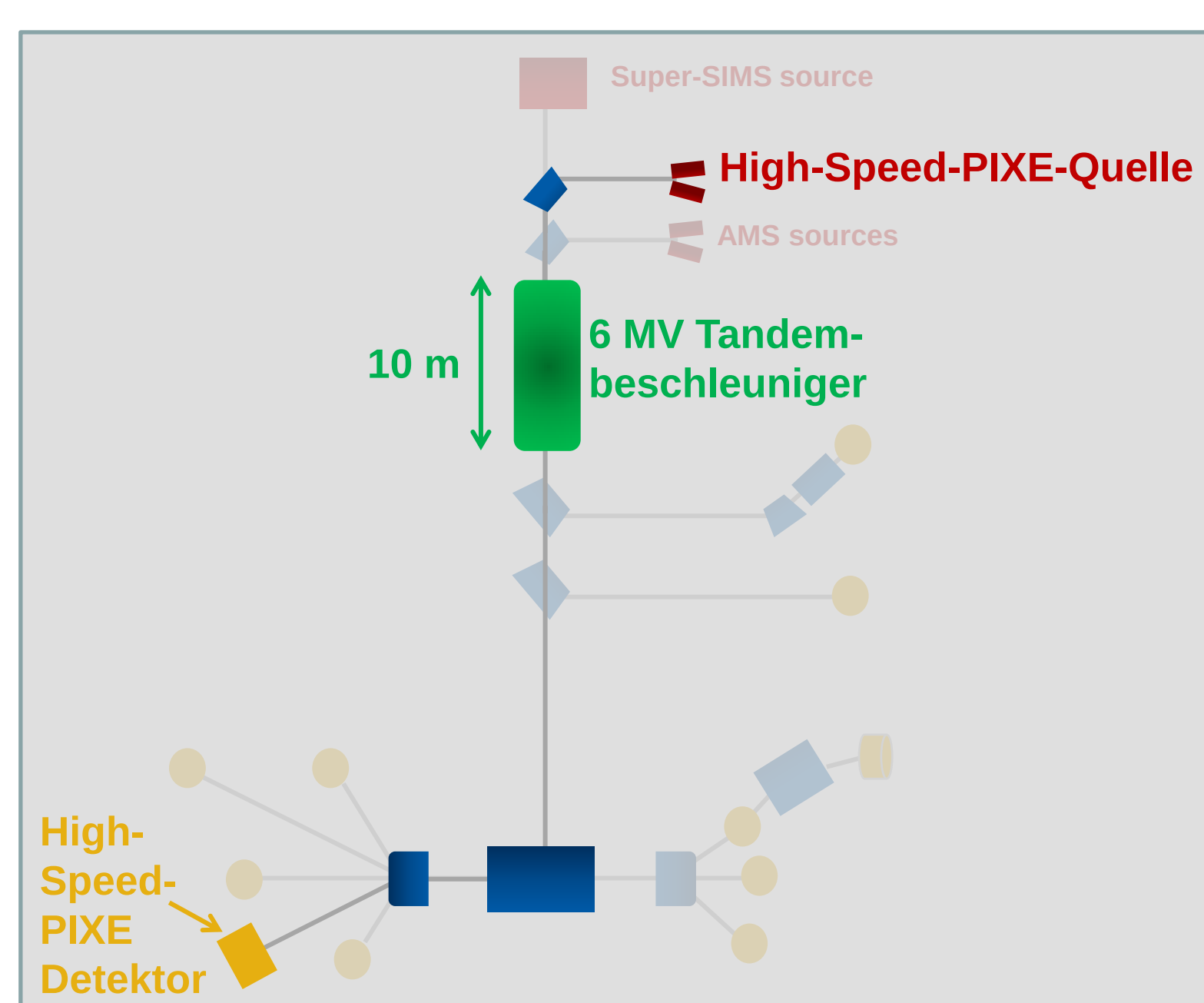
Entstehung von Röntgenfluoreszenzstrahlung am Beispiel von Mg.

- orts aufgelöste Elementverteilung durch Kopplung einer CCD-Kamera für Röntgenphotonen mit einer Kapillaroptik

Was kann die High-Speed PIXE?

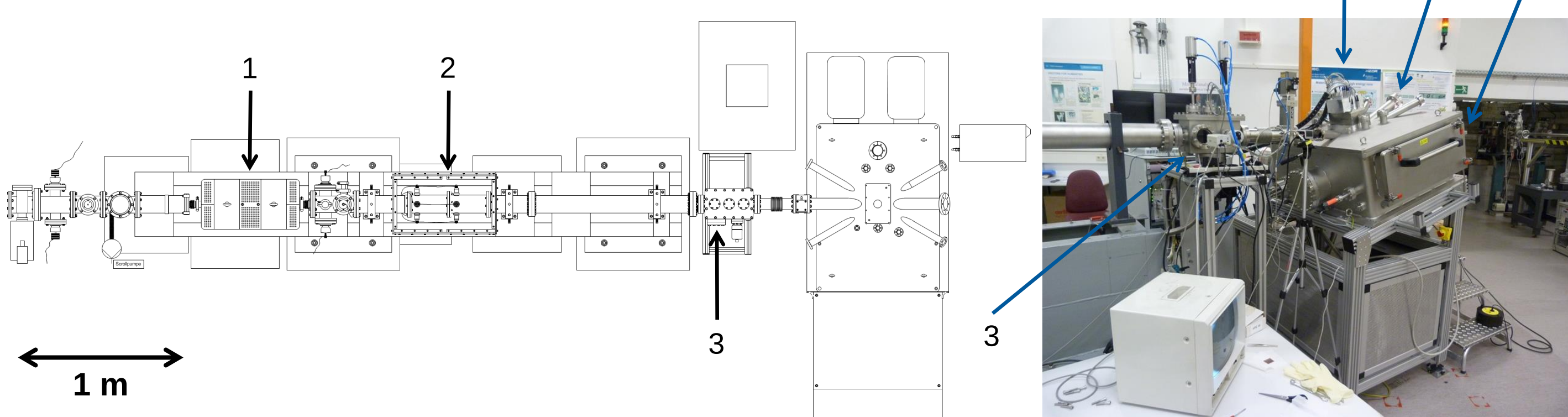
- komplettes Periodensystem ab Mg analysierbar, mit späterem Upgrade ab B
- laterale Auflösung: 10 µm
- Analysentiefe bis 50 µm in Abhängigkeit von Matrix und Analyt
- Nachweisgrenzen bis einige µg/g in Abhängigkeit von Analyt, Matrix und Messzeit
- Messzeiten: wenige Minuten bis Stunden
- schnelle Visualisierung von Spurenelementverteilungen über voreingestellte Schwellwerte → Identifikation von ROIs für ggf. andere Analytik

Aufbau



Schema 6 MV Beschleuniger am HZDR.

- Protonenenergie für High-Speed PIXE: bis 4,2 MeV
- Ionenstrahl mit Ø von 2-3 mm und wird für die Messung auf 12 x 12 mm² aufgeweitet (simultane Messung der gesamten Probenfläche)

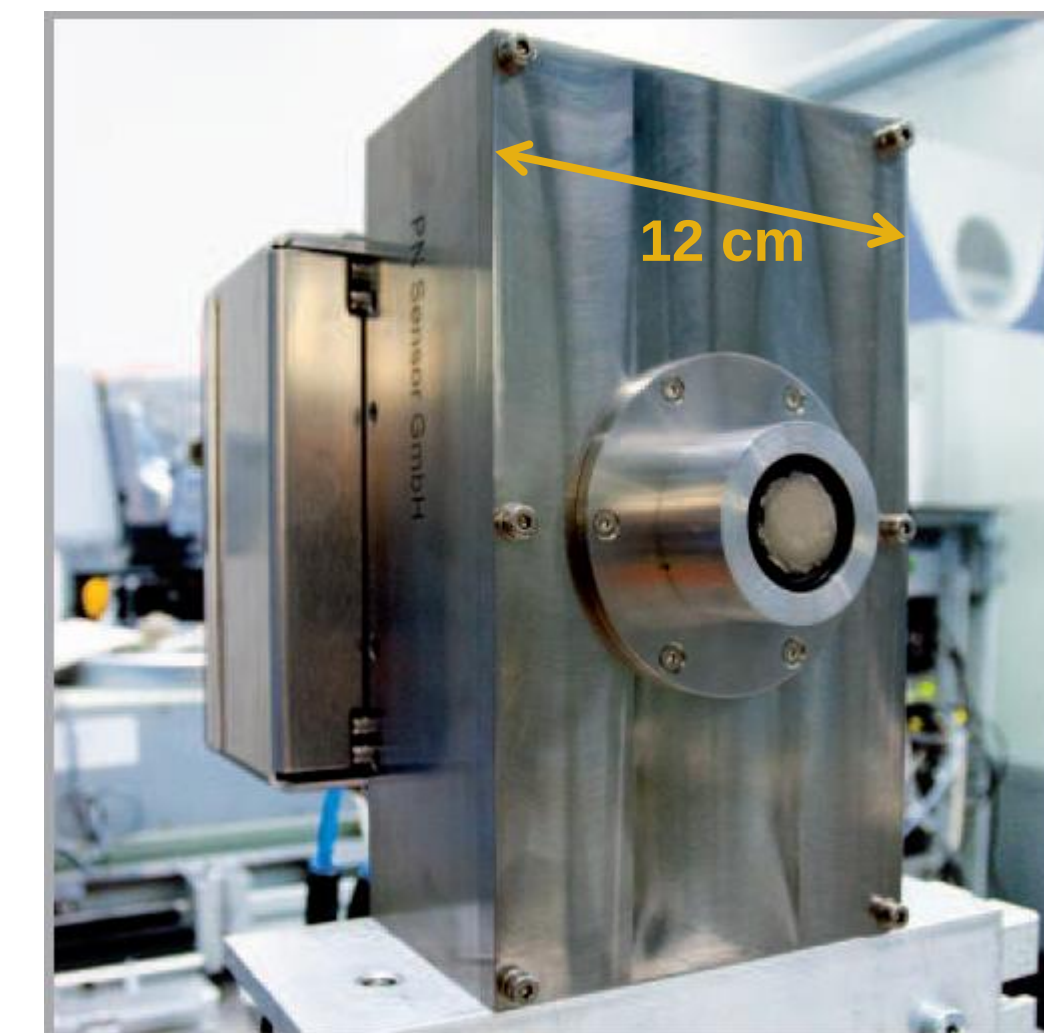


Links: Schematische Zeichnung des Endstücks der High-Speed PIXE; rechts: Strahldiagnose- & Messkammer.

- 1 Quadrupollinse
- 2 Strahlaufweitungssystem
- 3 Strahldiagnosekammer
- 4 Röntgenfarbkamera
- 5 Messkammer
- 6 Klappe für Probenwechsel

Röntgenfarbkamera

- röntgenempfindliche CCD-Kamera (CCD = charge-coupled device)
- 69696 Pixel auf 12,6 x 12,6 mm² Fläche
- in jedem Pixel simultane Detektion eines kompletten energie aufgelösten Röntgenspektrums → „Farbkamera“
- Bildaufnahmefrequenz: 400 oder 1000 Hz
- spezielle Kapillaroptik verantwortlich für laterale Ortsauflösung



Röntgenfarbkamera mit 1:1 Test-Optik.^[3]

	1:1 Optik	6:1 Optik
Laterale Ortsauflösung	50 µm	10 µm
Bildgröße	12 x 12 mm ²	1,2 x 1,2 mm ²
Abstand Optik zur Probe	< 10 mm	0,8 mm

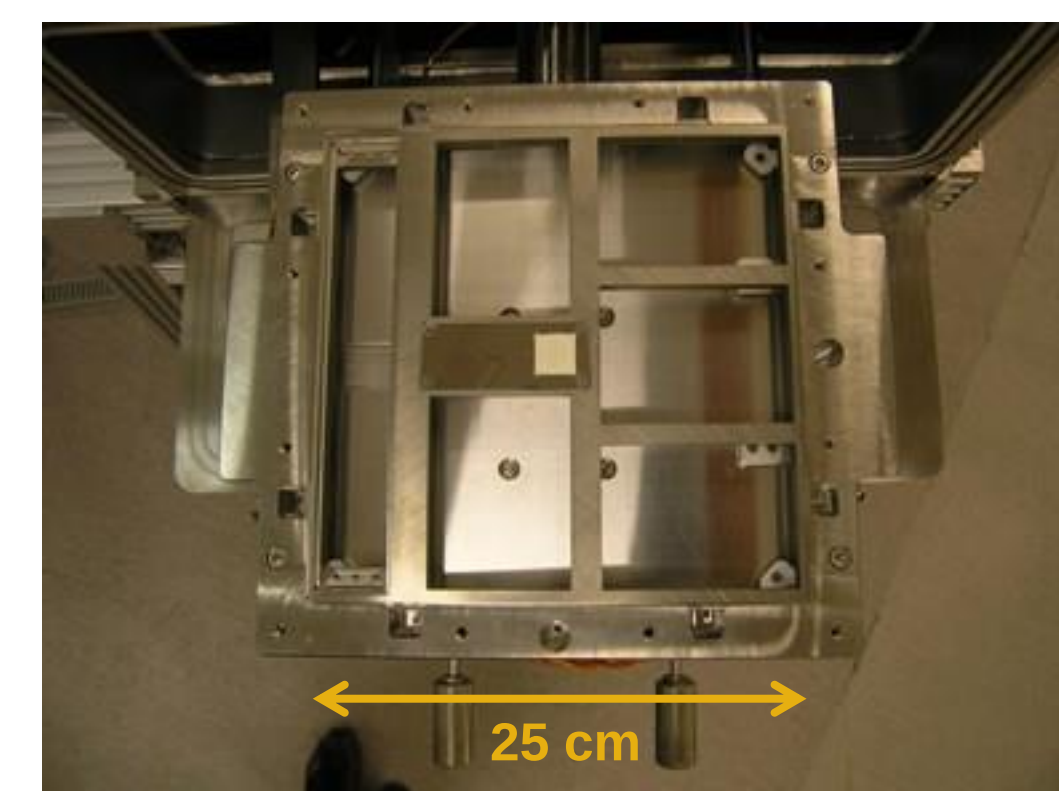


Kapillarbündel 1:1 Optik.^[3]

Skizze 6:1 Optik.^[3]

Anforderung an Proben

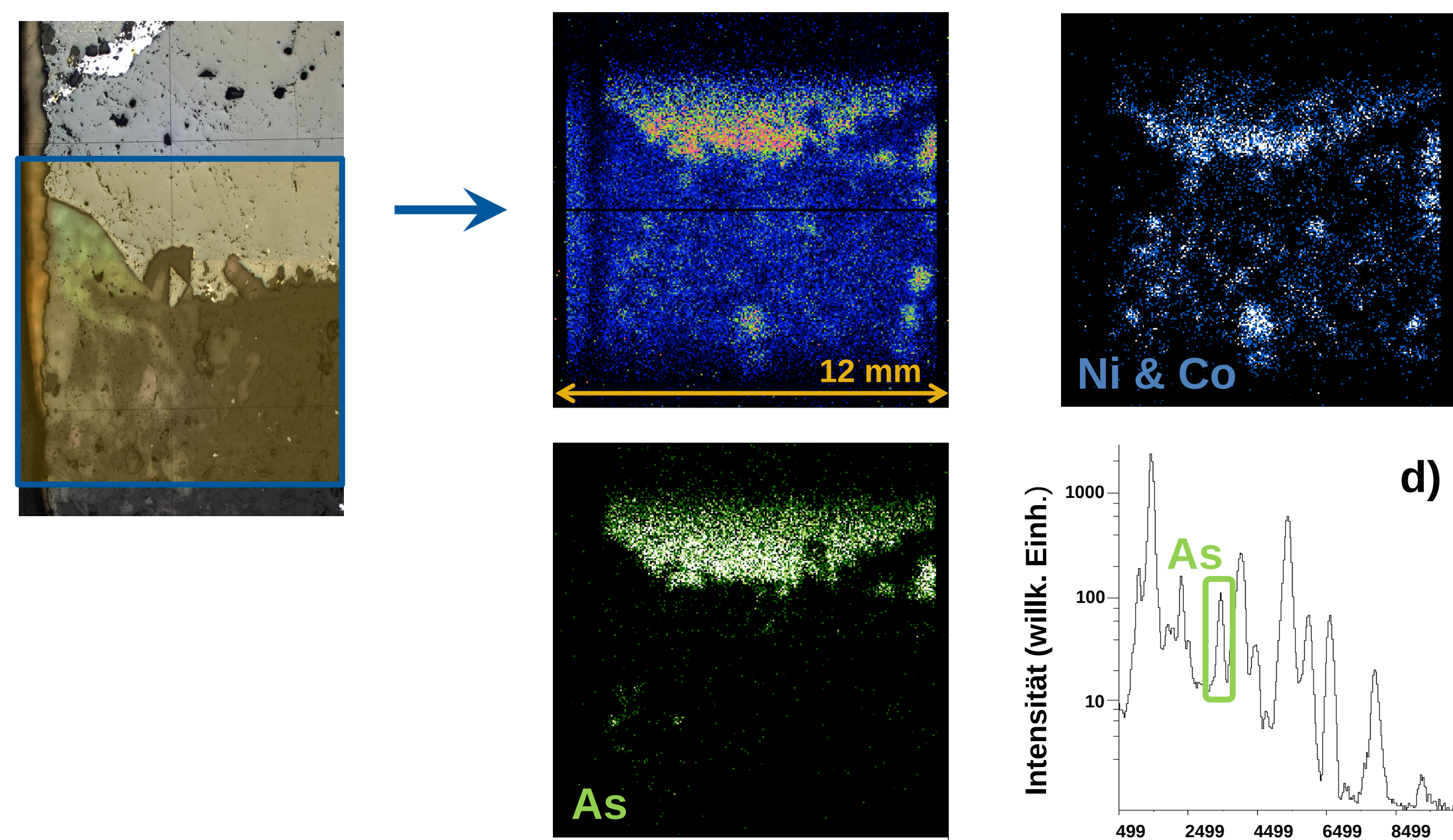
- von Dünnschliff bis „Ziegelstein“ alles möglich
- max. Probengröße: 250 x 250 x 15 mm³
- max. Gewicht: 10 kg
- Oberflächenrauigkeit: <10 µm
- Vakuumstabilität: 10⁻⁶-10⁻⁷ mbar



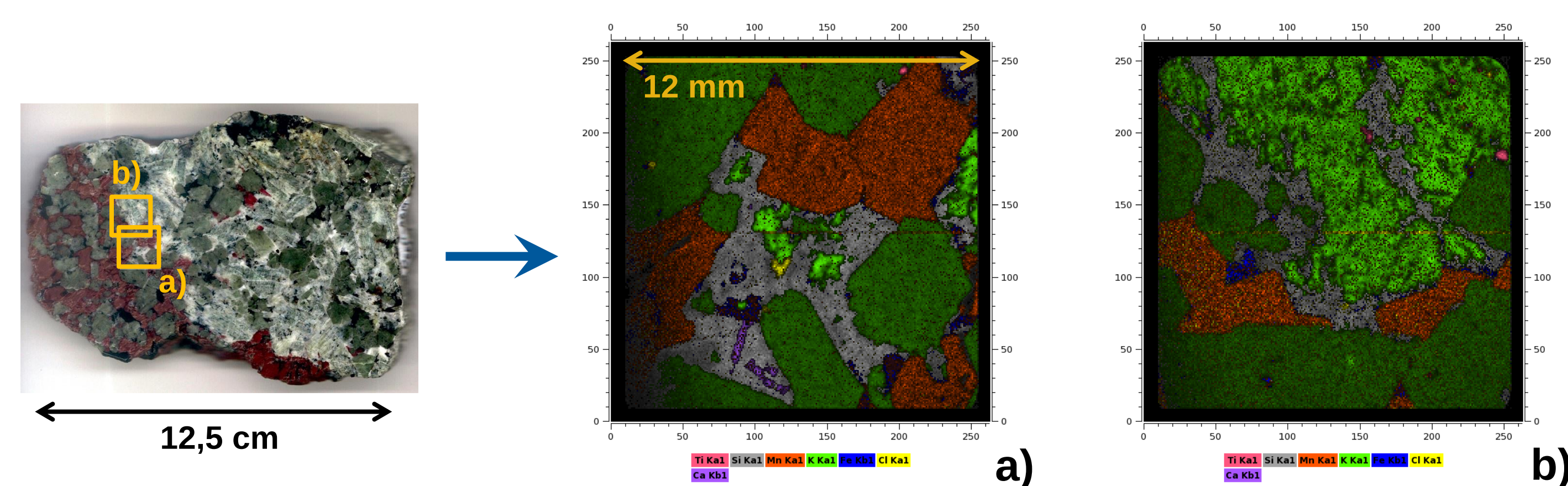
Probenhalter

Erste Messungen

- Summenbilder, Elementverteilungsbilder, Summenspektren (einzelne Bereiche oder ganzes Bild), Einzelpixelspektren, ...



Bsp. 1: Dünnschliff eines Silbererzes aus Kongsberg in Norwegen; a) Summenbild über gesamten Röntgenenergiebereich; b) Bild der Verteilung von Ni und Co; c) Bild der As-Verteilung; d) Summenspektrum mit markiertem As-Peak. Messzeit: ≈10 min; Bildgröße 12 x 12 mm².



Danksagung

Dank an BMBF, SPRITE, Mitarbeiter @ Ionenstrahlzentrum @ HZDR, und M. Hartig (Dreebit).



Referenzen

[1] S. Akhmadaliev et al., Nucl. Instr. Meth B **294** (2013) 5-10 [2] O. Scharf et al., Analyt. Chem. **83** (2011) 2532-2538 [3] IFG Institute for Scientific Instruments (Berlin)