High-Speed PIXE – schnelle Multielementanalyse mit Ionenstrahlen

R. Ziegenrücker¹, 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







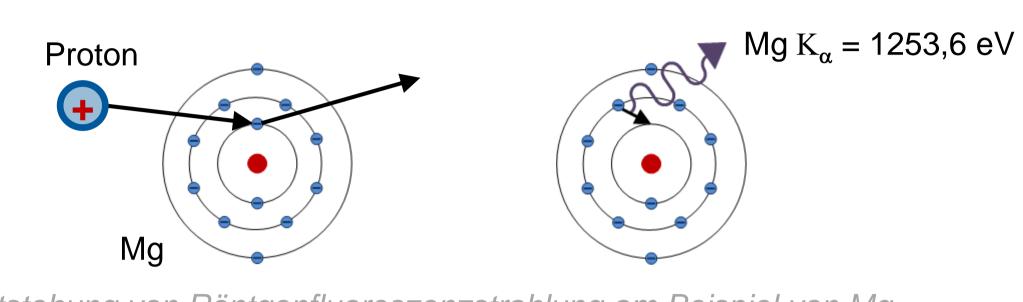


Motivation

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

Grundlage – Was ist High-Speed PIXE?

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



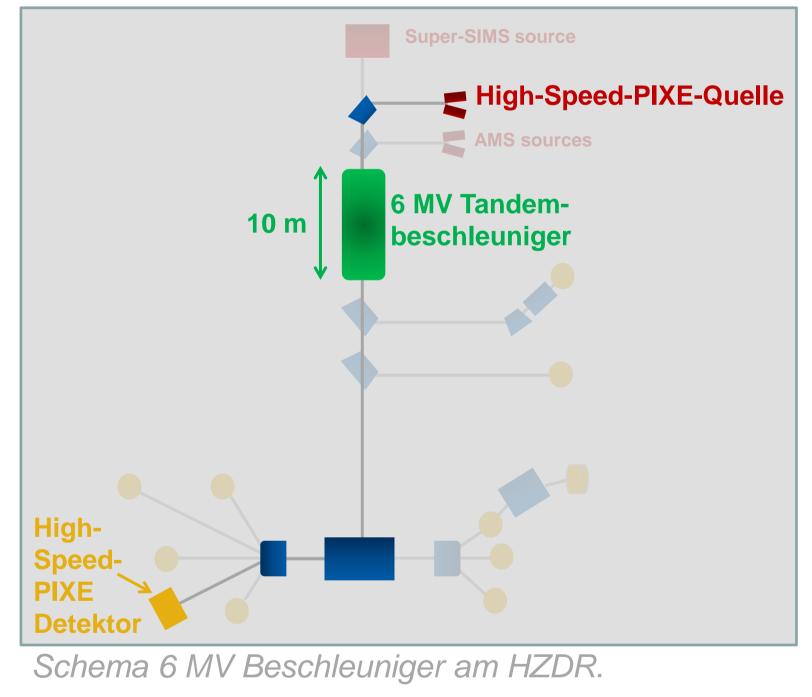
Entstehung von Röntgenfluoreszenzstrahlung am Beispiel von Mg.

ortsaufgelöste Elementverteilung durch Kopplung einer CCD-Kamera für Röntgenphotonen mit einer Kapillaroptik

Was kann die High-Speed PIXE?

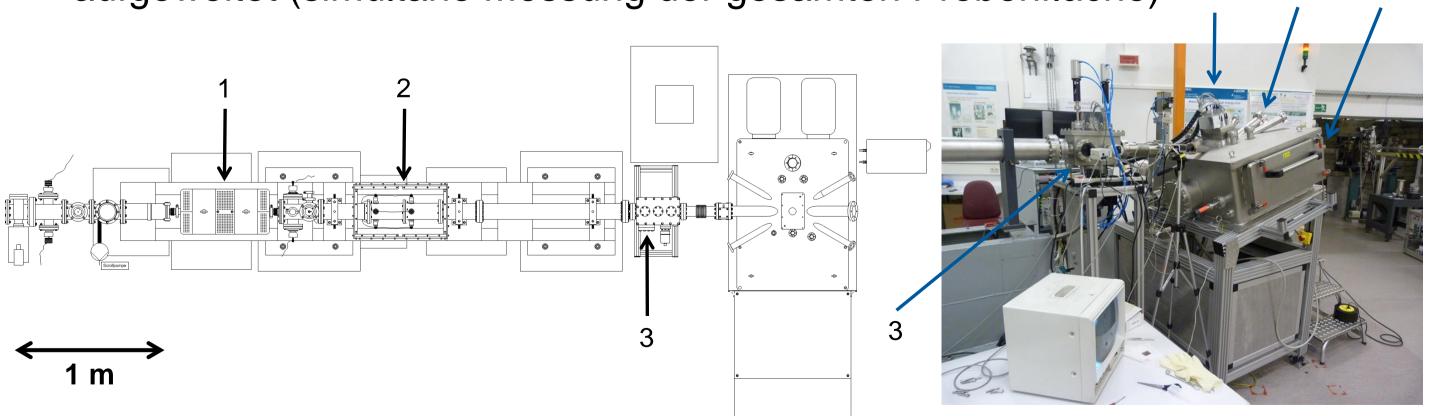
- komplettes Periodensystem ab Mg analysierbar, mit späterem Upgrade ab B
- laterale Auflösung: 10 µm
- Analysentiefe bis 50 µm in Abhängigkeit von Matrix und Analyt
- Nachweisgrenzen bis einige µg/g in Abhängigkeit von Analyt, Matrix und Messzeit
- Messzeiten: wenige Minuten bis Stunden
- schnelle Visualisierung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

Aufbau



- unikaler Aufbau
- Strahlrohrlänge (Ionenquelle bis Messkammer): ≈ 77m
- Cs-Sputterionenquelle mit TiH₂ Targets (→ H⁻-Ionen)
- 6 MV Tandembeschleuniger^[1]
 mit Ar-Strippergas (→ H+-Ionen)
- Strahlstrom bis 400 nA(Strahlenschutzgenehmigung)
- Protonenenergie für High-Speed PIXE: bis 4 MeV

Ionenstrahl mit Ø von 2-3 mm und wird für die Messung auf 12 x 12 mm²
 aufgeweitet (simultane Messung der gesamten Probenfläche) 4 5



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

1 Quadrupollinse

4 Röntgenfarbkamera

2 Strahlaufweitungssystem

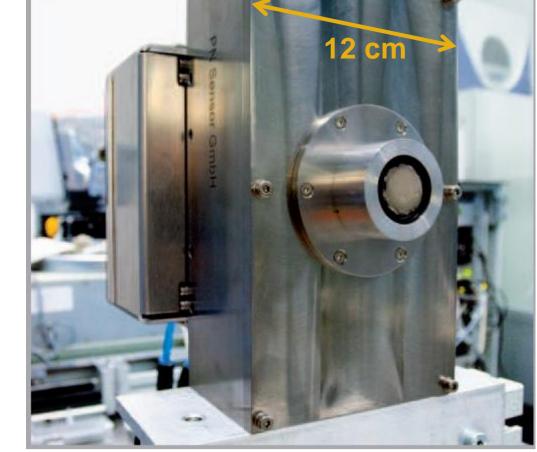
5 Messkammer

3 Strahldiagnosekammer

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 energieaufgelösten
 Röntgenspektrums→ "Farbkamera"
- Bildaufnahmefrequenz: 400 oder 1000 Hz



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

spezielle Kapillaroptik verantwortlich für laterale Ortsauflösung

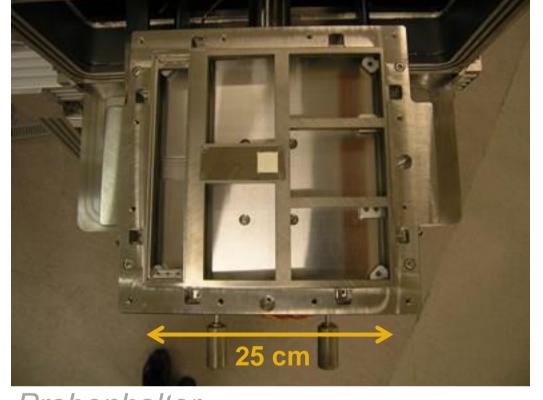
	1:1 Optik	6:1 Optik
Laterale Ortsauflösung	50 µm	10 μm
Bildgröße	12 x 12 mm²	1,2 x 1,2 mm ²
Abstand Optik zur Probe	< 10 mm	0,8 mm



Ø 19 mm

Anforderung an Proben

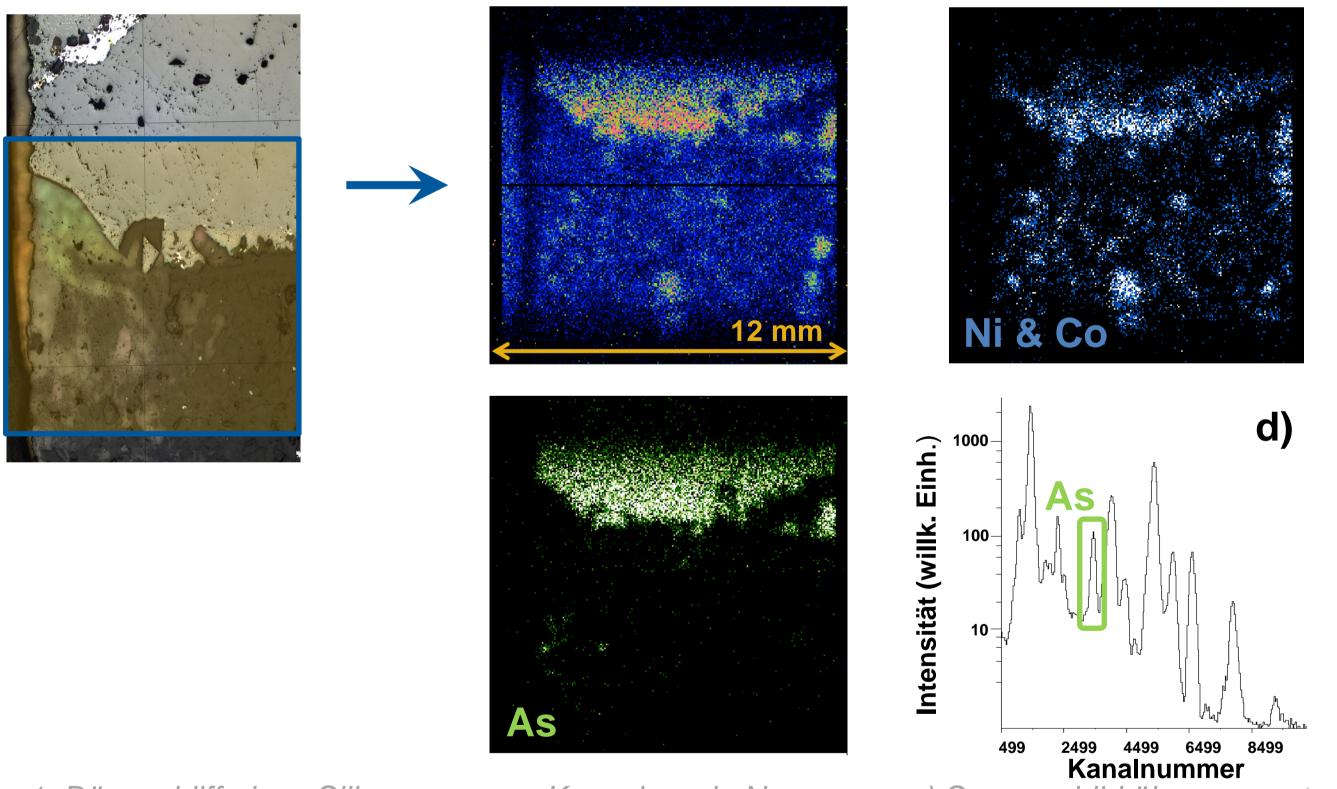
- von Dünnschliff bis "Ziegelstein" alles möglich
- max. Probengröße: 250 x 250 x 15 mm³
- max. Gewicht: 10 kg
- Oberflächenrauigkeit: <10 μm
- Vakuumstabilität: 10⁻⁶-10⁻⁷ mbar



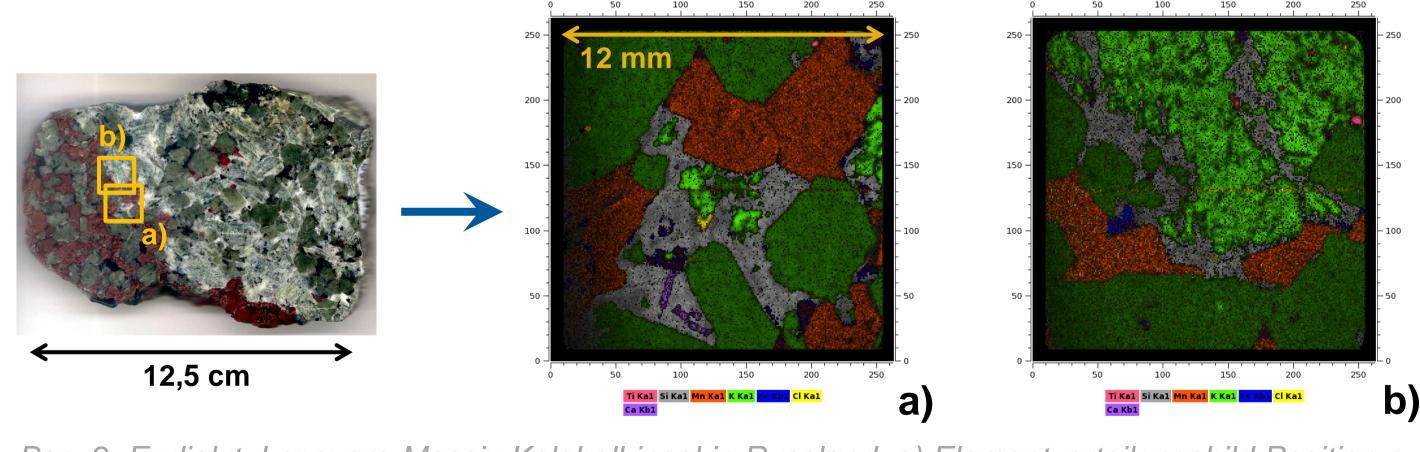
Probenhalter

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.



Bsp. 2: Eudialyt, Lovozero-Massiv Kolahalbinsel in Russland; a) Elementverteilungsbild Position a, Messzeit: 30 min; b) Elementverteilungsbild Position b, Messzeit: 15 min. Bildgröße: 12 x 12 mm².

Danksagung

Dank an BMBF, SPRITE,

Mitarbeiter @ Ionenstrahlzentrum @ HZDR, und M. Hartig (Dreebit).



