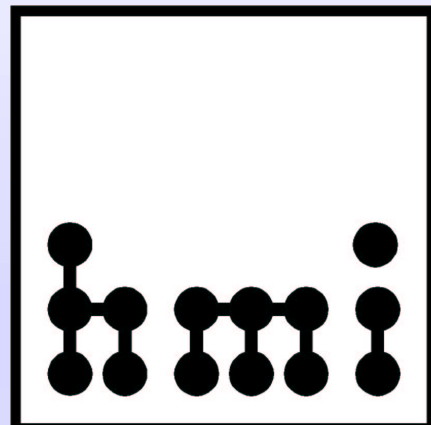




Synchrotron-Tomographie-Messplatz

An der BAMline des Berliner Elektronenspeicherrings BESSY II wird von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Kooperation mit der Abteilung SF3 des Hahn-Meitner-Instituts Berlin (HMI) eine Mikro-Synchrotrontomographieanlage betrieben. Neben der Eigenforschung beider Institute werden Messungen für Wissenschaftler aus Industrie, Forschungszentren und Universitäten durchgeführt und betreut.



Vorteile des Synchrotrons gegenüber herkömmlicher Röntgenstrahlung:

- Die sehr hohe Intensität liefert rauscharme Bilder bei relativ kurzer Messzeit.
- Die Möglichkeit, den Strahl zu monochromatisieren, erlaubt es, die Elementzusammensetzung der Prüflinge räumlich aufgelöst zu bestimmen.
- Die Durchstrahlungsenergie kann variiert werden. Dies ermöglicht, Objekte mit sehr unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten zu untersuchen.

Technische Parameter

- Doppelmultilayer-Monochromator mit:
 - 150 W/Si-Schichten ($d = 2,8 \text{ nm}$)
 - einer Energieauflösung von $\Delta E/E \approx 10^{-2}$
- Photonenflussdichte: bis zu $10^{12} \text{ Photonen/mm}^2/\text{s}$
- Röntgenenergien: 6 keV - 60 keV
- räumliche Auflösung: $3.5 \mu\text{m}$ bzw. $7.0 \mu\text{m}$
- CCD-Kamera: 2048×2048 Pixel
- maximale Probendimensionen (abhängig von der Auflösung):
 - 7 mm Querschnitt bei $3.5 \mu\text{m}$ Auflösung
 - 14 mm Querschnitt bei $7.0 \mu\text{m}$ Auflösung

Messverfahren

Tomographische Verfahren erlauben die zerstörungsfreie dreidimensionale Abbildung der Massenverteilung realer Objekte. Die Röntgentomographie beruht dabei wie die herkömmliche Radiographie auf der Durchstrahlung dieser Objekte und dem Detektieren der geschwächten Strahlung. Im Unterschied zur Radiographie werden hierbei viele Einzelbilder unter verschiedenen Betrachtungswinkeln aufgenommen. Dazu wird die Probe im Strahl in kleinen Schritten rotiert. Aus der Vielzahl der so entstehenden Projektionen können horizontale Schnittebenen durch das Objekt und daraus das vollständige dreidimensionale Bild rekonstruiert werden.

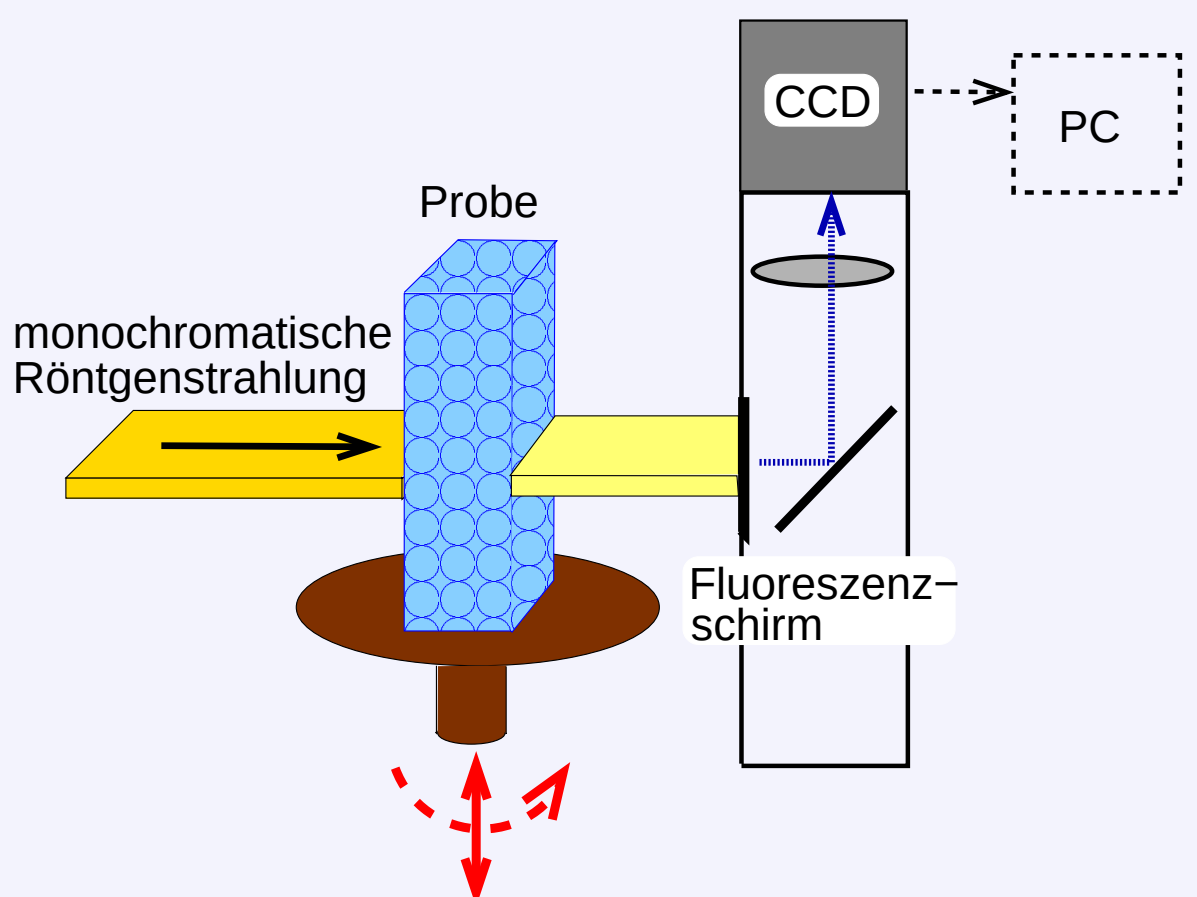
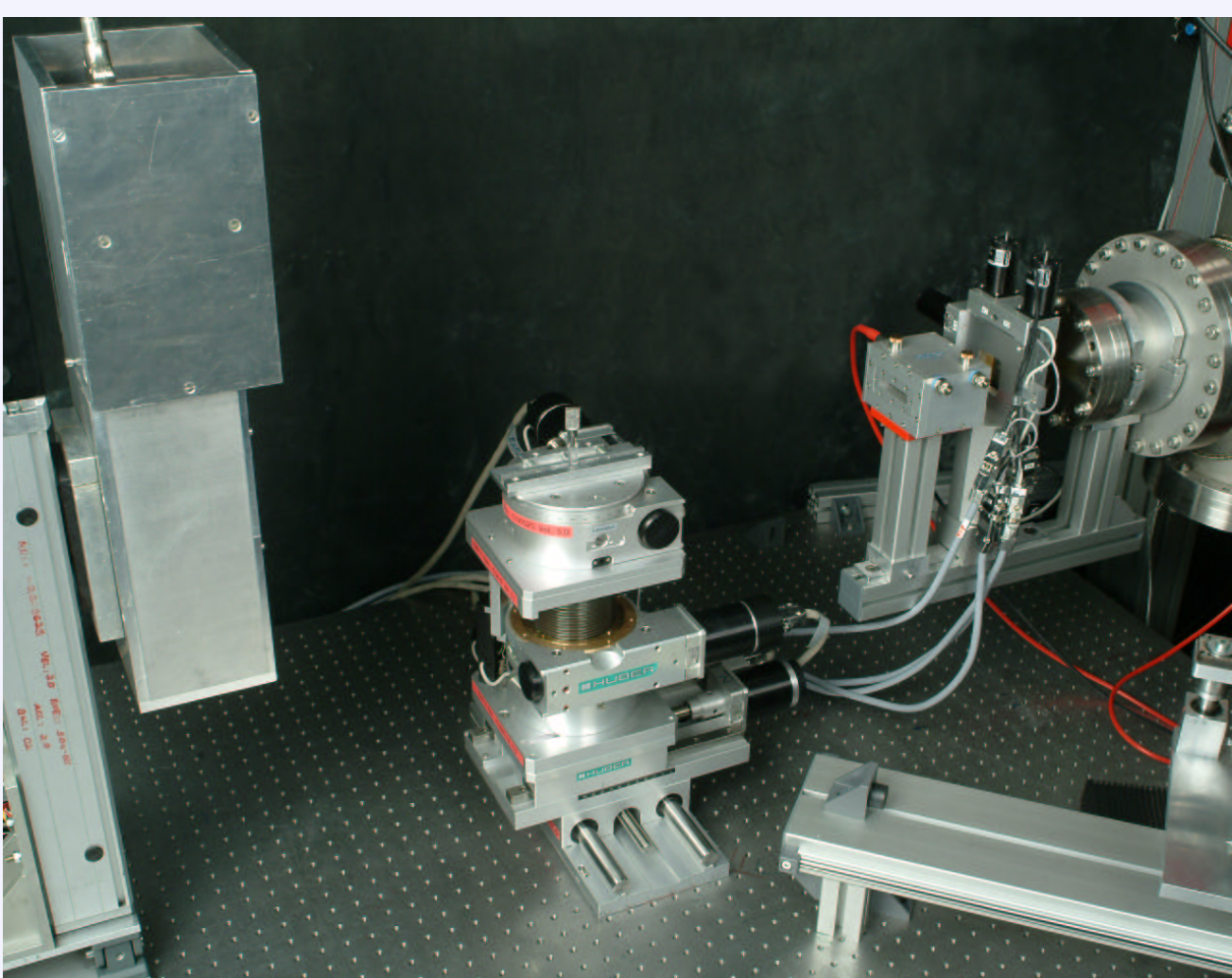
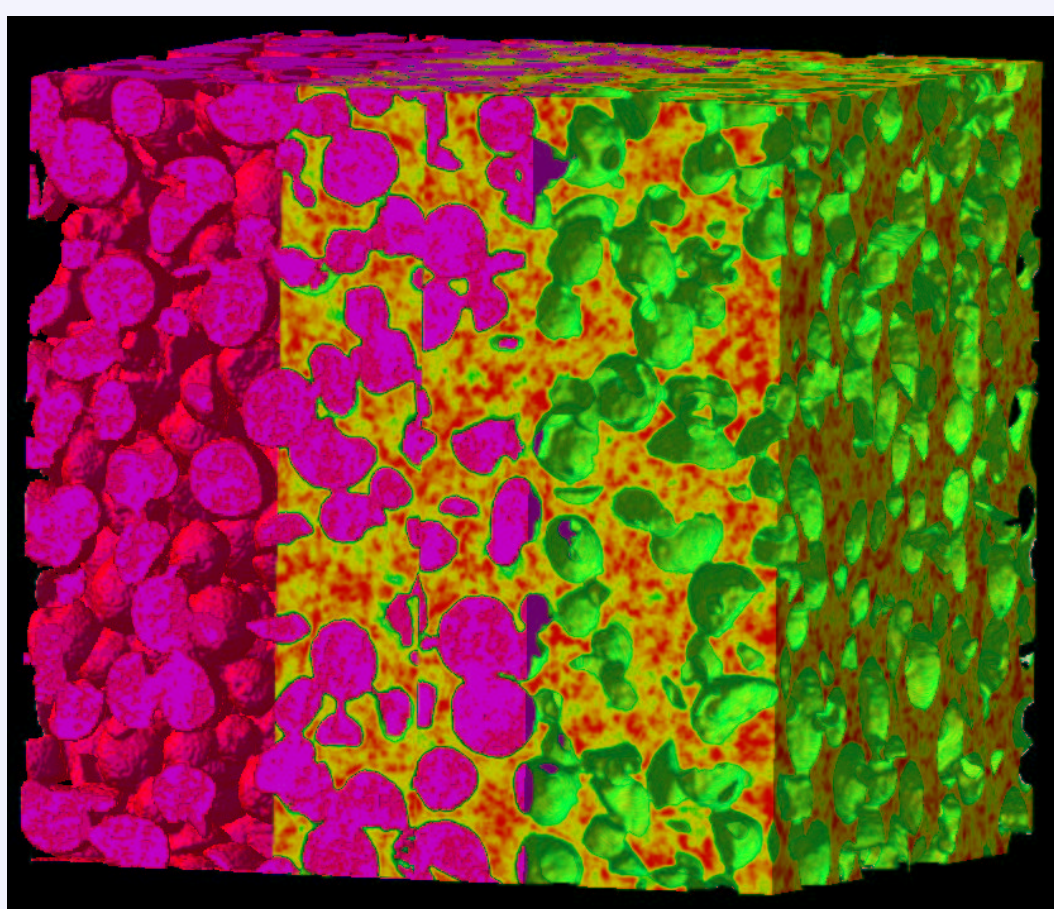


Foto und Skizze des Tomographie-Messaufbaus
BAMline @ BESSY II

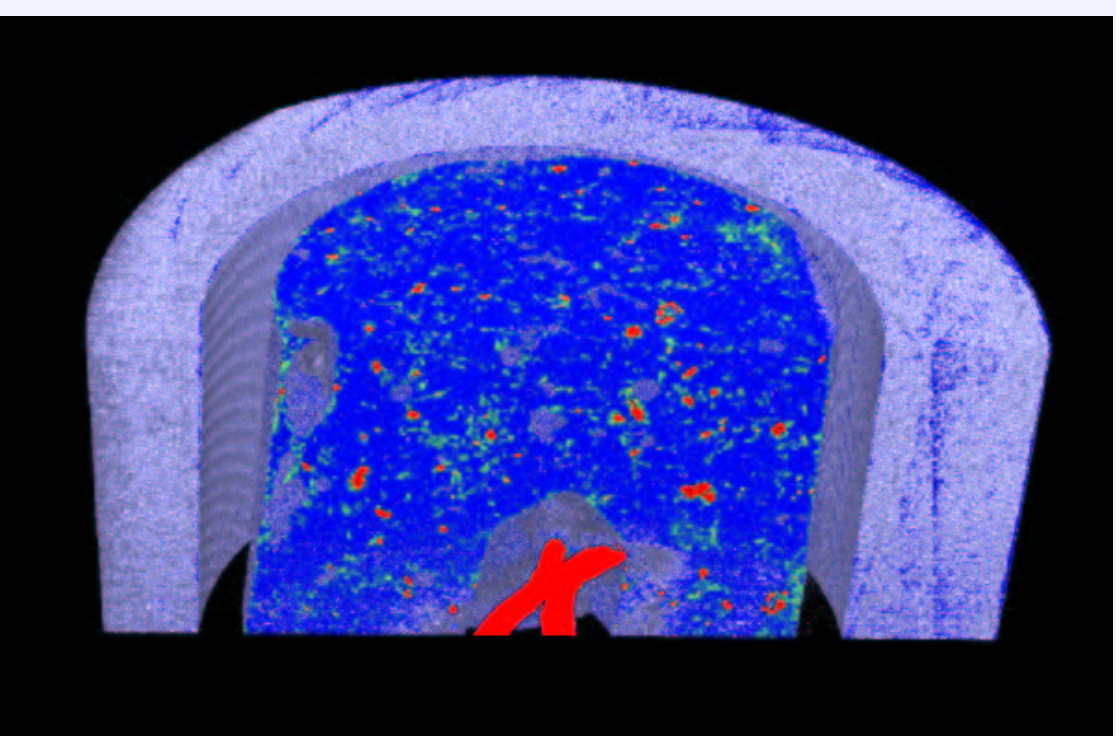
Anwendungsbeispiele

Metallschaum



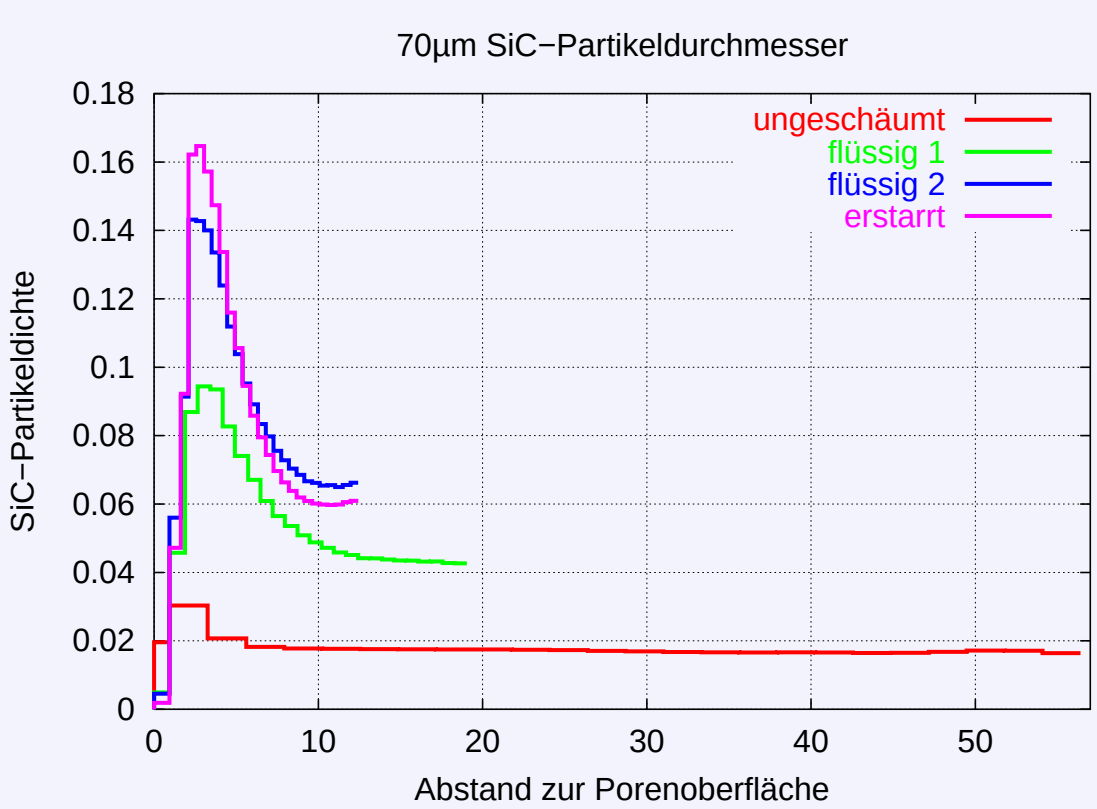
Porenverteilung im Aluminiumschaum (5 mm^3 , $E=25 \text{ keV}$). Die rechte Seite des Bildes zeigt die poröse Metallmatrix, links wurde das Bild invertiert. Hier sind nur die Poren sichtbar. In der Mitte überlappen beide Bildbereiche.

Anordnung schaumstabilisierender Keramikpartikel in Metallschäumen



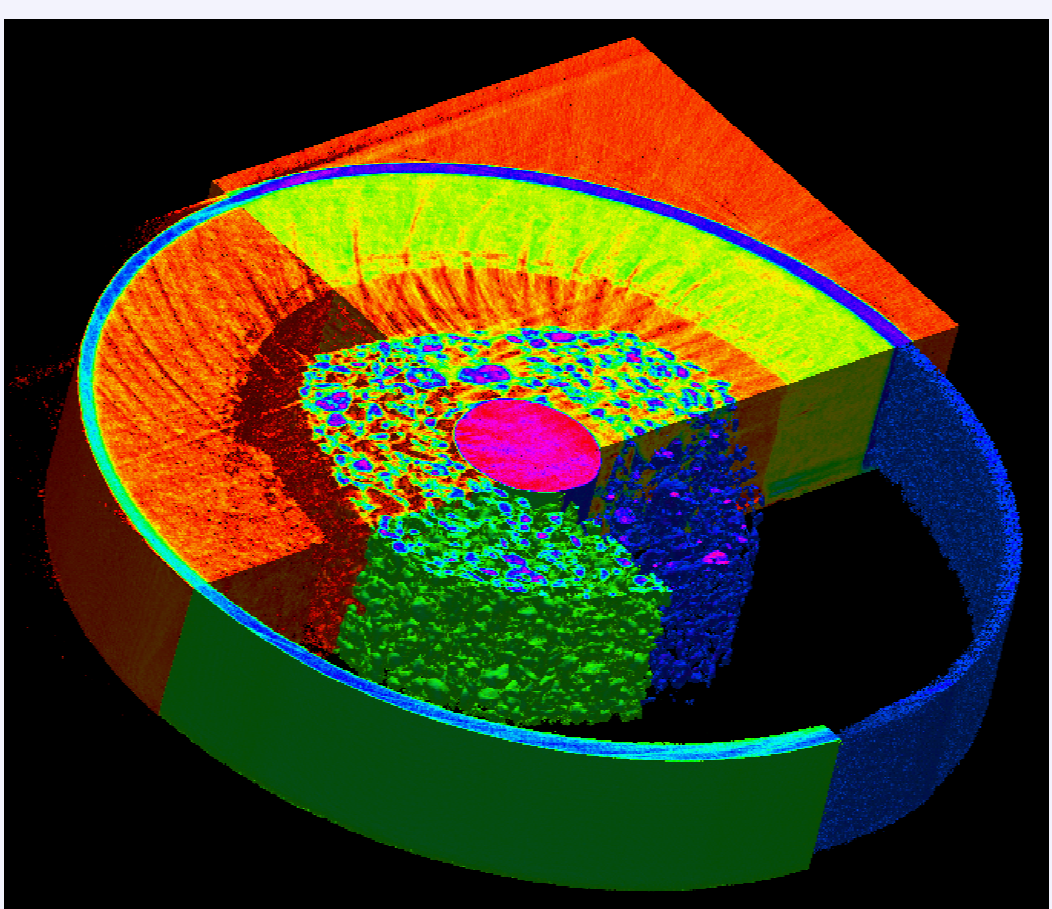
Tomogramm des Metallschaumvormaterials AlSi10Mg (blau) + 0.5% TiH₂ (rot) + 10% SiC (grün, $70 \mu\text{m}$ Partikelgröße). Der Probenquerschnitt incl. Glaszylinder ca. 6 mm. Unten Thermo-element (rot) erkennbar.

Korrelation: SiC-Partikel – Poren



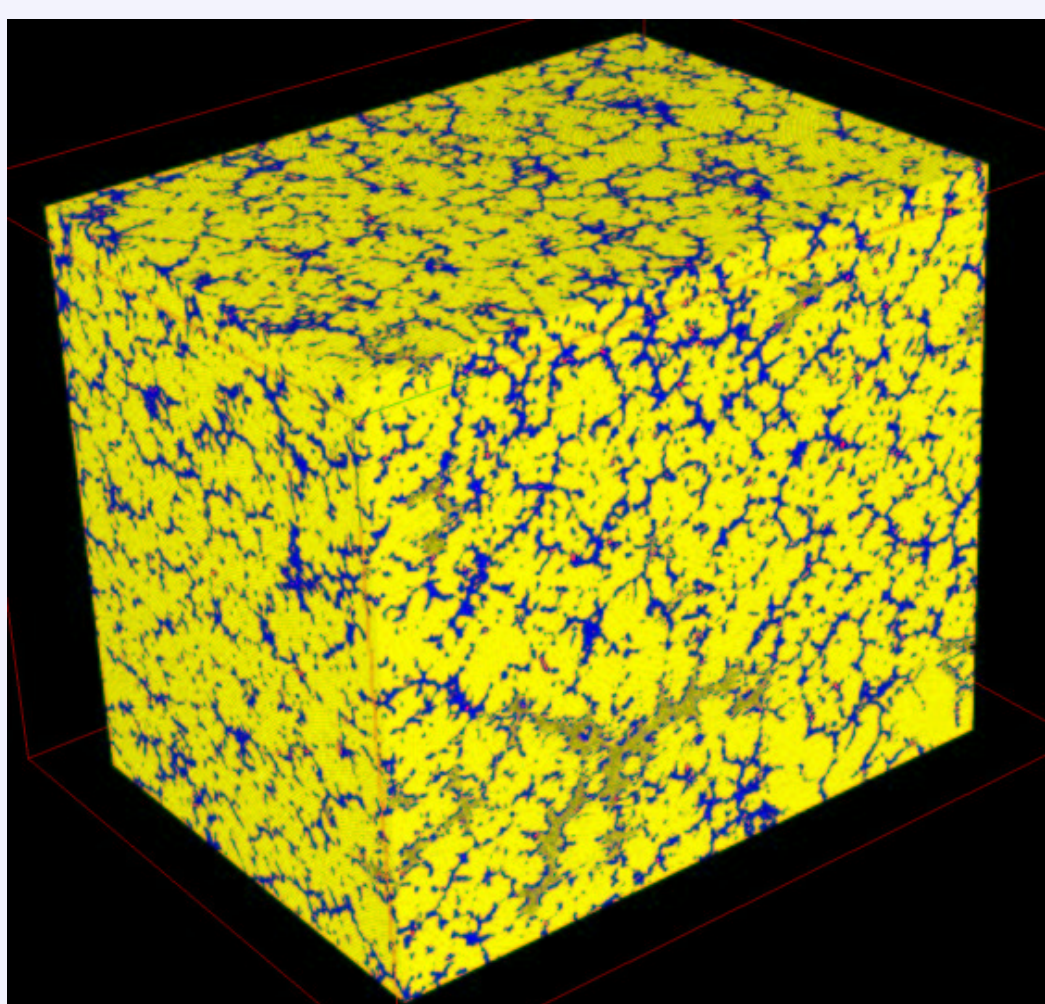
- ungeschäumt: SiC-Partikel gleichmäßig verteilt (keine Korrelation)
- flüssig: Korrelation zwischen Poren und SiC-Partikeln setzt ein
- erstarrt: SiC-Partikel stark korreliert

Batterie



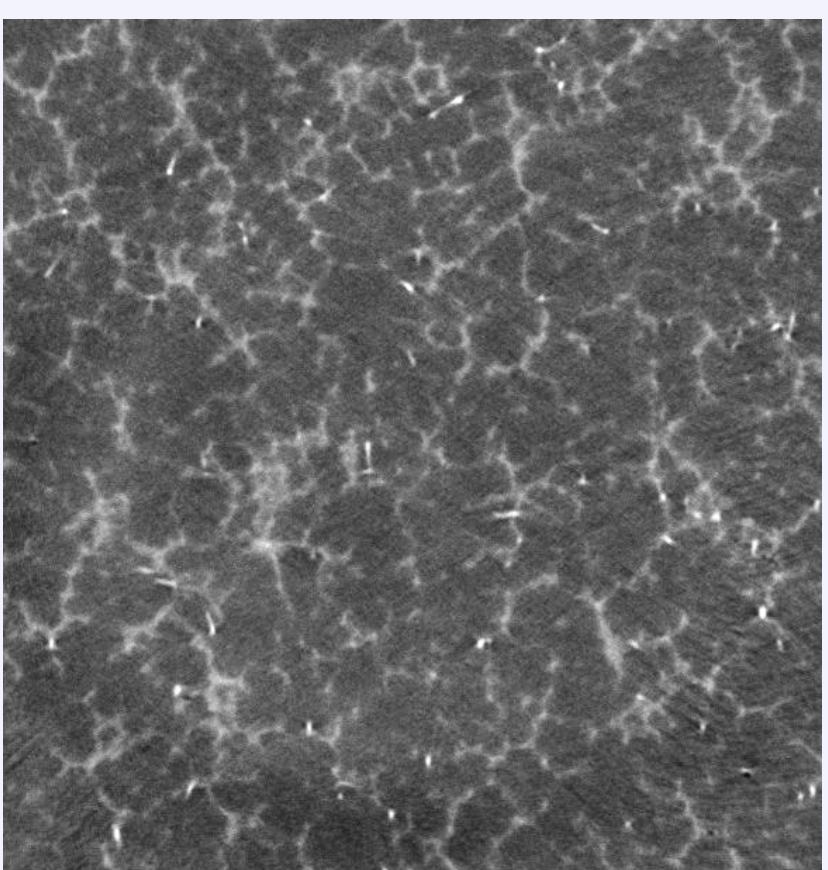
Innere Struktur einer Batterie (Durchmesser 1 cm, $E=60 \text{ keV}$). Die vier dargestellten Quadranten zeigen durch sukzessives Transparentsetzen der Bildinformationen die verschiedenen Bestandteile der Batterie.

Mikrostruktursegmentierung am Beispiel einer thixotropen Legierung

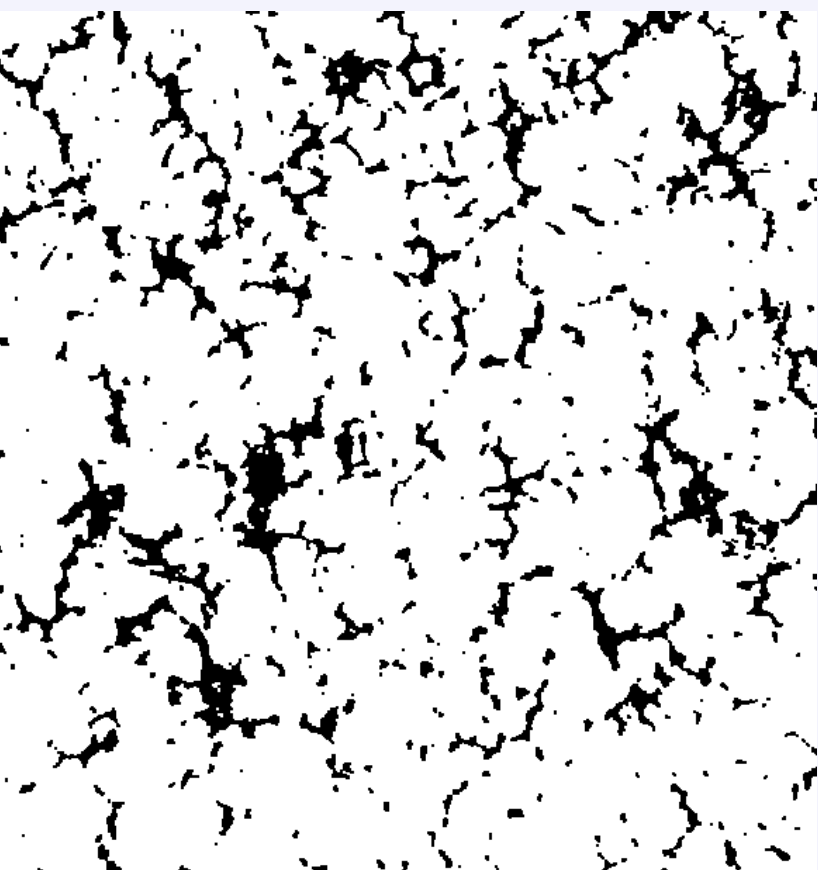


Tomographische Aufnahme einer Magnesium-Thixo-Legierung (AZ91) hergestellt aus 90 Gew.% Magnesium, 9 Gew.% Aluminium und 1 Gew.% Zink. Das feinkörnige, globulare Festphasenskelett (gelb) liegt eingebettet in einer schmelzflüssigen Matrix (blauer Bereich). Der Flüssigphasenanteil entspricht ca. 10% (variabel je nach Herstellungstemperatur).

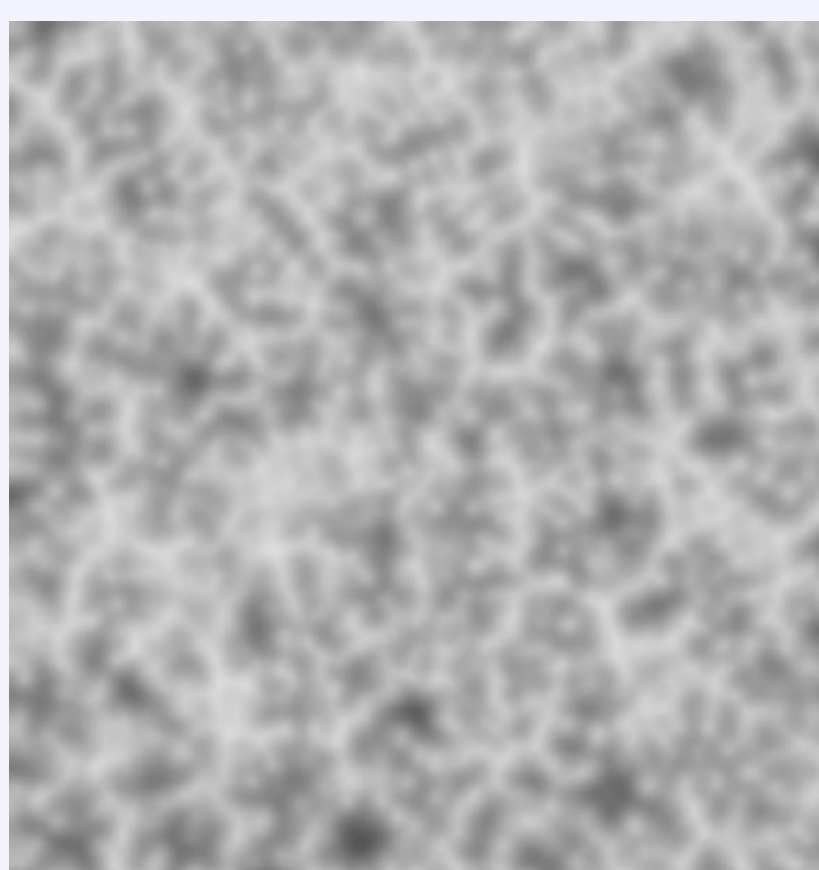
Start: Graustufenbild des Tomogramms



Schritt 1: binarisiertes und entrauschtes Bild



Schritt 2: Euklidische Distanz-Transformation (EDT)



Schritt 3: Segmentierung durch Wasserscheiden-Transformation



Ergebnis

Volumenanteilgewichtete Partikelgrößenverteilung des globularen Festphasenskeletts der AZ91-Thixolegierung mit 10% Flüssigphasenanteil. Die gaussförmige Verteilung verdeutlicht die homogene Probenstruktur.

