

Identifizierung verschiedener Defekttypen in Ti-6Al-4V mittels Röntgen-Refraktion

René LAQUAI¹, Galina KASPEROVICH², Jan HAUBRICH²
¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
² DLR - Institut für Werkstoff-Forschung, Köln

Kontakt: rene.laquai@bam.de

Kurzfassung

Das selektive Laserschmelzen (SLM) ist eine pulverbasierte, additive Fertigungsmethode, welche die Herstellung von komplex und individuell geformten Bauteilen ermöglicht. Im Laufe der vergangenen Jahre haben verschiedene Branchen, unter anderem die Luft- und Raumfahrt Industrie, begonnen diese Technologie intensiv zu erforschen. Insbesondere die Titanlegierung Ti-6Al-V4, welche aufgrund ihrer Kombination von mechanischen Eigenschaften, geringer Dichte und Korrosionsbeständigkeit häufig in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wird, eignet sich für die Herstellung mittels SLM. Allerdings können durch nicht optimal gewählte Prozessparameter, welche für gewöhnlich in einer Energiedichte zusammengefasst werden, Defekte in den Bauteilen entstehen.

In dieser Studie wurde untersucht, in wie weit Röntgen-Refraktionsradiographie geeignet ist diese Defekte zu detektieren und zu charakterisieren. Bei der Röntgen-Refraktionsradiographie wird die Röntgenstrahlung, nachdem sie die Probe transmittiert hat, über einen Analysatorkristall gemäß der Bragg-Bedingung in den 2D-Detektor reflektiert und dabei nach ihrer Ausbreitungsrichtung gefiltert. Dadurch wird neben der Schwächung auch die Ablenkung der Röntgenstrahlung durch Refraktion im inneren der Probe zur Bildgebung ausgenutzt. Aus den aufgenommenen Refraktionsradiogrammen kann der Refraktionswert berechnet werden. Dieser ist ein Maß für die Menge an inneren Oberflächen in der Probe.

Zum einen konnte gezeigt werden, dass die Röntgen-Refraktionsradiographie Defekte detektieren kann, die kleiner sind als die Ortsauflösung des verwendeten 2D-Detektors. Zum anderen können zwei verschiedene Typen von Defekten unterschieden werden. Bei dem ersten Typ handelt es sich um runde Poren mit geringer innerer Oberfläche. Diese, sogenannten „keyhole pores“ sind charakteristisch für eine zu hohe Energiedichte während des SLM Prozesses. Bei dem zweiten Typ handelt es sich um nicht komplett aufgeschmolzenes Pulver. Diese Defekte zeichnen sich durch eine hohe innere Oberfläche aus und sind charakteristisch für eine zu geringe Energiedichte. Vergleichende Messungen mit hochauflösender Synchrotron CT und optischer Mikroskopie bestätigen die charakteristischen Formen der verschiedenen Defekte.

28.11.2017

IDENTIFIZIERUNG VERSCHIEDENER DEFEKTTYPEN IN TI-6AL-4V MITTELS RÖNTGEN-REFRAKTION

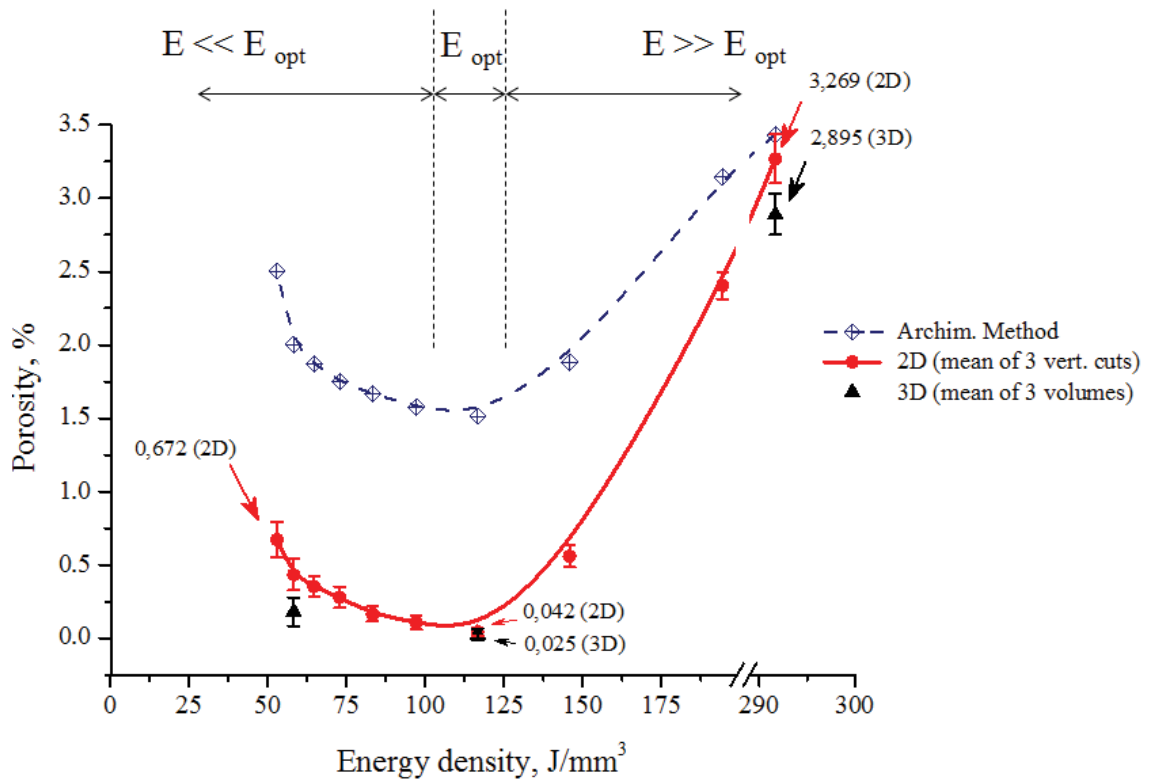
R. LAQUAI¹, G. KASPEROVICH², J. HAUBRICH²

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

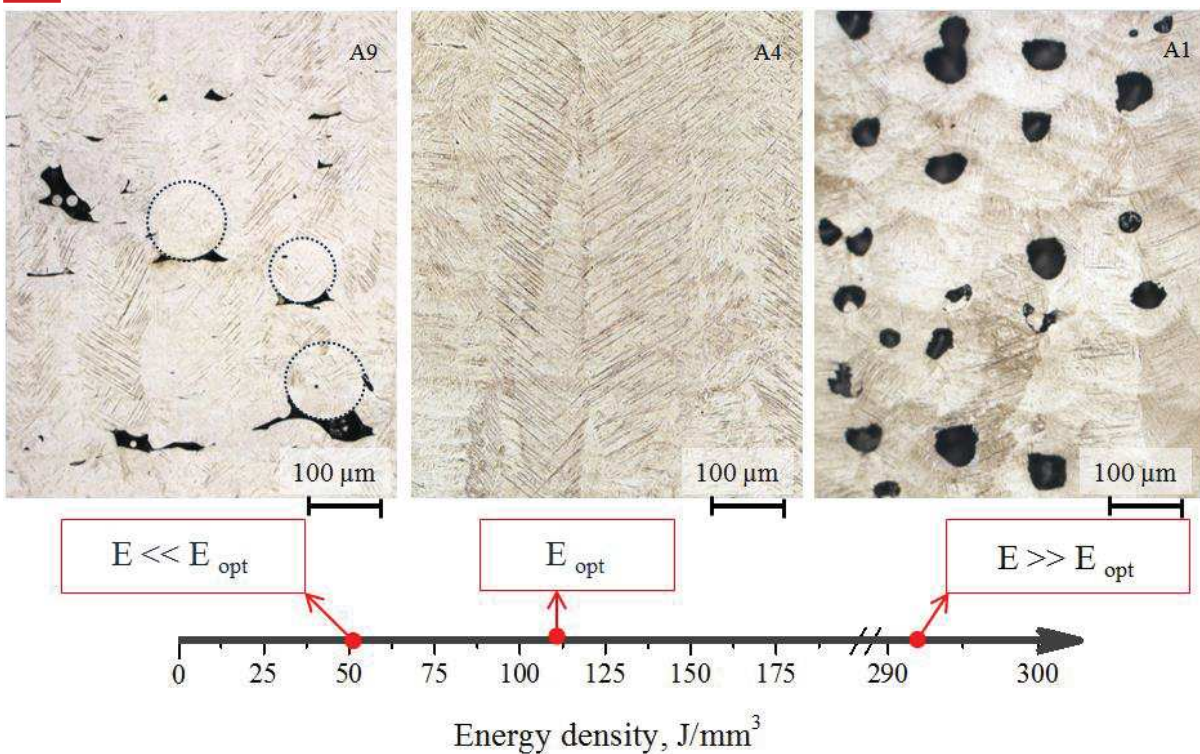
²Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

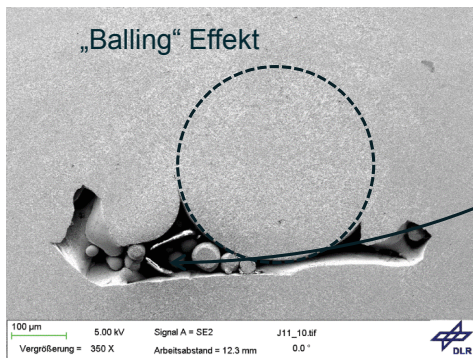
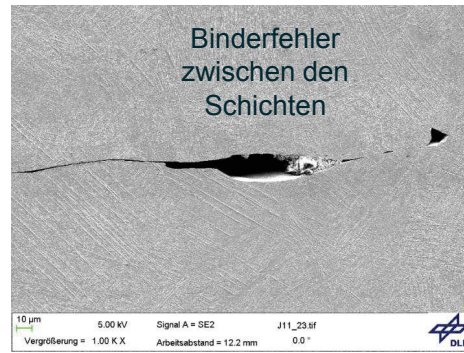
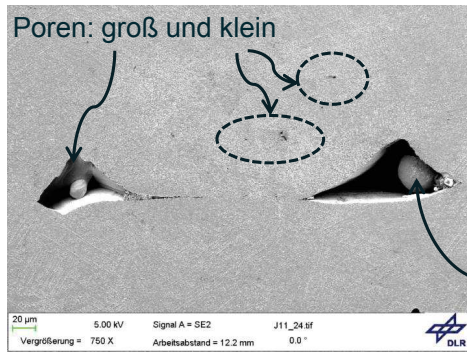
Porosität in SLM Ti-Al6-V4

Porosität in Abhängigkeit der Energiedichte

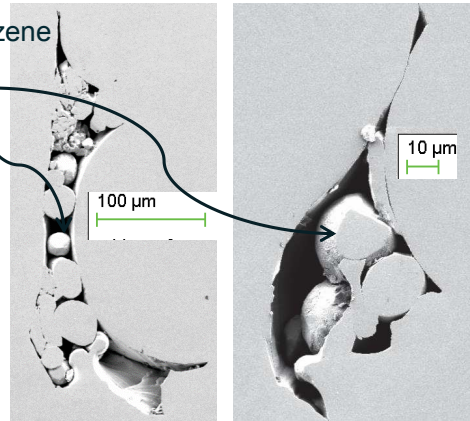


Defekttypen in Abhängigkeit der Energiedichte

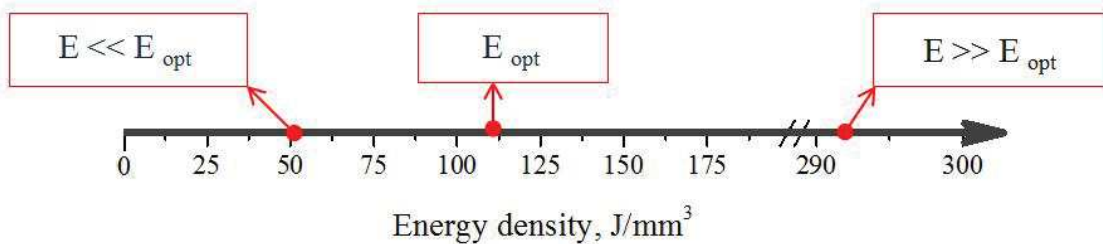
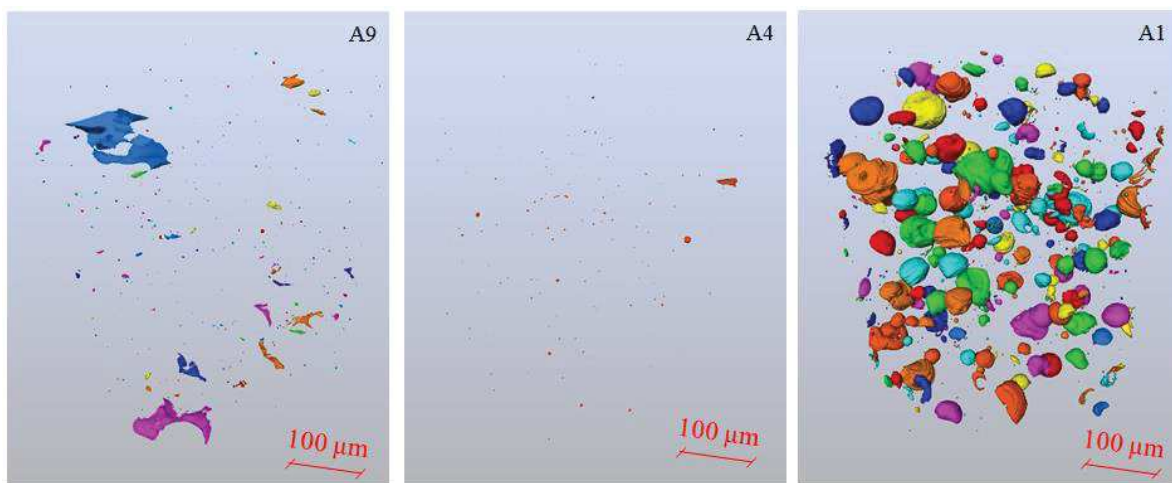




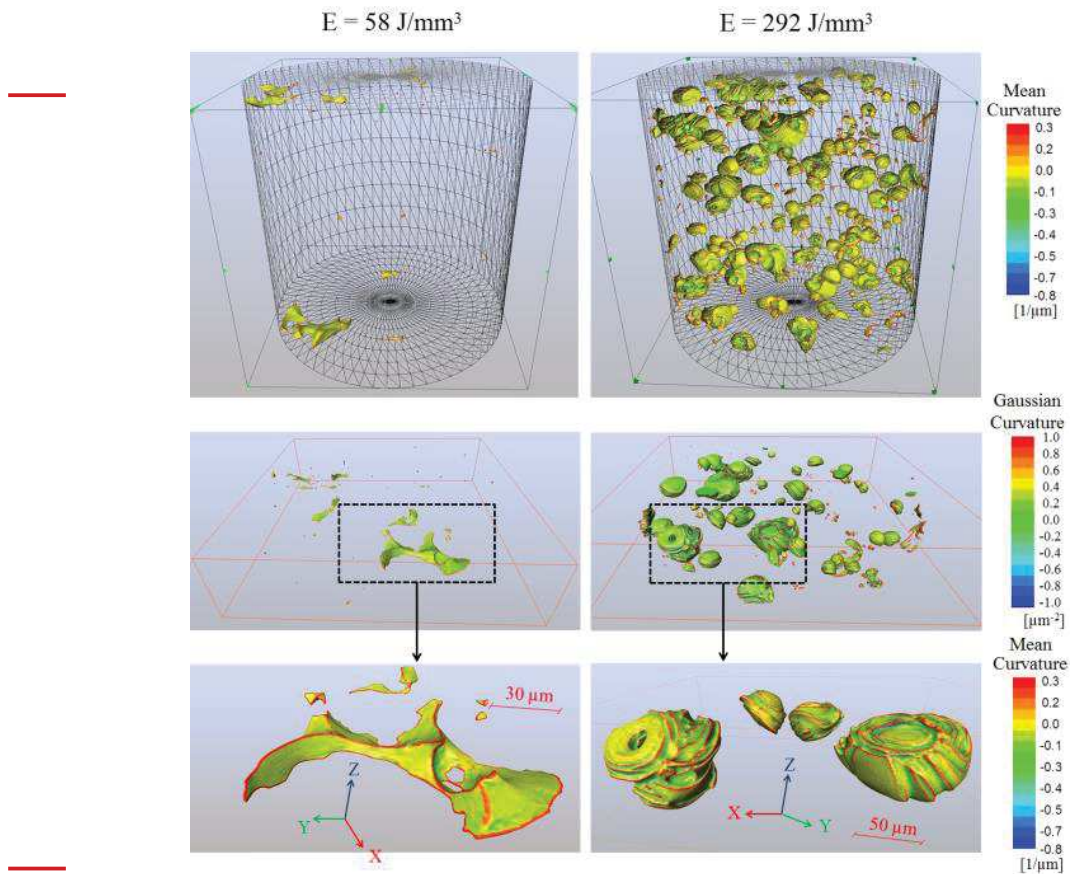
nicht geschmolzene Partikel



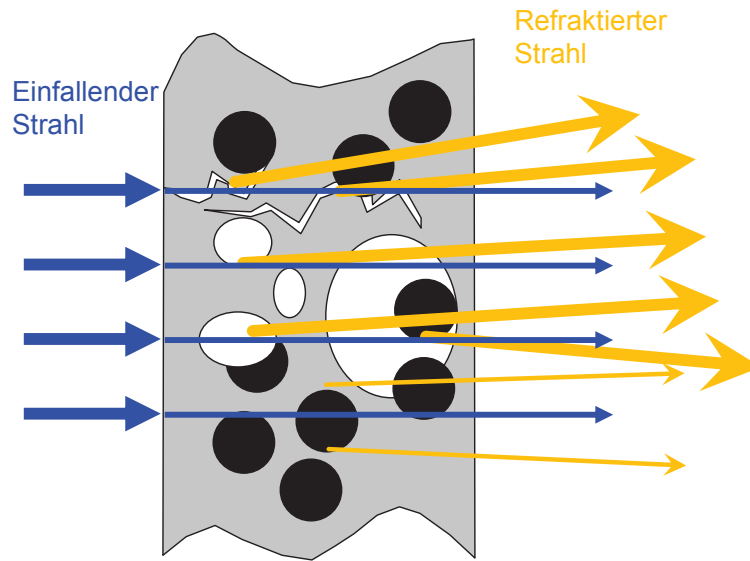
Defekte – 3D Analyse



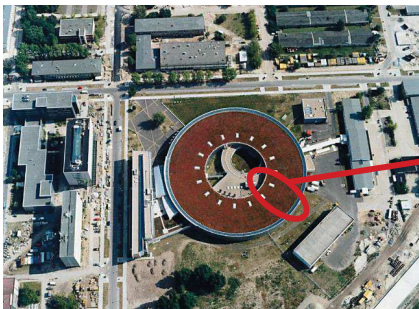
Defekte – 3D Analyse



Röntgen-Refraktions-Radiographie



Synchrotron Lichtquelle



BESSY II – Berlin/Adlershof



BAMline – Experimental Hutch

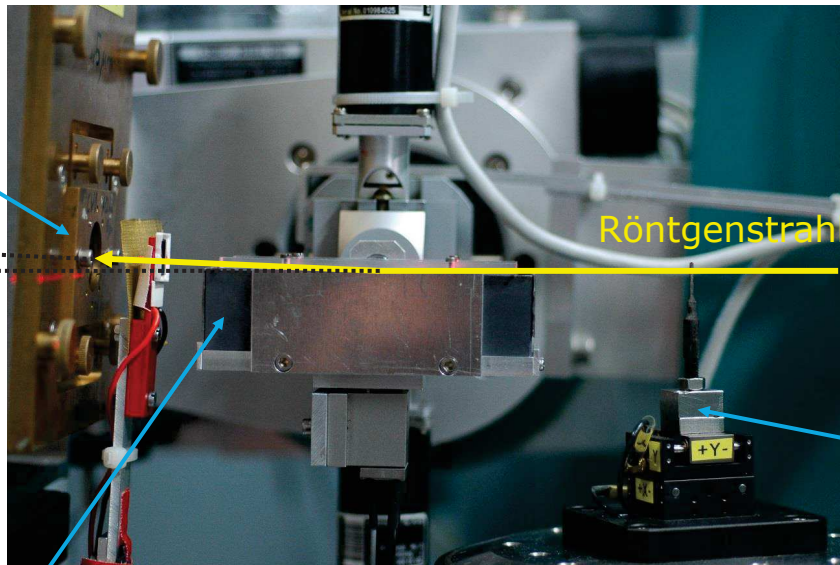
7T Wellenlängenschieber

Si(111) Doppelkristallmonochromator

} Photonenenergie: 5 – 50 keV

Detektor

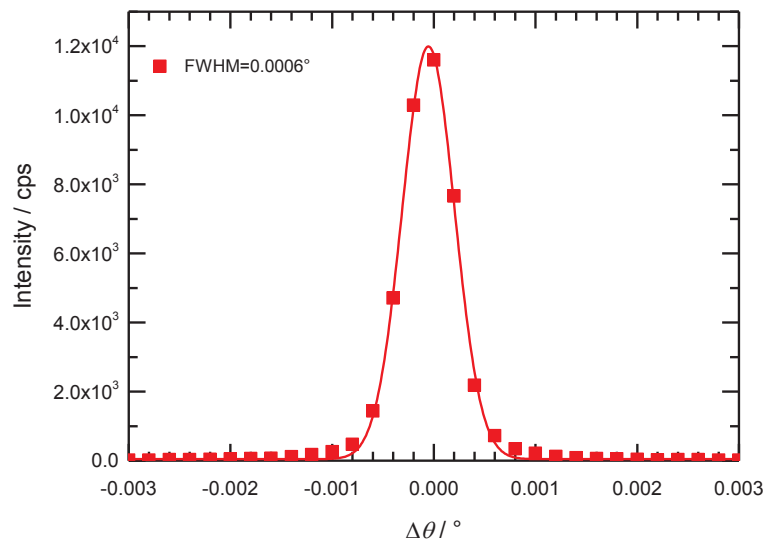
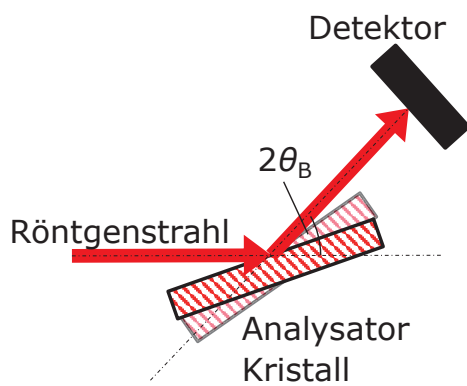
$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta_B$$

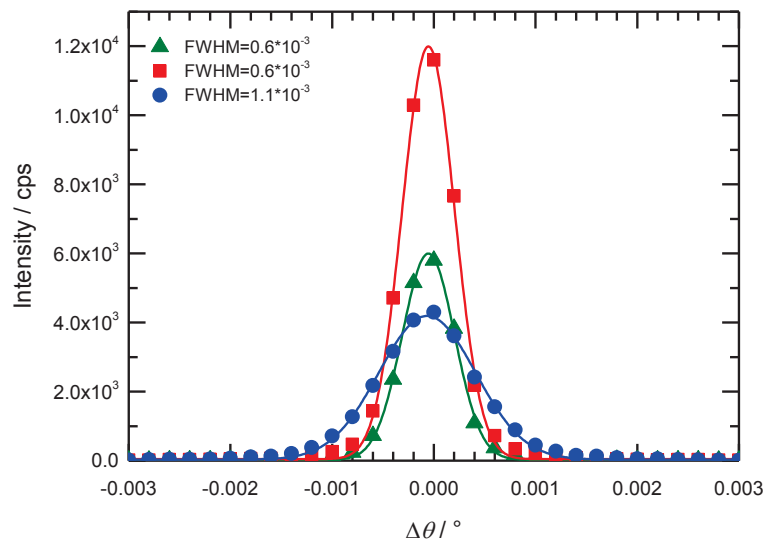
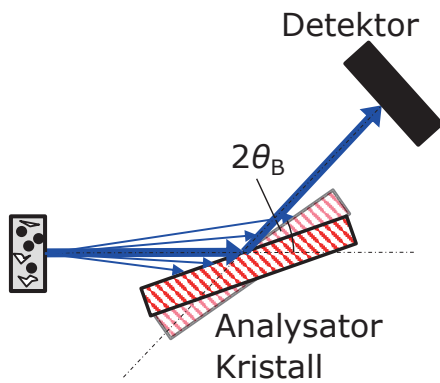
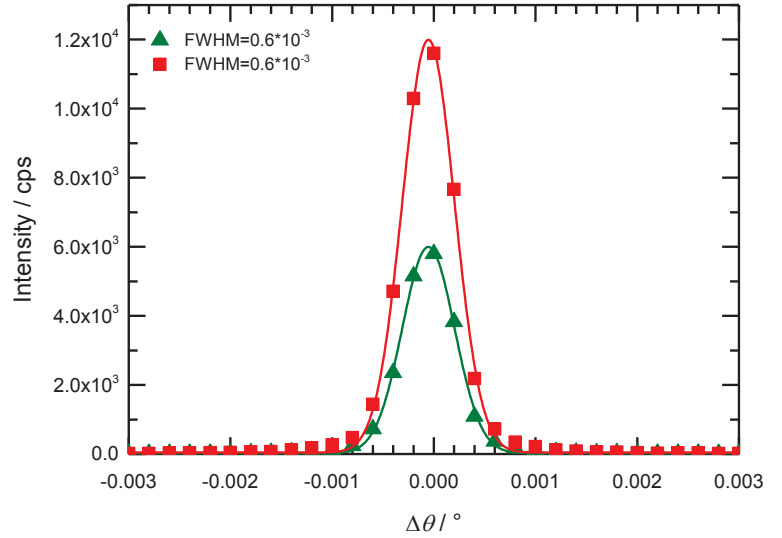
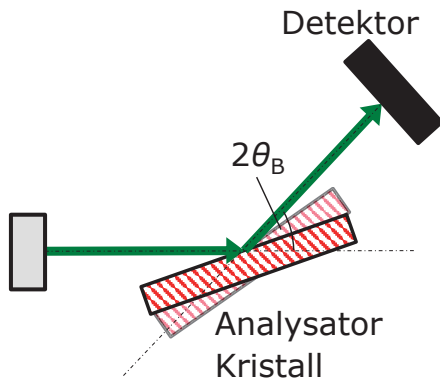


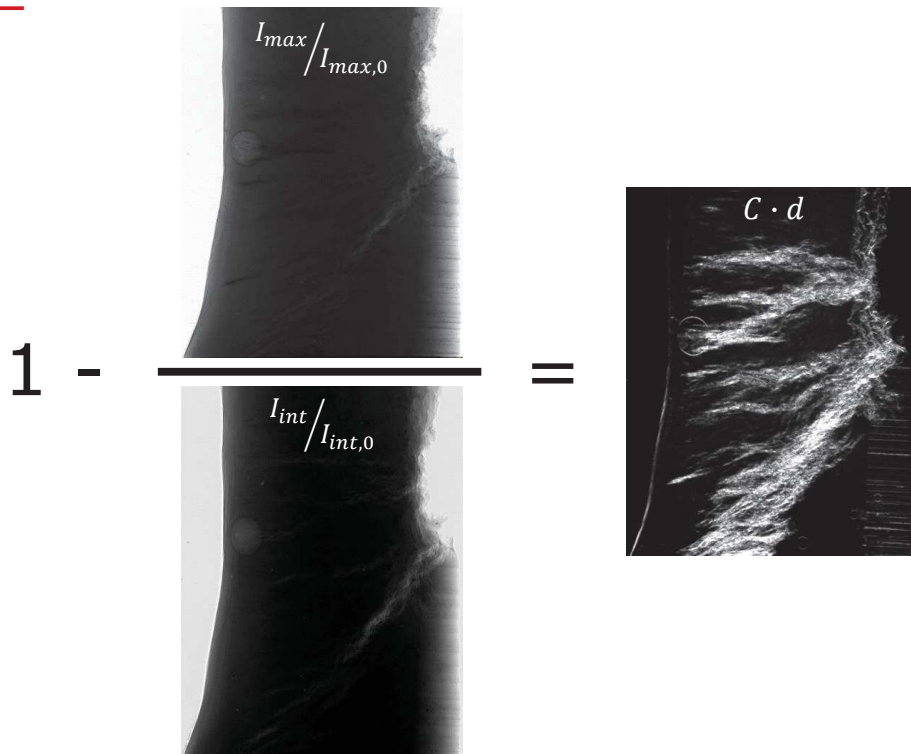
Probenhalter

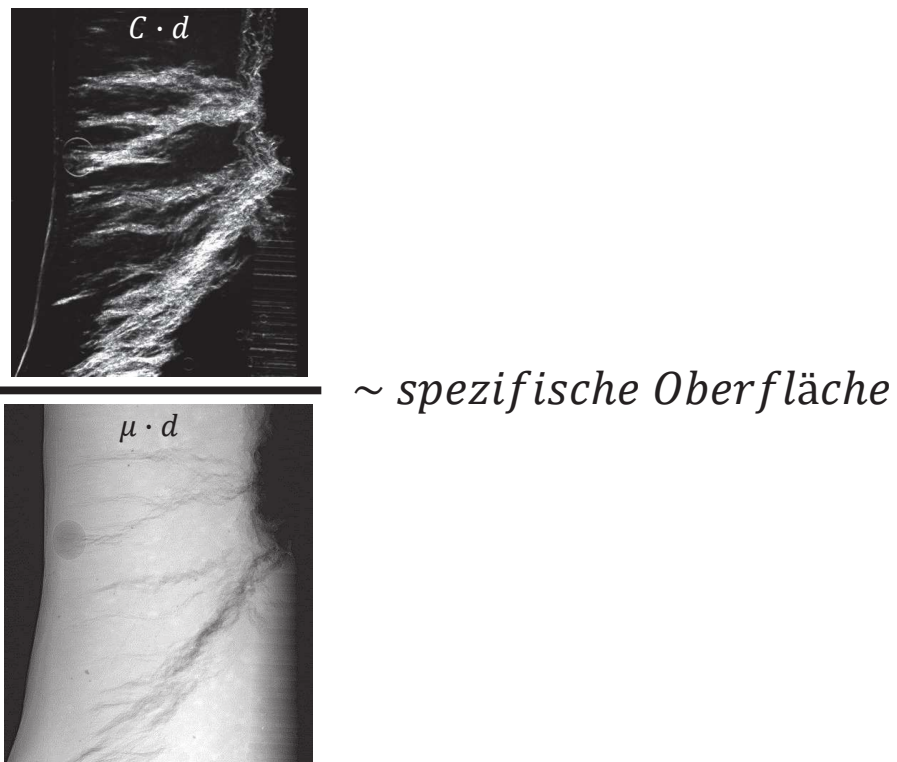
Si (111) Analysator Kristall

Rocking Curve – freier Strahl



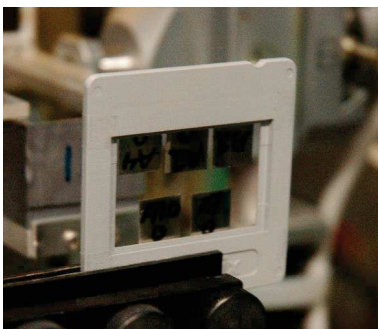


$$1 - \frac{I_{max}/I_{max,0}}{I_{int}/I_{int,0}} = C \cdot d$$



$$\frac{C \cdot d}{\mu \cdot d} \sim \text{spezifische Oberfläche}$$


Ergebnisse der Refraktions- Radiographie

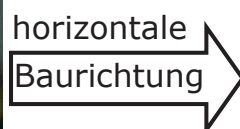
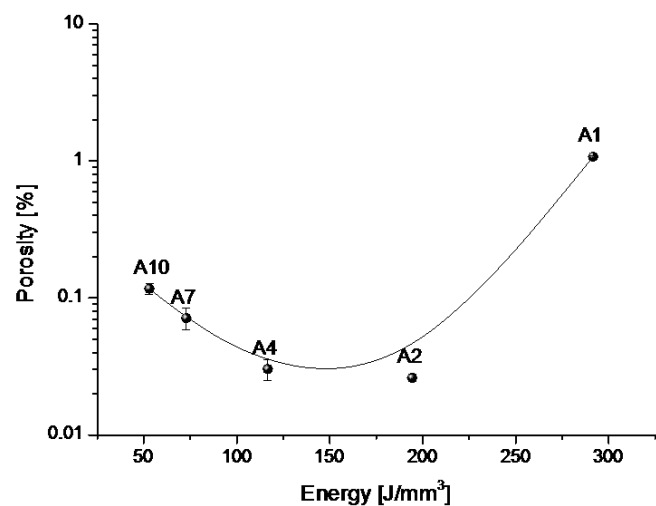
Experimentelle Details



vertikale
Baurichtung

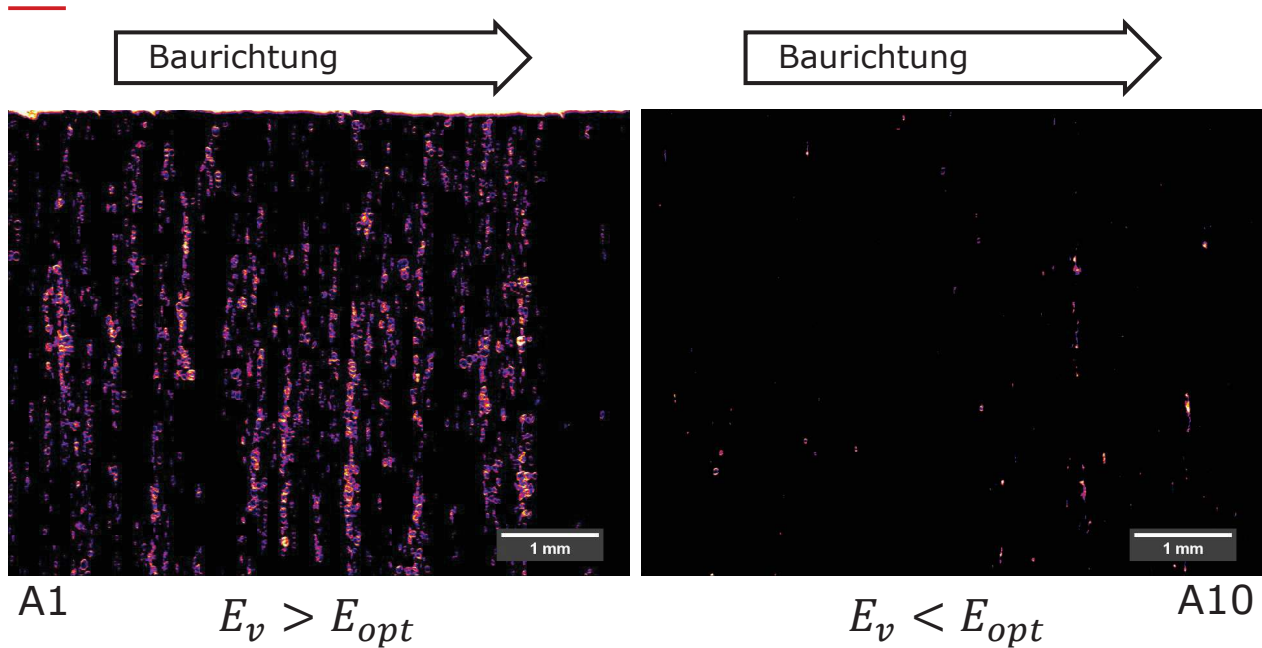



horizontale
Baurichtung

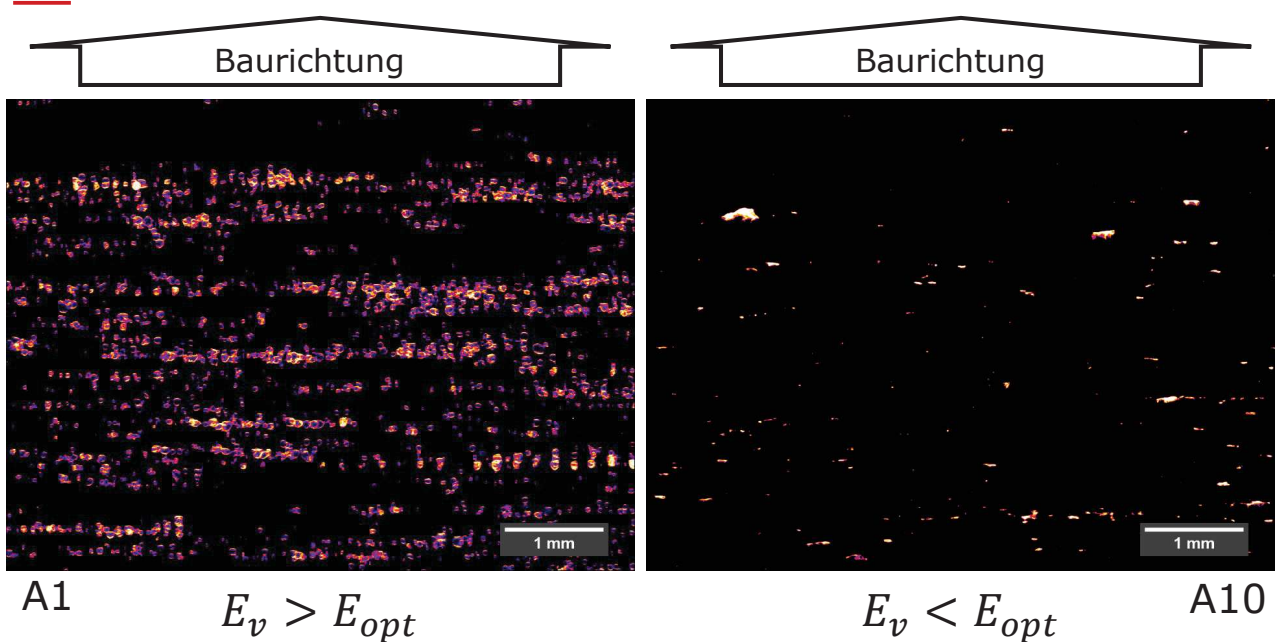



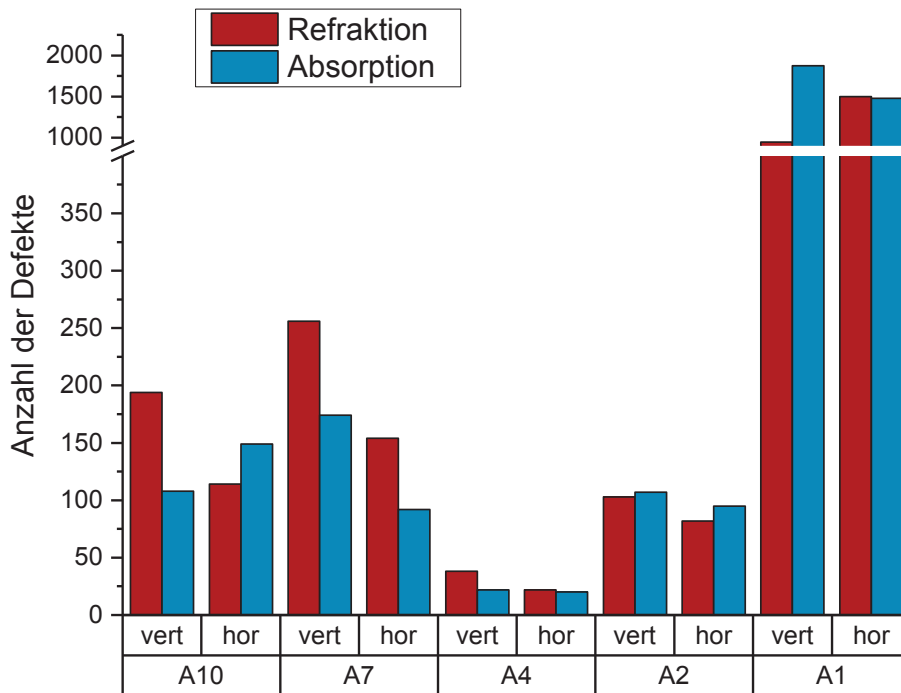
Photonenenergie: 25 keV
 Pixelgröße: 3,98 x 3,98 μm^2
 Ortsauflösung: 6 x 6 μm^2
 Probengröße (Sichtfeld): 4,8 x 6,3 x 1 mm^3

Refraktions-Radiogramme horizontal

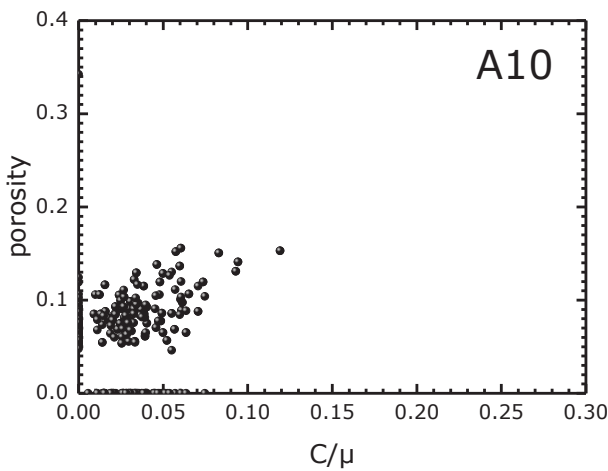


Refraktions-Radiogramme vertikal

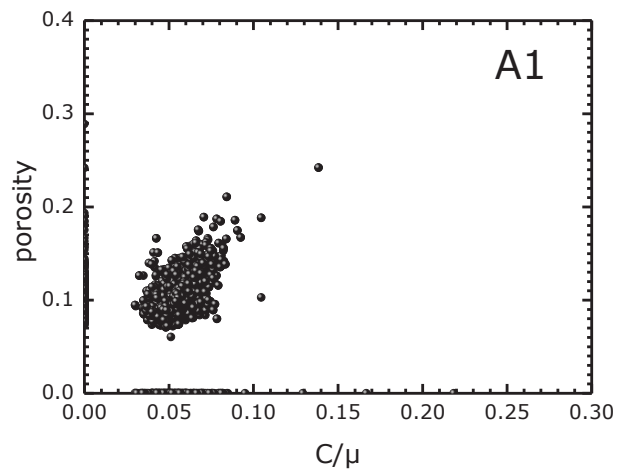




Scatterplots horizontal

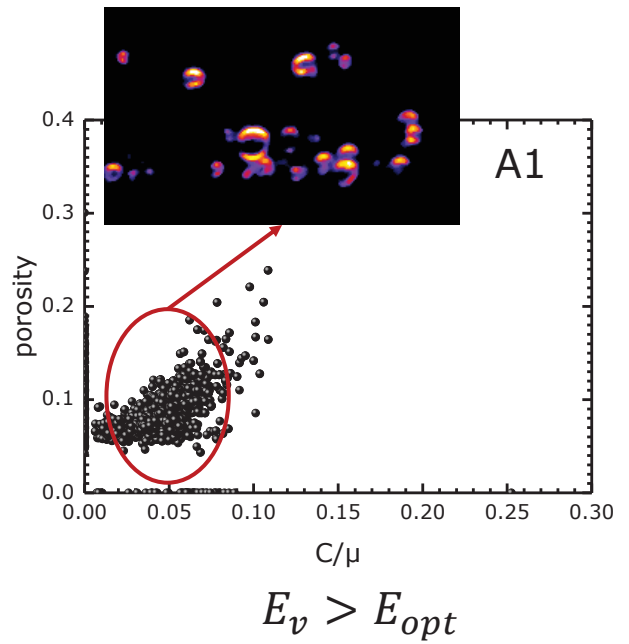
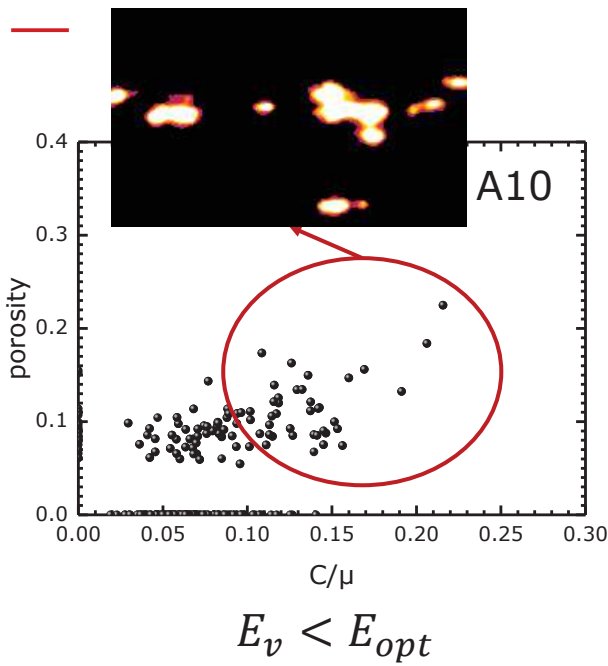


$$E_v < E_{opt}$$

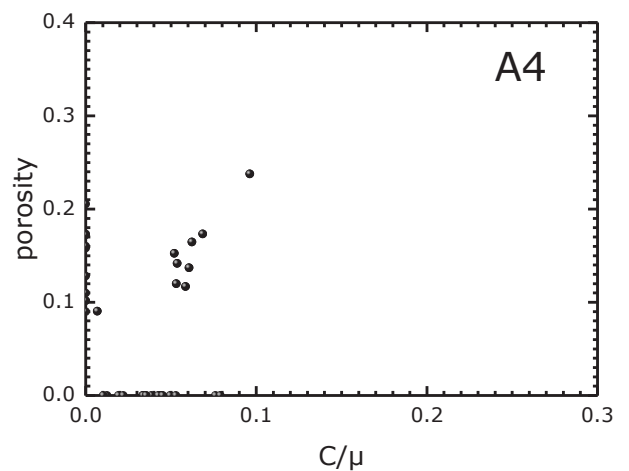
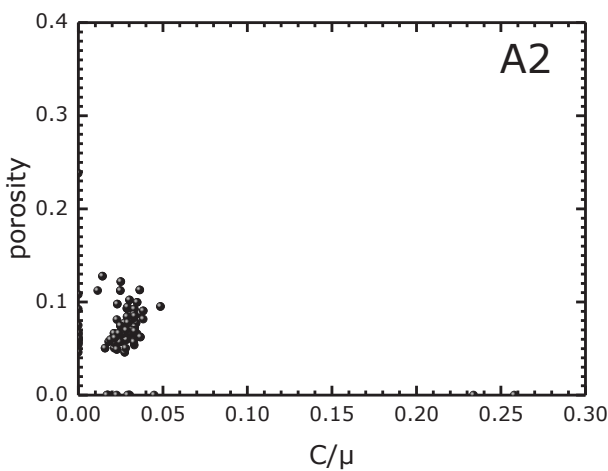


$$E_v > E_{opt}$$

Scatterplots vertikal

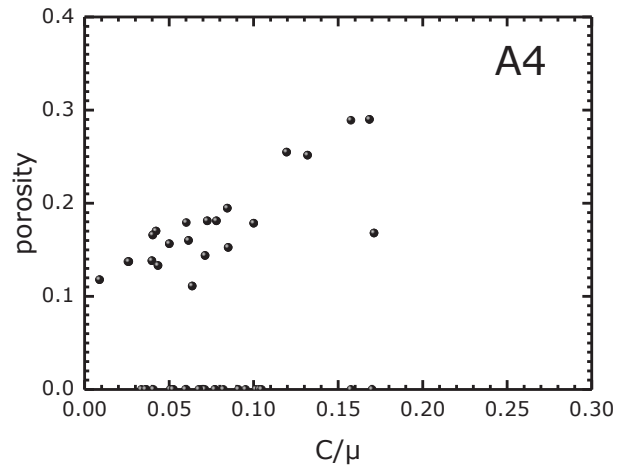
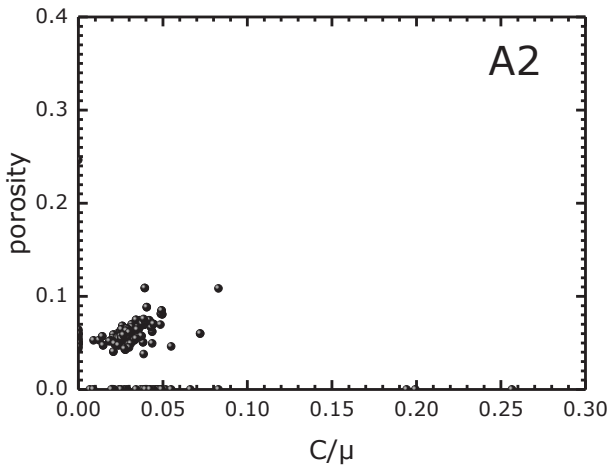


Scatterplots horizontal



$$E_v \approx E_{opt}$$

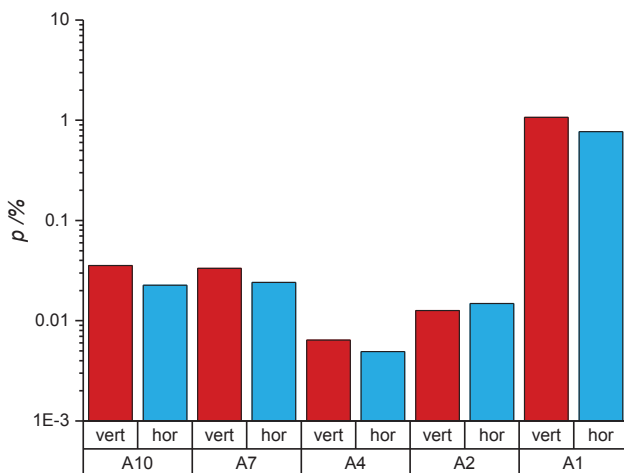
Scatterplots vertikal



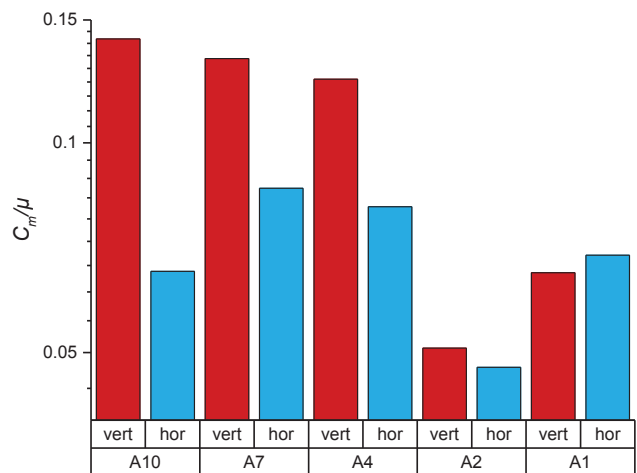
$$E_v \approx E_{opt}$$

Vergleich von Porosität und spezifischer Oberfläche

Porosität



Spezifische Oberfläche



- Identifizierung der unterschiedlichen Morphologie
 - Obwohl keine bildliche Darstellung
- Größtes untersuchtes Probevolumen der verglichenen Methoden
 - Detektion von Defekten ($< 1 \mu\text{m}$)
- Orientierung senkrecht zur Baurichtung
- Bei minimaler Gesamtporosität ist Morphologie nicht zwingend optimal

