

# Eine einfache aber langsame Art die Orientierung von segmentierbaren Fasern in 3D Voxelbildern zu ermitteln

Bernhard ILLERHAUS, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

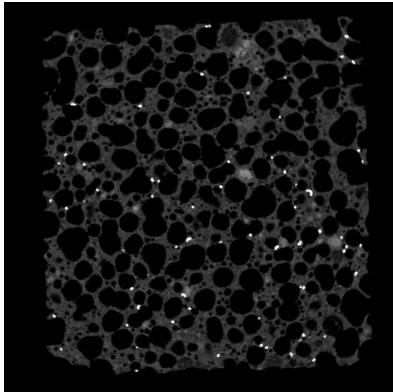
**Kurzfassung.** Nach einer Segmentierung (aus 3D Computertomographiebildern<sup>1</sup>) können die Fasern als einzige und nicht transparente Objekte dargestellt werden. Ein „ray tracer“<sup>2</sup> addiert die gewichtete sichtbare Projektion aller Fasern auf. Durch die im „ray tracer“ eingebaute Maximalschwelle werden in Auswerterichtung liegende Fasern bestimmt untergewichtet. Eine Auswertung über alle Winkel einer Halbkugel (in diskreten Schritten) ergibt die gesuchte Faserorientierung. Das Verfahren wurde für Fasergehalte im Ein-Volumenprozentbereich getestet.

## Vorbereitung

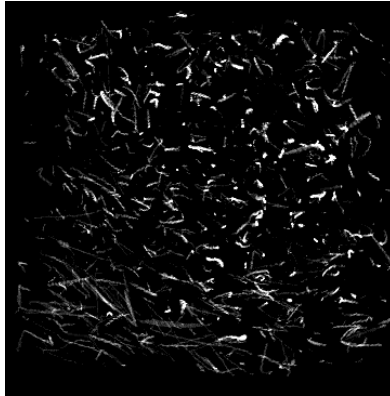
Abbildung 1. zeigt einen CT-Schnitt durch eine mit Stahlfasern angereicherte poröse Matrix. Die Fasern sind als kleine, helle Punkte zu erkennen, die Poren und luftgefüllte Bereiche sind schwarz, die Matrix in einem Grau dazwischen. Da es sich bei der Probe um einen *Ausschnitt* aus einer Größeren Probe handelt, sind in den Randbereichen viele der Fasern angeschnitten. Mit einer Schwellwertoperation werden nun die Fasern von der Matrix getrennt (die Bildmatrix der Originaldaten wurde um 2:1 verkleinert). In einem darin eingebundenen Schritt wird die Form und Größe der gefundenen Objekte analysiert. Dabei werden alle zu kleinen (hier unter 60 Voxel) und nicht länglichen Objekte ausgeschlossen. Alle als Faser erkannten Voxel werden mit 255 gekennzeichnet, alle anderen mit Null. Danach ergibt sich im „ray tracer“ die Abbildung 2., wobei hier zwei Winkel gewählt wurden, bei denen einmal viele Fasern in Blickrichtung liegen und beim zweiten die Auswerterichtung um 90grd dazu gedreht wurde. Verwendet wird ein paralleler „ray tracer“ mit der gleichen Voxelgröße wie das auszuwertende Volumen. Da der kubische Probenausschnitt gedreht werden muß, ist das Ausgabebild des „ray tracers“ aber größer. Ein „ray tracer“ Verfahren hat gegenüber einer Einzelanalyse der Fasern den Vorteil, daß es in diesem Fall egal ist, ob sich die Fasern berühren oder nicht. (Sollte das der Fall sein, so muß allerdings im vorherigen Schritt die Formbeurteilung ausgeschaltet sein.)

<sup>1</sup> B. Illerhaus, E. Jasiuniene, J. Goebbels, P. Löthman, „Investigation and image processing of cellular metals with highly resolving 3D micro-tomography ( $\mu$ CT)“, Proc. of SPIE Vol 4503 Developments in X-ray tomography III, paper 26, Dortmund, Germany, Jan 2002

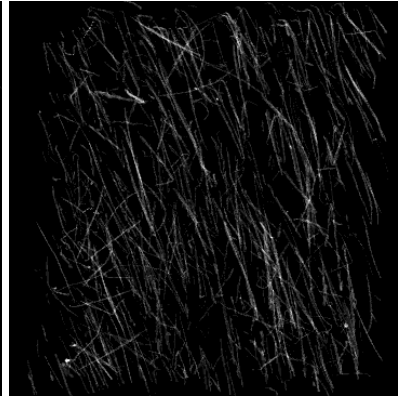
<sup>2</sup> Die hier genannten Bildverarbeitungsschritte sind entweder im AVS-Bildverarbeitungsprogramm standardmäßig enthalten oder wurden in diesem in C für Linux entwickelt.



**Abb. 1.** CT-Schnitt durch faser-verstärkte Matrix



**Abb. 2.** Zwei um 90grd versetzte Ausgaben des „ray tracers“



### Darstellung und Berechnung der Faserorientierung

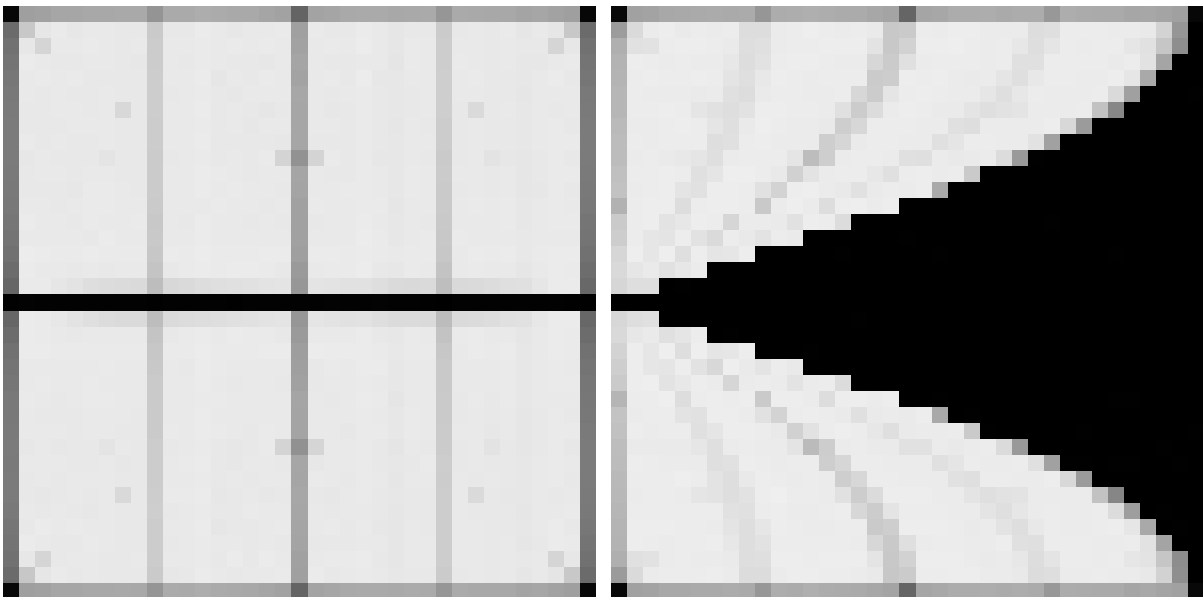
Neben den jeweiligen Drehwinkeln, aus denen die Ansicht erfolgt, muß dem „ray tracer“ noch die Durchsichtigkeit eines jeden Voxels vorgegeben werden. Bei einer Durchsichtigkeit von z. B. 0,1 ist der Bildpunkt nach zehn Voxeln also undurchsichtig. Dies gibt aber auch den Winkel vor, unter dem eine Faser noch abweichen darf, um noch als in diese Richtung liegend gewertet zu werden. Der „ray tracer“ hat damit hier einen Öffnungswinkel von 1:10 oder 5,74grd. Das Ausgabebild des „ray tracers“ wird nun vollständig aufsummiert (und durch die Anzahl der Bildpixel dividiert). Liegt in der beobachteten Richtung keine Orientierung vor, so entspricht die Summe der mit der Durchsichtigkeit gewichteten Summe aller Faservoxel, wobei der Faktor aus dem Öffnungswinkel berücksichtigt werden muß (s. u.). Der Einfachheit halber werden die beiden Winkel des „ray tracer“ in gleichen Schritten fortgeschaltet. Es würde sich so eine quadratische Ausgabematrix ergeben. Für die Auswertung der prozentualen Orientierung muß aber der Kugelhalbraum, der durch den „ray tracer“ beschrieben wird, flächenrichtig in die Ebene projiziert werden. Dabei muß zusätzlich berücksichtigt werden, daß der Öffnungswinkel nicht der (Fort)Schrittweite entspricht und dafür also ein Multiplikand berechnet werden muß.

Dies sei an einer virtuell erzeugten Faserverteilung gezeigt: Das Objekt besteht aus zweimal 20 mal 20 parallelen Linien(ebenen), die um 90grd versetzt angeordnet sind. Der eine Satz ist dabei etwas länger als der andere. Dann ergibt sich das Bild der Abbildung 3, wenn man alle Meßpunkte in der quadratischen Matrix einträgt (Schrittweite hier 5grd, jeweils von 0grd bis 180grd). Die eine Linienrichtung liegt bei 0grd/0grd, die andere am Pol der Halbkugel bei 90grd. Bei jedem Durchfahren des ersten Winkels wird der Pol überschritten, sodaß sich ein Minimum entlang der mittleren Linie ergibt. Flächenrichtig dargestellt ist diese Linie jedoch nur ein Punkt, wie in der Abbildung 4. zu sehen ist.

Die Abbildung 3. zeigt auch, daß das Verfahren nicht nur die direkte Orientierung der Fasern, entlang der Längsachse, darstellt, sondern auch, wie in diesem sehr theoretischen Fall, bei dem die Fasern exakt die gleiche Richtung und Ebene haben, eine Geometrie höherer Ordnung anzeigt.

## Auswertung der Messung

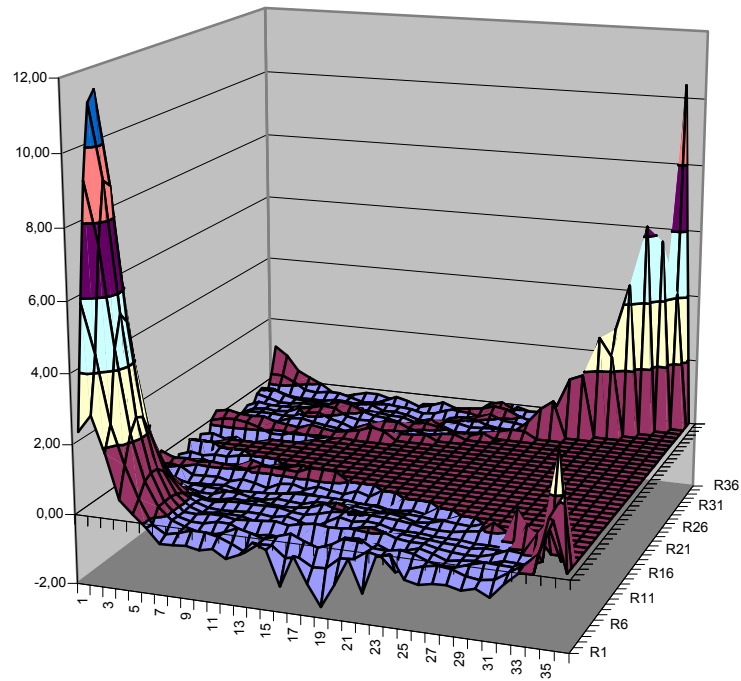
Zur Kontrolle und für die weitere Auswertung kann man die Gesamtsumme der gewichteten Faservoxel ermitteln. Diese Zahl ist dann der 100% Wert für eine vollständig gleichmäßige Richtungsverteilung in der nachfolgenden Auswertung. (Mit zunehmendem Volumenanteil der Fasern erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, daß sich in einem Punkt zufällig so viele Fasern überlagern, daß dieser Punkt nicht mehr richtig zur Gesamtsumme beiträgt.) Der Wert für eine vollständige Ausrichtung in eine Richtung ergibt sich mit der durchschnittlichen Faserlänge, welche entweder bekannt sein sollte, oder aus den CT-Bildern bestimmt werden muß. Aus dem Gesamtwert aller Faservoxel geteilt durch die mittlere Faserlänge folgt die ungefähre Anzahl der Fasern; eine eventuelle Faserbreite ist zu berücksichtigen. Die Anzahl der Fasern mit dem Wert für Undurchsichtigkeit multipliziert ergibt den Minimalwert in der Summe des Ausgangsbildes des „ray tracers“. Damit läßt sich jetzt die prozentuale Verteilung der Fasern je Raumrichtung berechnen. Abbildung 5. zeigt dies für die oben vorgestellte Probe. Die wiedergegebene Verteilung der Orientierungen ist nur dann richtig, wenn die Gesamtsumme 100% ergibt. In dem hier gezeigten Fall mußte die Grauwertsumme von 3,6404 auf 3,57665. Dies kann man einer Ungenauigkeit im „ray tracer“ Prozeß erklärt werden. Der Maximalwert der Orientierung ändert sich dadurch von 13,17% auf 11,46%.



**Abb. 3.:** Ausgabe aller Meßpunkte gleichgewichtet

**Abb. 4.:** Wie Abb. 3. aber in flächenrichtiger Darstellung

(Der Minimalwert in beiden Abbildungen wurde zum Zwecke einer größeren Grauwertspreizung auf Null gesetzt.)



**Abb. 5.:** Richtungsverteilung der Orientierung der Fasern. Beachten Sie die gekrümmten Gradeinteilungen. (Einteilung in  $\text{grad} \cdot 0,5$  und in  $R \text{ grad} \cdot 0,5$ )

### Zusammenfassung

Mit diesem etwas (Computer)-zeitaufwendigem Verfahren kann die Orientierung von segmentierbaren Faser in Voxelbildern bestimmt werden. Weitere Verbesserungen in der Genauigkeit sind möglich.