

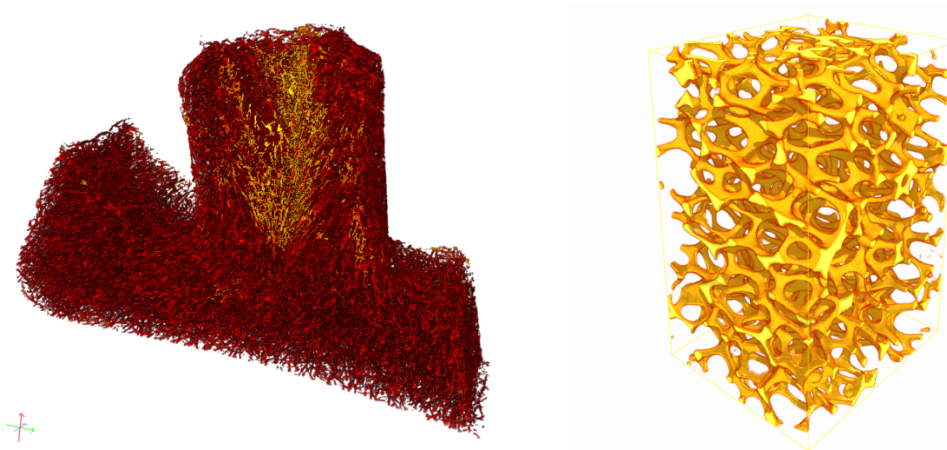
Mikrostrukturanalyse anhand von 3D-Bilddaten

Prof. Dr. Joachim Ohser, Hochschule Darmstadt und Dr. Katja Schladitz Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern

Makroskopische Eigenschaften von Materialien werden maßgeblich von der Geometrie ihrer Komponenten (oder Phasen) bestimmt. Somit spielen Kenngrößen zur Beschreibung der Geometrie dieser Bestandteile eine zentrale Rolle in der industriellen Materialprüfung und -entwicklung. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über Methoden der Charakterisierung von Mikrostrukturen anhand von Voxeldaten mit besonderem Augenmerk auf lokale Algorithmen, die keine Segmentierung einzelner Objekte im Bild voraussetzen.

Zu den gebräuchlichsten Kenngrößen einer Komponente gehören die Dichten der inneren Volumina — neben dem Volumenanteil und der spezifischen Oberfläche die spezifischen Krümmungsintegrale (d.h. Krümmungsintegrale pro Volumeneinheit). Das spezifische Integral der mittleren Krümmung ist für Faserstrukturen oder offenporige Schäume proportional zur Faser- bzw. Steglänge pro Volumeneinheit. Das spezifische Integral der Gauss'schen Krümmung ist eine topologische Kenngröße, die die Konnektivität der Mikrostruktur beschreibt (mittlere Anzahl der Faserkontakte pro Volumeneinheit von Papieren, Glas- und Kohlenstofffaserkompositen, Vliesen oder Filzen, mittlere Anzahl der Knoten in offenzelligen Schäumen etc.).

Die Dichten der inneren Volumina lassen sich bildanalytisch anhand von 3D-Bildern der Mikrostrukturen bestimmen, die durch mikrotomografische Aufnahmen mit Röntgen-, Synchrotron- oder Neutronenstrahlen, durch Elektronentomografie, FIB-REM oder CLSM generiert werden. Ihre Additivität ermöglicht es, sie aus lokaler Bildinformation zu berechnen, z.B. aus Anzahlen von $2 \times 2 \times 2$ -Pixel-Konfigurationen. D.h. Volumen, Oberfläche und die beiden Krümmungsintegrale kann man schätzen, indem man den Vektor der Anzahlen der $2 \times 2 \times 2$ -Pixel-Konfigurationen eines Binärbildes mit Gewichtsvektoren skalar multipliziert, die vom Bildinhalt unabhängig sind [1].



Links: Volumenvisualisierung einer μ CT-Aufnahme eines glasfaserverstärkten Kunststoffteils (GFK) aus der Automobilindustrie. Gesamtbreite ca. 6 mm. Visualisiert ist nur die Faserkomponente. Hauptfaserrichtung ist die z-Richtung (rote Fasern), im Bereich der stärksten Verformung deutliche Verschiebung der lokalen Faserrichtungen in die xy-Ebene (gelbe Fasern). Rechts: Offenzelliger Aluminiumschaum, Probe m-pore GmbH Dresden, CT Fraunhofer IZFP, nominelle Auflösung 74 μ m, Probengröße ca. 26 mm x 26 mm x 30 mm. Steglänge pro Volumeneinheit 0.3 mm² (unter Berücksichtigung der Knotendicke).

Neben den bewegungsinvarianten Dichten der inneren Volumina sind für 3D-Strukturen zwei Richtungsverteilungen wichtig. Eine dieser Richtungsverteilungen entspricht der Verteilung der Oberflächennormalen. Die zweite Richtungsverteilung ist vor allem für Faserstrukturen und offenzellige Schäume intuitiv; sie ist im Wesentlichen eine gewichtete Richtungsverteilung der Mittellinien der Fasern bzw. Stege. Aus der Faserrichtungsverteilung kann z.B. der bei der Simulation mechanischer Eigenschaften von Faserverbänden (GFK und CFK) zentrale Orientierungstensor berechnet werden [2].

[1] Ohser, J.; Schladitz, K.: 3D Images of Materials Structures: Processing and Analysis, (2010)

[2] Wirjadi, O.; Schladitz, K.; Easwaran, P.; Ohser, J.: Estimating Fibre Direction Distributions of Reinforced Composites from Tomographic Images. Image Analysis and Stereology 35(3), 167-179, (2016)