

# Überführung der mikroskopischen Struktur von Kohlenstofffaserbündeln in ein dreidimensionales Simulationsmodell

von Ilja Verspohl

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde ein Verfahren erarbeitet, um die mikroskopische Struktur eines Kohlenstofffaserbündels mit möglichst wenigen Vereinfachungen zu erzeugen. In der Literatur werden meist repräsentative Volumenelemente (RVE) mit parallel angeordneten Filamenten verwendet<sup>1,2</sup>. Die Analyse von Schlifffbildern und  $\mu$ CT-Aufnahmen hat vor allem zwei Phänomene gezeigt: Fasern weichen von ihrer Hauptachse ab, Fasern sind oft in Gebiete gebündelt (siehe Abbildung 1) und verlaufen meist in eine ähnliche Richtung.

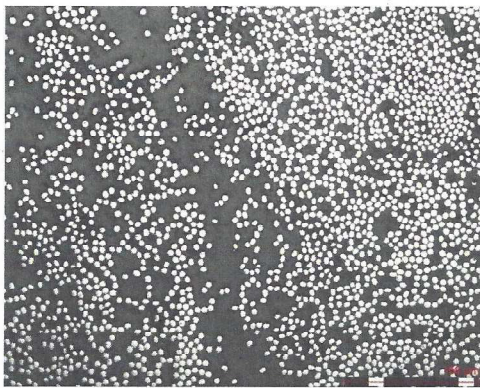


Abbildung 1: Schlifffbild eines Faserstrangs

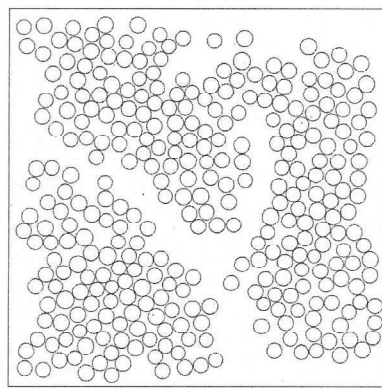


Abbildung 2: Zufällig generiertes Flächenelement

Zur Erstellung eines realistischen Volumenelements wurde ein neues Verfahren entwickelt und in einem MATLAB<sup>®</sup>-Programm umgesetzt. Das Programm benötigt als Eingabeparameter die Abmaße des RVEs, den gewünschten Faservolumengehalt, die Normalverteilung der Faserradien und die Standardabweichung der Filamentorientierung. Eine weitere Besonderheit des Programms ist, dass die Bündelbildung berücksichtigt werden kann. Hierfür muss der Benutzer die Anzahl der Bündel definieren, in die das RVE unterteilt werden soll.

Zuerst wird anhand des definierten Faservolumengehalts, des Faserradius und der Abmaße des RVEs die Anzahl der Fasern berechnet, welche benötigt werden, um den gewünschten Faservolumengehalt zu erreichen.

Anschließend soll in der YZ-Ebene ein repräsentatives Flächenelement erzeugt werden. Dabei werden mit der bereits bekannten Methode von Wongsto und Li<sup>3</sup> zufällig Kreisscheiben platziert. Danach werden die Fasern in zufällig große Gebiete unterteilt und räumlich voneinander getrennt (siehe Abbildung 2).

Die Mittelpunkte der Kreisscheiben in der YZ-Ebene dienen als Ausgangsstützpunkte für die Fasern, welche im Mittel in X-Richtung verlaufen sollen. Die Abweichung der Fasern wird mit

- 
- [1] A. R. Melro, P. P. Camanho, S. T. Pinho: Generation of random distribution of fibres in long-fibre reinforced composites, in: *Composites Science and Technology*, 68 (2008), 2092-2102
  - [2] S. E. Stapleton, L. Appel, J.-W. Simon, S. Reese: Representative volume element for parallel fiber bundles: Model and size convergence, in: *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 87 (2006), 170-185
  - [3] A. Wongsto, S. Li: Micromechanical FE analysis of UD fibre-reinforced composites with fibres distributed at random over the transverse cross-section, in: *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36 (2005), 1246-1266

zwei Winkeln definiert: Der Faserwinkel beschreibt die Abweichung von der Hauptachse, der Orientierungswinkel die Orientierung dieser Abweichung.

Mit Hilfe dieser zwei Winkel werden die Fasern abschnittsweise erzeugt (siehe Abbildung 3). Hierfür wird das RVE in Stützebenen unterteilt, welche parallel zur YZ-Ebene verlaufen. An jeder Stützebene wird anschließend für jede Faser ein neuer Faser- und Orientierungswinkel generiert. So wird am Ende eine Faser durch mehrere aneinandergereihte Faserelemente dargestellt. Die Winkel werden dabei in Abhängigkeit der Winkel der vorigen Faserelemente gewählt, sodass ein näherungsweise stetiger Verlauf einer Faser entsteht. Auch hier muss geprüft werden, ob die Fasern sich nicht schneiden und gegebenenfalls ein neuer Faser- bzw. Orientierungswinkel generiert werden muss oder mehrere Faserverläufe angepasst werden müssen. Nachdem alle Faserelemente erzeugt wurden, werden die Fasern durch ein Polynom approximiert, um größere Knicke zu verhindern.

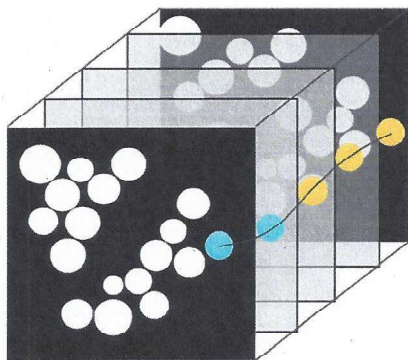


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Faserkonstruktion

Dieses Vorgehen ermöglicht es, in kurzer Rechenzeit ein RVE mit definierten charakteristischen Größen zu erzeugen, welches gleichzeitig eine zufällige Filamentanordnung und Orientierung aufweist (siehe Abbildung 4). In einem ausgiebigen Testprogramm mit unterschiedlichsten Eingabeparametern konnte gezeigt werden, dass RVEs erzeugt werden können, welche einen Faservolumengehalt von 70 % aufweisen. Auch wurde die Verteilung der Faser- und Orientierungswinkel betrachtet. Dabei konnte gezeigt werden, dass die zu Beginn vorgegebenen Nennwinkel und Standardabweichungen über die Länge des RVEs hinweg eingehalten werden können.

Im Anschluss an die Arbeit wurde das Programm im Rahmen einer HiWi-Tätigkeit um ein zweites Unterprogramm erweitert, welches die unrunderen Faserquerschnitte berücksichtigt. Zusätzlich wurde ein Unterprogramm zur Erzeugung des Rechenetzes implementiert. Über dieses Programm wurde ein Artikel bei dem Journal „Advanced Manufacturing: Polymer & Composite Science“ eingereicht.

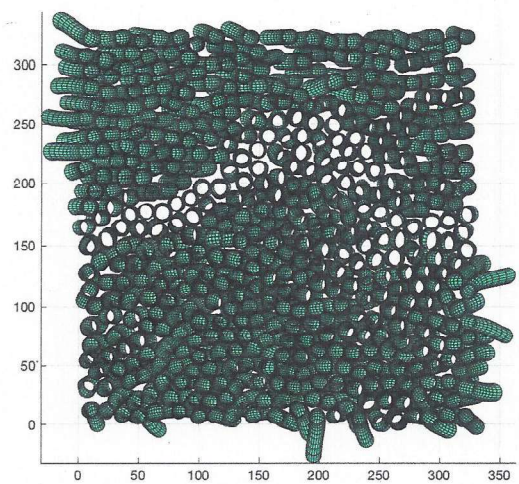
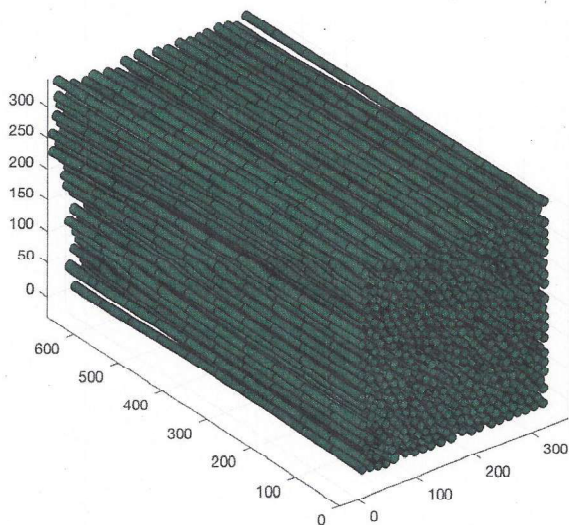


Abbildung 3: Zufällig generiertes Volumenelement (Faservolumengehalt: 60 %)