

21(2008)

## AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

### Statistische Auswertung der Mikrostruktur eines in Beton eingebetteten Multifilamentgarns

#### Statistical Evaluation of the Microstructure of a Multi-Filament Yarn Embedded in Concrete

B.-G. Kang, W. Brameshuber

#### 1 EINLEITUNG

Textilbeton ist ein Verbundwerkstoff, bei dem textile Gelege beispielsweise aus alkaliresistentem (AR) Glas als Bewehrungsmaterial eingesetzt werden /1/. Die Textilien werden aus Multifilamentgarnen hergestellt, welche wiederum aus mehreren hundert Einzelfilamenten bestehen. Bild 1 zeigt die REM-Querschnittsaufnahme eines in Beton eingebetteten Garns.

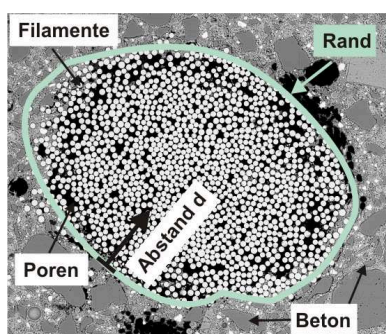


Bild 1: REM-Aufnahme

Fig. 1: SEM image

Durch die unvollständige Penetration des Betons in das Garninnere sind die einzelnen Filamente unterschiedlich an den Beton angebunden und werden unterschiedlich stark beansprucht. Dies führt zu einem sukzessiven Filamentversagen. Abhängig von der Anzahl simultan tragender Filamente tritt eine große Streuung der maximal aufnehmbaren Kraft auf. Um das komplexe Tragverhalten zu untersuchen, wurden verschiedene Modelle wie das analytische Modell /2/, das Verbundschichtenmodell /3/ sowie das Haftbrückenmodell /4/ entwickelt. In diesen Modellen wird die Inhomogenität der Mikrostruktur mit Hilfe von Modellparametern wie der verbundfreien Länge der Filamente sowie der Verbundqualität berücksichtigt. Da eine experimentelle Quantifizierung dieser Parameter bislang nicht vorlag, wurden sie invers bestimmt. In der vorliegenden Arbeit wird eine bildanalytische Methode zur quantitativen Auswertung der Mikrostruktur im Querschnitt vorgestellt. Hieraus kann beispielsweise die Verbundqualität (Verbundanteil) anhand des Anteils des Filamentumfangs, der in Kontakt zum Beton steht, in den unterschiedlichen Verbundschichten abgeleitet werden.

#### 2 BILDANALYSE

Zur quantitativen Auswertung der REM-Aufnahmen müssen die drei wesentlichen Phasen Filament, Betonmatrix und Poren identifiziert werden. In Tabelle 1 ist das Ablaufschema der hierzu durchgeführten Bildanalyse dargestellt.

Tabelle 1: Ablaufschema der Bildanalyse

Table 1: Flowchart of the image analysis

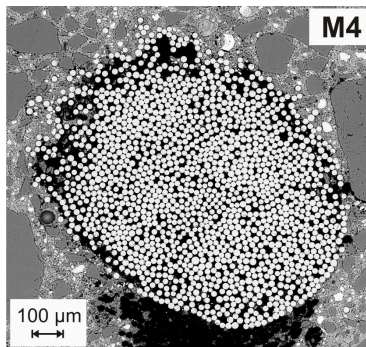
|                               |                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------|
| Bilderzeugung                 | Rasterelektronenmikroskop (REM)             |
| Preprocessing                 | Begrenzung des Untersuchungsbereichs        |
| Identifizierung der Filamente | Schwellwertanalyse (Filament)               |
|                               | Clusterdetektion                            |
|                               | Clustertrennung (Mathematische Morphologie) |
| Identifizierung der Poren     | Kreisdetektion nach Welzl                   |
|                               | Schwellwertanalyse (Poren)                  |
| Postprocessing                | Bestimmung des Garnrands                    |
|                               | Bestimmung des Verbundanteils               |
|                               | Statistische Auswertung                     |

Prinzipiell ist aufgrund des ausreichenden Kontrasts eine Differenzierung der drei Phasen über eine Schwellwertanalyse möglich. Jedoch gibt es einige Probleme, die bildanalytisch gelöst werden müssen. Filamente, die miteinander in Kontakt sind, müssen mit Hilfe von Trennalgorithmien separiert werden, um die einzelnen Filamente dann auch als einzelne Objekte auswerten zu können. Helle Bereiche der Matrix, die keinen ausreichenden Kontrast zu den Filamenten haben, müssen beispielsweise über eine Betrachtung der Partikelgröße herausgefiltert werden. Ein wesentliches Problem stellt der oft auftretende unscharfe Übergang zwischen Filament und Porenraum dar. Zwischen relativ hell (Filament) und relativ dunkel (Porenraum) gibt es einen Übergangsbereich, der fälschlicherweise als Matrix identifiziert wird und somit den Anteil der Filamentfläche mit Verbund zum Beton (Verbundanteil) bei der Auswertung der Kontaktfläche steigert. Um solche Artefakte auszuschließen, wird bei der Bestimmung des Verbundanteils eines Filaments nicht nur die unmittelbar angrenzende

Kontaktschicht betrachtet, sondern ein festgelegter Bereich untersucht. Die Methodik der Bildanalyse wurde in Zusammenarbeit mit dem Geodätischen Institut der RWTH Aachen (GIA) entwickelt. Eine detaillierte Beschreibung ist in einer gemeinsamen Veröffentlichung /5/ zu finden.

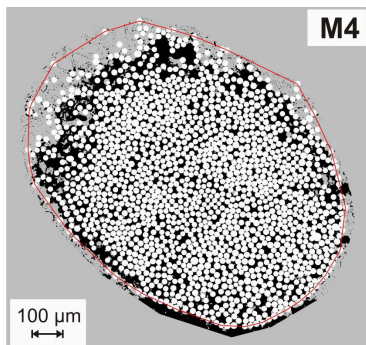
### 3 AUSWERTUNG EINES QUERSCHNITTS

Exemplarisch ist nachfolgend die Auswertung eines Querschnitts dargestellt. Die Bildanalyse des Ausgangsbilds (Bild 2) führt zu der 3-Phasen-Idealisierung der Mikrostruktur mit der Garnumrandung (Bild 3).



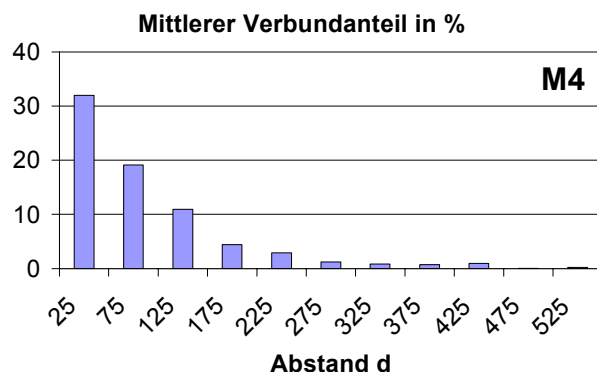
**Bild 2:** Ausgangsbild aus der REM Analyse

**Fig. 2:** Raw image from the SEM analysis



**Bild 3:** 3-Phasen-Idealisierung

**Fig. 3:** 3-phase-idealisation



**Bild 4:** Statistische Auswertung der Mikrostruktur

**Fig. 4:** Statistical evaluation of the microstructure

Um das Penetrationsverhalten des Betons zu beschreiben, sind die einzelnen Filamente bzgl. ihres Abstands vom Garnrand in Klassen eingeteilt worden. In Bild 4 ist jeweils der mittlere Verbundanteil der Filamente der einzelnen Klassen dargestellt. Erwartungsgemäß ist am Rand ein hoher Verbundanteil zu erkennen, der mit zunehmendem Abstand sinkt.

### 4 SCHLUSSFOLGERUNG

Der mittlere Verbundanteil der Abstandsklassen entspricht der Verbundqualität der einzelnen Schichten im Verbundschichtenmodell. Durch die quantitative Auswertung dieser Information kann eine Validierung der invers bestimmten Werte vorgenommen werden. In Zukunft kann diese Information dann auch direkt in den Modellen verwendet werden.

### 5 LITERATUR

- /1/ Brameshuber, W.: Textile Reinforced Concrete. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC Bagneux : RILEM, 2006
- /2/ Banholzer, B.: Bond Behaviour of a Multi-Filament Yarn Embedded in a Cementitious Matrix. In: Schriftenreihe Aachener Beiträge zur Bauforschung, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (2004), No. 12, Dissertation
- /3/ Konrad, M. ; Chudoba, R. ; Kang, B.: Numerical and Experimental Evaluation of Damage Parameters for Textile Reinforced Concrete Under Cyclic Loading. Berlin : Springer, 2006. In: III European Conference on Computational Mechanics Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering, Lisbon, 5-8 June 2006, (Mota Soares, C.A. ; Martins, J.A. ; Rodrigues, H.C. ; et al (Eds.))
- /4/ Schorn, H.: An adhesive cross-linkage model for textile reinforcement in concrete. In: Zingoni, A. (ed.): Proceedings of the Second International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation SEMC, Cape Town, July 2004, 1563 – 1567 (CD-ROM)
- /5/ Kang, B.-G. ; Lange, J. ; Benning, W. ; Brameshuber, W.: Statistical Evaluation of the Microstructure of a Multi-Filament Yarn Embedded in Concrete. ISBN 978-972-752-100-5 Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. - Proceedings of the International Conference Challenges for Civil Construction, Porto, 16-18 April 2008, (Marques, A. ; et al (Eds.)), 12 Seiten

Forschungsförderer:

Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB 532 Textilbewehrter Beton TP D2 – F 2801