

Simulationsgestützte Charakterisierung des rheologischen Verhaltens von UHPC

Christian Heese, Wolfgang Breit

Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen

Die Anforderungen an die Eigenschaften von zementgebundenen Baustoffen im erhärteten Zustand und ihre Dauerhaftigkeit sind in den letzten Jahren immer weiter angestiegen. Ultrahochfester Beton (UHFB) ist ein gutes Beispiel für diese Entwicklung. Die erforderlichen mechanischen Eigenschaften und eine hohe Dauerhaftigkeit des fertigen Bauteils können nur durch auf die jeweilige Einbausituation angepasste Verarbeitungseigenschaften sichergestellt werden. Für die Verarbeitungseigenschaften von zementgebundenen Baustoff Suspensionen ist daher die Rheologie, d. h. das Deformations- und Fließverhalten von ausschlaggebender Bedeutung. Dabei überlagern sich die Eigenschaften eines elastischen Festkörpers und eines viskosen Fluids. Rheologische Untersuchungen von Baustoff Suspensionen mittels Rotationsrheometern erlauben eine sehr präzise und getrennte Bestimmung der elastischen und viskosen Eigenschaften. Derartige rheologische Untersuchungen sind komplex und aufwendig. Rechnerbasierte rheologische Simulationen können helfen, die gewonnenen prüf- und materialtechnischen Erkenntnisse und somit das volle Potenzial von UHFB auch für die Praxis nutzbar zu machen z. B. für Befüllvorgänge von komplexen Schalungsgeometrien.

Im Rahmen einer Kooperation des Fachgebietes Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern mit dem Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM), Kaiserslautern, wird an einer simulationsgestützten Charakterisierung von UHFB gearbeitet. Dazu wurde ein einfaches, zeitunabhängiges Fluid-Modell mit Fließgrenze und scherratenabhängiger Viskosität in den 3-dimensionalen Solver für Fließvorgänge CoRheoS (Complex Rheology Solver) des ITWM implementiert.

Das Modell musste dafür zunächst kalibriert werden, indem die Ergebnisse von Fließversuchen am sogenannten „Haegermann-Trichter“ mit den Ergebnissen der Simulation verglichen wurden. Grundlage der Simulation waren die am Rotationsrheometer Haake RheoStress 600 unter Verwendung einer speziellen Messgeometrie für Baustoff Suspensionen ermittelten rheologischen Kennwerte.

Das rheologische Verhalten von UHFB ist durch seine stark ausgeprägte Thixotropie geprägt, d. h. ein komplexes Wechselspiel zwischen Strukturaufbau, verbunden mit einem entsprechenden Anstieg der scheinbaren Viskosität in Ruhephasen, und einem Strukturabbau verbunden mit einer Abnahme der scheinbaren Viskosität unter Scherbeanspruchung bzw. während des Fließvorgangs.

Aufgrund der Tatsache, dass das stark thixotrope Verhalten des UHFB zum jetzigen Zeitpunkt nicht durch das verwendete rheologische Modell abgebildet wird, muss diesem Materialverhalten bei der Auswahl der relevanten rheologischen Prüfparameter Rechnung getragen werden. Das Verhältnis von Scherrate und Schubspannung hängt neben vorangegangener Scherhistorie stark von den verwendeten Messprofilen d. h. dem Scherraten- bzw. Schubspannungsbereich, der jeweiligen Rampensteigung und der Messdauer ab. Aufgrund der extremen Scherratenänderungen, die im Verlauf der durchgeführten Fließversuche auftraten, befand sich der UHFB nicht in Gleichgewichtszuständen. Aus diesem Grund ist auch bei der Auswahl der zu verwendenden Messprofile nicht die Messung von Gleichgewichtszuständen sondern vielmehr eine auch u. U. iterative Anpassung der Messprofile an die versuchsrelevanten Scherratenbereiche und Scherratenänderungen zielführend.

Im Rahmen der Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass mit dem verwendeten einfachen rheologischen Modell sowohl das Setzfließmaß als auch dessen zeitlicher Verlauf abbildbar sind. In weiteren Entwicklungsschritten sollen das thixotrope Verhalten von UHPC weitergehend untersucht und in das Modell eingearbeitet werden. Des Weiteren sollen die für UHPC i. d. R. verwendeten Fasern in die Simulation mit aufgenommen werden.