

**Plastic Shrinkage of High-Performance Fiber-Reinforced Cement-Based Composites
(HFRCC)**

**Plastisches Schwinden von hochfesten, faserverstärkten zementgebundenen Kompositen
(HFRCC)**

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde eines Doktors-Ingenieurs (Dr.-Ing.) eingereichte

DISSERTATION

vorgelegt von

Ahmed Alghazali, M.Sc.

eingereicht am 10.02.2025

Tag der mündlichen Prüfung: 04.07.2025

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing Viktor Mechtcherine (TU Dresden)

Prof. Dr. Billy Boshoff (University of Pretoria)

Assist. Prof. Dr. Yiwei Weng (Hong Kong Polytechnic University)

Plastic Shrinkage of High-Performance Fiber-Reinforced Cement-Based Composites (HPFRCC)

Abstract

Concrete placement often occurs in environments that promote rapid water evaporation from the freshly poured material. Factors such as strong wind, high temperatures, and low relative humidity in the surrounding air intensify water loss. Consequently, this situation presents a significant risk of initiating plastic shrinkage, leading to premature cracks while the concrete still in its plastic state. Numerous strategies have been developed to mitigate plastic shrinkage cracks, with one widely acceptable approach being the incorporation of dispersed polymer fibres as reinforcement.

The study provides a detailed investigation into the specific effects of various types of polymer fibres and their respective quantities in reducing plastic shrinkage in high-performance fibre reinforced cement-based composites. Fibre reinforced cement-based composites materials are characterized by an exceptionally high binder paste content and a low water-to-binder ratio, making them susceptible to early-age cracking. The research results are presented in terms of free plastic shrinkage deformation (unrestrained condition) and as repairing system material (restrained condition). Additionally, the study examines the development of horizontal and vertical deformation, water loss, capillary pressure, temperature, setting time, and crack characteristics. Microstructure analysis is also conducted to enhance our understanding of the composite material's behaviour. Furthermore, the mechanical and fracture mechanical properties of high-performance fibre reinforced cement-based composites are thoroughly documented.

Among the most significant findings of this research is the clear and comprehensive demonstration of the high effectiveness of dispersed polymer fibres in mitigating plastic shrinkage. Furthermore, the study reveals that the addition of different types of fibres influences pore structure in distinct ways. Generally, the introduction of fibres increases the volume and the size of large pores around the fibre-matrix interfacial transition zone, thereby impacting the capillary pressure, evaporation, porosity, and the bond between fibres and the matrix at an early age. Additionally, fibres create pathways for water exchange between capillary pores of varying sizes. The type and characteristics of the fibres play a pivotal role in determining horizontal shrinkage, vertical deformation, water loss, and overall crack characteristics, even when the same volume fraction is utilized.

Plastisches Schwinden von hochfesten, faserverstärkten zementgebundenen Kompositen (HPFRCC)

Abstrakt

Die Platzierung von Frischbeton erfolgt häufig in Umgebungen, die eine schnelle Wasserabgabe aus dem frisch eingebrachten Material begünstigen. Faktoren wie starker Wind, hohe Temperaturen und geringe relative Luftfeuchtigkeit verstärken den Wasserverlust. Folglich besteht eine erhebliche Gefahr des plastischen Schwindens, die zu vorzeitigen Rissen führen kann, während der Beton noch in seinem plastischen Zustand ist. Zur Verminderung von Rissen durch plastisches Schwinden wurden zahlreiche Strategien entwickelt. Ein weithin akzeptierter Ansatz ist die Verwendung von dispergierten Polymerfasern.

Die vorliegende Studie untersucht detailliert die spezifischen Effekte verschiedener Arten von Polymerfasern und deren Dosierung zur Reduzierung des plastischen Schwindens von hochfesten, Faserverstärkten zementgebundenen Verbundwerkstoffen. Diese Verbundwerkstoffe zeichnen sich durch einen außergewöhnlich hohen Anteil an Bindemittelleim und ein niedriges Wasser-Bindemittel-Verhältnis aus, wodurch sie besonders anfällig für frühe Rissbildung sind. Die Forschungsergebnisse werden sowohl unter ungehinderten Bedingungen (freie plastische Schwindverformung) als auch unter eingeschränkten Bedingungen (als Material in Reparatursystemen) präsentiert.

Darüber hinaus untersucht die Studie die Entwicklung horizontaler und vertikaler Verformungen, den Wasserverlust, den kapillaren Druck, die Temperatur, die Abbindezeit und die Risseigenschaften. Eine Mikrostrukturanalyse wird ebenfalls durchgeführt, um das Verhalten des Verbundwerkstoffs besser zu verstehen. Zusätzlich werden die mechanischen und bruchmechanischen Eigenschaften von hochfesten, Faserverstärkten zementgebundenen Kompositen umfassend dokumentiert.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse dieser Forschung ist die deutliche und umfassende Demonstration der hohen Effektivität dispergierter Polymerfasern bei der Reduzierung des plastischen Schwindens. Darüber hinaus zeigt die Studie, dass die Zugabe unterschiedlicher Fasertypen die Porenstruktur auf unterschiedliche Weise beeinflusst. Generell führt die Einführung von Fasern zu einer Zunahme des Volumens und der Größe großer Poren in der Faser-Matrix-Grenzfläche, was den kapillaren Druck, die Verdunstung, die Porosität sowie die Bindung zwischen Fasern und Matrix im frühen Alter beeinflusst. Zudem schaffen Fasern Wege für den Wasseraustausch zwischen Kapillarporen unterschiedlicher Größe. Bei identischer Volumenfraktion spielen der Typ und die Eigenschaften der Fasern eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der horizontalen Schwindverformung, der vertikalen Verformung, des Wasserverlusts und der allgemeinen Risseigenschaften.