**Engineering of Core/Shell Bicomponent PP Fibers for Enhanced Ductility in Cement – Based Composites**

***Entwicklung von Kern/Mantel-Bikomponenten-PP-Fasern zur Verbesserung der Duktilität in zementbasierten Verbundwerkstoffen***

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)**

eingereichte

**DISSERTATION**

vorgelegt von

M.Sc. Popa Mihaela-Monica

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Christina Scheffler,

Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine,

Assoc. Prof. En-Hua Yang

Submitted on 21. October 2024.

**Summary**

From a structural perspective, brittleness is one of the main disadvantages of standard concrete material. This brittleness is characterized by a limited capacity for energy dissipation and leads to failure at low strains under load. Adding fibers to the concrete matrix significantly enhances structural performance by improving ductility and energy dissipation. Therefore, fiber-reinforced composites (FRC) help mitigate the risk of sudden collapse, making structures more resilient. Among the various types of fibers used, polymeric fibers are commonly employed to produce FRC, but also high ductile concretes as strain-hardening concrete composites. However, the use of polypropylene (PP) fibers, which offer many advantages due to their good price-performance ratio, high availability and recyclability, faces a number of challenges. These include a *smooth* hydrophobic and inert surface that hinders effective interlocking with the cement matrix and leads to poor bonding, ultimately resulting in reduced performance under stress.

To overcome these limitations, the melt-spinning facilities at IPF have been employed to design and produce novel bicomponent PP-fibers with a *core-shell* structure with modified surface characteristics, enhancing their roughness and promoting better interlocking with the cementitious matrix. This approach aims to improve the overall mechanical and bridging properties of the FRC by facilitating better load transfer and crack-bridging capabilities.

Additionally, in collaboration with the Institute of Construction Materials, TU Dresden, new matrices based on a limestone calcined clay cement-based (LC3) binder were developed to enhance the compatibility with PP fibers and to achieve a certain degree of ductility. Moreover, the LC3 binder reduces the clinker factor of the matrices and thus increases the extent of sustainability of the fiber-reinforced limestone calcined clay cement-based composites (FRLC3).

The outcomes of this research are assessed at both micro and macro levels. At the micro level, single-fiber pull-out tests reveal that the addition of precipitated calcium carbonate (PCC) and ground calcium carbonate (GCC) fillers in the outer layer of single filament enhances fiber surface roughness, leading to improved energy absorption. At the macro level, composite testing reveals significant improvements in ductility and crack resistance, validating the effectiveness of the designed *core/shell* bicomponent PP fibers and matrix modifications in producing more resilient FRLC3 systems.

**Zusammenfassung**

Aus struktureller Perspektive ist Sprödigkeit einer der Hauptnachteile von standardmäßigem Betonmaterial. Diese Sprödigkeit ist durch eine begrenzte Fähigkeit zur Energieaufnahme gekennzeichnet und führtunter Last zu einem plötzlichen Versagen. Das Hinzufügen von Fasern in den Beton verbessert die strukturelle Leistung erheblich, indem die Duktilität und die Energieabsorption verbessert werden. Daher verringern faserverstärkte Betone (engl. fiber-reinforced concrete FRC) das Risiko eines plötzlichen Versagens und machen Strukturen widerstandsfähiger. Unter den verschiedenen verwendeten Faserarten werden häufig polymerbasierte Fasern zur Herstellung von FRC, aber auch von hochduktilen Betonen (engl. strain hardenening concrete composites SHCC) eingesetzt. Der Anwendung von Polypropylen (PP)-Fasern, die aufgrund ihres guten Preis-Leistungsverhältnisses, hoher Verfügbarkeite und Recyclingfähigkeit viele Vorteile bieten, stehen jedoch einige Herausforderungen gegenüber. Dazu gehören eine glatte, hydrophobe und inerte Oberfläche, die eine effektive Interaktion mit der Zementmatrix behindert und zu einer geringen Anbindung führt, was letztendlich zu einer verringerten Leistung unter Belastung führt.

Um diese Einschränkungen zu überwinden, wurden die Schmelzspinnanlagen am IPF eingesetzt, um neuartige Bikomponent-PP-Fasern mit einer Kern-Mantel-Struktur und modifizierten Oberflächeneigenschaften zu entwerfen und herzustellen, die eine erhöhte Rauheit aufweisen und eine bessere Verzahnung mit der zementären Matrix fördern. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die mechanischen und überbrückenden Eigenschaften von SHCC zu verbessern, indem eine bessere Lastübertragung und Rissüberbrückungsfähigkeiten ermöglicht werden.

Zusätzlich wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Baustoffe der TU Dresden neue Matrizen auf Basis eines Binders aus kalziniertem Ton (LC3) entwickelt, um die Kompatibilität mit PP-Fasern zu verbessern und einen bestimmten Grad an Duktilität zu erreichen. Darüber hinaus reduziert der LC3-Binder den Klinkerfaktor der Betonmatrix und erhöht somit den Grad der Nachhaltigkeit der faserverstärkten, LC3-basierten (engl. fiber-reinforced LC3, FRLC3).

Die Ergebnisse dieser Forschung werden auf Mikro- und Makroebene bewertet. Auf der Mikroebene zeigen Pull-out-Tests mit einzelnen Fasern, dass die Zugabe von gefälltem Calciumcarbonat (PCC) und gemahlenem Calciumcarbonat (GCC) als Füllstoffe in der äußeren Schicht des einzelnen Filaments die Oberflächenrauhigkeit der Faser erhöht und die Energieabsorption verbessert. Auf der Makroebene zeigen Verbundtests erhebliche Verbesserungen in der Duktilität und Rissbeständigkeit und validieren die Effektivität der entwickelten Kern-/Mantel-Biomponent PP-Fasern und Matrixmodifikationen zur Herstellung widerstandsfähigerer FRLC3-Systeme.