

# **Organisch/anorganische Schichtstrukturen als bio-inspirierte Grenzschicht zur Optimierung des Verbundverhaltens in Carbonbeton**

**Organic/inorganic layer structures as bio-inspired  
interphases for optimizing the composite behavior in  
carbon-reinforced concrete-structures**

Zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur (Dr.-Ing.)**

An der Fakultät Bauingenieurwesen  
der Technischen Universität Dresden  
eingereichte

## **Dissertation**

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Toni Utech**

(geboren am 01.03.1989 in Hoyerswerda)

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Christina Scheffler

Prof. Dr. techn. Philipp Preinstorfer

Prof. Dr.-Ing. Thomas Matschei

Tag der Einreichung: 27.06.2025

Tag der Verteidigung: 18.12.2025

B

# Kurzzusammenfassung

Das Bauwesen muss nachhaltiger und ressourceneffizienter werden. Ein vielversprechender Ansatz ist der Einsatz von Carbonbeton, der materialminimierte Bauen ermöglicht. Seine Tragfähigkeit wird jedoch durch das Verbundverhalten unter Last begrenzt. Für den Lastabtrag ist eine effektive Kraftübertragung zwischen Carbonbewehrung und Betonmatrix entscheidend. Sprödes Versagen durch Delamination und Abplatzungen mindert die Sicherheit und Dauerhaftigkeit. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Grenzschicht, deren Eigenschaften das Verbundverhalten maßgeblich beeinflussen. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von neuartigen Grenzschichten zur Steigerung der Bruchzähigkeit von Carbonbeton.

Die Natur bietet hierfür hervorragende Vorbilder, deren Grenzschichten aufgrund besonderer schichtweiser Strukturierung zu einem bruchzähen Verbundverhalten neigen. Zum einen die *Brick and Mortar*- und zum anderen die *Layer by Layer*-Struktur. Sie bestehen aus harten, spröden anorganischen sowie duktileren organischen Komponenten, die in der jeweiligen Schichtstruktur ein vorteilhaftes Riss- und Verbundverhalten aufweisen. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Herstellung und Implementierung bio-inspirierter organisch/anorganischer Schichtstrukturen als Grenzschicht im Carbonbeton sowohl in Modellverbunden auf Mikroebene als auch auf Makroebene. Ziel ist es, den Einfluss dieser Schichten auf das Verbundverhalten hinsichtlich der Bruchzähigkeit zu untersuchen und im Bezug auf ein vorteilhaftes Rissverhalten zu bewerten.

Ausgewählt wurden bio-inspirierte Materialkombinationen aus mineralischen Komponenten mit günstiger chemischer Anbindung an die Betonmatrix sowie Polymeren in wässriger Dispersion, die sich in ihrer Glasübergangstemperatur und mechanischen Eigenschaften von zäh bis spröde unterscheiden.

Auf mikroskopischer Ebene konnte der dominante Einfluss der Glasübergangstemperatur in bio-inspirierten Filmen und Beschichtungen nachgewiesen werden. Niedrige Glasübergangstemperaturen begünstigten Rissverzweigung und -überbrückung. In Auszugsversuchen mikroskopischer Einzelfaser-Modelle zeigten zähe Grenzschichten die höchste Auszugsarbeit. Mit zunehmender Steifigkeit der organischen Komponente nahm die Steifigkeit des Auszugs- und die Sprödigkeit des Verbundverhaltens zu.

Die Untersuchungen zeigen, dass *Brick and Mortar*-Strukturen auf Mikro- und Makroebene hinsichtlich Praktikabilität und der Erhöhung der Bruchzähigkeit im Verbund das größte Potenzial bieten. *Layer by Layer*-Strukturen hingegen sind mit einem höheren Fertigungsaufwand verbunden; die Ausbildung der Einzelschichten erfolgt weniger präzise, wodurch die mechanischen Eigenschaften nur begrenzt gezielt eingestellt werden können.

# Abstract

The construction industry has to become more sustainable and resource-efficient. One promising approach is the use of carbon fiber-reinforced concrete, which enables material-minimized construction. However, its load-bearing capacity is limited by its composite behavior under load. Effective force transfer between the carbon reinforcement and the concrete matrix is crucial for load transfer. Brittle failure due to delamination and spalling reduces safety and durability. The interphase plays a central role in this, as its properties have a significant influence on the composite behavior. The aim of this work is to develop interphases to increase the fracture toughness of carbon fiber-reinforced concrete.

Nature provides excellent models whose interphases tend to exhibit fracture-tough composite behavior due to their special layered structure. On the one hand, there is the *brick and mortar* structure and, on the other hand, the *layer by layer* structure. They consist of hard, brittle inorganic and more ductile organic components, which exhibit advantageous crack and composite behavior in the respective layer structure.

This work focuses on the development and implementation of bio-inspired organic/inorganic layer structures as interphases in carbon fiber-reinforced concrete, both in model composites at micro and macro level. The aim is to investigate the influence of these layers on the composite behavior in terms of fracture toughness and to evaluate them with regard to advantageous crack behavior.

Bio-inspired material combinations were selected from mineral components with favorable chemical bonding to the concrete matrix and polymers in aqueous dispersion, which differ in their glass transition temperature and mechanical properties from tough to brittle.

At the microscopic level, the dominant influence of the glass transition temperature in bio-inspired films and coatings could be demonstrated. Low glass transition temperatures favored crack branching and bridging. In microscopic single fiber pull-out tests, tough interphases showed the highest pull-out work. With increasing stiffness of the organic component, the stiffness of the pull-out and the brittleness of the composite behavior increased.

The research shows that *brick and mortar* structures at the micro and macro levels demonstrate the greatest potential in terms of practicality and increased fracture toughness in composites. *Layer by layer* structures, on the other hand, involve more complex manufacturing processes; the individual layers are less precisely formed, which means that the mechanical properties can only be adjusted to a limited extent.