



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

# **Characterization of Mineral-Bonded Composites as Damping Layers against Impact Loading**

*Charakterisierung von mineralisch gebundenen Kompositen zur Impaktdämpfung*

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden

zur Erlangung des akademischen Grades

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

eingereichte

## **DISSERTATION**

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Lena Leicht**

geboren am 08.10.1994 in Erlangen

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Braml

Prof. Ing. Bc. Radoslav Sovják, Ph.D., LL.M.

eingereicht am: 24.07.2023

verteidigt am: 20.12.2023

# Abstract

The present work aims at finding suitable mineral-bonded strengthening layers to protect steel-reinforced concrete (RC) structures from impact events. The strengthening layers are applied to the impact-facing side and absorb large parts of the impact energy. In this way, they protect the RC structures from the impact events. The multilayered strengthening layers consist of a cover layer and a damping layer. The cover layers possess a high strength and a high modulus of elasticity. The impactor directly hits the cover layer, which spreads the impact force to larger areas of the damping layer below. The strengths and moduli of elasticity of the damping layers are minor, and they absorb impact energy by crushing, cracking, and damage.

Several materials have been tested as damping layers, including a concrete mixed with waste tire rubber aggregates, two types of lightweight concrete, and two types of infra-lightweight concrete. The cover layers tested include carbon-reinforced concrete and various short-fiber-reinforced concretes, some of which are reinforced with 3D hybrid pyramidal truss reinforcing structures.

At first, the dynamic material properties were determined with the help of a tensile and a compressive split Hopkinson Bar. The small-scale experiments serve to investigate the dynamic material behavior. At the same time, they are the basis for an eventual later numerical analysis of the strengthening layers. A numerical analysis enables the variation of the material parameters.

Lastly, large-scale tests with RC cuboids that were fully supported were performed. A choice of cover and damping layer materials was compared to unstrengthened RC cuboids. The first set of experiments strived to vary the damping layer to find the most suitable one that absorbs the highest amount of incident energy, thus minimizing the damage to the RC cuboid. Afterward, the best damping layer material was combined with different cover layers to figure out the best cover layer option.

# Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Verstärkung von Stahlbetonbauteilen gegen Impaktbeanspruchungen. Es sollen mineralisch gebundene Verstärkungsschichten entwickelt werden, die auf der impaktzugewandten Seite aufgebracht werden und große Teile der Impaktenergie absorbieren sollen, um somit die darunterliegenden Bauteile zu schützen. Die Verstärkungsschichten sind mehrlagig aufgebaut und die Materialien werden in Deck- und Dämpfungsschichten unterschieden. Dabei sind die Deckschichtmaterialien solche, die eine große Festigkeit und Steifigkeit besitzen. Sie werden direkt durch den Impaktor getroffen und sollen die Impaktlast auf einen größeren Bereich der darunterliegenden Dämpfungsschichten verteilen. Die Dämpfungsschichten sind weniger fest und steif und sollen die Impaktenergie durch Deformation, Rissbildung und Schädigung absorbieren.

Als Dämpfungsschichtmaterialien werden ein Beton mit Altgummizuschlägen, zwei unterschiedliche Leichtbetone und zwei Infraleichtbetone geprüft. Unter den geprüften Deckschichtmaterialien befanden sich ein Carbonbeton und unterschiedliche Mischungen mit Kurzfaserbetonen, die teilweise auch mit hybriden 3D Bewehrungsstrukturen bewehrt sind.

Zunächst wurden die Materialien unter dynamischer Druck- und Zugbelastung im Split-Hopkinson-Bar geprüft. Diese kleinteiligen Versuche sollen dem Verständnis des dynamischen Materialverhaltens dienen und bilden gleichzeitig die Grundlage für eine mögliche spätere numerische Analyse der Verstärkungsschichtmaterialien und erlauben auch die Variation der Materialeigenschaften von Verstärkungsschichten.

Anschließend wurden die unterschiedlichen Dämpfungs- und Deckschichtmaterialien in einem größeren Probenmaßstab untersucht. Die Probekörper, die unverstärkt sowie unterschiedlich verstärkt untersucht wurden, waren vollflächig gelagerte Stahlbetonquader. Zunächst wurde das Dämpfungsschichtmaterial variiert, um die Dämpfungsschicht zu finden, die am meisten Energie absorbieren und somit die Schädigung der Stahlbetonquader am effizientesten reduzieren kann. Diese wurde danach unter unterschiedlichen Deckschichten kombiniert, um das geeignetste Deckschichtmaterial zu ermitteln.