



## **Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Recyclingfähigkeit von Carbonbeton**

Technological procedures for recyclability of carbon concrete composite

Von der  
Fakultät Bauingenieurwesen  
der Technischen Universität Dresden  
zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

### **DISSERTATION**

von Dipl.-Ing. Jan Kortmann  
geboren am 10. September 1984 in Halle (Saale)

Gutachter:  
Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle  
Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko,  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto

eingereicht am: 29. Mai 2019  
verteidigt am: 18. Dezember 2019

## Kurzfassung

### **Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Recyclingfähigkeit von Carbonbeton**

Das ressourceneffiziente Bauen mit dem Ziel einer Ressourceneinsparung ist eines der großen Schwerpunktthemen der heutigen Zeit. Ein Ansatz zur Ressourceneinsparung ist es, konventionelle Bauweisen und Baustoffe weiterzuentwickeln oder partiell durch neue Materialien zu substituieren. Auf Basis bisheriger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnten in jüngster Vergangenheit Bauteile und Bauwerke aus Carbonbeton hergestellt werden. Mit der Carbonbetonbauweise erfolgt der Einsatz von textilen Kohlenstofffasern (Carbonfasern) als Bewehrungsmaterial in einer hochfesten Betonmatrix. Carbonfasern korrodieren nicht, wodurch sich Carbonbetonbauteile mit einer wesentlich reduzierten Betondeckung herstellen lassen. So hergestellte Bauelemente zeichnen sich durch eine hohe mechanische Leistungsfähigkeit, einen geringeren Ressourcenverbrauch und eine längere Lebensdauer aus.

Bereits bestehende oder zukünftig herzustellende Carbonbetonbauteile werden aufgrund der guten Dauerhaftigkeit über viele Jahrzehnte in Wechselwirkung mit dem Nutzer (Mensch) und dem örtlichen Umfeld (Mensch und Umwelt) treten. Anders als Güter des täglichen Gebrauchs mit kurzer oder mittlerer Lebensdauer werden Bauwerke und Bauwerksteile im Zuge ihrer Nutzung auch wiederholt bearbeitet, wobei es immer zu einer Materialfreisetzung kommt. Mit tiefgreifenden Umnutzungsmaßnahmen und zum Nutzungsende fallen durch die Arbeiten des Teil- oder Totalabbruchs große Abbruchmengen an, zu deren Umgang bisher keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen. Die bei diesen Arbeiten anfallenden hochwertigen faserhaltigen Stoffe werden bisher regelmäßig beseitigt oder selten auf niedrigem Verwertungslevel verwertet. Stattdessen müssen diese Stoffe einem hochwertigen Recycling zugeführt werden. Daraus ergeben sich zwei wichtige Fragestellungen, die ohne das Aufzeigen von Lösungsansätzen als Markteintrittsbarrieren für den Verbundbaustoff Carbonbeton bestehen bleiben würden:

- Stellen die bei der Be- und Verarbeitung von Carbonbeton emittierten Fasern und Staubpartikel ein Gesundheitsgefährdungspotenzial für den Menschen dar?
- Können Abfallmassen aus dem Abbruch von Carbonbetonbauteilen in der Art aufbereitet werden, dass die stoffliche Verwertung der Fraktionen gewährleistet ist?

Die Zielstellung der Arbeit bestand in der Untersuchung der beiden potenziellen Markteintrittsbarrieren für den Verbundbaustoff Carbonbeton. Zu Beginn der Untersuchungen zur Recyclingfähigkeit von Carbonbeton ist festzustellen, dass mit der Carbonfaserbewehrung ein nichtmetallischer, zugfester und spröder Werkstoff vorliegt, der im Recyclingprozess nicht mittels konventioneller Magnetabscheidung separiert werden kann.

Die Teilzielstellung der Arbeit bestand in der Validierung technologisch umsetzbarer Verfahren für die Trennung der Carbonbewehrung aus der umschließenden Betonmatrix.

Dies beinhaltet den Materialaufschluss und die Sortierung der Fraktionen. Die anhand der baustofflichen Betrachtung als potenziell umsetzbar identifizierten Separationsverfahren wurden erprobt und analysiert. Die Ergebnisse aus den Versuche sind mit herausgearbeiteten Bewertungskriterien in eine Rangfolge entsprechend ihrer Vorteilhaftigkeit gebracht. Mit dem Vorliegen der sortenreinen Fraktionen konnten die Verwertungswege aufgezeigt werden. Im Ergebnis der Arbeit ist ein aktuell umsetzbares Konzept für die vollständige Recyclingfähigkeit von Carbonbeton aufgezeigt. Mit den Ergebnissen zum Recycling ist der Lückenschluss zwischen der Herstellung von Carbonbetonbauteilen und der stofflichen Verwertung der Fraktionen Betonmatrix und Carbonfaserbewehrung erarbeitet. Das hochwertige Recycling mit dem Ziel der stofflichen Verwertung aller Fraktionen trägt zur weiteren Steigerung der Gesamtrohstoffeffizienz von Carbonbeton bei.

Die Arbeit ist an alle am Bau beteiligten Akteure, wie Abbruch- und Recyclingunternehmer, Planer, Bauausführende, potenzielle Investoren aus dem öffentlichen und privaten Bereich sowie Entscheidungsträger auf kommunaler, Landes- und Bundesebene, gerichtet und soll bei der Entscheidungsfindung im Zusammenhang mit dem Einsatz von Carbonbeton helfen. Die Arbeit zeigt baupraktisch umsetzbare Separationsverfahren und Wege auf, wie die Carbonbetonabbruchmassen zukünftig hochwertig verwertet und parallel Primärrohstoffe substituiert werden können. Die Untersuchungen zum Gesundheitsschutz sollen die zukünftige Gefährdung von Menschen verhindern und als positives Beispiel für die Entwicklung neuer Bauprodukte dienen.

## Summary

### **Technological procedures for recyclability of carbon concrete composite**

One of the major concerns in this day and age is the efficient use of construction resources and the saving of construction resources. An approach to saving resources is to develop conventional construction methods and materials or to partially substitute them by using new materials. Based on existing research and development projects, components and building construction made of carbon concrete could be produced in the recent past. By means of the carbon concrete construction method, textile carbon fibres as reinforcement material in a strong cement matrix are used. As carbon fibres do not corrode, carbon concrete components can be produced with a substantially reduced amount of concrete. Components which are produced this way are characterised by a high mechanical performance, fewer use of resources and a longer durability.

Thanks to their durability, carbon concrete components, which have already been existing or which will be produced in the future, will be interacting with their user (human) and the local environment (human and environment) for many decades. Other than daily use materials with short or mid-term durability, constructions and parts of constructions are repeatedly reused in the course of their duration. In doing so, materials are always made redundant. With far-reaching re-utilisation measures and at the end of their construction usefulness, there are large amounts of debris produced by partial or general demolitions. So far, no effective findings about their further use have been available. The high-quality fibrous materials which occur during demolition are removed or recycled at low values. Therefore, these materials must be recycled as being highly valuable. There are two important questions resulting from this which would remain as market entry barriers for the composite carbon concrete without presenting approaches to resolving the problem:

- Are fibres and dust particles emitted during work and manufacturing potential health risks to humans?
- Can the bulk of waste materials resulting from the demolition of carbon concrete components be recycled in such a way that the material recycling of fractions will be guaranteed?

The goal of this research was to assess the two potential market entry barriers for the carbon concrete composite. At the beginning of the assessments, when carbon concrete is recycled, the characteristic of fibre-reinforced carbon is a non-metallic, strong tensile and brittle construction material which cannot be separated by means of conventional magnetic separation during the recycling process. The partial goal of the research was the

validation of technological procedures which could separate carbon reinforcement from the surrounding cement matrix.

This includes the deconstruction of material and the separation of fractions. The separation procedures which were identified by the examination of available construction material as potentially useful were tested and analysed. The test results of the assessment criteria were then ranked according to their advantages. With the findings of the clean separated fractions, the recycling value became apparent. As a result of the project, a realistic concept for the complete recyclability of carbon concrete is shown. With the results in regard to recycling, the gap closure between the production of carbon concrete components and material recycling of the fractions of concrete matrix and fibre-reinforced carbon has been determined. The high value of recycling with the goal of material recycling of all fractions contributes to a further increase of the total efficiency of raw materials of carbon concrete.

This project affects all participants in construction, such as demolition and recycling contractors, planners, successful tenderers, potential investors from the public and private sector as well as policymakers at a community, state, or federal level. It should help to make decisions in relation to the use of carbon concrete. This project shows practicable realisable procedures and construction methods of separation and ways of how carbon concrete demolition debris can be recycled with high value in the future and parallel to this, how primary raw materials can be substituted. The assessments in regard to health protection should avoid future risks to humans and serve as a positive example for the development of new construction products.