



Carbonbeton unter Druck – Einfluss von Querdruck und -zug

Carbon-reinforced concrete under compression loads –
Influence of transversal compression and tension

Dipl.-Ing. Peter Florian Betz

Geboren am: 30.07.1994 in Heilbronn

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

Eingereicht am: 31.01.2025

Kurzzusammenfassung

Carbonbewehrungen zeichnen sich durch eine hohe Zugtragfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit aus. Aufgrund dieser Eigenschaften können Carbonbetonbauteile im Vergleich zu herkömmlichen Stahlbetonbauteilen deutlich schlanker ausgebildet werden. Während das Zugtragverhalten von Carbonbeton bereits sehr gut erforscht ist, sind die praxisrelevanten Kenntnisse zur Drucktragfähigkeit der filigranen Bauweise derzeit noch begrenzt.

Erste systematische Untersuchungen zum Tragverhalten von Carbonbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung wurden an kleinformatischen Probekörpern mit unterschiedlichen nichtmetallischen Bewehrungsgittern durchgeführt. Dabei konnte ein negativer Einfluss der Bewehrung auf die Drucktragfähigkeit der Probekörper festgestellt werden. Rein einaxiale Druckbeanspruchungen treten in der Realität jedoch selten auf. Für die breite Anwendung des Materials in der Baupraxis sind vor allem mehraxiale Spannungszustände relevant. Im Stahlbetonbau wird bei mehraxialen Druckspannungszuständen von einer erhöhten Druckfestigkeit des Betons ausgegangen, während bei vorhandener Rissbildung oder Querkzugbeanspruchung die Druckfestigkeit des Betons herabgesetzt werden muss.

Um zu überprüfen, inwieweit diese Annahmen auf die Carbonbetonbauweise übertragbar sind, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Tragverhalten von Carbonbeton unter Druckbeanspruchung mit zusätzlicher Querdruk- und Querkzugbeanspruchung untersucht. Dafür wurden Feinbetonscheiben der Abmessungen $200 \times 200 \times 40 \text{ mm}^3$ mit Carbongittern bewehrt und unter Druck-Druck- und Druck-Zug-Beanspruchung geprüft. Die durchgeführten Parameterstudien konzentrierten sich auf die Variation der Herstellungsmethode (laminierter oder gegossen) und des Bewehrungsgrades (unterschiedliche Lagenanzahl, Maschenweite und Gitterdurchmesser) der Probekörper sowie auf die Tränkungsmaterialien und die Orientierung der Carbonbewehrung. Die erreichten Drucktragfähigkeiten der Probekörper wurden in Abhängigkeit von der Druck- bzw. Zugbelastung in der Sekundärachse ausgewertet.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Parameterstudien wurde zunächst das Tragverhalten unter einaxialer Druckbeanspruchung näher analysiert. Anschließend wurden in Anlehnung an bekannte Materialmodelle aus dem Stahlbetonbau Ansätze zur Berücksichtigung des Einflusses der Carbonbewehrung auf das biaxiale Drucktragverhalten abgeleitet, die als Grundlage für die Richtlinie für Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung verwendet werden können. Damit leisten die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zum Drucktragverhalten von Carbonbetonbauteilen einen wichtigen Beitrag zur Etablierung der Bauweise in der Praxis.

Abstract

Characteristics of carbon reinforcement include a high tensile load-bearing capacity and corrosion resistance. Consequently, components made of carbon-reinforced concrete (CRC) can be designed to have a significantly higher degree of slenderness than their conventionally reinforced concrete counterparts. Although extensive research has been dedicated to investigating the tensile load-bearing behaviour of carbon concrete, there is still limited knowledge of the compressive load-bearing capacity of this filigree construction method.

This thesis constitutes a preliminary systematic investigation into the load-bearing behaviour of CRC under uniaxial compressive loading, using small-format test specimens, incorporating various non-metallic reinforcement grids. The findings reveal a negative impact of the reinforcement on the compressive load-bearing capacity of the test specimens. However, it is important to note that purely uniaxial compressive stresses rarely occur in reality. Multi-axial stress states are of particular relevance for the material's broad application in construction. In steel-reinforced concrete construction, it is assumed that the concrete's compressive strength increases under multiaxial compressive stress states, while it is reduced if cracking or transverse tensile stress is present.

In order to determine the extent to which these assumptions can be applied to CRC construction, the present work investigates the load-bearing behaviour of CRC under compressive loading with additional transverse compressive and tensile stresses. Discs made of fine-grained concrete with dimensions of $200 \times 200 \times 40$ mm in length, width and thickness, reinforced with carbon grids, are subjected to biaxial compressive and combined compressive-tensile loading. The focal point of the parameter studies is the variation of the manufacturing method (laminated or cast) and the degree of reinforcement (different number of layers, mesh size and yarn diameter) of the test specimens, as well as the impregnation materials and the orientation of the carbon reinforcement. The achieved compressive load-bearing capacities of the test specimens are evaluated as a function of the compressive and tensile load in the secondary axis.

First, the results of the parameter studies are used to conduct a more detailed analysis of the load-bearing behaviour under uniaxial compressive loading. Subsequently, based on known material models from steel-reinforced concrete construction, approaches are derived to consider the influence of carbon reinforcement on the biaxial compression behaviour. These can be used as a basis for the guideline for concrete components with non-metallic reinforcement. The knowledge gained in this work on the compression behaviour of carbon reinforced concrete components thus makes an important contribution to establishing the construction method in practice.