



Gussknoten als Verbindungsmittel für modular vorgefertigte Fachwerkkonstruktionen aus Hochleistungsbeton

Marina Stümpel

Geboren am: 18. November 1989 in Lingen (Ems)

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Erstgutachter

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Zweitgutachter

Prof.i.R. Dr.-Ing. habil. Viet Tue Nguyen

Drittgutachter

Prof. Dr.-Ing. Stefan Löhnert

Kurzfassung

Der Klimawandel und die zunehmende Ressourcenknappheit stellen das Bauwesen vor Herausforderungen, die bereits zu einem Umdenken in der Branche geführt haben. So wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten im Bereich der Hochleistungswerkstoffe und zu neuen Tragwerkskonzepten durchgeführt, die Lösungsvorschläge für ein nachhaltiges Bauen liefern. Die Untersuchungen zeigen, dass der Schlüssel für ein nachhaltiges Bauen in der Kombination verschiedener Baustoffe sowie in der Verwendung vorgefertigter Elemente liegt.

Vor diesem Hintergrund wurde eine aufgelöste, modulare Fachwerkkonstruktion untersucht, die aus vorgefertigten, ultrahochfesten Stahlbetonrohren und dünnwandigen Gussknoten besteht. Die Verbindung zwischen den Gussknoten und den ultrahochfesten Stahlbetonrohren ist als vergossene Verbindung vorgesehen und bildet die Grundlage dieser Arbeit. Mit dem Ziel aufzunehmenden, mehraxialen Belastungen mit geringem Materialeinsatz kraftflussgerecht abzuleiten, konzentrieren sich die Untersuchungen neben der Entwicklung einer geeigneten Oberflächenprofilierung der Gussknoten auf die Kraftübertragung zwischen den Materialkomponenten sowie auf die Ableitung von Tragmechanismen für die neuartige Verbindung.

Um das Tragverhalten experimentell zu analysieren, wurde ein Versuchskonzept entwickelt, mit dem die Verbindung unter den maßgebenden Einwirkungen untersucht werden kann. In Druck- und Zugversuchen an plattenartigen Versuchskörpern konnte gezeigt werden, dass das Last-Verformungs-Verhalten der Verbindung von der Oberflächenprofilierung und der radialen Steifigkeit der Gussknoten sowie der Belastungsart beeinflusst wird. In großmaßstäblichen Biegeversuchen konnte dagegen das Tragverhalten der Verbindungen unter Variation der Schubrippenanzahl und der Vergusslänge realitätsnaher untersucht werden.

Ergänzend wurden numerische Analysen durchgeführt, die es ermöglichen die in der Verbindung herrschenden Spannungszustände über die experimentellen Untersuchungen hinaus zu analysieren. Dazu wurden die numerischen Modelle zunächst anhand der Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen kalibriert. Unter Zugrundelegung des nichtlinearen Materialverhaltens des Vergussbetons und dem Kontaktverhalten zwischen den Komponenten sind die numerischen Modelle in der Lage das Last-Verformungs-Verhalten der Versuchskörper aus den experimentellen Untersuchungen abzubilden. Somit liefern die numerischen Modelle wichtige Erkenntnisse zu den Tragmechanismen in der Verbindung, die für zukünftige Bemessungsansätze herangezogen werden können.

Die Untersuchungen bestätigen die grundsätzliche Funktionstüchtigkeit des vorgeschlagenen Konstruktionsprinzips und bilden eine wichtige Basis für weiterführende Forschungsarbeiten. Insgesamt bieten Gussknoten als Verbindungsmittel für modular vorgefertigte Fachwerkstrukturen aus Hochleistungsbeton das Potential zu leistungsfähigen Konstruktionen, die den Anforderungen des nachhaltigen Bauens gerecht werden.

Abstract

Climate change and the increasing scarcity of resources are facing the construction industry with challenges that have already led to a rethinking. In recent years, extensive research has been carried out in the field of high-performance materials and new structural concepts that provide solutions for sustainable construction. The studies show that the key to sustainable construction lies in the combination of different building materials and the use of prefabricated elements.

With this in mind, a latticed modular structure consisting of prefabricated ultra-high performance reinforced concrete pipes and thin-walled cast iron nodes was investigated. The connection between the cast iron nodes and the ultra-high performance reinforced concrete pipes is designed as a grouted connection and forms the basis for this work. With the aim of transferring the multi-axial loads in line with the force flow with a low material input, the investigations are focussed on the development of a suitable surface profiling of the cast iron nodes, the force transmission between the material components, and the derivation of load-bearing mechanisms for the new type of connection.

In order to experimentally analyse the load-bearing behaviour of the new type of connection, a test concept was developed to examine the connection under the relevant loads. In compression and tensile tests on plate-like test specimens, it was shown that the load-bearing behaviour of the connection is influenced by the surface profiling and the radial stiffness of the cast iron nodes as well as the type of load. In large-scale bending tests, on the other hand, the load-bearing behavior of the connection was investigated more realistically by varying the number of shear keys and the grouting length.

In addition to the experimental investigations, numerical analyses were carried out which made it possible to analyse the stress states prevailing in the connection. For this purpose, the numerical models were first calibrated using the results of the experimental investigations. Based on the non-linear material behaviour of the grout concrete and the contact interaction between the components, the numerical models are able to reproduce the load-bearing behaviour of the test specimens from the experimental investigations. The numerical models thus provide important insights into the load-bearing mechanisms in the connection, which can be used for future design approaches.

The investigations confirm the fundamental functionality of the proposed design principle and form an important basis for further research work. Overall, cast iron nodes as connecting elements for modular prefabricated truss constructions made of high-performance concrete offer the potential for high-performance constructions which meet the requirements of sustainable construction.