

Knoten aus modifizierten Hochleistungsbetonen für Fachwerkstrukturen

Thomas Lambert, M.Eng.

Kooperative Promotion

Trier University
of Applied Sciences

H O C H
S C H U L E
T R I E R

RUB

Schlüsselwörter: Fachwerkknoten, Fachwerke, Polymerbeton, Materialverhalten, Kraftfluss- und Formoptimierung, numerische Simulation



Abb. 1 Fußgänger- und Radwegebrücke in Schönecken

Form follows force – dieses Prinzip findet im Bauwesen trotz zur Verfügung stehender digitaler Planungs- und Fertigungsmöglichkeiten nur bedingt Anwendung. So erfolgt die Herstellung von Profilen, Halbzeugen oder Bauteilen vor dem Hintergrund kostenoptimierter Fertigungs- oder Schalungssysteme bevorzugt für einfache Bauteilgeometrien. Diese stehen jedoch teils im Widerspruch zu einer ressourceneffizienten Bauweise.

Im Hinblick auf Effizienz, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit gewinnen strukturoptimierte Tragwerke mehr und mehr an Bedeutung. Hierbei erweisen sich ebene und räumliche Fach-

werke als sehr effiziente Tragsysteme. Jedoch stellt die Ausbildung der komplexen Knotenpunkte eine Herausforderung dar. So sind standardisierte Knoten im Holz- und Stahlbau sowie hochbewehrte und vorgespannte Stahlbetonfachwerkknoten mit einem hohen Vorfertigungsgrad verbunden und entsprechen in ihrer Form nur zum Teil dem Kraftflussverlauf. Ein hinsichtlich des Kraftflusses optimierter Knoten mit einfacher Fügung für Stabwerke aus Holz, (Stahl-) Beton oder auch hybriden Bauweisen wäre erstrebenswert. Derartige Knoten werden in forschungsbegleitenden Projekten der Hochschule Trier entwickelt (Abb. 1). Mit Hilfe digitaler Planungs- und Fertigungswerkzeuge werden diese in einem CAD/CAM-Prozess modelliert und produziert (Abb. 2)

Die hochbeanspruchten Knoten sowie deren komplexe Strukturen erfordern ein Material, das leistungsfähig und freiformbar ist. Aus diesem Grund wird ein Polymerbeton zur Herstellung der Knoten verwendet. Aufgrund der aktuell noch unzureichenden Untersuchungen des Materials sowie den Spannungsverläufen im Knoten, müssen diese mit erhöhten Sicherheitsanforderungen sowie mit einem hohen Bewehrungsgrad ausgeführt werden, sodass die Leistungsfähigkeit aktuell nur bedingt genutzt werden kann. Im Rahmen der Promotion werden daher Material und Kraftflussverlauf untersucht, die Knotenstruktur optimiert sowie ein Ansatz zur Berechnung geschaffen.

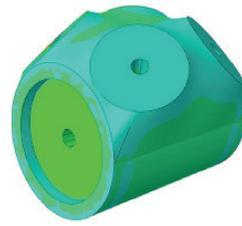
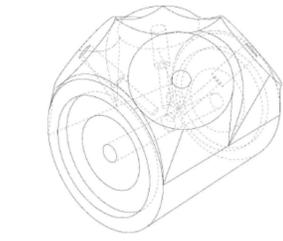
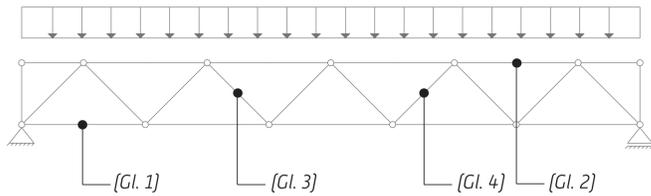


Abb. 2 Herstellungsprozess der Knoten von der CAD-Modellierung, der Simulation über den Abbund bis hin zum fertiggestellten Knoten (QR-Code zum Video der Modellierung)

Untersuchungen von ebenen Fachwerken und Knotenmodellen



$$f(x) = -\frac{q}{2h}x^2 + \frac{ql}{2h}x \quad [\text{Gl. 1}]$$

$$f(x) = \frac{q}{2h}x^2 - \frac{ql}{2h}x + \frac{qb^2}{2h} \quad [\text{Gl. 2}]$$

$$f(x) = \left(\frac{ql}{2} - qx\right) \cdot \cos \alpha \cdot (\cot \alpha + \tan \alpha) \quad [\text{Gl. 3}]$$

$$f(x) = \left(\frac{ql}{2} - qx\right) \cdot \cos(180 - \alpha) \cdot (\cot \alpha + \tan \alpha) \quad [\text{Gl. 4}]$$

Abb. 3 Verlaufskurvenschnittverfahren zur Berechnung der Normalkräfte

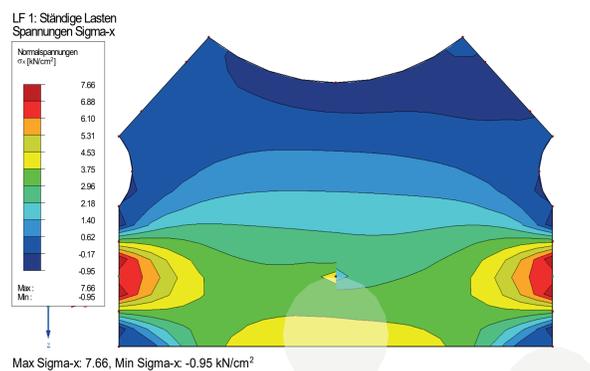


Abb. 4 Untersuchung der Spannungsverläufe an ebenen FE-Modellen

Bevor die Spannungsverläufe im Knoten untersucht werden können, müssen zunächst die maßgebenden mehraxialen Beanspruchungen auf Fachwerkknoten unter kombinierten Einwirkungen ermittelt werden.

Hierzu sind mit Hilfe von Parameterstudien an diversen parallelgurtigen Fachwerkträgern mit unterschiedlichen Ausfachungsarten die Knotenbeanspruchungen dargestellt und ein Berechnungsansatz zur allgemeinen Formulierung der am Knoten angreifenden Kräfte hergeleitet worden (Abb. 3). Darauf aufbauend erfolgen numerische Simulationen ebener und räumlicher FE-Modelle sowie Analysen der Spannungen verschiedener Knotentypen (Abb. 4).

Untersuchungen zum Materialverhalten des Polymerbetons

Beim dem verwendeten Polymerbeton handelt es sich um EPUMENT 161L der Firma Rampf. Für das Material wurden grundlegende Materialparameter nach den für das Bauwesen relevanten Normen bestimmt (Abb. 5). Dazu gehören neben der Druck- (Abb. 6), Biegezug-, Zugfestigkeit (Abb. 7) und dem E-Modul auch die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen im Vor- und Nachbruchbereich, das Verbundverhalten zu Stahl (Abb. 8) und Holz sowie das Entfestigungsverhalten unter Temperatureinfluss (Abb. 9).

Die Auswertung der Materialuntersuchungen legen diverse Einflussparameter auf die Materialfestigkeiten, wie Ausschaltzeiten, Probekörpergeometrie sowie Maßstabeffekt (Abb. 10), offen. Die Ergebnisse zeigen unter anderem auch eine sehr hohe Frühfestigkeit und eine, im Vergleich zu ultrahochfesten Betonen, sehr hohe Zugfestigkeit des Polymerbetons.



Abb. 5 3-Punkt-Biegezugversuch

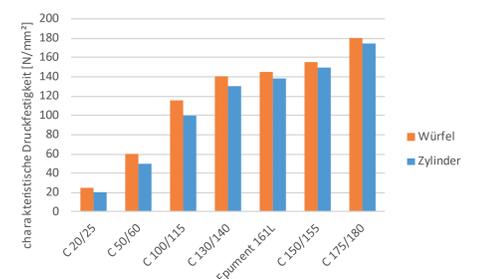


Abb. 6 Vergleich der charakteristischen Druckfestigkeit von Polymerbeton, Normalbeton, Hochfestemeton und UHFB

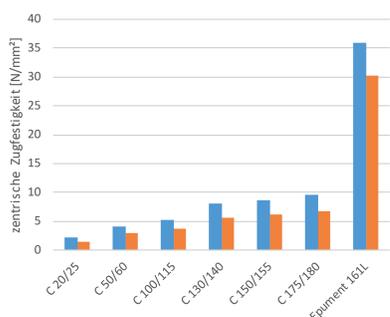


Abb. 7 Vergleich der zentrischen Zugfestigkeit von Polymerbeton, Normalbeton, Hochfestemeton und UHFB

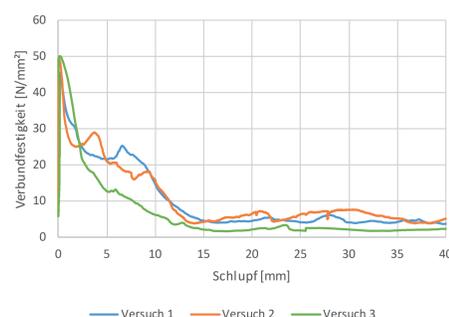


Abb. 8 Versuchsergebnisse zum Verbundverhalten von Polymerbeton und B500

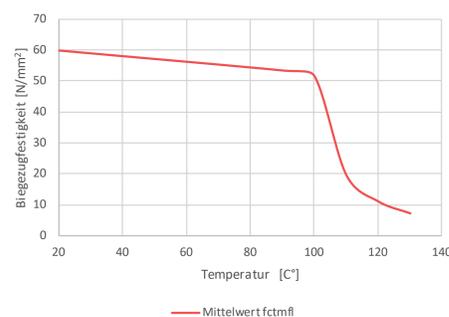


Abb. 9 Entfestigungsverhalten des Polymerbetons unter Temperatureinfluss

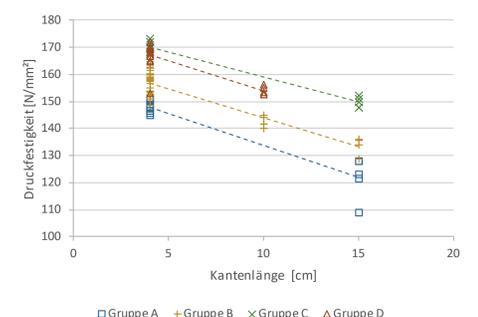


Abb. 10 Einfluss des Maßstabeffektes auf die Druckfestigkeit des Polymerbetons

Betreuer der kooperativen Promotion

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark

Prof. Dr.-Ing. Michél Bender

Prof. Dr. techn. Wieland Becker

Lehrstuhl für Massivbau, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Ruhr-Universität Bochum

Fachgebiet Massivbau, FR Bauingenieurwesen, FB Bauen + Leben, Hochschule Trier

Lehr- und Forschungsgebiet Holz, FR Architektur, FB Gestaltung, Hochschule Trier