

Entwicklung eines modularen Fachwerkträgers aus HPC-Fertigteilen und gezahnten Hochleistungs-Verbindungsdetails

1. Anlass und Ausgangslage

Große Betonfertigteile lassen sich entweder gar nicht oder nur mit großem Aufwand transportieren. Daher werden hochbeanspruchte Verbindungen im Stahlbetonbau noch monolithisch vor Ort betoniert. Dies ist mit einem großen Platzbedarf, einer aufwändigen Baustelleneinrichtung und großen Herausforderungen zur Sicherstellung der Qualität, bedingt durch Witterungseinflüsse auf der Baustelle, verbunden.

2. Gegenstand des Forschungsvorhabens

Es wird ein weitspannender, modularer Referenzfachwerkträger (Abb. 1) aus Hochleistungsbeton entworfen, dessen einzelne Elemente mit Hilfe einer innovativen Verbindungstechnologie einfach hergestellt und effizient gefügt werden können. Der Entwurf des modularen Referenzfachwerkträgers umfasst Studien zur Geometrieoptimierung, zu Segmentverbindungen, zum Montagekonzept und den Bauzuständen, zum Brandschutz und zur Dauerhaftigkeit. Die daraus resultierenden Anforderungen liefern die Grundlage zur Entwicklung der Verbindung.

Das Verbindungskonzept sieht zwei Stahlzahnleisten vor, die in die miteinander zu verbindenden Stahlbetonbauteile platziert werden (Abb. 2). Jede Stahlzahnleiste besitzt auf der Betonseite eine große Stahlverzahnung, über die die Kräfte aus dem Betonbauteil in die Stahlzahnleiste eingeleitet werden. Auf der gegenüberliegenden Seite des Stahleinbauteils ist eine feine Stahlverzahnung vorgesehen. Über diese werden die Kräfte über Kontakt von einer Stahlzahnleiste zur anderen und somit in das benachbarte Stahlbetonbauteil eingeleitet (Abb. 3). Die miteinander in Kontakt stehenden Stahlzähne werden als Stahl/Stahlverzahnung bezeichnet.

Zunächst werden geeignete Verzahnungsformen entwickelt und definiert. Hierbei soll der Winkel θ , unter dem die Kraft an der Verbindung angreift möglichst flexibel sein. Neben der Tragfähigkeit ist auch der mit der Verzahnung mögliche Toleranzausgleich der Verbindung ein Kriterium für die Zahngeometrie. Es werden Maschinenelemente hinsichtlich Stahlverzahnungen analysiert und auf eine Adaption auf das Bauwesen untersucht. Dabei werden die Hirtverzahnung und Gewinde (Whitworth-Gewinde, Trapezgewinde) als Grundlage für die weiteren Untersuchungen verwendet. In numerischen Berechnungen wird die Zahngeometrie in unterschiedlichen Studien optimiert. Die daraus resultierende Zahngeometrie wird in vier Versuchsphasen experimentell untersucht.

In der ersten Versuchsphase wird die Stahl/Stahlverzahnung an kleinformatigen Stahlprismen mit gezahnter schräger Fuge untersucht (Abb. 4). Über die Neigung der Fuge wird der Kraftangriffswinkel θ , unter dem die Kraft auf die Stahlverzahnung trifft, abgebildet. Es werden die Winkel θ zur Vertikalen von 20° , 25° , 30° , 45° , 50° , 70° und als Referenz 90° untersucht. Die erste Versuchsphase bildet das Last-Verformungsverhalten der Verzahnung lokal – ohne äußere Einflüsse aus der Verbindung – ab. Darauf aufbauend wird in einer zweiten Phase der Einfluss des anschließenden Betons mit einbezogen. Dazu werden Zahnleistenpaare unter einem Winkel θ (Kraftangriffswinkel) von 30° und 70° zur Vertikalen in Betonprismen einbetoniert (Abb. 5). Diese Winkel stellen dabei die untere und obere Grenze der praktischen Anwendung dar. In Versuchen wird betrachtet ob der Hauptversagensmechanismus auch im Stahl/Stahlzahn liegt und wie sich die Zähne im Vergleich zur Versuchsphase I verhalten. In zwei weiteren Versuchsphasen wird die Verbindung im Maßstab 1:1 bei Konsolen und Fachwerkknoten getestet (Abb. 6). Dabei wird das Last-/Verformungsverhalten der Verbindung und somit in einer komplexen Einbausituation untersucht.

Das Tragverhalten der Zahnleiste wird mit einem Ingenieurmodell beschrieben. Es werden Parameterstudien mit FE-Berechnungen an Zahnleistenmodellen durchgeführt. Die daraus resultierenden Spannungsvektoren und Vergleichsspannungen dienen als Grundlage für das Ingenieurmodell. Der Lastfluss zwischen zwei Stahlzahnleisten wird mithilfe eines Stabwerkmodells interpretiert. Es werden Aussagen über den Spannungsverlauf entlang der Verzahnung getroffen. Daraus wird ein analytischer Berechnungsansatz entwickelt, mit dem die Vergleichsspannungen am Stahlzahn berechnet werden können.

Weiterhin wird für den Fachwerkknoten und die weitere Anwendung, die Konsole, ein Bemessungsansatz beschrieben.

Abschließend wird der modulare Referenzfachwerkträger aus baubetrieblicher Sichtweise betrachtet. Dabei liegt die Überlegung zu Grunde, den Fachwerkträger in seinen einzelnen Elementen im Fertigteilwerk als „Endlostrang“ zu produzieren. Dieser kann nach der Erhärtungszeit in die gewünschte Länge gesägt und bei Bedarf noch nachbearbeitet (z. B. geschliffen) werden. Somit ist der Schwindvorgang teilweise abgeklungen. Die Bauteile können durchgängig produziert werden, wodurch eine kontinuierliche Auslastung der Produktion erreicht wird. Bei Auftragseingang werden die Elemente entsprechend abgelängt.

3. Fazit

Ziel war es, eine Verbindung zu entwickeln, die mit möglichst kleinen Abmessungen und möglichst geringer Vorspannkraft, hohe Kräfte sicher, robust und effizient übertragen kann sowie ein duktileres Verhalten aufweist und trotzdem eine einfache Herstellung im Werk und eine schnelle Montage und Demontage auf der Baustelle erlaubt.

Das Verbindungskonzept erfüllt diese Ziele. Die Ergebnisse zur Traglast der Versuche an Konsolen und Fachwerkknoten stimmen gut mit denen aus den kleinformigen Prüfkörpern überein. Die Traglasten sind von der Kraftneigung θ abhängig und können für die untersuchten Kraftneigungen als Kraft je Zentimeter Zahnlänge angegeben werden. Die übertragbare Kraft lässt sich für die betrachteten Versuche hinsichtlich der Zahnanzahl und Tiefe der Verzahnung linear interpolieren. Die Verbindung kann so konstruiert werden, dass das Versagen im Zahn und somit duktil stattfindet.

Eckdaten

Kurztitel: Modulare Fachwerkträger aus HPC Fertigteilen

Forscher / Projektleitung:

Prof. Dr.-Ing. Holger Falter

Prof. Dr.-Ing. Volker Schmid

Jonas Schmidt M.Sc.

Tobias Nettekoven M.Sc.

Gesamtkosten: 335.423,43 € €

Anteil Bundeszuschuss: 190.433,50 €

Projektlaufzeit: 36 Monate

Bilder

Abb. 1: Einzelelemente des modularen Fachwerkträgers

Abb. 2: Kraftübertragung in der Verbindung

Abb. 3: Kraftübertragung an der Stahlzahnleiste

Abb. 4: Prüfkörper Stahlprisma

Abb. 5: Prüfkörper Betonprisma mit Stahlzahnleisten

Abb. 6: Versuchsaufbau Fachwerkknoten