

Entwicklung von Hybridbauteilen aus Stahl und Holz zur Erhöhung der Tragfähigkeit und der Feuerwiderstandsdauer von Stahltragwerken

Development of hybrid-steel-timber components for an increased load bearing capacity and fire resistance of steel structures

Scheller, Jan-Gabriel; Weiser, Robby

Abstract

The research association at the TU Braunschweig, consisting of the Institute for Building Materials, Concrete Construction and Fire Safety, the Institute for Steel Structures and the Institute for Building Construction and Timber Construction, is pursuing the development of a new type of hybrid component made of steel profiles and high-performance timber cross-sections such as glulam in order to combine the advantages of steel and timber (see Fig. 1). In a steel profile, a chamber timber - analogous to chamber-concreted composite beams - is inserted into the chambers of the I-profile beam via a shear connection. The clever combination of steel profiles and chambered timber as a hybrid beam improves fire protection and increases the load-bearing capacity of the beams.

1. Einführung

Der Forschungsverbund an der TU Braunschweig, bestehend aus dem Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, dem Institut für Stahlbau und dem Institut für Baukonstruktion und Holzbau, verfolgt die Entwicklung eines neuartigen Hybridbauteils aus Stahlprofilen und leistungsstarken Holzquerschnitten wie Brettschichtholz, um die Vorteile von Stahl und Holz zu vereinen (siehe Bild 1). In ein Stahlprofil wird ein Kammerholz - in Analogie zu kammerbetonierten Verbundträgern - über einen Schubverbund in die Kammern des I-Profil Trägers eingebracht. Durch die geschickte Verknüpfung von Stahlprofilen und Kammerholz als Hybridträger wird der Brandschutz verbessert und die Tragfähigkeit der Träger erhöht.



Bild 1: Probekörper aus verzinktem Stahl und Fichte

Holzbauteile zeichnen sich vor allem durch ihren natürlichen Charakter und ihre Nachhaltigkeit aus. Gegenüber Stahl ist die Festigkeit des Holzes jedoch um ein Vielfaches geringer. Damit können dort, wo hohe Tragfähigkeiten der Konstruktion gefordert werden, nur sehr massive Holzbauteile verwendet werden. Im Gegensatz zu Stahl ist Holz ein brennbarer Baustoff. Allerdings können im Brandfall in Abhängigkeit der Dimensionierung der tragenden Holzquerschnitte z. T. wesentlich höhere Feuerwiderstandsdauern als mit ungeschützten Stahlbauteilen erreicht werden. Dies ist auf die geringe Wärmeleitfähigkeit des Holzes, die Ausbildung einer Kohleschicht und dem Verbleib eines Restquerschnitts bei massiven Holzbauteilen zurückzuführen. Hinsichtlich der Bemessung bei Normaltemperatur sind für die dünnwandigen Stahlprofile mit Kammerholz wesentliche Vorteile im Stabilitätsverhalten zu erwarten.

Die Leistungsfähigkeit des Hybridträgers bestimmt im Wesentlichen die Verbindung zwischen Holz und Stahl. Zur Herstellung werden - als Alternative zur konventionellen Gewindeverbindung - selbstbohrende Stabdübel aus Stahl und metallfreie Verbindungsmittel aus Holz untersucht.

2. Methoden

Aufbauend auf den experimentellen und numerischen Voruntersuchungen zu diesem Forschungsvorhaben sind klein-, mittel- und großskalige Versuche geplant.

Mit Hilfe kleinskaliger Kaltversuche wird das mechanische Verbundverhalten der verschiedenen Verbindungsmittel untersucht und eine Charakterisierung der Verbindungsmittel auf Komponentenebene durchgeführt. Dabei werden die Belastungsrichtungen axial, Abscheren parallel und orthogonal zur Faserrichtung, die Verbindungsmittel und die beiden verwendeten Holzarten untersucht. Die axiale Beanspruchung wird insbesondere bei Biegung um die schwache Achse und durch Torsionsbeanspruchungen auftreten, wohingegen bei Biegung um die starke Achse im Wesentlichen eine Abscherbeanspruchung der Verbindungsmittel orthogonal zur Faserrichtung vorliegt.

Das thermische und thermomechanische Verbundverhalten wird anhand von mittel- und großskaligen Brandversuchen ermittelt. Die aus den experimentellen Untersuchungen ermittelten Materialkennwerte fließen in die numerischen Berechnungen ein. Die numerischen Ergebnisse werden über großskalige Versuche kalibriert und validiert. Auf Basis der experimentellen und numerischen Untersuchungen wird ein praxisorientiertes Bemessungskonzept für das Hybridbauteil bei Normaltemperatur und für den Brandfall entwickelt.

Die Hybridträger werden aus IPE 300 Trägern der Stahlorte S235 und BSH Fichte (GL 24 c) bzw. BauBuche (GL 75) als Kammerholz gefertigt. Als Verbindungsmittel werden zunächst Rundstäbe aus Kunstharzpressholz und selbstbohrende Stabdübel untersucht.

3. Zwischenergebnisse

Eine axiale Beanspruchung der selbstbohrenden Stabdübel ist in ihrer Zulassung nicht vorgesehen. Deshalb wurde eine erste Versuchsreihe durchgeführt, um die Tragfähigkeit des Verbindungsmittels hinsichtlich dieser Beanspruchungsrichtung zu untersuchen. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass eine axiale Auszugslast von mindestens 1 kN angesetzt werden kann (siehe Bild 2).

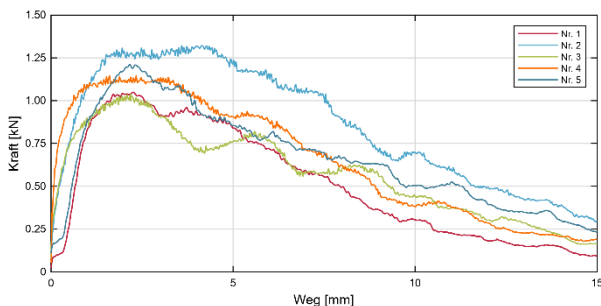


Bild 2: Ergebnisse der Auszugversuche selbstbohrender Stabdübel aus Fichtenholz

Zur Ermittlung des thermischen Verbundverhaltens wurden in Vorbereitung auf die mittelskaligen Versuche ein erstes 2D- und ein 3D-Modell eines Hybridträgers im Finite-Elemente-Programm Abaqus erstellt. Dabei wurde für einen IPE 300 Querschnitt eine 3-seitige Brandbeanspruchung über 90 Minuten gemäß Normbeanspruchung (Einheits-Temperaturzeitkurve, ETK) simuliert.

Die thermische Leitfähigkeit λ von Holz ist deutlich niedriger als die des Stahls. Zusätzlich sind bei der thermischen Analyse die Rohdichte ρ sowie die spezifische Wärmekapazität c_p von zentraler Bedeutung. In den Simulationen wurden die temperaturabhängigen Materialkennwerte λ , ρ und c_p der Eurocodes 3-1-2 und 5-1-2 verwendet. Bei der Aufstellung des 3D-Modells kam es zu sehr hohen

Berechnungszeiten. Hierfür konnte die Funktion der spezifischen Wärmekapazität des Holzes mit einem sprunghaft hohen Anstieg im Bereich von 100 °C nach Eurocode 5-1-2 identifiziert werden. Nach geringfügiger Anpassung des Funktionsverlaufs der spezifischen Wärmekapazität (auf der sicheren Seite liegend) konnte die Rechendauer im Simulationsprogramm deutlich reduziert werden.

4. Ausblick

Die kleinskaligen mechanischen Versuche zur Charakterisierung der Verbindungsmittel werden derzeit durchgeführt. Die Großversuche zur Untersuchung der Hybridträger sollen im 4-Punkt Biegeversuch um die starke und schwache Achse mit einer Trägerlänge von 5 m durchgeführt werden, die Torsionsversuche mit einer Länge zwischen 2 m und 2,5 m. Die Versuchsstände für die Untersuchungen im Kaltzustand befinden sich derzeit im Aufbau.

Die mittelskaligen Brandversuche stehen unmittelbar bevor und werden in fünf Versuchen mit jeweils zwei Bauteilen durchgeführt. Der horizontale Abstand der Verbindungsmittel untereinander wird hierbei variiert. Für eine weitergehende Erhöhung des Feuerwiderstandes werden drei voneinander unabhängig zu untersuchende Modifizierungen vorgenommen. Grundsätzlich ist bei der Herstellung von Stahlträgern mit entsprechenden Toleranzen zu rechnen. Um die durch die Toleranzen zwischen dem Kammerholz und den Flanschen des Stahlträgers verursachten Fugen und Abstände ausgleichen zu können, wird in diesem Bereich ein aufschäumendes Dichtband eingebracht. Als zweite Modifizierung wird die Auswirkung einer Verzinkung der Stahlträger untersucht. Die Verzinkung hat einen positiven Effekt auf den Feuerwiderstand von Stahlkonstruktionen [1]. Da der untere Flansch des Stahlträgers der höchsten thermischen Beanspruchung im Brandfall ausgesetzt ist, wird dieser als dritte Modifizierung mit einem im Brandfall dämmschichtbildenden Anstrich geschützt.

Durch die Forschungsergebnisse werden vertiefende Kenntnisse über das Stabilitäts- und Brandverhalten von Stahlprofilen in Verbindung mit dem eingesetzten Kammerholz gewonnen.

5. Literatur

- [1] Mensinger, Martin; Christian, Gaißl: Feuerwiderstand von feuerverzinkten, tragenden Stahlkonstruktionen im Brandfall, Bericht Nr. 169 Gemeinschaftsausschuss Verzinken e. V., Düsseldorf, 2019.

Kontakt: J.-G. Scheller (Mail: j.scheller@ibmb.tu-bs.de)