

# Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verbundverhalten von Holz-Stahl-Hybrid-Trägern unter Biegebeanspruchung

Pol Kails

## Einführung

Zur Einhaltung der Ziele des Klimaschutzplans 2050 der deutschen Bundesregierung wird eine Reduktion anthropogen erzeugter CO<sub>2</sub>-Emissionen angestrebt. Im Bausektor kann dieses Vorhaben mithilfe des Einsatzes ressourcen- und emissionschonender Baustoffe umgesetzt werden. Zu diesem Zweck wird eine Steigerung des Einsatzes des klimaschonenden Baustoffes Holz anvisiert. Aufgrund der Einschränkungen des Baustoffs Holz, wird der Einsatz einer reinen Holzbauweise in anspruchsvollen Strukturen erschwert. Mithilfe innovativer Konzepte sollen diese materialtechnischen Herausforderungen gelöst werden und eine Steigerung des Einsatzes des Werkstoffes Holz in der baupraktischen Anwendung ermöglicht werden. Die Weiterentwicklung innovativer Konzepte wie die hybride Holz-Stahl-Bauweise soll dieses Vorhaben unterstützen.

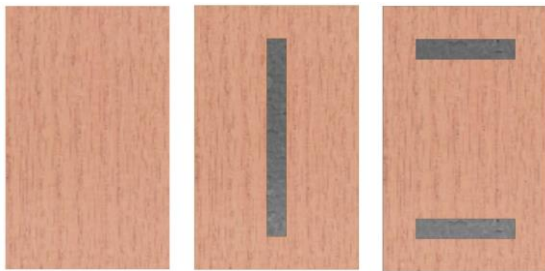


Abbildung 1 Querschnitte der untersuchten Träger

## Aufgabenstellung

Ziel dieser Abschlussarbeit war es, das Trag- und Verbundverhalten von Holz-Stahl-Hybridträgern unter Biegebeanspruchung zu untersuchen. Zwei essenzielle Fragestellungen waren hier, ob es möglich ist, die mechanischen Eigenschaften von hybriden Strukturen mithilfe eines Vorplanprozesses realitätsgetreu voraussagen zu können und ob ein starrer und zuverlässiger Verbund von Holz und Stahl mithilfe einer klebtechnischen Verbindung ermöglicht werden kann.

## Methodik

Diese Untersuchungen wurde experimentell mithilfe von Biegeversuchen an hybriden Biegeträgern mit klebtechnischem Verbund unterschiedlicher Anordnungen umgesetzt.

Analytische und numerische Methoden wurden zusätzlich angewendet, um den Planungsprozess der experimentellen Versuche zu gestalten und deren Auswertung zu vertiefen und zu ergänzen. Insbesondere innere Spannungs- und Dehnungszustände der einzelnen Holz- und Stahlbauteile sollten somit detaillierter untersucht werden.



Abbildung 2 Experimentelle Versuchsdurchführung

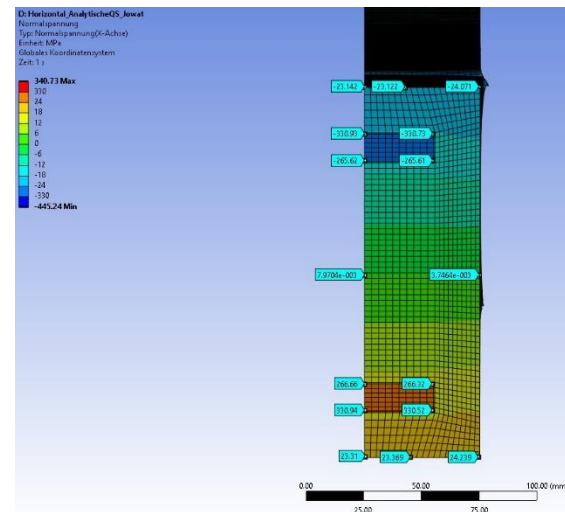


Abbildung 3 Numerisches Modell

## Klebtechnischer Fertigungsprozess

Die einzelnen Bestandteile der hybriden Holz-Stahl-Biegeträger wurden mithilfe einer klebtechnischen Fügung verbunden. Hier ist ein Zweikomponenten-Epoxidharz verwendet worden. Um einen bestmöglichen Verbund herzustellen und um diesen so reproduzierbar wie möglich zu gestalten, ist im Rahmen der Vorplanung ein sorgfältiger klebtechnischer Fertigungsprozess entwickelt worden.

Der klebtechnische Fertigungsprozess hat eine Vielzahl an essenziellen Faktoren behandelt. Zum einen mussten die Bauteile auf diesen Prozess vorbereitet werden. Die zu klebenden Holzoberflächen wurden gehobelt, die Stahlbauteile entweder verzinkt oder sandgestrahlt und anschließend gereinigt und entfettet.

Zum anderen mussten während des gesamten Prozesses unterschiedliche Umgebungsbedingungen eingehalten werden. Hierbei hat es sich hauptsächlich um die relative Luftfeuchtigkeit und um die Temperatur innerhalb des Klebraumes gehandelt. Die Einhaltung dieser Randbedingungen hat einen möglichst hohen Verbund und eine Reproduzierbarkeit des Fertigungsprozesses ermöglicht.



Abbildung 4 Applikation des Klebstoffs

Die eigentliche Klebstoffapplikation ist in zwei Schritten erfolgt. Der gemischte Klebstoff wurde in der Form von großen Raupen auf dem Stahlbauteil aufgetragen und mithilfe einer Zahnpachtel gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt. Anschließend ist das Stahlbauteil auf der zu klebenden Holzoberfläche aufgetragen worden. Nach der Anordnung der einzelnen Bauteile zueinander sind Schraubzwingen verwendet worden, um einen Anpressdruck zwischen den Bauteilen zu erzeugen. Dies hat eine möglichst flächige Verteilung des Klebstoffs hervorgerufen. Zudem konnte hiermit die Benetzung des Klebstoffs maximiert werden.

Diese klebtechnische Fügung hatte das Ziel einen starren Verbund zwischen den Holz- und Stahlbauteilen herzustellen, ohne einen maßgebenden Einfluss auf die Tragfähigkeit und die Steifigkeit der Verbundträger auszuüben.



Abbildung 5 Montage der Hybridträger

### Experimentelle Versuchsdurchführung

Die experimentelle Versuchsdurchführung wurde anhand von Vier-Punkt-Biegeversuchen an großteiligen Probekörpern bewerkstelligt. Für die Durchführung der Versuche ist eine hydraulisch gesteuerte Universalprüfmaschine verwendet worden. Der Tisch dieser Prüfmaschine ist auf den durchzuführenden Versuch angepasst worden.



Abbildung 6 Ansicht der Biegeversuche

Die in eigener Produktion hergestellten hybriden Biegeträger haben eine Feldlänge von 2,40 Meter aufgezeigt. Während der Versuchsdurchführung sind mithilfe von Wegaufnehmern lokale und globale Durchbiegungen der Träger gemessen worden, welche eine Auswertung der Versuche ermöglicht hat. Zudem wurden mithilfe von Dehnungsmessstreifen (DMS) die Dehnungen der Stahlbauteile gemessen. Hiermit konnte das Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Stahlbauteile aufgezeichnet werden. Dieses hat die Plastizität von Stahlbauteilen in hybriden Strukturen aufzeigen können. Sämtliche Biegeträger sind weggesteuert bis zum Totalversagen untersucht worden.



Abbildung 7 Totalversagen der Hybridträger

Das Primärversagen der einzelnen hybriden Biegeträger ist überwiegend in den jeweiligen Holzbauteilen aufgetreten. Dieses hat sich spröde in Form von Biegeversagen oder durch ein Schubversagen eingestellt. Die Stahlbauteile haben sich in einigen Trägern vor dem Versagen plastifiziert oder sind in einem annähernd linear elastischen Bereich geblieben.

### Numerische Nachuntersuchung

Nachträglich zur experimentellen Versuchsdurchführung sind numerische Simulationen der experimentell durchgeführten Biegeträger erfolgt. Diese haben eine Beurteilung der inneren Dehnungs- und Spannungszustände der einzelnen Bauteile ermöglicht, welche in der experimentellen Versuchsdurchführung nur schwierig messbar waren. Für die Holzbauteile wurde hierfür insbesondere die Biegespannung und die Schubspannung an den maßgebenden Stellen ermittelt. In einigen Trägern konnte hier eine Überschreitung der maßgebenden Schubfestigkeit des Holzes bestätigt werden (in diesem Fall 4,19 MPa). Die Stahlbauteile wurden im Wesentlichen auf die Plastifizierung des Querschnitts untersucht. Hier konnte festgestellt werden, dass sich in einigen Trägern plastische Effekte eingestellt haben, allerdings keine vollplastischen.

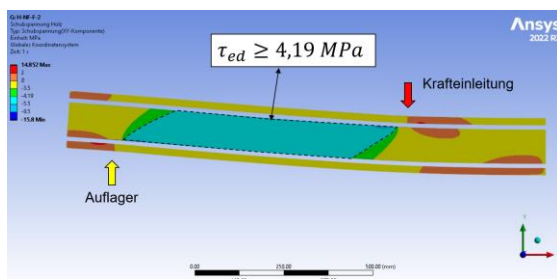


Abbildung 8 Numerische Nachuntersuchung

### Ergebnisse und Schlussfolgerung

Mithilfe aller gesammelten Ergebnisse und Erkenntnisse lassen sich folgende Beobachtungen feststellen. Zum einen konnte erfolgreich ein klebtechnischer Verbund zwischen Holz- und Stahlbauteilen hergestellt werden. Zum anderen haben die hybriden Biegeträger wesentliche Verbesserungen ihres Tragverhaltens aufgezeigt. Eine relative Steigerung der Tragfähigkeit und Steifigkeit von bis zu 120,72 % bzw. 236,64 % von hybriden Biegeträgern in Bezug zu reinen Brettschichtholzträgern gleicher Geometrie lassen sich anhand der Ergebnisse der experimentellen Versuche feststellen.

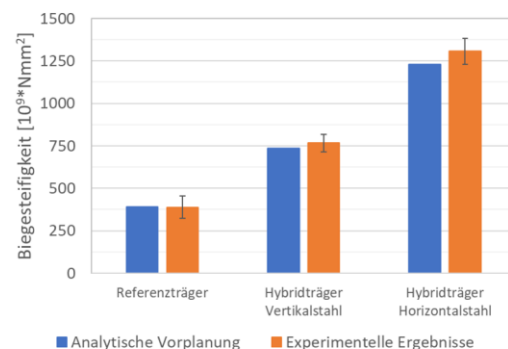


Abbildung 9 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Des Weiteren konnten die Ergebnisse der analytischen und numerischen Vorplanung mithilfe der experimentellen Versuche validiert und bestätigt werden. Numerische Untersuchungen erlauben somit vertiefende Untersuchungen an hybriden Biegeträgern und können die Auswertung der Ergebnisse experimenteller Versuche ergänzen und unterstützen.

Schlussendlich lässt sich mithilfe der durchgeführten Versuche feststellen, dass eine Holz-Stahl-Hybridbauweise mit einer klebtechnischen Fügung prinzipiell im Bauwesen einsetzbar ist. Zudem weisen die Ergebnisse dieser Abschlussarbeit darauf hin, dass diese hybriden Strukturen vielversprechende Eigenschaften besitzen.