

Vorlesungsbegleitende Versuche im Holzbau

Prof. Dr.-Ing. Hugo Rieger
Fakultät Bauingenieurwesen
Technische Hochschule Nürnberg

Fabian Strobl M.Eng.
Fakultät Bauingenieurwesen
Technische Hochschule Nürnberg

Zusammenfassung:

Die Implementierung von Versuchsdurchführungen in den Vorlesungsbetrieb soll den Studierenden als Unterstützung dienen, theoretisch erworbene Kenntnisse anhand realer Versuchen zu festigen. Um solche in sich geschlossenen Versuche zu erproben und schließlich in den Lehrbetrieb zu integrieren, wurden Prüfkörper aus Holz hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und hinsichtlich ihres Bruchverhaltens untersucht. Die Versuchsdurchführungen wurden anhand von ausführlichen Prüfberichten und Videoaufzeichnungen dokumentiert und aufgewertet. Als Versatzarten wurden herkömmliche, in der Baubranche bereits verwendete Versatzarten, sowie eigene Ideen zur Konstruktion von Versätzen überprüft. Des Weiteren wurden Zapfenverbindungen auf ihre Querdruktragfähigkeit geprüft. Als Fortsetzung des Forschungsprojekts sollen neue Konstruktionen für den Lehrbetrieb erarbeitet werden. Zusätzlich bietet es sich an, ähnliche Versuchsdurchführungen für weitere Lehrveranstaltungen, wie zum Beispiel Stahlbau zu erstellen.

1. Projektdaten

Fördersumme	5100 Euro
Laufzeit	März bis August 2015
Fakultät	Bauingenieurwesen
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Hugo Rieger, Fabian Strobl M.Eng.
Kontaktdaten	E-Mail: fabian.strobl@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Im Rahmen der studentischen Forschungsgruppe wurden im Wintersemester 14/15 bereits erste Versuche an hölzernen Probekörpern durchgeführt. Die aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse sollten anhand von weiteren Probekörpern vertieft und verifiziert werden. Neben den wissenschaftlichen Aspekten, war der Grundgedanke, die Ergebnisse dieser Versuche in den Lehrbetrieb zu integrieren. In Zusammenarbeit mit den internen Kooperationspartnern Prof. Dr.-Ing. Hugo Rieger und Prof. Dr.-Ing. René Conchon wurden hierzu Versuche an hölzernen Probekörpern durchgeführt. Diese Versuche sollen in Zukunft im 3. Semester des Bachelorstudiengangs Bauingenieurwesen in den Vorlesungsbetrieb, anhand von Videomaterial, Prüfberichten und der Probekörper implementiert werden, um den insgesamt 118 eingeschriebenen Studierenden eine Veranschaulichung des in der Theorie erlernten bieten zu können.



Abb. 1: Aufbau der Versuchsreihe im Holzbau im konstruktiven Labor der Fakultät Bauingenieurwesen

3. Ziele des Forschungsprojekts

Ziel des Forschungsprojektes ist es Versuche an hölzernen Probekörpern durchzuführen, welche anschließend im Rahmen von Lehrveranstaltungen genutzt werden sollen. Dabei soll durch diese kleinen, in sich geschlossenen, Versuche das Verständnis für theoretisch vermittelte Grundlagen gestärkt und gefestigt werden. Die Probekörper sollen in den Vorlesungsbetrieb als Anschauungsobjekte mit einbezogen werden, um das Tragverhalten und die Versagensform anschaulich darstellen zu können. Des Weiteren werden die Versagensformen sowie die Rissausbreitung der einzelnen Probekörper mit Hilfe von Videoaufnahmen im Slow-Motion Format aufgezeichnet.

Als Prüfkörper des Forschungsprojekts werden die folgenden Versätzearten und Anschlüsse festgelegt:

- Stirnversatz
- Fersenversätze
- Treppenversätze
- Wellenversätze (verleimt / unverleimt)
- Zapfenanschlüsse

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

4.1 Vorbereitung der Prüfkörper und Ausstattung des Prüfstandes

Die Herangehensweise des Forschungsprojekts ist unterteilt in mehrere Schritte.

Im ersten Schritt wurden innerhalb des Forschungsteams Überlegungen zu unterschiedlichen Typen der Holzverbindungen angestellt. Bei dieser Recherche konnten sowohl in der Fachliteratur, als auch anhand aktueller Bauarten der freien Wirtschaft unterschiedliche Konstruktionsdetails von Holzverbindungen festgestellt werden. Diese unterschiedliche Herangehensweise bei der Konstruktion von beispielsweise Stirn- und Fersenversätzen wurde diskutiert und hinterfragt. Dabei wurde vor allem auf den unterschiedlichen Lastabtrag der einzelnen Versätzearten geachtet. Um eine möglichst effiziente Nutzung des Materials unter Einbezug von zusätzlichen Verbindungsmitteln wie Leim, Nägel, Schrauben oder auch nur aufgrund von Reibung herstellen zu können, wurden Skizzen und kleine Handrechnungen angefertigt.

Es stellten sich neben dem normalen Stirn- und Fersenversatz vor allem Treppenversätze mit unterschiedlichen Abstufungen als sinnvolle Varianten heraus. Um die Aufnahme der Kräfte bestmöglich ausnutzen zu können, wurde bei den sogenannten Wellenversätzen zusätzlich ein Äquivalent hergestellt, das in der Fuge des Versatzes verleimt wurde. Dadurch konnte eine erhöhte Reibung, bzw. Haftung des Versatzes sichergestellt werden.

Neben Stirn- und Fersenversätze, die aufgrund des Neigungswinkels hauptsächlich auf Normalkraft parallel zur Faser beansprucht werden, wurden weiterhin Versuche zur Tragfähigkeit von Holz senkrecht zur Faser vorbereitet. Dabei sollte vor allem das Verhalten von Zapfenverbindungen untersucht werden, um die Belastbarkeit von Holz auf Querdruck zu simulieren. Jede Versatzvariante und Zapfenverbindung wurde an Hölzern mit rechteckigem Querschnitt von 6,0 cm x 6,0 cm sowie 8,0 cm x 8,0 cm gefertigt und geprüft.

Parallel zur Planung und Fertigung der Prüfkörper wurden die Prüfmaschine und der Versuchsstand eingerichtet. Um eine Prüfung von Versätzen unter einem bestimmten Winkel durchführen zu können, musste eine Auflagerkonstruktion entwickelt und hergestellt werden. Als geeignet stellte sich eine Stahlkonstruktion unter einem Winkel von 45° dar. Diese Unterkonstruktion wurde aus drei HEA- Profilen als Schweißkonstruktion angefertigt. Die Unverschieblichkeit der Konstruktion wurde durch eine Einspannung der Stahlkonstruktion an die Prüfmaschine sichergestellt. Die Befestigung des Holzversatzes an die Stahlkonstruktion erfolgt über ein Flachstahlwinkelprofil, welches mittels Gewindestangen und Muttern an der Unterkonstruktion befestigt wurde. Die Befestigung des Prüfkörpers aus Holz wird mit Schrauben am Flachstahlprofil sichergestellt. Zur Sicherheit vor Holzsplittern während der Prüfung wurde eine Holzrahmenkonstruktion mit einer dicken Plexiglasscheibe angefertigt. Dieser Splitterschutz wurde zusätzlich mit externen Lichtquellen bestückt, damit bei der späteren Videoaufzeichnung im Slow-Motion Format und der damit einhergehenden kurzen Belichtungszeit der Spiegelreflexkamera genug Licht zur Verfügung steht.

Neben der Einrichtung der Prüfmaschine und des Versuchsstands, wurde im nächsten Schritt die Messtechnik vorbereitet. Um die Versuche messtechnisch verfolgen zu können, wurde der Prüfraum mit Kraftmessdosen ausgestattet. Die Verformungen wurden mittels induktiver Wegaufnehmer gemessen. Als Messdatenerfassungssystem wurde ein HBM Quantum X Messverstärker eingerichtet welcher über die Firmensoftware Catman die Verbindung zum Prüfstand herstellte. Für die Slow-Motion Videoaufzeichnung wurde eine Spiegelreflexkamera vor dem Splitterschutz aufgebaut.

4.2 Versuchsdurchführung und Beurteilung der Probekörper

In den ersten Versuchsreihen wurden die Stirnversätze überprüft. Hierbei wurden die Prüfkörper bis zum Versagensfall belastet. Die daraus resultierenden Zerstörungsbilder zeigen in ihrem Erscheinungsbild den erwartenden Effekt. Die maßgebende Komponente des Anschlusses ist bei keiner zusätzlichen Verleimung die Vorholzlänge. Diese wurde mit $l_v = 12,0$ cm gewählt und nimmt die gesamte Belastung auf.

Ab der Überschreitung der Tragfähigkeit kommt es zu einem Versagen des Vorholzes, da die Schubspannungen im Holz nicht mehr aufgenommen werden können. Das Versagen tritt genau auf Höhe der Versatztiefe $t_v = 1,2$ cm ein. Ein Versagen in der Stirnfläche A_s , bei der Kontaktpressung von Schwelle und Diagonale tritt nicht ein.

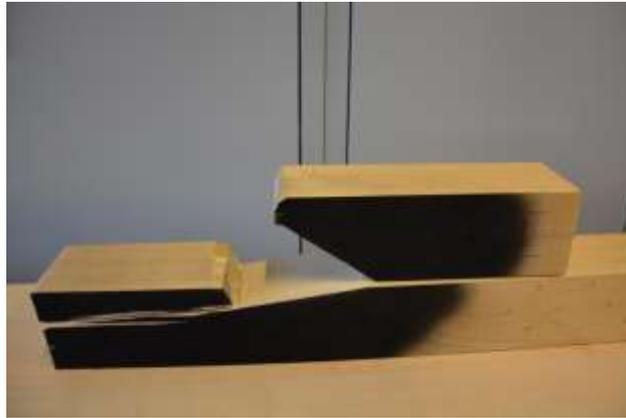


Abb. 2: Bruchbild eines unverleimten Stirnversatzes

In der nächsten Versuchsreihe wurden Fersenversätze auf Ihre Tragfähigkeit und auf die Bruchbilder untersucht. Bei der Auswertung des Bruchverhaltens ist auffällig, dass nicht die Schwelle versagt, sondern es bei der Diagonale zu einem Überschreiten der Schubfestigkeit kommt. Da der Versatz in einem sehr großen Winkel ausgebildet wurde, tritt in der Schwelle hauptsächlich eine Belastung auf Querdruck auf, hingegen bei der Diagonale eine Belastung durch eine Normalkraft. Da Holz eine relativ geringe Spaltzugfestigkeit aufweist, tritt ein Versagen der Gesamtkonstruktion in der Diagonale auf.



Abb. 3: Versagensform eines Fersenversatzes

Anhand der Versuche an Treppenversätzen sollten die Vorteile von Stirn- und Fersenversatz vereint werden. Dabei wurden drei Stufen in die Schwelle und Diagonale gefräst. Positive Auswirkungen wurden sich erhofft, da es zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche kommt. Diese theoretischen Ansätze konnten anhand der erhöhten Tragfähigkeit und des Versagens der verlängerten Vorholzlänge auch im Versuch sichtbar gemacht werden.



Abb. 5: Versagensform eines Treppenversatzes

Beim Wellenversatz nimmt die Kontaktfläche an der Stirnfläche weiterhin den größten Anteil der Belastung auf, jedoch wird durch die Ausrundung der Stirnfläche die Gefahr des Versagens auf Spaltzug vermindert. Zusätzlich kommt es durch die wellenartige Kontaktfläche zu einer Erhöhung der Reibungsfläche. Durch die zusätzliche Verleimung kann weiterhin eine Erhöhung der Traglast sichergestellt werden.



Abb. 6: Unterschiedliches Bruchverhalten beim Wellenversätzen

In der letzten Versuchsreihe wurden die Zapfenverbindungen auf Querdruck belastet. Durch den Zapfen ist die Druckstrebe lagegesichert und trifft horizontal auf die Schwelle auf. Hierbei wurde die geringere Tragfähigkeit von Holz senkrecht zur Faser gegenüber der parallelen Belastung aufgezeigt. Dabei konnte deutlich das Eindringen der einzelnen Fasern bis hin zum Gesamtversagen aufgezeigt werden. Die Verformungen der einzelnen Fasern lassen sich bei Hölzern, die durch Querdruckkräfte belastet sind, sehr gut aufzeigen.



Abb. 7: Bruchbild bei einer Beanspruchung auf Querdruck

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsthemas konnte erfolgreich die Basis für weitere Versuche an Probekörpern aus Holz oder anderen Baustoffen, wie zum Beispiel Stahl oder Aluminium gelegt werden. In der Versuchsreihe wurden Versuche zur Tragfähigkeit, Verformung und Bruchverhalten von Holz durchgeführt. Dabei konnten an unterschiedlichen Versatzkonstruktionen Versagensformen festgestellt, dokumentiert und diskutiert werden. Diese Prüfkörper können in den Vorlesungsbetrieb mit eingebunden werden um den Studierenden eine anschauliche Darstellung der Verhaltensweisen von Holzkonstruktionen vorzuzeigen. Bekräftigt wird dies durch das gefilmte Videomaterial der Versuchsdurchführungen. Durch interessierte Studierende können im Rahmen der studentischen Forschungsgruppe zukünftig weitere Konstruktionen erstellt und somit eine Fortsetzung des Forschungsprojekts sichergestellt werden.

6. Verwendung der zur Verfügung gestellten Mittel

Für die Bearbeitung des Projekts wurden drei Studierende, die bereits einschlägige Erfahrungen im Bereich fachgerechte Durchführung von Prüfungen durch die studentische Forschungsgruppe gesammelt haben, als studentische Hilfskräfte eingestellt. Die Studierenden wurden über die gesamte Projektdauer von insgesamt 20 Wochen zu je vier Stunden pro Woche angestellt.

Des Weiteren wurde eine Spiegelreflexkamera mit Zubehör angeschafft, mit der die Slow-Motion Videoaufzeichnungen während der Prüfung und der Zerstörung der Probekörper aufgenommen wurden. Anhand dieser Videos kann in zukünftigen Vorlesungen das Verformungsverhalten, die Rissausbreitung und der allgemeine Versagensfall anschaulich dargestellt und vorgeführt werden.

Da Holz ein inhomogener Werkstoff ist, wurden von den zur Verfügung gestellten Mitteln Kanthölzer mit erhöhter Güteklasse angeschafft, aus welchen anschließend die verschiedenen Probekörper in mehrfacher Ausführung hergestellt wurden. Durch die hohe Güteklasse wurden die materialbedingten Streuungen der Messergebnisse der Probekörper möglichst gering gehalten. Weiterhin wurden bei der Einrichtung der Prüfanlage kleinteile, wie Schrauben, etc. und allgemeines Verbrauchsmaterial benötigt.