

AiF-Forschungsvorhaben 18048 N

Einfluss exzentrisch positionierter runder Einzeldurchbrüche und Gruppen von Durchbrüchen auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern

Entwicklung von Bemessungsverfahren und Konstruktionsregeln für Verstärkungsmaßnahmen

Forschungsstelle Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Projektleitung: Dr.-Ing. Philipp Dietsch
Projektbearbeitung: Martin Danzer, M.Sc.

Laufzeit 05/2014 – 02/2017

Zusammenfassung

Der Forschungsbericht handelt von experimentellen und numerischen Untersuchungen an Brettschichtholzträgern mit runden Durchbrüchen. Über die geometrischen Einschränkungen gemäß DIN EN 1995-1-1/NA:2013 hinausgehend wurden insbesondere die Einflüsse exzentrisch positionierter Einzeldurchbrüche sowie Gruppenanordnungen von Durchbrüchen in horizontaler sowie vertikaler Richtung behandelt. Dabei wurden neben Betrachtungen im unverstärkten Zustand der verstärkte Zustand in Form innenliegender, eingedrehter Verstärkungselemente untersucht sowie der Effekt dieser Verstärkungsart quantifiziert.

Die experimentelle Grundlage des Forschungsvorhabens bildeten 2 Versuchsreihen mit unterschiedlichen Trägerabmessungen (Kleinversuche $b \times h = 120 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$; Großversuche $b \times h = 200 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$)

Im Rahmen der Kleinversuche zeigte sich bei einer Durchbruchgröße $d/h = 0,35$ im unverstärkten Zustand im auflagenahen Bereich nur ein geringfügiger Einfluss der Ausmitte. Im verstärkten Zustand äußerte sich der Einfluss der Ausmitte ausgeprägter in Form abnehmender Tragfähigkeiten bei einer Verlagerung der Position des Durchbruchs vom Biegedruck- in Richtung des Biegezugbereichs. Die erreichten Tragfähigkeitssteigerungen infolge unter einem Winkel $\alpha = 60^\circ$ angeordneter Verstärkungselemente belaufen sich auf Höchstlastniveau im Vergleich zum unverstärkten Zustand auf bis zu 98%, abhängig von der exzentrischen Position der Durchbrüche. Im Fall einer horizontalen Gruppenanordnung von 2 Durchbrüchen

sank die Tragfähigkeit bei Verringerung des lichten Abstandes bis minimal $l_z = 1,0d$ im unverstärkten Zustand auf dem Niveau der Durchrisslasten auf etwa 73% ab. Im verstärkten Zustand (Neigung der Verstärkungselemente $\alpha = 60^\circ$) kann hinsichtlich der gegenseitigen Beeinflussung keine Aussage getroffen werden, da auf Höchstlastniveau an allen Prüfkörpern ein globales Biege-/Schubversagen festzustellen war. Im Fall der vertikalen Gruppenanordnung in Form zweier Durchbrüche kleinerer Größe ($d/h = 0,25$) zeigte sich im unverstärkten Zustand im Vergleich zu exzentrischen Durchbrüchen gleicher Größe nur ein geringer gegenseitiger Einfluss, indem die Durchrisslasten auf etwa 92% sanken. Im verstärkten Zustand (Neigung der Verstärkungselemente $\alpha = 90^\circ$) zeigte sich nur ein geringer Verstärkungseffekt, was zum einen auf die Neigung der Verstärkungselemente $\alpha = 90^\circ$ und zum anderen auf das Auftreten verschiedener Versagensmodi zurückzuführen ist.

Im Rahmen der Großversuche wurden vier verstärkte Konfigurationen der Kleinversuche (zwei exzentrische Anordnungen $e/h = \pm 0,175$, eine horizontale Gruppenanordnung $l_z = 1,0d$ sowie eine vertikale Gruppenanordnung) sowie zusätzlich zwei unverstärkte Konfigurationen exzentrischer Durchbrüche unter reiner Momentenbeanspruchung geprüft. In den Konfigurationen "exzentrischer Einzeldurchbruch $e/h = 0,175$ " sowie "vertikale Gruppe" wurde die Anordnung der Verstärkungselemente optimiert, indem die Neigung auf $\alpha = 45^\circ$ angepasst wurde. Dadurch konnte das Verhältnis der erreichten Höchstlasten der beiden Anordnungen $e/h = \pm 0,175$ im Vergleich zu den Kleinversuchen geringfügig von 0,72 auf 0,77 gesteigert werden. Im Fall der vertikalen Gruppe erhöhte sich das Verhältnis aus erreichter und abgeschätzter Schubtragfähigkeit von 0,63 (Kleinversuche) auf 0,80. Jedoch konnte das Potenzial der geneigten Anordnung infolge des Versagens auf Biegezug im unteren Restquerschnitt nur zum Teil ausgeschöpft werden. Die Prüfkörper der horizontalen Gruppe zeigten wie im Fall der Kleinversuche ein globales Versagen außerhalb der Durchbruchbereiche. Dehnungsmessungen an Prüfkörpern zweier Konfigurationen unverstärkter, exzentrischer Durchbrüche unter reiner Momentenbeanspruchung konnten eine lokal konzentrierte Beanspruchung in Faserrichtung an den außenliegenden Bereichen des Durchbruchs versuchstechnisch nachweisen. Hinsichtlich der Größenordnung können diese konzentrierten Dehnungen ein Vielfaches der Werte am Bauteilrand betragen. Bei einer Anordnung im Biegedruckbereich äußerte sich dies in der messtechnisch erfassten Ausbildung einer Zone mit plastischen Stauchungen. Bei einer Anordnung im Biegezugbereich traten diese Konzentrationen ebenfalls in Form positiver Dehnungen auf, inwieweit diese das letztendliche Biegezugversagen beeinflussten, kann aus dem beobachteten Versagensmechanismus jedoch nicht beantwortet werden.

In begleitenden FEM-Berechnungen mit und ohne Berücksichtigung von Verstärkungsmaßnahmen wurden die Untersuchungen ausgeweitet. Im unverstärkten Zustand wurde zunächst der Einfluss der Ausmitte getrennt anhand der einzelnen Spannungskomponenten erläutert und die Bereiche hoher Spannungskonzentrationen bestimmt. In Bezug auf das für den unverstärkten Zustand maßgebende Querkzugversagen zeigte sich zwischen den numerischen Berechnungen in Kombination mit einem Weibull-basierten Bemessungsansatz und den Versuchen durchgehend eine gute Übereinstimmung, so dass dieser Ansatz für folgende Untersuchungen weiterverwendet wurde. Auf Grundlage einer Bestimmung der resultierenden Querkzugkräfte in Abhängigkeit der Ausmitte, getrennt für die Beanspruchungen Querkraft und Moment, wurde für den unverstärkten Zustand ein Bemessungskonzept abgeleitet, bei dem die Auswertung auf Grundlage der Weibull-Theorie in das derzeit bestehende Nachweisformat übertragen wurde. Durch die vereinfachte Addition der beiden Querkzuganteile ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Überlagerung bewegt sich das Nachweisformat auf der sicheren

Seite. Eine Validierung anhand der eigenen Versuchsergebnisse unverstärkter Konfigurationen sowie anhand in der Literatur zugänglicher Versuchsergebnisse unverstärkter, zentrischer Durchbrüche wurde gegeben.

Für numerische Betrachtungen des verstärkten Zustandes wurde zunächst die axiale Verbundsteifigkeit zwischen Vollgewindeschraube – Holz für verschiedene Neigungen zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung in kombinierten Versuchen und Simulationen bestimmt. Die in das Simulationsmodell implementierte Verbundsteifigkeit konnte mit Dehnungsmessungen in den Vollgewindeschrauben validiert werden. Eine Bestimmung von Versagenslasten auf Höchstlastniveau auf Basis maximaler Spannungswerte am Durchbruchrand im ungerissenen Zustand war unzureichend genau. Infolgedessen wurde der verstärkte, teilgerissene Zustand in stark vereinfachter Weise abgebildet, indem auf beiden Seiten des Durchbruchs jeweils ein Riss der über Bild- und Videoaufzeichnungen von Versuchen abgeschätzten Länge $d/2$ angesetzt wurde. Der Effekt der Verstärkungselemente wurde anhand getrennter Betrachtungen hinsichtlich Querkzug und Schub und verschiedenartig geneigter Verstärkungselemente ($\alpha = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$) am Beispiel der Kleinversuche ($d/h = 0,35$; $e/h = -0,175$ bis $0,175$) quantifiziert. Numerische Betrachtungen hinsichtlich der in den geneigten Verstärkungselementen auftretenden Kräfte am Beispiel zweier exzentrischer Konfigurationen der Kleinversuche ergaben, dass eine vereinfachte Umrechnung der resultierenden Querkzugkräfte auf die geneigte Ebene auf der sicheren (Anordnung Biegedruckzone) teilweise aber auch geringfügig auf der unsicheren Seite (Anordnung Biegezugzone) liegen kann. Eine alternative Bestimmung der Horizontalanteile der Kräfte in Abhängigkeit des Schubflusses infolge der Querkraft auf Höhe der potentiellen Rissebenen ergaben bei einer Neigung $\alpha = 60^\circ$ Längen von etwa $0,3d$ und bei einer Neigung $\alpha = 45^\circ$ Längen von etwa $0,55d$. Dehnungsmessungen in Verstärkungselementen der Großversuche bestätigten diese Größenordnung der angegebenen Werte, lieferten jedoch im Vergleich zu den in numerischen Berechnungen der Kleinversuche ermittelten Werte durchgehend etwas niedrigere Werte. Infolge der vereinfachten simulations-technischen Betrachtungen mit angenommenen Risslängen und einer Betrachtung weniger Beispiele kann jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt kein allgemeingültiges Bemessungskonzept angegeben werden. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Hinsichtlich Gruppenanordnungen von Durchbrüchen in horizontaler Richtung wurde die gegenseitige Beeinflussung in numerischen Berechnungen im Rahmen einer Parameterstudie unter Variation des lichten Abstandes quantifiziert. Als Beurteilungskriterium wurden basierend auf einem Weibull-basierten Bemessungsansatz die Durchrisslasten der Gruppen und der entsprechenden Einzeldurchbrüche im unverstärkten Zustand ermittelt und miteinander verglichen. Aus diesen Ergebnissen wurde für Gruppen von bis zu 3 Durchbrüchen und einer Durchbruchgröße $d/h \leq 0,30$ ein Abminderungsbeiwert in Abhängigkeit des lichten Abstandes abgeleitet. Wenngleich die Anwendungsgrenzen in den Versuchen nicht eingehalten wurden und als vergleichbarer Einzeldurchbruch nur der jeweils auflagernahe Durchbruch der Gruppe versuchstechnisch geprüft wurde, wären die verschiedenen Zustände über den vorgeschlagenen Abminderungsbeiwert abgedeckt. Das Mindestmaß $l_z = 1,5h$, ab dem gemäß DIN EN 1995-1-1/NA:2013 ein gegenseitiger Einfluss vernachlässigt werden darf, kann bis zur untersuchten Durchbruchgröße $d/h = 0,30$ bestätigt werden. Bei noch größeren Durchbrüchen ist zu erwarten, dass sich das Mindestmaß vergrößern wird.

Für Gruppenanordnungen in vertikaler Richtung wurde ein zur horizontalen Anordnung analoges Vorgehen gewählt. Infolge geometrischer Randbedingungen wurden die Untersuchungen

auf eine Durchbruchgröße $d/h \leq 0,15$ sowie eine Anzahl von bis zu 3 Durchbrüchen beschränkt. In Abhängigkeit des lichten Abstandes wurde ein Abminderungsbeiwert angegeben. Im Vergleich zu horizontalen Anordnungen äußert sich die gegenseitige Beeinflussung in einem geringeren Ausmaß. Ein Mindestabstand, ab dem eine gegenseitige Beeinflussung näherungsweise vernachlässigt werden kann, ergab sich aus den Untersuchungen ab etwa $l_z \geq 5d$, was praktisch jedoch nur bei großen Trägerhöhen in Kombination mit sehr kleinen Durchbrüchen möglich ist.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 18048 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. - iVTH, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:

Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH)
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig