

Martin Danzer, Philipp Dietsch, Stefan Winter

Verhalten verstärkter Brettschichtholzbauteile unter Schwindbeanspruchung

F 3212

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0506-2

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Verhalten verstärkter Brettschichtholzbauteile unter Schwindbeanspruchung

Schlussbericht zum Vorhaben SWD-10.08.18.7-17.22

Projektbearbeitung Martin Danzer, M.Sc.

Projektleitung Dr.-Ing. Philipp Dietsch

Forschungsstelle Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

Zeitraum 07/2017 – 10/2019

München, 19.02.2020

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht handelt von Untersuchungen zum Schwindverhalten von verstärkten Brettschichtholzbauteilen. Als Verstärkungselemente kamen eingedrehte, innenliegende sowie aufgeklebte, außenliegende Verstärkungen zum Einsatz. Ziel des Forschungsvorhabens war es, zu klären, ob und in welchem Umfang Verstärkungselemente aufgrund ihrer Eigenschaft, das freie Schwinden des Holzes zu behindern und dadurch Risse zu induzieren, einen negativen Einfluss auf das Tragverhalten von Brettschichtholzbauteilen haben. Zur Klärung dieser Fragestellung wurde der Sperreffekt typischer Anwendungsfälle von Verstärkungen (verteilte Anordnungen über begrenzte Trägerabschnitte, lokale Anordnungen bei Ausklinkungen und Durchbrüchen) in Form experimenteller sowie numerischer Untersuchungen quantifiziert. In den experimentellen Untersuchungen wurden die verstärkten Prüfkörper über einen Zeitraum von 410 Tagen einem langsamen Trocknungsprozess ausgesetzt, dessen klimatische Bedingungen sich an den Verhältnissen von gedämmten, beheizten Gebäuden orientierten. Die Grundlage der Untersuchungen stellten Brettschichtholzbauteile zweier Hersteller mit unterschiedlichen Ausgangsholzfeuchten dar. Zur Quantifizierung des Sperreffekts wurde die Rissbildung an allen Prüfkörpern hinsichtlich Zeitpunkt, Anzahl, Position und Ausmaß im zeitlichen Verlauf aufgenommen. Während an Prüfkörpern des einen Herstellers bei zum Ende vorliegenden Differenzfeuchten $\Delta u < 3\%$ nahezu keine Risse zu erkennen waren, zeigte sich an den Prüfkörpern des anderen Herstellers bei nahezu allen Konfigurationen eine Rissbildung im Bereich der Differenzfeuchte $\Delta u \approx 3\% - 5,5\%$. Geneigte Anordnungen der Verstärkungselemente erwiesen sich hinsichtlich des Sperreffekts durchgehend günstiger als vergleichbare Anordnungen unter 90° zur Faser. Zur weiteren Quantifizierung des Sperreffekts wurden an ausgewählten Prüfkörpern Schwindverformungen in Form von Höhenänderungen zwischen den Bauteilober- und -unterkanten im zeitlichen Verlauf erfasst. Infolge der unterschiedlichen Ausgangsholzfeuchten unterschied sich auch das Schwindverhalten an den Prüfkörpern der beiden Hersteller deutlich. Die ermittelten Schwindverformungen bestätigen die unterschiedlichen Grade der Sperrwirkung der Verstärkungen in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Anordnung. Während der Klimalagerung blieb jeweils eine Seite der ansonsten symmetrisch ausgebildeten Träger unverstärkt. Nach der Klimalagerung wurden auch die bis zu diesem Zeitpunkt unverstärkten Seiten in gleicher Weise zur gegenüberliegenden Seite verstärkt. Anschließend wurden die Tragfähigkeiten beider Seiten (mit/ohne Sperreffekt der Verstärkung infolge des Schwindvorgangs) in einer zweistufigen Versuchsdurchführung ermittelt. An Trägern mit verstärkten Durchbrüchen reduzierte sich die Tragfähigkeit infolge des Sperreffekts in Abhängigkeit der Verstärkungsart auf rund $65\% - 79\%$, an Trägern mit Ausklinkungen auf rund $69\% - 83\%$. In beiden Bauteilgruppen führten geneigte, innenliegende Anordnungen zu der geringsten Reduktion der Tragfähigkeit. In den numerischen Untersuchungen zeigte sich, dass die Rissgefahr insbesondere vom Verstärkungsgrad, der Neigung der Verstärkungselemente zur Faser, der Bauteilhöhe sowie der axialen Verbundsteifigkeit der Verstärkungselemente beeinflusst wird. Alle vier Einflussgrößen wirken sich mit zunehmender Größe negativ auf die Rissbildung aus.

Abstract

This research report deals with investigations on the shrinkage behaviour of reinforced glulam members. The types of reinforcement used were drilled-in, internal as well as glued on, external reinforcing elements. The objective of the research project was to clarify whether and to what extent reinforcing elements have a negative impact on the structural behaviour of glulam members due to their potential of restraining the free shrinkage behaviour of wood and hence the inherent risk to induce cracks. In order to clarify this question, the restraining effect of typical applications of reinforcing elements was quantified for three groups of glulam members (homogeneous arrangements over a section of the beam, local arrangements at notches and holes) in the form of experimental and numerical investigations. Within the experimental investigations, the reinforced test specimens first were exposed to a slow drying process over a period of 410 days to mirror the climatic conditions in insulated, heated buildings. The basis of the investigations were glulam specimens from two manufacturers featuring different initial wood moisture contents. In order to quantify the restraining effect, the formation of cracks on all specimens was recorded in terms of time, number, position and extent over time. While only very few cracks were detected on test specimens from the manufacturer with differential wood moisture $\Delta u < 3\%$ at the end of the drying period, cracks were found on the specimens from the other manufacturer in the range of a differential wood moisture $\Delta u \approx 3\% - 5.5\%$ in almost all configurations. Inclined arrangement of the reinforcing elements proved to be consistently more favourable with regard to the restraining effect than comparable arrangements perpendicular (i.e. 90°) to the grain. To further quantify the restraining effect, shrinkage deformations over time were recorded in form of changes in height between upper and lower edges of selected test specimens. As a result of the different initial wood moisture contents, the shrinkage behaviour on the test specimens of the two manufacturers differed significantly. The determined shrinkage deformations confirm the different degrees of restraining effect of the reinforcement depending on the geometry of arrangement. After the climate storage, destructive tests were realized on members with holes and notches. During the climate storage, one side of the otherwise symmetrically manufactured beams with holes and notches remained unreinforced. After climate storage, the unreinforced sides were reinforced in the same way to the opposite side and the load-carrying capacities of both sides were determined (with / without restraining effect of reinforcement due to shrinkage) in a two-stage test procedure. In case of the beams with reinforced holes, the load-carrying capacity decreased to around 65% - 79% due to the restraining effect and to around 69% - 83% in the case of beams with notches, depending on the type and arrangement of the reinforcement. In both groups of members, inclined, internal arrangements resulted in the least reduction of load-carrying capacities. The numerical investigations showed that the onset of cracking is influenced in particular by the degree of reinforcement, the inclination to grain direction, the member height and the axial withdrawal stiffness of the reinforcement. All four influencing factors have a negative effect on the formation of cracks with increasing magnitude.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Vorwort | I |
| Kurzfassung | II |
| Abstract | III |
| Inhaltsverzeichnis | IV |
| 1 Hintergrund und Einleitung | 2 |
| 2 Experimentelle Untersuchungen | 4 |
| 2.1 Allgemeines | 4 |
| 2.2 Versuchsprogramm | 5 |
| 2.2.1 Übersicht | 5 |
| 2.2.2 Konfigurationen "Verteilte Anordnungen" | 6 |
| 2.2.3 Konfigurationen "Durchbrüche" | 6 |
| 2.2.4 Konfigurationen "Ausklinkungen" | 8 |
| 2.3 Ergebnisse | 9 |
| 2.3.1 Im Vorfeld der Klimalagerung ermittelte Kennwerte der Prüfkörper | 9 |
| 2.3.2 Steuerung der klimatischen Bedingungen | 12 |
| 2.3.3 Holzfeuchteverteilungen | 13 |
| 2.3.4 Auswertung Rissbildung | 17 |
| 2.3.5 Schwindverformungen | 29 |
| 2.3.6 Dehnungsmessungen in Verstärkungselementen | 35 |
| 2.3.7 Tragfähigkeit nach Klimalagerung | 38 |
| 3 Numerische Untersuchungen | 44 |
| 3.1 Überblick | 44 |
| 3.2 Simulationsmodell zur Abschätzung beginnender Rissbildung | 44 |
| 3.2.1 Grundlagen zum Modell | 44 |
| 3.2.2 Materialmodell | 45 |
| 3.2.3 Axiale Verbundsteifigkeit Holz - Verstärkung | 48 |
| 3.2.4 Abbildung der Beanspruchung Feuchteänderung | 50 |
| 3.2.5 Kriterium Rissbildung | 51 |
| 3.3 Vergleich mit Versuchen | 52 |
| 3.3.1 Unverstärkte Konfiguration nach Möhler & Steck (1977) | 52 |
| 3.3.2 Verstärkte Konfigurationen der eigenen Versuche | 53 |
| 3.4 Parameterstudien | 55 |
| 3.4.1 Generelle Annahmen | 55 |
| 3.4.2 Parameterstudie Verteilte Anordnungen | 56 |
| 3.4.3 Parameterstudie Durchbrüche | 60 |
| 3.4.4 Parameterstudie Ausklinkungen | 62 |
| 4 Zusammenfassung | 65 |
| 5 Literaturverzeichnis | 68 |

| | |
|-----------------------------------------|-----------|
| Veröffentlichungen | 68 |
| Normen und Regelwerke..... | 72 |
| Software..... | 73 |
| 6 Anhang..... | 74 |
| Anhang A..... | 74 |
| Rissbilder "Verteilte Anordnungen"..... | 74 |
| Rissbilder "Durchbrüche"..... | 92 |
| Rissbilder "Ausklinkungen"..... | 104 |
| Anhang B..... | 110 |
| Ergebnisse "Durchbrüche"..... | 110 |
| Ergebnisse "Ausklinkungen"..... | 111 |