

Bauingenieur

Die richtungweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen



www.bauingenieur.de

R. Maderebner, U. Gerhaher, M. Flach, S. Hirschmüller

getzner
engineering a quiet future

**Tragverhalten von verschraubten Brettsperrholz
Wand-Deckenstößen mit und ohne elastische Zwischenlagen**

Tragverhalten von verschraubten Brettsperrholz Wand-Deckenstößen mit und ohne elastische Zwischenlagen

R. Maderebner, U. Gerhaher, M. Flach, S. Hirschmüller

Zusammenfassung Durch das Einlegen elastischer Zwischenschichten zur schalltechnischen Entkopplung werden die zum Verbinden einzelner Holzbauteile verwendeten Schrauben, neben Abscheren und Herausziehen zusätzlich auf Biegung beansprucht. Dabei kommt es zu einer erhöhten Nachgiebigkeit zwischen den Stoßfugen der einzelnen Bauteile. Die Gleichungen im Eurocode 5 zur Berechnung der Tragfähigkeiten und Nachgiebigkeiten von Holz-Holz-Verbindungen verlieren durch das Einlegen dieser schubweichen Zwischenschichten ihre Gültigkeit.

Mit dieser Arbeit wird das mechanische Tragverhalten von Wand-Deckenstößen aus Brettsperrholz mit und ohne elastische Zwischenlagen analysiert. Mithilfe von experimentellen Untersuchungen sowie analytischen Ansätzen wird auf das Last-Verformungsverhalten eingegangen und dem aktuellen Stand der Norm gegenübergestellt.

Load carrying capacity of screwed CLT wall-ceiling joints with and without elastic supports

Abstract Due to the application of elastic interlayers for acoustic decoupling, wood screws to connect timber elements are stressed beneath axial and shear loads additionally by a bending moment. The equations to calculate the load carrying capacity of wood-wood-connections according to the Eurocode 5, lose their validity in case of application of interlayers with low shear resistance. Furthermore, the increasing flexibilities of the joints should be considered for a realistic static modelling.

Aim of the present work is to analyze the mechanical load bearing characteristics of wall-ceiling-connections of cross laminated timber with and without elastic interlayers. On the basis of experiments as well as analytical approaches, the load-deformation-behavior is discussed and contrasted to the current standards.

Dipl.-Ing. Roland Maderebner

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Holzbau
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, Österreich
roland.maderebner@uibk.ac.at

Dr. techn. Ulrich Gerhaher

Getzner Werkstoffe GmbH
Herrnau 5, 6706 Bürs, Österreich
ulrich.gerhaher@getzner.com

Univ.-Prof. DDI Michael Flach

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Holzbau
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, Österreich
michael.flach@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Sebastian Hirschmüller

Fachhochschule Rosenheim
sebastian.hirschmueller@fh-rosenheim.de



Bild 1. Elastische Zwischenlagen auf CLT-Wänden mit unterschiedlichen Steifigkeiten (Getzner Werkstoffe GmbH)

Fig. 1. Elastic layers on CLT-walls with different stiffnesses (Getzner Werkstoffe GmbH)

1 Stand der Technik

In der aktuellen Baupraxis werden Brettsperrholzelemente zum größten Teil mittels Holzschrauben, sogenannten Teilgewindeschrauben mit Tellerkopf Ausbildungen, miteinander verbunden. Für die Berechnung der Tragfähigkeiten und Steifigkeiten von reinen Holz-Holz-Verbindungen mittels stiftförmigen Verbindungsmitteln sind in der EN 1995-1-1 [1] sowie den Zulassungsdokumenten entsprechende Angaben zu finden. Zur Reduktion der Schallübertragung flankierender Bauteile werden im Holzbau, wie in Bild 1 gezeigt, häufig auch elastische Zwischenschichten in den Stoßfugen eingelegt. Die Wahl der elastischen Baulager ist dabei ein Kompromiss aus statisch möglichst steifen und akustisch möglichst weichen Verbindungen. Der Einbau von elastischen Lagern zwischen den Bauteilen hat somit auch Auswirkungen auf das Trag- und Verformungsverhalten der Konstruktion, die es zu berücksichtigen gilt.

Die Verbindungsmittel erfahren durch die elastischen Zwischenschichten neben den reinen Abscherbeanspruchungen auch zusätzliche Biegemomente, wodurch größere Nachgiebigkeiten entstehen. Allerdings fehlen dahingehend Angaben, wie dieser Beanspruchungszustand zu berücksichtigen ist.

Im Folgenden sind Angaben zur Berücksichtigung der reduzierten Tragfähigkeiten und Steifigkeiten von elastisch entkoppelten Stoßausbildungen von CLT-Elementen mittels Teilgewindeschrauben zu finden. Im Speziellen wird auf ein unbewehrtes Baulager, bestehend aus dem Werkstoff Sylodyn [2] eingegangen. Neben der richtigen Auswahl der elastischen Lager werden Modelle zur Berechnung der Tragfähigkeiten und Steifigkeiten näher erläutert sowie mithilfe experimenteller Untersuchungen evaluiert. Zusätzlich werden typische Standardausführungen und Vari-

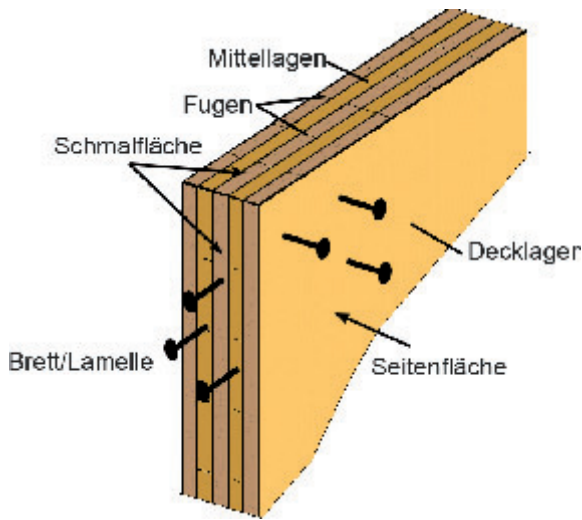


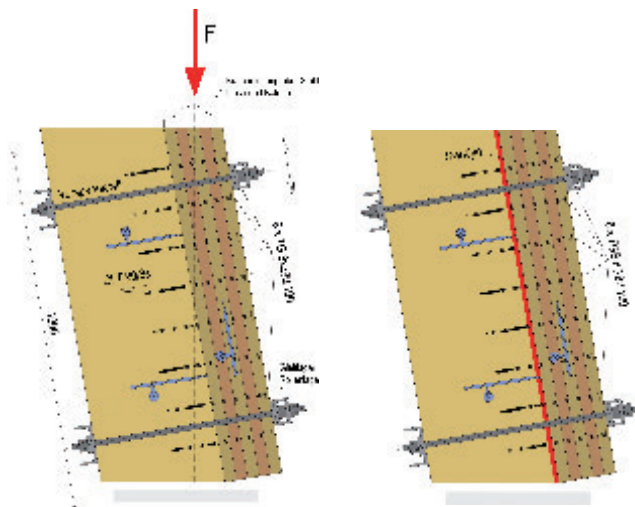
Bild 2. CLT Element, Bezeichnungen
Fig.2. CLT-Element, notations

anten mit geneigt angeordneten Holzschrauben untersucht (Bild 4 und Bild 5).

2 Elastische Zwischenschichten zur akustischen Entkopplung

2.1 Gebrauchstauglichkeit

Damit einerseits die erforderlichen Bandbreiten der dynamischen Eigenschaften für die schalltechnischen Wirksamkeiten und andererseits genügend große Steifigkeit zur schadlosen Übertragung der Belastungsgrößen bei üblichen Nutzungsbedingungen eines Bauwerkes eingehalten werden können, sind Baulager mit unterschiedlichem Materialverhalten nötig. Die Firma Getzner Werkstoffe GmbH hat dafür beispielsweise insgesamt sieben verschiedene Materialsteifigkeiten bei den Syldyn Lagern zur Auswahl (Tabelle 1). Die Wahl des richtigen Lagers erfolgt durch die Gegenüberstellung der quasi-ständigen vertikalen Lasten $\sigma_{Ed,perm}$ und der statischen Belastungsgrenze $\sigma_{Ed,perm}$ in vertikaler Richtung nach Gleichung (1). Dabei ist der Einfluss



Variante V00
ohne elastisches
Zwischenlager

Variante V01
mit elastischem
Zwischenlager

Bild 4. Versuchskörper Variante V00 und V01
Fig.4. Specimens for the shear tests, V00 and V01

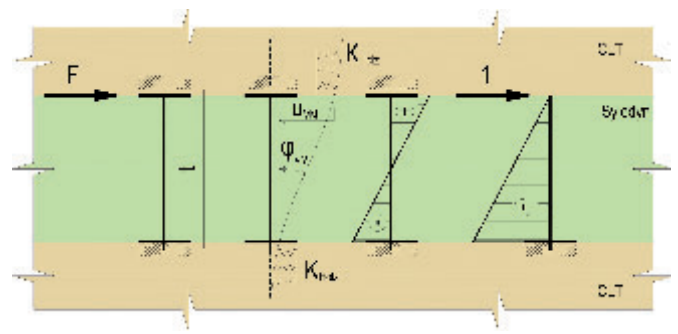


Bild 3. Modellierung der Steifigkeit des Gesamtsystems elastische Zwischen-schicht
Fig.3. Analysis of the slip modulus of the total system with elastic intermediate layer

der geometrischen Form auf das Verformungsverhalten zu beachten.

$$\sigma_{Ed,perm} \leq \sigma_{Ed,perm} \quad (1)$$

Die vertikalen Verformungen beim Erreichen von $\sigma_{sR,perm}$ (SLS) betragen laut Angaben der Firma Getzner bei einem Formfaktor von $q = 3$ (zutreffend bei gängigen Dimensionen von Brettsperrholzelementen) je nach Lagertyp 8 % bis 12 % der unbelasteten Dicke.

2.2 Tragfähigkeit

In Tabelle 1 sind die vertikalen Beanspruchbarkeiten der unterschiedlichen Lagertypen gegeben. Zwischen den Grenzwerten SLS und ULS ist ein Unterschied in der Größenordnung von 2 bis 4 erkennbar, und somit für übliche Bauaufgaben eine genügend große Bandbreite vorhanden, um eine funktionierende Ausbildung der Stoßfugen zu gewährleisten. Die horizontale Tragfähigkeit der Syldyn Lager ist durch den Reibungskoeffizienten und die Schubspannungen (bei 20 % Schubverformung) begrenzt. Der Reibungskoeffizient zwischen den Lagern und dem angrenzenden Holz wird konservativ mit $\mu \geq 0,5$ [13] angenommen. Der Nachweis der horizontalen Beanspruchbarkeit des Lagers in der Kontaktfuge gilt als erbracht, wenn Gleichung (2) und Gleichung (3) eingehalten werden.

$$F_{Ed,xy} \leq F_{Rd,xy} = \tau_{Rd} \cdot A \quad (2)$$

$$F_{Ed,xy} \leq F_{Ed,z,min} \cdot \mu \quad (3)$$

Dabei ist

- $F_{Ed,xy}$ Horizontale Einwirkung
- $F_{Ed,z,min}$ Kleinster Wert der zugehörigen vertikalen Einwirkung
- $F_{Rd,xy}$ Horizontaler Lagerwiderstand
- A Kontaktfläche
- τ_{Rd} Schubfestigkeit des Lagers (Tabelle 1)
- μ Reibungskoeffizient

3 Holzschrauben in der Brettsperrholz Bauweise

3.1 Tragfähigkeit

Angaben zur Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben rechtwinklig (Abscheren) oder parallel (Herausziehen/Hineindrücken) zur Achse sind unter anderem in der ÖNORM B 1995-1-1 [3] zu finden. Die Beanspruchbarkeiten werden dabei häufig unabhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes unter Berücksichti-

gung der Lage der stiftförmigen Verbindungsmittel zum CLT-Element (Bild 2) berechnet.

Mithilfe dieser Gleichungen [3] werden die erforderlichen Werte der Lochleibungs- sowie Ausziehfestigkeiten, die für die Berechnung der Tragfähigkeit von einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen benötigt werden, bestimmt. Allerdings ist diese Berechnung nur bei unmittelbarem Kontakt der zu verbindenden Holzbauteile gültig. Zur Berücksichtigung von schubweichen Zwischenschichten ist die Theorie nach Johansen [1] entsprechend zu erweitern [4] und zusätzlich die Lochleibungsfestigkeit der Zwischenschicht zu berücksichtigen.

Daher wurden an ausgewählten Syldodyn Lagern im Zuge einer Masterarbeit an der Universität Innsbruck [5] die Lochleibungsfestigkeiten an ausgewählten Materialien bestimmt (Tabelle 2) und mit den Kennwerten der Lochleibungsfestigkeiten von Fichtenholz, OSB und GK-Platten verglichen.

Um erste Erfahrungen der Auswirkungen einer elastischen Zwischenschicht vom Typ Syldodyn NF auf die Tragfähigkeit zu bekommen, erfolgt eine Gegenüberstellung mit/ohne Verwendung einer elastischen Zwischenschicht in Tabelle 3. Für diesen Vergleich der Tragfähigkeiten und Steifigkeiten werden acht Schrauben mit den Abmessungen 8/280/100 mm zu Grunde gelegt, mit denen ein Wandelement mit einer Stärke von 90 mm mit einem rechtwinklig dazu angeordneten Deckenelement mit einer Stärke von 160 mm verbunden wird (Vergleiche mit V00 und V01 in Bild 6). Durch das Einlegen eines 12,5 mm starken Syldodyn Lagers kommt es nach der erweiterten Theorie von Johansen [4] zu einer Reduktion der Tragfähigkeit rechtwinklig zur Schraubenachse von rund 11 %. Dieser Unterschied ist stark von der Dicke der Zwischenschicht, der Festigkeit und dem Durchmesser der Schraube abhängig. Die Einbindetiefe und die Lochleibungsfestigkeit der Zwischenschicht spielen hingegen bei üblichen Stoßausbildungen eine eher untergeordnete Rolle. Der maßgebende Versagensmechanismus ist durch die Ausbildung von 2 Fließgelenken im Verbindungsmittel gekennzeichnet.

3.2 Nachgiebigkeit

Zwischen den beiden Extrema „kein“ und „starrer“ Verbund liegt

Tabelle 1. Beanspruchbarkeiten der Syldodyn Lager mit Formfaktor q = 3
Table 1. Load carrying capacity of Syldodyn supports with shape factor q = 3

Typ ¹⁾		SLS ²⁾ $\sigma_{Rd,perm}$ [MPa]	$\epsilon_{c,perm}$ [%]	ULS ²⁾ σ_{Rd} [MPa]	τ_{Rd} [MPa]
Syldodyn NB	rot	0,075	8	0,163	0,029
Syldodyn NC	gelb	0,150	10	0,345	0,046
Syldodyn ND	grün	0,350	10	0,838	0,077
Syldodyn NE	blau	0,750	11	2,009	0,134
Syldodyn NF	violett	1,500	12	4,015	0,176
Syldodyn HRB-HS 3000	dunkelgrün	3,000	12	8,018	0,528
Syldodyn HRB-HS 6000	dunkelblau	6,000	12	16,64	0,770

¹⁾ Alle Werte mit Formfaktor q = 3

²⁾ Siehe auch Berechnungstool TimberCalc unter <https://apps.getzner.com>

Tabelle 2. Lochleibungsfestigkeiten $f_{h,zw,k}$ von Syldodyn, Holz, OSB- und Gipsplatten
Table 2. Embedment strength $f_{h,zw,k}$ of Syldodyn, timber, OSB- and plasterboard

Typ ¹⁾		Lochleibungsfestigkeiten [MPa]			
		d = 6 mm	d = 8 mm	d = 10 mm	d = 12 mm
Syldodyn NF	violett	6,70	5,00	3,95	3,45
Syldodyn HRB-HS 3000	dunkelgrün	14,30	12,45	9,70	8,85
Syldodyn HRB-HS 6000	dunkelblau	16,90	12,30	10,00	9,00
Fichte C24, Stabdübel	$\alpha = 0^\circ$	26,98	26,40	25,83	25,26
	$\alpha = 90^\circ$	18,73	17,96	17,22	16,51
OSB, t = 13 mm		28,50	23,98	20,98	18,80
GPL, 12,5 mm		7,80	6,56	5,74	5,15

¹⁾ Alle Werte mit Formfaktor q = 3

der nachgiebige Verbund, der bei Kontaktstößen in der Brettsperrholzbauweise mit stiftförmigen Verbindungsmitteln angenommen werden kann [6]. Der Verschiebungsmodul für Schrauben [1] kann je Scherfuge in Abhängigkeit von der mittleren Rohdichte des Holzes und dem Durchmesser, unabhängig vom Last-Faserwinkel nach Gleichung

Tabelle 3. Berechnete Tragfähigkeiten und Steifigkeiten von CLT-Stößen mit/ohne elastische Zwischenschicht
Table 3. Calculated Load carrying capacity and stiffness of CLT-joints with/without elastic layer

Eingangsparameter ¹⁾		
d = 8,00 mm	$l_{ef} = 100,00$ mm	
$d_{ef} = 5,30$ mm	$f_{h,1,k} = 27,01$ N/mm ²	(Lochleibungsfestigkeit Seitenfläche)
$f_{u,k} = 600$ N/mm ²	$f_{h,2,k} = 8,45$ N/mm ²	(Lochleibungsfestigkeit Schmalfläche)
$t_1 = 160,00$ mm	$f_{h,zw,k} = 5$ N/mm ²	(Lochleibungsfestigkeit Syldodyn NF)
$t_2 = 107,50$ mm	$M_{y,Rk} = 40\ 115$ Nmm	
$t_{zw} = 12,50$ mm	$f_{head,k} = 12,00$ N/mm ²	
$f_{ax,k} = 11,10$ N/mm ²	$\rho_k = 385$ kg/m ³	($1,10 \cdot \rho_{k,C24}$)
$E_s = 205\ 000$ N/mm ²	$\rho_m = 443$ kg/m ³	($1,15 \cdot \rho_k$)
Berechnete Tragfähigkeiten $F_{v,Rk}$ auf Abscheren in [N], 8 Schrauben		
mit Zwischenschicht	ohne Zwischenschicht	Differenz
27 557 ²⁾	30 855 ³⁾	11 %
Berechnete Nachgiebigkeit K_{ser} auf Abscheren in [N/mm], 8 Schrauben		
12 879 ⁴⁾	25 923 ⁵⁾	50 %

¹⁾ Die Eingangsparameter sind aus folgenden Dokumenten entnommen:

Schrauben: HABERKORN ETA-11/0024 [7]

CLT: Storaenso, ETA-0349 [11]

Interner Prüfbericht Lochleibungsfestigkeiten UIBK-GETZNER

²⁾ nach [4], ³⁾ nach EC 5 [1], ⁴⁾ nach Gleichung (10), ⁵⁾ nach Gleichung (4) mit d

(11), für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ermittelt werden.

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d}{23} \quad (4)$$

Der Verschiebungsmodul für eine einzelne Schraube mit 8/280/100mm beträgt somit rund 3 180 N/mm. In vielen Fällen sind diese Werte als eher konservativ einzustufen, da die in der Baupraxis vorhandenen Effekte durch Reibung zwischen den Bauteilen einen sehr großen Einfluss haben können. Eine Erweiterung des gültigen Modells für reine Holz-Holz-Verbindungen auf Holzschubweiche Zwischenschicht-Holz Verbindungen kann nach Bild 3 mithilfe des Prinzips der virtuellen Kräfte nach Gleichung (4) erfolgen. Die Arbeitsanteile zufolge der Normalkraft werden aufgrund der hohen Steifigkeit der Schraube sowie geringen Auswirkungen auf die Verformungen vernachlässigt.

$$u_{VM} = \int_t \frac{1}{E \cdot I} \cdot \delta M M dx \quad (5)$$

$$u_{VM} = \frac{F \cdot t^5}{12 \cdot E \cdot I} \rightarrow K_{VM} = \frac{F}{u_{VM}} = \frac{12 \cdot E \cdot I}{t^5} \quad (6)$$

Wenn angenommen wird, dass in K_{ser} nach EN 1995-1-1 [4] Verformungen zufolge Lochleibungsversagen und Anteile aus Verdrehungen des Verbindungsmittels in den Randbereichen des Holzes enthalten sind, kann die Gesamtsteifigkeit bei Vernachlässigung der elastischen Bettung des Verbindungsmittels im Syldodyn wie in Gleichung (7), Gleichung (8) und Gleichung (9) modelliert werden:

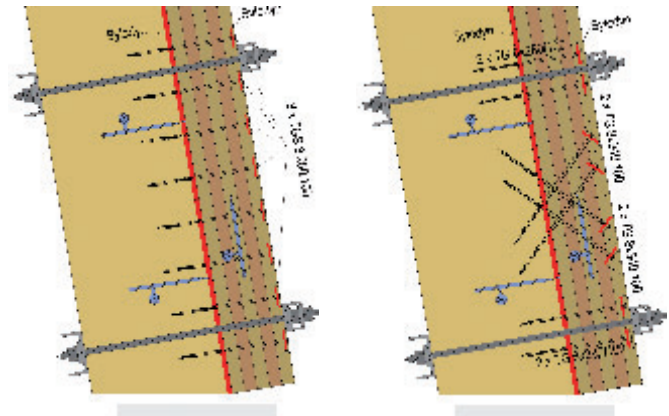
$$K_{ges} = \frac{F}{u_{ges}} \quad (7)$$

$$u_{ges} = 2 \cdot u_{Holz} + u_{VM} \quad (8)$$

$$K_{Holz} = K_{ser} = \frac{F}{2 \cdot u_{Holz}} \quad (9)$$

Wird mithilfe von Gleichung (10) die Reduktion der Steifigkeiten berechnet, so beträgt diese mit den Werten in Tabelle 3 rund 50 %. Diese Reduktion der Anfangssteifigkeit wird auch anhand der Bauteilversuche ersichtlich.

$$K_{ges} = \frac{K_{Holz} \cdot K_{VM}}{K_{Holz} + 2 \cdot K_{VM}} \quad (10)$$



Variante V01a mit elastischem Zwischenlager und Unterlegscheiben

Variante V02 wie 01a mit teilweise schräger Verschraubung

Bild 5. Versuchskörper Variante V01a und V02
Fig.5. Specimens for the shear tests, V01a and V02

4 Experimentelle Untersuchungen

Insgesamt wurden sechs unterschiedliche Varianten geprüft, von denen hier vier näher betrachtet werden, die der baupraktischen Verwendung möglichst nahe kommen. Alle Prüfkörper wurden mit 3-lagigen, 90 mm starken Wandelementen und 5-lagigen, 160 mm starken Deckenelementen mit verschiedenen Schraubenanordnungen, mit und ohne elastischen Zwischenlagen bzw. Unterlegscheiben ausgeführt (Bild 6). Geprüft wurde mit und ohne rechtwinklig zu den Stoßfugen wirkenden Auflasten. Eine genaue Darstellung der untersuchten Versuchskörper ist mit Tabelle 4 sowie Bild 4 und Bild 5 gegeben. Als Schrauben wurden TGS 8/280/100 der Firma Haberkorn [7] verwendet. Für die elastischen Zwischenlagen kam Syldodyn ND mit den Abmessungen 90/1000/12,5 mm zum Einsatz. Zur Simulation darüber liegender Geschoße und Auflasten wurden definierte Vorspannkraftrechten rechtwinklig zu den Stoßfugen mithilfe von Spanngliedern mit dazwischenliegenden Kraftmessdosen aufgebracht.

Die Prüfkörper (Bild 7) wurden um einen Winkel von 9° zur Lotrechten geneigt, um eine zusätzliche Momentenbeanspruchung in der Fuge zu vermeiden. Die Länge der Kontaktfuge betrug genau 1,00 m.

5 Ergebnisse

Das mechanische Tragverhalten von Verbindungsmitteln lässt sich durch deren Arbeitslinie darstellen. Aus dieser ist ein etwaiger Schlupf zu Beginn der Belastung, die Anfangssteifigkeit K_{ser} und das Versagensverhalten, was wiederum Kenntnis über das Arbeitsvermögen liefert, abzulesen. Die maximale Tragfähigkeit sowie der Verschiebungsmodul werden in Anlehnung an [8] nach Bild 8 bestimmt. Mithilfe der daraus gewonnenen Ergebnisse können die analytischen Gleichungen und Zahlenwerte aus Abschnitt 3 evaluiert werden. Die gemessenen Arbeitslinien der geprüften Kontaktstöße werden mittels Gleichung (11) angenähert [9]. Die aus den Versuchen bestimmten erforderlichen Konstanten K_1 , K_2 und K_3 zur Modellierung des nicht-linearen Steifigkeitsverhaltens der

Tabelle 4. Beschreibung der geprüften Versuchskörper
Table 4. Description of the tested specimens

Variante	n	Vorspannkraft [kN]	TGS ¹⁾		Zwischenschicht ²⁾ j/n	Unterlegscheibe ³⁾ j/n
			90°	45°		
00	6	0 30	8	0	n	n
01	6	0 30	8	0	j	n
01a	6	0 30	8	0	j	j
02	6	0 30	4	4	j	j

¹⁾ TGS Teilgewindeschraube, Anzahl und Winkel zur Deckenebene
²⁾ Zwischenschicht Elastische Zwischenschicht vom Typ Syldodyn ND ja/nein
³⁾ Unterlegscheibe Elastische Unterlegscheibe vom Typ HS 3000, ja/nein

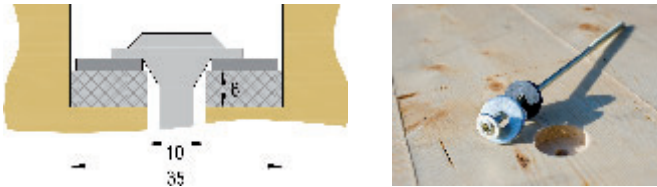


Bild 6. Schraube mit elastischer Unterlegscheibe (Getzner Werkstoffe GmbH)
Fig.6. Screw with elastic washer (Getzner Werkstoffe GmbH)

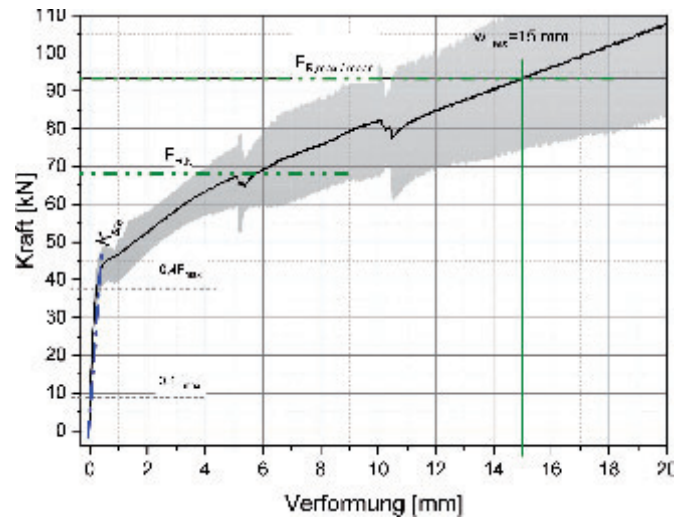


Bild 8. Kraft-Verformungskurve und charakteristische Werte nach EN 26891 [8]
Fig. 8. Load-deformation curve and characteristic values, according to EN 26891 [8]

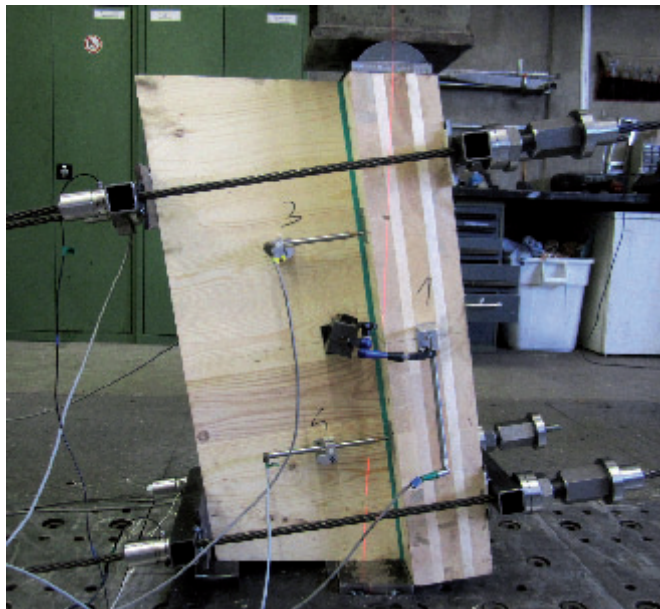


Bild 7. Versuchsaufbau für Scherversuche mit Vorspannkraft, Variante V01
Fig.7. Test setup shear test with pre-tensioning force, version V01

Kontaktfuge sind unter anderem mit Tabelle 6 gegeben. Mit w_0 als eine mögliche Anfangsverformung und den Angaben in Bild 8.

$$F_v(w) = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{max} \\ F_{w=15mm} \end{array} \right. \left(K_2 + K_3 \cdot (w - w_0) \right) \cdot \left(1 - \exp \left(-K_1 \cdot \frac{w - w_0}{K_2} \right) \right) \quad (11)$$

5.1 Stoßausbildung Holz-Holz (Variante V00)

Schubtragfähigkeit

Die Kraft-Verformungs-Kurven (Bild 9) zeigen zu Beginn eine sehr hohe Steifigkeit bis zu einer Schubkraft von rund 20 kN bei der Versuchsserie ohne sowie 45 kN bei den Versuchen mit einer Auflast von 30 kN. Bis zu dieser Belastung ist die Haftreibung zwischen Decken- und Wandelement noch nicht überschritten. Die Mittelwerte der Maximalkräfte liegen bei rund 70 kN sowie 95 kN (Tabelle 5) und die charakteristischen Widerstandswerte mit 56 kN sowie 68 kN nach EN 14358 [10] nach Tabelle 6 anzugeben sind. Die berechnete charakteristische Tragfähigkeit nach Tabelle 3 für diese Variante beträgt 31 kN bei insgesamt 8xTGS 8/280/100 (effektive Schraubenanzahl $n_{ef} = 6,80$) bei einem Schraubenabstand von rund 125 mm. Somit sind die gemess-

senen Werte um rund 80 % höher bei den Versuchen ohne Auflast oder bei einer Auflast von 30 kN um 120 % höher als die berechneten Werte nach [4]. Die Begründung liegt vor allem darin, dass in diesen Rechenansätzen die Reibungskräfte infolge der Spannkraft der Schrauben sowie der Auflasten zwischen den Kontaktfugen nicht gesondert berücksichtigt werden. Als theoretischen Ansatz könnten die Johansen-Gleichungen durch einen weiteren Term zur Berücksichtigung der Reibungskräfte, sofern diese sichergestellt werden können, wie folgt erweitert werden.

$$F_{V,R,\mu,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{V,R,k} \\ \text{nach [4]} \end{array} \right\} + \mu \cdot F_{E,d,z,min} \quad (12)$$

Konservativ kann im zweiten Term für $F_{E,d,z,min}$ die Vorspannkraft der Schraube unter Berücksichtigung der Relaxation mit rund 3,0 kN/Schraube mit einer Gewindelänge von 100 mm angesetzt werden [14]. Nach [15] können Reibzahlen μ für gehobelte Holz-Holzoberflächen bei einer Flächenpressung von 1,2 N/mm² zwischen 25 % bis 35 % liegen. Unter Berücksichtigung von $\mu = 0,30$ ergäben sich somit rechnerische Schubtragfähigkeiten nach Gleichung (12) ohne Auflast von $F_{V,R,\mu,k} \approx 38$ kN (Differenz Rechnung zu Versuch somit 18 kN) und mit einer Auflast von 30 kN eine Erhöhung um 9 kN auf $F_{V,R,\mu,k} = 40$ kN (Differenz Rechnung zu Versuch somit 28 kN).

Anfangssteifigkeit

Die Steifigkeiten nach dem Übergang von der Haftreibung (statische Reibung) zur Gleitreibung betragen, unabhängig von der Auflast, für beide Systeme mit rechtwinklig zur Oberfläche angeordneten Schrauben (Tabelle 5) rund 3,2 kN/mm. Die Anfangssteigungen K_{ser} betragen 22,6 kN/mm ohne Auflast sowie 133 kN/mm mit einer Auflast von 30 kN. Die Abweichungen gegenüber dem nach Gleichung (4) berechneten Wert von rund 25,9 kN/mm beträgt rund 10 % ohne Auflast, natürlich mit dem Aspekt, dass hier nur drei Versuche durchgeführt werden konnten. Der gemessene mittlere Verschiebungsmodul K_{ser} für V00 ist bei einer vorhandenen Auflast von 30 kN um einen Faktor 5 höher (Tabelle 6).

5.2 Stoßausbildungen mit elastischen Zwischenlagen (Varianten V01, V01a, V02)

Schubtragfähigkeit

Aus den Werten in Tabelle 6 sowie der grafischen Darstellung der Arbeitslinien nach Gleichung (11) in Bild 9, Bild 10, Bild 11, und Bild 12 können für die schalltechnisch entkoppelten Ausführungen folgende Aussagen abgeleitet werden. Bei den Versuchen ohne Auflast liegen die charakteristischen Werte der Tragfähigkeiten $F_{R,k}$ der Varianten V01 und V01a mit rechtwinkliger Verschraubung etwas unter dem Wert von Variante V00 ohne elastische Fuge (ca. 85 % von V00). Variante V02 mit schräger Verschraubung erreicht auf Grund der hohen Steifigkeiten von Schrauben mit axialer Beanspruchung einen Wert von 130 % des Wertes von V00. Alle Werte der entkoppelten Varianten ohne Auflast liegen 45 % bis 135 % über den berechneten Werten $F_{R,k} = 31 \text{ kN}$ nach [1] für die Stoßausbildung ohne elastische Zwischenschicht in Tabelle 3.

Bei den Versuchen mit Auflast liegen die Widerstandswerte $F_{R,k}$ der Varianten mit elastischen Fugen in einem Bereich von 87 % bis 119 % des Wertes von Variante 00 ohne elastische Fuge. Der Einfluss der elastischen Fuge auf die Tragfähigkeit ist demnach als eher gering zu beurteilen. Auch hier

Tabelle 5. Statistische Kennwerte aus den experimentellen Untersuchungen
Table 5. Statistical data of the experimental investigations

Beschreibung	Auflast										
	0 kN					30 kN					
	n	Mean	Max	Min	SD	n	Mean	Max	Min	SD	
V00	F	3	70,04	75,38	65,68	4,92	3	93,30	104,15	86,86	9,46
	K_{ser}	3	22,63	44,58	10,29	19,06	3	133,08	154,13	108,48	23,03
V01	F	3	64,28	70,38	57,50	6,46	3	81,43	91,46	73,10	9,30
	K_{ser}	3	9,95	11,35	8,30	1,54	3	7,50	7,59	7,42	0,09
V01a	F	3	69,56	78,46	64,32	7,75	3	97,94	105,29	91,09	7,11
	K_{ser}	3	8,74	9,49	7,92	0,79	3	7,43	8,21	6,41	0,92
V02	F	3	91,93	98,16	85,09	6,55	3	100,07	119,36	84,84	17,62
	K_{ser}	3	11,42	12,03	10,43	0,86	3	9,67	10,06	9,10	0,50

Kraft F in [kN] und der Verschiebungsmodul K_{ser} in [kN/mm]

Tabelle 6. Charakteristische Kennwerte der Rohdichten, Tragfähigkeiten und Verschiebungsmodul
Table 6. Characteristic values of load carrying capacity the slip modulus and density

Variante	Auflast [kN]	Auswertung nach EN 26891 bzw. 14358						
		$\rho_{12,Wand}$	$\rho_{12,Decke}$	$F_{R,k}$	K_{ser}	K_1	K_2	K_3
		[kg/m³]		[kN]	[kN/mm]			
V00	0	410	400	56,14	22,63	82,5	24	3
	30	405	395	68,10	133,08	168	45	3
V01	0	426	407	46,49	9,95	20	23,5	3
	30	402	398	56,79	7,50	11	25	4
V01a	0	453	376	49,24	8,74	12	26	2,6
	30	393	428	77,81	7,43	8	10	5,5
02	0	394	428	73,20	11,42	18	15	6,5
	30	427	429	81,37	9,67	18	15	7

liegen alle Widerstandswerte der akustisch entkoppelten Varianten um 80 % bis 170 % über dem Widerstand nach den berechneten Werten [1] sowie den Angaben in der Zulassung [7]. Durch die Auflast wird ein Gleiten zwischen

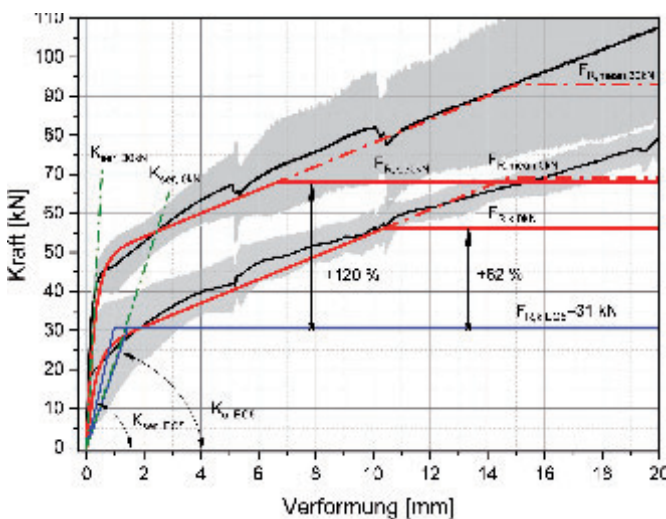


Bild 9. Arbeitslinien V00: Messdaten mit 0 kN bzw. 30 kN Auflast (schwarz); Verschiebungsmodul K_{ser} (grün); Charakteristische Abscherfestigkeit $F_{R,k}$ (rot) anhand der Versuche; Rechenwerte nach EC5 (blau)
Fig. 9. Load-deformation curve V00: Measuring results with 0 kN and 30 kN prestress (black); Slip modulus K_{ser} (green); Characteristic shear capacity $F_{R,k}$ (red) based on the test results; Calculated values acc. to EC5 (blue)

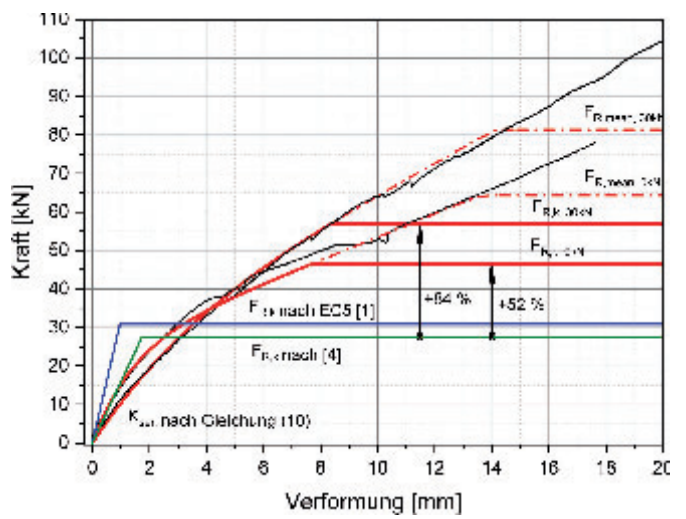


Bild 10. Ergebnisse V01: Gemessene Arbeitslinien mit 0 kN bzw. 30 kN Auflast (schwarz); Charakteristische Abscherfestigkeit $F_{R,k}$ (rot) anhand der Versuche; Rechenwerte nach EC5 (blau); Erweiterung EC5 nach [4] und Gleichung (11) (grün);
Fig. 10. Results V00: measured load deformation curves with 0 kN and 30 kN prestressing (black); Calculated $F_{R,k}$ and slip-modul K_{ser} (green); Characteristic shear strength $F_{R,k}$ [4] and K_{ser} (equation (11)) (green)

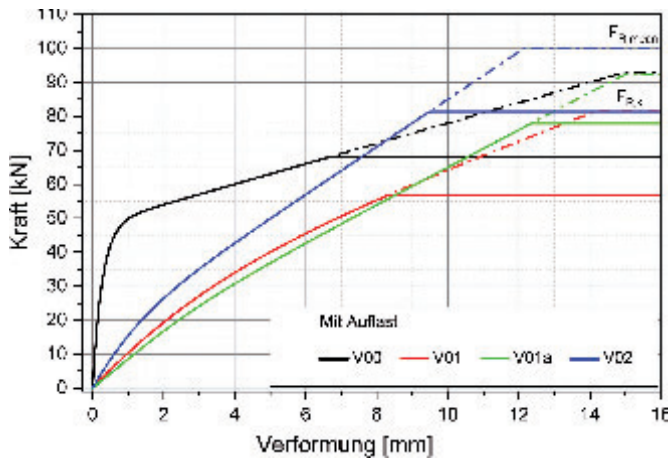


Bild 11. Kraft-Verformungskurven ohne Auflasten
Fig. 11. Load-deformation curves

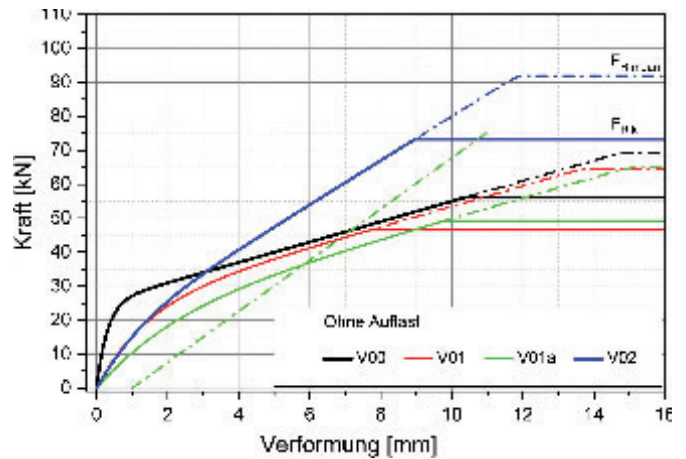


Bild 12. Kraft-Verformungskurven mit Auflasten 30 kN
Fig. 12. Load-deformation curves with pre-tensioning of 30 kN

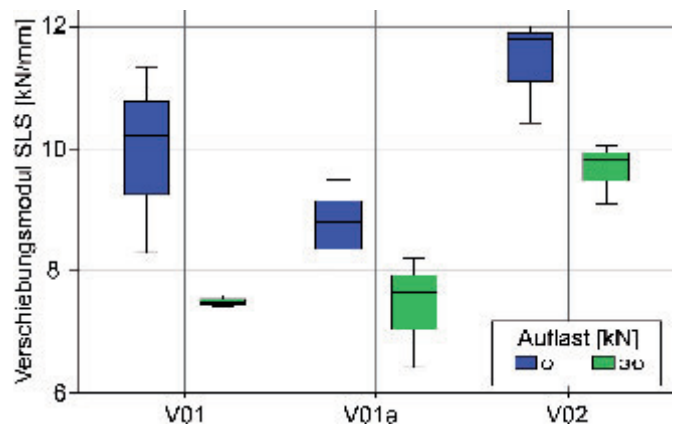
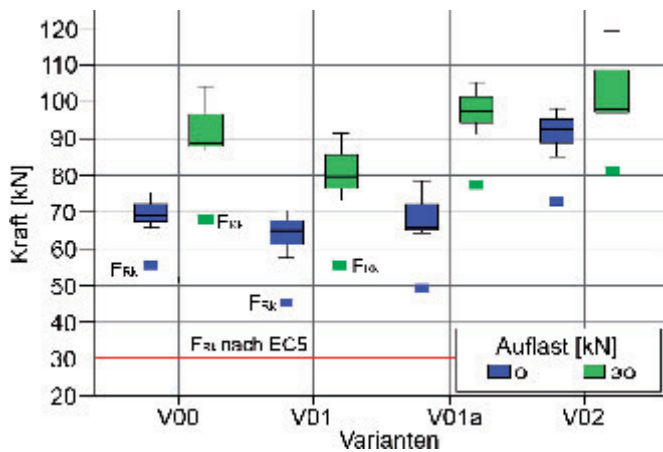


Bild 13. Versuchsergebnisse der Abscherkräfte und der berechneten charakteristischen Werte (Definiert bei 15 mm Verformung) und Verschiebungsmoduln
Fig. 13. Test results of the shear forces and of the characteristic values (Defined at a deformation of 15 mm) and slip modulus

Elastomer und Holz vermieden, was zu einer Erhöhung der Steifigkeit und damit der Tragfähigkeit führt.

Die Widerstandswerte $F_{R,k}$ von Variante V01a (mit elastischen Unterlegscheiben und 2 mm Lochspiel im Bohrloch) liegen um 7 % bis 36 % über den Werten von V01 (ohne elastische Unterlegscheiben). Auf den ersten Blick verwundert dies, da das Versagen durch die Steifigkeit definiert wird (Abscherkraft wird zumeist bei 15 mm Verformung angeben [8]) und eine elastische Unterlegscheibe sowie das Lochspiel eine zusätzliche Verringerung der Steifigkeit bedeuten. Aufgrund der gelenkigeren Lagerung des Schraubenkopfes und der genau abgestimmten vergrößerten Auflagerfläche durch die Verwendung einer Unterlegscheibe (Bild 6) wird der Seileffekt früher aktiviert und erhöht somit die Steifigkeit nach einer bestimmten Anfangsverformung. Noch stärker kommt dieser Effekt zu tragen, wenn zusätzliche Auflasten auf das System einwirken. Hier dient die elastische Unterlegscheibe als zusätzliche Feder, durch die die Anfangsverformungen besser vom Schraubenkopf kompensiert werden.

Variante V02 mit teilweise schräger, elastisch entkoppelter Verschraubung bringt die höchsten Widerstandswerte (19 % bzw. 30 % über Variante 00). Allerdings verursacht die geneigte Schraubenanordnung einen größeren Aufwand bei der Montage.

Anfangssteifigkeit

Bei den Stößen mit elastischen Zwischenschichten ist die bis zum Überschreiten der statischen Haftreibung hohe Anfangssteifigkeit, wie dies beim Stoß ohne elastische Fuge bei V00 vorliegt, nicht mehr gegeben. Die Anfangssteifigkeiten der entkoppelten Stöße liegen bei rund 25 % bis 35 % des berechneten Wertes nach EC5 sowie bei rund 45 % bis 70 % des berechneten Wertes mit Berücksichtigung der elastischen Fuge.

Alle Varianten mit rechtwinklig zu den Oberflächen angeordneten Schrauben haben nach einer bestimmten Anfangsverformung und dem Überwinden der Haftreibung ein ähnliches Verformungsverhalten. Die Berechnung des Verschiebungsmoduls nach Gleichung (10) zeigt wie in Bild 13 dargestellt für die Variante V01 eine relativ gute Übereinstimmung mit der tatsächlich gemessenen Anfangssteifigkeit.

Interessant, aber auch naheliegend ist die Tatsache, dass bei allen entkoppelten Varianten mit Auflast eine geringere Anfangssteifigkeit als bei den Varianten ohne Auflasten festzustellen ist. Dafür haben diese Varianten durch das Vorhandensein höherer Reibkräfte, aber auch die frühere Aktivierung des Seileffektes durch größere Anfangsverformungen, größere Tragreserven.

9 Zusammenfassende Bewertung der Versuchsergebnisse

Die Untersuchungen der präsentierten Arbeiten zeigen, dass durch das Einlegen von elastischen Zwischenschichten zur schalltechnischen Entkopplung von Decken-Wand Elementen in der CLT-Bauweise, je nach Ausführungsvariante, im Vergleich zur nicht entkoppelten Stoßausbildung mit Reduktionen von rund 15 % der charakteristischen Tragfähigkeiten ohne Vorhandensein von größeren Auflasten zu rechnen ist. Durch den Einsatz von elastischen Unterlegscheiben (Bild 6 bzw. V01a) kann dem allerdings entgegengewirkt und mit einer Steigerung von $F_{R,k}$ um 15 % sogar verbessert werden. Vor allem zeigen die vorliegenden Versuchsergebnisse jedoch, dass die charakteristischen Schubwiderstände sowohl nach EC5 [1], als auch nach den Gleichungen mit Berücksichtigung von schubweichen Zwischenschichten nach [4] deutlich unterschätzt werden. Für den rechnerischen Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist von einer Reduktion der Anfangssteifigkeit gegenüber dem rechnerischen Werten nach EC5 zu berücksichtigen (Verringerung auf rund 30 %). Der Einfluss der Reibungskräfte zwischen den Elementen sowie zwischen Elementen und Elastomer ist schwer zu kalkulieren und wird deshalb in üblichen baustatischen Berechnungen nicht berücksichtigt. Allerdings liegen hier große Tragreserven, die unter dem Gesichtspunkt eines

konservativen Ansatzes zu einer sinnvollen Reduktion des Materialeinsatzes führen könnten.

Die aus den Versuchsergebnissen erzeugten Last-Verformungs-Beziehungen können sowohl für die Ermittlung der Schnittgrößen mit Berücksichtigung der Fugensteifigkeit verwendet werden, als auch für die Bestimmung der horizontalen Verformungen von Gebäuden im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Für eine umfassende Betrachtung und die Entwicklung von Bemessungsgleichungen für Stöße mit elastischen Fugen sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich. Im Sinne einer Förderung des ökologisch und bauphysikalisch hochwertigen Holzbaus und einer Verbesserung der Konkurrenzsituation zu anderen Bauweisen, sollten weitere Schritte zur Ausnutzung der vorhandenen Leistungsfähigkeit der Materialien folgen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Firma Stora Enso für die zur Verfügung gestellten Brettsperrholz-Elemente und bei der Firma Haberkorn für die Bereitstellung des Schraubenmaterials.

Die experimentellen Untersuchungen wurden an der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der Universität Innsbruck durchgeführt.

Literatur

- [1] EN 1995-1-1:2014, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Austrian Standards Institute, Vienna 2014.
- [2] Z-16.8-468, Getzner Sylodyn. Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, A-6706 Bürs.
- [3] ÖNORM B 1995-1-1:2015, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau Austrian Standards Institute, Vienna 2015.
- [4] Blass, H.J.; Laskewitz, B.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Zwischenschichten. 2017, <http://holz.vka.kit.edu/public/31.pdf>, 2017_01.
- [5] Gritsch, D.: Elastische Zwischenschichten im Brettsperrholzbau – Grundlagen und Modellierung. Innsbruck, Universität Innsbruck, AB Holzbau, Masterarbeit, 2016.
- [6] Maderebner, R., et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise: Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Vollgewindeschrauben zur Sanierung bestehender Holzbalkendecken. In: Bauingenieur 91(2016), Heft, 3, S. 103–109.
- [7] ETA-11/0024: Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel, E.u.r.o. Tec GmbH, 2013.
- [8] EN 26891:1991; Holzbauwerke – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln – Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens (ISO 6891:1983); Austrian Standards Institute, Wien.
- [9] Werner, H.: Tragfähigkeit von Holz-Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln unter Berücksichtigung streuender Einflußgrößen. Karlsruhe, 1993.
- [10] EN 14358:2016; Holzbauwerke – Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben. Austrian Standards Institute, Vienna 2016.
- [11] ETA-14/0349 Europäisch Technische Bewertung, CLT – Cross Laminated Timber. Stora Enso Wood Products OY Ltd, Finnland.
- [12] Möhler, K.; Maier, G.: Der Reibbeiwert bei Fichtenholz im Hinblick auf die Wirksamkeit reibschlüssiger Holzverbindungen. In: Holz als Roh- und Werkstoff 27 (1969), Heft 8, S. 303–307.
- [13] Bemessungskonzept Sylomer und Sylodyn, Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, A-6706 Bürs.
- [14] Maderebner, R.: Relaxationsverhalten von Teilgewindeschrauben in Fichtenholz. Interner Bericht Universität Innsbruck, 2017.



Vorteile

- Effizienter, langlebiger Schallschutz
- TimberCalc für die einfache Materialauswahl
- Geprüfte Lager mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Sicheres Berechnungsmodell für den Standsicherheitsnachweis

Für TimberCalc registrieren Sie sich gleich auf:
apps.getzner.com



Schallschutzlösung die auch Statiker überzeugt

Seit Jahren hat Getzner die Lösung zur Entkopplung von flankierenden Bauteilen – zum Schutz vor Schall in Massivholzbauten – am Markt etabliert. Mit dem neuen Bemessungskonzept nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist nun die statische Nachweisführung der Schallschutzlösung verlässlich berechenbar.

www.getzner.com

getzner
engineering a quiet future