

Elisabet Kuck: Studie zum Tragverhalten von Teilgewindeschrauben in Buchenfurnierschichtholz

Vortragende:

Kuck, Elisabet

M.Sc.

Versuchsanstalt für Stahl Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion
Karlsruher Institut für Technologie, KIT
elisabet.kuck@kit.edu



- 1993 geboren in Mutlangen
- 2012-2015 B.Sc. Bauingenieurwesen, KIT
- 2015-2016 Techn. Büro, Schaffitzel Holzindustrie GmbH&Co.KG
- 2016-2019 M.Sc. Funktionaler und Konstruktiver Ingenieurbau, KIT
- Seit Nov. 2019 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion

Autorin: Elisabet Kuck

Zusammenfassung

Im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens zur Entwicklung von leistungsstarken Hartholzverbindungen werden Besonderheiten des Tragverhaltens von Schraubenverbindungen in Nadelbrettschichtholz (Nadel-BSH) und Buchenfurnierschichtholz (Buchen-FSH) untersucht. Als Verbindungsmittel dienen Teilgewindeschrauben, die vorgebohrt und nicht vorgebohrt eingebracht werden. Mittels eines speziellen Versuchsprogramms werden Unterschiede des Last-Verformungsverhaltens der Verbindungen aufgezeigt. Durch vorzeitige Öffnung einiger Prüfkörper erfolgt eine schrittweise Aufnahme der Deformierung und des Plastifizierens der Verbindungsmittel. Die Ergebnisse werden zur Abgrenzung und Diskussion von existierenden Bemessungsregelungen und –empfehlungen verwendet.

1. Einleitung

Teilgewindeschrauben (TG) sind ein häufig verwendetes stiftförmiges Verbindungsmittel im Ingenieurholzbau. Schrauben in Laubholzverbindungen erreichen nicht immer die auf Grundlage des European Yield Models und EC 5 [1] berechneten Tragfähigkeiten. Grund hierfür ist ein frühes Aufspalten der Prüfkörper [2, 3]. Das gemäß EAD 130118-01-0603 [4] formulierte Duktilitätskriterium zum Erreichen einer Relativverschiebung von 10 mm vor Lastabnahme auf 80 % der Maximallast wird dabei teils verfehlt. Zur Beurteilung dieser Regelung wurde ein Versuchsprogramm entworfen, das den Deformierungsfortschritt von Holz-Holzverbindungen abbildet und analysiert. Nach Abbruch einiger Versuche bei vordefinierten Verschiebungsstufen wurden Prüfkörper geöffnet und das Plastifizieren der Verbindungsmittel aufgenommen. Diese sogenannten „Stufenversuche“ ermöglichen Einblick in die Zusammenhänge der Wirkmechanismen bei auf Abscheren beanspruchten Schraubenverbindungen. Im Rahmen der Studie werden Versuchsergebnisse an vorgebohrten und nicht vorgebohrten Schraubenverbindungen vorgestellt, um Einflüsse der Einbauart zu beleuchten. Die Möglichkeit eines nicht vorgebohrten Schraubeneinbaus erfreut sich aufgrund der einfachen Montage hoher Beliebtheit, wobei der nicht vorgebohrte Einsatz in Laubholz eine jüngere Entwicklung darstellt, die noch Schwierigkeiten aufweist und weiterer Erforschung bedarf. Zur präzisen Untersuchung von Verbindungen ist die Ermittlung von grundlegenden Bemessungsparametern unabdingbar. Im Rahmen von Grundlagenversuchen wurden alle notwendigen Bemessungsparameter ermittelt und dienen als Basis für die Bewertung der Tragfähigkeit und Duktilität.

2. Versuchsmaterial

Zur Untersuchung der Holz-Holzverbindungen mit TG fand Buchen-FSH Typ S oder Fichten-BSH Verwendung. Die beiden eingesetzten Schraubentypen wurden immer unter einem Deckflächenwinkel von 90° in das Material eingebaut und sind in **Abb. 1** spezifiziert.



- (a) Scheibenkopfschraube 8x160/100 mm gemäß [5], nicht vorgebohrt (nv), $d_s = 6,5$ mm, $d_1 = 6,1$ mm, $d_{\text{head}} = 21,4$ mm
- (b) Senkkopfschraube 8x160/80 mm gemäß [6], vorgebohrt (v) mit $d_{\text{vorbohr}} = 6$ mm und Kopf vorgesenkt, $d_s = 5,8$ mm, $d_1 = 5,4$ mm, $d_{\text{head}} = 15$ mm

Abb. 1: Verwendete TG mit Durchmessern des Schaftes d_s , Kerns d_1 und Kopfes d_{head}

3. Grundlagenversuche

Alle relevanten Bemessungsparameter der TG wurden in Buchen-FSH ermittelt. Ergebnisse sind in **Tab. 1** gezeigt. Diese umfassten die Bestimmung von Lochleibungsfestigkeiten f_h , Auszieh- f_{ax} und Kopfdurchziehparametern f_{head} . Der Kraftfaserwinkel der Lochleibungsversuche betrug 0° . Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an die Prüfnormen DIN EN 383:2007, DIN EN 1382:2016 und DIN EN 1383:2016. Die Einbindetiefe der TG zur Bestimmung der Ausziehparameter betrug jeweils $l_d = 6 d = 48$ mm. Der Kopfdurchziehparameter wurde bei einem Maschinenweg von 15 mm ermittelt. Zusätzlich erfolgten Bestimmungen der Zugtragfähigkeit an 10 Schrauben und diverser Fließmomente mit spezifischer Untersuchung des Einflusses der freien Biegelänge. In **Abb. 2** sind die zugehörigen Ergebnisse visualisiert. Der Hülsenabstand, sinngleich der freien Biegelänge, betrug 0 mm, $2 d_H$ (mit Hüsendurchmesser d_H , gemäß Empfehlung in DIN EN 409:2009 $d \leq l_2 \leq 3 d$) und 30 mm bzw. 25mm für TG v im Übergangsbereich. Es stellen sich voneinander abweichende Biegeradien der Stifte ein. Auf Grundlage dieser Parameterermittlung kann die Tragfähigkeit der nachfolgend betrachteten Holz-Holzverbindungen präzise berechnet werden.

Tab. 1: Ergebnisse der Grundlagenversuche (n=20/Reihe): Rohdichte ρ , Holzfeuchte u , Lochleibungsfestigkeit f_h , Ausziehparameter f_{ax} , Kopfdurchziehparameter f_{head}

Bemessungsparameter		TG nv			TG v			
		ρ kg/m ³	u %	f N/mm ²	ρ kg/m ³	u %	f N/mm ²	
Mean	f_h	Schaft	812	7,06	58,6	816	7,11	55,5
CoV in %			5,25	6,45	10,3	2,13	2,39	6,46
Mean	f_h	Gewinde	823	6,94	72,4	818	7,14	63,1
CoV in %			2,98	8,35	7,86	2,97	3,67	6,51
Mean	f_{ax}		816	7,58	51,6	822	7,46	39,3
CoV in %			1,56	3,17	4,96	1,50	3,85	4,02
Mean	f_{head}		796	7,42	53,4	812	7,38	68,6
CoV in %			2,38	2,16	6,47	2,31	1,62	7,28
Zugfestigkeit	f_{tens} in kN		34,2			24,7		
Fließmoment*	$M_{y,45^\circ}$ in Nm	Schaft	62,5			40,5		
		Gewinde	48,3			31,5		

*Fließmoment ermittelt mit $2 d_H$ freier Biegelänge gemäß Fließmomentkurven in **Abb. 2**

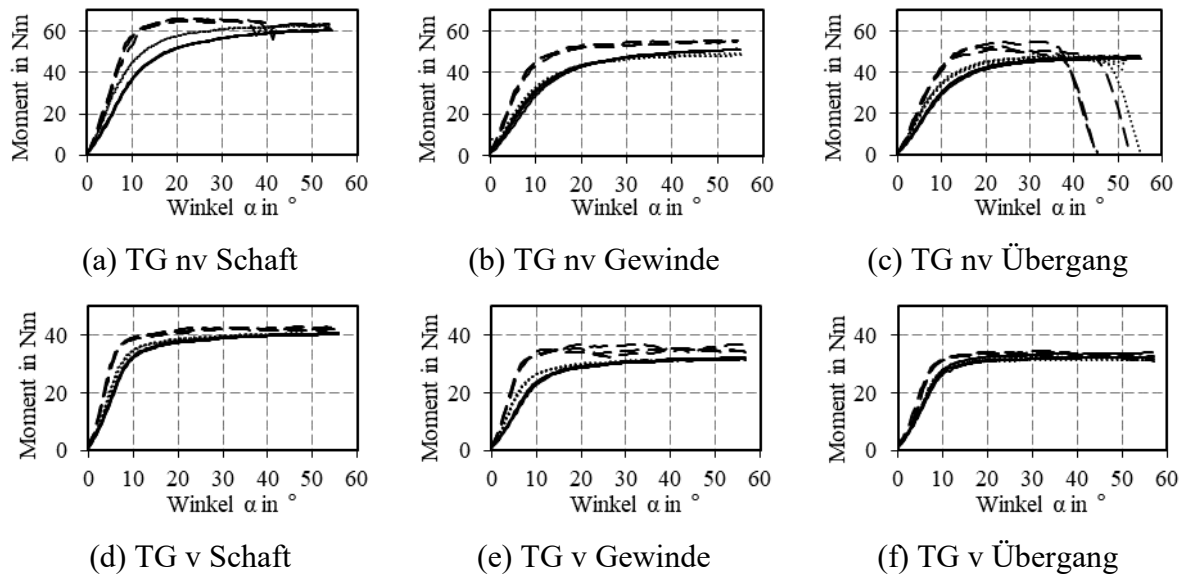


Abb. 2: M- α -Kurven mit freier Biegelänge: - - - 0 mm 2d — 30 mm

4. Versuchsmethodik

4.1 Stufenversuche

Das Versuchsprogramm der Stufenversuche umfasst Druck-Scherversuche in Buchen-FSH und Nadel-BSH. Die Versuchskonfigurationen sind **Abb. 3** zu entnehmen. Die Seitenholzdicke entspricht jeweils der Schaftlänge. Im Rahmen von Versuchen mit bündig eingebauten Schrauben, siehe **Tab. 2**, wurden Stufenversuche mit vordefinierten Öffnungsstufen durchgeführt: 5 mm, 10 mm, 25 mm, Bruch/Versagen (35 - 40 mm TG v, 13 - 35 mm TG nv). Der Abbruch erfolgte zum Zeitpunkt des Erreichens der angegebenen Relativverschiebung im Versuch. Ziel der Stufenversuche ist die Aufnahme und Analyse des Durchplastifizierens von TG in Holz-Holzverbindungen sowie eine Beurteilung des Duktilitätskriteriums gemäß [4]. Verschiebungen wurden mittels eines Bild-Korrelationssystems, vgl. **Abb. 3** (c), gemessen und ausgewertet. Anhand der geöffneten Prüfkörper lässt sich der Deformierungsfortschritt der Verbindungen beobachten.

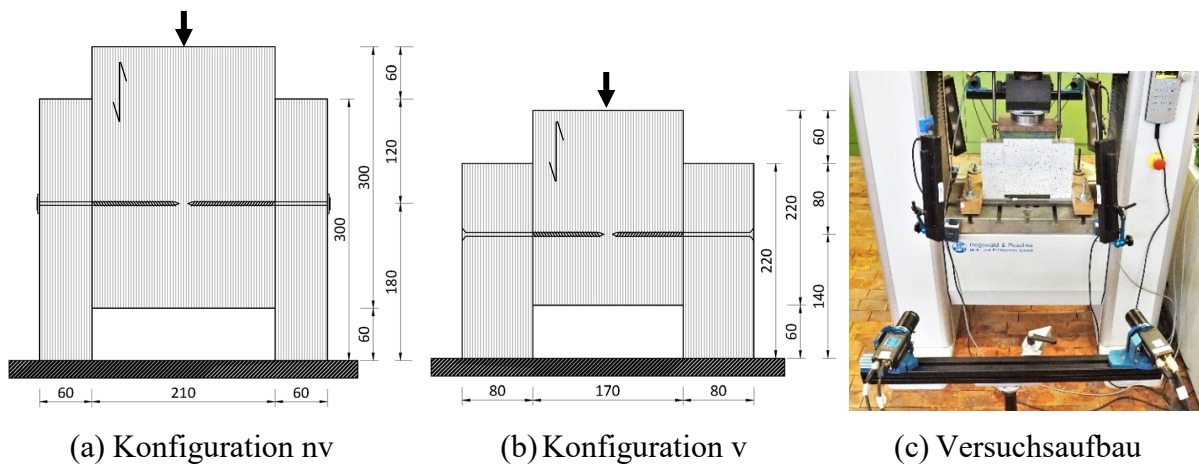


Abb. 3: Stufenversuche, Maße in mm; Versuchsaufbau mit Bild-Korrelationssystem

4.2 Modifizierter Schraubeneinbau

Mittels separater Versuchsreihen wurde der Effekt der „Initialhaftung“ untersucht. Die Initialhaftung bezeichnet die maximal erreichte Last beim Ablösepunkt einer Last-Verformungskurve von der Ordinate, vgl. **Abb. 4**, und markiert zugleich den Beginn des elastischen Verhaltens in Teilbereich 2. Im Zuge des Schraubeneinbaus werden die Fügungshölzer zusammengepresst. In der Scherfuge herrschen bereits zu Beginn der Belastungsgeschichte Haftkräfte vor, die bei einer lateralen Verbindungsbeanspruchung eine Initialhaftung hervorrufen. Teilbereich 3 markiert den plastischen Abschnitt der Last-Verformungskurve, der die durch den Seileffekt aktivierte Tragfähigkeitssteigerung abbildet. Die Versuchsdurchführung erfolgte kraftgesteuert bis zum Erreichen des Teilbereichs 3 und wurde danach weggesteuert fortgesetzt. Der modifizierte Schraubeneinbau, vgl. **Tab. 2**, zielt auf eine Beeinflussung der Initialhaftung ab. Nach bündigem Einbau wurden einige Schrauben manuell überdreht bzw. zurückgedreht. Eine Schraubenumdrehung entspricht 360° .

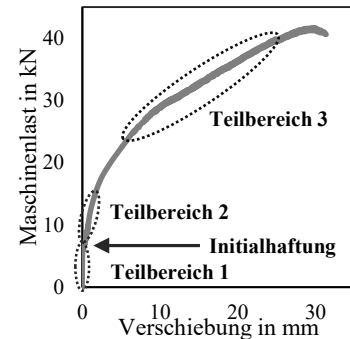
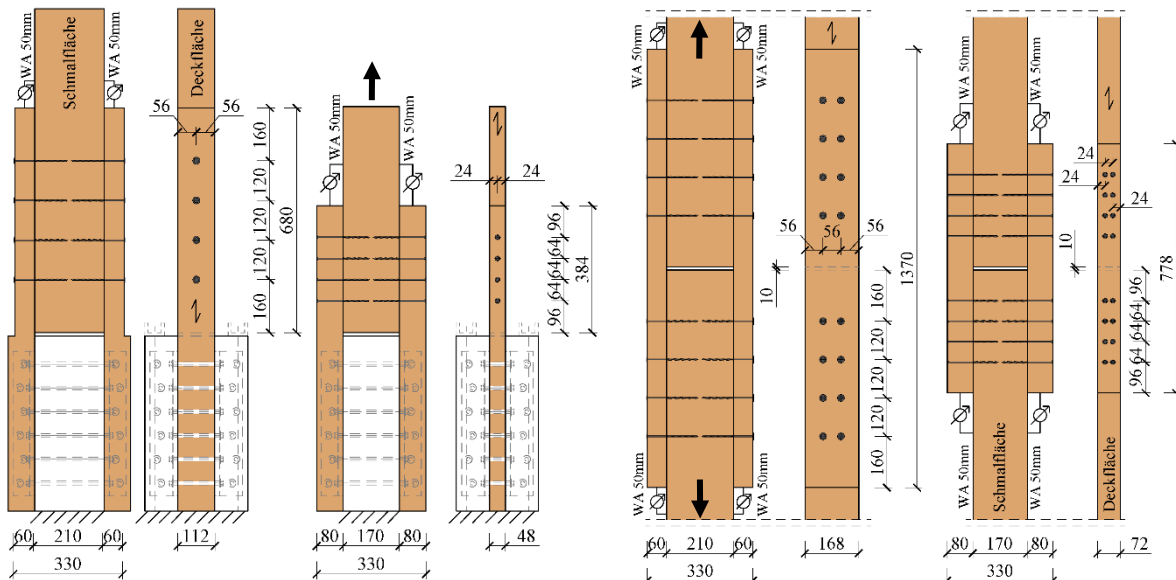


Abb. 4: Last-Verformungskurve einer Holz-Holzverbindung mit TG v

Tab. 2: Anzahl der Versuche je Einbauart der TG

Einbauart	TG nv		TG v		Anmerkung zum Schraubenkopf
	Buchen-FSH	NH-BSH	Buchen-FSH	NH-BSH	
Bündig	10	2	10	8	Kopf liegt fest an
+90°/+180°	1 / -		4 / 2		Kopf versenkt
-90°/-180°	3 / 2		3 / -		Kopf steht heraus

4.3 Zug-Scherversuche an Schraubengruppen



(a) Einreihig 1x4: nv links, v rechts

(b) Zweireihig 2x4: nv links, v rechts

Abb. 5: Versuchskonfigurationen für Schraubengruppen, Maße in mm

Versuche mit einreihiger und zweireihiger TG-Anordnung dienen der Untersuchung von Gruppeneffekten. Die Versuchsaufbauten wurden in Anlehnung an DIN EN 1380:2009

gewählt. Pro Konfiguration gemäß **Abb. 5** wurden 3 Versuche einreihig und 2 Versuche mit zweireihiger Anordnung realisiert. Zusätzlich erfolgten 2 einreihige Prüfungen mit separat vorgebohrten Hölzern. Die Wahl der Verbindungsmittelabstände basiert auf den Empfehlungen in [5] und [6], wobei für den vorgebohrten Abstand a_1 in Faserrichtung aufgrund vorherigen Auftretens spröder Versagensmechanismen [2, 3] ein modifizierter Abstand von $8d$ gewählt wurde. Die Durchführung erfolgte in Anlehnung an DIN EN 26891:1991 und beinhaltete eine Entlastungsschleife.

5. Ergebnisse

5.1 Deformierungsprozess

Mithilfe der an vordefinierten Öffnungsstufen gestoppten Versuchskörper ist das Durchplastifizieren der TG beobachtbar, siehe **Abb. 6** beispielhaft an v Konfigurationen. Die 5 mm-Stufe wird nicht weiter betrachtet, da keine augenscheinlichen Verformungen nach Öffnung erkennbar waren. Zu beachten ist eine elastische Rückverformung der Prüfkörper durch Entlastung und Öffnung. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Werkstoffen sind ab einer Verschiebungsstufe von 10 mm erkennbar. Fließgelenke sind in Buchen-FSH bei 10 mm Verschiebung bereits voll ausgebildet, wohingegen die TG in Nadel-BSH leichte plastische Verformungen zeigen, das Hauptversagen indes durch Lochleibungsversagen gekennzeichnet ist. Ein merkliches Kopfeinziehen ins Seitenholz findet ab Relativverschiebungen > 10 mm statt. Der Widerstand gegen Herausziehen ist in dieser Konfiguration höher als der Kopfdurchziehewiderstand. Die entstehenden Normalkräfte in der TG führen zu einer Begradigung der Stiftachse im Schaftbereich und einer Aufweichung des Fließgelenks. Der Biegeradius nimmt zu. Aufgrund der Verankerung des Gewindeabschnitts im Mittelholz und des geringeren Biege­widerstands des profilierten Abschnitts entsteht im Mittelholz ein Fließgelenk mit kleinerem Biegeradius. Die Ergebnisse der Fließmomentbestimmung in **Abb. 2** belegen, dass für kleine freie Biegelängen und Biegeradien signifikant höhere Fließmomente entstehen, da die Fließgrenze früher in größeren Querschnittsbereichen erreicht wird. Die bilderten Versuchsergebnisse zeigen, dass besonders bei großen Verschiebungen in Laubholzverbindungen unterschiedliche Biegeradien in Gewinde- und Schaftbereich auftreten und der Biege­winkel verglichen mit Nadelholzverbindungen größer ist. Der freien Biegelänge kommt eine besondere Bedeutung bei der Bestimmung des Fließmoments als Bemessungsparameter zu. Unterschiedliche Biegeradien sind in Schraubenverbindungen derzeit nicht gesondert untersucht. Mit Hinblick auf die Tragfähigkeit und Steifigkeit von Verbindungen sind speziell die elastischen Anfangsbereiche und der Übergang zum plastischen Fließmoment bemerkenswert. Abhängig vom Auswertepunkt unterscheiden sich die Fließmomente in diesen Bereichen stark.

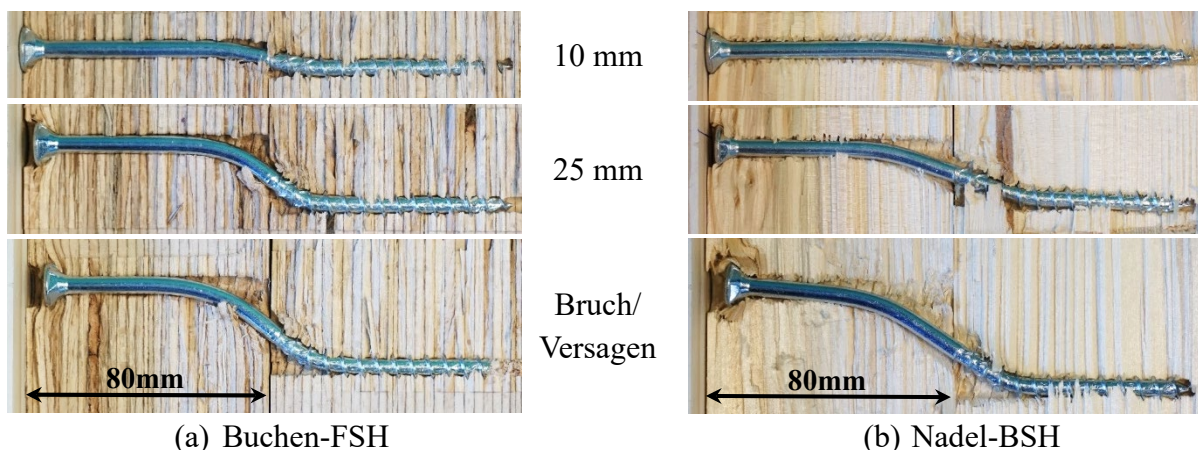


Abb. 6: Ergebnisse der Stufenversuche: Durchplastifizieren der TG v an Öffnungsstufen

5.2 Initialhaftung

Unter Einbezug der Ergebnisse mit modifiziertem Schraubeneinbau wird deutlich, dass überdrehte Schrauben in Buchen-FSH vorgespannt werden können und die Initialhaftung sowie die Gesamttragfähigkeit damit zunehmen, vgl. **Abb. 7**. Um 90° zurückgedrehte Schrauben zeigen keine Initialhaftung und einen leichten Anfangsschlupf. Als Initialhaftung wurde einheitlich die Last beim Erreichen einer Relativverschiebung von 0,1 mm ausgewertet. Diese beläuft sich für die untersuchten vorgebohrten und bündig eingebrachten Schrauben in Laubholz auf 1,6 kN und 4,1 kN für die nicht vorgebohrten. In NH-Verbindungen entstehen nur geringfügige Vorspannkräfte in den Schrauben und die Initialhaftung ist annähernd null. Voraussetzung zur Aktivierung der Initialhaftung ist ein ordnungsgemäßer Schraubeneinbau sowie ein festes Anlegen des Schraubenkopfes. Nur für vorgebohrte Senkkopfschrauben ist ein klarer Ablösepunkt der aufgezeichneten Last-Verformungskurven von der Ordinate ersichtlich, dem ein linear elastischer Kurvenabschnitt folgt. Die untersuchte Konfiguration mit nv TG weist hingegen einen fließenden Übergang auf, siehe **Abb. 8** (c) und (d). Die Frage nach der Beständigkeit der Initialhaftung ist unter Berücksichtigung von klimatischen Änderungen und Belastungswechseln zu stellen. Besonders durch Schwindprozesse ist mit einer Minderung der Vorspannung zu rechnen.

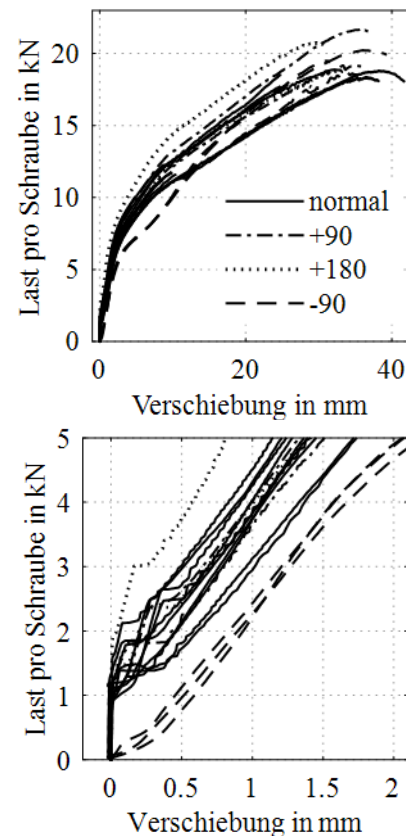


Abb. 7: Ergebnisse nach modifiziertem Schraubeneinbau (v): Gesamt- und Anfangsverläufe

5.3 Last-Verformungsverhalten

Die Ergebnisse in Buchen-FSH, zusammengestellt in **Tab. 3**, werden jeweils als Mittelwerte der Wegaufnehmer beider Scherfugen angegeben; für Schraubengruppen entsprechend der Mittelwert der versagten Verbindungen (oben oder unten). Die höheren maximalen Relativverschiebungen der Stufenversuche sind durch größere Randabstände in Faserrichtung zu begründen. Für einen direkten Vergleich der Stufenversuche mit den Gruppenversuchen eignen sich die ausgewerteten Lasten bei 10 und 15 mm Relativverschiebung. Alle Versuchskörper erreichen die nach [4] erforderliche Verschiebung von 10 mm. Vergleichbare Versuche [2, 3] mit einem Abstand $a_1 = 7$ d versagten bei Relativverschiebungen von 9,1 mm bzw. 7,2 mm. Die günstige Wirkung durch die Erhöhung der Schraubenabstände in Faserrichtung um lediglich 1 d ist hervorzuheben, da deutlich größere Verformungen ermöglicht werden und das Duktilitätskriterium für die untersuchten Verbindungen eingehalten wird. Separat vorgebohrte Hölzer führen zu einer tendenziell geringeren Tragfähigkeit sowie einem veränderten Anfangsverhalten aufgrund der verminderten Passgenauigkeit der Schrauben in den Bohrlöchern.

Das unsachgemäße Anlegen von nur einem von vier Schraubenköpfen führt zu beträchtlichen Änderungen des Last-Verformungsverhaltens. Dies wird deutlich in **Abb. 8** (c), vgl. Ausreißer (gestrichelte Linie). Beim Einbau wurde eine Schraube aufgrund des Durchdrehens eines Bits nicht fest angelegt. Der herausstehende Schraubenkopf führt zu einer verringerten Initialhaftung und einem Anfangsschlupf.

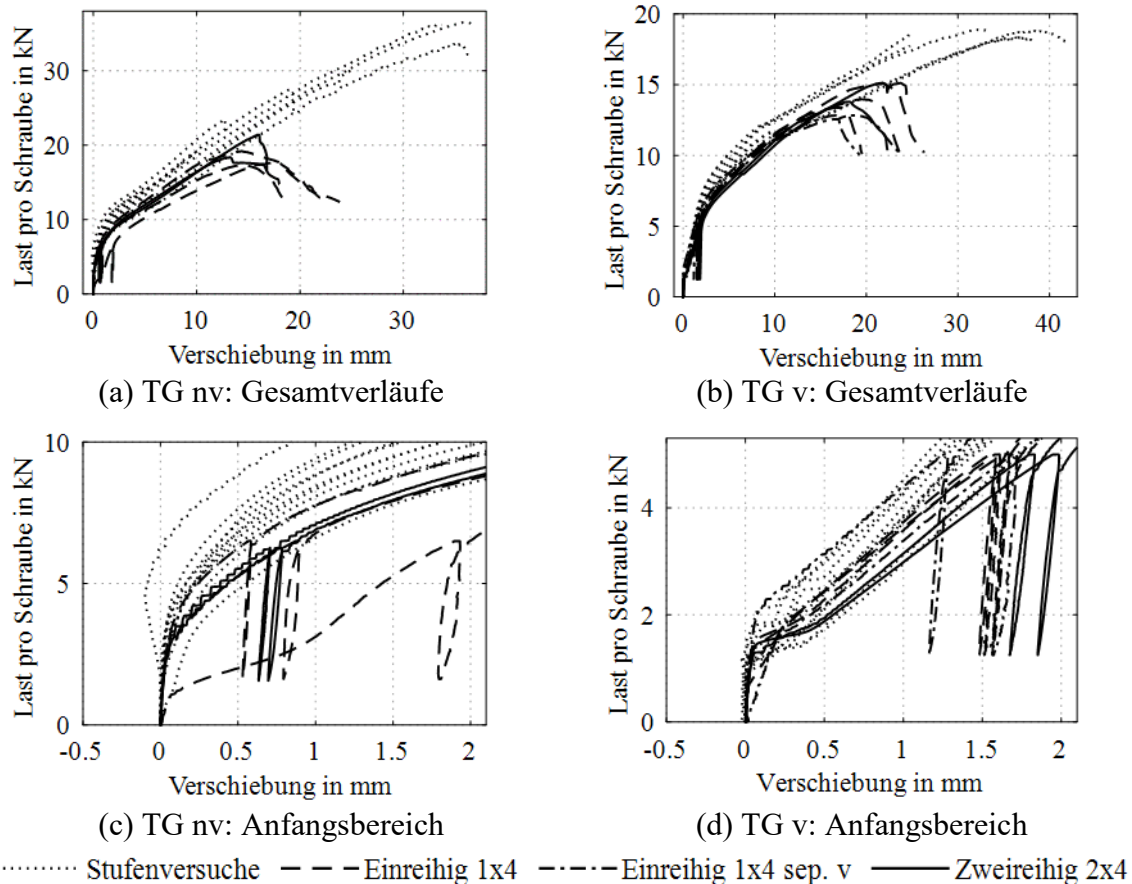


Abb. 8: Last-Verformungsverhalten der Schraubenverbindungen

Tab. 3: Versuchsergebnisse pro Schraube in Buchen-FSH, Mittelwerte aus zwei WA (50mm)

	TG nv						TG v					
	Last bei u_i in mm		F_{\max}	ρ_{mean}	S		Last bei u_i in mm		F_{\max}	ρ_{mean}	S	
	10	15			$s_2^{2)}$	$s_3^{3)}$	10	15			$s_2^{4)}$	$s_3^{5)}$
kN		kg/m ³		kN/mm		kN		kg/m ³		kN/mm		
Stufenv.	18,5	22,5	32,7	810	6,2	1,0	12,0	13,8	18,6	819	2,9	7,7
1x4 ¹⁾	16,3	18,1	18,3	808	5,3	0,9	11,4	13,3	14,1	815	2,5	5,6
1x4 sep.v			-				11,1	12,5	12,8	805	2,5	7,1
2x4	16,4	19,2	19,9	789	5,1	0,9	10,9	13,0	14,5	807	2,3	4,6

WA.. Wegaufnehmer; Verschiebung in Scherfuge u_i , ¹⁾ Mittelwert ohne Ausreißer (herausstehender Schraubenkopf)
 Steifigkeit S in Teilabschnitten 2+3: TG nv ²⁾ Bereich $u=0,2-0,4\text{mm}$; ³⁾ Bereich $u=5-8,7\text{mm}$
 TG v ⁴⁾ Bereich $u=0,5-1,0\text{mm}$; ⁵⁾ Bereich $u=7-15\text{mm}$

6. Diskussion

Unter Verwendung der ermittelten Eingangsparameter kann die Tragfähigkeit pro Scherfuge einschließlich Seileffekt der v Verbindung abgeschätzt werden zu 9,7 kN und 13,7 kN für die nv Verbindung. Bei Vernachlässigung und Abzug der Initialhaftung werden die berechneten Tragfähigkeiten bei einer Verschiebung von ca. 10 mm erreicht. Mittels der geöffneten Prüfkörper der Stufenversuche wird ersichtlich, dass diese Verformung benötigt wird, um einen ausreichenden Biegewinkel zu generieren und das plastische Fließmoment der Stifte zu aktivieren. Zuvor beobachtetes frühes Aufspalten der Prüfkörper [2,3] und das Unterschreiten der berechneten Tragfähigkeiten sind demnach mit der noch fehlenden Fließgelenkausbildung zu

begründen. Die Verformungsgrenze von 10 mm sollte für eine ausreichende Duktilität der Schraubenverbindungen beibehalten werden. Sie garantiert das Erreichen der berechneten Tragfähigkeiten gemäß [1]. In Nadelholzverbindungen werden größere Verschiebungen zur Aktivierung der plast. Fließmomente benötigt, da irreversible Lochleibungsverformungen vor Ausbildung der Fließgelenke auftreten. Schraubengruppen erreichen Tragfähigkeiten von ca. 90% der einzeln geprüften Schrauben. Entsprechende Regelungen zur effektiven Schraubenzahl existieren bereits. Das meist beobachtete Versagen fand in Form von Aufspalten statt. Besonders bei Schraubengruppen trat vereinzelt Quersugversagen des Mittelholzes auf. Eine generelle Empfehlung lautet, das Quersugversagen durch Überlappen der Schraubenspitzen systematisch auszuschließen.

7. Schlussfolgerung

Der Effekt der Initialhaftung ist als Prüfphänomen aufzufassen und sollte nicht als Tragfähigkeitsreserve angesetzt werden. Aufgrund von Relaxationsprozessen, klimatischen Änderungen und Lastwechseln kann der Effekt nicht in realen Bemessungssituationen aufgegriffen werden. Im Rahmen des Schraubeneinbaus sind vermehrt Schwierigkeiten beim *nv* Eindrehen der Schrauben in Buchen-FSH aufgetreten, obwohl der Einbau bei annähernd idealen Laborbedingungen stattfand. Die in der Studie verwendeten Schrauben stellen bzgl. des Durchmessers oder Gewindelänge keineswegs eine Obergrenze dar. Das Durchdrehen von Bits im Schraubenkopf und die nötige Fixierung des Prüfkörpers zum festen Anlegen der Köpfe stellen bei der Montage vor Ort eine Herausforderung dar. Die Umsetzbarkeit einer *nv* Schraubenverbindung in Buchen-FSH sollte unbedingt im Rahmen einer Projektplanung geprüft werden.

Um ein sprödes Versagen in Form von Aufspalten der Prüfkörper zu vermeiden, sollten nicht nur Forderungen bzgl. der Mindestabstände formuliert werden. Die untersuchten Konfigurationen erreichten mit dem gewählten Abstand $a_1=8 d$ die notwendige Duktilität. Ein Kriterium zur Berücksichtigung des beanspruchten Volumens könnte zukünftig eine Vielzahl der möglichen Schraubenverbindungen abdecken. Ein Übertrag der Ergebnisse auf andere Laubholzarten und –werkstoffe steht noch aus.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



This work has been carried out within the project hardwood_joint, which is supported under the umbrella of ERA-NET Cofund ForestValue by BMLFUW (AT), ADEME (FR), FNR (DE), Vinnova, Swedish Energy Agency and Formas (SE). ForestValue has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 773324.

Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Hochbauten – Teil 1 - 1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010-12.
- [2] Meyer, N.: *Tragfähigkeit mechanischer und geklebter Verbindungsmittel in Buchenfurnierschichtholz*. Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2020.
- [3] Vedovelli, M.: *Untersuchungen zu Zugscherverbindungen in Laubholz*. Doktorandenkolloquium Holzbau Forschung + Praxis, Stuttgart 2020
- [4] European Assessment Document EAD 130118-01-0603: *Screws and threaded rods for use in timber constructions*. February 2019
- [5] ETA-12/0373 Europäische Technische Bewertung vom 03. Nov. 2017. *Schrauben als Holzverbindungsmittel*. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien.
- [6] ETA-11/0190 Europäische Technische Bewertung vom 23. Juli 2018. *Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel*. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.