

Untersuchungen zu Zugscherverbindungen in Laubholz

Vortragende:

Vedovelli, Monica

dott.ssa

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Holzbau und Baukonstruktionen
Karlsruher Institut für Technologie
monica.vedovelli@kit.edu



1993 geboren in Meran (IT)
2012 – 2018 Studium
„Architecture and Construction
Engineering“ an Universität
Trient (IT)
Seit 2019 wissenschaftliche
Mitarbeiterin

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden erste Untersuchungen zu Verbindungen mit auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln in Laubholz, exemplarisch in Furnierschichtholz aus Buche, vorgestellt. Es werden die Einflüsse der Prüfkörpergeometrie (Mindestabstände) und des Seileffektes auf das Tragverhalten einer Verbindung untersucht. Dafür werden Zugscherverbindungen mit Schrauben mit unterschiedlichen Verbindungsmittelabständen und Holzdicken geprüft; der Seileffekt in Verbindungen mit glattschaftigen Verbindungsmitteln wird analysiert. Schließlich wird die Machbarkeit von Verbindungen mit Klammern und Nägeln in Laubholz untersucht. Insgesamt bergen Verbindungen in Laubholz noch ein großes Potential, das im weiteren Verlauf des Projektes herausgearbeitet wird.

1. Einleitung

Laubholz zeichnet sich im Vergleich zu Nadelholz durch deutlich höhere Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte aus, trotzdem spielt es in der Baupraxis noch keine wichtige Rolle. Einer der Hauptgründe dafür ist der Mangel an geeigneten Verbindungen, die eine wirtschaftliche Dimensionierung der Anschlüsse und der Bauteile erlauben. Außerdem hat sich die Bemessung der Verbindungen nach Eurocode 5 [1] als zu konservativ erwiesen [2].

Um Verbindungen aus Laubholz zu optimieren, muss deren Tragverhalten besser verstanden werden. Arbeiten von Misconel et al. [2] und von Kobel et al. [3] haben gezeigt, dass man das European Yield Model (EYM) nicht nur für Nadelholzverbindungen, sondern auch für Laubholzverbindungen verwenden kann. Prinzipiell ist bekannt, dass die Abmessungen der Holzquerschnitte und der Seileffekt einen großen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Verbindungen haben. Mit den hier vorgestellten Untersuchungen soll ein tieferes Verständnis für diese Einflussfaktoren geschaffen werden.

Die Bemessung einer Verbindung basiert auf Eurocode 5 [1], in dem Verbindungsmittelabstände und damit die Abmessungen festgelegt werden. Abweichend davon können für Verbindungen mit Schrauben laut EAD 130118-00-0603 [4] reduzierte Abstände angenommen werden, wenn experimentell nachgewiesen werden kann, dass die Verbindung eine Mindestverschiebung von 10 mm erreicht, bevor die Last unter 80% der Maximallast fällt. Diese in Eurocode 5 und EAD festgelegten Anforderungen beruhen auf empirischen Erkenntnissen und erscheinen willkürlich. Mit dieser Arbeit wird ein besseres Verständnis des Einflusses von verschiedenen geometrischen Bedingungen auf das Tragverhalten der Verbindungen angestrebt. Es wird untersucht, welche geometrischen Anforderungen notwendig sind, um eine duktile Verbindung zu erzielen; sodass nicht nur eine hohe Tragfähigkeit, sondern auch eine hohe plastische Verformung erreicht wird [2]. In diesen Beitrag werden beispielhaft Schraubenver-

bindungen untersucht: Verbindungen mit verschiedenen Verbindungsmittelabständen werden geprüft, um deren Einfluss auf das Tragverhalten zu untersuchen.

Der Seileffekt als weiterer Einflussfaktor auf das Tragverhalten von Verbindungen darf laut Eurocode 5 nur bei Verbindungen angesetzt werden, deren Verbindungsmittel auf Ausziehen beansprucht werden können. Allerdings wurde auch bei Verbindungen mit glattschaftigen Verbindungsmitteln wie z. B. Stabdübeln ein Seileffekt beobachtet [5]. Der Seileffekt wird von Normalkräften verursacht, die in auf Abscheren belasteten und schräg gestellten Verbindungsmitteln auftreten [5]. Um den Seileffekt in einer Verbindung mit Stabdübeln erfassen zu können, wird in diesem Beitrag ein Vorversuch vorgestellt, bei dem in einer Zugscherverbindung ein Stabdübel mit Dehnmessstreifen (DMS) eingesetzt wird. Der DMS misst die Normalkraft, die bei Vorhandensein eines Seileffektes im Stabdübel selbst auftreten sollte.

Als letzter Punkt werden in diesem Beitrag Machbarkeitsstudien vorgestellt, die den Einsatz von Verbindungsmitteln mit kleinen Durchmessern und ohne Vorbohren überprüfen. Klammern und Nägel dürfen laut Eurocode 5 [1] nur in vorgebohrte Bauteile aus Laubholz (Rohdichte $> 500 \text{ kg/m}^3$) eingebracht werden, was ihren Einsatz beträchtlich einschränkt.

2. Einfluss der Verbindungsmittelabstände

Die Mindestabstände für stiftförmige Verbindungen sind im Eurocode 5 [1] angegeben und stammen unter anderem von Möhler [6]. Sie wurden ursprünglich für Nadelholz bestimmt und sollen frühzeitiges Spalten verhindern. Sie basieren auf empirischen Untersuchungen und ermöglichen es nicht, die Komplexität der verschiedenen geometrischen Bedingungen in die Bemessung mit einzubeziehen. Ein tieferes Verständnis der geometrischen Einflussfaktoren wird angestrebt.

Neuere Untersuchungen zu Verbindungen mit im Vergleich zu Eurocode 5 modifizierten Abständen in Laubholz wurden zum Beispiel von Kobel et al. [3] durchgeführt. In dieser Studie [3] wurden Stabdübelverbindungen mit verringerten Abständen geprüft, dabei wurde ein Verlust an Duktilität und an Tragfähigkeit der Verbindungen beobachtet. Einige Schrauben wiederum können mit vergrößerten Abständen ohne Vorbohren in Laubholz eingebracht werden, siehe dazu ETA-11/0190 [7].

In diesem Beitrag werden unterschiedliche Verbindungsmittelabstände und Holzdicken in Schraubenverbindungen untersucht, um deren Einfluss auf das Tragverhalten der Verbindung zu verstehen. Die Verbindung soll duktil versagen, d.h. sie soll eine hohe Verschiebung erreichen. Es steht noch offen, welchen Mindestwert die Verschiebung erreichen soll, damit die Verbindung als duktil bezeichnet werden kann. EAD 130118-00-0603 [4] basiert genauso wie der Eurocode 5 [1] auf empirischen Untersuchungen und legt fest, dass in Schraubenverbindungen eine Mindestverschiebung von 10 mm erzielt werden soll, bevor die Last unter 80% der Maximallast fällt.

2.1 Material

Einschnittige Zugscherverbindungen mit Schrauben wurden untersucht. Als Laubholz wurde Furnierschichtholz aus Buche (BauBuche) gewählt und als Verbindungsmittel Voll- und Teilgewindeschrauben mit Durchmessern von 5 mm, 8 mm und 12 mm (siehe **Tab. 1**). Die Schraubenkopfarten waren verschieden. Alle Schrauben waren vorgebohrt und alle Senkköpfe vorgesenkt. Die Schrauben wurden in einem Zug eingebracht.

Tab. 1: Gewählte Schrauben

d (mm)	Typ	Schraubenkopf
5	TG	SK
8	TG	SK
12	TG	SK
8	VG	SK
12	TG	TK

TG = Teilgewinde, VG = Vollgewinde, SK = Senkkopf, TK = Tellerkopf

2.2 Versuchsprogramm

Insgesamt wurden 35 Prüfkörper geprüft, eine schematische Zeichnung ist in **Abb. 1** dargestellt. Die Schrauben wurden sowohl in der Deckfläche (D) als auch in die Schmalfläche (S) der BauBuche eingbracht. Jede Verbindung bestand aus einer Reihe von vier Schrauben. Die Zugscherversuche wurden nach DIN EN 26891 [8] bis zum Erreichen der Maximallast gefahren. Während der Versuche wurden die Verschiebungen der Seitenlaschen in Bezug zum Mittelholz mit Wegaufnehmern (WA) gemessen, siehe **Abb. 1**.

In **Tab. 2** sind die geprüften 12 Versuchsreihen aufgeführt. Die Abstände $a_{3,t}$ und $a_{4,c}$ blieben in allen Versuchen konstant, während die Werte a_1 und t_1 modifiziert wurden. In der ersten Reihe, „8D 5 5“, wurden Abstände für vorgebohrte Nägel in Anlehnung an Eurocode 5 [1] gewählt. Nur der Abstand $a_{4,c}$ wich vom Eurocode ab, nach dem $a_{4,c}$ mindestens $4 \times d$ sein muss.

Tab. 2: Übersicht aller Versuchsreihen (sämtliche Schraubenlöcher wurden vorgebohrt)

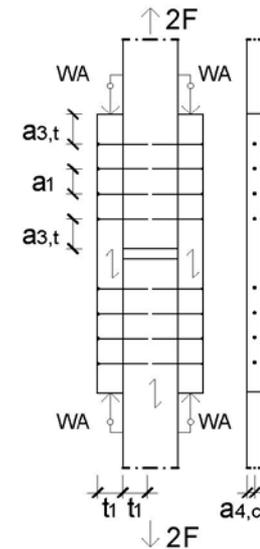


Abb. 1 schematische Zeichnung

Reihe	d (mm)	Typ	Kopf	Fläche	$a_{3,t}$	a_1	$a_{4,c}$	t_1	n
8D 5 5	8	TG	SK	D	12 x d	5 x d	3 x d	5 x d	3
8D 7 5	8	TG	SK	D	12 x d	7 x d	3 x d	5 x d	3
8D 10 10	8	TG	SK	D	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
8S 10 10	8	TG	SK	S	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
8S VG 10 10	8	VG	SK	S	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
5D 7 5	5	TG	SK	D	12 x d	7 x d	3 x d	5 x d	3
5D 10 10	5	TG	SK	D	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
5S 10 10	5	TG	SK	S	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
12D 10 10	12	TG	SK	D	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
12S 10 10	12	TG	SK	S	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3
12S TK 10 10	12	TG	TK	S	12 x d	10 x d	3 x d	10 x d	3

TG = Teilgewinde, VG = Vollgewinde; SK = Senkkopf; TK = Tellerkopf; D = Schrauben wurden in die Deckfläche eingetrieben, S = Schrauben wurden in die Schmalseite eingetrieben; n = Anzahl der Prüfkörper. In den Namen der Reihen bedeuten die letzten zwei Zahlen jeweils die Werte von „ a_1 “ und „ t_1 “ als Vielfache des Durchmessers d.

2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in **Tab. 3** zusammengefasst. Hier wird die Last nach 10 mm Verschiebung (F_{10mm}) und nach 15 mm Verschiebung (F_{15mm}) angegeben.

In Reihe „8D 5 5“ ergaben sich geringe Verschiebungen (4,7 mm), weswegen in Reihe „8D 7 5“ ein größerer Abstand a_1 gewählt wurde. Somit erzielte man nicht nur eine größere Verschiebung (7,2 mm), sondern auch höhere Traglasten.

In den Reihen, die im Namen mit „10 10“ gekennzeichnet sind, wurden die größten Abmessungen eingesetzt: wie erwartet erreichten diese Reihen die größten Traglasten und Verschiebungen. Mit Vollgewindeschrauben wurden bessere Ergebnisse als mit Teilgewindeschrauben

erzielt. Auch Tellerkopfschrauben erlauben eine gewisse Steigerung der Verschiebungen und der Traglast im Vergleich zu Senkkopfschrauben; siehe Reihe „12S TK 10 10“.

Tab. 3: Versuchsergebnisse, Mittelwerte aus 3 bzw. 2 Versuchen

Reihe	F _{10mm} kN/Lasche	F _{15mm} kN/Lasche	F _{max} kN/Lasche	w(F _{max}) mm	ρ* kg/m ³	u* %	Ver- sagen
8D 5 5	-	-	34,7	4,7	821	-	Sp
8D 7 5	-	-	39,9	7,2	807	6,1	Sp
8D 10 10	45,9	53,5	54,7	15,6	828	7,2	Sp
8S 10 10	42,6	-	45,2	11,1	800	6,6	Sp
8S VG 10 10	58,2	-	74,7	13,3	799	7,1	Sp
5D 7 5	-	-	18,2	6,1	811	6,7	Sp
5D 10 10	-	-	20,5	9,6	806	5,6	Sp
5S 10 10	22,9	24,0	24,3	12,4	780	6,2	Sp
12D 10 10	74,7	89,4	111,0	22,8	805	6,5	Sp
12S 10 10	77,1	91,0	111,0	22,8	802	6,5	Ab
12S TK 10 10	78,7	103,8	147,7	25,2	803	7,2	Sp

*diese Werte wurden bei den Versagensstellen gemessen;

Sp = Spaltversagen im Holz; Ab = Abscherversagen in den Schrauben

Alle Prüfkörper versagten auf Spalten, mit Ausnahme der Reihe „12S 10 10“, in der die Schrauben auf Abscheren versagten. Mit Ausnahme der ersten Versuchsreihe wurden alle Prüfkörper nach den Versuchen aufgetrennt: es bildeten sich immer zwei Fließgelenke pro Scherfuge, auch in den abgescherten Schrauben.

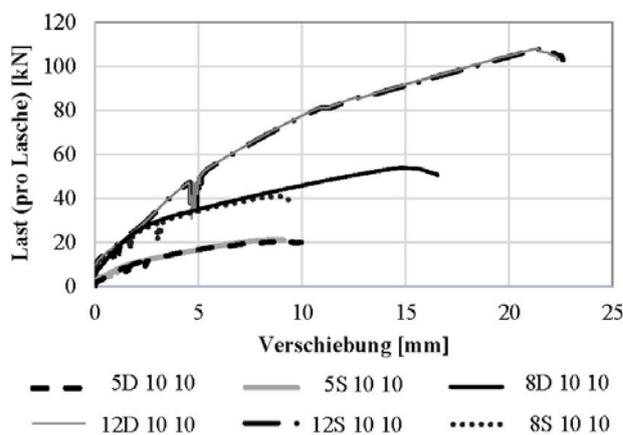


Abb. 2: Last-Verschiebungskurven aller Versuche mit TGS, SK und $a_1 t_1 = 10 \times d$

In **Abb. 2** werden die Last-Verschiebungskurven der Reihen dargestellt, die im Namen mit „10 10“ gekennzeichnet sind. Jede Kurve ist die mittlere Kurve aus drei Versuchen. Hier wird nur der Bereich bis zum kleinsten Wert von $w(F_{max})$ von den jeweils drei Versuchen gemittelt. Man kann erkennen, dass sich der Verlauf bei Schrauben mit gleichem Durchmesser in Schmalfläche (S) und Deckfläche (D) nicht sonderlich unterscheidet, mit Ausnahme der Kurven „8D 10 10“ und „8S 10 10“. Kurve „8S 10 10“ zeigt, dass die Prüfkörper schon bei geringeren Verschiebungen gespalten sind.

Ein möglicher Grund hierfür sind die geringere Rohdichte und Feuchte im Vergleich zu Reihe „8D 10 10“ (siehe **Tab. 3**) und, dass die Schrauben nicht in die Sekundärfugen der BauBuche eingebracht wurden. Die Klebefugen zwischen den BauBuche-Einzelbrettern werden „Sekundärfugen“ genannt; dieser Bereich zeigt eine höhere Rohdichte als im restlichen Querschnitt aus BauBuche.

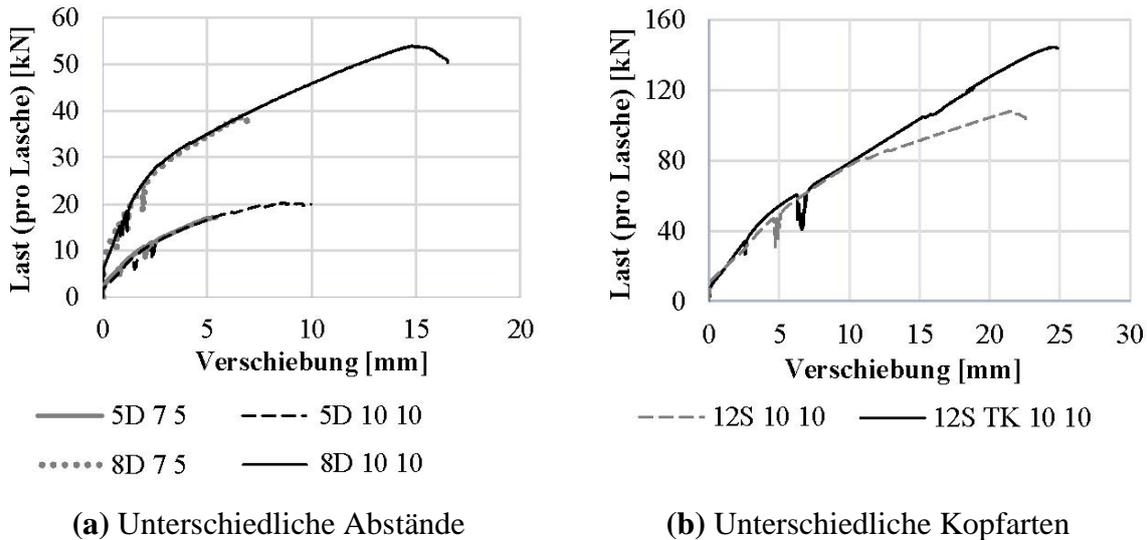


Abb. 3: Last-Verschiebungskurven

In **Abb. 3 (a)** werden Reihe „5D 7 5“ mit „5D 10 10“ und Reihe „8D 7 5“ mit „8D 10 10“ verglichen. Bei den Verbindungen mit kleineren Abständen („5D 7 5“ und „8D 7 5“) wurde ein frühes Spaltversagen beobachtet, bis dahin blieben die Verläufe gleich.

In **Abb. 3 (b)** ist der Unterschied zwischen Verbindungen mit Senkkopfschrauben (12S 10 10) und mit Tellerkopfschrauben (12S TK 10 10) zu erkennen. Der Einsatz von Tellerkopfschrauben erhöhte die Steifigkeit der Verbindung leicht und es ist anzunehmen, dass ein wesentlich höherer Seileffekt zu höheren Tragfähigkeiten führte.

2.4 Vergleich mit analytischem Modell

In **Tab. 4** werden die Traglasten aus den Versuchen mit dem Modell des Eurocode 5 [1] verglichen, dem EYM. Für das EYM wurden Erwartungswerte der Lochleibungsfestigkeit, des Fließmoments und der axialen Tragfähigkeit der Schrauben verwendet. Der Seileffekt wurde nach Eurocode 5 [1] berechnet. Es zeigt sich, dass fast alle Versuche höhere Tragfähigkeiten erreichten als die nach Eurocode 5 ermittelten Werte. In Reihen „8D 5 5“, „8D 7 5“ und „5D 7 5“ wurden kleinere Traglasten erreicht als erwartet: hier wurden jedoch auch nur geringe Verschiebungen beim Versagen beobachtet (jeweils von 4,7 mm, 7,2 mm und 6,1 mm, vgl. **Tab. 3**).

Es gibt offensichtlich Kraftanteile, die in den Gleichungen des Eurocode 5 nicht berücksichtigt sind. So könnte der Seileffekt wesentlich höher sein als im EYM angenommen; da z. B. eine höhere Reibung zwischen Mittelholz und Seitenholz auftritt oder weil schon bei sehr kleinen Verschiebungen maßgebliche Kraftanteile über Zugkräfte in den schräg gestellten Verbindungsmitteln übertragen

Tab. 4: Vergleich mit analytischem Modell

Reihe	F_{\max} kN/Lasche	F_{EC5} kN/Lasche	F_{\max} / F_{EC5} -
8D 5 5	34,7	41,9	0,83
8D 7 5	39,9	41,9	0,95
8D 10 10	54,7	41,9	1,31
8S 10 10	45,2	38,3	1,18
8S VG 10 10	74,7	37,8	1,98
5D 7 5	18,2	18,6	0,98
5D 10 10	20,5	18,6	1,10
5S 10 10	24,3	17,7	1,37
12D 10 10	111,0	82,2	1,35
12S 10 10	111,0	72,3	1,53
12S TK 10 10	147,7	72,3	2,04

werden. Außerdem ist die in allen Last-Verschiebungskurven zu beobachtende Anfangshaftung, der anfängliche Anstieg der Last ohne Verschiebung, ein interessantes Phänomen, das bei allen geprüften Verbindungen mehr oder weniger prägnant auftrat. Eine mögliche Erklärung dazu ist, dass die Schrauben die Seiten- und Mittelhölzer zusammenpressen und somit eine Haftreibung erzeugen. Dieses Phänomen ist bei Teilgewindeschrauben besonders ersichtlich, aber man kann es auch bei Vollgewindeschrauben in geringeren Maße beobachten. Um die Haftreibung genauer zu untersuchen, sind Versuche notwendig, die nicht bis zum Versagen gefahren werden, sondern früher abgebrochen werden. Es werden also Versuche mit unterschiedlichen Verformungsstufen geplant.

Außerdem hat die Art der Schraubeneinbringung einen großen Einfluss auf die Haftreibung. In den bisher vorgestellten Versuchen wurden die Schrauben in einem Zug in Seiten- und Mittelholz eingebracht. Es ist jedoch bereits bekannt, dass ein separates Bohren von Seiten- und Mittelholz zu niedrigere Tragfähigkeiten führen kann.

3. Einfluss des Seileffekts

Laut Eurocode 5 [1] wird der Seileffekt nur bei Verbindungsmitteln angesetzt, die auf Ausziehen beansprucht werden können. Blaß et al. [5] nahmen jedoch an, dass auch in Stabdübelverbindungen ein signifikanter Seileffekt auftreten kann. Der Seileffekt tritt auf, wenn ein stiftförmiges Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht ist und es zu einer Schrägstellung kommt. Bei einer Schrägstellung werden im Stift Normalkräfte übertragen, die die Tragfähigkeit der Verbindung erhöhen [5]. Anhand von Versuchen soll nun festgestellt werden, ob in der Tat Normalkräfte und somit ein Seileffekt in einer Verbindung mit einem Stabdübel auftreten. Um die Normalkräfte bzw. die axiale Dehnung in dem Stabdübel zu messen, werden Dehnmessstreifen (DMS) benutzt: diese sind im Stahlbau gängig, wurden aber auch im Holzbau schon eingesetzt [9].

3.1 Material

Für den Versuch wurde ein Stabdübel mit Durchmesser 11,95 mm mit einem Bohrloch mit 64 mm Tiefe und 2 mm Durchmesser versehen, in das ein DMS eingeklebt wurde. Die beiden äußeren Laschen des zweiseitigen Versuchskörpers waren aus BauBuche mit Querlagen, die Rohdichte im Bereich des DMS betrug 846 kg/m³, die Feuchte 8,4% (siehe **Abb. 4**). Um die mechanische Eigenschaften des Stabdübels festzustellen, wurden 6 Zugversuche und 11 Biegeversuche durchgeführt (siehe **Tab. 5**). Der Wert von M_{EC5} wird wie nach Eurocode 5 [1] gerechnet:

$$M_{EC5} = 0,3 \cdot f_{u,mean} \cdot d^{2,6} \quad (1)$$

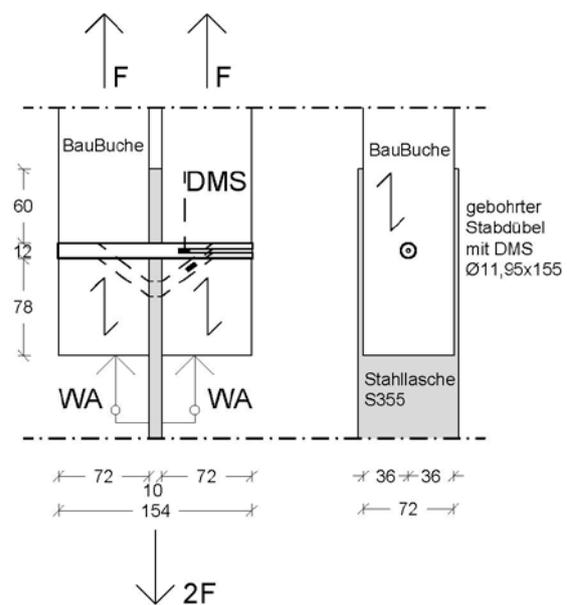


Abb. 4: Vorder- und Seitenansicht des Prüfkörpers

Tab. 5: mechanische Eigenschaften

$f_{y,mean}$	$f_{u,mean}$	M_{EC5}	M_{pl}
[MPa]	[MPa]	[Nm]	[Nm]
673,4	696,7	133,7	193,9

3.2 Versuchsprogramm

Um den Seileffekt zu messen, wurde ein Zugscherversuch durchgeführt, der nach DIN EN 26891 [8] bis zum Erreichen der Maximallast gefahren wurde. Der Versuch wurde bis zum Erreichen vom 70% der erwarteten Last mit einer Geschwindigkeit von 5 kN/mm gefahren und danach mit 2 mm/min. Während des Versuches wurden die Verschiebungen der Seitenlaschen in Bezug zur Stahllasche mit Wegaufnehmern (WA) gemessen (siehe **Abb. 4**).

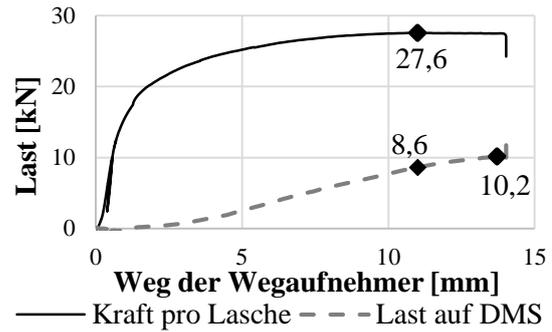


Abb. 5: Last-Verschiebungskurve

3.3 Ergebnisse

Im Versuch wurde eine Maximallast von 27,6 kN bei einer Verschiebung von 11,0 mm erreicht und als Versagensart wurde das Abscheren des Stabdübels im Bereich der Stahllasche beobachtet. Bei der Maximallast von 27,6 kN wurde eine Zugkraft im Stabdübel von 8,6 kN gemessen, was 31% der Maximallast entspricht, siehe **Abb. 5**. Auch nach Erreichen der Maximallast stieg die Zugkraft bis zu einem Maximum von 10,2 kN an. Außerdem ist zu sehen, dass eine signifikante Zugkraft bereits ab ca. 5 mm Verschiebung gemessen wurde; hier beträgt die Zugkraft bereits 10% der Last der Verbindung. In dem nach dem Versuch aufgetrennten Prüfkörper konnte man sehen, dass sich zwei Fließgelenke pro Scherfuge gebildet hatten. Dieses Ergebnis muss von weiteren Versuchen bestätigt werden. Um die im Stabdübel auftretenden Schnittgrößen besser zu verstehen, ist eine Auswertung mit der von Blaß et. al. [5] vorgeschlagenen „MNV Interaktion“ erforderlich.

4. Machbarkeitsstudie mit Klammern und Nägeln

Laut Eurocode 5 dürfen Klammern und Nägel nur in vorgebohrte Bauteile aus Laubholz ($\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$) eingebracht werden, was ihren Einsatz deutlich einschränkt. Um festzustellen, welche Klammern und Nägel ohne Vorbohren in Laubholz mit hohen Rohdichten eingetrieben werden können, wurde eine Machbarkeitsstudie zur Herstellung dieser Verbindungen durchgeführt.

4.1 Material und Versuchsaufbau

Es wurden insgesamt 16 Einbringversuche in BauBuche durchgeführt, wobei immer ein pneumatisches Eintreibgerät verwendet wurde. Eine schematische Darstellung der Prüfkörper ist in **Abb. 6** zu sehen, wobei die gewählten Abstände den im Eurocode 5 angegebenen Mindestabständen entsprechen (ohne Vorbohren und für Rohdichten ρ_k zwischen 420 und 500 kg/m^3). Zwei Klammer- und drei Nageltypen wurden verwendet, siehe **Tab. 6**. Die Verbindungsmittel wurden entweder direkt in die BauBuche-Decklagen eingebracht oder es wurde zusätzlich ein Holzwerkstoff aufgebracht.

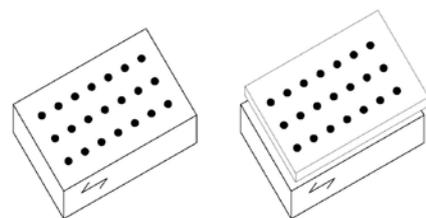


Abb. 6: schematische Zeichnung

4.2 Ergebnisse

Alle Verbindungsmittel mit Ausnahme der Ankernägel und einiger Klammern konnten eingetrieben werden. Es scheint, dass sich kurze und dünne Verbindungsmittel problemlos eintreiben lassen, wobei der Grenzdurchmesser bei ca. 3 mm liegt. In den Versuchen mit Klammern 1,8x60 wurde beobachtet, dass die Holzwerkstoffplatten einen positiven Einfluss auf die Herstellbarkeit der Verbindungen haben (siehe **Tab. 6**).

Tab. 6: Ergebnisse der Versuche mit Klammern und Nägeln

Holzwerkstoff und Dicke (mm)	Klammer		Ballistiknagel	Ankernagel	Rillennagel
	1,53x40	1,8x60	2,8x30	4,0x40	2,5x35
-	✓	X	✓	X	✓
Spanplatte (16)	✓				
OSB (15)	✓	✓			✓
Gipsfaserplatte (12)	✓	✓			✓
Gipskarton (12)	✓				
Zementgeb. Spanpl. (10)	X				
Stahlblech (3)			✓	X	

✓ = herstellbare Verbindung; X = nicht herstellbare Verbindung. Eine Verbindung ist herstellbar, wenn alle Verbindungsmittel vollständig eingetrieben werden konnten

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit den vorgestellten experimentellen Untersuchungen zeigte sich, dass Verbindungen in Laubholz mit auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln ein großes Potential bergen, das in der Planung noch nicht angesetzt werden darf. So können optimierte Verbindungsmittelabstände zu sehr tragfähigen und gleichzeitig duktilen Verbindungen führen. Außerdem scheint auch bei Stabdübelverbindungen ein signifikanter Seileffekt aufzutreten. Weiterhin sind nicht vorgebohrte Verbindungen mit Klammern und Nägeln herstellbar, wobei die Durchmessergränze bei ca. 3 mm liegt. Weitere Untersuchungen sollen die Einflüsse der Mindestabstände auf die Tragfähigkeit der Verbindungen zeigen: die Reibung zwischen den Holzoberflächen und die Einbringweise der Schrauben sind Aspekte, die noch analysiert werden müssen. Um den Seileffekt in Stabdübeln besser zu definieren, sind weitere experimentelle und analytische Untersuchungen erforderlich.

Gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 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] MISCONEL, A.; BALLERINI, M.; VAN DE KUILEN, J. W.: Steel-to-timber joints of beech-lvl with very high strength steel dowels. In: WCTE. Word Conference on Timber Engineering, 2016
- [3] KOBEL, P.; FRANGI, A.; STEIGER, R.: Dowel-type connections in LVL made of beech wood. In: INTER. International Network on Timber Engineering Research. Proceedings (2014)
- [4] EAD 130118-00-0603: Screws for use in timber constructions. Brüssel, Belgien, EOTA, Oktober 2016
- [5] BLASS, H. J.; SANDHAAS, C.; MEYER, N.: Steel-to-timber connections: Failure of laterally loaded dowel-type fasteners. In: Proceedings of the International Network on Timber Engineering Research, 2017.
- [6] MÖHLER, K. Erläuterungen zu DIN 1052, Blatt 1 und 2-Holzbauwerke-Ausgabe Oktober 1969. Karlsruhe: Bruderverl., 1971.
- [7] Europäische Technische Zulassung ETA-11/0190 vom 27.06.2013: Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmitel, Deutsches Institut für Bautechnik
- [8] DIN, E. N. 26 891: Holzbauwerke-Verbindungen mit mechanischen Verbindungs- mitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens. Deutsches Institut für Normung e, 1991, 1991. Jg.
- [9] WOLFTHALER, F.: Entwicklung einer Messschraube und Anwendung auf Bauwerksmonitoring und Prüftechnik, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2015