

# Experimentelle Untersuchungen an Stahlblech-Holz Verbindungen mit dünnen Stahlblechen zur Entwicklung eines neuartigen Hybridelements

Vortragender:

## Strübel, Stephan

M.Sc.

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



- 1993 geboren in Achern
- 2013-2019 Studium des Bauingenieurwesens am Karlsruher Institut für Technologie, KIT
- Seit 2019 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion

Autor: Stephan Strübel

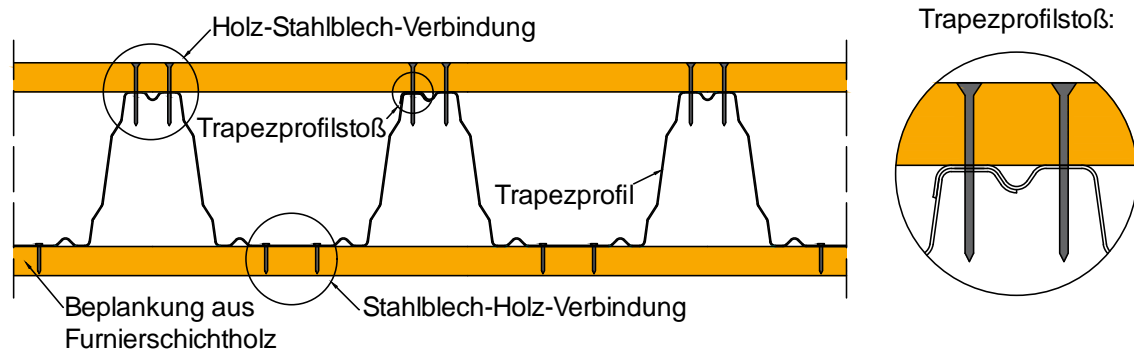
## Zusammenfassung

Für die Entwicklung eines neuartigen Hybridelements bestehend aus einem Trapezprofil im Kern und einer beidseitigen Beplankung aus Holzwerkstoffplatten wurden experimentelle Untersuchungen zur Herstellung sowie zum Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen durchgeführt. Die Machbarkeitsuntersuchungen mit unterschiedlichen Verbindungsmitteln zeigen, dass Verbindungen zwischen sehr dünnen Stahlblechen und Holzwerkstoffbeplankungen aus Furnierschichtholz aus Nadelholz oder Buchenholz ohne Vorbohren möglich sind. Zur Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens wurden mit ausgewählten Verbindungsmitteln Zug-Scherversuche an einschnittigen Verbindungen mit vier in Reihe angeordneten Verbindungsmitteln durchgeführt. Mit den ermittelten Steifigkeiten wurden erste vereinfachende Bemessungen der Hybridelemente durchgeführt. Diese zeigen, dass mit dem System Spannweiten bis 8,0 m realisiert werden können.

## 1. Einleitung

Das neuartige Hybridelement, wie es schematisch in **Abb. 1** im Querschnitt dargestellt wird, soll als Geschossdecke im Mehrgeschoss- und Gewerbebau eingesetzt werden und stellt eine Kombination von auf dem Markt frei verfügbaren Materialien da. Daraus resultieren begrenzende Parameter, wie zum Beispiel die Trapezprofilbreite mit 750 mm bis 840 mm. Dies führt in den Hybridelementen, die in Breiten bis 2,5 m hergestellt werden sollen, zu Trapezprofilstößen mit zwei überlappenden Stahlblechen. Weiter sind auf dem Markt nur Trapezprofile mit Höhen bis 207 mm verfügbar. Dies begrenzt die statische Höhe der Hybridelemente und somit auch die Tragfähigkeit bzw. erreichbare Spannweite. Die Verbindungen in den Hybridelementen müssen, wie in **Abb. 1** zu erkennen, in die zwei Verbindungsarten „Stahlblech-Holz“ und „Holz-Stahlblech“ unterteilt werden. Diese Unterscheidung ist nötig, da bei der Herstellung der Elemente einmal das Stahlblech und das andere Mal die Holzwerkstoffplatte zuerst durchdrungen wird. Die Bezeichnung der Verbindung ist so gewählt, dass der zuerst genannte Werkstoff auch als erstes durchdrungen wird. Eine weitere Besonderheit der Verbindungen sind die sehr dünnen Stahlbleche mit einer Dicke zwischen 0,75 mm und 1,5 mm. Diese dünnen Blechstärken sind im Holzbau unüblich; Stahlblechformteile wie Balkenschuhe, Winkelverbinder und Lochbleche besitzen Blechstärken von  $t \geq 1,5$  mm. Damit die Herstellung möglichst einfach abläuft, sollen die Verbindungen ohne Vorbohren hergestellt werden. Als mögliche Verbin-

dungsmittel wurden Bohr- und Dünnschrauben aus dem Bereich des Metalleichtbaus sowie Nägel und Klammern aus dem Bereich des Holzbaus ausgewählt. Die Klammern und Nägel sollen dabei durch pneumatische Eintreibgeräte eingebracht werden. Dass dies auch durch nicht vorgebohrte Stahlbleche möglich ist, zeigten bereits die Untersuchungen in [1]. Das Tragverhalten des nachgiebig verbundenen Hybridelements wird maßgebend vom Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen zwischen den Bauteilen beeinflusst. Daher werden im Folgenden neben Versuchen zur Machbarkeit auch die Versuche und Ergebnisse zum Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen für Hybridelemente vorgestellt. Zur ersten Überprüfung der Tragfähigkeit des Hybridelements wurden mit den ermittelten Steifigkeiten und Tragfähigkeiten vereinfachende Bemessungen mit dem  $\gamma$ -Verfahren nach [2] durchgeführt.



**Abb. 1:** Schematischer Aufbau des Hybridelements mit Trapezprofilstoß

## 2. Material

### 2.1 Holzwerkstoff

Für die Beplankung der Hybridelemente wird Furnierschichtholz aus Nadelholz (Nadel-FSH) und Buchenholz (BauBuche) eingesetzt. Sämtliche Versuche wurden daher mit beiden Materialien durchgeführt. Für die Verwendung in den Hybridelementen

sind nur Verbindungen mit der Anordnung der Verbindungsmittel in der Deckfläche der Furnierschichthölzer relevant. Daher werden auch ausschließlich solche Verbindungen untersucht. Die Furnierschichthölzer hatten nur Längslagen und wiesen die in **Tab. 1** aufgelisteten Rohdichten und Holzfeuchten auf.

### 2.2 Stahlblech

Die Untersuchungen wurden mit verzinktem Feinblech DX51 D+Z nach EN 10142 durchgeführt. Diese besitzen bei den Tragfähigkeitsversuchen eine Nenndicke von  $t_N = 1,0$  mm bei einer Kerndicke von  $t_k = 0,98$  mm, die mit dem Zinkablöseverfahren an fünf Proben bestimmt wurde. Mit einer Streckgrenze von  $f_y = 345$  N/mm<sup>2</sup> und einer Zugfestigkeit  $f_u = 407$  N/mm<sup>2</sup> sind die Eigenschaften mit dem für die Trapezprofile üblichen Stahlwerkstoff S320 GD vergleichbar.

**Tab. 1:** Rohdichte und Holzfeuchte

Holzwerkstoff	Rohdichte $\rho$		Holzfeuchte $u$	
	mean [kg/m <sup>3</sup> ]	COV [%]	mean [%]	COV [%]
Nadel-FSH	630	2,5	9,9	2,8
BauBuche	784	2,0	6,9	8,4

## 2.3 Verbindungsmittel

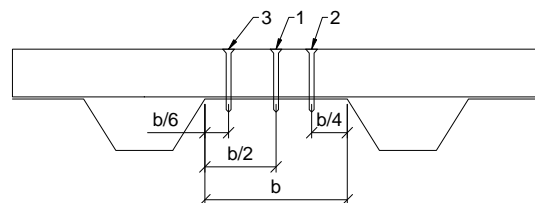
Als mögliche Verbindungsmittel für die zwei Verbindungsarten im Hybridelement wurden Klammern, Nägel und Bohrschrauben ausgewählt. Dabei wurde im ersten Schritt eine Machbarkeitsuntersuchung durchgeführt, um geeignete Verbindungsmittel für die Verbindungen in den Hybridelementen zu identifizieren.

### Machbarkeitsuntersuchung

Die Machbarkeitsuntersuchungen stellen eine Erweiterung der in [3] vorgestellten Machbarkeitsstudie zum Eintreiben von Klammern und Nägeln in BauBuche dar. Der Prüfaufbau wurde für die Stahlblech-Holz-Verbindungen um außenliegende Stahlbleche - die ohne Vorbohren durchdrungen werden - mit Dicken bis  $t = 1,5$  mm erweitert. Als Verbindungsmittel wurden eine Klammer  $2,0 \times 50$  und drei Nageltypen (Rillennagel  $2,5 \times 50$ , Ballistknagel  $2,8 \times 50$  und Ankernagel  $4,5 \times 50$ ) sowie 4 Bohrschrauben mit Durchmessern 6 und 6,5 mm aus dem Metallleichtbau von unterschiedlichen Herstellern mit unterschiedlichen Längen untersucht. Dabei wurden die Nägel und Klammern mit einem pneumatischen Eintreibgerät und die Bohrschrauben mit einem Akkuschrauber eingebracht. Als Holzwerkstoff wurde sowohl Nadel-FSH und BauBuche verwendet. Die Untersuchungen zeigen, dass die Klammer nicht durch ein Stahlblech in einen Holzwerkstoff eingetrieben werden kann. Der Schaft der Klammer ist zu dünn und knickt beim Auftreten auf das Stahlblech aus. Bei den Nägeln muss differenziert werden. Die Rillennägel knicken, wie die Klammern, beim Einbringen aus, während die Ballistknägel und Ankernägel durch ein 1,5 mm dickes Stahlblech in die BauBuche eintreibbar sind. Allerdings scheiden die Ballistknägel für die Anwendung aus, da die BauBuche beim Eintreiben aufspaltet. Ein Eintreiben durch zwei aufeinanderliegende Stahlbleche (Trapezblechstoß) ist bei beiden Nägeln allerdings nicht möglich. Die Einschraubversuche der Bohrschrauben zeigen, dass ein Eindrehen in reine BauBuche bei einer der vier Bohrschrauben nicht möglich ist. Diese bricht beim Eindrehen unterhalb des Schraubenkopfes ab. Beim Eindrehen der anderen Bohrschrauben durch das Stahlblech entsteht durch die im Vergleich zur Gewindesteigung geringere Bohrleistung der Spitze in der BauBuche ein Spalt zwischen den Bauteilen. Dieser Spalt kann von Bohrschrauben mit Teilgewinde bzw. einem gewindefreien Teilbereich unter dem Schraubenkopf wieder vollständig geschlossen werden und ermöglicht ein Anpressen des Blechs an den Holzwerkstoff. Für die Anwendung im Hybridelement werden folglich nur der Ankernagel und zwei Bohrschrauben mit Teilgewinde als geeignet betrachtet, siehe **Tab. 1**. Die Bohrschrauben unterscheiden sich dabei leicht, da sie aus unterschiedlichen Ausgangswerkstoffen bestehen. Während die RP eine Bimetallschraube aus nichtrostendem Stahl mit einer aufgeschweißten Bohrspitze aus einsetzgehärtetem Kohlenstoffstahl ist, ist die SW3 eine reine Kohlenstoffstahlschraube.

Der Versuchsaufbau für die Holz-Stahlblech-Verbindung, bei der zuerst der Holzwerkstoff und anschließend das dünne Stahlblech durchdrungen wird, gestaltet sich schwieriger. Anstelle eines Stahlbleches wurde ein einfaches Trapezblech (35/207) aus S320 GD mit einer Dicke von 0,75 mm verwendet, um eine möglichst realistische Einbausituation nachzustellen.

Eine schematische Darstellung des Prüfaufbaus ist in **Abb. 2** dargestellt. Bei der Holz-Stahlblech-Verbindung wurden insgesamt 4 Bohrschrauben mit Durchmessern 6 und 6,3 mm, 4 Nageltypen mit gerilltem und glattem Schaft ( $d = 2,5$  mm) und eine modifizierte Dünnschraube  $6,0 \times 90$  untersucht. Bei den Nägeln zeigt sich, dass diese nur bedingt für die Holz-



**Abb. 2:** Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Stahlblech-Verbindung in den Hybridelementen geeignet sind. Voraussetzung ist eine Beplankung aus Nadelholz mit Dicken bis 45 mm. Die Bohrschrauben können in zwei Gruppen (mit und ohne Flügel) eingeteilt werden. Die Einschraubversuche zeigen, dass die Schrauben mit Flügel für die Anwendung im Hybridelement ungeeignet sind. Die Flügel brechen beim Auftreten auf das dünne Stahlblech nicht ab und somit entsteht kein fester Verbund zwischen den Werkstoffen. Die Bohrschrauben ohne Flügel können eingebracht werden, doch während des Einschraubvorgangs entsteht ein Spalt zwischen dem Trapezprofil und dem Holzwerkstoff, da das Trapezprofil nach unten ausweicht. Um den Einfluss der Einschraubposition auf die Spaltentstehung zu untersuchen, wurde diese bei den Versuchen zwischen Gurtmitte und den Randbereichen, wie in **Abb. 2** dargestellt, variiert. Als ungünstigste Position zum Einbringen der Verbindungsmittel wird die Mitte des Gurtes identifiziert, da hier der größte Spalt zwischen dem Trapezprofil und dem Holzwerkstoff entsteht. Zur Reduzierung des Spaltes wurde eine Dünnschraube für die Anwendung modifiziert und mit einem gewindefreien Teilbereich hinter der Schraubenspitze versehen, wie in **Abb. 3** zu erkennen.



**Abb. 3:** Modifizierte Dünnschraube

Diese Optimierung zeigt eine gute Wirkung und sollte bei einer Entwicklung einer für die Anwendung optimierten Schraube weiterverfolgt werden. Für die Untersuchungen zum

Trag- und Verformungsverhalten wurde daher nur die modifizierte Dünnschraube untersucht. Zum Vergleich stehen hier aber noch Ergebnisse für eine Bohrschraube und einen Rillennagel aus Vorversuchen zur Verfügung.

**Tab. 2:** Geeignete und weiter untersuchte Verbindungsmittel

Abkürzung	Verbindungsmittelart	d [mm]	l [mm]	Verbindungsart
AN	Ankernagel	4,5	50	Stahlblech-Holz
RP	Bimetall Bohrschraube	6,0	50	Stahlblech-Holz
SW3	Bohrschraube	6,5	50	Stahlblech-Holz
T2	Dünnschraube	6,0	90	Holz-Stahlblech
RN	Rillennagel (Vorversuche)	2,5	65	Holz-Stahlblech
SD	Bohrschraube (Vorversuche)	6,0	64	Holz-Stahlblech

### 3. Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten

In diesem Kapitel werden die Zug-Scherversuche für beide Verbindungsarten vorgestellt. Aufgrund der gleichen Prüfmethodik werden die Versuche für beide Verbindungsarten gemeinsam vorgestellt.

#### 3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Für die Untersuchungen zum Last-Verschiebungsverhalten der Verbindungen wurden einschneidige Zug-Scherversuche mit dem in **Abb. 4** dargestellten Versuchsaufbau durchgeführt. Je Versuchsreihe wurden 10 Versuche durchgeführt. Insgesamt wurden 80 Versuchskörper geprüft. Jede Verbindung bestand aus vier in Reihe angeordneten Verbindungsmitteln. Die Stahlblechstreifen wurden zur Stabilisierung auf beiden Seiten abgekantet, sodass ein U-Profil entsteht. Zur Messung der Relativverschiebung zwischen Stahlblech und Holzwerkstoff wurden induktive Wegaufnehmer mit den Messlängen 2 mm (WA2) und 20 mm (WA20) nach **Abb. 4** angeordnet. Die Wegaufnehmer WA2 wurden angeordnet, um die Messungenauigkeit im Bereich der Steifigkeitsauswertung zu verringern. Die Versuche wurden in Anlehnung an die DIN EN 26891 [4] durchgeführt. Zum Vergleich zwischen den Versuchsreihen dient die Steifigkeit zwischen 10 % und 40 % der erreichten Höchstlast. Diese Steifigkeit wird im weiteren als  $k_s$  bezeichnet. Die obere Grenze wurde für die einzelnen Versuche so angepasst, dass die Steifigkeit vor der Entlastungsschleife ausgewertet wurde.

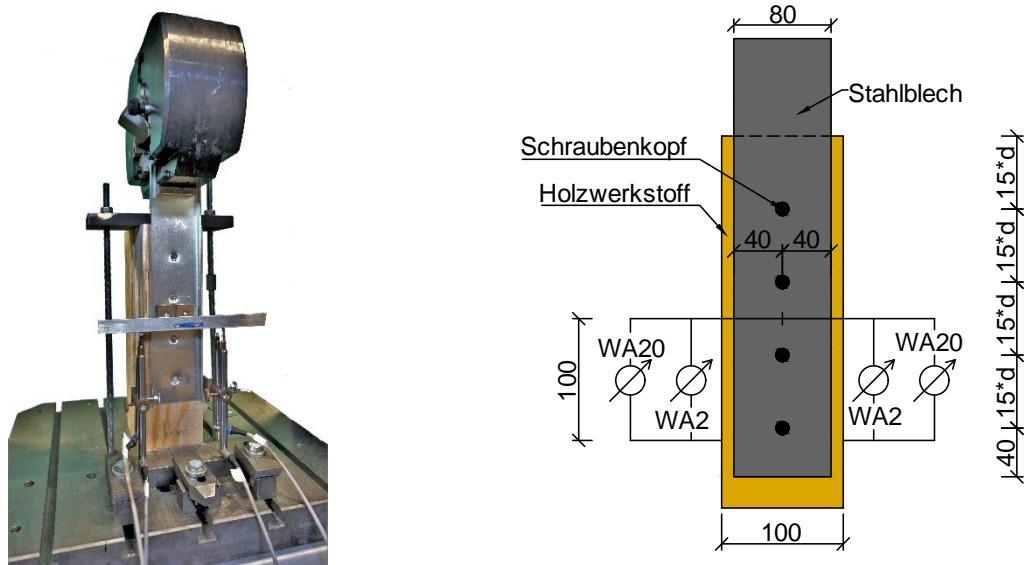


Abb. 4: Versuchsaufbau und Prüfkörper (alle Maße in mm)

### 3.2 Ergebnisse

Das Versagen der Prüfkörper ist bei allen Stahlblech-Holz-Verbindungen durch eine Kombination von mehreren Versagensmechanismen gekennzeichnet. Neben der Lochleibungsverformung im Stahlblech ist ein Schrägstellen des Verbindungsmittels unter Ausbildung eines Fließgelenkes im Holzwerkstoff zu beobachten. Das Versagen der Verbindung ist auf ein Durchknöpfen des Verbindungsmittelkopfs durch das Stahlblech zurückzuführen. Eine Ausnahme sind die Versuchsreihen mit der Bohrschraube SW3. Bei diesen ist aufgrund eines größeren Schraubenkopfs kein Durchknöpfen zu beobachten. In der BauBuche tritt ein frühzeitiges Versagen durch ein Aufspalten oder ein sprödes Versagen der Schraube im Bereich des Fließgelenkes ein. In Nadel-FSH ist bei vier Prüfkörpern ebenfalls ein Versagen von einzelnen Schrauben zu erkennen. Die Auswertung der maximalen Lasten in **Tab. 3** zeigt, dass die Verbindung in BauBuche im Mittel höhere Tragfähigkeit aufweist als eine Verbindung in Nadel-FSH. Dieser Unterschied nimmt mit zunehmendem Verbindungsmitteldurchmesser ab und beträgt bei der SW3 Bohrschrauben nur noch 4 %. Dies ist zum einen auf das frühzeitige Versagen in der BauBuche und zum anderen auf das in beiden Holzwerkstoffen auftretende Schraubenversagen zurückzuführen.

Tab. 3: Mittelwerte der Maximallasten  $F_{\max}$  pro Verbindung mit 4 VM,  $n=10$ , CoV in (%)

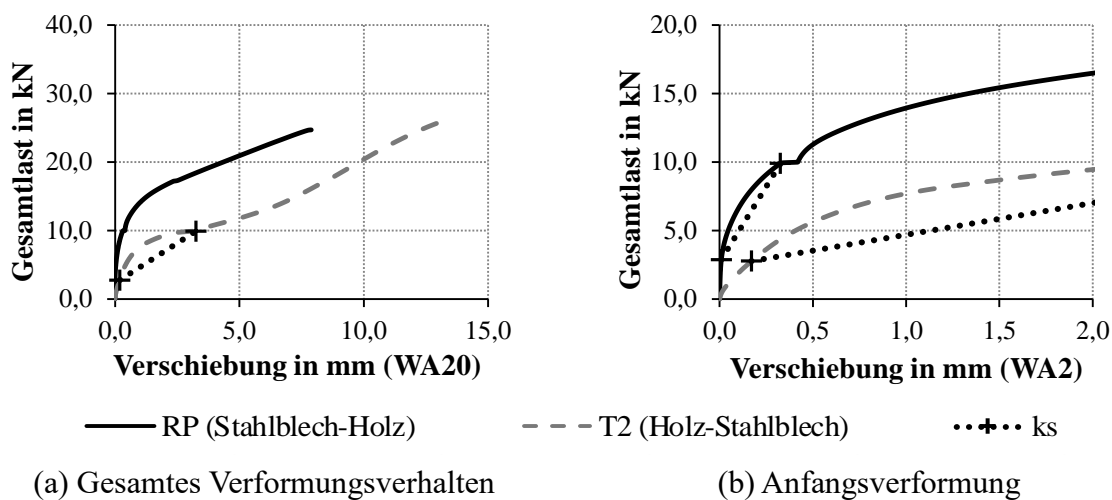
$F_{\max, \text{mean}}$ [kN]	Stahlblech-Holz			Holz-Stahlblech		
	AN 4,5x50	RP 6,0x50	SW3 6,5x50	T2 6,0x90	RN 2,5x65	SD 6,0x64
Nadel-FSH	19,9 (4,8)	28,8 (7,4)	33,2 (3,8)	27,7 (6,4)	8,8*	9,3*
BauBuche	26,2 (8,1)	33,8 (6,9)	34,5 (6,0)	-	-	13,9*

\*Mittelwert aus Voruntersuchungen an 3 Prüfkörpern

Bei den Holz-Stahlblech-Verbindungen ist das Versagen durch die Ausbildung eines Fließgelenkes im Holzwerkstoff gekennzeichnet. Bei großen Verformungen ist bei den Dünnblechschrauben (T2) und Rillennägeln (RN) ein Gewindeauszug aus dem Stahlblech zu beobachten. Die Verbindung mit den Bohrschrauben (SD) versagt hingegen durch einen frühzeitigen Schraubenbruch im Übergangsbereich zwischen Gewinde und Schaft. Der Vergleich zu den Stahlblech-Holz-Verbindungen zeigt, dass nur die Dünnblechschraube (T2) ähnliche Maximallasten erreichen kann. Dies ist bei den Rillennägeln zum Teil auf den geringeren Durchmesser

zurückzuführen. Die Bohrschrauben (SD) besitzen auf Grund des frühzeitigen Schraubenversagens zwischen 4 und 6 mm Relativverschiebung eine geringere Tragfähigkeit.

Die zwei Verbindungsarten weisen unterschiedliches Last-Verschiebungsverhalten auf. Zur Veranschaulichung sind in **Abb. 5** beispielhaft die über 10 Versuche gemittelten Last-Verschiebungskurven für die Verbindungsmittel RP (Stahlblech-Holz) und T2 (Holz-Stahlblech) in Nadel-FSH dargestellt. **Abb. 5 (a)** zeigt die gesamte Last-Verschiebungskurve, während **Abb. 5 (b)** nur den Anfangsbereich der Verschiebungskurven bis 2,0 mm Relativverschiebung darstellt. Die Stahlblech-Holz-Verbindung besitzt zu Beginn einen Bereich, in dem nur sehr kleine Verschiebungen gemessen wurden. Die Holz-Stahlblech-Verbindung zeigt in diesem Bereich ein deutlich weiches Verhalten. Beide Last-Verschiebungskurven zeigen jedoch von Beginn an bzw. direkt nach der Anfangshaftung ein nicht lineares Verhalten. Dadurch ist die Auswertung der Steifigkeit  $k_s$  nur eine Mittelung der Steifigkeiten im Bereich zwischen 10 und 40 % der maximalen Last. Für den Vergleich zwischen den Versuchsreihen wird die Steifigkeit  $k_s$  als ausreichend erachtet.



**Abb. 5:** Gemittelte Last-Verschiebungskurven in Nadel-FSH

Der Vergleich der Steifigkeiten in **Tab. 4** zeigt, dass die Stahlblech-Holz-Verbindungen in BauBuche im Vergleich zu denen in Nadel-FSH größere Steifigkeiten besitzen. Der mit zunehmenden Durchmesser abnehmende Unterschied zwischen den Verbindungen in BauBuche und Nadel-FSH ist wie bei den Maximallasten auch bei den Steifigkeiten zu erkennen. Besonders auffällig ist der Vergleich zwischen dem Ankernagel (AN) und der Bohrschraube (RP). Während die beiden Verbindungsmittel in der BauBuche annähernd die gleiche Steifigkeit erreichen, besitzt der Ankernagel im Nadel-FSH nur noch die Hälfte der Steifigkeit der Bohrschraube (RP). Damit müssten in einem Hybridelement doppelt so viele Ankernägel angeordnet werden, um die gleiche Fugensteifigkeit zwischen den Baustoffen zu erzielen.

**Tab. 4:** Mittelwerte der Steifigkeit  $k_s$  pro Verbindung mit 4 VM,  $n = 10$ , CoV in (%)

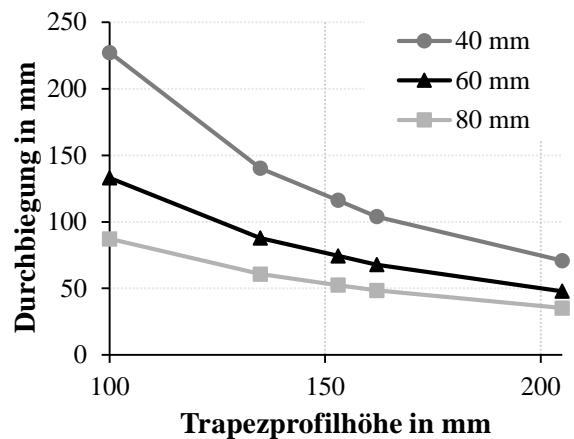
$k_{s,mean}$ [kN/mm]	Stahlblech-Holz			Holz-Stahlblech		
	AN 4,5x50	RP 6,0x50	SW3 6,5x50	T2 6,0x90	RN 2,5x65	SD 6,0x64
Nadel-FSH	10,6 (34,1)	23,3 (21,5)	35,1 (29,4)	3,9 (34,6)	0,54*	11,6*
BauBuche	27,8 (19,5)	29,5 (35,1)	37,3 (29,0)	-	-	22,6*

\*Mittelwert aus Voruntersuchungen an 3 Prüfkörpern

## 4. Berechnungen mit dem $\gamma$ -Verfahren

Um das Tragverhalten und die erreichbaren Spannweiten der Hybridelemente abzuschätzen, wurden Berechnungen mit dem  $\gamma$ -Verfahren durchgeführt. Dieses Verfahren wird im Ingenieurholzbau für die Berechnung von nachgiebig verbundenen Biegeträger verwendet und ist im Eurocode 5 in Anhang B geregelt. Die Berechnungen wurden an einem Einfeldträger mit einer rechnerischen Breite von einem Meter durchgeführt. Dieser wurde mit einer Gleichstreckenlast bestehend aus dem Eigengewicht der Konstruktion ( $g_{k,1}$ ) sowie einer Ausbaulast  $g_{k,2} = 1,5 \text{ kN/m}^2$  und einer Nutzlast  $p_k$  belastet. Die für die Berechnung mit dem  $\gamma$ -Verfahren benötigten Querschnittswerte der untersuchten Trapezprofile wurden vereinfachend aus den Typenentwürfen der Trapezprofile entnommen. Als Beplankung wurde sowohl Nadel-FSH als auch BauBuche untersucht. Die Verbindungsmittel wurden dabei so angeordnet, dass in beiden Verbindungsfugen annähernd die gleichen Steifigkeiten erzielt werden. Hierbei wurden die mit den Zug-Scherversuchen ermittelten Steifigkeiten der Verbindungsmittel verwendet. Zur Bestimmung der Anwendungsgrenzen wurden die Einflussparameter Trapezprofilhöhe (100 bis 207 mm), Stahlblechdicke (0,75 mm bis 1,5 mm), Spannweite (8 bis 10 m), Nutzlast (3,0 bis 5,0 kN/m<sup>2</sup>) und Beplankungsdicke (40 bis 80 mm) variiert.

Die Variation der Einflussparameter zeigt, dass die Trapezblechhöhe den größten Einfluss auf das Tragverhalten der Hybridelemente besitzt. Zur Anschauung ist in **Abb. 6** die Durchbiegung in der Mitte des Hybridelements über der Trapezprofilhöhe für unterschiedliche Beplankungsdicken von Nadel-FSH bei 10 m Spannweite und einer Nutzlast von 5,0 kN/m<sup>2</sup> dargestellt. Daraus wird auch ersichtlich, dass die Beplankungsdicke mit zunehmender Trapezprofilhöhe an Einfluss verliert. So können bei größeren Trapezprofilhöhen die Beplankungsdicken reduziert und Material eingespart werden. Aus den Berechnungen geht auch hervor, dass nicht die Tragfähigkeit der eingesetzten Materialien maßgebend wird, sondern die Durchbiegung im Gebrauchstauglichkeitszustand. Große Spannweiten der Hybridelemente können somit nur mit den höchsten auf dem Markt verfügbaren Trapezprofilen ( $h = 207 \text{ mm}$ ) erreicht werden. Mit den getroffenen Vereinfachungen und Annahmen können Spannweiten von 8,0 m bei einer Nutzlast von 3,0 kN/m<sup>2</sup> erreicht werden. Das angestrebte Ziel einer Spannweite von 10 m wird mit den untersuchten Verbindungsmitteln und der vereinfachten Berechnung mit dem  $\gamma$ -Verfahren nicht erreicht.



**Abb. 6:** Durchbiegung des Hybridelements für 10 m Spannweite und  $p_k=5,0 \text{ kN/m}^2$

## 5. Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass Verbindungen zwischen dünnen Stahlblechen und Furnierschichtholz aus Nadelholz und Buchenholz ohne ein Vorbohren für die Entwicklung eines neuartigen Hybridelements mit einem im Kern angeordneten Trapezprofil möglich sind. Dabei fallen die Ergebnisse für die zwei Verbindungsarten Stahlblech-Holz und Holz-Stahlblech unterschiedlich aus. Es wird ersichtlich, dass die Holz-Stahlblech-Verbindung schon bei der Herstellung größere Schwierigkeiten bereitet. Diese sind hauptsächlich auf das Ausweichen des Trapezbleches beim Einbringen der Verbindungsmittel und den dadurch resultierenden Spalt zwischen Trapezblech und Holzwerkstoffbeplankung zurückzuführen. Mit der Modifikation der Dünnblechschraube konnte eine Reduktion des Spaltes und somit eine Optimierung der



Verbindung erzielt werden. Des Weiteren wird ein Einschrauben in Stegnähe empfohlen, um die Spaltbildung beim Einschraubvorgang zu minimieren. Die im Vergleich zur Stahlblech-Holz-Verbindung deutlich geringeren Steifigkeiten können auf den fehlenden Anpressdruck zwischen den Bauteilen zurückgeführt werden. Hier steckt weiteres Optimierungspotenzial im Bereich des Verbindungsmittels, und weitere Untersuchungen zur Aktivierung der Reibung zwischen den Bauteilen müssen durchgeführt werden. Bei den Stahlblech-Holz-Verbindungen zeigen sowohl die Bohrschrauben als auch die Ankernägeln ihre Eignung für die Verbindung. Die Ankernägeln besitzen zwar geringere Tragfähigkeiten und Steifigkeiten, lassen sich dafür aber deutlich schneller einbringen. Welches der Verbindungsmittel in den Hybridelementen zum Einsatz kommen wird, hängt damit auch von der Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung ab. Diese ist auch von der Ausstattung des herstellenden Betriebs abhängig. Die vereinfachten Berechnungen mit dem  $\gamma$ -Verfahren und den ermittelten Steifigkeiten der Verbindungen führen zu einer maximalen Spannweite von 8,0 m. Aufgrund der stark vereinfachenden Annahmen der effektiven Querschnittswerte der Trapezprofile und der Reduzierung der Beulfeldlänge durch die Verbindungsmittel ist jedoch zu erwarten, dass die Steifigkeiten und Tragfähigkeiten der untersuchten Systeme unterschätzt werden. Für genauere Untersuchungen müssen die Hybridelemente in einem FE-Modell modelliert werden. Damit können weitere Einflussparameter, wie die Anordnung der Verbindungsmittel über die Trägerlänge und das Beulverhalten der durch die Verbindungsmittel gestützten Trapezprofile, untersucht werden. Des Weiteren müssen für die Hybridelemente geeignete Auflagerkonstruktionen entwickelt werden, die eine Lastdurchleitung ermöglichen.

## Literatur

- [1] EHLBECK, J; EBERHART, O.: *Untersuchungen von Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen mit nicht vorgebohrten Stahlblechen von mindestens 2 mm Dicke unter Verwendung von Stahlnägeln*. 1988.
- [2] Möhler, K.: *Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Druckstäben mit zusammengesetztem Querschnitt und nachgiebigen Verbindungsmitteln*. Habilitation, TH Karlsruhe, 1956.
- [3] Vedovelli, M.: *Untersuchungen zu Zugscherverbindungen in Laubholz*. In: Doktorandenkolloquium Holzbau Forschung + Praxis : Stuttgart, März 2020, S. 127-134.
- [4] DIN EN 26891: *Holzbauwerke – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln – Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 1991-07.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.