

Der Einfluss der Gruppenwirkung von Schraubenverbindungen auf das Nachweisverfahren

The influence of group action in screw connections for documented evidence of conformity

L'influence de l'effet du groupé des assemblages par vis sur les procédures de vérification

Influenza dell'effetto di gruppo dei raccordi con viti sui metodi di calcolo

Harald Krenn
TU Graz
Graz, Österreich



Der Einfluss der Gruppenwirkung von Schraubenverbindungen auf das Nachweisverfahren

1. Einleitung

Die Tragfähigkeit von einschnittigen, auf Abscheren beanspruchten, Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und außen liegenden Stahlblechen kann auf Basis der Johansen-Theorie bestimmt werden. Dabei sind die maßgebenden Größen die Lochleibungsfestigkeit des Holzes sowie der Biegezugwiderstand des Verbindungsmittels. Selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde können ebenfalls in einer derartigen Verbindung eingesetzt werden, sind jedoch aufgrund ihres relativ kleinen Gewindekerndurchmessers im Vergleich zur klassischen Holzschraube nach DIN 571 nur sehr unwirtschaftlich.

Die Anwendung sowie Versuchsergebnisse von Holz-Holz-Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, die unter einem Winkel von 45° zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes eingedreht werden, wurde 2002 von Bejtka & Blass [1] vorgestellt. Dabei zeigte sich, dass sowohl die Tragfähigkeit als auch die Steifigkeit von Holz-Holz-Verbindungen, verglichen mit Verbindungen mit herkömmlichen Verbindungsmitteln wie Stabdübeln (eines ähnlichen Durchmessers), deutlich höher waren. Wird anstatt des außen liegenden Holzes ein dafür geeignetes Stahlblech eingesetzt, so entsteht daraus terminologisch eine Stahlblech-Holz-Verbindung sowie ein potentieller Anstieg von Tragfähigkeit und Steifigkeit in der Verbindung. Die Tragfähigkeit dieser Verbindung wird zum Einen durch die axiale Tragfähigkeit der Schraube, welche sich aus dem Minimum aus Auszieh- und Zugwiderstand aus dem Holz sowie der Zugtragfähigkeit der Schraube selbst ergibt, und der Reibung zwischen Holzoberfläche und Stahlblech begrenzt. Zum Anderen ist, wie bei jeder Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, eine wirksame Anzahl zu berücksichtigen, die für den konkreten Fall der Stahlblech-Holz-Verbindung mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben derzeit noch nicht vollständig geklärt ist.

Der vorliegende Bericht soll zur Klärung der obigen Frage beitragen indem Versuchsergebnisse von Verbindungen mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde und außen liegenden Stahlblechen an Brettschichtholz in Bauteilgröße vorgestellt werden. Darüber hinaus werden wichtige Aspekte einer derartigen Verbindung aufgezeigt.

2. Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Schrauben

Holz-Holz-Verbindungen mit selbstbohrenden Voll- oder Teilgewindeschrauben sind seit ihrer Entwicklung vor ca. 10 Jahren zum fixen Bestandteil des modernen Ingenieurholzbau geworden und die dazu verfügbaren Veröffentlichungen beinhalten ausreichende Informationen über die Modellbildung und Bemessung dieser Verbindungen. Der wirtschaftliche Vorteil liegt in ihrer relativ einfachen Anwendung und vom statischen Gesichtspunkt her sind die hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit zu nennen. Grundvoraussetzung für diesen Vorteil ist jedoch eine vorwiegend axiale Beanspruchung des Verbindungsmittel Schraube, wobei davon auszugehen ist, dass diese Bedingung ab einem Einschraubwinkel von 45° zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes als eingehalten anzusehen ist. Der breite Anwendungsbereich dieses Verbindungstyps reicht von Haupt-Nebenträger-Anschlüssen über die Verstärkung von bestehenden Konstruktionen (z. B. Ertüchtigung von Altbauten) bis hin zum "einfachen" Zuglaschenstoß.

Vor einigen Jahren wurde damit begonnen, außen liegende Stahlbleche anstatt der Holzlaschen für Zugstöße zu verwenden. Der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes wurde aufgrund folgender Überlegungen mit 45° festgelegt: Versuche zeigten, dass sich die Tragfähigkeit und Steifigkeit bis zu diesem Winkel hin steigert, und darüber hinaus nur mehr mit einer geringen Vergrößerung der statischen Kennwerte zu rechnen ist. Des Weiteren ist anzumerken, dass in den Stahlblechen eine spezielle Bohrung notwendig ist, um den Schraubenkopf (hier ist von einer Schraube mit Senkkopf die

Rede) aufzunehmen, was wiederum mit einer zugehörigen Stahlblechdicke verbunden ist. Bei kleineren Winkeln zwischen Schraubenachse und Faserrichtung (z. B. 30°) vergrößert sich die Blechdicke und der nur mehr geringe statische Gewinn geht zu Lasten der Wirtschaftlichkeit der Verbindung. Der Einsatzbereich dieser Verbindungen reicht von Fachwerkknoten (Anschluss der Zugdiagonalen) über Haupt-Nebenträger-Anschlüsse (vgl. diverse zugelassene Systeme) über eingespannte Stützenfüße. Die nachstehende Abbildung zeigt zwei Beispiele von Stahlblech-Holz-Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben.

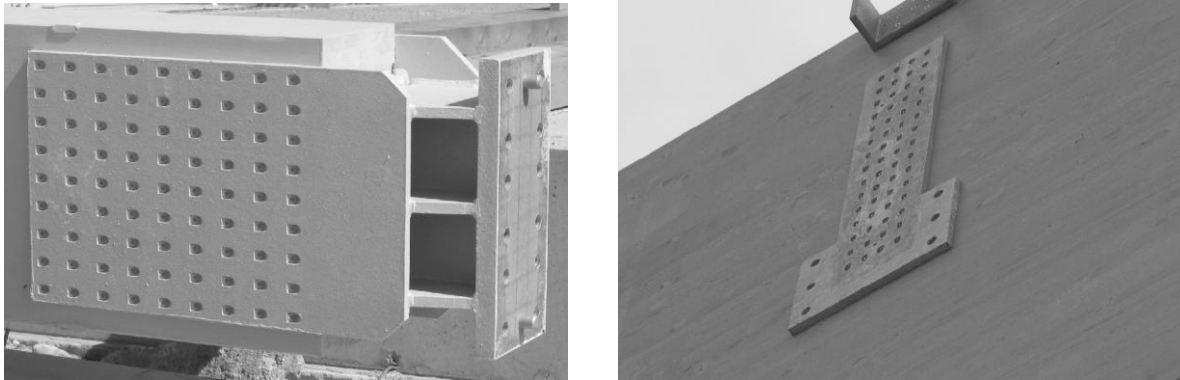


Abbildung 1: Beispiele für Verbindungen mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben und außen liegenden Stahlblechen

Abbildung 2 zeigt den Horizontalschnitt durch eine Stahlblech-Holz-Verbindung mit geneigt angeordneten Schrauben. Diese Verbindung kann entweder als symmetrische Verbindung (Zuglaschenstoß) oder als einseitige Verbindung (Fachwerkknoten) betrachtet werden. Der Winkel β definiert den Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes und unterscheidet sich vom bekannten Winkel α , der in der Terminologie der Bemessungsnormen den Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung bezeichnet.

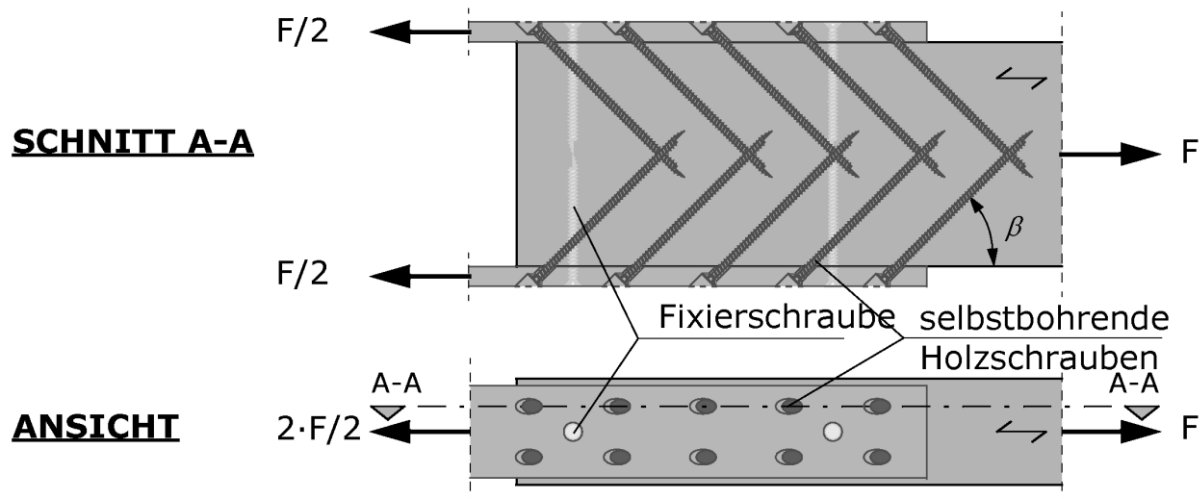


Abbildung 2: Symmetrische Stahlblech-Holz-Verbindung mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben

Stahlblech-Holz-Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben bestehen aus drei Teilen: Dem Holz, dem außen liegenden Stahlblech mit spezieller Bohrung (siehe Abb. 3) und der selbstbohrenden Holzschraube (vorzugsweise mit Vollgewinde) mit Senkkopf. Bei der Montage einer derartigen Verbindung werden die Stahlbleche zuerst mit Schrauben rechtwinklig zur Holzoberfläche fixiert, wobei diesen Schrauben in weiterer Folge aufgrund ihrer geringen Steifigkeit in Krafrichtung keine "tragende Rolle" zukommt. Im Anschluss daran werden die für die Lastabtragung verantwortlichen Schrauben nach Möglichkeit abwechselnd symmetrisch zur Systemachse eingebaut, um eine Vorverdrehung der Anschlussbleche zu verhindern. Die Schrauben werden ohne Vorbohren mit Hilfe einer dafür vorgesehenen Führung (entsprechende Gerätschaften sind mittlerweile auf

dem Markt verfügbar) möglichst exakt laut Plan eingebaut. Die Einhaltung der Mindestabstände versteht sich, wobei derzeit zumeist auf die Technischen Produktzulassungen für die jeweils verwendete Schraube zurückzugreifen ist. Weiters ist darauf zu achten, dass sich die Schraubenspitzen von zwei gegenüberliegenden Schrauben nicht berühren, weil dadurch das Gewinde beschädigt wird und sich damit die Ausziehtragfähigkeit aus dem Holz verringern kann.

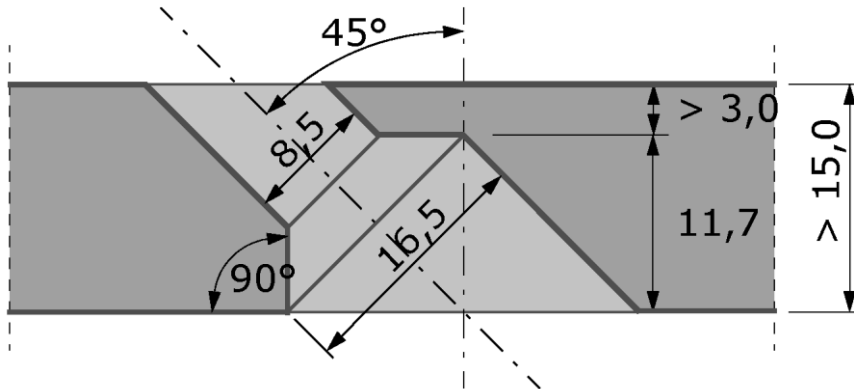


Abbildung 3: Bohrungsdetail mit Mindestabmessungen für Stahlbleche für eine Schraube mit dem Nenndurchmesser $d = 8 \text{ mm}$ und einem Winkel β von 45° (in mm)

3. Versuche mit Stahlblech-Holz-Verbindungen

Als Folge der Literaturrecherche zum vorliegenden Thema wurde festgestellt, dass kaum Veröffentlichungen zum Thema Stahlblech-Holz-Verbindungen mit geeignet angeordneten Schrauben und keine Normen zur Durchführung von Versuchen mit derartigen Verbindungen vorlagen. An diesem Umstand hat sich bis heute wenig geändert, obwohl die Anwendung der Verbindung in der Praxis in vielen renommierten Holzbauunternehmen bereits heute zum Stand der Technik gehört.

Um das umfangreiche Versuchsprogramm sinnvoll durchführen zu können wurden zu Beginn Überlegungen zu möglichen auftretenden Versagensmechanismen angestellt. Als bedeutendste von ihnen sind das Herausziehen der Schraube aus dem Holz (hängt in erster Linie mit der Rohdichte des Holzes zusammen) und die Zugtragfähigkeit der Schraube (abhängig vom verwendeten Schraubenstahl und der Herstellung) zu nennen. Das Aufspalten der Verbindung als spröde, unerwünschte Versagensart war ebenfalls zu berücksichtigen. Gleich zu Beginn der Vorversuche stellte sich heraus, dass ein Aufspalten des Holzbauteiles infolge Querszugbeanspruchung nicht zu vernachlässigen war, weshalb ein Übergreifen der Schrauben in Holzmitte für die Hauptversuche vorgesehen wurde.

Auf Basis der Vorarbeiten wurden ca. 600 Zugversuche mit Zuglaschenstößen in Bauteilgröße am Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz durchgeführt. Dieser Beitrag behandelt drei repräsentative Versuchsserien, weitere Ergebnisse können [8] entnommen werden.

3.1. Material und Methoden

Alle Versuche wurden mit Bauteilen an Brettschichtholz aus Fichte der Festigkeitsklasse GL 28h durchgeführt. Die Untersuchung der, für das BSH verklebten Bretter, ergab, dass der maßgebende Parameter für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (die Rohdichte), die geforderten Werte für die oben genannte Festigkeitsklasse erreichte. Zur Versuchsdurchführung wurden zwei unterschiedliche Querschnitte geliefert: 284 BSH-Balken mit den Abmessungen $2000 \times 70 \times 210 \text{ mm}$ für die 45° -Versuche (Serie 1) und 95 BSH-Balken in der Dimension $2000 \times 70 \times 150 \text{ mm}$ für die 30° -Versuche (Serie 2). Die Probekörper für Serie 3 (siehe Tabelle 1) wurden aus den verbliebenen Balken der Serie 1 in der institutseigenen Holzwerkstätte verklebt und auf eine Dimension von $1000 \times 200 \times 200 \text{ mm}$ plan gehobelt. Alle Probekörper wurden bis zum Versuch im Normklima ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 65% rel. Luftfeuchte) gelagert.

| Serie | Schraube | Konfiguration | Probekörperabmessungen ($l \times b \times h$) in [mm] | Verbindungstyp |
|---|----------|---------------|---|--|
| 1 | Typ A1 | H-S-H | 2000 x 70 x 210 | einreihig, $\beta = 45^\circ$ |
| 2 | Typ A2 | H-S-H | 2000 x 70 x 150 | mehrrichtig, $\beta = 30^\circ$ |
| 3 | Typ A1 | S-H-S | 1000 x 200 x 200 | ein- und mehrrichtig, $\beta = 45^\circ$ |
| H-S-H ... Holz-Stahl-Holz (vgl. Bild 5a) | | | | |
| S-H-S ... Stahl-Holz-Stahl (vgl. Bild 5b) | | | | |

Tabelle 1: Überblick über die Probekörperabmessungen und die verwendeten Schrauben

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden eine Voll- und eine Teilgewindeschraube mit Senkkopf (vgl. Abbildung 4) von einem Hersteller eingesetzt (ein Herstellervergleich in [9] förderte keine gravierenden Unterschiede zwischen vergleichbaren Produkten zu Tage). Die Mindestabstände wurden den betreffenden Technischen Produktzulassungen entnommen.

Zugversuche an zufällig ausgewählten Schrauben (jeweils drei aus einem Karton) die für die Versuche der Serie 3 eingesetzt wurden, sind ebenfalls dokumentiert. Die Ergebnisse dieser Versuche können als durchaus befriedigend bezeichnet werden, da der 5%-Fraktilwert der Zugtragfähigkeit der Schrauben um 13 % höher als der Wert in der Zulassung lag. Der Variationskoeffizient der geprüften Schrauben lag bei 1,65 %.



Typ A1: 8 x 200 mm, Vollgewinde

Typ A2: 8 x 200/84 mm, Teilgewinde



Abbildung 4: In den Versuchen eingesetzte Schrauben

3.2. Prüfkonfiguration

Alle Versuche wurden in Bauteilgröße im Labor des Instituts für Holzbau und Holztechnologie mit einer weggesteuerten Zugprüfmaschine mit einer maximalen Zugkraft von 850 kN durchgeführt. Dabei wurden die Holzprobekörper in den Serien 1 und 2 direkt in der Klemmvorrichtung der Maschine fixiert (vgl. Abbildung 5(a)). Für die Untersuchungen mit einer mehrrichtigen Schraubenanordnung, wurde eine Prüfkonfiguration auf Basis eines Zugstabsystems mit Lastverteilungsplatten an die Möglichkeiten der Prüfmaschine angepasst (Abbildung 5(b)).

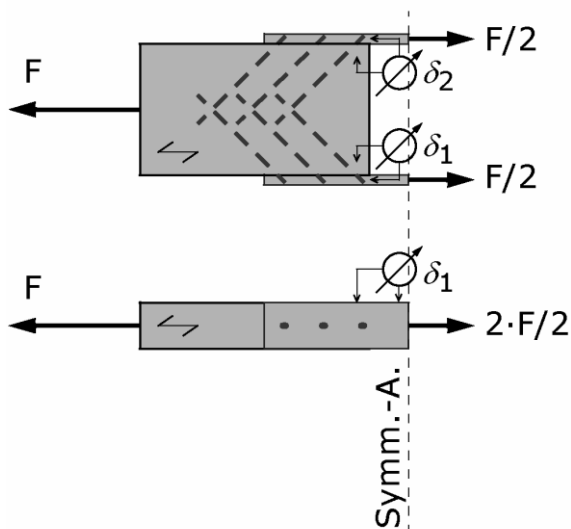
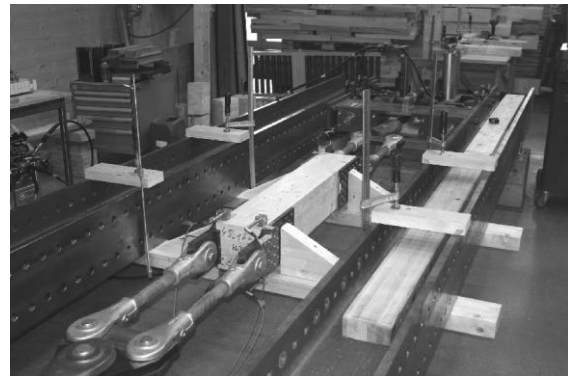
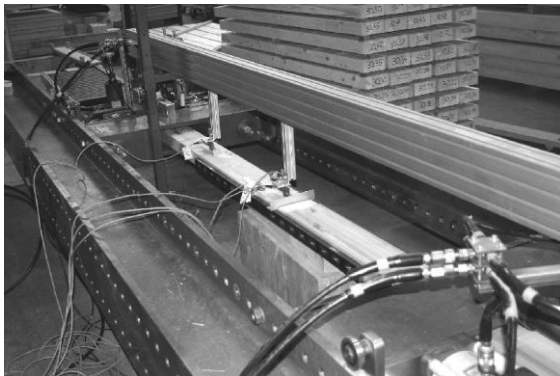
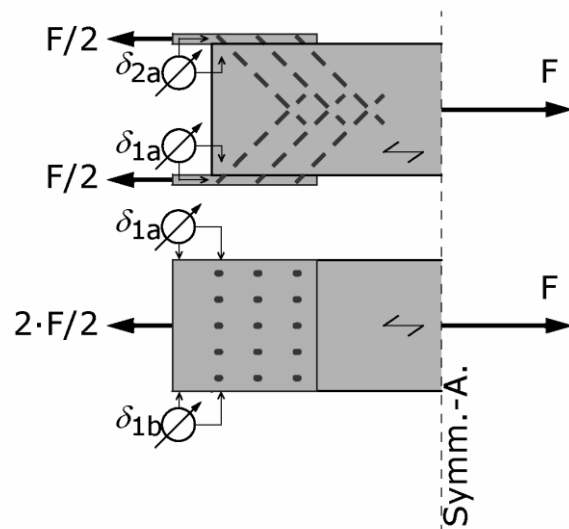
(a) **SERIEN 1 & 2 (H-S-H)**(b) **SERIE 3 (S-H-S)**

Abbildung 5: Prüfkongfiguration für die (a) einreihigen Versuche und (b) mehrreihigen Versuche

Die nachstehende Auflistung enthält eine detaillierte Beschreibung der beiden Prüfkongfigurationen:

H-S-H: Zwei einreihige Verbindungen wurden zugleich getestet, wobei auch beide aufgrund der geometrischen Bindung zugleich versagten. In dieser Versuchsserie wurde auf einer Seite der Verbindung der BSH-Probekörper eingesetzt und nach dem Versuchsende ausgetauscht. Auf der gegenüberliegenden Seite wurde ein BSH-Bauteil aus Esche montiert, welches für alle Versuche verwendet und nicht ausgetauscht wurde. Dadurch ergab sich eine deutliche Verringerung des Arbeits- und Materialaufwandes.

S-H-S: Vier Verbindungen wurden zugleich getestet und nach Versagen einer Verbindung, wurde diese mit $n + 1$ Schraube erneut bestückt und verstärkt. Mit n ist die ursprüngliche Schraubenanzahl, welche zwischen 1 und 8 lag, bezeichnet. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis alle vier Seiten versagt hatten. Der Vorteil dieser Konfiguration lag in der Möglichkeit, die Schrauben sowohl parallel zur Faser als auch rechtwinklig dazu zu versetzen.

Die Kräfte wurden über die interne Kraftmessdose der Zugprüfmaschine ermittelt und die Parallelverschiebung in Richtung der Kraft zwischen Holzoberfläche und Stahlblech wurde mit induktiven Wegaufnehmern gemessen. Die Wegaufnehmer wurden 20 mm vom Hirnholz entfernt montiert und lagen damit außerhalb des belasteten Holzbereiches. Die relative Verschiebung beinhaltet die Dehnung des Stahlbleches, welche jedoch vernachlässigbar klein im Vergleich zur Verschiebung der Verbindung ist.

3.3. Ergebnisse der Prüfungen

Zu Beginn ist festzustellen, dass ein Versagen der Verbindung bei einer relativen Verschiebung δ zwischen Holzoberfläche und Stahlblech von 3 bis 4 mm eintrat und die Kraft in den Versagensmechanismen Kopfabreißen der Schraube und Aufspalten des Holzes sofort gegen Null abfiel. In jenen Fällen, in denen ein Herausziehen der Schrauben auftrat, ließ sich die Verschiebung bei leicht abfallender Kraft noch weiter steigern. Eine Verschiebung von 15 mm, wie sie in EN 26891 als Abbruchkriterium für Abscherversuche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln vorgesehen ist, konnte in keiner der Prüfungen beobachtet werden.

In den nachstehenden Tabellen 2 bis 4 sind die Ergebnisse der Prüfungen dargestellt. In der ersten Zeile finden sich die Anzahl der Prüfungen in jeder Serie, gefolgt vom Mittelwert der Bruchkraft je Verbindung und dem über alle Versagensarten ermittelten Variationskoeffizienten. Die grau hinterlegten Zeilen 4 und 5 enthalten die 5%-Fraktile der Schraubentragfähigkeit nach einer LogNormalverteilung ermittelt bezogen auf die Anzahl der Schrauben in der jeweils geprüften Verbindung sowie die daraus ermittelte bezogene effektive Anzahl der Schrauben. Zeile 6 listet die Versagensformen (H für **H**erausziehen, K für **K**opfabreißen, A für **A**ufspalten und Q für **Q**uerzugversagen des Holzteiles) auf. Die Mittelwerte der Rohdichte in den Probekörpern sind in der letzten Zeile dargestellt.

| Schraubenanzahl n_{Schraube} | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 ¹⁾ |
|---|----------|-------------|-------------|-------------|----------|-----------------|
| n_{test} | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 5 |
| $R_{v,\text{test,mean}}$ [kN] | 24.85 | 48.59 | 69.74 | 92.63 | 135.41 | 163.51 |
| COV [%] | 5.8 | 6.9 | 6.4 | 5.8 | 7.0 | 5.1 |
| $R_{v,\text{test},05} / n_{\text{screw}}$ [kN] | 22.18 | 21.20 | 20.44 | 20.66 | 19.65 | 18.00 |
| $n_{\text{ef}} / n_{\text{screw}}$ ²⁾ | 1.00 | 0.94 / 1.00 | 1.08 / 0.94 | 1.00 / 1.01 | - / 0.97 | - / - |
| Versagensart (H/K/A/Q) | 14/6/0/0 | 7/13/0/0 | 9/11/0/0 | 4/10/6/0 | 0/9/9/2 | 0/0/1/4 |
| ρ_{mean} [kg/m ³] | 442 | 441 | 437 | 442 | 438 | 444 |
| ¹⁾ Aufgrund des vorherrschenden Versagensmodus Q nicht in der Auswertung berücksichtigt. | | | | | | |
| ²⁾ Erster Wert: H erausziehen, zweiter Wert: K opfabreißen | | | | | | |

Tabelle 2: Ergebnisse der Serie 1 (einreihig, $\beta = 45^\circ$, Vollgewinde)

| Schraubenanzahl n_{Schraube} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| n_{test} | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 7 |
| $R_{v,\text{test,mean}}$ [kN] | 13.86 | 24.82 | 38.69 | 55.57 | 65.75 | 82.51 | 91.43 |
| COV [%] | 11.0 | 7.1 | 11.0 | 10.5 | 6.5 | 11.0 | 10.8 |
| $R_{v,\text{test},05} / n_{\text{screw}}$ [kN] | 10.99 | 10.59 | 10.15 | 11.10 | 11.48 | 10.79 | 10.09 |
| $n_{\text{ef}} / n_{\text{screw}}$ | 1.00 | 0.96 | 0.92 | 1.01 | 1.04 | 0.98 | 0.92 |
| Versagensart (H/K/A/Q) | 10/0/0/0 | 10/0/0/0 | 10/0/0/0 | 10/0/0/0 | 10/0/0/0 | 9/0/0/1 | 7/0/0/0 |
| ρ_{mean} [kg/m ³] | 462 | 448 | 455 | 467 | 442 | 462 | 461 |

Tabelle 3: Ergebnisse der Serie 2 (einreihig, $\beta = 30^\circ$, Teilgewinde)

In der Versuchsserie 3 wurden sowohl einreihige als auch mehrreihige Verbindungen bis zu einem Maximum von 8 Schrauben je Verbindung geprüft. Die Bezeichnung im Kopf der Tabelle wie z. B. 1 x 5 bedeutet eine Reihe mit fünf hintereinander angeordneten Schrauben. Die Versagensarten und die Rohdichte sind hier nicht angegeben, weil alle Schrauben auf Kopfabreißen versagten.

| Schraubenanzahl n_{Schraube} | 1 x 1 | 1 x 3 | 1 x 5 | 2 x 1 | 3 x 1 | 5 x 1 | 2 x 4 | 4 x 2 |
|--|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| n_{test} | 92 | 32 | 20 | 40 | 32 | 19 | 12 | 12 |
| $R_{v,\text{test,mean}} [kN]$ | 27.79 | 85.17 | 138.35 | 56.36 | 83.82 | 139.80 | 218.16 | 219.76 |
| COV [%] | 7.4 | 5.3 | 4.2 | 5.0 | 5.5 | 5.1 | 4.1 | 4.9 |
| $R_{v,\text{test},05} / n_{\text{screw}} [kN]$ | 24.36 | 25.67 | 25.47 | 25.67 | 25.17 | 25.32 | 24.93 | 24.76 |
| $n_{\text{ef}} / n_{\text{screw}}$ | 1.00 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.03 | 1.04 | 1.02 | 1.02 |

Tabelle 4: Ergebnisse der Serie 3 (ein- und mehrreihig, $\beta = 45^\circ$, Vollgewinde)

Es zeigte sich, dass der Einfluss der Verbindungsmittelanzahl auf die Tragfähigkeit der Verbindung relativ klein und dazu schwer zu identifizieren ist. Der Variationskoeffizient liegt innerhalb einer Serie zwischen 4 und 8 % und nimmt tendenziell mit der Anzahl der Schrauben in der Verbindung ab, wenn die Verbindung infolge Kopfabreißen (**K**) der Schrauben versagt. Bei der Versagensart Herausziehen (**H**) liegt eine nahezu konstante Variation, die jedoch etwas höher liegt, vor. Allgemein zeigt sich, dass der Einfluss der Verbindungsmittelanzahl im Falle des Herausziehens größer ist als bei Kopfabreißen der Schrauben.

Das Diagramm in Abbildung 6 zeigt die bezogenen Versuchsergebnisse (nach Versagensart getrennte 5%-Werte auf Basis einer LogNormalverteilung, welche auch die Anzahl der Prüfungen berücksichtigt). Die in den aktuellen Normen verankerten Funktionen der EN 1995-1-1:2004 und der DIN 1052:2008 sind zu Vergleichszwecken ebenfalls angegeben. Die durchgehende, dicke grüne Linie enthält den Vorschlag, für einen Funktionsverlauf von n_{ef} , wie er sich aus den vorliegenden Versuchen ergeben hat. Orange Symbole bedeuten Herausziehen, Violette ein Kopfabreißen und Graue die Versuchsergebnisse aus anderen (siehe Krenn [8]), hier nicht dokumentierten, Versuchsreihen. Die Ziffern in Klammer bezeichnen die jeweilige Versuchsserie.

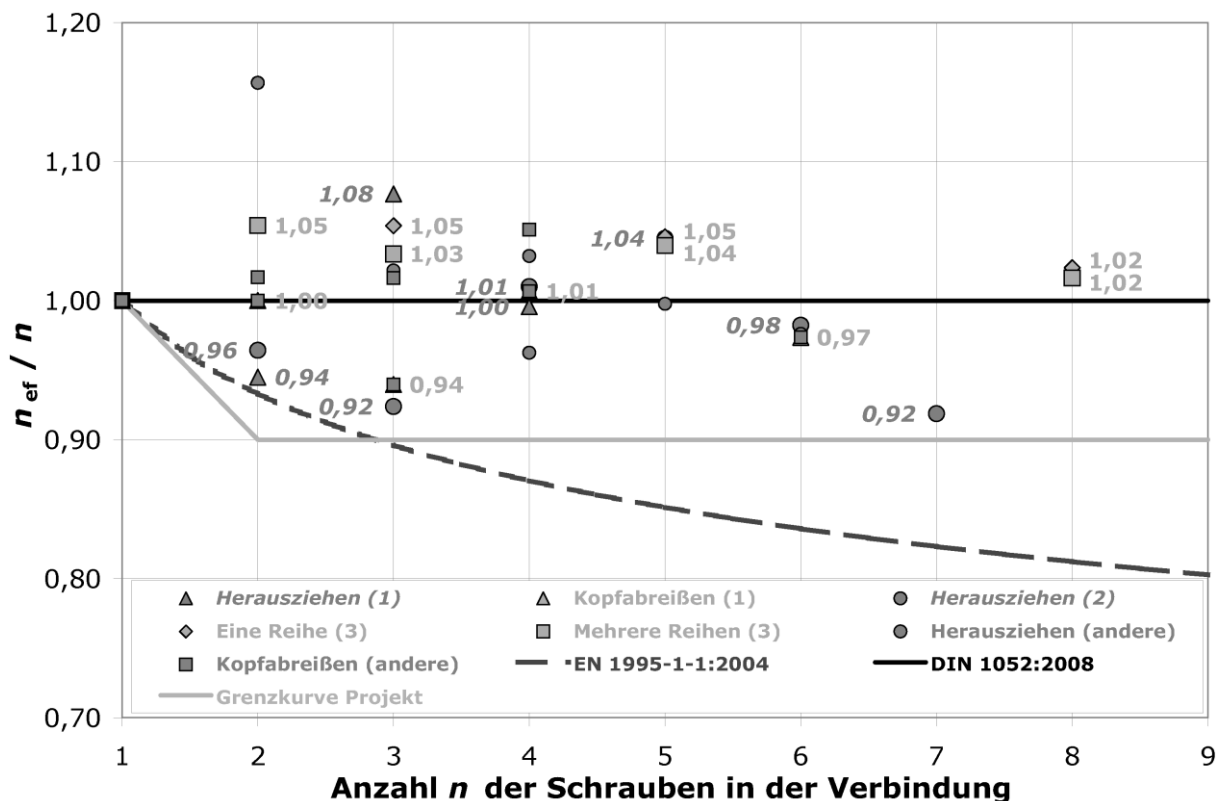


Abbildung 6: Einfluss der Anzahl der Schrauben auf die Tragfähigkeit der Verbindung

Die Ergebnisse der Auswertung der Steifigkeit in einer Stahlblech-Holz-Verbindung zeigen ein deutlich differierendes Bild zu jenem der Tragfähigkeit: Abgesehen vom hohen Varia-

tionskoeffizienten (84 % für eine Schraube bis 24 % für 5 Schrauben) zeigt sich im Gebrauchslastbereich eine klare Abhängigkeit von der Anzahl der Verbindungsmittel. Aufgrund der generell als hoch einzustufenden Steifigkeit derartiger Verbindungen kann diese Abminderung jedoch für die Praxis vernachlässigt werden wenn berücksichtigt wird, dass die Steifigkeit einer einzelnen Schraube 8 x 200 mm bei etwa 30 kN/mm liegt, was ein Vergleich zu auf Abscheren beanspruchten Stabdübeln ($d = 8 \text{ mm}$, $K_{\text{ser, GL 28h}} = 0,05 \cdot 410 \cdot d^{1,5} = 3,32 \text{ kN/mm}$) demonstriert werden kann.

4. Bemessungsvorschlag

Derzeit liegen keine Bemessungsmodelle für Stahlblech-Holz-Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben in den Normen vor. Bejtka & Blass [1] und Kevarinmäki [6] geben jedoch Modelle für Holz-Holz-Verbindungen an, wobei das erste eine erweiterte Johansen-Theorie mit Berücksichtigung der axialen Tragfähigkeit und der Reibung darstellt. Das zweite Modell vernachlässigt den Anteil aus dem Dübeleffekt vollkommen und berücksichtigt ausschließlich Axialkräfte, was zu einem simplen Fachwerkmodell führt.

4.1. Fachwerkmodell

Das oben genannte Fachwerkmodell zeigte sich bei der Anwendung auf die vorliegenden Versuchsergebnisse als sehr gut passend, um die Tragfähigkeit der Verbindung vorherzusagen. Außerdem besticht es durch seine Einfachheit. Aufgrund der kleinen Verformungen bei Stahlblech-Holz-Verbindungen (im Vergleich zu Holz-Holz Schraubenverbindungen) kann der Dübeleffekt vernachlässigt werden. Die Reibung in den sich berührenden Oberflächen aus Stahlblech und Holz hingegen, sollte berücksichtigt werden, da ein Kontakt immer dann vorhanden ist, wenn die Verbindung belastet ist. Bei Verbindungen mit einer steifen Kopfplatte und relativ steifen Laschen ist zu berücksichtigen, dass der Kontakt zwischen Stahlblech und Holz im Bereich der Kopfplatte gegebenenfalls nicht in Rechnung gestellt werden darf (Ausführungsungenauigkeit bzw. eventuelles Schwinden des Holzes!).

Der Reibungskoeffizient für Holz-Holz-Verbindungen ist in [6] mit 0,26 und in [2] mit 0,23 angegeben. Der Wert in den aktuell gültigen Bemessungsnormen beträgt 0,25 [4]. Aus einer Rückrechnung der Versuche der Serie 3, wobei alle Parameter außer dem Reibungskoeffizienten bekannt waren, ergab sich ein Reibungskoeffizient μ von 0,32. Es wird empfohlen, mit dem bekannten Wert von 0,25 zu rechnen.

In der nachfolgenden Abbildung ist das Fachwerkmodell mit den hier aufgelisteten Komponenten dargestellt:

- R_{ax} ... Axiale Tragfähigkeit der Schraube, begrenzt durch den Auszieh Widerstand bzw. die Zugtragfähigkeit der Schraube
- R_0 Kraftkomponente von R_{ax} parallel zur Krafrichtung der äußeren Last
- R_{90} ... Kraftkomponente von R_{ax} rechtwinklig dazu (normal auf die Holzoberfläche)
- R_{μ} Kraftkomponente infolge des Reibungswiderstandes parallel zur Richtung der äußeren Last
- μ Haftreibungskoeffizient
- β Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung (entspricht der Richtung der äußeren Last)

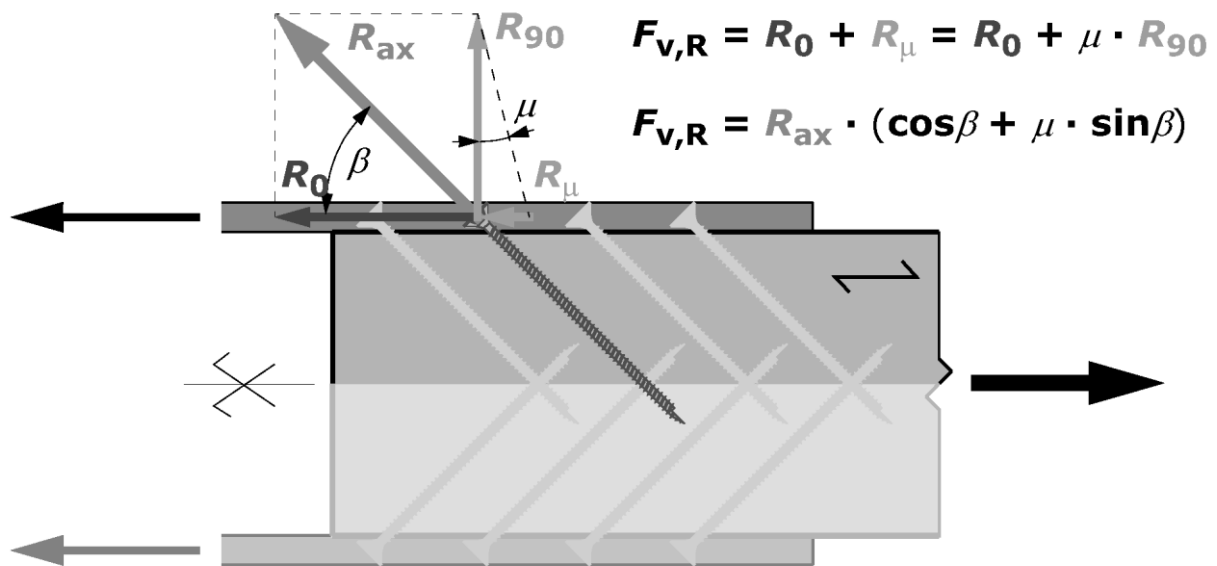


Abbildung 7: Fachwerkmodell zur Ermittlung der Tragfähigkeit einer Stahlblech-Holz-Schraubenverbindung

Eine Vergleichsrechnung von Prüfungsergebnissen mit einer Berechnung nach dem obigen Fachwerkmodell ergab für den Versagensmodus Kopfabreißen ein Verhältnis von 1,02 für die Serie 1 und 0,95 für die Serie 3. Es zeigt sich damit eine sehr gute Übereinstimmung.

4.2. Konstruktive Rahmenbedingungen

Alle Schrauben welche zur Kraftübertragung herangezogen werden, sollten eine einheitliche Dimension und Form haben und der Winkel β sollte konstant für alle Schrauben sein. Die Schrauben sollen so eingebaut werden, dass sich keine Exzentrizitäten ergeben. Die Länge des im Holz eingedrehten Gewindeteiles sollte zwischen 16 und 20 d liegen, damit sich der Versagensmodus Kopfabreißen einstellt. Das Eindrehmoment der Schrauben soll zwischen 60 und 80 % des Bruchdrehmomentes der verwendeten Schraube liegen und mit einem Drehmomentenschlüssel oder ähnlichem sichergestellt werden. Die Mindestabstände sollen den Anforderungen in den Technischen Zulassungen entsprechen.

Die Duktilität von Stahlblech-Holz-Verbindungen ist sehr begrenzt und sollte falls gewünscht, über die Anschlussbleche u. dgl. realisiert werden. Im Versagensfall Kopfabreißen ist jedoch eine begrenzte Möglichkeit der Kraftumlagerung gegeben, was sich positiv auf den Faktor n_{ef} auswirkt.

Die Schraubenspitzen sollen sich bei symmetrischen Verbindungen in der Systemachse um mindestens 4 d übergreifen (vgl. Abbildung 8(a)). Andernfalls ist mit einem Aufspalten des Holzbauteiles zu rechnen.

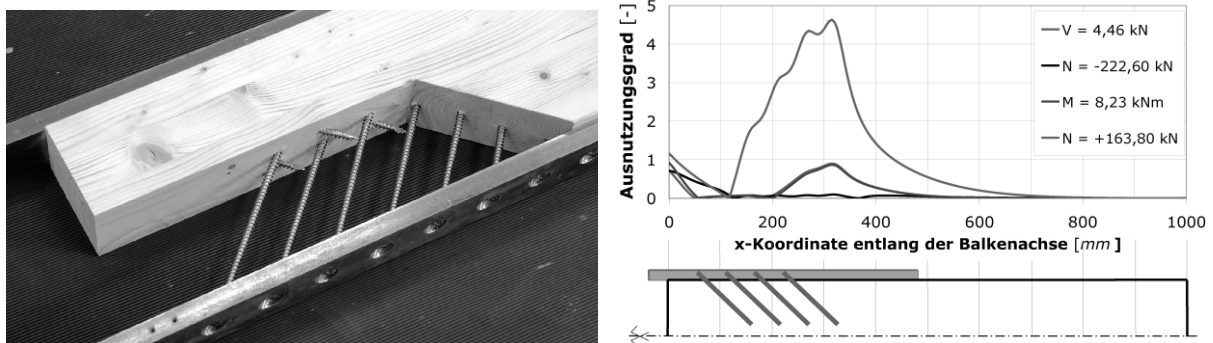


Abbildung 8: Überlappung der Schrauben in der Systemachse des Holzbauteiles

Abbildung 8b zeigt den Querspannungsverlauf aus einer Finite-Elemente-Berechnung für einen Balken $b/h = 40/210$ mm (b entspricht dem Mindestabstand a_2) mit 4 hintereinander angeordneten Schrauben. Die, am rechten Holzende (rechts) angreifenden Schnittkräfte V , N und M , wurden so gewählt, dass sich aus der Geometrie und dem vorhandenen

Material jeweils Ausnutzungsgrade von 1,0 für den Balken ergeben. Zu beachten ist, dass es keine Überlappung der Schraubenspitzen in der Systemachse gibt, was zu Querspannungen im Bereich der Schraubenspitzen führt. Die Kurven im Diagramm zeigen den Ausnutzungsgrad bei einem Querspannungsnachweis in Holzmitte, wobei deutlich wird, dass es bei einer Zugkraft für die vorhandene Geometrie zu einer 4,5-fachen Überschreitung des charakteristischen Wertes der Querspannungsfestigkeit (ohne Berücksichtigung des Volumeneinflusses!) kommt.

5. Wirksame Anzahl

Die wirksame Anzahl n_{ef} der Verbindungsmittel in einer Verbindung ist im Allgemeinen von vielen Parametern beeinflusst (vgl. [5]). Wenn jedoch geometrische Randbedingungen wie Mindestabstände und Schlankheiten von Verbindungsmitteln eingehalten sind, lässt sich der Einfluss auf die vorhandene Anzahl an Verbindungsmitteln in der Verbindung reduzieren. Insbesondere ist hier die Anzahl n der in einer Reihe hintereinander in Faserrichtung angeordneten Verbindungsmittel gemeint. Dies gilt jedenfalls für auf Abscheren beanspruchte Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (z. B. Stabdübelverbindung), kann jedoch im übertragenen Sinn auch für Verbindungen mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben angewandt werden.

Da die derzeit vorhandenen Normen diese Art der Verbindung nicht explizit behandeln, besteht eine gewisse Unklarheit darüber, welcher Wert von n_{ef} zu verwenden ist. Aufgrund der Tatsache, dass die Schrauben hauptsächlich axial beansprucht sind, kann argumentiert werden, dass die Normenabschnitte für axial belastete Schrauben zur Anwendung kommen. Im relevanten Abschnitt des Eurocode 5 [4] ist ein Wert für $n_{ef} = n^{0,9}$ angegeben, in der DIN 1052 [3] ist hingegen keine Abminderung vorgesehen. In Frage steht weiters, welcher Wert für n in diese Formel einzusetzen ist (die Schrauben in einer Reihe oder alle Schrauben in der Verbindung). In der Praxis wird von Ingenieuren, die sehr häufig mit dieser Art der Verbindung arbeiten, eine Abminderung von 10 - 15 % pro Reihe in Rechnung gestellt, wobei die maximale Anzahl der Schrauben hintereinander in Faserrichtung mit ca. 15 festgelegt ist.

Aus den Prüfungen die diesem Bericht zugrunde liegen ist zu schließen, dass eine Reduktion mit einem globalen Faktor von 0,9 ausreichend und auf der sicheren Seite liegend sein sollte. Eine Anwendung eines Wertes größer als 1,0 ist in keinem Fall empfohlen, da Ausführungsungenauigkeiten u. dgl. niemals ausgeschlossen werden können. Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird als Anhaltspunkt eine Abminderungsfunktion von $n_{ef,ser} = n^{0,8}$ vorgeschlagen, falls dieser Nachweis bemessungsrelevant sein sollte.

6. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigten, dass Stahlblech-Holz-Verbindungen mit außen liegenden Blechen und geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben sehr leistungsfähig betreffend Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind. Ein einfaches Fachwerkmodell, das die axiale Tragfähigkeit der Schraube, den Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung (45° bis 30°) und die Reibung zwischen Stahlblech und Holzoberfläche ($\mu = 0,25$) berücksichtigt, ist ausreichend genau und führt zu raschen Ergebnissen. Bei Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann die wirksame Anzahl n_{ef} mit $n_{ef} = n \cdot m \cdot 0,9$ ermittelt werden, wobei n die Anzahl der Schrauben in einer Reihe und m die Anzahl der Schraubenreihen bedeuten. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann der Abminderungswert $n_{ef,ser}$ mit $(n \cdot m)^{0,8}$ berücksichtigt werden. Diese Angaben gelten jedoch nur dann, wenn die Ausführungsgenauigkeit gewährleistet wird und die Abweichungen von den Planungsgrundlagen minimiert werden.

Bei der konstruktiven Detailplanung ist zu berücksichtigen, dass starre Kopfplatten einen Einfluss auf die Reibung haben können. Ein Überlappen der Schraubenspitzen von mindestens $4 d$ in der Systemachse von symmetrischen Verbindungen ist unumgänglich. Bei einseitigen Verbindungen können gegebenenfalls Querspannungserstärkungen erforderlich sein (Nachweis für Queranschlüsse!). Die angestrebte Versagensart sollte das Abreißen des Schraubenkopfes sein, was in der Regel dann erreicht wird, wenn die Einbindetiefe des

Gewindeteils im Holz größer als 16 bis 20 d ist. Die Dicke der Stahlbleche hängt insbesondere vom Kopfdurchmesser der verwendeten Schrauben und von Winkel β ab und sollte für Schrauben mit einem Nenndurchmesser d von 8 mm nicht unter 15 mm liegen.

7. Danksagung

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde vom Kompetenzzentrum holz.bau forschungsgmbh finanziert und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz und den Wirtschaftspartnern, dem Fachverband der Holzverarbeitenden Industrie Österreichs und dem Holzcluster Steiermark GmbH durchgeführt. Das Projekt wurde durch Mittel der Ministerien für Wirtschaft und Arbeit sowie Transport, Innovation und Technologie und der Steirischen Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH gefördert.

8. Literatur

- [1] BEJTKA, I., BLASS, H.J. (2002): Joints with inclined Screws. In: Proceedings CIB-W18/35-7-5. Kyoto, 2002 (Englisch).
- [2] BLASS, H.J., BEJTKA, I. (2001): Screws with continuous threads in timber connections. In: Proceedings PRO 22: International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures. Stuttgart, pp.193-201, 2001 (Englisch).
- [3] DIN 1052:2008 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [4] EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- [5] JORISSEN, A. (1998): Double shear timber connections with dowel type fasteners. Dissertation, TU Delft, 1998 (Englisch).
- [6] KEVARINMÄKI, A. (2002): Joints with inclined Screws. In: Proceedings CIB-W18/35-7-4. Kyoto, 2002 (Englisch).
- [7] KRENN, H., SCHICKHOFER, G. (2007): Traglast von auf Zug beanspruchten Schraubenverbindungen mit Stahlblechen. In: Tagungsband 6. Grazer Holzbau-Fachtagung '07. TU Graz, 2007.
- [8] KRENN, H. (2009): Selbstbohrende Holzschrauben in hoch beanspruchten Bereichen. Research report, holz.bau forschungsgmbh, Graz, 2009.
- [9] PIRNBACHER, G., SCHICKHOFER, G. (2007): Schrauben im Vergleich – eine empirische Betrachtung. In: Tagungsband 6. Grazer Holzbau-Fachtagung '07. TU Graz, 2007.