

Selbstbohrende Schrauben und Systemverbinder – Stand der Technik und Herausforderungen

Hans Joachim Blaß
Karlsruher Institut für Technologie
Karlsruhe, Deutschland



Selbstbohrende Schrauben und Systemverbinder – Stand der Technik und Herausforderungen

1. Allgemeines

Von den unterschiedlichen mechanischen Verbindungen im Holzbau haben Verbindungen mit Holzschrauben in den letzten 20 Jahren die größten Entwicklungsschritte durchlaufen. Die Anwendungsmöglichkeiten wurden stark erweitert, die Schraubenlängen und damit die übertragbaren Kräfte deutlich gesteigert, sodass Holzschraubenverbindungen heute in vielen Betrieben die erste Wahl bei Verbindungen und Verstärkungen in Ingenieurholzbauten sind. Je nach Anwendungsbereich werden Vollgewindeschrauben, Teilgewindeschrauben oder Doppelgewindeschrauben mit glattem Schaftbereich verwendet, unterschiedliche Schraubenköpfe und Gewinde- oder Spitzenformen wie auch Stahlsorten sind im Markt verfügbar. Diese Vielfalt erlaubt einerseits für fast jeden Anwendungsfall eine sehr gut geeignete Schraube zu finden, andererseits sind die Tragfähigkeitswerte der Schrauben meist in Europäischen Technischen Bewertungen geregelt, die sich von Hersteller zu Hersteller manchmal nur geringfügig unterscheiden. Dies bedeutet, dass der Tragwerksplaner bereits beim Entwurf einer Verbindung meist die Schraube eines bestimmten Herstellers spezifiziert. Eine spätere Verwendung von Schrauben anderer Hersteller ist dann nicht oder nur mit zusätzlichem Aufwand möglich.

Die zukünftige Neufassung des Eurocode 5 sollte daher im Abschnitt «Verbindungen» für die Bemessung des Auszieh Widerstands konservative Werte der Ausziehparameter für die wichtigsten Durchmesser und die verschiedenen Holzbaustoffe enthalten, die unabhängig von den Werten in den ETAs der Hersteller sind. Für die Schraubeneigenschaften Fließmoment und Zugtragfähigkeit sowie für den Kopfdurchzieh Widerstand sollte ein Klassensystem eingeführt werden, dass es dem Tragwerksplaner ermöglicht, aus einer kleinen Anzahl von Tragfähigkeitsklassen zu wählen. Die ETAs müssten dann die entsprechende Klassifizierung der Schrauben enthalten.

2. Auf Abscheren beanspruchte Holzschrauben

Seit mehr als einem halben Jahrhundert bildet das Fließgelenkmodell von Johansen [1] die Basis für die Bemessung auf Abscheren beanspruchter stiftförmiger Verbindungsmittel in Holzverbindungen. Johansen betrachtete ausschließlich Holz-Holz-Verbindungen, vernachlässigte die Zugkräfte in den Verbindungsmitteln und setzte nur die elastische Biegetragfähigkeit der Stifte an.

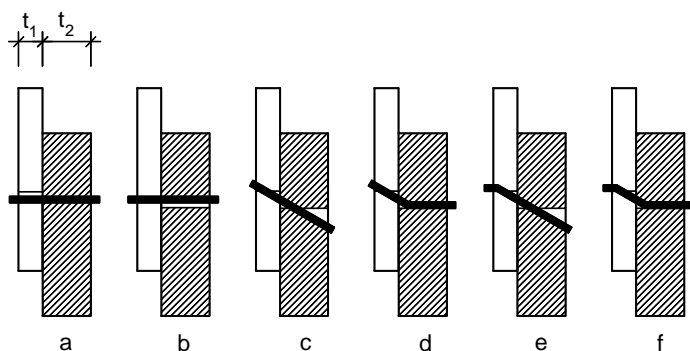


Abbildung 1: Versagensarten nach Johansen für Holz-Holz-Verbindungen mit einschnittig beanspruchten Stiften

Meyer [2] erweiterte das Modell von Johansen für Nagelverbindungen durch die Berücksichtigung der plastischen Biegetragfähigkeit sowie des Seileffekts, der sich durch Zugkräfte in den Verbindungsmitteln einstellt, nachdem diese sich im Bereich der Scherfuge z.B. durch die Bildung plastischer Gelenke schrägstellen (siehe Versagensarten c bis f in Abb. 1). Wegen der hohen Ausziehtragfähigkeit von Holzschrauben ist bei diesen der Seil-

effekt besonders ausgeprägt und erhöht die Tragfähigkeit bei planmäßig auf Abscheren beanspruchten Holzschrauben deutlich mehr als bei anderen stiftförmigen Verbindungsmitteln. Allerdings wird dadurch auch die Beanspruchung der Schraube selbst durch gleichzeitig wirkende Momente und Normalkräfte – bei Stahlblech-Holz-Verbindungen auch durch Scherkräfte – erhöht, sodass in manchen Fällen das Versagen der Schraube selbst maßgebend für die Tragfähigkeit der Verbindung werden kann.

In Holz-Holz-Verbindungen mit auf Abscheren beanspruchten Stabdübeln, Bolzen oder glattschaftigen Nägeln in Nadelholz, wie sie von Johansen und Meyer untersucht wurden, wird ein Versagen des Stiftes selbst nur als lokale Biegeverformung (Fließgelenk) beobachtet. Folgende Parameter führen zu höheren Beanspruchungen insbesondere von Schrauben durch Normal- oder Scherkräfte:

- Stahlblech-Holz-Verbindungen anstelle von Holz-Holz-Verbindungen. In Holz-Holz-Verbindungen treten die Maxima des Biegemoments bzw. der Scherkraft in der Schraube an unterschiedlichen Stellen auf, in Stahlblech-Holz-Verbindungen an derselben Stelle genau in der Scherfuge.
- Die verbesserte Verankerung von Schrauben im Holz, z.B. bei Vollgewindeschrauben. Die sich durch den Seileffekt einstellende Zugkraft und in Stahlblech-Holz-Verbindungen zusätzlich die Scherkraft in der Fuge verringern das verfügbare Fließmoment der Schraube.
- Höhere Rohdichten der Hölzer wie z.B. bei Laubhölzern führen zu höheren Tragfähigkeiten der Verbindung und damit auch zu höheren Normal- und Scherkräften in der Schraube.
- Eine geneigte Schraubenanordnung durch eine Verringerung des Winkels zwischen Schraubenachse und Scherfuge führt zu einer signifikanten Verringerung der Abscher- und damit Momentenbeanspruchung und einer entsprechenden Erhöhung der Axialbeanspruchung.

Bei auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln wird bisher die Abnahme des Fließmoments mit zunehmenden Axial- oder Scherkräften im Verbindungsmittel nicht berücksichtigt. Unabhängig von der Ausnutzung des Schraubenquerschnitts durch Zug- oder Scherkräfte wird einerseits das volle Fließmoment angesetzt, zum Nachweis der Schraubenzugbeanspruchung bei der Berücksichtigung des Seileffekts in Stahlblech-Holz-Verbindungen mit einem plastischen Gelenk in der Scherfuge andererseits auch die volle Zugtragfähigkeit. Abb. 2 zeigt die Abnahme des Fließmoments mit zunehmender Ausnutzung durch Zug- oder Scherkräfte.

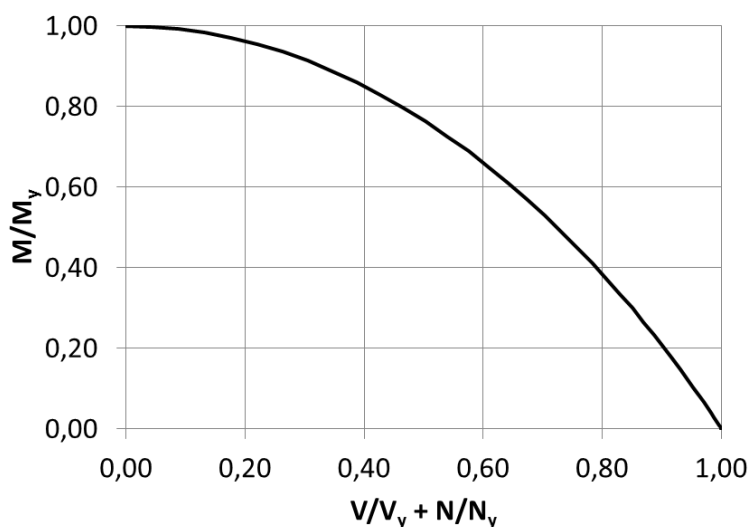


Abbildung 2: Biegemoment-Normalkraft-Scherkraft (MNV) Interaktion für Kreisquerschnitte mit elastisch-plastischer Spannungs-Dehnungs-Beziehung

Blaß et al. [3] haben gezeigt, dass eine Vernachlässigung der MNV-Interaktion zu einer Überschätzung der Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Schraubenverbindungen von bis zu 40% führen kann. Diese Werte treten insbesondere bei hohen Rohdichten des Holzes und großen Gewindelängen der Schrauben auf.

Höhere Rohdichten des Holzes, die mit zunehmender Laubholzverwendung immer häufiger auftreten, erschweren eine Verwendung von Holzschrauben durch den hohen Eindrehwiderstand. Nach Eurocode 5 ist bei charakteristischen Rohdichten über 500 kg/m^3 grundsätzlich vorzubohren, weitere Einschränkungen für das Eindrehen von Schrauben ohne Vorbohren ergeben sich bei spaltgefährdeten Hölzern, für die insbesondere bei größeren Schraubendurchmessern auch bei noch geringeren Rohdichten vorgebohrt werden muss.

Im Hinblick auf die Verwendung von Holzschrauben bei Laubholzprodukten wird u.a. am Karlsruher Institut für Technologie zusammen mit einem Schraubenhersteller an der Entwicklung spezieller Holzschrauben gearbeitet, mit denen Schraubenverbindungen auch ohne Vorbohren des Laubholzes herstellbar sind. Die Teilgewindeschrauben (siehe Abb. 3) sind im Hinblick auf ein geringes Einschraubdrehmoment optimiert, die Gewindelänge ist wegen der hohen Ausziehparameter der Schrauben in Laubholz entsprechend kurz.

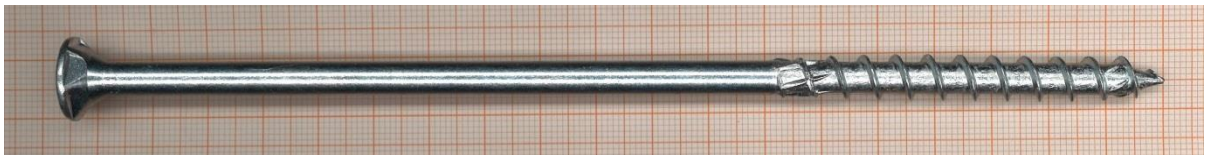


Abbildung 3: Prototyp einer speziell für Laubholz entwickelten Holzschraube (Foto: Frese)

3. Axial beanspruchte Holzschrauben

Werden Holzschrauben unter einem geringeren Winkel als 90° zur Scherfuge der Verbindung angeordnet, ist der Seileffekt von Beginn der Belastung an vorhanden und signifikant höher als bei rechtwinklig zur Scherfuge angeordneten Schrauben, siehe Bejtka [4]. Dies bedeutet, dass mit kleiner werdendem Winkel der Anteil der Axialbeanspruchung der Schraube an der Gesamtlast ansteigt und der Anteil der Abscherbeanspruchung sinkt. Da die Steifigkeit bei Axialbeanspruchung etwa eine Größenordnung höher ist als bei Abscherbeanspruchung, wird bei Winkeln zwischen Schraubenachse und Scherfuge unter etwa 45° und ausreichender Verankerung der Schraube im Holz praktisch die gesamte Last durch Axialbeanspruchung der Schraube übertragen.

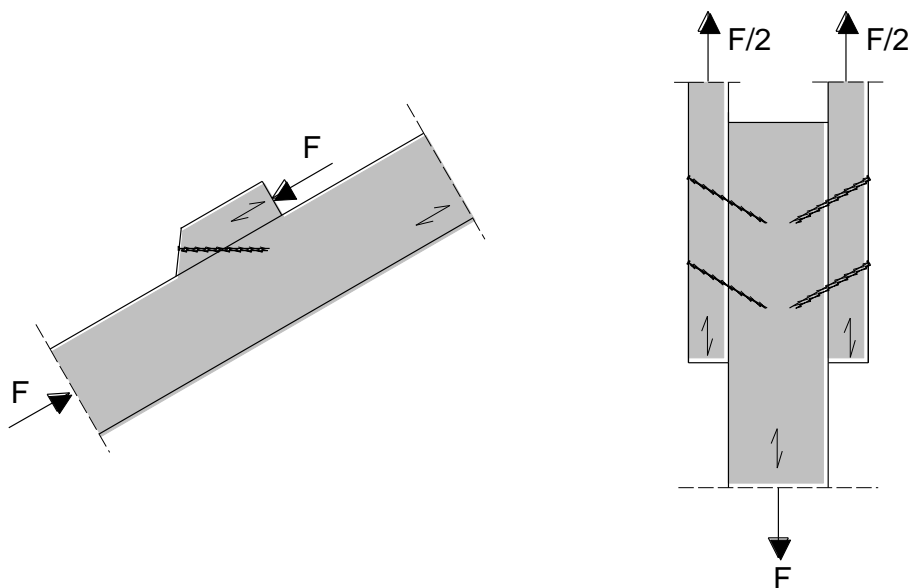


Abbildung 4: Verbindungen mit geneigt angeordneten Holzschrauben

Wegen der hohen Axialtragfähigkeit insbesondere von Vollgewindeschrauben wird das Prinzip der Verbindungen mit geneigt oder gekreuzt angeordneten Schrauben in Holz-Holz- oder Stahlblech-Holz-Verbindungen vor allem bei Systemverbindern und bei hochbeanspruchten Verbindungen des Ingenieurholzbaus angewandt. Bei Verbindungen mit gekreuzter Schraubenanordnung ist dabei besonders darauf zu achten, dass sich benachbarte, kreuzende Schrauben beim Eindrehen nicht berühren, damit eine Schädigung des Gewindes vermieden wird (siehe Abb. 5).



Abbildung 5: Vollgewindeschraube mit beschädigtem Gewinde auf der Seite der Spitze

Der Vorteil planmäßig ausschließlich axial beanspruchter Schrauben liegt nicht nur in der deutlich höheren Tragfähigkeit der Verbindung, sondern auch in ihrer wesentlich größeren Steifigkeit. Diese liegt etwa eine Größenordnung über derjenigen auf Abscheren beanspruchter Schrauben. Eine hohe Axialsteifigkeit verbessert insbesondere die Tragfähigkeit und Steifigkeit nachgiebig verbundener Bauteile. Bisher gibt es in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen oder ETAs zwei zum Teil sehr unterschiedliche Niveaus der Axialsteifigkeit für Schrauben unterschiedlicher Hersteller. Durch ein Forschungsvorhaben am KIT konnten die Ursachen für diese Unterschiede identifiziert werden. Für die Zukunft sind hier einheitliche Werte unabhängig vom Schraubenhersteller zu erwarten. Zutreffende Steifigkeitswerte ermöglichen auch eine realistischere Vorhersage der Lastverteilung in Verbindungen mit mehreren in Krafrichtung hintereinander angeordneten Schrauben oder allgemein in statisch unbestimmten Konstruktionen.

Für Laubholzverbindungen kommen Vollgewindeschrauben in der Regel nicht in Frage, da zum einen der Eindrehwiderstand sehr hoch ist und andererseits die kurzen Gewindelängen der Teilgewindeschrauben ausreichen, um Ausziehtragfähigkeiten zu erreichen, die gleich der Zugtragfähigkeit der Schraube selbst sind. Da die Kopfdurchziehtragfähigkeit allerdings auch bei Laubholz in der Regel geringer ist als die Zugtragfähigkeit der Schraube, wurden Zylinderhufscheiben entwickelt, die in passende Sacklöcher im Laubholz eingelassen werden (siehe Abb. 6) und für unter 45° angeordnete Schrauben einen Kopfdurchziehstand in der Höhe der Zugtragfähigkeit der Schraube gewährleisten.

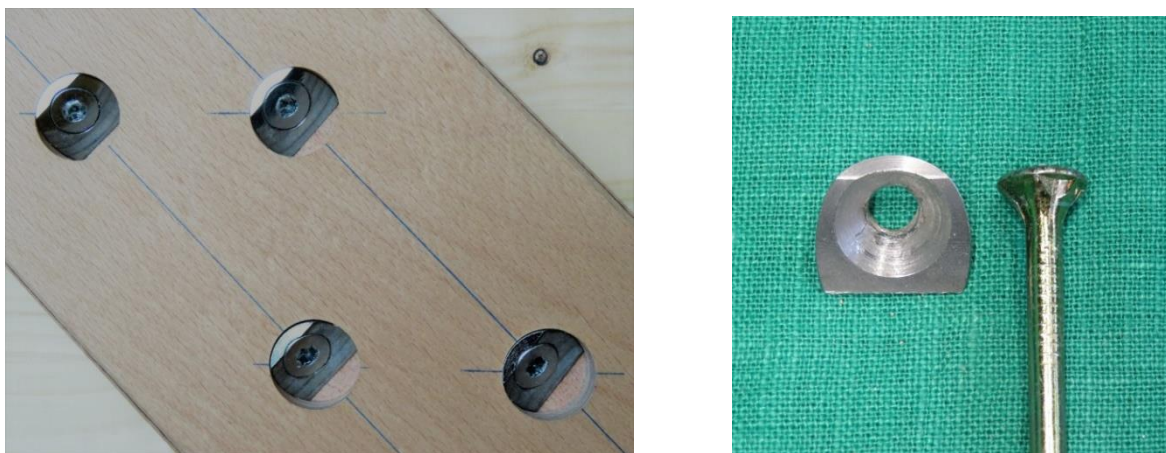


Abbildung 6: Verankerung geneigt angeordneter Teilgewindeschrauben in Furnierschichtholz aus Buche mit Zylinderhufscheiben (Frese, Cera und Wunderlich)

Außer für Verbindungen werden selbstbohrende Holzschrauben insbesondere mit Vollgewinde auch für Verstärkungen rechtwinklig zur Faser eingesetzt. Dies ist insbesondere in den Fällen vorteilhaft, in denen die geringe Quersugfestigkeit des Holzes ein vorzeitiges Aufspalten begünstigt oder in denen größere Querdruckverformungen vermieden werden sollen. Beispiele für Quersugverstärkungen sind ausgeklinkte Trägersauflager, Quer-

anschlüsse, Durchbrüche, Firstbereiche gekrümmter Träger oder von Satteldachträgern oder Stabdübelverbindungen (siehe Abb. 7 bis 10), Querdruckverstärkungen werden insbesondere bei Auflagern und Lasteinleitungspunkten eingesetzt (Abb. 11).

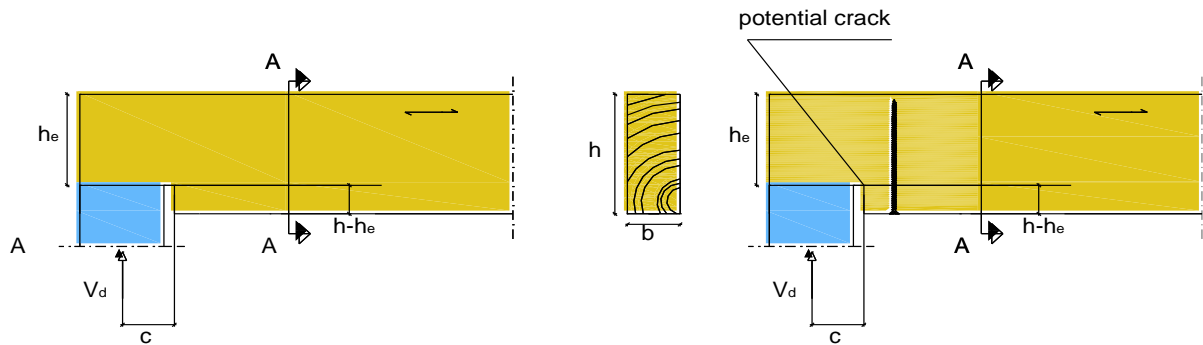


Abbildung 7: Ausgeklinktes Trägersauflager ohne (links) und mit (rechts) Verstärkung rechtwinklig zur Faser

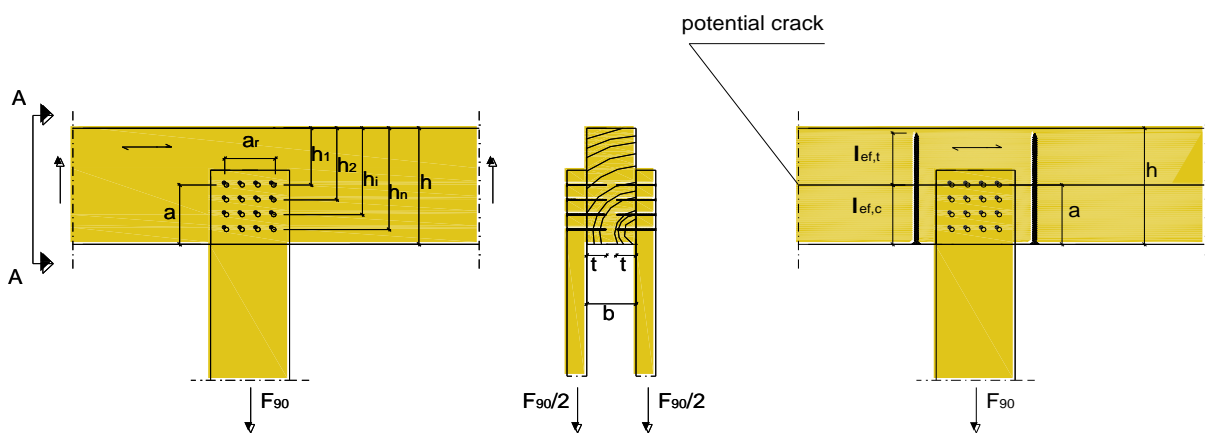


Abbildung 8: Queranschluss ohne (links) und mit (rechts) Verstärkung rechtwinklig zur Faser

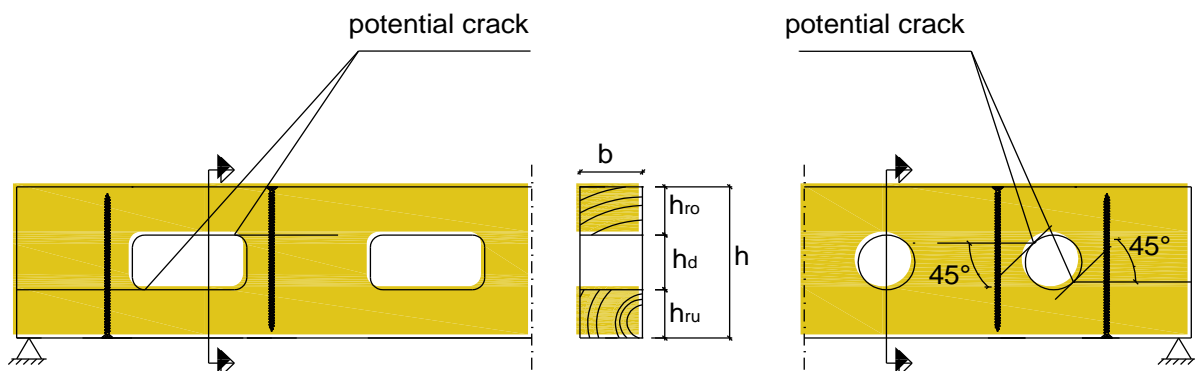


Abbildung 9: Rechteckige (links) und runde (rechts) Durchbrüche ohne und mit Verstärkung rechtwinklig zur Faser

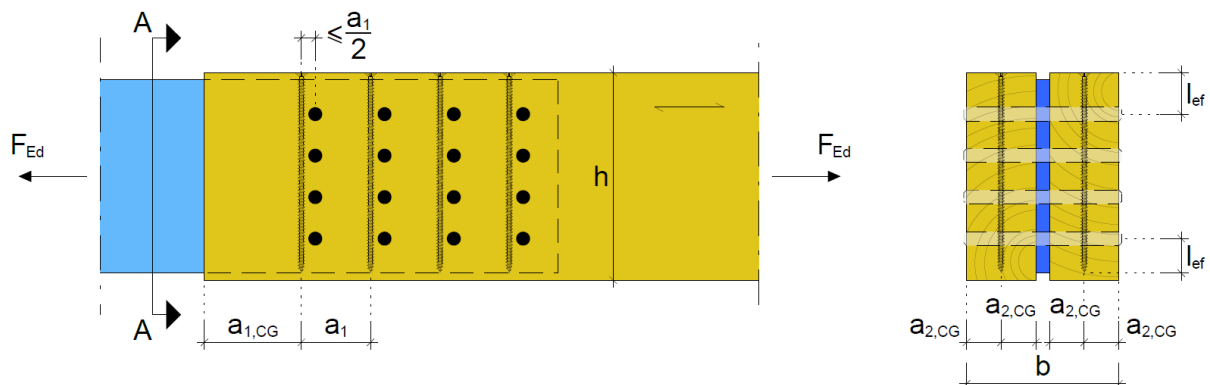


Abbildung 10: Stahlblech-Holz-Verbindung mit Stabdübeln und Verstärkung rechtwinklig zur Faser

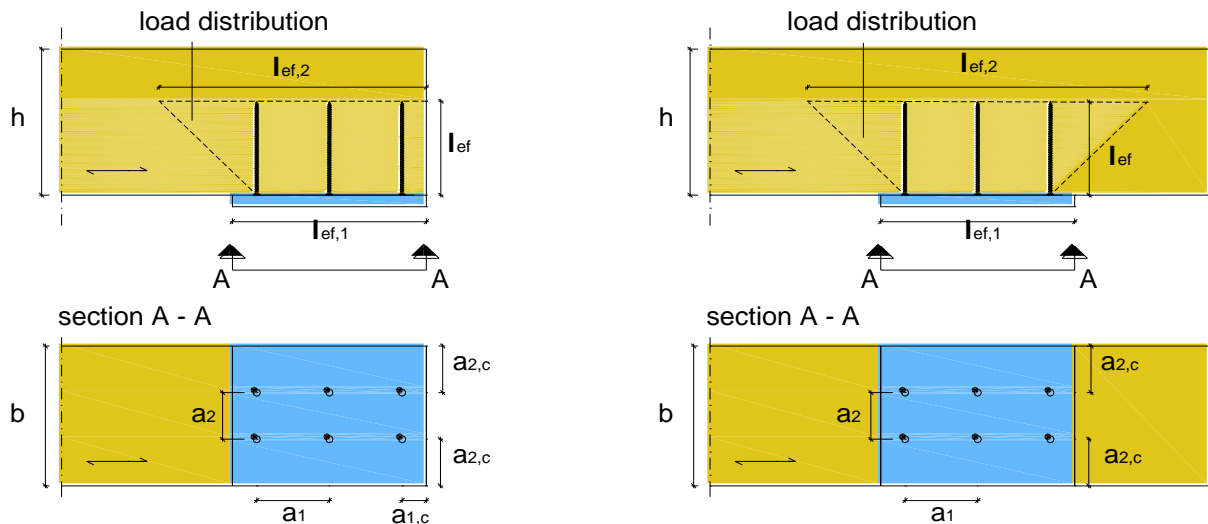


Abbildung 11: Stahlblech-Holz-Verbindung mit Stabdübeln und Verstärkung rechtwinklig zur Faser

Neuere Untersuchungen zu Verstärkungen mit Vollgewindeschrauben für ausgeklinte Trägerauflager [5] und Durchbrüche in Brettschichtholz [6] berücksichtigen außer der Querkzugbeanspruchung im Rissbereich auch die lokal hohe Schubbeanspruchung. Durch das Schrägstellen der Schrauben im Bereich der größten Querkzug- und Schubbeanspruchung mit Winkeln zwischen 60° und 45° zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung lässt sich eine signifikante Tragfähigkeitssteigerung gegenüber rechtwinklig zur Faser angeordneten Schrauben erreichen.

4. Literatur

- [1] Johansen, K. W.: Forsøg med traeforbindelser. Medd. 10, Lab. for Bygningsstatik Danm. Tekn. Højskole, Kopenhagen (1941).
- [2] Meyer, A.: Die Tragfähigkeit von Nagelverbindungen bei statischer Belastung. Holz als Roh- und Werkstoff (1957) 15: 96. doi: 10.1007/BF02609174.
- [3] Blaß, H.J., Sandhaas, C. und Meyer, N.: Steel-to-timber connections: Failure of laterally loaded dowel-type fasteners. Paper 50-7-1, Proceedings, INTER Meeting, Kyoto, Japan (2017).
- [4] Bejtka, I. und Blaß, H.J.: Joints with inclined screws. Paper 35-7-4, Proceedings, CIB-W18 Meeting, Kyoto, Japan (2002).
- [5] Jockwer, R., Frangi, A., Serrano, E. und Steiger, R.: Enhanced design approach for reinforced notched beams. Paper 46-6-1, Proceedings, CIB-W18 Meeting, Vancouver, Canada (2013).
- [6] Danzer, M., Dietsch, P. und Winter, S.: Round Holes in Glulam Beams Arranged Eccentrically or in Groups. Paper 50-12-6, Proceedings, INTER Meeting, Kyoto, Japan (2017).