

Brandsicherheit von Verbindungen mit Balkenschuhen und Vollgewindeschrauben

Grundlagen zum Nachweis der Brandtragfähigkeit von Verbindungen im Ingenieurholzbau

Traditionell werden Bauteilverbindungen im Holzbau mit zimmermannsmäßigen, formschlüssigen Verbindungen hergestellt. Sie lassen sich mit Handwerkzeugen herstellen und kommen teilweise ohne metallische Verbindungsmittel aus. Durch die Schwächung der verbundenen Holzquerschnitte ist jedoch ihre Tragfähigkeit begrenzt, und die Steifigkeiten der Verbindungen sind oft verhältnismäßig gering.

Im modernen Ingenieurholzbau kommen daher heute vorwiegend industriell gefertigte Bauteilverbinder aus Stahl- oder Aluminiumformteilen und zunehmend geschraubte Anschlüsse sowie über CNC-Technik gefräste Holz-Holz-Passverbindungen zur Anwendung.

Autoren:

Martin Gräfe,
Veronika Hofmann,
Norman Werther,
Stefan Winter
TU München, Lehrstuhl für Holzbau
und Baukonstruktion

- Empfehlungen zu einer zweckmäßigen Ausführung solcher Verbindungen zur Erreichung bestimmter Feuerwiderstandsdauern zu erarbeiten,
- Empfehlungen zu möglichen Schutzmaßnahmen (z. B. Brandschutzanstriche) zur Verbesserung der Tragfähigkeit im Brandfall abzuleiten,
- das Wissen um den Einfluss von stiftförmigen Verbindungsmitteln auf das Abbrandverhalten von Holzbauteilen zu erweitern,
- Aussagen hinsichtlich des Verhaltens nicht explizit untersuchter Verbindertypen zu ermöglichen.

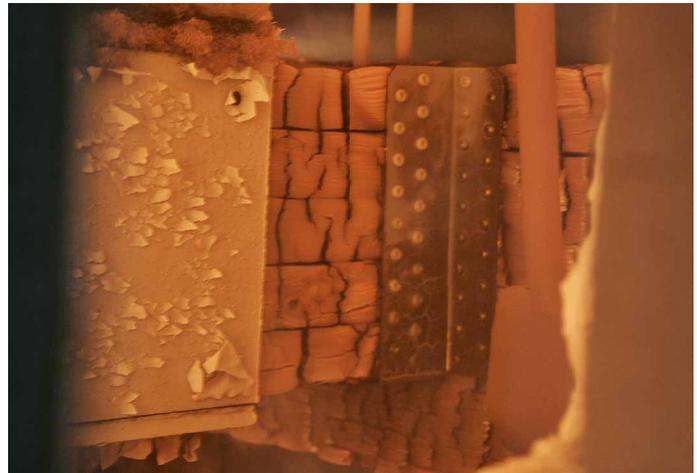
Die Bemessung für den Kaltzustand erfolgt über normative Nachweise [DIN EN 1995-1-1] oder herstellerspezifische Verwendbarkeitsnachweise, wie durch europäische technische Bewertungen (ETA) und ist somit klar geregelt. Eine baurechtlich gesicherte Anwendung wird so ermöglicht. Die Vorgehensweise bei der Brandbemessung ist in den technischen Regelwerken allerdings nur lückenhaft definiert, was in der Praxis die Anwendung erschwert oder bestimmte Verbindertypen von der Anwendung ausschließt.

Ein Forschungsvorhaben an der TU München hat hier für neue Erkenntnisse gesorgt: Verbindungen mit Balkenschuhen aus Stahlblech und Verbindungen mit Vollgewindeschrauben wurden auf ihr Brandverhalten untersucht. Ziel des Projektes war:

Es wurden Bemessungsansätze für Vollgewindeschrauben- und Balkenschuhverbindungen entwickelt und konstruktive Empfehlungen z. B. zu Bauteilquerschnitten und Verbindungsmittelanordnungen erarbeitet.

Verbindungen mit Stahlblechformteilen

Verbindungen mit Stahlblechformteilen zeichnen sich durch eine ausgeprägte Duktilität und eine gute Tragfähigkeit im Kaltzustand aus. Üblicherweise können die Tragfähigkeiten der verbundenen Bauteile erreicht oder sogar übertroffen werden. Sie sind preisgünstig, leicht zu verarbeiten und zu montieren, was zu einer sehr großen praktischen Verbreitung und zahlreichen speziellen Formen,



Anwendungen und Herstellern geführt hat.

Schwieriger zu beurteilen ist das Verhalten im Brandfall, da sich die freiliegenden und verhältnismäßig dünnen Verbindungsmittel und Stahlbleche schnell erwärmen und an Festigkeit verlieren.

Die Bemessung erfolgt entsprechend den herstellerspezifischen Verwendbarkeitsnachweisen. Für den Brandfall liegen bisher vielfach keine oder nur unvollständige Regelungen in entsprechenden Zulassungen vor, was eine Anwendung bei Anforderungen an die Brandtragfähigkeit häufig ausschließt, oder nur in Verbindung mit z. B. Brandschutzbekleidungen ermöglicht.

Abb 1: Balkenschuhverbindung im Brandversuch

Verbindungen mit Vollgewindeschrauben

Die Verwendung von Vollgewindeschrauben im Ingenieurholzbau hat in den letzten Jahren ebenfalls stark zugenommen. Große Vorteile liegen in der einfachen Verarbeitung und der weitgehenden Unsichtbarkeit der Verbindungsmittel, was insbesondere bei architektonisch anspruchsvoller Gestaltung gefragt ist. Die Kalttragfähigkeit ist bei gleichen Holzquerschnitten in der Regel geringer als bei Stahlblechformteilen. Das Tragverhalten ist durch hohe Steifigkeit, aber sprödes Versagen gekennzeichnet. Im Brandfall haben Schraubenverbindungen den Vorteil, dass sie durch das umgebende Holz vor direkter Brandeinwirkung geschützt sind. Die Schrauben erwärmen sich daher bei Abdeckung des



Abb. 2: Typischer Balkenschuh aus Stahlblech, GH Baubeschläge

Schraubenkopfes nur langsam, und behalten abhängig von der Holzüberdeckung relativ lange ihre Tragfähigkeit.

Schraubenverbindungen können für den Kaltbemesungsfall und eingeschränkt auch für den Brandfall nach DIN EN 1995-1 nachgewiesen werden. Alternativ besteht in der Regel die Möglichkeit des Nachweises entsprechend der jeweiligen herstellereigenen Zulassungen, was häufig gegenüber den normativen Angaben verbesserte Tragfähigkeiten ergibt. Bei der brandschutztechnischen Bemessung bestehen jedoch für viele praktische Anwendungen und Bauteilgeometrien noch Regelungslücken und Unklarheiten. So sind beispielsweise Schraubenverbindungen ohne Holzüberdeckung des Schraubenkopfes bisher nicht geregelt.

Brandversuche

Es wurden zunächst unbelastete Brandversuche mit ausgewählten Verbindertypen durchgeführt, um deren Abbrandverhalten zu erfassen und typische Einflüsse durch die Verbindungsmittel zu bestimmen. Zudem wurden durch Temperaturmessungen der Zeit-Temperaturverlauf des Holzes und der Verbindungsmittel unter Brandeinwirkung bestimmt.

Anzeige

Auf Basis dieser Versuche wurden Verbindungskonfigurationen ausgewählt, die voraussichtlich über 30 bzw. 60 Minuten Brandeinwirkung eine vorher berechnete Resttragfähigkeit behalten sollten. Diese Verbindungen wurden anschließend einer allseitigen Brandeinwirkung nach Ein-

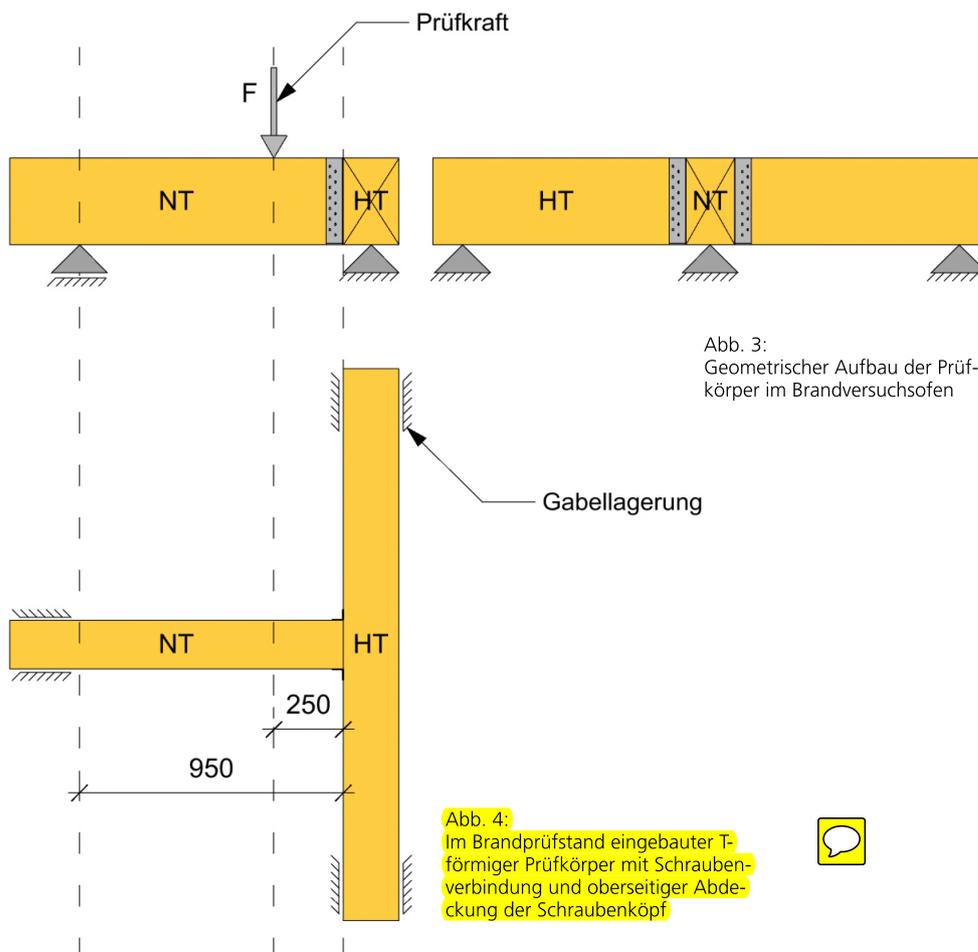


Abb. 3: Geometrischer Aufbau der Prüfkörper im Brandversuchsofen

Abb. 4: Im Brandprüfstand eingebauter T-förmiger Prüfkörper mit Schraubenverbindung und oberseitiger Abdeckung der Schraubenköpfe

heits-Temperaturzeitkurve ausgesetzt, und gleichzeitig bis zum Bauteilversagen mechanisch belastet. Es wurde auf alle Verbindungen während der Brandprüfungen eine konstante Belastung von 40 % der vorher abgeschätzten Tragfähigkeit unter Brandeinwirkung aufgebracht, und diese Last am Ende der Versuchsdauer bis zum Bruch gesteigert. Kraft und Verformung wurden dabei kontinuierlich aufgezeichnet (vgl. Abbildung 3).

Die Prüfkörper waren T-förmig aus jeweils einem Hauptträger (HT) und einem Nebenträger (NT) zusammengesetzt, die Länge des Hauptträgers betrug dabei einheitlich 2000 mm, die des Nebenträgers 1200 mm. Die Querschnitte wurden je nach Verbindungstyp variiert. Im Fall der untersuchten Balkenschuhverbindungen kamen nur Ausführungen mit außen liegenden Laschen gemäß ETA 08/0264 zur Anwendung, da diese sich auf Basis der Voruntersuchungen als maßgebender Anwendungsfall darstellten.

Schlussfolgerungen zum Brandverhalten von Balkenschuhverbindungen

Maßgebend für das Bauteilversagen war in allen untersuchten Konfigurationen ein Versagen im Anschlussbereich des Nebenträgers, bzw. der Verbindungsmittel im Nebenträger nach großen plastischen Verformungen von bis zu 50 mm. Typisch ist das Herausziehen der Verbindungsmittel aus dem Restquerschnitt des Nebenträgers sowie teilweise auch aus dem oberen Bereich des Hauptträgers. Der Nebenträger verschiebt sich dabei in seiner Längsrichtung vom Hauptträger weg und gleichzeitig in Krafrichtung nach unten. Aufgrund der Temperatureinleitung durch die Verbindungsmittel in das Holz kommt es im Anschlussbereich zu deutlich erhöhten Abbrandraten im Vergleich zum Regelquerschnitt des Nebenträgers (siehe Abb.5). Infolgedessen werden die Verbindungsmittel zunehmend verformt und auf

Herausziehen beansprucht, im Gegensatz zur hauptsächlich Beanspruchung auf Abscheren im Kaltzustand. Bei keinem der Versuchskörper kam es zu einem vorzeitigen Versagen, bzw. Abreißen des Bleches des Verbinders.

Für Ausführung von über 30 Minuten feuerwiderstandsfähigen Balkenschuhverbindungen mit einer Tragfähigkeit von bis zu 1/3 der charakteristischen Kalttragfähigkeit können die folgenden Empfehlungen abgeleitet werden:

- Der Querschnitt der Nebenträger muss mindestens 140 mm x 200 mm betragen. Um Querschnittversagen zu verhindern muss das Verhältnis $a/h > 0,7$ gemäß DIN EN 1995-1-1 im Hauptträger eingehalten werden. Die verwendeten Bleche müssen mindestens 2 mm dick sein.
- Größere Querschnittsabmessungen in der Höhe und/oder der Breite ergeben ausschließlich positive Einflüsse

Tabellen 1 und 2: Abmessungen und Verbindungstypen der Schrauben- und Balkenschuhanschlüsse in den belasteten Brandversuchen

Nr.	Balkenschuh-typ gem. ETA 08/0264	Brandbeanspruchungsdauer [min]	Verbindungsmittel	NT-Querschnitt [min]	HT-Querschnitt [min]	Verhältnis μ_{fi} R_{fi}/R_k
B1	Typ 04	30	Rillennägel 4 x 60 mm	120 x 160	200 x 320	0
B2	Typ 05	30	Schrauben 5 x 60 mm	120 x 240	200 x 320	0,08
B3	Typ 05	30	Schrauben 5 x 70 mm	140 x 200	200 x 320	0,21
B3a	Typ 05	30	Schrauben 5 x 70 mm	140 x 200	200 x 320	0,33
B4	Typ 05	30	Rillennägel 4 x 75 mm	140 x 200	200 x 320	0,19

Nr.	Verbindungsmittel	Brandbeanspruchungsdauer [min]	NT-Querschnitt [min]	HT-Querschnitt [min]	Verhältnis μ_{fi} R_{fi}/R_k
S1	Vollgewindeschrauben ø 6 mm x 180 mm	30	87 x 161	100 x 161	0,58
S2	Vollgewindeschrauben ø 6 mm x 180 mm	60	143 x 188	120 x 188	0,51
S3	Vollgewindeschrauben ø 6 mm x 180 mm	30	90 x 156	100 x 156	0,59
S4	Vollgewindeschrauben ø 12 mm x 350 mm	30	176 x 315	160 x 315	0,84

auf die Tragfähigkeit im Brandfall, sowohl in den Absolutwerten als auch relativ zur Kaltragfähigkeit.

- Der Fugenspalt zwischen Haupt- und Nebenträger sollte so gering wie möglich gewählt werden und darf maximal 4,0 mm betragen. Ein gesondertes verschließen ist nicht notwendig.
- Schrauben haben im Vergleich mit Rillennägeln bei ansonsten gleichen Randbedingungen eine wesentlich höhere Rest-Auszugsfestigkeit, was sich erheblich positiv auf die Tragfähigkeit im Brandfall auswirkt (vgl. Tabelle 1).
- Verbindungsmittel sollten eine Mindestlänge von 70 mm und einen Nenndurchmesser von 4,0 oder besser 5,0 mm aufweisen.

Anzeige

ZWEI, DIE AUF NACHHALTIGKEIT BAUEN



Besuchen Sie uns auf der BAU 2017 in München: 16. - 21. Januar, Halle B5, Stand 320



INSPIRATIONS
CLOSE TO YOU

Die emissionsarme Holzwerkstoffplatte LivingBoard ist die ideale Wahl für den wohngesunden Holzrahmen- und Innenausbau. Die Faserplatte StyleBoard MDF.RWH eignet sich perfekt als diffusionsoffene Unterdeckung für Dach und Wand. Beide Boards sind 100 % formaldehydfrei und feuchtebeständig PU-verleimt.





Abb. 5:
Balkenschuhverbindung nach Brand-
einwirkung

- Im Haupt- als auch Nebenträger müssen zwei Reihen Verbindungsmittel über die gesamte Höhe des Balkenschuhs angeordnet werden, z.B. ETA 08/0264 Typ 05. Soweit in den Zulassungen für die Kaltbemessung weniger Verbindungsmittel als Löcher in den Balkenschuhen vorgesehen sind, ist trotzdem eine Vollausnagelung, bzw. Vollausschraubung vorzusehen.
- Balkenschuhe mit innen- oder außenliegenden Laschen können gleichwertig

Anzeige



Tief stapeln – hoch laden!

Tele-Sattel und Wechselsystem Typ X-SW



Informationen unter +49 9234 9914-0 oder www.auwaerter.com

verwendet werden. Die Laschenanordnung wirkt sich kaum auf die Brandtragfähigkeit der Verbindung aus.

Schlussfolgerungen zum Brandverhalten von Vollgewindeschraubenverbindungen

Das Trag- und Versagensverhalten von gekreuzten Vollgewindeschrauben im Brandfall zeigt die folgenden typischen Merkmale: Aufgrund der Temperaturerhöhung des Holzes reduziert sich der Auszieh Widerstand der Vollgewindeschrauben im Vergleich zur Prüfung unter Raumtemperatur. Zugbelastete Schrauben werden nach dem Überschreiten der Auszugsfestigkeit aus dem Holz herausgezogen, die druckbelasteten Schrauben werden dabei verbogen und abgesichert. Das Versagensverhalten zeigt eine geringe Duktilität.

Für unter 45° gekreuzte Vollgewindeschrauben mit einer Brandbeanspruchbarkeit über 30 bzw. 60 Minuten ergibt sich der Mindestquerschnitt der Nebenträger in Abhängigkeit der Wahl der Holzüberdeckung. Die Schraubenköpfe sollten mit einer Holzüberdeckung entsprechend dem unteren Randabstand a_3 versehen werden. Die empfohlenen Randabstände der Schrauben sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Wenn diese Abstände eingehalten werden, kann mit einer Resttragfähigkeit in Höhe von 50 % der charakteristischen Kalttragfähigkeit gerechnet werden (vgl. Tabelle 2).

Ausblick

Der aktuelle Wissensstand zum Brandverhalten von Holzverbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Stahlblechformteilen wurde zusammengestellt und durch eigene Versuche und Berechnungen erweitert. Es konnten wesentliche grundsätzliche Erkenntnisse zum Verhalten dieser Verbindungen gewonnen werden, was die ingenieurmäßige Beurtei-

lung weiterer, nicht explizit untersuchter Verbindertypen ermöglicht.

Vollgewindeschrauben können auch mit ungeschütztem Schraubenkopf eingebaut werden. Sie sollten dann einen möglichst kleinen Durchmesser und eine große Länge aufweisen damit die durch den Schraubenkopf zusätzlich eingeleitete Wärmeenergie durch ein günstiges Verhältnis von Schraubenquerschnittsfläche zu Schraubenumfang an das umgebende Holz abgeleitet werden kann.

Für Verbindungen mit Balkenschuhen aus Stahlblech und Vollgewindeschrauben wurde die tatsächliche Tragfähigkeit im Brandfall experimentell bestimmt. Aus dem Vergleich der erreichten Tragfähigkeiten mit der jeweiligen charakteristischen Tragfähigkeit im Kaltzustand wurden detaillierte Schlüsse gezogen, welche Parameter sich günstig oder ungünstig auswirken.

Es konnte nachgewiesen werden, dass bei zweckmäßiger Ausführung sowohl Verbindungen mit Balkenschuhen als auch mit Vollgewindeschrauben geeignet sind, eine in üblichen Bemessungssituationen ausreichende Tragfähigkeit über die Brandbeanspruchungsdauer von 30 bzw. bis zu 60 Minuten zu erhalten.

Bei gleichen Holzquerschnitten erreichen Verbindungen mit Vollgewindeschrauben in der Regel eine geringere Tragfähigkeit im Kaltbemessungsfall als Verbindungen mit Balkenschuhen, dafür sind die erreichbaren Resttragfähigkeiten nach der Brandeinwirkung verhältnismäßig höher. Dies liegt daran, dass die Schrauben durch entsprechende Holzüberdeckungen vor Temperatureinwirkung geschützt werden. Zur Bemessung dieser Holzüberdeckungen konnte ein gegenüber den aktuellen normativen Vorgaben der DIN EN 1995-1-2 deutlich verbesserter Vorschlag gemacht werden.

Für den baurechtlichen Verwendungsnachweis und damit die Anwendbarkeit der Ergebnisse in der Baupraxis

Tabelle 3: Randabstände der Vollgewindeschrauben

Branddauer	Brettschichtholz (Nadelholz und Buche mit $\rho_k \geq 290\text{kg/m}^3$)
30 min	$a_{4,c} = \max \left\{ 29\text{ mm} + \frac{d}{2}; \beta_n \cdot t_{d,fi} + 1,6 \cdot d \right\}$
	$a_{4,c} = \max \left\{ 29\text{ mm} + \frac{d}{2}; 21\text{ mm} + 1,6 \cdot d \right\}$
	$a_3 = 29\text{ mm}$
	$a_2 = 2,5 \cdot d$
60 min	$a_{4,c} = 61\text{ mm} + \frac{d}{2}$
	$a_3 = 61\text{ mm}$
	$a_2 = 2,5 \cdot d$

sind entsprechend erweiterte bauaufsichtliche herstellerspezifische Verwendbarkeitsnachweise bzw. normative Grundlagen erforderlich. Die Forschungsergebnisse bieten eine umfangreiche Grundlage zur Erstellung solcher Dokumente und können so in die Praxis übertragen werden.

Der vollständige Forschungsbericht ist unter www.irb.fraunhofer.de kostenlos als Download verfügbar.

Die Autoren danken dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung für die finanzielle Unterstützung des

Projektes (AZ II 3-F20-11-1-023 / SWD-10.08.18.7-12.45) im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau als auch den Beteiligten Industriepartnern GH-Baubeschläge GmbH und SPAX International GmbH. ■

Literaturverweise

[Gräfe 2014] Gräfe, M., Hofmann, V., Werther, N.: Untersuchungen zum Brandverhalten von querkraftbeanspruchten Verbindungen bei Holzbaukonstruktionen, Neuentwicklung und Optimierung von Verbindungssystemen und allgemeinen Konstruktionsregeln. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, TU München 2015

[DIN EN 1995-1-1] DIN EN 1995-1-1: 2010-12 „Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln für den Hochbau“

[DIN EN 1995-1-2] DIN EN 1995-1-2: 2010-12: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2 Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

[ETA 08/0264] European Technical Approval: GH Joist Hangers Type TOP, 04 Kombi, 05 Kombi

[ETA 12/0114] European Technical Approval: Self tapping screws for use in Timber structures

[Z-9.1-519] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Spax® -S Schrauben mit Vollgewinde als Holzverbindungsmittel

[Grabner 2013] Grabner, M.: Einflussparameter auf den Ausziehstand selbstbohrender Schrauben in BSP-Schmalflächen, Master Thesis Technische Universität Graz, April 2013

[Steinhagen 1977] Steinhagen, P.: Thermal Conductivity Properties of Wood, Green or Dry, From -40°C to 100°C A Literature Review. USDA Forest Service General Technical Report FPL-9, 1977

Anzeige

Die neuen Stars beim Dämmen.



BAU 2017

16.-21. Januar · München

Live bei URSA auf dem roten Teppich!

BAU 2017
Halle A1 Stand 121

Wir freuen uns auf Sie!



www.ursa.de

