

Neue Entwicklungen zum Brandschutz von Stahlbauteilen – Bekleidungen aus Holz

1 Einleitung

Der moderne Stahlhochbau besticht durch offene und architektonisch ansprechende Tragstrukturen, die oftmals auch als gestalterische Elemente eines Bauwerks eingesetzt werden. Der leistungsfähige Baustoff Stahl ermöglicht es dabei aufgrund der hohen Festigkeitseigenschaften mit vergleichsweise geringem Materialaufwand große Spannweiten freitragend zu überspannen. Beispielsweise werden Dachtragwerke von Sportarenen oder wettkampftauglichen Mehrzweckhallen mit filigranen Fachwerkstrukturen stützenfrei überspannt. Aufgrund der filigranen Bauweise unterliegen Stahlstrukturen jedoch stets der Gefahr, dass sie im Brandfall durch den Einfluss hoher Temperaturen schnell ihre Tragfähigkeit verlieren. Der bauordnungsrechtlich geforderte Feuerwiderstand, der für Rettungs- und Löschmaßnahmen gefordert ist, lässt sich mit ungeschützten Stahlbauteilen in der Regel nicht erreichen. Daher sind tragende Stahlbauteile für den Brandfall zur Erlangung einer gewünschten Feuerwiderstandsdauer zu schützen. Bislang werden Stahlkonstruktionen beispielsweise durch Putze, Brandschutzbekleidungen (Gipsbasis oder Mineralwolle) oder reaktive Brandschutzsysteme (dämmschichtbildende Systeme [3]) für den Brandfall geschützt. Neben diesen in der Baupraxis herkömmlichen Brandschutzmaßnahmen werden derzeit neue Brandschutzbekleidungen von Stahlbauteilen aus Holz durch das Büro shl ingenieure (Hannover) in Kooperation mit dem Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover entwickelt (vgl. Bild 1). Dabei werden zunächst Anforderungen bis zu einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten untersucht. Neben optischen Aspekten weist Holz als Brandschutzbekleidung weitere vorteilhafte Eigenschaften auf, die im Rahmen dieses Beitrags aufgezeigt werden.



a)

b)

Bild 1. Darstellung eines a) 30 mm Rundstahls mit 30 mm Holzbekleidung b) sowie einer 30 mm dicken Holzbekleidung nach 30-minütiger Brandbeanspruchung im Hochtemperaturofen [5]

2 Holz als konstruktiver Brandschutz von Stahlbauteilen

Stahlbauteile erwärmen sich im Brandfall aufgrund der geringen Massigkeit und der hohen Wärmeleitfähigkeit sehr schnell. Holzbauteile erwärmen sich demgegenüber bei einem Brand deutlich langsamer. Dieser Umstand ist auf Verkohlungsprozesse im Holz zurückzuführen, die sehr gute wärmedämmende Eigenschaften bei einer Brandbeanspruchung ausbilden. Die verbrennenden (äußeren) Schichten des Holzes bilden einen thermischen Schutz für den Kern des Querschnitts. Durch den gezielten Einsatz von Holz als Brandschutzbekleidung für Stahlbauteile lässt sich die Feuerwiderstandsdauer von stählernen Tragstrukturen signifikant erhöhen.

Ein wesentlicher Vorteil in der Verwendung von Holz als Brandschutz für Stahlbauteile besteht darin, dass durch die guten thermischen Schutzeigenschaften des Holzes im Vergleich zu bekannten Brandschutzbekleidungen oder -beschichtungen deutlich geringe Temperaturen

im Stahlbauteil auftreten. Übliche Brandschutzsysteme sind darauf ausgerichtet, im Brandfall eine Stahltemperatur von maximal 500 °C sicherzustellen [1, 4], da Stahlbauteile bis zu dieser Temperatur in der Regel noch ausreichende Tragreserven aufweisen. Mit Hochtemperaturversuchen zur thermischen Schutzwirkung von Holz auf Stahlbauteilen in Kooperation mit dem Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover zeigt Sandbrink [5], dass sich durch den gezielten Einsatz von Holz als Brandschutzbekleidung Stahltemperaturen von weniger als 300 °C sicherstellen lassen.

Im Rahmen dieser Versuchsreihe wurden Stahlplättchen mit einer Größe von 60 x 60 x 5 mm mit unterschiedlich dicken Vollholzplatten (20, 30 und 40 mm) bekleidet und im Hochtemperaturofen 30 Minuten der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) ausgesetzt. Der Ansatz dieser Temperaturzeitkurve ist für eine Klassifizierung von Bauteilen in Feuerwiderstandsklassen maßgebend. Die gemessenen Verläufe der Heißgastemperatur und der geschützten Stahlplatten sind in Bild 2 dargestellt.

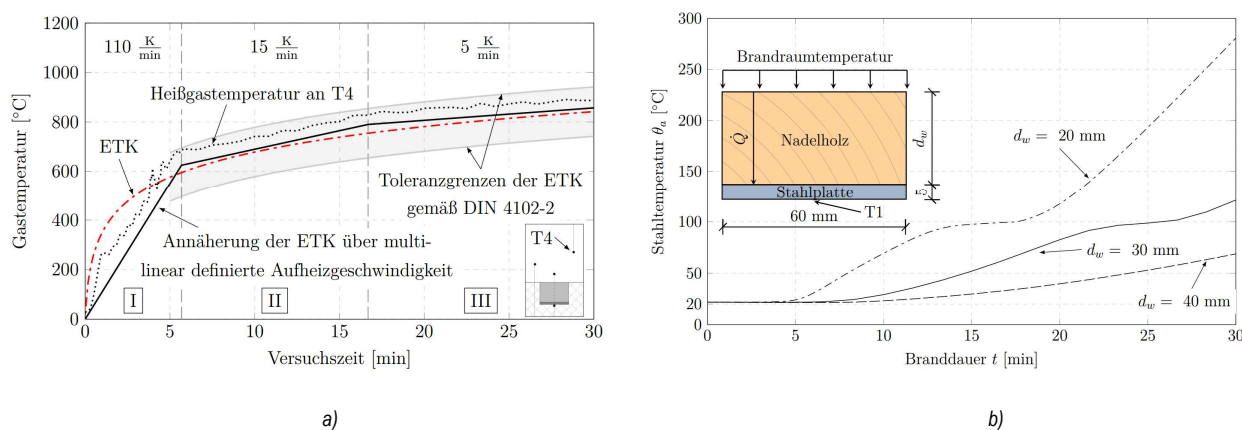


Bild 2. Verlauf der: a) gemessenen Heißgastemperatur b) und der gemessenen Temperaturen der geschützten Stahlplättchen bei unterschiedlichen Vollholz-Bekleidungsstärken ($d_w = 20, 30, 40$ mm) [5]

In Bild 2b ist erkennbar, dass die Vollholz-Brandschutzbekleidung bei einer Brandbeanspruchung unmittelbar wirksam ist und die Stahltemperaturen erst nach 5 – 6 min beginnen anzusteigen. Die Heißgastemperatur weist zu diesem Zeitpunkt bereits eine Temperatur von mehr als 600 °C auf. Im weiteren Verlauf der gemessenen Temperaturkurven ist erkennbar, dass bei einer Temperatur von ca. 100 °C das im Holz gebundene Wasser verdampft und der Temperaturanstieg zeitlich deutlich verzögert wird. Nach einer Versuchsdauer von 30 min betragen die maximalen Stahltemperaturen bei einer Holz-Bekleidungsstärke von 20 mm weniger als 300 °C und bei einer Bekleidungsstärke von 40 mm sogar weniger als 100 °C. Bei diesen Temperaturen weist der Baustoff Stahl noch keine Festigkeitsreduktionen und lediglich geringfügige Steifigkeitsreduktionen auf.

Im Vergleich zu derzeit praxisüblichen Brandschutzbekleidungen oder -beschichtungen treten bei der Verwendung von Holz als Brandschutzbekleidung deutlich geringere Stahltemperaturen auf. Neben der Tragfähigkeit werden durch die geringen Stahltemperaturen auch thermisch induzierte Dehnungen und damit einhergehende Einflüsse auf das Tragverhalten eines Systems im Brandfall minimiert. Beispielsweise bleibt ein filigraner, optisch ansprechender Holzbinder mit einer Stahlunterspannung (vgl. Bild 3) nur bei einer geringen Erwärmung des Stahlelements auch im Brandfall weiterhin ausreichend tragfähig.

Dabei ist Holz als Brandschutzsystem für Stahlbauteile ohne Einschränkung und unabhängig vom Querschnitt (z.B. Zugglieder mit rundem Querschnitt) als Brandschutzbekleidung einsetzbar, da das Hochtemperaturverhalten des Baustoffes Holz normativ in DIN EN 1995-1-2 [2] geregelt ist. Die optischen sowie ökologischen Aspekte, die bei der Verwendung von Holz zum Tragen kommen, stehen im Einklang mit dem heutigen Zeitgeist und können höchsten ästhetischen Ansprüchen genügen. Mit den modernen Methoden der Holzbearbeitungstechnik lassen sich Holzbauteile zudem in nahezu jede gewünschte Querschnittsform bringen und somit optimal an einen Stahlquerschnitt anpassen.

Neben den genannten Aspekten ist ein weiterer bemerkenswerter Vorteil des Baustoffes Holz als Brandschutzsystem insbesondere die hohe brandschutztechnische Nachhaltigkeit. Die thermische Schutzwirkung von Holz als Brandschutzsystem bleibt über die Lebensdauer eines Bauwerks quasi wartungsfrei und dauerhaft erhalten.

3 Anwendung von Holz als Brandschutzbekleidung am Beispiel eines unterspannten Bogenträgers

Ein möglicher Anwendungsfall von Holz als Brandschutzbekleidung soll im Folgenden beispielhaft an einem Dachtragwerk einer Sporthalle veranschaulicht werden. Dachkonstruktionen von Sporthallen sind in der Regel aufgrund der erforderlichen stützenfreien Ausführung des Spielfeldes für Spannweiten von bis zu 30 m auszulegen. Eine ästhetische und architektonisch ansprechende Möglichkeit der stützenfreien Ausführung bietet z.B. ein Bogenträger aus Holz mit einer Stahlseilunterspannung. Durch die Stahlunterspannung wird der Bogenträger primär auf Druck beansprucht, während die Stahlseilunterspannung durch große Zugkräfte beansprucht wird (vgl. Bild 3).

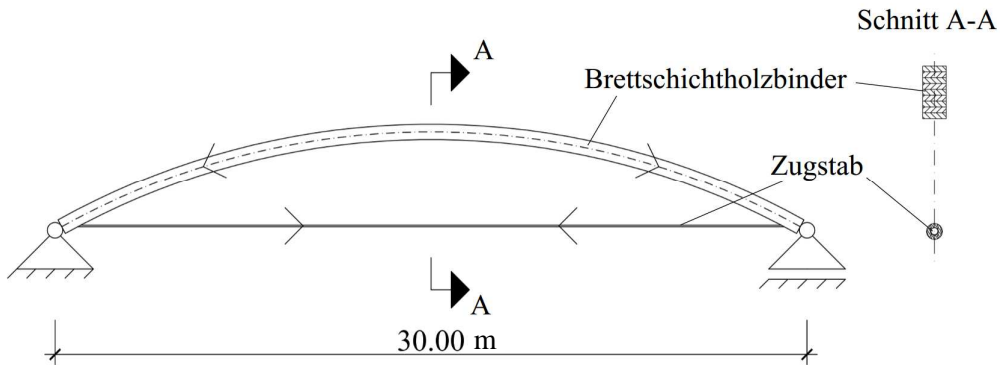


Bild 3. Statisches System eines unterspannten Bogenträgers sowie Schnittdarstellung des verwendeten Brett-schichtholz-binders bzw. der mit Holz bekledeten Stahlunterspannung (nicht maßstäblich)

Mit dieser Konstruktionsweise lässt sich der Bogenträger trotz der großen Spannweite im Vergleich zu einem Biegeträger sehr schlank ausbilden. Damit sich dieses statisch günstige Tragverhalten aus Druck- und Zugkräften einstellen kann, ist die Stahlunterspannung des Bogenträgers, die die Zugkraft überträgt, von elementarer Wichtigkeit. Sofern sich eine brandschutztechnisch ungeschützte Stahlunterspannung im Brandfall zu stark erwärmt, würde der Stahl seine Festigkeit verlieren und der unterspannte Bogenträger seine Tragfähigkeit. Für eine deutliche Reduzierung der Tragfähigkeit des Stahlseils genügt dabei bereits eine große thermische Ausdehnung bzw. Längenänderung des Stahlseils im Brandfall, die die statisch notwendige Zugkraft ggf. kritisch abbaut. Die Spannung auf dem Seil wird dabei so schnell abgebaut, dass die Unterspannung nahezu wirkungslos wird. In Konsequenz bleibt das - ursprünglich - statisch günstige System aus Druckkräften im Bogenträger und Zugkräften in der Unterspannung nicht weiter bestehen. Vielmehr würde die Tragwirkung der Bogenträger im Brandfall nun einem Einfeld-Biegeträger gleichen. Für dieses statische System ist der Bogenträger in der Regel nicht ausgelegt, was ein Versagen im Brandfall zur Folge hätte.

Wird die Stahlunterspannung demgegenüber mit einer Brandschutzbekleidung aus Holz geschützt, erwärmt sich die Stahlunterspannung im Brandfall deutlich langsamer (~ 100 °C nach 30 min Brandeinwirkung nach ETK bei 30 mm Holzbekleidung).

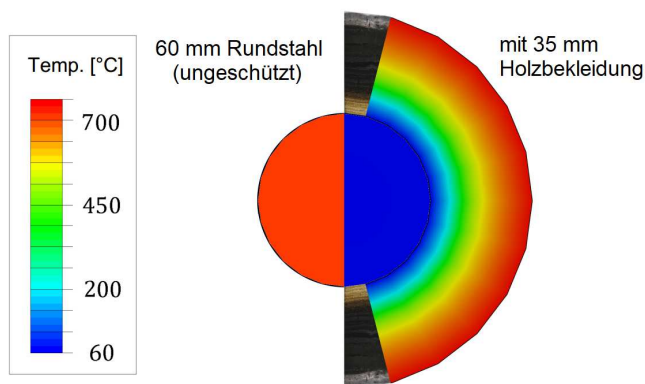


Bild 4. Darstellung der mit ABAQUS [6] numerisch ermittelten Temperaturverteilungen in einem ungeschützten (links) sowie mit 35 mm Holzbekleidung geschütztem (rechts) Stahlquerschnitt Ø 60 mm nach 30 Minuten Normbrandbeanspruchung [5]

Die Tragfähigkeit des statisch günstigen Systems aus Druck- und Zugkräften bleibt auch im Brandfall erhalten, da nur geringe thermische Dehnungen in der Stahlunterspannung auftreten. In Bild 4 ist beispielhaft die Temperaturverteilung einer mit 35 mm Holz bekleideten Stahlunterspannung (Vollkreisquerschnitt Ø 60 mm) nach 30 Minuten ETK-Brandbeanspruchung dargestellt. Die Stahltemperatur hat sich bis zu diesem Zeitpunkt nicht nennenswert erhöht, sodass für diesen Querschnitt keine signifikanten thermischen Dehnungen zu erwarten sind und die Tragfähigkeit des Tragsystems auch im Brandfall sichergestellt ist.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Beitrags werden neue Entwicklungen zum Brandschutz von Stahlbauteilen mit Holz vorgestellt. Da sich Stahlbauteile im Brandfall aufgrund der filigranen Bauweise in der Regel sehr schnell erwärmen, sind Stahlbauteile vor hohen Temperaturen zu schützen. Holz erwärmt sich aufgrund seiner thermischen Eigenschaften (z.B. isolierende Holzkohleschicht) deutlich langsamer, sodass hier gezielt die Idee der brandschutztechnischen Bekleidung aus Holz für Stahlbauteile verfolgt wird. Holz bietet als Brandschutzbekleidung im Vergleich zu den derzeit marktüblichen Brandschutzbekleidungen oder -beschichtungen neben einem geringen Wartungsaufwand insbesondere den Vorteil einer ausgezeichneten thermischen Schutzwirkung der Stahlbauteile im Brandfall. Um die thermische Schutzwirkung von Holz auf Stahlbauteilen bewerten zu können, wurden in Kleinversuchen Temperaturmessungen an mit Holz bekleideten Stahlplatten durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass sich durch eine Holzbekleidung - je nach Bekleidungsstärke - problemlos Stahltemperaturen von weniger als 300 °C sicherstellen lassen. Diese vergleichsweise geringe Stahltemperatur führt im Stahl lediglich zu geringen Festigkeitsverlusten und nur zu geringen thermischen Dehnungen. Letzteres ist insbesondere bei unterspannten Systemen (z.B. ein Bogenträger mit Stahlseilunterspannung) von entscheidender Bedeutung, da diese Tragsysteme nur bei geringen zusätzlichen Längsdehnungen auch im Brandfall tragfähig bleiben.

Mit dem Einsatz von Holz aus Brandschutzbekleidung für Stahlbauteile werden neben den ökologischen und nachhaltigen Aspekten auch zahlreiche wirtschaftliche und technische Vorteile aufgezeigt. In welcher Weise und in welchem Umfang diese Idee Einzug in den baupraktischen Alltag erhält, hängt nicht zuletzt von den Marktentwicklungen ab und bleibt in den nächsten Jahren abzuwarten.

Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (Hrsg.): DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Beuth Verlag GmbH, Berlin, März 1994.
- [2] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (Hrsg.): Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; (DIN EN 1995-1-2). Beuth Verlag GmbH, Berlin, Dezember 2010.
- [3] Tabeling, F. : Zum Hochtemperaturverhalten dämmschichtbildender Brandschutzsysteme im Stahlbau. Hannover, Leibniz Universität Hannover, Institut für Stahlbau, Diss., 2014.
- [4] DIBt (Hrsg.): Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Stahlbauteilen. Berlin : DIBt, 1997
- [5] Sandbrink, S.: Optimierung einer Fachwerkbinderkonstruktion in Stahl- bzw. kombinierter Stahl-Holzbauweise unter Berücksichtigung brandschutztechnischer Anforderungen am Beispiel einer Sporthalle. – Hannover : Repositorium der Leibniz Universität Hannover, 2017. 244 S. DOI: <https://doi.org/10.15488/1747>.
- [6] ABAQUS: Abaqus/Standard Version 6.10, Pawtucket: Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc. 2011.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Florian Tabeling: Geschäftsführender Gesellschafter der shl ingenieure GmbH in Hannover, Sachverständiger im Bauwesen, Beratender Ingenieur und Lehrbeauftragter an der HAWK Hildesheim für Stahlbau und Stahl- und Verbundbau mit baulichem Brandschutz

Stefan Sandbrink, M.Sc.: Projektingenieur bei der shl ingenieure GmbH, Masterthesis zum Einfluss von Holz als Brandschutzbekleidung für Stahlbauteile

Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann: Leiter des Instituts für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover, Vorsitzender/Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Verbands- und Normungsgremien auf den Gebieten Stahlbau, Windenergie und baulicher Brandschutz, Gutachter und Sachverständiger im Bauwesen