

VALIDIERUNGSVERSUCHE FÜR BRANDSCHUTZTECHNISCH SICHERE KONSTRUKTIONEN IN STAHL-HOLZ-MISCHBAUWEISE

Patrick Dumler
Jakob Blankenhagen
Norman Werther
Martin Mensinger
TU München

EINLEITUNG

Im Baubereich hat die Kombination verschiedener Baumaterialien zu einer Vielzahl von Innovationsprozessen geführt. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Stahl-Beton-Verbundbauweise. Diese Herangehensweisen zielen darauf ab, Materialien bedarfsgerecht einzusetzen, Nutzungsgrenzen zu erweitern und Ressourcen- und Energieeinsparungen zu realisieren. Besonders wichtig ist dabei das ressourceneffiziente Bauen im Zusammenhang mit den übergeordneten klimapolitischen Zielen. Die integrative Verknüpfung von Stahl und Holz spielt dabei eine zunehmend wichtige Rolle[1]. Die Kombination dieser Materialien findet vor allem in der Stahl-Holz-Mischbauweise Anwendung, die vielfältige und nachhaltige Nutzungsmöglichkeiten für Baustrukturen ermöglicht[14].

Die geschickte Kombination von Holz und Stahl ermöglicht die Errichtung architektonisch anspruchsvoller und nachhaltiger Bauwerke, die sowohl wirtschaftliche, ökologische als auch soziale Vorteile bieten. Die Verwendung von Stahl und Holz ist auch bei Sanierungs- und Aufstockungsprojekten äußerst interessant. Allerdings stellt der Brandschutz eine komplexe Herausforderung dar, da umfangreiche Forschungsergebnisse zu dieser Thematik noch ausstehen. Ungeschützter Stahl verliert im Brandfall schnell an Festigkeit[6]], während Holzbauteile aus einem brennbaren Baustoff bestehen. Letzterer bildet jedoch beim Abbrennen eine Holzkohleschicht aus, die durch die geringe Wärmeleitfähigkeit schützend für das unverbrannte Holz wirkt. In Stahl-Holz-Konstruktionen kann das Holz so als brandschutztechnische Bekleidung für die Stahlkomponenten dienen, jedoch kann diese Schutzfunktion aktuell nicht systematisch berücksichtigt werden.

Im konstruktiven Ansatz der Stahl-Holz-Mischbauweise dienen lineare Stahl-Tragelemente, wie Stützen und Träger sowie Rahmensysteme als Haupttragwerk, welches durch ein Nebentragwerk aus flächigen Holzelementen in Massivholz oder Holztafelbauweise komplettiert wird. Eine typische Anwendung bildet hierbei die Auflagerung von Holz-Deckenelementen auf schlanken weitgespannten Stahlträgern. Für entsprechende mehrgeschossige Gebäude und Nutzungen werden hohe bauaufsichtliche Anforderungen an den Brandschutz gestellt. Eine konsequente und breite baupraktische Umsetzung dieser Bauweise scheitert aktuell jedoch an Wissenslücken und Skepsis bezüglich des brandschutztechnischen Verhaltens und der Nachweisführung solcher Konstruktionen.

Die bisher im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts „BraStaHo“ (Brand-schutztechnisch sichere Konstruktionen in Stahl-Holz-Mischbauweise) gewonnen Erkenntnisse und Ergebnisse zum Brand- und Erwärmungsverhalten aus den ersten Validierungsversuchen sollen hier vorgestellt werden. Dabei wurden verschiedene Prüfkörperaufbauten gewählt, um die nachfolgenden Hypothesen zu untersuchen:

- Die brandschutztechnische Schutzwirkung von Holzbekleidungen (Massivholzplatten) stellt sich in Abhängigkeit der eingesetzten Trägerprofile unterschiedlich dar. Zusätzlich können Bekleidungs-fugen Einfluss auf das Erwärmungsverhalten des geschützten Stahlprofils haben.
- Die Verklebung von Massivholzplatten (Einschichtplatten/Mehrschichtplatten) kann zu einem anderen thermischen Verhalten des Bauteils führen, da bei mehrschichtigen Bekleidungen ein Abfallen von Holzlamellen möglich ist, was zu einem schnelleren Abbrand bzw. Versagen der Bekleidung führen kann.
- Hohlräume hinter der brandschutztechnischen Bekleidung und deren Größe haben einen direkten Einfluss auf das Erwärmungsverhalten des geschützten Stahlprofils, da sich das Strömungsverhalten und die Wärmeübertragung infolge Konvektion entsprechend verändern.
- Die Kombination aus erhöhten Einbrand im Auflagerbereich von Deckensystemen und der gleichzeitigen mechanischen Belastung kann zur Verformung und Komprimierung der entstehenden Holzkohleschicht führen. Aufgrund dessen kann diese ihre thermische Dämmeigenschaft verlieren, was in Folge sowohl zu einem schnelleren Abbrand des aufgelagerten Deckenelements und einer stärkeren Verformung des Gesamtsystems führen kann.

VORGEHENSWEISE

Um die oben genannten Fragestellungen umfassend zu untersuchen, wurde ergänzend zu bestehenden Versuchsergebnissen aus der Literatur ein Versuchskonzept für die ersten Validierungsversuche entwickelt. Dieses Konzept umfasst drei Versuchsreihen, die alle die Untersuchung der brandschutztechnischen Schutzfunktion von Holzbekleidungen und Holzbauteilen abdecken. In der ersten Versuchsreihe wurden wandartige Prüfkörper getestet, während sich die zweite Versuchsreihe auf Träger und Stützen konzentrierte, die mit Massivholzplatten bekleidet waren. Das Ziel der dritten Versuchsreihe war es die Interaktion von Stahlträgern und aufgelagerten BSP-Elementen zu betrachten.

Die Durchführung aller Versuche erfolgte in einem Brandofen mit den Innenraumabmessungen von 3 m x 1,0 m x 1,5 m. Die Brandbelastung erfolgte anhand der Einheits-Temperaturzeitkurve. Die Abschätzung der jeweiligen notwendigen Bekleidungs-dicken für Massivholzplatten basierte auf analytischen Umrechnungen

von Schutzzeiten für Gipsplatten nach EN 520 unter Berücksichtigung der Normen EN 1995-1-2, EN 1993-1-2 und DIN 4102-4. Die Beheizung des Ofens erfolgte mittels Ölbrennern, die durch Plattenthermoelemente gesteuert wurden.

VERSUCHSREIHE 1 - WANDSYSTEM

Prüfkörper- und Versuchsaufbau

Die Versuchsreihe 1 hatte zum Ziel, die brandschutztechnische Schutzwirkung von Holzbekleidungen in Kombination mit Stahlplatten zu untersuchen. Dabei wurden verschiedene Aspekte betrachtet, wie beispielsweise direkte Stöße zwischen Massivholzbekleidung und Stahl sowie Hohlräume zwischen den beiden Baustoffen. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sollen als Grundlage dienen, um numerische Simulationen zur Validierung des Wärmeübertragungsverhaltens der verwendeten Materialien, auch unter Berücksichtigung von Hohlräumen, in Bezug auf die Stahl-Holz-Mischbauweise für den brandschutztechnischen Schutz von Stützen, Trägern und Deckensystemen durchzuführen.

Um eine eindimensionale Wärmeübertragung zu gewährleisten, wurde für das Versuchskonzept eine einseitige Brandbeanspruchung gewählt. Dies basiert auf den vorherigen Überlegungen und ermöglicht eine gezielte Analyse des Wärmeübertragungsverhaltens.

Im Rahmen der Versuchsreihe wurden insgesamt acht Prüfkörper hergestellt, die im Wesentlichen aus Stahlplatten mit einer Größe von 500 mm x 500 mm bestehen und mit Massivholzplatten bekleidet sind. In einigen der Prüfkörper wurde ein Hohlraum zwischen der Stahlplatte und der Bekleidung eingefügt. Darüber hinaus wurden verschiedene Parameter wie der Bekleidungswerkstoff, die Dicke der Bekleidung, die Dicken der Stahlplatten und die Tiefe des Hohlraums variiert. Die gewählten Aufbauten werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Probekörper der Versuchsreihe 1

Prüfkörper	Dicke Bekleidung [mm]	Dicke Luftspalt [mm]	Dicke Stahlplatte [mm]
1	27 (Massiv)	0	15
2	27 (Massiv)	20	15
3	52 (Massiv)	0	15
4	52 (Massiv)	20	15
5	52 (Massiv)	40	15
6	52 (Massiv)	0	25
7	27 (3S)	0	15
8	27 (3S)	20	15

2.

Um die Temperaturentwicklung zu messen, wurden Thermoelemente des Typs K innerhalb der Prüfkörper installiert. Die Temperaturen wurden im Wesentlichen in zwei Messebenen erfasst. Einerseits wurde im Übergangsbereich zwischen der Holzbekleidung und der Stahlplatte gemessen, um die Schutzzeit bzw. den Zeitpunkt des Durchbrands zu ermitteln. Andererseits wurde hinter der Stahlplatte gemessen, um die Zeitdauer der Durchwärmung zu bestimmen. Falls ein Hohlraum im Prüfkörper hinter der Bekleidung vorhanden war, wurden zusätzlich zur Oberflächentemperatur der Bekleidung auch die Oberflächentemperatur der Stahlplatte sowie die Lufttemperatur innerhalb des Hohlraums aufgezeichnet. Die Positionen und Bezeichnungen der Thermoelemente sind in Bild 1 schematisch dargestellt. Neben der Messung mit Plattenthermoelementen wurde die Brandraumtemperatur zusätzlich durch Mantelthermoelemente aufgezeichnet, die jeweils auf mittiger Höhe der einzelnen Prüfkörper kurz vor der Oberfläche angebracht wurden.

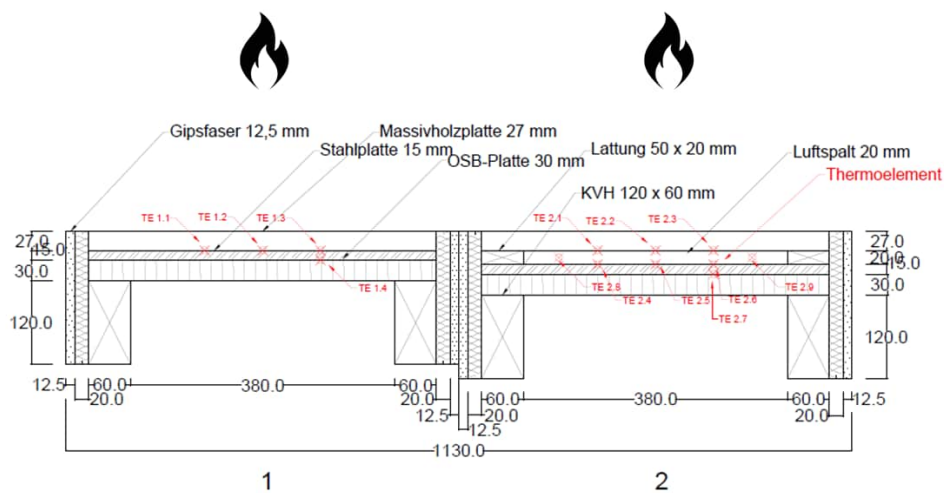


Bild 1 Schnitt durch PK1 und PK2 der Versuchsreihe 1 mit Lage und Benennung der Thermoelemente (rot)

Jeweils vier Prüfkörper wurden als ein Wandelement in den Brandofen eingebaut. Die beiden Wandelemente wurden dabei direkt gegenüber voneinander positioniert (s. Bild 2). Die Prüfdauer betrug insgesamt 42 Minuten und wurde abgebrochen, nachdem eine starke Rauchentwicklung auf der Rückseite eines Prüfkörpers festgestellt werden konnte. Infolge eines Messausfalls wurden die Temperaturen im Prüfkörper im Zeitraum von der 5. bis 10. Minute nicht erfasst.



Bild 2 links: Einbau Thermolemente in den Hohlraum von PK3; rechts: Einbau von vier Prüfkörpern in den Ofen als Wandelement

Ergebnisse

Die Abbrandgrenze wird definiert als die Temperaturisotherme von 300 °C, bei der angenommen wird, dass das Holz an dieser Stelle beginnt zu verkohlen. Bei den Prüfkörpern mit einer Bekleidungsstärke von 27 mm wurde diese Grenze innerhalb von 25-30 Minuten an Messstellen direkt zwischen der Holzbekleidung und der Stahlplatte erreicht. Unter diesen Bedingungen kann die angestrebte Schutzzeit von 30 Minuten nicht gewährleistet werden. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Bekleidungsmaterialien festgestellt. Interessanterweise wiesen die Prüfkörper mit einer Dreischichtplatte als brandschutztechnische Schutzschicht sogar um zwei bis drei Minuten längere Versagenszeiten auf. Dies lässt darauf schließen, dass keine Ablösung der Holzlamellen stattgefunden hat.

Die Prüfkörper mit 54 mm Bekleidungsstärke erreichten bei allen Prüfkörpern nicht die 300 °C - Isotherme auf der Rückseite der Bekleidung und blieben in diesem Messbereich in allen Fällen unterhalb von 100 °C.

Für das Abbrandverhalten der Bekleidung konnte kein wesentlicher Einfluss infolge eines Hohlraums erkannt werden. Lediglich die Temperaturkurven der Messstellen wiesen bei den Prüfkörpern mit Hohlräumen einen gleichmäßigeren Verlauf mit geringeren Abweichungen der Messkurven auf. Ein größerer Einfluss war in der Wärmeentwicklung innerhalb der Stahlplatte festzustellen. Bei Anwesenheit eines Luftspalts erwärmte sich die brandabgewandte Seite der Stahlplatte ähnlich schnell wie deren brandzugewandte Seite. Im Gegensatz dazu ergab sich bei einer direkten Bekleidung eine Verzögerung der Erwärmung zwischen Vorder- und Rückseite der Platte (s. Bild 3). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Thermolement 1.3 und 1.4 sowie 2.6 und 2.7 genau übereinander positioniert waren.

2.

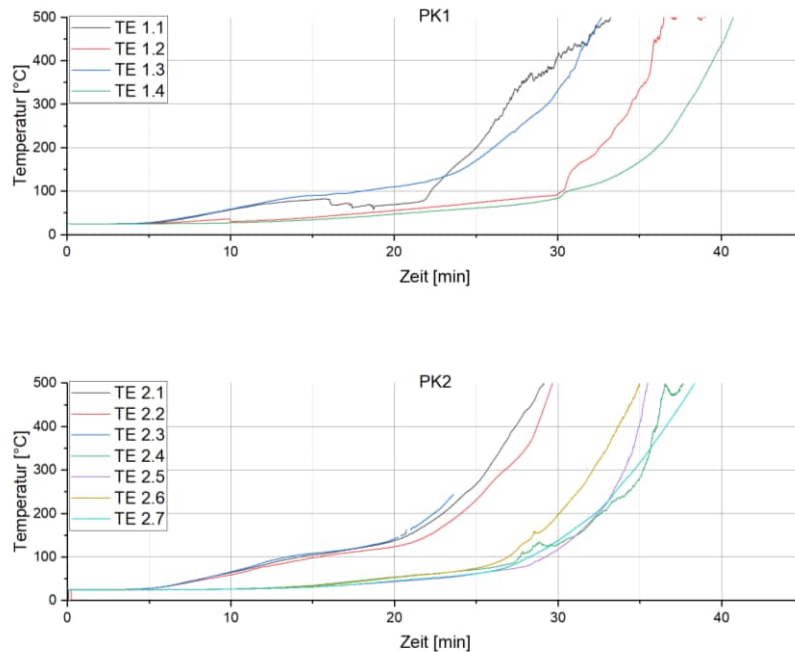


Bild 3 Vergleich der Temperaturentwicklung innerhalb der Prüfkörper 1 und 2 (Positionen TE: 1.1-1.3 hinter Bekleidung, 1.4 hinter Stahlplatte, 2.1-2.3 hinter Bekleidung, 2.3-2.6 auf Stahlplatte, 2.7 hinter Stahlplatte)

Die Vergrößerung des Hohlrums von 20 mm auf 40 mm hingegen hatte im Versuch keinen erkennbaren Einfluss. Hier ist evtl. eine längere Brandeinwirkungsdauer oder ein größerer Abstand notwendig, da nur kleine Hohlraumvolumen vorhanden war.

Die Erhöhung der Stahlplattendicke um 10 mm hingegen hatte einen positiven Einfluss auf die Temperaturentwicklung auf der brandabgewandten Seite der Bekleidung. Dort wurde ein langsamerer Anstieg der Temperatur beobachtet im Vergleich zu einer bauähnlichen Bekleidung mit dünnerer Stahlhinterlegung. Dies lässt darauf schließen, dass die hohe Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität des Stahls zu einer verbesserten Wärmeabführung von der Bekleidung führen, was zu einer "Abkühlung" der Bekleidung führt.

VERSUCHSREIHE 2 – TRÄGER UND STÜTZEN

Prüfkörper- und Versuchsaufbau

In dieser Versuchsreihe wurde das Brandverhalten von Stahlträgern und -stützen unter dem Einfluss einer plattenartigen Holzbekleidung analysiert. Zusätzlich wurde der Effekt von Bekleidungsstößen und deren Ausführung in der Bekleidung, die senkrecht zur Längsachse des Stahlprofils verlaufen, untersucht.

Hierzu wurden jeweils zwei Träger und zwei Stützen als Prüfkörper verwendet. Dabei wurden bei den Trägern zwei unterschiedliche Profilmomente ausgewählt,

um deren Einfluss auf das Abbrandverhalten zu berücksichtigen. Hier wurden die Profilvarianten IPE 200 (PK1; $A_m/V=175 \text{ m}^{-1}$) und HEB 300 (PK2; $A_m/V=60 \text{ m}^{-1}$) gewählt. Die Länge der Probekörper betrug in beiden Fällen 1,12 m. Die Träger wurden mit Massivholzplatten der Dicke $d = 27 \text{ mm}$ bekleidet. Da Träger in realen Brandszenarien einer dreiseitigen thermischen Beanspruchung ausgesetzt sind, wurden die Prüfkörper im Versuch auf dem Boden der Brandkammer positioniert. Um einen thermischen Eintrag auf der vierten Seite (Unterseite) der Träger zu unterbinden, wurde diese Fläche mittels Steinwolle- und Gipskartonplatten thermisch abgeschirmt. Ebenso wurden die beiden Enden der Träger mit Dämmmaterial verfüllt und Gipskartonplatten bekleidet.

Für die Stützenprofile der Prüfkörper PK3 und PK4 wurde zweimal das Profil HEB 300 eingesetzt, wobei die Prüfkörperlänge auf 0,60 m festgelegt wurde. Neben der vierseitigen Brandbeanspruchung lag der Fokus auf der Analyse des Einflusses eines Bekleidungsstoßes. Bei PK4 wurde dieser Längsstoß durch eine zusätzliche Massivholzplatte hinterlegt, die jeweils um 10 cm über den Stoß hinausragte. Im Gegensatz dazu wurde bei PK3 der Stoß ohne Hinterlegung ausgeführt.

Insgesamt wurden die vier Prüfkörper in drei unterschiedlichen Versuchen getestet. Die Versuchsdauer für die Trägerprüfkörper PK1 und PK2 betrug dabei 52 Minuten. Der Stützenprüfkörper PK3 hatte eine Versuchsdauer von 36 Minuten. Bei PK4 betrug die Versuchsdauer 60 Minuten. Aufgrund eines Messausfalls in den Minuten 5 bis 18 wurden keine Temperaturen aufgezeichnet.

Bild 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Trägerprüfkörper, mit den dazugehörigen Thermoelementen. An den Prüfkörpern wurden Thermoelemente des Typs K angeschweißt. Zusätzlich wurde ein weiteres Thermoelement am Holz befestigt, um die Lufttemperatur innerhalb des Prüfkörpers zu bestimmen. Um den Einfluss der gedämmten Enden der Träger evaluieren zu können, wurden die Messstellen an drei Ebenen installiert. In jeder Ebene wurden insgesamt acht Thermoelemente verbaut. Zusätzlich wurden jeweils mittig am Träger 2 cm oberhalb der brandbeanspruchten Außenseiten Mantelthermoelemente zur Messung der oberflächennahen Ofentemperatur und möglicher Eigenbrandeffekte angebracht. Um den Brenner für den Versuch zu steuern wurde die Lufttemperatur des Weiteren mit zwei Plattenthermoelementen gemessen. Diese befanden sich jeweils 10 cm oberhalb der Prüfkörper.

Die Messstellen für die Stützenprüfkörper wurden an den gleichen Stellen wie bei den Trägern positioniert. Allerdings wurde hier nur in einer Ebene direkt hinter dem Bekleidungsstoß gemessen. Die Lufttemperatur wurde dabei jeweils auf der Vorder- und Rückseite der Prüfkörper mit zwei Mantelthermoelementen aufgezeichnet.

2.

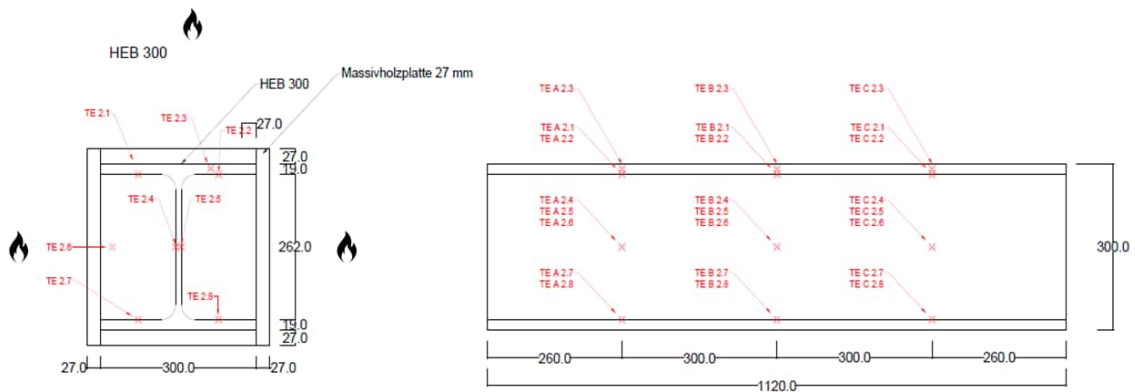


Bild 4 Übersicht Trägerprüfkörper PK2 mit Lage und Benennung der Thermoelemente (rot)

Ergebnisse

Die geplante Schutzzeit der Bekleidung von 30 Minuten wurde nur von PK2 erreicht. Bei PK1 wurde die 300 °C - Isotherme bereits nach 21 Minuten in Ebene B überschritten (s. Bild 5). Ab diesem Moment ist davon auszugehen, dass das Holz vollständig abgebrannt war. Insgesamt wurden bei den Prüfkörpern am Steg ähnliche Temperaturen gemessen wie am oberseitigen Flansch. Lediglich beim Flansch am Boden verzögerte sich der Temperaturanstieg aufgrund der dreiseitigen Brandbelastung. Bei PK2 wurde die Abbrandgrenze im Vergleich erst nach 40 Minuten in Ebene C überschritten. Die große Differenz im Abbrandverhalten kann hierbei wohl auf den unterschiedlichen Profilmfaktor zurückgeführt werden. Die Ebenen wiesen in der Temperaturverteilung Unterschiede von wenigen Minuten auf, die sowohl auf die Inhomogenität des Holzes als auch die unterschiedlichen Temperaturverteilung im Ofen zurückzuführen sind.

Bei den beiden Stützenprüfkörpern PK3 und PK4 wurde die Abbrandgrenze bereits nach ca. 25 Minuten erreicht. Es gab dabei keinen signifikanten Unterschied im Abbrandverhalten der beiden Prüfkörper. Daraus lässt sich ableiten, dass die dicht gestoßene Bekleidung ohne Hinterlegung keinen negativen Einfluss auf die Schutzzeit der Bekleidung hatte.

Der Unterschied der Schutzzeiten der Bekleidung zwischen PK2 und PK3 bzw. PK4 ist trotz gleicher Profilmfaktoren durch die vierseitige Beflammung der Stützen zu erklären. Durch diese wird wesentlich mehr Energie in das Bauteil eingebracht, wodurch sich der gesamte Querschnitt schneller erwärmt und zu einem schnelleren Abbrand der Bekleidung führt.

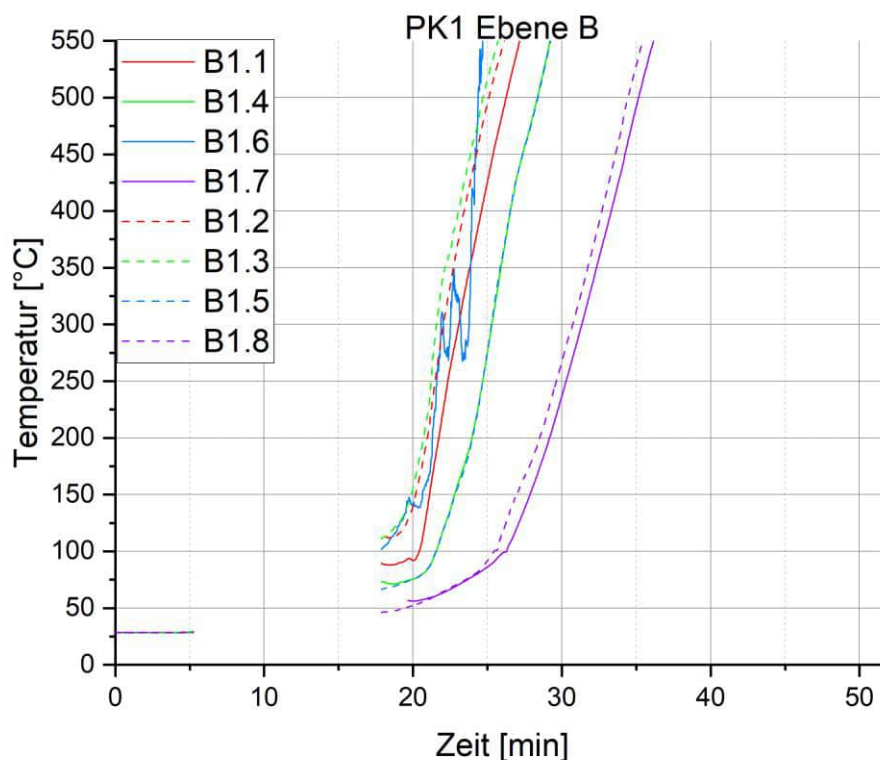


Bild 5 Temperaturverlauf in PK1 Ebene B (Thermoelementpositionen: 1.4 & 1.5 am Steg, 1.1 & 1.2, 1.7 & 1.8 Innenseite Flansch, 1.3 im Flansch, 1.6 Luftraum hinter Holzbekleidung)

VERSUCHSREIHE 3 - DECKENSYSTEM

Prüfkörper- und Versuchsaufbau

Bei Versuchsreihe 3 wurden auf die Unterflansche von HEB 300-Trägern drei BSP-Elemente direkt aufgelagert und auf der brandzugewandten Seite durch Massivholzplatten der Dicke 27 mm (PK1 und PK2) sowie Gipskartonfeuerschutzplatten der Dicke 2 x 12,5 mm (PK3) brandschutztechnisch bekleidet. Die Bekleidung ragte dabei je 4 cm über die Stahlträger hinaus. Bei PK1 wurde zusätzlich eine Linienlast von 10 kN/m pro Seite auf die BSP-Elemente aufgebracht, um den Einfluss der Verformung der Kohleschicht auf das Abbrandverhalten im Auflagerbereich sowie die Wärmeentwicklung im Vergleich zu einer unbelasteten Kohleschicht zu untersuchen. Die Prüfkörper hatten eine brandbelastete Länge von 1,0 m. Der Aufbau und die Lage der Prüfkörper sind in Bild 6 dargestellt.

2.

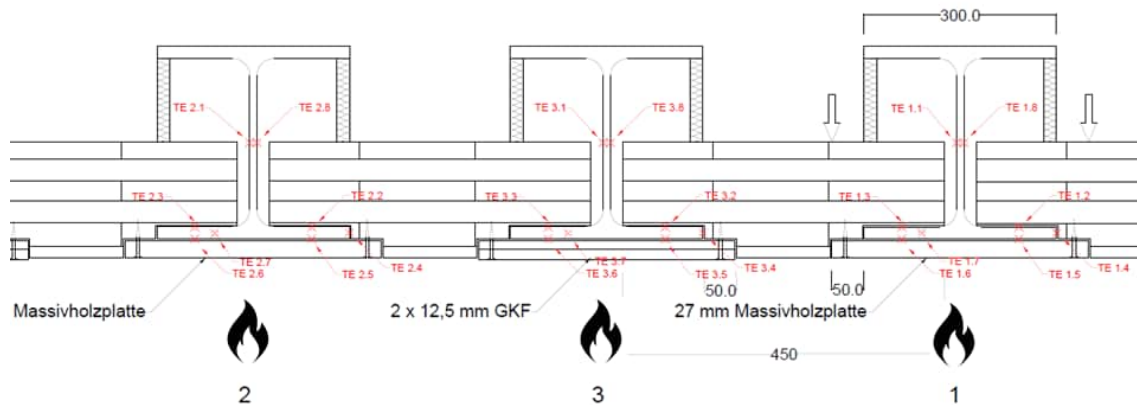


Bild 6 Schematische Darstellung des Deckenaufbaus aus den Prüfkörpern 1-3 mit den installierten Thermoelementen (rot)

Die Temperaturen innerhalb der Prüfkörper wurden an zwei Ebenen mit Thermoelementen des Typs K aufgezeichnet. Die Temperatur wurde sowohl am Steg als auch im Auflagerbereich der BSP-Elemente auf der Ober- und Unterseite des Unterflansches der Stahlträger aufgezeichnet. Die Ofentemperatur im Bereich der Oberfläche der Prüfkörper wurde ebenfalls in zwei Ebenen an allen Prüfkörpern durch Mantelthermoelemente gemessen. Die Ofensteuerung erfolgte über drei Plattenthermoelemente, die sich in einem Abstand von 10 cm mittig von den drei Prüfkörpern befanden (s. Bild 7). Im Bereich der Lastaufbringung wurde zusätzlich ein Seilzugwegaufnehmer pro Seite montiert, um die auftretende Verformung am Auflager aufzuzeichnen. Die Last wurde über zwei Hydraulikzylinder eingebracht. Der Versuch wurde aufgrund starker Rauchentwicklung und hoher Temperaturen im Bereich der Hydraulikschläuche für die Belastungskonstruktion nach 60 Minuten abgebrochen.



Bild 7 links: Deckensystem unbekleidet; rechts: Deckensystem bekleidet und mit Messstellen

Ergebnisse

Bei den mit Massivholzplatten bekleideten Trägern wurden hohe Versagenszeiten der Bekleidung festgestellt, die zwischen 37 Minuten (PK2) und 43 Minuten (PK1) lagen. Insbesondere der mechanisch belastete Prüfkörper 1 wies längere Versagenszeiten auf. Es wird vermutet, dass dies auf die Inhomogenität und den ungleichmäßigen Abbrennprozess des Holzes zurückzuführen ist, da die gemessene Lufttemperatur bei allen drei Prüfkörpern auf einem ähnlichen Niveau lag. Nach Erreichen von 100 °C zwischen der Bekleidung und der Oberfläche des Unterflanschs wurde ein Plateau mit konstanter Temperatur für etwa sechs Minuten beobachtet. Dieser Effekt beruht auf dem im Holz gebundenen Wasser, das in diesem Zeitraum vollständig verdampft, wodurch keine weitere Temperaturerhöhung auftritt.

Die Oberseite des Flansches erreichte etwa neun Minuten nach Versagen der Massivholzbekleidung die Abbrandgrenze und wies somit eine deutliche Verzögerung in der Temperaturerhöhung auf. Die Temperatur im Bereich des Stegs stieg nur langsam an und blieb dauerhaft unter 100 °C bis an der Oberseite des Unterflansches eine Temperatur von 300 °C erreicht wurde, was zu einem Abbrand im Auflagerbereich führte (s. Bild 8).

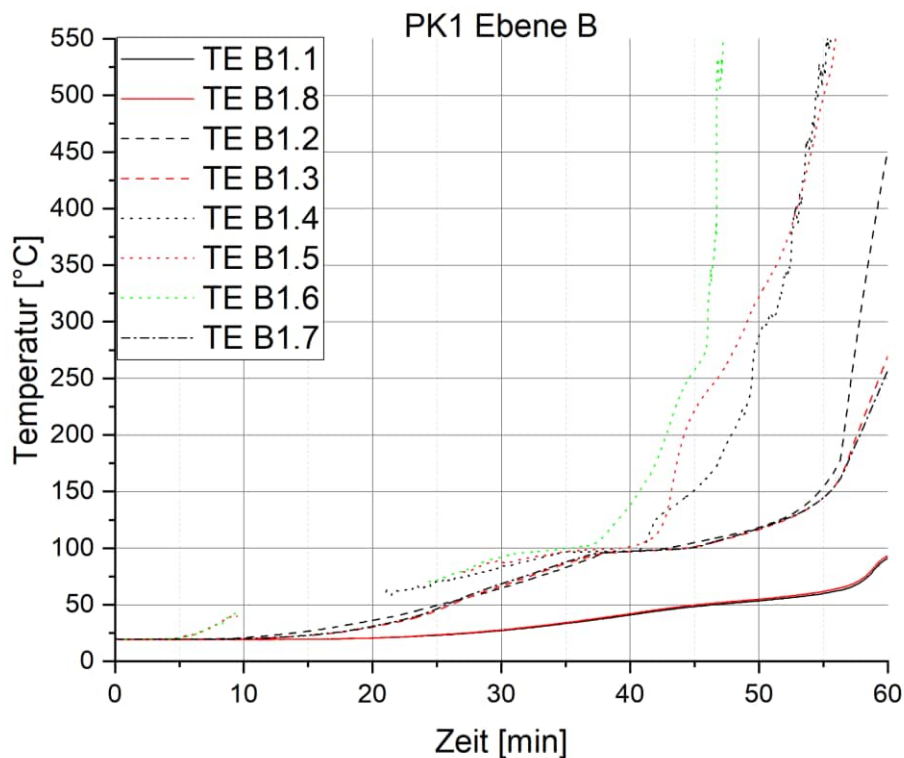


Bild 8 Temperaturverlauf in PK1 Ebene B (Thermoelementpositionen: 1.1 & 1.2 am Steg, 1.2 & 1.3 Oberseite Flansch, 1.4 - 1.6 Unterseite Flansch, 1.7 im Flansch)

In dieser Versuchsreihe konnte lediglich mittels der Verformungsmessung ein Einfluss der mechanischen Belastung auf das Abbrandverhalten festgestellt werden. Bereits vor Erreichen der 300 °C-Isotherme auf der Oberseite des Auflagerflansches trat eine Verformung auf. Der Anteil dieser Verformung wird auf das Schwinden des Holzes zurückgeführt, nachdem es einer Temperaturerhöhung ausgesetzt ist. Sobald am Auflager die 300 °C erreicht werden und somit eine Verkohlung des Holzes eintritt, ist eine leichte Steigerung der Verformung zu beobachten. Aufgrund des relativ späten Versagens der Bekleidung bei PK1 und des Versuchsabbruchs nach 60 Minuten konnte sich jedoch noch kein signifikanter Abbrand am Auflager entwickeln, der zu deutlich sichtbaren und messbaren Temperaturunterschieden geführt hätte. Um eine aussagekräftige Beurteilung des Einflusses auf das Erwärmungsverhalten treffen zu können, sind daher weitere Versuche erforderlich.

Im Vergleich zu den Massivholzplatten wurde bei der GKF-Bekleidung die Abbrandgrenze innerhalb der Prüfdauer nicht erreicht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ab Minute 50 ein Abfallen der Bekleidung begonnen hat, da hier eine starke Temperaturerhöhung von 150 °C innerhalb von sieben Minuten festgestellt werden konnte. Zusätzlich stellt sich das Plateau bei 100 °C über einen deutlich längeren Zeitraum von ca. 12 Minuten ein, was auf den vergleichsweise höheren Anteil an gebundenem Wasser in den Platten zurückzuführen ist. Durch die langsamere Erwärmung am Unterflansch ergeben sich hier keine großen Temperaturunterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Flansches.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die durchgeführten Versuche sollten einerseits als Grundlage zur Validierung von stofflichen und thermischen Eigenschaften für numerische Simulationen für Baustoffübergänge zwischen den Baustoffen Stahl und Holz sowie für Luft-Hohlräume dienen. Andererseits konnte gezeigt werden, dass Holz für einen gewissen Zeitraum als brandschutztechnische Bekleidung eingesetzt werden kann.

Die rechnerische Ableitung der Schutzzeiten von Holzwerkstoffplatten auf Grundlage von vorhandenen Kennwerten für GKF- und Gipsfaserplatten erwies sich für einige Prüfscenarien als inkorrekt. So konnte mit der gewählten Bekleidungsstärke der Massivholzplatten von 27 mm nicht für alle Prüfkörper eine Schutzzeit von 30 Minuten erreicht werden.

Die Versuche haben dahingehend verdeutlicht, dass das Abbrandverhalten der Bekleidung bzw. die Schutzzeit dabei von vielen Faktoren abhängig ist. Einen großen Einfluss spielt dabei die Anzahl der brandbeanspruchten Seiten. Bei einer vierseitigen Brandbeanspruchung (wie bei Stützen) ergaben sich deutlich frühere Versagenszeiten als bei einer dreiseitigen Brandbeanspruchung (wie bei Trägern). Zusätzlich spielt der Profilmfaktor eine große Rolle. So wurde bei geringen Profilmfaktoren deutlich höhere Schutzzeiten der Bekleidung erreicht. Das Vorhandensein von Hohlräumen sowie die Abbrandgeschwindigkeit der Bekleidung haben Einfluss auf das Erwärmungsverhalten des Stahls. So konnte bei einer

schnellen Temperatursteigerung sowie bei direkt am Stahlprofil anliegenden Bekleidungen ein Temperatursprung bei der Erwärmung der brandabgewandten und brandzugewandten Seite des Stahls gemessen werden. Bei Vorhandensein von Hohlräumen und langsamer Erwärmung waren auf brandzugewandter sowie brandabgewandter Seite des Stahls hingegen ähnliche Temperaturen zu messen. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass eine mechanische Belastung bei Deckensystemen Einfluss auf die Temperaturentwicklung im Stahlträger sowie auf das BSP-Element im Auflagerbereich besitzt. Hier konnte durch die Versuche bisher nur eine leicht erhöhte Verformung festgestellt werden. Jedoch war die Einwirkungsdauer aufgrund des Versuchsabbruchs zu niedrig, um weiterführende Ergebnisse zu erhalten.

Vor diesem Hintergrund und den offenen Fragestellungen sind innerhalb des Forschungsprojektes weitere Versuchsreihen geplant, um die Auswirkung des Profilkennfaktors für sowohl Stützen als auch Träger zu untersuchen. Aus den Ergebnissen sollen die notwendigen Bekleidungsstärken abgeleitet werden, um den jeweils geforderten Feuerwiderstand zu erreichen.

Zusätzlich sind Versuche mit Deckensystemen geplant, um einerseits Informationen zum Einfluss der mechanischen Belastung auf das Auflager im Brandfall zu erhalten. Andererseits sollen in diesem Zuge zusätzlich weitere Auflagerdetails, sowie Elementstöße untersucht werden, um die Rauchdichtigkeit der Konstruktion zu gewährleisten sowie einen übermäßigen Einbrand am Auflager zu verhindern.

Neben der Verformung am Auflager soll ebenfalls, das Abbrandverhalten am verformten Gesamtsystem für einen bekleideten Träger sowie für ein Deckensystem betrachtet werden. Die aktuellen Versuche an den Stützen haben zwar keine großen Unterschiede zwischen dicht gestoßenen Bekleidungen und Stoßhinterlegungen gezeigt, es wird jedoch vermutet, dass sich aufgrund von Verformung öffnende Fugen einstellen und einen größeren Einfluss auf das Erwärmungsverhalten sowie die Versagenszeit der Bekleidung haben.

FÖRDERUNG

Das IGF-Vorhaben-Nr: 22501 "Brandschutztechnisch sichere Konstruktionen in Stahl-Holz-Mischbauweise" der FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

LITERATUR

- [1] Europäische Union: European Green deal; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>, 2019
- [2] Fischer, O.; Lang, W.; Winter, S.: Hybridbau – Holzaußenwände, DETAIL-Verlag, 2019
- [3] Europäische Union: https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_en, 2021
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Klimaschutzplan 2050; November 2016.
- [5] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen - Charta für Holz 2.0; August 2018.
- [6] Mensinger, M.; Gaigl, C.: Feuerwiderstand verzinkter Stahlkonstruktionen, Stahlbau, Volume 88, Issue 1, 2019