

Validierungsversuche für brandschutztechnisch sichere Konstruktionen in Stahl-Holz-Mischbauweise

Patrick Dumler¹, Jakob Blankenhagen², Norman Werther¹, Martin Mensinger¹

¹ Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, Technische Universität München
+49-89-289 28687; patrick.dumler@tum.de

² Lehrstuhl für Metallbau, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Mensinger, Technische Universität München
+49-89-289 25172; jakob.blankenhagen@tum.de

Zusammenfassung

Bei der Stahl-Holz-Mischbauweise kann prinzipiell zwischen drei Konstruktionsprinzipien unterschieden werden. Bei der ersten Variante kommen geradlinige Stahl-Tragelemente wie Stützen, Träger und Rahmensysteme als Grundgerüst zum Einsatz. Dieses Haupttragwerk wird durch ein sekundäres Tragsystem aus flächigen Holzelementen in Massivholz- oder Holztafelbauweise ergänzt. Ein Beispiel dafür ist die Montage von Holz-Deckenelementen auf schlanken, weitgespannten Stahlträgern. Bei der zweiten Variante werden die Stahl-Tragelemente durch Massivholzplatten brandschutztechnisch bekleidet. Im dritten Anwendungsfall handelt es sich um hybride Träger, bei denen Tragelemente aus Stahl und Holz mechanisch miteinander gekoppelt (über VBM oder Klebstoffe) werden.

Trotz der vielversprechenden Konzepte stoßen die praktische Realisierung und die Verbreitung dieser Bauweise aktuell auf Herausforderungen. Diese resultieren aus Unsicherheiten bezüglich des brandschutztechnischen Verhaltens dieser Konstruktionen. Das laufende Forschungsprojekt "BraStaHo" (Brandschutzsichere Stahl-Holz-Konstruktionen) soll durch experimentelle Untersuchungen der ersten beiden Varianten Wissenslücken zum Brandverhalten schließen.

Die Erkenntnisse zum Brandverhalten aus den ersten Versuchsreihen, die bisher im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts gewonnen wurden, werden im folgenden Beitrag vorgestellt. Es wurde eine Versuchsreihe mit drei verschiedenen experimentellen Versuchsaufbauten durchgeführt. Anhand von kleinmaßstäblichen Prüfkörpern wurden die thermischen Eigenschaften für numerische Simulationen abgeleitet und validiert. Darüber hinaus wurde die Schutzwirkung von Holzbekleidungen für Stahlbauteile in Trägern, Stützen und Deckensystemen untersucht. Die Versuche haben gezeigt, dass das Abbrandverhalten der Holzbekleidungen und damit die Versagenszeit von zahlreichen Faktoren abhängen, wie z.B. der Anzahl der brandbeanspruchten Seiten, dem Profilmassfaktor des geschützten Stahlbauteils sowie der Ausführung der Bekleidungs-fugen.

1. Einleitung

Die bisher durchgeführten experimentellen Untersuchungen umfassten drei verschiedene Versuchsreihen. In der ersten Versuchsreihe wurden wandartige Probekörper getestet, während sich die zweite Versuchsreihe auf mit Holz bekleidete Balken und Stützen konzentrierte. In der dritten Versuchsreihe wurde ein Deckensystem mit Brettsperrholz-Elementen, die auf dem unteren Flansch von Stahlträgern aufgelagert wurden, untersucht. Alle Versuche wurden in einem Prüfofen mit den Innenmaßen 3,0 m x 1,0 m x 1,5 m durchgeführt. Die Brandbeanspruchung erfolgte nach der Einheitstemperaturzeitkurve. Die erforderlichen Bekleidungs-dicken der Massivholzplatten wurden aus den Versagenszeiten von Gipsplatten unter Berücksichtigung der

Normen EN 1995-1-2:2010-12, EN 1993-1-2:2010-12 und DIN 4102-4:2016-5 abgeleitet und umgerechnet.

2. Ergebnisse

Die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe sollten als Grundlage für die Durchführung numerischer Simulationen zur Validierung des Wärmeübergangs für die verwendeten Materialien dienen. Um einen eindimensionalen Wärmeübergang zu gewährleisten, sah das Versuchskonzept eine einseitige Brandbeanspruchung vor. Es wurde beim Bekleidungsmaterial (1-Schicht-, 3-Schicht-Platte), Hohlraumgröße, Stahlplattendicke sowie Bekleidungsstärke variiert.

Wenn kein Hohlraum hinter der Holzbekleidung vorhanden war, konnte die angestrebte Schutzzeit von 30 Minuten erreicht werden. Die Stahloberfläche wies somit erst nach dieser Dauer eine Temperatur von über 300 °C auf. Diese Temperaturgrenze wird auch als Abbrandgrenze von Holz bezeichnet, bei der davon auszugehen ist, dass das Holz vollständig in Holzkohle umgesetzt wurde. Bei den Prüfkörpern mit Hohlräumen hinter der Bekleidung wurde die 300 °C – Isotherme an der Oberfläche der Stahlplatte etwas früher erreicht als bei der direkt hinterlegten Bekleidung. Der Grund dafür kann in der verminderten direkten Wärmeübertragung der Stahlplatte auf die vor der Luftschicht liegenden Massivholzplatte gesucht werden. Die Massivholzplatte erwärmt im Vergleich zur direkten Hinterlegung mit der Stahlplatte in diesem Fall schneller und brennt somit schneller durch, was zur schnelleren Temperaturerhöhung am Stahl führt. Die Vergrößerung des Hohlraums von 20 mm auf 40 mm zeigte keine nennenswerte Auswirkung auf die Versuchsergebnisse. Die 3-Schicht-Platten wiesen ein etwas höheres Schutzvermögen auf. 1-Schicht-Platten werden nur an den Längsseiten ihrer Bretter gestoßen und verklebt (Schmalseitenverklebung). Beim Abbrand kommt es durch den Abbau von Holzfeuchte (Verdampfen des gebundenen Wassers) zu Schwindvorgängen, wodurch sich das Holz zusammenzieht. Hierdurch entstehen im geklebten Bereich Risse, welche zu einem schnelleren Durchbrand führen. Durch die 3-lagige Verklebung der 3-Schicht-Platten sind diese durchgehenden Stöße nicht vorhanden, weshalb dieser Effekt in den Versuchen nicht auftrat. Allerdings ist bei diesen ein schichtweises Abfallen der einzelnen Lagen möglich, falls der Klebstoff durch die thermische Beanspruchung an Festigkeit verliert. Bei den verwendeten Bekleidungen wies der Klebstoff jedoch eine gewisse Temperaturresistenz auf, sodass kein vorzeitiges Abfallen von Lagen der Dreischichtplatten und somit kein erhöhter Abbrand auftrat. Die Erhöhung der Dicke der Stahlplatte wirkte sich positiv auf die Temperaturentwicklung auf der feuerabgewandten Seite der Bekleidung aus. Hier wurde ein langsamerer Temperaturanstieg auf der Stahloberfläche beobachtet.

In der zweiten Versuchsreihe wurden zwei bekleidete Stahlträger und zwei bekleidete Stahlstützen geprüft. Für die Träger wurden zwei unterschiedliche Profilkennwerte gewählt, um ihren Einfluss auf das Durchwärmungsverhalten zu berücksichtigen. Die gewählten Profile waren jeweils ein IPE 200 (PK1; $A_m/V = 175 \text{ m}^{-1}$) und ein HEB 300 (PK2; $A_m/V = 60 \text{ m}^{-1}$). Die Länge der Stahlträger betrug 1,12 m. Die Bekleidung wurde mit 27 mm dicken Massivholzplatten ausgeführt. Da Träger dreiseitig brandbelastet werden, wurden die Probekörper während des Tests auf dem Boden des Ofens positioniert. Um eine thermische Belastung an der Unterseite sowie an den Enden der Prüfkörper zu verhindern, wurden diese Bereiche mit Mineralwolle sowie zwei Lagen Gipskartonplatten von je 15 mm Dicke bekleidet. Die Versuchsdauer für die Träger betrug 52 Minuten.

Beim IPE 200 wurde die 300 °C - Isotherme auf der Stahloberfläche nach 20 Minuten auf dem oberen Flansch erreicht. Das HEB 300 Profil erreichte diese Temperatur an der gleichen Messstelle erst nach 40 Minuten. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass auch bei Holzbekleidungen der Profilkennwert einen großen Einfluss auf das Durchwärmungsverhalten besitzt.

Als Stützen wurden zwei HEB 300 Stahlprofile mit einer Länge von 0,60 m verwendet. Zusätzlich zur vierseitigen Brandbeanspruchung wurde der Einfluss einer Stoßfuge in der Bekleidung untersucht. Die Fuge befand sich in 0,3 m Höhe und wurde bei einem Prüfkörper durch eine zusätzliche Massivholzplatte hinterlegt, die jeweils rückseitig 10 cm über die Fuge überstand.

Bei beiden Prüfkörpern wurde die 300 °C - Isotherme auf der Stahloberfläche nach etwa 23 Minuten erreicht. Es gab keinen signifikanten Unterschied in den Temperaturkurven der Messpunkte hinter den Bekleidungen beim Vergleich der beiden Prüfkörper. Allerdings war der Probekörper mit der hinterlegten Stoßfuge während der gesamten Versuchsdauer einem höheren Temperaturniveau ausgesetzt (ca. 100 °C), weshalb angenommen wird, dass die Fugenhinterlegung einen positiven Effekt hatte und ein früheres Versagen im Fugenbereich verhinderte.

Trotz gleicher Profilmomente lässt sich der Unterschied in den Versagenszeiten zwischen Trägern und Stützen bei gleichem Profilmoment durch die vierseitige Brandbeanspruchung erklären. Eine erhöhte thermische Belastung führt zu einer schnelleren Erwärmung des gesamten Querschnitts und damit zu einem schnelleren Versagen der Bekleidung.

In der dritten Versuchsreihe wurden auf den unteren Flanschen von fünf HEB 300 Trägern drei Brettsperrholzelemente aufgelagert. Zwei Träger wurden mit einer 27 mm dicken Massivholzplatte und ein weiterer mit zwei Lagen GKF-Platten mit einer Dicke von jeweils 12,5 mm auf der feuerzugewandten Seite bekleidet. Die Bekleidungen ragten zur Befestigung mittels Schrauben auf jeder Seite 5 cm über die Breite des Stahlträgerunterflansches hinaus. Bei einem Träger mit Massivholzbekleidung wurde eine zusätzliche mechanische Belastung von 10 kN/m pro Seite auf die Brettsperrholz-Elemente aufgebracht, um den Einfluss der Verformung der Verkohlungsschicht auf die Wärmeentwicklung im Vergleich zu einem unbelasteten Aufbau zu untersuchen. Die brandbeanspruchte Länge jedes Probekörpers betrug 1,0 m.

Bei den mit Massivholzplatten verkleideten Stahlträgern wurde die 300 °C-Isotherme zwischen 37 Minuten und 43 Minuten an der Unterseite des unteren Flansches erreicht. Nach dem Erreichen von 100 °C wurde für etwa sechs Minuten ein Plateau mit einer konstanten Temperatur beobachtet. Dieser Effekt beruht auf dem im Holz gebundenen Wasser, das in diesem Zeitraum vollständig verdampft, so dass es in diesem Zeitraum zu keinem weiteren Temperaturanstieg kommt.

Die Oberseite des unteren Flansches erreichte die 300 °C-Isotherme neun Minuten nach dem Versagen der Bekleidung. Die Temperatur im Stegbereich stieg langsam an und blieb konstant unter 100 °C, bis an der Oberseite des unteren Flansches eine Temperatur von 300 °C erreicht wurde, die zu einer Entzündung des Brettsperrholzelements im Auflagerbereich führen konnte. Aufgrund des späten Versagens der Bekleidung und des Abbruchs des Versuchs nach 60 Minuten kam es zu keiner nennenswerten Verkohlung im Auflagerbereich. Daher war der Einfluss der mechanischen Belastung nicht zu erkennen.

Im Vergleich zu den mit Massivholzplatten bekleideten Trägern erreichte die Stahloberfläche hinter den GKF-Platten innerhalb der Versuchsdauer von 60 Minuten nicht die 300 °C-Isotherme. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass ein stückweises Abfallen der GKF-Platten etwa ab Minute 50 einsetzte, da ein deutlicher Temperaturanstieg hinter der Bekleidung von 150 °C zu beobachten war. Das sich einstellende Temperaturplateau bei 100 °C dauerte aufgrund des vergleichsweise höheren Anteils an gebundenem Wasser in den GKF-Platten mit ca. 12 Minuten länger an. Aufgrund der langsameren Erwärmung am unteren Flansch gab es keine signifikanten Temperaturunterschiede zwischen der Ober- und Unterseite des Flansches.

3. Fazit

Die analytische Ableitung von Versagenszeiten für Massivholzplatten auf der Grundlage bestehender Werte für Gipsplatten erwies sich für einige Versuchsaufbauten als falsch. So konnte bei der gewählten Bekleidungsstärke von 27 mm nicht für alle Prüfkörper eine Versagenszeit von 30 Minuten erreicht werden.

Die Versuche haben gezeigt, dass das Abbrandverhalten der Holzbekleidung und deren Versagenszeit von zahlreichen Faktoren abhängt. Ein wesentlicher Faktor ist die Anzahl der brandbeanspruchten Seiten. Bei vierseitiger Brandbeanspruchung (Stützen) waren die Versagenszeiten deutlich geringer als bei dreiseitiger Beanspruchung (Träger). Auch spielt der Profilmfaktor eine tragende Rolle. Niedrigere Profilmfaktoren führten zu einem langsameren Durchwärmungsverhalten. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Annahme der 300 °C - Isotherme als Versagenskriterium der Bekleidung als zu optimistisch gewählt wurde. Aufgrund der Rissbildung und des ungleichmäßigen Abbrands ist punktuell von einem früheren Durchbrand auszugehen.

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen sind im Rahmen des Forschungsprojekts BraStaHo weitere Versuchsreihen geplant, um den Einfluss weiterer Profilmfaktoren sowohl für Stützen als auch für Träger zu untersuchen. Ziel ist es, Mindestbekleidungsstärken abzuleiten, um die geforderten Schutzzeiten zu erreichen. Ebenso sind weitere Versuche mit Deckensystemen geplant, um den Einfluss mechanischer Belastungen im Brandfall auf den Auflagerbereich zu untersuchen. Hierzu sollen verschiedene Einflüsse auf das Abbrandverhalten durch verschiedene Auflagerkonstruktionen, Elementstöße zwischen den BSP-Elementen sowie Hohlraumfüllungen betrachtet werden.