

**Ausgabe 1/2018**

- **Entwicklung einer DASt-Richtlinie für Höherfrequente Hämmerverfahren, AiF-Nr. 17886**

**Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 17886**

Bei geschweißten Konstruktionen des Brücken- und Anlagenbaus sowie beim Wind-energieanlagenbau wird der Ermüdungsnachweis häufig maßgebend. Erhöhte Betriebsbelastungen und komplexe Beanspruchungsbedingungen sowie das Ziel der Gewichtsoptimierung lassen zunehmend den Einsatz von höherfesten Stählen ins Blickfeld rücken. Die in den Regelwerken angegebenen Werte für die Ermüdungsfestigkeit von Baustählen sind jedoch unabhängig von der Festigkeit des eingesetzten Werkstoffs. Demzufolge ergeben sich zunächst keine Vorteile durch den Einsatz von höherfesten Stählen in ermüdungsbeanspruchten Konstruktionen.

Zahlreiche Forschungsarbeiten der letzten Jahre belegen die ermüdungsfestigkeitssteigernde Wirkung höherfrequenter Hämmerverfahren (HFH) bei geschweißten Stahlbauteilen. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass bereits bei kerbscharfen Schweißdetails normalfester Baustähle eine signifikante Ermüdungsfestigkeitsverbesserung erzielt werden kann und die Effektivität dieser Verfahren mit zu-

nehmender Festigkeit des verwendeten Werkstoffs steigt. Die Anwendung bei höherfesten Stählen bietet demzufolge großes Potenzial im Hinblick auf eine Gewichtsreduktion. Erste Bemessungsmodelle, die eine Streckgrenzenabhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit nachbehandelter Schweißnahtdetails berücksichtigen, wurden basierend auf Ergebnissen dieser Forschungsarbeiten entwickelt.

Ungeachtet der intensiven Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der höherfrequenten Hämmerverfahren auf nationaler sowie internationaler Ebene, darf die durch diese Verfahren nachweislich erzielbare Ermüdungsfestigkeitssteigerung im bauaufsichtlichen Bereich in Deutschland derzeit noch nicht bei der Bemessung berücksichtigt werden. Die bisherige Anwendung dieser Verfahren im Bauwesen beschränkt sich auf Projekte, in denen eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erwirkt wurde. Eine DASt-Richtlinie, die die Bemessung von HFH-nachbehandelten Schweißnahtdetails regelt, wird einen entscheidenden Beitrag zur zukünftigen baupraktischen Anwendung dieser Verfahren leisten.



*Experimentelle Untersuchungen zum Mittelspannungseinfluss HFH-nachbehandelter Kleinproben und Walzträger*

Aus diesem Grund hatte das am KIT und der Universität Stuttgart durchgeführte Forschungsprojekt „Entwicklung einer DAST-Richtlinie für höherfrequente Hämmerverfahren“ das übergeordnete Ziel, ein Bemessungskonzept zu entwickeln, das als Grundlage für die Entwicklung einer DAST-Richtlinie dient. Im Rahmen dieses DAST-AiF-Projekts wurden eine Datenbank für nachbehandelte Konstruktionsdetails erstellt sowie zusätzliche experimentelle und numerische Untersuchungen durchgeführt, um den Anwendungsbereich höherfrequenter Hämmerverfahren zu erweitern und abzusichern. Insgesamt erfolgten ca. 100 Kleinprüfkörperversuche und 24 Trägerversuche, die besonders Fragestellungen zur Abgrenzung des Verfahrens wie der Größeneffekt oder den Einfluss von Vorbelastung klären sollten. Basierend auf diesen umfangreichen Untersuchungen wurde ein Bemessungsvorschlag entwickelt, der die Grundlage für die zu entwickelnde DAST-Richtlinie darstellt. Die Kerbfalleinordnung nachbehandelter Details erfolgt darin unter Angabe geeigneter Anwendungsgrenzen abhängig vom Spannungsschwingbreitenverhältnis und der Werkstoffstreckgrenze. Der streckgrenzenabhängigen Ermüdungsfestigkeit wird durch das erarbeitete Konzept Rechnung getragen. Die Aufbereitung beschränkt sich bewusst auf drei typische weitverbreitete Kerbdetails, für die auch eine ausreichende Datenbasis vorhanden war und legt sehr klar Anwendungsgrenzen dar, so dass hier wirklich auch normungstechnische Voraussetzungen geschaffen werden. Dabei wird auch deutlich, dass das Potenzial dieser Anwendungen noch gar nicht voll ausgenutzt wird, sondern Erweiterungen für weitere Kerbdetails und besonders für die Anwendung im Sanierungsbereich erfolgversprechend sind.

Das Forschungsvorhaben wurde an der Universität Stuttgart, unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann sowie

an dem Karlsruher Institut für Technologie, unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 17886 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DAST) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bestens gedankt.

Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**Ausgabe 2/2018**

- **Prüfverfahren für thermische Materialkennwerte für die Bemessung von Stahltragwerken bei Naturbränden sind Brandschutzplattenbekleidungen, reaktive Brandsysteme und Brandschutzputze AiF-Nr. 19176**

**Zusammenfassung Forschungsvorhaben des AiF Vorhaben Nr. 19176**

Im Rahmen des Forschungsvorhaben AiF-19176 „Prüfverfahren für thermische Materialkennwerte für die Bemessung von Stahltragwerken bei Naturbränden sind Brandschutzplattenbekleidungen, reaktive Brandsysteme und Brandschutzputze“ experimentell und numerisch untersucht worden.



*Brandschutzputze, Brandschutzplatten und Reaktive Brandschutzsysteme*

Die Technische Universität Braunschweig und die Leibniz Universität Hannover arbeiteten bei diesem Forschungsprojekt zusammen.

Brandschutzbekleidungen und reaktive Brandschutzsysteme können zum Schutz von Stahlbauteilen vor einer Brandbeanspruchung eingesetzt werden. Ihre thermische Schutzwirkung führt zu einer verzögerten Erwärmung des zu schützenden Stahlbauteils und gewährleistet dadurch einen ausreichend langen Feuerwiderstand. Will man die Rechenverfahren der Eurocodes für die Bemessung der Stahlbauteile im Brandfall anwenden, müssen temperaturabhängige thermische Materialkennwerte der Brandschutzplattenbekleidungen bekannt sein. Im nationalen Anhang zur DIN EN 1993-1-2 (2010) werden derzeit nur konstante temperaturunabhängige Materialkennwerte für ausgewählte Brandschutzbekleidungen bereitgestellt, die auf

Grundlage von Bauteilprüfungen unter Verwendung der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) ermittelt wurden. Während die ETK von einem rapiden und kontinuierlichen Temperaturanstieg ausgeht, wird beim Naturbrand der gesamte Brandverlauf unter Berücksichtigung von Brandlastdichten, Brandraumgeometrien und Ventilationsverhältnissen betrachtet. Die Auslegung der Schutzmaßnahmen von Brandschutzbekleidungen und reaktiven Brandschutzsystemen für natürliche Brände kann daher nicht auf Grundlage der Standard-Brandprüfungen erfolgen. Für die leistungsorientierte Bemessung brandbeanspruchter geschützter Stahlbauteile ist die temperaturabhängige Formulierung der thermischen Materialkennwerte sowohl für die Aufheizphase als auch für die Abkühlphase einer Naturbrandbeanspruchung unabdingbar.

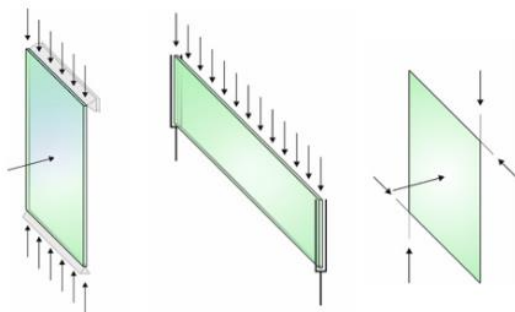
Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, die thermischen Materialkennwerte (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Rohdichte) für Brandschutzbekleidungen und reaktive Brandschutzsysteme für eine Bemessung von bekleideten Stahlbauteilen unter Naturbrand anhand von geeigneten Prüfmethoden zu bestimmen und bereitzustellen. Bis dato existiert eine Vielzahl von thermoanalytischen Messverfahren und Methoden, die zur Bestimmung der thermischen Materialkennwerte von Brandschutzbekleidungen und reaktiven Brandschutzsystemen angewendet werden können.

## Ausgabe 3/2018

- **Robustheit und Schadenstoleranz von primär tragenden Bauteilen aus Glas in Hinblick auf bauaufsichtliche Anforderungen, AiF-Nr. 18512**

## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 18512

Der Einsatz von primär tragenden Bauteilen aus Glas (Glasstützen, Glasträger, Schubfelder aus Glas, siehe Bild 1) ist derzeit nur über Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) möglich. Obwohl deutliche Fortschritte in Hinblick auf die Berechnung und Bemessung von insbesondere stabilitätsgefährdeten Bauteilen erzielt wurden ([1]–[10]), ist die Überführung der Bemessungsvorschläge in deutsche (DIN 18008-7 [11]) oder europäische Normen (CEN/TC/SC11 „Structural Glas“ [12]) behindert, weil Regeln für die Ausbildung von „robusten“ bzw. „schadenstoleranten“ Querschnitten und Bauteilen in primär tragenden Einsätzen fehlen.



Primär tragende Bauteile aus Glas (Glasstützen, Glasträger, Schubfelder)

Im Gegensatz zu sekundären Glasbauteilen, die im Allgemeinen keine Tragfunktionen oder Lasten aus übergeordneten Bauteilen übernehmen, sodass deswegen für den Fall des Bruchs einer Scheibe oder Glasschicht lediglich eine eingeschränkte Resttragfähigkeit nur für das Bauteil unter einer reduzierten Auflast sicherzustellen ist, müssen primär tragende Bauteile aus Glas so ausgebildet werden, dass auch nach Be-

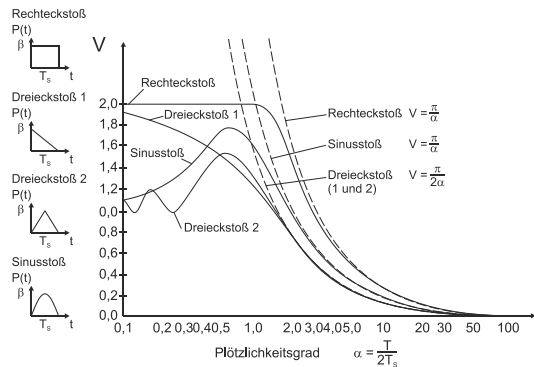
schädigung des Glasbauteils die tragende Funktion für das Gesamttragwerk erhalten bleibt.

Mit dem üblichen Konstruktionsprinzip, VSG-Querschnitte aus inneren, tragend angesetzten Glasschichten und äußeren, nicht tragend angesetzten Schutzschichten aus Glas auszubilden, ist eine Schadenstoleranz bei primär tragenden Bauteilen aus Glas nicht ohne Weiteres garantiert. Ein Grund dafür ist die bei Bruch einer (Schutz-)Glasschicht stattfindende plötzliche dynamische Lastumlagerung auf den Restquerschnitt. Denn der plötzliche, wenn auch nur teilweise erfolgende Steifigkeits- und Festigkeitsverlust ist mit einer dynamischen Stoßreaktion vergleichbar. In den bisherigen Regelungen wird diese Stoßreaktion jedoch nicht berücksichtigt. Wird weiterhin der Bruch einer (Schutz-)Glasschicht durch einen Queranprall begleitet, kann die ohnehin erfolgende Beanspruchungserhöhung infolge der Querschnittsreduzierung (gegenüber weichem Queranprall ohne Zerstörung einer Schicht) durch die Axialstoßreaktion noch weiter verstärkt werden. Dies ist insofern wichtig als die Queranpralltests (Pendelschlagversuch) derzeit nur für sekundäre Bauteile als „weicher Stoß“ ohne Axial- oder „in-plane“-Belastung konzipiert sind.

Fällt beispielsweise eine Glasschicht eines statisch belasteten VSG-Querschnitts plötzlich aus, so erhöhen sich die Schnittgrößen des Restquerschnitts stoßartig. Ohne Ansatz von Dämpfung



erzeugt der Stoß theoretisch eine kurzzeitige Vergrößerung der umlagernden Beanspruchungen von  $\phi = 2,0$  (siehe Bild 2), wenn der Last-Zeitverlauf der umlagernden Beanspruchungen näherungsweise als rechteckförmig angesehen wird [13]



*Vergrößerung V bzw. Stoßfaktor  $\phi$  in Abhängigkeit von Einwirkungsdauer  $T_s$  und Verlaufsform des Stoßes*

Während für die in DIN 18008 [11] derzeit behandelten, in der Regel sekundären Bauteile das Sicherheitsdefizit, das aus den geschilderten und ähnlichen Szenarios entsteht, in Wirklichkeit entweder über zusätzlich geforderte, versuchstechnisch zu führende Resttragfähigkeitsnachweise oder in einigen Fällen über Regeln zum Glasaufbau wieder „geheilt“ wird, sind diese für primär tragende Bauteile weitgehend ausgeschlossen. Denn die Integration primärer Glasbauteile in die übergeordnete Struktur schließt aufgrund des Versagensrisikos einen versuchstechnischen Nachweis am Originalbauwerk aus, und auch die herkömmlichen konstruktiven Regeln in Bezug auf den Restquerschnitt und die Lagerungsbedingungen sind nicht mehr ausreichend.

Hier setzt IGF-Vorhaben 18512 an, nämlich Regeln für „robuste“ und „schadenstolerante“ quer- und längsbelastete primär tragende Bauteile aus Glas zu schaffen, sodass die Stoßreaktion in der Folge von ausfallenden (Schutz-)Glasschichten nicht zu einer Überbelastung der tragenden Glasschichten und somit zu einem Versagen der Gesamtstruktur führt.

Das Forschungsvorhaben wurde an der RWTH Aachen unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 18512 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuß für Stahlbau (DASt) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bestens gedankt.

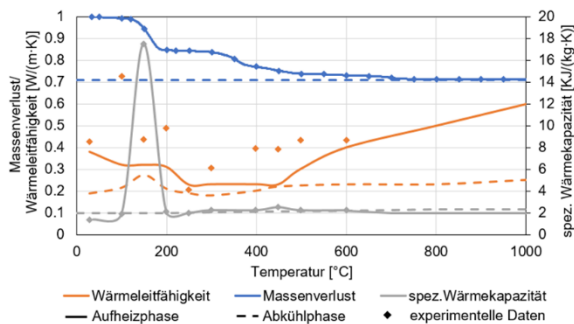
Der Bericht wird über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen sein.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

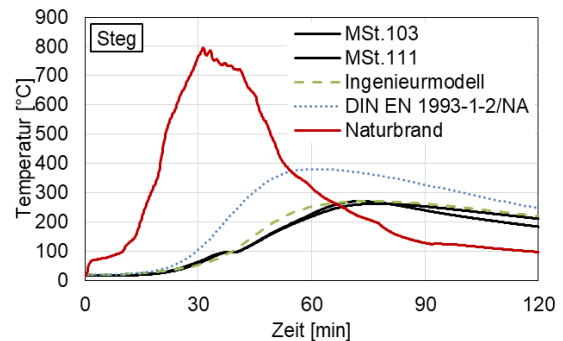
Es wurden Handlungsempfehlungen und Randbedingungen für standardisierte Prüfverfahren zur Ermittlung von



thermischen Materialkennwerten für Brandschutzplatten und reaktive Brandschutzsysteme entwickelt.

Auf Grundlage von experimentellen Laboruntersuchungen konnten fehlende thermische Materialkennwerte für Brandschutzbekleidungen und reaktive Brandschutzsysteme sowohl für die Aufheizphase als auch für die Abkühlphase bereitgestellt werden. Aufgrund der experimentellen Daten konnten die Kenntnislücken der thermischen Materialeigenschaften geschlossen werden. Die experimentellen Daten lieferten eine Aussage über das thermische Materialverhalten sowohl für die Aufheizphase als auch für die Abkühlphase. Zusätzlich sind Handlungsempfehlungen und Randbedingungen für thermoanalytische Messverfahren und Messmethoden aufgezeigt worden, die eine einheitliche Vorgehensweise zur experimentellen Bestimmung thermischer Materialkennwerte von Brandschutzmaterialien ermöglichen. Ein Großbrandversuch wurde durchgeführt, um die thermische Schutzwirkung der betrachteten Brandschutzmaterialien zum Schutz von Stahlbauteilen im realen Maßstab zu erfassen. Zusätzlich lieferte der Großbrandversuch wichtige Erkenntnisse zum Einfluss der mechanischen Einwirkung auf die thermische Schutzwirkung der Brandschutzmaterialien. Die ermittelten thermischen Materialeigenschaften der Laborversuche konnten auf den großmaßstäblichen Brandversuch übertragen werden.

Zusätzlich sind thermische Effekte, wie Fugen-, Riss- und erhöhte Blasenbildung sowie unterschiedliches Aufschäumverhalten untersucht worden. Anhand des Großbrandversuchs zeigte sich, dass insbesondere in der Abkühlphase höhere Stahltemperaturen erreicht werden können. Die realen Stahltemperaturen wurden verwendet, um die numerischen FE-Modelle, die zur Berechnung des Erwärmungsverhaltens von geschützten Stahlbauteilen erstellt wurden, zu validieren.



Die numerischen Simulationen haben gezeigt, dass mit Hilfe der FE-Modelle und den entwickelten thermischen Materialkennwerten die thermische Schutzwirkung von Brandschutzmaterialien berechnet werden kann. Die thermischen Materialkennwerte für die Aufheiz- und Abkühlphase, die aus experimentellen Daten abgeleitet wurden, können zu einer realitätsnahen Berechnung der Stahlbauteiltemperaturen eines mit Brandschutzmaterialien geschützten Stahlbauteils angewendet werden. Eine wirtschaftlichere Bemessung geschützter Stahlbauteile unter Naturbrand wird ermöglicht. Für Brandschutzmaterialien unter Naturbrandbeanspruchung können die vorgestellten thermischen Materialkennwerte und die entwickelten FE-Modelle zukünftig verwendet werden. Eine Verallgemeinerung auf andere Brandschutzmaterialien ist unter der Voraussetzung vergleichbarer Materialeigenschaften der Brandschutzmaterialien und vergleichbarer Naturbrandszenarien (Aufheiz- und Abkühlraten) möglich. Das IGF-Vorhaben 19176 wurde von der Technischen Universität Braunschweig,

Fachgebiet Brandschutz, unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß und der Leibniz Universität Hannover, unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt, durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bestens gedankt.

Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65,

40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages