

## Ausgabe 2012

- **Ergänzende Untersuchungen zur Bewertung zulässiger Restspalte zur Überführung in technische Regeln (AiF Vorhaben Nr. 16175)**
- **Nutzung der Membranwirkung von Verbundträger-Decken-Systemen im Brandfall (AiF Vorhaben Nr. 16142)**
- **Standardlösungen für punktförmig gelagerte Verglasungen – Ermittlung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (AiF Vorhaben Nr. 16320)**
- **Technologie und Sicherheitsgewinnung beim Feuerverzinken zum Ausbau der Marktposition des verzinkten Stahlbaus (265 ZBG)**

## Zusammenfassung Forschungsvorhaben AiF-Nr. 1617

### Ergänzende Untersuchungen zur Bewertung zulässiger Restspalte zur Überführung in technische Regeln

Bei der Herstellung von Vollanschlüssen wird in den heutigen Stahlbau-ausführungsnormen eine vollständig durchgeschweißte Naht gefordert. Häufig ist dies mit einem erhöhten Planungs- und Schweißaufwand verbunden. Insbesondere bei dicken Blechen mit HV-Stoß bzw. DHV-Stoß ist entsprechend der Anschlussgeometrie eine passende Nahtvorbereitung notwendig, um die Wurzel der Schweißnaht vollständig erfassen zu können. Gelingt dies nicht und wird in einem Vollanschluss eine innere Ungänze, z.B. in Form einer fehlenden Durchschweißung, bei einer zerstörungsfreien Prüfung detektiert, so ist die erforderliche Ausbesserung mit kosten- und zeitintensiven Reparaturschweißungen für den ausführenden Betrieb verbunden.

Für Stahlbauten nach DIN 18800 7 oder auch zukünftig nach DIN EN 1090 2 wird nicht nur bei ermüdungsbeanspruchten Bauteilen, sondern auch bei vorwiegend ruhend belasteten Bauteilen gemäß DIN EN ISO 5817 als Grenzwert dieser

Unregelmäßigkeit Bewertungsgruppe C bzw. B gefordert. Restspalte sind demnach nicht zulässig und müssen repariert werden.

Ein Grund für diesen strikten Anspruch der Normen an die Schweißverbindung ist die im Stahlbau z. Zt. noch übliche Ultraschalltechnik, mit der nur eine relativ grobe oder u.U. unsichere Quantifizierung des Ausmaßes eines Restspaltes möglich ist. Des Weiterem sind diese pauschalen Anforderungen an die vollständige Durchschweißung in den o.g. Normen außerdem auf fehlende Kenntnisse zur Tragsicherheit von Schweißverbindungen mit ungenügenden Durchschweißungen zurückzuführen. Ungenügende Durchschweißungen oder Restspalte stellen eine geometrische Kerbe dar, an der infolge der dort wirkenden Spannungskonzentrationen Anrisse initiieren können. Infolge der ausgeprägten mehrachsigen Spannungszustände in diesen Bereichen wirken Kerben auch bei rein statischer Beanspruchung als potentielle Ausgangspunkte für

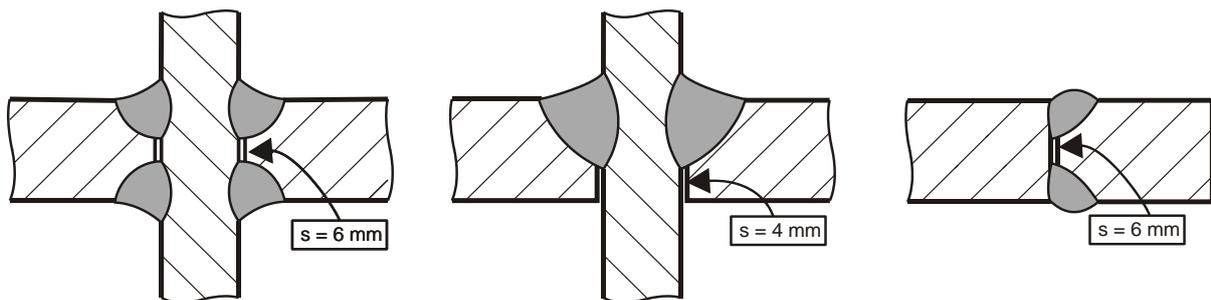
instabiles Risswachstum und sprödes Versagen.

Im AiF Vorhaben Nr. 16175 N (und auch bereits im Vorgängervorhaben AIF-Nr. 14174 N „Feststellung und Bewertung zulässiger Restspalte beim Schweißen“) wurde jedoch gezeigt, dass Restspalte entgegen der normativen Regelungen sowohl bei statischer als auch dynamischer Beanspruchung tolerierbar sind. Dieses neue Konzept zeigt eine „Fitness-for-Purpose“-Strategie auf, die mit einer ausreichend genauen Quantifizierung der Restspaltgrößen mit einem geeigneten zerstörungsfreien Prüfverfahren (Ultraschall), sowie der exakten Definition der Anforderungen einer Schweißverbindung und der mit den Anforderungen verträglichen Restspaltlängen verknüpft ist.

Im Rahmen beider Forschungsvorhaben wurden für einseitig (HV-Naht) und beidseitig (DHV-Naht) geschweißte Kreuz-, T- und Stumpfstoße mit ungenügenden Durchschweißungen umfangreiche bruchmechanische Untersuchungen durchgeführt und experimentell in Großversuchen verifiziert. Der

Nachweis zur Vermeidung von Sprödbrech und somit zur Ableitung zulässiger Restspaltgrößen wurde in Anlehnung an DIN EN 1993-1-10 geführt, indem der Restspalt konservativ als scharfer Anriss aufgefasst wurde. Die berechneten zulässigen Restspaltlängen wurden für gängige Anschlusskonfigurationen in Diagrammen graphisch aufbereitet und sollen zukünftig in einer neuen DASt-Richtlinie tabellarisch umgesetzt werden.

Die Einschränkung hinsichtlich der genauen Quantifizierung der Restspaltgröße durch herkömmliche zerstörungsfreie Prüfverfahren konnte durch eine weiterentwickelte Ultraschalltechnik überwunden werden. Unter anderem wurden von der SLV-Duisburg Modifikationen an UT-Prüfköpfen vorgenommen, so dass eine wirtschaftliche und zahlenmäßig ausreichend genaue Erfassung von Restspaltgrößen in Kreuzstoß- und Stumpfstoßverbindungen nun möglich ist. Des Weiteren erwiesen sich bildgebende Ultraschallverfahren (Phased-Array) zur genauen Detektion von Restspaltgrößen als geeignete Werkzeuge.



Das IGF-Vorhaben 16175 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau – DASt wurde gemeinsam mit der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV Duisburg durchgeführt und über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

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



## Zusammenfassung Forschungsvorhaben AiF-Nr. 16142

### Nutzung der Membranwirkung von Verbundträger-Decken-Systemen im Brandfall

Verbundträger-Decken-Systeme zeigen im Brandfall ein gutmütiges Tragverhalten. Durch große Verformungen können Membrankräfte aktiviert und dadurch größere Spannweiten überbrückt werden. Die Nebenträger innerhalb eines Deckenfeldes werden daher bei hohen Temperaturen nicht benötigt und können ungeschützt belassen werden. In Großbritannien und der Schweiz wird die Membranwirkung von Verbunddecken im Brand mit dem Bemessungsverfahren nach Bailey bereits genutzt. Um das Verfahren auch in Deutschland anwenden zu können, bedarf es jedoch noch einiger eingehender Untersuchungen. Im Rahmen dieses gemeinsamen Forschungsvorhabens des Lehrstuhls für Metallbau der Technischen Universität München und des Instituts für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover wurden diese Untersuchungen durchgeführt.

Innerhalb dieses Projekts wurden 2010 im Forschungslabor für Haustechnik der TU München zwei Großbrandversuche durchgeführt. Die Versuche bestätigten, dass die Membranwirkung die Tragfähigkeit im Brandfall erheblich steigert. Bei dem Versuch mit einer Gitterträger-Elementdecke trat jedoch ein großer Riss in der Nähe des Mittelträgers zwischen den beiden Deckenfeldern auf. Die Decke stürzte nicht ein, versagte aber hinsichtlich der Kriterien für die Wärmedämmung und der Dichtigkeit. Eine mögliche Erklärung, warum der Riss auftrat, wird beschrieben. Um die genauen Ursachen für das Versagen zu ergründen und vor allem um die Entstehung solcher Risse zu verhindern sind weitere Forschungsarbeiten nötig.

### Zusammenfassung Forschungsvorhaben AiF-Nr. 16320

An der LU Hannover wurden umfangreiche numerische Analysen und Vergleichsrechnungen mit der Finiten-Element-Methode durchgeführt. Ergebnis dieser Untersuchungen ist eine Bemessungstabelle, mit der die Membranwirkung einfach berücksichtigt werden kann. Auch wenn noch weitere Fragen geklärt werden müssen, ist die Tabelle in dem angegebenen Parameterbereich und unter Einhaltung der angegebenen konservativen Konstruktionsregeln bereits anwendbar.

Die Methode der Membranwirkung birgt ein großes wirtschaftliches Potential. Ein Großteil der Brandschutzmaßnahmen an den Deckenträgern kann durch die Anwendung der Methode eingespart werden, was die Wirtschaftlichkeit dieser Deckensysteme erheblich steigert.

Das IGF-Vorhaben 16142 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau – DAST wurde gemeinsam mit der TU München und der Universität Hannover durchgeführt und über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

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



## Standardlösungen für punktförmig gelagerte Verglasungen – Ermittlung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

In Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens „Standardlösungen für punktförmig gelagerte Verglasung – Ermittlung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (16320 N) wurden durch die vier Forschungsstellen Bundeswehr Universität München, RWTH Aachen University, Universität Duisburg Essen und TU Darmstadt im Zeitraum von Januar 2010 bis Oktober 2011, drei verschiedene Verifizierungsverfahren für die Bemessung von punktförmig gelagerten Gläsern miteinander verglichen.

Durch den systematischen Vergleich der drei Verifizierungsverfahren konnten die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren identifiziert werden. Es zeigte sich, dass keines der drei Verfahren in seiner bisherigen Form die Ansprüche hinsichtlich der Kriterien Praxistauglichkeit / Umsetzbarkeit, Verifizierungsaufwand, Reproduzierbarkeit, Ergebnissicherheit / Fehlertoleranz in befriedigender Weise für eine beliebige Anwendung erfüllen kann. Daher wurde ein modifiziertes Verifizierungsverfahren (siehe Abschnitt 4.2) vorgeschlagen, das die Vorteile der einzelnen Verfahren vereint.

Weiterhin wurden experimentelle Untersuchungen an Punkthaltern sowie an Glasscheiben in Kombination mit Punkthaltern durchgeführt, um die Lastübertragungspfade zwischen Glas und Punkthalter zu identifizieren. Die Spannungen im Bohrungsbereich des Glases sind stark vom Lastübertragungspfad abhängig. Durch die experimentellen Untersuchungen konnte festgestellt werden, welche Lastübertra-

gungspfade im Bohrungsbereich aktiviert werden. Sofern keine Vergussmassen oder Passbohrungen verwendet werden, findet keine Übertragung von Lasten in Form von Momenten über die Bohrungsflanke statt. Dieses Erkenntnis hat Auswirkungen auf die Berechnung, da bei Berücksichtigung dieser Randbedingung erhebliche Differenzen in Berechnungsergebnissen eliminiert werden können. Die Identifizierung der Lastübertragungspfade hat Auswirkungen auf die Spannungsfaktoren des vereinfachten Verfahrens.

Es ist im Rahmen dieses Forschungsprojekts gelungen, alle Spannungsfaktoren für das vereinfachte Verfahren durch analytische Lösungen zu bestimmen. Zusammen mit den experimentell gewonnenen Erkenntnissen und unter Berücksichtigung des Performance-Vorteils führte dies zu der Entscheidung, das vereinfachte Verfahren als Basis für das Bemessungstool zu nutzen.

Es wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens ein Bemessungstool erstellt, mit dem der Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von punktförmig gelagerten Verglasungen deutlich vereinfacht wurde. Aufwendige FE-Simulationen müssen vom Anwender somit nicht mehr durchgeführt werden.

Das IGF-Vorhaben 16320N der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau - DASt wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

gefördert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit 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



## Zusammenfassung Forschungsvorhaben AiF-Nr. 265 ZBG

### Technologie und Sicherheitsgewinnung beim Feuerverzinken zum Ausbau der Marktposition des verzinkten Stahlbaus (265 )

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 265 ZBG „Technologie und Sicherheitsgewinnung beim Feuerverzinken zum Ausbau der Marktposition des verzinkten Stahlbaus“ wurde aufgrund von kürzlich aufgetretenen Schäden an feuerverzinkten Stahltragwerken eine intensive Ursachenforschung von November 2007 bis Oktober 2009 durchgeführt und erstmals Regeln und Grenzwerte für deren Vermeidung erarbeitet.

Stahlhochbauten sind insbesondere dann sehr wirtschaftlich und nachhaltig, wenn sie feuerverzinkt werden. Auch bietet das Feuerverzinken ästhetisch-optische Vorteile, die es zur bevorzugten Wahl bei Architekten und Bauherren werden lassen. Um den wachsenden Anforderungen des Marktes gerecht zu werden wurden Weiterentwicklungen und Wirtschaftlichkeitsmaßnahmen in den beteiligten Industriebereichen, der Stahlerzeugung, dem Stahlbau und der Verzinkung durchgeführt. Davon sind insbesondere zu nennen:

- die Entwicklung moderner hochfeste Feinkornstähle im Blech und Profilbereich,

- die Realisierung komplexer Bauteilgeometrien in architektonisch herausragenden Gebäuden und Hallen mit großen Spannweiten,
- der Einsatz von größeren Kesselabmessungen und verbesserte Verfahrensabläufe und Logistik in der gesamten Prozesskette des Verzinkens sowie
- die Anwendung neuer Zinkschmelzen mit veränderter Zusammensetzung zur besseren Kontrolle der Schichtdicke und Schichtoptik.

In der Folge musste die Stahlbau- und Verzinkungsindustrie jedoch Rückschlüsse hinnehmen, denn insbesondere an Bauwerken, die mit o.g. neuen Zinkschmelzen verzinkt und zumeist aus Baustählen mit höheren Festigkeiten ab 355 N/mm<sup>2</sup> gefertigt wurden, sind ab dem Jahr 2000 erhebliche Risschäden festgestellt worden. Untersuchungen von geschädigten Konstruktionen zeigten, dass für die Entstehung der Risse der Mechanismus der flüssigmetallinduzierten Spannungsrisskorrosion (engl. liquid metal embrittlement – LME) ursächlich ist.

Obschon Rissbildung durch flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion seit vielen Jahrzehnten bekannt ist, konnten die neuen Probleme nicht vollständig geklärt werden. Die Vielzahl und der Umfang von Schäden, die seit dem Jahr 2000 beobachtet wurden, machten daher neue interdisziplinäre Untersuchungen notwendig. Insbesondere auch, weil einerseits die Marktposition einer ganzen Branche, insbesondere den mittelständischen Betrieben des Stahlbaus und der Verzinkereiindustrie gefährdet war und zum anderen festgestellt wurde, dass fachübergreifende Richtlinien für rissfreie Verzinkung nicht existent waren oder noch in der Entwicklung steckten.

Vor diesem Hintergrund wurden parallel zur Erstellung verschiedener Richtlinien des DAST und des VDIs für rissfreies Feuerverzinken bzw. der Schadensanalyse im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weitere Aspekte untersucht, die nach vorangegangenen Forschungsvorhaben noch offen waren. Dies waren Einfluss der Vorbehandlung (Beizen), des Werkstoffs (Zähigkeit, Festigkeit), der Verarbeitung (Schweißen, Kaltverformen, Bohren, Schneiden), der Zinklegierung und der Tauchgeschwindigkeit auf die Rissbildung sowie Fragen zur konstruktiven Ausbildung (Zinkdurchlauföffnungen). Weiter

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

wurden folgende für die praktische Umsetzung der Richtlinie notwendigen Ergebnisse erzielt: Weiterentwicklung von Laborversuchen zur Ermittlung der Kritikalität von Schmelzen, Eingangswerte für die numerische Simulation des Verzinkens, neue metallographische Präparationsmethoden. Für Konstruktionen, für die Risse nicht auszuschließen sind, wurde die Magnetpulverprüfung weiterentwickelt. Zur Bewertung nach DAST-Ri 009 (Sprödbbruchnachweis) sind ergänzende Methoden erarbeitet worden.

Das Forschungsvorhaben (265 ZBG) der FOSTA Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. wurde im Programm zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) im Rahmen der Zukunftsforschung für kleine und mittlere Unternehmen (ZUTECH) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) und Sachspenden der beteiligten Industriebereiche finanziert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit bestens gedankt. Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen.