

**Ausgabe 2016**

- **Einfluss von Markier- und Kennzeichnungsmethoden auf die Ermüdungsfestigkeit von Stahlbauteilen AiF-Nr. 17218**
- **Außergewöhnliche Bemessungssituationen nach DIN EN 1991-1-7 – Effektive Anwendung und Bemessungsstrategien für Stahl- und Verbundrahmentragwerke AiF-Nr. 17153**
- **Dauerhaftigkeit des Randverbundes von Isolierverglasungen AiF-Nr. 17235**

**Zusammenfassung Forschungsvorhaben mit der AiF-Nr. 17218****Einfluss von Markier- und Kennzeichnungsmethoden auf die Ermüdungsfestigkeit von Stahlbauteilen**

Im gegenwärtigen Stahlbau gewinnen effektive und effiziente Kennzeichnungsmethoden immer mehr an Bedeutung. Die Kennzeichnung von Bauteilen dient der Qualitätskontrolle, dem Schutz vor Fälschungen sowie der eindeutigen Identifizierbarkeit bei evtl. auftretenden Haftungsansprüchen. In der Fertigung und Produktion von Stahltragwerken ist eine Rückverfolgbarkeit von Bauteilen von der Herstellung bis zum Einbau und darüber hinaus nicht nur vorteilhaft, sondern normativ gefordert. Die für die Ausführung von Stahltragwerken anzuwendende Norm DIN EN 1090-2:2011-10 fordert für Bauteile der Ausführungsklasse EXC3 und EXC4 explizit die lückenlose Rückverfolgbarkeit von Bauteilen von der Lieferung bis zum Einbau, ohne dass die Aufbringung von dauerhaften Kennzeichnungen zu Beschädigungen des Bauteils führt. Harte Kennzeichnungsmethoden wie Hartprägungen und gebohrte oder gestanzte Markierungen sind nur zulässig für Stahlsorten des Festigkeitsbereiches bis einschließlich S355 und nur in festgelegten Bereichen, wo die Markierung keinen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten hat. Der Deutsche Bahn Standard (DBS)

918 002-02 fordert zugleich eine Kennzeichnung von Form- und Stabstahl mit einem Gewicht von mehr als 15 kg/m mittels Schlagstempelung oder weiterer harter Kennzeichnungsmethoden, so dass derzeit unterschiedliche Forderungen zur Art der Markierung von Bauteilen existieren.

Eine Forderung nach dauerhaften Kennzeichnungsmethoden impliziert die Widerstandsfähigkeit der Markierungen gegenüber nachgeschalteter Fertigungsprozesse wie Strahlen, Beschichten oder Feuerverzinken sowie vor Witterungseinflüssen. Insbesondere eignen sich für eine dauerhafte Kennzeichnung Methoden wie Hartes Stempeln, Fräsen, Plasmamarkieren oder Nadeln. Diese Kennzeichnungssysteme erzeugen jedoch alle eine Oberflächenveränderung und hinterlassen eine Kerbe, welche einen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten haben kann. Dieser Einfluss wurde bisher nicht im Detail untersucht, weshalb eine Einordnung der Markierkerben in den Europäischen Kerbfallkatalog nach DIN EN 1993-1-9 prinzipiell nicht möglich ist.

Aus diesen Gründen hat das Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen das Forschungsvorhaben „Ermüdungsfestigkeit markierter Stahlbauteile“ als IGF-Vorhaben 17218 N des Deutschen Ausschuss für Stahlbau e.V. (DAST), gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluss der vier Kennzeichnungsmethoden Hartes Stempeln, Fräsen, Plasmamarkieren und Nadeln auf die Ermüdungsfestigkeit markierter Stahloberflächen zu quantifizieren und zu bewerten.

Als Werkstoffe kamen je Markiermethode die im Brückenbau übliche Stahlsorte S355J2 sowie die Stahlsorte S460N zur Abdeckung eines über des in DIN EN 1090-2 zulässigen Festigkeitsbereichs zum Einsatz. Zur Untersuchung eines möglichen Blechdickeneffekts wurden je Markiermethode und Stahlsorte Prüfkörper der Blechdicken 15 mm, 25 mm und 40 mm untersucht. Die Markiertiefen beliefen sich für Harte Stempelungen auf ca. 600  $\mu\text{m}$ , für Fräsmarkierungen auf ca. 150-200  $\mu\text{m}$  (S355J2) bzw. 300-350  $\mu\text{m}$  (S460N). Für die untersuchten Plasmamarkierungen resultierten in den Ansatz- und Endpunkten ca. 600  $\mu\text{m}$  tiefe Kerben und für die Nadelmarkierung waren die Kerben im Mittel ca. 300  $\mu\text{m}$  tief.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen mit Ausnahme der Nadelmarkierungen einen direkten Einfluss auf das Ermüdungsverhalten. Der Rissausgang der getesteten Versuchskörper ging für die ausgewerteten Proben immer von einer der Kerben der Kennzeichnung aus.

Der Einfluss der Nadelmarkierungen auf das Ermüdungsverhalten ist für die gegebenen Parameter als vernachlässigbar einzustufen. Die getesteten Versuchskörper versagten unter vergleichsweise hohen Ermüdungsbeanspruchungen entweder im Grundmaterial mit einem Rissausgang, welcher nicht von der Markierung ausging, oder konnten als Durchläufer klassifiziert werden.

Die Bezugswerte der Ermüdungsfestigkeit bei zwei Millionen Lastwechseln liegen für die weiteren Versuchsserien zwischen  $\sigma_{c,95\%} = 125 \text{ N/mm}^2$  für gestempelte Versuchskörper der Blechdicke 15 mm aus S355J2 und  $\sigma_{c,95\%} = 231 \text{ N/mm}^2$  für gefräste Versuchskörper der Blechdicke 40 mm aus S460N. Innerhalb der Versuchsserien einer Markiermethode lässt sich für die Versuche kein negativer Blechdickenefekt feststellen. Tendenziell steigt die Ermüdungsfestigkeit für die untersuchten Prüfkörper mit zunehmender Blechdicke an. Darüber hinaus lässt sich kein Einfluss der Streckgrenze auf das Ermüdungsverhalten erkennen.

Aufgrund der erzielten Ergebnisse lassen sich die Kennzeichnungsmethoden für die gegebenen Kerbgeometrien, Blechdicken und Stahlsorten in vergleichsweise hohe Kerbfallklassen einordnen.

Weiterführende Untersuchungen hinsichtlich veränderter Markier- und Grundmaterialparameter werden derzeit am Institut für Metall- und Leichtbau durchgeführt.

Das Forschungsvorhaben wurde an der Universität Duisburg-Essen, unter der Leitung von Frau Prof. Stranghörer, durchgeführt.

Das AiF-Vorhaben 17218 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau DAST wurde über

die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (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 zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 17153

### **Außergewöhnliche Bemessungssituationen nach DIN EN 1991-1-7 – Effektive Anwendung und Bemessungsstrategien für Stahl- und Verbundrahmentragwerke**

In DIN EN 1991-1-7 werden zwar einige Strategien angesprochen, wie mit außergewöhnlichen Einwirkungen umzugehen ist, jedoch werden zur Umsetzung der jeweiligen Strategie nur wenige genaue Angaben gemacht. In einem ersten Schritt wurden außergewöhnliche Einwirkungen und Bemessungssituationen definiert. Dabei wurden vor allem die in DIN EN 1991-1-7 behandelten außergewöhnlichen Einwirkungen, die für den Hochbau relevant werden können, berücksichtigt und ihr Einfluss auf die Schadensfolgen eines Tragwerks erläutert.

Darauf aufbauend, wurden die in DIN EN 1990 und DIN EN 1991-1-7 vorhandenen Bemessungsstrategien für außergewöhnliche Szenarien erläutert und Strategieempfehlungen gegeben. Diese basieren auf der jeweiligen Schadensfolgeklasse des Tragwerks. Mit der Strategieempfehlung der Ausnutzung alternativer Lastpfade durch Aktivierung einer Spannbandwirkung wird dem Anwender eine Möglichkeit geboten, unabhängig von der Art der auftretenden außergewöhnlichen Einwirkung, die den Stützensausfall ausgelöst hat, die Robustheit des Tragwerks nach einem Stützensausfall zu beurteilen.

Für die weiteren Untersuchungen am globalen System, aber auch an den lokalen Knoten mit den Anschlüssen wurde als Referenzstruktur ein typisches mehrgeschossiges Bürogebäude in Stahl-Verbundrahmenbauweise bemessen.

Anschließend wurden nichtlineare numerische Simulationen am globalen System des Referenzrahmens durchgeführt. Mit Hilfe dieser Simulationen konnte durch eine Sensitivitätsanalyse der Einfluss der Anschlusscharakteristik auf das Systemverhalten nach einem Stützensausfall quantifiziert werden.

In weiteren Untersuchungen wurden der Einfluss unterschiedlicher Deckensysteme und der Einfluss eines 2D- bzw. 3D-Lastabtrags betrachtet. Vor allem bei 2D-Verbundrahmen spielen die Steifigkeit des Knotens und das Trag- und Duktilitätsverhalten eine wichtige Rolle, um die Robustheit des Rahmentragwerks zu gewährleisten. In vier durchgeführten Verbundknotenversuchen wurden sowohl positive als auch negative M-N-Beanspruchungen untersucht. Im Rahmen der Umsetzung für die Anwendung wurde nicht nur das allgemeine Vorgehen erläutert, sondern mit der Beamline - Methode auch eine

vereinfachte analytische Vorgehensweise hergeleitet, um die Anforderungen eines Rahmentragwerkes an die Knotenausbildung zu bestimmen.

Über die erläuterten vereinfachten Bemessungsverfahren für die Knoten kann die vorhandene Anschlusscharakteristik relativ schnell bestimmt werden und so die Anforderungen an die Knoten mit den vorhandenen Kapazitäten anschaulich verglichen werden. Dadurch kann ein ergänzender „Robustheitsnachweis“ zeitsparend und effizient in die „normale“ Tragwerksberechnung integriert werden.

Schließlich werden Konstruktionsempfehlungen gegeben, um eine hohe Duktilität der Anschlüsse und somit eine hohe Rotationskapazität der Knoten zu erzielen. Dabei sind sowohl Kriterien für den Stahlanschluss als auch Kriterien für die Stahlbetonplatte angegeben. Somit ist eine Möglichkeit gegeben, ohne großen Mehraufwand und im wirtschaftlichen Rahmen, die Bemessungssituationen mit außergewöhnlichen Einwirkungen abzudecken.

## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 17235

### Dauerhaftigkeit des Randverbundes von Isolierverglasungen

Wesentliche Aufgaben moderner Glasfassaden werden von den Eigenschaften der Mehrscheiben-Isoliergläser erfüllt. Das mechanische Verhalten des Randverbundes dieser Mehrscheiben-Isoliergläser ist allerdings noch relativ unbekannt, obwohl das Verhalten des Randverbundes Dinge wie Gasverlust der Scheiben oder einen Feuchteintritt in den Scheibenzwischenraum, und damit bauphysikalische Werte, deutlich beeinflussen.

Das Forschungsvorhaben wurde am Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart, unter der Leitung von Frau Prof. Kuhlmann, durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 17153 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuß für Stahlbau DASt wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 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



Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden Messungen an einer großen Breite von verschiedenen Aufbauten von Mehrscheibenisoliergläsern (Zweifach- und Dreifach-Isolierglas) hinsichtlich ihres mechanischen Verhaltens untersucht und ein Modell zur Dimensionierung des Randverbundes entwickelt. Während einer standardisierten Klima-Prüfung wurden der Innendruck und die Innentemperatur im Scheibenzwischenraum erfasst und die Aufweitungen des Randverbundes orthogonal zu

den Glasscheiben punktuell gemessen. Dehnungsmessungen auf den Scheibenoberflächen ergänzten die erfassten Daten. Im Anschluss an die Klima-Prüfung wurde die Gasverlustrate und die Trocknungsmittelbeladung – beides ein Maß für ein funktionierendes Mehrscheiben-Isolierglas - gemessen.

Die ermittelten Klimalasten waren aufgrund der Aufweitung des Randverbundes im Überdruckbereich geringer verglichen mit geometrisch nichtlinearen FE-Berechnungen ohne Berücksichtigung einer Aufweitung. Im Unterdruckbereich stellten sich keine nennenswerte Stauchung des Randverbundes und damit keine signifikante Verringerung der Klimalast ein. Ein Vergleich von Feuchtigkeitsaufnahme und Klimalast während der Klima-Prüfung zeigte, dass mit höherer Belastung auch eine höhere Feuchtigkeitsaufnahme einherging. Für die Gasverlustrate nach der Klima-Prüfung konnte kein Zusammenhang mit der Belastung während der Prüfung festgestellt werden.

Zur Bemessung des Randverbundes in Bezug auf die Dauerhaftigkeit von Mehrscheiben-Isoliergläsern wurde ein Modell zur Ermittlung der maximalen Feuchtigkeitsaufnahme während einer Klima-Prüfung nach Teil 2 der DIN EN 1279 auf Basis der ermittelten Daten erstellt. Mit Hilfe rechnerischer Dehnungen ist eine Prognose der Feuchtigkeitsaufnahme möglich. Die Dimensionierung kann über die Identifizierung kritischer Aufbauten und einer dadurch notwendigen Erhöhung der Rückenüberdeckung, Erhöhung der Poly-

isobutylene menge oder über die Anpassung der Trocknungsmittelmenge erfolgen.

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 17235 N wurde von der Technischen Universität Darmstadt, Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt, 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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

