

## Ausgabe 2017

- **Große Ankerplatten mit Kopfbolzen für hochbeanspruchte Konstruktionen im Industrie- und Anlagenbau AiF-Nr. 17654**
- **Interaktionstragwirkung von hochfesten Schrauben AiF-Nr. 18095 N**
- **Allgemeines Verfahren zum Nachweis gegen Stabilitätsversagen aus der Haupttragebene (ALLVER) AiF Nr.: 17943 N**
- **Beulen mehrachsig beanspruchter Platten AiF Nr. 18212**
- **Modell zur Erfassung der Rissbreiten bei durchlaufenden Stahlverbundträgern mit Teil- und Ganzfertigteilen AiF Nr. 18257**

## Zusammenfassung Forschungsvorhaben des AiF Vorhaben Nr. 17654

### Große Ankerplatten mit Kopfbolzen für hochbeanspruchte Konstruktionen im Industrie- und Anlagenbau

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde das Trag- und Verformungsverhalten von großen Ankerplatten unter Zug-, Querkraft- und Zwangsbeanspruchungen untersucht. Dabei wurden Ankerplatten mit mehr als der aktuell zulässigen Kopfbolzenanzahl verwendet, um die Übertragung von großen Kräften im Bereich des Anschlusses zu ermöglichen.

Zur Untersuchung des Tragverhaltens und der Lastverteilung zwischen den Kopfbolzenreihen wurden an der Technischen Universität Kaiserslautern und an der MPA Stuttgart Normal- und Querkraftversuche durchgeführt. In den Versuchsserien wurden zur Bestimmung der wesentlichen Einflussgrößen auf das Tragverhalten und die Lastverteilung Parameter wie die Ankerplattendicke, die Einbindelänge der Kopfbolzen und die Exzentrizität der Lasten variiert.

Im Bereich der auf Zug beanspruchten Kopfbolzen wurde zusätzlich eine Rückhängebewehrung berücksichtigt, deren Einfluss auf die Vergrößerung der Tragfähigkeit durch die Variation des Bewehrungsgrades untersucht

wurde. Die Versuche wurden in gerissenen und ungerissenen Beton durchgeführt. Neben

den Untersuchungen unter Last wurden an der Technischen Universität Kaiserslautern große, dünne Ankerplatten unter Zwang untersucht. Mittels dieser Versuchsserie konnten Auswirkungen der Kurzzeitrelaxation des Betons auf die untersuchten Ankerplatten festgestellt werden.

Mit Hilfe numerischer Untersuchungen wurden neben offenen Fragen zur Verteilung der Querkräfte die Einflüsse weiterer Faktoren wie der Betondruckfestigkeit und des Bewehrungsgrades untersucht. Mit den numerischen Untersuchungen konnte die Entwicklung eines geeigneten Bemessungsmodells gestützt werden. Die numerischen Untersuchungen der Versuche unter Zwang konnten das Verhalten von großen Ankerplatten für den betrachteten Versuchszeitraum näher beschreiben. Insbesondere die Verteilung der Normalkräfte über die verschiedenen Dübelreihen der Ankerplatte hinweg sowie die Verteilung der Querkräfte auf die Kopfbolzen

Kopfbolzen, konnten neben den experimentellen Untersuchungen als Grundlage für die Entwicklung eines analytischen Modells zur Berücksichtigung von Zwang mit herangezogen werden.

Auf Grundlage der experimentellen und der numerischen Untersuchungen wurde ein auf der Komponentenmethode basierendes Bemessungsmodell entwickelt. Im Bemessungsmodell wurden neuere Erkenntnisse zur Berücksichtigung einer Rückhängebewehrung im Bereich der auf Zug beanspruchten Verbindungsmittel angewendet. Im Hinblick auf die Lastverteilung finden plastische Bemessungsansätze im analytischen Modell Anwendung, die die Berücksichtigung einer Lastumlagerung innerhalb der Ankerplatte möglich machen.

Mit dem entwickelten analytischen Modell ist eine wirtschaftliche Bemessung von großen Ankerplatten mit mehr als der aktuell zulässigen Anzahl an Verbindungsmitteln möglich. Eine zusätzliche Beanspruchung infolge Zwang kann mit dem entwickelten Stabwerkmodell mitberücksichtigt werden.

Das Forschungsvorhaben wurde an der Universität Stuttgart, unter der Leitung

von Frau Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann sowie an der Technischen Universität Kaiserslautern, unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 17654 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 Bundestage 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



## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben mit der AiF-Nr.: 18095 N

### Interaktionstragwirkung von hochfesten Schrauben

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde das Tragverhalten von Schrauben unter kombinierter Zug-Abscherbelastung grundlegend erforscht. Es wurde keine rein theoretische Forschung betrieben, sondern der baupraktisch relevante Bereich wurde betrachtet.

Es wurde ein konkretes Versuchsprogramm aufgestellt und ein hierfür adäquater Versuchsaufbau entwickelt und

hergestellt. Anschließend wurden die Versuche an den Schraubengarnituren vorgenommen. Als ergänzende Versuche zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte für die numerischen Untersuchungen, wurden Zugproben nach DIN EN ISO 898-1 sowie Vickershärte-Prüfungen durchgeführt.

Anhand eines vereinfachten numerischen Modells einer Schaftschraube

wurden mit dem FEM-Programm ANSYS Workbench Voruntersuchungen zur Lagerung und Lastaufbringung durchgeführt. Hierzu wurden Werkstoffgesetze für die Festigkeiten 4.6 und 10.9 basierend auf den Ergebnissen der experimentellen Materialprüfungen im Programm implementiert. Es wurde ein detailliertes Modell für die Schaftschrauben und für die Gewindeschrauben entwickelt. Nach Fertigstellung der Modelle wurden die Belastungswinkel analog zu den experimentellen Untersuchungen variiert.

Bei der Modellierung der Schrauben und der Lastaufbringungsplatten wurde auf die geometrischen Randbedingungen der experimentellen Untersuchungen zurückgegriffen, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Die Variation der Lastaufbringung, entweder durch Aufbringen einer Verschiebung im entsprechenden Winkel oder Aufbringen einer Last in dem entsprechenden Winkel, hat gezeigt, die Lastaufbringung in Form einer Kraft die Realität korrekter abbildet. Nach Abschluss der Voruntersuchungen mit einem Winkel von  $45^\circ$  wurden die Winkel entsprechend variiert. Weiterhin wurden Parameterstudien zum Einfluss der Geometrie (Klemmlänge, Lochspiel, Schaftdurchmesser) durchgeführt.

Zu der Beurteilung des Interaktionstragverhaltens wurden die Ergebnisse der Versuche in Interaktionsdiagrammen aufbereitet und zusammengefasst, um Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten sichtbar zu machen und einen Vergleich mit den Interaktionsfunktionen aus den Normenwerken zu ermöglichen. Hierzu wurde eine bezogene Darstellung gewählt. Die ermittelten Gesamttraglasten aus den Versuchen wurden über den jeweiligen Versuchswinkel in die Zug- und Abscherkomponenten aufgeteilt.

Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen wurden entsprechend der

experimentellen Ergebnisse in eine bezogene Darstellung überführt und mit den Versuchsergebnissen sowie den Interaktionsfunktionen der Normenwerke verglichen. Basierend auf den Ergebnissen wurden Empfehlungen für die Praxis erarbeitet.

Auf Grundlage dieser umfangreichen Versuchsreihen unterschiedlicher Festigkeitsklassen mit Schaft oder mit Gewinde in der Scherfuge konnte die Interaktionstragwirkung von hochfesten Schrauben zuverlässiger erfasst werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass die in älteren Normenwerken Europas verankerte quadratische Interaktionsbedingung zum Nachweis von Schrauben unter kombinierter Belastung noch die in der gültigen DIN EN 1993-1-8 gegebene, bilineare und deutlich konservativere Nachweisregelung auf eine gesicherte Grundlage zurückgehen. Es wurde eine sichere und sinnvolle, zukünftige Nachweisregelung erarbeitet.

Das IGF-Vorhaben 18095 N wurde von der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Stahlbau, unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange, 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:



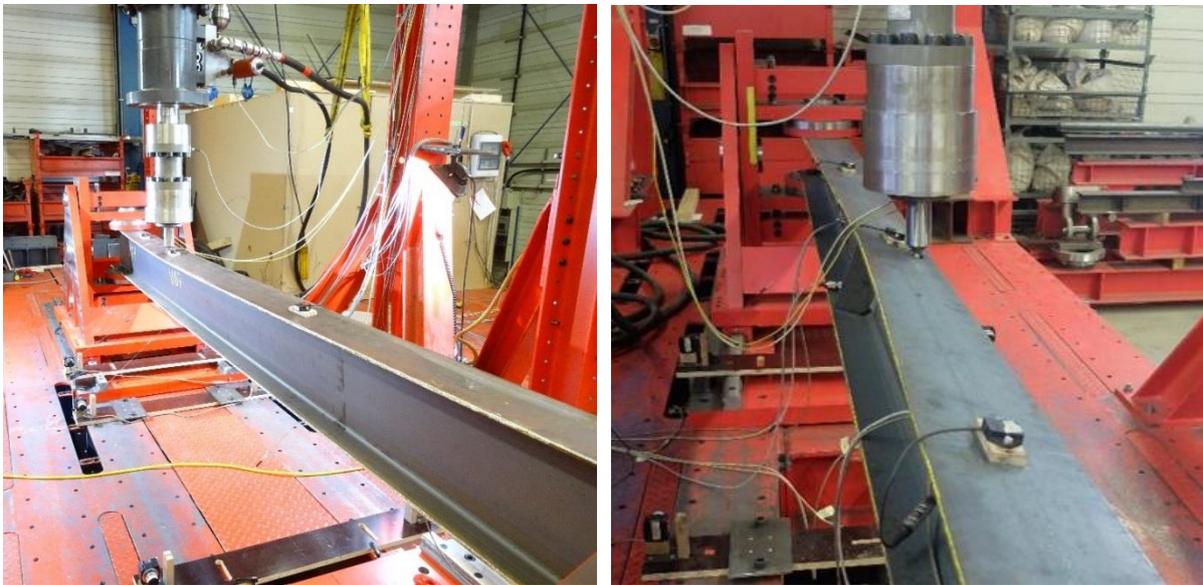
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr.: 17943 N

### Allgemeines Verfahren zum Nachweis gegen Stabilitätsversagen aus der Haupttragebene (ALLVER)



Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens ALLVER „Allgemeines Verfahren zum Nachweis gegen Stabilitätsversagen aus der Haupttragebene“ mit der IGF-Nr. 17943 N wurde von November 2013 bis Oktober 2016 am Institut für Stahlbau, als alleinige Forschungsstelle, das Stabilitätsverhalten von Walzprofilen untersucht. Es wurde ein einheitliches Nachweisverfahren auf Basis von Kickspannungslinien entwickelt, mit dem es möglich ist, beliebig beanspruchte Träger (Normalkraft, Hauptbiegung, Querbiegung und Torsion) nachzuweisen. Im Gegensatz zu den gegenwärtigen Vorgehen nach DIN EN 1993-1-1, wo Biegeknicken

und Biegedrillknicken zunächst als getrennte Stabilitätsphänomene zu betrachten sind und hinterher mittels aufwendiger Interaktionsbeziehungen wieder zusammen zu führen sind, wird mit dem vorgeschlagenen Verfahren der Nachweis, unter Berücksichtigung sämtlicher Schnittgrößen und Effekte nach Theorie 2. Ordnung, direkt geführt. Für die Durchführung von Traglastanalysen nach Theorie 2. Ordnung wurde ein Modell zum Ansatz geometrischer Ersatzimperfectionen entwickelt, welches auf der gleichen Grundlage fundiert und ebenso als allgemeingültig angesehen werden kann. Mit diesem Modell wurden zahlreiche numerische

Studien, in Form von Eigenwert- und Traglastanalysen an unterschiedlich belasteten Trägern, durchgeführt.

Doch ein wesentlicher Schwerpunkt dieses Projektes lag in der Durchführung von Biegedrillknickversuchen. Diese Versuchsart reagiert besonders empfindlich gegenüber der Lagerung und besonders der Richtungstreue der Lasteinleitung. Jede noch so kleine Fehumsetzung kann die Versuchsergebnisse stark beeinflussen und deren Auswertung deutlich erschweren oder sogar unmöglich machen. Daher wurde am Institut für Stahlbau ein absolut innovativer Versuchsstand entwickelt und mit Unterstützung der beteiligten Projektpartner aus der Industrie umgesetzt. Mit diesem Versuchsstand können die maßgeblichen Freiheitsgrade, die mittels Linearführungen, Wälz- und Gleitlagern geführt sind, nahezu beliebig eingestellt werden. Die seitlich verschiebbare Lasteinleitung reagiert über Sensoren äußerst sensibel auf das seitliche Ausweichbestreben des Trägers und regelt selbständig nach, so dass zusammen mit einem eigens entwickelten Regelalgorithmus während der gesamten Versuchsdauer sichergestellt ist, dass der Biegedrillknick-Prozess weder behindert noch beschleunigt wird. Insgesamt wurden 24 Biegedrillknickversuche mit einachsiger Biegung, sowie 4 zusätzliche Versuche mit Biegung und Torsion durchgeführt.

Es konnten neue Erkenntnisse in Hinblick auf die anzusetzenden Imperfektionsbeiwerte für Biegedrillknicknachweise gesammelt werden. Die Imperfektionsbeiwerte wären, im Vergleich zu den gegenwärtigen Richtlinien und Empfehlungen, deutlich geringer anzusetzen, was wiederum zu deutlich wirtschaftlicheren Bemessungsergebnis-

sen führen würde. Für eine entsprechende Anpassung dieser Werte in den gegenwärtigen Regelwerken, sind jedoch wesentlich mehr Versuche mit unterschiedlichen Profil-, System- und Belastungskonstellationen erforderlich. Auch der, im Projekt erforschte, klare analytische Zusammenhang zwischen dem Biegeknicken und dem Biegedrillknicken, sowie die Möglichkeit bei kombinierter Beanspruchung den Nachweis direkt mit der Definition einer allgemeingültigen Knickspannungslinie führen zu können, sind durch weitere Forschungsarbeit bzw. Versuche zu verifizieren. Am Institut für Stahlbau sind bereits Nachfolgeprojekte mit genau diesen Schwerpunkten geplant.

Das IGF-Vorhaben 17943 N 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 Forschungsvorhaben AiF-Nr. 18212

### Beulen mehrachsig beanspruchter Platten

Die Bemessung schlanker plattenförmiger Bauteile erfolgt nach DIN EN 1993-1-5 in Deutschland meist nach der Methode der reduzierten Spannungen. Dabei handelt es sich um ein klassisches Nachweisformat, das die Spannungen im Blech begrenzt und diese einer Art von von-Mises Vergleichsspannung gegenüberstellt. DIN EN 1993-1-5 schließt dabei im Fall, dass neben Druck- oder Schubspannungen auch Zugspannungen in einem Blechfeld auftreten, die Anwendung der Zugspannungen für die Nachweisgleichung aus. Dabei bewirken die Zugspannungen ein tendenziell günstigeres Tragverhalten. Ob dieser Effekt aber in Wirklichkeit auch so stark ist, wie es der Nachweis wiedergibt, ist bisher weder durch Versuche noch durch systematische numerische Untersuchungen richtig belegt.

Aus diesem Grund wurden die Einflüsse der Zugspannungen auf der Beulverhalten von schlanken plattenförmigen Bauteile im AiF-Forschungsvorhaben Nr. 18212 untersucht. Um einen Einblick in das Beulverhalten zu gewinnen, wurden sechs Versuche an mehrachsig beanspruchten schlanken Stahlplatten durchgeführt, wobei die Beulfelder in eine Richtung durch Druckspannung und in der anderen Richtung durch Zugspannung beansprucht wurden. Während für die einachsig belasteten Referenzversuche stets einwellige Versagensformen beobachtet wurden, traten mehrwellige Versagensformen ein, wenn zusätzlich Zugspannungen in Querrichtung aufgebracht wurden. Das entspricht dem Verhalten des Verzweigungsproblems nach der linear elastischen Beultheorie (LBA), wo Zugspannungen auch zu mehrwelligen Eigenformen führen.

Um einen weiten Parameterbereich für das Beulverhalten mehrachsig beanspruchter Beulfelder zu untersuchen, wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens die Methode der finiten Elemente (FEM) angewandt. Unter Berücksichtigung der Ansätze gemäß Anhang C, EN 1993-1-5 wurden mit ABAQUS Simulationen der oben genannten Versuche durchgeführt. Das gleiche Beulverhalten wie in den Versuchen wurde dabei auch bei der numerischen Nachrechnung beobachtet. Das validierte numerische Modell wurde für die durchgeführten Parameterstudien herangezogen, um die Auswirkung verschiedener Einflussgrößen zu beurteilen. Für die Durchführung der Parameterstudien wurden vereinfachte Modelle mit verschiedenen Ansätzen für die Randbedingungen erzeugt.

Wie auch bei den experimentellen Untersuchungen festgestellt, hat das Spannungsverhältnis bei Beulfeldern unter mehrachsigen Spannungszuständen einen entscheidenden Einfluss auf den Versagensmodus. So wurden für die numerischen Untersuchungen auch mehrere unterschiedliche Anfangsimperfektionen angesetzt, um Übergänge zwischen den Versagensmodi zu erkennen. Es wurden dabei die Interaktionsfälle Zug-Druck, Zug-Schub, Druck-Schub und Biegung-Schub für unausgesteifte Beulfelder sowie biaxialer Druck für ausgesteifte Beulfelder betrachtet. Im Fall von auf Zug-Druck beanspruchten Beulfeldern haben die Lagerungsbedingungen der Beulfelder in erster Linie einen Einfluss auf das Tragverhalten bei vorherrschend einachsigem Druck. Mit zunehmenden Zugspannungen verschwinden diese Unter-

schiede, so dass ein vereinfachter Ausdruck hergeleitet wurde um zu beurteilen, ob für unausgesteifte Fälle unter Zug-Druck Plattenbeulen maßgebend wird oder nicht. Weitere numerische Untersuchungen konzentrierten sich auf das Beulverhalten ausgesteifter Beulfelder unter biaxialem Druck. Verschiedene Kombinationen von Anfangsimperfektionen nach Anhang C, EN 1993-1-5 wurden dabei auf das numerische Modell angesetzt. Die Ergebnisse zeigten die Empfindlichkeit ausgesteifter Beulfelder unter biaxialem Druck auf, bei denen ausgeprägte Tragfähigkeitsreduktionen bei Verwendung schwacher Steifen auftraten. Ähnliche Ergebnisse wurden auch für lange ausgesteifte Beulfelder beobachtet, bei denen globales Versagen unter Querbelaftung maßgebend wurde, während für kleinere Seitenverhältnis in der Regel ein lokales Versagen auch unter Verwendung schwacher Steifen beobachtet werden konnte. Für bestimmte Fälle wurde ein lokales Beulen der Teilfelder für einachsigen Druck in beiden Richtungen beobachtet, während unter kombinierter Beanspruchung globales Versagen maßgebend wurde, so dass eine „allgemeine Trennung der Lastfälle“ für ausgesteifte Beulfelder nicht sinnvoll zu sein scheint, da abtreibende Kräfte auf die Steifen zu globalem Versagen führen können.

Auf der Grundlage der durchgeführten Parameterstudien wurde ein neuer Bemessungsvorschlag entwickelt. Der Vergleich mit den numerischen Ergebnissen zeigt dabei gute Übereinstimmungen für die untersuchten Lastfälle und rechtfertigt den Ansatz der positiven Effekte aus Zugspannungen sowie eine Verbesserung der Interaktion Biegung–Schub. Zudem wurde für Beulfelder mit frei verschieblichen Rändern der Tragfähigkeit teilweise überschätzt,

wenn knickstabähnliches Verhalten vorliegt. Dies wurde bereits von Seitz beobachtet, der eine Modifikation für die Interpolation zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten bei Querspannungen vorgeschlagen hat. Der Ansatz wird im Rahmen dieser Arbeit für Querspannungen aufgegriffen und führt zu guten Übereinstimmungen mit den numerischen Simulationen.

Diese Zusammenfassung folgt im Wesentlichen der Dissertation von Dr.-Ing. A. Zizza, die aber auch über die ursprüngliche Intention des Antrags hinausgeht. Die Ergebnisse dieser Arbeit erlauben eine vorteilhafte Berücksichtigung von Zugspannungen für den Beulnachweis in Übereinstimmung mit den Prinzipien der Methode der reduzierten Spannungen nach EN 1993-1-5 und vertiefen die Erkenntnisse zu mehrachsig beanspruchten Beulfeldern.

Offene Fragen stellen sich im Zusammenhang mit ausgesteiften Beulfeldern bei biaxialem Druck, u.a. auch bei der Bemessung der Längssteife selber. Des Weiteren ist bei ausgesteiften Beulfeldern auch die angesprochene Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten noch nicht zufriedenstellend gelöst.

Das AiF-Vorhaben 18212 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. 18257

### Modell zur Erfassung der Rissbreiten bei durchlaufenden Stahlverbundträgern mit Teil- und Ganzfertigteilen

Für herkömmliche Stahlverbundträger mit reiner Ortbetonplatte kann das Betonverhalten bei Zugbeanspruchung mit einigen verbundträgerspezifischen Anpassungen durch das für Stahlbetontragwerke hergeleitete Rechenmodell ‚Erstrissbildung - abgeschlossene Erstrissbildung‘ erfahrungsgemäß sehr gut abgebildet werden.

Durch die Verwendung von Fertigteilen in Stahlverbundträgern lassen sich die bekannten Vorteile der Fertigteilbauweise für den Verbundbau ausnutzen. Aufgrund der werkseitigen Herstellung und der Trennung der Bauvorgänge können Bauzeit, Qualität und Materialeigenschaften verbessert und so die Baukosten verringert werden. Anwendungsgebiete liegen dabei sowohl im Hochbau, beispielsweise bei Parkhäusern, als auch im Brückenbau. Die Erfahrungen bei der Verwendung von Fertigteilen in Verbundträgerkonstruktionen reichen mehrere Jahrzehnte zurück.

Der Entwurf wird wesentlich durch die Abmessungen der Fertigteilelemente bestimmt. Bedingt durch Konstruktion, Herstellung, Transport und Montage sind die Abmessungen der Fertigteile begrenzt. Die Analyse des Tragverhaltens im Bereich der unvermeidbaren

Fertigteulfugen führt zu zahlreichen offenen Fragestellungen. Die technischen Regelwerke enthalten bislang keine Ansätze zur rechnerischen Erfassung des Rissverhaltens sowie zu den hieraus resultierenden Besonderheiten bei Konstruktion und Bemessung von Fertigteilverbundträgern.

Aus diesem Anlass wurden erstmalig umfassende Untersuchungen zur Erfassung der Rissbreiten bei Verbundträgern mit Teil- und Ganzfertigteilen angestellt. Der methodische Ansatz bestand darin, die Entwicklung der Spannungen am Verbundträgerquerschnitt zeitlich durchgängig über den gesamten Herstellungs- und Belastungsverlauf zu erfassen. Hierfür wurde ein Versuchsprogramm entwickelt, mit dem für insgesamt zwölf Teil- und Ganzfertigteilträger in unterschiedlichen Konstruktionsvarianten die Rissbildung und der zugehörige Beanspruchungszustand unter schrittweise gesteigerter äußerer Lastaufbringung dokumentiert werden konnte. Zusätzlich wurden für den Zeitraum zwischen Herstellung und Lastaufbringung auch die Eigenspannungen infolge verhinderter Schwinddehnungen und abfließender Hydratationswärme erfasst.

Im Anschluss wurde zunächst eine grundlegende Strukturierung erarbeitet, bei der einerseits zwischen den beiden Anwendungsfällen Teilfertigteil (TFT) und Ganzfertigteil (GFT) und andererseits innerhalb des jeweiligen Bauteils zwischen Bereichen mit diskontinuierlich und kontinuierlich ausgebildetem Betongurt, s. g. F- und K-Bereichen unterschieden wird. Auf Grundlage dieser Strukturierung lassen sich vier Teilprobleme identifizieren:

1. Zustand I/II (TFT); differenzierte Rissbildung in Ortbetongergänzung und Teilfertigteilen im K-Bereich von Teilfertigteilträgern,
2. Kerbwirkung (TFT); Umlagerungseffekt an der Quertuge von Teilfertigteilträgern,
3. Sammelrissbildung (GFT); frühe singuläre Einzelrisse an den Fugengändern von Ganzfertigteilträgern,
4. Eigenspannungen (TFT, GFT).

Hierfür wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Berechnungsverfahren für Fertigteilverbundträger entwickelt, mit denen die spezifischen Besonderheiten dieser Bauweise rechnerisch erfasst und so für die Bemessung in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden können.

Die Berechnungsverfahren sind konsequent an dem bestehenden Berechnungsansatz orientiert. Die Beanspruchungen am Querschnitt wird unter Berücksichtigung des mittleren Bauteilverhaltens bestimmt. Die Bemessung kann damit grundsätzlich in der bekannten Form durchgeführt werden. Durch die differenzierte Beschreibung in den F- und K-Bereichen wird dem bestehenden Modell eine zusätzliche Ebene hin-

zugefügt. Weiterhin wird für die analytische Herleitung der gesamte Rissbildungsprozess betrachtet. Das betrifft zum einen den Beanspruchungsbereich zwischen Erstrissbildung und abgeschlossenem Rissbild, die s. g. fortschreitende Erstrissbildung. Zum anderen wird eine Beschreibung singulärer Einzelrisse vorgenommen, die vor allem das frühe Tragverhalten von Ganzfertigteilträgern (Sammelrisse) beeinflussen, aber auch an Teilfertigteilträgern auftreten können. Hierfür werden die Risszustände abgeschlossene Sammelrissbildung und abgeschlossene Fugenrissbildung ergänzt. Weiterhin wird eine konsequente Beschreibung des Schwindverhaltens an Teilfertigteilträgern sowie der Auswirkungen auf die Beanspruchungen am Querschnitt sowie die Rissbreiten vorgenommen. Dabei werden insbesondere die Übergangflächen zwischen Ortbeton und Fertigteil sowie der zeitliche Verlauf des Schwindens der Fertigteile vor und nach Einbau der Ortbetongergänzung betrachtet.

Umfangreiche rechnerische Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Entwurfsparameter auf das Riss- und Verformungsverhalten sowie die Formulierung von Ansätzen für Konstruktion und Bemessung schließen die Betrachtung ab.

Das Forschungsvorhaben 18257 der Forschungsvereinigung AiF wurde am Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren - Stahlbau der TU Berlin durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler und Herrn Dipl.-Ing. Matthias Mager durchgeführt. Das Forschungsvorhaben wurde im Programm zur „Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung“ (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) über die AiF finanziert und im Auftrage

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

