

10. Juni 1998

Ausgabe 1/98

Mit dieser Publikationsreihe "Berichte aus der Stahlbauforschung" will der Deutsche Ausschuß für Stahlbau DAST die interessierte Fachöffentlichkeit in unregelmäßigen Abständen über die neueren Forschungsergebnisse sowie aktuelle Neuigkeiten rund um das Thema Stahlbauforschung und den DAST informieren. Dieser Informationsdienst richtet sich an technische Fachleute in der Stahlbauindustrie, bei Behörden, bei Bauherren und in der Forschung.

In der aktuellen Ausgabe werden auch Projekte des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt, Berlin, der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, der Deutschen Gesellschaft für chemischen Apparatebau, chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn, der Arbeitsgemeinschaft Bauforschung, Bonn und des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V., Düsseldorf, vorgestellt.

Diese Ausgabe behandelt die folgenden Themen:

- **Stutzen im Krepfenbereich gewölbter Böden**
- **Methode der wirksamen Breiten**
- **Methode der wirksamen Schnittgrößen**
- **Schalenstabilität**
- **Geometrische Ersatzimperfektionen für Verbundstützen**
- **Tragverhalten von Durchlaufträgern**
- **Tragverhaltens bei Flachdeckensystemen**
- **Gesamtstabilität von Stahlverbundträgern**
- **Symposium "Hausbau mit Stahl"**
- **Stahlverbundbrücken über Bundesautobahnen**
- **Klebefugen von Structural-Glazing-Elementen**
- **Einfluß Si u. P auf Verzinkungsverhalten von Baustählen**

Mitglied der Arbeitsgemeinschaft  
industrieller Forschungsvereinigungen e.V.



## Aus der Arbeit der Deutschen Gesellschaft für chemischen Apparatebau, chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt

### Stutzen im Krepfenbereich gewölbter Böden – statisches Verhalten und Betriebsfestigkeit

Für Stutzen im Krepfenbereich gewölbter Böden (Klöpferböden und Korbbogenböden) wurden in einem Forschungsvorhaben (AiF-Nr.: 8577) in einer elastischen Parameterstudie die maßgebenden Spannungen für die Lastfälle Innendruck, Axiallast, Radial- und Umfangsmoment ermittelt und in Diagrammen dargestellt.

Die Untersuchung umfaßt gewölbte Böden im Abmessungsbereich  $0,05 \leq d_i/D_a \leq 0,50$ ,  $0,385 \leq c_a/D_a \leq 0,500$ ,  $0,0025 \leq s_e/D_a \leq 0,020$  und  $0,50 \leq s_s/s_e \leq 2,00$  und damit den gesamten praktisch interessanten Bereich. Im Rahmen des Anschlußvorhabens 10766 N/1, das den gleichen Abmessungsbereich und die gleichen Belastungsarten behandelt, wurden

- die Ergebnisse der elastischen Parameterstudie aus AiF-8577 für einen Betriebsfestigkeitsnachweis aufbereitet
- die sehr zahlreichen Diagramme aus AiF-Nr. 8577 zusammengefaßt
- ein Interpolationsprogramm für DOS, Windows 3.x, Windows95 und WindowsNT entwickelt und getestet. Dieses Interpolationsprogramm verwendet die ‚exakten‘ Ergebnisse der elastischen Parameterstudie und erlaubt eine wirtschaftliche Bemessung derartiger Stutzenanschlußstellen
- die Verläufe der bewerteten Vergleichsspannung nach dem ASME-Code, der Strukturvergleichsspannung und der Strukturdehnung rechtwinklig zur Verschneidungs-

linie von Stutzen und Behälterböden in Diagrammen dargestellt und

- Ermüdungsversuche an zwei Klöpferböden durchgeführt. Die Klöpferböden wurden bereits für statische Versuche des Forschungsvorhabens AiF-8577 verwendet. Statische Versuche und Ermüdungsversuche bestätigen die Ergebnisse der rechnerischen Parameterstudie und die entwickelten Berechnungshilfen.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens ersetzen komplizierte FE-Berechnungen und ermöglichen somit kleinen und mittelständischen Unternehmen gleichberechtigt an einem Markt teilzunehmen, der andernfalls Großunternehmen vorbehalten wäre.

Für die in Deutschland gebräuchliche Ausführung von Stutzenanschlußstellen im Krepfenbereich gewölbter Böden vermeiden die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens einen Wettbewerbsnachteil im europäischen Umfeld.

Die Forschungsvorhaben AiF-Nr. 8577 und AiF-Nr. 10766 N/1 wurden von Prof. Dr.-Ing. H. Saal bei dem Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Karlsruhe, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen 'Otto von Guericke' e.V., Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft im Auftrag der DECHEMA durchgeführt. Für die Förderung der Forschungsvorhaben sei an dieser

Stelle der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gedankt. Zu beiden Forschungsvorhaben können die Schlußberichte und das Interpolationsprogramm als

Kopiervorlage bei dem Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe, angefordert werden.

## **Aus der Arbeit der Deutschen Forschungsgemeinschaft - DFG, Bonn**

### **Die Methode der wirksamen Breiten**

Bei der Methode der wirksamen Breiten wird bei der Berechnung der Tragfähigkeit das schlanke, beulgefährdete Blech mit der Breite  $b$  ersetzt durch die nicht beulende, wirksame Breite  $b_w$ . Der Grundgedanke geht auf v. Kármán zurück. Er wurde insbesondere von Winter zur Berechnung von dünnwandigen Profilen praxisnah weiterentwickelt. In der Zwischenzeit hat diese Methode in viele Stahlbau-normen Eingang gefunden. Nicht immer sind die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse wirklichkeitsnah. In dieser Arbeit werden daher entsprechende Untersuchungen gemacht. Es werden die theoretischen Grundlagen, die Vor- und Nachteile sowie die Grenzen der Methode der wirksamen Breite dargestellt und Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Nach allgemeineren Betrachtungen wird zuerst die Querschnittstragfähigkeit behandelt. Dabei wird auf die Erweiterung der Methode auf dreiseitig gelagerte Platten und auf das Verfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch eingegangen.

Das Zusammenwirken von Beulen und Knicken oder Biegedrillknicken, das bei Stäben mit Querschnitten aus schlanken Blechen auftreten kann, wird anschließend untersucht. In den internationalen Normen wird die Methode unterschiedlich eingesetzt. In Vergleichen wird dies aufgezeigt.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Die Traglast eines aus gedrunge-

nen bis schlanken Platten zusammengesetzten Querschnitts kann nur dann wirklichkeitsnah ermittelt werden, wenn bei den gedrunge-nen Platten das Plastiziervermögen, bei den schlanken Platten die Beulerscheinungen und im gesamten Querschnitt das Umlagerungsvermögen miteinbezogen werden. Die Methode der wirksamen Breiten zeichnet sich insbesondere durch ihre Anschaulichkeit aus. Bei dreiseitig gelagerten Platten ist die wirksame Breite jedoch in den Normen noch nicht zufriedenstellend definiert. Sie liefert aber dann gute Ergebnisse bei der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit, wenn alle im Querschnitt vorhandenen dreiseitig gelagerten Platten parallel zur Biegeachse stehen.

Zur Berücksichtigung des Einflusses der lokalen Instabilitäten auf das globale Stabilitätsverhalten ist diese Methode nicht so gut geeignet, insbesondere wenn dabei die Querschnittswerte und die Steifigkeiten des wirksamen Querschnitts herangezogen werden, wie dies bei deutschen Normen der Fall ist.

Das Forschungsvorhaben wurde von den Herren M. Fischer, J. Zhu und J. Priebe an der Universität Dortmund, Lehrstuhl für Stahlbau, Dortmund, gefertigt und teilweise aus Mitteln der DFG gefördert, der wir an dieser Stelle unseren Dank sagen.

Der Forschungsbericht kann beim Lehrstuhl für Stahlbau der Universität Dortmund, August-Schmidt-Str.,

44221 Dortmund, Tel.: 0231/7554744, Fax: 0231/7552486, zum Preis von DM 35,- angefordert werden.

## Die Methode der wirksamen Schnittgrößen

Die Methode der wirksamen Schnittgrößen ist eine neue Methode, mit der man wie bei der Methode der wirksamen Breiten bei Tragfähigkeitsberechnungen das lokale Beulphänomen von schlanken Blechen berücksichtigen kann. Schwächen der Methode der wirksamen Breiten können mit ihr umgangen werden.

In diesem Bericht wird diese neue Methode umfassend vorgestellt. Wie die neu definierte Methode der wirksamen Breiten, ist die Methode der wirksamen Schnittgrößen auch verformungsorientiert, d.h. die Spannungen sind bei der Methode der wirksamen Schnittgrößen keine echten Spannungen, sie sind vielmehr die mit dem Elastizitätsmodul multiplizierten Randdehnungen. Der Unterschied zur Methode der wirksamen Breiten besteht darin, daß man die wirksamen Schnittgrößen ohne den Umweg über die wirksamen Breiten direkt bestimmt. Im Bericht wird gezeigt, warum und wie man beim Querschnittsnachweis, beim Stabilitätsnachweis, beim Gebrauchstauglichkeitsnachweis (z.B. Durchbiegungsnachweis) und bei der geometrisch und physikalisch nichtlinearen Berechnung von kompletten Stabtragwerken auf die Ermittlung des wirksamen Querschnitts bzw. auf seine wirksamen Querschnittswerte verzichten kann.

Die Methode der wirksamen Breiten zeichnet sich zunächst durch ihre Anschaulichkeit aus. Der Praktiker glaubt gerne, auch wenn dies die Wirklichkeit nicht richtig trifft, daß stark ausbeulende Teile gedanklich weggeschnitten werden können, womit der Querschnitt zum reduzierten Querschnitt wird.

Diese anschauliche Methode ist bislang allerdings nur bei vierseitig gelagerten Platten hinreichend durchdacht gewesen. Bei dreiseitig gelagerten Platten können sich dagegen Probleme einstellen, wenn zu einfach definierte wirksame Breiten angesetzt werden. Für die systematische Behandlung des örtlichen Beulens ist daher unserer Meinung nach die Methode der wirksamen Breiten überlegen. Sie erfordert auch keinen weiteren Erklärungsbedarf bei Querschnitten, die dreiseitig gelagerte Platten aufweisen.

Für das Zusammenwirken der lokalen und globalen Stabilitätserscheinungen wurden in diesem Bericht 6 Nachweismethoden vorgeschlagen, die alle gute Ergebnisse liefern. Insbesondere wird die Nachweismethode e) favorisiert. Für ihre vollständige Realisierung sind weitere Forschungen nötig.

Es ist noch zu betonen, daß es in diesem Bericht in erster Linie darum geht, nachzuweisen, daß das Phänomen Beulen mit der Methode der wirksamen Schnittgrößen eleganter erfaßt werden kann als mit der Methode der wirksamen Breiten.

Das Forschungsvorhaben wurde von den Herren M. Fischer und J. Zhu am Lehrstuhl für Stahlbau der Universität Dortmund, gefertigt und teilweise aus Mitteln der DFG gefördert, der wir an dieser Stelle unseren Dank sagen. Der Forschungsbericht kann beim Lehrstuhl für Stahlbau der Universität Dortmund, August-Schmidt-Str., 44221 Dortmund, Tel.: 0231/7554744, Fax: 0231/7552486, zum Preis von DM 45,- angefordert werden.

## **Aus der Arbeit des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin**

### **Sichtung und Aufbereitung der Kenntnisse zur Schalenstabilität für die Teile 3 und 4 des Eurocodes 3**

In die 1990 erschienene Stahlbau-Grundnorm DIN 18800 Teil 4 bzw. den 1993 erschienenen zugehörigen Beuth-Kommentar (Hrsg.: Lindner/Scheer/Schmidt) sowie in den ebenfalls 1993 erschienenen Entwurf der DAST-Richtlinie 017 ist das seinerzeit verfügbare "normungsfähige" Wissen über Schalenstabilität eingeflossen. Zur Zeit wird im Rahmen der Arbeiten an Eurocode 3 eine Grundnorm EC3-Part 1.6 "Strength and Stability of Steel Shell Structures" konzipiert. Da hier im Rahmen der EC3-Arbeit das Thema Schalenstabilität erstmals angefaßt wurde, mußte zunächst Vorarbeit geleistet werden, indem alle seit 1992 überarbeiteten Versionen international einschlägiger Regelwerke und neu erschienenen Veröffentlichungen zur Schalenstabilität gesichtet und auf ihre Relevanz für die geplante EN-Grundnorm überprüft wurden.

Der Bericht enthält als Anlagen die Listen der gesichteten Regelwerke und Veröffentlichungen sowie einen schalenbeulspezifischen Auszug aus dem "2nd draft" des EC3-Part 1.6 (Stand August 1996).

Dieses Forschungsvorhaben wurde von Prof. Dr.-Ing. H. Schmidt, Universität Essen, Fachbereich 10 Bauwesen, Fachgebiet Stahlbau, mit finanzieller Förderung durch die Länder der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt, Berlin, durchgeführt.

Der Bericht ist in Kopie (30 Seiten) über den Fraunhofer IRB Verlag, Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart, Tel: (0711)970-2500, Fax: (0711)970-2508, gegen eine Schutzgebühr von DM 25,50 inkl. MwSt zzgl. Versandkosten unter der Bestell-Nr. T 2753 zu beziehen.

### **Geometrische Ersatzimperfectionen für Verbundstützen, die in die Knickspannungslinien b und c eingestuft sind.**

In EDIN 18 800-5 und EC4 ist für die Bemessung von Verbundstützen ein Vorschlag vorgesehen, der auf Untersuchungen von Roik und Bergmann beruht. Dabei ist für die Beanspruchung von Druck und Biegung zunächst der Fall des zentrischen Druckes zu untersuchen und aus einem Diagramm für die Interaktionskurve ein Wert zu entnehmen, der die Beanspruchbarkeit für Biegemomente steuert. Dieses Bemessungsverfahren soll nach dem Beschluß des DAST-Arbeitsausschusses zur DIN 18 800-5

vereinfacht werden. Bei diesem Verfahren wird der Tragsicherheitsnachweis unmittelbar mit den nach Elastizitätstheorie II. Ordnung berechneten Biegemomenten geführt. Dabei sind jedoch geometrische Ersatzimperfectionen anzusetzen, die unter anderem den Einfluß von Eigenspannungen, Fließzonenausbreitung und geometrischen Imperfectionen erfassen.

Für solche Werte liegen bisher nur wenige Untersuchungen vor, die nicht die notwendigen Parameter abdecken.

Die Ermittlung der Ersatzimperfektionen erfolgte für planmäßig mittig gedrückte Stäbe auf der Basis der Europäischen Knickspannungslinien. Da die so ermittelten Werte dann auch zur Bemessung von Stäben der Beanspruchung von Druck und Biegung benutzt werden sollen, wurde anhand von Traglastrechnungen die Zulässigkeit überprüft. Die Ermittlung der geometrischen Ersatzimperfektionen erfolgt dabei so, daß das nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung ermittelte Biegemoment in die zugehörige Interaktionskurve der Verbundstütze eingesetzt wurde. Alle Berechnungen wurden für mehrere repräsentative Querschnitte, die das Spektrum der üblichen Anwendungen weitgehendst abdecken, im Schlankheitsbereich bis  $\bar{\lambda} = 2.0$  durchgeführt.

Für die Anwendung in DIN 18 800-5 werden folgende Werte vorgeschlagen:

für Knickspannungsrichtlinie b:

$$w_0 = L / 210 \text{ (für C40 bis C60),} \\ L / 250 \text{ (für C20 bis C35),}$$

für Knickspannungsrichtlinie c:

$$v_0 = L / 170 \text{ (für C40 bis C60),} \\ L / 200 \text{ (für C20 bis C35).}$$

wobei für Betonfestigkeiten bis einschl. C 35 die kleineren Werte in Klammern verwendet werden dürfen.

Diese Werte können sowohl für den Nachweis von Stäben und Stabsystemen bei zentrischem Druck als auch bei Druck und Biegung verwendet werden.

Dieses Forschungsvorhaben wurde von Prof. Dr.-Ing. J. Lindner, TU Berlin, mit finanzieller Förderung durch die Länder der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt, Berlin, durchgeführt.

Der Bericht ist in Kopie über den Fraunhofer IRB Verlag, Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart, Tel: (0711)970-2500, Fax: (0711)970-2508, gegen eine Schutzgebühr von DM 39,90 inkl. MwSt zzgl. Versandkosten unter der Bestell-Nr. T 2759 zu beziehen.

## Tragverhalten von Durchlaufträgern mit schlanken, ausgesteiften Stegen

Es wurden 10 zweifeldrige geschweißte I-Träger in 2 Serien untersucht. Die I-Träger unterschieden sich vom Verhältnis Steghöhe zu Stegdicke sowie Gurtbreite zu Gurtstärke. Gegenstand der ersten fünf Versuche (Serie 1) waren die I-Träger mit 4 Stegfeldern, während die in der zweiten Serie untersuchten Träger mit acht Stegfeldern doppelt so lang waren. Die Versuche haben gezeigt, daß die Durchlaufwirkung für Träger mit schlanken Stegen mit zunehmender Belastung verlorengeht.

Das Verhältnis der mittleren zur äußeren Auflagerkraft im Versuch war für

alle kurzen Träger kleiner als das nach der Balkentheorie mit Berücksichtigung der Querkraftverformungen berechnete.

Aus der Versuchsauswertung ergab sich, daß die Ermittlung der Schnittkräfte nach dem "Fachwerkmodell" erfolgen könnte.

Die Abweichung zwischen experimentellen und nach DAST-Ri 015 bestimmten Werten der Grenzquerkraft (bei nach der Balkentheorie ermittelten Schnittkräften) betrug bis zu 30 % bei voller Zugfeldwirkung ( $\eta = 1,0$ ). Beim Biegemomententragungsnachweis sollte der effektive Querschnitt des Steges berücksichtigt werden.

Dieses Forschungsvorhaben wurde von Prof. Dr.-Ing. Pasternak, BTU Cottbus, mit finanzieller Förderung durch die Länder der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin DIBt, durchgeführt.

Der Bericht ist in Kopie (20 Seiten) über den Fraunhofer IRB Verlag, Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart, Tel: (0711)970-2500, Fax: (0711)970-2508, gegen eine Schutzgebühr von DM 21,- inkl. MwSt zzgl. Versandkosten unter der Bestell-Nr. T 2749 zu beziehen.

## **Aus der Arbeit der Studiengesellschaft für Stahlanwendung e.V., Düsseldorf**

### **Untersuchung des Tragverhaltens bei Flachdeckensystemen (SlimFloor Konstruktionen) mit verschiedener Ausbildung der Platten und verschiedener Lage der Stahlträger (Projekt 261)**

Moderne Flachdecken mit integriertem Stahlprofilträger bieten neben günstigem Gewicht eine Reduzierung der Geschoßhöhe bei glatter Deckenuntersicht. In Verbindung mit einer schnellen Montierbarkeit bieten sie eine technische und wirtschaftliche Alternative gegenüber konventionellen Stahlbetonlösungen. Der Marktanteil dieser sogenannten SlimFloor-Systeme ist in Deutschland noch vergleichsweise gering, da bei Planern und Ingenieuren hinsichtlich der Bemessung und Ausführung noch Unsicherheiten bestehen. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel des vorliegenden Projektes, anhand von geeigneten Untersuchungen Bemessungsvorschläge aufzustellen und Normen zu ergänzen.

Durch umfangreiche praxisnahe experimentelle und theoretische Untersuchungen waren hierfür wichtige Grundlagen zur Traglastermittlung, Interaktion von Schnittgrößen, Auflagerbedingungen der Betonplatte, Auswirkungen des Vergusses, Rißverteilung, Mitwirkung des Betons usw. zu erarbeiten. Daneben waren auch Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich des Durchbiegungs- und Schwingungsverhaltens der Stahlflachdecken Gegenstand der Untersuchungen.

Es zeigte sich, daß die SlimFloor-Konstruktionen ganz erhebliche Reserven hinsichtlich der Interaktion im Untergurt, der Traglast und auch der Steifigkeit besitzen. Als Ergebnis der Arbeit werden neue Bemessungsvorschläge gegeben. Die vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf die sogenannte "kalte" Bemessung. Allerdings wird im Hinblick auf den Brandschutz auch auf die bekannten wesentlichen Kenntnisse zum Stand der Technik und Forschung bei der "heißen" Bemessung für den Brandfall eingegangen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind für Planer und Ingenieure im Bauwesen zusätzliche Hilfsmittel und bieten Sicherheit bei der Anwendung dieser zukunftsweisenden Technik. Auf der Grundlage werden die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der Flachdeckensysteme in Stahl- und Verbundbauweise zu einer breiteren Akzeptanz am Markt führen.

Dieses Forschungsprojekt wurde an der Universität Kaiserslautern, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachgebiet Stahlbau und am Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen, mit finanzieller Förderung durch die Stiftung Stahlanwendungsforschung, Essen, durchgeführt.

Der Forschungsbericht umfaßt 354 Seiten und enthält 427 Abbildungen/Tabellen. Schutzgebühr: DM 70,-

inkl. MwSt zzgl. Versandkosten,  
ISBN 3-930621-62-2

## **Nachweis der Gesamtstabilität von Stahlverbundträgern (Projekt 252)**

Sowohl im Hochbau als auch im Brückenbau wird zunehmend die Stahlverbundbauweise als wirtschaftliche Bauweise eingesetzt. Wichtiges Element der Verbundbauweise sind die Verbundträger, die meist als Vollwandträger ausgebildet werden. Die Obergurte dieser Verbundträger sind im Hochbau die Stahlbetondecken und im Brückenbau die Stahlbetonfahrbahntafeln. Stege und Untergurte werden in Stahl ausgeführt. Für das Zusammenwirken der Beton- und Stahlteile sorgen die auf den konstruktiv erforderlichen Stahlobergurt aufgeschweißten Verbunddübel.

Da Verbundträger nicht nur als Einfeldträger, sondern auch als Durchlaufträger ausgeführt werden, können insbesondere über den Zwischenstützen im Untergurt Druckspannungen auftreten. Es muß also nicht nur nachgewiesen werden, daß Stege unter Druck- und Schubbeanspruchungen nicht ausbeulen, sondern auch daß die Untergurte nicht seitlich ausweichen. Da beide Ausweicherscheinungen gekoppelt auftreten können, spricht man hierbei von einem Gesamtstabilitätsproblem. Der Nachweis der Sicherheit gegen diese Erscheinungen ist für den in der Praxis tätigen Ingenieur nicht einfach, da in den Normen dafür kaum Hilfen zur Verfügung stehen, die einen wirklichkeitsnahen Nachweis zulassen. Somit bleibt daher oft nur der Weg, vereinfachte Nachweise zu führen, die gegebenenfalls allzusehr auf der sicheren Seite liegen und somit die Wirtschaftlichkeit der Verbundbauweise nicht voll ausnützen. Um den Nachweis der Gesamtstabilität zu umgehen, werden teilweise auch kon-

struktive Maßnahmen ergriffen, wie das Anordnen von seitlichen Abstützungen, wo durch jedoch zusätzliches Material erforderlich wird.

In dem Forschungsprojekt wurde das Gesamtstabilitätsproblem von Verbundträgern mit konstanter Höhe für einen baupraktisch relevanten Parameterbereich sowohl hinsichtlich der Querschnittsgrößen als auch der Belastungen gelöst. Das Ergebnis sind Beulwerttafeln für das Gesamtstabilitätsproblem. Außerdem wurde untersucht, welche Abminderungskurve zu benutzen ist, um sichere und wirtschaftliche Nachweise führen zu können. Dazu mußten auch Traglastberechnungen für das vorliegende Problem durchgeführt werden.

Der mit Hilfe von Beulwert und Abminderungskurve zu führende Nachweis entspricht dem heute in den Normen üblichen Nachweis von Stabilitätsproblemen. Das praktische Vorgehen wird im Forschungsbericht durch Beispiele erläutert. Um dem Praktiker das AbleSEN von Werten aus den Beulwerttafeln zu erleichtern, wurden die Tafeln in dem Programm "GESTAB" gespeichert. Dieses Programm führt auch die notwendigen Interpolationen durch. Es ist ein vollwertiges Windows-Programm mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche, das zu allen gängigen Windows-Versionen kompatibel ist. Auf zwei Disketten gespeichert, liegt es dem Forschungsbericht bei.

Dieses Forschungsprojekt (AiF-Nr. 9758) wurde am Lehrstuhl für Stahlbau der Universität Dortmund mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsge-



meinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto-von-Guericke" e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi), durchgeführt.

Der Forschungsbericht umfaßt 142 Seiten und enthält 93 Abbildungen/Tabellen. Schutzgebühr: DM 70,- inkl. MwSt zzgl. Versandkosten, ISBN 3-930621-64-9.

## **Symposium "Hausbau mit Stahl" (Tagungsband 709)**

Das vom Institut Arbeit und Technik im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, Gelsenkirchen, in Zusammenarbeit mit der Internationalen Bauausstellung Emscher Park und der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. veranstaltete Symposium hatte sich zum Ziel gesetzt, das Bauen von Wohnhäusern mit Stahl als bisher nicht breiter entwickeltem Geschäftsfeld der Stahlindustrie näher zu untersuchen. Die grundlegende Annahme ist, daß die ökologisch günstigen Eigenschaften des Werkstoffs Stahl (lange Gebrauchsdauer, hohe Recycelbarkeit) im Hausbau mit Vorteilen der Wirtschaftlichkeit und Flexibilität beim Bauen verbunden werden können und somit zu einer ökologisch sinnvollen und wirtschaftlich ertragreichen, d.h. zu einer beschäftigungswirksamen Nutzung von Stahl führen kann.

Dazu sollte zunächst mit einem ausgewählten Kreis von Experten darüber diskutiert werden, inwieweit die Verwendung von Stahl beim Bau von Einfamilien- bzw. auch Mehrfamilienhäusern möglich, wirtschaftlich sinnvoll und in größerem Stil machbar ist. Eine langfristige Perspektive würde auf die Entwicklung und praktische Umsetzung von Demonstrationsprojekten abzielen. Der erste Schritt in diese Richtung war das Symposium am 10.10.1996. Vier Themenbereiche dienten als Leitfaden für eine abschließende Bewertung:

1. Das "Image" des Stahlhauses, d.h. die Chance, einen größeren Verbraucherkreis für den Werkstoff Stahl beim Bau des eigenen Hauses zu begeistern.
2. Die Abwägung der Vor- und Nachteile des Werkstoffs Stahl im Vergleich mit dem Werkstoff Holz. Dieser Vergleich wird insbesondere unter ökologischen Gesichtspunkten durchgeführt.
3. Die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Bauen mit Stahl. Hier wird vor allem die Frage gestellt, ob mögliche Vorbehalte gegen Stahl durch die Wirtschaftlichkeit und die Flexibilität beim Errichten eines Wohnhauses überwunden werden könnten.
4. Die regionalpolitische Bedeutung des Werkstoffs Stahl als Material im Hausbau, wo die Fragen für eine abschließende Bewertung skizziert werden sollen.

Die Veranstaltung fand in einem kleinen Kreis von Experten statt; die Referate sowie die abschließende Wertung wurden in einer Dokumentation zusammengefaßt.

Der Tagungsband umfaßt 54 Seiten und enthält 12 Abbildungen/Tabellen. Schutzgebühr: DM 50,- inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 3-930621-70-3.

## **Stahlverbundbrücken über Bundesautobahnen (Dokumentation 533)**

Neue Konstruktionslösungen für kostengünstige Verbundbrücken im mittleren Stützweitenbereich beschreibt ein Forschungsprojekt der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. Das Stahl-Informations-Zentrum stellt die Ergebnisse in Form einer Dokumentation vor. Diese Stahlverbundbrücken sind bereits bei Spannweiten von 25 m gegenüber anderen Bauweisen im Vorteil.

Bei der Stahlverbundbauweise besteht die Brückenfahrbahn aus einer Betonplatte, die auf den Stahlträgern aufliegt und mit diesen durch Dübel fest verbunden ist. Die Baustoffe Stahl und Beton werden entsprechend ihren Eigenschaften gezielt eingesetzt, wobei die kraftschlüssige Verbindung der Teilquerschnitte durch Verbundmittel erfolgt. Brücken in Stahlverbundbauweise sind gegenüber herkömmlichen Spannbetonbrücken immer im Vorteil, wenn ungünstige Gründungsverhältnisse vorliegen, wenn kurze Bauzeiten gefordert sind oder die Errichtung über in Betrieb befindlichen Verkehrswegen erfolgen muß, wenn geringe Bauhöhen gewünscht werden oder große Bewegungen aus Bergsenkungen zu erwarten sind.

Kurze Bauzeiten durch weitgehende Vorfertigung von Stahlträgern und Fertigteilplatten senken nicht nur die Baukosten, sondern reduzieren auch die Störung des fließenden Verkehrs. Die Verwendung vorgefertigter Teile bietet Ansätze zur Standardisierung von Brückenbauwerken. Einfache Überwachung, Prüfung und Erhaltung der Bauwerke sprechen weiterhin für die Wirtschaftlichkeit von Stahlverbundbrücken.

Die Dokumentation 533 "Stahlverbundbrücken über Bundesautobahnen" stellt drei Planungsvarianten für Wirtschaftswegbrücken der Brückensklasse 30/30 vor. Es werden beispielhaft Hinweise zur Statik, zum Korrosionsschutz und zur Montage gegeben.

Die beschriebenen Forschungsberichte der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. können bestellt werden bei dem:

Stahl-Informations-Zentrum  
Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf,  
Fax: (0211 ) 67078-829-344

## **Aus der Arbeit der Arbeitsgemeinschaft für Bauforschung, Bonn**

### **Bemessung der Klebefuge von Structural-Glazing-Elementen**

Die Klebefuge von SSG-Elementen wird bislang nach einem vereinfachten Verfahren bemessen. In einem vorausgegangenen Forschungsvorhaben wurden an einem wirklichkeitsnahen statischen Modell mit Hilfe von FE-

Berechnungen Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen in der Klebefuge bei Variation wesentlicher Parameter ermittelt. Für ein vollständiges Bemessungskonzept, das für das Zulassungsverfahren und die Normung

dringend benötigt wird, fehlt noch ein geeignetes Versagenskriterium für die Klebefuge unter kombinierter Beanspruchung (Zug, Scherung, Biegung), das jetzt in einem zweiten Schritt ermittelt werden soll. Durch Detailversuche und begleitende FE-Berechnungen soll ein Versagenskriterium bestimmt werden, das auf Spannungen und Dehnungen basiert (mikroskopischer Ansatz), sowie ggf. Interaktionsformeln entwickelt werden, die auf o.g. Schnittgrößen basieren (mikroskopischer Ansatz). BAUSTOFF. BAUGLAS; KONSTRUKTIONSTEIL. FUGE; Glasfassade; Structural Glazing; Fugenausbildung; Klebefuge; Bemessung;

Spannung; Dehnung; Berechnung; Versagenskriterium, Beanspruchung.

Dieses Forschungsvorhaben wurde von Dr.-Ing. G.E. Völkel und Dipl.-Phys. G. Krüger bei der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg FMPA, Otto-Graf-Institut, Stuttgart, mit finanzieller Förderung durch die Länder der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt, Berlin, durchgeführt.

Voraussichtlicher Abschluß des Forschungsvorhabens: 12/98

## **Aus der Arbeit des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V. GAV, Düsseldorf**

### **Zum Einfluß von Si und P auf das Verzinkungsverhalten von Baustählen, Mat.wiss. u. Werkstofftech**

In diesem GAV-Forschungsprojekt wurde das Verzinkungsverhalten von 40 aktuellen Baustählen in Abhängigkeit vom komplexen Einfluß des Si-/P-Gehaltes bei den in der Feuerverzinkungsindustrie üblichen Bedingungen (440/450/460 °C, 5/10/15 min Tauchdauer) untersucht. Ziel war es, moderne Baustähle, die sich in ihrer Zusammensetzung teilweise deutlich von Stählen früherer Jahre unterscheiden, im Hinblick auf ihr Verzinkungsverhalten zu untersuchen. Aus den Ergebnissen leiten sich wesentlich neue Erkenntnisse zur Eisen-Zink-Reaktion, insbesondere im Bereich des sog. Sebisty-Effektes ab.

Die Versuchsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Eine spürbare Wirkung von P auf das Schichtdickenwachstum von Stählen mit 0,01 bis 0,40% Si beginnt bei > 0,020% P. Der Einfluß von P ist um so größer je kleiner der Si-Gehalt der

Stähle und je niedriger die Temperatur der Schmelze ist. Bei Stählen mit < 0,12% Si verschiebt ein erhöhter P-Gehalt die Schichtdickenmaxima in dem Temperaturbereich von 440 bis 450 °C, wie das sonst für Stähle > 0,12% bis 0,28% Si mit < 0,020% P typisch ist. Zinküberzüge von Stählen mit kritischem P-/Si-Gehalt (0 bis 0,20% Si/> 0,020% P) sind in der Regel instabiler. Bei erhöhter Tauchdauer und o. g. Temperatur kann es zu einem Abschwimmen der  $\delta$ -Phase in die Zinkschmelze kommen. Auch bei Sandelin-Stählen im extrem kritischen Si-Bereich (0,07 bis 0,10%) mit < 0,020% P konnte das bei 15 min Tauchdauer festgestellt werden. Es ist möglich, die Schichtdicke der Zinküberzüge durch Zulegieren kleiner Al-Gehalte zur Zinkschmelze (< 0,03%) zu reduzieren. Die Ursache dieses Effektes von Al unterhalb der Konzentration, die für die bekannte Hemmwirkung durch Ausbildung einer dünnen  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ - bzw. Al-haltigen  $\delta_1$ -

Schicht auf der Stahloberfläche erforderlich ist, wird auf die Instabilität der  $\delta$ -Phase, die anteilig in die Zinkschmelze abschwimmt, zurückgeführt.

Im Ergebnis der Arbeiten kann festgestellt werden:

Einfluß des Si-Gehaltes auf die Schichtdicke der Überzüge bei phosphorarmen Stählen.

Bei Betrachtung nur eines Temperaturbereiches wurde hinsichtlich des Si-Einflusses auf das Wachstum der Schichtdicke der Überzüge der aktuelle Kenntnisstand bestätigt und abgesichert.

Durch die Vielzahl der untersuchten Stähle sind die Grenzen der nach dem Si-Gehalt unterteilten Gruppen

- Si-arme Stähle 0-0,035 % Si
  - Sandelin-Stähle > 0,035 - 0,12 % Si
  - Sebisty-Stähle > 0,12 - 0,28 % Si
  - Si-reiche Stähle > 0,28 % Si
- schärfer absteckbar.

Nach diesen Ergebnissen erscheint es berechtigt, den Sebisty-Bereich nach der temperaturabhängigen Lage der Schichtdickenmaxima in 2 Bereiche zu unterteilen:

- Sebisty-I 0,13 - 0,17 % Si
- > 0,22 - 0,28 % Si

Schichtdickenmaxima: 450 °C

- Sebisty-II > 0,17 - 0,22 % Si
- Schichtdickenmaxima: 440 °C

Die im Sandelin-Bereich erreichte Reduzierung der Schichtdicke durch Absenken der Schmelztemperatur von 460 °C auf 440 - 450 °C führt im Sebisty-Bereich - insbesondere zwischen 0,15 und 0,22% Si - zu einer Schichtdickenerhöhung von bis zu 100  $\mu\text{m}$ .

Recherchen in der Stahlbauindustrie zeigen, daß Stähle mit Si-Gehalten im Sebisty-Bereich zunehmend angewendet werden.

Einfluß des P-Gehaltes auf die Schichtdicke der Überzüge in Abhängigkeit vom Si-Gehalt der Stähle gegenüber dem Schichtdickenverlauf für phosphorarme Stähle sind gravierende Veränderungen insbesondere im Si-Bereich von 0 bis 0,12% offensichtlich. Je nach Größe des P-Gehaltes wird bei allen Schmelztemperaturen eine Erhöhung der Schichtdicke bewirkt.

Die Schichtdickenmaxima werden bei niedrigen Schmelztemperaturen erreicht, wie das für phosphorarme Stähle vom Si-Gehalt ausgelöst für Stähle im Sebisty-Bereich bekannt ist.

Der für Stähle mit niedrigem Si-Gehalt typische parabolische Verlauf der Geschwindigkeit der Eisen-Zink-Reaktion wird nur durch sehr hohe P-Gehalte, in unserem Fall 0,073% im unteren Temperaturbereich verändert und verläuft hier linear, womit die bei dieser Schmelztemperatur festgestellte sehr hohe Schichtdicke (850  $\mu\text{m}$  bei 15 min Tauchdauer) erklärbar ist.

Auffallend bei der Bewertung unserer Ergebnisse war, daß je nach P-Gehalt die Legierungsschichten bei 450 bzw. 460 °C und längerer Tauchdauer - in unserem Fall von 10 zu 15 min - instabil sind und mit zunehmender Tauchdauer die Schichtdicke wieder geringer wird. Auch phosphorarme Stähle im Sandelin-Bereich zeigten, wenngleich nicht so ausgeprägt, diesen Befund.

In Tabelle 2 sind Stähle mit diesem anomalen Verzinkungsverhalten aufgelistet.

Insbesondere für die Stähle 2 und 4 ist der Befund mit bis zu 400  $\mu\text{m}$  Schichtdickenreduzierung eindeutig und kann nicht auf Meßungenauigkeiten zurückgeführt werden.

Zu erklären ist dieses Phänomen damit, daß die für diese Stähle typische aufgelockerte feinkristalline

$\delta$ -Phase von Reinzink durchsetzt wird und mit zunehmender Tauchdauer Zetakristalle in die Zinkschmelze abwandern.

Die Änderung des Reaktionsablaufes der Eisen-Zink-Reaktion im beginnenden Sebisty-Bereich ist bei 450 °C, mit weiter zunehmenden Si- und/oder P-Gehalt bei 440 °C, gegenüber den Stählen im Sandelin-Bereich am geringsten, während bei 460 °C bereits die Gleichgewichtsbedingungen auf höherem Niveau analog denen des Sandelin-Bereiches bei niedrigerer Schmelzetemperatur vorliegen.

Ein Vergleich der Schichtdicken solcher Stähle belegt das auch sehr deutlich.

Da auch den Stahlbauern bei der Auswahl verzinkungsfreundlicher Stähle Grenzen gesetzt sind, ist es wichtig, über die Schichtdicke und das Aussehen der Überzüge hinausgehende Kenntnisse zu wesentlichen den Gebrauch bestimmenden Qualitätsparametern zu haben und Möglichkeiten zu finden, die den Einfluß von Si und P auf das Verzinkungsergebnis eliminieren oder zumindest unterdrücken.

Das Forschungsvorhaben wurde von Dr. rer. nat. W. Katzung, Institut für Stahlbau, Leipzig, durch Förderung des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V. GAV, durchgeführt.

Der Bericht ist über die GAV,  
Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf,  
Tel.: 0211/685852, zu beziehen.

