

16. Dezember 1996

Ausgabe **1/96**

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.

Die aktuelle Ausgabe behandelt die folgenden Themen:

- **Wirtschaftlicher Einsatz hochfester Stähle im Stahlbau**

- **Verbundträger mit Stahlprofilen aus hochfestem Stahl - Rotationsverhalten**
- **Grenzen für alternierende Plastizierung von Stahlbaukonstruktionen**
- **Tragverhalten von Verbundkonstruktionen mit hochfestem Baustahl**
- **Unterspannte Trapezblechdacheindeckung**
- **Stabilitätsnachweis für Kreiszyinderschalen**

Der Informationsdienst „Berichte aus der Stahlbauforschung“ wird in Zukunft als Beilage zu den Stahlbau-Nachrichten verteilt.

Forschungsvorhaben AiF-Nr. 149 D

Untersuchungen zum wirtschaftlichen Einsatz hochfester Stähle im Stahlbau, Rotationsuntersuchungen an Träger-Stützenverbindungen aus StE 460

Die Bemessung von Träger-Stützenverbindungen im Stahlbau nach dem neuen Annex J des Eurocode 3 erfolgt sowohl hinsichtlich der Festigkeit als auch hinsichtlich der Steifigkeit des Anschlusses. Diese Bemessungsregeln wurden aufgrund von Modellüberlegungen, die den Anschluß in Steifigkeits- und Festigkeitskomponenten aufgliedert, entwickelt und zahlreichen Versuchen zum Trag- und Rotationsverhalten von Anschlüssen kalibriert.

Diese bisherigen Versuche sind jedoch fast ausnahmslos mit niedrigfesten Baustählen mit $f_y \leq 355 \text{ N/mm}^2$ durchgeführt worden. Deswe-

gen wurde das Forschungsprojekt durchgeführt, um die Gültigkeit der neuen Regeln nach Annex J/Eurocode 3 auch mit hochfesten Stählen mit $f_y \geq 460 \text{ N/mm}^2$ zu testen und die Auswirkungen hinsichtlich des Tragverhaltens bei Geschoßbauten zu untersuchen.

Das neue Steifigkeitsmodell wies sehr gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen der Träger-Stützen-Verbindungen aus hochfestem Stahl auf. Es zeigten sich außerdem sehr gute Rotationskapazitäten der gewählten Anschlüsse.

Die Untersuchungen zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 149 D wurden am Institut für Stahlbau Leipzig GmbH in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemein-

schaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt, durchgeführt. Den Förderern sowie

der Fa. ARBED, die den Profilstahl kostenlos bereitstellte, sei für die Unterstützung und Hilfe bei den Arbeiten bestens gedankt. Der Bericht ist über die Forschungsstelle zu beziehen.

Forschungsvorhaben AiF-Nr.: 10023 B

Drei-Punkt-Biegeversuche an Verbundträgern mit Stahlprofilen aus hochfestem Stahl zur Bestimmung des Rotationsverhaltens

Für Verbundträger existieren bisher wenige Versuchsergebnisse mit Stahlstreckgrenzen von $f_y \geq 355 \text{ N/mm}^2$ um die in der Plastizitätstheorie geforderten Rotationen im unelastischen Bereich experimentell abzusichern. Ziel der Versuche war die Untersuchung des Momenten-Rotationsverhaltens im stabil- und instabil-plastischem Bereich von statisch bestimmten Einfeldträgern unter mittiger Einzellast in positiver und negativer Momentenlage, Parameter, wie Lage der plastischen Nulllinie, Verdübelungsgrad, Bewehrungsgrad, Profilgeometrie und Kammerbeton waren bei insgesamt 15 Versuchskörpern zu untersuchen. Es war auch klarzustellen, inwieweit eine sehr wirtschaftliche Bewehrungsform mit Matten noch plastische Bemessung erlauben.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß eine Anwendung der Fließgelenktheorie bei Ausnutzung der vollplastischen Querschnittswiderstände bei Mattenbewehrung nur einge-

schränkt und nur dann möglich ist, wenn die Bemessung keine wesentlichen Rotationsanforderungen an die plastischen Bereiche stellt.

Es stellt sich jedoch weiterhin heraus, daß bei rechnerischer Berücksichtigung der Nichtlinearitäten Vorteile hinsichtlich der Gesamttragfähigkeit und sogar bei relativ geringer Reduktion der Gesamttragfähigkeit wesentlich größere Rotationen in Anspruch genommen werden können.

Die Untersuchungen zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 10023 B wurden am Institut für Stahlbau Leipzig GmbH in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt, durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei den Arbeiten bestens gedankt. Der Bericht ist über die Forschungsstelle zu beziehen.

Forschungsvorhaben AiF-Nr.: 10024 B

Untersuchung der Grenzen für alternierende Plastizierung von Stahlbaukonstruktionen

Für die plastische Bemessung von Bauwerken in seismischen Gebieten sind die Daten für monotone Belastung (maximale Amplitude) und für zyklische Belastung (Ermüdung) erforderlich. Untersuchungen für zyklische Belastungen existieren bisher nur für Träger und liefern eine Wöhlerlinie $\log - \log N$. Zyklische Versuchsdaten für Träger-Stützenverbindungen, die zur

Darstellung von Wöhlerlinien verwendbar sind, müssen ergänzt werden.

Insgesamt 8 Versuche an Stirnplattenstößen wurden durchgeführt, die zyklisch auf Biegung belastet wurden. Während jedes Versuchs wurde die Amplitude konstant gehalten, die Größe der Amplitude wurde von Versuch zu Versuch variiert. Die Tragfähigkeiten und die Anzahl der Schwingspiele bis zum ersten Riß und weiter bis zum Totalversagen wurden u.a. notiert.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Duktilität der Schweißnähte maßgebend wird, da in der gewählten Konfiguration diese versagensmaßgebend waren.

Abminderungen nach dem Wöhler-Gesetz sind deutlich. Zu betonen ist, daß nach Auftreten des ersten Risses eine hohe Anzahl von Belastungszyklen auf einem reduzierten Tragniveau noch aufgenommen werden können. Für diesen Effekt ist ein Vorschlag zur Einbezugnahme in den Nachweis der seismischen Standsicherheit erarbeitet worden.

Weiterhin werden innerhalb dieses Forschungsprojektes numerische FE-Methoden zur realistischen Abbildung von Träger-Stützenverbindungen unter zyklischer Belastung incl. aller werkstofflichen und geometrischen Nichtlinearitäten

und Fugenklaffung vorgestellt, die die Last-Verformungshysteresen des Gesamtversuchs und Spannungs-Dehnungshysteresen der höchstbeanspruchten Stellen vorhersagen.

Die Untersuchungen zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 10024 B wurden am Institut für Stahlbau Leipzig GmbH in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt, durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei den Arbeiten bestens gedankt. Der Bericht ist über die Forschungsstelle zu beziehen.

Forschungsvorhaben AiF Nr. 7872

Zum Tragverhalten von Verbundprofilstützen, -Trägern und -Scheiben mit hochfestem Baustahl bei Raum- und Brandtemperaturen

In den Jahren 1989 bis 1993 wurde das Vorhaben im Rahmen der DAST-Forschung unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Otto Jungbluth (†) am Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik der Technischen Hochschule Darmstadt bearbeitet.

Thema war das Tragverhalten von Verbundprofil- Stützen, Trägern und Scheiben mit hochfesten Baustählen bei Raum- und Brandtemperaturen.

Versuchsumfang:

1. Brandversuche an Profilverbundstützen aus StE460
2. Untersuchungen von Profilverbundträgern (Kammerbeton) HE200AA aus St52 und StE460

3. Untersuchungen von Profilverbundträgern (Kammerbeton) HE450AA aus St52; Querkraftanschluß; nicht ausgesteifte Stegöffnungen
4. Versuche zur Übertragbarkeit der Profilverbundtechnik auf Wandscheiben.

Zu 1. wurden insgesamt 5 Stützenbrandversuche durchgeführt. Mit Hilfe von in vorhergehenden Untersuchungen gefundenen Ansätzen für die temperaturabhängige Abminderung der Werkstoffparameter für StE460 konnten Interaktionskurven berechnet werden, die bei bekannter Temperaturverteilung, bekannten Schnittkräften und Verformungen eine gute Übereinstimmung des rechnerischen und des im Versuch ermittelten Moments ergaben. Die Versagenszeiten der Stützen lagen unterhalb der nach DIN 4102, Teil 4 zu erwartenden Feuerwiderstandsdauern und bestätigten somit die Beschränkung der Norm auf die Stähle St37-2/3 und St52-3.

Bei den Versuchen zu 2. konnte die Wirkung des bewehrten Kammerbetons rechnerisch durch Addition der Einzelelemente I-Profil und

Stahlbetonbalken mit guter Korrelation nachgewiesen werden.

Auch bei den Versuchen zu 3. konnte eine die Steifigkeit und Tragfähigkeit erhöhende Wirkung des Kammerbetons nachgewiesen werden. Die Versagenslasten der Träger mit nicht ausgesteiften Stegöffnungen überschritten die rechnerische Tragfähigkeit von Trägern ohne Kammerbeton mit ausgesteiften Stegöffnungen.

Die Profilverbundscheibe zu 4. ist ein wand- oder scheibenförmiges Sandwichbauteil. Zwischen zwei übliche Stahltrapezprofile als Deckschichten wird eine Kernschicht aus Ortbeton eingebracht. Es wurden 4 Verbundscheiben mit einer Höhe von 4m mit Lagerungsbedingungen nach Eulerfall 2 unter leicht exzentrischer Last und zwei Scheiben unter einer erzwungenen Schubverformung in einem Viereckrahmen getestet. Die Verbundscheiben erwiesen sich im Versuch rein äußerlich bis zur Versagenslast als formbeständig. Unter Gebrauchslasten und im Versagenszustand konnte für Normalkraft und Biegung ein anteiliges elastisches bzw. plastisches Tragverhalten der Komponenten gezeigt werden. Das Tragverhalten unter Schub in der Scheibenebene ist sehr komplex und in hohem Maße durch die Rißbildung des Betons

beeinflußt. Im Vergleich zur Stahlbetonbauweise entwickelten sich bei allen Versuchskörpern ausgeprägte, klaffende Risse, die das Verformungsverhalten im Grenzzustand und auch die Tragsicherheit nachteilig beeinflußten.

An dieser Stelle sei der AIF für die Förderung, den Firmen Arbed Recherches (Esch-sur-Alzette), Stahlbau Lavis (Offenbach) und Stahlbau Donges (Darmstadt) für die Materialspenden und Mitwirkung gedankt.

Bedauerlicherweise wurde die Fertigstellung der Arbeiten durch den krankheitsbedingten Ausfall von Herrn Prof. Jungbluth behindert. Die Mitarbeiter hoffen, daß sie die Arbeit in seinem Sinne fertigstellen konnten.

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 7872 wurde mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt, durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei den Arbeiten bestens gedankt. Der Bericht ist über die Forschungsstelle zu beziehen.

Forschungsvorhaben AIF Nr. 8177

Unterspannte Trapezblechdachendeckung

Trapezbleche werden üblicherweise als Biegetragelemente, z.B. in Form von Wand- und Dacheindeckungen eingesetzt. Bei Schubfeldern wird auch die Membrantragfähigkeit ausgenutzt, diese Bauweise hat sich allerdings wegen der aufwendigen Montage kaum durchgesetzt. Beim Einsatz unterspannter, ggf. gekrümmter Trapezbleche kann die günstige Membranwirkung zum Tragen herangezogen werden. Die Untersuchung des Tragverhaltens derartiger unterspannter Konstruktionen war Gegenstand des Vorhabens.

Entscheidend für die Funktion des unterspannten Trapezbleches ist die Einleitung der konzentrierten Zugbandkraft in das dünnwandige

Trapezblech. Die Zugbandkraft wird über einen Endquerträger, der aus konstruktiven Gründen ohnehin vorhanden ist, in das Trapezblech eingeleitet. Je nach Biegesteifigkeit des Endquerträgers und Art der Verbindungen mit dem Trapezblech findet eine mehr oder weniger konzentrierte Einleitung statt. Da die Trapezbleche auch in den Einleitungsbereichen gleichzeitig biegebeansprucht sind, ergibt sich hier eine Interaktion zwischen einer ungleichmäßig verteilten Normalspannung im Trapezblech und der üblichen Biege- und Querkraftbeanspruchung.

Zur genaueren Untersuchung der genannten Interaktionen wurden Versuche an Trapezblechen durchgeführt, bei denen die Endquerträgersteifigkeit und die Art der Verbindungs-

mittel variiert wurden. In den Versuchen bestätigte sich die starke Abhängigkeit der Normalkraftverteilung von der Steifigkeit der Randpfette und der Anordnung der Verbindungsmittel. Je nach gewählten Parametern variierte die Verteilung der eingeleiteten Normalkraft zwischen den beiden Grenzfällen "praktisch konstante Normalspannung an der Einleitungsstelle" und "konzentriert verbleibende Normalspannung in der Achse der Krafteinleitung".

Erfahrungen mit dieser Bauweise, die in der früheren DDR gesammelt wurden, haben gezeigt, daß die Montageaufwendungen für derartig unterspannte Konstruktionen beträchtlich sind, so daß die Bauweise dort nur vereinzelt angewendet wurde. Da sich diese Erfahrungen auch im Lichte neuerer Montagetechniken nicht grundsätzlich anders darstellen, wurde das

Vorhaben vorzeitig beendet. Die im Rahmen des Vorhabens bisher durchgeführten Untersuchungen waren Anlaß für einen Neuantrag ("Ausnutzung der Tragfähigkeit von Trapezblechen bei konzentrierter Normalkrafteinleitung"), in den die ermittelten Ergebnisse vollständig mit eingeflossen sind.

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 8177 wurde von der Technischen Universität Braunschweig, Institut für Stahlbau, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DAST, durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei den Arbeiten bestens gedankt. Der Bericht ist über die Forschungsstelle zu beziehen.

Forschungsvorhaben AiF Nr. 8789

Stabilitätsnachweis für vorwiegend auf Biegung beanspruchte Kreiszyinderschalen

Die Stabilität vorwiegend auf Biegung beanspruchter Kreiszyinderschalen wurde in einem von der AiF geförderten Forschungsvorhaben untersucht, über das in [1] ausführlich berichtet wird.

Die umfangreichen experimentellen Untersuchungen zeigen, daß bei Rohren im Abmessungsbereich von Kaminen ($r/t = 75$ bis 150 und $(l/r)(t/r)^{0.5} \leq 5$) eine Abminderung mit dem Faktor C_x gemäß DIN18800-4 (11.90) bei der Ermittlung der Beullast nicht erforderlich ist. In [2] wird dargestellt, daß der Abminderungsfaktor C_x , der für die zentrisch gedrückte Kreiszyinderschale hergeleitet wurde, zur Berücksichtigung der Querschnittsabplattung bei langen, biegebeanspruchten Rohren (Braziereffekt) auch bei dem Beulsicherheitsnachweis für diese angewendet werden soll. Anhand der Ergebnisse der geometrisch nichtlinearen Untersuchungen in [1] kann gezeigt werden, daß bei Stahlrohren in dem oben dargestellten Abmessungsbereiches, deren Streckgrenze nicht größer als 355N/mm^2 ist, die Quer-

schnittsabplattung sich erst bei Spannungen bemerkbar macht, die über der Streckgrenze des Stahles liegen. Der tragfähigkeitsmindernde Einfluß der Querschnittsabplattung kommt daher nicht zum Tragen, so daß in diesem Falle auf die Anwendung des Abminderungsfaktors C_x verzichtet werden kann. Die Ergebnisse der Beulversuche mit den zumeist mit sehr großen geometrischen Imperfektionen behafteten, großmaßstäblichen Versuchskörpern aus industrieller Fertigung ($l/r/t = 4800\text{mm} \div 6000\text{mm}$; $140\text{mm} \div 260\text{mm}$; $2,0\text{mm} \div 3,1\text{mm}$) zeigen, daß die Anwendung des Teilsicherheitsbeiwertes $\gamma_M = 1,10$ ausreicht, da hier das *ungünstige Nachbeulverhalten und die extreme Imperfektionsanfälligkeit* (vgl. letzter Absatz der Anmerkung zu DIN18800-4 Element 206) nicht gegeben ist. Dies führt in [1] zu folgendem Vorschlag für den Stabilitätsnachweis von vorwiegend auf Biegung beanspruchten, langen Kreiszyinderschalen (Kaminen), die auch abgestufte Wanddicken haben können:

- Ermittlung der maximalen Membrandruckspannung $\max \sigma_{x,d}$ - erforderlichenfalls nach der Schalentheorie,

- Ermittlung von $\sigma_{xSi} = 0,605 E (t/r)$,
- Ermittlung von $\sigma_{x,S,R,d'}$ nach DIN18800-4 mit $\gamma_M = 1,10$,
- Nachweis $\max \sigma_{x,d} \leq \sigma_{x,S,R,d'}$
(ist wegen $\sigma_{xSi} \geq 0,605 E (t/r)$ sicher).

Während sich mit dem Nachweis nach DIN18800-4, mit Anwendung des Abminderungsfaktors C_x für Streckgrenzen von 240 N/mm² bis 360N/mm², $r/t = 75$ bis 150 und $(l/r) (t/r)^{0,5} = 2,5$ bis 3,6, um 15% bis 25% geringere Beanspruchbarkeiten als nach DASTri013 ergeben, liegen die mit der vorgenannten Modifikation erhaltenen Beanspruchbarkeiten in dem genannten Bereich geringfügig (bis zu 2%) oberhalb der Beanspruchbarkeiten nach DASTri013.

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 8789 wurde von der Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Karlsruhe, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft indu-

strieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DAST, durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei den Arbeiten bestens gedankt. Der Bericht ist über die Forschungsstelle zu beziehen.

H. Saal und G. Speicher

- [1] Saal, H.; Speicher, G.: Beulsicherheitsnachweise für lange, biegebeanspruchte Stahlrohre (Kamine). Schlußbericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 8789. 1994, Institut für Stahlbau und Holzbau der Universität Stuttgart.
- [2] Beuth-Kommentare, Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN18800 Teil 1 bis Teil 4. Hrsg.: J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt. Beuth (Ernst&Sohn. Köln-Berlin, 1993.