

# Verbundbauteile aus hochfestem Baustahl und Stahlbeton

Autor(en): **Jungbluth, Otto / Winter, Stefan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **60 (1990)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-46435>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Verbundbauteile aus hochfestem Baustahl und Stahlbeton

### Composite Members of High-Tensile Structural Steel

### Éléments de construction mixte avec acier à haute résistance

#### Otto JUNGBLUTH

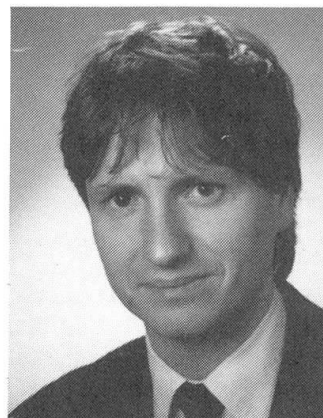
Prof. Dr.  
TH Darmstadt  
Darmstadt, FR Germany



O. Jungbluth, geb. 1918, nach Studium und Assistententätigkeit an der TH Darmstadt 1953 Promotion am Lehrstuhl Prof. Klöppel. Ab 1969 Professor im Bochum, seit 1972 in Darmstadt. Forschungsschwerpunkte sind Verbund- und Sandwichtragwerke.

#### Stefan WINTER

Dipl.-Ing.  
TH Darmstadt  
Darmstadt, FR Germany



S. Winter, geb. 1959, nach Studium des Bauingenieurwesens an der TU München und der TH Darmstadt seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Stahlbau der TH Darmstadt. Forschungsschwerpunkt ist die Profilverbundbauweise.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Zur Verwendung hochfester Baustähle bei Verbundprofilstützen und -plattenbalken“ werden vorgestellt. In Voruntersuchungen wurden verschiedene Verdübelungsarten untersucht. Es wurden acht Stützenversuche durchgeführt. Die Verformungsverträglichkeit zwischen Beton und Baustahl bis zum Fließbeginn des Stahls konnte in allen Fällen nachgewiesen werden. Die Stützen können entsprechend Eurocodes und deutschen Normen berechnet werden. Ergänzend wurden durch Warmkriechversuche an Biegeträgern temperaturabhängige Spannungs-Dehnungs-Beziehungen ermittelt.

#### SUMMARY

The results of a research-program "Application of high-tensile structural steel to composite columns and beams" are presented. Several types of dowelling were analysed in a preliminary investigation. Eight columns were tested. The compatibility of deformation between concrete and high-tensile structural steel has been proved up to the yield point of the steel. The columns can be designed in accordance with Euro and German codes. Stress-strain diagrams depending on temperature were found by warm creep bending tests on steel beams.

#### RÉSUMÉ

Le présent article présente les résultats d'un projet de recherches. Divers types d'assemblages à clavettes ont été examinés lors d'études préliminaires, au cours desquelles huit essais ont eu lieu sur des poteaux. La compatibilité de déformation entre le béton et l'acier a été vérifiée dans chacun des essais, jusqu'au commencement de la limite apparente d'élasticité de l'acier. Les poteaux peuvent être dimensionnés conformément aux Eurocodes et aux normes allemandes. Parallèlement, les relations contraintes-déformations en fonction de la température ont été mises en évidence par des essais de fluage à chaud sur des poutres fléchies.



## 1. EINLEITUNG

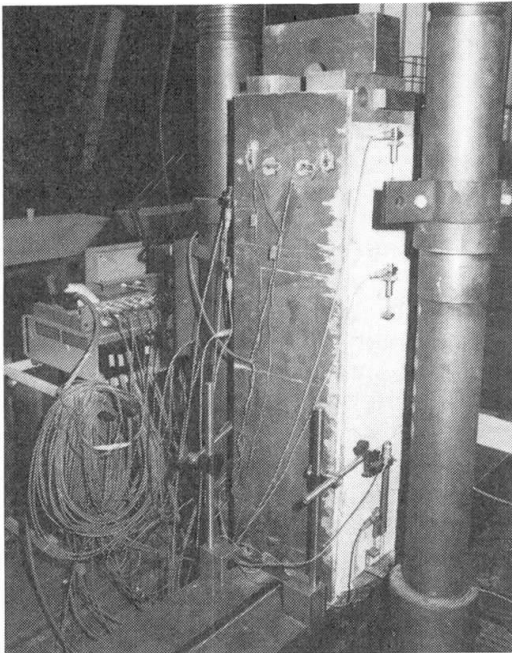
Bauteile in Profilverbundtechnik, d.h. Stahlprofile mit ausbetonierten Kammern, werden unter Verwendung von St 37 und St 52 in der Praxis zunehmend eingesetzt. Trotz freibleibender Flansche sind die Bauteile "in sich" feuerwiderstandsfähig und können je nach Lastausnutzung den Feuerwiderstandsklassen F 90 oder F 120 zugeordnet werden. Um die Bemessungsgrundlagen für den Einsatz hochfester Baustähle bei der Profilverbundtechnik zu erarbeiten, wurde in den Jahren 1987 – 1989 am Institut für Stahlbau der Technischen Hochschule Darmstadt das Forschungsvorhaben "Zur Verwendung hochfester Baustähle bei Verbundprofilstützen und -plattenbalken" durchgeführt.

Ziel der Untersuchungen war es, die Verformungsverträglichkeit zwischen dem Kammerbeton und den Stahlprofilen mindestens bis zum Erreichen der Fließdehnung des Stahles nachzuweisen, eine Zuordnung der Stützen zu den "Europäischen Knickspannungslinien" vorzunehmen und, durch die Ermittlung von temperatur-abhängigen Spannungs – Dehnungs – Beziehungen, die Grundlagen für den rechnerischen Nachweis des Verhaltens im Brandfall zu erarbeiten.

## 2. VORUNTERSUCHUNGEN

### 2.1 Push – Out – Versuche

Da das Tragverhalten der Profilverbundbauteile wesentlich durch den Verbund zwischen Stahlprofil und Stahlbetonteil beeinflusst wird, wurden vorab unterschiedliche Verdübelungsarten untersucht. Die push-out-Versuche dienten zur Ermittlung des erreichbaren Schubwiderstandes in der Verbundfuge. Bild 1 zeigt den Versuchsaufbau nach der Durchführung eines Versuchs.



Folgende Verdübelungsarten wurden untersucht:

- Kopfbolzendübel mit Bewehrungskorb
- Steckhaken mit Bewehrungskorb
- angeschweißte Bewehrungskörbe
- gesteckte Bewehrungskörbe.

Zusätzlich wurde der Reibungsbeiwert für das verwendete Profil ermittelt und bei der Berechnung der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel berücksichtigt. Die Scherspannungen bei Erreichen der Traglast waren bei den geprüften Verdübelungen etwa gleich groß. Unterschiede ergaben sich in der Versagensform. Während bei der Verdübelung mit Kopfbolzendübeln der Kammerbeton zerstört wurde, waren z.B. bei den gesteckten Bewehrungskörben durch die bessere Lastverteilung trotz großer Verschiebungen keine Risse erkennbar.

Bild 1 Push – Out – Versuch

Das Anschweißen der Körbe über Längsstäbe am Steg erwies sich aus arbeits-technischen Gründen als unzuverlässig, eine industrielle Herstellung der benötigten Korbform ist z.Zt. nicht möglich. Bei stumpf aufgestellten Bügeln ist die Güte der Schweißnaht unzureichend. Das Anschweißen C – förmig ausgebildeter Bügel erfordert einen zu hohen Arbeitsaufwand. Für die Bewertung von Steckhakenverdübelungen sind weitere Versuche notwendig.

Bei den nachfolgenden Versuchen wurden daher nur noch die in Bild 2 dargestellten Verdübelungen untersucht.

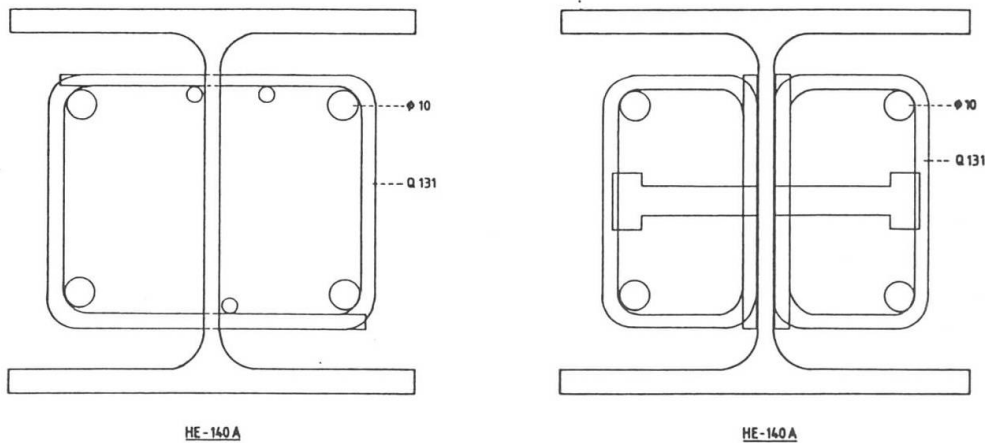


Bild 2 Verdübelung mit Steckbügeln (li.) oder Kopfbolzen (re.)

## 2.2 Stab – Column – Versuche

Mit den Stauchversuchen wurde untersucht, ob die gewählten Verdübelungsarten wesentlichen Einfluß auf die Verformungsfähigkeit des Kammerbetons haben, und welche maximale Stauchung der Beton ertragen kann. Für die Versuche wurde ein Profil HE 200 AA,  $l = 950$  mm,  $f_{ak} \approx 550$  N/mm<sup>2</sup>, verwendet. Zwischen den gewählten Verdübelungsarten konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der erreichbaren Traglasten festgestellt werden. Die Sicherung der Längsstäbe und des Betonteils gegen vorzeitiges Stabilitätsversagen ist bei der Verdübelung mit Steckbügeln geringfügig besser als bei der Kopfbolzenverdübelung. Trotz der geringen Verankerungslängen konnten keine Lageveränderungen der Bügel festgestellt werden. Bild 3 zeigt einen Versuchskörper mit Steckbügeln nach dem Versuch. In Tabelle 1 sind die Versuchsergebnisse, Traglasten und zugehörige Dehnungen des Profils in Körpermitte, einer Versuchsreihe angegeben.

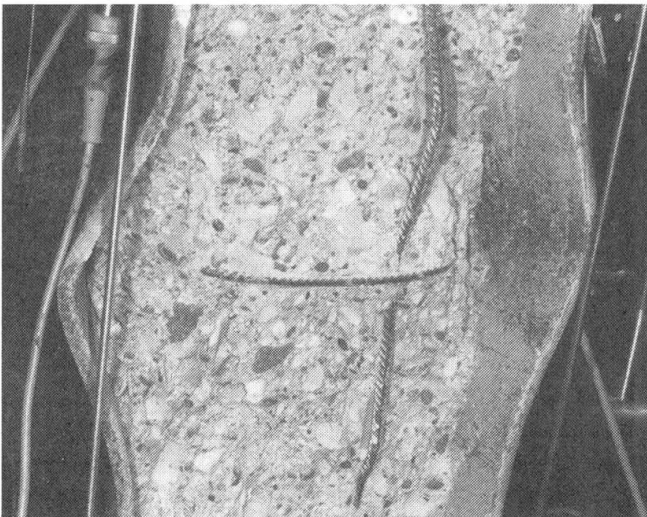


Bild 3 Versagensbild  
stab-column-Versuch

Verdübelung	Beton	$F_u$ [kN]	$\epsilon$ [%] ges.	$\epsilon_a$ [%] (DMS)
Kopfbolzen mit Bewehrungs- korb	B 35	4335	3,14	2,93
	B 35	4443	2,97	2,84
	B 25	3734	3,09	2,84
	B 25	3653	2,57	2,66
asymmetr. gesteckter Bewehrungs- Korb	B 35	4364	3,27	2,41
	B 35	4362	2,93	2,54
	B 35	4334	3,11	2,41
	B 25	3742	3,19	2,53
Bewehrungs- Korb	B 25	3804	3,19	2,99
	B 25	3747	3,14	2,85

Tabelle 1 Versuchsergebnisse

Die Verformungsverträglichkeit zwischen Kammerbeton und Profilstahl StE 460 bis zum Erreichen der gewährleisteten Streckgrenze bei  $\epsilon_a = 2,19\%$  konnte hier bewiesen werden.



### 3. TRAGLASTVERSUCHE AN PROFILVERBUNDSTÜTZEN

#### 3.1 Versuchskörper, Versuchsaufbauten

Die Versuchskörper wurden aus 2 Profilen HE 140 A, 4 x HE 300 AA und 2 x HE 500 B hergestellt. Die mittlere Streckgrenze der Profile betrug  $f_{ak} = 483 - 508 \text{ N/mm}^2$ . Die Verdübelung erfolgte mit einer Ausnahme durch asymmetrische Steckbügel. Zum Vergleich erfolgte die Verdübelung bei einem Versuchskörper HE 140 A mit Kopfbolzendübeln und Bewehrungskorb. Der Abstand der Kopfbolzen betrug  $a = 500 \text{ mm}$ , der Bügelabstand in allen Fällen  $s = 150 \text{ mm}$ .

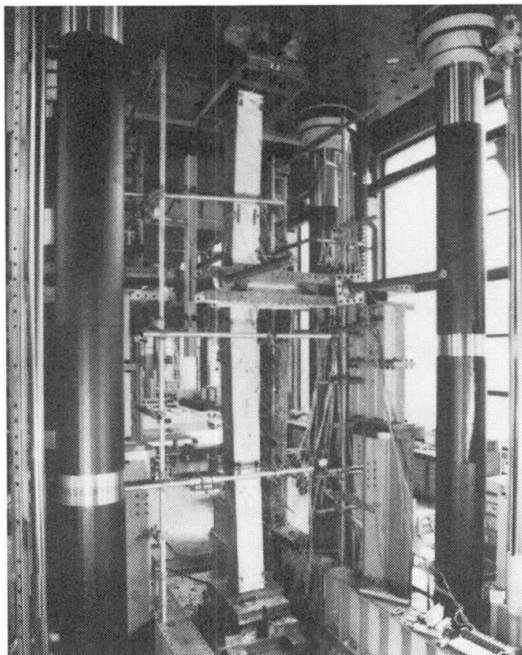


Bild 4 Stütze 300.4 in der GPM der BAM

In den Lasteinleitungsbereichen wurden die Bügelabstände halbiert, die Längsstäbe der Bewehrung endeten immer im Abstand  $a = 10 \text{ mm}$  von der Kopfplatte. Die Betonfestigkeit betrug i.M. bei den Versuchen 140.1-2  $f_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ , bei den Versuchen 300.1-4 und 500.1-2  $f_{ck} = 47 \text{ N/mm}^2$ .

Bis auf zwei Fälle (300.1 und 300.2) wurden die Versuche als Knickversuche, Lagerung entsprechend Eulerfall II, durchgeführt. Wegen der teilweise sehr hohen Traglasten der Versuchskörper wurden die Versuche 300.4 und 500.1-2 an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin durchgeführt. Bild 4 zeigt die eingebaute Stütze 300.4 in der Großprüfmaschine der BAM nach Überschreiten der Traglast.

#### 3.2 Ergebnisse

In Tabelle 2 sind die erreichten experimentellen Traglasten  $F_u$ , die Einbaubedingungen wie Exzentrizität  $e$  und Netzlänge  $s_k$ , und die Versagensachse angegeben. Zum Vergleich wurde die mit den geprüften Werkstoffeigenschaften errechnete Grenztragfähigkeit für Druckkraft  $N_u$  der Versuchskörper eingetragen.

Vers.-Nr.	Achse	Exz. $e$ [mm]	Netzl. $s_k$ [mm]	Traglast $F_u$ [kN]	Grenztr. $N_u$ [kN]
140.1	z-z	0	2940	1575	1577
140.2	z-z	0	2940	1631	1616
300.1	y-y	50	6335	4033	3995
300.2	z-z	20	6335	3576	3660
300.3	z-z	0	6335	5712	5182
300.4	y-y	0	5530	7173	7030
500.1	y-y	0	5330	17020	18151
500.2	z-z	0	5330	14839	13418

y-y = starke Achse z-z = schwache Achse

Die Versuchskörper versagten alle planmäßig in Stützenmitte. Die Verdübelung mit Steckbügeln versagte in keinem der Versuche. Ein Ausknicken des Betonteils wurde in keinem Fall beobachtet.

Ebenso bewährte es sich, die Längsbewehrung im Abstand  $a = 10 \text{ mm}$  vor der Kopfplatte enden zu lassen. Ein Versagen der Lasteinleitungen trat nicht ein, da Spannungsspitzen vermieden werden.

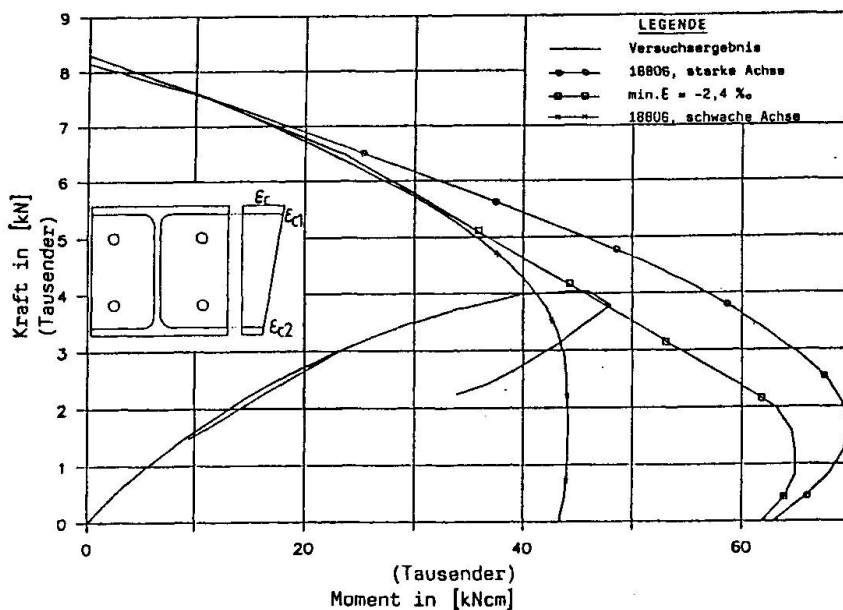
Tabelle 2 Versuchsergebnisse der Stützenversuche

Der Vergleich der Traglasten der beiden Versuchskörper aus einem Profil HE 140 A mit unterschiedlicher Verdübelung läßt keinerlei Unterschied erkennen, das Verhältnis der Traglasten entspricht dem Verhältnis der Betonfestigkeiten. Die Verdübelung mit asymmetrischen Steckbügeln erwies sich somit gegenüber der Verdübelung mit Kopfbolzendübeln zumindest als gleichwertig. Durch den engen Abstand kraftschlüssiger Verbindungsmittel ist die Sicherung des Betonteils gegen Ausknicken besonders gut. Dieser Sachverhalt wird auch von Vielhaber in [1] beschrieben. Durch die einfache Korbform und die Möglichkeit die notwendigen Steglöcher bereits bei der Anarbeitung der Profile automatisiert herzustellen, erscheint eine wirtschaftliche Anwendung möglich.

### 3.3 Berechnungen und Wertung

Für die Nachrechnung der Versuche wurde die Betondruckfestigkeit mit  $f_{cd} = 0.95 \cdot f_{ck}$  und der E-Modul des Betons entsprechend der Werkstoffprüfung nach DIN 1048 angesetzt. Die Grenztragfähigkeit für Druckkraft  $N_u$  wurde in den Versuchen, mit Ausnahme von Versuch 500.1, knapp erreicht oder überschritten. Für die Berechnung wurden dabei die Knickspannungslinien  $a_0$  bzw.  $a$  verwendet, wie es von Aschendorff et al. in [2] für Profile aus hochfesten Stählen vorgeschlagen wird. Dieser Ansatz konnte auch für Profilverbundstützen bestätigt werden. Im Versuch 500.1 wurde  $N_u$  für eine Belastung um die Achse y-y nicht erreicht, da zweiachsige Biegung vorlag. Die Grenztragfähigkeit der Versuchskörper 300.1 und 300.2 wurde mit den u.a. Voraussetzungen berechnet.

Für die Bemessung von Profilverbundstützen entsprechend DIN 18806 T1 oder EC 4 wird die Momenten-Normalkraft-Interaktionskurve des untersuchten Querschnitts benötigt. Der Berechnung liegt die Annahme vollplastischer Schnittgrößen zugrunde. Die aus den Versuchen ermittelten M-N-Interaktionsbeziehungen erreichen auch die um 10% reduzierten M-N-Kurven nicht. Berechnet man die M-N-Kurven jedoch mit einer Begrenzung der zentrischen Stauchung einer Kammer auf  $\epsilon_c = -2.4\%$ , so erhält man eine gute Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung. Die maximale Randstauchung einer Kammer wird dabei in Abhängigkeit der Stauchung der gleichen Kammer am anderen Rand, in Anlehnung an DIN 1045, Abs. 17.2.2, begrenzt.



In Bild 5 sind die M-N-Kurven für beide Achsen des Versuchskörpers 300.1 abgebildet. Die Kurven wurden nach DIN 18806 und mit der Begrenzung  $\epsilon_{c1} = -3,5\% - 0,46 \cdot \epsilon_{c2}$  berechnet. Aus den Versuchsergebnissen läßt sich ableiten, daß Profilverbundstützen aus Baustahl StE 460 und Stahlbeton im Rahmen der geprüften Geometrien nach DIN 18806 und EC 4 unter Ansatz der gewährleisteten Streckgrenze des Stahls zu bemessen sind.

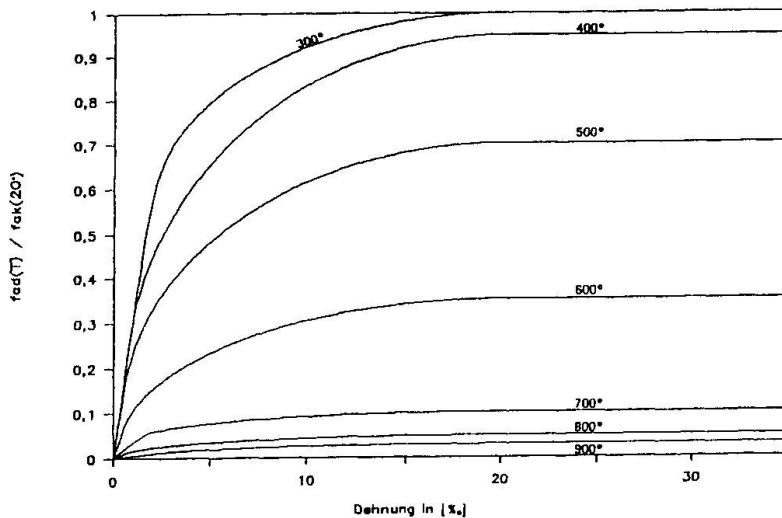
Bild 5 M-N-Interaktionskurven Versuch 300.1



#### 4. TEMPERATURABHÄNGIGE $\sigma - \epsilon$ - BEZIEHUNGEN VON BAUSTAHL STE 460

Es wurden insgesamt 18 Warmkriechversuche an Biegeträgern aus StE 460 durchgeführt. Zur Verifizierung wurden zusätzlich 8 Versuche an Biegeträgern aus St 37 und St 52 durchgeführt und mit den Ergebnissen von Rubert [3] verglichen. Es bestand eine gute Übereinstimmung der Versuchsergebnisse. Der Stahl St 52 verhielt sich in den Versuchen wie der Stahl StE 460.

Aus den Versuchen wurden Kurven für die temperaturabhängige Abnahme der Streckgrenze  $f_{ak}(T)$  und die Abnahme des E - Moduls ermittelt. Mit diesen Voraussetzungen wurden die temperaturabhängigen  $\sigma - \epsilon$ -Beziehungen berechnet. Der Übergang zwischen Anfangsgerade und plastischem Bereich wurde ellipsenförmig angenommen. Die Kurven sind in Bild 6 dargestellt.



Im Vergleich zu St 37 ist der auf  $f_{ak}(20^\circ)$  bezogene Abfall der Streckgrenze  $f_{ak}(T)$  bei StE 460 größer. Der Stahl verhält sich ähnlich wie ein Stahl St 52.

Bild 6  $\sigma - \epsilon(T)$ -Beziehungen für StE 460

#### DANK

Das Forschungsvorhaben wurde dankenswerterweise vom Bundesminister für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) und den Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DAST) gefördert, und durch die Bereitstellung von Sach- und Personalmitteln von den Firmen ARBED, Dillinger Hüttenwerke, LAVIS Stahlbau und DONGES Stahlbau unterstützt.

#### LITERATUR

1. VIELHABER J., PLANK G., Forschungsbericht "Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen. BAM Berlin, Juli 1989
2. ASCHENDORFF K. et al., Knickuntersuchungen an gewalzten Stützen. Der Bauingenieur 58/1983
3. RUBERT A., SCHAUMANN P., Temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften von Baustahl bei Brandbeanspruchung. Stahlbau, März 1985