

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 57/1/57/2 (1989)

Artikel: Verbundmittel in spritzbetonverstärkten Stahlbetonbalken
Autor: Schäfer, Horst G. / Bäätjer, Gerhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44224>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Verbundmittel in spritzbetonverstärkten Stahlbetonbalken

Bond anchors in Shotcrete Reinforced Beams

Goujons d'adhérence dans des poutres renforcées par du béton projeté

Horst G. SCHÄFER

Prof. Dr.-Ing.

Universität Dortmund
Dortmund, BR Deutschland

H. G. Schäfer, geb. 1936, promovierte als Bauingenieur an der TH Darmstadt. Er arbeitete bei der Baufirma Wayss & Freytag und im Ingenieurbüro BGS in Frankfurt. Er lehrte an der TH Darmstadt, war vier Jahre für die GTZ in Dar es Sallam (Tanzania) tätig, bevor er 1985 einem Ruf an die Universität Dortmund folgte.

Gerhard BÄÄTJER

Dr.-Ing.

Universität Dortmund
Dortmund, BR Deutschland

G. Bäätjer, geboren 1941, studierte Bauingenieurwesen an der TU Hannover. Er arbeitete vier Jahre bei der Baufirma Philipp Holzmann im Technischen Büro in Köln. Anschliessend war er an der Ruhr-Universität Bochum tätig, promovierte dort und wechselte 1986 an die Universität Dortmund.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Biegetragfähigkeit von Stahlbetonbalken kann vergrössert werden, indem Zulagebewehrung in eine Spritzbetonschicht eingebettet wird. An zwei Versuchsbalken wird der Einfluss von Verbundankern in der Verbundfuge auf das Tragverhalten untersucht. Bis nahe an die Bruchlast verhalten sich spritzbetonverstärkte wie monolithisch hergestellte Balken. Mit Verbundankern versagen die Träger mit Vorankündigung, ohne Verbundanker gehen sie schlagartig zu Bruch.

SUMMARY

The flexural bearing capacity of reinforced concrete beams can be increased by embedding additional reinforcing bars in a layer of shotcrete. The influence of adhesive anchors crossing the interface between concrete and shotcrete is being studied on two test beams. Up to near failure load the bearing behaviour is the same as for monolithically cast beams. With the application of bond anchors, however, there are evident signs of failure beforehand, whereas the absence of bond anchors leads to an abrupt collapse.

RÉSUMÉ

La résistance à la flexion de poutres en béton armé peut être augmentée par encastrant de l'armature additionnelle dans une couche de béton projeté. L'influence de goujons d'adhérence traversant la surface entre le béton original et le béton projeté est étudiée à deux poutres d'essai. Jusqu'au près de la charge de rupture le comportement est le même que pour des poutres en réalisation monolithique. Par l'application de goujons d'adhérence la rupture s'annonce à temps, tandis que l'absence d'un ancrage a pour conséquence une rupture subite.



1. PROBLEMSTELLUNG

Zur nachträglichen Verstärkung von Stahlbetonbalken ist die Spritzbetontechnik besonders geeignet [1, 2]. Nach den deutschen Richtlinien [3] und Normenentwürfen [4] sind zur Übertragung der Schubkräfte in der Verbundfuge "Verbundmittel" anzuordnen. Dieses Bemessungskonzept führt bei nur unterseitig verstärkten Stahlbetonbalken auf Verbundmittelquerschnitte, die häufig nicht untergebracht werden können. Aus diesem Grunde wird an der Universität Dortmund ein Forschungsvorhaben durchgeführt mit dem Ziel, den tatsächlich erforderlichen Bedarf an Verbundmitteln zu ermitteln.

2. VERSUCHSKÖRPER

Um die Grenzen auszuloten, wurden bisher zwei Balken untersucht (Fig. 1). Die beiden Balken waren so ausgelegt, daß die Bügel im Altbeton ausreichende Reserven zur Aufnahme der erhöhten Schubkräfte nach der Verstärkung der Biegezugbewehrung aufwiesen. Über Versuche an Balken mit zugelegter Biegezug- und Schubbewehrung berichtet Eibl [5]. Die beiden Versuchsbalken (VB) unterschieden sich in der Anzahl der Verbundmittel:

- VB1 wurde mit 29 HILTI-Verbundankern M 16 in gleichmäßigen Abständen von 15 cm in versetzter Anordnung vorschriftengemäß ausgelegt;
- in VB2 wurden nur an den Enden der Spritzbetonverstärkung je 2 HILTI-Verbundanker M 10 eingebaut.

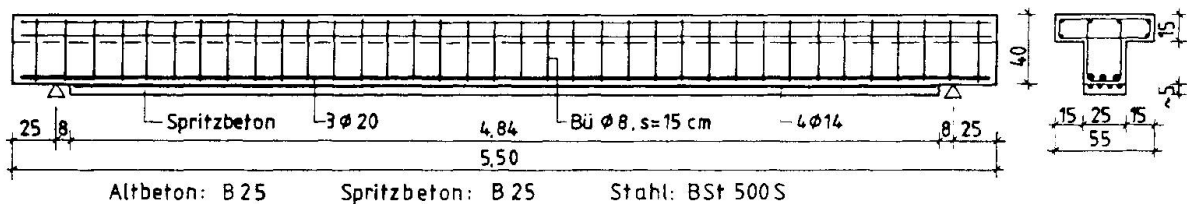


Fig. 1 Abmessungen und Bewehrung der Versuchsbalken (Verbundmittel n. dargest.)

Der Spritzbeton wurde in zwei Lagen im Trockenspritzverfahren aufgetragen; der Altersunterschied zwischen Altbeton und Spritzbeton betrug bei VB1 42 Tage und bei VB2 36 Tage.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Stützweite der Balken wurde im ersten Versuchslauf zu $l = 5$ m gewählt (Fig. 2). Im zweiten Versuchslauf an der intakten Hälfte wurden die Balken um die Vertikalachse gedreht und so in die Prüfmaschine eingebaut, daß sich die Stützweite auf $l = 3$ m verkürzte und der Prüfzylinder in der Feldmitte stand.

Erster Versuchslauf ($l = 5,00$ m):

- Zunächst wurde die Belastung stufenweise etwa bis zur festgelegten Gebrauchslast gesteigert. Die Belastung erfolgte kraftgeregelt mit 126 N/s.
- Nach Erreichen der Gebrauchslaststufe wurden 9000 Lastwechsel aufgebracht (Frequenz 1 Hz; Oberlast/Unterlast = 1,0/0,7-fache Gebrauchslast).
- Anschließend wurden die Balken bis zur Grenztragfähigkeit belastet, wobei die Last weggeregelt mit 1,2 mm/min gesteigert wurde.

Zweiter Versuchslauf ($l = 3,00$ m):

- Die intakten Restbalken mit 3 m Stützweite wurden zunächst kraftgeregelt mit 126 N/s etwa bis zur Gebrauchslast belastet.
- Nach vollständiger Entlastung wurde die Last weggeregelt mit 1,2 mm/min (VB1) bzw. 0,8 mm/min (VB2) bis zur Grenztragfähigkeit gesteigert.

Bei allen Versuchen wurden Meßdaten für Längsstabdehnungen, Bügeldehnungen, Durchbiegung und Rißbreiten aufgenommen (Fig. 3).

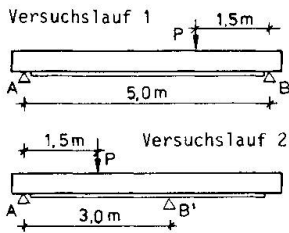


Fig. 2 Systemskizzen

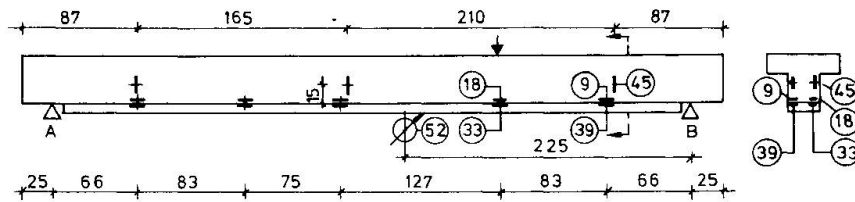


Fig. 3 Lage der Meßstellen

4. VERSUCHSERGEBNISSE

4.1 Tragverhalten

Bei VB1 traten unter höheren Lasten feine horizontale Risse in der Verbundfuge auf. Er zeigte jedoch wie ein monolithisch hergestellter Balken ein ausgeprägtes duktileres Bruchverhalten. Die Tragfähigkeit war erst erschöpft, als sich unterhalb der Einzellast ein Biegeriß weit öffnete und die weggeregelter Last nicht weiter gesteigert werden konnte. Der Versuch wurde abgebrochen als sich in der Betondruckzone unterhalb des Prüfszylinders erste Risse aufgrund der großen Rotation entwickelten. Die Bruchlast betrug 310 kN, was dem $\gamma = 2,33$ -fachen der rechnerischen Gebrauchslast entspricht.

Bei VB2 traten kurz vor Erreichen der Bruchlast sehr flach geneigte Risse in Höhe der Verbundfuge auf. Das Versagen erfolgte durch schlagartiges Aufreißen der Verbundfuge im gesamten Querkraftbereich zwischen Einzellast und nahem Auflager. Die Zulagebewehrung konnte sich nicht mehr an der Lastabtragung beteiligen. Die weggeregelter Last ging dabei vom Höchstwert $P_u = 303$ kN auf 169 kN zurück und mußte allein vom Altbetonbalken aufgenommen werden. Die Bruchsicherheit bei VB2 betrug gegenüber der rechnerischen Gebrauchslast $\gamma = 2,27$. Alle relevanten Daten sind in den Tabellen 1 bis 3 zusammengestellt. Im Versuchslauf 1 ($l = 5$ m) ergaben sich für beide Balken und im Versuchslauf 2 ($l = 3$ m) für Balken VB1 die gleichen Sicherheiten. Im Versuchslauf 2 bei Balken VB2 war sie geringer. Bei VB2 trat das Versagen schlagartig ein, so daß hier nach deutschen Vorschriften eine Sicherheit von 2,1 eingehalten werden müßte. Dieser Wert wurde im Versuchslauf 1 nahezu erreicht, im Versuchslauf 2 dagegen nicht. Beide Balken wiesen bis direkt vor Erreichen der Bruchlast von VB2 nahezu gleiche Durchbiegungen auf (Fig. 4).

| Nenn-durch-messer [mm] | Istquer-schnitt [mm ²] | Streck-grenze [MN/m ²] | Zugfestig-keit [MN/m ²] |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 6 | 28,8 | 490,1 | 573,1 |
| 8 | 52,3 | 478,2 | 539,1 |
| 14 | 159,9 | 534,1 | 624,9 |
| 20 | 317,1 | 532,4 | 625,7 |

Tabelle 1 Querschnitts- und Festigkeitswerte der Betonstähle

| Balken | Betonalter [Tage] | Druckfestigkeit β_{ws} [MN/m ²] |
|--------|----------------------|--|
| VB1 | 28 | 34,6 |
| | 104 1) | 40,5 |
| | 110 2) | 36,9 |
| VB2 | 28 | 28,7 |
| | 96 1) | 33,6 |
| | 98 2) | 30,4 |

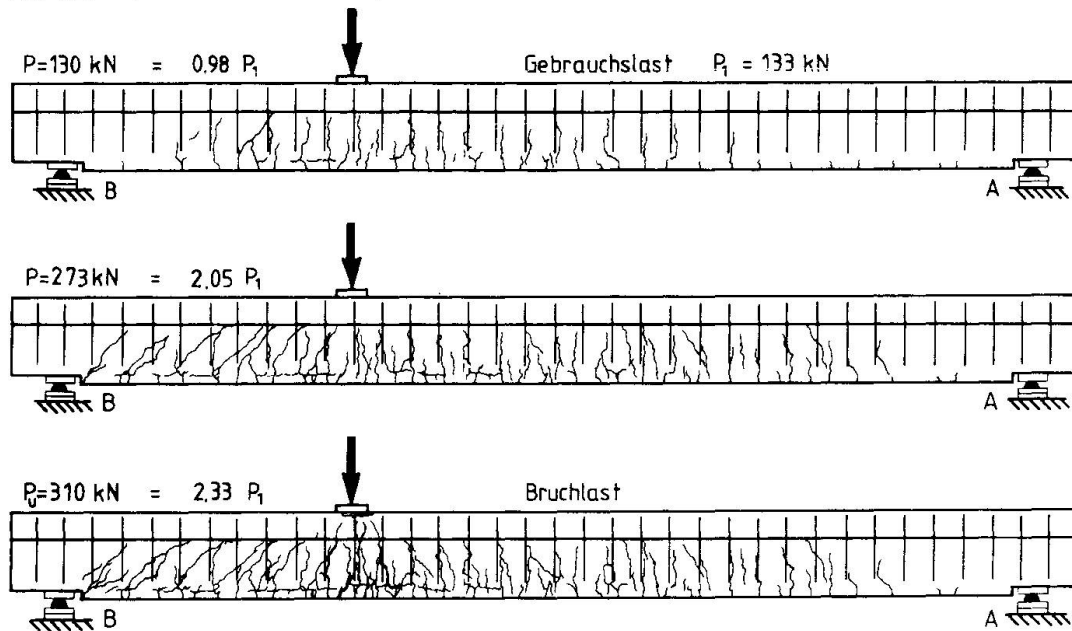
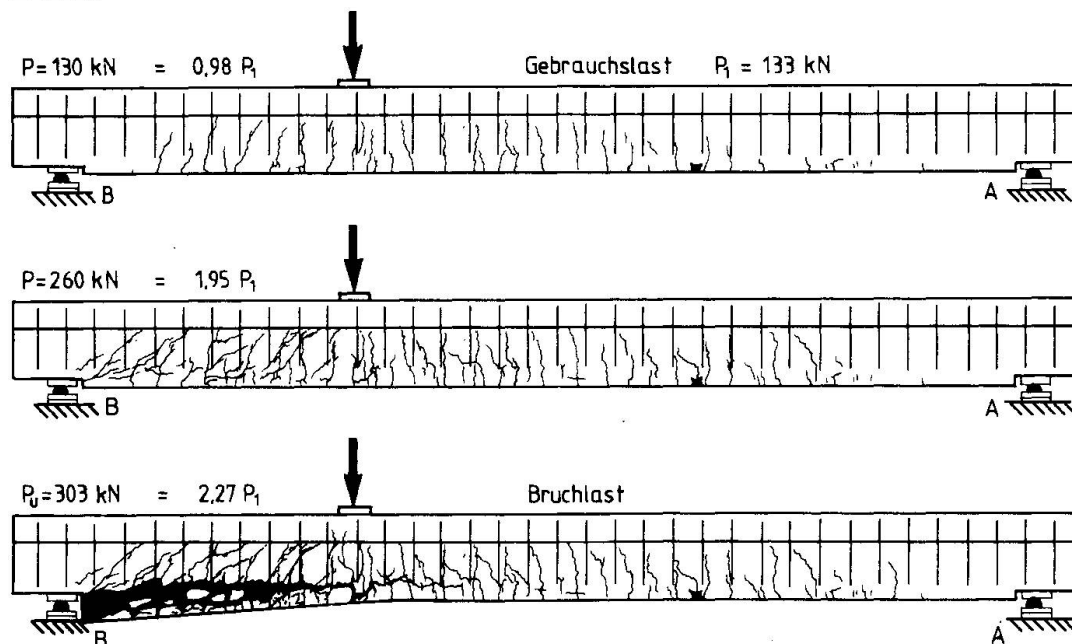
1) Versuchslauf 1 2) Versuchslauf 2

Tabelle 2 Betonfestigkeiten



| Versuchs- lauf | Balken | Gebrauchslast [kN] | | | Bruchlast P _u [kN] | Bruchsicherheit | |
|-------------------|--------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | unverstärkt | verstärkt | | | P _u /nom P ₁ | P _u /ef P ₁ |
| | | nom P _o | nom P ₁ | ef P ₁ | | | |
| 1 | VB1 | 76 | 133 | 148 | 310 | 2,33 | 2,09 |
| | VB2 | 76 | 133 | 145 | 303 | 2,27 | 2,09 |
| 2 | VB1 | 120 | 200 | 222 | 464 | 2,32 | 2,09 |
| | VB2 | 120 | 200 | 218 | 374 | 1,87 | 1,72 |

Tabelle 3 Gebrauchslasten, Bruchlasten und Bruchsicherheiten

Fig. 5 Rißbilder Balken VB1, Versuchslauf 1 ($l = 5$ m)Fig. 6 Rißbilder Balken VB2, Versuchslauf 1 ($l = 5$ m)

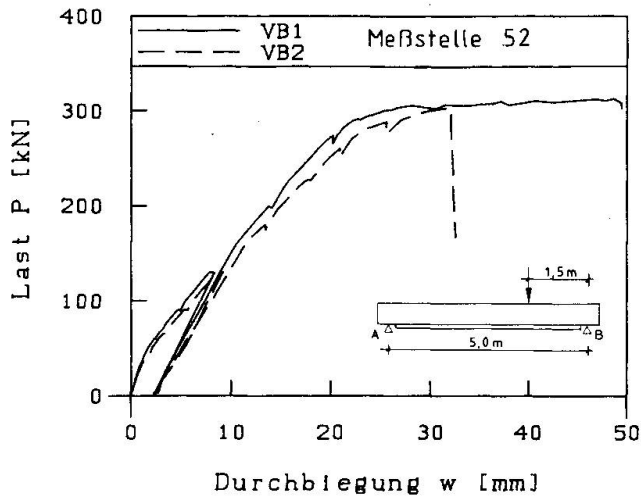


Fig. 4 Last-Verformungs-Diagramme

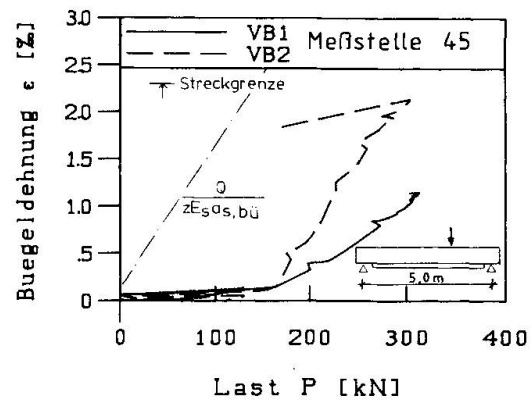


Fig. 7 Bügeldehnungen (VB1 und VB2, Meßstelle 45)

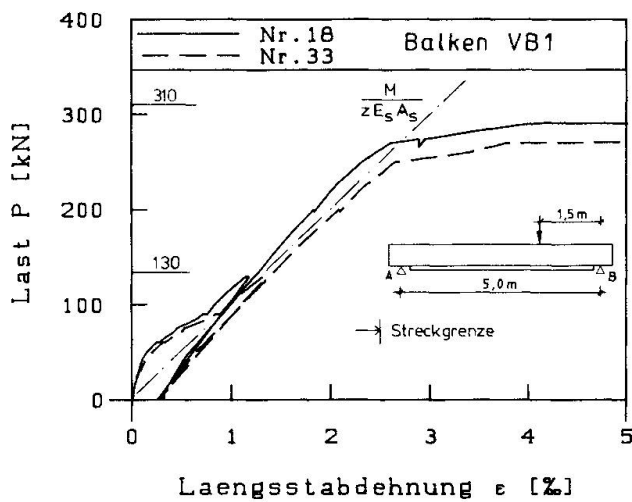


Fig. 8 Längsstabdehnungen (VB1, Meßstellen 18 und 33)

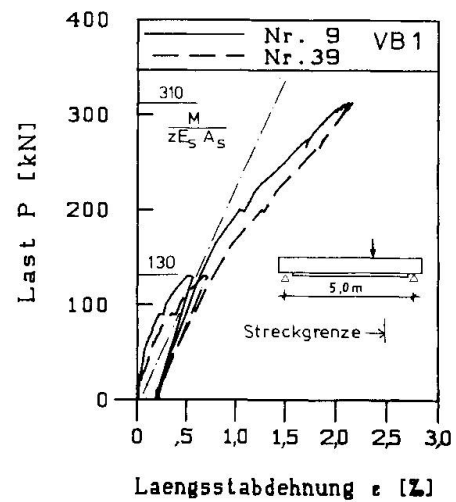


Fig. 9 Längsstabdehnungen (VB1, Meßstellen 9 und 39)

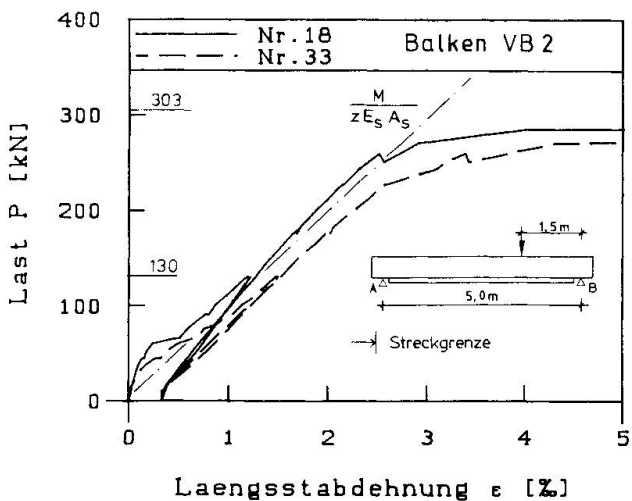


Fig. 10 Längsstabdehnungen (VB2, Meßstellen 18 und 33)

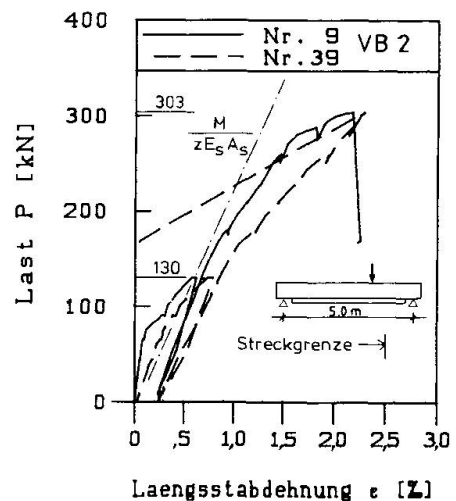


Fig. 11 Längsstabdehnungen (VB2, Meßstellen 9 und 39)



4.2 Rißbild

Die Rißbilder sind in Fig. 5 und Fig. 6 für den jeweils ersten Versuchslauf dargestellt. Beide Balken wiesen im Gebrauchslastbereich ein völlig "normales" Rißbild auf. Die gemessenen Rißbreiten lagen durchweg unter 0,1 mm. Die 9000 Lastwechsel umfassende Schwellbeanspruchung führte nur zu unbedeutenden Veränderungen. Schubrisse bildeten sich erst weit oberhalb der Gebrauchslast.

4.3 Beanspruchung der Bügel

Für VB1 und VB2 mit $l = 5$ m sind in Fig. 7 die gemessenen Dehnungen eines Bügelschenkels aufgetragen. Es stellte sich bei beiden Balken der typische Dehnungsverlauf ein: erst mit Beginn der Schubrißbildung, im vorliegenden Fall oberhalb der Gebrauchslast, stellte sich das die Bügelbeanspruchung bestimmende Fachwerktragverhalten ein. Die Streckgrenze wurde unter Bruchlast nicht erreicht.

4.4 Beanspruchung der Längsstäbe

Der Verlauf der Längsstabdehnungen ist für VB1 in Fig. 8 und 9 und für VB2 in Fig. 10 und 11 dargestellt. Das Dehnungsverhalten beider Balken ist bis kurz vor Erreichen der Bruchlast das gleiche. Für die Zulagestäbe wurden deutlich größere Dehnungen gemessen als für die Stäbe im Altbetonbalken. Unter der Einzellast überschritt der Stahl die Streckgrenze und erreichte Dehnungen von mehr als 10 ‰. Während bei VB1 die Zulagebewehrung auch unter der Höchstlast noch voll mittrug, fiel bei VB2 als Folge des Verbundfugenversagens die Dehnung auf Null ab. Gleichzeitig stieg die Dehnung der Biegezugbewehrung im Altbeton - obwohl die Last zurückging - etwas an, da die noch vorhandene Last nunmehr allein vom ursprünglichen Stahlbetonquerschnitt übertragen werden mußte. Die Übereinstimmung der rechnerischen mit den gemessenen Werten ist gut, wenn man beachtet, daß sich die berechneten Werte in Fig. 9 und 11 bei Berücksichtigung des Fachwerktragverhaltens entsprechend dem Versatz der Zugkraftlinie gegenüber der M/z-Linie in Richtung der gemessenen Werte verschieben.

5. AUSBLICK

In weiteren Versuchen, die vom Deutschen Beton-Verein unterstützt werden, soll systematisch erkundet werden, welche Mindestmenge an Verbundmitteln erforderlich ist, ohne daß das gutartige duktile Tragverhalten darunter leidet. Es ist zu erwarten, daß künftig die Verbundmittelquerschnitte gegenüber [4] erheblich reduziert werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

1. HOLZ K., Anschlüsse, Verstärkungen und Konstruktionsänderungen - flexibel bauen auch mit Stahlbeton. Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984), S. 293-298 und S. 322-327.
2. RUFFERT G., Ausbessern und Verstärken von Betonbauteilen. 2. Auflage, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1982.
3. Richtlinien für die Ausbesserung und Verstärkung von Betonbauteilen mit Spritzbeton. Fassung Oktober 1983. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton.
4. DIN 18551; Spritzbeton. Entwurf 1989.
5. EIBL J., BACHMANN H., FATH F., Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben: Nachträgliche Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Spritzbeton. Universität Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, 1988.