

**Zeitschrift:** IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte  
**Band:** 60 (1990)

**Artikel:** Zum Tragverhalten von Betonbauteilen mit gemischten Bewehrungen  
**Autor:** Faoro, Martin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-46553>

#### **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:** 12.01.2026

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

## Zum Tragverhalten von Betonbauteilen mit gemischten Bewehrungen

### Load Bearing Behaviour of Concrete Structural Components with Mixed Reinforcement

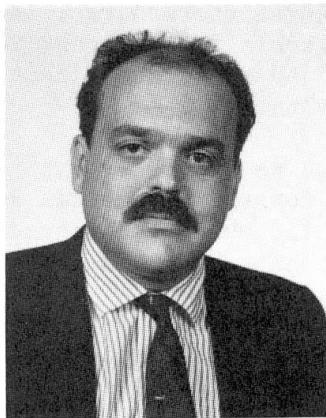
### Capacité portante d'éléments en béton à armatures mixtes

**Martin FAORO**

Dr.-Ing.

Strabag Bau-AG

Köln, BR Deutschland



Martin Faoro, geboren 1956, wurde als Bauingenieur an der RWTH Aachen 1981 diplomierte. Nach mehrjähriger Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter erfolgte seine Promotion 1988 an der Universität Stuttgart. Er beschäftigt sich mit Werkstoff- und Konstruktionsproblemen des Massivbaus. Seit 1989 ist er Mitarbeiter der Strabag Bau-AG, Abteilung Forschung und Entwicklung.

#### ZUSAMMENFASSUNG

In letzter Zeit werden immer häufiger Betonbauteile mit Bewehrungen aus völlig unterschiedlichen Werkstoffen, beispielsweise mit üblichen Betonstählen und Glasfasererstäben, gemischt bewehrt. Jedoch ist das Tragverhalten dieser Konstruktionen noch nicht ausreichend bekannt. Im folgenden werden anhand eines Rechenmodells die wesentlichen Einflußparameter auf die Spannungsumlagerungen zwischen den unterschiedlichen Bewehrungselementen diskutiert. Für die Praxis resultiert hieraus, daß zur Vermeidung einer Überbeanspruchung der dehn- bzw. verbundsteiferen Bewehrung deren Menge ausreichend zu dimensionieren ist.

#### SUMMARY

With increasing frequency, structural components have recently been furnished with mixed reinforcement comprising completely differing materials, for example conventional reinforcing steels and glass fiber bars. However too little is known of the bearing behaviour of these structures. The main parameters of influence on the stress redistributions between the various reinforcing elements will be discussed in the following on the basis of a theoretical model. For practical purposes, the results show that in order to avoid overstressing of the reinforcement, which is stiffer in respect to strain and bond, an adequate quantity thereof must be foreseen in the design.

#### RÉSUMÉ

Dernièrement, l'emploi d'armatures mixtes a augmenté constamment pour les éléments en béton, utilisant des matériaux tout à fait différents, comme par exemple l'acier traditionnel d'armature et les barres de fibres de verre. Cependant, la capacité portante n'est pas encore suffisamment connue pour ces constructions. L'auteur analyse au moyen d'un modèle de calcul les paramètres essentiels d'influence sur la distribution des contraintes entre les divers éléments d'armatures. Pour les applications pratiques, il en résulte qu'un dimensionnement suffisant des armatures est indispensable pour éviter tout dépassement des déformations et des contraintes d'adhérence.



## 1. EINLEITUNG

Das Zusammenwirken von Bewehrungssträngen extrem unterschiedlicher Verbundeigenschaften und Dehnsteifigkeiten (E-Moduln) und die daraus resultierende gegenseitige Beeinflussung ist für eine materialgerechte Dimensionierung sowie die Dauerhaftigkeit von gemischt bewehrten Bauteilen von entscheidender Bedeutung. Die im Bereich von Rissen in die vorhandenen Bewehrungen einzuleitenden Kräfte und die dadurch verursachten unterschiedlichen Dehnungen in den Rissen können bisher allenfalls grob abgeschätzt werden.

Bei teilweise oder beschränkt vorgespannten Bauteilen wird insbesondere bei Ermüdungsbeanspruchung die Mitwirkung der Spannglieder aus Spannstahl oder Glasfaserbundstäben in der Regel überschätzt. Daher besteht häufig die Gefahr, die im Querschnitt vorhandene schlaffe Bewehrung zu überfordern, was zu nicht mehr akzeptablen Rißbreiten und damit zur Einschränkung der Gebrauchsfähigkeit des gesamten Bauwerks führen kann.

Zur Lösung dieser Fragen wurde vom Verfasser ausgehend von den Verhältnissen bei gemischt bewehrten Konstruktionen ein Rechenmodell erarbeitet, welches im Gegensatz zu den bisher üblichen Rechenansätzen Gleichgewicht und Verträglichkeit sowohl im Rißquerschnitt als auch im Einleitungsbereich zwischen den Rissen gleichermaßen berücksichtigt.

Im vorliegenden Beitrag wird die zugrundeliegende Modellvorstellung kurz erläutert, und die wesentlichen Einflußparameter werden kurz diskutiert.

## 2. ERMITTLEMENT DER SPANNUNGEN UND VERSCHIEBUNGEN IN DEN RISSQUERSCHNITTEN GEMISCHT BEWEHRTER BAUTEILE

### 2.1 Modellierung

Die Abb. 1 zeigt einen gemischt bewehrten Dehnkörper mit Bewehrungselementen, die sich im Hinblick auf ihre Verbundeigenschaften, Elastizitätsmoduln, Durchmesser und Bewehrungsmengen unterscheiden können.

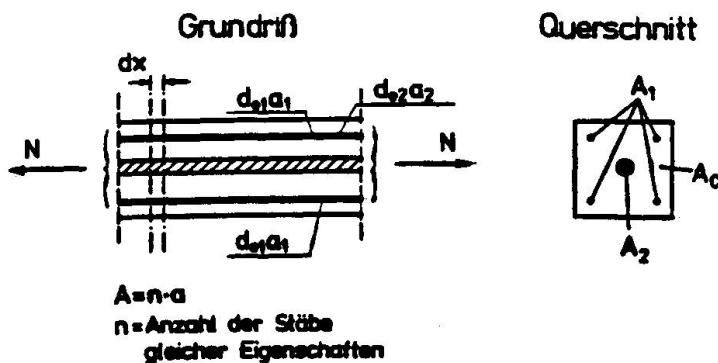


Abb. 1: Gemischt bewehrter Dehnkörper (schematisch)

Eine Betrachtung der Kräfte und Verschiebungen an einem Element der Länge  $dx$  führt für die Relativverschiebungen  $s_i(x)$  der Bewehrungen gegenüber dem umgebenden Beton zu einem gekoppelten Differentialgleichungssystem 2. Ordnung für  $s_i(x)$ , welches in [1] detailliert hergeleitet wurde. Da die Relativverschiebungen der Bewehrungen von den jeweiligen nichtlinearen Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen  $\tau_i = f(s_i)$  abhängig sind, bietet sich eine Lösung des Differentialgleichungssystems durch schrittweise Integration an.

Man erhält unter Zugrundelegung linearer Spannungs- und Verschiebungsverläufe sowie konstant über das Berechnungsintervall  $\Delta x$  verlaufende Verbundspannungen die folgenden Rechenbeziehungen:

$$\sigma_{1,2}(x + \Delta x) = \sigma_{1,2}(x) + \Delta \sigma_{1,2}(x) \quad (1)$$

$$\Delta \sigma_{1,2}(x) = \tau_{1,2}(x) * u_{1,2} / A_{1,2} * \Delta x \quad (2)$$

$$\sigma_c(x + \Delta x) = \sigma_c(x) + \Delta \sigma_c(x) \quad (3)$$

$$\Delta \sigma_c(x) = \tau_{1,2}(x) * u_{1,2} / A_c * \Delta x \quad (4)$$

Für die Relativverschiebungen ergibt sich hieraus:

$$s_{1,2}(x + \Delta x) = s_{1,2}(x) + \Delta s_{1,2}(x) \quad (5)$$

$$\Delta s_{1,2}(x) = \frac{\Delta x}{2 * E_{1,2}} (2 \sigma_{1,2}(x) + \Delta \sigma_{1,2}(x))$$

$$- \frac{\Delta x}{2 * E_c} (2 \sigma_c(x) + \Delta \sigma_c(x)) \quad (6)$$

Man erkennt, daß die Verteilung der Spannungen, Verbundspannungen und Relativverschiebungen beider Bewehrungen über die Betonspannungen miteinander gekoppelt sind. Die Rechenannahmen (Gln. (1) bis (6)) sind mit den von Eligehausen in [2] angegebenen Rechenbeziehungen identisch. Allerdings sind im vorliegenden Fall keinerlei "Symmetriebedingungen" vorhanden, wie gleiche Stabdurchmesser und E-Moduln sowie gleiche Verbundeneigenschaften. Die schrittweise Lösung der Differentialbeziehungen erfordert deshalb ein besonderes Iterationsverfahren, welches in [1] erarbeitet wurde.

## 2.2 Stoffgesetze

Bei den theoretischen Parameterstudien wurden die Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen  $\tau_i = f(s_i)$  für Betonstahl bzw. Spannstahl der Literatur ([3] - [5]) und diejenige für Bewehrungselemente aus kunstharzgebundenen Glasfaserstäben eigenen Untersuchungsergebnissen ([1]) entnommen. Das Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Stahlbewehrungen wurde mit einem bilinearen  $\sigma - \varepsilon$  - Gesetz ( $E_1 = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ) beschrieben. Das Spannungs-Dehnungs-Verhalten der verwendeten Glasfaserverbundstäbe wurde mit einer linear elastischen  $\sigma - \varepsilon$ -Linie ( $E_2 = 52.000 \text{ N/mm}^2$ ) beschrieben. Die Werkstoffgesetze sind schematisch in Abb. 2 wiedergegeben.

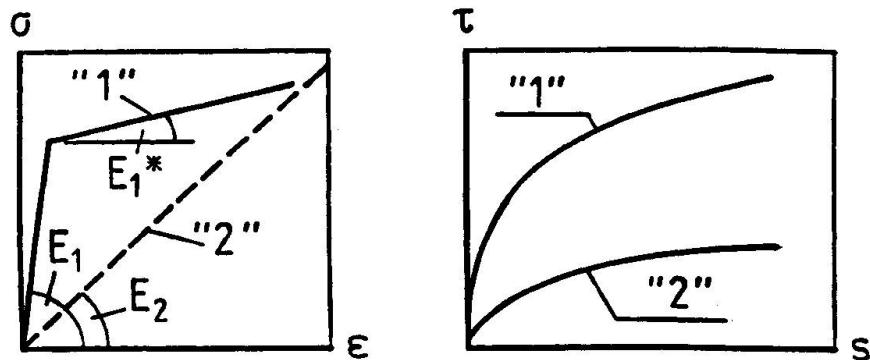


Abb. 2: Verwendete Werkstoffgesetze (schematisch)



Eine Überprüfung der Brauchbarkeit des Rechenmodells anhand der Ergebnisse von Zugversuchen an zentrisch beanspruchten Dehnkörpern, die mit konventionellen Betonstählen und sogenannten Hochleistungsverbund(HLV)-Elementen (Glasfaserstäbe) bewehrt waren, konnte mit sehr zufriedenstellendem Resultat vorgenommen werden ([1]).

### 3. ERGEBNISSE DER PARAMETERSTUDIEN

#### 3.1 Relevante Einflußparameter

Die Höhe der Bewehrungsspannungen im Rißquerschnitt ist von einer Reihe unterschiedlicher Parameter abhängig. Bei den umfangreichen Parameterstudien in [1] wurden als wichtige Einflußgröße erkannt:

- Verbundqualität der Bewehrungen
- Im Verbund liegende Staboberflächen (Durchmesser)
- Elastizitätsmoduln der Bewehrungen
- Langzeitige und/oder nicht ruhende Beanspruchungen
- Bewehrungsmenge der jeweiligen Bewehrungen und Gesamtbewehrungsgrad
- Höhe der Beanspruchung

#### 3.2 Gemischte Bewehrungen aus Betonstählen und Glasfaserstäben (HLV-Elemente)

Für das Studium des Verhaltens von Bauteilen, die mit konventionellen Betonstählen und Glasfaserstäben gemischt bewehrt sind, müssen die unterschiedlichen E-Moduln und die verschiedenen Verbundqualitäten Berücksichtigung finden. Für das Verhältnis der E-Moduln gilt:

$$E_{\text{stahl}} / E_{\text{HLV}} = E_1 / E_2 \approx 4 \quad (7)$$

Vergleicht man die Verbundqualitäten dieser Bewehrungen, so läßt sich nach den Ergebnissen in [1] ein Verhältniswert angegeben von etwa:

$$\tau_{\text{stahl}} (\text{s}) / \tau_{\text{HLV}} (\text{s}) = \tau_1 (\text{s}) / \tau_2 (\text{s}) \approx 4 \quad (8)$$

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden im hier diskutierten Rechenbeispiel gleiche Stabdurchmesser angenommen ( $d_{\text{stahl}} = d_{\text{HLV}}$ ;  $d_{\text{stahl}}/d_{\text{HLV}} = 1$ ).

Damit ergibt sich für den Zustand der Einzelrißbildung eine in der Stahlbewehrung ca. 4fach höhere Spannung als in der Glasfaserbewehrung:  $\sigma_{r1} / \sigma_{r2} \approx 4$ .

In der Abbildung 3 sind die Rechenergebnisse für die zuvor genannten Verhältnisse für den Zustand der abgeschlossenen Rißbildung unter Variation des mittleren Rißabstandes  $a_{\text{rm}}$  exemplarisch dargestellt. Aufgetragen ist die auf die mittlere Bewehrungsspannung  $\sigma_{r1}^{\text{II}}$  im Zustand II bezogene Rißspannung  $\sigma_{r1}$  in Abhängigkeit der Beanspruchungshöhen  $\sigma_{r1}^{\text{II}}$ . Ferner wurde als Scherparameter der Bewehrungsanteil der Glasfaserbewehrung "2" variiert:

$$\lambda = \mu_2 / \mu = \frac{A_2}{(A_1 + A_2)} \quad (9)$$

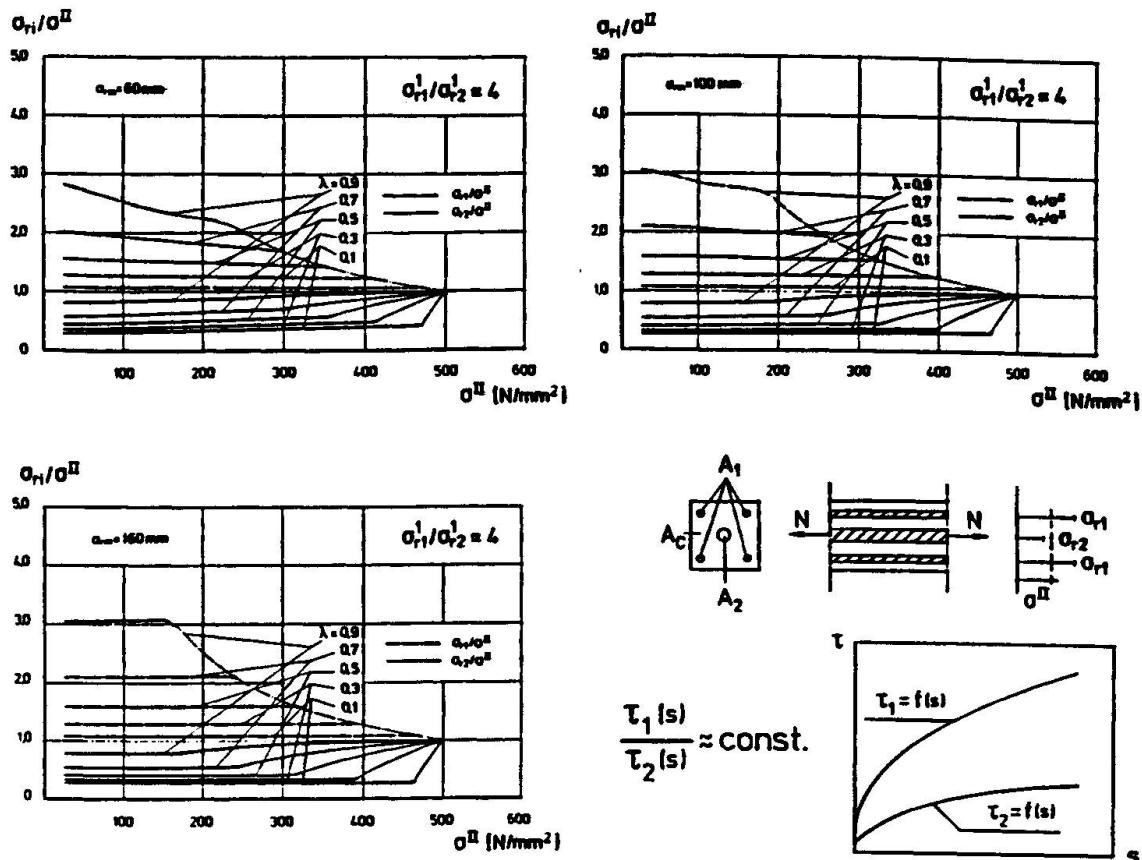


Abb. 3: Bezogene Spannungen im Riß  $\sigma_r1$  in Abhängigkeit der Beanspruchungshöhe  $\sigma_r1$  und des Bewehrungsverhältnisses  $\lambda$  für verschiedene Rißabstände  $a_r$ .

Aus der Darstellung ist zu entnehmen, daß die Unterschiede der Rißspannungen mit zunehmendem Rißabstand anwachsen. Bei großen Rißabständen sind demnach generell ungünstigere Verhältnisse zu erwarten. Unter Laststeigerung nehmen die Spannungsunterschiede bis zum Fließen der verbundsteiferen Stahlbewehrung (BSt 500/550) nur geringfügig ab. Die Höhe der bezogenen Rißspannungen ist daher nur wenig vom jeweiligen Lastniveau abhängig. Bei großen Rißabständen  $a_r$  sind die bezogenen Spannungen im Riß im elastischen Dehnungsbereich der Bewehrungen praktisch unabhängig von der Belastungshöhe, und es stellen sich etwa die Verhältnisse wie bei der Einzelrißbildung ein.

Erwartungsgemäß wachsen die Spannungsunterschiede zwischen beiden Bewehrungen mit zunehmendem Bewehrungsanteil  $\lambda$  an. Bei einem geringen Anteil von Bewehrungsstäben mit guter Verbundqualität liegen demnach ungünstige Verhältnisse vor, und die verbundsteifere Bewehrung beginnt bereits bei vergleichsweise geringer äußerer Belastung zu fließen. Eine weitere Laststeigerung führt dann zu einem erheblichen Spannungszuwachs in der verbundweicheren Glasfaserbewehrung.

#### 4. FOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Im Hinblick auf das Tragverhalten verbundstabbewehrter Bauteile ist festzustellen, daß die auf die Glasfaserstäbe im Rißquerschnitt entfallenden Lastanteile wegen deren niedrigen Elastizitätsmoduls und wegen der im Vergleich zu üblichen Betonstählen schlechten Verbundqualitäten unbedenklich gering sind. Jedoch ist im Falle gemischt mit Betonstählen und Glasfaserstäben bewehrter Konstruktionen



stets zu überprüfen, ob die Betonstähle aufgrund der geringen Mitwirkung der Glasfaserbewehrung bei Rißbildung nicht unzulässig hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Bei langzeitiger und/oder nicht ruhender Beanspruchung der Bauteile können nach [1] bei Bewehrungen, die sich sowohl im Hinblick auf die Verbundcharakteristiken als auch im Verbundkriechverhalten stark voneinander unterscheiden, zusätzlich beträchtliche Spannungsumlagerungen infolge von Dauerlasten oder Ermüdbbeanspruchungen von der verbundweicheren Glasfaserstabbewehrung zur verbundsteiferen Stahlbewehrung stattfinden.

## 5. LITERATUR

- [1] FAORO, M.: Zum Tragverhalten kunstharzgebundener Glasfaserstäben im Bereich von Endverankerungen und Rissen in Beton. -Stuttgart: Fakultät 2, Universität Stuttgart, Dissertation 1988. IWB-Mitteilungen 1988/1
- [2] ELIGEHAUSEN, R.: Übergreifungsstöße zugbeanspruchter Rippenstäbe mit geraden Stabenden. Heft 301, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. -Berlin: Verlag Wilhelm Ernst & Sohn 1979
- [3] ELIGEHAUSEN, R.; POPOV, E. P.; BERTERO, V. V.: Local Bond Stress-Slip Relationships of deformed Bars under generalized Excitations. Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California. -Berkeley: University of California 1983. Report No. UCB/EERC-83/23
- [4] MARTIN, H.: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Sprengwirkung von Bewehrungsstählen unter Kurzzeitbelastung. Heft 228, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. -Berlin: Verlag Wilhelm Ernst & Sohn 1973
- [5] TROST, H.; CORDES, H.; THORMÄHLEN, U.; HAGEN, H.: Teilweise Vorspannung - Verbundfestigkeit von Spanngliedern und ihre Bedeutung für Rißbildung und Rißbreitenbeschränkung. Heft 310, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. -Berlin: Verlag Wilhelm Ernst & Sohn 1980
- [6] WOLFF, R.; MIESSELER, H.- J.: HLV-Spannglieder in der Praxis, Erfahrungen mit Glasfaserverbundstäben. In: beton. Heft 2/89, Seite 47-51