

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

Artikel: Biegesteife Rahmenecken in Verbundbauweise
Autor: Lange, Jörg / Hahn, Joachim
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-46441>

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: 15.07.2025

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

Biegesteife Rahmenecken in Verbundbauweise

Rigid Beam-Column Connections for Composite Frames

Nœuds rigides de cadres en construction mixte acier-béton

Jörg LANGE

Dipl.- Ing.
Frankfurt/Main, BRD

Joachim HAHN

Dr.- Ing.
Frankfurt/Main, BRD

Jörg Lange, geboren 1958. Studium TH Darmstadt, bis Mitte 1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter TH Darmstadt. Seitdem Projekt Ingenieur bei Stahlbau Lavis Offenbach.

Joachim Hahn, geboren 1948. Studium und wissenschaftlicher Mitarbeiter TH Darmstadt. Seit 1983 selbständig. Arbeitsschwerpunkte: Verbundbau und CAD.

ZUSAMMENFASSUNG

Biegesteife Stützen-Riegel-Verbindungen sind wichtige Elemente verschieblicher Rahmen. Das Ausbetonieren von Stahlprofilen zur Erhöhung von Tragfähigkeit und Feuerwiderstand legt es nahe, auch in der Verbindung die Verbundwirkung zwischen Stahl und Beton zu aktivieren. Dieser Beitrag stellt zwei konstruktive Lösungen und die dazugehörigen Modelle zur Bemessung von geschweissten „Verbundknoten“ vor.

SUMMARY

Rigid beam-column connections are a very important part of sway frames. Filling concrete between flanges of H-sections improves the fire-resistance and load bearing capacity of beams and columns. It seems obvious that the composite behaviour can also improve the bonding actions of connections. In this paper two ways of designing composite connections are introduced. In addition, a method of calculating their ultimate capacity is given.

RÉSUMÉ

Les liaisons rigides de traverses-poteaux représentent des éléments importants pour les cadres déformables. L'enrobage en béton des profilés acier, en vue d'augmenter la capacité portante et la résistance au feu, met également en évidence l'effet de l'adhérence entre l'acier et le béton dans le noeud. Cette étude propose deux solutions constructives ainsi que les modèles s'y rapportant pour le dimensionnement des «nœuds mixtes» soudés.



1. EINFÜHRUNG

Gegenstand dieser Arbeit ist es, das gemeinsame Wirken von Stahl und Beton in biegesteifen Tragwerksknoten zu untersuchen. Hierbei wird das von Verbundträgern bekannte Prinzip übernommen, nach dem der Profilstahl Zug- und der Beton Druckkräfte überträgt. Das Einsatzgebiet solcher momentenübertragenden Knoten liegt z. B. bei der Verbindung von Riegeln und Stützen in verschieblichen Rahmen und von Pfosten und Gurten in Rahmenträgern.

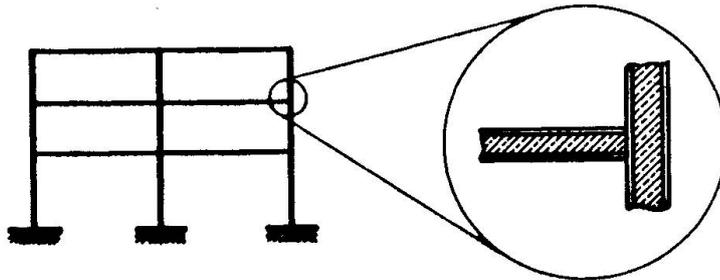


Bild 1: Rahmen mit T-Verbindung

Im folgenden werden für verschiedene konstruktive Lösungen dieses Problems Modelle zur Berechnung der plastischen Grenztragfähigkeit vorgestellt. Bei den zu verbindenden Bauteilen handelt es sich um ausbetonierte I-Profile, wobei das horizontal liegende auch mit einer aufliegenden Betonplatte verbunden sein kann. Diese Bauweise hat sich nicht nur wegen ihrer hohen Rotationskapazität und der daraus folgenden Eignung für eine plastische Bemessung bewährt, sondern auch wegen der hohen Feuerwiderstandsdauer, die sich durch das Ausbetonieren der Profile ergibt.

2. VERBINDUNGEN MIT KNOTENBLECHEN

Als erstes wird eine geschweißte Verbindung mit zur Verstärkung und zum Anschluß von Querstäben dienenden Knotenblechen vorgestellt. Die der plastischen Berechnung zugrunde liegende Verformungsfigur und das statische System mit den gewählten Bezeichnungen sind Bild 2 zu entnehmen.

Das angeschlossene Profil wird im Versagenszustand gegenüber dem durchgehenden um den Winkel ϑ verdreht. Die sich dabei ergebende innere Arbeit setzt sich aus vier Anteilen zusammen. Der erste folgt aus den Fließlinien im Flansch des durchgehenden Profils, die weiteren ergeben sich aus den Dehnungen bzw. Stauchungen von Steg, Knotenblech und Beton, die je nach Art der Konstruktion und Richtung des angreifenden Moments durch die in Bild 3 zusammengestellten κ -Werte berücksichtigt werden. Die gesamte innere Arbeit ist:

$$A_i = \frac{1}{2} \cdot \vartheta \cdot s \cdot \beta_{s,a} \cdot \left[\kappa_1 \cdot d \cdot e + \kappa_2 \cdot d^2 + \kappa_3 \cdot z^2 + \frac{b \cdot t^2}{2 \cdot s} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot d}{e} \right) \right] \quad (1)$$

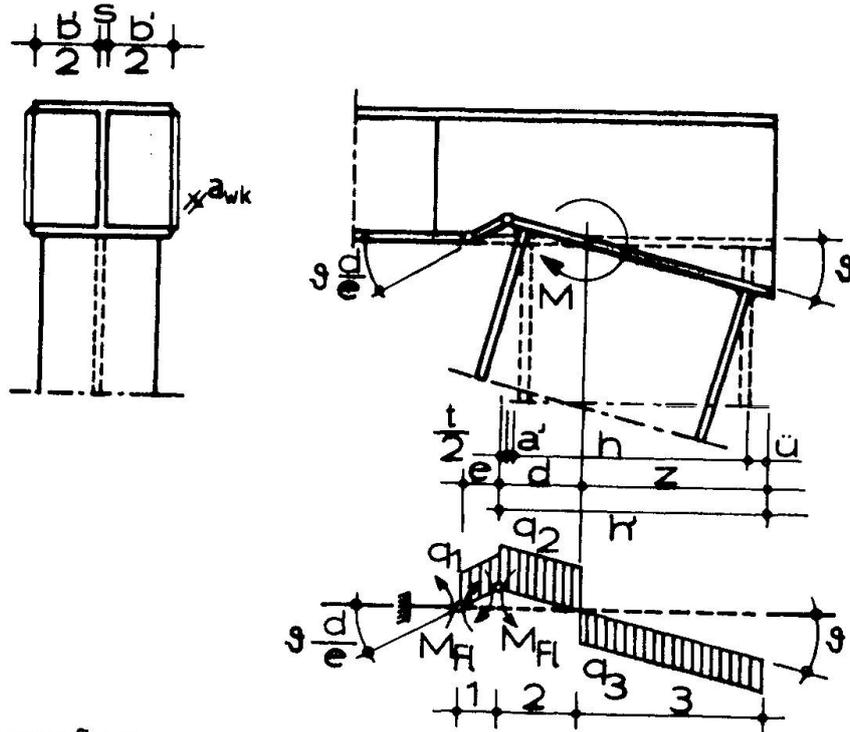
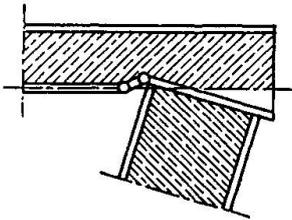


Bild 2: Verformungsfigur

Ohne Knotenblech

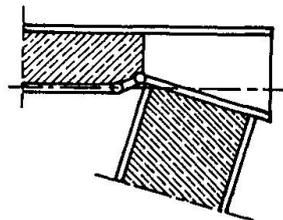


$$\kappa_1 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}}$$

$$\kappa_2 = \kappa_1$$

$$\kappa_3 = 1$$

Mit kurzem Knotenblech

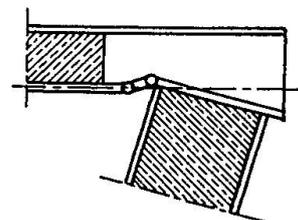


$$\kappa_1 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}}$$

$$\kappa_2 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}} + \frac{2a_{wk}}{s}$$

$$\kappa_3 = 1 + \frac{2a_{wk}}{s}$$

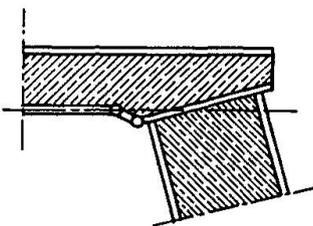
Mit langem Knotenblech



$$\kappa_1 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}} + \frac{2a_{wk}}{s}$$

$$\kappa_2 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}} + \frac{2a_{wk}}{s}$$

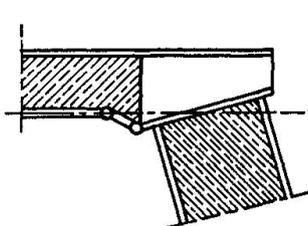
$$\kappa_3 = 1 + \frac{2a_{wk}}{s}$$



$$\kappa_1 = 1$$

$$\kappa_2 = 1$$

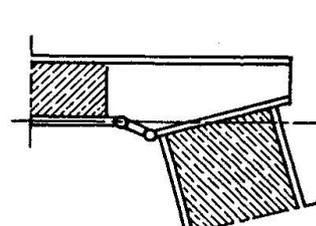
$$\kappa_3 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}}$$



$$\kappa_1 = 1$$

$$\kappa_2 = 1 + \frac{2a_{wk}}{s}$$

$$\kappa_3 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}} + \frac{2a_{wk}}{s}$$



$$\kappa_1 = 1 + \frac{2a_{wk}}{s}$$

$$\kappa_2 = 1 + \frac{2a_{wk}}{s}$$

$$\kappa_3 = 1 + \frac{b' \beta_r}{s \cdot \beta_{s,a}} + \frac{2a_{wk}}{s}$$

Bild 3: κ -Werte



Die äußere Arbeit entspricht $A_a = M \cdot \vartheta$, und mit $A_a = A_i$ folgt:

$$M_{Gr}^{Anschl} = \frac{s \cdot \beta_{s,a}}{2} \cdot \left(\kappa_1 \cdot d \cdot e + \kappa_2 \cdot d^2 + \kappa_3 \cdot z^2 + \frac{b \cdot t^2}{2 \cdot s} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot d}{e} \right) \right) \quad (2)$$

Der Abstand e der Fließlinien wird aus dem partiellen Differential von M nach e so bestimmt, daß M ein Minimum wird:

$$\frac{\delta M}{\delta e} = \frac{s \cdot \beta_{s,a}}{2} \cdot \left(\kappa_1 \cdot d - \frac{b \cdot t^2 \cdot d}{s \cdot e^2} \right) \Rightarrow e = t \cdot \sqrt{\frac{b}{s \cdot \kappa_1}} \quad (3)$$

Die Länge z des Zugbereiches und d des Druckbereiches werden aus der Gleichgewichtsbedingung $\Sigma V = 0$ bestimmt:

$$z = \frac{h' \cdot \kappa_2 + e \cdot \kappa_1}{\kappa_2 + \kappa_3} \quad \text{und} \quad d = \frac{h' \cdot \kappa_3 - e \cdot \kappa_1}{\kappa_2 + \kappa_3} \quad (4)$$

Die ausführliche Herleitung mit Erweiterung auf T-Verbindungen und einem Bericht über Traglastversuche an T- und L-Verbindungen ist in [1] dokumentiert.

3. VERBINDUNGEN MIT STEIFEN

Bei Verbindungen mit Steifen ist ein parallelogrammförmiger Versagensmechanismus zu untersuchen (Bild 4), der entsteht, wenn die Zugkraft aus dem angeschlossenen Flansch über eine Steife in das durchgehende Profil eingeleitet wird. Die plastische Grenztragfähigkeit dieses Anschlusses setzt sich aus drei Anteilen zusammen, und zwar dem plastischen Moment des durchgehenden Flansches, der Querkraft im Steg des durchgehenden Profils und der Diagonaldruckkraft im Beton.

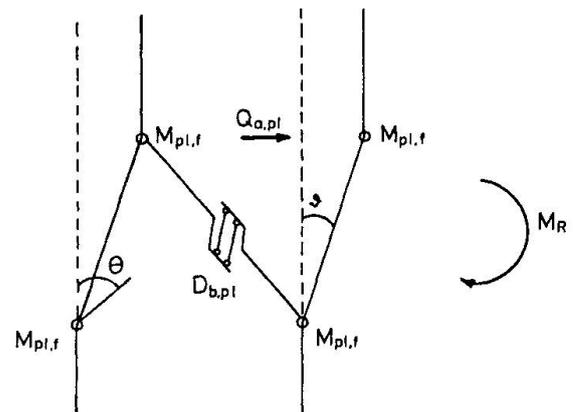


Bild 4: Versagensmechanismus bei aussteiften Anschlüssen

Während die unter a) und b) genannten Einflüsse entsprechend den bekannten Formeln für die plastische Momenten- und Querkrafttragfähigkeit ermittelt werden können, ist für die Tragfähigkeit der Diagonaldruckkraft im Beton eine etwas umfangreichere Überlegung erforderlich.

Für sie kann ein Betondruckfeld, wie es in [2] auf Basis von [3] hergeleitet wird (Bild 5) angesetzt werden. Die Tragfähigkeit dieses Feldes wird von zwei Bereichen bestimmt.

Im ersten, dem Abstützungsbereich, ergibt sich die Tragfähigkeit zu (siehe auch Bild 6):

$$D_{b,pl} = b' \cdot a \cdot \beta_r^* \quad (5a)$$

mit $\beta_r^* = 2,5 \cdot \beta_r$ (wegen der Umschnürung des Betons)

$b' = b_a - s$

und $a = c_f \cdot \sin \Theta + c_s \cdot \cos \Theta$

Die Strecken c_f und c_s werden aus den Grenztragfähigkeiten von Flansch und Steife, unter Ansatz von Fließlinien, ermittelt:

$$c_f = \sqrt{\frac{4 \cdot M_{pl,f}}{b' \cdot \beta_r^* \cdot \sin^2 \Theta}} \quad (6a)$$

$$c_s = \sqrt{\frac{4 \cdot M_{pl,St}}{b' \cdot \beta_r^* \cdot \cos^2 \Theta}} \quad (6b)$$

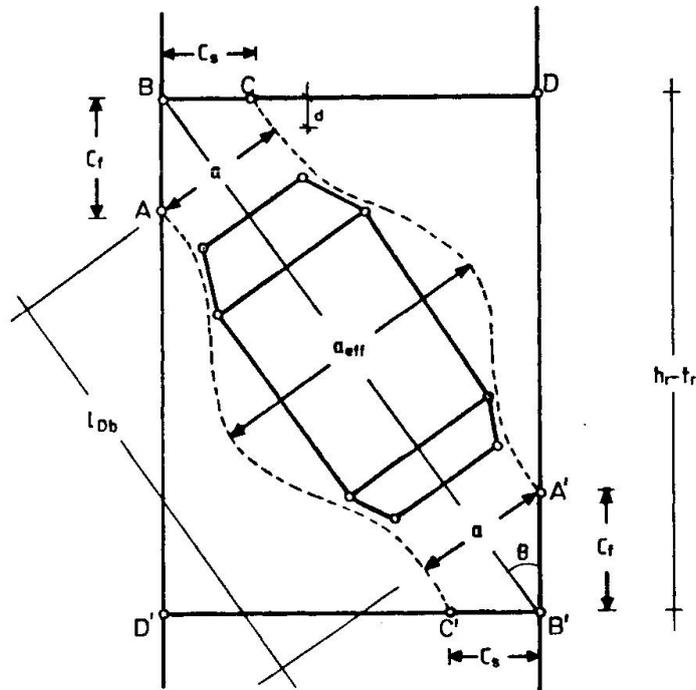


Bild 5: Betondruckfeldmodell

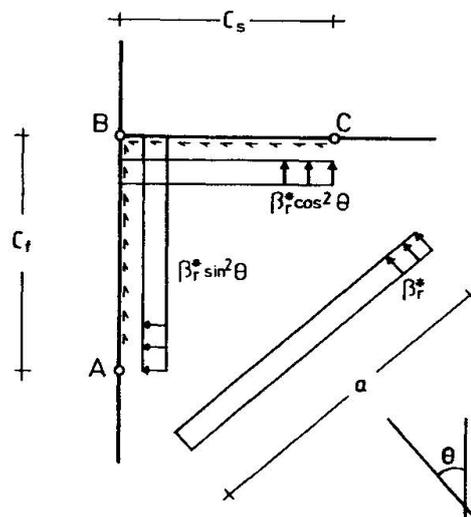


Bild 6: Verteilung der Betondruckspannungen im Abstützungsbereich der Druckstrebe

In ihrer Mitte (der halben Strecke $\bar{B}\bar{B}'$) trägt die Druckstrebe:

$$D_{b,pl} = b' \cdot a_{eff} \cdot \beta_r^* \quad (5b)$$

mit $\beta_r^* = 0.8 \cdot \beta_r$ (wegen der Längsrisse im Druckfeld)

$a_{eff} = 0.5 \cdot l_{Db} + 0.65 \cdot a$ (siehe auch [3])



l_{db} ist die effektive Länge des Druckfeldes. Sie ergibt sich aus den geometrischen Zusammenhängen zu:

$$l_{db} = \frac{h_r - t_r - 2 \cdot c_f + a \cdot \sin \Theta}{\cos \Theta} \quad (7)$$

Sind alle Anteile der inneren Arbeit des in Bild 4 gezeigten Mechanismus bekannt, werden sie zur inneren Arbeit A_i zusammengefaßt und mit der äußeren Arbeit $A_a = M \cdot \vartheta$ gleichgesetzt. Daraus ergibt sich das vom Anschluß ertragbare Moment:

$$M_{Gr}^{Anschl} = 4 \cdot M_{pl,f} + D_{b,pl} \cdot h_r \cdot \sin \Theta + Q_{pl,a} \cdot h_r \quad (8)$$

In [2] werden die hier nur kurz angedeuteten Formeln ausführlich hergeleitet und anhand von Versuchen verifiziert.

4. LITERATUR

Für den an einem weitergehenden Studium der Problematik interessierten Leser sei noch auf weitere Veröffentlichungen zu diesem Thema hingewiesen.

In der Arbeit von Ansourian [4], wird über die Steifigkeit von Verbundknoten berichtet. Die Arbeiten von Daniels/Kroll/Fisher [5] und Daniels/duPlessis [6] gehen einem interessanten Aspekt der Mitwirkung der Deckenplatte bei der Biegemomentenübertragung nach.

1. HAHN, J.: Zur Berechnung von ebenen und räumlichen Verbund-Rahmentragwerken. Dissertation, Darmstadt, 1982
2. LANGE, J.: Beitrag zur Berechnung und Konstruktion von ebenen, verschieblichen Rahmen mit Verbundbauteilen. Darmstadt, 1990
3. SCHLAICH, J., SCHÄFER, K.: Konstruieren im Stahlbetonbau. Betonkalender 1989, Teil II, Berlin, 1989
4. ANSOURIAN, P.: Shear in composite beam-column connections. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2, University of Sydney, Dezember 1981
5. DANIELS, J., KROLL, G., FISHER, J.: Behavior of Composite Beam-to-Column Joints. ASCE Journal of the Structural Division, New York, März 1970
6. DANIELS, J., duPLESSIS, D.: Strength and Stiffness of Composite Beam-to-Column Connections. AISI Bulletin No. 28, Washington, April 1979