

Beitrag zur Schubfestigkeit und Verankerung im Stahlbeton

Autor(en): **Soretz, Stefan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **7 (1964)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-7886>

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.

IV a2

Beitrag zur Schubfestigkeit und Verankerung im Stahlbeton

Contribution to Shear- and Anchorage-failure in Reinforced Concrete

Contribution à la résistance au cisaillement et à la rupture par insuffisance d'ancrage du béton armé

STEFAN SORETZ

Dr. techn.

1. Schubbruch von Stahlbetonbalken ohne Schubbewehrung

Die in Fig. 1 dargestellten Balken aus Beton mit 200 kg/cm^2 mittlerer Würfelfestigkeit und naturhartem Rippenstahl ASTM-A 305 mit im Mittel 45 kg/mm^2 Streckgrenze und 70 kg/mm^2 Zugfestigkeit wurden mit stufenweise gesteigerter Belastung bis zum Bruch geprüft. Der Verlauf des Bruches wurde durch Filmaufnahmen festgehalten, denen die in Fig. 2 für den Bruch kennzeichnenden Bilder entnommen sind. (Die Balken wurden mit obenliegender Zugzone geprüft.)

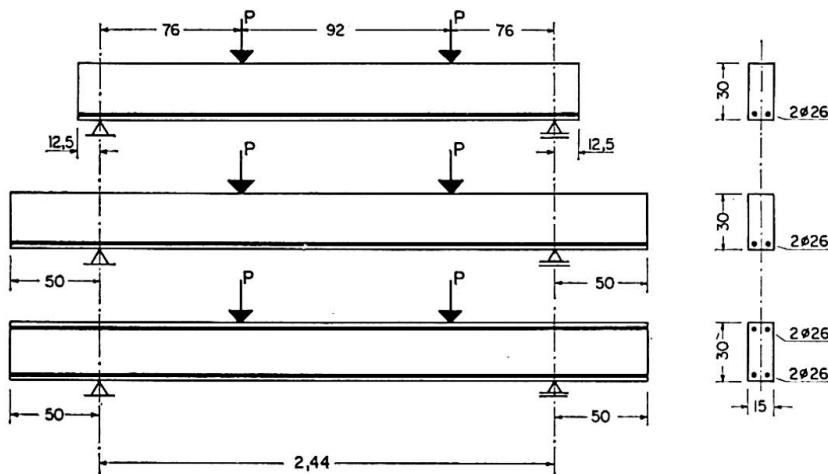


Fig. 1.

Die Balken mit 12,5 cm langem Vorkopf sind unter einer Schubkraft von 5,4 t durch Abscheren oder Aufspalten des Betons etwa in der oberen Tangentialebene zu den beiden Stäben der Hauptbewehrung gebrochen. Der Bruchriß ging vom Fuß des Schrägrisses aus und verlief gegen die Stirnfläche des Balkens. Die Druckzone war unbeschädigt.

Die Balken mit 50 cm langem Vorkopf sind unter einer Schubkraft von 5,5 t durch Abscheren der Betondruckzone neben einer Last gebrochen. Der im Bild zu sehende Spaltriß war eine Folgeerscheinung.

In beiden Fällen hat sich der Bruch ohne Warnung und nach den aufgenommenen Filmen beurteilt, im Verlauf von 1 bis 2 hundertstel Sekunden ausgebildet.

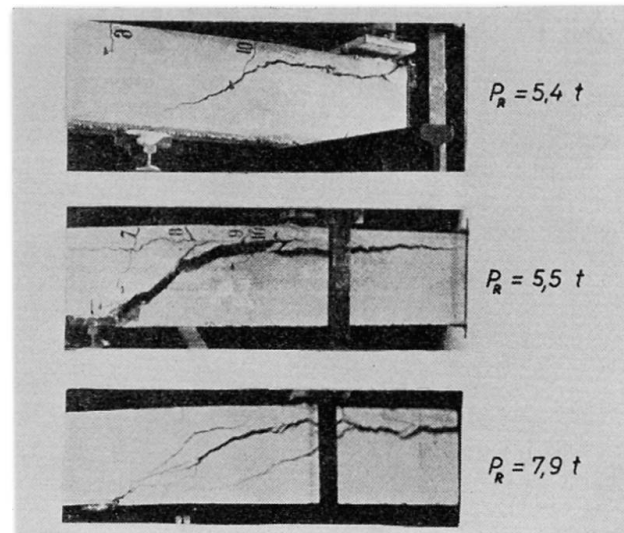


Fig. 2.

Die Balken mit symmetrischer Druckbewehrung sind unter einer Schubkraft von 7,9 t so wie die zuerst genannten Balken durch Abscheren oder Aufspalten des Betons etwa in der oberen Tangentialebene zu den beiden Stäben der Zugbewehrung gebrochen. Die Zerstörung des Betons in der Druckzone war eine Folgeerscheinung. Der Bruch war weniger plötzlich und hat sich in etwa $\frac{5}{100}$ Sekunden ausgebildet.

Der Schubbruch wird, je nach der Stärke der Druckzone und der Länge des Balkenvorkopfes, durch Versagen

- a) der Druckzone,
- b) des Balkenvorkopfes durch Abscheren oder Spalten des Betons etwa in der oberen Tangentialebene zu den Stäben der Zugbewehrung ausgelöst.

Bisher wurde nur das Versagen der Druckzone behandelt.

Der warnungslose, ausgesprochen spröde Bruch sollte in der Bemessung durch eine entsprechend erhöhte Sicherheit berücksichtigt werden, wie das auch sonst üblich ist.

2. Schubbruch von Stahlbetonbalken mit Verbügelung

Die in Fig. 3 dargestellten Rechteckbalken aus Beton mit 300 kg/cm^2 Würfelfestigkeit wurden mit stufenweise gesteigerter Belastung bis zum Bruch geprüft. Die Schubbewehrung der Balken durch Bügel entsprach etwa

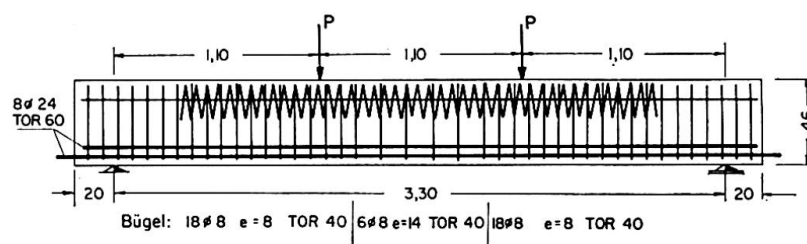


Fig. 3.

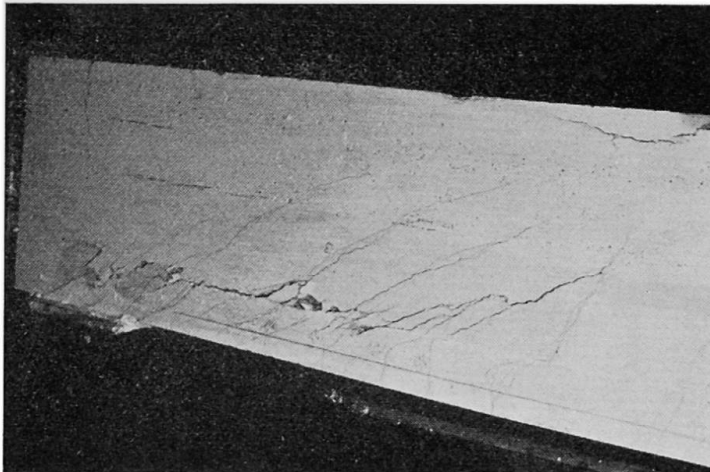


Fig. 4.

40% der nach der MÖRSCHSchen Fachwerkstheorie erforderlichen Menge; es lag daher etwa 40% Schubdeckung vor. Das Versagen ist durch Schubbruch etwa in der oberen Tangentialebene zur oberen Lage der Hauptbewehrung eingetreten, wie Fig. 4 an dem Bild eines gebrochenen Balkens zeigt. Unter der Bruchlast betrug die rechnermäßige Stahlspannung in den Bügeln in Übereinstimmung mit dem angenommenen Schubdeckungsgrad im Mittel $11\,000\text{ kg/cm}^2$.

Mit den in Fig. 5 abgebildeten Rechteckbalken wurde der Einfluß des Verbundes von Rippenstählen auf die Verankerungsbedingungen untersucht. Durch entsprechende Verkürzung der Vorkopflängen und oder Steigerung der Güte des Stahles der Zugbewehrung kann die Zerstörung der Verankerung der Stäbe der Zugbewehrung im Balkenvorkopf erreicht werden, wenn die Verbügelung der sogenannten «vollen MÖRSCHSchen Schubdeckung» entspricht und in gleicher Stärke im Balkenvorkopf angeordnet wird. Mit einer auf die Hälfte verringerten Verbügelung ist der Bruch unter einer um 30% auf die Hälfte verringerten Verbügelung ist der Bruch unter einer um 30%

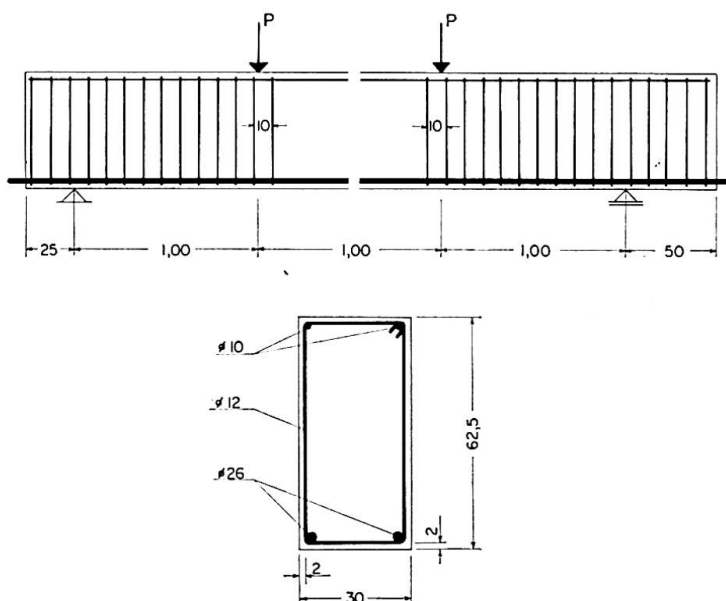


Fig. 5.

kleineren Belastung durch Schubbruch in der oberen Tangentialebene zu den beiden Stäben der Zugbewehrung eingetreten. Das Bruchbild war gleich dem in Fig. 4. In der Nähe des Bruchzustandes haben die herausstehenden Enden der Zugstäbe Gleitungen gezeigt, die aber auf die Verminderung des Verbundes durch den beginnenden Schubbruch in der Tangentialebene an diese Stäbe zurückzuführen sind.

In Balken mit ausreichend starker Druckzone können mit und ohne Schub-sicherung durch Bügel Schubbrüche in der oberen Tangentialebene zur Hauptbewehrung auftreten.

Es erscheint daher notwendig, diese Bruchart bei der Bemessung zu berücksichtigen und die Grenzen für die Möglichkeit einer Verminderung der sogenannten vollen MÖRSCHSchen Schubsicherung unter Berücksichtigung dieser Art des Schubbruches abzustecken.

3. Verankerung der Schubbewehrung im Schubbereich

In Balken nach Fig. 5 wurden einmal die der sogenannten vollen MÖRSCHSchen Schubsicherung entsprechenden Bügel in gleicher Dichte bis zur Stirnfläche der Balken fortgesetzt. In Vergleichsbalken wurde diese Schubsicherung nur zwischen dem Auflager und der Laststelle angeordnet, so daß der Vorkopf dieser Balken keine Verbügelung hatte. Die letzteren Balken sind unter einer um etwa $\frac{1}{3}$ kleineren Belastung gebrochen als die zuerst genannten. Der Bruch wurde durch Zerstörung der Verankerung im Balkenkopf ohne Verbügelung durch Sprengen des Betons ausgelöst. Das Ergebnis stellt sich in gleicher Weise ein bei Zugbewehrung aus Rundstählen mit Endhaken und bei Rippenstählen ohne Endhaken. Der Sprengwirkung in der Verankerung ist daher entweder durch eine Verlängerung der verbügelten Strecke bis zur Balkenstirnfläche oder zumindest durch die Anordnung von kleinen Bügeln entgegenzuwirken, die die Zugstäbe einschließlich der Endhaken im Bereich des Balkenvorkopfes umschließen.

4. Schubbruch von Plattenbalken mit Verbügelung

Die in Fig. 6 dargestellten T-Balken aus Beton mit 350 kg/cm^2 Würfel-festigkeit und mit der angegebenen Bewehrung wurden zuerst mit der ein-gezeichneten Laststellung einem Biegeversuch bis zum Bruch durch Biegung in der Mitte der Stützweite unterworfen. Hierüber wurde ausführlich unter [1] berichtet. Anschließend wurden die Balken in dem von der ersten Bruch-zerstörung unbeeinflussten Schubbereich mit $M/Qh \doteq 2$ nochmals bis zum Bruch durch Versagen des Schubwiderstandes geprüft, wie Fig. 7 zeigt. Das neue Auflager bestand aus einem schweren, nicht drehbar gelagerten Stahl-träger. Über dem bestimmungsgemäßen Endauflager wurden größte rech-nungsmäßige Schubspannungen von 58 kg/cm^2 mit rechnermäßigen Zug-

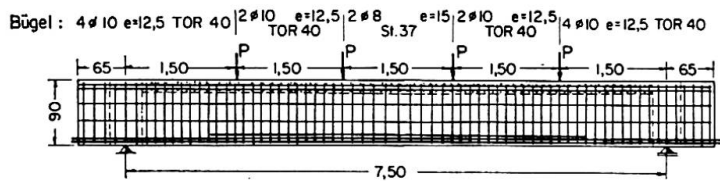


Fig. 6.

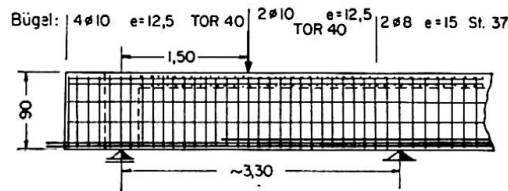
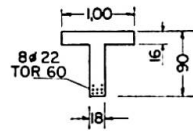


Fig. 7.

spannungen in den Bügeln aus TOR-Stahl 40 von 4300 kg/cm^2 erreicht, ohne Anzeichen einer Erschöpfung des Schubwiderstandes. Über dem neuen Auflager mit einer bedeutend schwächeren Schubsicherung durch Bügel haben sich folgende Verhältnisse ergeben:

Bei einem Balken ist dort der Schubbruch unter Schubspannungen von 50 kg/cm^2 eingetreten, unter denen die rechnungsmäßigen Zugspannungen in den Bügeln aus TOR-Stahl 7150 kg/cm^2 betragen.

Beim zweiten Balken ist dort der Schubbruch unter wesentlich kleineren Schubspannungen von 38 kg/cm^2 in einer lotrechten Ebene am inneren Rand des Auflagerträgers eingetreten. Der Bruchquerschnitt liegt zwischen 2 Bügeln aus Rundstahl $\varnothing 8$, also in dem am schwächsten auf Schub bewehrten Bereich. Die rechnungsmäßige Zugspannung dieser Bügel aus St 37 betrug 6500 kg/cm^2 . Es ist dabei jedoch zu berücksichtigen, daß durch die starke Verformung des Balkens nahe dem Bruchzustand die Auflagerpressungen bereits stark von gleichmäßig verteilten abweichen und sich einer dreieckförmigen Verteilung näherten. Diesem Zustand entspricht eine Kantenpressung am Rand des Auflagerträgers von 190 kg/cm^2 . Der kombinierte Spannungszustand aus lotrechter Schubspannung im sehr schwach bewehrten Beton und Druckspannung hat zum Versagen geführt.

Offenbar führen nicht in allen Fällen die Auflagerpressungen zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit auf Schub, wie vielfach angenommen wird. Das Auftreten einer lotrechten Schubbruchfläche kann damit erklärt werden, daß ein schmaler Bereich zwischen ausreichender Verbügelung und dem Auflagertrand nur mit wenigen waagrechten Stäben sehr schwach gegen Schub gesichert war und daher als schwächste Stelle vorzeitig versagte.

Es scheint daher notwendig, bei der Bemessung der Schubsicherung und der Auflager auf das die Tragfähigkeit des Schubbereiches schwächende Zusammentreffen von Beanspruchungen besonders Rücksicht zu nehmen.

5. Rippendecken mit Schubsicherung durch Bügel

Die in Fig. 8 abgebildeten durchlaufenden Rippendecken wurden nach der Theorie der plastischen Gelenke mit $M_F = \frac{ql^2}{10}$ und $M_S = \frac{ql^2}{19}$ bemessen. Die Rippendecken wurden mit Beton von 245 kg/cm^2 Würfelfestigkeit hergestellt und mit TOR-Stahl 60 in der angegebenen Form bewehrt. Die Bügel waren zur Übernahme der gesamten Querkraft bemessen und im Abstand von 25 cm verlegt. Gemäß Fig. 9 trat der Bruch dadurch ein, daß sich ein zum Rand des Mittelmauerrostes durchlaufender Schrägriß plötzlich öffnete, wodurch die Druckzone abgesichert wurde. Der bruchauslösende Schrägriß verläuft genau zwischen zwei Bügeln, die durch strichlierte Linien gekennzeichnet sind und deren Abstand mit 25 cm etwas größer als $z \doteq 20 \text{ cm}$ ist.

Die Sicherheit der Decke war mit 2,2 anscheinend ausreichend; der Fall wird jedoch hier warnend zitiert, weil er zeigt, welchen schädlichen Einfluß

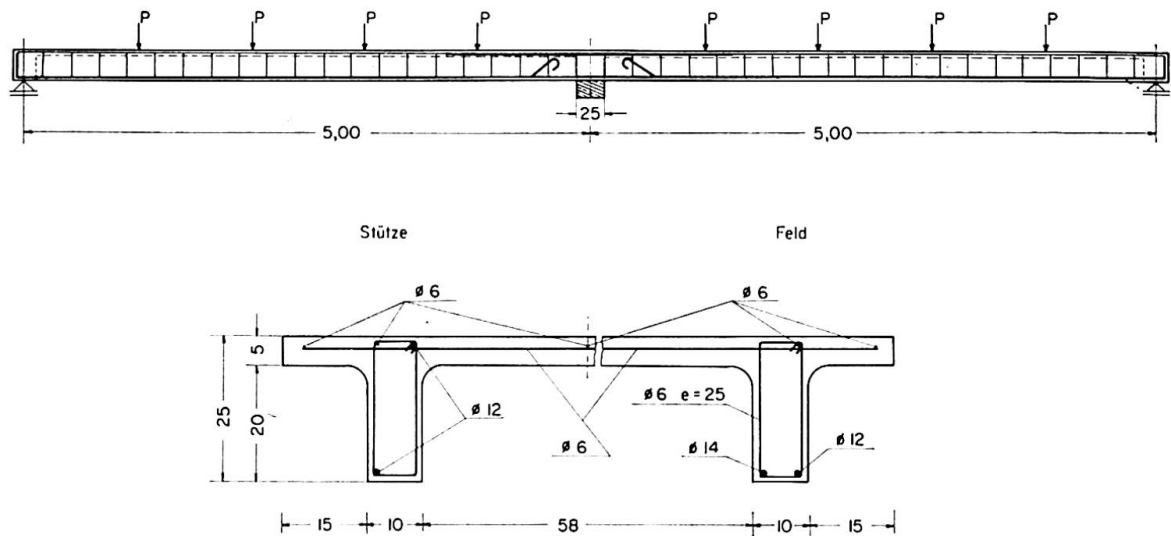


Fig. 8.

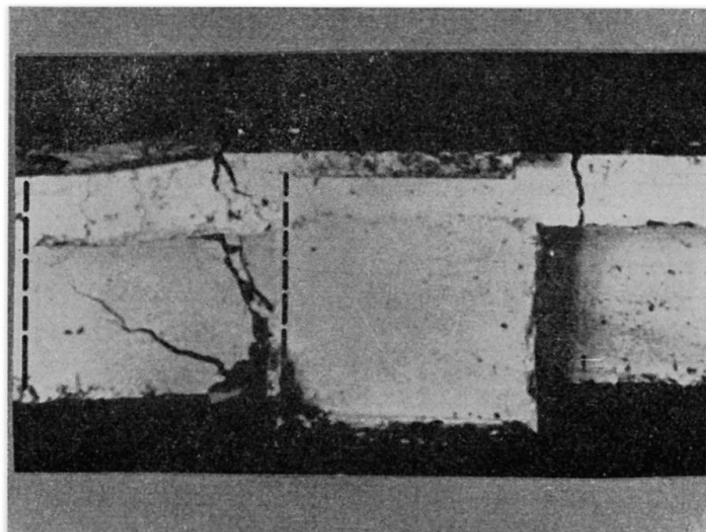


Fig. 9.

bereits verhältnismäßig geringfügige Abweichungen von den Regeln der klassischen Schubsicherung haben können; der schädliche Einfluß könnte aber auch in der Art des Systemes mit vorgegebenen plastischen Gelenken gelegen sein, in denen gleichzeitig größte Momente und größte Querkräfte zur Wirkung gelangen, was bisher bei der Bemessung im allgemeinen nicht berücksichtigt wurde.

6. Rißbildung im Schubbereich

Der Einfluß einer waagrechten Stegbewehrung auf die Rißbildung im Biegebereich von hohen Rechteckbalken wurde in einer vorausgegangenen Abhandlung [2] eingehend behandelt. Mit einer Zugbewehrung aus hochhaftesten Bewehrungsstäben treten im Bereich dieser Bewehrung sehr viel und entsprechend feine Risse auf, die über die unbewehrte Höhe des Steges zu einzelnen sehr weiten Rissen zusammenlaufen. Durch eine entsprechende waagrechte Stegbewehrung kann eine über die ganze Höhe des Steges gleichmäßig feine Rißbildung erreicht werden. Im folgenden wird aus diesen Versuchen der Einfluß einer waagrechten Stegbewehrung auf die Rißbildung im Schubbereich abgeleitet, der zur Zeit noch ungeklärt erscheint.

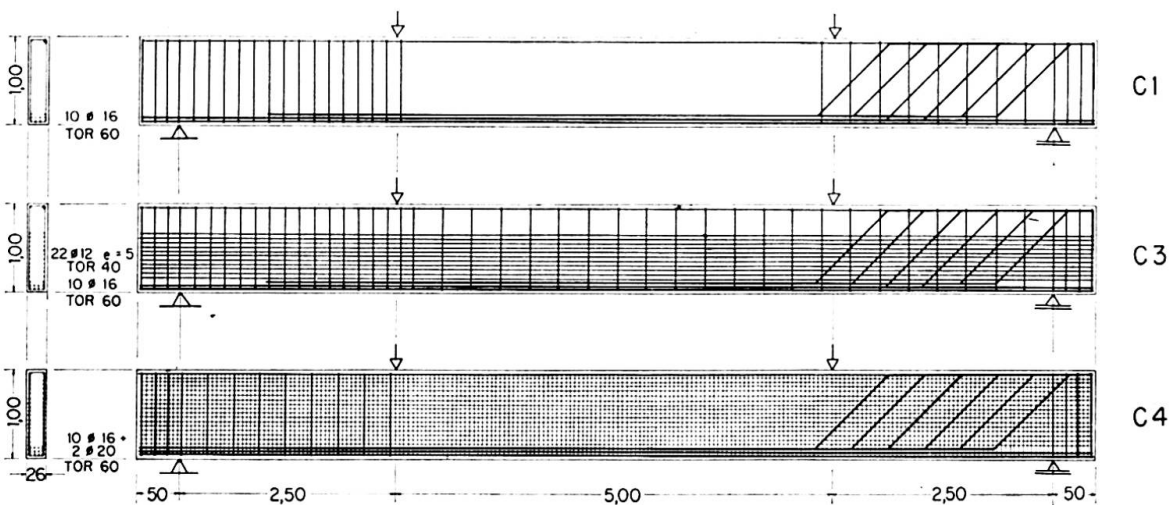


Fig. 10.

Die Schubbereiche der in Fig. 10 dargestellten Rechteckbalken aus Beton mit im Mittel 345 kg/cm^2 Würfelfestigkeit unterscheiden sich wie folgt. Auf der linken Seite wurde die Schubsicherung rechnermäßig allein durch Bügel und auf der rechten Seite durch Bügel und Schrägeisen gedeckt. Der erste Balken (C 1) hatte keine waagrechte Stegbewehrung. Der zweite Balken (C 3) hatte eine starke waagrechte Stegbewehrung, bestehend aus $\varnothing 12$ TOR-Stahl 40 in 5 cm Abstand auf beiden Seitenflächen. Der dritte Balken (C 4) hatte eine Stegbewehrung aus 2 über die ganze Höhe reichenden, U-förmig gebogenen Bewehrungsmatten mit 5 cm Maschenweite und 3 mm Drahtdicke.

Der wirksame Querschnitt der Bügel und Schrägeisen war in allen Balken mit 12,4 bis 13,6 cm²/m annähernd gleich. Die waagrechte Stegbewehrung betrug im Balken (C 3) 45 cm²/m und im Balken (C 4) 5,7 cm²/m. Im Balken (C 3) war der wirksame Querschnitt der waagrechten Stegbewehrung über 3mal so groß als jener der Bügel und Schrägeisen, im Balken (C 4) dagegen nur etwa halb so groß.

Die Balken wurden mit 2 Einzellasten in den Viertelpunkten der Stützweite stufenweise bis zum Bruch belastet. In jeder Belastungsstufe sind sämtliche Risse gemessen worden.

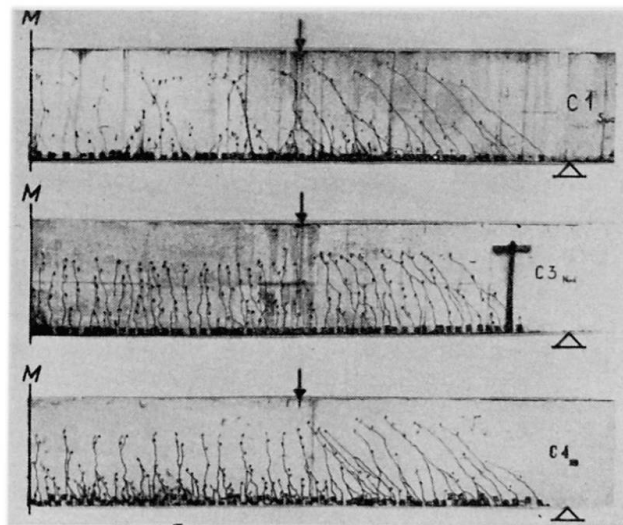


Fig. 11.

Fig. 11 zeigt die am Ende der Versuche an den Balken verzeichnete Reißbildung. Man erkennt deutlich die gleiche Wirkung der Stegbewehrung auf die Verteilung der Risse im Schubbereich wie im Biegebereich. Die starke Stegbewehrung des Balkens (C 3) führt zu einer bedeutenden Vermehrung der Risse im Steg. Bei Balken (C 4) bedingt die Netzbewehrung eine gleichmäßige Zunahme der Risse in allen Höhenlagen der Zugzone. Da aber die Netzbewehrung in waagrechter Richtung schwächer ist als die vorgenannte Stegbewehrung, war die Anzahl der Risse im Steg des Balkens (C 4) kleiner als in jenem von (C 3).

Die Vermehrung der Risse durch die waagrechte Stegbewehrung führte zu einer gleichartigen Abnahme der Reißweiten, die in allen Fällen sowohl in der Schwerachse der Zugbewehrung als auch am Ort der größten Weite gemessen wurden; daraus wurden die Größtwerte $W_{max.SAH}$ bzw. $W_{max.abs}$ sowie der Mittelwert $W_{m.SAH}$ für den Biege- und Schubbereich der geprüften Träger entnommen. Tab. 1 zeigt die Abnahme dieser Werte bei den Trägern mit waagrechter Stegbewehrung (C 3) und (C 4), bezogen auf die Werte des Trägers ohne Stegbewehrung (C 1), und zwar unter einer größten Beanspruchung von 3500 kg/cm², der zulässigen Spannung für TOR-Stahl 60 und dessen gewährleisteter Streckgrenze von 6000 kg/cm².

Tabelle 1

	σ_{eII} kg/mm ²	C 3/C 1		C 4/C 1	
		B	S	B	S
$W_{max. abs}$	35	0,43	0,42	0,58	0,59
	60	0,37	0,47	0,46	0,51
$W_{max. SAH}$	35	0,81	0,77	0,70	0,67
	60	0,79	0,75	0,58	0,50
$W_{m. SAH}$	35	0,85	0,73	0,58	0,54
	60	0,69	0,91	0,58	0,61
im Mittel		0,69	0,68	0,58	0,57

B = Biegebereich

S = Schubereich

Die Verhältniszerte sind für den Biege- und Schubereich praktisch gleich und beweisen damit die gleiche Wirksamkeit der waagrechten Stegbewehrung auf die Verringerung der Rißbildung in beiden Bereichen. Dabei ist aber noch zu berücksichtigen, daß unter Anrechnung der waagrechten Stegbewehrung auf die Tragfähigkeit der Balken auf Biegung die für gleiche Zugspannung in der Hauptbewehrung auftretende Querkraft beim Balken (C 3) um 30% und bei (C 4) um 34% größer war als beim Balken (C 1) ohne waagrechter Stegbewehrung.

Die im Schubereich gemessenen größten Rißweiten ($W_{max. abs}$) sind in Fig. 12 in Abhängigkeit von der größten Zugspannung in der Hauptbewehrung (σ_{eII}) und in Fig. 13 in Abhängigkeit vom Auflagerdruck (Q) getrennt für beide Schubsicherungen dargestellt. Eine größte Rißweite von 0,2 mm wird bei den Balken mit Stegbewehrung (C 3) und (C 4) unter einer um 85

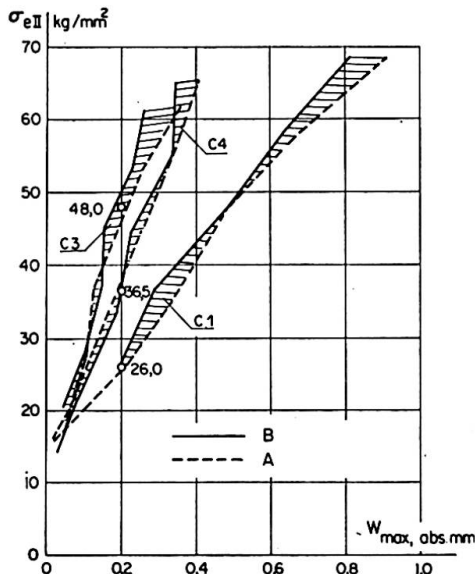


Fig. 12.

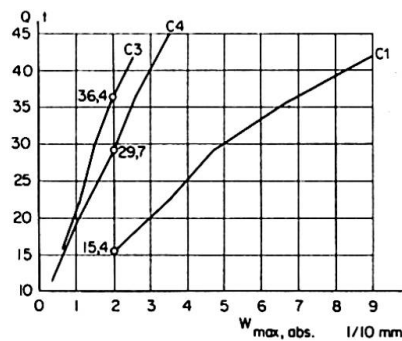


Fig. 13.

bzw. 40% höheren Stahlspannung, aber unter einer um 135 bzw. 90% größeren Querkraft erreicht als beim Balken (C 1) ohne Stegbewehrung. Die Wirkung der waagrechten Stegbewehrung im Sinne einer Verringerung der Rißbildung zeigt sich daher für die Rißbildung im Schubbereich wesentlich stärker als für die Rißbildung im Biegebereich. Die unterschiedliche Schubbewehrung durch Bügel allein bzw. durch Schrägeisen und Bügel hatte wegen der guten Aufteilung der Schrägeisen keinen gesicherten Einfluß auf die Rißbildung.

Die Versuche beweisen daher zumindest für die Rißbildung die Notwendigkeit der Berücksichtigung des waagrechten Anteiles der Schubkraft durch eine entsprechende waagrechte Stegbewehrung gemäß den Vorschlägen von RAUSCH [3] für die Schubsicherung von Stahlbetonbalken durch Bügel allein.

Literatur

1. A. LAZARD: «Essais jusqu'à rupture de poutres armées d'acier TOR 60 et 80.» Mémoires de l'AIPC, 16e volume, 1956.
2. ST. SORETZ: «Contribution à la recherche sur les aciers à béton et sur le béton armé.» Annales de l'ITBTP, Paris, November 1961.
3. E. RAUSCH: «Drillung, Schub und Scheren im Stahlbetonbau.» Deutscher Ingenieurverlag GmbH, Düsseldorf, 3. Auflage, 1953, S. 37 ff.

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag bringt einige mit Versuchsergebnissen belegte Beispiele für theoretisch noch nicht näher behandelte oder umstrittene Fälle von Schubbruch und Versagen der Verankerung von Bewehrungsstäben sowie von Beeinflussung der Rißbildung im Schubbereich durch die waagrechte Stegbewehrung.

Summary

Test results show particular examples of shear and anchorage failure and the effect of horizontal web reinforcement on the crack formation in the shear zone. The problems indicated are still under consideration and have not been solved by the theories and design methods discussed.

Résumé

A la lumière de résultats d'essais, l'auteur traite quelques cas particuliers concernant: la rupture par cisaillement, l'insuffisance d'ancrage des armatures et le rôle des armatures d'âme horizontales dans la fissuration intervenant dans la zone de cisaillement. Les problèmes auxquels se rapportent ces exemples font l'objet de controverses ou n'ont pas encore été soumis à une étude théorique approfondie.