Grosse Armierungsstäbe im Massivbau: Versuche unter statischer und oft wiederholter Belastung

Autor(en): **Maissen, Aluis**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 19

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74111

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schweizer Ingenieur und Architekt 19/80

Grosse Armierungsstäbe im Massivbau

Versuche unter statischer und oft wiederholter Belastung

Von Aluis Maissen, Dübendorf

Haftfestigkeitsuntersuchungen an Armierungsstäben mit grossen Durchmessern sind eher selten und in der Literatur nicht allzu häufig dargestellt. Der Grund dafür mag z.T. darin liegen, dass die grösseren Dimensionen von 30 bis 40 mm erst später auf den Markt kamen und zudem im Bauwesen nicht so oft verwendet werden wie die üblichen Dimensionen unter 30 mm. In der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Dübendorf wurden in den vergangenen zwölf Jahren insgesamt nur sieben verschiedene Prüfungen der genannten Durchmesser durchgeführt. Es handelte sich um die bekannten Ausziehversuche gemäss Richtlinie 13 der Norm SIA 162, wobei unter einem Versuch jeweils der Mittelwert von drei einzelnen Ausziehversuchen zu verstehen ist. Von den geprüften Stählen, deren Durchmesser zwischen 32 und 40 mm lagen, erfüllten deren fünf die in der Norm geforderten Richtwerte, zwei davon lagen darunter. Wenn man bedenkt, dass Armierungsstähle bis zum Durchmesser von 30 mm diese Art von Prüfung eigentlich mühelos bestehen, zeigen die zwei nicht erfüllten Versuchswerte eine gewisse Problematik von grossen Durchmessern hinsichtlich ihres Haftvermögens. Dieser Tatbestand ist zwar bekannt, muss jedoch in jedem Fall bei der Projektierung berücksichtigt werden.

Eine Anwendung von Armierungsstählen mit grossem Durchmesser über 30 mm kann sich in der Praxis aus verschiedenen Gründen aufdrängen und in bestimmten Fällen auch eine sinnvolle Anwendung erfahren. Denken wir beispielsweise an das entstehende Wirrwarr im Falle von überlappten Stossverbindungen bei grossen Armierungsquerschnitten, oder an die Bewehrung von grossen Massivbauteilen für Zivilschutzanlagen in Warenhäusern oder Spitälern, deren Deckenstärken bis zu 2 m betragen können, ferner an die besonderen Konstruktionen des Kernkraftwerkbaues.

Aufgrund dieser Überlegungen drängte sich eine gezielte Untersuchung des *Haftvermögens grosser Bewehrungsdurchmesser* auf, insbesondere die *Überprüfung von Stossverbindungen mit überlappter Verankerung der einzelnen Stäbe*. Eine diesbezügliche Gelegenheit bot sich bei einem konkreten Auftrag zur Prüfung von Stahlbetonelementen, die mit Armierungsstäben vom Durchmesser 40 mm bewehrt werden sollten. Die Untersuchungen erfolgten an *Plattenstreifen*, die – wie später noch zu sehen sein wird – als einfache Balken gelagert wurden. Der gewählte Armierungsgehalt von 1,5% stellt ein für Biegeelemente an und für sich hohen Wert dar. Dazu muss jedoch bemerkt werden, dass es beim vorliegenden Prüfungsauftrag um ein konkretes Bauvorhaben ging, dessen Bewehrung von vornherein gegeben war. Trotzdem konnten wichtige Erkenntnisse hinsichtlich Haftvermögen und Verankerungssicherheit der Überlappungsstösse gewonnen werden. Mit Einwilligung der Auftraggeber sollen deshalb die erzielten Versuchsergebnisse einem grösseren Kreis von Interessenten zugänglich gemacht werden. Die vorliegenden Untersuchungen sind nicht als eine abschliessende Arbeit zu betrachten, sondern vielmehr als ein Beitrag zur Lösung eines noch nicht erschöpfend erforschten Problems.

Versuchskörper

Bild 1 zeigt Schalung und Armierung der Prüfkörper, die aus Plattenstreifen bestehen, die eine Länge von 7,80 m, eine Breite von 1,20 m und eine Stärke von 0,40 m aufweisen. Die Spannweite beträgt 7,0 m. Spannweite und Plattenstärke stehen im Verhältnis 17,5:1 zueinander. Die Betonqualität entsprach einer üblicherweise auch auf Baustellen erreichbaren Güte. Die maximale Korngrösse betrug dabei 32 mm. Die erreichte Würfeldruckfestigkeit im Zeitpunkt der Versuche, die 28 bis 30 Tage nach dem Betonieren stattfanden,

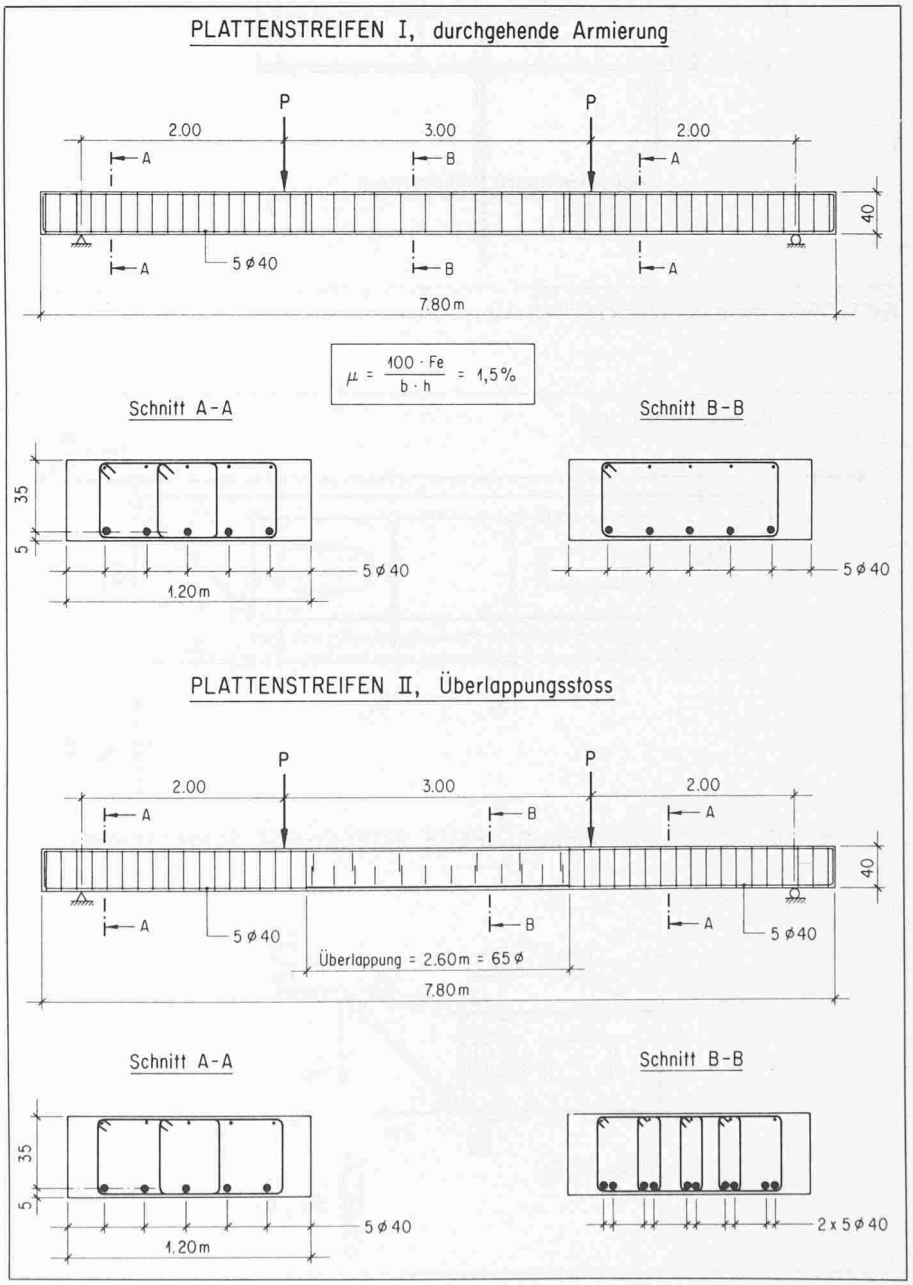


Bild 1. Versuchsanordnung, Schalung und Armierung der Prüfkörper

betrug im Mittel 35 N/mm², die Prismendruckfestigkeit 27 N/mm².
Insgesamt wurden sechs Plattenstreifen geprüft, je drei mit durchgehender Bewehrung und drei mit überlappten Armierungsstössen, deren Länge in Übereinstimmung mit der Norm SIA 162, Art. 3.15 : 65 · ∅ = 260 cm ausmachte. Die verwendeten Armierungsstähle sind in Tabelle 1 aufgeführt.
Bild 2 zeigt die Typenbilder der Bewehrungsstähle. Die Hauptarmierung bestand aus fünf Stäben vom Durchmesser 40 mm. Bezogen auf die statische Höhe von 35 cm, entspricht der betreffende Querschnitt einem Armierungsgehalt von $\mu = 1{,}5\%$.

Versuchsanordnung

Die als *einfache Balken* gelagerten Plattenstreifen wurden *durch zwei Einzellasten auf Biegung beansprucht*. Eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung ist ebenfalls in Bild 1 enthalten. Um eine möglichst gute Aussage über das Verhalten der Stossverbindung zu erhalten, waren umfangreiche *Rissbeobachtungen* erforderlich. Die Rissbreiten wurden dabei auf zwei sogenannten Risslinien an der Plattenuntersicht gemessen. Die Messungen erfolgten mit einem Handmikroskop von ±2/100 mm Ablesegenauigkeit. Im weiteren wurden *Durchbiegungen, Stahldehnungen* und *Betonstauchungen* für bestimmte Kraftstufen ermittelt, vor allem im Bereich der Stossverbindung bzw. im Bereich mit konstantem Biegemoment.

Versuchsdurchführung

Die Kraftstufen für das gewählte Belastungsprogramm sind in Tabelle 2 enthalten.
Zwischen den einzelnen Stufen wurden verschiedene Entlastungen auf die ursprüngliche Grundkraft eingeschaltet. $\sigma^{n\,=\,10}$ steht hier für die rechnerischen Spannungen mit $n = Ee/Eb = 10$, unter Berücksichtigung der Eigenlast des Plattenstreifens und der Versuchseinrichtung.
Bis zur rechnerischen Stahlspannung von 415 N/mm², die rund 90% des Nennwertes der Streckengrenze nach Norm SIA 162 entspricht, wurde die Last stets bis zu einem bestimmten, vorher festgelegten Wert erhöht. Bei höheren Stahlspannungen erfolgte die Belastung nach Deformationszunahme.
Nach einer ersten Versuchsphase bis zur Spannungsstufe von 300 N/mm² Stahlspannung wurde der Prüfkörper einer oft wiederholten Belastung von insgesamt 300000 Lastwechseln unterworfen. Die Schwellbeanspruchung wechselte dabei zwischen den oben angegebenen Werten. Die Prüffrequenz betrug 4,17 Hz.

Tabelle 1. Verwendete Armierungsstähle

	Streckgrenze N/mm²	*Zugfestigkeit* N/mm²
Torstahl 50	517	632
Roll-S	515	590
Box-Ultra	563	750

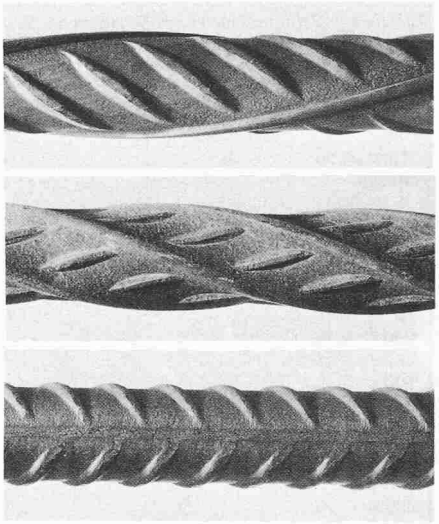


Bild 2. Typenbilder der Armierung. Von oben nach unten: Torstahl 50, Roll-S, Box-Ultra

Versuchsresultate

Bruchvorgang

Während des Versuches konnte die Belastung so lange gesteigert werden, bis die Bewehrung in Feldmitte bzw. an beiden Enden des Überlappungsstosses deutlich zu fliessen begann. Von hier an liessen sich die Plattenstreifen noch weiter verformen, ohne dass sich die Belastung wesentlich änderte. Der Bruch trat schliesslich infolge *Stauchung der Betondruckzone* auf.

Ein Vergleich der Kraftdurchbiegungsdiagramme (Bild 3) der zwei verschiedenartig bewehrten Prüfkörper zeigt allerdings, dass die Verflachung im oberen Bereich beim Plattenstreifen mit dem Überlappungsstoss nicht so ausgeprägt ist und dass die Verformungen hier im allgemeinen kleiner sind. Die Abminderung der Rotationsfähigkeit ist z.T. auf den doppelten Armierungsquerschnitt im Stossbereich zurückzuführen. Zudem ist zu beachten, dass Biegeträger aus Stahlbeton mit einem Armierungsgehalt von 1,5% verhältnismässig stark bewehrt sind. Dementsprechend ist die Verformungsfähigkeit bis zur Stauchung der Betondruckzone klein, wesentlich geringer jedenfalls als bei Biegeelementen mit μ-Werten von beispielsweise 0,5%.
Die in den einzelnen Versuchen ermittelten Bruchkräfte sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Durchbiegungen

Die in Feldmitte gemessenen Durchbiegungen sind in Bild 3 als Kraftverformungsdiagramme dargestellt. Gezeigt wird hier der Durchbiegungsverlauf am Beispiel der Probekörper mit einer Torstahl-Armierung. Beim Erreichen der Bruchkraft betrugen die einzelnen Deformationen die in Tabelle 4 dargestellten Werte. Der grösste dieser Werte entspricht 1/51, der kleinste 1/113 der Spannweite. Die kleineren Verformungen der Plattenstreifen mit Box-Ultra-Armierung sind auf die höheren Werte der Streckgrenze in Zusammenhang mit

Tabelle 2. Kraftstufen für das Belastungsprogramm

Kraft P kN	$\sigma_e^{n\,=\,10}$ N/mm²	$\sigma_b^{n\,=\,10}$ N/mm²
18,5	–	–
80,0	125	8.9
120,3	167	12.0
189,3	240	17.2
227,2	280	20.1
246,2	300	21.5
Zwischenphase mit oft wiederholter Belastung: 300000 Lastwechsel: σ_{eu} = 200 N/mm², σ_{eo} = 300 N/mm²		
246,2	300	21,5
293,6	350	25,1
354,3	415	29,7
Bruch		

dem hohen Armierungsgehalt zurückzuführen.
Wie bereits erwähnt, hatte der Überlappungsstoss (doppelter Stahlquerschnitt im mittleren Bereich) kleinere Verformungen zur Folge. Bei den Durchbiegungen in Feldmitte betrugen die Minderwerte gegenüber den Plattenstreifen mit durchgehender Bewehrung etwa 22% (Box-Ultra und Torstahl) bzw. 27% (Roll-S).

Stahldehnungen

Bei den Plattenstreifen mit durchgehender Armierung dienten die Dehnungsmessungen in erster Linie zur Überprüfung des allgemeinen statischen Verhaltens und zu Vergleichszwecken. Beim zweiten Prüfkörper ermöglichten sie hingegen die Ermittlung des Zugkraftaufbaus im Stossbereich. In Bild 4 sind die betreffenden Ergebnisse graphisch dargestellt. Die Diagramme der Einzeldehnungen zeigen einen beinahe symetrischen Verlauf für beide Stäbe. *Deutliche Dehnungsspitzen* traten jeweils *am Stossübergang* auf, was sich auch stark auf die Rissbildung auswirkte. Im unteren Bildteil sind die Gesamtdehnungen als Summe von jeweils zwei Einzeldehnungen aufgetragen. Diese Grössen weisen einen praktisch konstanten Verlauf auf und stimmen im allgemeinen gut mit den entsprechenden Werten des ersten Plattenstreifens überein.

Rissbildung

Die Rissbeobachtungen bildeten den Hauptteil der vorliegenden Untersuchungen. Aufgrund des Rissbildes und der Rissbreiten sollten nämlich Haftvermögen und Verankerungslänge des Überlappungsstosses überprüft werden. Zu diesem Zweck wurden die an der Untersicht auftretenden Risse im Bereich zwischen den Einzelkräften untersucht. Die Ausmessung erfolgte dabei auf den zwei Linien R1 und R2 (vgl. Bild 8). Jeder Riss wurde für bestimmte Spannungsstufen an seinem Schnittpunkt mit den Risslinien ausgemessen.
Die Auswertung der Rissuntersuchungen für bestimmte Spannungsstufen zeigen die Bilder 5 bis 7. Darin sind die *Rissbreiten in Funktion der Summenhäufigkeit* aufgetragen.
In Tabelle 5 sind Rissbreiten, Anzahl Risse und der mittlere Rissabstand für zwei ausgewählte Spannungsstufen einander gegenüber gestellt.
Die tabellarische Zusammenstellung der grössten Rissbreiten bestätigt, was bereits aus den Summenhäufigkeitsdiagrammen deutlich zum Ausdruck kam. Der grösste Teil der Risse – etwa 90% – weist nämlich im Fall des Überlappungsstosses bedeutend kleinere Rissbreiten auf als im Fall von durchgehender Bewehrung. An den Stossenden treten hingegen einzelne, stark ausgeprägte Risse auf, die wesentlich grössere

Tabelle 3. Experimentell gemessene Bruchkräfte

Verwendete Stahlsorte	*durchgehende Armierung* P_{Br} (kN)	*Überlappungsstoss* P_{Br} (kN)
Torstahl 50	453	481
Roll-S	428	434
Box-Ultra	482	489

Tabelle 4. Deformationen beim Erreichen der Bruchkraft

Verwendete Stahlsorte	*durchgehende Armierung* δ_{max} (mm)	*Überlappungsstoss* δ_{max} (mm)
Torstahl 50	129	91
Roll-S	136	88
Box-Ultra	79	62

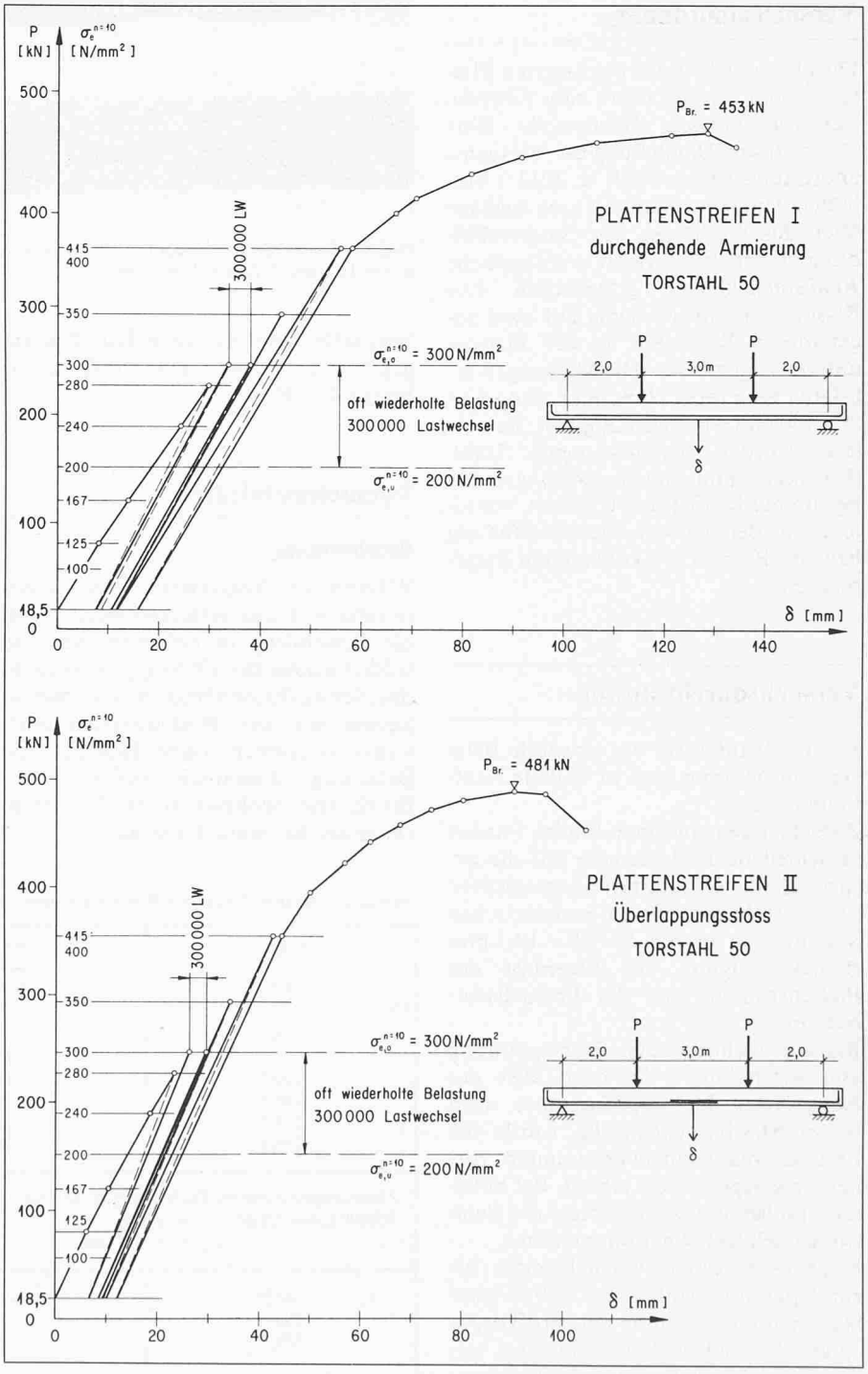
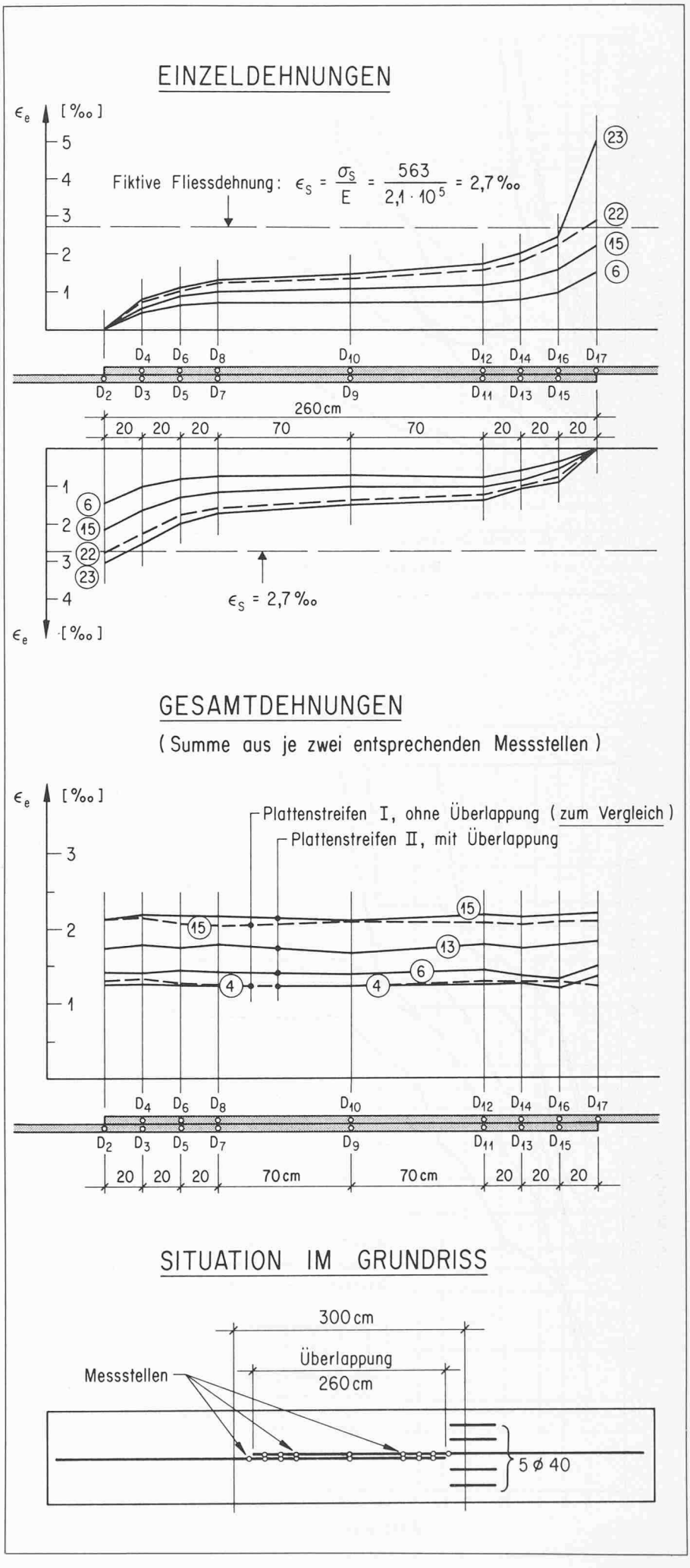


Bild 3. Kraft-Durchbiegungs-Diagramme. Durchbiegung δ in Feldmitte in Funktion der Belastung bzw. der rechnerischen Stahlspannungen.

Bild 4. Stahldehnungen im Bereich des Überlappungsstosses, Plattenstreifen II mit Box-Ultra-Armierung.

Pos. ④: P = 227,2 kN $\sigma_e^{n=10}$ = 280 N/mm²
⑥ = 246,2 kN $\sigma_e^{n=10}$ = 300 N/mm²
⑬: = 293,6 kN $\sigma_e^{n=10}$ = 350 N/mm²
⑮: = 354,3 kN $\sigma_e^{n=10}$ = 415 N/mm²
㉒: = 460,5 kN $\sigma_e^{n=10}$ = –
㉓: = 489,0 kN (Bruch) –



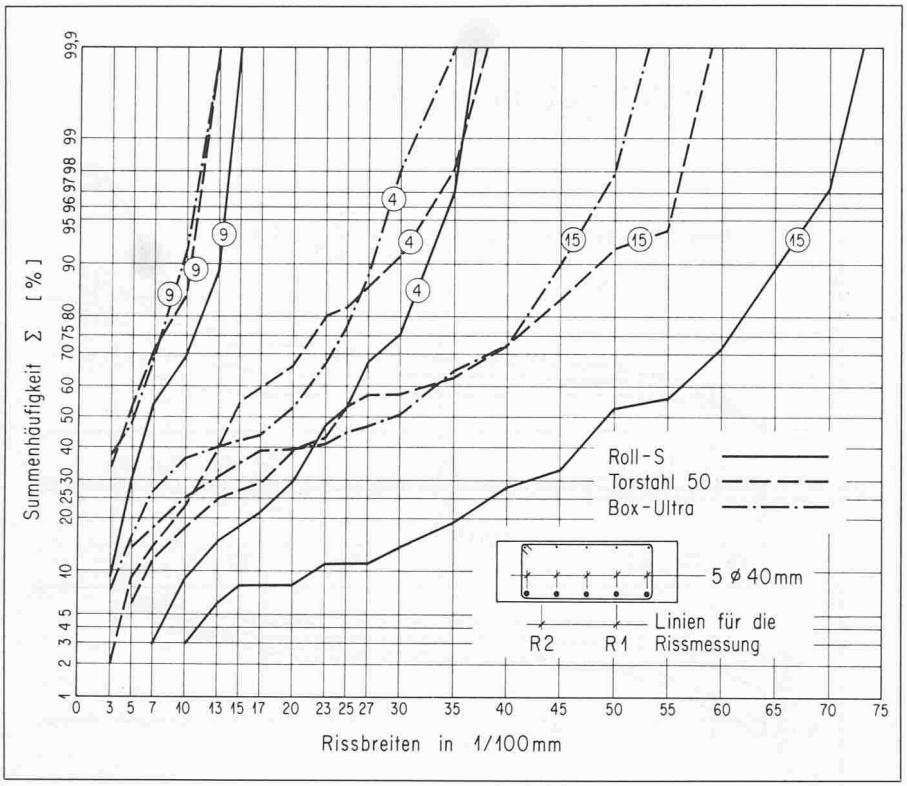


Bild 5. Summenhäufigkeit der Rissbreiten für die Risslinien R1 + R2.

Plattenstreifen mit durchgehender Bewehrung

Pos. ④: P = 227,2 kN
$\sigma_e{}^{n=10}$ = 280 N/mm²
Pos. ⑨: P = 18,5 kN
Entlastung nach 300000 Lastwechseln
Pos. ⑮: P = 354,3 kN
$\sigma_e{}^{n=10}$ = 415 N/mm²

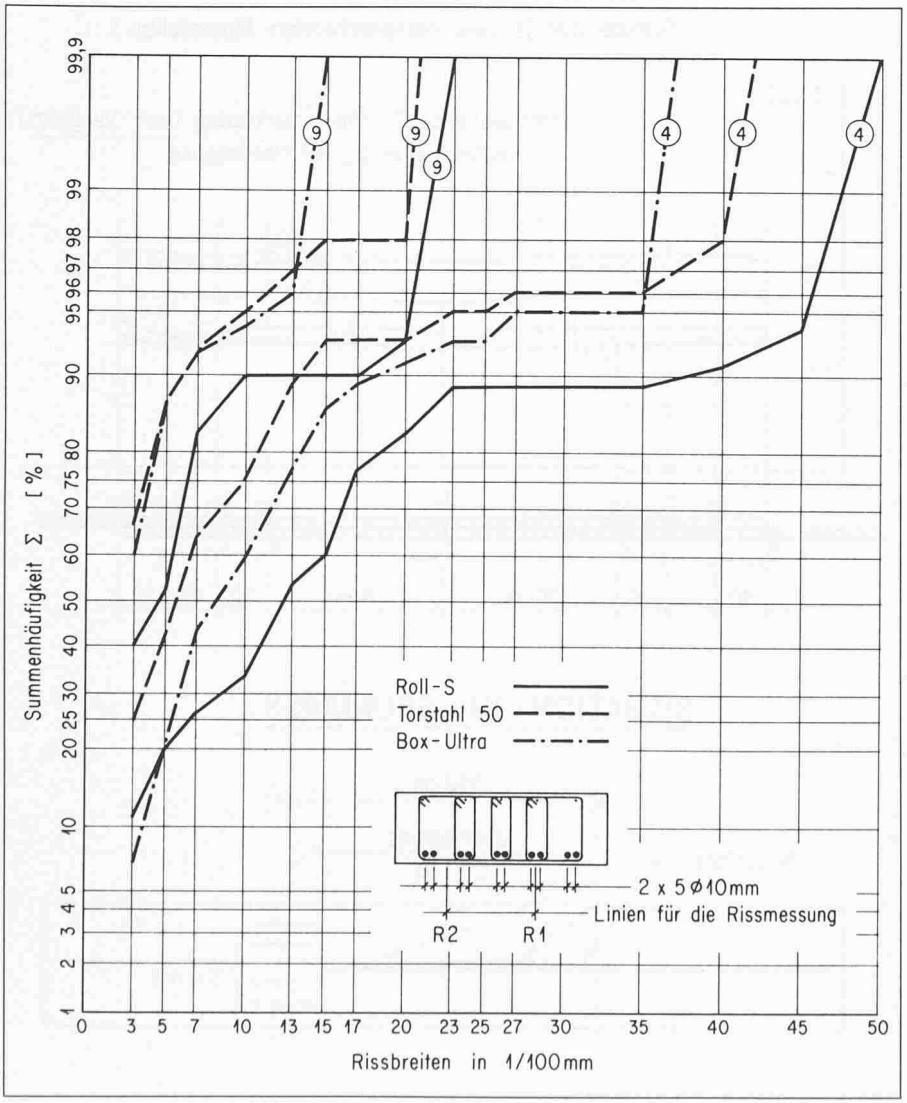


Bild 6. Summenhäufigkeit der Rissbreiten für die Risslinien R1 + R2.

Plattenstreifen mit Überlappungsstoss

Pos. ④: P = 227,2 kN
$\sigma_e{}^{n=10}$ = 280 N/mm²
Pos. ⑨: P = 18,5 kN
Entlastung nach 300000 Lastwechseln

Breiten aufweisen. Im weiteren zeigen die Ergebnisse der letzten zwei Tabellen (Tab. 5b und 5c), dass beim Prüfkörper mit durchgehender Armierung etwas weniger Risse, dementsprechend jedoch grössere Rissabstände auftreten. Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass beim Prüfkörper mit überlappter Bewehrung die Rissverteilung innerhalb des Stosses besser ist (mehr Risse, kleinere Rissbreiten), dass jedoch an den Stossenden einzelne, stark ausgebildete Risse mit wesentlich grösseren Breiten auftreten. Die Aufnahmen in Bild 8 zeigen das Rissbild an der Plattenuntersicht für die Spannungsstufe von 280 N/mm² Stahlspannung (Armierung mit Torstahl 50).

Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen behandeln statische Bruchversuche an Plattenstreifen aus Stahlbeton, deren Bewehrung aus Torstahl 50, Roll-S und Box-Ultra bestand. Die Hauptarmierung setzte sich aus fünf Stäben vom Durchmesser 40 mm zusammen, der Armierungsgehalt betrug 1,5%. Der erste Prüfkörpertyp wies eine durchgehende Armierung auf, der zweite dagegen einen Überlappungsstoss in Feldmitte, dessen Verankerungslänge den Bestimmungen der Norm SIA 162 entspricht. Die Plattenstreifen waren als einfache Balken mit einer Spannweite von 7,0 m gelagert. Die Plattenbreite betrug 1,20 m, die Plattendicke 0,40 m. Die Versuchsbelastung wurde über zwei Einzelkräfte eingeleitet. Nach der Spannungsstufe von 300 N/mm² Stahlspannung wurde eine Zwischenphase mit oft wiederholter Belastung eingeschaltet, wobei jeweils 300000 Lastwechsel aufgebracht wurden. Diese war weniger als Ermüdungsbelastung für die Bewehrung gedacht, sondern sollte vielmehr zur eindeutigen Ausbildung der entsprechenden Risse beitragen. Hauptziel der Untersuchungen war die Überprüfung der Stossverbindung, wobei wertvolle Vergleiche mit den Ergebnissen aus den Versuchen mit durchgehender Bewehrung gezogen werden konnten. Haftvermögen und Verankerungslänge wurden durch umfangreiche Rissmessungen untersucht. Zudem wurden Durchbiegungen, Stahldehnungen und Betonstauchungen gemessen.
Die wichtigsten Ergebnisse sind in den Tabellen 6 und 7 zusammengefasst.

Bruchursache

Der Bruch trat infolge Stauchung der Betondruckzone auf, nachdem die Stahldehnungen die Streckgrenze erreicht hatten. Die Verformungen waren im allgemeinen kleiner bei den Prüfkörpern mit überlappter Bewehrung als bei denen mit durchgehender Armierung.

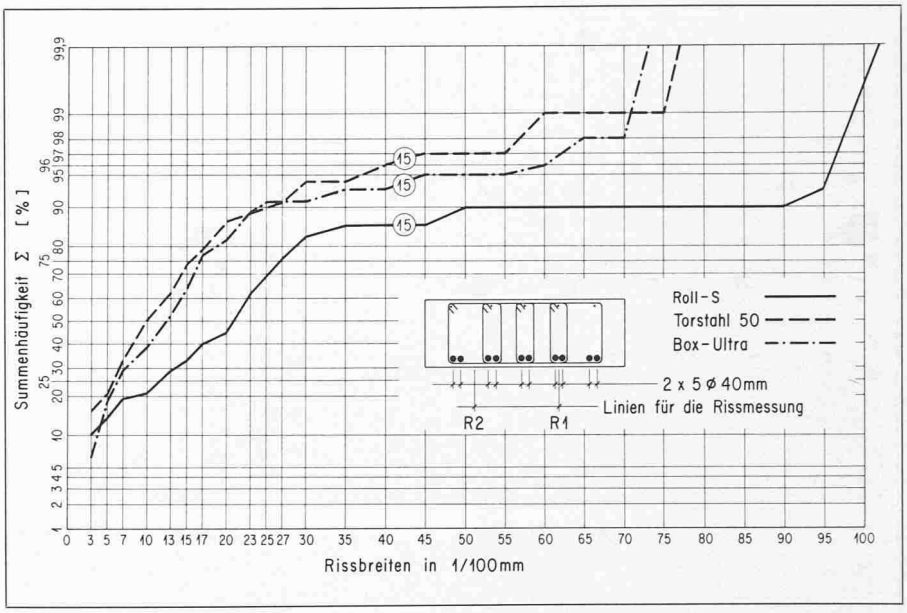


Bild 7. Summenhäufigkeit der Rissbreiten für die Risslinien R1 + R2.

Plattenstreifen mit Überlappungsstoss

Pos. ⑮: P = 354,3 kN $\sigma_e^{n=10}$ *= 415 N/mm²*

Tabelle 5a. Grösste Rissbreiten in 1/100 mm

$\sigma_e^{n=10}$ N/mm²	Stahlsorte	durchgehende Bewehrung			Überlappungsstoss		
		60% Frakt.	90% Frakt.	Max. Rissbr.	60% Frakt.	90% Frakt.	Max. Rissbr.
280	Torstahl 50	17	29	38	7	13	42
	Roll-S	26	32	37	15	24	50
	Box-Ultra	22	27	35	10	18	37
415	Torstahl 50	32	48	59	12	25	77
	Roll-S	56	65	73	23	50	102
	Box-Ultra	33	45	53	14	24	73

Tabelle 5b. Anzahl Risse pro Risslinie

$\sigma_e^{n=10}$ N/mm²	Stahlsorte	durchgehende Bewehrung	Überlappungsstoss
280	Torstahl 50	22	28
	Roll-S	17	18
	Box-Ultra	23	22
415	Torstahl 50	26	35
	Roll-S	18	21
	Box-Ultra	26	28

Tabelle 5c. Mittlerer Rissabstand in mm

$\sigma_e^{n=10}$ N/mm²	Stahlsorte	durchgehende Bewehrung	Überlappungsstoss
280	Torstahl 50	136	109
	Roll-S	176	171
	Box-Ultra	133	136
415	Torstahl 50	118	86
	Roll-S	167	143
	Box-Ultra	118	107

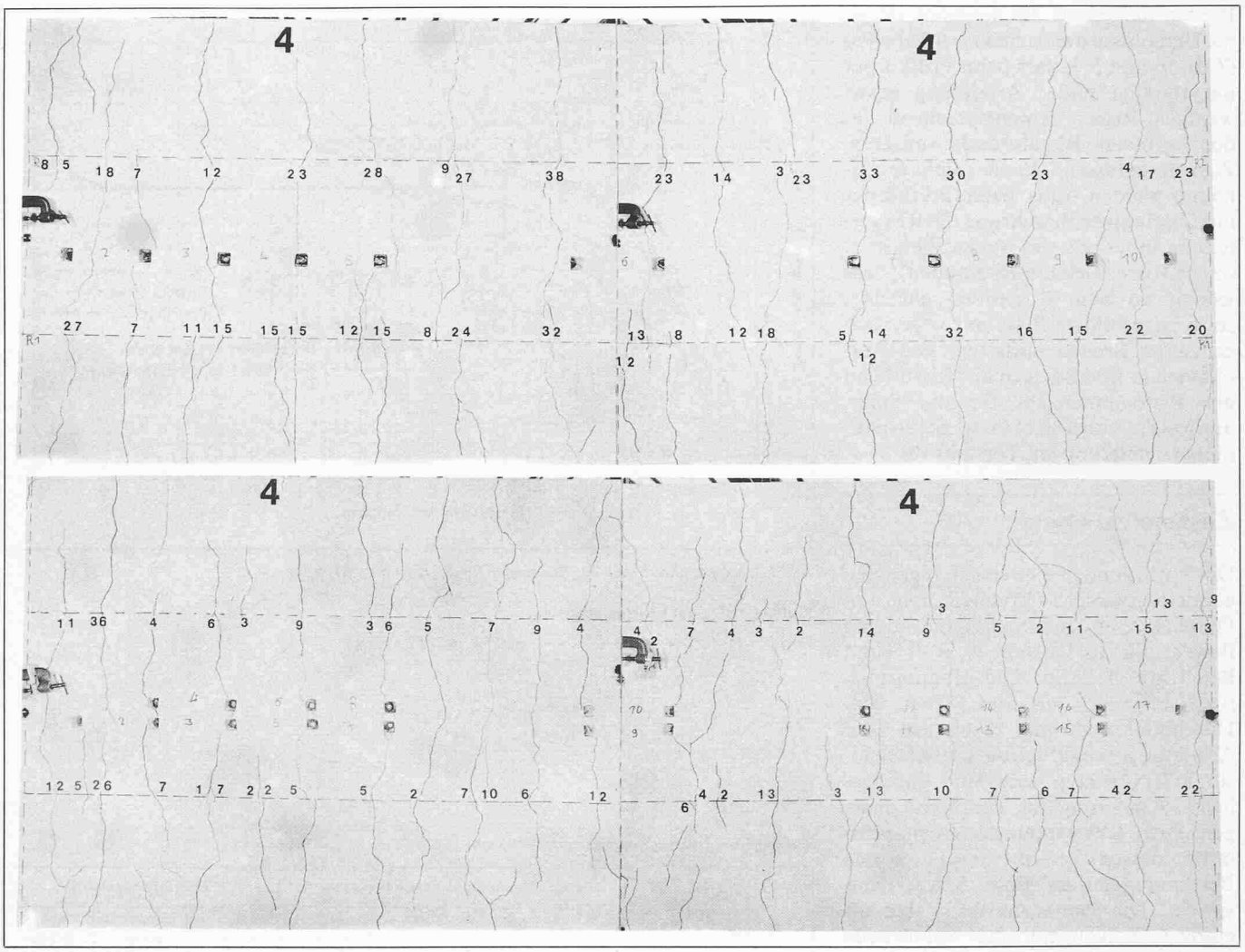


Bild 8. Rissbild an der Plattenuntersicht im Bereich zwischen den Einzelkräften. Länge des Rissbildes etwa 3 m, Breite 1,2 m
Spannungsstufe: $\sigma_e^{n=10} = 280\ N/mm^2$; $\sigma_b^{n=10} = 20{,}1\ N/mm^2$
Oben: Plattenstreifen I mit durchgehender Armierung (Torstahl 50) *Unten: Plattenstreifen II mit Überlappungsstoss (Torstahl 50)*

Stahldehnungen

Es traten jeweils deutliche Dehnungsspitzen an den Enden des Überlappungsstosses auf.

Rissbildung

An den Stossenden traten einzelne, stark ausgeprägte Risse auf, die wesentlich grössere Breiten aufwiesen als die übrigen. Innerhalb der Stossverbindung war die Rissverteilung jedoch besser als im Fall der durchgehenden Bewehrung, d.h. mehr Risse, aber kleinere Rissbreiten.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass Armierungsstösse von grösseren Durchmessern mit hakenloser Überlappung bis zum allfälligen Bruch einer Konstruktion funktionstüchtig bleiben, selbst wenn die Stösse in Zugzonen angeordnet werden. Bei den hier geprüften Biegeelementen lag die Bruchursache nicht etwa im Versagen der Stossverbindung, es trat vielmehr ein duktiler Bruch mit Stahlfliessen und Stauchen der Betondruckzone auf. *Unabdingbare Voraussetzung dafür ist indessen eine genügende Verbügelung der grossen Armierungsstäbe im Sinn einer Umschnürung, d.h. ein Zurückbinden der Stähle mit Steckbügeln.* Bei Fehlen dieser konstruktiven Massnahme dürfte ein frühzeitiges Versagen der Stossverbindung infolge *Abplatzens der Betonüberdeckung* eintreten.

Tabelle 6. Bruchkräfte

Verwendete Stahlsorte	*durchgehende Armierung* P_{Br} (kN)	*Überlappungsstoss* P_{Br} (kN)
Torstahl 50	453	481
Roll-S	428	434
Box-Ultra	482	489

Tabelle 7. Durchbiegungen im Bruchzustand

Verwendete Stahlsorte	*durchgehende Armierung* $\delta_{max.}$ (mm)	*Überlappungsstoss* $\delta_{max.}$ (mm)
Torstahl 50	129	91
Roll-S	136	88
Box-Ultra	79	62

Adresse des Verfassers: *A. Maissen*, dipl. Ing. ETH, Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf