

14. Bewehren von Rahmenecken mit negativem und positivem Moment

Ir. P. J. VAN STEKELENBURG

In diesem Programm sollte der Einfluss der Bewehrungsführung in einer Rahmenecke auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten dieses Bauteils untersucht werden. Dabei wurden folgende Parameter variiert:

- Betongüte (2 Werte);
- Biegeradius der Hauptbewehrung (3 Werte);
- Form der Hauptbewehrung (5 Werte);
- Art und Menge der Zulagebewehrung (7 Werte).

Eine Übersicht über das ganze *Versuchsprogramm* gibt Tabelle 14.1, wozu hier noch einige Erläuterungen gegeben werden: Die Betondruckfestigkeit liegt in einem Fall bei 15, im anderen Fall bei 26,5 N/mm². Der Biegeradius der Hauptbewehrung in der äusseren Ecke beträgt je das 2,5-, 5- und 7,5-fache des Stabdurchmessers.

Die Form der Bewehrung wurde – wie in den Skizzen hinten in der Tabelle – entsprechend der Beanspruchung variiert. Die Ecken mit negativem Moment (aussern Zug) erhielten 4 verschiedene Hauptbewehrungsformen:

- a. aussen durchlaufende Bewehrung von 2 $\varnothing 6$ und Feldbewehrung 2 $\varnothing 6$;
- b. aussen durchlaufende Bewehrung von 2 $\varnothing 6$ und Feldbewehrung 4 $\varnothing 6$;
- c. überlappende Bewehrungsschlaufen aus den beiden Rahmenschenkeln;
- d. übergreifungsstoss in der Zugbewehrung.

Die Ecken mit positivem Moment (innen Zug) erhielten folgende 3 Arten Hauptbewehrung:

- a. überlappende Bewehrungsschlaufen;
- b. Zugbewehrung mit gerader Verankerung in der Druckzone;
- c. Zugbewehrung mit Schlaufenverankerung in der Ecke.

Sowohl bei Ecken mit positivem und negativem Moment wurden noch Zulagebewehrungen verwendet, wie sie im Kopf der Tabelle angegeben sind.

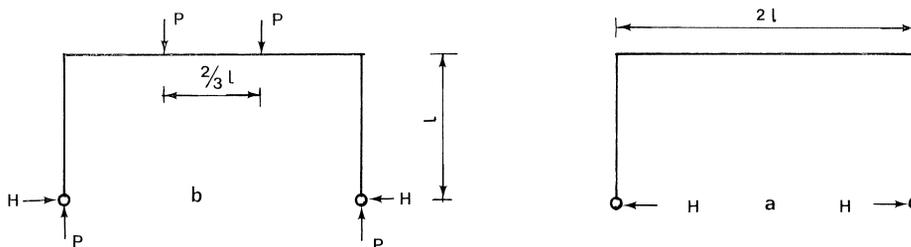


Bild 14.1. Belastungsschema der Rahmen
a. negatives Moment b. positives Moment

Hauptbewehrung	Zulagebewehrung			ohne	$\emptyset_{k,2.8}$	$\emptyset_{k,2.8}$	$\emptyset_{k,2.8}$	$\emptyset_{k,2.8}$	$\emptyset_{k,2.8}$	$\emptyset_{k,2.8}$	$\emptyset_{k,6}$	$\emptyset_{k,6}$	$\emptyset_{k,6}$	$\emptyset_{k,6}$	$\emptyset_{k,6}$	$\emptyset_{k,6}$
	Beton-güte β_w	N_{min}^2	Biege-radius R in mm													
	—	—	15	11-15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	—	30	11-30	0.86	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	45	11-45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	15	01-15	1.26	*	1.48	1.25	*	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	30	01-30	1.23	*	1.27	1.39	*	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	45	01-45	1.29	*	1.53	1.52	*	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	30	04-30	1.30	*	1.29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	30	05-30	—	—	1.21	—	*	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	—	30	14-30	0.71	*	0.78	—	*	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	—	15	17-15	0.75	*	0.93	—	*	—	—	—	—	—	—	—
	15	—	30	17-30	0.86	*	0.98	—	*	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	15	02-15	1.09	*	1.16	1.50	*	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	30	02-30	1.12	*	1.39	1.40	*	—	—	—	—	—	—	—
	26,5	—	45	02-45	1.25	*	1.40	1.53	*	—	—	—	—	—	—	—

negatives Moment

Im ganzen wurden 57 Rahmen untersucht, davon 24 mit positivem Eckmoment und 33 mit negativem Moment. Die Prüfkörper wurden im Massstab 1:5 hergestellt, wobei der Querschnitt dann $50 \times 70 \text{ mm}^2$ betrug. Das Grösstkorn des Microbetons war 5,6 mm. Die Belastung erfolgte entsprechend Bild 14.1.

Gemessen wurden folgende Grössen – Siehe auch Bild 14.2:

- Belastung;
- Auflagerkräfte;
- Dehnungen im Riegel, in verschiedenen Höhen;
- Dehnungen im Ansatz der Rahmenschenkel;
- Dehnungen im Eckbereich.

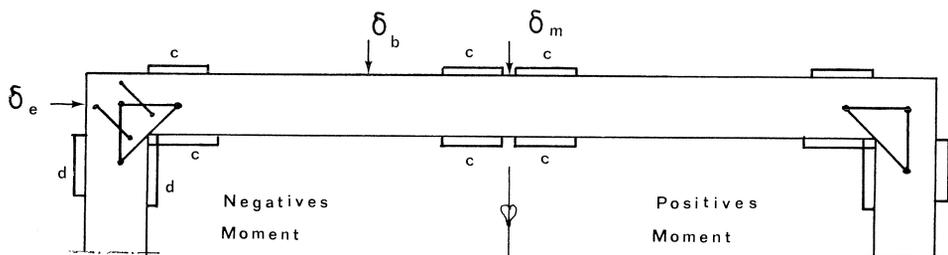


Bild 14.2. Dehnmessstellen auf den Rahmen.

Aus den Messungen wurden folgende *Ergebnisse* gewonnen:

- Tragfähigkeit.
Die Effektivität der Bewehrung wurde definiert als

$$S_e = \frac{\max M, \text{Ecke}}{\max M, \text{Feld}}$$

Die Werte für S_e finden sich wieder in Tabelle 14.1 neben den Sternen.

- Steifigkeitseffektivität.
Unter Steifigkeitseffektivität wird das Verhältnis zwischen der Winkelverdrehung im Riegel und der Winkelverdrehung in der Ecke verstanden für den Fall des selben Moments in Riegel und Ecke.
- Verformungskapazität.
Darunter wird die grösstmögliche Winkelveränderung des Eckwinkels (90°) verstanden.
- Riss- und Bruchverhalten
Diese wurden während des Versuches aufgeschrieben und qualitativ ausgewertet.

Aus den Messergebnissen können folgende *Schlussfolgerungen* gezogen werden:

1 Tragfähigkeit der Rahmenecken mit negativem Moment

- 1.a Schlaufen sind nicht schlechter als durchlaufende Bewehrung im Zuggebiet, wenn Betonqualität gut und Biegeradius gross genug sind.
- 1.b Bei niedriger Betonqualität spielt der Biegeradius eine wichtige Rolle. Ein kleiner Radius ergibt deutlichen Tragfähigkeitsverlust gegenüber der Herstellung nach der Norm.
- 1.c Zulagebewehrung bringt besonders bei Schlaufenverbindung positiven Einfluss.
- 1.d Zugbewehrungen mit Übergreifungsstoss sind nicht schlechter als durchlaufende Bewehrungen, vorausgesetzt dass die Verankerungslänge und die Betongüte gross genug sind.
- 1.e Die beste Eckbewehrung brachte eine 1,5-mal so grosse Tragfähigkeit wie im Riegel, die schlechteste eine 1,09-mal so grosse.
Die Ergebnisse der Versuche Nr. 04.30 bis 11.30 können hier nicht gerechnet werden, da die Feldbewehrung doppelt so gross war wie die Zugbewehrung in der Ecke. Bei gleicher Bewehrung war also bei diesen Versuchen die Ecke immer stärker als der Riegel.

2 Tragfähigkeit der Rahmenecken mit positivem Moment

- 2.a Schlaufenverbindungen sind besser als solche mit durchlaufender Bewehrung.
- 2.b Bei geringer Betongüte sollte die durchlaufende Bewehrung nicht angewandt werden.
- 2.c Zusätzliche Bewehrung unter 45° in der gezogenen Ecke ist besonders bei niedriger Betongüte von Vorteil. Das gilt auch für schlecht ausgearbeitete Schlaufen.
- 2.d Zulagebewehrung in der Diagonalrichtung verbessert die Tragfähigkeit vor allem bei durchlaufender Hauptbewehrung.
- 2.e Im allgemeinen ist die Tragfähigkeit der Ecken geringer als die des Riegels bei gleicher Bewehrungsmenge.

3 Steifigkeitsverhältnis Ecke/Riegel bei negativem Moment

- 3.a Haarnadeln verbessern die Steifigkeit vor allem im Zustand II.
- 3.b Ecken mit durchlaufender Bewehrung sind etwas steifer als die mit Schlaufen.
- 3.c Nach dem Entstehen der Risse nimmt das Steifigkeitsverhältnis zwischen Ecke und Riegel zu, bisweilen um mehr als 100%.
- 3.d Verbindungen mit Übergreifungsstoss in der Hauptbewehrung sind steifer als Schlaufen und durchlaufende Bewehrung.
- 3.e Mit kleinerem Biegeradius nimmt die Steifigkeit zu.

4 Steifigkeitsverhältnis bei positivem Moment

- 4.a Zusatzbewehrung unter 45° in der gezogenen Ecke verbessert die Steifigkeit wesentlich.

- 4.b Bügel in Diagonalrichtung und Haarnadeln erhöhen die Steifigkeit geringfügig.
- 4.c Beidseitig zugefügte Netze, die einigermassen in den Rahmenschenkeln halten, verbessern die Steifigkeit.
- 4.d Biegeradius der Druckbewehrung hat keinen Einfluss.
- 4.e Durchlaufende Bewehrung ergibt steifere Verbindungen als Schlaufen.
- 4.f Höhere Betongüte erhöht auch die Steifigkeit.

5 Verformungsvermögen bei negativem Moment

- 5.a Das Verformungsvermögen der Schlaufenverbindung ist vor allem dann grösser als bei durchlaufender Bewehrung, wenn horizontale und vertikale Haarnadeln zugelegt werden.
- 5.b Die Betongüte hat keinen deutlichen Einfluss auf das Verformungsvermögen.

6 Verformungsvermögen bei positivem Moment

- 6.a Verformungsvermögen der Schlaufenverbindung ist grösser als bei durchlaufender Bewehrung.
- 6.b Es wird durch Zusatzbewehrung unter 45° in der inneren Ecke nicht vergrössert.
- 6.c Es wird bei durchlaufender Bewehrung bedeutend vergrössert, wenn Diagonalebügel oder Haarnadeln in beiden Richtungen zugelegt werden.
- 6.d Nur bei hoher Betonqualität erhöhen seitliche Netze die Verformungsvermögen.

Hinweis:

Ausführliche Versuchsbeschreibungen und Ergebnisse finden sich in: Stevinrapport 5-76-02 (Onderzoeknummer 22.7303–22.7471) „Het gedrag van kolom-balkverbindingen in gewapend beton“ von H. A. van Dijk, L. S. M. Nelissen, P. J. van Stekelenburg.