Peter Schießl

Drillsteifigkeit von Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht

In drei Versuchsreihen wurde die Drillsteifigkeit von Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht untersucht. Durch die von der Beanspruchungsrichtung abweichende Bewehrungsrichtung wird die Drillsteifigkeit im Stadium II gegenüber der Biegesteifigkeit im Feld stark abgemindert. Dieses Ergebnis ist nicht Fertigplatten-spezifisch und gilt auch für Ortbetonplatten. Durch Fertigplattenfugen im Drillbereich werden die Drillsteifigkeit und auch das aufnehmbare Drillmoment deutlich verringert. Die Horizontalfuge zwischen Fertigplatten und Ortbeton ist ohne Einfluß. Günstig wirkende Drillmomente dürfen bei der Bemessung berücksichtigt werden, wenn sich keine Fertigplattenfugen im Drillbereich befinden.

The twisting rigidity of pre-cast slabs with a statically acting layer of site-mixed concrete. *The twisting rigidity was examined in the course of three series of tests. In stage II it is considerably lower than the flexural strength in the field, due to the fact that the direction of reinforcement differs from the direction in which stress is applied. This result is not specific to pre-cast slabs, it is also true for site-mixed concrete slabs. If pre-cast slabs joints are used in the area being twisted, there is a clear reduction in the twisting rigidity and in the twisting moment which can be absorbed. The horizontal joint between the pre-cast slabs and the site-mixed concrete has no influence. Favourable twisting moments may be taken into account in the design if there are no pre-cast slab joints in the twisting area.*

Résistance à la torsion de plaques préfabriquées avec une couche de béton local à action statique. *Trois séries d'essais ont été reconduites dans le but d'analyser la tenue à la torsion de plaques préfabriquées, renforcées par l'action statique d'une couche de béton coulé sur site. Par une directin d'armature différente engendrée par la direction de contrainte, la tenue à la torsion se voit, au stade II, très fortement réduite par rapport à la tenue à flexion. Ce résultat n'est toutefois pas spécifique aux plaques préfabriquées, mais s'applique également aux plaques de béton coulées sur site. Par les jointures dans la zone de torsion, la résistance à la torsion – et avec elle le couple de torsion admis – s'en trouve notablement diminuée. Le joint horizontal entre la plaque préfabriquée et le béton local n'a aucune influence. Des couples de torsion à action favorable peuvent être pris en compte pour le dimensionnement, dans la mesure où il n'y a pas de joint de plaque préfabriquée dans la zone de torsion.*

1 Vorbemerkung

Nach Abschnitt 19.7.6 von DIN 1045, Ausgabe 1972, durfte für zweiachsig gespannte Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht bei der Ermittlung der Schnittgrößen die günstige Wirkung einer Drillsteifigkeit nicht in Rechung gestellt werden.

Zur Klärung, unter welchen Voraussetzungen der Ansatz der vollen oder einer abgeminderten Drillsteifigkeit möglich ist, wurden Ende der 70er Jahre Versuche am Institut für Betonstahl und Stahlbetonbau e.V., München, durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche haben zu der Neuregelung in der Ausgabe 1988 von DIN 1045, Abschnitt 19.7.6, geführt:

„(3) Bei zweiachsig gespannten Platten ist die Feldbewehrung einer Richtung in der Fertigplatte, die der anderen im Ortbeton anzuordnen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen solcher Platten darf die günstige Wirkung einer Drillsteifigkeit nur dann in Rechnung gestellt werden, wenn sich innerhalb des Drillbereichs nach Abschnitt 20.1.6.4 keine Stoßfuge der Fertigplatte befindet."

In dieser Zeitschrift ist kürzlich eine theoretische Betrachtung zu zweiachsig gespannten Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht veröffentlicht worden [1]. Aufgrund der theoretischen Ansätze zum Werkstoff- und besonders zum Verformungsverhalten des orthotropen Tragsystems wurden Schlußfolgerungen zum Tragverhalten gezogen, die mit den Beobachtungen in den Versuchen nicht übereinstimmen [2].

Aus diesem Anlaß, aber auch als Diskussionsgrundlage für die derzeit in Bearbeitung befindliche europäische Norm für Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht werden die Versuchsergebnisse aus den 70er Jahren, die bislang nur dem zuständigen Sachverständigenausschuß des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, und dem Arbeitsausschuß „Bemessung und Konstruktion" im Fachbereich 7 des Normenausschusses Bauwesen zugänglich gemacht worden sind, nachfolgend einer breiten Fachöffentlichkeit vorgestellt.

2 Einfluß von Bewehrungsführung und Fugen auf die Drillsteifigkeit zweiachsig gespannter Fertigplattendecken

Bei frei drehbar gelagerten, zweiachsig gespannten Platten stellt sich in den Eckbereichen eine Drillbeanspruchung ein. Die Richtung der Drillmomente und damit der Trajektorien weicht dabei etwa um 45° von der Richtung der Feldmomente bzw. der Richtung der Plattenränder ab.

Aus verlegetechnischen Gründen wird die Bewehrungsführung in den Eckbereichen in der Regel jedoch nicht dem Verlauf der Trajektorien sondern der Richtung der Plattenränder angepaßt, das heißt, es wird ein orthogonales Bewehrungsnetz parallel zu den Plattenrändern gewählt, das zumindest auf der Plattenunterseite zur Abdeckung der Feldmomente ohnehin vorhanden ist.

Die Abweichung der Bewehrungsrichtung, von der Beanspruchungsrichtung bewirkt in der Ebene der Bewehrungsnetze einen Eigenspannungszustand, da zur Aufrechterhaltung des inneren Gleichgewichts Querdruckkräfte entstehen, die vom Beton aufgenommen werden müssen.

Im Zustand II kommt durch diesen Beanspruchungszustand zur Stahldehnung ein zusätzlicher Verformungsanteil in Beanspruchungsrichtung hinzu, der zu einem

Professor Dr.-Ing. Peter Schießl, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, Schinkelstraße 3, 52056 Aachen.

wesentlich stärkeren Abfall der Steifigkeit beim Übergang zum Stadium II führt, als dies bei Bewehrungsführung in Beanspruchungsrichtung der Fall ist (siehe hierzu z. B. [4]).

Hinsichtlich der Lage der Bewehrung und des Einflusses von Fugen im Drillbereich sind bei Fertigplattendecken mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht drei Fälle zu unterscheiden:

Fall a: Raumgroße Fertigplatten mit beiden Bewehrungsscharen in der Fertigplatte. Eine Beanspruchung der Horizontalfuge im Drillbereich ergibt sich für diesen Fall nur durch querkraftabhängige Schubkräfte.

Fall b: Fertigplattenstreifen mit einer Bewehrungsschar in der Fertigplatte und der zweiten Bewehrungsschar im Ortbeton; Vertikalfugen der Fertigplatten außerhalb des Drillbereichs. In diesem Fall kreuzen die Querdruckspannungen im Beton zur Aufrechterhaltung des inneren Gleichgewichts die Horizontalfuge.

Fall c: Wie Fall b, aber mit Vertikalfugen (Fertigplattenränder) im Drillbereich. Die zur Aufrechterhaltung des inneren Gleichgewichts erforderlichen abstützenden Querdruckkräfte können im Fugenbereich nicht übertragen werden.

3 Versuchsprogramm und Versuchsergebnisse

3.1 Überblick

Die Zielsetzung der in [3] beschriebenen Versuchsreihe kann wie folgt zusammengefaßt werden:

Inwieweit sinkt die Drillsteifigkeit für die Fälle a bis c bei Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht im Vergleich zu einer Ortbetonplatte mit orthogonaler Bewehrungsführung ab?

Inwieweit wird die Tragfähigkeit vierseitig gelagerter Platten durch eine abgeminderte Drillsteifigkeit beeinflußt?

Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden drei Prüfreihen mit unterschiedlicher Zielsetzung und Prüfkörperform durchgeführt:

Prüfreihe 1: Grundsatzversuche
In einfachen Vierpunktbiegeversuchen wurde an schmalen Plattenstreifen

der Einfluß einer von der Beanspruchungsrichtung um 45° abweichenden Bewehrungsrichtung,
der Einfluß von Horizontalfugen in der Zugzone,
der Einfluß von Vertikalfugen (Fertigplattenfugen) in der Zug- und Druckzone,
der Einfluß der Höhenlage der beiden Bewehrungsscharen (in der Fertigplatte und/bzw. im Ortbeton)

untersucht.

Prüfreihe 2: Drillversuche
In Platten unter reiner Drillbeanspruchung wurde die Auswirkung der für Prüfserie 1 genannten Einflußgrößen auf die Drillsteifigkeit und die aufnehmbaren Drillmomente überprüft.

Prüfreihe 3: Vierseitig gelagerte Platte
Die aus den Prüfserien 1 und 2 gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten eine Beschränkung des Prüfumfangs für die prüftechnisch sehr aufwendige Untersuchung vierseitig gelagerter Platten auf einen Versuch.

Dabei wurde die Auswirkung einer abgeminderten Drillsteifigkeit durch Vertikalfugen im Drillbereich auf die Schnittkraftverteilung und die Bruchsicherheit untersucht.

Tabelle 1. Materialkennwerte
Table 1. Material data
Tableau 1. Caractéristiques des matériaux

Prüfserie	Betonfestigkeiten β_W		Biegezugbewehrung				
	Fertigplatte	Ortbeton	d_s	R_e	R_m	A_{10}	A_g
	N/mm²		mm	N/mm²		%	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	17	14	4,5 5,0 6,0	577 651 634	622 585 683	7,5 6,0 6,9	1,5 1,6 1,4
2	17 ... 23	16 ... 20	4,5/5,0 7,0 8,0	wie Prüfserie 1 638 629	 677 660	 6,8 n.b.	 1,6 1,6
3	22	20	4,5/5,0/ 8,0	wie Prüfserie 2			

n.b.: nicht bestimmt

Die wesentlichen Materialkennwerte der verwendeten Betone und Bewehrungen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Als Biegezugbewehrung wurde kaltgewalzter Betonstahl mit gezielt sehr geringen Verformungskennwerten ausgewählt.

Zur Erziehung praxisgerechter Versuchsergebnisse wurden die Oberseiten der Fertigplatten für alle Versuche rüttelrauh ausgeführt. Das Größtkorn betrug 16 mm, die Konsistenz aller Betone entsprach KR. Um für die Fugenbeschaffenheit im Versuch die ungünstigsten Verhältnisse zu simulieren, wurden die Oberflächen der Fertigteile vor dem Aufbringen des Ortbetons mit Gesteinsmehl besandet.

Um die unmittelbare Übertragung von Druckkräften über die Vertikalfugen zwischen nebeneinander liegenden Fertigplatten auszuschließen, wurden bei allen Versuchen zwischen die Fertigplatten 0,5 cm dicke Styroporstreifen eingelegt.

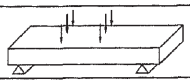
Zur Nachahmung von Dauerlasten wurden nach Überschreiten der Rißlast in allen Fällen Lastwechsel durchgeführt.

3.2 Prüfreihe 1 – Grundsatzversuche

In einfachen Biegeversuchen (Bild 1) wurden die im Abschnitt 3.1 genannten Einflußgrößen untersucht. Eine Übersicht über die geprüften Varianten gibt Tabelle 2.

Der in Biegemomentrichtung wirksame Bewehrungsgrad, bezogen auf die statische Höhe h = 107 mm des Nullversuchs (N0) war für alle Versuchsvarianten annähernd gleich groß, das heißt, es ergab sich für alle Versuche eine praktisch gleich große rechnerische Momententragfähigkeit. Der Querschnitt der Biegezugbeweh-

Tabelle 2. Grundsatzversuche – Übersicht und wesentliche Ergebnisse
Table 2. Basic tests – Overview and main results
Tableau 2. Essais fondamentaux – Synoptique des résultats les plus essentiels

Versuchsaufbau				Untersuchter Einfluß					Ergebnisse		
	Bezeichnung	Bewehrungs- und Fugenanordnung		Bew. Richtung	Horizontale Betonier-Fuge	Höhenvers. Bewehrung	Vertikale Fuge		$\frac{P_u}{\text{cal } P_u}$	ε_M [1] (%)	Bruch
		Querschnitt	Draufsicht				Zugzone	Druckzone			
Nullversuche	N 0	2Ø6		×					1,02	1,2	2)
Bewehrung II Beanspruchung	N 1	2Ø6		×	×				1,02	1,3	2)
	N 2	2Ø5 / 2Ø4,5		×	×	×			1,03	1,2	2)
	N 3	2Ø6	Fuge / Druckzone	×				×	0,78	2,3	3)
Bewehrung in Feldmitte unter 45° zur Beanspruchung geeignet	K 0			×					0,79	0,1	4)
	K 1	4Ø5		×	×				0,79	2,4	4)
	K 2	2Ø6 / 2Ø5		×	×	×			0,74	3,2	4)
	K 3	4Ø5	Fuge / Druckzone	×				×	0,59	4,0	3)
	K 4	2Ø6 / 2Ø5	Fuge / Zugzone		×	×	×		0,57	2,1	5)
	K 5	2Ø6 / 2Ø5	Fuge / Zugzone			×	×		0,75	3,3	3)

1) Dehnung in Feldmitte bei σ_S = 286N/mm², Meßlänge 100mm
2) Stahlzugbruch
3) Betondruckbruch
4) Abplatzen Betondeckung im Umlenkbereich Bewehrung
5) Abplatzen seitliche Betondeckung (vertikale Fuge) + Verschiebung horizontale Fuge

rung aus Kari-Stäben (BSt 500/550 RK) mit d_s = 4,5 mm, 5 mm und 6 mm war entsprechend den unterschiedlichen Höhenlagen der Bewehrung deshalb unterschiedlich.

Die Nullversuche (Versuchsreihe N) wurden mit geraden Stäben bewehrt. Die Versuche der Reihe K waren mit in Feldmitte sich kreuzenden Stäben bewehrt (Abweichung von der Biegemomentenrichtung 45° auf eine Balkenlänge von 100 mm, siehe Bild 1). Der in diesem Bereich für die Biegemomentenrichtung anrechenbare wirksame Bewehrungsquerschnitt betrug demzufolge

$$\text{eff}\, A_S = \frac{A_S}{\sqrt{2}}$$

mit

A_S = Gesamtbewehrungsquerschnitt der unter 45° abweichenden Bewehrung bei K-Versuchen

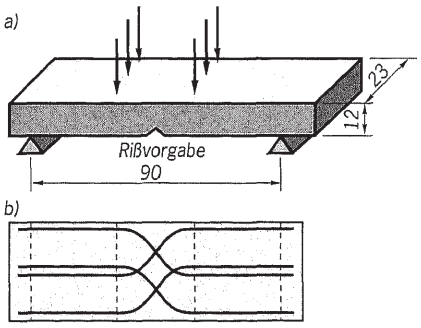


Bild 1. Prüfreihe 1. a) Versuchsanordnung, b) Bewehrungsführung (Draufsicht)
Fig. 1. Test series 1. a) Test set up b) Detailing of reinforcement (top view)
Fig. 1. Série d'essais 1: a) Banc d'essais, b) Conduite de l'armature (vue de dessus)

Die Fertigplatten waren bei Aufbringen des Ortbetons 4 Tage alt (β_W = 6,3 N/mm²). Zur zielsicheren Rißerzeugung in Feldmitte wurde die Zugzone durch beidseitig angebrachte Rißbleche (4 cm · 4 cm) geschwächt. Vertikalfugen wurden durch Styroporeinlagen (4 cm tief und 0,5 cm dick) erzeugt.

Die Belastung wurde stetig bis zur Gebrauchslast (P = 5 kN; σ_S ~ 268 N/mm²) aufgebracht. Zwischen Gebrauchslast und P = 3,5 kN wurden 30 Lastwechsel (LW) durchgeführt; anschließend wurde weiter bis zum Bruch belastet. Während der Belastung wurden die Dehnungen in Feldmitte an der Betonzugseite mit einem induktiven Wegaufnehmer (Meßlänge 100 mm) stetig gemessen und über einen Koordinatenschreiber gegen die Last P aufgezeichnet (Kraft-Weg-Diagramm).

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

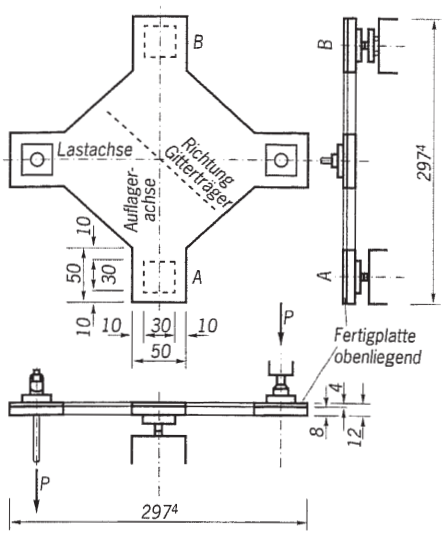


Bild 2. Prüfreihe 2. Prüfkörper und Versuchsanordnung
Fig. 2. Test series 2. Specimen and test set up
Fig. 2. Série d'essais 2: échantillons dans le banc d'essais

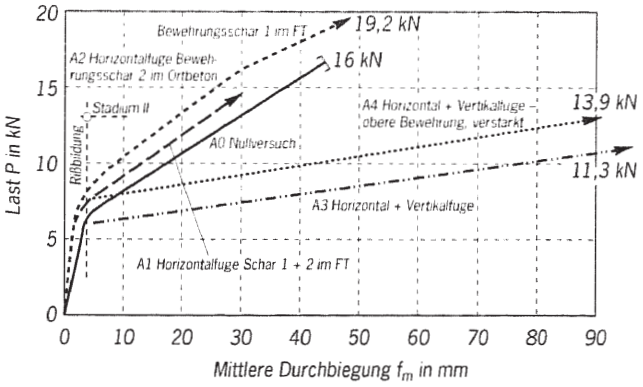


Bild 3. Prüfreihe 2. Drillversuche. Mittlere Durchbiegung f_m in Plattenmitte in Abhängigkeit von der Belastung P

Fig. 3. Test series 2
Torsion tests. Main deformation f_m in the center of the slab dependencing on the applied load P

Fig. 3. Série d'essais 2: essais de torsion. Flexion moyenne f_m au centre de la plaque, en fonction de la charge P

3.3 Prüfreihe 2 – Drillversuche

3.3.1 Prüfkörper

Für die Untersuchung der Drillsteifigkeit wurde ein plattenartiger Versuchskörper mit reiner, über die gesamte Platte konstanter Drillbeanspruchung gewählt, der als Ausschnitt des Drillbereichs einer vierseitig gelagerten Vergleichsplatte angesehen werden kann (Bild 2). Der gewählte Versuchskörper ermöglicht die unmittelbare Untersuchung des Einflusses verschiedener Konstruktionsparameter auf die Drillsteifigkeit, da die prüftechnisch einfach meßbare Durchbiegung direkt von der Drillsteifigkeit abhängt.

Die Drillbeanspruchung des Versuchskörpers ist über den gesamten Plattenbereich konstant. Die tatsächlichen Verhältnisse im Drillbereich einer vierseitig gelagerten Platte liegen günstiger, da hier die Drillbeanspruchung von einem Größwert in der Ecke rasch zur Plattenmitte hin abnimmt. Konstruktionsbedingte Einflüsse auf die Drillsteifigkeit treten beim gewählten Versuchskörper deshalb stärker in Erscheinung als bei der vierseitig gelagerten Platte.

Für die vorliegende Aufgabenstellung ergeben sich die ungünstigsten Bedingungen bei kleinen Plattendicken. Die gesamte Plattendicke wurde deshalb zu 12 cm gewählt; die Fertigplatten hatten die übliche Mindestdicke von 4 cm. Bezogen auf eine vierseitig frei aufliegende Platte beträgt bei den gewählten Abmessungen die Plattenschlankheit etwa $l_i/h = 35$.

Die Ergebnisse der Grundsatzversuche ließen den Schluß zu, daß die Vertikalfugen die Drillsteifigkeit wesentlich stärker beeinflussen als die Horizontalfugen. Um durch die Versuche die ungünstigsten praktischen Verhältnisse abzudecken, wurden mit 37,5 cm verhältnismäßig schmale Plattenstreifen gewählt. Das ist der oberste zulässige Wert für Plattenstreifen mit nur einem Gitterträger. Die Bewehrung wurde wie die Gitterträger parallel zu den Plattenrändern angeordnet und verlief damit unter 45° zur Hauptmomentenrichtung.

Bemessen wurde für eine vierseitig gelagerte Vergleichsplatte. Die Gesamtnutzlast dieser Vergleichsplatte wurde so festgelegt, daß sich unter Berücksichtigung der Bemessungsregeln für die Verbundbewehrung der gewählte Gitterträgerabstand von 37,5 cm ergab. Die so ermittelte Biegezugbewehrung betrug für die untere Bewehrungslage (in der Fertigplatte) $a_{s,1} = 2{,}33$ cm²/m und für die zweite Bewehrungslage (auf der Fertigplatte) $a_{s,2} = 3{,}70$ cm²/m. Diese Bewehrungsquerschnitte wurden entsprechend den Regelungen in DIN 1045, Abschnitt 20.1.6.4, als Drillbewehrung in die Versuchskörper eingelegt. Die Bewehrung aus den Gitterträgern (Zug- und Druckgurt) wurde angerechnet.

3.3.2 Versuchsvarianten und Versuchsdurchführung

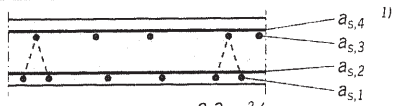
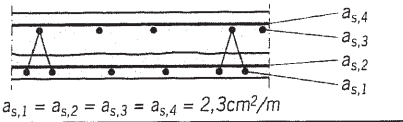
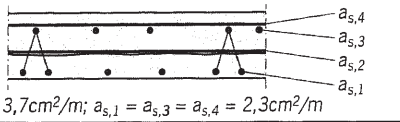
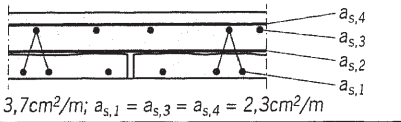
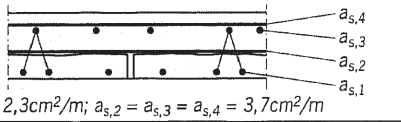
Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der in den Drillversuchen untersuchten Einflüsse. Belastet wurde stufenweise in Lastschritten von 1,2 bis 1,5 kN zunächst bis zu einer rechnerischen Last entsprechend der 1,2fachen Bemessungsspannung der Drillbewehrung (cal $\sigma_s = 1{,}2 \cdot 286 = 343$ N/mm²). Anschließend wurden zwischen cal $\sigma_s = 286$ N/mm² und cal $\sigma_s = 140$ N/mm² 5000 LW durchgeführt. Die weitere Belastung erfolgte erneut in Lastschritten bis zum Bruch. Bei den einzelnen Laststufen wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Durchbiegung in Plattenmitten bezogen auf die Lasteinleitungs- bzw. Auflagerungspunkte,
- Dehnungen auf der Prüfplattenoberseite parallel zur Auflager(Druck)- bzw. Lastachse (Zug) mit Setzdehnungsmesser jeweils unter 45° zur Bewehrungsrichtung. Meßstrecken zwischen und über die Fugen zwischen den Fertigplatten,
- Stahldehnungen an ausgewählten Bewehrungsstäben,
- Rißbreiten an den Schnittpunkten von Rissen und Gitterträgeruntergurten.

3.3.3 Versuchsergebnisse

Die Auswirkung der unterschiedlichen Versuchsparameter kann am besten aus den Last-Durchbiege-Diagrammen in Bild 3 abgelesen werden.

Tabelle 3. Drillversuche – Übersicht
Table 3. Torsion tests – Overview
Tableau 3. Essais de torsion – Synoptique

Bezeichnung	Bewehrungs- und Fugenanordnung	Untersuchter Einfluß			
		Horizontale Fuge	Höhenvers. Bewehrung	Vertikale Fuge	Verstärkte Drill-Bew.
A 0	 $a_{s,1} = a_{s,2} = a_{s,3} = a_{s,4} = 2{,}3 cm^2/m$	Ortbeton			
A 1	 $a_{s,1} = a_{s,2} = a_{s,3} = a_{s,4} = 2{,}3 cm^2/m$	×			
A 2	 $a_{s,2} = 3{,}7 cm^2/m$; $a_{s,1} = a_{s,3} = a_{s,4} = 2{,}3 cm^2/m$	×	×		
A 3	 $a_{s,2} = 3{,}7 cm^2/m$; $a_{s,1} = a_{s,3} = a_{s,4} = 2{,}3 cm^2/m$	×	×	×	
A 4	 $a_{s,1} = 2{,}3 cm^2/m$; $a_{s,2} = a_{s,3} = a_{s,4} = 3{,}7 cm^2/m$	×	×	×	×

1) Für den Ortbeton-Vergleichsversuch (Nullversuch) A 0 wurden nur die Ober- und Untergurte der Gitterträger eingebaut; die Diagonalen waren unmittelbar unter bzw. über den Schweißpunkten abgeschnitten

Die gemessenen Betondehnungen in Last- bzw. Auflagerachse lagen nach Lastwechseln bei 1,2facher Gebrauchslast außerhalb der Fertigplattenfugen zwischen 1 ‰ und 2,5 ‰. Die entsprechenden über die Fertigplattenfugen gemessenen Dehnungen (Meßlänge 250 mm) lagen bei über 10 ‰ in Zug- und Druckrichtung.

Die 95 %-Quantilwerte der Rißbreiten lagen bei Gebrauchslast nach 5000 LW bei den Versuchen A0 bis A2 (ohne vertikale Fertigplattenfugen) zwischen 0,16 und 0,18 mm, bei den Versuchen mit vertikalen Fertigplattenfugen (Versuch A3 und A4) zwischen 0,40 und 0,50 mm.

Durch das Abweichen des Bewehrungsnetzes von der Beanspruchungsrichtung und bei den Versuchen A3 und A4 durch zusätzliche Fugenverschiebungen sind sehr große Plattenverformungen entstanden. Die großen Verformungen führten bei den Versuchen A0, A2, A3 und A4 zur Erschöpfung des Rotationsvermögens der Betondruckzone. Beim Versuch A3 wurde zudem ein Stahlzugbruch an einem Stab des Bewehrungsnetzes am Auflager (unten) festgestellt.

Bei dem Versuch A1 versagte die im maßgebenden Rißquerschnitt überbeanspruchte Bewehrung vorzeitig an der Verankerung (Winkelhaken ∅ 8).

Die Versuchskörper A1 und A2 mit durchgehenden Fertigplatten erreichten etwa gleiche Bruchlasten wie der Nullversuch. Die Bruchlast von A2 lag mit 19,2 kN sogar rund 20 % über der des Nullversuchs (16,0 kN). Die höhere Bruchlast erklärt sich durch die größere Betonfestigkeit der Fertigplatte im maßgebenden Bruchquerschnitt am Auflager. Beim Versuch A1 (Verankerungsversagen) lag die Bruchlast 10 % unter der des in der Betonfestigkeit gleichwertigen Nullversuchs. Das Versagen der Verankerung (A1) kann jedoch nicht als typisch für die Drillbeanspruchung eingestuft werden, sondern ist eine Folge der Bewehrungsführung (größerer Stababstand) dieses Versuchskörpers. Aufgrund des Verlaufs der Durchbiegung (siehe Bild 3) kann man davon ausgehen, daß bei entsprechender Bewehrungsführung eine mit dem Nullversuch vergleichbare Bruchlast erreicht wird.

Ein eindeutiger Abfall der Bruchlasten war bei den Versuchskörpern mit Vertikalfuge festzustellen. So wurden im Versuch A3, bedingt durch die Druckzonenschwächung und die Verschiebung zwischen Fertigteil und Ortbeton und dem dadurch bedingten Abfall der Drillsteifigkeit, nur 70 % (11,3 kN) der Bruchlast des Nullversuchs erreicht. Die Erhöhung der Drillbewehrung bei A4 von 2,33 cm²/m auf 3,7 cm²/m (Bewehrungsquerschnitt 2. Lage auf der Fertigplatte) bewirkte einen Anstieg der Bruchlast auf 13,9 kN bzw. 85 % der Bruchlast des Nullversuches.

3.4 Prüfreihe 3 – Vierseitig gelagerte Platte

3.4.1 Versuchsplanung

Versuche mit vierseitig gelagerten Platten sind sehr aufwendig. Zur Beschränkung der Versuchskosten war deshalb nur ein solcher Versuch vorgesehen, um die Auswirkung einer verminderten Drillsteifigkeit auf das Gebrauchs- und Tragverhalten zweiachsig gespannter

Platten mit freien Rändern zu studieren. Da die Drillversuche ergeben haben, daß bei raumgroßen Fertigplatten mit beiden Bewehrungsscharen in der Fertigplatte und bei nicht raumgroßen Platten mit Fugen außerhalb des Drillbereichs die volle Drillsteifigkeit vergleichbarer Ortbetonplatten erreicht wird, kam für den vierseitig gelagerten Plattenversuch nur die Variante mit Fertigplatten im Drillbereich in Frage. Dabei sollte untersucht werden, inwieweit trotz eingeschränkter Drillsteifigkeit ein ausreichendes Gebrauchs- und Tragverhalten sichergestellt ist.

Den größten Traganteil, bezogen auf die Tragwirkung der zwei Hauptbewehrungsrichtungen, übernimmt die Drillbewehrung bei der quadratischen Rechteckplatte. Der Versuchskörper wurde deshalb mit gleichen Seitenlängen ausgeführt. Es wurde eine praxisübliche Spannweite von 4 m gewählt. Demzufolge ergab sich aus der Grenzschlankheit $l_i/h = 35$ eine Plattendicke von 14 cm.

Die Richtung der Bewehrungsnetze ist durch die Gitterträger vorgegeben; es wurde deshalb der in DIN 1045, Abschnitt 20.1.6.4, vorgesehene Fall einer parallel zu den Seiten verlaufenden oberen und unteren Netzbewehrung untersucht. Da die Hauptmomentenrichtung im Eckbereich von Rechteckplatten unabhängig vom Seitenverhältnis immer etwa 45° gegen die Plattenränder geneigt ist, werden mit der gewählten Bewehrungsanordnung auch die Verhältnisse aller Rechteckplatten mit ungleichen Seitenlängen erfaßt.

Aus den Drillversuchen geht hervor, daß das Bruch- und Verformungsverhalten von nachträglich mit Ortbeton ergänzten Fertigplatten durch die Vertikalfugen zwischen den Fertigplatten nachteilig beeinflußt wird. Um im Versuch möglichst ungünstige Verhältnisse nachzuahmen, wurde die in den Drillversuchen gewählte Fertigplattenbreite von 37,5 cm beibehalten. Damit ergaben sich insgesamt 12 Fertigplattenstreifen.

Bemessen wurde unter Berücksichtigung der vollen Drillsteifigkeit. Die zulässige Gebrauchslast (Gleichlast q = 13,8 kN/m²) wurde so gewählt, daß sich unter Berücksichtigung der Bemessungsregeln für die Verbundbewehrung ein Gitterträgerabstand von 37,5 cm ergab (zul τ_0 = 0,215 N/mm²). Die Biegezugbewehrung errechnete sich für BSt 500/550 und B 25 zu

a_{sx} = 2,63 cm²/m (Fertigplatte h_x = 11,7 cm),
a_{sy} = 4,00 cm²/m (Ortbeton h_y = 8,1 cm).

Wegen der Schwächung der Betondruckzone durch die Fertigplattenfugen wurde für die Ermittlung der obenliegenden Drillbewehrung nur die Dicke des Ortbetons angesetzt. Sie entsprach vom Querschnitt her deshalb der im Ortbeton verlegten unteren zweiten Bewehrungslage und wurde entsprechend DIN 1045 auf eine Länge von 0,3 l eingelegt.

3.4.2 Versuchsdurchführung

Die vierseitig gelagerte Einfeldplatte mußte, um Zwänge auszuschließen, allseitig horizontal verschieblich und gelenkig aufgelagert werden. Für die Auflagerung wurden horizontal frei bewegliche Einzelkalottenauflager (insgesamt 44) im Abstand von 37,5 cm verwendet. Die Plattenecken wurden mit vier gelenkigen horizontal beweglichen Abspannungen in Vertikalrichtung festgehalten.

Die für den Versuch erforderliche Gleichlast wurde mit 64 Belastungspunkten (Rasterabstand 50 cm) simuliert. Die Belastung wurde durch zwei hydraulische Prüfzylinder (max P = 600 kN) aufgebracht und mit Lastverteilungsträgern über fünf Ebenen in die erforderlichen 64 Belastungspunkte aufgelöst. Die Verteilungsträger waren untereinander horizontal verschieblich und gelenkig gelagert, so daß sie sich der Verformungsfigur des Prüfkörpers zwangfrei anpassen konnten.

Die Platte wurde in Stufen bis zur 1,2fachen Gebrauchslast belastet. Danach wurden 50000 LW zwischen σ_s = 200 und σ_s = 286 N/mm² aufgebracht; dann wurde die Platte, wiederum in Stufen, bis zum Bruch belastet. Bei einer rechnerischen Stahlspannung in der Biegezugbewehrung von σ_s = 600 N/mm² wurde aus prüftechnischen Gründen zwischenentlastet, anschließend die Belastung bis zum Bruch fortgesetzt. Neben den Lasten wurden folgende Messungen durchgeführt:

Durchbiegung in Plattenmitte,
Reaktionskraft in den Plattenecken,
Dehnungen an der Bewehrung mit Setzdehnungsmesser bzw. induktiven Wegaufnehmern, Meßlänge 150 mm,
Rißbreiten.

(Fortsetzung folgt)

Literatur:

[1] *Ackermann, G.:* Drillweiche, orthotrope, elastische Platte als Berechnungsmodell für zweiachsig gespannte Filigrandecken. Beton- und Stahlbetonbau 90 (1995), H. 3, S. 57–63.

[2] *Schießl, P.:* Zuschrift zu [1]. Beton- und Stahlbetonbau 90 (1995), H. 10, S. 269–270.

[3] *Schießl, P.,* und *Kutsch, W.:* Nachweis der Drillsteifigkeit von Plattendecken mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht. IBS-Forschungsbericht Nr. 671/79 vom 08.11.1979.

[4] *Baumann, T.:* Tragwirkung orthogonaler Bewehrungsnetze beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton. Berlin: Ernst & Sohn 1972. Heft 217 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

Peter Schießl

Drillsteifigkeit von Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht

(Fortsetzung und Schluß)

3.4.3 Versuchsergebnisse

Wesentliche Erkenntnisse über das Tragverhalten der untersuchten Platte können aus den Dehnungsmessungen der Bewehrung gewonnen werden. Bild 4 zeigt die Gegenüberstellung der Spannungsentwicklungen der Bewehrung im Feld und im Drillbereich (nach LW) in Abhängigkeit der Belastung q. Die Stahlspannung wurde aus den Meßwerten der Dehnungsmessungen unter Ansatz der jeweiligen Spannungs-Dehnungs-Linie, das heißt, ohne Berücksichtigung einer Betonmitwirkung, ermittelt.

Das Verhältnis der Stahlspannungen in der unteren Drillbewehrung und in der Feldbewehrung blieb bis zur 1,5fachen Gebrauchslast annähernd gleich ($\sigma_{s,\text{Drill}} \sim 0{,}45\sigma_{s,\text{Feld}}$), das heißt, die Traganteile von Feld- und unterer Drillbewehrung nehmen proportional gleich stark zu. Nach Überschreiten der Elastizitätsgrenze in der Feldbewehrung ($\varepsilon_s \sim 3{,}5$ ‰, $\sigma_s \sim 550$ N/mm²) nahm deren Spannung nur noch geringfügig zu.

Die untere Drillbewehrung befand sich zu diesem Zeitpunkt noch im elastischen Bereich; ihre Spannung nahm mit steigender Belastung deshalb weiter zu und erreichte bis zum Bruch annähernd den Wert der Feldbewehrung ($\sigma_{s,\text{Drill}} \sim 0{,}94\sigma_{s,\text{Feld}}$).

Die unterschiedlichen Beanspruchungsentwicklungen von Drill- und Feldbewehrung zeigen, daß nach dem Erreichen der Elastizitätsgrenze in der untenliegenden Feldbewehrung ($a_{s,x}$) Spannungsumlagerungen zwischen Feld- und Drillbewehrung stattgefunden haben. Neben dieser Umlagerung findet auch eine Momentenumlagerung zwischen den beiden Tragrichtungen im Feld statt ($a_{s,x}$ in der Fertigplatte, $a_{s,y}$ im Ortbeton). Aufgrund der um etwa 3,5 cm zur Nullinie (neutrale Faser) hin höhenversetzten Bewehrungslage der zweiten Tragrichtung ($a_{s,y}$) befindet sich diese – ebenso wie die Drillbewehrung – im elastischen Spannungsbereich und hat deshalb noch Tragreserven, wenn die Bewehrung der ersten Tragrichtung ($a_{s,x}$) die Streckgrenze erreicht. Der Umlagerungsverlauf zwischen den beiden Feldbewehrungsscharen läßt sich mit diesem Höhenversatz der Bewehrungslagen sowie der relativ genau bestimmbaren Nullinienlage ausreichend genau ableiten:

Umlagerungsbeginn $\varepsilon_{s,x} \approx 3{,}5$ ‰
$\varepsilon_{s,y} \approx 2{,}1$ ‰ $\sigma_{s,y} \sim 400$ N/mm²,
Umlagerungsende $\varepsilon_{s,y} \approx 3{,}5$ ‰
$\varepsilon_{s,x} \approx 5{,}8$ ‰ $\sigma_{s,x} \sim 620$ N/mm².

Professor Dr.-Ing. Peter Schießl, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, Schinkelstraße 3, 52056 Aachen.

Mit Erschöpfung der Tragreserven beider Feldbewehrungsrichtungen bei $q \approx 31$ kN/m² ist nur noch eine Umlagerung zwischen Feld- und Drillbereich möglich.

Wie aus Bild 4 zu ersehen ist, stieg die Spannung in der unteren Drillbewehrung in diesem Lastbereich von $\sigma_{s,xy} \sim 510$ N/mm² auf 590 N/mm², während die Stahlspannung in der unteren Feldbewehrung annähernd konstant blieb ($\sigma_{s,x} = 620 \ldots 635$ N/mm²).

Im Gegensatz zur unteren Drillbewehrung, die bis über die Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht wurde, blieben die Tragreserven der oberen Drillbewehrung nahezu ungenutzt. Die Stahlspannung erreichte einen Höchstwert von nur 125 N/mm² und blieb damit weit hinter den Spannungen im Feld zurück. Durch die Rißbildung auf der Plattenoberseite im Eckbereich ist die Steifigkeit offensichtlich wesentlich mehr abgesunken als bei Rißbildung auf der Plattenunterseite. Das ist sowohl auf die geometrischen Verhältnisse (in der vergleichsweise kleinen Ecke wirken sich Risse sehr stark auf die Steifigkeit aus) als auch auf zusätzliche Verformungsanteile aus dem Verankerungsschlupf der Bewehrungsstäbe zurückzuführen. Der Beitrag des in der Ecke gehaltenen kragarmähnlich wirkenden Plattenstreifens (obere Drillbewehrung) zum Gesamttragvermögen der vierseitig gelagerten Platte ist somit sicher-

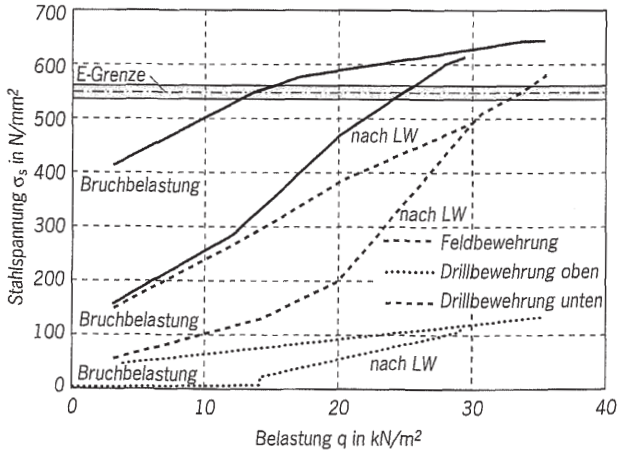


Bild 4. Spannungsentwicklung σ_s in der Bewehrung der vierseitig gelagerten Platte in Abhängigkeit der Belastung q (nach 10^4 LW)

Fig. 4. Steel stress σ_s depending on the uniform load q (after 10^4 load cycles). Biaxial load carrying slab.

Fig. 4. Evolution des contraintes σ_s dans l'armature de la plaque soutenue sur les quatre côtés, en fonction de la charge q (après 10^4 contraintes alternées)

lich sehr viel kleiner als der des unteren, sich über Eck ausbildenden, relativ breiten Tragstreifens (untere Drillbewehrung).

Die 95 %-Quantilwerte der Rißbreiten lagen nach LW bei Gebrauchslast im Feld bei 0,18 mm, im Drillbereich unten bei 0,15 mm.

Bruchauslösend waren Stahlzugbrüche in der untenliegenden Feldbewehrungsschar ($a_{s,x}$, Fertigplatte). Insgesamt brachen 12 Stäbe (∅ 5 Gitterträger und ∅ 5 K) in Feldmitte fast gleichzeitig. Zum Zeitpunkt des Bruchs war die Momentenumlagerung vom Feld- zum Drillbereich abgeschlossen, die Durchbiegung in Feldmitte betrug mehr als 100 mm. Die Bruchsicherheit, bezogen auf die Gebrauchslast für BSt 500, betrug gemäß DIN 1045 (zul q = 13,8 kN/m²) γ_{DIN} = 2,6. Da jedoch die tatsächliche mittlere Streckgrenze der Feldbewehrung mit $\beta_{S,ist}$ ~ 625 N/mm² erheblich über der Nennstreckgrenze liegt, muß für Sicherheitsbetrachtungen die echte Streckgrenze zugrundegelegt werden:

$$\text{zul } q = \text{zul } q_{\text{BSt500}} \frac{\beta_{S,\text{ist}}}{500} = 17{,}25 \text{ kN/m}^2 .$$

Der effektive Sicherheitsbeiwert, unter Berücksichtigung der Ist-Streckgrenze der Bewehrung, beträgt

$$\text{eff } \gamma = 2{,}08$$

und liegt somit deutlich über dem geforderten Mindestwert von 1,75 und in einem für Biegeversuche üblichen Bereich.

4 Diskussion der Versuchsergebnisse

4.1 Einfluß einer Abweichung der Bewehrungsrichtung von der Beanspruchungsrichtung

Der Einfluß einer von der Beanspruchungsrichtung abweichenden Bewehrungsrichtung wurde im Rahmen der Prüfreihe 1 – Grundsatzversuche untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Zugfaserdehnungen durch die zusätzlichen Verformungen aus der Querdruckbeanspruchung im Vergleich zur normalen Bewehrungsführung in Beanspruchungsrichtung stark zunehmen. Dadurch sind die Rotationsreserven der Betondruckzone frühzeitig erschöpft, so daß auch die Bruchlast absinkt.

In Bild 5 sind die Reziprokwerte der Zugfaserdehnungen, die in erster Näherung ein Maß für die Biegesteifigkeit sind, und die Bruchlasten mit den Werten der Nullversuche verglichen.

Für die Momentenverteilung in der vierseitig frei drehbar gelagerten Platte bedeutet dies, daß bei orthogonaler Bewehrungsführung nach Übergang zum Stadium II zunächst eine Momentenumlagerung zu den Feldmomenten hin erfolgen wird, die aber nach Überschreiten der Streckgrenze in der Feldbewehrung zumindest zum Teil wieder kompensiert werden kann. Diese Wirkung gilt ganz allgemein für die orthogonale Bewehrungsführung und somit gleichermaßen für Ortbetonplatten und Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht.

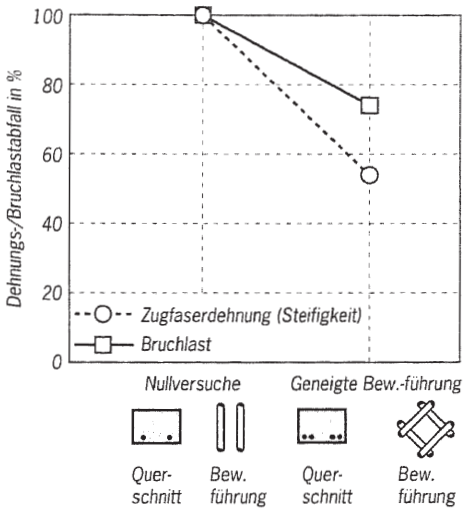


Bild 5. Abfall von Steifigkeit und Bruchlast durch die Abweichung der Bewehrungsrichtung von der Beanspruchungsrichtung. Prüfreihe 1, Grundsatzversuche

Fig. 5. Decrease of stiffness and ultimate load caused by the derivation of the reinforcement orientation from the load carrying direction. Test series 1, basic tests

Fig. 5. Diminution de la rigidité et de la fatigue de couplage, par la modification de la direction d'armature par rapport à la direction de contrainte, série d'essais 1, Essais fondamentaux

4.2 Einfluß einer Horizontalfuge: Beide Bewehrungsscharen in der Fertigplatte

Die Grundsatzversuche erlauben in diesem Zusammenhang im Hinblick auf die Steifigkeit keine Aussage, da für den Versuch K0 (für die vorliegende Fragestellung der Nullversuch) bei Gebrauchslast das Stadium der Rißbildung noch nicht erreicht war. Die Drillversuche zeigen jedoch erwartungsgemäß deutlich, daß die Horizontalfuge weder einen Einfluß auf die Drillsteifigkeit noch auf die Bruchlast bei Drillbeanspruchung hat.

4.3 Einfluß einer Horizontalfuge: Je eine Bewehrungsschar in der Fertigplatte und im Ortbeton

In den Grundsatzversuchen hat sich für diese Bewehrungsanordnung (45° zur Beanspruchung geneigte Bewehrung) eine geringfügig größere Zugranddehnung im Vergleich zur Anordnung beider Bewehrungsscharen in der Fertigplatte ergeben; die Bruchlasten waren aber für beide Fälle gleich groß. Neben Versuchsstreuungen ist diese größere Zugranddehnung auf die größeren Stahldehnungen der unteren Bewehrungslage bei „zweilagiger", stark höhenversetzter Bewehrungsanordnung zurückzuführen. Das heißt, daß die Querdruckspannungen infolge der Abweichung der Bewehrungsrichtung von den Zugtrajektorien im Drillbereich unbeeinflußt durch die Horizontalfuge übertragen werden konnten.

Es erhebt sich nun die Frage, ob dieses Ergebnis auf alle möglichen Anwendungsfälle übertragar ist, bzw. ob man davon ausgehen kann, daß bei jeweils einer orthogonalen Bewehrungsschar in der Fertigplatte und im Ortbeton immer die volle Drillsteifigkeit vorausgesetzt wer-

den kann, wenn sich keine Fertigplattenränder im Drillbereich befinden. Bei idealisierten, auf der sicheren Seite liegenden Annahmen bezüglich der Übertragung von Querdruckspannungen (bezogen auf die Beanspruchungsrichtung) zwischen den Bewehrungsscharen über die Fuge hinweg läßt sich zeigen, daß die Scherbeanspruchung der Fuge bei üblichen Bewehrungsquerschnitten immer weit unter den Scherfestigkeiten zwischen Fertigteil und Ortbeton (rüttelrauhe Fuge) bleiben.

Man kann somit davon ausgehen, daß in allen praktischen Ausführungsfällen eine sichere Übertragung der Querdruckspannungen über die Horizontalfuge hinweg möglich ist und man mit unverminderter Drillsteifigkeit rechnen kann, wenn sich keine Vertikalfugen im Drillbereich befinden. Die Versuchsergebnisse bestätigen dies.

4.4 Einfluß einer Vertikalfuge im Drillbereich

Die Ergebnisse der Drillversuche zeigen deutlich, daß bei jeweils einer Bewehrungsschar in der Fertigplatte und im Ortbeton und Vertikalfugen (nebeneinanderliegende Ränder von Fertigplatten) im Drillbereich nach Überschreiten der Rißlast die Drillsteifigkeit im Vergleich zu den Versuchen ohne Vertikalfugen erheblich absinkt. Das geht deutlich aus der Entwicklung der Durchbiegungen der Drillversuche hervor (siehe Bild 3), die für den gewählten Versuchskörper linear von der Drillsteifigkeit abhängen.

Im Bereich der Vertikalfuge können die für die Aufrechterhaltung des inneren Gleichgewichts der Kräfte notwendigen Querdruckkräfte nicht mehr ungehindert übertragen werden. Dies führt zunächst zu örtlichen Verschiebungen zwischen Fertigplatten und Ortbeton in der Horizontalfuge. Die Fähigkeit zur Übertragung der geneigten Querdruckkräfte wird dadurch stark eingeschränkt. Dies führt zu einem Reißverschlußeffekt dergestalt, daß es entsprechend der Drillverformung der Platte zu einem einseitigen Abheben der Fertigplatte vom Fertigplattenrand bis zum nächstgelegenen Gitterträger kommt.

Durch eine Erhöhung der obenliegenden Drillbewehrung im Ortbeton, entsprechend der um die Vertikalfuge verminderten Druckzonenhöhe, wird die Drillsteifigkeit zwar geringfügig verbessert, am grundsätzlichen Tragverhalten ändert sich naturgemäß nichts.

Durch die abgeminderte Drillsteifigkeit sinken auch die Bruchmomente deutlich ab, da durch die starken Verformungen die Rotationsreserven der Betondruckzone frühzeitig erschöpft sind.

Durch Vernähen der Fugenränder, das heißt durch eine Anordnung der Gitterträger möglichst nahe an den Fertigplattenrändern, könnten vermutlich Verbesserungen des Tragverhaltens erreicht werden.

4.5 Auswirkungen einer verminderten Drillsteifigkeit auf die Tragwirkung einer vierseitig frei drehbar gelagerten Platte

Bei der Bemessung von kreuzweise bewehrten Stahlbetonplatten wird bei Berücksichtigung der Drillsteifigkeit vorausgesetzt, daß die Steifigkeiten der beiden Hauptbewehrungsrichtungen und die Drillsteifigkeit mit der Beanspruchung affin abnehmen und somit das Tragverhalten und die Momentenverteilung der isotropen Platte mit elastischem Werkstoffverhalten erhalten bleibt. Die tatsächliche Momentenverteilung in Stahlbetonplatten weicht aber immer dann von den theoretischen Werten ab, wenn sich für verschiedene Tragrichtungen unterschiedliche Steifigkeiten ergeben. Dies ist immer bei orthogonalen Bewehrungsnetzen parallel zu den Plattenrändern in den Drillbereichen der Fall, wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen. Durch die im Vergleich zur Biegesteifigkeit wesentlich stärkere Abnahme der Drillsteifigkeit nach der Rißbildung kommt es zu einer Momentenumlagerung zu den Feldmomenten hin.

Man kann jedoch davon ausgehen, daß bei Ortbetonplatten eine solche Überbeanspruchung der Feldbewehrung nur im Gebrauchszustand gegeben ist. Erreicht nämlich die Feldbewehrung die Streckgrenze, nimmt die Biegesteifigkeit der Platte sehr stark ab; das wiederum ermöglicht eine Momentenumlagerung hin zu den Drillmomenten, bis auch dort die Streckgrenze erreicht wird. Auch bei den hier gegebenen geringen Dehnungsreserven in der Bewehrung war eine solche Umlagerung möglich.

Mit dem in Abschnitt 3.4 beschriebenen Versuch an einer vierseitig frei drehbar gelagerten Platte mit Gleichlast wurde untersucht, inwieweit eine solche Momentenumlagerung auch noch bei einer zusätzlich durch Vertikalfugen von Fertigplatten stark eingeschränkten Drillsteifigkeit möglich ist und ob noch eine ausreichende Tragfähigkeit erreicht werden kann. Für den Versuch wurden deshalb sehr schmale Plattenstreifen (Breite 37,5 cm) gewählt, um eine größtmögliche Beeinträchtigung der Drillsteifigkeit zu erreichen. Trotz dieser sehr ungünstigen Wahl der Versuchsbedingungen konnte eine ausreichende Bruchsicherheit ($\gamma = 2{,}08$) erreicht werden, die üblichen Werten bei Biegeversuchen entspricht.

Trotz der stark eingeschränkten Drillsteifigkeit war nach Überschreiten der Streckgrenze in der Feldbewehrung eine so weitgehende Momentenumlagerung möglich, daß, zumindest in der untenliegenden Drillbewehrung, die Streckgrenze der orthogonalen Bewehrung erreicht wurde. Die obenliegende Drillbewehrung wurde dagegen kaum beansprucht. Das ist jedoch weniger eine Frage der durch die Fertigplattenfugen abgeminderten Drillsteifigkeit, sondern vielmehr auf die geometrischen Verhältnisse zurückzuführen und ein für drillbeanspruchte Plattenecken mit orthogonaler Bewehrungsführung ganz allgemein gültiges Problem. Der untenliegenden Drillbewehrung kommt somit in allen Fällen eine größere Bedeutung zu als der obenliegenden.

5 Folgerungen für die Praxis

Für den Fall mit je einer Bewehrungsschar in der Fertigplatte und im Ortbeton ohne Fertigplattenränder im Drillbereich konnte gezeigt werden, daß für alle praktischen Ausführungsfälle mit einer ausreichenden Drillsteifigkeit gerechnet werden kann. Das gilt um so mehr, als der Versuch mit der vierseitig frei drehbar gelagerten Platte gezeigt hat, daß die Auflagerpressungen in Bezug auf die Sicherheit gegen Abscheren in der Fuge zwischen Fertigteil und Ortbeton günstig wirken.

Obwohl auch unter den ungünstigsten in der Praxis vorkommenden Fällen (Gesamtplattendicke 12 cm, Fertigplattenbreite 37,5 cm, Fertigplattenfugen im Drillbereich) ausreichende Tragfähigkeit erreicht werden konnten, wird für die praktische Ausführung eine solche Lösung nicht empfohlen, und zwar aus folgenden Gründen:

Das Vermeiden von Plattenrändern im Drillbereich ist einerseits bautechnisch ohne weiteres möglich, wenn Paßplatten in Plattenmite angeordnet werden. Andererseits ist eine optisch unschöne Rißbildung an den Plattenstirnflächen im Bereich der Plattenränder nicht in allen Fällen auszuschließen. Damit ergibt sich für die Praxis folgende Regel, die auch in DIN 1045, Ausgabe 1988, ihren Niederschlag gefunden hat:

Wenn sich keine Plattenränder im Drillbereich befinden, können in allen Fällen günstig wirkende Drillmomente bei der Schnittkraftermittlung ohne Abminderung berücksichtigt werden, wenn die Fertigteile mindestens eine rüttelrauhe Oberfläche aufweisen und der Verbund zwischen Fertigteil und Ortbeton nicht durch irgendwelche äußeren Einflüsse (z. B. starke Verschmutzung o. ä.) beeinträchtigt ist. Die Bewehrungsanordnung richtet sich nach DIN 1045, Abschnitt 20.1.6.4.

Literatur: s. Seite 7