DOI: 10.1002/best.201300075

Carsten Siburg, Josef Hegger, Johannes Furche, Ulrich Bauermeister

Durchstanzbewehrung für Elementdecken nach Eurocode 2

Das Tragverhalten von speziellen Gitterträgern als Durchstanzbewehrung wurde in Bauteilversuchen an 18 cm bis 36 cm dicken teilvorgefertigten Stahlbetonplatten mit horizontaler Verbundfuge untersucht. Variiert wurde unter anderem auch die Anordnung der vorgefertigten Platten. Die ermittelten Durchstanzwiderstände und das beobachtete Tragverhalten bestätigen die Effektivität dieser Bewehrungselemente. Die Versuche führten zur Erteilung einer europäischen technischen Zulassung (ETA) auf der Bemessungsgrundlage von Eurocode 2.

Punching shear reinforcement for semi precast slabs according to Eurocode 2

The load bearing behaviour of special lattice girders functioning as punching shear reinforcement has been tested in full scale tests with 18 cm up to 36 cm thick semi precast slabs with horizontal composite joints. Varied was among other parameter also the arrangement of the precast plates. The determined punching shear resistance and the load bearing behaviour confirmed the effectiveness of this reinforcement. These tests had led to an European Technical Approval (ETA) based on Eurocode 2.

1 Einleitung

Elementdecken mit Gitterträgern bestehen aus etwa 5 cm bis 7 cm dicken Fertigteilplatten, die vor Ort mit einer Aufbetonschicht zur fertigen Decke ergänzt werden. Elementdecken werden seit Jahren auch als zweiachsig gespannte Flachdecken ausgeführt [1]. Zur Erhöhung der Durchstanzlasten von Elementdecken wurde bereits in [2] eine Durchstanzbewehrung aus speziellen Gitterträgern mit über den Obergurt hinausstehenden Schlaufen vorgestellt. Durchstanzversuche mit dieser Filigran-Durchstanzbewehrung (FDB I) ergaben gegenüber Platten ohne Querkraftbewehrung eine Lasterhöhung von etwa 75 % [2]. Die Nachweisformate der aktuellen nationalen Zulassung [3] basieren auf Regelungen der nationalen Bemessungsnorm DIN 1045-1.

Mit Einführung des Eurocode 2 [4] in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang [5] war auch die Bemessung von bauaufsichtlich zugelassenen Durchstanzsystemen an das Bemessungsformat dieser Norm anzupassen. Zur Erlangung einer europäischen Zulassung (**E**uropean **T**echnical **A**pproval: **ETA**) für Gitterträger als Durchstanzbewehrung wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) eine europäisch abgestimmte Beurteilungsrichtlinie (CUAP: Common Understanding of Assessment Procedure [6]) erarbeitet, auf deren Grundlage die hier vorgestellten Durchstanzversuche an der RWTH Aachen durchgeführt wurden. Die geprüfte Durchstanzbewehrung FDB II wurde gegenüber derjenigen nach [2] zur Erhöhung des Durchstanzwiderstands verbessert. Die Ergebnisse dieser Durchstanzversuche an Elementdecken und die ausgearbeiteten Anwendungsbedingungen für Flachdecken in Elementbauweise nach der europäischen Zulassung [7] werden hier vorgestellt.

2 Filigran-Durchstanzbewehrung für Flachdecken

Die **F**iligran-**D**urchstanz**b**ewehrung (**FDB** II) besteht aus speziellen Gitterträgern. Die Diagonalstreben sind in Längsrichtung der Elemente abwechselnd annähernd senkrecht bzw. leicht geneigt und deutlich geneigt angeordnet (Bild 1). Die tragenden Streben mit Nenndurchmesser 9 mm sind mittels Widerstandsschweißung mit den Gurten verbunden und dadurch schlupfarm verankert. In der Biegedruckzone reichen die Streben ca. 8 mm unter den Untergurt. Die Biegezugbewehrung kann auf den Obergurten der Gitterträger gestapelt werden. Zur Verbesserung der Verankerung werden die Diagonalstreben mit einem festzulegenden Maß über den Obergurt hinaus geführt. Der Überstand am Obergurt ist mindestens so hoch wie die Dicke der Lage der oberen Biegezugbewehrung zu wählen.

Bereits frühere Durchstanzversuche [2, 8] belegten die hohe Wirksamkeit und Traglaststeigerung gut verankerter und zur Stütze hin geneigter Durchstanzbewehrungselemente. Bei ausreichender Querkraftbewehrungsmenge verliefen die inneren Schubrisse in den damaligen Versuchen [2] ausgehend von Biegerissen zum Teil sehr steil in Richtung der Stütze und kreuzten die Durchstanzbewehrung unter einem flachen Winkel im Bereich der oberen Schlaufe. Durch eine stützennahe Anordnung der Bewehrungselemente in Kombination mit einer zusätzlichen Neigung der vormals senkrechten Strebe um 2 cm in Richtung der Stütze war ein größerer Schnittwinkel zwischen innerem Schubriss und der Durchstanzbewehrung zu erwarten, der die Schubrissbreite wirksamer begrenzt. Zur besseren Verankerung der Streben am Untergurt wurden bei der FDB II zusätzlich die Untergurtdurchmesser von 7 mm auf 10 mm erhöht und zur besseren Rissverteilung im Bauteil wurden alle Stäbe der Gitterträger gerippt ausgeführt.

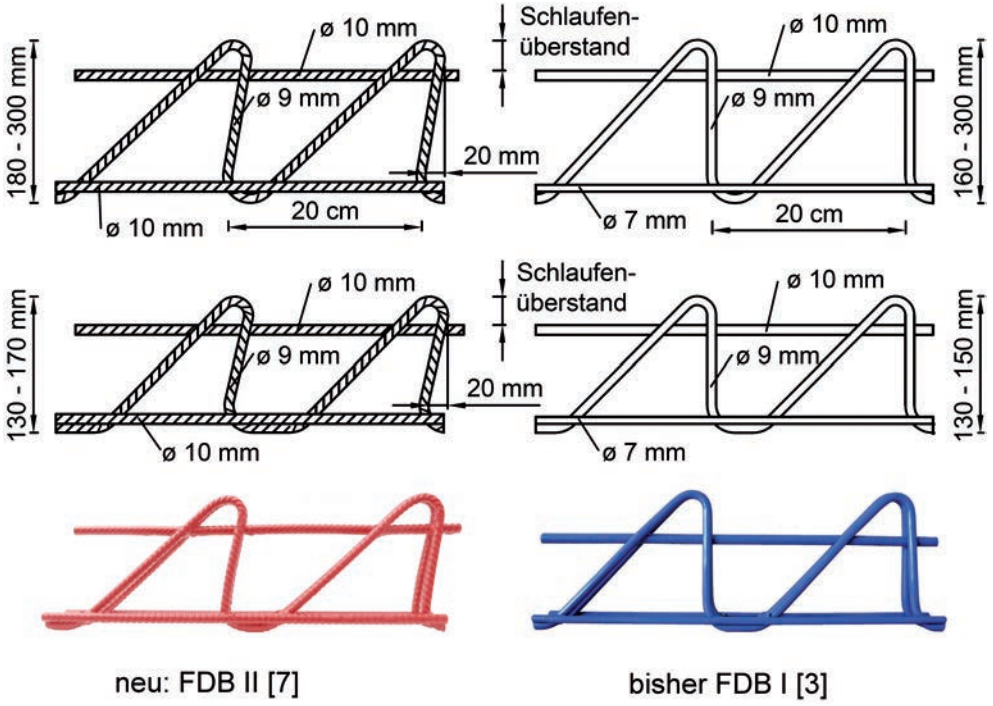


Bild 1 Filigran-Durchstanzbewehrung nach [3] und [7]
Filigran-Punching-Shear-Reinforcement according to [3] and [7]

Bild 1 zeigt die Unterschiede der hier untersuchten FDB II [7] im Vergleich mit der früheren Version FDB I [3].

3 Durchstanzen nach Eurocode 2

In Eurocode 2 [4] wurde der Nachweis gegen Durchstanzen neu geregelt. In [9] wird anhand von Versuchsauswertungen und Parameterstudien gezeigt, dass diese neuen Regelungen zum Durchstanzen das geforderte Sicherheitsniveau insbesondere beim Einsatz von Bügeln als Durchstanzbewehrung teilweise deutlich unterschreiten. Entsprechend erfolgten erforderliche Anpassungen durch das nationale Anwendungsdokument [5]. In diesem Beitrag werden die Regelungen zum Durchstanzen nach Eurocode 2 ausschließlich in Verbindung mit diesem Anwendungsdokument widergegeben, da diese Regelungen auch die Bemessungsgrundlage für die hier untersuchte Durchstanzbewehrung FDB II bilden.

Das Durchstanzversagen in Form eines kegelförmigen Betonausbruchs im Bereich punktförmiger Unterstützungen ist durch entsprechende Bemessung, Dimensionierung und Ausführung zu vermeiden. Eurocode 2 [4, 5] fordert einen Nachweis der Spannungen in einem Rundschnitt nach Bild 2. Für die einwirkende Querkraft im kritischen Rundschnitt u_1 gilt Gl. (1).

$$v_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed}/(u_1 \cdot d) \quad (1)$$

mit:

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft (Stützenlast)

u_1 Länge des kritischen Rundschnitts

β Beiwert zur Berücksichtigung nicht rotationssymmetrischer Querkraftverteilung

d statische Nutzhöhe

Für Flachdecken ohne Durchstanzbewehrung und ohne Normalspannung gilt nach [4, 5] als Obergrenze für die einwirkende Schubspannung die Gl. (2).

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \geq v_{min} \quad (2)$$

mit:

$v_{Rd,c}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ohne Durchstanzbewehrung

v_{min} Mindestquerkrafttragfähigkeit

$C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c$ für $u_0/d \geq 4$

$C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c \cdot (0{,}1\, u_0/d + 0{,}6) \geq 0{,}15/\gamma_c$ für $u_0/d < 4$

u_0 Stützenumfang (vgl. Bild 2)

Erläuterungen zu weiteren Bezeichnungen siehe Eurocode 2 [4, 5].

Für Platten mit Durchstanzbewehrung gilt als Bemessungsobergrenze ein Vielfaches der aufnehmbaren Querkraft für Platten ohne Durchstanzbewehrung.

$$v_{Rd,max} = \alpha_{max} \cdot v_{Rd,c} \quad (3)$$

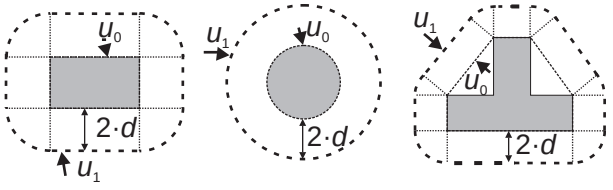


Bild 2 Kritischer Rundschnitt nach Eurocode 2 [4, 5]
Basic control perimeter according to Eurocode 2 [4, 5]

Für eine Durchstanzbewehrung aus Bügeln oder aufgebogenen Längsstäben beträgt der Erhöhungsfaktor $\alpha_{max,Bügel} = 1{,}4$. Diese Festlegung beruht im Wesentlichen auf den Auswertungen aus 45 Durchstanzversuchen in [9].

$$\alpha_{max,Bügel} = 1{,}4 \tag{3a}$$

4 Durchstanzversuche

4.1 Versuchsprogramm nach europäisch abgestimmter Beurteilungsrichtlinie (CUAP)

Das Versuchsprogramm zur Erlangung einer europäischen technischen Zulassung (ETA) wurde in einer europäisch abgestimmten Prüfrichtlinie CUAP festgelegt [6]. Tab. 1 zeigt die dort festgelegten Parameter für die symmetrisch belasteten Innenstützen mit einer Zuordnung zu den Versuchsnummern nach Tab. 2. In den Versuchen [10] wurden entsprechend dem angestrebten Anwendungsbereich Plattendicken von 18 cm bis 36 cm und Betonfestigkeitsklassen von C20/25 bis C50/60 geprüft.

Neben den Anforderungen aus der CUAP [6] wurde die Anordnung der Elementfugen variiert, um den zulässigen Anwendungsbereich zu überprüfen. Bis an die Stütze verliefen zwei bzw. vier Stoßfugen zwischen den Fertigteilplatten. Zusätzlich wurde der Abstand der Fertigteilplatten zum Stützenrand zwischen +2 cm und –1 cm gewählt, d. h. in einem Fall wurde die Fertigteilplatte sogar 1 cm auf die Stütze gelegt. Die statische Höhe der Platten lag zwischen d = 14,5 cm und d = 29,5 cm. Bei Stützenbreiten von c = 24 cm bis c = 30 cm variierten die bezogenen Stützenumfänge der im Querschnitt quadratischen Stützen zwischen $u_0/d = 4{,}0$ und $u_0/d = 8{,}0$.

Die Durchmesser der Biegezugbewehrung betrugen zwischen 15 mm und 26,5 mm. Durch unterschiedliche Durchmesser und Lagenanzahl der Biegezugbewehrung variierte die Dicke der oberen Längsbewehrungslage zwischen 3 cm und 6 cm. In gleichem Maße wurden jeweils auch die Schlaufenüberstände am Obergurt der Durchstanzbewehrung (Bild 1) gewählt. Der Biegebewehrungsgrad lag in einem Bereich von $\rho_l = 0{,}7\,\%$ bis $\rho_l = 1{,}5\,\%$. Die im Einzelnen geprüften Parameter sind in Tab. 2 angegeben.

Die Schubschlankheit λ der Versuchskörper, d. h. das Verhältnis aus dem Abstand der Lasteinleitung zur Stütze zur statischen Nutzhöhe entspricht in einer Flachdecke

Tab. 1 Versuchsprogramm nach europäischer Prüfrichtlinie CUAP [6]
Test program according to CUAP [6]

Nachweis	Plattendicke	Betondruckfestigkeit	Versuch nach Tab. 2
Maximaltragfähigkeit $V_{Rd,max}$	kleine Dicke	geringe Festigkeit	1
		hohe Festigkeit	2
	mittlere Dicke	geringe bis mittlere Festigkeit	3
	große Dicke	geringe Festigkeit	4
		mittlere bis hohe Festigkeit	5
Stahltragfähigkeit $V_{Rd,sy}$	mittlere Dicke	mittlere bis hohe Festigkeit	6

Tab. 2 Durchstanzversuche [10] mit Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II
Punching shear tests [10] with Filigran-Punching-Shear-Reinforcement FDB II

Nr.	Typ	Abmessung					Abreißb.	Biegezugbewehrung			Plattenanordnung	
	[1]	h	d	c	u_0/d	λ		$\varnothing_S$	s	ρ_l	Anzahl Stoßfugen	Abstand zur Stütze
		mm	mm	mm			mm	mm	cm	%		cm
1	FDB II 14/3	180	145	240	6,6	7,4	2∅16	15	12,5	0,97	2	–1
2	FDB II 14/3	180	150	300	8,0	7,0	2∅16	15	8	1,47	4	+2
3	FDB II 21/3	260	209	300	5,7	5,0	3∅16	15	12	0,70	2	+2
4	FDB II 30/5	360	295	295	4,0	3,6	–	15	20[2]/10	0,80	4	0
5	FDB II 30/6	360	295	300	4,1	3,6	3∅25	26,5	17,5	1,07	2	+1
6	FDB II 21/4	260	210	300	5,7	5,0	3∅16	20	10	1,50	2	+2

h: Plattendicke, d: statische Nutzhöhe, c: Abmessung der quadratischen Stütze, u_0/d bezogener Stützenumfang, λ: Schubschlankheit, Abreißb. = Abreißbewehrung auf den Fertigteilplatten je Richtung (vgl. [4, 5], 9.4.1), $\varnothing_s$: Durchmesser der Biegezugbewehrung, s: Stababstände der Biegezugbewehrung, ρ_l: Längsbewehrungsgrad
[1] Gesamthöhe [cm]/Schlaufenüberstand am Obergurt [cm]
[2] in zwei Lagen

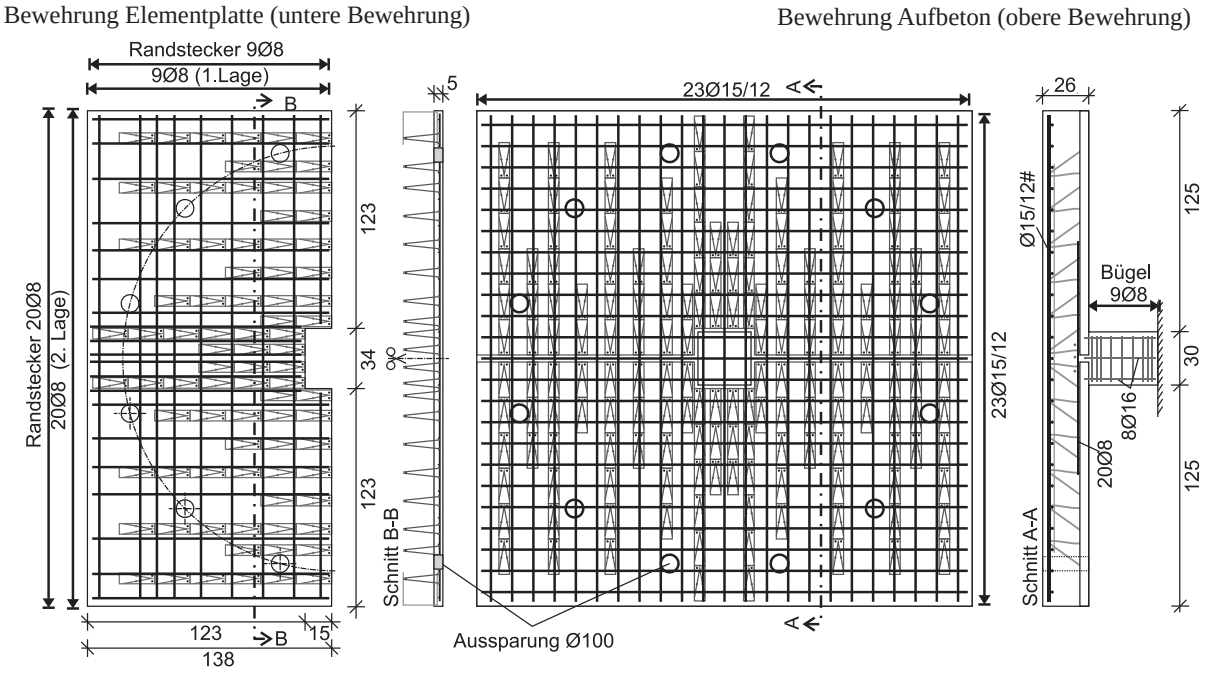


Bild 3 Bewehrungsplan (Elementplatte und Aufbeton) von Versuch Nr. 3 nach [10]
Plan view of reinforcement (precast slab and concrete topping) of test no. 3 according to [10]

dem Abstand zwischen Momentennullpunkt der radialen Plattenbiegemomente und dem Stützenanschnitt zur statischen Höhe. Diese Schlankheit sollte nach CUAP [6] zwischen $\lambda = 3$ und $\lambda = 5$ liegen. In zwei Versuchen zur Ermittlung der Maximaltragfähigkeit wurden aufgrund des einheitlich gewählten Versuchsaufbaues Schlankheiten von bis zu $\lambda = 7{,}4$ geprüft. Da nach [11] größere Schlankheiten tendenziell zu geringeren Durchstanzlasten führen, liegt die Auswertung dieser Versuche auf der sicheren Seite. Die untersuchten Schlankheiten von 3,6 bis 7,4 bei Innenstützen entsprechen nach [11] etwa Verhältnissen von Spannweite (l) zur statischen Höhe von $l/d = 18$ bis $l/d = 37$ und decken damit den baupraktischen Bereich weitgehend ab.

4.2 Versuchskörper

Die quadratischen Platten hatten eine Seitenlänge von 280 cm und wurden aus 5 cm dicken Fertigteilplatten und einer Aufbetonschicht hergestellt (Bild 3). Je nach Fugenanordnung (vgl. Tab. 2) wurden zwei oder vier Fertigteilplatten erstellt. Die Oberflächen dieser Fertigteilplatten blieben nach der Betonage unbehandelt. Nach dem Sandflächenverfahren wurden mit Ausnahme von Versuch Nr. 2 Rauigkeitswerte von $R_t = 0{,}7$ mm bis $R_t = 1{,}0$ mm ermittelt. Für Versuch Nr. 2 ergab sich ein abweichender Wert von $R_t = 2{,}6$ mm, obwohl auch hier keine Oberflächenbehandlung erfolgte. Mit Ausnahme dieses Versuchskörpers wiesen alle Verbundfugen eine Rauigkeit kleiner als 1,5 mm auf und sind damit nach [5] als glatt einzustufen. Alle Betone der Fertigteilplatten und der Aufbetonschicht wurden mit einem Größtkorn von 16 mm hergestellt.

Die obere Biegezugbewehrung (Bild 4) bestand aus gerippten Spannstahlstäben mit einer Nennstreckgrenze

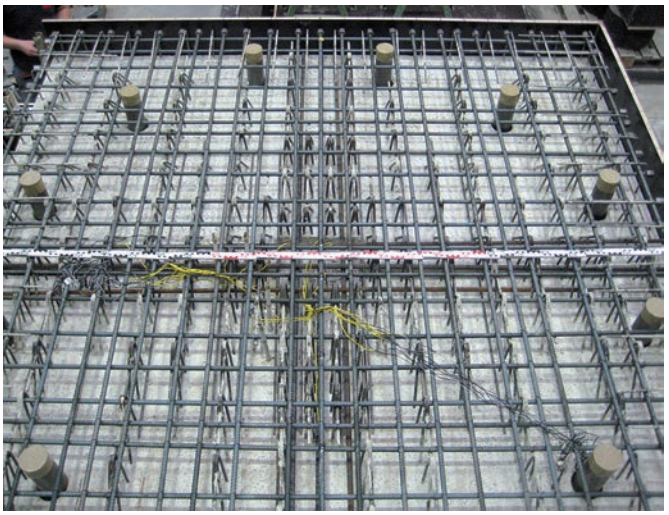
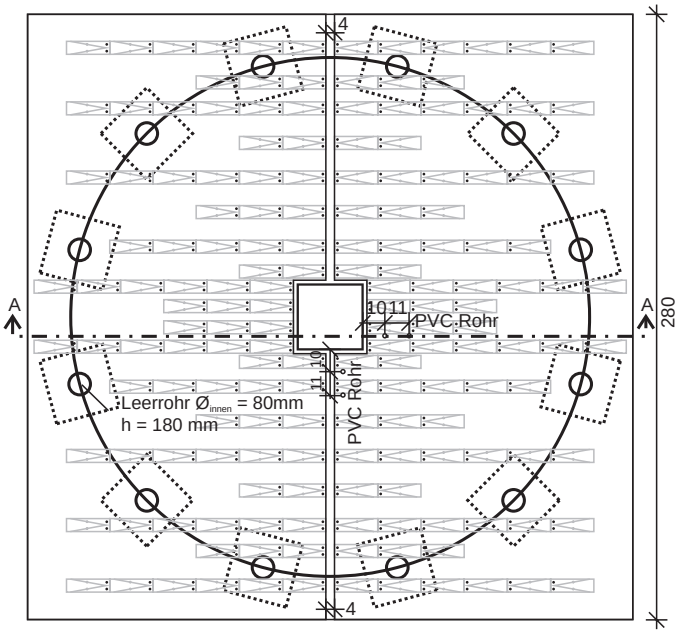


Bild 4 Versuchskörper vor dem Aufbringen des Aufbetons (Beispiel: FDB II 21/3 mit Plattendicke 260 mm)
Test specimen before concreting the concrete topping (example: FDB II 21/3 with slab thickness of 260 mm)

von 900 N/mm² für ∅15 mm und ∅20 mm bzw. von 950 N/mm² für ∅26,5 mm. Die Auswahl der Bewehrung in den einzelnen Versuchen ist Tab. 2 zu entnehmen. Der Einsatz der höherfesten Spannstahlstäbe war erforderlich, um ein Biegeversagen auch bei geringeren Längsbewehrungsgraden zu vermeiden. Durch die im Vergleich zu Betonstahl höhere Ausnutzung der Stäbe bei annähernd gleicher bezogener Rippenfläche sind größere Biegerissbreiten zu erwarten, was das Durchstanztragverhalten ungünstig beeinflusst. Die untere Bewehrung in den vorgefertigten Platten bestand aus B500 mit ∅8 mm/15 cm. Die gleiche Bewehrung wurde in den Versuchen mit vier Stoßfugen (vgl. Tab. 2) auch quer zu den Gitterträgern auf den Fertigteilplatten angeordnet. Die Abreiß-



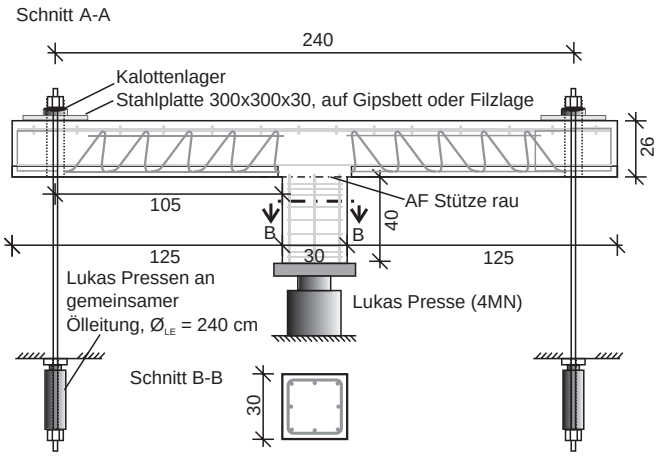


Bild 5 Aufsicht auf Versuchskörper mit Belastungspunkten und Versuchsaufbau
Top view of the test specimen with load points and test arrangement

bewehrung (vgl. Tab. 2) nach [4, 5], Abs. 9.4.1 wurde auf den Fertigteilplatten verlegt.

4.3 Versuchsdurchführung

In einer Entfernung von 1,2 m von der Stützenachse waren kreisförmig zwölf Abspannungen zur Lasteinleitung in der Platte angeordnet (Bild 5). Diese Abspannungen leiteten über Hohlkolbenzylinder (LUKAS, 590 kN) die Lasten in den Hallenboden ab. Zur Sicherstellung jeweils gleicher Abspannkräfte waren die zwölf Zylinder in einem geschlossenen Kreislauf gekoppelt. In allen Versuchen wurde die Belastung zunächst bis zur planmäßigen Gebrauchslast gesteigert und zehn Lastwechsel zwischen diesem Niveau und 50 % dieser Last gefahren. Das Niveau dieser Gebrauchslast entsprach der durch $\gamma = \gamma_M \times \gamma_F = 1{,}5 \times 1{,}4 = 2{,}1$ dividierten erwarteten Höchstlast. Anschließend wurde die Last in Stufen gesteigert, um auf diesen Stufen Rissbilder zu dokumentieren.

4.4 Versuchsergebnisse

In allen Versuchen wurde ein duktiles Bruchverhalten beobachtet, wie die Kraft-Durchbiegungskurven in Bild 6 belegen. Dabei entsprechen die gemittelten Durchbiegungen der Differenz der mittleren vertikalen Verschiebung der Platten in einer Entfernung von 1,2 m von der Stützenachse und der Platte an der Stütze. Bei einer Belastung von ca. 11 % bis 20 % der Bruchlast traten die ersten Biegerisse an der Plattenoberseite auf, was an dem Abfall der Biegesteifigkeit zu erkennen ist. Bei weiterer Laststeigerung bis etwa 2/3 der Höchstlast war ein annähernd lineares Kraft-Durchbiegungsverhalten zu beobachten, bevor zunehmend plastische Verformungen auftraten. Die

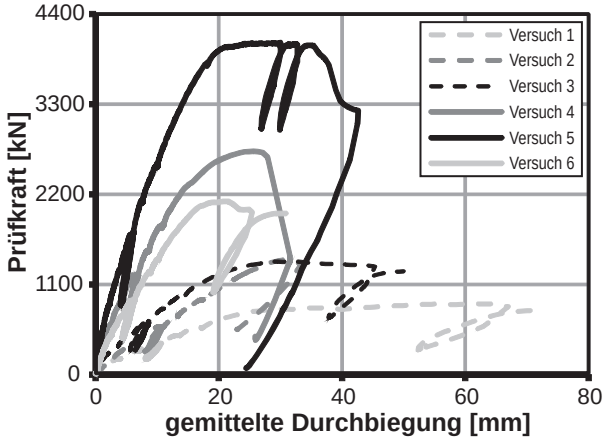


Bild 6 Last-Durchbiegungskurven der durchgeführten Versuche
Load-deflection-curves of the tests

Höchstlasten zur Ermittlung der Maximaltragfähigkeit wurden bei Durchbiegungen von 25 mm bis 63 mm erreicht (Tab. 3). Auf dem Niveau der Höchstlast waren ausgeprägte plastische Verformungen festzustellen. Nach Überschreiten der Durchbiegung bei Höchstlast erfolgte außer im Versuch 4 eine Entlastung der Versuchsplatte mit anschließender Wiederbelastung. Hierbei wurden Lasten von etwa 90 % der Höchstlast erreicht, ohne dass ein schlagartiges Versagen beobachtet wurde. Das Bruchverhalten kann somit als duktil eingestuft werden. In Bild 7 ist ein Rissbild einer Plattenoberseite nach Versuchsende von Versuch Nr. 3 mit einer mittleren Plattendicke von 260 mm dargestellt. Wie für Durchstanzversuche an Innenstützen üblich, entstanden zuerst radiale Biegerisse und mit weiter zunehmender Belastung kamen tangentiale Risse hinzu. Nach den Belastungsversuchen wurden die Platten in der Ebene der Stützenseitenflächen durchgesägt, um die innere Rissbildung zu bewerten.

Tab. 3 Ergebnisse der Durchstanzversuche nach [10]
Test results of punching shear tests according to [10]

Nr.	Ziel	Betondruckfestigkeit		Bruchzustand			
		$f_{c,m}{}^{A}$	$f_{c,m}{}^{F}$	s_{max}	V_u	$\alpha_{max,j}$	$V_u/(\alpha_{max,\,FDBII} \cdot V_{Rk,c})$
		N/mm²	N/mm²	mm	kN		
1	$V_{Rd,max}$	26,0	19,0	63,2	896	2,22	1,06
2	$V_{Rd,max}$	44,5	52,2	29,4	1461	2,25	1,08
3	$V_{Rd,max}$	21,9	22,7	32,7	1428	2,16	1,03
4	$V_{Rd,max}$	22,3	25,6	25,7	2796	2,42	1,16
5	$V_{Rd,max}$	48,2	45,6	42,6	4121	2,40	1,15
6	$V_{Rd,sy}$	45,6	48,1	20,8	2167	1,90	0,91
					Mittelwert (Nr. 1–5):	2,29	1,09
					Variationskoeffizient:	0,049	0,049
					5%-Quantile:	2,09	1,00

A: Aufbeton, F: Fertigteilplatte, s_{max}: gemittelte Durchbiegung bei Höchstlast, V_u: Bruchlast inkl. Eigengewicht, $\alpha_{max,j}$: Verhältnis V_u zur rechnerischen Tragfähigkeit $V_{Rk,c}$

Bild 7 Rissbild der Plattenoberseite nach dem Versuch Nr. 3
Crack pattern of the upper surface of the slab after testing specimen no. 3

Bild 8 zeigt beispielhaft das Schnittbild von Versuch Nr. 6 mit einer Plattendicke von 260 mm. Im Sägeschnitt parallel zu den Gitterträgern verlaufen die Risse vergleichsweise flach. Entlang der Untergurtstäbe der Gitterträger ist eine Ablösung der Betondeckung zu erkennen und im Bereich um die Stütze ist der Beton zerstört, was in der Endphase des Versuchs auftrat. Der Sägeschnitt senkrecht zu den Gitterträgern weist ein feiner verteiltes Rissbild auf. Es sind sowohl steile als auch geringfügig flachere Rissneigungen erkennbar, die von der Lage der Biegezugbewehrung ausgehen. Ein Riss in der Verbundfuge zwischen Fertigteilplatte und Aufbetonschicht konnte nicht beobachtet werden.

Die Bruchlasten und zugehörigen Durchbiegungen aller Versuche sowie die Betondruckfestigkeiten zum Versuchszeitpunkt sind in Tab. 3 zusammengestellt. Kurz vor Erreichen der Höchstlast war eine deutliche Zunahme der Plattendicke festzustellen, die auf eine innere Schub-

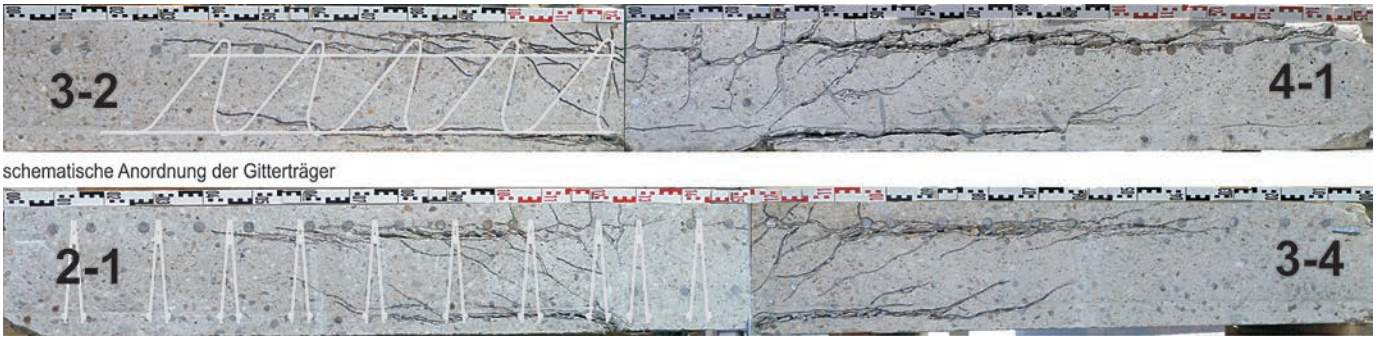


Bild 8 Rissbild im Sägeschnitt von Versuch Nr. 6 in zwei Achsen
Crack pattern in a saw cut of test specimen no. 6 in two axes

rissbildung zurückzuführen ist. Außerdem war eine Eindrückung der Stütze in die Platte zu beobachten. Anhand der durchgeführten Messungen und Rissbilder können die Versuche 1 bis 5 als Maximaltragfähigkeitsversuche eingestuft werden.

4.5 Auswertung

Die Auswertung der Versuche zur Maximaltragfähigkeit erfolgte auf der Grundlage der Prüfrichtlinie CUAP [6]. Der rechnerische Widerstand $V_{Rk,c}$ der Platte ohne Durchstanzbewehrung wurde unter Ansatz einer charakteristischen Betondruckfestigkeit von $f_{ck} = f_{cm} - 4$ MPa ermittelt. Dieser Vorhaltewert von 4 MPa wurde auch bei der Auswertung von Durchstanzversuchen mit Bügeln [9] angesetzt, welche als Grundlage für die Regelungen im Eurocode 2 und nationalem Anhang [5] diente. Hieraus errechnen sich die Verhältniswerte $\alpha_{max,j} = V_u/V_{Rk,c}$ nach Tab. 3. Aus diesen Einzelwerten bestimmt sich der festzulegende Erhöhungsfaktor $\alpha_{max,FDBII}$ für die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II als 5 %-Quantile für eine Aussagewahrscheinlichkeit von 75 %. Nach der Prüfrichtlinie darf von einem bekannten Variationskoeffizienten ausgegangen werden, was bei fünf Versuchen in Gl. (4) zu einem Wert k = 1,80 führt.

$$\alpha_{max,5\,\%} = \alpha_{max,Mittel}\,(1 - k \cdot v) \qquad (4)$$
$$\alpha_{max,5\,\%} = 2{,}29\,(1 - 1{,}80 \cdot 0{,}049) = 2{,}09$$

Die Auswertung wurde mit den Betondruckfestigkeiten der Aufbetonschicht durchgeführt. Dieses entspricht den Untersuchungsergebnissen in [12], wonach der Durchstanzwiderstand maßgeblich von der Festigkeit des Aufbetons bestimmt wird, und der dortigen Auswertung. Für die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II ergab sich so ein Erhöhungsfaktor von

$$\alpha_{max,FDBII} = 2{,}09 \qquad (3b)$$

In Tab. 3 sind zusätzlich die Versuchsergebnisse unter Ansatz von $V_{Rk,max} = \alpha_{max,FDBII} \cdot V_{Rk,c}$ ausgewertet. Danach ergibt sich eine 5 %-Quantile für die Verhältniswerte aus Versuch und Bemessung von $V_u/V_{Rk,max} = 1{,}00$, die das geforderte Sicherheitsniveau nach CUAP [6] erreicht.

In Bild 9 sind die Einzelwerte der erreichten Erhöhungsfaktoren in Abhängigkeit von den Systemparametern Betondruckfestigkeit und Biegezugbewehrungsgrad im Vergleich mit dem Mittelwert und dem Quantilwert dargestellt. Die annähernd horizontale Lage der Punkte belegt die trendfreie Erfassung dieser Parameter durch das Bemessungskonzept nach Gl. (2) mit (3) auch für die Filigran-Durchstanzbewehrung. Diese Aussage gilt auch für die anderen variierten Parameter Plattendicke, Stützendurchmesser und bezogener Stützenumfang u_0/d. Weder die Bauteilschlankheit und der Stabdurchmesser der Biegezugbewehrung noch die Fugenanordnung ließen für das getestete Durchstanzbewehrungssystem einen signifikanten Einfluss auf die Höchstlast erkennen.

Neben den Versuchen zur Bestimmung der Maximaltragfähigkeit wurde entsprechend der CUAP [6] im Versuch Nr. 6 das Bemessungskonzept im Hinblick auf ein Stahlversagen überprüft. Nach dem in [6] festgelegten Bemessungskonzept des Aufhängefachwerks ist in dem Bereich unmittelbar vor der Stütze die gesamte Deckenquerkraft von der Durchstanzbewehrung aufzunehmen. Nach bisheriger nationaler Zulassung für die FDB I [3] durften die Gitterträgerstäbe bis zu einer Entfernung 1,0d vom Stützenrand erfasst werden. Dieser sogenannte Bereich C wurde in der CUAP [6] in Angleichung an Regelungen für andere europäisch zugelassene Durchstanzbewehrungssysteme auf eine Entfernung von 1,125d zur Stütze ausgedehnt. In Versuch Nr. 6 betrug die charakteristische Stahltragfähigkeit der anrechenbaren Diagonalen im Bereich C $V_{yk} = 2093$ kN. Dieser Widerstand entspricht 97 % der erreichten Bruchlast bzw. einem Verhältnis von $V_{yk}/V_u = 0{,}97$ und bestätigt den Bemessungsansatz zum Nachweis der Stahltragfähigkeit.

4.6 Fugen im Bereich der Stütze

Der Abstand der Fertigteilplatten zur Stütze wird in der Praxis unterschiedlich ausgeführt. Erste Durchstanzversu-

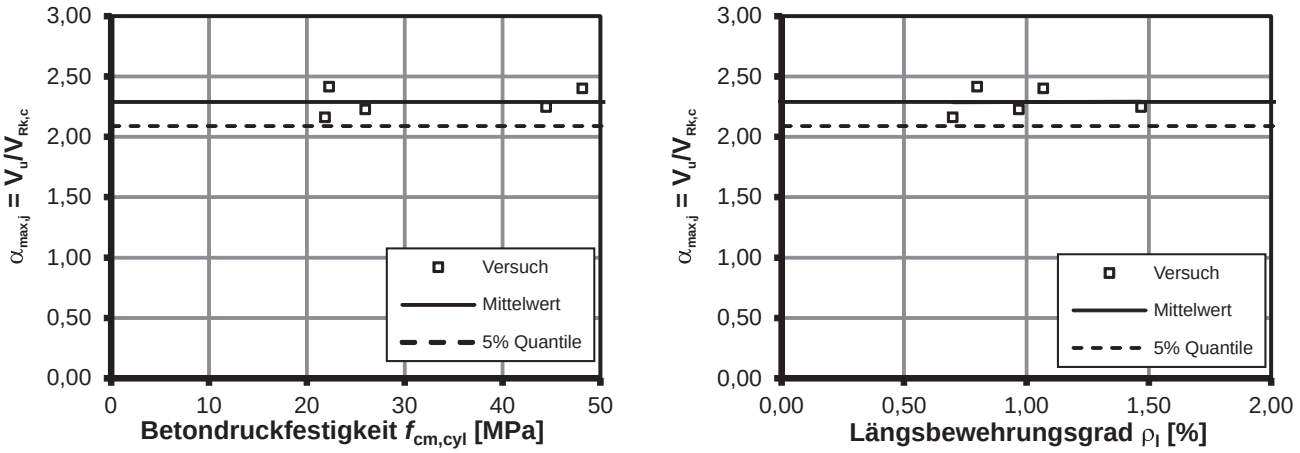


Bild 9 Erhöhungsfaktoren $\alpha_{max,j}$ in Abhängigkeit von Versuchsparametern, links: Betondruckfestigkeit, rechts: Biegezugbewehrungsgrad
Increasing factors $\alpha_{max,j}$ in dependence on test parameters, left: concrete compressive strength, right: longitudinal reinforcement ratio

che [2] wurden mit Abständen der Fertigteilplatten von der Stütze von ca. 3 cm durchgeführt. Nach der nationalen Zulassung [3] sollen die Fugen zwischen den Fertigteilplatten 4 cm breit sein. Durchstanzversuche mit solchen bzw. auch etwas schmaleren Fugen, welche zur Druckübertragung zusammen mit dem Aufbeton ausbetoniert wurden, zeigten keinen Einfluss auf den Durchstanzwiderstand. In einigen Bauvorhaben wurde daher auch zwischen der Stütze und der Fertigteilplatte ein Abstand von +4 cm eingeplant. Eine solche Ausführung hat den Vorteil, dass Abmessungs- und Lagetoleranzen ausgeglichen werden können. Nachteilig ist jedoch die zusätzlich erforderliche Abschalung der Fuge nach unten. Ein Heranführen der Fertigteilplatte an die Stütze ist im Hinblick auf eine vereinfachte Bauausführung erstrebenswert. Bei dieser Ausführung verlängern die teilweise sehr glatten Stirnflächen der Fertigteilplatten die Ebene der Stützenseitenfläche ins Platteninnere. Eine solche Ausführung wurde deswegen bisher kritisch beurteilt. Die neue Durchstanzbewehrung FDB II wurde auch im Hinblick auf diesen Anwendungsfall optimiert. Die neuen Bewehrungselemente werden an der Vorderkante der Fertigteilplatte, d. h. somit nahe an der Stütze, angeordnet ($\leq 0{,}35d$) und außerdem sind die Diagonalen leicht zur Stütze geneigt. Auch ein nahezu senkrechter Durchstanzriss in Verlängerung zur Stützenaußenfläche wird dadurch von Bewehrung durchdrungen.

Die Durchstanzversuche wurden mit unterschiedlichen Abständen der Fertigteilplatten zur Stütze von –1 cm (die Fertigteilplatte liegt auf der Stütze auf) bis +2 cm durchgeführt (Tab. 2). In Bild 10 sind die bezogenen Bruchlasten $V_u/V_{Rk,c}$ der Versuche zur Ermittlung der Maximaltragfähigkeit über den Abstand der Platten zur Stütze aufgetragen. Zum Vergleich ist auch der Mittelwert und der charakteristische Wert $\alpha_{max,\,FDBII} = 2{,}09$ dieser Versuche eingetragen. Anhand der Versuchsbeobachtungen und der trendfreien Darstellung ist kein signifikanter Einfluss des Abstands auf den Durchstanzwiderstand zu erkennen.

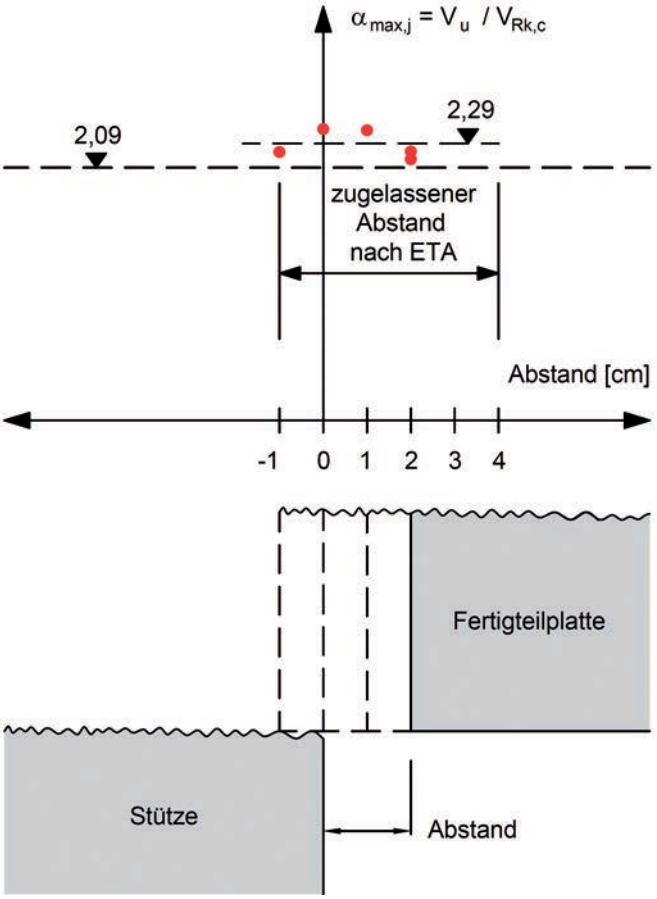


Bild 10 Bezogene Bruchlasten (Erhöhungsfaktoren $\alpha_{max,j}$) in Abhängigkeit vom Plattenabstand zur Stütze
Ratio values of maximum loads (increasing factors $\alpha_{max,j}$) in dependence on the slab distance to the column

5 Regelungen der europäisch technischen Zulassung (ETA)

5.1 Durchstanztragfähigkeit

Die Maximaltragfähigkeit von $2{,}09 \cdot V_{Rd,c}$ nach Gl. (3) mit (3b) ist in einem Rundschnitt in einer Entfernung von 2d um die Lasteinleitungsfläche (Stütze) nachzuweisen. Im Unterschied zu einer Bemessung von Bügeln als Durchstanzbewehrung nach [4, 5] darf für die FDB II kein Betontraganteil berücksichtigt werden. Höhere Durchstanzwiderstände bei Einsatz optimierter Durchstanzbewehrungen führen zu zunehmender Schubrissbildung, wodurch der Betontraganteil nur begrenzt wirksam ist. Im Bereich C (bis 1,125d vom Stützenanschnitt) ist daher die gesamte Deckenquerkraft ohne Abzug eines Betontraganteils von den anrechenbaren Gitterträgerstäben aufzunehmen. Bei der Ermittlung der Stahltragfähigkeit dürfen alle annähernd senkrechten Stäbe sowie die stark geneigten Stäbe der direkt auf die Stütze (Lasteinleitungsfläche) zulaufenden Elemente angerechnet werden. Die Lage der einzelnen Stäbe im Grundriss wird ihrem jeweiligen Schwerpunkt zugeordnet. Die anrechenbaren Stäbe sowie deren Lage sind in Bild 11 durch + und ○ gekennzeichnet.

Alle anrechenbaren Stäbe werden mit ihrer senkrecht zur Plattenebene wirkenden Komponente angesetzt. Für den Nachweis der Stahltragfähigkeit im Bereich C gilt Gl. (5). Der Erhöhungsfaktor η berücksichtigt die höheren, in den Versuchen getesteten Querschnittsflächen der Durchstanzbewehrung zur Erreichung der maximalen Durchstanztragfähigkeit und kompensiert die Vergrößerung des Bereichs C von 1,0d auf 1,125d gegenüber der bisherigen nationalen Zulassung [3]. Ohne den Faktor η hätte die Vergrößerung des Bereichs C zu einer Bewehrungsreduktion gegenüber der bisherigen nationalen Regelung geführt, die experimentell nicht abgesichert ist.

$$\beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,sy} = f_{yk}/(\gamma_S \cdot \eta) \sum (A_{sy} \cdot \sin \alpha_i) \qquad (5)$$

mit:

A_{sy} Querschnittsfläche eines einzelnen Stabes ($63{,}6\ mm^2$)

f_{yk} charakteristische Streckgrenze der Stäbe ($500\ N/mm^2$)

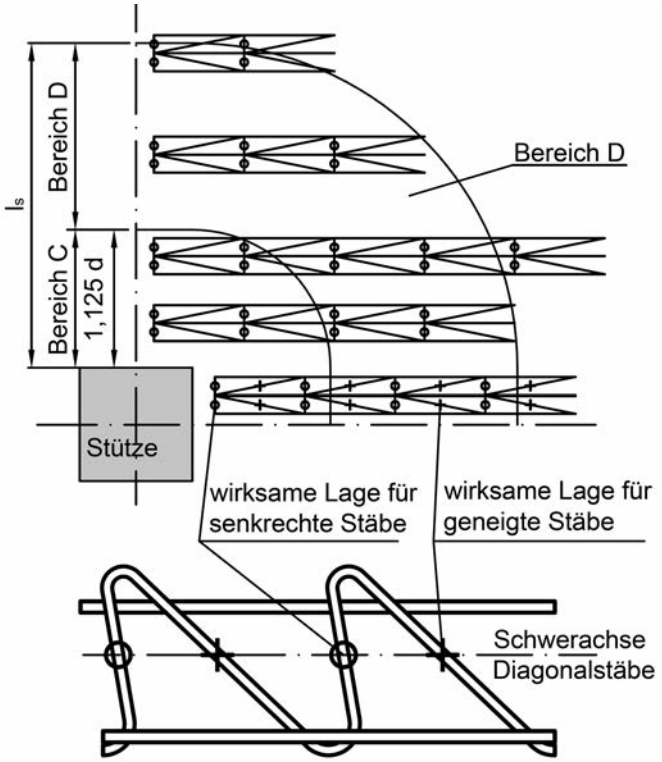


Bild 11 Lage der anrechenbaren Diagonalstäbe im Grundriss zur Bestimmung der Stahltragfähigkeit nach [7]
Position of the countable strut bars on top view to determine the load bearing steel capacity according to [7]

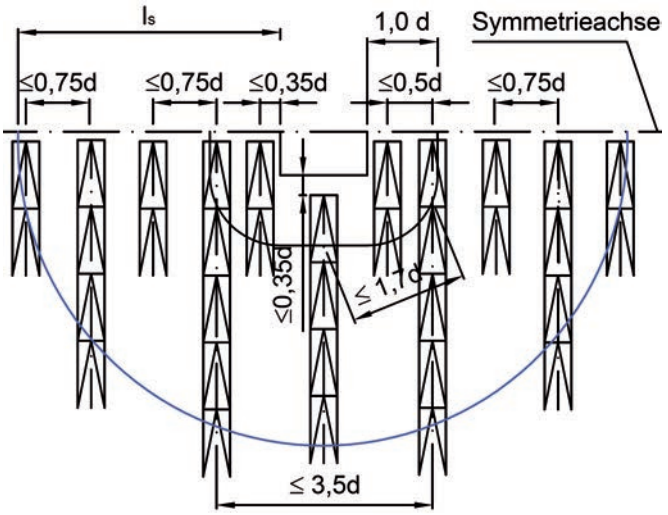


Bild 12 Maximale Abstände der Bewehrungselemente im Grundriss [7] am Beispiel einer Innenstütze
Maximum distance of the reinforcement elements on top view [7] on the example of an inner column

γ_S Teilsicherheitsbeiwert für Stahl (empfohlener Wert $\gamma_S = 1{,}15$)

α_i Neigungswinkel des einzelnen Stabes bezogen auf die Plattenebene

η Erhöhungsfaktor für die Bewehrungsermittlung
$\eta = 1{,}0$ für $V_{Ed}/V_{Rd,c} \leq 1{,}80$
$\eta = 1{,}5$ für $V_{Ed}/V_{Rd,c} = 2{,}09$
Zwischenwerte dürfen interpoliert werden

Im Bereich D, der den durchstanzbewehrten Bereich außerhalb C abdeckt, ist die erforderliche Bewehrung in Kreisringen mit einer Breite von maximal 0,75d für 50 % der Stützenlast nachzuweisen. Für diesen Nachweis gilt Gl. (6).

$$0{,}5\ \beta \cdot V_{Ed} \cdot (s/0{,}75d) \leq V_{Rd,sy} \qquad (6)$$

s Breite des gedachten Kreisringes im Bereich D mit $s \leq 0{,}75d$

Für die Abstände der Bewehrungselemente von der Stütze, die Achsabstände untereinander und die Abstände in Umfangrichtung gelten Maximalabstände, die als Vielfaches der statischen Höhe festgelegt wurden (Bild 12). Diese Maximalabstände sollen sicherstellen, dass mögliche Durchstanzrisse von den Diagonalstreben durchdrungen werden. Insbesondere die Maximalabstände in Umfangrichtung stellen darüber hinaus eine Bewehrungsverteilung für eine ausreichende Lastverteilung auf mehrere Bewehrungselemente sicher. Die erforderliche Größe des durchstanzbewehrten Bereichs bzw. die erforderliche Länge l_S von der Stütze bis zum äußersten anrechenbaren Stab ergibt sich aus dem Nachweis am äußeren Rundschnitt u_{out}. In einer maximalen Entfernung von 1,5d vom Bereich mit Durchstanzbewehrung ist die Querkrafttragfähigkeit der Platte ohne Querkraftbewehrung nachzuweisen. Hierfür gilt das Format der Gl. (2). Jedoch gilt analog zur Schubtragfähigkeit von Platten mit Linienlagerung nach Eurocode 2 ein reduzierter Beiwert von $C_{Rd,c} = 0{,}15/\gamma_c$. Dieser Wert wird auch in der europäischen Zulassung ETA [7] empfohlen, kann aber auf der Grundlage der ETA auch den jeweiligen nationalen Regelungen entnommen werden.

Ein kontinuierlicher Übergang zwischen der Tragfähigkeit im Durchstanzbereich mit $C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c$ und der außerhalb geltenden Schubtragfähigkeit mit $C_{Rd,c} = 0{,}15/\gamma_c$, wie er inhaltlich in der nationalen Zulassung [3] enthalten war, wurde nicht formuliert. Jedoch wird in der Zulassung für den Nachweis am äußeren Rundschnitt ein reduzierter Lasterhöhungsfaktor β_{red} nach Gl. (7) angegeben. Dieser berücksichtigt das Abklingen von Spannungsspitzen mit zunehmendem Abstand von der Stütze bzw. von der Lasteinleitungsfläche, da die Einflüsse aus der nichtrotationssymmetrischen Querkraftverteilung abnehmen. Die Reduktion dieses Lasterhöhungfaktors wurde so festgelegt, dass die aus dem Nachweis am äußeren Rundschnitt resultierenden Längen der Durchstanzbewehrungselemente etwa denen nach bisheriger nationaler Zulassung [3] unter zusätzlicher Berücksichtigung eines kontinuierlichen Überganges zwischen Durchstanztragfähigkeit und Querkrafttragfähigkeit ergaben.

$$\beta_{red} = \kappa_\beta \cdot \beta \geq 1{,}1 \qquad (7)$$

für Eckstützen gilt: $\kappa_\beta = 1/(1{,}2 + \beta/20 \cdot l_S/d)$ (8a)

für Randstützen gilt: $\kappa_\beta = 1/(1{,}2 + \beta/15 \cdot l_S/d)$ (8b)

Für die pauschalen Erhöhungsfaktoren von $\beta = 1{,}4$ für Randstützen und $\beta = 1{,}5$ für Eckstützen errechnen sich nach Gl. (7) mit (8) bereits bei kleinen Durchstanzbereichen mit $l_s = 1{,}0d$ bzw. $l_s = 1{,}6d$ reduzierte Abminderungsfaktoren von $\beta_{red} = 1{,}1$, sodass dieser Wert praktisch für alle Eck- und Randstützen gilt, in denen die pauschalen Erhöhungsfaktoren nach Eurocode 2 für den Nachweis am kritischen Rundschnitt angesetzt wurden. Die genaue Auswertung nach den Gln. (8a) bzw. (8b) kommt somit im Wesentlichen zum Tragen, wenn höhere Faktoren ß für den Nachweis am kritischen Rundschnitt nach [5] gesondert ermittelt werden. Für Wandecken und -enden wurden in der ETA [7] keine reduzierten Faktoren für den Nachweis am äußeren Rundschnitt festgelegt, d. h. hier gilt $\kappa_\beta = 1$. Obgleich auch in diesen Fällen eine Reduktion technisch begründet wäre, wurde in der ETA [7] hierauf verzichtet. Abweichende Regelungen zu den β-Werten in Zulassungen für andere Durchstanzsysteme sollten so vermieden werden, da diese systemunabhängig gelten.

5.2 Verbundtragfähigkeit bei Einsatz in Elementdecken

Die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II ist insbesondere für die Anwendung in Elementdecken konzipiert. Die Versuchskörper wurden daher wie eine teilvorgefertigte Decke mit horizontaler Verbundfuge ausgeführt. Trotz nicht aufgerauter und als glatt einzustufender Fertigteiloberfläche konnte kein Versagen der Verbundfuge festgestellt werden. Bereits nach nationaler Zulassung [3] für die Filigran-Durchstanzbewehrung war ein Verbundnachweis im Bereich bis zu einer Entfernung von 1,0d von der Stütze entbehrlich, da die gesamte Deckenquerkraft von den Diagonalstreben aufzunehmen ist, und die Querkraftbewehrung auf die Verbundbewehrung angerechnet werden darf. Der stützennächste Verbundnachweis wurde daher im kritischen Rundschnitt bei 1,5d geführt [1]. Für den Nachweis nach ETA [7] entspricht dieser Abstand der Ausdehnung des Bereichs C zuzüglich der halben Breite des ersten Bemessungsringes im Bereich D (1,125d + 0,75d/2) Der Nachweis in diesem Schnitt wurde anhand der neu durchgeführten Versuche überprüft. Die einwirkende Schubspannung lag in den drei Versuchen mit niedriger Betondruckfestigkeit über der rechnerischen Obergrenze nach Gl. (9), ohne dass ein Verbundversagen beobachtet wurde. Gl. (9) entspricht dem Nachweis der Verbundfuge nach Eurocode 2 [4, 5] (Bezeichnungen s. dort).

$$v_{Rd,i} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_N + \rho \cdot f_{yd} \,(1{,}2 \cdot \mu \cdot \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0{,}5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \quad (9)$$

$v_{Rd,i}$ = Bemessungswert der Schubtragfähigkeit in der Fuge

In der ETA [7] werden keine Angaben zur Lage der erforderlichen Bemessungsschnitte für den Verbundnachweis gemacht. Unabhängig von der Lage des kritischen Rundschnitts bei 2,0d für den Durchstanznachweis sollte der stützennächste Verbundnachweis wie nach bisheriger nationaler Zulassung [3] in einer Entfernung von 1,5d von der Stütze entfernt geführt werden. Für den ersten Nachweisschnitt außerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs ist dementsprechend der Verbundnachweis in einer Entfernung von 1,5d vom Durchstanzbereich bei u_{out} zu führen.

Die ETA [7] fordert bei Einsatz der Filigran-Durchstanzbewehrung eine mindestens „glatte“ Oberfläche der Fertigteilplatten. Eine unbehandelte Oberfläche ohne gesonderten Nachweis ist nach Eurocode 2 [4, 5] als glatt einzustufen und die Fertigteilplatten erfordern bei dieser Einstufung keine besondere Behandlung der Oberfläche. Der Nachweis der maximalen Verbundspannungsobergrenze nach Gl. (9) kann jedoch bei Ausnutzung der maximalen Durchstanzlasten die Ausführung einer rauen Fuge erforderlich machen. Eine solche Oberflächenausführung kann mittels des Sandflächenverfahrens [13] nachgewiesen werden. Nach nationalem Anhang zum Eurocode 2 [4, 5] ist für eine raue Fuge mindestens eine mittlere Rautiefe von $R_t = 1{,}5$ mm nachzuweisen. Solche Rautiefenmessungen können auch in Plattenbereichen neben der Durchstanzbewehrung erfolgen. Auf eine mechanische Aufrauung kann verzichtet werden, indem vorgenannter Grenzwert allein durch eine gut eingestellte Betonrezeptur und -konsistenz erreicht wird.

5.3 Konstruktion

Die nach ETA [7] zulässigen Plattendicken liegen zwischen 18 cm und 40 cm. Die Produktionshöhen der Bewehrungselemente betragen zwischen 13 cm und 30 cm. Da die Plattendicke der Höhe der Durchstanzbewehrung zuzüglich der Betondeckung an der Plattenunterseite und -oberseite entspricht, bleiben Plattendicken über 35 cm auf Anwendungen mit großer Betondeckung begrenzt.

Die ETA [7] fordert einen Mindestüberstand der Schlaufen am Obergurt von 20 mm und begrenzt den Überstand auf den maximal in den Bauteilversuchen geprüften Wert von 60 mm und den Durchmesser der Biegezugbewehrung auf 25 mm.

Fugen zwischen den Fertigteilplatten müssen im Durchstanzbereich mindestens 4 cm breit ausgeführt und zusammen mit dem Aufbeton ausbetoniert werden. Diese Fugenbreite ermöglicht das bedingungsgemäße Einbringen des Betons und stellt eine Druckkraftübertragung zwischen den Fertigteilplatten über die Fuge hinweg sicher. Diese Ausführung hat sich bewährt [1]. Allein bei Verwendung eines Aufbetons mit Größtkorn größer als 16 mm kann eine breitere Fuge sinnvoll sein. Die ETA [7] erlaubt für dieses Durchstanzsystem aufgrund der positiven Versuchsergebnisse (Bild 10) Abstände der Fertigteilplatten zur Stütze zwischen –1 cm und +4 cm, sofern die Betonierfuge der Stütze nicht oberhalb der Unterkante der Elementplatte liegt. Die Zulassung erfasst somit auch eine Anordnung der Fertigteilplatten direkt am Stützenrand (Bild 13) unter Berücksichtigung von positiven und

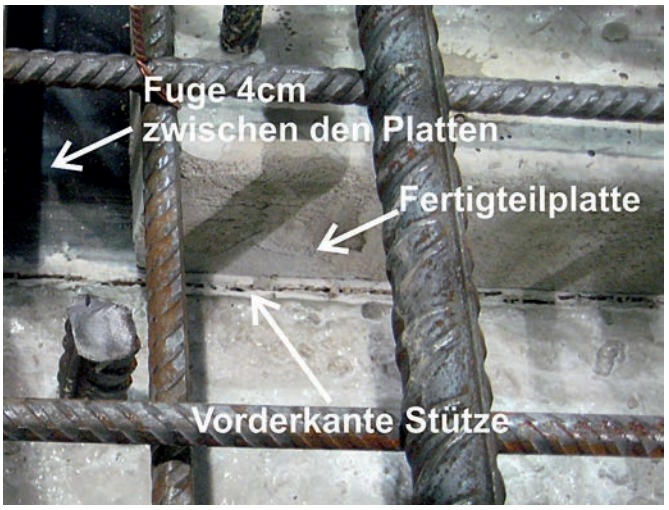


Bild 13 Anordnung der Fertigteilplatte mit Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II direkt an der Stütze
Arrangement of the precast slab with Filigran-Punching-Shear-Reinforcement FDB II right to the column edge

negativen Abweichungen von der Solllage. Unabhängig von der in der Praxis gewählten Anordnung der Fertigteilplatten zur Stütze sollten die stützennächsten Bewehrungselemente möglichst nah am Stützenrand angeordnet werden. Die ETA [7] gibt einen Abstand der stützennächsten Bewehrungsstäbe von maximal 0,35d (vgl. Bild 12) vor. Der Schwerpunkt (wirksame Lage) der geneigten Stäbe soll jedoch nicht über der Stützenquerschnittsfläche liegen. Dieses ist durch den Überstand der Untergurte auch dann gewährleistet, wenn die Bewehrungselemente direkt am Rand der Fertigteilplatte angeordnet sind und der Abstand der Fertigteilplatte zur Stütze null beträgt.

Für die Bemessung der Durchstanzbewehrung liegt ein Bemessungsprogramm [14] vor. Hiermit können die Spannungsnachweise geführt, die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte ermittelt und der Verbundfugennachweis im Falle einer Elementdecke geführt werden.

6 Zusammenfassung

Zur Erlangung einer europäisch technischen Zulassung (ETA) für eine Durchstanzbewehrung aus speziellen Gitterträgern wurden sechs zentrische Durchstanzversuche durchgeführt. Die Versuchskörper wurden mit horizontaler Verbundfuge und unterschiedlich angeordneten Fertigteilplatten konzipiert. Trotz unbehandelter Oberfläche der Fertigteilplatten und somit als glatt einzustufender Verbundfuge konnte kein Verbundversagen beobachtet werden. Die Sägeschnitte der Versuchskörper nach dem Durchstanzversagen der Platte zeigten eine feine Verteilung der Durchstanzrisse, die von den Stäben der Durchstanzbewehrung durchdrungen war.

Die Auswertung der fünf Versuche zur Bestimmung der Maximaltragfähigkeit erfolgte auf der Grundlage von Eurocode 2 in Verbindung mit dem nationalen Anhang für Deutschland [4, 5]. Dieser Bemessungsansatz erfasst die Ergebnisse der Versuche mit Plattendicken zwischen 18 cm und 36 cm, mittleren Betondruckfestigkeiten von ca. 20 N/mm^2 bis ca. 50 N/mm^2 und Längsbewehrungsgraden von 0,7 % bis 1,5 % nahezu trendfrei. Der Durchstanzwiderstand der Platte wird durch die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II gegenüber dem Widerstand von Platten ohne Durchstanzbewehrung mehr als verdoppelt ($\alpha_{max,\,FDBII} = 2{,}09$).

Das Bemessungskonzept zur Stahltragfähigkeit wurde anhand eines Versuchs mit reduzierter Menge an Durchstanzbewehrung überprüft. Entsprechend einer früheren nationalen Zulassung für eine geometrisch ähnliche Durchstanzbewehrung ist im stützennahen Bereich eine Bewehrung für die gesamte Stützenlast anzuordnen. Im Anschluss an diesen Bereich erfolgt der Nachweis der erforderlichen Bewehrung in Kreisringen.

Für die untersuchte Durchstanzbewehrung wurde eine europäisch technische Zulassung [7] erteilt. Der Anwendungsbereich dieser Filigran-Durchstanzbewehrung regelt und erfasst ausdrücklich auch die Anwendung in teilvorgefertigten Elementdecken.

Literatur

[1] Furche, J.; Bauermeister, U.: *Flachdecken in Elementbauweise – Hinweise zum Durchstanznachweis nach DIN 1045-1*. Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft 4, S. 223–232.

[2] Eligehausen, R.; Vocke, H.; Clauss, A.; Furche, J.; Bauermeister, U.: *Neue Durchstanzbewehrung für Elementdecken*. Beton- und Stahlbetonbau, 98 (2003), Heft 5, S. 334–344.

[3] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): *Zulassung Z-15.1-217 vom 3.8.2009 für Filigran-Durchstanzbewehrung nach DIN 1045-1:2008-8.*

[4] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau*; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004-AC:2010, Januar 2011.

[5] DIN EN 1992-1-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau*; Januar 2011.

[6] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): *Supplement to Common Understanding of Assessment Procedure (CUAP) 03.01/05, Lattice-girders for the increase of punching resistance in flat slabs on column.* January 2013 (unveröffentlicht).

[7] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): *Europäisch Technische Zulassung ETA-13/0521 für Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II, 13.6.2013.*

[8] Beutel, R.; Hegger, J.: *The effect of anchorage on the effectiveness of the shear reinforcement in the punching zone.*

In: Cement & Concrete Composites (2002), Nr. 24, S. 539–549.

[9] SIBURG, C; HÄUSLER, F.; HEGGER, J.: *Durchstanzen von Flachdecken nach NA(D) zu Eurocode 2*. Bauingenieur, Band 87, Mai 2012, S. 216–225.

[10] HEGGER, J.; SIBURG, C.: *Versuchsberichte der RWTH Aachen, Lehrstuhl und Institut für Massivbau (IMB) zu Durchstanzversuchen zur Maximaltragfähigkeit von Gitterträgern* Typ FDB-II: 275/2012 vom 17.09.2012; 298/2012 vom 16.1.2013; 300/2012 vom 16.1.2013; 301/2012 vom 16.1.2013; 302/2012 vom 16.1.2013 (zusammen mit Kueres, D.); 310/2013 vom 12.3.2013 (unveröffentlicht).

[11] HEGGER, J.; BEUTEL, R.; KERKENI, N.: *Einfluss der Deckenschlankheit auf den Durchstanzwiderstand nach DIN 1045-1, SIA 262, Ö-Norm B4700(01) und Eurocode prEN 1992-1-1*. Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), Heft 1, S. 23–32.

[12] HÄUSLER, F.: *Zum maximalen Durchstanzwiderstand von Flachdecken mit und ohne Vorspannung*. Dissertation, RWTH Aachen, 2009.

[13] FURCHE, J.; BAUERMEISTER, U.: *Elementbauweise mit Gitterträgern*. In: Beton-Kalender 2009 – Band 1: Konstruktiver Hochbau, aktuelle Massivbaunormen. Berlin, 2009.

[14] BAUERMEISTER, U.: *ProFi-2, Bemessungsprogramm zum Durchstanznachweis nach ETA- 13/0521*. www.filigran.de, 2013.

Autoren

Dipl.-Ing. Carsten Siburg
csiburg@imb.rwth-aachen.de

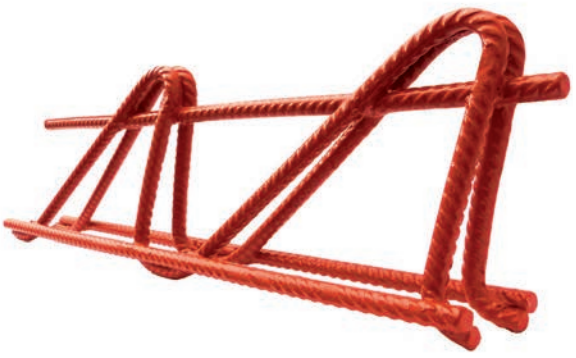
Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
jhegger@imb.rwth-aachen.de

RWTH Aachen
Lehrstuhl und Institut für Massivbau
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52074 Aachen

Dr.-Ing. Johannes Furche
j.furche@filigran.de

Dipl.-Ing. Ulrich Bauermeister
u.bauermeister@filigran.de

Filigran Trägersysteme GmbH & Co. KG
Zappenberg 6
31633 Leese



FILIGRAN Trägersysteme GmbH & Co. KG
Zappenberg 6
D- 31633 Leese

email: info@filigran.de
fon: +49 (0)5761 / 9225-0
web: www.filigran.de