

**Durchstanznachweis nach Sektorenmodell mit Filigran FDB - Elementen****Einleitung**

Aufgrund zahlreicher Anfragen haben wir zu unserem bisherigen Programm

V.0012 „Durchstanzen nach Sektorenmodell für Flächen- und Sonderlasten“

mit Bügel- oder Kopfbolzenbewehrung eine Ergänzung

V.0013 „Durchstanzbewehrung mit Filigran FDB – Elementen“

entwickelt.

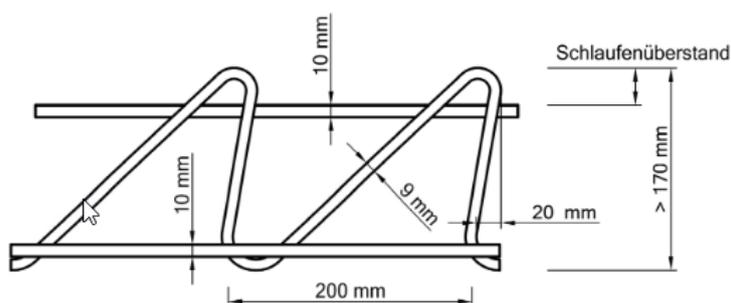
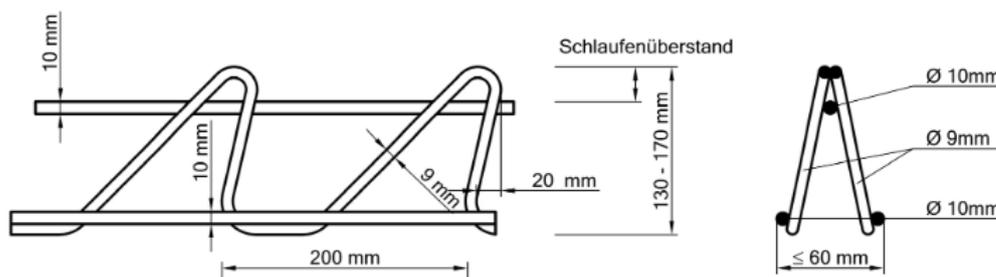
Das neue Modul setzt als Programm V.0013 auf unser bisheriges Programm V.0012 auf.

Die dort beschriebenen Grundtheorien zur Berechnung gelten auch hier.

Theoretische Erörterungen**Filigranelemente**

Die Filigranelemente FDB weisen eine starre Geometrie mit einer Standardschlaufenlänge von 20 cm und feste Durchmesser der Gurte \varnothing 10mm und Profile \varnothing 9 mm aus.

Sie können deshalb nicht bezogen auf die Deckenstärke angepasst bzw. in ihren Stababmessungen wie z.B. Kopfbolzen dimensioniert werden.

**Bezeichnungsbeispiel:**

FDB 16/4 - 60

Filigran®-Durchstanzbewehrung FDB

Gesamthöhe: 16 cm

Schlaufenüberstand oben: 4 cm

Elementlänge: 60 cm

(Schlaufenüberstand unten ca. 9 mm¹⁾)



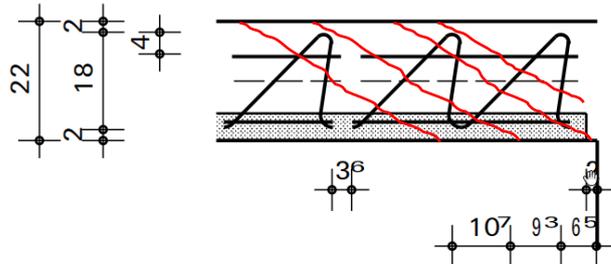
Jeder Elementtyp weist daher andere Schlaufenneigungen und Schwerpunktabstände auf. Die folgende Darstellung zeigt den Typ FDB 18 / 4 mit seinen vom Programm ermittelten Abmessungen und rechnerisch anzusetzenden Schlaufenquerschnitten.

FDB Filigranelement

α_1 : Neig. Diagonale α_2 : Neig. steiler Schenkel
 sw_1 : 1. Schlaufenschwerpunktsabstand
 sw_2 : 2. Schlaufenschwerpunktsabstand
 As_1 : As Diagonale As_2 : As steiler Schenkel

Typ FDB 18 / 4

Höhe 18 cm Schlaufenüberstand 4 cm
 $\alpha_1 = 46.0^\circ$ $\alpha_2 = 81.0^\circ$
 $sw_1 = 9.3 \text{ cm}$ $sw_2 = 10.7 \text{ cm}$
 $As_1 = 0.9 \text{ cm}^2$ $As_2 = 1.3 \text{ cm}^2$



Darüber hinaus können die Elemente immer nur orthogonal und nicht radial verlegt werden. Damit weisen sie bei jeder betrachteten Querkrafttragrichtung im Durchstanznachweis unterschiedliche Bewehrungsmengen und -raster auf.

Der in der Skizze dargestellte Versatz in Elementlängsrichtung gibt für den jeweiligen Elementtyp bezogen auf die statische Deckenhöhe d den maximal möglichen Elementabstand wieder, der noch die in [4] 2.4.1 Gleichung (2.21) geregelten Bewehrungsabstände von $\leq 0.75d$ im Bereich D einhält. Hierauf wird später noch bei der Konstruktion eingegangen.

Berechnung und Bemessung

Die einschlägige Zulassung [3] und Technische Vorschrift [4] sind bis heute die einzigen technischen Richtlinien zur Durchstanzbemessung mit Filigranelementen FDB. Sie gelten ausschließlich für Flächenlasten und sind für Sonderlasten nicht zulässig und auch nicht geeignet.

Auch das Nachweisverfahren nach [1] 6.4 und [2] gilt gemäß 6.4.1 (5) nur für Flächenlasten.

Da Sonderlasten immer individuelle Beanspruchungen in jedem Bemessungsschnitt erzeugen, kann ein Nachweis nur über eine rechnerische Analyse gelingen.

Ein einfaches Auszählen nach [4] 2.4.1 Gl. (2.20) der in einem vorgegebenen Bereich vorhandenen Elemente reicht hier nicht aus.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, für jeden Typ bzw. jede Deckenstärke sowohl in Längs- als auch in Querrichtung ein eigenes Bemessungsraster zu ermitteln und bei den Nachweisen zu berücksichtigen.

Die Elemente weisen durch ihre Neigung in Längsrichtung eine sehr gute „Vernadelung“ der Durchstanzrisse auf.

Nach [3] Anlage B6 sind deswegen offensichtlich in Längsrichtung die einzelnen Schlaufenschenkel mit ihrer Schwerpunktlage rechnerisch anzusetzen. Dies ist bezogen auf ihre aufhängende Tragwirkung, die nach [4] 2.4.1 Gleichung (2.21) bemessen werden muss, zumindest diskussionswürdig, da die Aufhängung der Betondruckstreben durch die Umleitung in die Schlaufen weiter unten zumindest einen nennenswerten Beitrag liefert, d.h. die diagonalen Schlaufenanteile sind in Längsrichtung für diese Tragwirkung auch noch weiter außen wirksam.

In diesem Fall würde sich jedoch für den Schlaufenabstand unten konstant 20 cm ergeben und damit nicht mehr dem in [4] 2.4.1 mit Gleichung (2.21) geforderten maximalen Bemessungsabstand von $\leq 0.75d$ entsprechen.

Dieser Abstand ist darüber hinaus bei dünnen Decken schon in der Schwerpunktlage nicht möglich, da z.B. bei einer Decke mit $h = 18 \text{ cm}$ und $d = 15 \text{ cm}$ sowie einem 14 cm hohen Element ein Bewehrungsabstand von ca. $14 \text{ cm} > 0.75d = 11.3 \text{ cm}$ vorhanden ist. Dies kann rechnerisch jedoch mit einer konstanten Druckstrebenneigung von $1/1.5d$ berücksichtigt werden.



In Querrichtung sind maximale Achsabstände von $0.50d$ im Bereich C mit einer Breite von $1.125d$ (2 Elemente) und $0.75d$ in allen anderen Feldern gemäß [3] Anlage B2 vorgeschrieben. Hier dürfen laut Zulassung nur die annähernd senkrechten Schlaufenteile rechnerisch berücksichtigt werden.

Dies ist nicht ganz nachvollziehbar, da die nachzuweisende Aufhängung der Querkräfte auch in Querrichtung möglich ist und die Querneigung der Diagonalen optimal die radialen Durchstanze kreuzt.

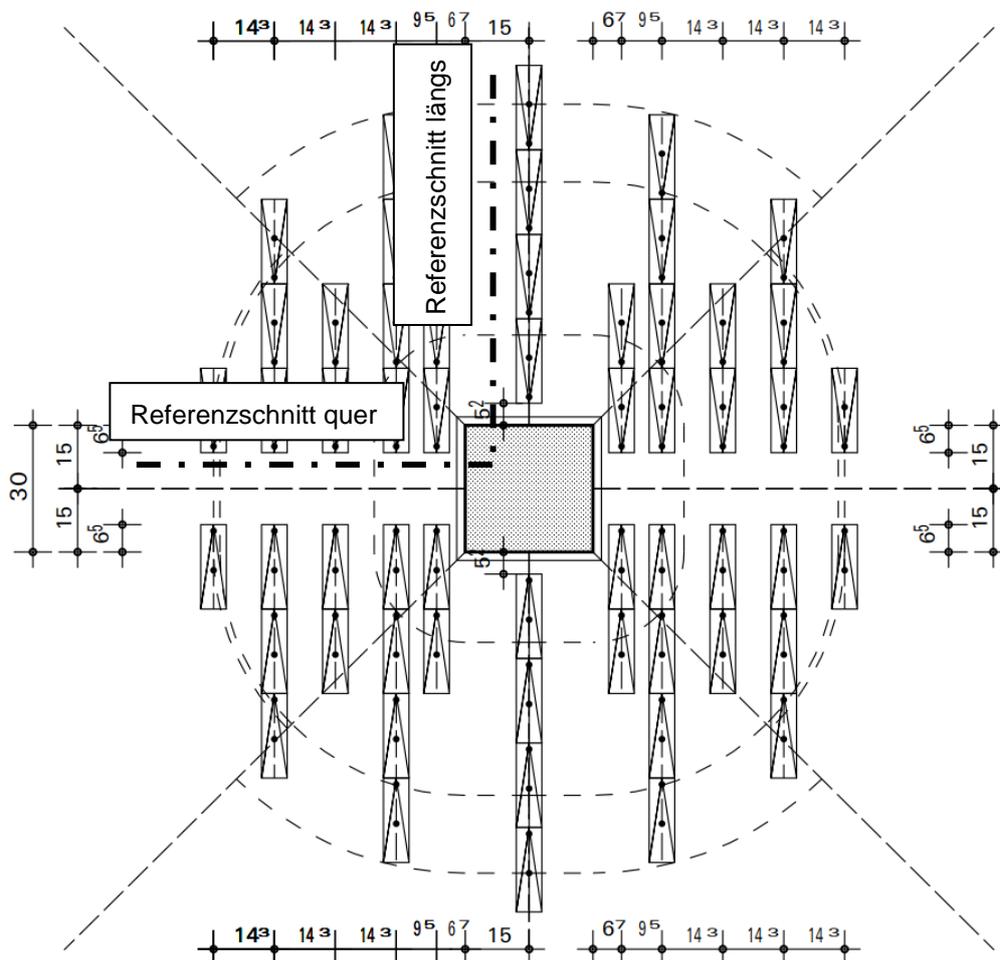
Dazu kommt, dass zumindest in den ersten beiden seitlichen Elementreihen die Längsrichtung zumindest zu den Enden hin noch nahezu radial verläuft.

Insofern sind die Decken in dieser Richtung ohne Berücksichtigung der diagonalen Schlaufenteile i.d.R. überbemessen.

Der Abstand vom Stützenrand ist maximal mit $0.35d$ zugelassen. Dieser Abstand sollte zumindest in der Längsrichtung auch ausgenutzt und das Element entsprechend weit vom Stützenrand entfernt eingebaut werden. Ein Verlegen direkt an den Stützenrand führt dazu, dass die erste untere Schlaufe aufgrund der Betondeckung im Bereich der direkt in die Stütze verlaufenden Druckdiagonalen liegt und ihre aufhängende Funktion zumindest beeinträchtigt wäre.

Aus diesen Überlegungen heraus teilen wir jeden Deckenquadranten in 2 Hälften und ermitteln hierfür die tatsächliche größte Beanspruchung aus allen Kombinationen der einwirkenden Flächen- und Sonderlasten im Schnitt 2d. Jede Quadrantenhälfte wird dann für die bei ihr auftretende größte Belastung bemessen und konstruiert.

Je nach Anordnung ergeben sich jeweils ein Referenzschnitt in Verlegerichtung und ein zweiter Referenzschnitt quer dazu.





Zunächst wird im kritischen Rundschnitt 2d überprüft, in welchen Hälften der Quadranten Durchstanzbewehrung erforderlich ist.

Über eine vorgeschaltete Ermittlung wird die erforderliche Mindestbiegebewehrung berechnet und ggf. die eingegebene Bewehrung angepasst.

Bemessung mit Durchstanzbewehrung

Im **Referenzschnitt längs** wird ein Bemessungsschnittraster exakt nach der Schwerpunktlage aller Schlaufenteile angelegt. Startpunkt am Stützenrand ist die Stelle $0.35d$. In jedem Schnitt wird die erforderliche Bewehrung mit den Schlaufenquerschnitten verglichen und der maximal mögliche Querabstand der Elemente unter Einhaltung der maximalen Abstände nach Zulassung ermittelt.

Im **Referenzschnitt quer** wird das Bemessungsraster zunächst in den nach Zulassung maximal möglichen Verlegeabständen eingerichtet. Die rechnerisch erforderliche Bewehrung wird mit der vorhandenen Schlaufenbewehrung verglichen, wobei hier gemäß Zulassung nur die annähernd senkrechten Schlaufenteile gemäß [3] Anlage B6 angerechnet werden.

Sollte die vorhandene Bewehrung nicht ausreichen, wird das Bemessungsschnittraster iterativ solange verkleinert, bis die vorhandene Bewehrung größer als die erforderliche Bewehrung ist. Obwohl sehr konservativ, werden hier die verkürzten maximalen Abstände nach Zulassung im Bereich C von $0.5d$ eingehalten.

Da bei der Berechnung rechnerisch angenommen wird, dass die volle Querkraft in den ersten beiden Schnitten aufgenommen wird, wären die reduzierten seitlichen Elementabstände von $0.50d$ in Querrichtung und $0.75d$ in Längsrichtung bei $v_{Ed} > 1.8 v_{Rdc}$ nicht notwendig. Sie resultieren nach [5] 5.1 aus der nicht abgesicherten Verringerung der Bewehrung bei der Vergrößerung des Bereichs C von $1.0d$ auf $1.125d$ und einem $v_{Ed} > 1.8 v_{Rdc}$. Dies könnte im Programm rechnerisch durch ein Angleichen der Druckdiagonale berücksichtigt werden und damit die verringerten Reihenabstände im Bereich C vermieden werden.

In beiden Referenzschnitten wird rechnerisch die Neigung der ersten Betondruckstrebe so angelegt, dass den Elementen der ersten beiden Bemessungsschnitte die volle Querkraft zugewiesen wird. Alle folgenden Bemessungsschnitte werden gemäß [4] 2.4.1 Gleichung (2.21) mit einer Betondruckstrebenneigung von $1 / 1.5d$ bemessen.

Durchstanzbewehrung Filigran FDB

Lage H: Quadrant / Hälfte (1 = $0^\circ - 45^\circ$, 2 = $45^\circ - 90^\circ$ rechtsdrehend)

Richt. : Verlegerichtung der Elemente a : Schnittabstand vom Stützen-bzw. Kopfrand

a : Schnittabstand vom Stützen- bzw. Kopfrand

max_s_q : maximaler Elementabstand quer $a_{sw,v}$: vorhandene Schlaufenbewehrung

outR : uout Betondurchstanzwiderstand outV : uout Betonquerkraftwiderstand

Quadr. Lage	Richt. H	a cm	u_i m	v_{Ed} N/mm ²	$v_{Rd,c}$ N/mm ²	$v_{Rd,cs}$ N/mm ²	A_{sw} cm ²	a_{sw} cm ² /m	max_s_q cm	$a_{sw,v}$ cm ² /m		
unt/li 1	rad.	6.7	0.20	2.004	0.560	2.004	0.94	4.66	23.8	5.29		
		16.0	0.28	1.467	0.560	1.467	0.83	3.00	23.8	3.85		
		26.7	0.36	1.116	0.560	1.116	0.62	1.71	47.5	2.65		
		36.0	0.43	0.921	0.560	0.921	0.61	1.41	47.5	1.93		
		46.7	0.52	0.761	0.560	0.761	0.60	1.17	47.5	2.65		
		56.0	0.59	0.661	0.560	0.661	0.60	1.01	47.5	1.93		
		66.7	0.67	0.571	0.560	0.571	0.59	0.88	47.5	2.65		
		76.0	0.75	0.509	0.560	0.509	0.58	0.78	47.5	1.93		
		outR	66.1		0.575	0.560						
		outV	76.0		0.509	0.495						
		unt/li 2	quer	6.7	0.20	2.004	0.560	2.004	0.87	4.31	9.5	6.28
				16.2	0.28	1.458	0.560	1.458	0.90	3.26	14.3	6.28
				30.5	0.39	1.028	0.560	1.028	0.88	2.25	14.3	6.28
				44.8	0.50	0.785	0.560	0.785	0.86	1.72	14.3	6.28
59.1	0.61			0.633	0.560	0.633	0.85	1.39	14.3	6.28		
outR	66.1				0.575	0.560						
outV	76.0				0.509	0.495						



Der Berechnungsausschnitt zeigt je Quadranten-Hälfte jeweils das Bemessungsraster längs (rad.) und quer. In den letzten beiden Spalten werden der maximal mögliche Verlegeabstand in Querrichtung und die daraus ermittelte vorhandene Bewehrung ausgegeben.

Zur Bestimmung der letzten Bewehrungsreihe werden die äußeren Rundschnitte mit dem Durchstanz- (u_{outR}) und dem Querkraftwiderstand (u_{outV}) iterativ ermittelt.

Nach anerkanntem Tragwerksmodell ist die Rissbildung am Schnitt u_{outR} soweit fortgeschritten, dass der Beton die außerhalb dieses Schnittes angrenzende Druckstrebe mit einer Neigung von $1/1.5d$ und einer Breite von $\leq 0.75d$ nicht mehr aufhängen kann, d.h. spätestens in der Schwerelinie dieser Druckstrebe muss die äußere Aufhängebewehrung ansetzen. Da die Querkraft in der Regel nach außen hin abnimmt, liegt diese Schwerelinie bei ca. $0.75d \times 0.60 = 0.45d$. Die letzte Bewehrungsreihe wird folglich bei $u_{outR} - 0.45d$ festgelegt.

Der Abstand von u_{outV} zu u_{outR} ist geometrisch nicht von d sondern ausschließlich von der Ausbreitung des Stanzbereichs abhängig, da die Differenz von 20% zwischen Querkraft- und Durchstanzwiderstand an jeder Stelle einen anderen Abstand ergibt und nicht immer gleich ist. Bei einem u_{outV} z.B. von 1.20 m liegt normalerweise u_{outR} bei 1.00 m und bei u_{outV} von 0.60 m bei 0.50 m. Bei dem oben gezeigten Beispiel liegt er bei 0.52d.

In Fällen, in denen v_{min} als Durchstanzwiderstand greift, ist sogar $u_{outV} = u_{outR}$. Das Gleiche gilt für den Fall einer Sonderlast, die von der Stütze bis zur Last hin die Beanspruchung $v_{ed} > v_{Rd,c}$ aufweist. Umgekehrt kann theoretisch u_{outV} wesentlich größer als u_{outR} werden, wenn eine Sonderlast die Beanspruchung im gesamten Bereich zwischen Querkraft- und Durchstanzwiderstand hält.

Diese Erörterung zeigt, dass ein festgelegter maximaler Abstand der letzten Bewehrungsreihe von u_{outV} mit $\leq 1.5d$ insbesondere bei Sonderlasten überhaupt nicht logisch ist.

Die teilweise übliche Ermittlung von l_s (letzte Bewehrungsreihe) über einen starren Abstand von $u_{outV} - 1.50d$ ist folglich nicht korrekt und kann weit auf der unsicheren Seite liegen. Diese Vorgehensweise ist auch durch die Norm nicht gedeckt, da diese den Abstand von l_s zu u_{outV} nach [1] 6.4.5 (4) nicht starr sondern nur als Grenzwert formuliert und eine Durchstanzbewehrung fordert, solange diese erforderlich ist.

Auch die entsprechenden Skizzen in der Zulassung sind in diesem Fall nicht vollständig bzw. widersprüchlich, da der Abstand nicht mit $1.5d$ sondern gemäß [1] mit $\leq 1.5d$ angegeben werden müsste.

Wir haben schon bei der älteren Zulassung, als die Bemessung noch integriert war, auf diesen Punkt aufmerksam gemacht und eine entsprechende Anfrage an das DIBt gerichtet.

Das DIBt schreibt dazu:

„Sehr geehrter Herr Vogelsang,

Bei Unklarheiten, insbesondere mit Prüfengeuren, verweisen wir i.d.R. auf den Ingenieurverstand und auf die Regeln in DIN EN 1992-1-1, auf die grundsätzlich auch – wenn auch etwas „versteckt“ – in der ETA verwiesen wird.

Nun zu Ihren Anmerkungen:

- Grundsätzlich gilt IMMER, das der NA bei Anwendung des Eurocodes zu berücksichtigen ist, auch wenn dies nicht explizit in der Zulassung ausformuliert wird. Selbstverständlich haben wir versucht, soviel wie möglich aus unserem NA zu übernehmen, um unser Sicherheitsniveau sicherzustellen.

- Zu 4.2: Bei der Angabe von u_{out} in Bild 2 und Bild 3 handelt es sich nicht um explizite Festlegungen des Bereichs D, sondern um maximale Abstände der Anker. Eine zahlenmäßige Festlegung (als Konstante) zu Bereich D gibt es m.E. in der ETA nicht (hoffe ich). Allerdings räumen wir ein, dass es ggf. missverständlich sein kann, dies jedoch durch den weiteren Kontext klargestellt wird.



Bei ungleichmäßiger Belastung durch Sonderlasten ergeben sich in den einzelnen Quadranten bzw. deren Hälften unterschiedliche Beanspruchungen.

Dies führt in jeder Quadrantenhälfte zu einem anderen rechnerischen I_s .

Das Beispiel zeigt eine Situation, in der links von der Stütze in der Achse eine Einzellast auf der Decke steht. Daraus ergibt sich in diesem Fall, dass die Elemente in den beiden Quadrantenhälften bis zur Stütze hin eingebaut werden müssen, da die Beanspruchung v_{Ed} bis zur Stütze in jedem Schnitt größer als $v_{Rd,c}$ ist.

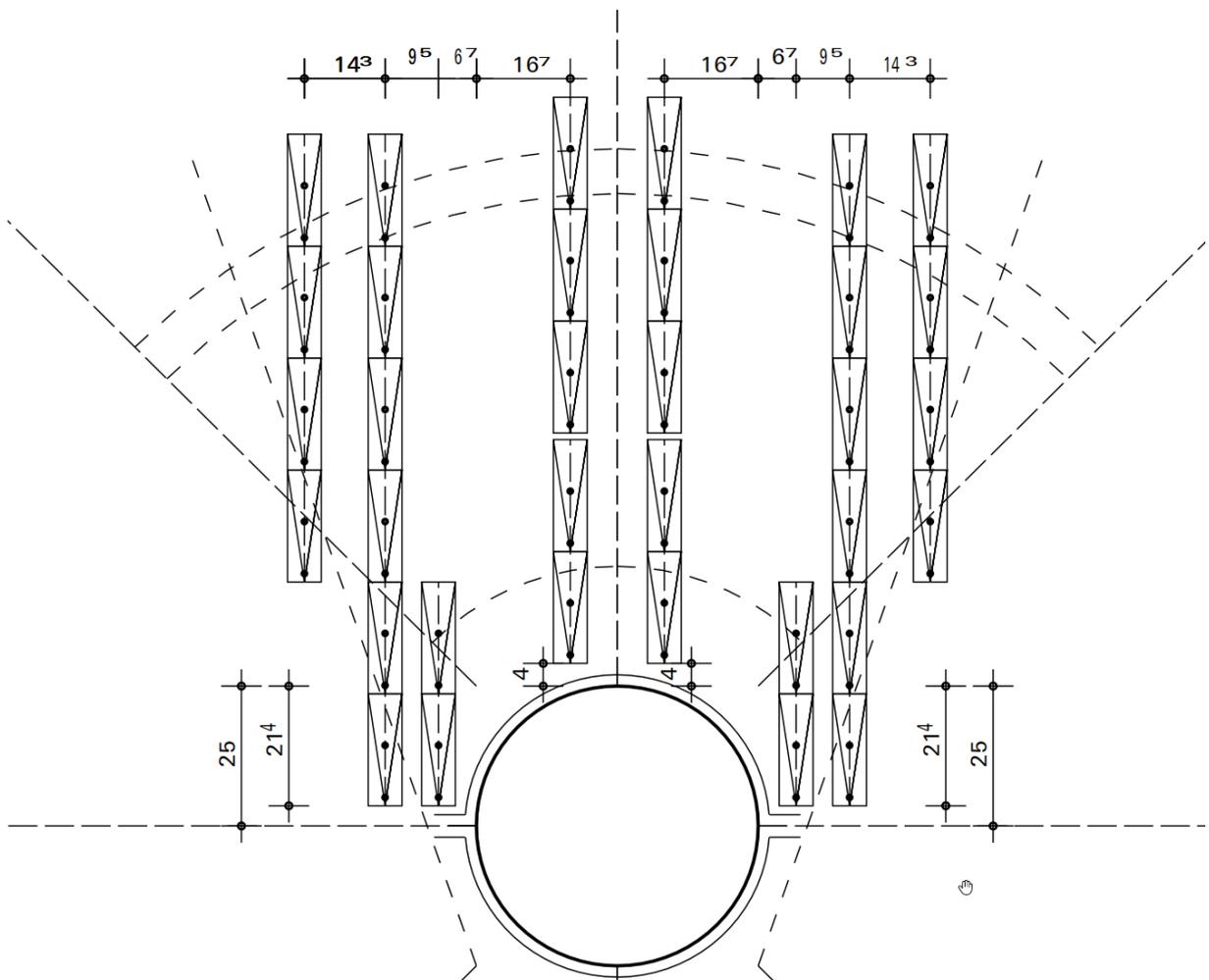
Da die Teilung der Quadranten am Schnittpunkt der 45° Diagonalen mit dem kritischen Rundschnitt bei $2d$ erfolgt, ergeben sich daraus die Ausstrahlungsgrenzen der Quadrantenhälften über die Verbindungslinie der äußeren hinteren Stützecke mit dem $2d$ -Schnittpunkt der Quadrantenhalbierenden und damit die mit Durchstanzbewehrung abzudeckende Fläche.

Es kann in der Praxis auch vorkommen, dass aufgrund der Flächenlast normalerweise gar keine Durchstanzbewehrung erforderlich ist, jedoch durch eine z.B. in der Stützenachse auf der Decke stehende Sonderlast in den höher beanspruchten Quadrantenhälften rechnerisch Durchstanzbewehrung erforderlich ist. Dieser Fall wird, wie unten gezeigt, konstruiert.

Anordnung der FDB Elemente

innerer Ring = 1.125 d

äußerer Ring = I_s (rechnerisch und konstruktiv)





Grundsätzlich wird nach theoretischen Mindestregeln mit dem geringsten Materialaufwand konstruiert. Daraus ergibt sich z.B. in Längsrichtung ein Randabstand von 8.5 cm zum Rand des Durchstanzbereichs bzw. Stützenachse. Damit ist ein durchgehender Bewehrungsschwerpunkt Abstand von 20 cm der im Referenzschnitt quer nur angesetzten Schlaufenteile erreicht. Sollten konstruktiv dieser Randabstand verringert werden, muss ggf. ein Element in der Reihe zugelegt werden, um das äußere rechnerische l_s zu erreichen.

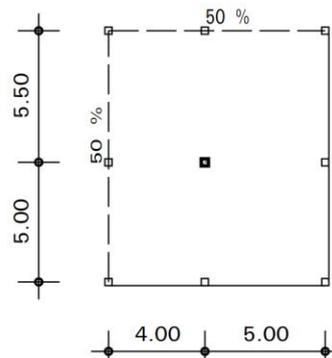
Ein weiteres Beispiel soll einen Fall mit unterschiedlichen Deckenstützweiten und Flächenlasten zeigen.

Die Stützweitenverhältnisse übersteigen den Bereich, bei dem nach Norm noch mit konstanten β - Werten gerechnet werden darf.

Deckengeometrie

- SW : Stützweite des angrenzenden Feldes
- Rand : 0 = Kragarm, 1 = frei drehbares Auflager
2 = eingespannt
- Einsp. : Einspanngrad in %

	SW m	Rand	Einsp. %
unten	5.000	1	0.0
links	4.000	2	50.0
oben	5.500	2	50.0
rechts	5.000	1	0.0

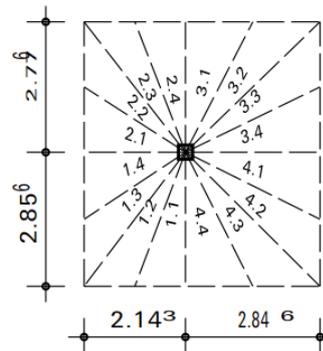


Jeder Quadrant wird halbiert und seine Hälften entsprechend ihrer Bewehrungsrichtung - senkrecht oder parallel zur Stützenkante - für ihre größte Beanspruchung bemessen und der maximal mögliche Elementabstand im Schnitt berechnet.

Quadrant	bx m	by m	u_1 m	k_Q
1 unt/li	2.143	2.856	0.834	1.07
2 ob/li	2.143	2.776	0.834	1.06
3 ob/re	2.846	2.776	0.834	1.03
4 unt/re	2.846	2.856	0.834	1.03
β_{Norm}				1.19

sektorweise Flächenlastanteile am Rundschnitt u_1

Sektor	dW °	A m ²	u_1 m	V_{Ed} kN
1.1	20.6	1.525	0.184	20.2
1.2	16.3	1.526	0.156	20.3
1.3	19.4	1.525	0.185	20.2
1.4	33.7	1.522	0.309	20.2
1.0	90.0		0.834	81.0
2.1	32.9	1.479	0.302	19.6
2.2	19.4	1.482	0.185	19.7
2.3	16.6	1.483	0.158	19.7
2.4	21.1	1.482	0.189	19.7
2.0	90.0		0.834	78.7
3.1	27.1	1.969	0.247	26.1
3.2	18.6	1.971	0.177	26.2
3.3	18.3	1.971	0.175	26.2
3.4	26.0	1.969	0.236	26.1
3.0	90.0		0.834	104.6
4.1	26.6	2.026	0.242	26.9
4.2	18.5	2.028	0.176	26.9
4.3	18.4	2.028	0.176	26.9
4.4	26.5	2.026	0.240	26.9
4.0	90.0		0.834	107.6
ges				371.8



Daraus ergeben sich in jedem Quadranten andere Beanspruchungen, die exakt ermittelt und bewehrt werden.

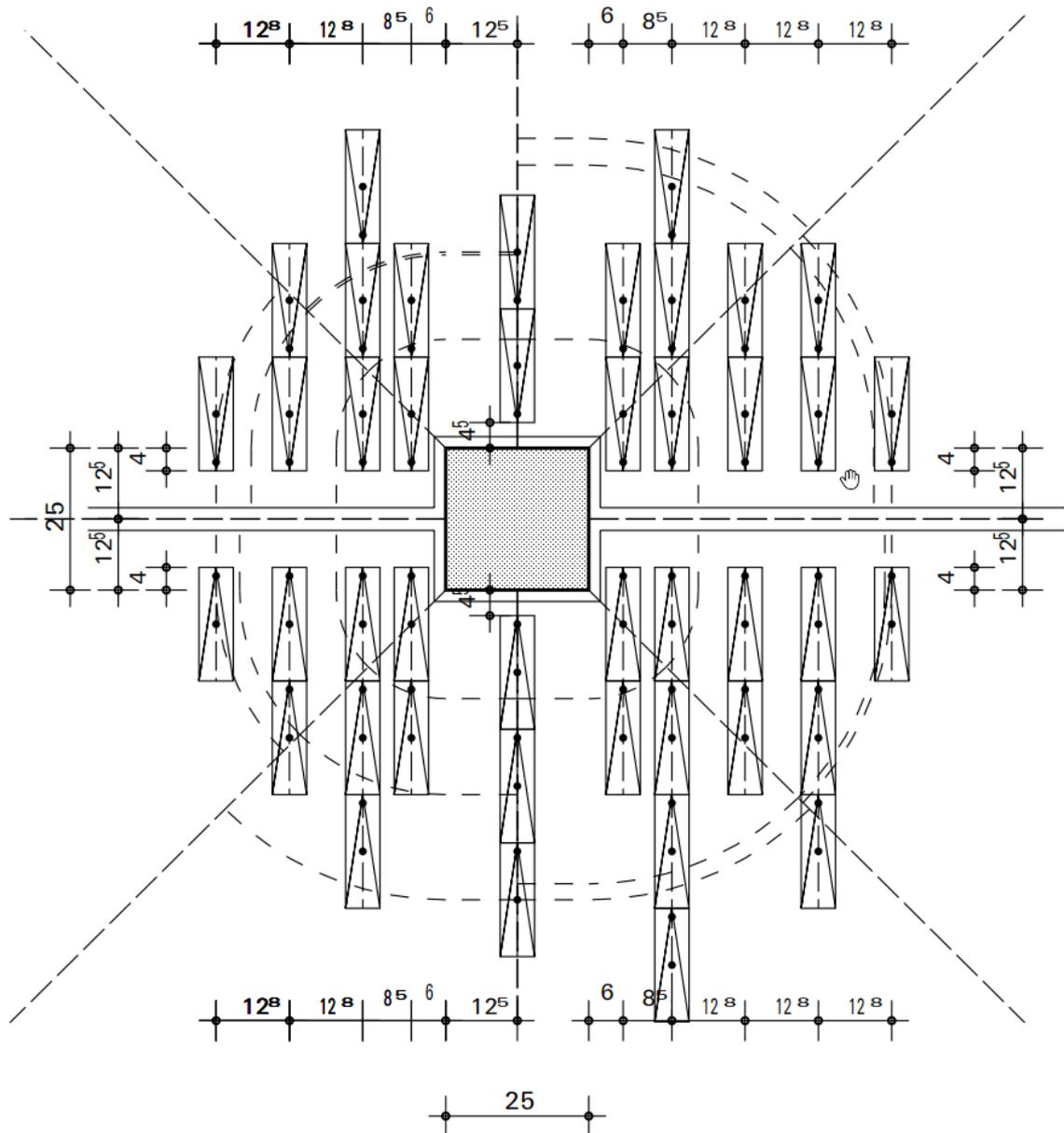


Die folgende Abbildung zeigt das rechnerische und konstruktive Ergebnis.

Anordnung der FDB Elemente

innerer Ring = 1.125 d

äußerer Ring = Is (rechnerisch und konstruktiv)



Die Biegebewehrung ist in Rundstahl auszuführen.



Die äußere Systemgeometrie führt nicht selten dazu, dass zwischen den inneren Kopfreiheiten zu den äußeren Seitenreihen ein für die Verlegung der oberen Biegebewehrung hinderlicher Versatz der oberen Schlaufenüberstände entsteht.

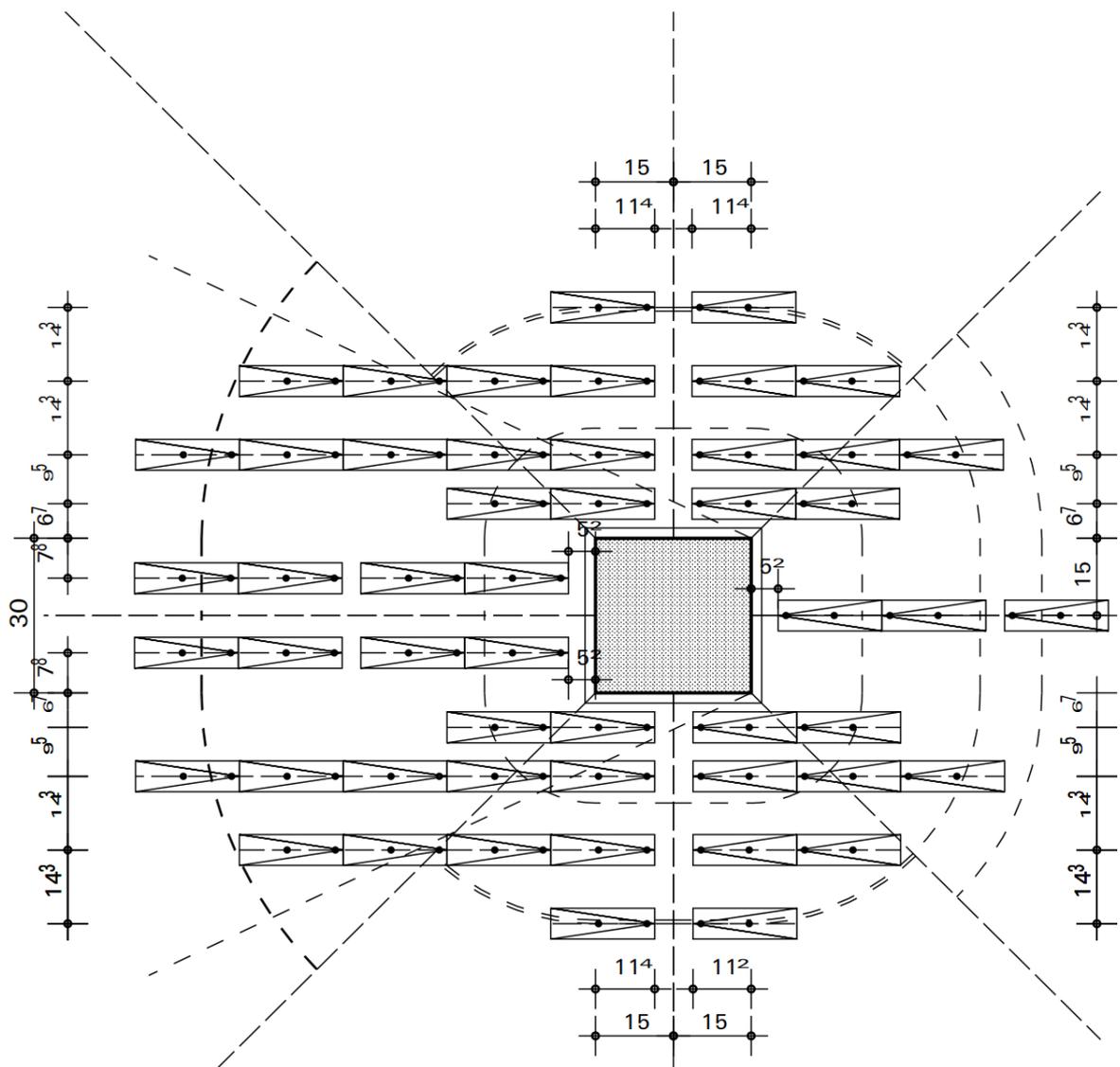
Hierfür wurde im Programm ein wahlweise anwählbares Fluchten der Schlaufen integriert. Das Programm versucht dann, den Versatz der Schlaufen möglichst zu glätten bzw. sogar zu vermeiden.

Das Beispiel zeigt den Fall auf Seite 6 mit gefluchteten Schlaufen. Dies gelingt hier annähernd durch Versetzen der Anfangspunkte der seitlichen Reihen zur Stützenachse hin, ohne mehr Elemente zu verbrauchen. Bei den Kopfreiheiten werden die äußeren Elemente um die mögliche Differenz zur Einhaltung eines Schlaufenabstands von $0.75 d$ (siehe Seite 2) so verschoben, dass die Schlaufen aller Reihen exakt fluchten.

Anordnung der FDB Elemente

innerer Ring = $1.125 d$

äußerer Ring = l_s (rechnerisch und konstruktiv)



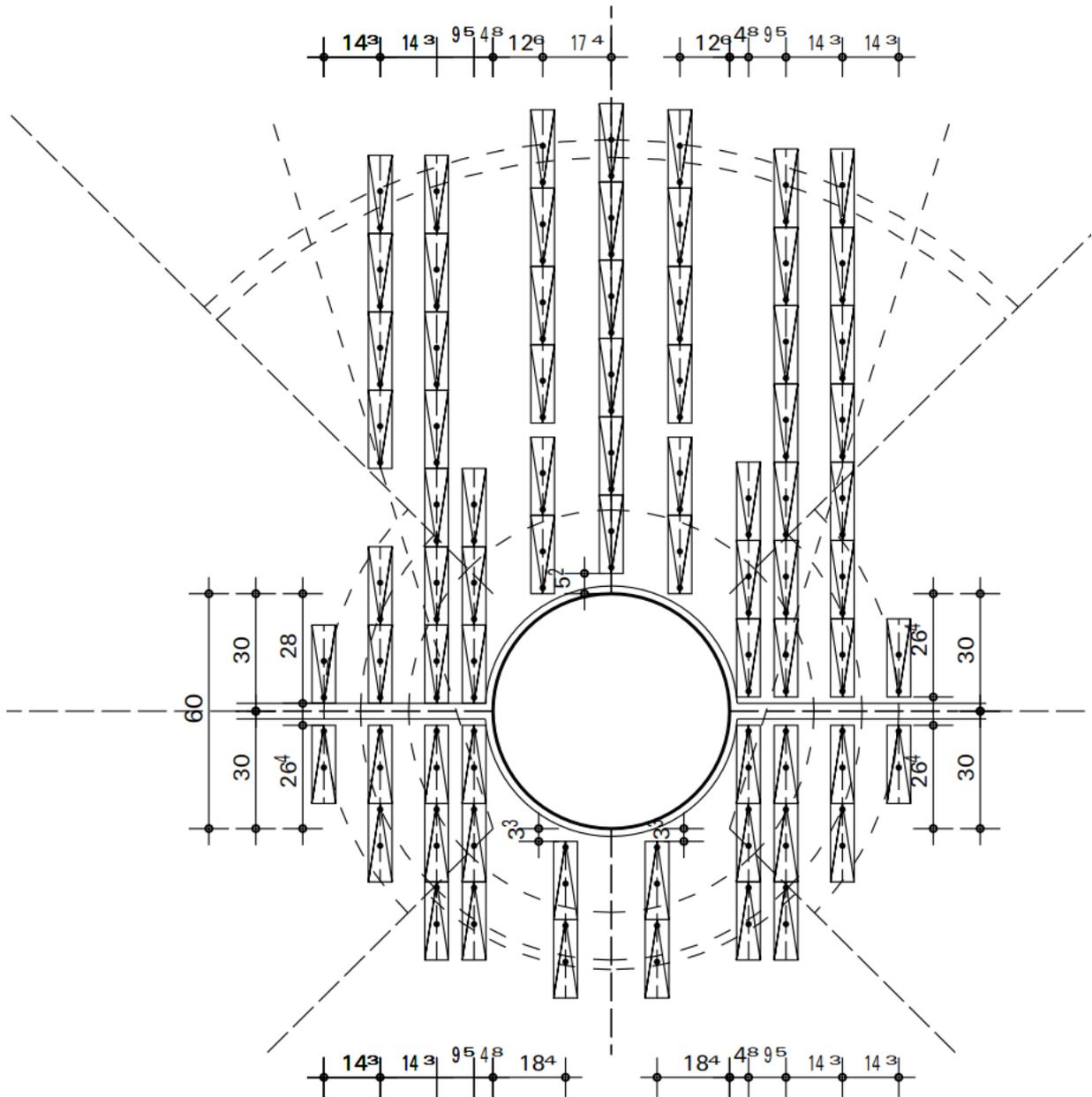


Auch in einem anderen Fall, der Konstruktion bei Rundstützen, wird diese konstruktive Möglichkeit angewendet.

Anordnung der FDB Elemente

innerer Ring = $1.125 d$

äußerer Ring = l_s (rechnerisch und konstruktiv)



Im gezeigten Beispiel müssen gemäß [3] und [4] die Elemente der Kopfreihe jeweils bis $0.35d$ an die Stütze herangeführt werden. Die durch übliche Marktprogramme vorgeschlagene gerade Verlegung führt dazu, dass der geforderte maximale Randabstand nicht eingehalten und der hochbeanspruchte Innenbereich C je nach Situation nicht unerheblich geschwächt wird. Das Programm schiebt die ersten beiden Elementfelder der außerhalb der Stützenachse liegenden Reihen bis $0.35d$ an die Stütze heran und versetzt die Reihe ab dem 3. Elementfeld um das auf Seite 2 erläuterte mögliche Versatzmaß. Dadurch wird der nennenswerte Versatz der Schlaufenfluchten in den Kopfreihe je nach Situation gemildert bzw. ggf. vermieden.



Verbundnachweis

Prinzipiell können wahlweise sowohl Elementdecken als auch Ortbetondecken nachgewiesen werden.

Bei Elementdecken kann zusätzlich ein Verbundnachweis angewählt werden.

Die Querkräfte und damit auch der Schub in der Verbundfuge laufen radial auf die Stütze zu. Unter Vernachlässigung der größtenteils durch die Schubrisse behinderten Querverteilung der Querkräfte insbesondere im inneren Bereich können durch die ungleichmäßige Beanspruchung infolge von Sonderlasten auf der Decke auch unterschiedliche Schubbeanspruchungen in der Verbundfuge auftreten. Diese treffen zudem durch die orthogonale Verlegung der Durchstanzbewehrung auf eine unterschiedliche Bewehrungsverteilung bzw. -richtung.

Aus diesem Grund wird in jeder Quadrantenhälfte für Bemessungsringe in einem Abstandsraster von $0.75d$, beginnend bei $1.5d$ vom Stützenrand bis maximal u_{outR} in den Referenzschnitten längs und quer ein Verbundnachweis nach [1] 6.2.5 und [4] 5 Gleichung (5.1) für die größte im Schnitt auftretende Schubkraft durchgeführt.

Durch die Lage der Elemente ergeben sich die Bemessungsbreiten und Bewehrungsflächen bezogen auf den Reihenabstand bzw. den Schlaufenabstand unterschiedlich.

Der Schubwiderstand aus den Montageelementen wird über die gesamte Fläche gleichmäßig angesetzt.

Verbundnachweis

Oberfläche rau $c = 0.4$ $\mu = 0.7$ $v = 0.5$ $z = 15.0$ cm
 Montageträger E 14 - 05 5 08 $a = 65.0$ cm $\alpha = 58.0$ ° $A_{s,s} = 0.4$ cm²
 $f_{cd} = 14.17$ N/mm² $f_{ctd} = 1.03$ N/mm² $k_{max,i} = 1.6$ $v_{Rdimax} = 5.7$ N/mm²

Lage H: Quadrant / Hälfte (1 = 0° - 45°, 2 = 45° - 90° rechtsdrehend)
 a :Schnittabstand vom Stützen- bzw. Kopfrand

Quadr. Lage	a cm	v_{Ed} kN/m	b_i cm	u_i m	$v_{Ed,f}$ N/mm ²	σ_N N/mm ²	v_{Rdc} N/mm ²	v_{RdN} N/mm ²	v_{RdsyF} N/mm ²	v_{RdsyMT} N/mm ²	v_{Rdi} N/mm ²	Ausn
unt/li 1	28.5	152.4	14.3	0.37	1.02	0.012	0.41	0.01	4.42	0.16	5.00	0.21
	42.8	115.0	14.3	0.49	0.77	0.012	0.41	0.01	4.42	0.16	5.00	0.16
	28.5	201.9	20.0	0.37	1.35	0.012	0.41	0.01	4.37	0.16	4.95	0.28
	42.8	165.9	20.0	0.49	1.11	0.012	0.41	0.01	2.64	0.16	3.22	0.35
unt/li 2	57.0	143.5	20.0	0.60	0.96	0.012	0.41	0.01	2.64	0.16	3.22	0.31
	71.3	128.0	20.0	0.71	0.85	0.012	0.41	0.01	2.64	0.16	3.22	0.27
	28.5	202.0	20.0	0.37	1.35	0.012	0.41	0.01	4.37	0.16	4.95	0.28
	42.8	165.9	20.0	0.49	1.11	0.012	0.41	0.01	2.64	0.16	3.22	0.35
ob/li 1	57.0	143.5	20.0	0.60	0.96	0.012	0.41	0.01	2.64	0.16	3.22	0.31
	71.3	128.0	20.0	0.71	0.85	0.012	0.41	0.01	2.64	0.16	3.22	0.27
	28.5	152.3	14.3	0.37	1.02	0.012	0.41	0.01	4.42	0.16	5.00	0.21
	42.8	115.0	14.3	0.49	0.77	0.012	0.41	0.01	4.42	0.16	5.00	0.16

Der Berechnungsausschnitt der 2 linken Quadranten des Beispiels auf Seite 10 zeigt anschaulich die Folgen der unterschiedlichen Beanspruchung durch die Sonderlast.

Bei den Nachweisen quer zur Verlegerichtung (unt/li 1 und ob/li 2) werden durch die engeren Reihenabstände höhere Schubwiderstände erreicht. Auch aus diesem Grunde scheinen die nach [3] für die Querrichtung geforderten maximalen Abstände von $0.75d$ zumindest für die äußeren Durchstanzbereiche sehr konservativ zu sein.

Sittensen, den 10.03.2023
 Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang



Literatur :

- [1] DIN EN 1992-1-1:2004-AC:2010, Januar 2011
Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA Januar 2011
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 2
- [3] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): ETA-13/0521 : 14.06.2018
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): EOTA Technical Report TR 058
- [5] Siburg C., Hegger J., Furche J., Bauermeister U.:
Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 3, 115 (2020) Sonderdruck
Durchstanzbewehrung für Elementdecken nach Eurocode 2