

Neue Durchstanzbewehrung für Elementdecken

Rolf Eligehausen, Stuttgart

Henrik Vocke, München

Anita Clauss, Stuttgart

Johannes Furche, Leese

Ulrich Bauermeister, Leese

Elementdecken werden aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit immer häufiger auch in Flachdecken eingesetzt. Bei der Bemessung dieser punktförmig gestützten Platten wird häufig das Durchstanzversagen maßgebend. Bügel und Doppelkopfbolzen sind zur Erhöhung der Tragfähigkeit unterschiedlich gut geeignet. Sie weisen bei der Verwendung in gitterträgerbewehrten Fertigteilplatten jedoch Nachteile beim Einbau auf, da die radiale Anordnung der Schubbewehrung zu Überschneidungen mit den orthogonal angeordneten Gitterträgern führt. Die Gitterträger der Fertigteilplatten ermöglichen eine begrenzte Steigerung der Durchstanzlast. Daher wurde zur weiteren Erhöhung der Durchstanztragfähigkeit eine neue Durchstanzbewehrung aus speziellen Gitterträgern entwickelt. Aufgrund experimenteller und numerischer Untersuchungen wurde eine bauaufsichtliche Zulassung für diese „Filigran-Durchstanzbewehrung“ erteilt. Die Filigran-Durchstanzbewehrung kombiniert die Vorteile einer deutlich erhöhten Schubtragfähigkeit mit der Möglichkeit eines einfachen Einbaus parallel zu den Gitterträgern der Elementdecke.

New Punching Shear Reinforcement for Prefabricated Slabs.

For economic reasons, more and more flat slabs are being built as prefabricated slabs. The design of prefabricated flat slabs, as well as the design of cast-in-situ flat slabs, is usually governed by the punching capacity of the slab column connection. Stirrups are not as effective as shear reinforcement as double-headed studs. However, both systems have significant disadvantages with regards to installation. Stirrups need to enclose the flexural reinforcement, which can be difficult on-site and the radial arrangement of double-headed studs interferes with the orthogonally placed lattice girders. Therefore the shear capacity and the efficiency of lattice girders as punching shear reinforcement was experimentally investigated in the 1990's. New lattice girders to be used as punching shear reinforcement were developed as a result of these studies. Their load-bearing behavior was numerically and experimentally investigated. Based on these results a technical approval of these lattice girders for use as punching shear reinforcement was issued. This product named "Filigran-Durchstanzbewehrung" ("Filigran-punching-shear-reinforcement"). Filigran punching shear reinforcement increases the shear strength of the slab considerably and eases the installation through parallel placement to the ordinary lattice girders.

1 Ausbildung und Tragverhalten von Elementdecken

Flachdecken werden zunehmend als Elementdecken ausgeführt, da diese gegenüber Ortbetondecken deutliche Vorteile hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Bauzeit besitzen. Elementdecken bestehen aus 5 cm bis 6 cm dicken Fertigteilen, welche auf der Baustelle mit Ortbeton ergänzt werden. Die Fertigteile enthalten die untere Lage der Biegezugbewehrung sowie Gitterträger und eventuell zusätzliche Schubbewehrung.

Die Ausführung von Elementdecken ist in DIN 1045 [1], Abschnitt 19.7.6 und in DIN 1045-1 [2], Abschnitt 13.4.3 geregelt. Die verwendeten Gitterträger müssen bauaufsichtlich zugelassen sein. Sie dienen im Transport- und Montagezustand der Erhöhung der Steifigkeit der Fertigteilplatte und können auf der Baustelle als Abstandhalter für die obere Lage der Biegebewehrung verwendet werden. Im Endzu-

stand dienen sie als Querkraftbewehrung, gewährleisten die Sicherung des Verbundes zwischen Fertigteil und Ortbeton und bilden einen Teil der unteren Biegezugbewehrung.

Flachdecken werden zunehmend als Elementdecken ausgeführt.

Das Tragverhalten von Elementdecken wurde experimentell [3], [4], [5] und mit Finiten-Elemente-Rechnungen [6] überprüft. Es entspricht grundsätzlich dem Tragverhalten von Ortbetonplatten. Daher darf die Berechnung der Schnittgrößen wie bei Ortbetondecken erfolgen. Fertigteilfugen in Deckenbereichen mit untenliegender Druckzone müssen durch Fugenverguß kraftschlüssig geschlossen werden. Die Biegezugbewehrung der Nebentragrichtung wird bei zweiachsig gespannten Decken i. d. R. auf den Fertig-

teilplatten im Ortbeton verlegt. Die verminderte statische Höhe dieser Bewehrungslage kann bei der Schnittgrößenermittlung vernachlässigt werden, da die daraus resultierenden unterschiedlichen Biegesteifigkeiten der zwei Richtungen auch in Ortbetonplatten mit unterschiedlichen Bewehrungsmengen und -lagen in zwei Richtungen auftreten und die Bemessung im gerissenen Zustand II erfolgt. Die Biegebemessung selbst erfolgt unter Berücksichtigung der verminderten statischen Höhe. Der Einfluß der Stoßfugen zwischen den Fertigteilelementen auf die Drillsteifigkeit und damit auf das Tragverhalten der Stahlbetonplatte wurde als untergeordnet angesehen, wenn Gitterträger die Plattenränder sichern [6]. Detaillierte Regelungen dazu haben zwischenzeitlich Eingang in die neue DIN 1045-1 [2] gefunden (vgl. z. B. Abschnitte 8.2(6) und 13.4.3).

Die Querkraftnachweise erfolgen ebenfalls wie bei Ortbetonplatten zuzüglich der Nachweise für die Verbundfuge. Wie bei Ortbetondecken kann eine Schubbewehrung als Durchstanzbewehrung erforderlich werden.

2 Durchstanzbewehrung in Elementdecken

Die Tragfähigkeit von punktgestützten Elementdecken ohne Durchstanzbewehrung wird wie diejenige von Ortbetonplatten häufig durch Durchstanzen begrenzt. Bild 1 zeigt einen typischen Durchstanzkegel. Eine Erhöhung der Durchstanztragfähigkeit kann durch die Anordnung einer Durchstanzbewehrung erfolgen, wobei die mögliche Erhöhung der Tragfähigkeit wesentlich von der Art und Anordnung der Durchstanzbewehrung abhängt. In DIN 1045 [1] und DIN 1045-1 [2] werden für Elementdecken keine gesonderten Angaben zum Durchstanzen gemacht. Daher wurden bis vor einigen Jahren die kritischen Deckenbereiche häufig in Ortbeton ausgeführt. Experimentelle Untersuchungen an Elementdeckenausschnitten [3], [4] führten zum Einsatz von



Bild 1 Versagen durch Durchstanzen [7]
Fig. 1 Punching failure

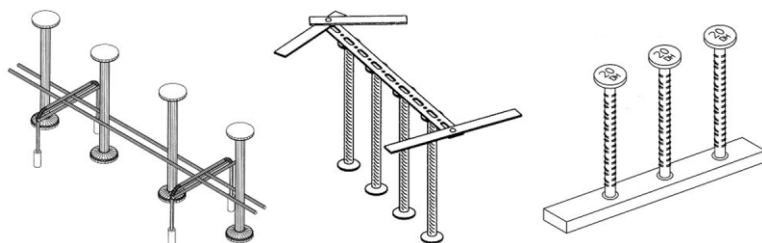


Bild 2 Doppelkopfbolzen und Dübelleiste [11], [10], [8]
Fig. 2 Double-headed studs and studrail

Durchstanzbewehrungen in den Fertigteilen. Dabei werden die gleichen Durchstanzsysteme wie bei Ortbeton verwendet. Es muß jedoch beachtet werden, daß im Bereich der Durchstanzbewehrung auch der Verbund zwischen Fertigteilplatte und Ortbeton gewährleistet sein muß. Im folgenden werden die verschiedenen Schubbewehrungen kurz dargestellt.

2.1 Bügel

Für die Verwendung von Bügeln als Schubbewehrung gelten die Regelungen nach DIN 1045 [1] bzw. DIN 1045-1 [2]. Der Vorteil einer Bügelbewehrung liegt in den geringen Materialkosten. Nachteile ergeben sich beim Einbau der Bügel, da diese die obere und untere Lage der Biegezugbewehrung umschließen müssen. Aufgrund der vergleichsweise schlechten Verankerungsqualität ist die mögliche Erhöhung der Durchstanztragfähigkeit gegenüber Platten ohne Durchstanzbewehrung relativ gering.

2.2 Doppelkopfbolzen und Dübelleisten

Doppelkopfbolzen und Dübelleisten sind in Bild 2 dargestellt. Durch die großen Köpfe ist eine sehr gute Verankerungsqualität der Bolzen ohne nennenswerten Schlupf gewährleistet. Daher ist die maximal zulässige Durchstanzlast größer als bei einer Schubbewehrung aus Bügeln.

Der einfache Einbau ist entscheidend für den Einsatz eines Durchstanzsystems.

Die Bemessung der Doppelkopfbolzen und Dübelleisten erfolgt nach den bauaufsichtlichen Zulassungen für die entsprechenden Hersteller (z. B. [8], [9], [10], [11]). Aufgrund der Ergebnisse von Bauteilversuchen an Elementdecken mit einer Schubbewehrung aus Dübelleisten [4] dürfen Dübelleisten und Doppelkopfbolzen auch in Fertigteilplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht verwendet werden. Zusätzlich zum Durchstanznachweis ist der Verbundnachweis in der Fuge zwischen Fertigteilplatte und Ortbeton nach DIN 1045 [1] bzw. DIN 1045-1 [2] zu führen. Ist durch die Doppelkopfbolzen die erforderliche Verbundbewehrung abgedeckt, und sind die in den Normen geforderten Abstände für die Durchstanzbewehrung sowie für die Verbundbewehrung eingehalten, müssen für den Endzustand der Platte im schubbewehrten Bereich keine zusätzlichen Gitterträger angeordnet werden.

2.3 Schubsterne und andere Sonderformen

Schubsterne (z. B. [12]) bestehen aus vertikalen Sprossen aus geripptem Betonstahl, die oben und unten mit je zwei Gurtstäben verschweißt sind. Diese Bewehrungselemente werden auf die unteren Bewehrungslagen gestellt und dienen gleichzeitig als Abstandhalter für die oberen Bewehrungslagen. Sie werden sternförmig um die Stütze herum angeordnet. Schubbewehrungs-

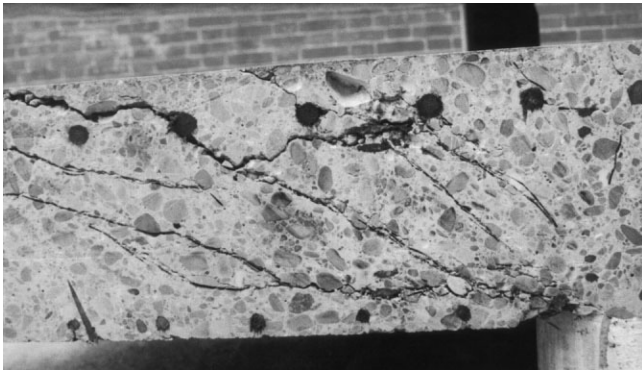


Bild 3 Rißbild bei einer Platte bewehrt mit einem Riss-Stern [12]
Fig. 3 Crack development for a slab with a Riss-star as punching shear reinforcement

elemente nach Gomes [13] entsprechen verkürzten Doppelkopfbolzen oder Dübelleisten. Sie binden ebenso wie Schubsterne nicht in die Biegezugbewehrung ein, sondern werden jeweils an der Innenkante der Bewehrungslagen verankert. Es wurden trotz relativ steifer Verankerung geringe Traglaststeigerungen erreicht [13]. Das Versagen bei Versuchen mit verkürzter Durchstanzbewehrung erfolgt i. d. R. durch Bildung eines horizontalen Risses zwischen Schubbe- wehrung und Biegezugbewehrung sowie in der Biegedruck- zone (Bild 3).

2.4 Gitterträger

Gitterträger bestehen aus Ober- und Untergurtstäben, die durch Diagonalen verbunden sind. Gitterträger nach Bild 4 weisen in der Seitenansicht einen senkrechten und einen et- wa unter 45° geneigten Stababschnitt auf. Diese Gitterträger können auch als Durchstanzbewehrung eingesetzt werden [14]. Durchstanzversuche ergaben eine Tragfähigkeit, die in etwa der einer Bügelbewehrung entspricht [3]. Die re- lativ geringe Wirksamkeit als Schubbehrung ist wie bei den Schubbehrungen nach Abschnitt 2.3 darauf zurück- zuführen, daß die Schubbehrung nicht in die Biegezug- bewehrung eingreift. Entsprechend der Zulassung [14] er- folgt der Durchstanznachweis analog der DIN 1045 [1].

2.5 Neue Filigran-Durchstanzbewehrung

Zur Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit von Element- decken im Durchstanzbereich wurde ausgehend von einem Gitterträger eine neue Durchstanzbewehrung mit Bauhöhen von 13 bis 32 cm entwickelt. Bild 5 zeigt beispielhaft einen Träger mit einer Höhe von 13 bis 15 cm. Die Diagonalen werden wirkungsvoll durch einen Schweißpunkt und durch eine Schlaufe auf Höhe der Biegezugbewehrung verankert. Dadurch wird die Verankerungsqualität wesentlich verbes- sert. Der einfache Einbau im Werk bleibt gewährleistet, die obere Biegebewehrung wird auf den Obergurten der Git- terträger verlegt (Bild 6). Versuche an Flachdeckenaus- schnitten sowie theoretische Untersuchungen [15] ergaben eine wesentlich höhere Durchstanztragfähigkeit im Vergleich zu den bisherigen Gitterträgern bzw. einer Bügelbewehr- ung. Die neu entwickelten Gitterträger sind bauaufsichtlich als Durchstanzbewehrung zugelassen [16]. Sie dürfen auch als Verbundbewehrung, auch in Kombination mit anderen zugelassenen Gitterträgern, verwendet werden.

3 Tragverhalten der neuen Filigran- Durchstanzbewehrung

3.1 Theoretische Überlegungen

Die Wirksamkeit einer Schubbehrung, und damit die Querkrafttragfähigkeit einer punktgestützten Platte, hängt von der Steifigkeit und der Höhenlage des Verankerungs- punktes der Durchstanzbewehrung ab. Weist die Durch- stanzbewehrung einen geringen Schlupf auf, so kann sie bei Beginn der Schubrißbildung sofort aktiviert werden. Eine optimale Krafteinleitung erfolgt, wenn die Verankerungsele- mente möglichst weit außen liegen.

Steifigkeit und Lage der Verankerung bestimmen die Wirksamkeit einer Durchstanzbewehrung.

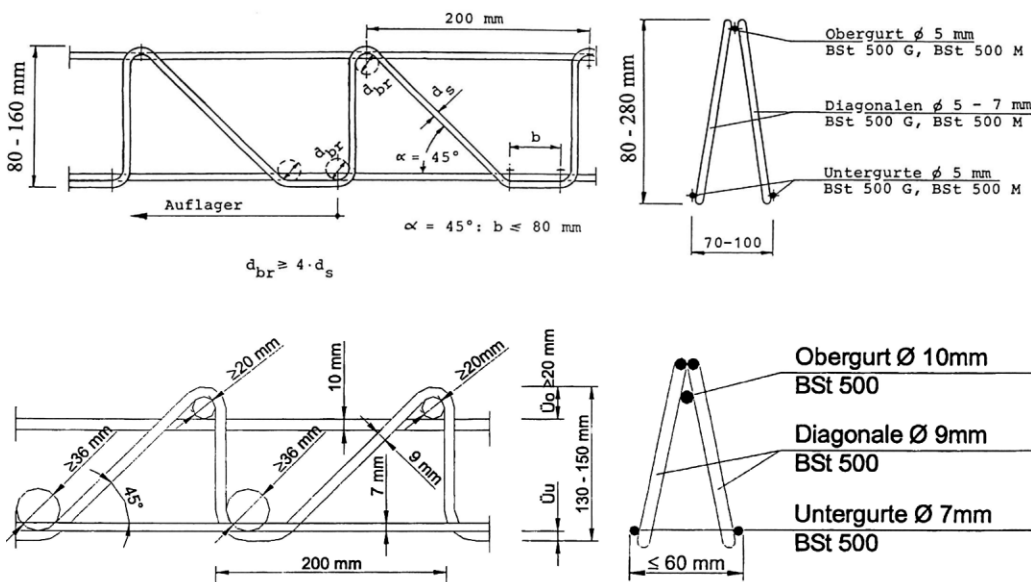


Bild 4 Gitterträger Filigran EQ [14]
Fig. 4 Lattice girders: Filigran EQ [14]

Bild 5 Filigran-Durchstanz- bewehrung (gezeigt mit einer Höhe $h \leq 150$ mm) [16]
Fig. 5 Filigran punching shear reinforcement (shown with height $h \leq 150$ mm) [16]



Bild 6 Stützenbereich bewehrt mit Filigran-Durchstanzbewehrung sowie Gitterträgern
Fig. 6 Filigran punching shear reinforcement and lattice girders in the vicinity of the column

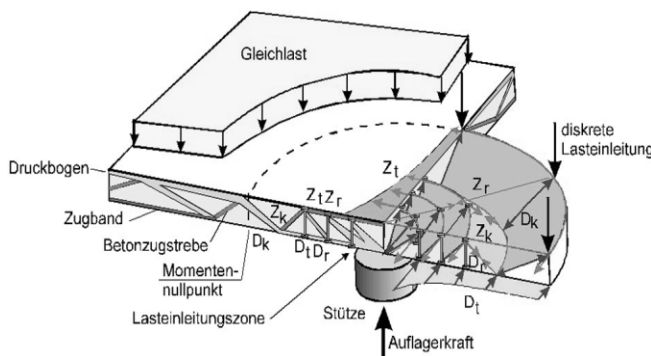


Bild 7 Fachwerkmodell für das Durchstanzen [17]
Fig. 7 Strut-and-tie model for punching [17]

Zur Veranschaulichung des Tragverhaltens einer rotations-symmetrischen, punktförmig gestützten Platte kann ein Fachwerkmodell nach Bild 7 herangezogen werden. Der Einfluß der Lage der Verankerungselemente ergibt sich aus der Betrachtung eines Knotenpunktes des Fachwerkmodells. Das Kräftegleichgewicht wird aus der Zugkraft der Schubbewehrung mit der horizontalen Bewehrungszugstrebe und der geneigten Betondruckstrebe gebildet. Die Weiterleitung der Kräfte in die Schubbewehrung kann ohne zusätzliche Aktivierung von Betonzugspannungen nur erfolgen, wenn die Schubbewehrung bis an die Außenkante der Biegebewehrung reicht. Andernfalls müssen die Zugkräfte der Durchstanzbewehrung über den Beton abgetragen werden. Dies führt i. d. R. zu einem horizontalen Versagensriß auf Höhe der Biegezugbewehrung (Bild 3) und einer geringeren Traglast (Bild 13). Die Filigran-Durchstanzbewehrung besteht aus Schlaufen, die optimal auf Höhe der Außenkante der Biegezugbewehrung platziert sind, und aus an Ober- und Untergurt angeschweißten Querstäben auf Höhe der Innenkante der Biegezugbewehrung (Bild 5).

Bild 8 zeigt Stahlspannungs-Schlupfkurven von üblichen Verankerungsmitteln im gerissenen Beton [18], [19]. Man erkennt, daß Verankerungen, die ausschließlich aus einer Schlaufe (4) (Bügel) oder einem angeschweißtem Querstab (3) bestehen, größere Verschiebungen als Kopfbolzen (2) mit einem Verhältnis von Kopf- zu Schaftdurchmesser von 3 aufweisen und daher als Durchstanzbewehrung weniger gut

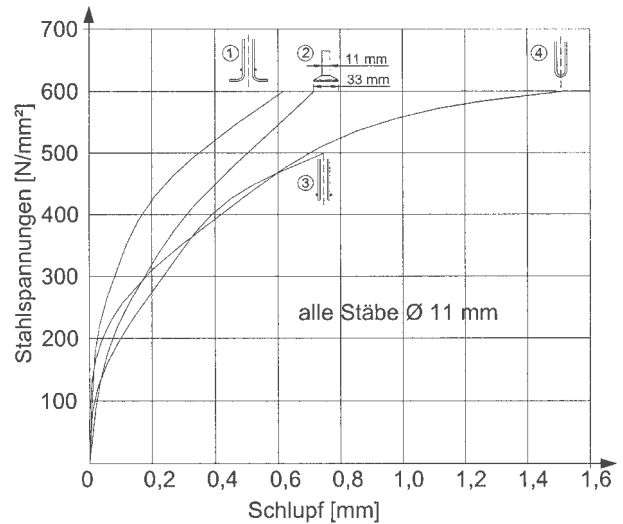


Bild 8 Stahlspannungs-Schlupfkurven verschiedener Verankerungselemente (Kopfbolzen [18], andere [19])
Fig. 8 Steel strain-slip curve for various anchorage elements (double-headed studs [18], others [19])

geeignet sind. Eine Verankerung aus einer Kombination von Schlaufe und angeschweißtem Querstab (1) zeigt dagegen weniger Schlupf als eine Bolzenverankerung. Diese Art der Verankerung liegt bei der Filigran-Durchstanzbewehrung vor, womit diese als ausreichend steif einzustufen ist.

Wird die gesamte Schubbewehrung innerhalb der Biegezugbewehrung verankert, ist die maximale Durchstanztragfähigkeit ca. 25 % bis 30 % niedriger als bei einer Verankerung an der Außenkante der Schubbewehrung [15] (vgl. Bild 13). Untersuchungen in [15] ergaben, daß bei einer Filigran-Durchstanzbewehrung etwas über die Hälfte der Zugkräfte mittels der Schlaufen auf der Außenseite der Biegezugbewehrung verankert wird. Daher war zu erwarten, daß die maximale Durchstanztragfähigkeit bei Verwendung der neuen Filigran-Durchstanzbewehrung ca. 10 % bis 15 % niedriger ist als bei Einsatz von Doppelkopfbolzen.

3.2 Versuche

Das Tragverhalten der Filigran-Durchstanzbewehrung wurde experimentell untersucht. Bei der Auswahl der Versuchsparameter wurde aufgrund vorangegangener Versuche mit Gitterträgern [4] und anderen Schubbewehrungsformen davon ausgegangen, daß der Einfluß der wesentlichen Parameter wie Betonfestigkeit, Bauteilabmessung und Biegebewehrungsgrad auf die Durchstanzlast unabhängig vom verwendeten Durchstanzsystem ist. Daher sollte in den Versuchen hauptsächlich die maximale Durchstanzlast bei Verwendung der neuen Durchstanzbewehrung im Vergleich zu anderen Schubbewehrungssystemen ermittelt werden. Dazu wurden drei Versuche an Deckenausschnitten mit zentrisch belasteten Innenstützen durchgeführt.

3.2.1 Versuchsparameter

In den Versuchen wurden die Deckenstärke und der Längsbewehrungsgrad der Biegezugbewehrung variiert. Das Versuchsprogramm ist in Tabelle 1 dargestellt. Die einge-

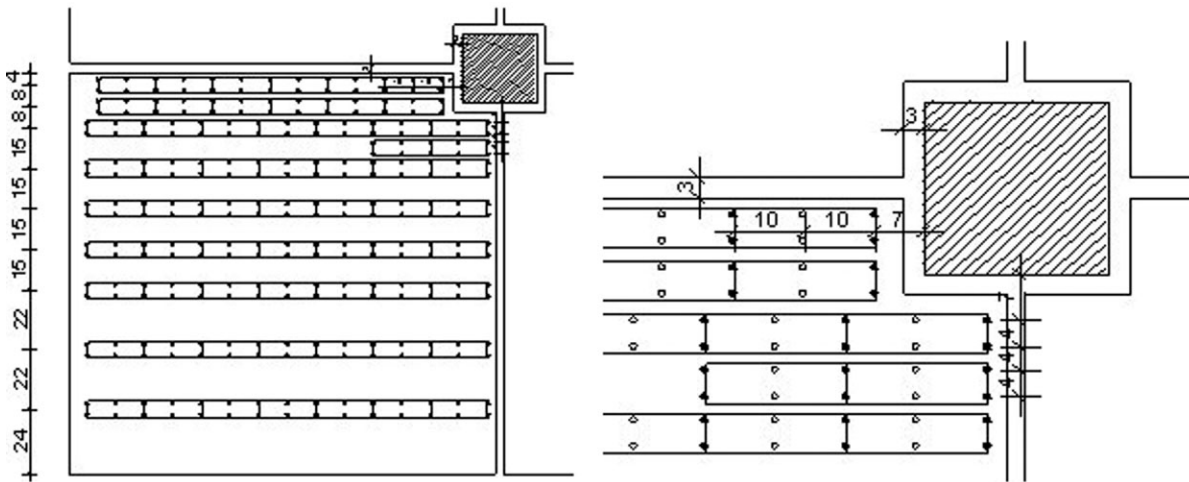


Bild 9 Anordnung der Durchstanzbewehrung für die Versuche mit 25 cm Plattendicke [15]
Fig. 9 Lattice girder layout for the tests with a slab thickness 25 cm [15]

legte Biegebewehrung wies eine Nennstreckgrenze von $f_y = 900 \text{ N/mm}^2$ auf. Die Schubbewehrung wurde um ca. 20 % überbemessen. Dadurch wurden die Versagensarten Biegebruch und Durchstanzen infolge Fließens der Durchstanzbewehrung vermieden. Bild 9 zeigt die Anordnung der Durchstanzbewehrung exemplarisch für die geprüften 25 cm dicken Platten. Der Abstand des ersten Stabes der Durchstanzbewehrung von der Stützenkante betrug das 0,35-fache der mittleren statischen Nutzhöhe der Platte. Dies entspricht der Regelung für andere Durchstanzbewehrungen, bei denen dieser Abstand das 0,35 bis 0,5-fache der statischen Nutzhöhe betragen muß [9], [10], [11]. Dadurch soll gewährleistet werden, daß der diagonale Schubriß die stütznahen Stäbe der Durchstanzbewehrung kreuzt und die Schubbewehrung aktiviert wird.

Die Erstellung der Versuchskörper erfolgte in drei Arbeitsgängen. Nachdem ein Stützenstummel vorbetoniert war, wurden die untere Biegezugbewehrung und die Durchstanzbewehrung in die vorbereitete Schalung eingebaut und der untere etwa 5 cm dicke Teil der Platte betoniert. Dabei wurden je vier auf die Stütze zulaufende etwa 4 cm breite Stoßfugen mit glatten Rändern erzeugt. Dies entspricht dem ungünstigsten Fall der Fugenanordnung einer Fertigteildecke mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht im Bereich der Stütze. Die Oberfläche der Elementplatten wurde nach dem Verdichten nicht aufgeraut. Drei Tage später erfolgte der Einbau der oberen Biegezugbewehrung und die Einbringung des Aufbetons mit zeitgleichem Vergießen der freigelassenen Fugen.

3.2.2 Versuchsdurchführung

Die Versuchsanordnung ist in Bild 10 skizziert. Die Lagerung der Platte mit der Biegezugseite nach unten auf 12 hydraulisch gekoppelten Prüfzylindern gewährleistete eine rotationssymmetrische Verteilung der Auflagerreaktionen. 54 Meßstellen zeichneten Belastung, Plattendurchbiegungen, Dehnungen des Betons sowie der Biegezugbewehrung und der Gitterträgerdiagonalen, Dickenänderung der Platte und Schlupf der Verankerungsschlaufen auf.

3.2.3 Versuchsergebnisse

Die wesentlichen Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Die angegebenen Bruchschubspannungen beziehen sich dabei auf die Rundschnittführung nach der bauaufsichtlichen Zulassung [16] auf Basis der DIN 1045 [1]. Bild 11 zeigt die Stützen- bzw. Prüfkraft in Abhängigkeit der Mittendurchbiegung der Platte. Die Platten zeigten zunächst ein etwa lineares Last-Durchbiegungsverhalten, das

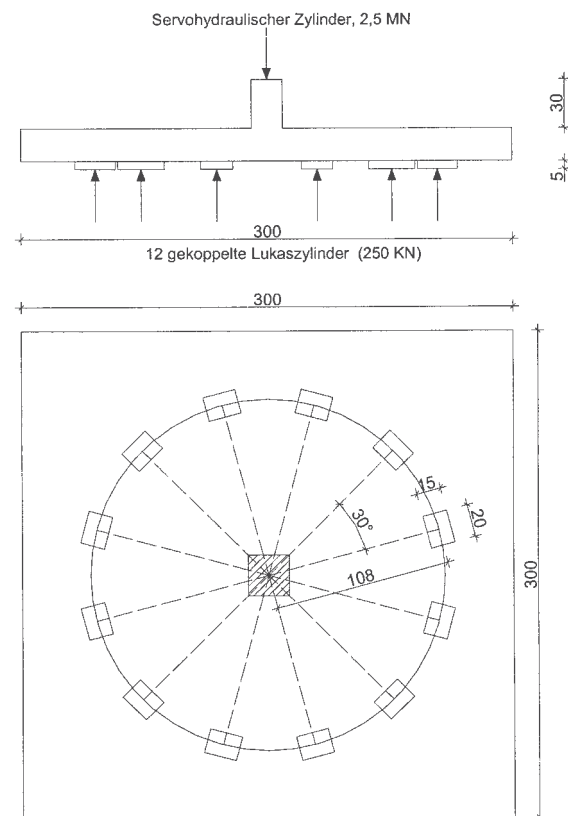


Bild 10 Skizze des Versuchsaufbaus [15]
Fig. 10 Sketch of the test-setup [15]

zunehmend nichtlinear wurde und bei Erreichen der Höchstlast ein Plateau aufwies (Bild 11). Danach nahmen bei geringem Lastabfall die Verschiebungen stark zu, bis ein plötzlicher Lastabfall auf eine geringe Resttragfähigkeit zu beobachten war.

Das Versagen trat in allen Versuchen als Durchstanzen im inneren Rundschnitt auf. Beispielhaft zeigt Bild 12 den Rißverlauf der Platte mit $d = 18$ cm bei einer Schnittführung parallel zur Längsachse der Durchstanzbewehrung. Der Hauptriß kreuzt die Stäbe der Durchstanzbewehrung und läuft dann entlang der oberen Biegebewehrung. Schnitte orthogonal zur Durchstanzbewehrung zeigen Risse bis zur Oberkante der Biegebewehrung.

Anhand der Versuchsergebnisse läßt sich das Durchstanzversagen bei den drei geprüften Stahlbetonplatten in vier Phasen einteilen:

- Ab ca. 75 % der Höchstlast ist eine Zunahme der Plattendicke und eine verstärkte Aktivierung der Durchstanzbewehrung zu beobachten. In dieser Phase bilden sich geneigte Durchstanzrisse, welche die Stäbe der Durchstanzbewehrung kreuzen.
- Bei Erreichen der Höchstlast sind die Tragstäbe der Durchstanzbewehrung teilweise aktiviert, die Zunahme der Plattendicke als Indikator für die Durchstanzrißbreite ist noch relativ gering (ca. 1 mm bis 2 mm).

		1	2	3
	Bauteildicke d	18 cm	25 cm	25 cm
	Betondeckung c	2 cm	2,5 cm	2,5 cm
	Statische Höhe h_m	14,5 cm	20,5 cm	20,5 cm
	Seitenlänge l	300 cm	300 cm	300 cm
	Stützenbreite c_{st}	18 cm	26 cm	26 cm
Biegezugbewehrung	Bewehrungsgrad μ_g	1,01 %	1,02 %	1,53 %
	Durchmesser	15 mm	20 mm	20 mm
Biegedruckbewehrung	Schlaufenüberstand oben	3 cm	4 cm	4 cm
	Bewehrungsgrad μ_g'	0,23 %	0,16 %	0,16 %
	Durchmesser	8 mm	8 mm	8 mm

Tabelle 1 Hauptparameter der Durchstanzversuche [15] mit der Filigran-Durchstanzbewehrung, Bezeichnungen nach DIN 1045 [1]

Table 1 Main parameters of the punching tests with Filigran shear reinforcement, notation according to DIN 1045 [1]

Versuch	1	2	3
Plattendicke d	18 cm	25 cm	25 cm
Längsbewehrungsgrad	1,01 %	1,02 %	1,53 %
Betondruckfestigkeit	28 N/mm ²	28 N/mm ²	25 N/mm ²
	29 N/mm ²	27 N/mm ²	25 N/mm ²
Höchstlast	682 kN	1.308 kN	1363 kN
Bruchschubspannung	4,00 N/mm ²	3,79 N/mm ²	3,95 N/mm ²
Durchbiegung bei Höchstlast	16,2 mm	14,0 mm	10,0 mm
Max. Durchbiegung bei stabiler Wegzunahme	24,8 mm	16,1 mm	17,0 mm

Tabelle 2 Ergebnisse der Versuche mit Filigran-Durchstanzbewehrung [15], Bezeichnungen und Berechnungen nach DIN 1045 [1]

Table 2 Results of the punching tests with Filigran shear reinforcement [15], notation and calculations according to DIN 1045 [1]

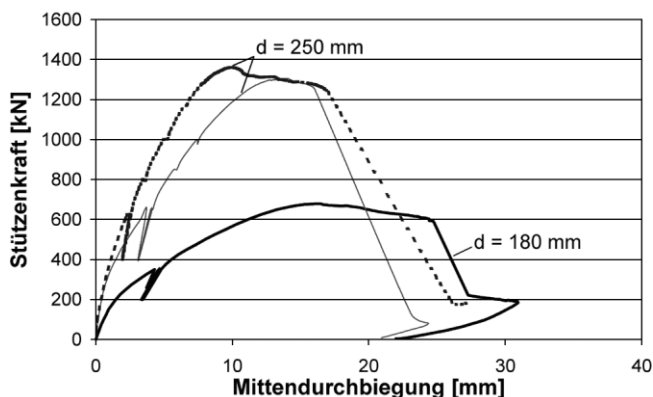


Bild 11 Last-Durchbiegungskurven der Durchstanzversuche [15]
Fig. 11 Load-displacement curves for all punching tests [15]

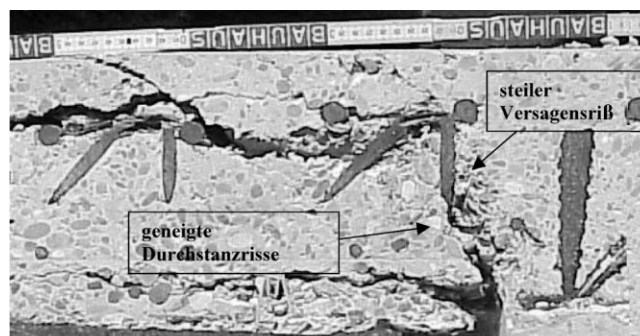


Bild 12 Detail des Rißbildes bei Versuch 1 [15]
Fig. 12 Detail of the crack development (test 1) [15]

- Nach Überschreiten der Höchstlast ist eine starke Zunahme der Plattendicke zu verzeichnen, was auf ein kontinuierliches Anwachsen der Rißbreiten der geneigten Durchstanzrisse hindeutet. Trotz teilweise sehr großer Dickenzunahmen bis zu 10 mm fällt die Tragfähigkeit der Versuchskörper in dieser Phase nur langsam ab, da die Stäbe der Durchstanzbewehrung stärker aktiviert werden.
- Nach dieser sehr stabilen Phase tritt ein sprödes Durchstanzversagen ein. Nachdem die flacher geneigten Durchstanzrisse durch die Durchstanzbewehrung wirksam zusammengehalten werden, bildet sich schließlich bei zunehmenden Verformungen ein steiler Versagensriß direkt an der Stützenkante, der nicht durch Durchstanzbewehrung zusammengehalten wird. Dieser Riß ist in Bild 12 deutlich zu erkennen.

3.2.4 Auswertung

Die aus den Bruchlasten nach DIN 1045 [1] berechneten Bruchschubspannungen im Rundschnitt im Abstand von $0,5 h_m$ von der Stütze sind in Bild 13 in Abhängigkeit vom Längsbewehrungsgrad μ_g aufgetragen. Zum Vergleich sind

Die zulässigen Durchstanzlasten für die Filigran-Durchstanzbewehrung sind weit höher als für Bügel.

die in Versuchen mit anderen Schubbewehrungsarten (Dübelleisten, Doppelkopfbolzen, Riss-Stern, Sonderformen nach Gomes, normale Gitterträger) ermittelten Bruchschubspannungen eingetragen. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Betondruckfestigkeiten der Versuchskörper wurden die gemessenen Bruchlasten über $\beta_w^{1/3}$ auf $\beta_w = 25 \text{ N/mm}^2$ umgerechnet.

In Bild 14 sind die Ergebnisse der Durchstanzversuche mit Dübelleisten, Doppelkopfbolzen und der Filigran-Durchstanzbewehrung auf Basis der DIN 1045-1 [2] ausgewertet. Dargestellt sind die berechneten Bruchschubspannungen im Rundschnitt im Abstand von $1,5d$ von der Stütze, normiert auf $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, in Abhängigkeit vom anrechenbaren Längsbewehrungsgrad. Dieser ist in Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit und der Streckgrenze des Stahls auf ein Maximum von $\rho_l = 2 \%$ begrenzt. Die Bilder zeigen, daß die erreichten Bruchschubspannungen bei Verwendung der Filigran-Durchstanzbewehrung über denen von bisher eingesetzten Gitterträgern und anderen, weniger weit außen verankerten Schubbewehrungen liegen, aber etwas unterhalb derjenigen von Doppelkopfbolzen und Dübelleisten. Der Vergleich der Bruchschubspannungen verschiedener Schubbewehrungsformen bestätigt die theoretischen Überlegungen nach Abschnitt 3.1.

4 Bemessung

Aufgrund der Ergebnisse der dargestellten Untersuchungen wurde für die Filigran-Durchstanzbewehrung eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) erteilt [16]. Diese Zulassung basiert auf dem Nachweiskonzept der DIN 1045 [1]. Entsprechende Zulassungen wurden für andere Schubbewehrungen erteilt [8]–[11], [14]. Mit Einführung der neuen DIN 1045-1 [2] wurde der Durch-

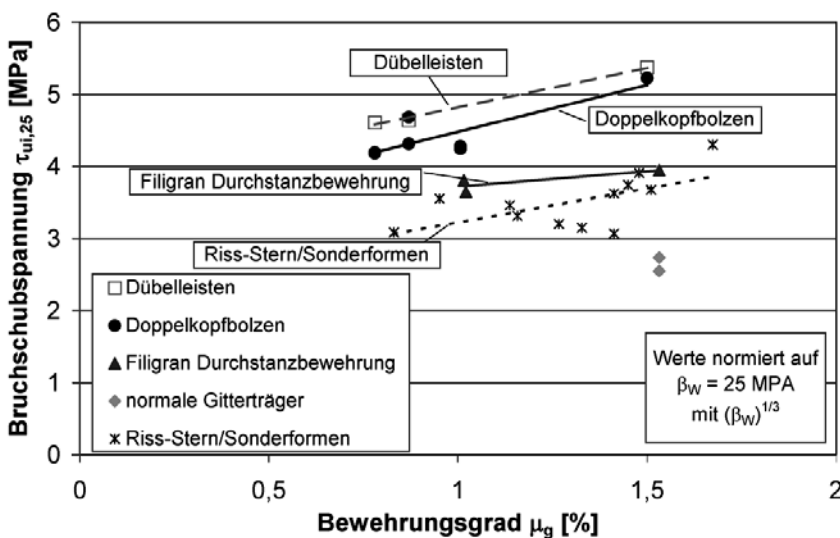


Bild 13 Normierte Bruchschubspannung $\tau_{ui,25}$ auf Basis der DIN 1045 (Rundschnitt nach Zulassungen) [15]
Fig. 13 Normalized shear stress at failure $\tau_{ui,25}$ using DIN 1045 (at critical section as defined by the technical approval)

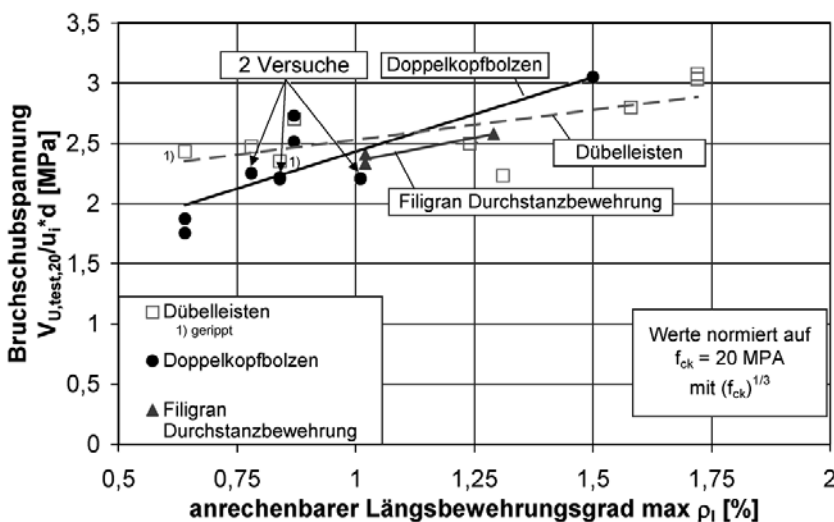


Bild 14 Normierte Bruchschubspannung $V_{U,test,20} / (u_i \cdot d)$ in Abhängigkeit vom anrechenbaren Längsbewehrungsgrad auf Basis der DIN 1045-1 [20]
Fig. 14 Normalized shear stress at failure $V_{U,test,20} / (u_i \cdot d)$ as a function of the allowable flexural reinforcement ratio using DIN 1045-1

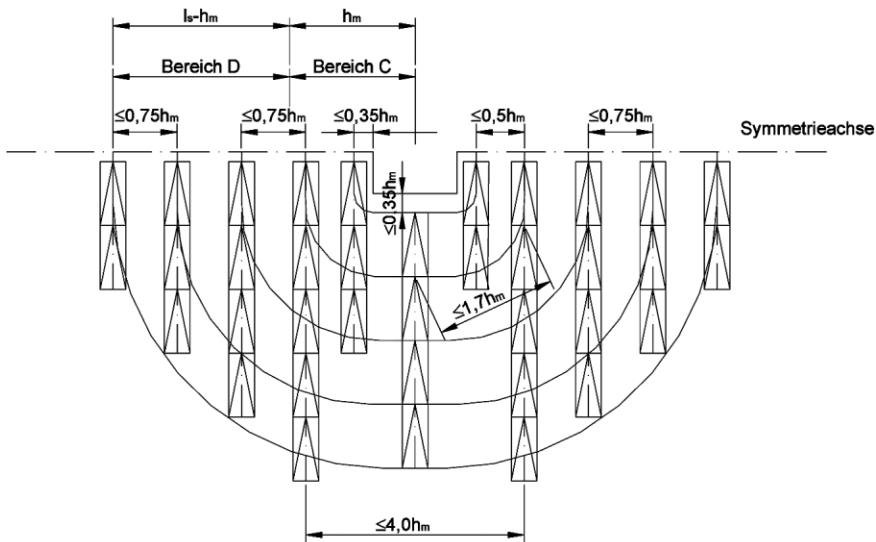


Bild 15 Anordnung der Gitterträger (Grundriß) [16]

Fig. 15 Lattice girder layout (plan view) [16]

stanznachweis geändert. Für zugelassene Durchstanzsysteme erfordert dies eine entsprechende Anpassung der Zulassungen. Die Veröffentlichung dieser neuen Zulassungen soll im Sommer 2003 erfolgen. Für den Übergangszeitraum bis Ende 2004 gelten beide Zulassungen parallel und müssen in Abhängigkeit der verwendeten Bemessungsnorm für das Gesamtbauwerk verwendet werden. Für die Bemessung bei Verwendung der Filigran-Durchstanzbewehrung steht ein Programm zur Verfügung [21]. Als Ergebnis wird die detaillierte Anordnung der Bewehrungselemente ausgegeben. Im folgenden werden die Regelungen in den Zulassungen kurz zusammengefaßt.

4.1 Bemessung nach Zulassung [16] auf Basis der DIN 1045

Die Bemessung nach DIN 1045 [1] erfolgt auf der Basis von zulässigen Spannungen mit einem globalen Sicherheitsfaktor. Dieses Prinzip wurde in den bauaufsichtlichen Zulassungen für die verschiedenen Arten der Schubbewehrung übernommen. Nachfolgend werden hauptsächlich die Regelungen bei Verwendung der Filigran-Durchstanzbewehrung dargestellt.

4.1.1 Bewehrungsanordnung

Der maximale Abstand zwischen Durchstanzbewehrung und Stütze wurde zu $0,35 h_m$ festgelegt (Bild 15). Dadurch soll gewährleistet werden, daß der Versagensriß nicht zwischen Stütze und Schubbewehrung auftritt, sondern die Schubbewehrung kreuzt und diese aktiviert wird. Die maximal zulässigen Abstände in Querrichtung wurden zu $0,5 h_m$ im stützennahen Bereich „C“ (bis $1,0 h_m$ von der Stütze), und zu $0,75 h_m$ im stützenfernen Bereich „D“ festgelegt. Der maximal zulässige Abstand wurde auf 15 cm begrenzt, um den in den Versuchen geprüften Bereich nicht zu verlassen. Eine Festlegung des Abstands der Schubbewehrung in Längsrichtung der Filigran-Durchstanzbewehrung erübrigt sich, da die Stababstände durch die Geometrie der Gitterträger

vorgegeben sind und durch die Versuche als ausreichend bestätigt wurden.

4.1.2 Schubspannungsnachweis

Die Bemessung fordert den Nachweis der Einhaltung der zulässigen Schubspannungen im inneren Rundschnitt bei $0,5 h_m$ und in einem kreisförmigen äußeren Rundschnitt im Abstand $0,5 h_m$ vom Außenrand des schubbewehrten Bereichs. Bei der Berechnung des Umfangs des äußeren Rundschnitts beträgt die maximal anrechenbare Länge des schubbewehrten Bereichs $l_s = 4 h_m$. Diese Begrenzung führt bei Rand- und Eckstützen häufig dazu, daß der äußere Rundschnitt für die Bemessung maßgebend ist. Die Regelung wurde von den Zulassungen für Bolzensysteme übernommen, bei denen durch diese Begrenzung gleichzeitig der maximale Abstand der Bewehrungselemente in Umfangsrichtung auf etwa $4 h_m$ begrenzt wird. Für die Filigran-Durchstanzbewehrung muß der maximale Abstand in Umfangsrichtung in allen Fällen $4 h_m$ betragen. Bei Einhaltung dieses Abstands darf die anrechenbare Länge des schubbewehrten Bereichs nach Meinung der Verfasser vergrößert werden (z. B. auf $l_s = 5 h_m$).

Die Schubspannungsnachweise erfolgen analog zur DIN 1045 [1]. Bei biegesteifer Verbindung der Platte mit Rand- und Eckstützen ist die angreifende Querkraft um 40 % zu erhöhen, um die ungleiche Verteilung der Schubspannungen im Rundschnitt infolge des auftretenden Randmoments zu berücksichtigen.

Die zulässige Schubspannung im inneren Rundschnitt hängt von der Verankerungsqualität der Schubbewehrung ab und ist in den entsprechenden Zulassungen festgelegt. Für die einwirkende Schubspannung $\tau_{r,ui}$ im inneren Rundschnitt nach Gleichung (1) gilt die Bemessungsgrenze nach Gleichung (2).

$$\tau_{r,ui} = \frac{\max Q_r}{u_i \cdot h_m} \quad (1)$$

$$\tau_{r,ui} \leq \kappa_2 \cdot \tau_{02} \leq \tau_{02} \quad (2)$$

mit:

$$\kappa_2 = 0,45 \cdot \alpha_s \cdot \sqrt{\mu_g} \quad \text{für Bügel [1]} \quad (2a)$$

und

$$\kappa_2 = 0,6 \cdot \alpha_s \cdot \sqrt{\mu_g} \leq 0,9 \quad \text{für Filigran-Durchstanzbewehrung [16]} \quad (2b)$$

$$\kappa_2 = 0,7 \cdot \alpha_s \cdot \sqrt{\mu_g} \leq 1,0 \quad \text{für Doppelkopfbolzen [10], [11]} \quad (2c)$$

$$\kappa_2 = 0,9 \cdot \alpha_s \cdot \sqrt{\mu_g} \leq 1,0 \quad \text{für Dübelleisten [8]} \quad (2d)$$

$\max Q_r, u_i, h_m, \tau_{02}, \alpha_s, \mu_g$ nach DIN 1045 [1]

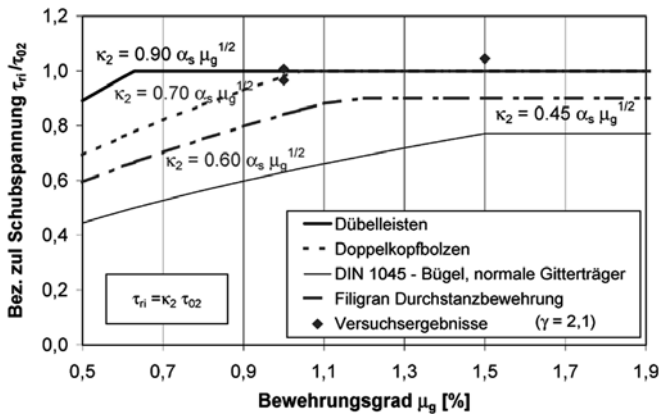


Bild 16 Auf τ_{02} bezogene zulässige Schubspannungen verschiedener Schubbewehrungsformen im Vergleich zu Versuchsergebnissen mit Filigran Durchstanzbewehrung [15]
Fig. 16 Allowable shear stress normalized by τ_{02} for different types of shear reinforcement in comparison to test results with Filigran shear reinforcement [15]

In Bild 16 sind die für verschiedene Arten von Schubbewehrungen geltenden zulässigen Schubspannungen im inneren Rundschnitt bezogen auf τ_{02} , in Abhängigkeit vom Längsbewehrungsgrad aufgetragen. Mit eingetragen sind die Versuchsergebnisse für die Filigran-Durchstanzbewehrung, wobei ein globaler Sicherheitsbeiwert $\gamma = 2,1$ angesetzt wurde. Es ist zu erkennen, daß die zulässigen Schubspannungen für die Filigran-Durchstanzbewehrung je nach Biegebewehrungsgrad ca. 10 % bis 15 % niedriger liegen als diejenigen von Doppelkopfbolzen. Dies stimmt mit den theoretischen Überlegungen und den Versuchsergebnissen überein.

Die zulässigen Schubspannungen im äußeren Rundschnitt berücksichtigen den Übergang zum ebenen Plattenschub durch Gleichung (3).

$$\tau_{r,ua} \leq \frac{1}{1 + 0,25 l_s/h_m} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_{011} \quad (3)$$

mit

$$\tau_{r,ua} \geq \tau_{011}$$

l_s = Länge des schubbewehrten Bereiches

κ_1, κ_{011} nach DIN 1045

4.1.3 Bemessung der Schubbewehrung

Die erforderliche Durchstanzbewehrung wird in Abhängigkeit der Entfernung von der Stütze bzw. der Lasteinleitungsfläche bemessen. Innerhalb des stützennahen Bereiches „C“ bis $1,0 h_m$ von der Stützenkante (vgl. Bild 15) ist die Durchstanzbewehrung für die gesamte Stützenlast von $1,0 \max Q_r$ zu bemessen. In den anschließenden Kreisringen mit Breiten von $s \leq 0,75 h_m$ ist die Durchstanzbewehrung jeweils für $0,5 \max Q_r(s / 0,75 h_m)$ nachzuweisen. Dabei dürfen alle senkrechten Stäbe mit ihrem vollen Querschnitt und ihrer Nennstreckgrenze von $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$ unter Berücksichtigung des globalen Sicherheitsbeiwertes von $\gamma = 1,75$ und die geneigten Stäbe der auf die Stütze zulaufenden Bewehrungselemente entsprechend ihrem Neigungswinkel angesetzt werden. Die geneigten Stäbe der an der Stütze vorbei-

laufenden Elemente werden auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

4.1.4 Verbundnachweis bei Elementdecken

Bei Elementdecken ist zusätzlich der Verbund zwischen Fertigteilplatte und Ortbeton nachzuweisen. Die Filigran-Durchstanzbewehrung kann entsprechend der jeweiligen Neigung der betrachteten Stäbe als Verbundbewehrung angerechnet werden. Die ermittelte Verbundbewehrung braucht nicht zusätzlich zur erforderlichen Durchstanzbewehrung eingelegt werden.

4.2 Bemessung nach DIN 1045-1

Die Bemessung nach DIN 1045-1 [2] erfolgt mit Bemessungswerten der Einwirkung und des Widerstandes unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten. In den derzeit bearbeiteten bauaufsichtlichen Zulassungen auf Basis von DIN 1045-1 werden die gleichen Regelungen für die Anordnung der Durchstanzbewehrung und die Anrechenbarkeit der Stäbe der Filigran-Durchstanzbewehrung wie in den bisherigen Zulassungen angesetzt. Daher wird im folgenden nur der Schubspannungsnachweis dargestellt.

4.2.1 Schubspannungsnachweis

Die einwirkenden Schubspannungen werden im inneren Rundschnitt im Abstand $1,5d$ von der Stütze und im äußeren Rundschnitt im Abstand $1,5d$ vom Außenrand des schubbewehrten Bereichs berechnet.

Die DIN 1045-1 definiert den Bemessungswert des Widerstandes $v_{Rd,ct}$ von schubunbewehrten Platten im Durchstanzbereich nach Gleichung (4). Dieser Widerstand kann bei Einsatz einer Durchstanzbewehrung nach DIN 1045-1 bis zum 1,5fachen dieses Wertes gesteigert werden (Gleichung (5a)). In den neuen bauaufsichtlichen Zulassungen für Durchstanzbewehrungen sollen entsprechend der jeweiligen Verankerungsqualität der einzelnen Schubbewehrungen neue Erhöhungsfaktoren festgelegt werden. Eine Auswertung der Versuche zur Filigran-Durchstanzbewehrung in [20] erbrachte für dieses System einen möglichen Vorwert von 1,75. Die endgültige Festlegung dieses Wertes innerhalb der Zulassung steht derzeit noch aus.

$$v_{Rd,ct} = 0,14 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot d \quad (4)$$

$$v_{Rd,max} = 1,5 \cdot v_{Rd,ct} \text{ für Bügel nach [2]} \quad (5a)$$

$$v_{Rd,max} = 1,75 \cdot v_{Rd,ct} \text{ für Filigran-Durchstanzbewehrung [20]} \quad (5b)$$

Die einwirkende Schubspannung v_{ED} im maßgebendem inneren Rundschnitt ist nach DIN 1045-1 zur Berücksichtigung von Momenten bei Innen-, Rand- und Eckstützen mit den Erhöhungsfaktoren $\beta = 1,05$, $\beta = 1,4$ und $\beta = 1,5$ zu beaufschlagen. Bei Rand- und Eckstützen klingt unabhängig von der Art der Schubbewehrung dieser Einfluß mit zunehmendem Abstand von der Stütze ab [22], so daß für den

Nachweis am äußeren Rundschnitt ein reduzierter Erhöhungsfaktor β_{red} nach Gleichung (6) angesetzt werden kann.

$$\beta_{red} = \frac{\beta}{1 + 0,1 \cdot l_w/d} \leq 1,1 \quad (6)$$

mit

β_{red} = reduzierter Erhöhungsfaktor für den äußeren Rundschnitt

β = Erhöhungsfaktor für den inneren Rundschnitt nach DIN 1045-1

l_w = Länge des durchstanzbewehrten Bereiches

d = statische Nutzhöhe der Decke

Dieser Ansatz für den Erhöhungsfaktor im äußeren Rundschnitt soll in die neuen Zulassungen für Durchstanzbewehrung aufgenommen werden.

Der Übergang vom Durchstanzen zum ebenen Platten Schub wird durch den Beiwert κ_a nach Gleichung (7) berücksichtigt.

$$\kappa_a = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot l_w/d} \leq 0,714 \quad (7)$$

5 Zusammenfassung

Der Durchstanzwiderstand von Elementdecken kann durch den Einbau geeigneter Durchstanzbewehrung erhöht werden. Die grundsätzliche Einsatzmöglichkeit verschiedener Durchstanzsysteme in Elementdecken mit den Bemessungsansätzen für Ortbetonkonstruktionen wurde bereits 1997 nachgewiesen. Zwischenzeitlich wurde die Filigran-Durchstanzbewehrung entwickelt. Sie besteht aus einem speziellen Gitterträger, bei dem die am Obergurt angeschweißten Diagonalen bis zur Oberkante der Biegebewehrung reichen. Dadurch wird eine effektive und schlupfarme Verankerung gewährleistet. Diese Durchstanzbewehrung bewirkt eine deutliche Erhöhung des Durchstanzwiderstandes gegenüber Bügeln. Sie wird im Fertigteilwerk in die Elementdecke parallel zur unteren Längsbewehrung und den Standardgitterträgern eingebaut. Auf der Baustelle wird die obere Bewehrung direkt auf den Obergurten der Durchstanzbewehrung verlegt. Das Tragverhalten dieser Durchstanzbewehrung wurde numerisch und in Bauteilversuchen studiert. Aufgrund der Ergebnisse wurde eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung auf Grundlage der DIN 1045 [1] erteilt [16]. Eine Zulassung analog der neuen DIN 1045-1 [2] steht vor der Erteilung.

Zur Bemessung der Filigran-Durchstanzbewehrung steht eine Programm zur Verfügung [21] mit dem die erforderlichen Nachweise durchgeführt werden können. Als Ergebnis der Bemessung wird die detaillierte Anordnung der Bewehrungselemente ausgegeben.

Literatur

- [1] DIN 1045: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. Berlin, Beuth, 1988.

- [2] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Deutsche Norm Berlin, Juli, 2001.
- [3] Furche, J.: Elementdecken im Durchstanzbereich von Flachdecken. Beton- und Fertigteil-Technik, Heft 6/1997, S. 96 bis 104.
- [4] Koch, R.: Zum Durchstanzverhalten von Stahlbetonplatten aus Elementdecken. Otto Graf Journal 8 (1997) S. 45–62
- [5] Schießl, P.: Drillsteifigkeit von Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht. Beton- und Stahlbetonbau 91, 1996, Heft 3, S. 62–67, Heft 4, S. 86–89.
- [6] Bechert, H. und Furche, J.: Bemessung von Elementdecken mit der Methode der Finite-Elemente. Betonwerk + Fertigteil-Technik 59, 1993, Nr. 5, S. 47–51.
- [7] Hallgren, M.: Punching shear capacity of reinforced high strength concrete slabs. Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1996.
- [8] Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 15.1-30 des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 15.06.2001 für DE-HA Kopfbolzen-Dübelleisten. Berlin, 2001.
- [9] Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 15.1-94 des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 24.11.1997 für DE-HA Doppelkopfbolzen-Dübelleisten. Berlin, 1997.
- [10] Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 15.1-84 des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 24.11.1997 für Durchstanzbewehrung Halfen HDB-N. Berlin, 1997.
- [11] Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 15.1-178 des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 18.08.2000 für Schöck Doppelkopfbolzen-Element BOLE. Berlin, 2000.
- [12] Riss AG (Hrsg.): Durchstanzbewehrung RISS-Stern. Informationsheft der RISS AG, CH-Dällikon, 1991.
- [13] Gomes, R. und Andrade, M.: Does a Punching Shear Reinforcement Need to Embrace a Flexural Reinforcement of a Reinforced Concrete Slab? International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs, Stockholm, 2000, S. 109–115.
- [14] Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 15.1-93 des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 21.06.1999 für Filigran EQ-Gitterträger. Berlin, 1999.
- [15] Eligehausen, R.: Gutachtliche Stellungnahme zur Schubbemessung von punktförmig gestützten Platten, die mit Filigran Gitterträgern EQS bewehrt sind. 2001.
- [16] Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 15.1-191 des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 01.10.2001 für Filigran Durchstanzbewehrung. Berlin, 2001.
- [17] Eligehausen, R., Hegger, J., Beutel, R. und Vocke, H. (1999): Zum Tragverhalten von Flachdecken mit Dübelleisten oder Doppelkopfkankern im Auflagerbereich. Bauingenieur, Jg. 74, 1999, Nr. 4, S. 202–209.
- [18] Furche, J.: Zum Trag- und Verschiebungsverhalten von Kopfbolzen bei zentrischem Zug. Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB), Universität Stuttgart, 1994.
- [19] Rehm, G., Dieterle, H. und Eligehausen, R.: Rationalisierung der Bewehrungstechnik im Stahlbetonbau.

Teil 5b: Das Tragverhalten verschiedener Verankerungselemente in Rissen. Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1979.

- [20] *Eligehausen, R.*: Gutachten zur Schubbemessung von punktförmig gestützten Platten, die mit FILIGRAN Durchstanzbewehrung nach DIN 1045-1 bewehrt sind. 2002.
- [21] *Bauermeister, U.*: Bemessungsprogramm ProFi zur Bemessung von Filigran-Durchstanzbewehrung (www.filigran.de). Filigran Trägersysteme GmbH & Co., 2001.
- [22] *Vocke, H.* und *Eligehausen, R.*: Durchstanzen von Flachdecken im Bereich von Rand- und Eckstützen. Beton- und Stahlbetonbau, Jg. 98, 2003, Nr. 2, S. 66–73.



Dipl.-Ing. Anita Clauss
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 4
70569 Stuttgart



Dr.-Ing. Henrik Vocke
Hoffmann Eitle
Patentanwälte
Arabellastr. 4
81925 München



Dr.-Ing. Johannes Furche
Filigran Trägersysteme GmbH & Co. KG
Am Zappenberg 6
31633 Leese/Weser

Schlüsselwörter:

Durchstanzen – Durchstanzbewehrung – Filigrandecke – Elementdecke – Flachdecke – Gitterträger



Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen
Universität Stuttgart
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Abt. Befestigungstechnik
Pfaffenwaldring 4
70569 Stuttgart



Dipl.-Ing. Ulrich Bauermeister
Filigran Trägersysteme GmbH & Co. KG
Am Zappenberg 6
31633 Leese/Weser