BFT INTERNATIONAL

2013 Vol. 79
12

www.bft-international.com

Concrete Plant + Precast Technology
Betonwerk + Fertigteiltechnik

REPRINT

TEXT: Dr.-Ing. Johannes Furche, Dipl.-Ing. Ulrich Bauermeister

Flat floors with semi-precast elements in accordance with Eurocode 2

Flachdecken in Elementbauweise nach Eurocode 2

The new European Technical Approval (ETA) provides not only a formal basis for the Europe-wide construction of flat floor slabs composed of precast elements reinforced with lattice girders, which were previously mainly used in German-speaking countries.

Die neue europäische technische Zulassung (ETA) schafft nicht nur formal die Möglichkeit einer europaweiten Ausführung von bisher hauptsächlich im deutschsprachigen Raum verbreiteten Flachdecken mit gitterträgerbewehrten Fertigteilen.

Flat floors with semi-precast elements in accordance with Eurocode 2

Flachdecken in Elementbauweise nach Eurocode 2

TEXT: Dr.-Ing. Johannes Furche, Dipl.-Ing. Ulrich Bauermeister

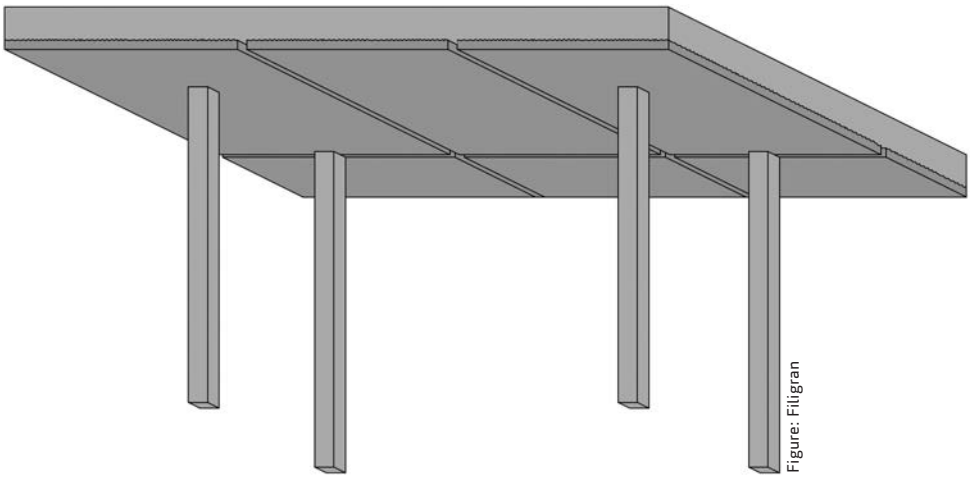

Figure: Filigran

1
Flat floor composed of semi-precast floor slabs

Flachdecke aus Elementfertigteilplatten

Flat floors composed of precast slabs with lattice girders and a structural concrete topping require specifically designed punching shear reinforcement systems and structural rules and guidelines for safe and practicable use. Punching shear tests were carried out for the advanced FDB II Filigran punching shear reinforcement to obtain a European Technical Approval. The Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) granted European Technical Approval ETA-13/0521 to these specially designed lattice girders, thus confirming the increase in punching shear resistance to more than double the level of flat floors without shear reinforcement.

Semi-precast floor units are manufactured from prefabricated, thin reinforced-concrete slabs with lattice girders and a cast-in-place concrete topping. These floor units have also been used for the production of flat floors for several years. The structural behavior of flat floor slabs is characterized by their biaxial load transfer and the possibility of punching shear failure of the floor unit in the area of point supports.

Flachdecken aus vorgefertigten Platten mit Gitterträgern und einer tragenden Aufbetonschicht erfordern spezielle Durchstanzbewehrungen und konstruktive Regelungen für eine sichere und praktikable Anwendung. Zur Erteilung einer Europäisch Technischen Zulassung wurden Durchstanzversuche mit der weiterentwickelten Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II durchgeführt. Für diese speziellen Gitterträger erteilte das Deutsche Institut für Bautechnik die Europäisch Technische Zulassung ETA-13/0521 und bestätigt darin die Erhöhung des Durchstanzwiderstandes gegenüber schubunbewehrten Flachdecken auf mehr als das Doppelte.

Elementdecken werden aus vorgefertigten dünnen Stahlbetonplatten mit Gitterträgern und einer vor Ort aufgebrachten Aufbetonschicht erstellt. Diese Elementdecken werden bereits seit Jahren auch zur Herstellung von Flachdecken eingesetzt. Kennzeichnend für das Tragverhalten von Flachdecken sind der zweiachsige Lastabtrag und das mögliche Durchstanzversagen der Flachdecke im Bereich der punktuellen Unterstützungen.

2

Precast floor slab with and without mechanical roughening

Fertigteilplatte ohne und mit mechanischem Aufrauen

Unchanged structural analysis and flexural design

The design of semi-precast floor units is governed by the relevant design standard. In Germany, existing national technical approvals for lattice girders were recently converted to the design concept specified in the DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2 standard. According to this concept, the flexural design of these elements continues to be the same as for monolithic cast-in-place floors. The structural analysis is based on the same assumptions as previously. For the sake of clarity, the National Annex to the Eurocode 2 thus includes previously applied specifications contained in DIN 1045-1 as "non-contradictory complementary information", which is relevant to designing biaxially restrained semi-precast floor units. For example, when determining internal slab stresses according to section 5.1.1 (NA. 13), identical stiffness parameters may be used for both directions of support if the

Schnittgrößenermittlung und Biegebemessung unverändert

Die Bemessung von Elementdecken folgt der jeweils geltenden Bemessungsnorm. In Deutschland wurden aktuell nationale bauaufsichtliche Zulassungen für Gitterträger auf das Bemessungskonzept von DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2 umgestellt. Danach erfolgt die Biegebemessung weiterhin wie bei monolitisch hergestellten Ortbetondecken. Für die Schnittgrößenermittlung gelten die gleichen Grundlagen wie bisher. Zur Klarstellung wurden daher im Nationalen Anhang zum Eurocode 2 bisherige Normenregelungen der DIN 1045-1 als „ergänzende nicht widersprechende Angaben" („non-contradictory complementary information") übernommen, die für die Bemessung von zweiachsig gespannten Elementdecken relevant sind. Unter anderem dürfen bei der Ermittlung von Plattenschnittgrößen nach 5.1.1 (NA. 13) gleiche Steifigkeiten in beide Tragrichtungen angesetzt werden, wenn

	Eurocode 2 Eurocode 2	**National Annex** Nationaler Anhang	**Commentary** Kommentar
very smooth sehr glatt	**The concrete surface was cast against steel, plastic or special timber formwork.** Die Oberfläche wurde gegen Stahl, Kunststoff oder spezielle Holzschalungen betoniert.	**Untreated joint surfaces should be classified as very smooth when using flowable or very flowable concrete (≥ F5 in the first concreting section).** Unbehandelte Fugenoberflächen sollten bei Verwendung von Beton mit fließfähiger bzw. sehr fließfähiger Konsistenz (≥F5 im 1. Betonierabschnitt) als sehr glatte Fuge eingestuft werden.	
smooth glatt	**The surface was smoothed or produced using a slip-forming or extrusion process, or was left untreated after compaction.** Die Oberfläche wurde abgezogen oder im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt oder blieb nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung.		**Untreated surfaces without verification must thus be classified as smooth.** Unbehandelte Oberflächen ohne Nachweis sind damit als glatt einzustufen.
rough rau	**A surface with a roughness of at least 3 mm, created by rakes with a prong spacing of about 40 mm, the exposure of aggregates or other methods resulting in an equivalent behavior.** Eine Oberfläche mit mindestens 3 mm Rauigkeit, erzeugt durch Rechen mit ungefähr 40 mm Zinkenabstand, Freilegen der Gesteinskörnungen oder andere Methoden, die ein äquivalentes Verhalten herbeiführen.	**For rough joints, aggregates must be exposed to a depth of at least 3 mm (i.e. equivalent to a mean surface roughness of at least 1.5 mm determined according to the sand-patch method, for example).** Bei rauen Fugen muss die Gesteinskörnung mindestens 3 mm tief freigelegt werden (z.B. mit dem Sandflächenverfahren bestimmte mittlere Rautiefe mind. 1,5 mm).	**A roughness of 3 mm roughly corresponds to a mean surface roughness of about 1.5 mm determined using the sand-patch method according to Kaufmann.** Die Rauigkeit von 3 mm entspricht etwa einer mittleren Rautiefe nach dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann von etwa Rt = 1,5 mm.
indented verzahnt	**An indented surface as shown in Fig. 6.9 in the Eurocode.** Eine verzahnte Oberfläche nach Bild 6.9 im Eurocode.		**Among other requirements, an indentation depth of at least 10 mm is specified. Alternatively, the surface may also be classified as indented if a maximum aggregate size of at least 16 mm is used and if the aggregate projects from the surface by at least 6 mm.** Unter anderem wird eine Zahntiefe von mindestens 10 mm gefordert. Alternativ kann bei Verwendung eines Größtkorns von mindestens 16 mm ein Herausragen der Körnung um mindestens 6 mm auch als verzahnt eingestuft werden.

Table 1

Definitions of roughness and bond joint specifications

Definitionen der Rauheit und Anforderungen an die Verbundfuge

height distance of the flexural reinforcement does not exceed 50 mm. According to 10.9.3 (NA.15) P, the favorable effect of torsional rigidity may also be considered in the structural analysis if there is no precast slab butt joint within the area subject to torsion or if the butt joint is stabilized by a bond reinforcement located at a distance of up to 10 cm from the joint edge.

The introduction of Eurocode 2 has thus not resulted in any change to the flexural design of semi-precast floors. The flexural behavior of semi-precast floor slabs is equivalent to the behavior of cast-in-place floors.

Standardized verification of bond joint

The bond joint between the two concreting sections must provide a sufficiently high load-bearing capacity to ensure the monolithic bearing behavior of the pre-

der Höhenabstand der Biegezugbewehrung 50 mm nicht überschreitet. Nach 10.9.3 (NA.15) P darf auch die günstige Wirkung der Drillsteifigkeit bei der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt werden, wenn sich innerhalb des Drillbereiches keine Stoßfuge der Fertigteilplatten befindet oder wenn die Stoßfuge durch eine Verbundbewehrung im Abstand von höchstens 10 cm vom Fugenrand gesichert wird.

Damit hat sich die Biegebemessung für Elementdecken durch die Einführung von Eurocode 2 nicht verändert. Das Biegetragverhalten von Elementdecken entspricht dem von Ortbetondecken.

Nachweis der Verbundfuge vereinheitlicht

Für die monolithische Tragwirkung der vorgefertigten Stahlbetonplatte zusammen mit dem Ortbeton ist die Tragfähigkeit der Verbundfuge zwischen den beiden Betonierabschnitten sicherzustellen. Als Verbundbeweh-

fabricated reinforced-concrete slab together with the in-situ concrete. In the case at hand, lattice girders act as a bond reinforcement. Prior to the shift to the Eurocode 2 design concept, some of the national technical approvals granted for lattice girders still contained design rules taken from the 2001 edition of the DIN 1045-1 standard. These rules considered varying joint roughnesses by modifying the inclination of the concrete strut in the design concept. Eurocode 2 considers the individual load-bearing components resulting from friction, adhesion and bond reinforcement by adding up these components. Although these load-bearing components occur at different relative displacements in the joint, this approach is justifiable because the design was calibrated on the basis of tests.

Overall, a comparison of the outcomes of the design exercise shows roughly identical required bond reinforcements for rough joints according to the previous approval and smooth joints according to Eurocode 2. Eurocode 2 specifies lower amounts of bond reinforcement for rough joints. When establishing this comparison, however, it should be noted that the roughness specifications have become more stringent for rough joints.

As shown in Table 1, Eurocode 2 distinguishes between very smooth, smooth, rough and indented joints f or the purpose of verifying the bond joint.

Untreated surfaces of precast floors with lattice girders must thus usually be classified as "smooth". This classification does not require a separate verification of the precast element surface. Joints may also be classified as "rough" without additional treatment and verified using the sand-patch method. This applies particularly if the workability, mix design and compaction of the precast concrete are carefully adjusted to each other. Rough joints may also be created by mechanical roughening of the surface. However, the

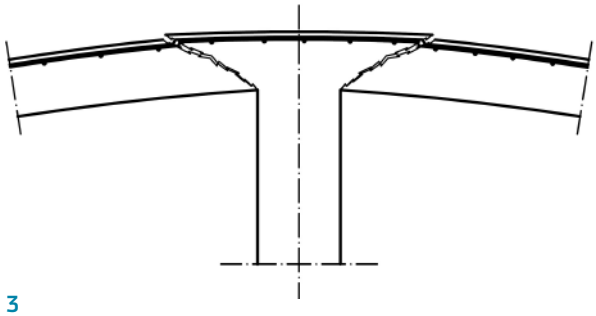

Figure: Filigran

3

Punching shear failure (schematic representation)

Durchstanzversagen (schematisch)

rung dienen hier Gitterträger. Nationale bauaufsichtliche Zulassungen für Gitterträger enthielten vor der Umstellung auf das Bemessungskonzept nach Eurocode 2 zum Teil noch Bemessungsregeln der DIN 1045-1 aus dem Jahr 2001. Danach erfolgte die Berücksichtigung unterschiedlicher Fugenrauigkeiten noch über unterschiedliche Neigungen der Betondruckstrebe im Bemessungskonzept. Nach Eurocode 2 erfolgt die rechnerische Berücksichtigung der unterschiedlichen Traganteile aus Reibung, Adhäsion und Verbundbewehrung über eine Addition der Traganteile. Wenngleich diese einzelnen Traganteile bei unterschiedlichen Relativverschiebungen in der Fuge auftreten, ist eine rechnerische Addition vertretbar, da die Bemessung an Versuchen kalibriert wurde.

Insgesamt zeigt ein Vergleich der Bemessungsergebnisse etwa gleich hohe erforderliche Verbundbewehrung für raue Fugen nach alter Zulassung und glatte Fugen nach Eurocode 2. Bei rauen Fugen fordert der Eurocode 2 geringere Mengen an Verbundbewehrung. Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass sich die Anforderungen an die Rauigkeiten für raue Fugen verschärft haben.

Für den Nachweis der Verbundfuge unterscheidet Eurocode 2 entsprechend Tabelle 1 zwischen sehr glatten, glatten, rauen und verzahnten Fugen.

Die unbehandelten Oberflächen von vorgefertigten Fertigteilplatten mit Gitterträgern sind danach üblicherweise als „glatt" einzustufen. Bei dieser Einstufung ist kein gesonderter Nachweis der Fertigteiloberfläche erforderlich. Insbesondere bei abgestimmter Konsistenz, Rezeptur und Verdichtung des Fertigteilbetons kann auch ohne zusätzliche Maßnahmen eine „raue" Fuge vorliegen, die beispielsweise mittels Sandflächenverfahren nachgewiesen werden kann. Auch ein mechanisches Aufrauen zur Sicherstellung einer rauen Fuge ist möglich. Die normativen Vorgaben hierzu sind jedoch bei Fertigplatten mit engen Gitterträgerabständen nicht immer umsetzbar.

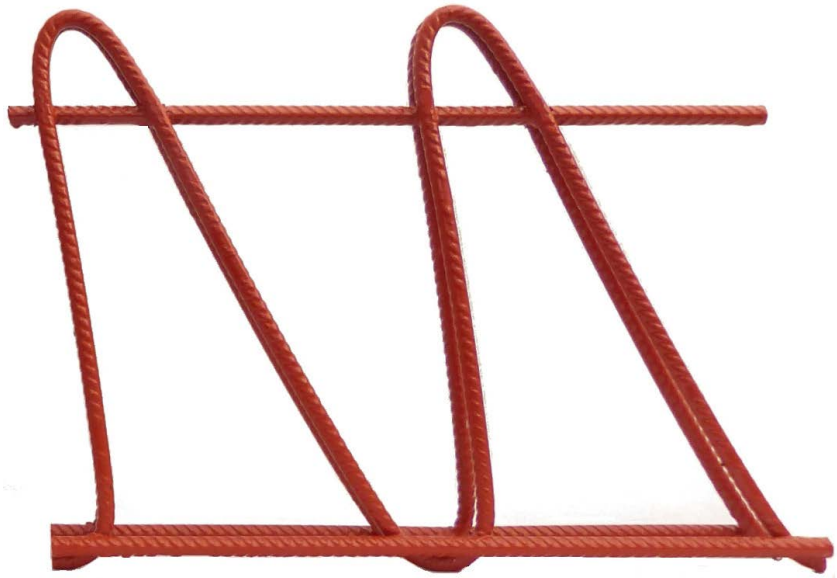

Figure: Filigran

4

FDB II Filigran punching shear enforcement with projecting loops and variously inclined struts

Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II mit überragenden Schlaufen und unterschiedlich geneigten Streben

Durchstanzversagen vermeiden

In Flachdecken ist ein punktuelles Versagen in Form eines kegelförmigen Betonausbruches zu verhindern. Ein solches Durchstanzversagen kann unter anderem durch entsprechend dick dimensionierte Decken vermieden werden. Alternativ kann der Durchstanzwiderstand der Decke durch den Einbau von Durchstanzbewehrung erhöht werden. Die Erhöhung ist abhängig vom eingesetzten Bewehrungssystem, wird in Bauteilversuchen ermittelt und in Normen oder Zulassungen festgelegt.

specifications included in relevant rules and standards are not always easy to implement for precast slabs with narrow lattice girder spacings.

Preventing punching shear failure

In flat floors, local failure associated with conical concrete breakout must be prevented. Among other precautions, such punching shear failure can be avoided by ensuring a sufficient thickness of floors in the design exercise. Alternatively, the punching shear resistance of the floor may be increased by inserting punching shear reinforcement. The magnitude of this increase depends on the specific reinforcement system used. It is determined in structural component tests and specified in standards or approvals.

Use of projecting loops for maximum load-bearing capacity

The FDB II Filigran punching shear reinforcement is the result of the continued improvement of a nationally approved system. This reinforcement is characterized by an alternating pattern of diagonal and vertical struts whose loops project from the upper chord and are anchored at the level of the top flexural reinforcement layer. To date, the use of this system has demonstrated that the reinforcing components are easy to install, particularly in semi-precast floors with lattice girders. In these elements, the reinforcement is inserted parallel to the lattice girders used for assembly purposes. The FDB II punching shear reinforcement according to ETA-13/0521 was further improved to include struts with varying degrees of inclination. This also applies to the strut located next to the column, which is inclined by about 2 cm towards the column. In combination with the installation of the reinforcement close to the columns, this arrangement ensures that the struts counteract punching shear cracks even if these are steep. Chords and struts have a diameter of 10 mm and 9 mm, respectively. The ribbed surface of the B500A steel rebar ensures an effective crack distribution within the precast component.

Concentric punching shear tests were carried out at RWTH Aachen in accordance with the Common Understanding of Assessment Procedure (CUAP). Maximum load-bearing capacities were analyzed on the basis of the punching shear resistance specified in Eurocode 2 in conjunction with National Application Document 2. For the FDB II reinforcement, ETA-13/0521 specifies **Equation (1)** for the verification of the maximum shear stress $V_{Rd,max}$ in the basic control perimeter at a distance equal to two times the structural height d.

$$v_{Rd,max} = 2.09 \cdot v_{Rd,c} \qquad (1)$$

$v_{Rd,c}$ design resistance in accordance with the National Application Document for the Eurocode 2 for slabs without punching shear reinforcement

The resistance $v_{Rd,c}$ to the acting shear load is determined by **Equation (2)** for slabs without punching shear reinforcement and normal stress.

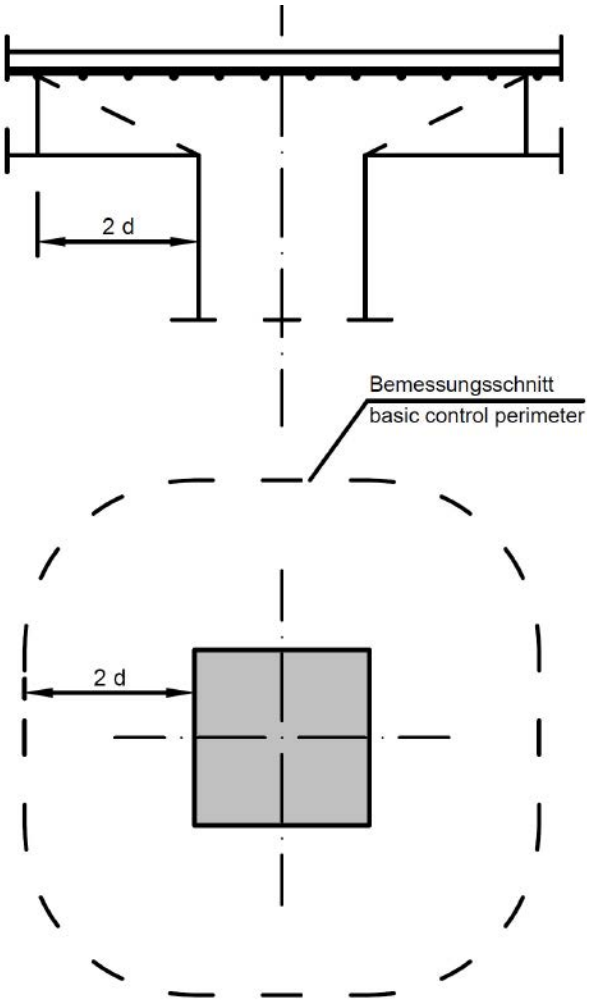

Figure: Filigran

5

Basic control perimeter according to the National Application Document to Eurocode 2 and according to ETA-13/0521

Bemessungsrundschnitt nach Nationalem Anwendungsdokument zu Eurocode 2 und nach ETA-130521

Mit überragenden Schlaufen zur Höchstlast

Die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II ist die Weiterentwicklung eines bereits national zugelassenen Systems. Diese Bewehrung ist gekennzeichnet durch abwechselnd geneigte und senkrechte Streben, deren Schlaufen den Obergurt überragen und sich in der Lage der oberen Biegezugbewehrung verankern. Die bisherige Anwendung zeigt die Einbaufreundlichkeit der Bewehrungselemente insbesondere in Elementdecken mit Gitterträgern. Hier werden die Bewehrungselemente parallel zu den Montagegitterträgern eingebaut. Die FDB II nach ETA-13/0521 enthält als Weiterentwicklung abwechselnd stark geneigte Streben. Auch die stützennahe Strebe ist etwa um 2 cm zur Stütze geneigt. Dadurch wird in Kombination mit der stützennahen Anordnung der Bewehrungselemente eine Durchdringung auch steiler Durchstanzrisse durch die Streben gewährleistet. Der Durchmesser der Gurte beträgt 10 mm und der der Streben 9 mm. Die Stäbe aus Betonstahl B500A stellen durch ihre gerippte Oberfläche eine gute Rissverteilung im Betonbauteil sicher.

Entsprechend der europäisch abgestimmten Beurteilungsrichtlinie (CUAP) wurden zentrische Durchstanzversuche an der RWTH Aachen durchgeführt. Die Maximaltragfähigkeiten wurden auf der Grundlage der Durchstanztragfähigkeit nach Eurocode 2 in Verbindung mit dem Nationalen Anwendungsdokument 2 ausgewertet. Für den Nachweis der maximalen Schubspannung $V_{Rd,max}$ im Bemessungsrundschnitt in einer Entfernung vom zweifachen Wert der statischen Höhe d wurde in der ETA-13/0521 für die FDB II **Gleichung (1)** festgelegt.

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

v_{min} = minimum shear resistance

$v_{min} = (0.0525 / \gamma_c) \cdot k^{5/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ (for d < 600 mm)

$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c$ for $u_0/d \geq 4$

$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c \cdot (0.1\, u_0/d+0.6) \geq 0.15 / \gamma_c$ for $u_0/d < 4$

γ_c = partial safety factor for concrete

$\gamma_c = 1.5$

k = scale factor for slab thickness
where $k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2$

ρ_l = mean degree of longitudinal reinforcement
where $\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}$ $\leq 0.5\, f_{cd}/f_{yd}$
≤ 0.02

f_{cd} = design concrete compressive strength
f_{yd} = design yield strength of flexural reinforcement
f_{ck} = characteristic concrete compressive strength
d = mean effective depth

The increase in the load-bearing capacity brought about by installing the FDB II Filigran punching shear enforcement according to Equation (1) is greater than in the case of using stirrups to prevent punching shear. It is also greater than the related increase achieved when using other punching shear reinforcement systems with European Technical Approvals. **Figure 6** compares the increase factors of various types of punching shear reinforcement. Several European Technical Approvals were granted at the end of 2012 and the beginning of 2013 for double-headed studs as punching shear reinforcement. These approvals specify the same increase factor of 1.96 according to **Equation (1)** for use in flat floors. The National Annex to Eurocode 2 contains an increase factor of 1.40 for stirrups to be used as punching shear reinforcement. Only a few punching shear tests were carried out for lattice girders acting as a shear reinforcement in line-supported floors. Analyses of these tests suggest that future national technical approvals granted

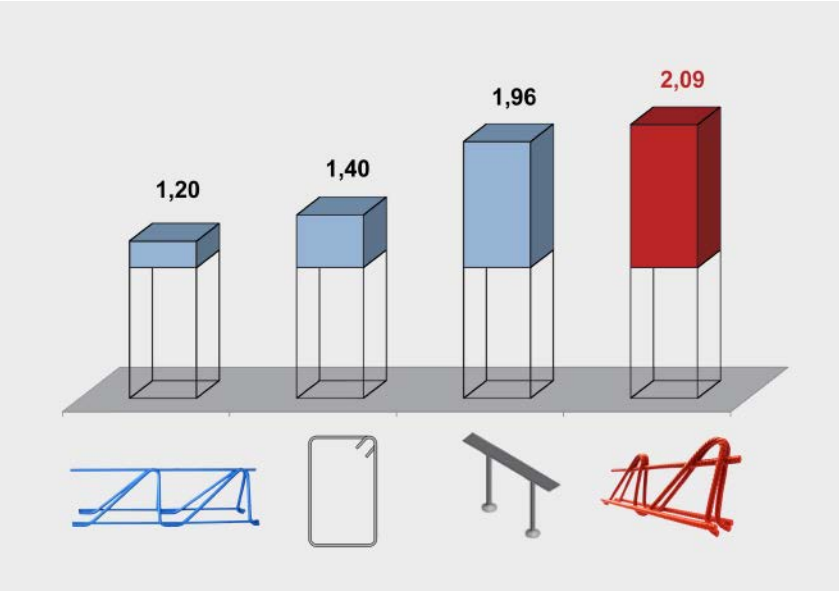

Figure: Filigran

6

Increase in resistance for various punching shear systems

Erhöhung der Widerstände für unterschiedliche Durchstanzsysteme

$$v_{Rd,max} = 2.09 \cdot v_{Rd,c} \quad (1)$$

$v_{Rd,c}$ Bemessungswiderstand nach Nationalem Anwendungsdokument zum Eurocode 2 für Platten ohne Durchstanzbewehrung

Für Platten ohne Durchstanzbewehrung und ohne Normalspannung gilt als Widerstand $v_{Rd,c}$ für die einwirkende Querkraft **Gleichung (2)**.

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

v_{min} = Mindestquerkrafttragfähigkeit

$v_{min} = (0{,}0525 / \gamma_c) \cdot k^{5/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ (für d ≤ 600 mm)

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

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

γ_c = Teilsicherheitsbeiwert für Beton

$\gamma_c = 1{,}5$

k = Maßstabsfaktor für die Plattendicke
mit $k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2$

ρ_l = mittlerer Längsbewehrungsgrad
mit $\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}$ $\leq 0{,}5\, f_{cd}/f_{yd}$
$\leq 0{,}02$

f_{cd} = Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
f_{yd} = Bemessungswert der Streckgrenze der Biegezugbewehrung
f_{ck} = charakteristische Betondruckfestigkeit
d = mittlere Nutzhöhe

Die Erhöhung des Tragwiderstandes durch die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II entsprechend **Gleichung (1)** ist größer als durch den Einsatz von Bügeln als Durchstanzbewehrung und auch größer als beim Einsatz anderer Durchstanzsysteme mit Europäisch Technischer Zulassung. **Abbildung 6** zeigt den Vergleich der Erhöhungsfaktoren verschiedener Durchstanzbewehrungen. Für Doppelkopfbolzen als Durchstanzbewehrung wurden von Ende 2012 bis Anfang 2013 mehrere Europäisch Technische Zulassungen erteilt, die für die Anwendung in Flachdecken denselben Erhöhungsfaktor analog **Gleichung (1)** von 1,96 festschreiben. Für Bügel als Durchstanzbewehrung enthält der Nationale Anhang zum Eurocode den Erhöhungsfaktor 1,40. Mit Gitterträgern, die als Schubbewehrung in liniengelagerten Decken eingesetzt werden, wurden nur wenige Durchstanzversuche durchgeführt. Auswertungen dieser Versuche lassen erwarten, dass zukünftige nationale bauaufsichtliche Zulassungen auf der Grundlage von Eurocode 2 einen Erhöhungsfaktor von etwa 1,20 erhalten werden. Für den Anwender bilden diese Faktoren im Hinblick auf die Maximaltragfähigkeit ein objektives Auswahlkriterium, jedoch ist zu ergänzen, dass die Anordnung und Bemessung der Durchstanzbewehrung selbst nach unterschiedlichen Konzepten erfolgt. Hierzu stehen Bemessungsprogramme der Bewehrungshersteller zur Verfügung.

Durchstanzsysteme mit höheren Faktoren erlauben bei gleichen Randbedingungen wie Plattendicke, Stützenabmessung, Längsbewehrungsgrad und Betongüte

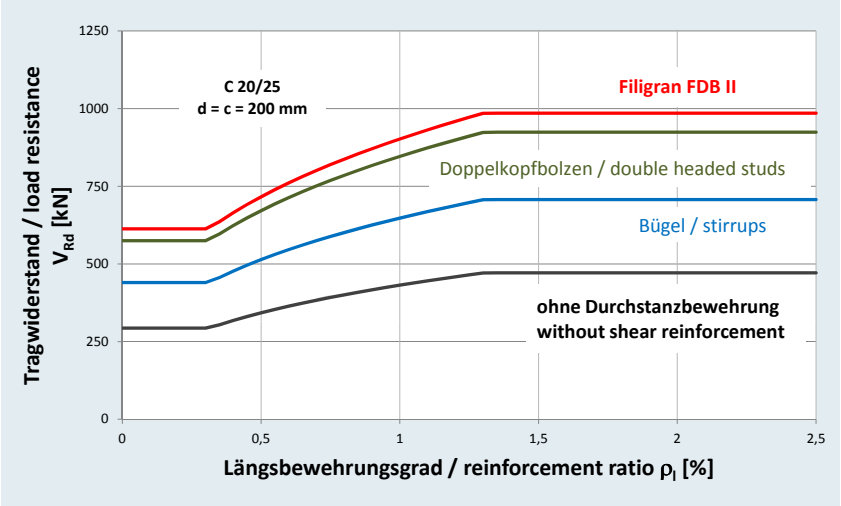

Figure: Filigran

7

Punching shear resistance as a function of the longitudinal reinforcement ratio for various types of punching shear reinforcement

Durchstanzwiderstand in Abhängigkeit vom Längsbewehrungsgrad für verschiedene Durchstanzbewehrungen

on the basis of Eurocode 2 will probably specify an increase factor of about 1.20. For the user, these factors are objective selection criteria in relation to maximum load-bearing capacity. It should be noted, however, that the punching shear reinforcement itself is arranged and designed on the basis of various concepts. Reinforcement producers provide design programs for this purpose.

Punching shear reinforcement systems with higher factors permit greater bearing capacities or acting loads under identical boundary conditions with respect to slab thickness, column dimensions, degree of longitudinal reinforcement and concrete strength. For a given design load, a punching shear system that provides a greater punching shear resistance makes it possible to reduce its dimensions, the amount of longitudinal reinforcement or concrete strength whilst always considering applicable design rules. Figures 7 and 8 show punching shear resistance parameters for a structural floor height of 20 cm and a square column cross-section with a side length of 20 cm as a function of the degree of longitudinal reinforcement and concrete strength. In certain areas, punching shear reinforcement systems providing a greater bearing capacity may require a lesser amount of longitudinal reinforcement and, if applicable, a lower concrete strength. The use of such effective systems increases the cost efficiency of the project.

Semi-precast floor units with verified conditions of use

The increase factor referred to above and the approved conditions of use of the FDB II Filigran punching shear reinforcement apply to both cast-in-situ floors and semi-precast floor slabs with lattice girders. Their scope of application includes slab thicknesses from 18 cm to 36 cm and concrete strengths ranging from C20/25 to C50/60. The maximum diameter of the flexural reinforcement is 25 mm. For the positioning of the rein-

höhere Tragwiderstände beziehungsweise höhere Belastungen. Bei gegebener Bemessungslast können beim Durchstanzsystem mit höherem Durchstanzwiderstand unter Berücksichtigung der Bemessungsregeln auch Abmessung, Längsbewehrungsmenge oder Betongüte reduziert werden. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen Durchstanzwiderstände für eine beispielhaft gewählte statische Deckenhöhe von 20 cm und einen quadratischen Stützenquerschnitt mit einer Kantenlänge von c = 20 cm in Abhängigkeit vom Längsbewehrungsgrad und der Betongüte. Durchstanzsysteme mit höherem Tragwiderstand erfordern in bestimmten Bereichen weniger Längsbewehrung und gegebenenfalls eine geringere Betongüte. Dadurch steigt die Wirtschaftlichkeit bei Verwendung solcher effektiven Systeme an.

Elementdecken mit geprüften Anwendungsbedingungen

Der genannte Erhöhungsfaktor sowie die zugelassenen Anwendungsbedingungen der Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II gelten sowohl für Ortbetondecken als auch für Elementdecken mit Gitterträgern. Der Anwendungsbereich erstreckt sich auf Plattendicken von 18 cm bis 36 cm und Betongüten von C20/25 bis C50/60, der maximale Durchmesser der Biegezugbewehrung beträgt 25 mm. Für die Lage der Bewehrungselemente im Grundriss werden in der ETA maximale Abstände zur Seitenfläche der Stütze von 0,35d und maximale Achsabstände festgelegt.

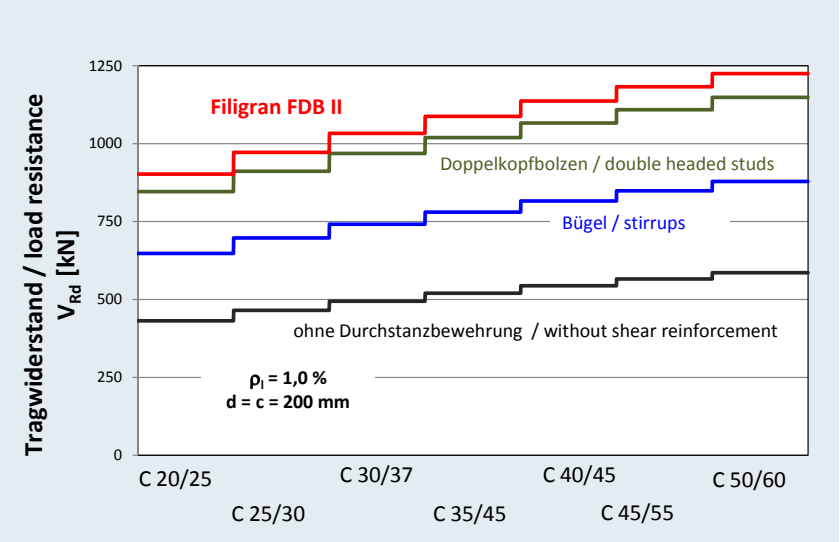

Figure: Filigran

8

Punching shear resistance as a function of concrete strength for various types of punching shear reinforcement

Durchstanzwiderstand in Abhängigkeit von der Betongüte für verschiedene Durchstanzsysteme

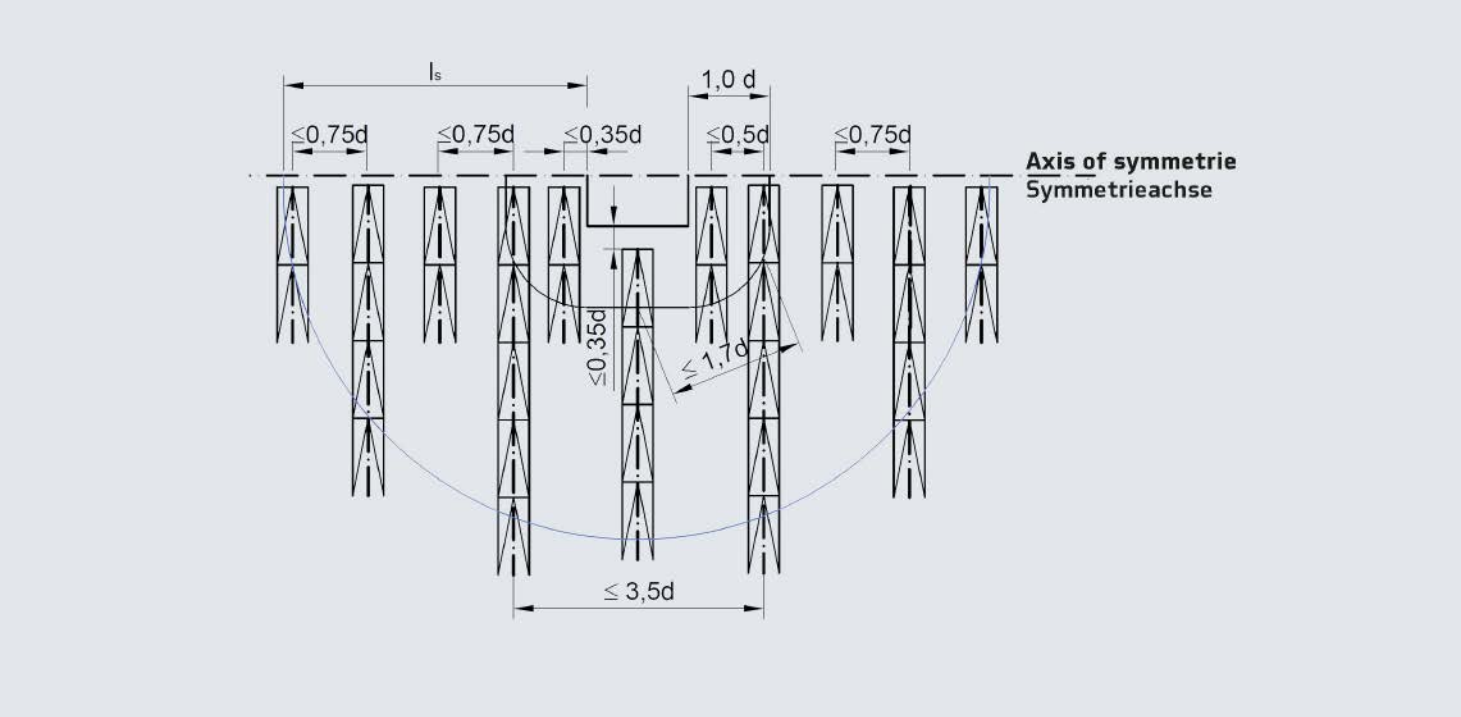

Figure: Filigran

9

Arrangement of the Filigran punching shear reinforcement in the plan view

Anordnung der Filigran-Durchstanzbewehrung im Grundriss

forcing components in the plan view, the ETA defines maximum distances to the lateral surface of the column equal to 0.35 times the diameter, as well as maximum axial distances.

The punching shear tests that resulted in the technical approval were performed for semi-precast floor slabs with horizontal bond joints. The surfaces of the precast slabs were not treated mechanically. The slabs were arranged at a distance of 4 cm to each other, whereas their distances to the column ranged from -1 cm to 2 cm. The results of this and previous tests of lattice girders acting as punching shear enforcement gave rise to the application rules for semi-precast floor slabs as specified in ETA-13/0521:

» The FDB II Filigran punching shear reinforcement acts as a bond reinforcement.
» The surface of the precast slabs must at least be "smooth".
» The joints arranged in the punching shear area between the precast slabs must be at least 4 cm wide in this area to enable subsequent transfer of compressive loads.
» The distance between the precast slabs and the column may range from 4 cm to -1 cm, which permits a minor overlap of the slabs with the column.

These conditions of use enable a design of the FDB II Filigran punching shear enforcement that is both easy to install on the construction site and verified by appropriate tests. Particularly, the surface of the precast slab may be left untreated, which makes work easier at the precast plant. On the construction site, the precast floor slabs may be positioned so that they make contact with the column, which eliminates the need for additional formwork to be placed around the column.

A ProFi-2 design program is provided for the required verifications, which also includes an interface for transferring data to the CAD software for precast element design.

Die Durchstanzversuche, die zur Zulassung führten, wurden an Elementdecken mit horizontaler Verbundfuge durchgeführt. Die Oberflächen der Fertigteilplatten blieben mechanisch unbehandelt, die Abstände der Fertigteilplatten untereinander lagen bei 4 cm, und die Abstände der Fertigteilplatten zur Stütze variierten zwischen -1 cm und 2 cm. Die Ergebnisse dieser und früherer Versuche mit Gitterträgern als Durchstanzbewehrung führten zu den Anwendungsregelungen nach ETA-13/0521 für Elementdecken:

» Die Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II wirkt als Verbundbewehrung.
» Die Oberfläche der Fertigteilplatten muss mindestens „glatt" sein.
» Die Fugen zwischen den Fertigteilplatten im Durchstanzbereich müssen zur späteren Druckübertragung in diesem Bereich mindestens 4 cm breit sein.
» Der Abstand zwischen den Fertigteilplatten und der Stütze darf zwischen 4 cm und -1 cm betragen, womit ein geringfügiges Auflegen der Platten auf die Stütze zugelassen ist.

Diese Anwendungsbedingungen ermöglichen eine baustellenfreundliche und experimentell abgesicherte Ausführung mit der Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II. Insbesondere kann die Oberfläche der Fertigteilplatte unbehandelt bleiben, was eine Erleichterung für die Fertigteilwerke bedeutet. Auf der Baustelle können die Fertigteilplatten direkt bis an die Stütze geführt werden, wodurch bei diesem System zusätzliche Schalarbeiten um die Stütze entbehrlich werden.

Für die erforderlichen Nachweise wird ein Bemessungsprogramm ProFi-2 zur Verfügung gestellt. Dieses enthält auch eine Schnittstelle für die Übergabe von Daten an die CAD-Software für die Fertigteilplanung.

Elementdecken als Flachdecken in Europa

Die Elementbauweise mit Gitterträgern ist insbesondere im deutschsprachigen Raum stark verbreitet. Die Ausführung als Flachdecke war zudem aufgrund ausschließlich nationaler

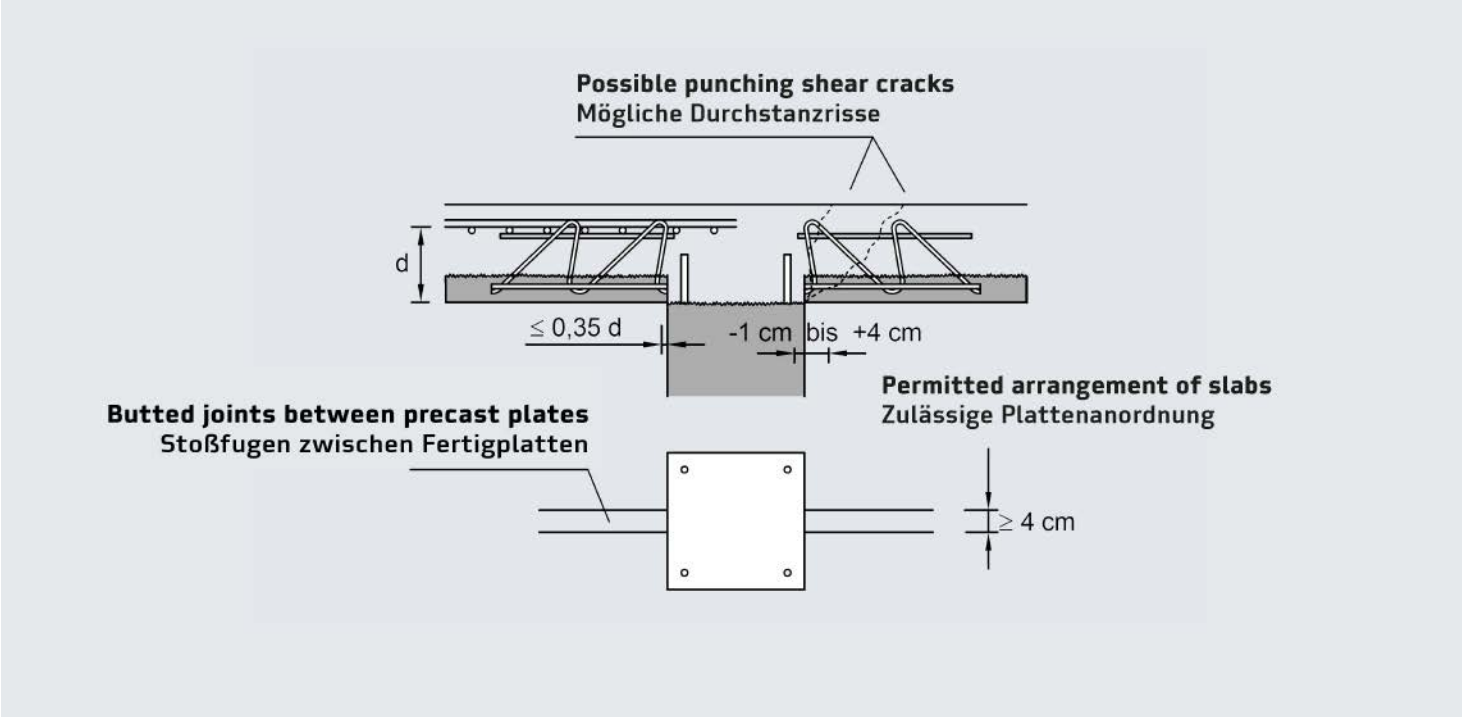

Figure: Filigran

10

Possible arrangement of the precast slabs relative to the column when using the FDB II Filigran punching shear enforcement

Mögliche Anordnung der Fertigteilplatten zur Stütze bei Einsatz der Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II

Semi-precast floor units as a flat-floor solution in Europe

The use of semi-precast floors with lattice girders is particularly widespread in German-speaking countries. Furthermore, the flat-floor design was subject to regional restrictions as a result of technical approvals granted for punching shear reinforcements exclusively on a national scale. The new European Technical Approval provides not only a formal basis for the Europe-wide construction of flat floors composed of precast elements reinforced with lattice girders. The permissible conditions of use specified in the ETA are based on tests that were consistently carried out for sections of structural floor components connected via butt and bond joints. As a result, this construction method is likely to become a widely accepted option also in other Eurocode countries.

Zulassungen für Durchstanzbewehrungen regional begrenzt. Die neue Europäische Technische Zulassung schafft nicht nur formal die Möglichkeit einer europaweiten Ausführung von Flachdecken mit gitterträgerbewehrten Fertigteilen. Die in der ETA zugelassenen Anwendungsbedingungen basieren auf Versuchen, die konsequent an abschnittsweise hergestellten Deckenbauteilen mit Stoß- und Verbundfugen durchgeführt wurden. Hierdurch ist eine große Akzeptanz für diese Bauweise auch in anderen Eurocode-Ländern zu erwarten.

Dr.-Ing. Johannes Furche; Filigran Trägersysteme, Leese
Born in 1959; studied structural engineering at the University of Dortmund; worked as a research associate at the Universities of Karlsruhe and Stuttgart; since 1992 Filigran Trägersysteme GmbH & Co KG; Head of the Technical Committee of the German Association for Structural Precast Components with Lattice Girders (Fachvereinigung Betonbauteile mit Gitterträgern e.V., BmG); member of standardization committees for reinforcing steel, precast elements and the design and construction of reinforced concrete

Dipl.-Ing. Ulrich Bauermeister;
Born in 1976; studied construction engineering at Leipzig University of Applied Sciences and at the University of Paisley, Scotland. Worked for an engineering office in 1999. Since 2000 at Filigran Trägersysteme, overseeing application technology for lattice girders and Filigran punching shear reinforcement.

CONTACT
FILIGRAN Trägersysteme GmbH & Co. KG
Zappenberg 6
D-31633 Leese an der Weser
+49 5761 92250
info@filigran.de
↗ **www.filigran.de**