

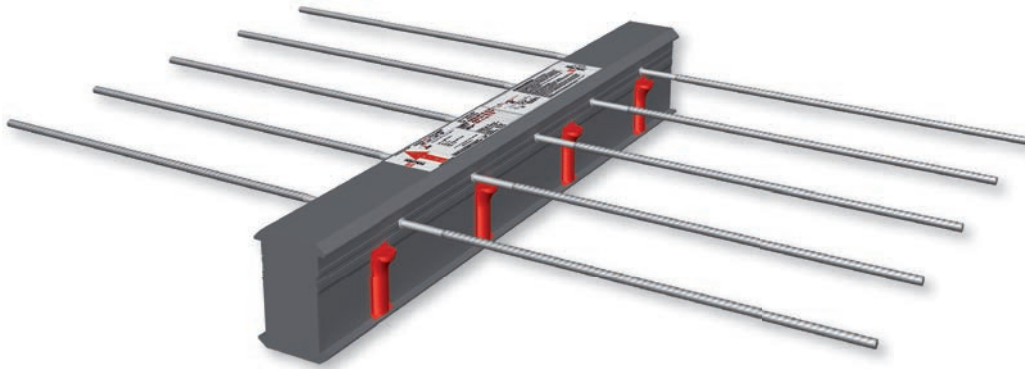
Beton- und Stahlbetonbau



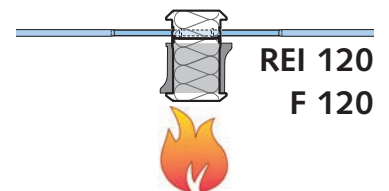
Bemessungskonzept für wärmedämmende Plattenanschlüsse mit Druckschublagerern

Innovation ist unser Standard.

Der neue HIT von HALFEN.



- ✓ Typengeprüfte Lösung für Eckbalkone, durch Standardelemente gelöst.
- ✓ Wärmebrückenarme Konstruktion bereits ab 80 mm Fugenbreite und auch für größte Tragstufen mit Zertifikaten vom Passivhaus Institut!
- ✓ Allseitiger Brandwiderstand REI 120 (F 120) mit nicht brennbarem Dämmstoff – bei uns Standard ohne Aufpreis!
- ✓ EnEV-konform mit bauaufsichtlich zugelassenen Ψ -Werten.
- ✓ Flexibles Baukastensystem durch mehrteilige Ausführung – mit verkürzten Lieferzeiten.
- ✓ App für Berechnung der Ψ -Werte.



Bemessungskonzept für wärmedämmende Plattenanschlüsse mit Druckschublagern

Plattenanschlüsse sind in der Praxis gängige Konstruktionselemente zur Vermeidung von Schimmelpilz und zur Gewährleistung erhöhter bauphysikalischer Anforderungen. Derartige Elemente bestehen in der Regel aus Stahlzug- und Stahlquerkraftstäben sowie aus Beton- bzw. Stahldrucklagern. Beim Halfen-Iso-Element HIT-HP/HIT-SP wurde das statische System weiterentwickelt und die Querkraftstäbe und Drucklager durch Druckschublager aus faserverstärktem Hochleistungsmörtel ersetzt.

Im vorliegenden Beitrag werden ausgewählte Ergebnisse der experimentellen und numerischen Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Plattenanschlüssen mit Druckschublagern vorgestellt. Hierbei wird insbesondere auf die verschiedenen Versagensarten sowie das entwickelte Bemessungskonzept eingegangen.

1 Einleitung

Monolithische Balkone ohne eine thermische Trennung zwischen der Balkon- und der Deckenplatte stellen eine Wärmebrücke dar und wirken ähnlich wie Kühlrippen. Neben dem besonders großen Wärmeverlust können unangenehme Folgeschäden, wie beispielsweise Tauwasseranfall und Schimmelpilzbildung auftreten. Weiterhin können sich Risse infolge der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der Balkon- und Deckenplatte bilden. Die Anordnung wärmedämmender Plattenanschlüsse zwischen den innen und außen liegenden Stahlbetonplatten bietet die Lösung. In Abhängigkeit vom Einsatzgebiet und den zu verbindenden Bauteilen steht eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung. Den stets steigenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV kann somit Rechnung getragen werden. Ferner werden die beschriebenen Bauschäden vermieden.

Wärmedämmende Plattenanschlüsse sind tragende Verbindungselemente für vorwiegend ruhende Belastungen. Sie sind normativ nicht geregelt, sodass für alle Systeme eine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik erforderlich ist. Herkömmliche Systeme bestehen aus einer Dämmschicht und einem statisch wirkenden Stabwerk, d.h. Zugstäbe, Querkraftstäbe und Drucklager. Grundlegende Neuerung beim Plattenanschluss HIT-HP/HIT-SP ist der Ersatz der bisherigen Drucklager und Querkraftstäbe durch Druckschublager (Compression-Shear-Bearing – CSB) aus faserverstärktem Hochleistungsmörtel. Die Druckschublager dienen

Design concept for load bearing thermal insulation elements with compression shear bearings

In practice slab connections are common structural elements to prevent mould fungus and to ensure increased structural physical requirements. Such elements are usually made of steel tension bars and steel shear bars and compression bearings made of concrete or steel. The Halfen-Iso-Element HIT-HP/HIT-SP the static system was further developed and the shear bars and compression bearings were replaced with compression shear bearings made of high-performance fiber-reinforced mortar.

In this paper selected results of experimental and numerical investigations of the structural behaviour and deformation behaviour of slab connections with compression shear bearings are presented. In particular, the different failure modes and the developed design method are described.

neben der Druckkraftübertragung der Aufnahme und Weiterleitung der Querkräfte.

Aufgrund des veränderten statischen Tragsystems ist die Anwendung herkömmlicher Bemessungsmodelle nicht möglich. Demzufolge wurden im Rahmen des Zulassungsverfahrens umfangreiche numerische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse wurde ein neues Bemessungskonzept entwickelt. Ausgewählte Ergebnisse sowie das Bemessungskonzept werden nachfolgend erläutert.

2 Systembeschreibung

Der neuentwickelte Plattenanschluss ist in Bild 1 dargestellt. Er besteht aus einem stabilen Verwehrkasten aus Kunststoff, der mit mineralischer Steinwolle gefüllt ist. Neben der wärmedämmenden Wirkung dient die mineralische Steinwolle als Brandschutzmaterial, sodass die Plattenanschlüsselemente HIT-HP/HIT-SP standardmäßig der Feuerwiderstandsklasse REI 120 nach DIN EN 13501-2 bzw. F 120-AB nach DIN 4102 entsprechen.

Die Zugstäbe und die Druckschublager bilden die Tragglieder des Systems. Sie werden so in den Verwehrkasten eingebaut, dass eine Verschiebung in allen drei Raumrichtungen ausgeschlossen werden kann. Dabei weist das System eine hohe Montagesicherheit auf.

Die wichtigste Neuentwicklung bilden die Druckschublager (CSB – Compression-Shear-Bearing). Sie bestehen

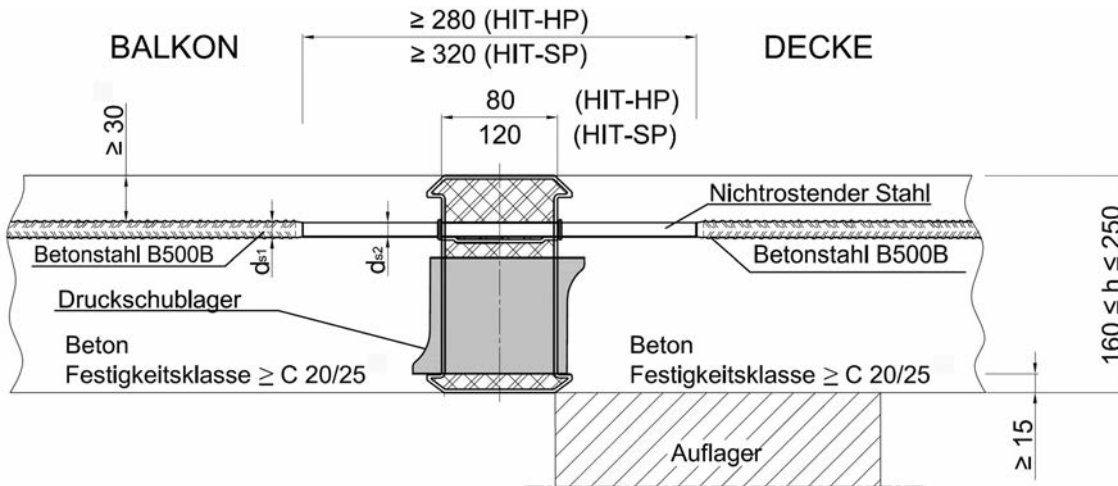


Bild 1 Plattenanschluss HIT-HP/HIT-SP gemäß [1]
Slap connection HIT-HP/HIT-SP according of [1]

aus einem faserverstärktem Hochleistungsmörtel und wurden bezüglich Form sowie mechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften an den geplanten Einsatzbereich angepasst. Die Druck- und Biegezugfestigkeit sowie die Bruchenergie liegen im Vergleich zu Normalbeton um ein Vielfaches höher. Gleichzeitig wurde die Wärmeleitfähigkeit signifikant reduziert.

3 Numerische und experimentelle Untersuchungen

3.1 Numerische Untersuchungen

Die Finite-Elemente-Berechnungen erfolgten durch die Firma NOLASOFT [2] mit dem FEM-Programm MASA. Das am Institut für Werkstoffe im Bauwesen von OZBOLT [3] entwickelte dreidimensionale, nicht-lineare FE-Programm ist für die Untersuchung von Konstruktionen aus quasi spröden Materialien sehr gut geeignet. Es wurden 18 FE-Berechnungen zum Tragverhalten der Druckschublager sowie 19 FE-Berechnungen zum Tragverhalten von Plattenanschlusskonstruktionen unter Verwendung von Druckschublägern durchgeführt (Bild 2). Dabei wurden die Druck- und Biegezugfestigkeit der Druckschublager, die Anzahl und Lage der Druckschublager, die Anzahl der Zugstäbe, das Moment-Querkraft-Verhältnis sowie die Druck- und Zugfestigkeit des angrenzenden Betons variiert.

Anhand der Berechnungsergebnisse, die neben der rechnerischen Bruchlast den Kraftfluss bzw. inneren Spannungszustand und die Rissbildung veranschaulichen, wurde das im Abschn. 4 beschriebene Fachwerkmodell abgeleitet sowie die folgenden möglichen Versagensarten festgestellt:

- Versagen der Druckschublager infolge Druck- oder Schubversagen,
- Versagen der Zugstabbewehrung,
- Versagen der angrenzenden Bauteile im Krafteinleitungsbereich infolge Betonkantenbruch oder Spalten des Betons.

Diese Versagensarten treten prinzipiell auch bei klassischen Plattenanschlüssen auf. Lediglich das Schubversagen der Druckschublager ist bei herkömmlichen Systemen ein Versagen der Querkraftstäbe. Weiterhin wurden kritische Beanspruchungssituationen, wie beispielsweise das maßgebende Moment-Querkraft-Verhältnis, identifiziert. Bei kleinem Moment-Querkraft-Verhältnis ist Schubversagen der Druckschublager maßgebend. Bei größeren äußeren Hebelarmen stellt sich aufgrund der dominierenden Momentenbeanspruchung ein primäres Druckversagen der Druckschublager ein.

Die Berechnungen an praxisgerechten Bauteilen zeigen u. a., dass die Betonkantentragsfähigkeit mit zunehmender Betonfestigkeit ansteigt. Während bei großem Druckschublagerabstand lokaler Betonausbruch vor den Druckschublägern festzustellen ist, kommt es bei geringem Druckschublagerabstand zum Versagen der gesamten Betonkante.

3.2 Experimentelle Untersuchungen

Auf der Grundlage der FE-Analysen wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm aufgestellt. Es wurden 18 Bauteilversuche an der TU Kaiserslautern [4] sowie ein Resttraglastversuch nach einer mehr als 120-minütigen Brandbeanspruchung an der MFPA Leipzig GmbH [5] durchgeführt. Weiterhin liegt ein Traglastversuch mit der Ursprungsform der Druckschublager vor. Die baustofflichen Untersuchungen zum Tragverhalten des faserverstärkten Hochleistungsmörtels erfolgten an der Bauhaus-Universität Weimar [6]. Hierbei wurden über 560 Druck- und 280 Biegezugversuche an Normprismen, zahlreiche Druckversuche an Druckschublägern und Normzylindern sowie Versuche zur Bestimmung der Bruchenergie, des E-Moduls, des Frost-Tau-Mittelwiderstandes und des Verschleißwiderstandes durchgeführt.

Schwerpunkt der praxisgerechten Bauteilversuche lag auf der Analyse des Trag- und Verformungsverhaltens des

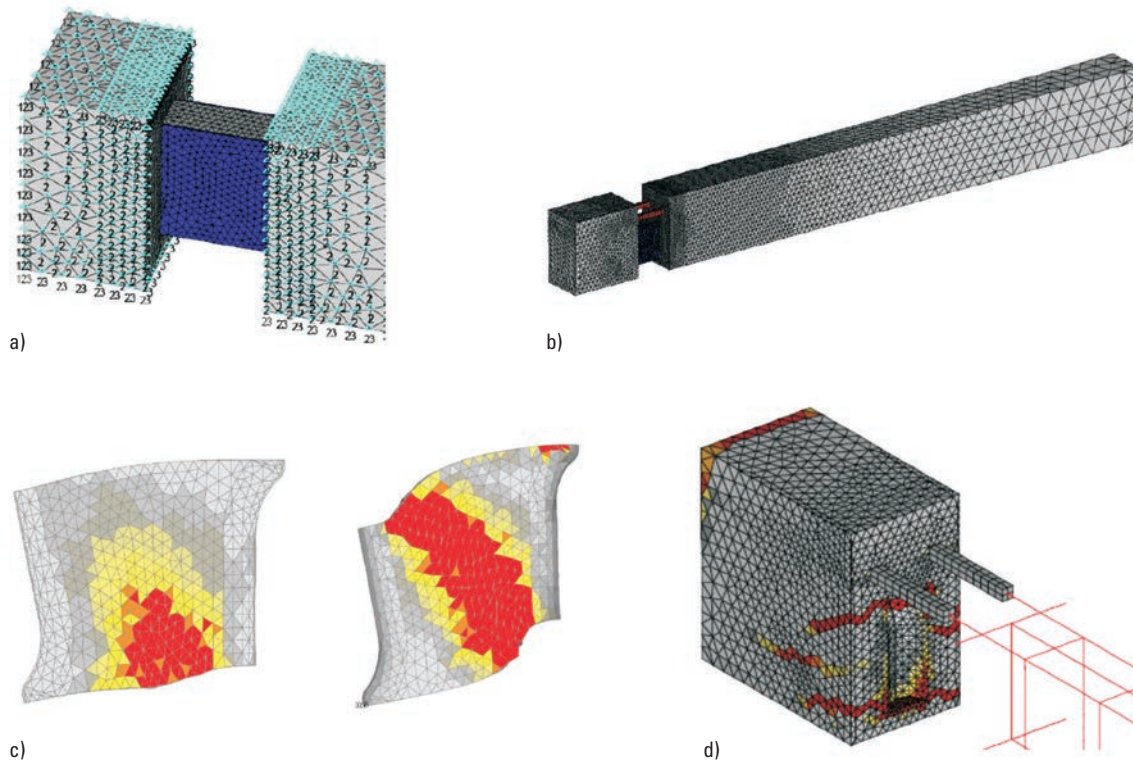


Bild 2 FE-Modelle und Ergebnisse [2]; a) Modell zur Untersuchung der Druckschublager, b) Modell zur Untersuchung des Plattenanschlusses, c) Druck- bzw. Schubversagen der Druckschublager, d) Rissbildung in der Deckenplatte für ein Versagen der Betonkante
 FE-models and results [2]: a) model to investigate the pressure thrust bearing, b) model to investigate the slab connection, c) pressure or shear failure of the compression shear bearing, d) crack formation in the internal floors for a concrete edge failure

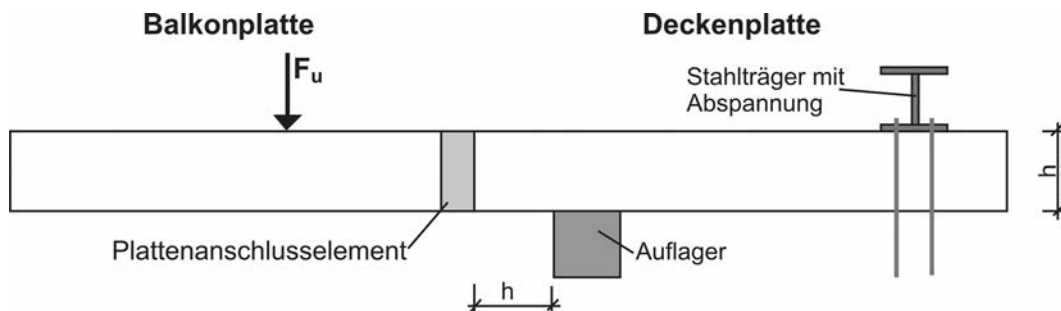


Bild 3 Prinzipieller Versuchsaufbau
 Test rig

neuen Plattenanschlusses insbesondere hinsichtlich Betonkanten- bzw. Druckschublagerversagen. Zur Vermeidung eines vorzeitigen Zugstabversagens wurden neun Versuchsplatten überbewehrt und mit geringem äußeren Hebelarm geprüft. Zur Untersuchung der Druckschublagertragfähigkeit wurden bei drei Versuchsplatten lediglich vier Druckschublager eingebaut und der angrenzende Beton mit einer Betonfestigkeitsklasse > C80/95 ausgeführt. Die restlichen acht Versuchsplatten wurden normal bewehrt und mit größerem äußeren Hebelarm geprüft. Es wurden die Plattendicke ($h = 160 \text{ mm}$ bzw. 250 mm), die Anzahl der Druckschublager ($n_{\text{CSB}} = 4 \dots 15$ je Meter) und der Zugstäbe ($n_{\text{TB}} = 10 \dots 22$ je Meter), das Moment-Querkraft-Verhältnis ($0,46 \text{ m}$ bis $2,10 \text{ m}$), die Betonzylinderdruckfestigkeit der angrenzenden Platten ($f_{\text{cm}} = 17 \dots 90 \text{ N/mm}^2$), die Druck- und Biegezugfestigkeit der Druckschublager sowie die Fugenbreite (80 mm und 120 mm) variiert.

Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in Bild 3 dargestellt. Die Plattenstreifen wurden als Einfeldträger mit Kragarm ausgeführt. Das Auflager wurde um die Plattendicke h zurückgesetzt, um eine Abtragung der Querkraft über eine direkte Druckstrebe zu verhindern. Alle Versuchskörper wurden zehnmal bis zum Niveau der rechnerischen Gebrauchslast (GZG) und danach dreimal bis zum Niveau der Bemessungstragfähigkeit (GZT) belastet. Anschließend wurde die Last weggesteuert bis zum Erreichen der Höchstlast gesteigert. Zur Bewertung der Duktilität und der Robustheit des Plattenanschlusses wurde anschließend das Nachbruchverhalten untersucht und das Niveau der Bemessungstragfähigkeit erneut dreimal angefahren. Das Messprogramm umfasste neben der Versuchslast systematische Dehnungsmessungen der Zugstäbe, der Druckschublager und der bauseitigen Bewehrung. Weiterhin wurden Verformungsmessungen (Durchbiegung, Neigung) entlang der Biegelinie des Systems



Bild 4 Bruchbild bei Betonkantenbruch
Fracture picture in Concrete edge failure



Bild 5 Bruchbild bei Druckschublagerversagen
Fracture picture of compression shear bearing failure

sowie die Aufnahme der Rissentwicklung und der Rissbreiten durchgeführt.

Entsprechend der Versuchsauslegung wurde bei neun Versuchen Betonkantenversagen, bei drei Versuchen Druckschublagerversagen und bei acht Versuchen Zugstabversagen festgestellt. Bei allen Versuchen mit Betonkantenbruch waren die Betonausbruchkörper (Bild 4) geometrisch ähnlich und traten lediglich auf der Unterseite der Deckenplatte auf. Das Druckschublagerversagen (Bild 5) wurde durch Erreichen der Druckfestigkeit bzw. der Schubtragfähigkeit der Druckschublager verursacht. Es trat nicht schlagartig, sondern allmählich ein. Dies ist auf das relativ duktile Materialverhalten des faserverstärkten Hochleistungsmörtels zurückzuführen. Die Bruchbilder beider Versagensarten stimmen mit den FE-Ergebnissen sehr gut überein. Dies zeigt, dass die FE-Berechnungen das Trag- und Verformungsverhalten derartiger Plattenanschlüsse realitätsnah erfassen und zur Beurteilung der Tragfähigkeit herangezogen werden können.

In Bild 6 ist der bezogene Beanspruchungs-Durchbiegungsverlauf (Durchbiegung am Balkonende) eines Versuches mit Betonkantenbruch dargestellt. Bild 7 zeigt den Kraft-Vertikalverschiebungsverlauf (Verschiebung der beiden Plattenränder im Bereich der Fuge) eines ausgewählten Versuches mit Schubversagen der Druckschublager. Diese Ergebnisse wurden prinzipiell bei allen Versuchen festgestellt. Der für ein Versagen der Druckschublager in Bild 7 dargestellte große Abstand zwischen der Bruchlast und der Bemessungstragfähigkeit ist auf die konservative

Festlegung der Schubtragfähigkeit der Druckschublager sowie den für hochfeste Betone und Mörtel erforderlichen zusätzlichen Teilsicherheitsfaktor γ_c zurückzuführen.

Das Versagen kündigte sich bei allen Versuchen durch eine signifikante Verformungszunahme an. Dies ist vorwiegend auf die im Vergleich zu anderen Druckgliedern von Plattenanschlüssen große Druckschublagerhöhe zurückzuführen. Durch das Versagen der Betonkante wird die Druckkraft ins Platteninnere verschoben. Zwar wird hierdurch der innere Hebelarm reduziert, es kommt je-

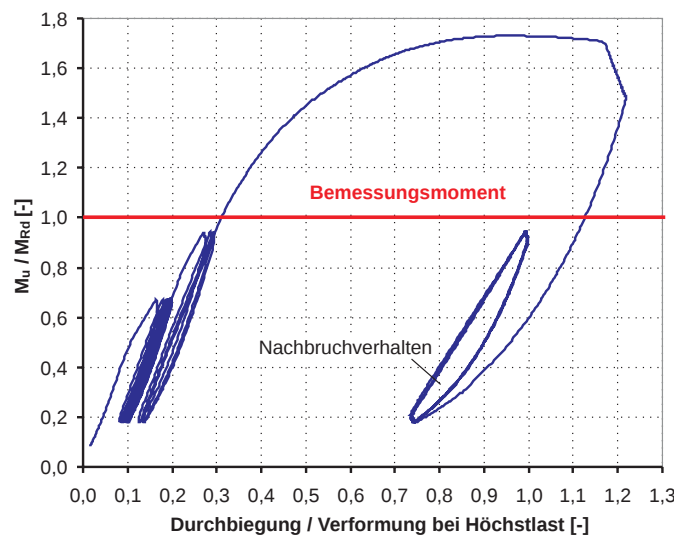


Bild 6 Kraft-Verformungslinie eines Versuches mit Betonkantenversagen
Force deformation curve of a test with concrete edge failure

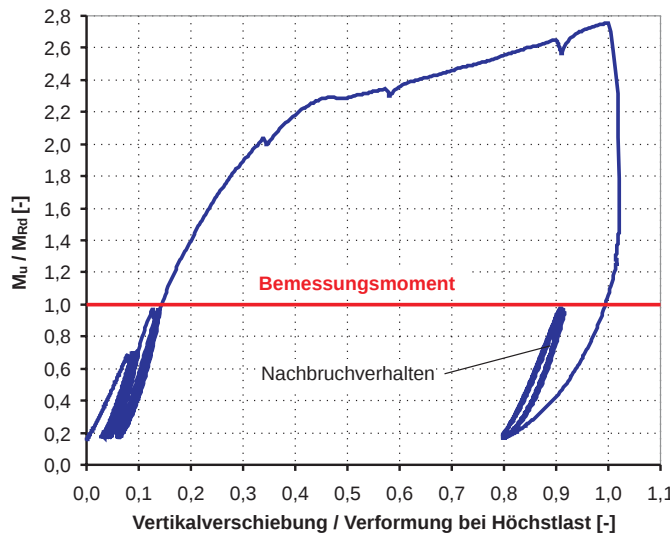


Bild 7 Kraft-Verformungsline eines Versuches mit CSB-Versagen
Force deformation curve of a test with CSB failure

doch nicht zum Versagen der Gesamtkonstruktion. Weiterhin ist die Bruchenergie der Druckschublager aufgrund des hohen Fasergehaltes deutlich größer als die von Normalbeton, sodass das Versagen der Druckschublager ebenfalls duktil ist.

Zur Bewertung der Robustheit von Plattenanschlüssen mit Druckschublagern wurde nach Erreichen der Bruchlast die Beanspruchung im Grenzzustand der Tragfähigkeit dreimal aufgebracht. Durch die Belastung im Nachbruchbereich trat keine weitere signifikante Schädigung auf. Die Resttragfähigkeit und Duktilität der Plattenanschlusskonstruktion war trotz des Versagens der Betonkante bzw. der Druckschublager hoch. Daher kann das Tragverhalten als sehr robust eingestuft werden.

4 Bemessungsmodell

Entsprechend den im Abschn. 3 beschriebenen numerischen und experimentellen Ergebnissen werden in [1] u. a. folgende Bemessungsmodelle beschrieben:

- Moment-Querkraft-Interaktion,
- Betonkantenbruch bzw. lokaler Betonbruch,

- Bemessung der Spaltzug- und Aufhängebewehrung,
- Nachweis der Wechselbiegung in Querrichtung infolge Temperaturdifferenz,
- Ermittlung der Verformungen und
- Bemessung der angrenzenden Bauteile.

Bei der Ableitung der Bemessungsmodelle wurde das Sicherheitskonzept nach [7] und [8] berücksichtigt. Dementsprechend wurden die Modelle so angepasst, dass die 5 %-Fraktile der Verhältnisswerte Versuch/Rechnung das für Beton- bzw. Stahlversagen erforderliche Sicherheitsniveau einhalten.

In den folgenden Abschnitten werden die Moment-Querkraft-Interaktion und der Nachweis des Betonkantenbruchs bzw. lokalen Betonbruchs erläutert. Dabei dient das Moment-Querkraft-Interaktionsmodell zur Ermittlung der inneren Kräfte sowie der erforderlichen Zugstabbewehrung. Ferner werden die Druck- und Schubtragfähigkeit der Druckschublager berücksichtigt. Versagen der angrenzenden Bauteile im Krafteinleitungsbereich wird durch das Modell Betonkantenbruch bzw. lokaler Betonbruch beschrieben.

4.1 Einwirkungen im Bemessungsschnitt

Die Ermittlung der maßgebenden Einwirkungen erfolgt nach DIN EN 1990 [7, 8] unter Berücksichtigung der entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte. In den meisten Fällen können die Einwirkungen nach der vereinfachten Kombination bestimmt werden:

$$E_d = \gamma_G \cdot E_{Gk} + \gamma_Q \cdot E_{Qk} \quad (1)$$

Die maßgebenden Schnittgrößen M_{Ed} und V_{Ed} werden im Bemessungsschnitt (Bild 8) ermittelt. Der Bemessungsschnitt befindet sich im Abstand a_r vom deckenseitigen Plattenrand:

$$a_r = 96 \text{ mm} - 0,1 \cdot d \quad (a_r \approx 80 \text{ mm}) \quad (2)$$

mit:

96 mm Abstand des Lastangriffspunktes unterhalb der Druckschublagernase zur Plattenunterkante

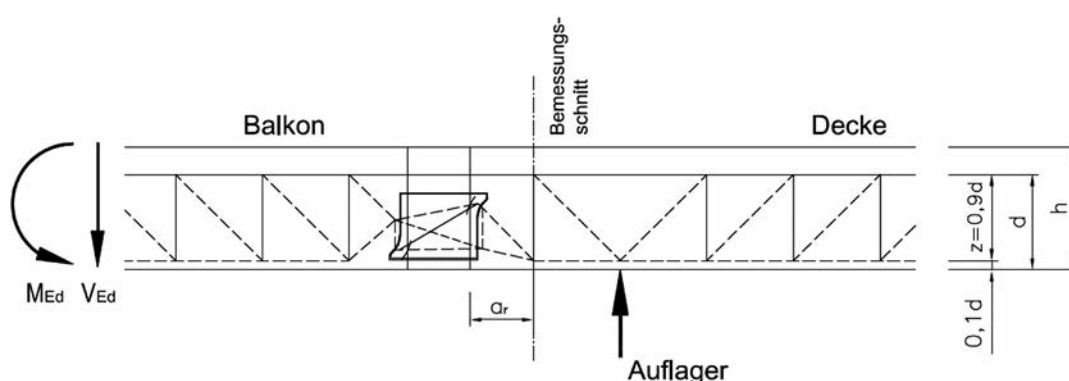


Bild 8 Fachwerkmodell
Strut-and-tie model

$$d = h - c_{\text{nom}} - d_{\text{s1,HIT}}/2 \quad (3)$$

h Plattendicke
 c_{nom} Betondeckung der Zugstäbe
 $d_{\text{s1,HIT}}$ Durchmesser der Zugstäbe

In der Balkon- und Deckenplatte ist der Schnittgrößenverlauf analog zu Balken oder Platten. Im Bereich des Plattenanschlusses wird die Zuggurtbeanspruchung über die Zugstäbe weitergeleitet. Der Transfer der Druck- und Schubkräfte erfolgt über die Druckschublager, die als Druck-Schub-Felder wirken und sowohl über Flächenpressung als auch über Verzahnung die Beanspruchungen von der Kragplatte zur Deckenplatte übertragen. Da die Momentenbeanspruchung von der Balkonplatte zum Auflager ansteigt, greift im Vergleich zur Deckenseite die resultierende Druckkraft im Allgemeinen balkonseitig in einem größeren Abstand von der Plattenunterseite an. Der lichte Abstand der Druckschublager zur Plattenunterkante beträgt 15 mm, sodass der innere Hebelarm im Bereich des Plattenanschlusses geringer ist als im ungestörten Plattenbereich.

4.2 Moment-Querkraft-Interaktion

Aufgrund der Interaktion zwischen der Momenten- und der Querkraftbeanspruchung ist eine getrennte Bestimmung der Tragfähigkeit für beide Beanspruchungen nicht möglich. Daher sind beide Einwirkungen V_{Ed} und M_{Ed} zusammen zu betrachten. Dies erfolgt durch die Bestimmung der deckenseitigen Druckzonenhöhe x_c nach Gl. (4). Bei der Ableitung von Gl. (4) wurde eine über die Druckzonenhöhe konstante Spannung (Spannungsblockmodell) angesetzt.

$$x_c = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} (d - 15) - \sqrt{(d - 15)^2 - \frac{|M_{\text{Ed}}|}{\beta_{c1,M} \cdot n_{\text{CSB}}}} \\ 41,5 - \sqrt{41,5^2 - \frac{|V_{\text{Ed}}|}{\beta_{c2,V} \cdot n_{\text{CSB}}}} \end{array} \right. \leq 83 [\text{mm}] \quad (4)$$

mit:
 n_{CSB} Anzahl der Druckschublager
 $\beta_{c1,M}$ und $\beta_{c2,V}$ nach Tab. 1
 d statische Nutzhöhe der Platte nach Gl. (3)

Nach Gl. (4) wird die statische Nutzhöhe d um die Betondeckung der Druckschublager (15 mm) reduziert. Weiterhin ist die Druckzonenhöhe durch die Höhe der Druck-

schublager (83 mm) begrenzt. Während der obere Term dem Spannungsblockmodell entspricht, berücksichtigt der untere Term die Schubfeldwirkung der Druckschublager. Neben der Anzahl der Druckschublager n_{CSB} werden über die Faktoren $\beta_{c1,M}$ und $\beta_{c2,V}$ geometrische Kenngrößen der Druckschublager sowie der Bemessungswert der Betonpressung der angrenzenden Platten und Zylinderdruckfestigkeit der Druckschublager berücksichtigt.

Die Betondruck- bzw. Stahlzugkraft berechnet sich aus der Anzahl der Druckschublager, der Betondruckzonenhöhe sowie den Werten aus Tab. 1.

$$-F_{\text{cd}} = F_{\text{sd}} = 2 \cdot x_c \cdot n_{\text{CSB}} \cdot \beta_{c1,M} \quad (5)$$

Der maximal im Bemessungsschnitt aufnehmbare Bemessungswert der Querkraft ergibt sich aus der Schubtragfähigkeit der Druckschublager (16 kN je CSB) sowie aus den Gleichgewichtsbedingungen der inneren Schnittgrößen.

$$V_{\text{Rd}} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{CSB}} \cdot 16 [\text{kN}] \\ |F_{\text{cd}}| \cdot \frac{(83 \text{ mm} - x_c)}{a_{\text{CSB}}} \end{array} \right. \quad (6)$$

mit:

n_{CSB} Anzahl der Druckschublager
 F_{cd} Druckgurtkraft nach Gl. (5)
 x_c Druckzonenhöhe im Bereich der CSB nach Gl. (4)
 a_{CSB} Abstand der an den Druckschublagern angreifenden Querkräfte
 = 110 mm für Fugenbreite 80 mm
 = 150 mm für Fugenbreite 120 mm

Die nichtrostenden Stababschnitte im Bereich der Dämmfuge sind so ausgelegt, dass der angeschweißte Betonstahl maßgebend wird. Daher ist nur der Querschnitt des Betonstahlabschnittes der Zugstäbe nachzuweisen. Die Ermittlung der erforderlichen Zugstabbewehrung $A_{\text{s,erf}}$ erfolgt mithilfe der Zuggurtbeanspruchung F_{sd} und dem Bemessungswert der Streckgrenze der Zugstäbe f_{yd} .

$$A_{\text{s,erf}} = \frac{F_{\text{sd}}}{f_{\text{yd}}} \quad (7)$$

4.3 Betonkantenbruch bzw. lokaler Betonbruch

Die Bemessung gegen Betonkantenbruch bzw. lokalen Betonbruch erfolgt nach dem in [9] entwickelten und in

Tab. 1 Faktoren zur Bemessung gemäß [1]
 Calculation factors for according to [1]

Fugenbreite	80 mm & 120 mm	80 mm	120 mm
Betonfestigkeitsklasse	$\beta_{c1,M}$ [N/mm]	$\beta_{c2,V}$ [N/mm ²]	$\beta_{c2,V}$ [N/mm ²]
C20/25	680	12,5	9,1
≥ C25/30	797	14,5	10,6

der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [1] verankertem Ingenieurmodell. Die auf die Betonkante wirkende Zugkraft, die zum Abspalten der Betonkante führt, ergibt sich aus der Druckkraft F_{cd} und der Querkraft V_{Ed} .

$$F_{c,Ed} = 0,25 \cdot |F_{cd}| + |V_{Ed}| \quad (8)$$

Der Widerstand der Betonkante wird nach Gl. (9) bestimmt. Dabei ist bereits der für Betonversagen erforderliche Teilsicherheitsbeiwert berücksichtigt.

$$F_{c,Rd} = a_{Rd} \cdot \left(f_{ck}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot b_{eff} \quad [N] \quad (9)$$

mit:

a_{Rd}	empirischer Faktor = 132 für Fugenbreite 80 mm = 120 für Fugenbreite 120 mm
f_{ck}	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons [N/mm ²]
b_{eff}	effektive Breite des Ausbruchkegels $b_{eff} = n_{CSB} \cdot (b) \leq b_{Element}$
n_{CSB}	Anzahl der Druckschublager je Element
b	Breite des Ausbruchkegels je CSB unter Annahme eines Ausbruchwinkels von 33° (= 137 mm)
$b_{Element}$	Breite des Plattenanschlusselementes [mm]

Bei anderen Plattenanschlüssen wird der Nachweis des Betonkantenbruchs über den Nachweis der Teilflächenbelastung gemäß [10] und [11] geführt. Hierbei steigt der Widerstand der Betonkante proportional zur Betondruckfestigkeit an. Die Versuchsergebnisse zeigen jedoch, dass aufgrund der randnahen Einleitung der Lasten der Widerstand der Betonkante deutlich weniger als die Betondruckfestigkeit ansteigt. Dies wird beim Betonkantenbruchmodell über $f_{ck}^{1/4}$ berücksichtigt.

Der Nachweis ist erfüllt, wenn:

$$F_{c,Ed} \leq F_{c,Rd} \quad (10)$$

4.4 Weitere Nachweise

Die Bemessung der Stahlbetonkonstruktion, d.h. der Krag- und Deckenplatte, erfolgt nach DIN EN 1992-1-1 [10, 11]. Die Ermittlung der erforderlichen Spaltzug- und Aufhängebewehrung, der Nachweis der Wechselbiegung in Querrichtung infolge Temperaturdifferenz sowie die Ermittlung der Verformungen sind in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [1] in Form von Bemessungsgleichungen bzw. konstruktiven Regeln detailliert beschrieben.

5 Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Bemessungsmodellen

Zur Verifikation der entwickelten Bemessungsmodelle wurden die Versuchsergebnisse herangezogen und die ge-

messene Tragfähigkeit der Versuchskörper mit der nach den im Abschn. 4 beschriebenen Bemessungsmodellen ermittelten rechnerischen Tragfähigkeit verglichen. Dabei wurden die in den Bemessungsmodellen enthaltenen Teilsicherheitsbeiwerte γ_c und γ_s generell mit 1,0 und die Mittelwerte der empirisch ermittelten Faktoren angesetzt. Weiterhin wurden die in den Versuchen vorhandenen mittleren Stahl- und Betonfestigkeiten eingesetzt.

In Bild 9 sind für alle Versagensarten die experimentellen Bruchmomente M_u und die rechnerischen Tragfähigkeiten $M_{u,Rm}$ gegenübergestellt. Bei perfekter Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch müssten alle Verhältniswerte M_u (Versuch)/ $M_{u,Rm}$ (Rechnung) auf der eingezeichneten Diagonale liegen. Ergebnisse oberhalb der Diagonale stellen eine Unterschätzung und Ergebnisse unterhalb der Diagonale eine Überschätzung der Tragfähigkeit dar. Der Verhältniswert $M_u/M_{u,Rm}$ beträgt für die durchgeführten Versuche im Mittel 1,06 und der Variationskoeffizient ca. 7 %. Das Modell ist zur Berechnung der gemessenen Bruchlasten ausreichend genau.

In den Bildern 10 und 11 sind die Verhältniswerte $M_u/M_{u,Rm}$ in Abhängigkeit von der Betonzylinderdruckfestigkeit der angrenzenden Bauteile f_{cm} und der Anzahl der Druckschublager n_{CSB} dargestellt. Die Bilder zeigen, dass der Einfluss der wesentlichen Parameter auf die Bruchlast mit guter Genauigkeit erfasst wird. Die Resttragfähigkeit nach einem Brandversuch über 120 Minuten ist mit ca. 88 % des Rechenwertes sehr hoch. Die sehr gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch belegt, dass das Bemessungsmodell alle wesentlichen Parameter realitätsnah erfasst.

In den Bildern 12 und 13 ist das Verhältnis rechnerische zu experimentelle Zuggurtbeanspruchung in Abhängigkeit vom einwirkenden Moment dargestellt. Die rechnerische Zuggurtbeanspruchung wurde mithilfe des Moment-Querkraft-Interaktionsmodells bestimmt, wobei alle Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt wurden. Die expe-

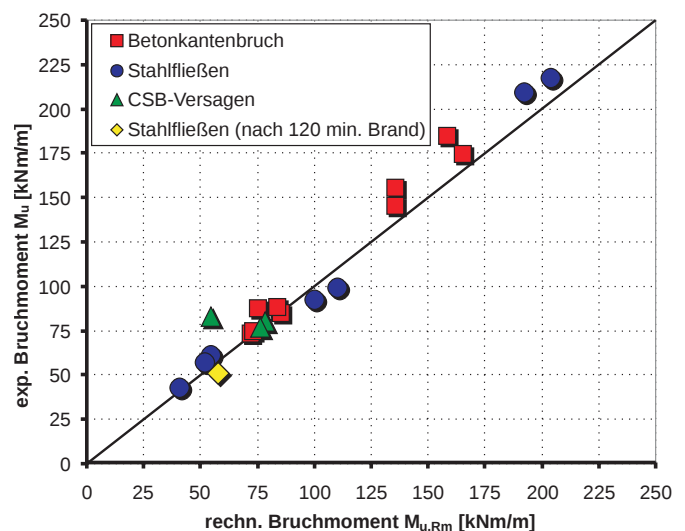


Bild 9 Vergleich rechnerische und experimentelle Tragfähigkeit
Comparison of computational and experimental load capacity

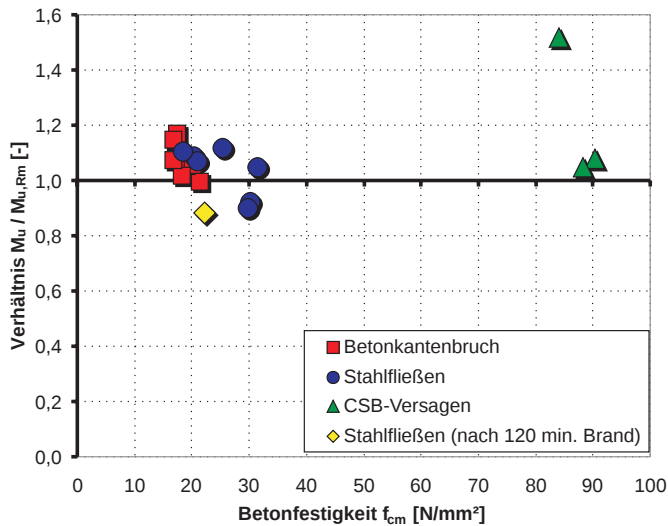


Bild 10 Verhältnis $M_u/M_{u,Rm}$ in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit (Betonkantenbruch)
Ratio $M_u/M_{u,Rm}$ depending on the concrete strength (concrete edge failure)

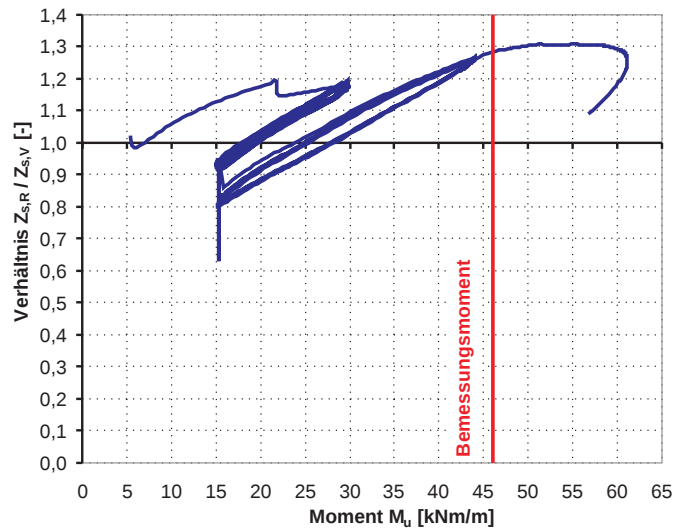


Bild 12 Vergleich rechnerisch bestimmte und experimentell ermittelte Zugstabbeanspruchung – Versagen durch Fließen der Zugstäbe
Comparison of computational and experimental stress on the tension bars – failure by flowing of the tension bars

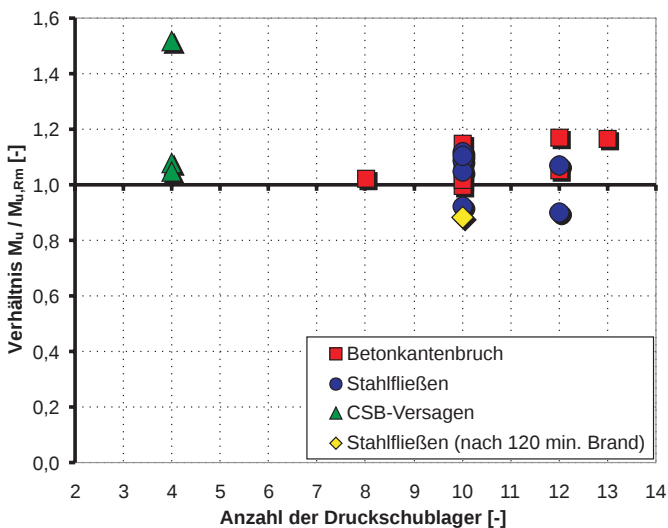


Bild 11 Verhältnis $M_u/M_{u,Rm}$ in Abhängigkeit von der CSB-Anzahl (Betonkantenbruch)
Ratio $M_u/M_{u,Rm}$ depending on the CSB number (concrete edge failure)

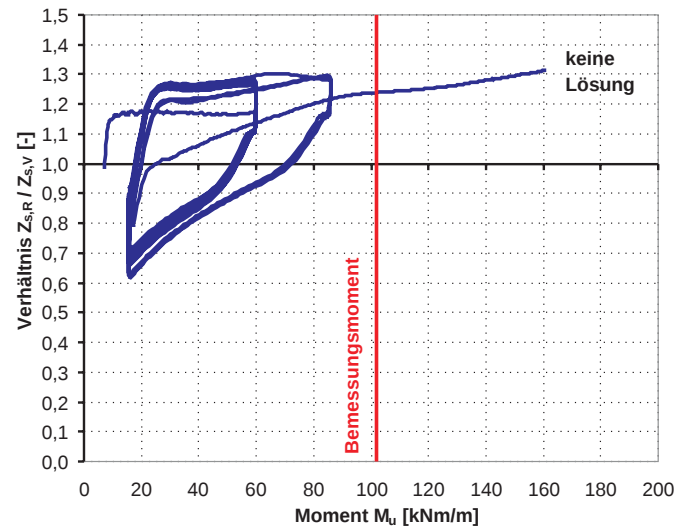


Bild 13 Vergleich rechnerisch bestimmte und experimentell ermittelte Zugstabbeanspruchung – Versagen durch Betonkantenbruch
Comparison of computational and experimental stress on the tension bars – concrete edge failure

rimentelle Zuggurtbeanspruchung wurde über die gemessenen Dehnungen der Zugstäbe ermittelt. Weiterhin ist das Bemessungsmoment in den Diagrammen eingetragen.

Unabhängig von der Versagensart (Fließen der Zugstäbe Bild 12, Betonkantenbruch Bild 13) sind die rechnerischen Zugkräfte größer als die gemessenen Werte. Dies zeigt, dass der reale Hebelarm der inneren Kräfte in der Regel größer war als der berechnete Wert. Da die nach Gl. (4) berechnete Druckzonenhöhe mit steigender Beanspruchung anwächst, nimmt der innere Hebelarm ab. Im Bruchzustand liefert Gl. (4) teilweise keine Lösung, so dass ein Vergleich bei Höchstlast nicht möglich ist. Der Anstieg der Kurven zeigt jedoch, dass bei Höchstlast die rechnerische Beanspruchung der Zugstäbe größer ist als die in den Versuchen ermittelte Zuggurtkraft. Die Ermitt-

lung der erforderlichen Zuggurtbewehrung ist somit im gesamten Anwendungsbereich konservativ.

6 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird der neuentwickelte Plattenanschluss HIT-HP/HIT-SP vorgestellt. Grundlegende Neuerung ist der Ersatz der bisherigen Drucklager und Querkraftstäbe durch Druckschublager aus faserbewehrtem Hochleistungsmörtel mit hoher Druck- und Zugfestigkeit sowie großer Bruchenergie. Es werden die im Rahmen des Zulassungsverfahrens zur Klärung des komplexen Tragverhaltens der Druckschublager und der Krafteinleitung in den angrenzenden Beton durchgeführten numerischen und experimentellen Untersuchungen sowie die daraus abgeleiteten Bemessungsmodelle vorge-

stellt. Ferner werden die experimentell bestimmten Bruchlasten mit den anhand der Bemessungsmodelle ermittelten Tragfähigkeiten verglichen. Die Bemessungsmodelle sind Bestandteil der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-15.7-293 [1]. Aufgrund der sehr guten Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch kann davon ausgegangen werden, dass mit den zugelassenen

Bemessungsmodellen die Tragfähigkeit von Plattenanschlüssen unter Verwendung von Druckschublagern mit ausreichender Genauigkeit bestimmt wird. Aufgrund der Komplexität der Bemessungsmodelle ist die Verwendung in der Praxis aufwendig. Hierfür werden vom Hersteller für alle Standardelemente typengeprüfte Tragfähigkeitstabellen zur Verfügung gestellt.

Literatur

- [1] Zulassungsbescheid Z-15.7-293: *Halphen-Iso-Element HIT-HP/HIT-SP mit Druckschublagern*. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt, Berlin 23.10.2012.
- [2] NOLASOFT: *FEM Analyse Halphen-Iso-Element*. Verschiedene Berichte im Zeitraum 2008 – 2009 (unveröffentlicht).
- [3] OŽBOLT, J.; LI, Y.-J.; KOŽAR, I.: *Microplane model for concrete with relaxed kinematic constraint*. International Journal of Solids and Structures, 38, 2683–2711, 2001.
- [4] SCHNELL, J.: *Bauteilversuche am Halphen-Iso-Element*. Verschiedene Versuchsberichte im Zeitraum 2009–2010 (unveröffentlicht).
- [5] NAUSE, P.: Prüfbericht, PB3.2/09-114; *Bestimmung der Rissentwicklung unter Gebrauchslast im Rahmen von Feuerwiderstandsprüfungen an einer Massivdecke mit auskragender Balkonplatte, verbunden mit einem Halphen-Iso-Element²*. MFPA Leipzig GmbH, 23.04.2009 (unveröffentlicht).
- [6] STARK, J.: Verschiedene Gutachten und Berichte bezüglich der Eigenschaften des Hochleistungsmörtels für die Anwendung als Druck-Schub-Lager. F.A.-Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, im Zeitraum 2009 (unveröffentlicht).
- [7] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode: *Grundlagen der Tragwerksplanung*. Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Beuth-Verlag Berlin.
- [8] DIN EN 1990/NA:2010-12: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Beuth-Verlag Berlin.
- [9] ELIGEHAUSEN, R.: *Gutachten zur Tragfähigkeit von Plattenanschlüssen unter Verwendung von Halphen-Iso-Elementen², Typ HIT²-BX, auf Grundlage von EN 1992-1-1 (Eurocode 2)* (unveröffentlicht).
- [10] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004+AC:2010, Beuth-Verlag Berlin.
- [11] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Beuth-Verlag Berlin.

Autoren



Dr.-Ing. Thorsten Heidolf
Halphen GmbH
Otto-Brünnerstraße 3
06556 Artern
thorsten.heidolf@halphen.de



Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen
Ingenieurbüro Eligehausen – Asmus – Hofmann
Hauptstraße 4
70563 Stuttgart
eligehausen@gmx.de



HALFEN Vertriebsgesellschaft mbH · Katzbergstraße 3 · 40764 Langenfeld
Telefon: + 49 (0) 2173-970-0 · Telefax: + 49 (0) 2173-970-225 · www.halfen.de