

Konstruktive Ausbildung und Bemessung des Knotens Flachdecke – Verbundrandstütze

M. Held, M. Schnellenbach-Held, T. Welsch

Zusammenfassung Die Ausführung sehr schlanker Druckglieder kann im Geschossbau durch die Verwendung von Verbundstützen ermöglicht werden. An Rand- und Eckstützen unter Flachdecken ergibt sich aufgrund des ggf. im Deckenknoten durchlaufenden Stahlkerns das Problem, dass die erforderliche Bewehrung zur Abdeckung des Rand- bzw. Eckmoments nicht in üblicher Weise über abgewinkelten Stabstahl in die Stütze eingebaut werden kann. Nachfolgend wird ein Vorschlag zur konstruktiven Durchbildung sowie zur Bemessung dieses Knotens gemacht. Abschließend werden einige Hinweise zur Ausführung gegeben.

Realization and design of the intersection point flat slab – composite edge column

Abstract Very slender compression members in floor constructions can be realized by the use of composite columns. Because of the continuous steel beam the problem of installing the necessary reinforcement for the fixed-end moment arises at edge columns. In the following pages a proposal is made concerning the design of this area. Finally, some instructions are given for the construction.

1 Problemstellung

An den Rand- und Eckstützen punktförmig gestützter Flachdecken sind Einspannmomente am Stützenkopf zu berücksichtigen, die aus der ungewollten Einspannung und der nicht symmetrischen Belastung dieser Stützen resultieren. Bei der Ausführung von Stahlbetonstützen ist die Aufnahme dieser Momente durch eine geeignete Bewehrungsführung, etwa den Einbau winkelförmiger Biegeformen, in der Regel

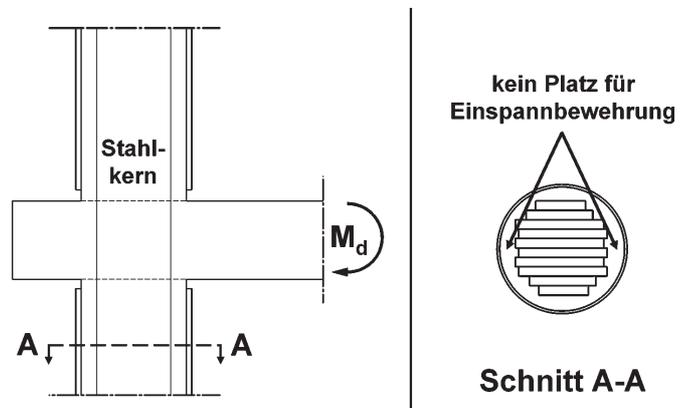


Bild 1. Verbundrandstütze mit kleiner Betonnettoquerschnittsfläche
Fig. 1. Composite edge column with small cross sectional area of concrete



Bild 2. Der Abstand zwischen Kern und Mantelrohr beträgt hier ≤ 8 cm
Fig. 2. The distance between steel beam and tube amounts here to ≤ 8 cm

problemlos zu bewerkstelligen. Bei der Verwendung von Verbundstützen mit im Deckenknoten durchlaufendem Stahlkern ist der Einbau dieser Bewehrung aufgrund des geringen Platzes zwischen Stahlkern und Mantelrohr häufig nicht mehr möglich (Bilder 1 und 2).

Weiterhin ergibt sich das Problem, dass die erforderliche Deckenbewehrung in der oberen (Biegebemessung, ggf. mit Zulagen aus dem Durchstanznachweis) und unteren (Kollapsbewehrung) Lage auf der Breite des Kerns ebenfalls nicht eingebaut werden kann.

2 Konstruktive Ausbildung der Knotenbewehrung

Die Knotenmomente lassen sich durch die Ausführung von schlaufenartigen Biegeformen unmittelbar in den Kern der Verbundstütze einleiten (Bild 5).

Da es sich hierbei um eine Umlenkung der Zugkraft handelt, ist bei der Herstellung dieser Schlaufen der größere Biege-
rollendurchmesser nach DIN 1045-1 [1], Tabelle 23, Spalte 3-5 zu verwenden (Bild 4).

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Held

Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich D, Abtl. Bauingenieurwesen
Lehr- und Forschungsgebiet
Massivbau & Tragkonstruktionen
Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal
massivbau@uni-wuppertal.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held

Universität Duisburg Essen
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Abteilung Bauwissenschaften
Institut für Massivbau
Universitätsstraße 15, 45141 Essen
m.schnellenbach-held@uni-due.de

Dipl.-Ing. Torsten Welsch

Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich D, Abtl. Bauingenieurwesen
Lehr- und Forschungsgebiet
Massivbau & Tragkonstruktionen
Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal
welsch@uni-wuppertal.de

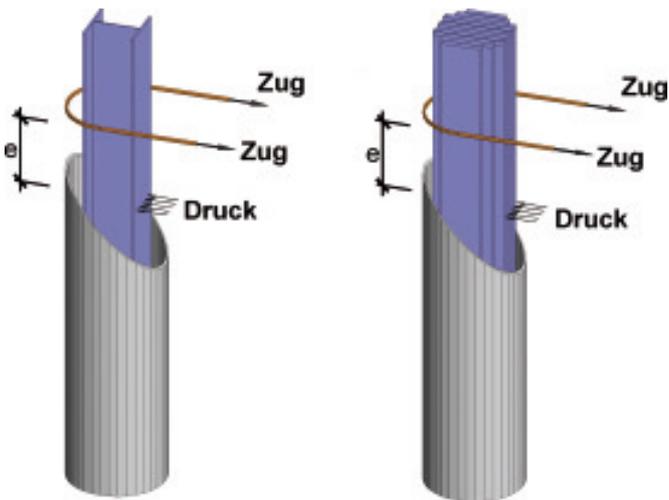


Bild 3. Einleitung des Randeinspannmoments in den Kern mittels Schlaufen
 Fig. 3. A proposal for the construction of the reinforcement in the intersection point flat slab – composite edge column

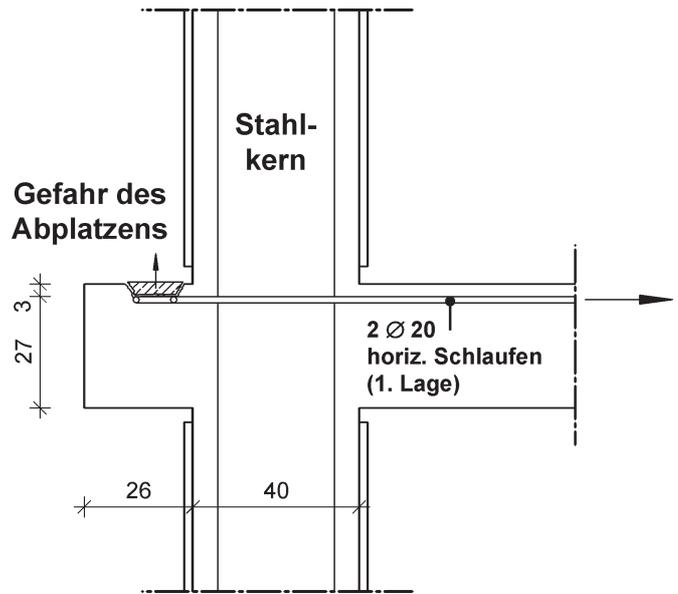


Bild 5. Gefahr des Abplatzens der Betondeckung bei falscher Wahl von d_{br}
 Fig. 5. Risk of spalling in case of wrong diameter of bending block

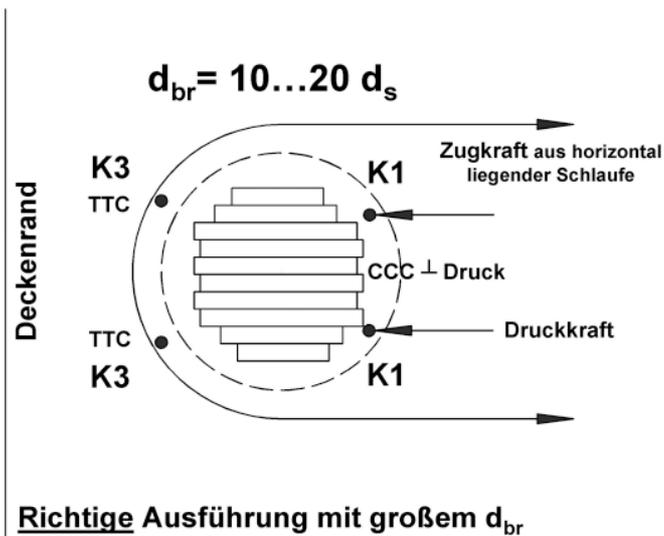
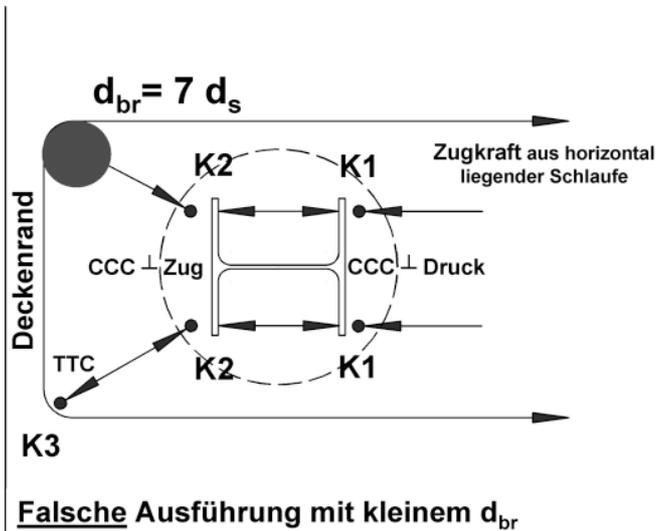


Bild 4. Falsche und richtige Wahl des Biegerollendurchmessers nach [1],
 Knotenbezeichnungen aus [2], C = compression (Druck), T = tension (Zug)
 Fig. 4. Wrong and right choice of the diameter of bending block according to [1],
 terms according to [2], C = compression, T = tension

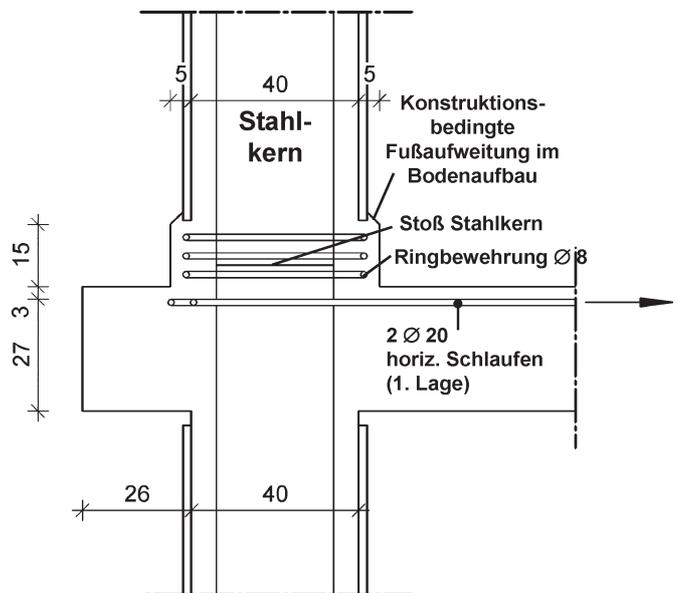


Bild 6. Konstruktionsbedingte Aufweitung im Bodenaufbau
 Fig. 6. Widening in the floor construction induced by construction

Wird der Biegerollendurchmesser zu klein gewählt, besteht die Gefahr, dass die Betondeckung oberhalb der Schlaufen abplatzt (Bild 5).

Für das Beispiel in Bild 5 ergäbe sich bei einer Betondeckung $c_{nom} = 3,0$ cm nach Tabelle 23 aus [1]:

$$c_{nom} = 3,0 \text{ cm} \leq 3 d_s = 3 \times 2,0 = 6,0 \text{ cm} \leq 50 \text{ mm} \Rightarrow d_{br} \geq 20 d_s$$

Bei der vorgesehenen Schlaufenbewehrung mit $d_s = 20$ mm ergäbe sich bereits für die erste horizontale Schlaufe ein Biegerollendurchmesser von $d_{br} = 40$ cm. Der Biegerollendurchmesser für die zweite horizontale Schlaufe müsste entsprechend größer gewählt werden. Damit wäre eine gewünschte Verlegung der ersten Schlaufe in unmittelbarer Nähe des Stahlkerns nicht gegeben. In Abhängigkeit von der Konstruktionsart der Verbundstützen ergibt sich jedoch häu-



Bild 7. Ausführung der Schlaufen mit zusätzlicher Rückhängebewehrung
Fig. 7. Set-up of the loops with additional suspension reinforcement



Bild 8. Anschluss der oberen Lage mittels Gewindemuffen
Fig. 8. Connection of the top layer by use of threaded sockets

fig verfahrensbedingt eine Aufdickung des Stützenquerschnitts oberhalb der Decke. Die hieraus resultierende Vergrößerung der Betondeckung für die erste Schlaufe kann bei der Ermittlung des erforderlichen Biegerollendurchmessers in Ansatz gebracht werden (Bild 6). Durch die Vergrößerung der Betondeckung für die erste Schlaufe auf $c_{nom} = 15,0$ cm ergibt sich dann:

1. horizontale Schlaufe $c_{nom,vorh} \sim 15$ cm
 $\Rightarrow d_{br,erf} \geq 10 d_s = 20$ cm
2. horizontale Schlaufe $c_{nom,vorh} \sim 3$ cm
 $\Rightarrow d_{br,erf} \geq 20 d_s = 40$ cm

Die damit verbundene Reduzierung des Biegerollendurchmessers erweist sich beim Einbau der Bewehrung als vorteilhaft. Die Gefahr des Abplatzens der Betondeckung kann durch den Einbau von Rückhängebewehrung senkrecht zur Schlaufenebene zusätzlich verringert werden (Bild 7).

Um die Verlegung der oberen und unteren Deckenbewehrung im hoch beanspruchten Kernbereich zu ermöglichen, kann das Kernprofil mit aufgeschweißten Gewindemuffen oder mit Bohrungen im Steg versehen werden (Bild 8 und 9).

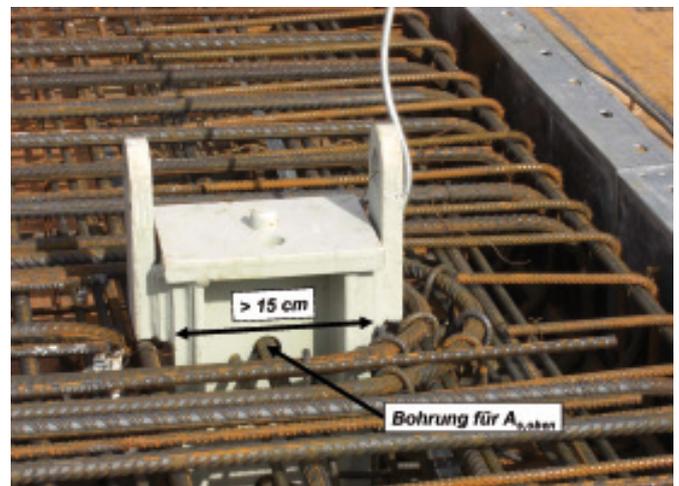


Bild 9. Durchführung der oberen und unteren Lage durch Stegbohrungen
Fig. 9. Laying of the top and bottom layer through web drillings

3 Knotenbemessung

Der rechnerische Nachweis der zuvor beschriebenen Knotenausbildung mittels schlaufenartiger Bewehrung erfolgt unter Verwendung von Stabwerkmodellen. In den Bildern 10 und 11 ist die Überführung der im Knotenbereich angreifenden Kräfte in ein geeignetes Stabwerkmodell dargestellt. Die Knoten sind nach Schlaich / Schäfer benannt [2], so dass bei der Berechnung auf bereits bekannte Formulierungen aus [2] zurückgegriffen werden kann.

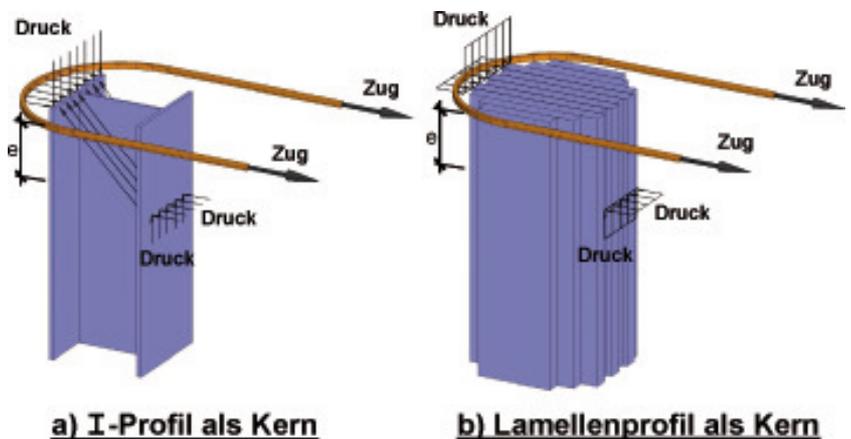


Bild 10. Modellvorstellung für den Kraftfluss im Knoten
Fig. 10. Model for the distribution of forces

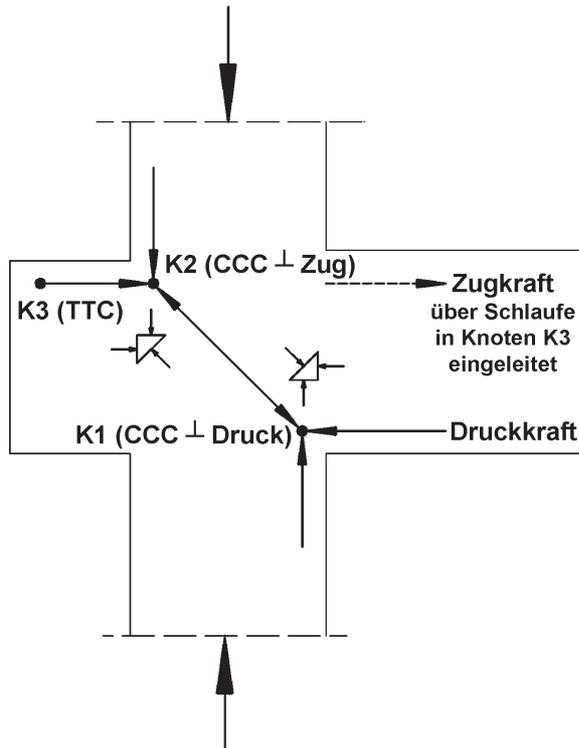


Bild 11. Aus Bild 10 abgeleitetes Stabwerkmodell, Knotenbezeichnungen aus [2], C = compression (Druck), T = tension (Zug)
 Fig. 11. Strut-and-Tie Model deduced from Fig. 10, terms according to [2], C = compression, T = tension

4 Allgemeine Hinweise zur Ausführung

Nachfolgend soll auf einige Besonderheiten im Zusammenhang mit der Ausführung von Verbundstützen hingewiesen werden:

4.1 Störung der Deckendruckzone durch einschneidendes Mantelrohr

Häufig ist auf Baustellen zu beobachten, dass das Mantelrohr erst im Bereich der Betondecke der unteren Deckenbewehrung endet (Bild 12). Hierdurch kommt es zu einer erheblichen Störung in der mehraxial hoch beanspruchten Druckzone des Deckenknotens. In der Folge kann die erste Druckstrebe nicht in der beim Durchstanznachweis unterstellten Art und Weise auf die Lasteinleitungsfläche der Stütze abgesetzt werden. Das einschneidende Mantelrohr stellt eine gefährliche Sollbruchstelle in der Versagenszone des Durchstanzens dar und ist unbedingt zu vermeiden. Das Mantelrohr muss 1–2 cm unterhalb der Decke enden (Bild 13).

4.2 Betonzusammensetzung und Verdichtung

Durch die eingangs erwähnte, oft sehr kleine Betonnettoquerschnittsfläche ist es erforderlich, die Betonzusammensetzung hinsichtlich des Größtkorns anzupassen. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn es sich um sehr hohe Stützen handelt. Nach eigenen Erfahrungen hat sich die Verwendung eines 8 mm Größtkorns bei gleichzeitig fließfähiger Konsistenz des Betons in den meisten Fällen als gute Lösung erwiesen.

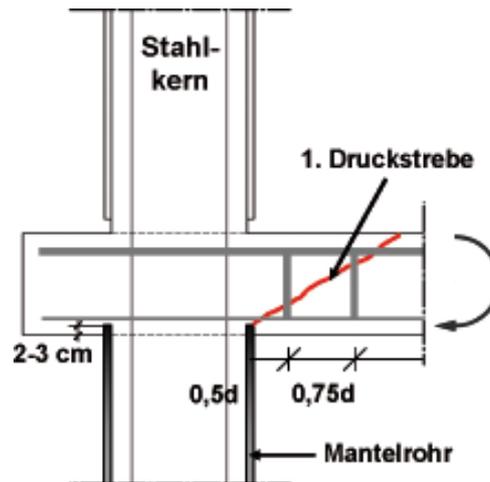


Bild 12. In die Deckendruckzone einschneidendes Mantelrohr
 Fig. 12. Casing of composite column cutting into compression zone of flat slab

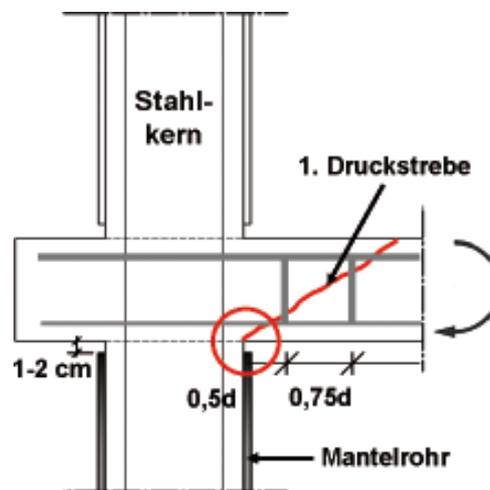


Bild 13. Korrekte Anordnung des Mantelrohres
 Fig. 13. Correct position of the casing

Da aufgrund der beengten Platzverhältnisse in der Regel keine Innenrüttler eingesetzt werden können, sollte die Verdichtung des Betons durch den Einsatz von Außenrüttlern sichergestellt werden (Bild 14). Ggf. ist hierzu eine Stahlprofilbohle zur Hilfe zu nehmen. Diesen Punkten sollte besondere Bedeutung beigemessen werden, da die Verdichtung wegen des Mantelrohres nicht überprüft werden kann.

4.3 Sicherstellung der Betonfestigkeit unterhalb der Decke

Infolge des Verdichtungsvorgangs wird die Betondruckfestigkeit im Bereich des Stützenkopfes herabgesetzt. Da die Lasteinleitungsfläche A_{LOAD} wegen des durchgehenden Stahlkerns ohnehin sehr klein ist, kommt der Druckfestigkeit der Betonnettoquerschnittsfläche aber besondere Bedeutung zu. Es ist deswegen sehr wichtig, in diesem Bereich die rechnerisch angesetzte Betondruckfestigkeit zielsicher zu gewährleisten. Es hat sich bewährt, das Mantelrohr für die Betonage durch Schalungsaufdopplung zu verlängern und damit die Herstellung von Überbeton zu ermöglichen (Bilder 15 und 16).



Bild 14. Verdichtung mit Außenrüttler und Stahlprofilbohle
 Fig. 14. Compaction with external vibrator and vibratory beam



Bild 16. Ausgeschalter Überbeton
 Fig. 16. Stripped overlay of concrete



Bild 15. Schalungsaufdopplung zur Herstellung von Überbeton
 Fig. 15. Extended shuttering for the manufacturing of an overlay of concrete



Bild 17. Abbruch des Überbetons auf Sollhöhe
 Fig. 17. Demolition of overlay of concrete to nominal height

Nach Abbinden des Betons ist der Überbeton wieder zu entfernen (**Bild 17**). Dabei ist zu beachten, dass der Zeitpunkt hierfür nicht zu spät gewählt wird, weil mit zunehmender Betonfestigkeit die Gefahr einer Gefügezerstörung durch den Abbruch besteht. Bei der erforderlichen Abdichtung der Schalung ist darauf zu achten, dass die Betondruckzone der Decke nicht gestört wird. Die Verwendung von Montageschaum zur Abdichtung ist in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll. Hier hat sich der Einsatz von Kunststoffseilen, die den Spalt zwischen Mantelrohr und Unterkante Decke sichern, bewährt (**Bild 18**).



Bild 18. Abdichtung der Fuge zwischen Mantelrohr und Schalung
 Fig. 18. Sealing the joint between casing and shuttering

5 Zusammenfassung

Die Einleitung von Deckeneinspannmomenten in Verbundrand- bzw. -eckstützen kann durch die Ausbildung einer schlaufenartigen Bewehrung sichergestellt werden. Da es sich hierbei um eine Kraftumlenkung handelt, sind diese Schlaufen mit großem Biegerollendurchmesser nach DIN 1045-1, Tabelle 23 [1] herzustellen. Für die Bemessung des Deckenknotens bieten sich Stabwerkmodelle an, wobei bei geeigneter Knotenbezeichnung auf vorhandene Formulierungen von Schlaich und Schäfer [2] zurückgegriffen werden kann.

Bei der Ausführung ist grundsätzlich zu beachten, dass das Mantelrohr der Verbundstütze nicht in die Druckzone der Decke einschneidet. Die vollständige Verfüllung des Mantelrohres mit Beton und die ordnungsgemäße Verdichtung des Mantelbetons sind durch den Einsatz von fließfähigem Beton mit 8 mm Größtkorn und durch die Verwendung von Außenrüttlern zu gewährleisten. Um die rechnerische Beton-

druckfestigkeit im Bereich der Lasteinleitungsfläche A_{LOAD} sicherzustellen, sollte am Stützenkopf durch Schalungsdopplung ein Überbeton hergestellt werden, der nach Erhärtung bis zur Sollhöhe des Stützenkopfes wieder abgebrochen wird.

Die vorgeschlagene Knotenausführung und die angegebenen Ausführungshinweise wurden bei der Herstellung eines größeren Geschossbaues in die Praxis umgesetzt. Dabei hat sich gezeigt, dass eine Umsetzung auf der Baustelle problemlos möglich ist.

Literatur

- [1] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Ausgabe August 2008
- [2] Schlaich, J. und Schäfer, K.: „Konstruieren im Stahlbetonbau“, Betonkalender 2001 / Teil 2, S. 376ff

Buchbesprechung

Kalkulieren im Ingenieurbau

Das Buch „Kalkulieren im Ingenieurbau: Strategien – Kalkulation – Controlling“ erschien im Jahr 2010 in der zweiten, neu bearbeiteten Auflage bei Teubner. Unter der Herausgeberschaft von Prof. Dr.-Ing. Dieter Jacob, Dr. Constanze Stuhr und Dr. Christoph Winter von der TU Bergakademie Freiberg wird in dem ca. 550 Seiten umfassenden Werk das gesamte Geschehen rund um die Kalkulation dem Leser anschaulich erläutert. Durch die Gesamtbetrachtung der Prozesse, die auf die Ermittlung von Kalkulationsdaten auf betriebswirtschaftlicher Basis abzielt, grenzt sich das Buch deutlich von Konkurrenzprodukten ab. Es besteht aus den Hauptteilen „Strategien“, „Kalkulation“ und „Controlling“. Der erste Hauptteil beschäftigt sich mit der strategischen Ausrichtung bezüglich Kunden, Produktionsverfahren und Beschaffungsmärkten. Davon hängt das konkret zum Einsatz kommende Kalkulationsverfahren ab. Eine Verzahnung der strategischen Überlegungen des Unternehmens mit dem Kalkulationsprozess stellt somit eine unabdingbare Voraussetzung für erfolgreiches unternehmerisches Handeln dar. Der zweite Hauptteil des Buches behandelt auf ca. 450 Seiten das Thema „Kalkulation“. Zunächst werden Grundlagen wie Begrifflichkeiten und übliche Kalkulationsweisen beschrieben. Danach folgt die Darstellung des Prozesses der Angebotskalkulation. Das Kernstück des zweiten Hauptteils bildet mit Hilfe von Spezialautoren die spartenbezogene Vorkalkulation, die wichtige Bereiche im Ingenieurbau abdeckt und die komplexe Materie verständlich vermittelt. Angefangen vom Hochbau (Schlüsselfertigbau, Rohbau, Fassadenbau und technische Gebäudeausrüstung) reicht die Bandbreite über den konstruktiven Straßenbau, den Brückenbau, den Tunnelbau und den Spezialtiefbau bis zum Stahlbau. Dabei werden für jede Sparte die Grundlagen erläutert und die Kalkulation anhand von konkreten Beispielen aufgezeigt. Durch die Einbindung von Autoren aus namhaften Bauunternehmen, Planungsbüros und Facility Management-

Unternehmen ist sichergestellt, dass die Kalkulation nicht nur vom theoretischen Blickwinkel aus betrachtet, sondern praxisbezogen veranschaulicht wird. Nach der spartenbezogenen Kalkulation werden übergreifende Kalkulationsthemen behandelt. Die Kalkulation von Sonderfällen (z.B. Mehrmengen, Mindermengen, geänderte Leistungen und Behinderungen) wird ebenso erläutert wie die besonderen Risiken und Absicherungsmöglichkeiten beim Auslandsbau. Ein besonderer Schwerpunkt ist der Kalkulation von Risiken gewidmet, die anhand eines Praxisbeispiels durchgängig bis zur Abrechnung des Projektes erörtert wird. Abgerundet werden die übergreifenden Themen durch die Kalkulation von Funktionsbau- und GMP-Verträgen, die Kalkulation der Lebenszykluskosten (z. B. bei PPP) und die Besonderheiten bei Arbeitsgemeinschaften.

Der dritte Hauptteil des Werkes widmet sich dem Thema Controlling und Software. Damit schließt sich der Kreis – beginnend bei der strategischen Positionierung über den Kalkulationsprozess bis zur projekt- und unternehmensbezogenen Steuerung im Rahmen des Controllings einschließlich der Einbindung von geeigneten Softwarelösungen.

Den Herausgebern gelingt der Spagat zwischen einer ganzheitlichen Betrachtung und Einbettung der Kalkulation in den unternehmerischen Gesamtkontext und der detaillierten Betrachtung einzelner Kalkulationsgebiete. Zudem werden unterschiedliche Vorgehensweisen, die bei der Kostenermittlung aus Sicht des Planers und Bauunternehmers bestehen, zusammengeführt. Das Buch eignet sich daher hervorragend für Ingenieure und Planer, für Kaufleute in Bauunternehmen, für professionelle Bauherren sowie Studierende der Fachrichtungen Bauingenieurwesen und Wirtschaftswissenschaften.

*G. Girmscheid
Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement
ETH Zürich*