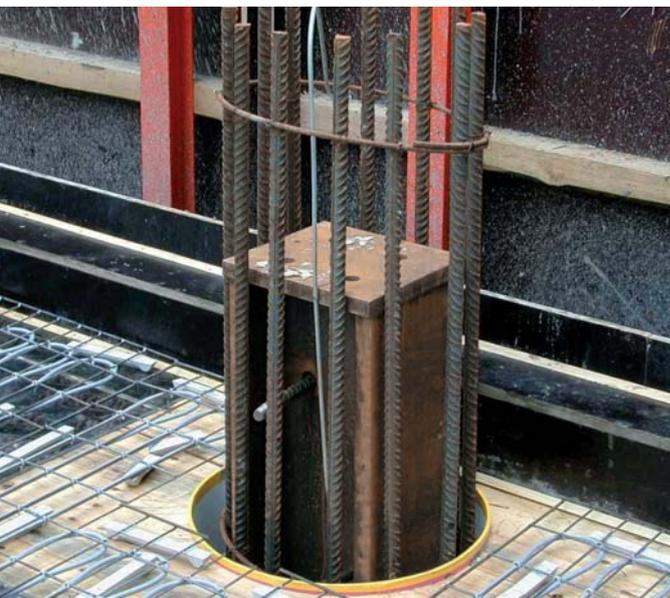
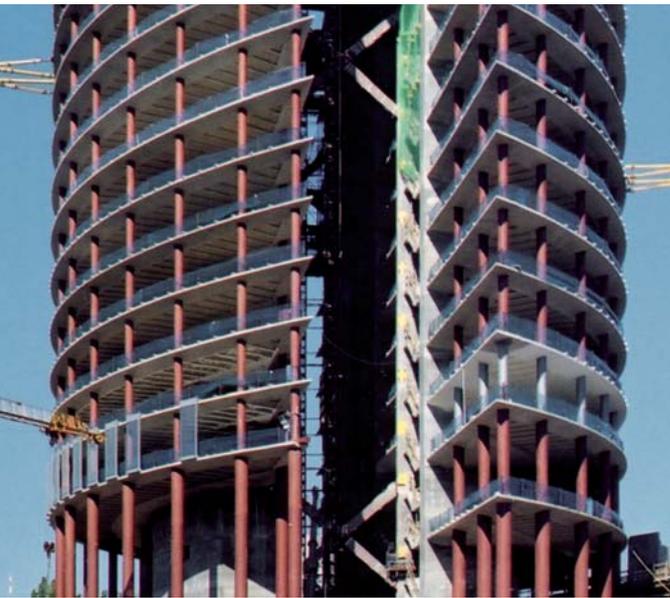


Dokumentation 696/1

# Verbundstützen mit eingestellten Stahlprofilen

- Anschlüsse und Bemessung -



**Impressum**

Dokumentation 696/1  
 Verbundstützen mit eingestellten  
 Stahlprofilen  
 – Anschlüsse und Bemessung –

Herausgeber:  
 BAUEN MIT STAHL e.V.  
 Sohnstraße 65  
 40237 Düsseldorf  
 Postfach 10 48 42  
 40039 Düsseldorf  
 Telefon (02 11) 67 07-828  
 Telefax (02 11) 67 07-829  
 zentrale@bauen-mit-stahl.de  
 www.bauen-mit-stahl.de

Januar 2007

Ein Nachdruck dieser Publikation –  
 auch auszugsweise – ist nur mit  
 schriftlicher Genehmigung des Heraus-  
 gebers bei deutlicher Quellenangabe  
 gestattet.

Autoren: Jörg Lange, Karsten Ewald,  
 Nils Heuer, Jörrit Kleinschmitt

Titelbilder

links oben: Post-Tower, Bonn  
 links unten:  
 Verbundstütze mit Einstellprofil  
 rechts: Westhafentower,  
 Frankfurt am Main (©Jörg Lange)

**Inhalt**

	Einleitung	Seite
		3
1	Anschlussstypen	4
1.1	Verbundstütze mit Betonflachdecke	4
1.1.1	Hüllrohr und Einstellprofil durchlaufend	5
1.1.2	Hüllrohr unterbrochen, Einstellprofil durchlaufend	6
1.1.3	Hüllrohr und Einstellprofil unterbrochen	7
1.2	Verbundstützen mit Stahlträgern	8
1.2.1	Biegesteifer Trägeranschluss am Einstellprofil	8
1.2.2	Gelenkiger Anschluss über Fahnenbleche	9
1.3	Übergang Stahlverbundstütze in Betonstütze	10
1.3.1	Übergang mit Hilfe einer Kopfplatte	10
1.3.2	Übergang als Übergreifungsstoß	11
1.4	Fußpunkt von Verbundstützen	12
1.4.1	Lastausleitung mit Hilfe von Fußplatten	12
1.4.2	Lastausleitung mit Kopfbolzendübel am Stahleinbauteil	13
2	Detaillierung der statischen Nachweise	14
2.1	Durchstanznachweis der Stahlbetonflachdecke	14
2.2	Nachweis im Bereich des Stahlkragens	17
2.3	Nachweis der Schneidenlagerung	19
2.4	Darstellung des Kraftflusses beim Nachweis der Einleitung der Deckenlasten in die Verbundstütze	20
2.5	Nachweis im Übergangsbereich Stahlbetonstütze – Verbundstütze	21
	Literatur	24
	Anhang: Bemessung von Stahlverbundstützen nach typengeprüftem Verbundstützenkatalog, Prüfbericht Nr. 4117.20 – 007/2004 – Bemessungsbeispiel	25



## Einführung



Innenansicht Millennium Tower in Wien  
(©Jörg Lange)

Verbundstützen mit eingestellten Stahlkernen können als Fertigteile (vorab bewehrt und betoniert) oder Teilfertigteile (mit äußerem Rohrmantel und Profil- oder Bewehrungsstahl) einen wesentlichen Beitrag zum schnellen und kostengünstigen Bauen leisten. Durch höchste Tragfähigkeit bei kleinem Stützenquerschnitt ist mit schlanken Verbundstützen ein deutlicher Zuwachs an nutzbarer und vermietbarer Fläche zu erzielen. Ihr Einsatz bei nahezu allen Hochhäusern, die in den vergangenen Jahren in Deutschland gebaut wurden, ist Beweis für ihr günstiges Verhältnis von Tragkraft zu Flächenverbrauch. Aber auch viele kleinere Büro- und Industriegebäude profitieren von diesen Vorteilen.

Der Einsatz von Stahlverbundstützen fördert das elementierte Bauen. Als Fertigteile werden sie industriell hergestellt. Dies beeinflusst nicht nur die Kosten- und Terminsituation günstig, sondern hat auch Vorteile hinsichtlich der Qualitätssicherung. Auf das Hubgewicht wirkt sich die Betonfüllung jedoch nachteilig aus. Eine Alternative ist das Ausbetonieren der mit einem Stahlkern versehenen Hohlprofile nach Montage und Ausrichten. Diese Methode bietet neben geringen Hubgewichten und entsprechend geringeren Krananforderungen den Vorteil, dass auch Stützen über mehrere Geschosse durchlaufend montiert werden können. Über 10 m lange, 3-geschossige Liefereinheiten sind Stand der Technik. Die Abstufung des Querschnitts aufgrund sich ändernder Traglasten kann dabei über die Abstufung des Bewehrungsgrades und des Einstellprofils erfolgen.

Die vorliegende Broschüre stellt konstruktive Details vor, die helfen sollen, das Bauen und Konstruieren mit betongefüllten Stahlhohlprofilen zu verein-

fachen. Alle Beispiele basieren auf bereits ausgeführten Bauwerken. Die Verbindung der Stützen mit den lasteinleitenden Bauteilen Decke und Unterzug steht dabei im Vordergrund. Darüber hinaus werden Möglichkeiten gezeigt, die Stützen an Stahlbetonbauteile (Wände, Fundament) anzuschließen und damit zu verbinden.

Grundlage für die Konstruktionsvorschläge ist die Bemessung der Verbundstützen gemäß DIN 18800-5 [1], EC 4 [2] oder anderen anerkannten Berechnungsverfahren, die von Herstellern im Rahmen von bauaufsichtlichen Zulassungen entwickelt wurden.

Außerdem wurde im Auftrag von BAUEN MIT STAHL e. V. ein Verbundstützenkatalog erstellt, dessen Traglasttabellen eine schnelle und einfache Bemessung des Verbundstützentyps „Betongefülltes, rundes Stahlhohlprofil mit eingestelltem Doppel-T-Profil oder Kreuzprofil aus Flachstahl“ ermöglichen.

Die Traglasttabellen wurden einer Typenprüfung unterworfen, so dass – bei Einhaltung der im Katalog vorgegebenen Randbedingungen – die Nutzung der Katalogwerte als Bemessungsnachweis ausreicht. Grundlage ist der Prüfbericht Nr. 4177.20-007/04 [6]. Der Katalog deckt sowohl die Kalt- als auch die Heißbemessung (für die Feuerwiderstandsklassen R60, R90 und R120) ab.

Die Bemessung der Verbundstützen mit Hilfe dieses Verbundstützenkatalogs wird anhand eines Beispiels im Anhang der Broschüre dargestellt.

Es ist zu beachten, dass die gewählten Zahlenbeispiele nur bei Einhaltung der genannten Randbedingungen gelten.



## 1 Anschlussypen

Verbundstützen werden sowohl in Verbindung mit Stahlbetonflachdecken als auch mit Stahlverbundträgerdecken oder Flachdecken mit integrierten Stahlträgern (Stahlflachdecken) eingesetzt. Die Stützen können entweder geschossweise gestoßen oder durchlaufend ausgeführt werden. Dies beeinflusst maßgeblich die Wahl und die Ausführung der Anschlüsse.

Es ist auch möglich, die Stützenstränge oberhalb der Verbundstützen als Stahlbetonstützen weiterzuführen. Dann sind Stahlverbundstütze und Stahlbetonstütze kraftschlüssig miteinander zu verbinden.

Der Anschluss des Stützenfußes erfolgt in der Regel über Fußplatten. Eine Verankerung des Einstellprofils in das lastaufnehmende Betonteil ist jedoch ebenfalls möglich.

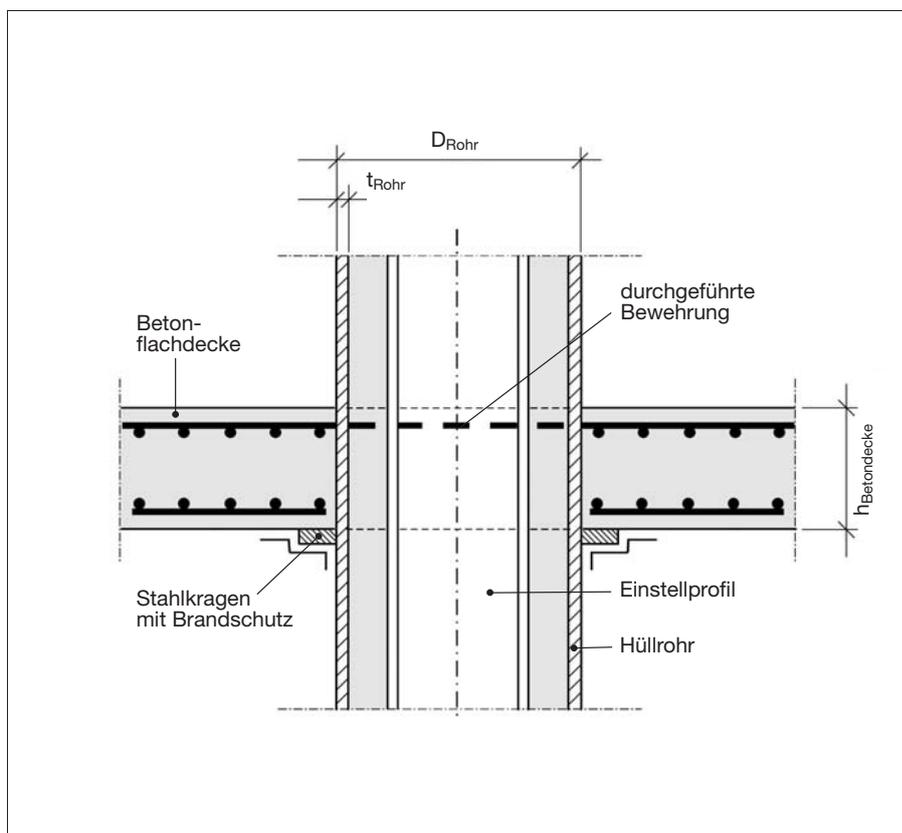
In dieser Broschüre werden verschiedene Anschlussypen vorgestellt. Ihre Vorteile werden angeführt, es werden konstruktive Hinweise gegeben und es werden die wichtigsten zu führenden Nachweise aufgelistet.

## 1.1 Verbundstütze mit Betonflachdecke

Aufgrund ihrer Schlankheit, ihrer hohen Tragfähigkeit und ihres ästhetischen Erscheinungsbildes ersetzen Stahlverbundstützen immer häufiger konventionelle Betonstützen. Soll die Stahlbetonflachdecke aus planungstechnischen Gründen beibehalten werden, ist sie kraftschlüssig mit der Verbundstütze zu verbinden.

Nachfolgend werden die gebräuchlichsten Anschlüsse dargestellt.

### 1.1.1 Hüllrohr und Einstellprofil durchlaufend



#### Vorteile:

- Einfache stahlbaumäßige Montage der Stütze ohne weitere Hilfskonstruktion
- geringer Fertigungsaufwand der Stütze
- wenige Kranhübe
- mehrgeschossiges Ausbetonieren der Stütze abhängig von der Entwicklung der Beanspruchung.

#### Zu beachten:

- Bewehrungsführung in der Decke ist durch das Stahlrohr beeinflusst. Bei dichter Bewehrung muss diese über Bohrungen durch das Stahlrohr geführt werden.
- Stahlkragen am Rohr als Deckenaufleger erforderlich.

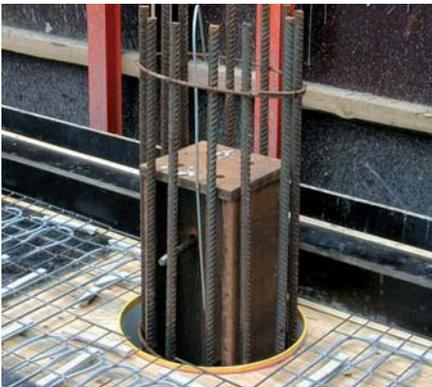
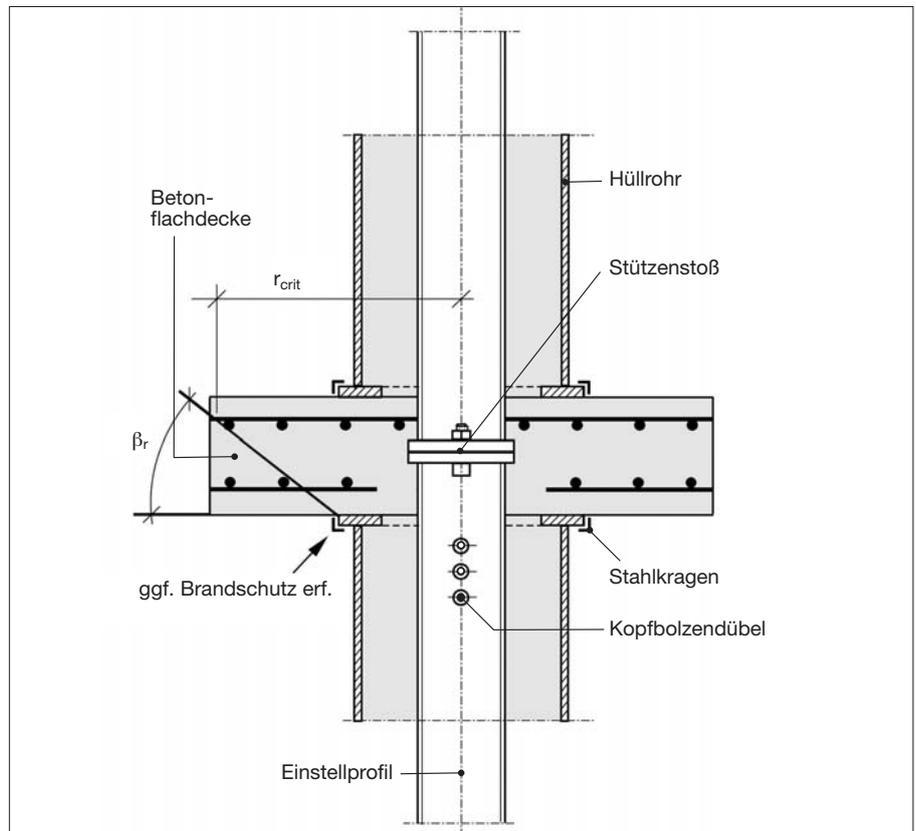
#### Konstruktive Hinweise:

- Die Stahlkragen zur Lasteinleitung in das Stützenrohr sind brandschutztechnisch zu schützen.
- Der Stützenbeton sollte wegen der besseren Verdichtung sowie der Entmischungsfahr aufsteigend von unten betoniert werden.

#### Nachweise:

- Nachweis der Stütze für den Bauzustand (Windbeanspruchung)
- Lasteinleitung der Deckenlasten über einen Stahlkragen in das Stahlrohr, Weiterleitung der Lasten in den Beton über Mantelreibung des Hüllrohrs
- Durchstanznachweis der Decke, ggf. Anordnung von Durchstanzbewehrung oder Dübelleisten.

### 1.1.2 Hüllrohr unterbrochen, Einstellprofil durchlaufend



#### Vorteile:

- Einfache stahlbaumäßige Montage der Stütze ist ohne Hilfskonstruktion möglich.
- Die Bewehrungsführung der Betondecke wird nur durch das Einstellprofil gestört.
- Geschossweise oder auch mehrgeschossige Stützenschüsse sind möglich

#### Zu beachten:

- Zum Ausrichten bei nicht planem Kopf- und Fußplatten sind Richtstützen erforderlich.
- Stützenbeton und Deckenbeton sollten aufgrund des Bauablaufes die gleiche Betongüte aufweisen.

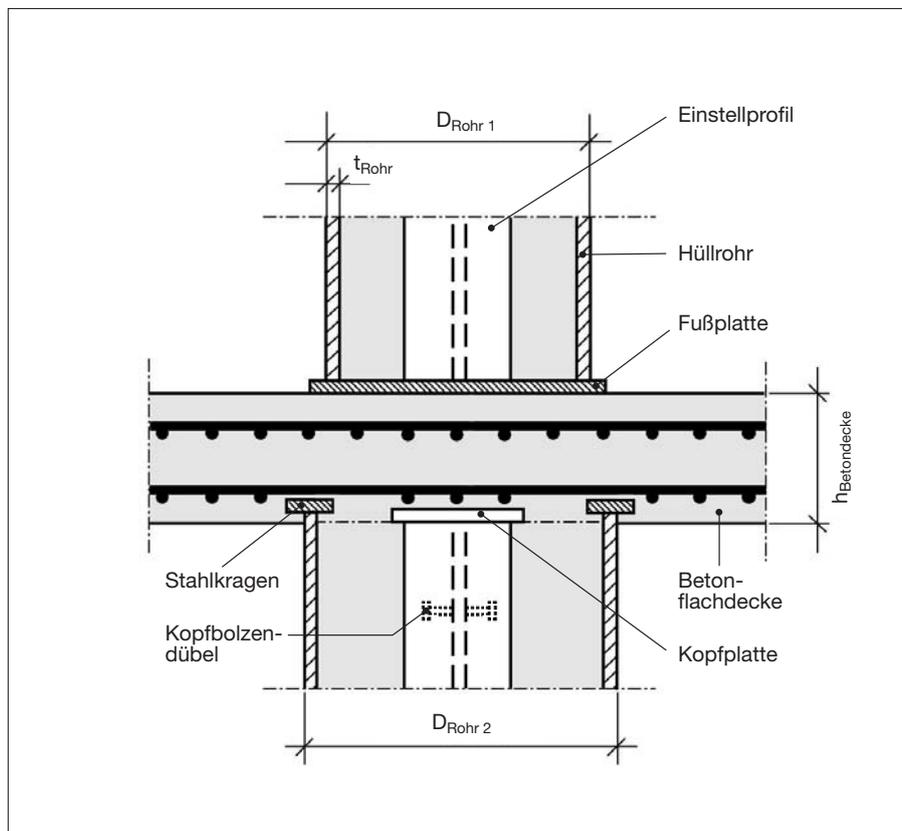
#### Konstruktive Hinweise:

- Die Stahlkragen zur Lasteinleitung in das Stützenrohr sind brandschutztechnisch zu schützen.
- Der Stützenbeton sollte bei höheren Stützen wegen der besseren Verdichtung und wegen der Entmischungsfahrgefahr aufsteigend von unten betoniert werden.

#### Nachweise:

- Nachweis des Kopfplattenstoßes im Besonderen für den Bauzustand (Wind). Bei deutlicher Geometrieänderung des Einstellprofils ist nennenswerte Plattenbiegung aus Vertikallast vorhanden.
- Der Kraftanteil des Stahlrohres ist durch den Deckenbeton zu leiten (Teilflächenpressung nach DIN 1045, Lastausbreitungswinkel, Nachweis Stahlkragen etc).
- Durchstanznachweis der Decke, ggf. Anordnung von Durchstanzbewehrung oder Dübelleisten.
- Einleitung der Deckenlast in die Verbundstütze über Kontakt und/oder Kopfbolzendübel am Einstellprofil etc.

### 1.1.3 Hüllrohr und Einstellprofil unterbrochen



#### Vorteile:

- Ausgleichsmöglichkeiten in jedem Geschoss
- ungestörte Bewehrungsführung in der Decke
- gut geeignet bei Veränderung des Außendurchmessers der Stütze.

#### Zu beachten:

- Montage der Stütze erst nach dem Betonieren der Decke
- wegen der Lastein- und Ausleitung nur für geringe Stützenlasten sinnvoll
- hoher Montageaufwand, da jedes Bauteil neu eingemessen und ausgerichtet werden muss.

#### Konstruktive Hinweise:

- Die Stahlkragen zur Lasteinleitung in das Stützenrohr sind brandschutztechnisch zu schützen sofern sie nicht mit einbetoniert werden.
- Die Fußplatte der oberen Stütze muss nicht brandgeschützt werden.
- Der Stützenbeton sollte wegen der besseren Verdichtung sowie wegen der Entmischungsgefahr aufsteigend von unten betoniert werden.
- Die Stützen können vor der Montage ausbetoniert werden, z. B. im Fertigteilwerk, was jedoch das Hubgewicht sehr stark erhöht.

#### Nachweise:

- Lastein- und -ausleitung sowie Durchleitung durch den Deckenbeton
- Durchstanznachweis der Decke, ggf. Anordnung von Durchstanzbewehrung oder Dübelleisten
- Einleitung der Deckenlast in die Verbundstütze über Kontakt (Betonfuge) und Kopfbolzendübel am Einstellprofil.

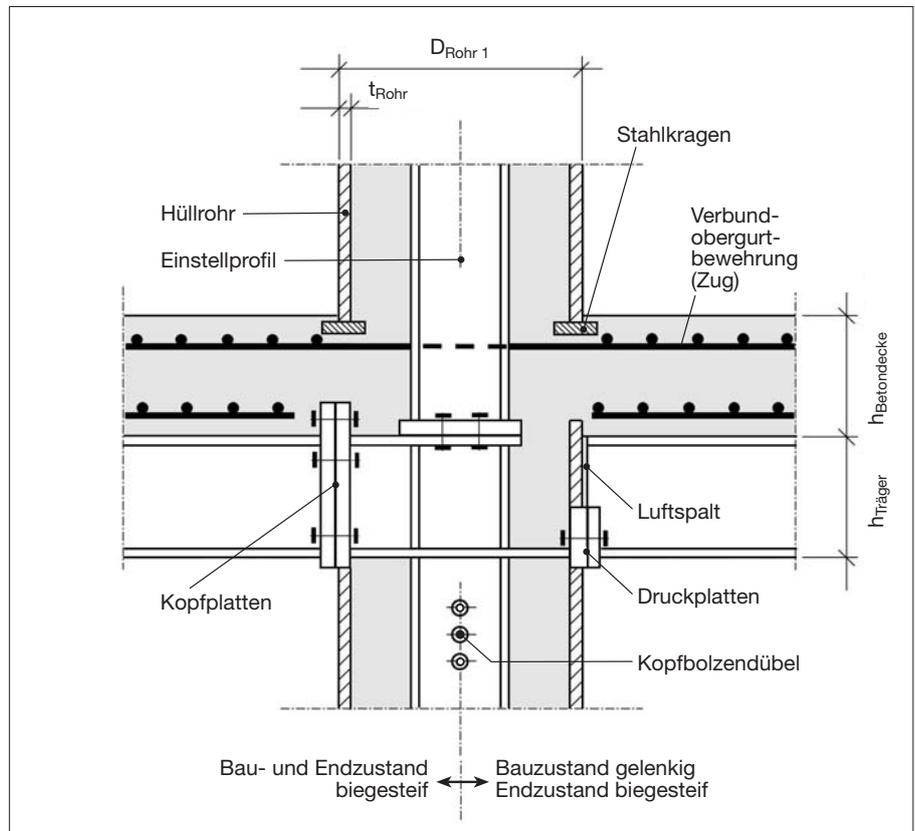
## 1.2 Verbundstützen mit Stahlträgern

Bei großen Spannweiten werden bei Geschossbauten sowohl die Deckenträger als auch die Stützen in Stahl bzw. Stahlverbund ausgeführt.

Vorab wird das Stahlskelett montiert, anschließend werden die Betondecken aufgebracht. Dies gilt sowohl für eine Deckenausführung im Trägerverbund als auch für eine Ausführung als Flachdecke mit integrierten Stahlträgern (Stahl Flachdecke).

Die Anschlüsse der Deckenträger an die Verbundstützen können sowohl biegesteif, als auch gelenkig ausgeführt werden.

### 1.2.1 Biegesteifer Trägeranschluss am Einstellprofil



#### Vorteile:

- Schnelle Stahlbaumontage.
- Die Stütze kann mehrgeschossig ausgeführt werden.
- Die Träger richten die Stützen aus und stabilisieren sie während der Montage.
- Der biegesteife Trägeranschluss ermöglicht eine gute Materialausnutzung des Deckenträgers.

#### Zu beachten:

- Nach dem Anschluss des Trägers muss das Rohr verschlossen werden.
- Stützen- und Deckenbeton sollten wegen des Bauablaufs die gleiche Betongüte haben.

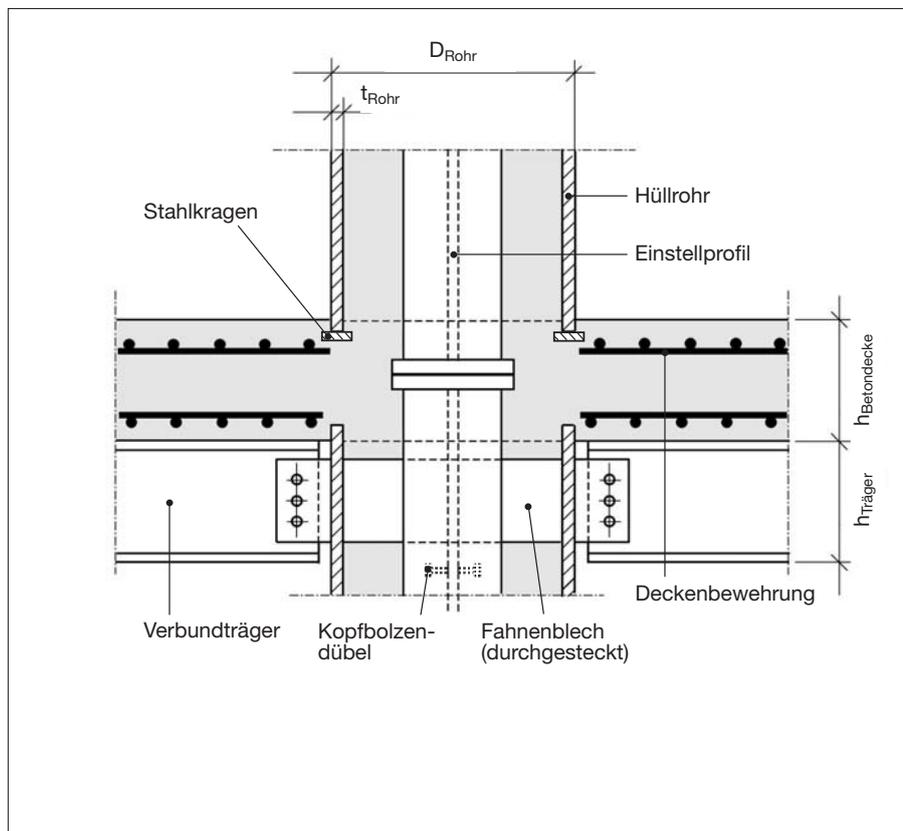
#### Konstruktive Hinweise:

- Der Ausgleich von Fertigungstoleranzen und Ausführungsungenauigkeiten kann am Stoß des Einstellprofils mit Futterblechen erfolgen.
- Der Brandschutz der Träger und der Anschlusslaschen erfolgt mit Spritzputz oder Plattenbekleidung. Der Träger selbst kann auch durch Ausbetonieren geschützt werden (Kammerbeton, siehe Foto).

#### Nachweise:

- Biegesteifer Anschluss z. B. gemäß „Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau“ des DSTV
- Falls die Biegesteifigkeit nur für den Endzustand geplant wird (rechter Skizzenbereich), übernimmt allein die durchlaufende Bewehrung die Zugkraft. Hierfür müssen Kopfbolzendübel auf dem Obergurt des Deckenträgers angeordnet werden. Der Unterflansch überträgt die Druckkraft des Stützenmomentes. Dieser Anschlusstyp ist nur bei relativ kleinen Profilen möglich.
- Lastausleitung vom Einstellprofil in die Verbundstütze durch Kopfbolzendübel.
- Durchleitung des Beton- und Rohrlastanteils durch die Decke.

### 1.2.2 Gelenkiger Anschluss über Fahnenbleche



#### Vorteile:

- Sehr einfache Stahlbaumontage.
- Die Stütze kann mehrgeschossig ausgeführt werden.
- Stützen- und Deckenbetongüten sind unabhängig von einander.
- Auch bei unterbrochenem Stützenrohr (wie im Bild) sind keine Anschlussöffnungen im Rohr zu schließen.
- Durch sinnvolle Wahl des Abstandes des Trägeranschlusses zur Rohrachse können die Momentenbelastungen der Stütze aus ungleichen Auflagerkräften der Deckenträger ausgeglichen werden.

#### Zu beachten:

- Lange Anschlussbleche können große Stützenmomente erzeugen.

#### Konstruktive Hinweise:

- Der Ausgleich von Fertigungstoleranzen und Ausführungsungenauigkeiten kann am Stoß mit Futterblechen erfolgen.
- Der Brandschutz der Träger und der Anschlusslaschen erfolgt mit Spritzputz oder Plattenbekleidung. Außerhalb des Anschlusses kann der Träger auch durch Ausbetonieren (Kammerbeton, siehe Foto) geschützt werden.

#### Nachweise:

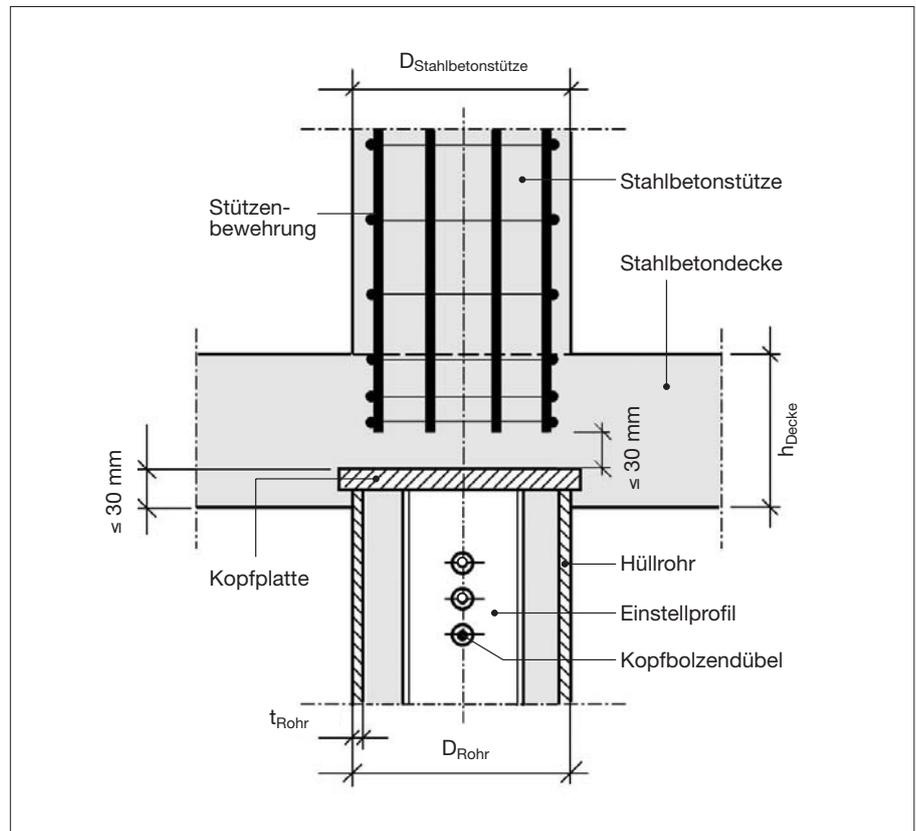
- Fahnenblechanschluss (siehe auch Abs. 2.3)
- Durchleitung des Beton- und Rohranteils an der Stützenlast durch die Decke
- Lastausleitung vom Einstellprofil in die Verbundstütze durch Kopfbolzendübel.



### 1.3 Übergang Stahlverbundstütze in Betonstütze

Aufgrund ihrer großen Tragfähigkeit werden Stahlverbundstützen oft nur im unteren, hochbelasteten Gebäudebereich eingesetzt. In den oberen Geschossen verwendet man wieder Stahlbetonstützen. Die Stahlverbundstützen müssen dann mit den Stahlbetonstützen verbunden werden.

#### 1.3.1 Übergang mit Hilfe einer Kopfplatte



#### Vorteile:

- Eindeutig definierter Lasteinleitungsbereich
- Stützenbewehrung und Einstellprofil sind voneinander unabhängig.

#### Zu beachten:

- Luftöffnungen für den Betoniervorgang der Stütze beim Betonieren von unten oder Einfüllöffnung beim Betonieren von oben vorsehen.

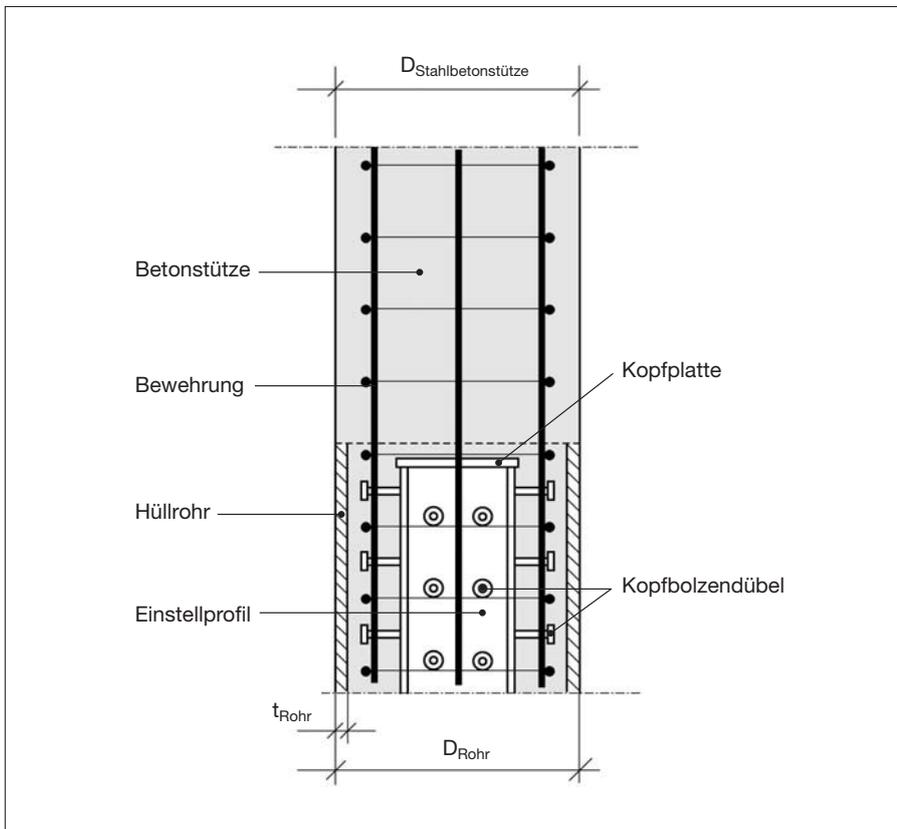
#### Konstruktive Hinweise:

- Der Spalt zwischen Bewehrungsende und Kopfplatte darf nur wenige cm betragen. Es ist jedoch kein planmäßiges Anschweißen oder Anschrauben der Bewehrung erforderlich (siehe Veröffentlichung von Prof. Dr. G. Hanswille).

#### Nachweise:

- Kopfplatte auf Biegung unter Berücksichtigung der planmäßigen Lage der Bewehrungsstäbe
- Verankerungslänge der Bewehrung
- Kopfbolzendübel am Einstellprofil.

## 1.3.2 Übergang als Übergreifungsstoß

**Vorteil:**

- Die bei sehr großen Stützendurchmessern notwendigen dicken Fußplatten können entfallen.

**Zu beachten:**

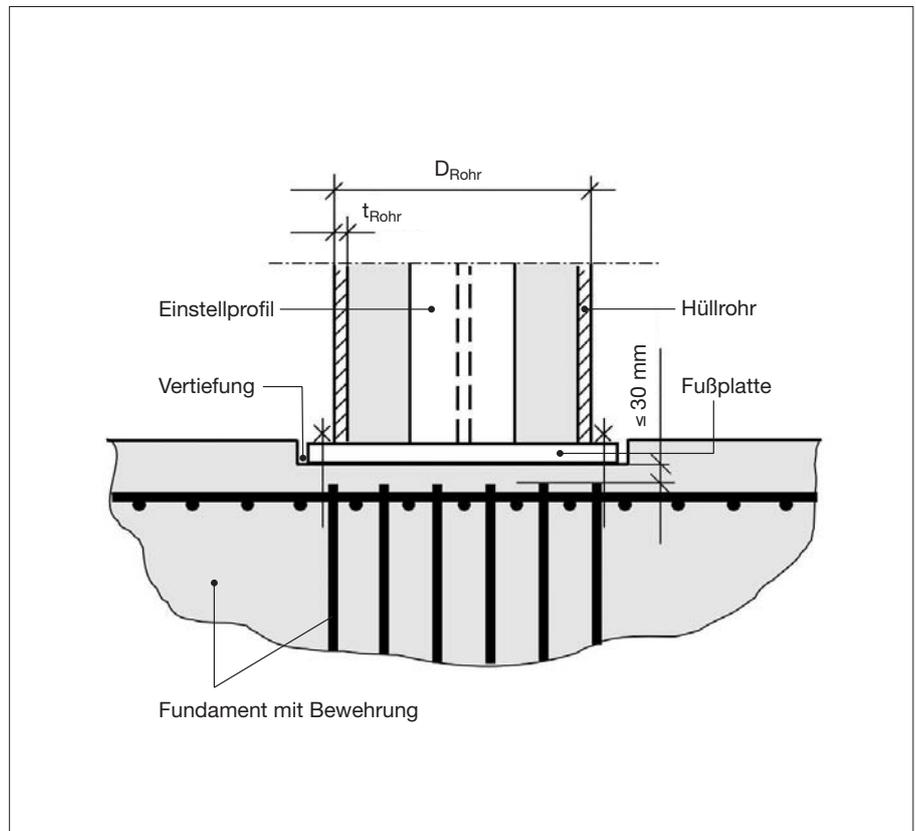
- Der Kraftanteil des Einstellprofils ist mit Kopfbolzendübel einzuleiten.

## 1.4 Fußpunkt von Verbundstützen

Die Stützenfüße lagern in der Regel auf Einzel- oder Streifenfundamenten aus Beton. Auch die Lagerung direkt auf der Boden- oder Deckenplatte ist üblich. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit die Stahlverbundstützen direkt auf eine Stahlbetonwand oder einen Stahlbetonunterzug aufzusetzen.

Lösungen für die Lastausleitungen sind in den folgenden Details beschrieben.

### 1.4.1 Lastausleitung mit Hilfe von Fußplatten



#### Vorteile:

- Einfache Montage und Ausrichtung der Stütze.
- Die Stütze wird auf die fertiggestellte Rohdecke oder das Fundament gestellt.

#### Zu beachten:

- Bei dünnem Bodenaufbau (kein Hohlraumboden o. ä.) sind für die Fußplatte und deren Verschraubung Vertiefungen im Beton vorzusehen.

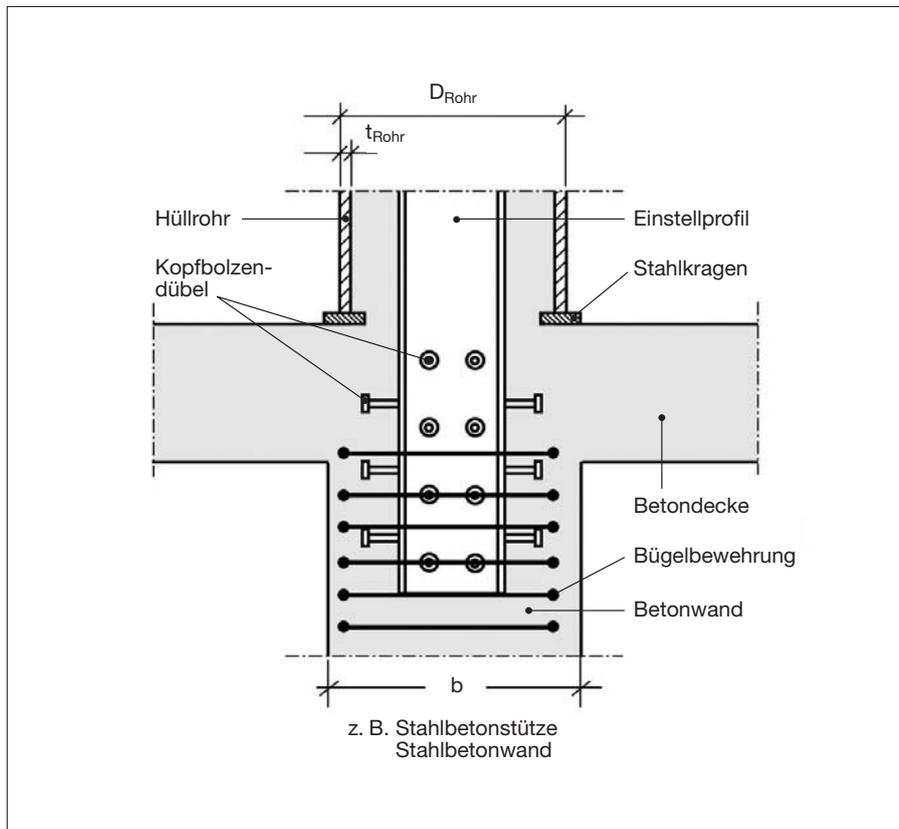
#### Konstruktive Hinweise:

- Zwischen Oberkante Bewehrung und Unterkante Fußplatte darf ein betongefüllter Spalt von maximal 3 cm verbleiben. Direkter Kontakt zwischen Fußplatte und Bewehrung ist nicht erforderlich (siehe Veröffentlichung von Prof. Dr. G. Hanswille).

#### Nachweise:

- Lastausbreitung in der Fußplatte
- Pressung der Betonfläche unter Ausnutzung der Teilflächenpressung gemäß DIN 1045.

## 1.4.2 Lastausleitung mit Kopfbolzendübel am Stahleinbauteil

**Vorteile:**

- Die Lastausleitung findet über eine große Länge statt, d.h. lokale Beanspruchungen sind gering.
- Die geringe Festigkeit des Betons unter der hochtragfähigen Stütze verliert an Bedeutung.

**Zu beachten:**

- Das Stahlprofil ist mit den Toleranzforderungen des Stahlbaus einzubauen.

**Konstruktive Hinweise:**

- Oft ist innerhalb der Kammern von Walzprofilen für die Kopfbolzendübel keine Spaltzugbewehrung erforderlich.

**Nachweise:**

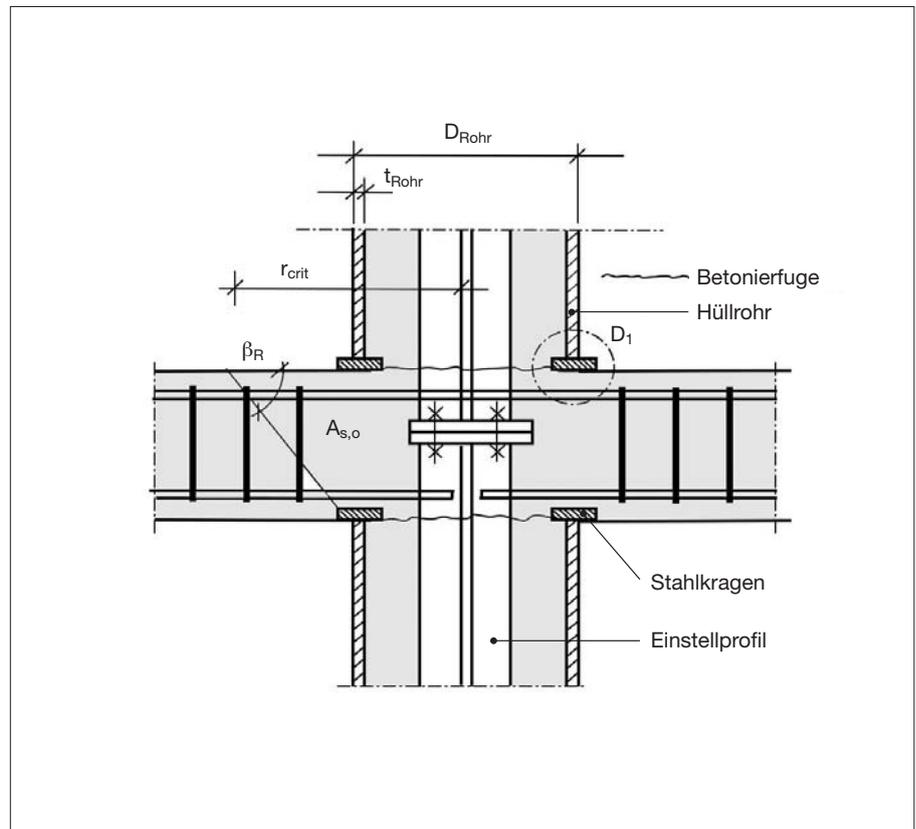
- Nachweis der Kopfbolzendübel
- Schubnachweis des Betons im Bereich der Kopfbolzendübel
- Spaltzugbewehrung.

## 2 Detaillierung der statischen Nachweise

Bei den Darstellungen der verschiedenen Anschlussstypen unter Punkt 1.1 bis Punkt 1.4 sind auch die zu führenden statischen Nachweise angegeben.

Nachfolgend werden wichtige Nachweise in Form einfacher Zahlenbeispiele geführt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass diese im Detail geführten Rechenbeispiele nur unter genauer Einhaltung der hier angeführten Randbedingungen gültig sind.

### 2.1 Durchstanznachweis der Stahlbetonflachdecke



#### 2.1.1 Vorgaben

Ausführungsart: Innenstütze  
 Hüllrohr:  $D = 406 \text{ mm}$ ,  $t = 10 \text{ mm}$   
 Einstellprofil: Flachstahlkreuz  $200 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm}$   
 Beton (Decke und Stütze): C 30/37

Querkraft aus der Decke:  $V_{Ed} = 600 \text{ kN}$  ( $V_{Ek} = 430 \text{ kN}$ )  
 Deckendicke:  $h = 30 \text{ cm}$   
 Statische Höhe:  $d = 26 \text{ cm}$   
 Obere Bewehrung:  $\varnothing 14 \text{ mm} - 15 \text{ cm}$  kreuzweise

#### 2.1.2 Nachweise

Die Nachweise gegen Durchstanzen erfolgen nach DIN 1045-1, Absatz 10.5.

Die angegebenen Ziffern verweisen auf die jeweiligen Gleichungen der DIN 1045-1.

Der rechnerische Durchmesser der lastabtragenden Stütze (inkl. Stahlkragen) beträgt:

$$d_{St} = 406 \text{ mm} + 2 \cdot 0,5 \cdot 60 \text{ mm} = 466 \text{ mm}$$

Der mittlere Bewehrungsgrad in den Rundschnitten beträgt:

$$\rho = 10 \text{ cm}^2/\text{m} / (26 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}) = 0,00385$$

### 2.1.2.1 Nachweis im kritischen Rundschnitt

Es gilt:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,ct} \quad (101)$$

$$V_{Ed,ukrit} = \beta \cdot V_{Ed}/u_{krit}$$

$$u_{krit} = 2 \cdot r_{crit} \cdot \pi = (0,466 \text{ m} + 1,5 \cdot 0,26 \text{ m} \cdot 2) \cdot \pi = 3,91 \text{ m (im Abstand 1,5 d)}$$

$$V_{Ed,ukrit} = \beta \cdot V_{Ed}/u_{krit} = 1,05 \cdot 600 \text{ kN}/3,91 \text{ m} = 161 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,ct} = [0,14 \cdot \eta \cdot \kappa \cdot (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{0,333}] \cdot d \quad (105)$$

$$\kappa = 1 + (200/260)^{0,5} = 1,88 \quad (106)$$

$$\eta = 1,0 \text{ (Normalbeton)}$$

$$V_{Rd,ct} = [0,14 \cdot 1,0 \cdot 1,88 \cdot (100 \cdot 0,0038 \cdot 30)^{0,333}] \cdot 260 = 154 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed,ukrit} = 161 \text{ kN/m} > 154 \text{ kN/m}$$

Es ist eine Durchstanzbewehrung erforderlich.

Mit Durchstanzbewehrung gilt:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad (102)$$

$$V_{Rd,max} = 1,5 \cdot V_{Rd,ct} = 1,5 \cdot 154 \text{ kN/m} = 231 \text{ kN/m} > 161 \text{ kN/m} \quad (107)$$

### 2.1.2.2 Nachweis im inneren Rundschnitt $u_1$ (Abstand $0,5 \cdot d$ vom Rand)

$$u_1 = (0,466 \text{ m} + 0,5 \cdot 0,26 \text{ m} \cdot 2) \cdot \pi = 2,28 \text{ m}$$

$$V_{Ed,1} = 1,05 \cdot 600 \text{ kN}/2,28 \text{ m} = 276 \text{ kN/m}$$

$$\kappa_s = 0,7 \text{ (Minimalwert)}$$

$$V_{Ed,1} = V_{Rd,c} + \kappa_s \cdot A_{sw1} \cdot f_{yd}/u_1 \quad (108)$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,ct} = 154 \text{ kN/m}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/1,15 = 50,0 \text{ kN/cm}^2/1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

Damit ergibt sich die erforderliche Bewehrung wie folgt:

$$A_{sw1,erf} = (V_{Ed,1} - V_{Rd,c}) \cdot u_1 / (\kappa_s \cdot f_{yd})$$

$$A_{sw1,erf} = (276 \text{ kN/m} - 154 \text{ kN/m}) \cdot 2,28 \text{ m} / (0,7 \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) = 9,1 \text{ cm}^2$$

### 2.1.2.3 Nachweis im inneren Rundschnitt $u_2$ (Abstand $0,5 \cdot d + 0,75 \cdot d = 1,25 \cdot d$ vom Rand)

$$u_2 = (0,466 \text{ m} + 1,25 \cdot 0,26 \text{ m} \cdot 2) \cdot \pi = 3,50 \text{ m}$$

$$V_{Ed,2} = 1,05 \cdot 600 \text{ kN}/3,50 \text{ m} = 180 \text{ kN/m}$$

$$\kappa_s = 0,7$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,ct} = 154 \text{ kN/m}$$

$$A_{sw2,erf} = (V_{Ed,2} - V_{Rd,c}) \cdot u_2 \cdot s_w / (\kappa_s \cdot f_{yd} \cdot d) \quad (109)$$

$$s_w = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,26 = 0,195 \text{ m}$$

$$A_{sw2,erf} = (180 \text{ kN/m} - 154 \text{ kN/m}) \cdot 3,50 \text{ m} \cdot 0,195 / (0,7 \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,26 \text{ m})$$

$$A_{sw2,erf} = 2,2 \text{ cm}^2$$

Erforderliche Mindestbewehrung:

$$\min A_{sw2} = \min \rho_w \cdot s_w \cdot u_2 \quad (114)$$

$$\min \rho_w = 1,0 \cdot \rho \text{ (nach 13.2.3. (5))}$$

$$\rho = 0,93 \text{ ‰ (nach Tabelle 29 für C 30/37)}$$

$$\min A_{sw2} = 0,93/1000 \cdot (19,5 \text{ cm} \cdot 350 \text{ cm}) = 6,4 \text{ cm}^2$$

Die Mindestbewehrung wird maßgebend.

#### 2.1.2.4 Äußerer Rundschnitt $u_a$ (Abstand $1,25 \cdot d + 1,5 \cdot d = 3,75 \cdot d$ vom Rand)

$$V_{Ed,a} < V_{Rd,ct,a} \quad (104)$$

$$u_a = (0,466 \text{ m} + 3,75 \cdot 0,26 \text{ m} \cdot 2) \cdot \pi = 7,59 \text{ m}$$

$$V_{Ed,a} = 1,05 \cdot 600 \text{ kN}/7,59 \text{ m} = 83 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,ct,a} = \kappa_a \cdot V_{Rd,ct} \quad (112)$$

$$l_w = 1,25 \cdot d = 1,25 \cdot 26 \text{ cm} = 32,5 \text{ cm (gemäß DIN 1045-1, Bild 45)}$$

$$\kappa_a = 1 - 0,29 \cdot l_w / (3,5 \cdot d) = 1 - 0,29 \cdot 32,5 \text{ cm} / (3,5 \cdot 26 \text{ cm}) = 0,90 \leq 0,71 \quad (113)$$

$$V_{Rd,ct,a} = 0,90 \cdot 154 \text{ kN/m} = 139 \text{ kN/m}$$

$$83 \text{ kN/m} < 139 \text{ kN/m}$$

#### 2.1.2.5 Nachweis zur Vermeidung eines fortschreitenden Versagens

Der Nachweis erfolgt nach DIN 1045-1, Absatz 13.3.2 (12)

$$A_{s,erf} = V_{Ed} / f_{yk} = 430 \text{ kN} / 50 \text{ kN/cm}^2 = 8,6 \text{ cm}^2 \quad (153)$$

Mit dem Ansatz von  $\gamma_F = 1,0$  wird der Bemessungswert  $V_{Ed} = V_{Ek}$ .

(Siehe hierfür die Berichtigung Nr. 2 zur DIN 1045-1 vom Juni 2005 [9])

gewählt pro Seite: 4  $\emptyset$  12 mm

$$A_{s,vorh} = 4 \cdot 4 \cdot 1,2^2 \cdot \pi / 4 = 18,1 \text{ cm}^2$$

Ermittlung der Verankerungslänge:

Grundmaß der Verankerungslänge nach Absatz 12.6.2(2):

$$l_b = d_s / 4 \cdot f_{yd} / f_{Bd} \quad (140)$$

$$f_{Bd} = 0,30 \text{ kN/cm}^2 \text{ (nach Tabelle 25)}$$

$$l_b = 12 \text{ mm} / 4 \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 / 0,30 \text{ kN/cm}^2 = 435 \text{ mm}$$

Erforderliche Verankerungslänge nach Absatz 12.6.2 (3):

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot A_{s,erf} / A_{s,vorh} \cdot l_b \quad (141)$$

$$\alpha_a = 1,0 \text{ (nach Tabelle 26)}$$

$$l_{b,net} = 1,0 \cdot 8,6 \text{ cm}^2 / 18,1 \text{ cm}^2 \cdot 435 \text{ mm} = 206 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \alpha_a \cdot 0,3 \cdot l_b \geq 10 d_s \text{ (für die Verankerung von Zugstäben)}$$

$$l_{b,net} \geq \alpha_a \cdot 0,3 \cdot l_b \text{ und } \geq 10 d_s$$

$$l_{b,net} = 206 \text{ mm} \geq 1,0 \cdot 0,3 \cdot 435 \text{ mm} = 131 \text{ mm} \geq 10 \cdot 12 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

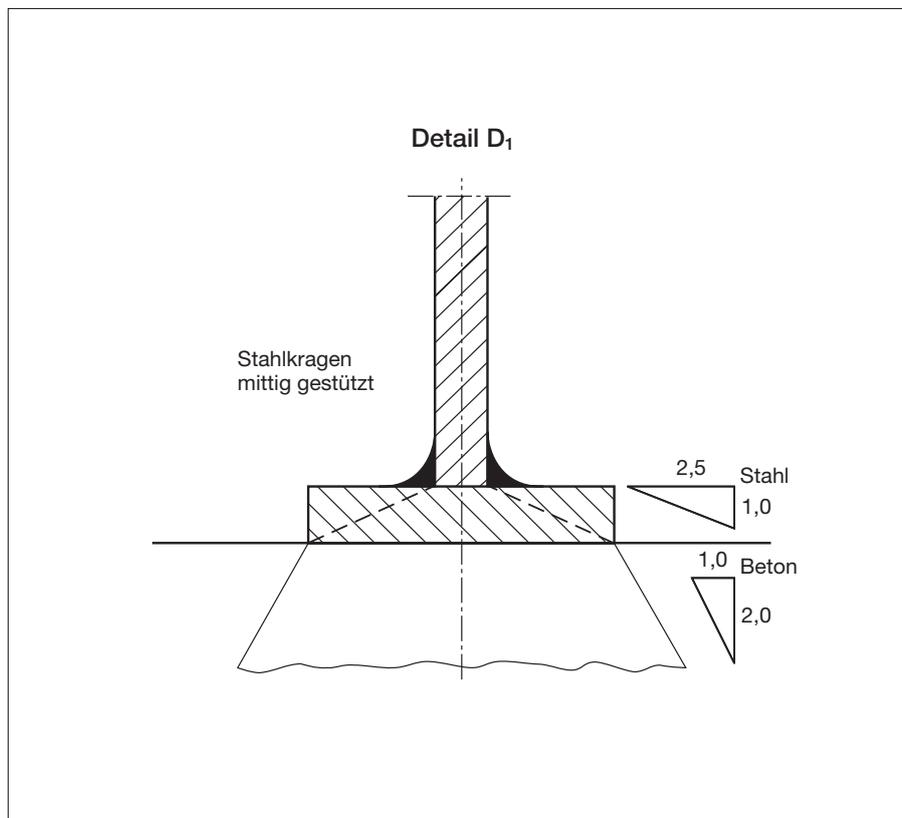
Da rechtwinklig zur Bewehrung ausreichend Querdruck aus der aufgehenden Stütze vorhanden ist, wird der Nachweis analog zur Nachweisführung „Zugkraftdeckung am Endauflager bei direkter Auflagerung“ geführt (Absatz 13.2.2 (8)).

$$l_{b,dir} = 2/3 \cdot l_{b,net} = 2/3 \cdot 206 \text{ mm} = 136 \text{ mm} \quad (149)$$

$$l_{b,dir} \geq 6 \cdot d_s = 6 \cdot 12 \text{ mm} = 72 \text{ mm (siehe Absatz 13.2.2 (9))}$$

Die untere Bewehrung ist mindestens um das Maß  $l_{b,dir} = 136 \text{ mm}$  hinter den Auflagertrand zu führen. Die obere Bewehrung ist teilweise durch das Einstellprofil zu führen. Sollte das Stahlrohr durchlaufend konstruiert sein, so sind für diese Bewehrung Bohrungen vorzusehen.

## 2.2 Nachweis im Bereich des Stahlkragens



### 2.2.1 Vorgaben

Abmessungen: Siehe Beispiel im Kapitel 2.1.

Einwirkungen: Die angesetzten Einwirkungen ergeben sich anteilig aus der Bemessung der Verbundstütze.

Max. Vertikalkraft im Beton:  $N_{Ed,c} = 920 \text{ kN}$

Max. Vertikalkraft im Stahlrohr ( $D=406 \text{ mm}$ ):  $N_{Ed,a,Ro} = 1560 \text{ kN}$

### 2.2.2 Teilflächenbelastung des Betons

Der Nachweis erfolgt nach DIN 1045-1, Absatz 10.7.

Maximale Druckspannung im Beton

$$\begin{aligned} \sigma_{cd} &= 920 \text{ kN} / [(40,6 \text{ cm} - 2,0 \text{ cm})^2 \cdot \pi/4 \\ &\quad - (20,0 \text{ cm} \cdot 3,0 \text{ cm} + 17,0 \text{ cm} \cdot 3,0 \text{ cm})] \\ &= 920 \text{ kN} / (1170 \text{ cm}^2 - 111 \text{ cm}^2) = 0,87 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Maximale Druckspannung im Stahlrohr

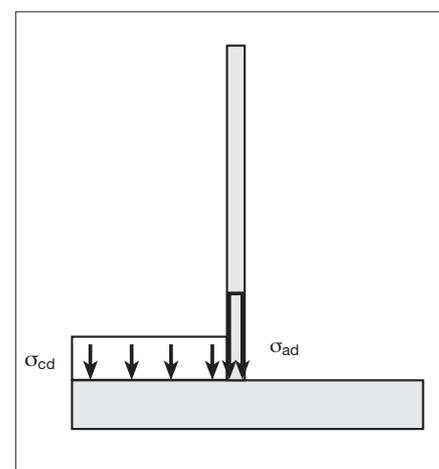
$$\sigma_{ad} = 1560 \text{ kN} / 124 \text{ cm}^2 = 12,6 \text{ kN/cm}^2$$

Summe der Einleitungskräfte

$$F_{Ed} = \sigma_{cd} \cdot 2,5 \text{ cm}^2/\text{cm} + \sigma_{ad} \cdot 1,0 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

(Betondruck auf inneren Kragenüberstand + Stahldruck aus Stahlrohr)

$$\begin{aligned} F_{Ed} &= 0,87 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,5 \text{ cm}^2/\text{cm} + 12,6 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1,0 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ &= 2,18 \text{ kN/cm}^2 + 12,6 \text{ kN/cm}^2 = 14,8 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$



Außermittigkeit der Einleitungskräfte

$$e_d = M_{Ed}/F_{Ed}$$

$$M_{Ed} = \sigma_{cd} \cdot (2,5 \text{ cm})^2/2 = 0,87 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,5^2 \text{ cm}^2/2 = 2,72 \text{ kN}$$

$$e_d = 2,72 \text{ kN}/14,8 \text{ kN/cm} = 0,184 \text{ cm}$$

Ersatzbreite  $b'$  gleicher Pressung

$$b' = b - 2 \cdot e_d = 6,0 \text{ cm} - 2 \cdot 0,184 \text{ cm} = 5,63 \text{ cm}$$

Betonpressung unter dem Stahlkragen

(auf Ersatzbreite  $b'$ ):

$$\sigma_{c,Edu} = F_{Ed}/b' = 14,8 \text{ kN/cm}/5,63 \text{ cm}^2/\text{cm} = 2,63 \text{ kN/cm}^2$$

Für die Ermittlung der zulässigen Teilflächenbelastung

(siehe auch DIN 1045-1, Bild 51)

wird vereinfachend die Ersatzbreite  $b'$  als Lasteinleitungsbreite  $b_1$  angesetzt.

$$b_1 = 5,63 \text{ cm}$$

Der Maximalwert für die Breite  $b_2$  ergibt sich aus dem minimal zulässigen Ausbreitwinkel (Verhältnis 1:2) und der maximal möglichen Höhe der Ausbreitung (halbe Deckendicken, da Lasteinleitung von oben und von unten erfolgt).

$$\max h = h/2 = 30 \text{ cm}/2 = 15 \text{ cm}$$

$$b_2 = 5,63 \text{ cm} + 2 \cdot 15 \text{ cm}/2 = 20,63 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,Rdu} = F_{Rdu}/A_{c0} = f_{cd} \cdot (A_{c1}/A_{c0})^{0,5} \leq 3,0 f_{cd} A_{c0} \quad (116)$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 3,0 \text{ kN/cm}^2/1,5 = 1,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,Rdu} = 1,7 \text{ kN/cm}^2 \cdot (20,63 \text{ cm}^2/\text{cm}/5,63 \text{ cm}^2/\text{cm})^{0,5} = 3,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,Rdu} \leq \max \sigma_{c,Rdu} = f_{cd} \cdot 3,0 = 1,7 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3,0 = 5,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$3,25 \text{ kN/cm}^2 < 5,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,Edu}/\sigma_{c,Rdu} = 2,63 \text{ kN/cm}^2/3,25 \text{ kN/cm}^2 = 0,81 < 1,0$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Die entstehende Spaltzugkraft kann durch die Scheibenwirkung der Decke aufgenommen werden. Wenn die Voraussetzungen hierfür nicht gegeben sind (z. B. bei Randstützen), muss eine entsprechend dimensionierte Bewehrung eingelegt werden.

### 2.2.3 Nachweis des Stahlkragens

Der Nachweis erfolgt nach DIN 18800-1, Element (744).

Der Ausbreitwinkel beträgt 1:2,5.

Ein weiterer Nachweis ist nicht erforderlich.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Stahlkragen mit einem geeignetem Material entsprechend der geforderten Feuerwiderstandsdauer gegen Erwärmung geschützt wird.

## 2.3 Nachweis der Schneidenlagerung

Der Nachweis erfolgt nach DIN 18800-5, Element (993).

### 2.3.1 Vorgaben

Ausführungsart: Innenstütze

Hüllrohr:  $D = 406 \text{ mm}$ ,  $t = 10 \text{ mm}$

Anschluss: mit durchgestecktem Fahnenblech  $t = 20 \text{ mm}$ , S 235  
gemäß Konstruktionsskizze Abschnitt 1.2.2

Beton: C35/45

Anschlusslast:  $N_{Ed} = 900 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 36 \text{ kNm}$

$e = M_{Ed}/N_{Ed} = 36 \text{ kNm}/900 \text{ kN} = 0,04 \text{ m}$

### 2.3.2 Nachweis

Belastungsfläche  $A_1$  unter dem Fahnenblech:

$$l_1 = 2 \cdot (D/2 - t - e)$$

$$e = M_{Ed}/N_{Ed} = 36 \text{ kNm}/900 \text{ kN} = 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm}$$

$$l_1 = 2 \cdot (406/2 - 10 - 40) = 306 \text{ mm}$$

$$A_1 = l_1 \cdot t = 306 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 6120 \text{ mm}^2$$

Betonquerschnittsfläche  $A_c$  des Stützenquerschnitts:

$$A_c = (406 \text{ mm} - 2 \cdot 10 \text{ mm})^2 \cdot \pi/4 = 117020 \text{ mm}^2$$

$$f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk}/1,1 = 218 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 1,0 \cdot 35 \text{ N/mm}^2/1,5 = 23,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,Rd} = f_{cd} \cdot (1 + \eta_{cl} \cdot t/a \cdot f_{yk}/f_{ck}) \cdot (A_c/A_1)^{0,5} \leq f_{yk} \quad (72)$$

$$\eta_{cl} = 4,9 \text{ (für Rohre)}$$

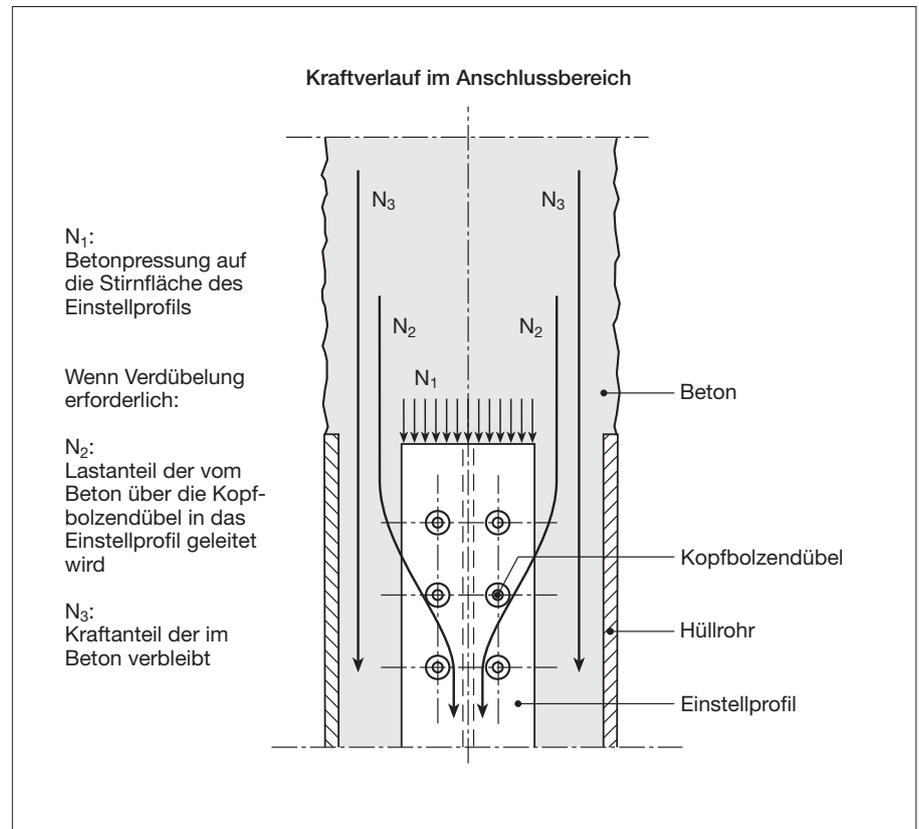
$$A_c/A_1 = 117020 \text{ mm}^2/6120 \text{ mm}^2 = 19,1 \leq 20$$

$$\sigma_{c,Rd} = 23,3 \cdot (1 + 4,9 \cdot 10 \text{ mm}/406 \text{ mm} \cdot 240/35) \cdot 19,1^{0,5} \\ = 186 \text{ N/mm}^2 \leq 218 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,Ed} = 900 \cdot 10^3 \text{ N}/6120 \text{ mm}^2 = 147 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,Rd}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

## 2.4 Darstellung des Kraftflusses beim Nachweis der Einleitung der Deckenlasten in die Verbundstütze



### 2.4.1 Vorgaben

Ausführungsart: Innenstütze  
 Stahlbetonstütze: D = 400 mm, C35/45  
 Verbundstütze:  
 Hüllrohr: D = 406 mm, t = 8,8 mm, S 235  
 Einstellprofil: HEA 200, S 355  
 Betonfüllung: C 30/37

### 2.4.2 Lastaufteilung allgemein

Bei der Aufteilung der Traganteile für Stahlrohr, Einstellprofil und Beton ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{Anteil I-Profil: } N_{a,I} &= N_{pl,a,I} / N_{pl} \cdot N_{Ed} \\ \text{Anteil Rohrprofil: } N_{a,Ro} &= N_{pl,a,Ro} / N_{pl} \cdot N_{Ed} \\ \text{Anteil Beton: } N_c &= N_{pl,c} / N_{pl} \cdot N_{Ed} \end{aligned}$$

### 2.4.3 Nachweis der Verbundstütze (C 30/37)

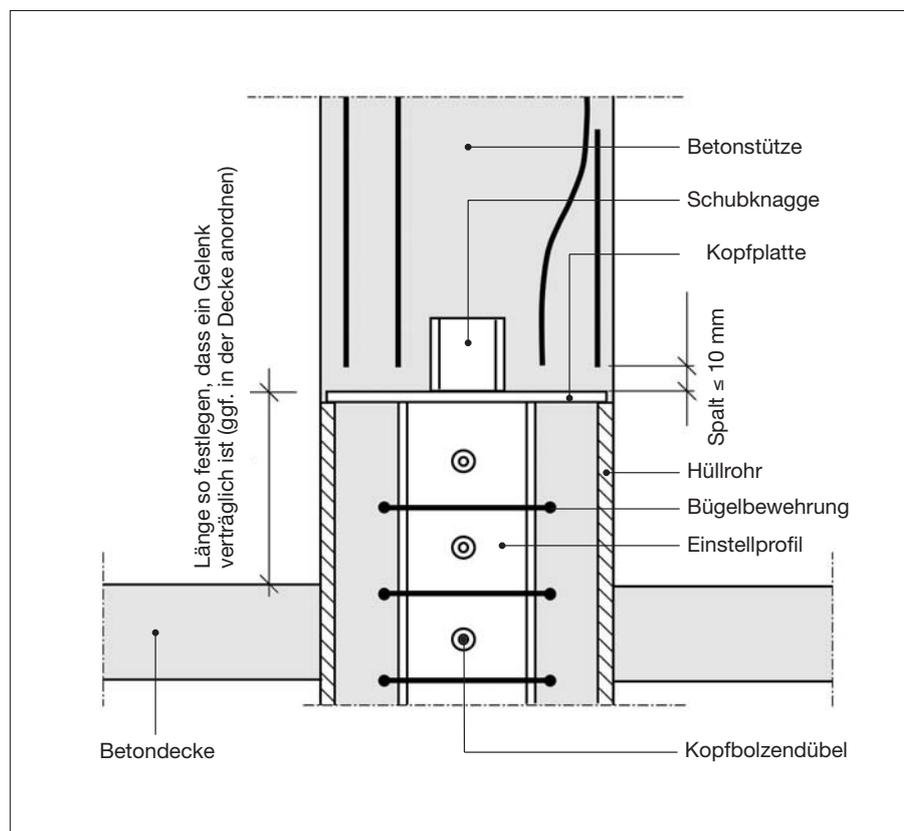
Der Nachweis der Verbundstütze erfolgt analog zu Abs. 2.5.

### 2.4.4 Nachweis der Teilflächenbelastung oberhalb des Einstellprofils

Da die Lasteinleitung vollständig durch Kopfbolzendübel abgedeckt wird, ist lediglich eine konstruktive Spaltzugwehrung oberhalb des Stahlprofils erforderlich.

gew: 6 Bü d<sub>s</sub> 8 mm/100 mm

## 2.5 Nachweis im Übergangsbereich Stahlbetonstütze – Verbundstütze



### 2.5.1 Vorgaben

Ausführungsart: Innenstütze  
 Stahlbetonstütze:  $D = 400 \text{ mm}$ , C 35/45  
 Bewehrung:  $12 \times \varnothing 28 \text{ mm}$

Verbundstütze  
 Hüllrohr:  $D = 406 \text{ mm}$ ,  $t = 8,8 \text{ mm}$ , S 235  
 Einstellprofil: HEA 200, S 355  
 Stirnplatte:  $t = 10 \text{ mm}$ , S 235  
 Betonfüllung: C 30/37

Normalkraft am Übergang zur Verbundstütze:  $N_{Ed} = 5400 \text{ kN}$   
 Normalkraft incl. der Last aus der Decke:  $N_{Ed} = 6000 \text{ kN}$

### 2.5.2 Nachweise

Die Nachweise in der Druckfuge werden separat für die obere Stahlbetonstütze und für die untere Verbundstütze nachgewiesen.

### 2.5.2.1 Stahlbetonstütze (C35/45)

Der Nachweis erfolgt nach DIN 1045-1, Absatz 13.8.2

$$N_{Ed} = 5400 \text{ kN}$$

$$A_c = 40^2 \cdot \pi/4 = 1256 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 12 \cdot \pi \cdot d_s^2/4 = 12 \cdot \pi \cdot 2,8^2 \text{ cm}^2/4 = 73,9 \text{ cm}^2$$

Nach Absatz 13.8.2 (7) gilt:

$$N_{Rd} = \kappa \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}) \quad (158)$$

$$\kappa = 1,0$$

In Anlehnung an DAfStb Heft 525

(Kommentar zu 13.8.2 Druckfugen/Fertigteilstütze mit Stahlplatte)

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 3,5 \text{ kN/cm}^2/1,5 = 1,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 50 \text{ kN/cm}^2/1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot (1256 \text{ cm}^2 \cdot 1,98 \text{ kN/cm}^2 + 73,9 \text{ cm}^2 \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) = 5702 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Achtung: Nach Minnert [8] muss der Spalt zwischen Stahlplatte und Bewehrung  $\leq 10 \text{ mm}$  und die Stahlplatte mindestens  $10 \text{ mm}$  dick sein.

### 2.5.2.2 Verbundstütze (C 30/37)

Der Nachweis erfolgt nach DIN 18800-5, Element (988)

$$N_{Ed} = 6000 \text{ kN (inkl. Last aus Decke)}$$

$$A_{S1} = 110 \text{ cm}^2 \text{ (Hüllrohr)}$$

$$A_{S2} = 53,8 \text{ cm}^2 \text{ (Einstellprofil)}$$

$$A_c = D^2 \cdot \pi/4 - A_{S1} - A_{S2} = 40,6^2 \cdot \pi/4 - 110 \text{ cm}^2 - 53,8 \text{ cm}^2 = 1130 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,d,c} = 1130 \text{ cm}^2 \cdot 1,0 \cdot 3,0 \text{ kN/cm}^2/1,5 = 2260 \text{ kN}$$

$$N_{pl,d,HEA200} = 53,8 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2/1,1 = 1761 \text{ kN}$$

$$N_{pl,d,Rohr406} = 110 \cdot 24 \text{ kN/cm}^2/1,1 = 2400 \text{ kN}$$

$$N_{pl,d} = N_{pl,d,HEA200} + N_{pl,d,Rohr406} + N_{pl,d,c} = 6421 \text{ kN}$$

Es wird der volle Lastanteil des Einstellprofils über Kopfbolzendübel eingeleitet.

$$N_{Ed} \cdot N_{pl,d,HEA200}/N_{pl,d} = 6000 \text{ kN} \cdot 1761 \text{ kN}/6421 \text{ kN} = 1646 \text{ kN}$$

gew:  $8 \times 2 \times 1 = 16 \text{ KBD } \varnothing 22 \text{ mm, } e_L = 125 \text{ mm}$

$$E_{cm0} = 31900 \text{ N/mm}^2 \text{ (gemäß DIN 1045-1, Tabelle 9, für C 30/37)}$$

$$E_{cm} \sim E_{cm0}/1,1 = 29000 \text{ N/mm}^2$$

(gemäß Druckfehlerkorrektur nach DAfStb Heft 525, S. 57 [9])

### 2.5.2.3 Dübeltragfähigkeit

Die Ermittlung erfolgt gemäß Element (935).

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2/4 \cdot 1/\gamma_V \quad (38)$$

$$f_u = 45 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Maximalwert angesetzt)}$$

$$\gamma_V = 1,25$$

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot 45 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3,14 \cdot 2,2^2/4 \cdot 1/1,25 = 109,5 \text{ kN}$$

oder

$$P_{Rd} = 0,25 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (E_{cm} \cdot f_{ck})^{0,5} \cdot 1/\gamma_V \quad (39)$$

$$\alpha = 1 \text{ (für } e_l/d > 4)$$

$$e_l/d = 125 \text{ mm}/22 \text{ mm} = 5,7 > 4$$

$$P_{Rd} = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 2,2^2 \cdot (2900 \cdot 3,0)^{0,5} \cdot 1/1,25 = 90,3 \text{ kN}$$

Maßgebend ist  $P_{Rd} = 90,3 \text{ kN}$  (der kleinere Wert)

### 2.5.2.4 Reibungsanteil

Die Ermittlung erfolgt gemäß Element (991)

$$\mu \cdot P_{Rd}/2 = 0,5 \cdot 90,3 \text{ kN}/2 = 22,6 \text{ kN} \text{ (je Flansch, siehe auch DIN 18800-5, Bild 25)}$$

$$\mu = 0,5 \text{ (Reibungsfaktor Stahl/Beton)}$$

$$P_{Rd} = 90,3 + 2 \cdot 22,6 = 135,5 \text{ kN}$$

$$P_{Ed} = 1646 \text{ kN}/16 = 102,9 \text{ kN}$$

$$P_{Ed}/P_{Rd} = 102,9 \text{ kN}/135,5 \text{ kN} = 0,76 < 1,0$$

Der Nachweis der Lastüberleitung von der Stahlbetonstütze in die Verbundstütze ist damit erbracht.

### 2.5.2.5 Spaltzugbewehrung

Unter der Annahme, dass sich die Druckstrebe unter einem Winkel von  $45^\circ$  ausbreitet, ergibt sich pro Dübel folgende Spaltzugkraft (vereinfachend wird der Reibungs- und der Dübelkraftanteil entsprechend dem Ausnutzungsfaktor 0,76 reduziert):

$$Z_S = Z_{Ed} \sim 0,76 \cdot 90,3 \text{ kN}/2 = 34,3 \text{ kN} \text{ (siehe DIN 18800-5, Bild 24)}$$

$$A_{s,erf} = 34,3 \text{ kN}/43,5 \text{ kN/cm}^2 = 0,79 \text{ cm}^2$$

gew: 8 Bü  $d_s$  10 mm/125 mm

## Literatur

- [1] DIN 18800 Stahlbauten – Teil 5: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton – Bemessung und Konstruktion, November 2005
- [2] DIN V ENV 1994 Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau, Februar 1994
- [3] DIN V ENV 1994 Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-2: Allgemeine Regeln, Tragwerksbemessung im Brandfall, Juni 2004
- [4] Hanswille, G.: Die Bemessung von Stahlverbundstützen nach nationalen und EU-Regeln. Der Prüfsingenieur, April 2003
- [5] DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Juli 2001
- [6] Prüfbericht Nr. 4117.20-007/04 zur statischen Typenprüfung „Verbundstützenkatalog“, BAUEN MIT STAHL e. V., Düsseldorf, 2005
- [7] Sedlacek, G., Weynand, K., Oerder, S.: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau. Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Düsseldorf, 2000
- [8] Minnert, J., Majer, J., Mertens, R.: Bemessung und Konstruktion von stumpf gestoßenen Fertigteilstützen. Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002). S. 202–211
- [9] Erläuterung zu DIN 1045-1. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Heft 525. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2003

## Anhang

### Bemessung von Stahlverbundstützen nach typengeprüftem Verbundstützenkatalog, Prüfbericht Nr. 4117.20-007/2004 [6]

Für eine schnelle, einfache Bemessung von Verbundstützen mit eingestellten Stahlprofilen wurde ein typengeprüfter „Verbundstützenkatalog“ erstellt. Der Katalog enthält die Traglasten für betongefüllte Rohrprofilstützen mit einem I-Profil bzw. Kreuzprofil als Einstellprofil. Es sind tabellarisch die Beanspruchbarkeiten sowohl für den „Kaltzustand“, als auch für die „Heißbemessung“ mit den Feuerwiderstandsklassen R60, R90 und R120 angegeben. Das Nachweisschema zeigt das nachfolgende Beispiel. Der Katalog ist bei der Organisation BAUEN MIT STAHL e. V. erhältlich.

### Beispiel

#### 1.1 Vorgaben

- Innenstütze im 2. Obergeschoss eines 15-geschossigen Bürogebäudes
- Feuerwiderstandsklasse R90
- Geschosshöhe 3,60 m
- Stütze in jedem 2. Geschoss gelenkig gestoßen.

#### 1.2 Einwirkungen

Die Stützen stehen so, dass die Lasteinleitung zentrisch erfolgt. Die Lasteingangsfläche beträgt 30 m<sup>2</sup>.

- *Regelgeschoss*  
Eigengewicht:  $g_{k,1} = 5,0 \text{ kN/m}^2$   
Verkehrslast:  $q_{k,1} = 3,5 \text{ kN/m}^2$
- *Dach*  
Eigengewicht:  $g_{k,2} = 4,0 \text{ kN/m}^2$   
Verkehrslast:  $q_{k,2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

#### Teilsicherheitsbeiwerte Kaltzustand

$$\begin{aligned} \gamma_G &= 1,35 \\ &\rightarrow g_{d,1} = 5,0 \cdot 1,35 = 6,75 \text{ kN/m}^2 \\ &\quad g_{d,2} = 4,0 \cdot 1,35 = 5,40 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_Q &= 1,5 \\ &\rightarrow q_{d,1} = 3,5 \cdot 1,5 = 5,25 \text{ kN/m}^2 \\ &\quad q_{d,2} = 2,5 \cdot 1,5 = 3,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 1.3 Beanspruchung Kaltzustand

$$E_d = [13 \cdot (6,75 + 5,25) + (5,4 + 3,75)] \cdot 30 = 4954 \text{ kN}$$

#### 1.4 Beanspruchbarkeit Kaltzustand

$$\left. \begin{array}{l} \text{Knicklänge = Geschosshöhe: 3,60 m} \\ \text{gewählt: Rohr } \varnothing 355,6 \times 8 - S235 \\ \quad \quad \quad C 30/37 \\ \quad \quad \quad HE 160B - S355 \end{array} \right\} R_d = 4992 \text{ kN (Zulassung Anl. 12)}$$

#### 1.5 Nachweis Kaltzustand

$$E_d < R_d \quad \text{erfüllt!}$$

#### Teilsicherheitsbeiwerte Brandfall (außergewöhnliche Einwirkung)

Kombinationsbeiwerte sowie Teilsicherheitsbeiwerte gemäß EC 1-2-2, Anhang F bzw. DIN 1055-100, Anhang A  
 $\gamma_{GA} = 1,0$

$$\begin{aligned} &\rightarrow g_{d,A,1} = 1,0 \cdot 5,0 = 5,0 \text{ kN/m}^2 \\ &\quad g_{d,A,2} = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 0,5 \\ &\rightarrow q_1 = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75 \text{ kN/m}^2 \\ &\quad q_2 = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 1.6 Beanspruchung Brandfall

$$\begin{aligned} E_{fi,d} &= \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_1 \cdot \sum Q_i \\ &= [13 (5 + 1,75) + (4 + 1,25)] \cdot 30 \\ &= 2790 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 1.7 Beanspruchbarkeit Brandfall

$$\begin{aligned} \text{Knicklänge im Brandfall:} \\ &0,7 \cdot 3,60 \text{ m} = 2,52 \text{ m} \\ R_{fi,d} &= 2137 \text{ kN (Zulassung, Anlage 10)} \\ E_{fi,d} &> R_{fi,d} \quad \text{nicht erfüllt!} \end{aligned}$$

Maßnahme:

z. B. Erhöhung der Betonklasse auf C 50/60  
 $\rightarrow R_{fi,d} = 2799 \text{ kN}$

oder

z. B. Veränderung des Einstellprofils auf HE 160 M  
 $\rightarrow R_{fi,d} = 2980 \text{ kN}$

#### 1.8 Nachweis Brandfall

$$E_{fi,d} < R_{fi,d} \quad \text{erfüllt!}$$

