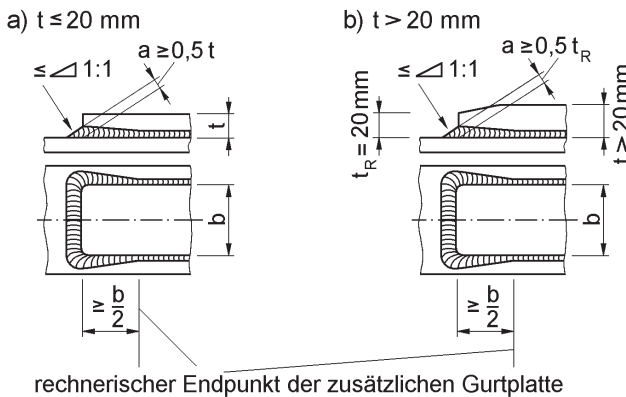
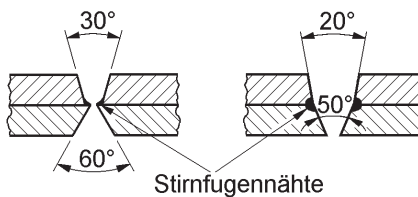


bend sein soll, kann die Aufdickung zum Steg hin angeordnet werden. Die Fertigung ist dann jedoch etwas aufwändiger.



**Bild 3.8** Verbinden zusätzlicher Gurtplatten

Wenn aufeinanderliegende Gurtplatten an derselben Stelle gestoßen werden, ist der Stoß mit Stirnfugennähten vorzubereiten, siehe Bild 3.9.



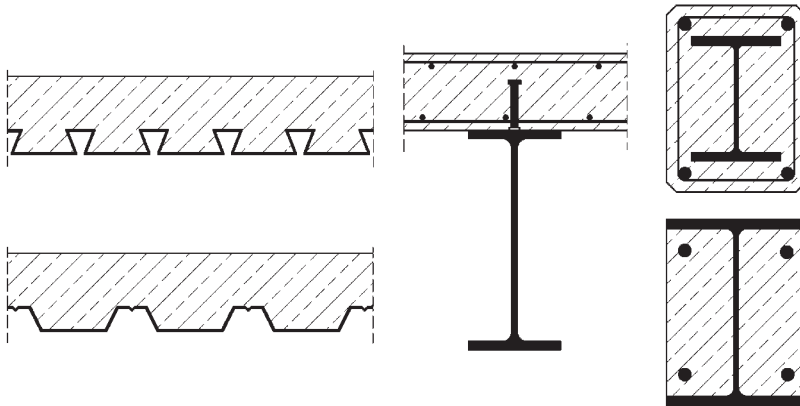
**Bild 3.9** Beispiele für die Nahtvorbereitung eines Stumpfstoßes aufeinanderliegender Gurtplatten, [6]

### 3.2.3 Verbundträger und andere Verbundkonstruktionen

Im Verbundbau werden Stahl- und Stahlbetonquerschnitte schubfest miteinander zu einem gemeinsam tragenden Gesamtquerschnitt verbunden. Dabei wird angestrebt, die Teilquerschnitte möglichst günstig, d. h. entsprechend den spezifischen Baustoffeigenschaften, anzuordnen. Der Beton mit seiner großen Druckfestigkeit soll daher überwiegend Druckkräfte aufnehmen und der Baustahl möglichst Zugkräfte. In dieser Bauweise werden

- Verbunddecken,
- Verbundträger und
- Verbundstützen

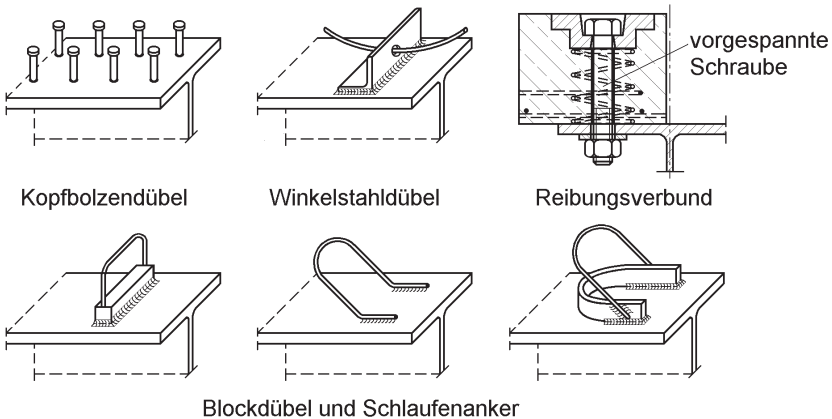
hergestellt. Bild 3.10 zeigt einige ausgewählte Beispiele.



**Bild 3.10** Querschnitte von Verbunddecken, Verbundträgern und Verbundstützen

Die Verbundbauweise ist sehr wirtschaftlich und bietet hohe Tragfähigkeiten bei gleichzeitig geringen Querschnittsabmessungen. Die Voraussetzung für die Verbundbauweise ist die schubfeste Verbindung zwischen den Querschnittsteilen. Zu diesem Zweck werden in der *Verbundfuge* in der Regel Verbundmittel angeordnet oder vorhandene Verbundwirkungen genutzt. Bild 3.11 zeigt Verbundmittel für Verbundträger.

Im Laufe der Zeit haben sich bei der Herstellung von Verbundträgern sowie bei der Krafteinleitung in Verbundstützen aufgeschweißte Kopfbolzendübel als Verbundmittel durchgesetzt. Bei Verbunddecken wird die Reibung zwischen dem Beton und dem Stahl, gegebenenfalls in Kombination mit einer Endverankerung planmäßig zur rechnerischen Sicherung des Verbundes angesetzt. Zur Verbesserung der Reibung werden bei einigen Stahltrapezblechen Noppen und Sicken angeordnet.



**Bild 3.11** Verbundmittel für Verbundträger

### Verbundträger mit vollständiger Verdübelung

Die Beanspruchungen in den Verbindungsfugen von Stahl- und Verbundquerschnitten wurden bereits in Abschnitt 3.2.1 angesprochen und mit den Bildern 3.1 bis 3.3 erläutert. Wenn man den stählernen Obergurt in Bild 3.3 durch eine Betonplatte ersetzt, können die Prinzipien der Kraftübertragung in vergleichbarer Weise angewendet werden. Anstelle der Halsnähte werden für den Verbundträger *Kopfbolzendübel* wie in Bild 3.10 Mitte als Verbundmittel gewählt.

Prinzipiell müssen bei Verbundträgern die zwischen den Extremwerten der Biegemomente auftretenden Normalkräfte in der Betonplatte in diese hinein bzw. heraus geleitet werden. Dabei werden in der Regel Bereiche zwischen maximalen Feldmomenten und Endauflagern sowie zwischen maximalen Feldmomenten und Stützmomenten an Zwischenauflagern unterschieden. Bei einem Einfeldträger wie in Bild 3.3 handelt es sich um Betondruckkräfte, die in Feldmitte maximal und an den Enden gleich null sind. Die maximalen Betondruckkräfte ergeben sich für das plastische Grenzbiegemoment als der kleinere Wert von  $N_{pl,a}$  und  $N_{pl,c}$ :

$$N_c = N_{pl,a} = A_a \cdot f_y / \gamma_M \quad (3.6)$$

$$N_c = N_{pl,c} = b_{eff} \cdot h_c \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C \quad (3.7)$$

Auf die Berechnung dieser Werte soll hier nicht näher eingegangen werden, da dies durch das Berechnungsbeispiel in Abschnitt 3.2.6 deutlich wird. Die Betondruckkraft muss in einer Hälfte des Verbundträgers in die Betonplatte eingeleitet werden. Wenn ein Kopfbolzendübel die Schubkraft  $P_{Rd}$  aufnehmen kann, werden

$$n = 2 \cdot N_c / P_{Rd} \quad (3.8)$$

Dübel benötigt. Auf die Tragfähigkeit der Kopfbolzendübel wird in Abschnitt 6.10 ausführlich eingegangen, siehe auch Tabelle 6.5. In Abschnitt 3.2.6 werden die erforderlichen Tragsicherheitsnachweise geführt und die Anordnung der Dübel für ein Beispiel (Einfeldträger) festgelegt.

### 3.2.4 Halsnähte eines I-Querschnitts

Für den Abfangträger in Bild 3.12 mit *geschweißtem I-Querschnitt* werden die *Halsnähte* nach DIN EN 1993-1-8 nachgewiesen. Die angegebenen Lasten sind Bemessungswerte der Einwirkungen.

#### Ausführung mit durchgehend geschweißter Halsnaht

Überprüfung der Grenzwerte für Kehlnahtdicken:

$$a = 6 \text{ mm} > \sqrt{40} - 0,5 = 5,8 \text{ mm}$$

Die Schweißnahtspannung  $\sigma_{||}$  (infolge  $M_{y,Ed}$ ) wird im Nachweis nicht berücksichtigt.

Statisches Moment des Obergurtes:  $S_y = -40 \cdot 4 \cdot 42 = -6720 \text{ cm}^3$

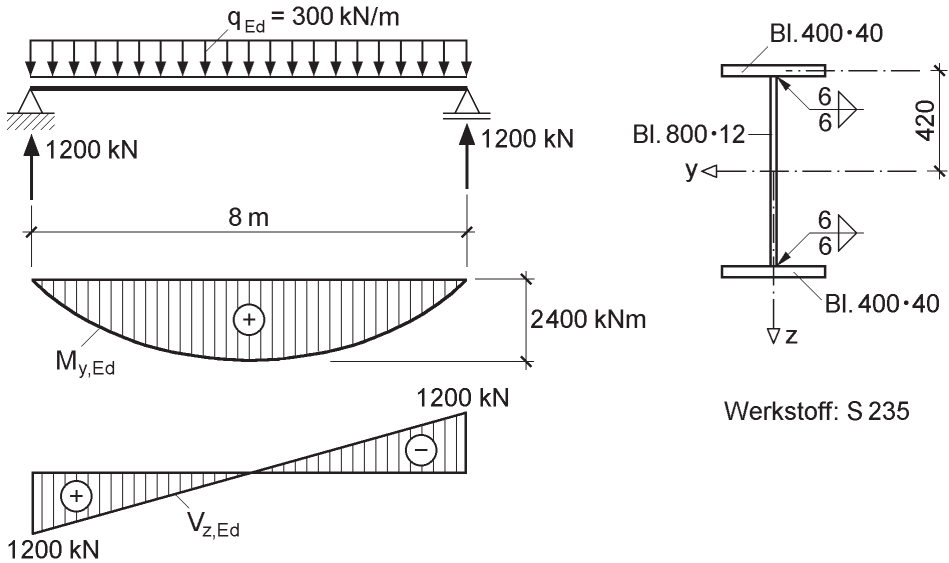
Trägheitsmoment:  $I_y = 1,2 \cdot \frac{80^3}{12} + 2 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 42^2 = 615\,680 \text{ cm}^4$

Maximale Schweißnahtspannung nach Gl. (3.3):

$$\tau_{\parallel} = -\frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot \sum a} = \frac{1200 \cdot 6720}{615680 \cdot 2 \cdot 0,6} = 10,9 \text{ kN/cm}^2$$

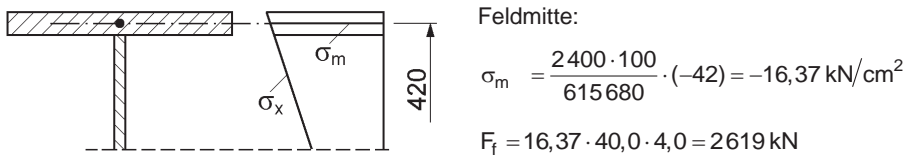
$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 10,9^2} = 18,9 \text{ kN/cm}^2 < f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36,0 / (0,8 \cdot 1,25) = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{oder: } 10,9 \text{ kN/cm}^2 < 36,0 / \sqrt{3} = 20,8 \text{ kN/cm}^2$$



**Bild 3.12** Träger aus einem geschweißten I-Querschnitt

Die Beanspruchung der Halsnaht kann auch anschaulich mithilfe von Bild 3.3 ermittelt werden, siehe auch Bild 3.13.



**Bild 3.13** Spannung  $\sigma_m$  im Obergurt

Die Gurtkraft muss über die Halsnaht (Länge 4,0 m) eingeleitet werden. Daraus ergibt sich eine mittlere Schubspannung:

$$\tau_{\parallel,m} = \frac{F_f}{A_w} = \frac{2619}{400 \cdot 2 \cdot 0,6} = 5,46 \text{ kN/cm}^2$$

Nach Bild 3.3 beträgt die maximale Schweißnahtspannung:

$$\max \tau_{\parallel} = 2 \cdot 5,46 = 10,92 \text{ kN/cm}^2$$

### Ausführung mit unterbrochenen Halsnähten

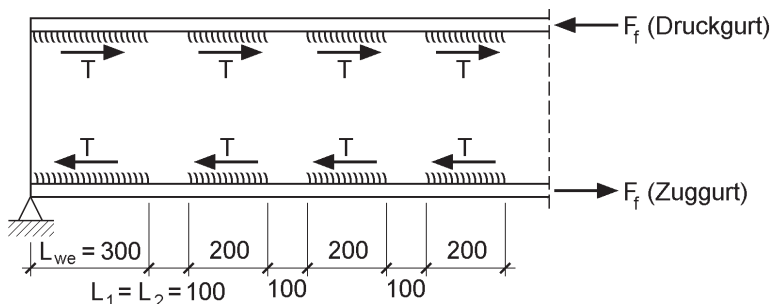
Der Nachweis für die durchgehend geschweißte Halsnaht zeigt, dass sie an der Stelle der maximalen Beanspruchung nur zu 53 % ausgenutzt ist. Als Alternative werden *unterbrochene Halsnähte* gewählt, die gemäß Bild 3.5 Mitte ohne Längsversatz auf beiden Seiten des Steges angeordnet werden. Die Schweißnahtlängen und Abstände können Bild 3.14 entnommen werden.

Unterbrochen ausgeführte Nähte dürfen nur dort ausgeführt werden, wo kein Korrosionsschutz erforderlich ist. Da der Trägerobergurt gedrückt wird, sind hier auch die Bedingungen für  $L_2$  (siehe Bild 3.5) einzuhalten.

$$L_{we} = 300 \text{ mm} = 0,75 \cdot b = 0,75 \cdot 400 \text{ (Endnaht)}$$

$$L_1 = 100 \text{ mm} < 16 \cdot t_w = 192 \text{ mm und } < 200 \text{ mm (Zuggurt)}$$

$$L_2 = 100 \text{ mm} < 12 \cdot t_w = 144 \text{ mm, } = 0,25 \cdot 400 \text{ mm und } < 200 \text{ mm (Druckgurt)}$$



**Bild 3.14** Träger mit unterbrochenen Halsnähten

Auf der sicheren Seite liegend wird die maximale Schweißnahtspannung (am Auflager mit durchgehender Naht) mit dem Faktor

$$(200 + 100)/200 = 1,5$$

vergrößert, siehe Gl. (3.4). Der Nachweis ergibt sich dann zu:

$$\max \tau_{\parallel} \cong 1,5 \cdot 10,9 = 16,35 \text{ kN/cm}^2 < 20,8 \text{ kN/cm}^2$$

**Anmerkung:** Die Unterbrechung der Halsnähte ist hier so gering, dass die Ausführung gemäß Bild 3.14 wahrscheinlich nicht wirtschaftlich ist.

### 3.2.5 Halsnähte eines rechteckigen Hohlkastenquerschnitts

Die *Halsnähte* des Querschnitts in Bild 3.15 werden nach DIN EN 1993-1-8 nachgewiesen.

Schweißnahtspannungen infolge des Torsionsmoments nach Gl. (3.5):

$$\tau_{\parallel} (M_{x,Ed}) = \frac{M_{x,Ed}}{2 \cdot A_m \cdot a} = \frac{240 \cdot 100}{2 \cdot 46 \cdot 24,2 \cdot 0,6} = 18,0 \text{ kN/cm}^2$$

Trägheitsmoment des Querschnitts:  $I_y = 43890 \text{ cm}^4$

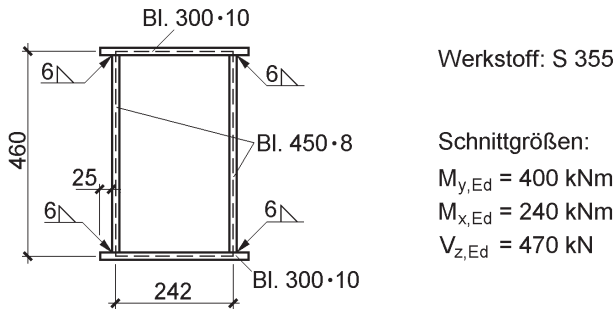
Statisches Moment des halben Obergurtes:  $S_y = -1,0 \cdot 30,0/2 \cdot 23,0 = -345 \text{ cm}^3$

Schweißnahtspannungen infolge Querkraft  $V_{z,Ed}$  nach Gl. (3.3):

$$\tau_{\parallel}(V_{z,Ed}) = -\frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot \sum a} = \frac{470 \cdot 345}{43890 \cdot 0,6} = 6,2 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

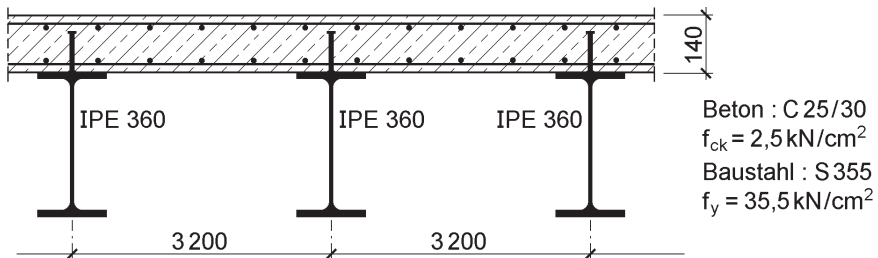
$$\begin{aligned} \sum \tau_{\parallel} &= \tau_{\parallel}(M_{x,Ed}) + \tau_{\parallel}(V_{z,Ed}) = 18,0 + 6,2 = 24,2 \text{ kN/cm}^2 \\ &< f_u / (\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}) &= 49,0 / (\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25) = 25,1 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$



**Bild 3.15** Hohlkastenquerschnitt

### 3.2.6 Verbundträger mit durchgehender Verbundfuge

Bei den Verbundträgern in Bild 3.16 handelt es sich um Einfeldträger mit einer Stützweite von  $L = 11,4 \text{ m}$ . Es werden die Tragsicherheitsnachweise für die Verbundmittel nach DIN EN 1994-1-1 [18] geführt und darüber hinaus auch Nachweise, die damit im unmittelbaren Zusammenhang stehen.



**Bild 3.16** Verbundträger mit durchgehender Verbundfuge

Einwirkungen:

$$\begin{aligned} g_{Ek} &= 11,8 \text{ kN/m} \quad (\text{Betongurt} + \text{Stahlträger}) \\ q_{Ek} &= 15,2 \text{ kN/m} \quad (\text{Verkehrslast} + \text{Trennwandzuschlag}) \end{aligned}$$

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_G = 1,35 \text{ für ständige Einwirkungen; } \gamma_Q = 1,50 \text{ für veränderliche Einwirkungen}$$

Bemessungswerte der Einwirkungen:

$$g_{Ed} = 11,8 \cdot 1,35 = 15,9 \text{ kN/m; } q_{Ed} = 15,2 \cdot 1,50 = 22,8 \text{ kN/m}$$

$$\text{insgesamt: } p_{Ed} = 38,7 \text{ kN/m}$$

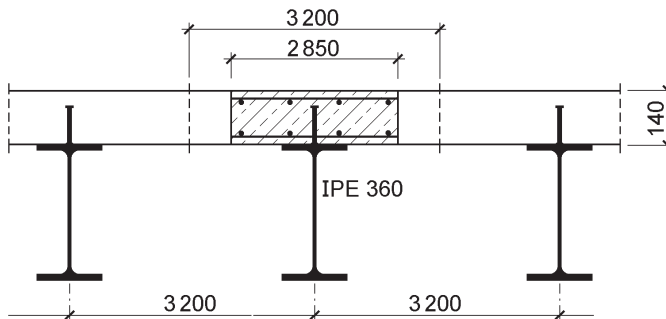
Schnittgrößen:

$$\max M_{Ed} = 38,7 \cdot 11,4^2/8 = 628,7 \text{ kNm; } \max V_{Ed} = 38,7 \cdot 11,4/2 = 220,6 \text{ kN}$$

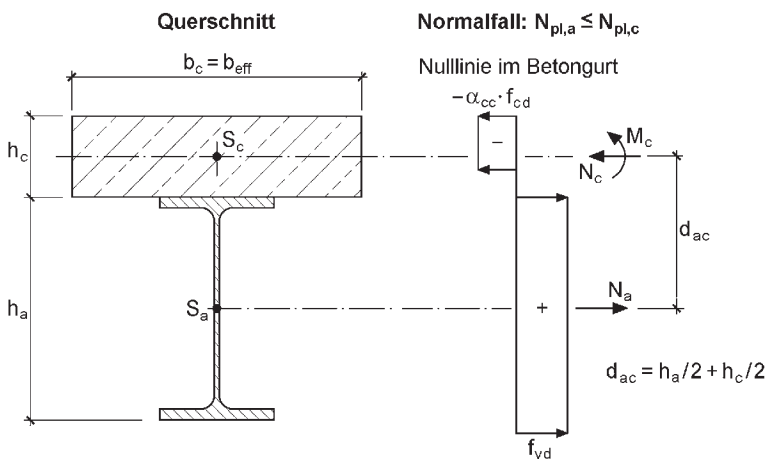
Mittragende Plattenbreite des Betongurtes:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2}; b_{e1} = b_{e2} = L_o/8 = 11,4/8 = 1,425 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 1,425 = 2,85 \text{ m} < 3,2 \text{ m} = \text{vorh } b$$



**Bild 3.17** Effektiver Verbundträgerquerschnitt



**Bild 3.18** Zur Ermittlung von  $M_{pl,Rd}$  (positives Biegemoment)

### Nachweis für das maximale Biegemoment

Das plastische Grenzbiegemoment wird nach [45], Bild 11.7 (hier Bild 3.18), ermittelt. Es ist der Normalfall maßgebend, da die Nulllinie im Betongurt liegt.

$$N_{pl,a} = A_a \cdot f_y / \gamma_M = 72,7 \cdot 35,5 / 1,0 = 2580,9 \text{ kN}$$

$$N_{pl,c} = A_c \cdot \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C = 285 \cdot 14 \cdot 0,85 \cdot 2,5 / 1,5 = 5652,5 \text{ kN}$$

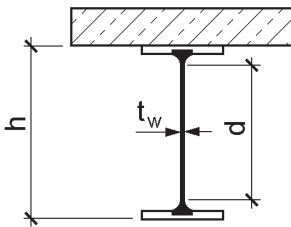
$$\Rightarrow N_{pl,a} < N_{pl,c} \text{ und } N_a = N_c = N_{pl,a}$$

$$M_c = N_c \cdot \frac{h_c}{2} \cdot \left(1 - \frac{N_c}{N_{pl,c}}\right) = 2580,9 \cdot 0,07 \cdot \left(1 - \frac{2580,9}{5652,5}\right) = 98,2 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = M_c + N_a \cdot d_{ac} = 98,2 + 2580,9 \cdot (0,18 + 0,07) = 743,4 \text{ kNm}$$

$$\text{Nachweis: } \max M_{Ed} = 628,7 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 743,4 \text{ kNm}$$

### Nachweis für die maximale Querkraft



$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

$$= 35,1 \cdot 35,5 / (\sqrt{3} \cdot 1,0) = 719,4 \text{ kN}$$

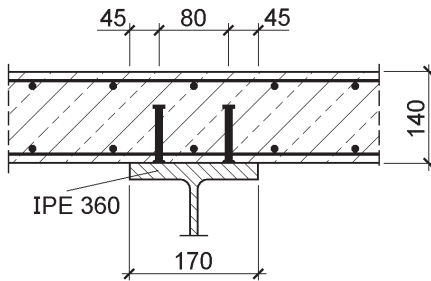
mit:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 35,1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Nachweis: } \max V_{Ed} = 220,6 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 719,4 \text{ kN}$$

**Bild 3.19** Fläche zur Aufnahme der Querkraft

### Nachweis der Verbund-sicherung (Verdübelung)



Kopfbolzendübel:

$$d = 19 \text{ mm}$$

$$h_{sc} = 100 \text{ mm}$$

$$f_u = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$h_{sc}/d = 100/19 = 5,3 > 4,0 \rightarrow \alpha = 1,0$$

**Bild 3.20** Anordnung der Kopfbolzendübel im Bereich 1

Die *Grenzabscherkraft eines Kopfbolzendübel*s wird nach Abschnitt 6.10 bestimmt. Aus Tabelle 6.5 liest man ab:  $P_{Rd} = 61,4 \text{ kN}$ . Maßgebend ist das Betonversagen.

In der *Verbundfuge* wird die Betondruckkraft  $N_c$  in jeweils einer Trägerhälfte über die Kopfbolzendübel eingeleitet (siehe Bild 3.21).  $N_c$  ergab sich bei der Berechnung des plastischen Grenzbiegemomentes zu:

$$N_c = N_{pl,a} = 2580,9 \text{ kN}$$

Die zu übertragende Druckkraft darf im Verhältnis des Ausnutzungsgrades abgemindert werden:

$$\text{red } N_c = N_c \cdot M_{Ed} / M_{pl,Rd} = 2580,9 \cdot 628,7 / 743,4 = 2182,7 \text{ kN}$$

Für eine Trägerhälfte werden  $2182,7 / 61,4 = 35,5 \approx 36$  Dübel benötigt.