

Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam
getragene Anstalt des öffentlichen Rechts

Zulassungs- und Genehmigungsstelle
für Bauproducte und Bauarten

Datum: Geschäftszichen:

19.09.2025 | 87-1.26.2-3/25

Allgemeine Bauartgenehmigung

Nummer:
Z-26.2-49

Geltungsdauer
vom: **29. Oktober 2025**
bis: **29. Oktober 2030**

Antragsteller:
Peikko Group OY
Voimakatu 3
15170 LAHTI
FINNLAND

Gegenstand dieses Bescheides:
DELTABEAM® Verbundträger

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst 18 Seiten und 17 Anlagen.
Der Gegenstand ist erstmals am 26. März 2007 zugelassen worden.

DIBt

I ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

- 1 Mit der allgemeinen Bauartgenehmigung ist die Anwendbarkeit des Regelungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
- 2 Dieser Bescheid ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.
- 3 Dieser Bescheid wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.
- 4 Dem Anwender des Regelungsgegenstandes sind, unbeschadet weitergehender Regelungen in den "Besonderen Bestimmungen", Kopien dieses Bescheides zur Verfügung zu stellen. Zudem ist der Anwender des Regelungsgegenstandes darauf hinzuweisen, dass dieser Bescheid an der Anwendungsstelle vorliegen muss. Auf Anforderung sind den beteiligten Behörden ebenfalls Kopien zur Verfügung zu stellen.
- 5 Dieser Bescheid darf nur vollständig vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen diesem Bescheid nicht widersprechen, Übersetzungen müssen den Hinweis "Vom Deutschen Institut für Bautechnik nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten.
- 6 Dieser Bescheid wird widerruflich erteilt. Die Bestimmungen können nachträglich ergänzt und geändert werden, insbesondere, wenn neue technische Erkenntnisse dies erfordern.
- 7 Dieser Bescheid bezieht sich auf die von dem Antragsteller im Genehmigungsverfahren zum Regelungsgegenstand gemachten Angaben und vorgelegten Dokumente. Eine Änderung dieser Genehmigungsgrundlagen wird von diesem Bescheid nicht erfasst und ist dem Deutschen Institut für Bautechnik unverzüglich offenzulegen.

II BESONDERE BESTIMMUNGEN

1 Regelungsgegenstand und Anwendungsbereich

Genehmigungsgegenstand ist die Planung, Bemessung und Ausführung von DELTABEAM Verbundträgern, die aus einem trapezförmigen Stahlhohlprofil der Fa. Peikko (Stahlprofil), Bewehrungszulagen und Beton ausgeführt werden, siehe Anlage 1.

Das Stahlprofil ist nach EN 1090-1¹ hergestellt und wird als vorgefertigtes Bauteil auf die Baustelle geliefert. Es besteht aus zusammengeschweißten Stahlblechen mit kreisförmigen Öffnungen in den Stegen und seitlich auskragenden Untergurten. Die seitlich auskragenden Untergurte dienen zur Auflagerung von Stahlbetondecken (wie Ortbetondecken, Verbunddecken, Fertigteildecken oder Teilstücke mit Ortbetonergänzung).

Auf der Baustelle werden die Stahlprofile mit Bewehrungszulagen, die in die seitlich anschließenden Stahlbetondecken einbinden ergänzt und zusammen mit dem Deckenbeton monolithisch zu Verbundträgern ausbetoniert.

Die DELTABEAM Verbundträger dürfen zur Aufnahme statischer und quasi-statischer Lasten nach DIN EN 1991-1-1², Abschnitt 6.1 in Verbindung mit DIN EN 1991-1-1/NA³, Tab.6.1DE und Abs. 6.3.1.2 verwendet werden.

Sie dürfen auch bei Anforderungen an den Feuerwiderstand angewendet werden.

2 Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung

2.1 Planung

2.1.1 Allgemeines

Die DELTABEAM Verbundträger sind unter Beachtung der Technischen Baubestimmungen zu planen, sofern im Folgenden nichts anderes bestimmt ist.

Ergänzend zu den nachfolgenden Planungsvorgaben sind die Angaben zur Bemessung nach Abschnitt 2.2 und zur Ausführung nach Abschnitt 2.3 in der Planung zu berücksichtigen.

Werden die DELTABEAM Verbundträger mit Aufbeton ausgeführt, darf der Aufbeton direkt über dem Obergurt des Stahlprofils nur dann für die Momententrägfähigkeit berücksichtigt werden, wenn die Aufbetonhöhe h_{ct} mindestens 1/6 der oberen Flanschbreite b_R des Stahlprofils und mindestens 50 mm beträgt.

2.1.2 Stahlprofil

Das Stahlprofil besteht aus Baustahl der in DIN EN 1993-1-1⁴, Tabelle 3.1 aufgeführten Festigkeitsklassen S235, S275, S355, S420 oder S460 nach den Normen der Reihe DIN EN 10025⁵.

- | | | |
|---|----------------------------|--|
| 1 | EN 1090-1:2009+A1:2011 | Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile |
| 2 | DIN EN 1991-1-1:2010-12 | Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau |
| 3 | DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 | Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015-05 |
| 4 | DIN EN 1993-1-1:2010-12 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 und DIN EN 1993-1-1/NA:2018-12 |
| 5 | DIN EN 10025 Teil 1 bis 6 | Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen Teil 1 Ausgabe 2005-02, Teil 2, 3 und 5 Ausgabe 2019-10, Teil 4 Ausgabe 2023-02 und Teil 6 2023-06 |

Die Geometrie und Abmessungen des Stahlprofils entsprechen den Angaben in Anlage 2. Für die Grenzabmaße gelten die Toleranzen nach DIN EN 1090-2⁶. Die Stahlträger besitzen für die Betonage Entlüftungsöffnungen in den Stegen gemäß Anlage 2 d), jeweils mittig zwischen den Stegöffnungen an der Unterkante des Obergurtes. Zusätzlich zu den Entlüftungsöffnungen dürfen unter Beachtung des Abschnitts 2.2 weitere Stegöffnungen im Steg der Stahlträger vorgesehen werden.

Die Stahlprofile dürfen mit Stößen unterschiedlicher Blechstärken und/oder mit Blechlammellen als Verstärkung ausgeführt sein, sofern davon keine ungünstige Beeinträchtigung der Betonierbarkeit sowie der Verbundwirkung im Bereich der Stegöffnungen ausgeht.

In Abhängigkeit von den Anforderungen, die für die Konstruktion festgelegt sind, gelten - in Abstimmung mit dem Tragwerksplaner und der Genehmigungsbehörde - für die Ausführung der Schweißnähte die Regelungen für EXC 2 oder EXC 3 nach DIN EN 1090-2⁶.

Für den Korrosionsschutz gelten die Bestimmungen in DIN EN 1090-2⁶, Beschichtungen dürfen bei Kontakt des Stahlbauteils mit anderen Metallen wie Bewehrungszulagen nach Abschnitt 2.1.3 keine Kontaktkorrosion hervorrufen.

2.1.3 Bewehrungszulagen

Als Bewehrungszulagen ist Betonstahl der Normenreihe DIN 488⁷ zu verwenden.

Sofern Brandschutzanforderungen bestehen ist bei Anordnung von Längs- und Bügelbewehrung im Stahlprofil ein lichter Abstand zwischen der Bewehrung und der Oberkante des Stahlprofil-Untergurtes von mindestens 40 mm einzuhalten.

Der Durchmesser der Längsbewehrung im Stahlprofil darf bis 40 mm betragen. Stabbündel nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ mit zwei Stäben nebeneinander sind zulässig.

2.1.4 Beton

Als Beton ist Normalbeton nach DIN 1045-2¹⁰ mit einer Festigkeitsklasse von mindestens C20/25 zu verwenden. Festigkeitsklassen größer als C35/45 dürfen rechnerisch nicht berücksichtigt werden.

2.1.5 seitlich anschließende Stahlbetondecken

Für die seitlich anschließenden Stahlbetondecken gelten die Bestimmungen in DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ und bei Deckensystemen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung und/oder allgemeiner Bauartgenehmigung ergänzend die Bestimmungen des jeweiligen Bescheids.

Wird bei Verwendung von Teilstahlblechdecken oder Profilblechdecken der Ortbeton außerhalb des Stahlprofils zur Berechnung der Tragfähigkeit herangezogen, sollte die Oberkante des Teilstahlblechs unterhalb der Mitte der Stegöffnungen des Stahlprofils liegen. Ist diese Bedingung nicht eingehalten, darf der Kraftfluss mit Fachwerkmodellen nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ nachgewiesen werden.

2.2 Bemessung

2.2.1 Allgemeines

Die DELTABEAM Verbundträger sind unter Beachtung der Technischen Baubestimmungen zu bemessen, sofern im Folgenden nichts anderes bestimmt ist.

| | | |
|----|----------------------------|---|
| 6 | DIN EN 1090-2:2018-09 | Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken |
| 7 | DIN 488 Teil 1 bis 6 | Betonstahl Teil 1 bis 5 Ausgabe 2009-08, Teil 6 Ausgabe 2010-01 |
| 8 | 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; in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/A1:2015-03, DIN 1045-1:2023-08 und DIN 1045-1000:2023-08 |
| 9 | DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 | Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/A1:2015-12 |
| 10 | DIN 1045-2:2023-08 | Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton |

Für die Bemessung und konstruktive Durchbildung der Verbundträger gilt DIN EN 1994-1-1¹¹ in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ und DIN EN 1993-1-1⁴, sofern nachfolgend nichts anderes bestimmt ist.

Stegöffnungen sind in den statischen Nachweisen des Stahlträgers zu berücksichtigen. Soweit die Höhe h_h (s. Anlage 6 c) von zusätzlichen Stegöffnungen nach Abschnitt 2.1.2 nicht größer als 35 mm und nicht größer als 30 % der zugehörigen Steghöhe $h_{w,i}$ im maßgebenden Schnitt nach Anlage 6 c) ist, dürfen sekundäre Biegeeffekte in den Nachweisen vernachlässigt werden.

Bei Verbundträgern mit Aufbeton ist Abschnitt 2.1.1 zu beachten.

Die Weiterleitung der Anschlusskräfte an den Auflagern und die Verbindungen von Verbundträgern untereinander ist nicht Bestandteil dieser allgemeinen Bauartgenehmigung und in jedem Einzelfall nachzuweisen.

Seitliche Betongurte innerhalb der mitwirkenden Plattenbreite dürfen bei der Biegebemessung berücksichtigt werden, sofern sie unter Beachtung der Vorgaben dieses Bescheids nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ mit einer Längsschubbewehrung angeschlossen und nachgewiesen werden.

2.2.2 Stahlprofil im Bauzustand

Das Stahlprofil mit seinen Verbindungen und Anschlägen ist im Bauzustand nach DIN EN 1993-1-1⁴ für die auftretende Beanspruchung nachzuweisen. In den Nachweisen sind die aus der Auflagerung der Decken resultierenden Querbiegebeanspruchungen, Einflüsse aus Biegung, Torsion, Profilverformungen und sekundäre Biegung im Öffnungsbereich zu berücksichtigen. Einflüsse auf die Grenztragfähigkeit durch lokales Beulen ist erforderlichenfalls zu berücksichtigen und darf vereinfachend durch den Ansatz effektiver Querschnitte erfolgen.

2.2.3 DELTABEAM Verbundträger bei Raumtemperatur (Kaltfall)

2.2.3.1 Allgemeines

Die Schnittgrößen sind unabhängig von der Querschnittsklasse nach der Elastizitätstheorie zu ermitteln. Bei Querschnitten, die die Bedingungen der Klasse 2 nach Anlage 4 erfüllen, darf die Belastungsgeschichte vernachlässigt werden. Bei Querschnitten der Klassen 3 und 4 ist die Querschnittstragfähigkeit elastisch oder mit einer Beschränkung der Grenzdehnung der gedrückten Querschnittsteile auf die Fließdehnung zu berechnen, wobei bei Querschnitten der Klasse 4 der Einfluss des lokalen Beulens zu berücksichtigen ist, siehe Abschnitt 2.2.3.4.

2.2.3.2 Einwirkungen

Für die Einleitung der Deckenauflagerkräfte in den Verbundträger darf die in Anlage 3 dargestellte Verteilung der Auflagerpressung angenommen werden, sofern aufgrund der Regelungen in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und/oder allgemeinen Bauartgenehmigung für das verwendete Deckensystem unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Auflager oder infolge der konstruktiven Auflagerausbildung keine andere Pressungsverteilung zu berücksichtigen ist.

2.2.3.3 Lokale Querbiegung

Der Einfluss der lokalen Querbiegung im Stahlprofiluntergurt auf die Querschnittstragfähigkeit des Verbundträgers ist durch einen reduzierten Wert der Streckgrenze $f_{yd,eff,i}$ des Stahlprofiluntergurtes zu berücksichtigen.

Der von dem Querbiegemoment abhängige reduzierte Bemessungswert der Streckgrenze ergibt sich zu:

$$f_{yd,eff,i} = \alpha_i \cdot f_{y,d}$$

¹¹

DIN EN 1994-1-1:2010-12

Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1994-1-1/NA:2010-12

Der Reduktionsfaktor α_i darf in Abhängigkeit vom Lastausnutzungsgrad η für Querbiegung des Stahlprofiluntergurtes und einem Kurvenparameter β aus dem Interaktionsdiagramm nach Anlage 3 bestimmt werden.

Dabei sind:

- | | | |
|--------------|---|--|
| η | = | $m_{Ed,q,i} / m_{pl,q,d}$ |
| $m_{Ed,q,i}$ | = | Querbiegemoment im Stahlprofiluntergurt aus der Deckenauflagerung im betrachteten Schnitt |
| $m_{pl,q,d}$ | = | plastisch aufnehmbares Querbiegemoment im Stahlprofiluntergurt bei alleiniger Beanspruchung aus Querbiegung und unter Vernachlässigung von Schubspannungen aus Querbiegung |
| β | = | $\sqrt{3} \tau_{Ed} / f_{yd}$ Beiwert zur Berücksichtigung von Schubspannungen aus Querbiegung |
| τ_{Ed} | = | Schubspannungen im Stahlprofiluntergurt im betrachteten Schnitt aus der Auflagerkraft der Decke |

Zur Bestimmung der reduzierten Streckgrenze des Stahlprofiluntergurtes ist für den Bereich zwischen den Stegen die Beanspruchung aus der Deckenauflagerung im Bauzustand zugrunde zu legen. Für die seitlich auskragenden Teile des Stahlprofiluntergurtes ist die Beanspruchung aus der Deckenauflagerung im Endzustand anzusetzen.

Vereinfacht darf für die auskragenden Teile des Stahlprofiluntergurtes jeweils ein konstanter Reduktionsfaktor verwendet werden, der mit dem maximalen Querbiegemoment und der dazugehörigen Schubspannung im Anschnitt an den angrenzenden Steg zu ermitteln ist.

Sofern sich der in Anlage 3 dargestellte Verlauf der Auflagerpressung einstellen kann, darf für den Innenbereich und auskragenden Teil des Stahlprofiluntergurtes vereinfachend von einem in Trägerquerrichtung konstanten Verlauf des reduzierten Bemessungswertes der Streckgrenze ($f_{yd,eff,i}$ - effektiver Bemessungswert der Streckgrenze) ausgegangen werden, s. Anlage 3.

innerer Teil des Stahlprofiluntergurtes : $f_{yd,eff,1} = \alpha_{m,1} \cdot f_{y,d}$

auskragender Teil des Stahlprofiluntergurtes : $f_{yd,eff,2} = \alpha_{m,2} \cdot f_{y,d}$

mit:

- | | | |
|--------------------------------|---|---|
| $\alpha_{m,1}$ | = | $(\alpha_{1,li} + \alpha_{1,re})/2$ - idealisierter Mittelwert der Reduktionsfaktoren $\alpha_{1,li}$ und $\alpha_{1,re}$ über die betreffende Breite des Untergurtes |
| $\alpha_{1,li}; \alpha_{1,re}$ | = | Reduktionsfaktoren infolge des maximalen Querbiegemomentes und der Querkraft aus der Querbeanspruchung im Anschnitt rechts und links im mittleren Bereich des Stahlprofiluntergurtes aus den Beanspruchungen des Bauzustandes |
| $\alpha_{m,2}$ | = | $(0,75 + 0,25 \cdot \alpha_2)$ – idealisierter Mittelwert des Reduktionsfaktors α_2 über die betreffende Breite des Untergurtes |
| α_2 | = | Reduktionsfaktor infolge des maximalen Querbiegemomentes und der Querkraft aus der Querbeanspruchung im Endzustand am Anschnitt des seitlich auskragenden Teils des Stahlprofiluntergurtes zum Steg |

2.2.3.4 Momententragsfähigkeit

2.2.3.4.1 Allgemeines

Die Momententragsfähigkeit ist unter Beachtung des Einflusses der Querbiegung zu ermitteln. Stegöffnungen im Stahlprofil sind zu berücksichtigen.

Sofern Beton oder Längsbewehrung außerhalb des Stahlprofils nicht planmäßig angeschlossen wird, darf ausschließlich der Kernbeton innerhalb des Stahlprofils berücksichtigt werden. Für die Berücksichtigung eines Aufbetons direkt oberhalb des Obergurtes des Stahlprofils müssen die Bedingungen nach Abschnitt 2.1.1 erfüllt sein.

Wird der außerhalb des Stahlprofils vorhandene Beton bei der Ermittlung der Momententrägfähigkeit berücksichtigt, ist der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ mit $\alpha_{cc} = 0,85$ zu ermitteln. Für den Kernbeton darf bei der Ermittlung der Momententrägfähigkeit $\alpha_{cc} = 1,0$ angenommen werden.

Die Ermittlung der mittragenden Plattenbreite b_{eff} darf näherungsweise nach DIN EN 1994-1-1¹¹ erfolgen. Dabei darf ausschließlich der Beton berücksichtigt werden, der durch eine Längsschubbewehrung angeschlossen ist. Fertigteile innerhalb der mittragenden Plattenbreite dürfen nur dann angesetzt werden, wenn die Fugenausbildung die Übertragung der Längsschub- und Druckkräfte in der Betondruckzone erlaubt. Bei Fertigteilen, deren Oberkante oberhalb der Mitte der Stegöffnungen liegt, ist entsprechend Abschnitt 2.1.5 der Kraftfluss aus der Übertragung der Längsschubkräfte mit einem Fachwerkmodell nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ nachzuweisen.

Bei negativer Momentenbeanspruchung ist die Moment-Querkraft-Interaktion nach Abschnitt 2.2.3.5 zu beachten.

Betonstahlbewehrung aus der Bemessung im Brandfall darf zur Ermittlung der Momententrägfähigkeit bei Raumtemperatur herangezogen werden. Die Verankerung der Bewehrung ist nach DIN EN 1994-1-1¹¹ Abs. 6.3.2 auf Grundlage der Teilverbundtheorie nachzuweisen.

2.2.3.4.2 Nachweis der Momententrägfähigkeit dehnungsbegrenzt - $M_{Rd,dehn}$

Die Momententrägfähigkeit darf grundsätzlich dehnungsbegrenzt ($M_{Rd,dehn}$) unter Berücksichtigung des lokalen Beulens gedrückter Querschnittsteile wie folgt nachgewiesen werden.

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd,dehn}} \leq 1,0$$

Für den Beton ist das Parabel-Rechteck-Diagramm aus DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ zugrunde zu legen und die Betonstauchung auf 3,5 % zu begrenzen. Die Dehnung gedrückter Baustahl-Querschnitte der Querschnittsklassen 3 oder 4 nach Anlage 4, die nicht vollständig im Beton eingebettet sind oder bei denen lokales Beulen nach den Anforderungen nach DIN EN 1994-1-1¹¹, Abschnitt 5.5.3 nicht eingehalten sind, ist auf die Fließdehnung zu begrenzen. Für Querschnitte der Klasse 4 darf der Einfluss des lokalen Beulens durch den Ansatz effektiver Querschnitte nach Anlage 4 berücksichtigt werden.

2.2.3.4.3 Nachweis der Momententrägfähigkeit vollplastisch - $M_{Rd,pl}$

Alternativ zu Abschnitt 2.2.3.4.2 darf die Momententrägfähigkeit unter Einhaltung der Anwendungsgrenzen dieses Abschnitts vereinfachend vollplastisch ($M_{Rd,pl}$) mit folgender Gleichung nachgewiesen werden:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd,pl}} \leq 0,8$$

Der Querschnitt muss unter Einhaltung der c/t-Werte entsprechend Anlage 4 in die Querschnittsklasse 2 eingestuft werden können.

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$z_{pl}/h \leq \zeta_{grenz}$$

mit:

- z_{pl} = Abstand der plastischen Nulllinie von der zugehörigen auf Druck beanspruchten Randfaser,
 h = Gesamthöhe des Verbundquerschnitts

ζ_{grenz} = 0,40 wenn nur der Kernbeton zur Ermittlung der Momententrägfähigkeit herangezogen wird
0,15 wenn auch die außenliegenden Betongurte zur Ermittlung der Momententrägfähigkeit herangezogen werden

2.2.3.5 Querkrafttragfähigkeit

Im ausbetonierten Zustand darf der Kernbeton zur Abtragung der Querkräfte herangezogen werden. In diesem Fall ergibt sich die Querkrafttragfähigkeit des DELTABEAM Verbundträgers V_{Rd} aus der Tragfähigkeit des Kernbetons des in Anlage 5 a) dargestellten Fachwerkmodells $V_{Rd,c}$ und aus der Schubtragfähigkeit (Querkrafttragfähigkeit) des Stahlprofils $V_{Rd,a}$. Der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit des Stahlprofils darf vollplastisch ermittelt werden, wenn einer der nachfolgenden 3 Punkte zutrifft:

1. Die Querschnitte des Stahlprofils sind der Klasse 2 zuzuordnen.
2. Lokales Beulen der Stahlstege ist entsprechend den Angaben in DIN EN 1994-1-1¹¹ Abs. 5.5.3 ausgeschlossen.
3. Lokales Beulen der Stahlstege ist durch den Kern- und den seitlich angrenzenden Beton einer Deckenscheibe (oder gleichwertigem Bauteil) sowie einer durch die Stegöffnung der Stahlprofile geführten Querbewehrung ausgeschlossen. Als Querbewehrung ist mindestens Durchmesser $d_s = 10 \text{ mm}$ im Abstand von 600 mm vorhanden. Die Querbewehrung ist im seitlich angrenzenden Beton nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ für die volle Zugkraft verankert und die Breite des seitlich angrenzenden Betons beträgt mindestens dem Abstand der Querbewehrung.

Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd} errechnet sich aus:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,a}$$

mit:

$V_{Rd,c}$ = Traganteil des Fachwerkmodells. Für $V_{Rd,c}$ ist der kleinere Wert der Tragfähigkeit von $V_{Rd,max}$ und $V_{Rd,sy}$ zu berücksichtigen.
 $V_{Rd,max}$ = Tragfähigkeit der Betondruckstrebe des Fachwerkmodells
 $V_{Rd,sy}$ = Tragfähigkeit der Zugstrebe des Fachwerkmodells
 $V_{Rd,a}$ = Anteil des Stahlprofils an der Querkrafttragfähigkeit unter Ansatz der Schubtragfähigkeit der Stegbleche und Shearplates (Shearplates sind in Längsrichtung im Stahlprofil eingeschweißte Querkraftbleche vgl. Anlage 15 c), die Shearplates sind über ihre gesamte Länge mit dem Ober- und Untergurt verschweißt)

Dabei berechnet sich die Tragfähigkeit der Betondruckstrebe zu:

$$V_{Rd,max} = f_{cd} d_c b_W (z / s_h) \cos \theta$$

mit:

f_{cd} = $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$
 α_{cc} = 1,00
 d_c = $s_h \sin \theta$
 b_w = wirksame Breite der Betondruckstrebe nach Anlage 6
 z = $z_a \left(1 - \frac{\Delta N_c}{\Delta N_{a,bf}} \left[1 - \frac{z_c}{z_a} \right] \right);$

Hebelarm der inneren Kräfte bei positiver Momententrägfähigkeit (vereinfacht), alternativ kann der Hebelarm auch im Rahmen einer dehnungsbegrenzten Biegebemessung ermittelt werden

z_a = $h_a - 0,5 (t_{ft} + t_{fb})$
 z_c = $z_a - 0,5 z_{pl}$
 z_{pl} = Lage der plastischen Nulllinie

$$\begin{aligned}\frac{\Delta N_c}{\Delta N_{a,bf}} &= \frac{A_{c,pl} \cdot f_{cd}}{\sum [b_{fb,2} \cdot t_{fb,2} \cdot f_{yd,eff,2}] + b_{fb,1} \cdot t_{fb,1} \cdot f_{yd,eff,1}} \\ s_h &= \text{Abstand der Mittelpunkte der Stegöffnungen} \\ \theta &= \text{Neigung der Betondruckstrebe, die zu } 45^\circ \text{ angenommen werden darf}\end{aligned}$$

Für die Tragfähigkeit der Zugstrebe, die durch den Stegbereich zwischen den Öffnungen gebildet wird gilt:

$$V_{Rd,sy} = \sum [t_{w,i} \cdot (s_h - d_{h,i}) + t_{SP,i} \cdot (s_h - d_{SP,i})] \cdot f_{yd}$$

mit:

$$\begin{aligned}t_{w,i} &= \text{Blechdicke der seitlichen Stegbleche des Stahlprofils} \\ d_{h,i} &= \text{Durchmesser vorhandener Stegöffnungen} \\ t_{SP,i} &= \text{Blechdicke des Shearplate} \\ d_{SP,i} &= \text{Durchmesser vorhandener Öffnungen in Shearplate}\end{aligned}$$

Der Anteil des Stahlprofils an der Querkrafttragfähigkeit des Verbundträgers ergibt sich für Querschnitte, deren Bemessungswert der Schubtragfähigkeit vollplastisch ermittelt werden darf zu:

$$V_{Rd,a} = \sum [t'_{w,i} \cdot (h_{DB} - \Delta t_{w,o,i} - d_{h,i} \cdot \sin \beta_i) + t_{SP,i} \cdot (h_{DB} - \Delta t_{SP,o,i} - d_{SP,i})] \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

mit:

$$\begin{aligned}t'_{w,i} &= \text{ideelle Dicke des Stegblechs } t'_{w,i} = \frac{t_{w,i}}{\sin \beta_i} \\ \beta_i &= \text{Neigungswinkel des Stegblechs, siehe Anlage 2, (90° für senkrechte Stegleche)} \\ \Delta t_{w,o,i} &= \text{Abstand Oberkante Stegblech bis Oberkante Obergurt} \\ \Delta t_{SP,o,i} &= \text{Abstand Oberkante Shearplate bis Oberkante Obergurt}\end{aligned}$$

Bei Shearplates, deren Blechdicke mindestens der Blechdicke der äußeren Stege des Stahlprofils entspricht ($t_{SP} \geq t_w$), darf die wirksame Breite b_w für die Berechnung der Tragfähigkeit $V_{Rd,max}$ der Betondruckstrebe gemäß Anlage 6a) vergrößert werden.

Ist der Wert der bezogenen Querkraft V_{Ed}/V_{Rd} größer 0,3, ist der Einfluss der Querkraft auf die Momententrägfähigkeit durch eine Abminderung der Streckgrenze $\rho_w \cdot f_{yd}$ zu berücksichtigen. Der Abminderungsbeiwert ρ_w errechnet sich aus:

$$\rho_w = \frac{f_{yd,red}}{f_{yd}} = \min (\rho_{w1}; \rho_{w2})$$

mit:

$$\rho_{w1,2} = \left| \frac{\zeta \pm \sqrt{4 - 3\zeta^2 - 4\beta^2}}{2} \right|$$

$$\zeta = \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}}$$

$\sigma_{z,Ed}$ = Spannung aus der Zugkraft Z_W nach Anlage 5 b)

$$\beta = \frac{V_{Ed,a}}{V_{Rd,a}}$$

$$V_{Ed,a} = V_{Ed} \cdot V_{Rd,a} / V_{Rd}$$

Im Bereich der Stegöffnungen ist der Einfluss der Vierendeelwirkung auf die Momententrägfähigkeit zu berücksichtigen, siehe Anlage 5 b). Dies kann bei Querschnitten der Klasse 2 auf Grundlage plastostatischer Berechnungsverfahren erfolgen.

Sofern der Kernbeton mit zur Querkrafttragfähigkeit angerechnet wird, ist am Auflager die Weiterleitung der aus der Druckstrebe resultierenden Vertikalkomponente $V_{Rd,c}$ nachzuweisen, siehe Ausführungsbeispiel Anlage 5 c).

Bei überwiegend gleichmäßig verteilten Einwirkungen und einem direkten Auflager nach Anlage 5 c) darf die einwirkende Querkraft V_{Ed} im Abstand $a = h_{DB} - t_f$ vom Auflager für den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit herangezogen werden.

2.2.3.6 Torsion

Im ausbetonierten Zustand wird das Stahlprofil durch den Kernbeton ausgesteift und darf nach den Regeln der St. Venantschen Torsion behandelt werden. Der Einfluss auf die Biegetragfähigkeit ist bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biege- und Torsionsmomente durch eine Reduzierung der Streckgrenze zu berücksichtigen. Die Reduzierung ist für die einzelnen Teile des Stahlprofils anhand der folgenden Gleichungen zu berücksichtigen:

$$f_{yd,red,i} = f_{yd} \sqrt{1 - \frac{3 T_{Ed}^2}{t_i^2 f_{yd,i}^2}}$$

mit:

$$T_{Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{(b_{tf} + b_{fb,1}) \left(h_{DB} - \frac{t_{ft} + t_{fb}}{2} \right)}$$

$M_{T,Ed}$ = Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes

$f_{yd,i}$ = Streckgrenze des untersuchten Querschnittsteils, Reduktionen aus Querbiegung oder Querkraft sind erforderlichenfalls darin zu berücksichtigen

t_i = Blechdicke

Bei Torsionsbeanspruchung infolge von Gleichstreckenlasten darf auf einen Nachweis der schrägen Druckstrebe im Kernbeton verzichtet werden, siehe Anlage 7. Bei der Einleitung größerer Einzellasten ist die Druckstrebe nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ nachzuweisen.

2.2.3.7 Längsschubtragfähigkeit

Die Längsschubkraft ist aus der Differenz der Normalkräfte des Stahlprofils zwischen kritischen Schnitten gemäß DIN EN 1994-1-1¹¹ zu ermitteln. Die Längsschubkräfte werden durch den die Stegöffnungen durchsetzenden Beton (im Folgenden als Betondübel bezeichnet) und gegebenenfalls durch zusätzliche durch die Öffnungen gesteckte Querbewehrung übertragen. Zur Vergrößerung der Längsschubtragfähigkeit dürfen Kopfbolzendübel nach DIN EN 1994-1-1¹¹ an den Obergurt des Stahlprofils geschweißt werden. Die Kopfbolzendübel können an der Unterseite des Obergurtes zur Aktivierung von Druckkräften im Kernbeton oder auf der Oberseite des Obergurtes zur Aktivierung von Druckkräften in den außen vorhandenen Deckenbeton vorgesehen werden. Werden Kopfbolzendübel angesetzt ist auch eine durch die Stegöffnungen geführte Bewehrung vorzusehen.

Das Verhalten der Betondübel darf als duktil angesehen werden. Sofern die Voraussetzungen für eine äquidistante Anordnung der Verbundmittel nach DIN EN 1994-1-1¹¹ erfüllt sind, darf von einer konstanten Verteilung der Längsschubkraft zwischen kritischen Schnitten ausgegangen werden. Die Längsschubtragfähigkeit $V_{L,Rd}$ ergibt sich zu:

$$V_{L,Rd} = P_{Rd} / s_h$$

mit:

$$P_{Rd} = P_{c,Rd} + P_{s,Rd}$$

- $P_{c,Rd}$ = Dübeltragfähigkeit eines Öffnungspaares ohne Berücksichtigung einer durch die Öffnungen gesteckten Längsschubbewehrung nach Anlage 7 a), bei Randträgern ist die Hälfte der Dübeltragfähigkeit eines Öffnungspaares nach Anlage 7 a) anzusetzen.
- $P_{s,Rd}$ = Längsschubtragfähigkeit einer durch die Öffnungen geführten Querbewehrung nach Anlage 7 b), je Öffnungspaar dürfen bei einem Durchmesser der Stegöffnung von 75 mm maximal zwei Bewehrungsstäbe und bei einem Durchmesser von 150 mm maximal 4 Bewehrungsstäbe vorgesehen werden, die Mindestabstände nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ Abschnitt 8.2 sind einzuhalten, je Bewehrungsstab darf je Stegleichblech jeweils ein Schnitt angerechnet werden, die Bewehrung ist mit einer Verankerungslänge nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ Abschnitt 8.4 zu verankern, eine gleichzeitige Längsspannung in der Bewehrung σ_s (bspw. aus Biegung oder Scheibenwirkung der Decke) ist über den Ausnutzungsgrad $\xi = \sigma_s / f_{yd}$ nach Anlage 7 b) zu berücksichtigen
- s_h = Abstand der Stegöffnungen in Trägerlängsrichtung

Sofern eine Abbiegung der Schubbewehrung vorgesehen ist, siehe Anlage 8 a), sollte die Höhe e_b der Abbiegung aus Montagegründen nach Möglichkeit kleiner als der Durchmesser d_h der Stegöffnungen gewählt werden.

Bei auflagernahen Einzellasten ist die aus der Einzellast resultierende Längsschubkraft des kritischen Schnittes über die Kopfplatte entsprechend Anlage 8 b) abzutragen. Die Kopfplatte und die Schweißnähte am Auflager sind nachzuweisen. Die Endverankerung auf Zug beanspruchter Längsbewehrung im Kernquerschnitt ist ebenfalls nachzuweisen und erforderlichenfalls durch besondere Maßnahmen (bspw. durch Anschweißen an der Kopfplatte) zu verankern.

Für die Träger ist auf Grundlage der Teilverbundtheorie eine ausreichende Momentendeckung nachzuweisen. Für Träger mit Gleichstreckenlasten und einem Verhältniswert der plastischen Momententragsfähigkeit des Stahlprofils $M_{a,Rd}$ zur plastischen Momententragsfähigkeit des Verbundträgers M_{Rd} größer 0,4 darf auf einen Nachweis der Momentendeckung verzichtet werden.

2.2.3.8 Schubsicherung des Betongurtes

Die Nachweise der Längsschubtragfähigkeit sind im Plattenanschnitt und für die maßgebende Dübelumrissfläche nach DIN EN 1994-1-1¹¹ zu führen, Schnitte siehe Anlage 8 a).

2.2.4 Nachweis des DELTABEAM Verbundträgers für den Brandfall

2.2.4.1 Allgemeines

(1) Werden Anforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer gestellt, so ist unter Berücksichtigung bauaufsichtlicher Maßgaben der Feuerwiderstand des DELTABEAM Verbundträgers im Einzelfall nachzuweisen.

(2) Die nachfolgenden Ausführungen zum Feuerwiderstand gelten für den DELTABEAM Verbundträger. Nachweise des Feuerwiderstandes der fertigen Deckenkonstruktion bleiben davon unberührt.

Der Nachweis der Brandeinwirkung von der Oberseite kann analog zum Nachweis der Brandeinwirkung von der Unterseite geführt werden.

Sofern die Oberseite der Betondecke oberhalb des oberen Gurtes des Deltabeam Verbundträgers liegt und somit der Obergurt eine Betondeckung aufweist kann die Temperatur im oberen Gurt des Stahlträgers unter Berücksichtigung der Betondeckung gemäß DIN EN 1992-1-2¹², Anhang A, Bild A.2 ermittelt werden.

¹² DIN EN 1992-1-2:2010-12 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; in Verbindung mit DIN EN 1992-1-2/NA:2010-12, DIN EN 1992-1-2/NA/A1:2015-09, DIN EN 1992-1-2/A1:2019-11 und DIN EN 1992-1-2/NA/A2:2021-04

(3) Soweit nachfolgend nichts anderes bestimmt wird, gilt für den Nachweis des Feuerwiderstandes und die konstruktive Durchbildung der Verbundträger im Brandfall DIN EN 1994-1-2¹³.

(4) Die Tragfähigkeit des DELTABEAM Verbundträgers im Brandfall ist für die maßgebende Feuerwiderstandsdauer nachzuweisen. Die Bauteiltemperaturen sind dafür nach den Anlagen 11 bis 15 zu ermitteln.

(5) Sofern der DELTABEAM Verbundträger durch eine brandschutztechnische Bekleidung für die erforderliche Feuerwiderstandsdauer geschützt ist, darf auf Nachweise für den Brandfall des DELTABEAM Verbundträgers verzichtet werden. Der Nachweis des DELTABEAM Verbundträgers mit brandschutztechnischer Bekleidung ist nicht Bestandteil dieses Bescheides.

2.2.4.2 Bauteiltemperaturen und temperaturabhängige Materialeigenschaften

(1) Die Bauteiltemperaturen des Stahlprofils dürfen nach den Anlagen 10 bis 15 ermittelt werden. Auf Basis der ermittelten Bauteiltemperaturen sind die Materialeigenschaften nach DIN EN 1994-1-2¹³ zu bestimmen.

Der Temperaturverlauf über den Steg des Baustahlquerschnitts darf zwischen den Ordinaten $z = 0$, $z = 55$ mm und $z = 135$ mm durch lineare Interpolation bestimmt werden.

(2) Der Beton darf unter Abzug der Höhe $h_{c,f}$ am beflammteten Bauteilrand ohne Berücksichtigung erhöhter Temperaturen mit der Festigkeit f_c nach DIN EN 1994-1-2¹³ angesetzt werden.

(3) Die Temperaturen im Stahlprofil und der Bewehrung sind nach Anlage 10 bis 15 unter Beachtung der dort angegebenen Randbedingungen zu bestimmen. Die Tabellenwerte nach Anlage 13 gelten für den DELTABEAM Verbundträger in Kombination mit Ortbetondecken oder Teilstücken mit Aufbeton, bei denen der Querschnitt bis auf den Untergurt vollständig in die Decke integriert wird (einseitige Beflammung, siehe Anlage 10 b)). Die Tabellenwerte nach Anlage 12 gelten für Querschnitte, bei denen der Bereich oberhalb der seitlichen Untergurte $b_{fb,2}$, siehe Anlage 10 a), vollständig ausbetoniert wird, wobei eine seitliche Beflammung möglich ist (dreiseitige Beflammung, siehe Anlage 10 a)).

(4) Die berechneten Temperaturen nach Anlagen 11 bis 13 gelten für seitliche Untergurtflansche mit einer Breite $b_{fb,2} \geq 100$ mm. Bei $b_{fb,2} \geq 200$ mm darf, wenn auch die Decke bis zu dieser Breite vollständig ausbetoniert ist, grundsätzlich eine einseitige Beflammung vorausgesetzt werden. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

(5) Die in den Anlagen 11 bis 13 angegebenen Temperaturen in der Längsbewehrung gelten für einen horizontalen Abstand der Bewehrungsachse zum Steg von 50 mm, siehe Anlage 15 b). Bei geringeren horizontalen Achsabständen ist zwischen der entsprechenden Temperatur θ_s der Bewehrung für 50 mm Achsabstand und der Temperatur des Steges in Höhenlage der Bewehrungsachse linear zu interpolieren. Schließt ein Bewehrungsstab unmittelbar an den Steg an, ist die Stegtemperatur des Stahlprofils in der entsprechenden Höhenlage anzusetzen. Eine Verringerung der Temperatur in der Bewehrung bei einer Erhöhung des horizontalen Achsabstandes ist unzulässig.

(6) Bei Anordnung seitlicher Abschalprofile in Form von U-Profilen, die keinen unmittelbaren Kontakt mit den Stegblechen des DELTABEAM Verbundträgers haben sind die Temperaturen im Stahlprofil nach den Anlagen 11 und 12 für eine dreiseitige Beflammung zu bestimmen. Absatz (5) dieses Abschnitts darf angewendet werden. Dabei darf der Einfluss der U-Profile auf die Erwärmung des Stahlprofils vernachlässigt werden. Es dürfen U-Profile mit einer Höhe bis maximal 200 mm verwendet werden.

¹³

DIN EN 1994-1-2:2010-12

Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; in Verbindung mit DIN EN 1994-1-2/A1:2014-06 und DIN EN 1994-1-2/NA:2010-12

(7) Bei Verwendung von abgekanteten Blechen als Abschalprofile, werden diese mit dem Untergurt des Stahlprofils verschweißt und mit Blechlaschen in Abständen von ≥ 600 mm an den Steg des Stahlprofils geschweißt. Es sind Bleche bis maximal 6 mm Dicke zu verwenden. Der Einfluss dieser Bleche auf die Erwärmung des Stahlprofils ist gemäß Anlage 15 a) zu berücksichtigen. Der obere Schenkel der abgekanteten Bleche darf für die Verwendung der Anlage 15 a) eine Breite von 80 mm nicht überschreiten.

(8) Für Randträger entsprechend Anlage 2 a) sind die nach den Anlagen 11 bis 13 ermittelten Temperaturen entsprechend Anlage 15 a) zu korrigieren. Eine seitliche Beflammlung des Randträgers am freien Rand und eine oberseitige Beflammlung müssen ausgeschlossen sein. Das lichte Maß zwischen der Innenkante des äußeren Steges und der Bewehrung muss bei Randträgern mindestens 55 mm betragen.

(9) Mittelträger nach Anlage 2 a) dürfen auch am Deckenrand als Randträger eingesetzt werden. Der Bereich oberhalb des auskragenden Untergurtflansches $b_{fb,2}$ ist mindestens bis zur Oberkante des DELTABEAM Verbundträgers auszubetonieren. Es darf ein werkseitiges, abgekantetes Abschalblech mit einer Dicke bis $t = 6$ mm auf dem Untergurtflansch eingesetzt werden, welches mit einem Abstand ≤ 5 mm zum Ende des auskragenden Untergurtflansches $b_{fb,2}$ auf diesem verschweißt und in Abständen ≥ 600 mm mit Blechlaschen am Obergurt verschweißt wird. Sofern eine seitliche Beflammlung des Deckenrandes möglich ist, sind die Bauteiltemperaturen nach den Anlagen 11 und 12 für dreiseitige Beflammlung zu ermitteln. Wenn keine seitliche Beflammlung des Deckenrandes möglich ist richtet sich die Art der Beflammlung nach der konstruktiven Ausführung an der Innenseite des DELTABEAM Verbundträgers gemäß Anlage 10 a) oder b). Absatz (5) dieses Abschnitts gilt entsprechend.

(10) Die Breite des auskragenden Untergurtflansches von Mittelträgern nach Anlage 2 a) darf auf $b_{fb,2} \geq 50$ mm verkleinert werden. An Deckenrändern oder bei dreiseitiger Beflammlung müssen in diesem Fall die Bauteiltemperaturen gemäß Anlage 14 a) vergrößert werden. Sofern eine seitliche Beflammlung konstruktiv verhindert wird und der Untergurtflansch nicht zur Auflagerung von Deckenlasten herangezogen wird, darf die Breite des auskragenden Untergurtflansches auf $b_{fb,2} \geq 20$ mm reduziert werden. In diesem Fall ist keine Erhöhung der Temperaturen nach Anlage 14 a) erforderlich, die Temperaturen im außenliegenden Steg sind jedoch analog zu Anlage 15 a) für Randträger zu ermitteln.

(11) Wenn im Kernquerschnitt des DELTABEAM Verbundträgers ein zusätzliches Blech zur Querkraft-Verstärkung (Shearplate) angeordnet ist, vgl. Anlage 14 b), linkes Bild, ist der Einfluss auf die Bauteiltemperaturen nach Anlage 14 b) zu berücksichtigen. Die Breite des Kernquerschnitts $b_{fb,1}$ ist dabei für die Anwendung der Formeln nach Anlagen 11 bis 13 durch eine effektive Breite $b_{fb,1,SP}$ nach Anlage 14 b) zu ersetzen. Zusätzlich ist anstelle der Stegdicke t_w die Dicke des Shearplates t_{SP} in den Formeln der Anlagen 11 bis 13 anzusetzen.

2.2.4.3 Momententragsfähigkeit

(1) Die Berechnung der Momententragsfähigkeit im Brandfall ist entsprechend DIN EN 1994-1-2¹³, Abschnitt 4.3.1 auf Grundlage der Plastizitätstheorie an einem brandreduzierten Querschnitt durchzuführen, siehe Anlagen 9, a) und b). Für Querschnittsteile des Stahlprofils mit einem Abstand von mehr als 135 mm gemessen ab der Oberkante des unteren Flansches ist eine Reduzierung der Festigkeit nicht erforderlich. Zusätzliche konstruktive Maßnahmen wie seitliche Abschalprofile dürfen bei der Berechnung der Momententragsfähigkeit nicht angerechnet werden.

(2) Bei gleichzeitiger Wirkung von Schubbeanspruchung aus Querkraft und Torsion gelten die Interaktionsbeziehungen nach 2.2.3.5 bzw. 2.2.3.6, wobei die aufgrund der Temperatureinwirkung reduzierten Werkstofffestigkeiten zu berücksichtigen sind.

(3) Bei Randträgern darf der senkrechte auf Zug beanspruchte äußere Steg des Stahlprofils zur Ermittlung der Momententragsfähigkeit im Brandfall berücksichtigt werden. Bei Druckbeanspruchung ist bei der Ermittlung der positiven Momententragsfähigkeit der Einfluss des Stegboulens zu berücksichtigen.

2.2.4.4 Querkrafttragfähigkeit

(1) Bei einer unmittelbaren Beflammlung des Untergurtes entfällt die umschnürende Wirkung des Stahlprofils auf den Kernbeton. In diesem Fall ergibt sich die Querkrafttragfähigkeit des gesamten Querschnitts allein aus der Querkrafttragfähigkeit der Stahlstege $V_{a,Rd,fi}$. Die Temperaturverteilung im Steg ergibt sich nach den Anlagen 10 bis 15. Steganteile mit Temperaturen oberhalb von 500 °C dürfen nicht und Steganteile mit weniger als 400 °C dürfen voll berücksichtigt werden. Für Steganteile mit Temperaturen von 400 °C bis 500 °C darf vereinfachend der Mittelwert des Reduktionsbeiwerts $k_{a,\theta} = 0,89$ angesetzt werden.

(2) Eine Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit des Gesamtquerschnitts kann durch die Anordnung einer geeigneten Verbügelung nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ erfolgen. Beispiele für eine mögliche Verbügelung sind in Anlage 16, a) dargestellt. Bei einer Ausführung nach Anlage 16, a), Typ 1 sind die Bügel in der Druckzone zu schließen. Wenn die Längsbewehrung nach Anlage 16, a), Typ 2 angeschlossen wird, ist der erforderliche Betonstahlquerschnitt des beidseitig angeschweißten Bewehrungsstabes wie für einen geschlossenen Bügel nach Anlage 16, a), Typ 1 zu ermitteln. Für die Ausführung sind Stabdurchmesser von 8 mm bis 20 mm zulässig. Dabei ist für die Bemessung des horizontalen Bewehrungsstabes eine Streckgrenze von 0,6 $k_{s,\theta} f_{s,f,i,d}$ zu berücksichtigen. Der horizontale Bewehrungsstab ist beidseitig an den Stegen mit umlaufenden Kehlnähten zu verschweißen. Dabei darf die folgende Schweißnahtdicke nicht unterschritten werden:

$$a_w = 0,18 d_s \frac{f_{s,f,i,d}}{f_{y,f,i,d}} \geq 3,5 \text{ mm}$$

(3) Bei Anordnung einer zusätzlichen Bügelbewehrung nach Anlage 16, a) ergibt sich die Querkrafttragfähigkeit aus der Querkrafttragfähigkeit des Stahlprofils und dem Fachwerkmodell nach Anlage 9, c). Die Aufteilung der Bemessungsquerkraft $V_{Ed,fi}$ in den auf das Stahlprofil $V_{a,Ed,fi}$ und auf den Stahlbetonquerschnitt $V_{c,Ed,fi}$ entfallenden Anteil darf wie folgt bestimmt werden:

$$\begin{aligned} V_{a,Ed,fi} &= V_{Ed,fi} \frac{M_{pl,a,Rd,fi}}{M_{pl,Rd,fi}} \\ V_{c,Ed,fi} &= V_{Ed,fi} - V_{a,Ed,fi} \end{aligned}$$

mit:

- $V_{Ed,fi}$ = Bemessungswert der einwirkenden Querkraft im Brandfall
 $M_{pl,a,Rd,fi}$ = Bemessungswert der plastischen Momententragsfähigkeit des Stahlprofils im Brandfall
 $M_{pl,Rd,fi}$ = Bemessungswert der plastischen Momententragsfähigkeit des DELTABEAM Verbundträgers im Brandfall

(4) Die anteilige Bemessungsquerkraft des Stahlprofils $V_{a,Ed,fi}$ darf die in Abschnitt 2.2.3.5 angegebene Querkrafttragfähigkeit des Stahlprofils nicht überschreiten. Für das Fachwerkmodell ist die Druckstrebe und die durch die bügelartige Bewehrung, siehe Anlage 13 a), Abb. 1, gebildete Zugstrebe in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹ und DIN EN 1992-1-2¹² unter Berücksichtigung der temperaturbedingten Abminderung der Materialfestigkeiten zu bestimmen, siehe Anlage 10, c). Die Bestimmung des Stabdurchmessers und -abstandes bei einer Verbügelung nach Anlage 16, a), Typ 2 kann vereinfacht wie für einen geschlossenen Bügel nach Anlage 16, a), Typ 1 erfolgen. Zusätzlich ist in diesen Fällen die Tragfähigkeit der Zugstrebe nachzuweisen, die durch den Stegbereich zwischen den Öffnungen des Stahlprofils gebildet wird.

(5) Bei Ansatz des Kernbetons zum Querkraftabtrag ist die Auflagerung des Querkraftanteils $V_{c,f,i,Ed}$ sicherzustellen. Erfolgt die Auflagerung des Trägers mittels Kopfplatten an den Trägerenden, ist die Einleitung des Querkraftanteils $V_{c,f,i,Ed}$, z. B. durch an die Kopfplatte angeschweißte Kopfbolzendübel und Bügelbewehrung, zu gewährleisten. Sofern die Auflagerung durch eine im Endzustand ausbetonierte Konsole erfolgt, kann sich die Betondruckstrebe auf dem unteren Flansch der Konsole aufstützen. Ein Ausführungsbeispiel ist in Anlage 16, c) dargestellt.

(6) Sofern keine Verbügelung vorgenommen wird und die im Kernbeton befindliche Längsbewehrung für die Biegebemessung im Brandfall herangezogen wird, sind geeignete Maßnahmen zum Anschluss der Bewehrung zu treffen. Zu diesem Zweck ist die Längsbewehrung mit den Stegen zu verschweißen oder eine Endverankerung der Bewehrung durch Verschweißen mit den Kopfplatten an den Trägerenden herzustellen. Die Bewehrung ist nach der DIN EN ISO 17660¹⁴ anzuschließen. Sämtliche Schweißnähte und die Kopfplatten sind unter Berücksichtigung der temperaturbedingten Abminderung der Materialfestigkeiten nachzuweisen. Bei einem direkten Anschluss der Bewehrung an die Stege ist für die Abminderung der Betonstahlfestigkeit die nach Anlage 10 ermittelte Stegtemperatur in der entsprechenden Höhe heranzuziehen.

(7) Sofern eine Verbügelung den Anschluss der Längsbewehrung sicherstellen soll, ist nachzuweisen, dass die aus dem Versatz der Öffnungsmitte zur Längsbewehrung resultierende Druckstreben und Zugkomponenten durch das Fachwerkmodell entsprechend Abschnitt 3.5.4 (4) aufgenommen werden. Vereinfacht darf für die Druckstrebe ein Neigungswinkel von 45° angenommen werden, siehe Anlage 9, d).

(8) Der größte Abstand der Bügelbewehrung (s. Anlage 16) in Trägerlängsrichtung beträgt 300 mm, wenn die Verbügelung ausschließlich den Anschluss der Längsbewehrung im Brandfall sicherstellen soll. Wenn der Kernbeton zum Querkraftabtrag herangezogen wird, gilt für die größten Bügelabstände DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹, Abs. 9.2.2.

2.2.4.5 Verbundtragfähigkeit

(1) Die Auswirkung der Temperaturbeanspruchung auf die Verbundtragfähigkeit der Betondübel ist wie folgt zu berücksichtigen:

$$P_{c,f,i,Rd} = k_{i\theta} \cdot \frac{A_{\phi,f,i}}{A_{\phi}} \cdot P_{f,i,Rd}$$

mit:

| | | |
|----------------|---|---|
| $k_{i\theta}$ | = | $\min(k_{c\theta}, k_{a\theta})$ |
| $k_{c\theta}$ | = | temperaturabhängiger Abminderungsbeiwert für die Betonfestigkeit resultierend aus der Temperatur an Öffnungsunterkante; sofern im Öffnungsbereich Temperaturen oberhalb 500 °C vorliegen ist eine reduzierte Betonfläche anzusetzen und der Abminderungsbeiwert $k_{c\theta}$ für eine Temperatur von 500 °C zu verwenden |
| $k_{a\theta}$ | = | temperaturabhängiger Abminderungsbeiwert für die Streckgrenze des Baustahls infolge der nach Anlage 11 bis 15 ermittelten Temperaturen |
| $A_{\phi,f,i}$ | = | $d_h^2 \pi / 4 - A_{KA}$ |
| d_h | = | Öffnungs durchmesser |
| A_{KA} | = | Anteil der Öffnungsfläche im Bereich mit Temperaturen oberhalb 500 °C |
| A_{ϕ} | = | $d_h^2 \pi / 4$ |
| $P_{f,i,Rd}$ | = | Tragfähigkeit eines Öffnungspaares im Brandfall mit $P_{f,i,Rd} = 1,25 P_{c,Rd}$ mit $P_{c,Rd}$ nach Anlage 7, a), bei Randträgern ist die Hälfte der tabellierten Werte zu verwenden. |

Bei der Ermittlung von A_{KA} ist die nach Anlage 11 bis 15 ermittelte Stegtemperatur zugrunde zu legen.

(2) Die Auswirkung der Temperaturbeanspruchung auf die Tragfähigkeit einer durch die Öffnungen geführten Schubbewehrung ist zu berücksichtigen.

Die Abminderung ist mit den nach Anlagen 11 bis 15 in der Höhenlage der Achse der Schubbewehrung ermittelten Stegtemperaturen durchzuführen:

$$P_{S,f,i,Rd} = k_{i\theta} \cdot P_{s,f,i,net}$$

mit:

$k_{i\theta}$ = Abminderungsbeiwert infolge Temperatur, dabei ist der kleinere Wert aus $k_{ct\theta}$ und $k_{st\theta}$ zu verwenden.

$P_{s,f,i,net}$ = Tragfähigkeit einer durch die Stegöffnung geführten Schubbewehrung mit $P_{s,f,i,net} = P_{s,Rd}$ mit $P_{s,Rd}$ nach Anlage 7, b) mit $\gamma_{Rd} = 1,0$ und f_{cd} bzw. f_{sd} gemäß DIN EN 1994-1-2¹³

2.2.4.6 Auflagerung der Decken

(1) Es ist eine Aufhängebewehrung anzugeben, siehe Anlage 16 b). Die Aufhängebewehrung ist so zu bemessen, dass die Einleitung der Auflagerkräfte aus den Decken in den Verbundträger unter Brandeinwirkung gewährleistet ist.

(2) Die Bemessung der Bewehrung ist unter Ansatz der durch die Temperaturbeanspruchung reduzierten Materialfestigkeiten durchzuführen. Die Bewehrung ist oberhalb des Bereiches $h_{c,f}$ nach DIN EN 1994-1-2¹³, Tabelle F1 anzugeben und es ist ein Verankerungsmaß $l_{b,net}$ von mindestens 250 mm einzuhalten.

2.2.5 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

2.2.5.1 Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand

Für den Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand sind die Verformungen des Stahlprofils ohne Mitwirken der Decke auf Grundlage der Elastizitätstheorie zu berechnen. Dabei sind Verformungsanteile aus Biegung, Torsion und der Profilverformung zu berücksichtigen.

2.2.5.2 Gebrauchstauglichkeit im Endzustand

2.2.5.2.1 Allgemeines

Die Schnittgrößen und Verformungen sind unter Berücksichtigung der Rissbildung zu berechnen. Bei der Verformungsberechnung sind die Einflüsse aus der Belastungsgeschichte sowie aus Kriechen und Schwinden zu berücksichtigen.

Bei Trägern mit einem Verdübelungsgrad η größer 0,5 darf die Nachgiebigkeit der Verbundmittel bei der Verformungsberechnung vernachlässigt werden. Andernfalls ist die Berechnung nach der Theorie des elastischen Verbundes mit den Dübelsteifigkeiten nach Anlage 17 d) durchzuführen.

2.2.5.2.2 Rissbreitenbegrenzung

Für die Beschränkung der Rissbreite gelten die Regelungen von DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹.

Bei Querschnitten mit Aufbeton ist eine durchgehende Mindestbewehrung $a_{s,Riss}$ erforderlich, die für die Rissnormalkraft N_R unter Berücksichtigung der Grenzspannungen nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹, Abschnitt 7.3 zu bestimmen ist, sofern nicht nachgewiesen wird, dass die Zwangskraft unter Berücksichtigung der Rissbildung kleiner als die Rissnormalkraft N_R ist.

$$N_R = k \cdot f_{ct,eff} \cdot h_{ct}$$

mit:

k = Beiwert zur Berücksichtigung von nichtlinear verteilten Eigenspannungen, der mit $k = 0,8$ angenommen werden darf,

$$f_{ct,eff} = \text{effektive Betonzugfestigkeit, für die der Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit } f_{ctm} \text{ nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹, Tabelle 3.1 angesetzt werden darf, jedoch mindestens } 3 \text{ N/mm}^2,$$
$$h_{ct} = \text{Aufbetonhöhe}$$

Wirkt die Mindestbewehrung gleichzeitig als Schulterschubbewehrung so ergibt sich unter Berücksichtigung der erforderlichen Schulterschubbewehrung $a_{s,T}$ die resultierende Gesamtbewehrung a_s aus den nachfolgenden Gleichungen. Der größere Wert ist maßgebend.

$$erfa_s = a_{s,Riss} + 0,5 a_{s,T}$$

$$erfa_s = a_{s,T}$$

2.2.5.2.3 Betondeckung

Die erforderliche Betondeckung ergibt sich nach DIN EN 1992-1-1⁸ / DIN EN 1992-1-1/NA⁹, in Abhängigkeit von der Einstufung in eine Expositionsklasse. Sofern dies zur Einhaltung der Betondeckung erforderlich ist, kann die Bewehrung auch durch zusätzliche Öffnungen, die neben den Entlüftungslöchern in den Stegen des Stahlprofils anzuordnen sind, durchgeführt werden.

2.2.5.2.4 Berechnung der Verformungen

Sofern kein genauerer Nachweis geführt wird, kann die Biegesteifigkeit für die Verformungsberechnung aus der linearisierten Momenten-Krümmungsbeziehung nach Anlage 17 a) bestimmt werden. Dabei ergibt sich das elastische Grenzmoment $M_{el,Rk}$ durch eine dehnungsbegrenzte Berechnung bei Erreichen der Fließdehnung in der äußeren Querschnittsfaser des Stahlprofils bzw. der Längsbewehrung.

Sofern außenliegender Beton und Längsbewehrung (parallel zum DELTABEAM Verbundträger) durch eine Schubbewehrung angeschlossen ist, darf für die Berechnung der Biegesteifigkeit die Breite b_{eff} nach DIN EN 1994-1-1¹¹ verwendet werden. Ist der außenliegende Beton nicht planmäßig an den Kernquerschnitt angeschlossen und ist mit einer gerissenen Kontaktfuge zwischen Betongurt und Stahlträger zu rechnen, begrenzt sich die zur Berechnung der Biegesteifigkeit ansetzbare Breite b_v auf die Breite des Stahlprofiluntergurtes. Sofern im Bereich von Fertigteilen in Trägerlängsrichtung keine Kräfte übertragen werden können, beschränkt sich die Breite b_v auf die Breite des Vergussbetons, siehe Anlage 17 b). In diesem Fall darf die Biegesteifigkeit zur Verformungsberechnung näherungsweise aus dem Mittelwert der Biegesteifigkeit im Zustand I und Zustand II berechnet werden.

2.2.5.2.5 Beanspruchung aus Kriechen und Schwinden

Einflüsse aus Kriechen und Schwinden dürfen nach DIN EN 1994-1-1¹¹, Abschnitt 5.4.2.2 berücksichtigt werden. Sofern die Biegesteifigkeit aus der Momenten-Krümmungsbeziehung bestimmt wird, siehe Abschnitt 2.2.5.2.4, kann anhand der Biegesteifigkeit EJ_{calc} , siehe Anlage 17 a), ein Ersatzquerschnitt definiert werden, siehe Anlage 17 c), bei dem allein der Beton im ungerissenen Bereich angesetzt wird. Für diesen Querschnitt dürfen die zeitabhängigen Einflüsse mit Hilfe von Reduktionszahlen nach DIN EN 1994-1-1¹¹ nach dem Gesamtquerschnittsverfahren berechnet werden.

Die primären Beanspruchungen aus Schwinden gemäß Anlage 17 e) sind in Anlehnung an DIN EN 1994-1-1¹¹, Abschnitt 5.4.2.2 zu bestimmen. Zur Ermittlung der Schwindnormalkraft wird die Fläche des ungerissenen Betons im Bereich der effektiven Breite $b_{eff,s}$ angesetzt. Die Breite $b_{eff,s}$ wird allein zur Ermittlung der Verformungen aus Schwinden eingeführt. Sie entspricht der 1,35-fachen Breite b_v , ist aber kleiner als die geometrische Breite, siehe Anlage 17.

2.3 Ausführung

Die DELTABEAM Verbundträger sind unter Beachtung der Technischen Baubestimmungen auszuführen, sofern im Folgenden nichts anderes bestimmt ist.

Die auf den Lieferscheinen des Stahlbauteils angegebene Ausführungsklasse (EXC2 oder EXC3) ist vom Ausführenden auf Einhaltung der für die Konstruktion festgelegten Anforderungen nach Abschnitt 2.1.2 zu überprüfen.

Beim Ausbetonieren des Stahlprofils ist eine vollständige Entlüftung jeglicher Hohlräume (insbesondere bei Querschnitten mit Abschalprofilen) und eine hinreichende Verdichtung des Betons zu gewährleisten.

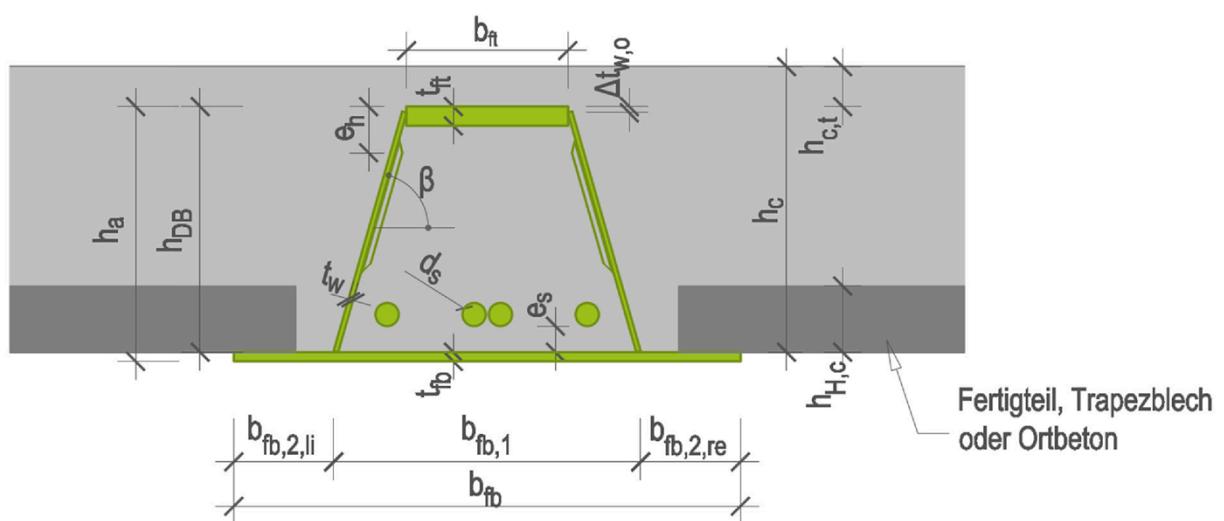
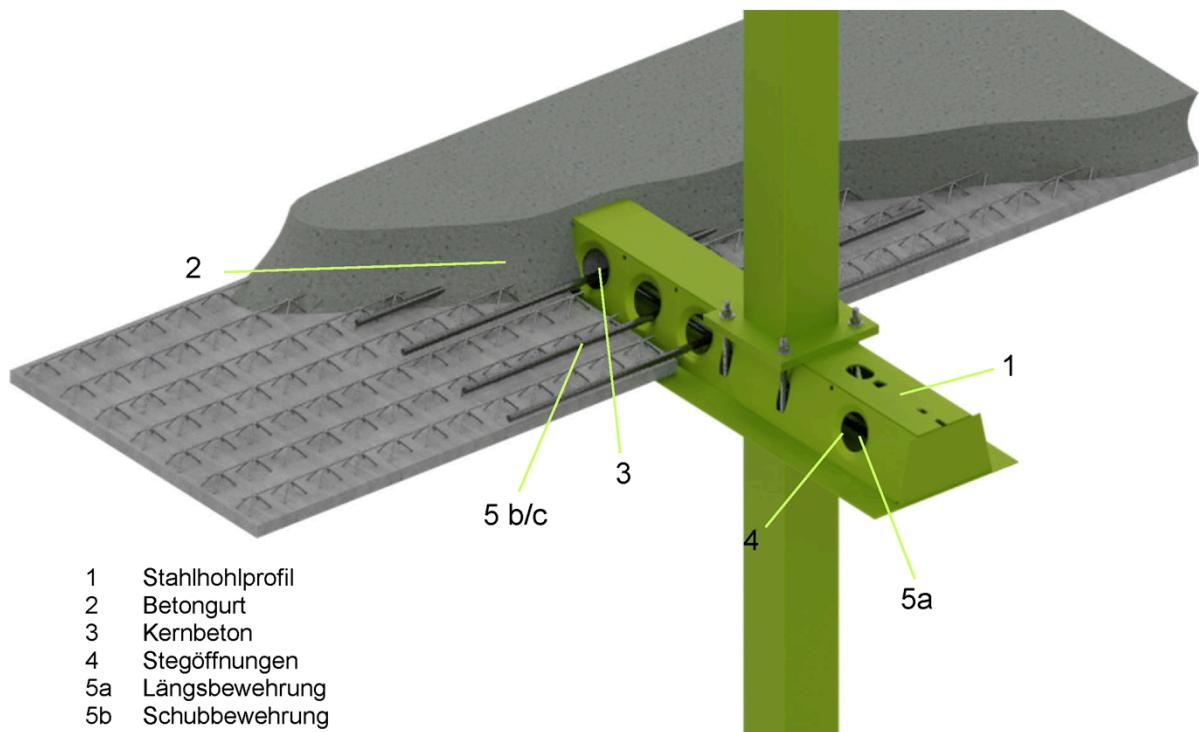
Die bauausführende Firma hat, zur Bestätigung der Übereinstimmung der DELTABEAM Verbundträger mit dieser allgemeinen Bauartgenehmigung, eine Übereinstimmungserklärung gemäß §§ 16 a Abs.5 i.V.m. 21 Abs. 2 MBO¹⁵ abzugeben.

Dr.-Ing. Ronald Schwuchow
Referatsleiter

Begläubigt
Bertram

¹⁵

bzw. deren Umsetzung in den Landesbauordnungen



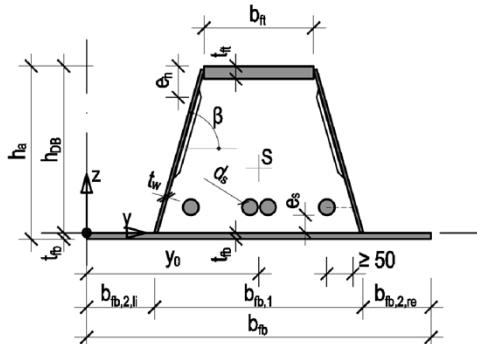
DELTABEAM® Verbundträger

Systemübersicht

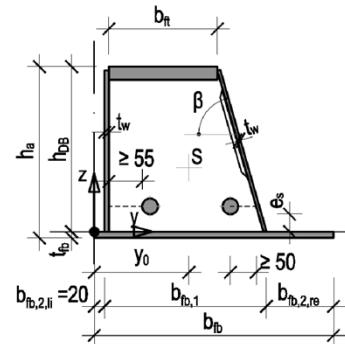
Anlage 1

a) Querschnittstypen

DELTABEAM Mittelträger (D18 bis D70)



DELTABEAM Randträger (DR18 bis DR70)

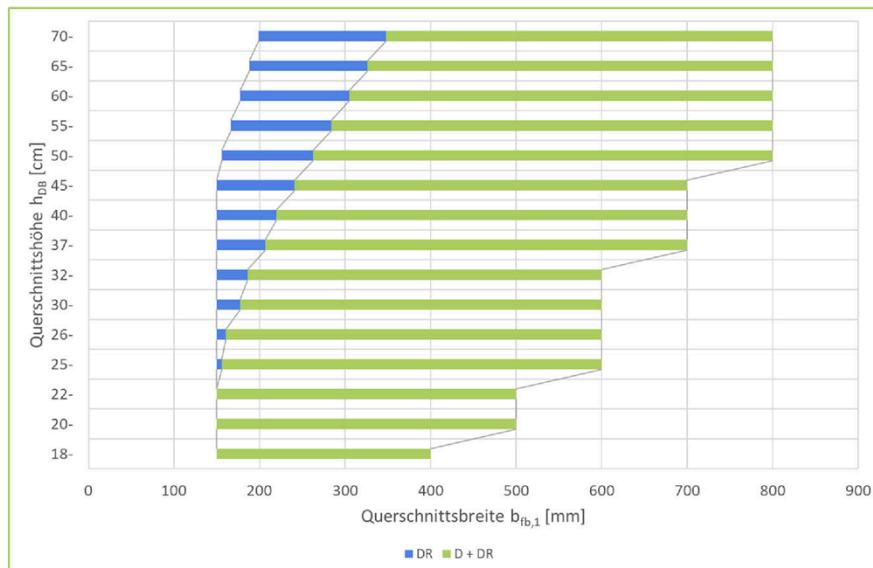


b) Anwendungsgrenzen der Querschnittsparameter

| Abmessungen [mm] | t_{fb} | t_{ft} | t_w | e_h | e_s | β | d_s |
|------------------|----------|----------|-------|-------|-------|---------|-------|
| Min. | 6 | 10 | 5 | 45 | 40 | 71° | 20 |
| Max. | 30 | 60 | 10 | -*) | - | 78° | 40 |

*1) Das Maß e_h ist unter Beachtung folgender Regeln begrenzt: Die Stegöffnungen sollten nach Möglichkeit im Bereich der Druckzone (bezogen auf die Feldmitte) des Trägers angeordnet sein. Die Steghöhe unterhalb der Stegöffnung muss mindestens 25mm (über der Oberkante der Untergurtplatte) betragen.

c) Querschnittsbänder – Minimale und maximale Breite $b_{fb,1}$ in Abhängigkeit von der Trägerhöhe



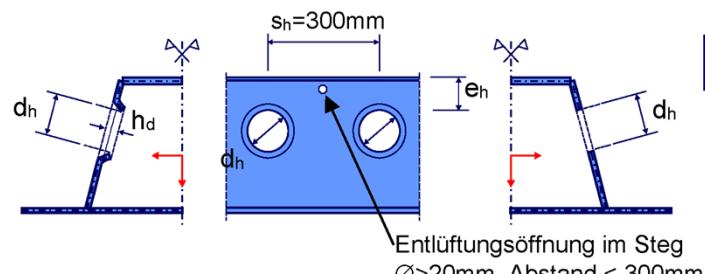
Zwischengrößen von h_{DB} und $b_{fb,1}$ sind frei skalierbar

d) Stegöffnungen

Öffnungsform (DL)

$$d_h = 80\text{mm}, \quad h_d \approx 13\text{mm} \\ d_h = 150\text{mm}, \quad h_d \approx 15\text{mm}$$

Nenndicke der Stege:
 $5\text{mm} \leq t_w \leq 10\text{mm}$



Öffnungsform (NL)

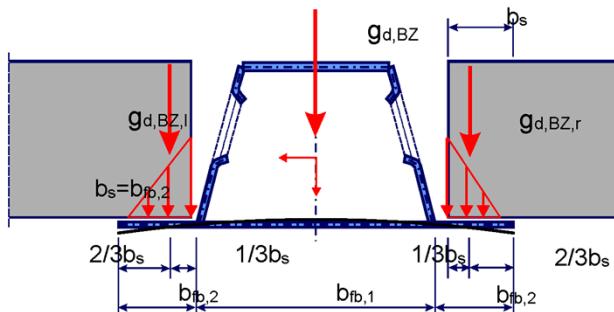
$$d_h = 80\text{mm} \\ d_h = 150\text{mm}$$

DELTABEAM® Verbundträger

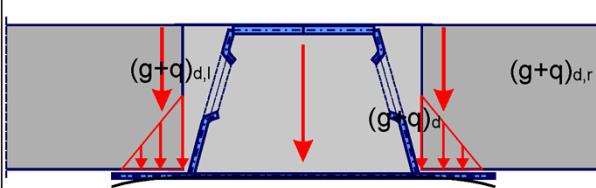
Profiltypen

Anlage 2

- a) Abminderungsbeiwert $\alpha_{m,1}$ der Streckgrenze für den Untergurt im Bereich $b_{fb,1}$ im Endzustand, resultierend aus Beanspruchungen aus der Auflagerung von Fertigteilen im Bauzustand (BZ)



- b) Abminderungsbeiwert $\alpha_{m,2}$ der Streckgrenze für den Untergurt im Bereich $b_{fb,2}$ für Beanspruchungen aus der Auflagerung der Decke im Endzustand (EZ)



$$m_{Ed,q,i} = (g + q)_{d,i} \cdot \frac{1}{3} \cdot b_{fb,2}$$

$$m_{pl,q,d} = f_{yd} \cdot t_{fb}^2 \cdot \frac{L}{4}$$

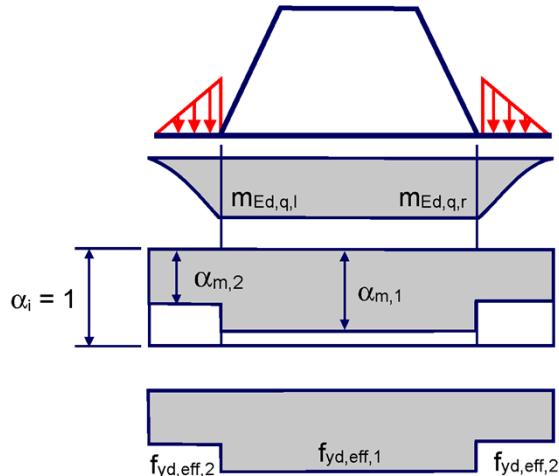
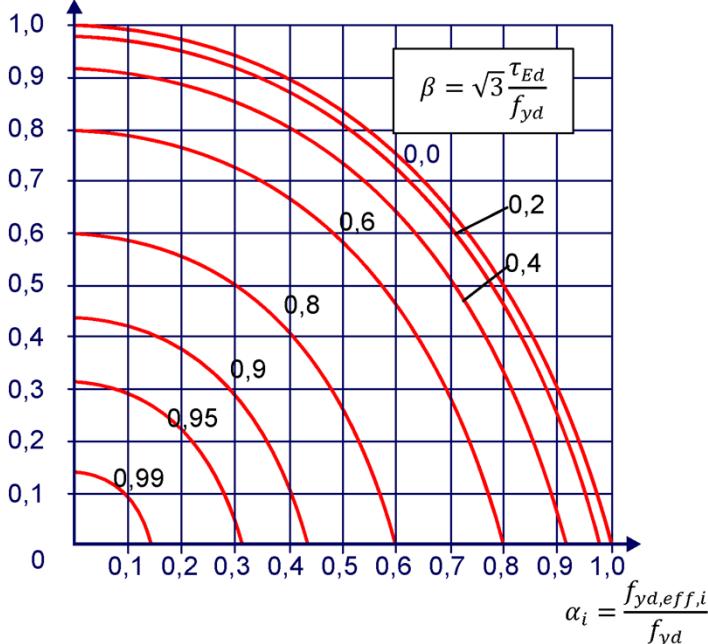
$$\tau_{Ed} = \frac{(g+q)_{d,i}}{t_{fb}}$$

$\Rightarrow \alpha_2$ nach Interaktionsdiagramm

$$f_{yd,eff,2} = f_{yd} \cdot (0,75 + 0,25 \cdot \alpha_2)$$

$$\eta = \frac{m_{Ed,q}}{m_{pl,q,d}}$$

Interaktionsdiagramm



Vereinfachte effektive Verteilung des Bemessungswertes der Streckgrenze im Untergurt zur Ermittlung der Momententrägfähigkeit des Verbund-querschnitts

DELTABEAM® Verbundträger

Interaktion zur Berücksichtigung des Einflusses der Untergurtausbiegung aus der Deckenauflagerung

Anlage 3

| Maximale c/t-Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnitte (Endzustand) | | | | | | |
|---|----------|---------------------|--|---------------------|---------------------|----------|
| Spannungsverteilung Druck positiv (+) | Positive | | | Negative | | |
| | | f_{yd} + f_{yd} | | f_{yd} - f_{yd} | f_{yd} + f_{yd} | |
| Querschnittsklasse 2 | | | Positive Momentenbeanpruchung | | | Negative |
| | | | c_1 / t_{fb} bzw. $c_3 / t_{ft} < 52 \varepsilon$ | | | |
| | | | $c_4 / t_w < 620 \cdot \varepsilon / (13 \cdot \alpha - 1) \quad \text{für } \alpha > 0,5$ $56 \cdot \varepsilon / \alpha \quad \text{für } \alpha \leq 0,5$ | | | |
| | | | $c_2 / t_{fb} < 14 \varepsilon \quad c_5 / t_w < 124 \varepsilon$ | | | |
| Querschnittsklasse 3 | | | | | | |
| | | | c_1 / t_{fb} bzw. $c_3 / t_{ft} < 60 \varepsilon$ | | | |
| | | | $c_4 / t_w < 60 \cdot \varepsilon / (0,67 + 0,33 \cdot \Psi) \quad \text{für } \Psi > -1$ $85 \cdot \varepsilon \cdot (1 - \Psi) \cdot \sqrt{-\Psi} \quad \text{für } \Psi \leq -1$ mit $\sigma_y \leq f_{yd}$ | | | |
| | | | $c_2 / t_{fb} < 20 \varepsilon$ | | | |
| $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ | | f_{yk} | 235 | 275 | 355 | 420 |
| | | ε | 1,00 | 0,92 | 0,81 | 0,75 |
| | | | | | | 0,71 |

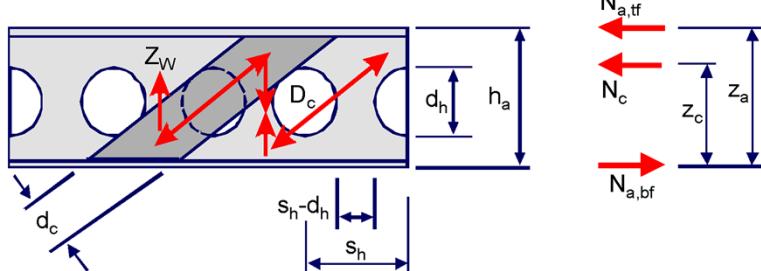
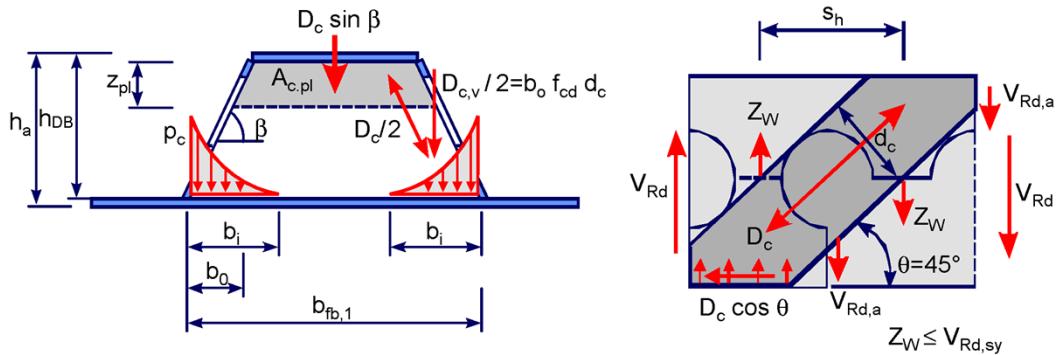
| Effektive Gurtquerschnitte (Druckbeanspruchung), Querschnittsklasse 4 | | | | | | |
|---|---|--|--|---|--|--|
| A) beidseitig gestützter Querschnitt | A) $\Psi = 1$ | | | $b_{eff} = \rho \cdot c_i \rightarrow b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff}$ | | |
| | $\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \Rightarrow \rho = 1$ | | | $\bar{\lambda}_p > 0,673 \Rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$ | | |
| B) einseitig gestützter Querschnitt | $k_\sigma = 9,86$ | | | $\rho = b_{eff}/c_i$ | | |
| | $c_i = c_1, c_3, c_4, c_5$ | | | $t = t_{fb}, t_{ft} \text{ bzw. } t_w$ | | |
| $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{c_i/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$ | B) $\Psi = 1$ | | | $b_{eff} = \rho \cdot c_2$ | | |
| | $\bar{\lambda}_p \leq 0,748 \Rightarrow \rho = 1$ | | | $\bar{\lambda}_p > 0,748 \Rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$ | | |
| | $k_\sigma = 0,855$ | | | $c_i = c_2 \quad t = t_{fb} \quad \rho = b_{eff}/c_2$ | | |

DELTABEAM® Verbundträger

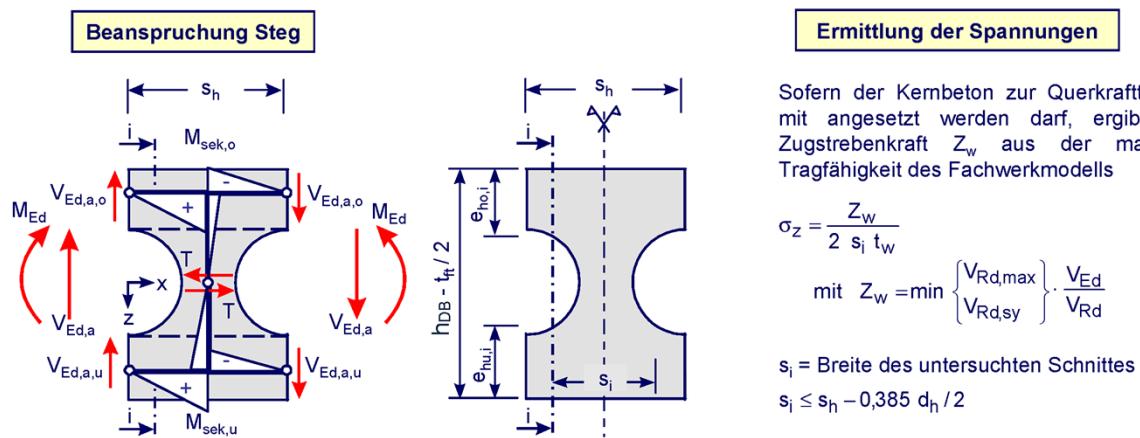
Einstufung in Querschnittsklassen und Berücksichtigung des Einflusses aus lokalem Beulen im Endzustand

Anlage 4

a) Fachwerkmodell

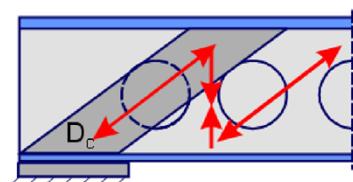


b) Interaktion Moment-Querkraft:

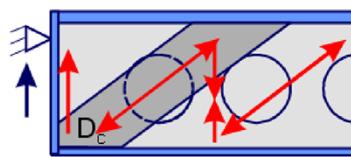


c) Ausleitung der Druckstreb am Auflager:

Direkte Auflagerung



Auflagerung mittels Kopfplatte



DELTABEAM® Verbundträger

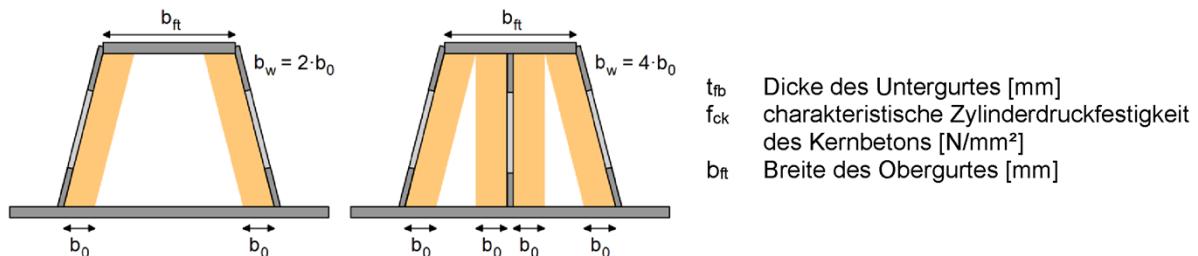
Fachwerkmodell zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit

Anlage 5

a) Wirksame Breite der Betondruckstrebe b_w

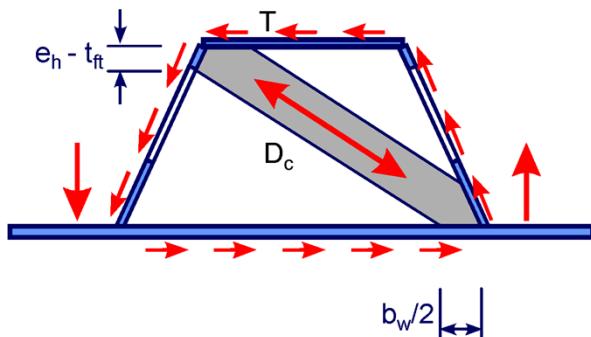
$$b_w = \sum b_{0,i} \leq b_{ft}$$

$$b_0 = 0,45 * [\ln(t_{fb} + 0,55 * f_{ck} + 1) * (120 - f_{ck}) - 245]$$

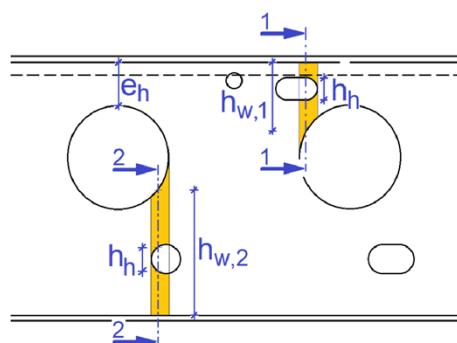


Anmerkung: Bei Einsatz von zusätzlichen Querkraft-Blechen (shearplates) innerhalb des Kernquerschnitts mit $t_{sp} \geq t_w$ (vgl. Anlage 14, b)) darf auch beidseits dieser Bleche eine mitwirkende Breite b_0 angesetzt werden. Überlappende Bereiche von aneinander angrenzenden mitwirkenden Breiten dürfen nicht doppelt in Ansatz gebracht werden. Die Summe der wirksamen Breiten der Betondruckstrebe darf nicht breiter als die Obergurubreite sein. Die Querkraft-Bleche müssen durchgängig mit Ober- und Untergurt verschweißt sein.

b) Beanspruchung infolge Torsion



c) Schnitte und Maße h_h und $h_{w,i}$ zusätzlicher Stegöffnungen



Der maßgebende Schnitt einer zusätzlichen Stegöffnung (hier Schnitt 1-1 und 2-2) ist der Schnitt, bei dem das Verhältnis von h_h zu $h_{w,i}$ am größten ist.

DELTABEAM® Verbundträger

Querkraftbemessung, wirksame Breite b_w der Betondruckstrebe
Beanspruchung infolge Torsion

Anlage 6

a) Bemessungswerte der Tragfähigkeit $P_{c,Rd}$ für ein Öffnungspaar:

$$P_{c,DL,Rd} = \frac{1}{\gamma_v} * 4,60 * f_{ck}^{\frac{1}{3}} * A^{\frac{1}{3}} * \min\left(1; \frac{t_w}{6}\right)$$

$$P_{c,NL,Rd} = \frac{1}{\gamma_v} * 9,82 * f_{ck}^{\frac{1}{3}} * A^{\frac{1}{5}} * \min\left(1; \frac{t_w}{6}\right)$$

mit

| | |
|-----------------------|---|
| f_{ck} | charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons [N/mm ²], maximal 35 N/mm ² |
| $\gamma_v = 1,25$ | Sicherheitsbeiwert der Verbundmittel (im Brandfall $\gamma_{v,fi} = 1,00$) |
| $A = \pi * d_h^2 / 4$ | Querschnittsfläche des BetondüBELS [mm ²] |
| d_h | Durchmesser der Stegöffnung mit $60\text{mm} \leq d_h \leq 160\text{mm}$ |
| t_w | Stegdicke [mm] |

Tragfähigkeiten ausgewertet für $t_w \geq 6\text{mm}$:

| Öffnungsform | DL | | NL | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 80 | 150 | 80 | 150 |
| Betonfestigkeitsklasse | kN | kN | kN | kN |
| C 20/25 | 171 | 260 | 117 | 151 |
| C 25/30 | 184 | 280 | 126 | 162 |
| C 30/37 | 196 | 298 | 134 | 173 |
| $\geq C 35/45$ | 206 | 314 | 141 | 182 |

mit $\gamma_v = 1,25$
Bei Randträgern sind die Werte zu halbieren

Für zusätzliche, mit Ober- und Untergurt verschweißte Querkraft-Bleche im Kernquerschnitt (Shearplate) mit NL-Typ Stegöffnungen darf je Stegöffnung die Hälfte der oben genannten Tragfähigkeiten zusätzlich angesetzt werden.

b) Bemessungswerte der Längsschubtragfähigkeit $P_{s,Rd}$ einer durch die Öffnungen durchgesteckten Längsbewehrung, je Schnittebene und je anrechenbarem Bewehrungsstab

$$P_{s,Rd} = k_s \cdot \frac{1,3}{\gamma_{Rd}} \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f_{cd} \cdot f_{sd} \cdot (1 - \xi^2)} \leq \frac{A_s \cdot f_{sd}}{\sqrt{3}} \quad \text{in [N]}$$

mit

$$k_s = \frac{2}{0,1 \cdot d_s} \leq 1,0$$

$\gamma_{Rd} = 1,3$ Sicherheitsbeiwert (im Brandfall $\gamma_{Rd,fi} = 1,0$)

d_s Durchmesser des BetonstahldüBELS in [mm]

A_s Querschnittsfläche des BetonstahldüBELS in [mm²]

$\xi = \frac{\sigma_s}{f_{sd}}$ Ausnutzungsgrad der Querbewehrung in Längsrichtung

σ_s vorhandene Längsspannung in der Querbewehrung aus anderen Einwirkungen(z.B. Scheibenwirkung der Decke) in [N/mm²]

f_{sd} Streckgrenze des Betonstahls in [N/mm²]

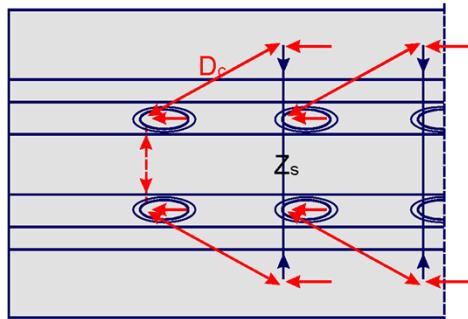
f_{cd} Druckfestigkeit des Vergussbetons in [N/mm²]

DELTABEAM® Verbundträger

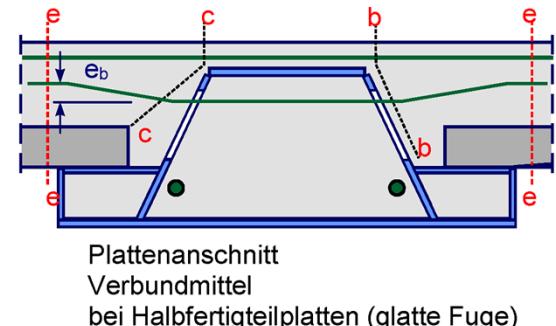
Längsschubtragfähigkeit der BetondüBEL und Bewehrung

Anlage 7

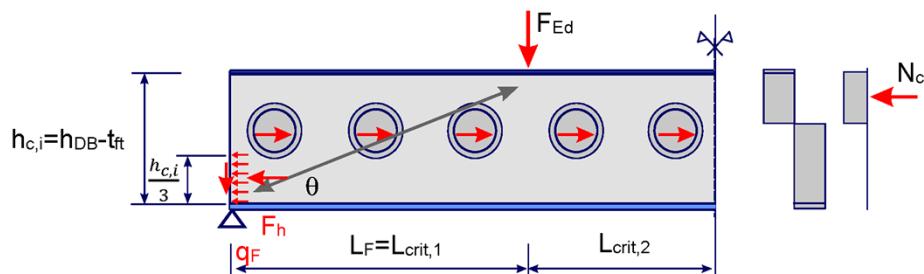
a) Ausleitung der Längsschubkräfte



Maßgebende Schnitte der Längsschubtragfähigkeit

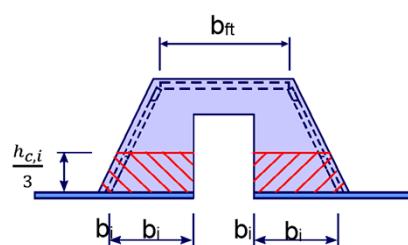


b) Bemessung der Kopfplatte bei auflagernahen Einzellasten $L_F \leq 2,5 h_{DB}$



$$F_h = \frac{F_{Ed}}{\tan \theta} \Rightarrow q_F = \frac{F_h}{\sum b_i \cdot \frac{h_{c,i}}{3}}$$

N_{c1} = Längsschubkraft im krit.
Schnitt $L_{crit,1}$, resultierend aus F_{Ed}

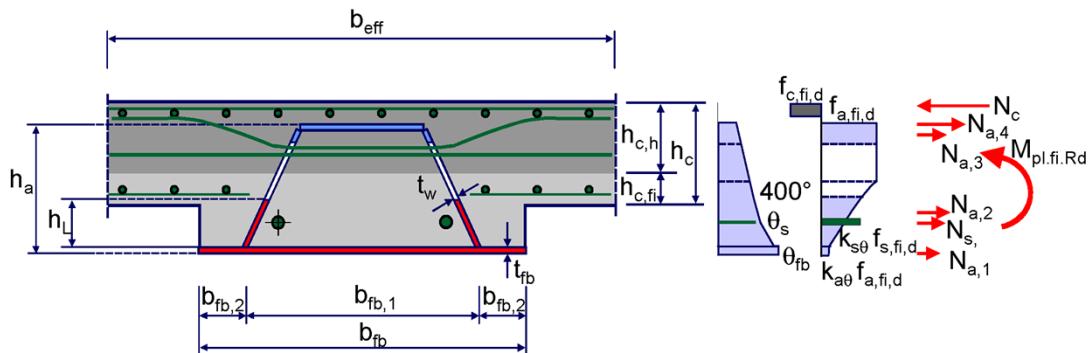


DELTABEAM® Verbundträger

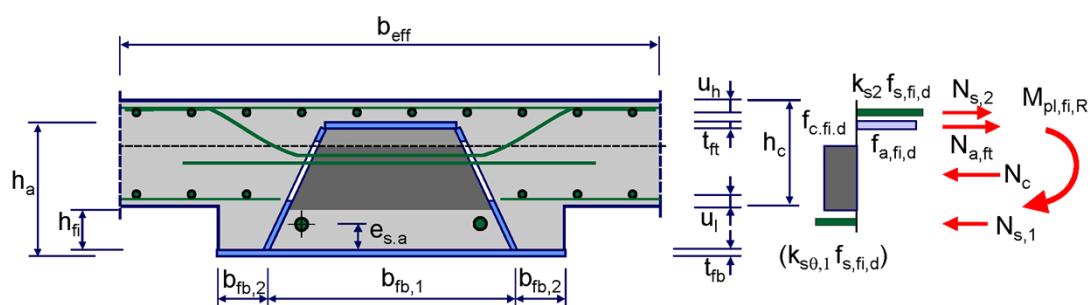
Nachweis der Längsschubtragfähigkeit

Anlage 8

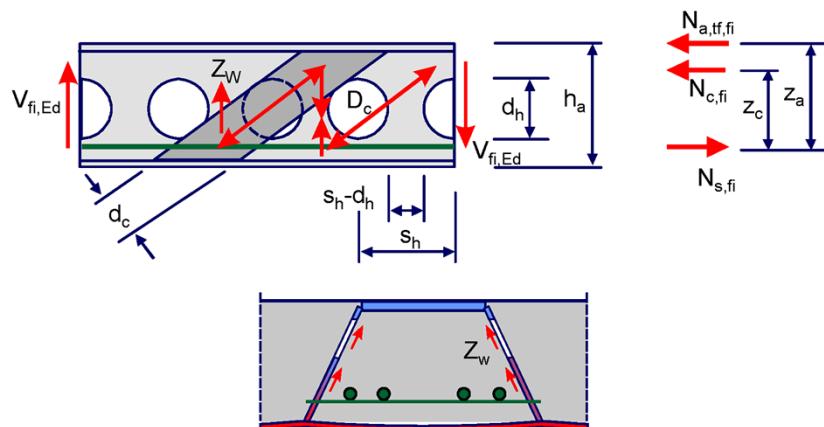
a) Brandreduzierter Querschnitt zur Ermittlung der positiven Momententrägfähigkeit (beispielhaft)



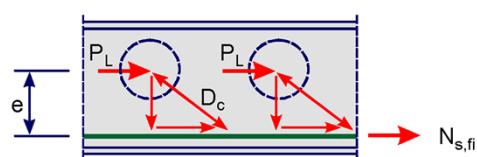
b) Brandreduzierter Querschnitt zur Ermittlung der negativen Momententrägfähigkeit (beispielhaft)



c) Fachwerkmodell zum Querkraftabtrag im Brandfall bei einer zusätzlich angeordneten Bügelbewehrung nach Anlage 16 a)



d) Druckstrebe resultierend aus der Einleitung der Längsschubkräfte in den Kernbeton

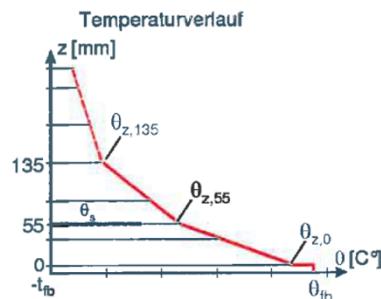


DELTABEAM® Verbundträger

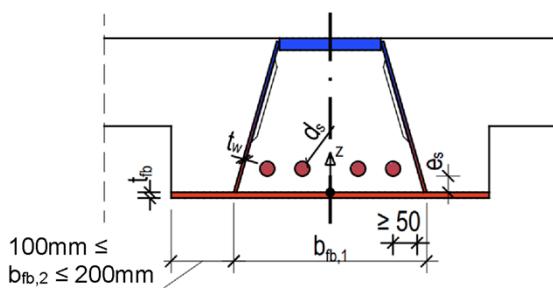
Bemessung im Brandfall - Querschnittstragfähigkeiten

Anlage 9

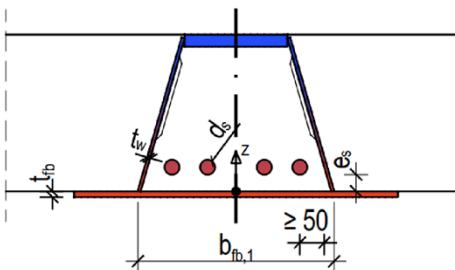
Die in Anlage 11 angegebenen Funktionen dienen der Ermittlung der Bauteiltemperatur im Stahlquerschnitt des DELTABEAM® Verbundträgers als Mittelträger. Abhängig von der Untergurtbreite und der Dicke des Untergurbleches sind unterschiedliche Funktionen für die 6 betrachteten Referenzpunkte zu verwenden. Die Funktionen gelten unter Berücksichtigung der jeweiligen Faktoren nach Anlage 12 bzw. 13 für dreiseitig und einseitig beflamme Querschnitte. Ergänzende Formeln und Korrekturfaktoren für Sonderquerschnitte (reduzierte seitliche Betondeckung, Randträger, Querschnitte mit zusätzlichen Stegblechen etc.) befinden sich in Anlage 14 und 15.



a) Querschnitt mit dreiseitiger Beflamzung



b) Querschnitt mit einseitiger Beflamzung



Hinweis:

Sofern der Querschnitt oberhalb der Untergurt-Flansche vollständig ausbetoniert ist, dürfen die Bauteiltemperaturen für Querschnitte mit einer Flanschbreite $b_{fb,2} \geq 200\text{mm}$ als einseitig beflammt nach Anlagen 11 und 13 ermittelt werden.
Zwischen $100\text{mm} \leq b_{fb,2} \leq 200\text{mm}$ darf zwischen dreiseitiger und einseitiger Beflamzung linear interpoliert werden.

c) Abkürzungen:

Abmessungen des DELTABEAM®:

- $b_{fb,1}$ = Breite des Untergurbleches zwischen den Stegen [mm]
- $b_{fb,2}$ = Breite der auskragenden Untergurtflansche [mm]
- t_{fb} = Dicke des Untergurbleches [mm]
- t_w = Dicke des Stegbleches [mm]
- d_s = Durchmesser der Brandbewehrung [mm]
- e_s = lichter vertikaler Abstand der Brandbewehrung zum Untergurt [mm]
- h_{DB} = Nennhöhe über OK Untergurt [mm]

Faktoren für die Funktionen zur Bestimmung der Temperatur nach Anlage 11 bis 13:

- a_{ds} = Faktor für die Berücksichtigung von Brandbewehrung mit $d_s > 20\text{mm}$
- b_{es} = Faktor für die Berücksichtigung des lichten vertikalen Abstands der Brandbewehrung zum Untergurt $e_s > 40\text{mm}$
- c_{fb} = Faktor für die Berücksichtigung von kleinen Untergurtbreiten
- d_{tfb} = Faktor für die Berücksichtigung von größerer Untergurtdicke
- e_{tw} = Faktor für die Berücksichtigung von Stegen mit $t_w > 5\text{mm}$

Bezeichnungen Temperaturverlauf:

- T_{FW} = betrachtete Branddauer [min]
- $\theta_{z,i}$ = Temperatur im Steg [°C] an der Stelle $z=i$ mm über Oberkante Untergurt
- θ_{fb} = mittlere Temperatur im Untergurt [°C]
- θ_s = Temperatur in der Längsbewehrung [°C]

DELTABEAM® Verbundträger

Bemessung im Brandfall – Grundlagen für die Ermittlung der Bauteiltemperaturen

Anlage 10

Funktionen zur Ermittlung der Basistemperatur θ_i

a) Untergurt

| Untergurtbreite | Dicke des Untergurts | Funktion zur Bestimmung der Bauteiltemperatur |
|--|--|---|
| $b_{fb,1} \geq 300\text{mm}:$ | $6\text{mm} \leq t_{fb} \leq 15\text{mm} :$ $15\text{mm} < t_{fb} \leq 30\text{mm} :$ | $\theta_{fb} = \theta_{0,fb} + d_{tfb,0,fb} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,fb} * (t_w - 5)$ $\theta_{fb} = \theta_{0,fb} + d_{tfb,0,fb} * (15 - 6) + d_{tfb,1,fb} * (t_{fb} - 15) + e_{tw,fb} * (t_w - 5)$ |
| $150\text{mm} \leq b_{fb,1} < 300\text{mm}:$ | $6\text{mm} \leq t_{fb} \leq 15\text{mm} :$ $15\text{mm} < t_{fb} \leq 30\text{mm} :$ | $\theta_{fb} = \theta_{0,fb} + c_{bf,fb} * (300 - b_{fb,1}) + d_{tfb,0,fb} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,fb} * (t_w - 5)$ $\theta_{fb} = \theta_{0,fb} + c_{bf,fb} * (300 - b_{fb,1}) + d_{tfb,0,fb} * (15 - 6) + d_{tfb,1,fb} * (t_{fb} - 15) + e_{tw,fb} * (t_w - 5)$ |

b) Steg bei $z=0\text{mm}$

| Untergurtbreite | Dicke des Untergurts | Funktion zur Bestimmung der Bauteiltemperatur |
|--|--|---|
| $b_{fb,1} \geq 200\text{mm}:$ | $6\text{mm} \leq t_{fb} \leq 15\text{mm} :$ $15\text{mm} < t_{fb} \leq 30\text{mm} :$ | $\theta_{z0} = \theta_{0,z0} + d_{tfb,0,z0} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,z0} * (t_w - 5)$ $\theta_{z0} = \theta_{0,z0} + d_{tfb,0,z0} * (15 - 6) + d_{tfb,1,z0} * (t_{fb} - 15) + e_{tw,z0} * (t_w - 5)$ |
| $150\text{mm} \leq b_{fb,1} < 200\text{mm}:$ | $6\text{mm} \leq t_{fb} \leq 15\text{mm} :$ $15\text{mm} < t_{fb} \leq 30\text{mm} :$ | $\theta_{z0} = \theta_{0,z0} + c_{bf,fb,z0} * (200 - b_{fb,1}) + d_{tfb,0,z0} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,z0} * (t_w - 5)$ $\theta_{z0} = \theta_{0,z0} + c_{bf,fb,z0} * (200 - b_{fb,1}) + d_{tfb,0,z0} * (15 - 6) + d_{tfb,1,z0} * (t_{fb} - 15) + e_{tw,z0} * (t_w - 5)$ |

c) Steg bei $z=55\text{mm}$ und d) Steg bei $z=135\text{mm}$

| Untergurtbreite | Funktion zur Bestimmung der Bauteiltemperatur |
|--|--|
| $b_{fb,1} \geq 300\text{mm}:$ | $\theta_{z55/135} = \theta_{0,z55/135} + d_{tfb,0,z55/135} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,z55/135} * (t_w - 5)$ |
| $200\text{mm} \leq b_{fb,1} < 300\text{mm}:$ | $\theta_{z55/135} = \theta_{0,z55/135} + c_{bf,fb,0,z55/135} * (300 - b_{fb,1}) + d_{tfb,z55/135} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,z55/135} * (t_w - 5)$ |
| $150\text{mm} \leq b_{fb,1} < 200\text{mm}:$ | $\theta_{z55/135} = \theta_{0,z55/135} + c_{bf,fb,0,z55/135} * (300 - 200) + c_{bf,fb,1,z55/135} * (200 - b_{fb,1}) + d_{tfb,z55/135} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,z55/135} * (t_w - 5)$ |

e) Steg bei $z=h_{DB}$

$$\theta_{zh} = \frac{[f_B(h_{DB}) + \Delta f_w(h_{DB}, t_w, T_{FW}) + \Delta f_{bf,1}(h_{DB}, T_{FW}, b_{fb,1}, t_w)]}{a_{red}(h_{DB}, b_{fb,1}, T_{FW})} \leq \theta_{z135}$$

mit:

$$f_B(h_{DB}) = 20 + \frac{7}{120} * T_{FW} + (-3,5 * 10^5 + 3,9 * 10^4 * T_{FW}) / h_{DB}^2$$

$$\Delta f_w(h_{DB}, t_w, T_{FW}) = (-8 * 10^3 + 1,05 * 10^3 * T_{FW}) / h_{DB}^{1,7} * (t_w - 5)$$

für $b_{fb,1} \geq 300\text{mm}$ gilt:

$$\Delta f_{bf,1}(h_{DB}, T_{FW}, b_{fb,1}, t_w) = 0$$

für $b_{fb,1} < 300\text{mm}$ gilt:

$$\Delta f_{bf,1}(h_{DB}, T_{FW}, b_{fb,1}, t_w) = (-1,32 * 10^{-2} + 5,09 * 10^{-5} * h_{DB}) * (T_{FW} - 10) * (b_{fb,1} - 300) * \left(\frac{t_w}{5}\right) \geq 0$$

$$a_{red}(h_{DB}, b_{fb,1}, T_{FW}) = (a_{corr} * (T_{FW} - 60)^2 + c_{corr} - 1) * \frac{(300 - b_{fb,1})}{140} + 1 \geq 1$$

$$c_{corr} = 1 + 0,0033 * (220 - h_{DB}) \geq 1 \quad a_{corr} = -(c_{corr} - 1) / 3600 \leq 0$$

f) Brandbewehrung

| Untergurtbreite | Funktion zur Bestimmung der Bauteiltemperatur |
|--|--|
| $b_{fb,1} \geq 300\text{mm}:$ | $\theta_s = \theta_{0,s} + a_{ds,s} * (d_s - 20) + b_{es,s} * (e_s - 40) + d_{tfb,s} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,s} * (t_w - 5)$ |
| $200\text{mm} \leq b_{fb,1} < 300\text{mm}:$ | $\theta_s = \theta_{0,s} + a_{ds,s} * (d_s - 20) + b_{es,s} * (e_s - 40) + c_{bf,fb,0,s} * (300 - b_{fb,1}) + d_{tfb,s} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,s} * (t_w - 5)$ |
| $150\text{mm} \leq b_{fb,1} < 200\text{mm}:$ | $\theta_s = \theta_{0,s} + a_{ds,s} * (d_s - 20) + b_{es,s} * (e_s - 40) + c_{bf,fb,0,s} * (300 - 200) + c_{bf,fb,1,s} * (200 - b_{fb,1}) + d_{tfb,s} * (t_{fb} - 6) + e_{tw,s} * (t_w - 5)$ |

DELTABEAM® Verbundträger

Bemessung im Brandfall – Formeln für die Ermittlung der Bauteiltemperaturen

Anlage 11

a) Untergurt

| Faktor | T _{FW} [min.] | 120 | 110 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
|------------------------------------|-----------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| θ_{fb} für Untergurt | | | | | | | | | | | | | |
| Ausgangstemperatur $\theta_{0,fb}$ | | 1010 °C | 993 °C | 979 °C | 961 °C | 934 °C | 906 °C | 869 °C | 818 °C | 743 °C | 670 °C | 517 °C | 279 °C |
| Untergurtbreite $c_{bf,fb}$ | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,02 | -0,02 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,02 | -0,08 | -0,05 | 0,00 |
| Untergurtdicke $d_{tf,0,fb}$ | $b_{fb1} \geq 300\text{mm}$ | -0,7 | -0,8 | -1 | -1,2 | -1,3 | -2,5 | -4,5 | -7 | -5,1 | -8,5 | -10,8 | -7,3 |
| | $b_{fb1} < 300\text{mm}$ | -0,7 | -0,8 | -1 | -1,2 | -1,3 | -2,5 | -4,5 | -5,8 | -5,1 | -8 | -9,5 | -7,1 |
| Untergurtdicke $d_{tf,1,fb}$ | $b_{fb1} \geq 300\text{mm}$ | -0,8 | -0,9 | -1,3 | -2,2 | -3,8 | -5,9 | -5,5 | -3,9 | -5,8 | -7,1 | -6 | -3,4 |
| | $b_{fb1} < 300\text{mm}$ | -0,8 | -0,9 | -1,3 | -2,2 | -3,3 | -4,7 | -4 | -3,5 | -4,8 | -5,4 | -5 | -3 |
| Stegdicke $e_{tw,fb}$ | $b_{fb1} \geq 300\text{mm}$ | -0,9 | -1 | -1,8 | -2,4 | -1,9 | -2,1 | -1,7 | -1,8 | -1,5 | -2,7 | -1,7 | -0,3 |
| | $b_{fb1} < 300\text{mm}$ | -0,9 | -1 | -1,8 | -2,4 | -3,3 | -4,1 | -4,2 | -3,8 | -4,4 | -5,2 | -4,2 | -1,3 |

b) Steg bei z=0mm

| Faktor | | $\theta_{z,0}$ für Steg z=0mm | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ausgangstemperatur $\theta_{0,z0}$ | | 955 °C | 933 °C | 913 °C | 886 °C | 853 °C | 816 °C | 770 °C | 706 °C | 652 °C | 561 °C | 420 °C | 221 °C |
| Untergurtbreite $c_{bf,0,z0}$ | | 0,15 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | -0,04 | -0,02 | 0,00 |
| Untergurtdicke $d_{tf,0,z0}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -2,7 | -1,9 | -2,5 | -4 | -5 | -4 |
| | $d_{tf,1,z0}$ | -1,3 | -1,4 | -1,9 | -2,1 | -3,6 | -4,6 | -2,8 | -3,1 | -4,7 | -5,3 | -4,7 | -2,7 |
| Stegdicke $e_{tw,z0}$ | | -6,1 | -6,8 | -7,5 | -8,5 | -9 | -9,5 | -9,5 | -8 | -9 | -8,5 | -7,5 | -3 |

c) Steg bei z=55mm

| Faktor | | $\theta_{z,55}$ für Steg z=55mm | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Ausgangstemperatur $\theta_{0,z55}$ | | 522 °C | 495 °C | 472 °C | 441 °C | 410 °C | 375 °C | 333 °C | 291 °C | 244 °C | 186 °C | 122 °C | 62 °C |
| Untergurtbreite $c_{bf,0,z55}$ | 0,13 | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | $c_{bf,1,z55}$ | 0,22 | 0,21 | 0,16 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,06 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Untergurtdicke $d_{tf,0,z55}$ | -0,9 | -0,7 | -1,1 | -1,2 | -1,6 | -1,8 | -1,7 | -1,7 | -1,9 | -1,8 | -1,3 | -0,7 | -0,7 |
| | $d_{tf,1,z55}$ | $b_{fb1} \geq 200\text{mm}$ | 7 | 7 | 7 | 7,5 | 7,5 | 7 | 7,5 | 7 | 6,2 | 5 | 3,6 |
| Stegdicke $e_{tw,z55}$ | $b_{fb1} < 200\text{mm}$ | 12 | 10,8 | 10 | 9,5 | 8,3 | 7 | 7,5 | 7 | 6,2 | 5 | 3,6 | 1,8 |

d) Steg bei z=135mm

| Faktor | | $\theta_{z,135}$ für Steg z=135mm | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ausgangstemperatur $\theta_{0,z135}$ | | 217 °C | 196 °C | 177 °C | 156 °C | 138 °C | 123 °C | 104 °C | 88 °C | 70 °C | 51 °C | 35 °C | 24 °C |
| Untergurtbreite $c_{bf,0,z135}$ | 0,31 | 0,23 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | $c_{bf,1,z135}$ | 0,73 | 0,55 | 0,34 | 0,22 | 0,16 | 0,14 | 0,17 | 0,25 | 0,24 | 0,17 | 0,04 | 0,00 |
| Untergurtdicke $d_{tf,0,z135}$ | -0,6 | -0,6 | -0,6 | -0,6 | -0,5 | -0,5 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | -0,1 |
| | $d_{tf,1,z135}$ | $b_{fb1} \geq 200\text{mm}$ | 12,5 | 12 | 11 | 10,8 | 9,7 | 8 | 7,4 | 6,4 | 5,2 | 3,8 | 2,2 |
| Stegdicke $e_{tw,z135}$ | $b_{fb1} < 200\text{mm}$ | 23 | 23 | 21,3 | 18,8 | 14,9 | 11,2 | 9 | 6,4 | 5,2 | 3,8 | 2,2 | 0,7 |

f) Brandbewehrung

| Faktor | | θ_s für die Brandbewehrung | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Ausgangstemperatur $\theta_{0,s}$ | | 438 °C | 410 °C | 382 °C | 351 °C | 317 °C | 279 °C | 238 °C | 191 °C | 144 °C | 106 °C | 68 °C | 33 °C |
| Brandbewehrungs-durchmesser $a_{ds,s}$ | $b_{fb1} \geq 200\text{mm}$ | -2,30 | -2,50 | -2,40 | -2,30 | -2,10 | -1,90 | -1,60 | -1,30 | -0,70 | -0,90 | -0,30 | -0,10 |
| | $b_{fb1} < 200\text{mm}$ | -2,20 | -1,90 | -2,00 | -1,80 | -1,90 | -1,30 | -1,30 | -1,00 | -0,70 | -0,50 | -0,50 | -0,20 |
| vertikaler lichter Bewehrungsabstand $b_{es,s}$ | $b_{fb1} \geq 200\text{mm}$ | -5,10 | -4,90 | -4,80 | -4,70 | -4,60 | -4,40 | -3,90 | -3,00 | -2,30 | -1,50 | -1,20 | -0,40 |
| | $b_{fb1} < 200\text{mm}$ | -3,90 | -3,80 | -3,80 | -4,00 | -3,80 | -4,00 | -3,70 | -3,20 | -1,80 | -1,20 | -0,70 | -0,20 |
| Untergurtbreite $c_{bf,0,s}$ | | 0,39 | 0,36 | 0,29 | 0,24 | 0,19 | 0,14 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| | $c_{bf,1,s}$ | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,15 | 0,05 | 0,00 | 0,03 | 0,01 |
| Untergurtdicke $d_{tf,s}$ | | -1,4 | -1,5 | -1,7 | -1,8 | -1,9 | -1,9 | -1,9 | -1,8 | -1,3 | -1 | -0,7 | -0,3 |
| | $e_{tw,s}$ | $b_{fb1} \geq 200\text{mm}$ | 3,5 | 3,6 | 3,0 | 2,7 | 2,4 | 2,2 | 1,7 | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| Stegdicke $e_{tw,s}$ | $b_{fb1} < 200\text{mm}$ | 13,4 | 11,0 | 10,6 | 9,7 | 9,0 | 7,0 | 5,3 | 3,8 | 1,7 | 1,3 | 0,7 | 0,1 |

DELTABEAM® Verbundträger

Bemessung im Brandfall – Faktoren für die Ermittlung der Bauteiltemperaturen
Dreiseitige Beflammlung

Anlage 12

a) Untergurt

| Faktor | T _{FW} [min.] | 120 | 110 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
|---------------------------------------|--------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ausgangstemperatur: θ _{0,fb} | | 1005 °C | 989 °C | 971 °C | 950 °C | 926 °C | 898 °C | 863 °C | 810 °C | 734 °C | 661 °C | 510 °C | 275 °C |
| Untergurtbreite: C _{bfb,fb} | | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,09 | -0,12 | -0,14 | -0,08 | -0,16 | -0,15 | -0,08 |
| Untergurtdicke: d _{tfb,0,fb} | b _{fb1} ≥ 300mm | -0,7 | -0,8 | -1,0 | -1,2 | -1,3 | -2,4 | -4,5 | -7,0 | -4,3 | -8,5 | -10,8 | -7,3 |
| | b _{fb1} < 300mm | -0,7 | -0,8 | -1,0 | -1,2 | -1,3 | -2,6 | -4,5 | -5,6 | -4,9 | -7,8 | -8,8 | -6,2 |
| Untergurtdicke: d _{tfb,1,fb} | b _{fb1} ≥ 300mm | -0,9 | -1,1 | -1,4 | -2,1 | -3,8 | -6,3 | -5,6 | -3,6 | -6,4 | -7,3 | -6,1 | -3,3 |
| | b _{fb1} < 300mm | -0,9 | -1,1 | -1,4 | -2,1 | -3,6 | -4,7 | -4,0 | -3,3 | -4,9 | -5,7 | -4,7 | -2,8 |
| Stegdicke: e _{tw,fb} | b _{fb1} ≥ 300mm | -0,9 | -1,0 | -1,2 | -1,2 | -1,3 | -1,5 | -1,7 | -1,8 | -1,5 | -2,1 | -1,7 | -0,3 |
| | b _{fb1} < 300mm | -0,9 | -1,0 | -1,8 | -2,4 | -3,3 | -4,1 | -3,6 | -3,8 | -4,4 | -3,5 | -4,2 | -1,3 |

b) Steg bei z=0mm

| Faktor | | θ _{z,0} für Steg z=0mm | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ausgangstemperatur: θ _{0,z0} | | 940 °C | 920 °C | 898 °C | 873 °C | 844 °C | 807 °C | 763 °C | 700 °C | 648 °C | 557 °C | 416 °C | 219 °C |
| Untergurtbreite: C _{bfb,z0} | | 0,17 | 0,13 | 0,11 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | -0,02 | 0,00 | -0,06 | -0,06 | -0,04 | 0,00 |
| Untergurtdicke: d _{tfb,0,z0} | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1,3 | -3,5 | -1,9 | -3,1 | -4,9 | -5,8 | -4 |
| d _{tfb,1,z0} | | -1,1 | -1,3 | -1,7 | -2,5 | -4,3 | -5 | -2,8 | -3,5 | -4,7 | -5,3 | -4,7 | -2,7 |
| Stegdicke: e _{tw,z0} | | -6,9 | -7,2 | -7,8 | -8,3 | -9,2 | -7,9 | -8,1 | -7,6 | -9 | -7,9 | -6,3 | -2,8 |

c) Steg bei z=55mm

| Faktor | | θ _{z,55} für Steg z=55mm | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Ausgangstemperatur: θ _{0,z55} | | 483 °C | 460 °C | 443 °C | 415 °C | 390 °C | 356 °C | 322 °C | 284 °C | 239 °C | 183 °C | 122 °C | 63 °C |
| Untergurtbreite: C _{bfb,0,z55} | | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| C _{bfb,1,z55} | | 0,36 | 0,41 | 0,24 | 0,18 | 0,12 | 0,22 | 0,06 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Untergurtdicke: d _{tfb,z55} | | -0,7 | -1 | -1,1 | -1,2 | -1,6 | -1,8 | -1,7 | -1,7 | -1,9 | -1,8 | -1,3 | -0,7 |
| Stegdicke: e _{tw,z55} | b _{fb1} ≥ 200mm | 8,7 | 9,6 | 7,6 | 8,5 | 7,5 | 8 | 7,5 | 7 | 6,2 | 5 | 3,6 | 1,8 |
| | b _{fb1} < 200mm | 12 | 10,8 | 10 | 9,5 | 8,3 | 7 | 7,5 | 7 | 6,2 | 5 | 3,6 | 1,8 |

d) Steg bei z=135mm

| Faktor | | θ _{z,135} für Steg z=135mm | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ausgangstemperatur: θ _{0,z135} | | 185 °C | 171 °C | 160 °C | 143 °C | 128 °C | 115 °C | 98 °C | 82 °C | 65 °C | 49 °C | 35 °C | 24 °C |
| Untergurtbreite: C _{bfb,0,z135} | | 0,16 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| C _{bfb,1,z135} | | 0,79 | 0,55 | 0,26 | 0,22 | 0,12 | 0,16 | 0,17 | 0,29 | 0,24 | 0,17 | 0,04 | 0,00 |
| Untergurtdicke: d _{tfb,z135} | | -0,6 | -0,6 | -0,6 | -0,6 | -0,5 | -0,5 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | -0,1 |
| Stegdicke: e _{tw,z135} | b _{fb1} ≥ 200mm | 13,9 | 12,8 | 11 | 10,8 | 9,7 | 8 | 7,4 | 6,4 | 5,2 | 3,8 | 2,2 | 0,7 |
| | b _{fb1} < 200mm | 23 | 23 | 21,3 | 18,8 | 14,9 | 11,2 | 9 | 6,4 | 5,2 | 3,8 | 2,2 | 0,7 |

f) Brandbewehrung

| Faktor | | θ _s für die Brandbewehrung | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Ausgangstemperatur θ _{0,s} | | 427 °C | 402 °C | 376 °C | 346 °C | 313 °C | 277 °C | 236 °C | 190 °C | 144 °C | 105 °C | 68 °C | 33 °C |
| Brandbewehrungs-durchmesser a _{ds,s} | b _{fb1} ≥ 200mm | -2,40 | -1,90 | -2,20 | -2,20 | -2,20 | -1,80 | -1,60 | -1,10 | -0,90 | -0,70 | -0,50 | -0,10 |
| | b _{fb1} < 200mm | -2,20 | -1,90 | -2,00 | -1,80 | -1,90 | -1,30 | -1,30 | -1,00 | -0,70 | -0,50 | -0,50 | -0,20 |
| vertikaler lichter Bewehrungsabstand b _{es,s} | b _{fb1} ≥ 200mm | -5,10 | -5,40 | -5,00 | -5,00 | -4,60 | -4,50 | -3,90 | -3,20 | -2,10 | -1,60 | -1,00 | -0,40 |
| | b _{fb1} < 200mm | -3,90 | -3,80 | -3,80 | -4,00 | -3,80 | -4,00 | -3,70 | -3,20 | -1,80 | -1,20 | -0,70 | -0,20 |
| Untergurtbreite C _{bfb,0,s} | | 0,35 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,19 | 0,17 | 0,12 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,00 |
| C _{bfb,1,s} | | 0,02 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Untergurtdicke d _{tfb,s} | | -1,4 | -1,5 | -1,7 | -1,8 | -1,9 | -1,9 | -1,9 | -1,8 | -1,3 | -1,0 | -0,7 | -0,3 |
| Stegdicke e _{tw,s} | b _{fb1} ≥ 200mm | 4,1 | 3,3 | 3,0 | 3,5 | 2,7 | 2,1 | 1,7 | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,1 |
| | b _{fb1} < 200mm | 12,4 | 9,9 | 9,8 | 9,5 | 8,4 | 6,6 | 5,3 | 4,6 | 1,7 | 1,3 | 0,7 | |

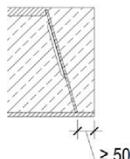
DELTABEAM® Verbundträger

Bemessung im Brandfall – Faktoren für die Ermittlung der Bauteiltemperaturen
Einseitige Beflammlung

Anlage 13

a) Korrektur der Temperaturverteilung bei Mittelträgern als Randträger mit reduzierter seitlicher Betondeckung von $b_{fb,2}=50\text{mm}$

| Referenzpunkt | UG | Steg * | | | | Bewehrung * | | | | |
|-------------------------|------|---------|----------|--------|-------|-------------|-------|------|------|------|
| | | z=0mm | | z=55mm | | z=135mm | | | | |
| Bereich Stegdicke t_w | | ≤ 6mm | > 6mm | ≤ 6mm | > 6mm | ≤ 6mm | > 6mm | | | |
| Bereich T_{FW} [min] | | 10 - 40 | 50 - 120 | - | - | - | - | | | |
| $f_{fb,2}$ | 1,01 | 1,10 | 1,06 | 1,27 | 1,22 | 1,70 | 1,54 | 1,77 | 1,63 | 1,10 |



$$\theta_{mod,bfb2} = f_{fb,2} * \theta \text{ mit } \theta \text{ nach Anlage 10 bis 13 für den jeweils betrachteten Referenzpunkt}$$

Bei Zwischenwerten von $100\text{mm} > b_{fb,2} > 50\text{mm}$ darf zwischen θ und $\theta_{mod,bfb2}$ linear interpoliert werden.

* Hinweis: Die Korrekturfaktoren gelten für den Steg sowie die Brandbewehrung auf der Seite, die dem Rand zugewandt sind. Für den Steg und die Brandbewehrung auf der abgewandten Seite dürfen die genannten Faktoren wie folgt reduziert werden:

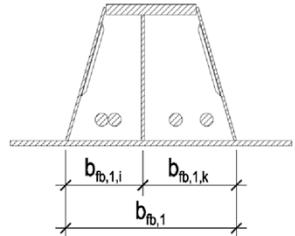
$$f_{fb,2} \rightarrow f_{fb,2,red} = 1 + 0,56 * (f_{fb,2} - 1) * \left(1 - \min\left(1; \frac{b_{fb,1} - 150}{150}\right)\right)$$

Die Temperatur der Brandbewehrung darf aus den Werten der beiden Seiten gemittelt werden.

b) Korrektur der Temperaturverteilung bei Mittelträgern mit "shearplate"
(zusätzliches Stegblech längs im Querschnitt, mit Ober- und Untergurt verschweißt, siehe auch Anlage 15 b))

Die rechnerische Kernbreite $b_{fb,1}$ des Querschnitts wird für die Temperaturermittlung aller Referenzpunkte nach Anlage 11 bis 13 reduziert.

$$b_{fb,1} \rightarrow b_{fb,1,SP} = \min(b_{fb,1,i}, b_{fb,1,k})$$



Die Bemessungstemperatur im shearplate wird unter Ansatz der Dicke des shearplates t_{SP} als Stegdicke t_w in den jeweiligen Formeln ermittelt.

Die Temperatur im Obergurt kann aus der Temperatur in shearplate und Steg bei $z = h_{DB}$ gemittelt werden.

c) Temperaturverteilung bei Randträgern

Die Bemessungstemperatur im senkrechten äußeren Steg wird aus der Stegtemperatur am jeweiligen Referenzpunkt ($0 / 55 / 135\text{mm} / h_{DB}$) mit dem Korrekturfaktor h_{RT} ermittelt. Alle weiteren Bauteiltemperaturen sind ebenfalls zunächst nach Anlage 10 bis 13 berechnet und dann mit den hier angegebenen Korrekturfaktoren h_{RT} anzupassen.

$$\theta_{mod,RT} = h_{RT} * \theta \text{ mit } \theta \text{ nach Anlage 11 für den jeweils betrachteten Referenzpunkt}$$

| Bauteil | dreiseitig beflammt | | Korrekturbeiwert h_{RT} | einseitig beflammt | | |
|-------------------------|------------------------------------|------|------------------------------------|------------------------------------|------|--|
| | 120 - 70 | | | 120 - 70 | | |
| | Korrekturbeiwert h_{RT} | | | Korrekturbeiwert h_{RT} | | |
| Untergurt | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| Steg 0mm | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| Steg 55mm | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| Steg 135mm | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| Brandbewehrung | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| Steg $z=h_{DB}$ | $0,88 + 0,0020 * T_{FW} \geq 0,98$ | | 0,98 | 0,98 | | |
| Äußerer Steg 0mm | $1,20 - 0,0015 * T_{FW}$ | | 1,21 - 0,0015 * T_{FW} | 1,21 - 0,0015 * T_{FW} | | |
| Äußerer Steg 55mm | $1,43 - 0,0028 * T_{FW}$ | | 1,44 - 0,0024 * T_{FW} | 1,44 - 0,0024 * T_{FW} | | |
| Äußerer Steg 135mm | $1,62 - 0,0030 * T_{FW}$ | | 1,63 - 0,0016 * T_{FW} | 1,63 - 0,0016 * T_{FW} | | |
| Äußerer Steg $z=h_{DB}$ | $1,04 + 0,0040 * T_{FW} \leq 1,25$ | | 1,04 + 0,0040 * $T_{FW} \leq 1,24$ | 1,04 + 0,0040 * $T_{FW} \leq 1,24$ | | |

DELTABEAM® Verbundträger

Bemessung im Brandfall – Korrekturfaktoren für die Berücksichtigung von Sonderfällen - 1

Anlage 14

a) Einfluss von werkseitigen Aufkantprofilen auf die Stegtemperaturen

Die nach Anlagen 10 bis 13 ermittelten Stegtemperaturen bei $z=55\text{mm}$, $z=135\text{mm}$ und $z=h_{DB}$ sind für Flansch-Breiten $b_{fb,2}=100\text{mm}$ mit den hier angegebenen Korrekturfaktoren k_{ds} zu erhöhen.

Bei einer Breite der Untergurt-Flansche von $b_{fb,2} \geq 130\text{mm}$ ist keine Erhöhung der nach Anlagen 10 bis 13 ermittelten Temperaturen erforderlich. Für $100\text{mm} \leq b_{fb,2} \leq 130\text{mm}$ darf linear interpoliert werden.

Es müssen nur die Temperaturen des an ein Aufkantprofil angrenzenden Steges erhöht werden.

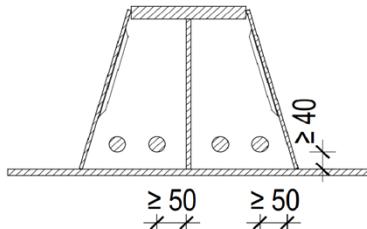
$$\theta_{mod.ds} = k_{ds} * \theta \quad \text{mit } \theta \text{ nach Anlage 11 für den jeweils betrachteten Referenzpunkt}$$

| | |
|-------------------------|--|
| Steg $z = 55\text{ mm}$ | $k_{ds,z=55} = \min(0,92 + h_{ds} * 0,0027 ; 1,085 - 0,0003 * h_{ds}) - 0,009 * (t_w - 5) \geq 1,00$ |
| Steg $z = 135\text{mm}$ | $k_{ds,z=135} = \min(0,70 + h_{ds} * 0,0035 ; 1,35 - 0,0013 * h_{ds}) - 0,024 * (t_w - 5) \geq 1,00$ |
| Steg $z = h_{DB}$ | $k_{ds,h} = 1 + 0,00125 * \max(0; 120 - (h_{DB} - h_{ds})) \leq 1,15$ |

h_{ds}

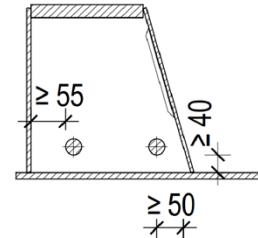
Höhe des Aufkantprofils über OK Untergurt [mm]

b) Mindestabstände der Bewehrung



Mindestabstände der Bewehrung für die Anwendung der Vorgaben in Anlage 14 b) und der Anlagen 10 bis 15.

Bei geringerem seitlichen Abstand zum Steg oder shearplate gilt die Regelung in Abs. 2.2.4.2 (5) und (8). (Interpolation der Temperatur im Steg und in der Brandbewehrung)



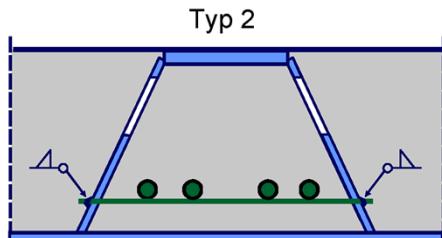
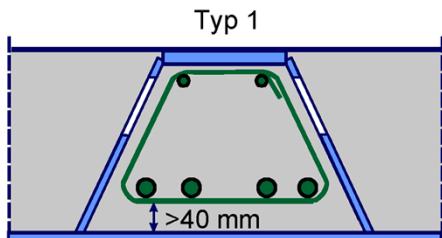
Mindestabstände der Bewehrung für die Anwendung der Tabelle in Anlage 14 c) und der Anlagen 10 bis 15.

DELTABEAM® Verbundträger

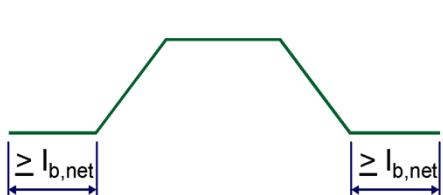
Bemessung im Brandfall – Korrekturfaktoren für die Berücksichtigung von Sonderfällen - 2

Anlage 15

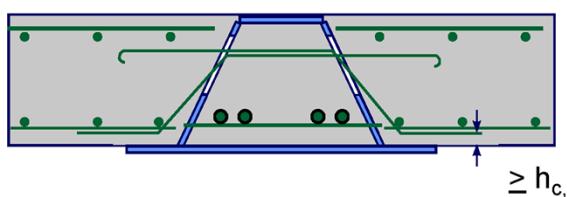
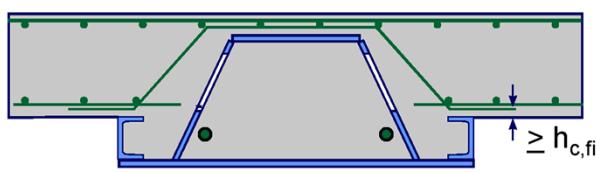
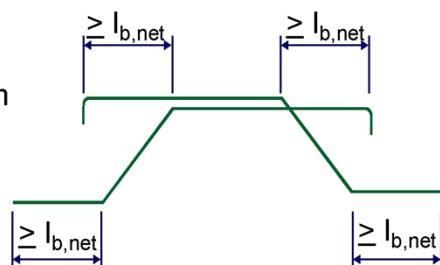
a) Anschluss der Längsbewehrung



b) Aufhängebewehrung der Decken im Brandfall

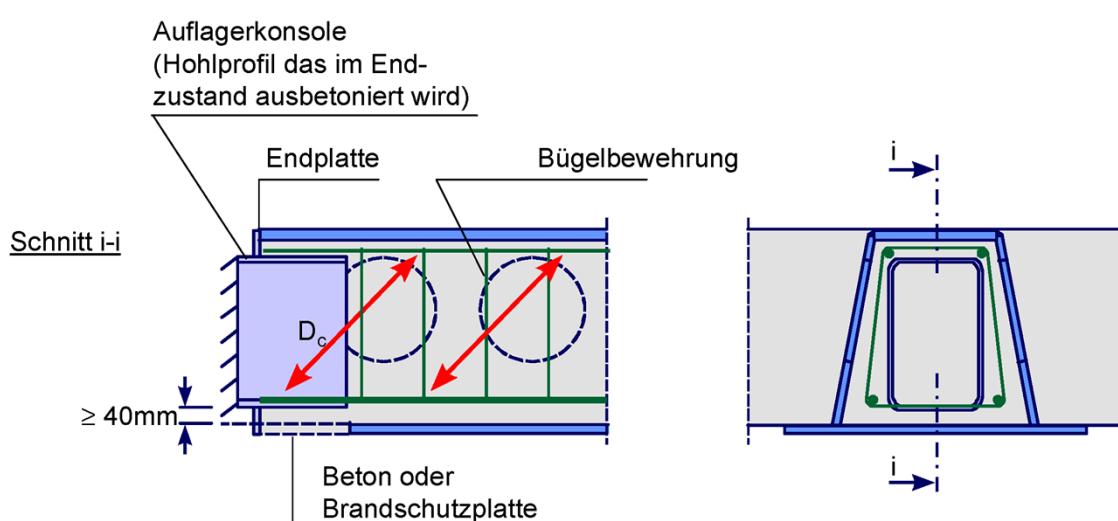


$l_{b,net} \geq 250\text{mm}$

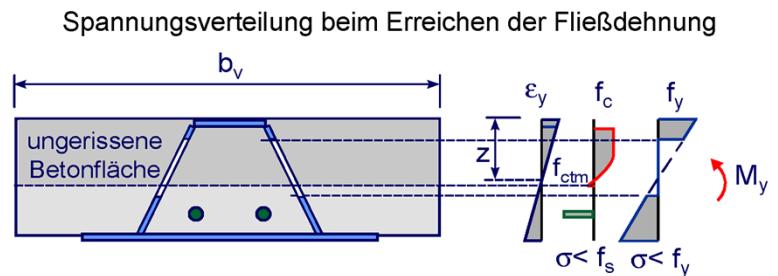
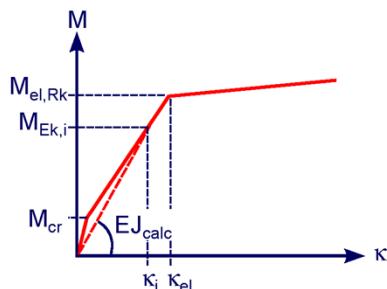


Andere Ausführungen der Aufhängebewehrung sind möglich, wenn die Einleitung der Deckenauflagerkraft schlüssig nachgewiesen wird.

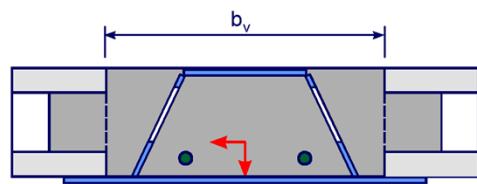
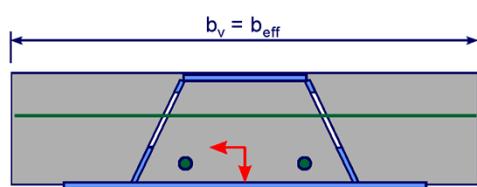
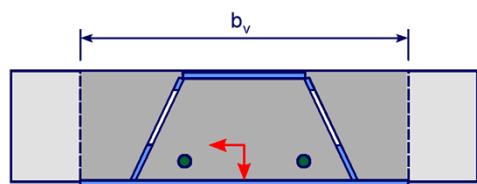
c) Auflagerung der aus dem Fachwerkmodell resultierenden Druckstrebe (Ausführungsbeispiel)



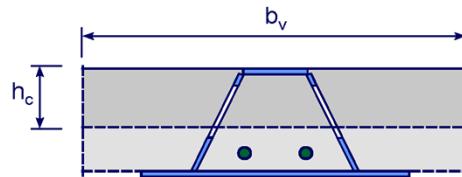
a) Momenten-Krümmungs-Beziehung



b) Querschnittsbreite zur Verformungsberechnung

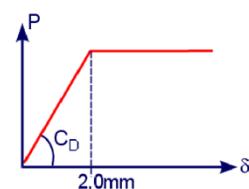


c) Ersatzquerschnitt mit der Biegesteifigkeit EJ_{calc}

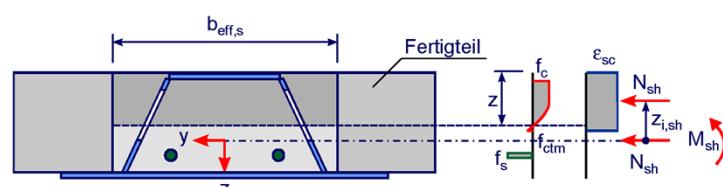
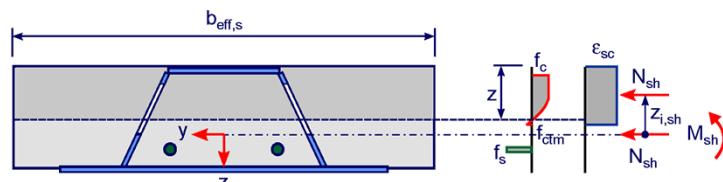


d) Mittelwerte für die Federsteifigkeit eines Öffnungspaares bei einem Schlupf $\delta \leq 2\text{mm}$

| Öffnungstyp | C _D [kN/cm] |
|-------------|------------------------|
| DL 80 | 1460 |
| DL 150 | 2010 |
| NL75 | 965 |
| NL150 | 1260 |



e) Ermittlung der primären Beanspruchungen aus Schwinden



DELTABEAM® Verbundträger

Ermittlung der Bauteilverformungen

Anlage 17