

DIN 18800-5

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für
DIN V 18800-5:2004-11**Stahlbauten –
Teil 5: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton –
Bemessung und Konstruktion**

Steel structures –
Part 5: Composite structures of steel and concrete –
Design and construction

Constructions métalliques –
Partie 5: Structures mixtes acier-béton –
Calcul et construction

Gesamtumfang 95 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



Inhalt

Seite

Vorwort	6
1 Allgemeine Angaben	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Formelzeichen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Formelzeichen	9
3.3 SI-Einheiten	12
4 Bautechnische Unterlagen	12
5 Sicherheitskonzept	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Bemessungswert des Tragwiderstandes	13
5.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit	15
5.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	15
6 Dauerhaftigkeit	15
7 Werkstoffe	16
8 Tragwerksberechnung	16
8.1 Allgemeines	16
8.2 Einflüsse aus Tragwerksverformungen und Imperfektionen	17
8.3 Schnittgrößenermittlung	18
8.3.1 Allgemeines	18
8.3.2 Mittragende Gurtbreite	19
8.3.3 Elastische Tragwerksberechnung	19
8.3.4 Elastische Berechnung mit Momentenumlagerung	24
8.3.5 Berechnung nach der Fließgelenktheorie	25
8.4 Klassifizierung von Querschnitten	26
9 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	30
9.1 Verbundträger	30
9.1.1 Allgemeines	30
9.1.2 Mittragende Gurtbreite beim Nachweis der Querschnittstragfähigkeit	31
9.2 Querschnittstragfähigkeit von Verbundträgern	33
9.2.1 Allgemeines	33
9.2.2 Vollplastische Querschnittstragfähigkeit	33
9.2.3 Dehnungsbeschränkte Querschnittstragfähigkeit	38
9.2.4 Elastische Querschnittstragfähigkeit	38
9.3 Nachweis gegen Biegedrillknicken bei Verbundträgern	39
9.4 Verbundsicherung bei Verbundträgern	41
9.4.1 Allgemeines	41
9.4.2 Verteilung von Verbundmitteln	44
9.4.3 Ermittlung der Längsschubkräfte	45
9.4.4 Beanspruchbarkeit von Verbundmitteln	48
9.4.5 Konstruktionsregeln für die Ausbildung der Verbundsicherung	51
9.5 Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes bei Verbundträgern	53
9.6 Nachweis gegen Ermüdung	56
9.6.1 Allgemeines	56
9.6.2 Ermüdungsfestigkeit	57
9.6.3 Einwirkungen, Schnittgrößen und Spannungen	57
9.6.4 Nachweisverfahren	58
9.7 Verbundstützen und druckbeanspruchte Verbundbauteile	60
9.7.1 Allgemeines	60

9.7.2	Allgemeines Bemessungsverfahren	62
9.7.3	Vereinfachtes Nachweisverfahren	63
9.7.4	Verbundsicherung und Krafteinleitung	69
9.7.5	Bauliche Durchbildung	73
10	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	74
10.1	Allgemeines	74
10.2	Schnittgrößen und Spannungen	74
10.3	Spannungsbegrenzungen	75
10.4	Begrenzung der Rissbreite und Nachweis der Dekompression	76
10.4.1	Allgemeines	76
10.4.2	Mindestbewehrung	76
10.4.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung	77
10.4.4	Nachweis mit direkter Berechnung der Rissbreite	78
10.5	Begrenzung von Verformungen	79
10.6	Schwingungsverhalten	79
11	Verbunddecken	80
11.1	Grundlagen und Definitionen	80
11.2	Konstruktionsgrundsätze	81
11.3	Erforderliche Nachweise für das Profilblech im Bauzustand	82
11.4	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit für den Endzustand	83
11.4.1	Allgemeines	83
11.4.2	Ermittlung der Schnittgrößen	83
11.4.3	Querschnittstragfähigkeit	85
11.4.4	Nachweis der Längsschubtragfähigkeit	88
11.5	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit im Endzustand	91
11.5.1	Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen	91
11.5.2	Begrenzung der Rissbreite	91
11.5.3	Begrenzung der Verformungen	92
Anhang A (normativ) Kopfbolzendübel, die randnah angeordnet werden und Spaltzugkräfte in Gurtickenrichtung erzeugen		93
A.1	Tragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit	93
A.2	Konstruktionsregeln	93
A.3	Spaltzugkräfte	94
A.4	Gleichzeitige Beanspruchung durch vertikale Kräfte und Längsschubkräfte	95
A.5	Ermüdungsfestigkeit	95

Bilder

Bild 1	— Wirksamer Stegquerschnitt	28
Bild 2	— Typische Querschnitte von Verbundträgern	30
Bild 3	— Äquivalente Stützweiten zur Ermittlung der mittragenden Gurtbreite	32
Bild 4	— Beispiele für vollplastische Spannungsverteilungen bei vollständiger Verdübelung und Abminderungsfaktor β	34
Bild 5	— Beispiele für plastische Spannungsverteilungen bei teilweiser Verdübelung	35
Bild 6	— Zusammenhang zwischen M_{Rd} und N_c bei teilweiser Verdübelung und Verwendung von duktilen Verbundmitteln	36
Bild 7	— Typische Querschnittsausbildung bei kammerbetonierten Trägern	37
Bild 8	— Vollplastische Spannungsverteilung bei gleichzeitiger Querkraftbeanspruchung	38
Bild 9	— Verformungsvermögen von Verbundmitteln	42

Bild 10 — Näherung für den Zusammenhang zwischen M_{Rd} und N_c für Verbundquerschnitte mit druckbeanspruchten Betongurten	46
Bild 11 — Verteilung der Längsschubkräfte in den Einleitungsbereichen von Längskräften.....	47
Bild 12 — Verteilung der Längsschubkräfte an Betongurtenden	47
Bild 13 — Spaltzugkräfte bei horizontal angeordneten Dübeln	49
Bild 14 — Träger mit parallel zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen	49
Bild 15 — Träger mit senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen	50
Bild 16 — Mindestmaße bei Vouten und lichte Abstände zwischen Unterkante Dübelkopf und der unteren Querbewehrung.....	52
Bild 17 — Maßgebende Schnitte beim Nachweis der Längsschubkrafttragfähigkeit	54
Bild 18 — Maßgebende Schnitte für den Nachweis der Längsschubkrafttragfähigkeit bei Betongurten mit Profilblechen	55
Bild 19 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten bei Längsschubbeanspruchung	57
Bild 20 — Beispiele für Querschnitte von Verbundstützen — Bezeichnungen	60
Bild 21 — Zur Ermittlung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_R	63
Bild 22 — Vollplastische Interaktionskurve für Druck und einachsige Biegung	64
Bild 23 — Nachweis bei Druck und Biegung	69
Bild 24 — Direkt und indirekt angeschlossene Betonquerschnittsflächen.....	70
Bild 25 — Zusätzliche Aktivierung von Reibungskräften an den Flanschinnenseiten bei Kopfbolzendübeln	71
Bild 26 — Teilflächenpressung bei ausbetonierten Hohlprofilen	72
Bild 27 — Wirksamer Umfang c eines Bewehrungsstabes.....	74
Bild 28 — Verbundwirkung bei Verbunddecken.....	80
Bild 29 — Profilblech- und Deckenabmessungen	81
Bild 30 — Mindestauflagertiefen	82
Bild 31 — Verteilung von konzentriert angreifenden Lasten	84
Bild 32 — Vollplastische Momententragfähigkeit bei vollständiger Verdübelung (plastische Nulllinie im Aufbeton).....	85
Bild 33 — Momententragfähigkeit M_{Rd} bei teilweiser Verdübelung.....	86
Bild 34 — Beitrag einer zusätzlichen Längsbewehrung	87
Bild 35 — Vollplastische Spannungsverteilung bei negativer Momentenbeanspruchung.....	87
Bild 36 — Äquivalente einfeldrige Stützweiten zur Bestimmung der Längsschubtragfähigkeit von durchlaufenden Verbunddecken	89
Bild 37 — Momentendeckung bei teilweiser Verdübelung.....	89
Bild 38 — Momentendeckung bei teilweiser Verdübelung und zusätzlicher Endverankerung.....	90
Bild A.1 — Anordnung und geometrische Randbedingungen für randnahe Kopfbolzendübel in horizontaler Lage.....	94

Tabellen

Tabelle 1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstandes im Grenzzustand der Tragfähigkeit	14
Tabelle 2 — Zuordnung der Querschnittsklassen zu den Nachweisverfahren nach DIN 18800-1	19
Tabelle 3 — Grenzwerte für die Umlagerung von negativen Biegemomenten an Innenstützen in %	25
Tabelle 4 — Zuordnung der Querschnittsklassen zu den Grenzwerten $\text{grenz}(b/t)$ nach DIN 18800-1	27
Tabelle 5 — Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ für die Gurte von Querschnitten mit Kammerbeton	29
Tabelle 6 — Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ nicht ausgesteifter Stege ohne Nachweis des Schubbeulens	36
Tabelle 7 — Grenzprofilhöhen $h_{\max}$ für Querschnitte ohne Kammerbeton	40
Tabelle 8 — Obere Grenzwerte $k_{t,\max}$ für den Abminderungsfaktor k_t	50
Tabelle 9 — Höchstwerte für Dübelabstände bei Flanschen nach Element (948)	53
Tabelle 10 — Grenzwerte $\max(d/t)$, $\max(h/t)$ und $\max(b/t_f)$	61
Tabelle 11 — Knickspannungslinien für Verbundstützen und geometrische Ersatzimperfectionen (Stich der Vorkrümmung w_0, v_0 bezogen auf die Stützenlänge L)	67
Tabelle 12 — Bemessungswert der Verbundtragfähigkeit τ_{Rd}	73
Tabelle A.1 — Ermüdungsfestigkeit für horizontal angeordnete Kopfbolzendübel	95

Vorwort

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 08 Stahlbau — Deutscher Ausschuss für Stahlbau e. V. — auf der Grundlage von DIN EN 1994-1-1 (Eurocode 4 Teil 1-1) erarbeitet und stellt somit die Umsetzung der europäischen Normung für Verbundtragwerke in eine nationale Norm dar.

Diese Norm ersetzt DIN V 18800-5:2004-11.

DIN 18800 *Stahlbauten* besteht aus:

- *Teil 1: Bemessung und Konstruktion*
- *Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken*
- *Teil 3: Stabilitätsfälle, Plattenbeulen*
- *Teil 4: Stabilitätsfälle, Schalenbeulen*
- *Teil 5: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton, Bemessung und Konstruktion*
- *Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikationen*

Änderungen

Gegenüber DIN V 18800-5:2004-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Vornormcharakter wurde aufgehoben;
- b) Stellungnahmen redaktioneller Art zur Vornorm wurden eingearbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 18806-1: 1984-03

DIN V 18800-5: 2004-11

1 Allgemeine Angaben

(101) Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus, die aus Baustahl und Stahl- oder Spannbeton mit Normal- oder Leichtzuschlägen bestehen.

(102) Anforderungen und mitgeltende technische Regeln

Diese Norm behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit von Verbundtragwerken bei Normaltemperatur. DIN 18800-5 ist in Zusammenhang mit den Teilen 1 bis 3 der DIN 18800 sowie der Anpassungsrichtlinie zu DIN 18800 und den Teilen 1, 2 und 4 der DIN 1045 zu verwenden. Hinsichtlich der Bauausführung gelten DIN 18800-7 und DIN 1045-3. Soweit in dieser Norm nichts anderes festgelegt ist, sind die vorgenannten mitgeltenden technischen Regeln zu beachten.

(103) Brandschutztechnische Bemessung

Hinsichtlich der brandschutztechnischen Bemessung von Verbundtragwerken wird auf DIN V ENV 1994-1-2 und die DIBt-Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1994-1-2 in Verbindung mit DIN 18800-5 verwiesen.

(104) Bauprodukte

Zusätzlich zu den in dieser Norm für Verbundbauteile geregelten Bauprodukten können auch andere Bauprodukte verwendet werden, wenn ihre Verwendung in eingeführten technischen Baubestimmungen, allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, europäischen technischen Zulassungen oder durch Zustimmung im Einzelfall geregelt ist. Dies gilt insbesondere für Verbundmittel, die von Element (704) abweichen sowie für Profilbleche nach Abschnitt 11.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1045-1:2001-07, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

DIN 1045-1, *Berichtigung 2, Berichtigungen zu DIN 1045-1:2005-06*

DIN 1045-2 *Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*

DIN 1045-3, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 3: Bauausführung*

DIN 1045-4, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 4: Ergänzende Regelungen für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen*

DIN 1055-7, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 7: Temperatureinwirkungen*

DIN 1055-8, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 8: Einwirkungen während der Bauausführung*

DIN 1055-100:2001-03, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln*

DIN 18800-1:1990-11, *Stahlbauten — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

DIN 18800-1/A1:1996-02, *Stahlbauten — Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Änderung A1*

DIN 18800-2:1990-11, *Stahlbauten — Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken*

DIN 18800-3:1990-11, *Stahlbauten — Teil 3: Stabilitätsfälle, Plattenbeulen*

DIN 18800-7:2002-09, *Stahlbauten — Ausführung und Herstellerqualifikationen*

DIN 18807-1, *Trapezprofile im Hochbau — Stahltrapezprofile — Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung*

DIN 18807-2, *Trapezprofile im Hochbau — Stahltrapezprofile — Teil 2: Durchführung und Auswertung von Tragfähigkeitsversuchen*

DIN 18807-3, *Trapezprofile im Hochbau — Stahltrapezprofile — Teil 3: Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung*

DIN EN ISO 13918, *Bolzen und Keramikringe zum Lichtbogenbolzenschweißen (ISO 13918:1998); Deutsche Fassung EN ISO 13918:1998*

DIN EN ISO 14555, *Lichtbogenschweißen von metallischen Werkstoffen (ISO 14555:1998); Deutsche Fassung EN ISO 14555:1998*

DIN V ENV 1994-1-2:1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-2: Allgemeine Regeln, Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1994-1-2:1994*

DIN-Fachbericht 103, *Stahlbrücken*, Ausgabe März 2003

Anpassungsrichtlinie Stahlbau — Anpassungsrichtlinie zu DIN 18800 Teile 1 bis 4 — Stahlbauten (Ausgabe 1990-11); Ausgabe 1998-10 mit Anpassungsrichtlinie Stahlbau — Berichtigung (1999) und Änderung und Ergänzung der Anpassungsrichtlinie Stahlbau (2001-12)

DIBt-Richtlinie für die Anwendung von DIN V ENV 1994-1-2 in Verbindung mit DIN 18800-5 (2006)

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Begriffe

(301) Allgemeines

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in DIN 1045-1:2001-07, 3.1, DIN 18800-1:1990-11, 3.1 und 3.2 sowie die in DIN 1055-100 angegebenen und die folgend aufgeführten Begriffe.

(302) Besondere Begriffe

Für Verbundtragwerke erforderliche Begriffe sind in den nachfolgenden Elementen (303) bis (313) erläutert.

(303) Verbundbauteil

tragendes Bauteil, dessen Elemente aus Beton und warmgewalztem oder kaltverformtem Baustahl bestehen und bei denen Verbundmittel den Schlupf und die Trennung der Einzelelemente Stahl und Beton begrenzen

(304) Verdübelung

Verbindung mit ausreichender Tragfähigkeit und Steifigkeit zur Übertragung der Längsschubkräfte in der Verbundfuge zwischen Beton und Stahl, die es erlaubt, die Teilquerschnitte aus Stahl- und Beton als ein tragendes Bauteil zu bemessen

(305) Verbundwirkung

Tragverhalten, wenn die Verdübelung nach Erhärten des Betons wirksam wird

(306) Verbundträger

überwiegend auf Biegung beanspruchtes Verbundbauteil

(307) Verbundstütze

überwiegend auf Druck oder Druck und Biegung beanspruchtes Verbundbauteil

(308) Verbunddecke

eine Deckenkonstruktion, bei der ein profiliertes Blech zunächst als Schalung dient und im Endzustand mit dem erhärteten Beton einen Verbundquerschnitt bildet. Die Verbundwirkung wird durch die Profilblechgeometrie und/oder zusätzliche mechanische Verbundmittel erzeugt

(309) Tragwerke in Verbundbauweise

Tragwerke, bei denen alle Bauteile als Verbundbauteile ausgebildet sind oder bei denen Verbundbauteile in Kombination mit Stahlbauteilen verwendet werden

(310) Verbundanschluss

Verbindung zwischen Verbundbauteilen oder zwischen Verbund- und Stahlbeton- oder Stahlbauteilen, bei der die Bewehrung bei der Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit des Anschlusses berücksichtigt wird

(311) Tragwerk mit Eigengewichtsverbund

Tragwerk oder Verbundbauteil, bei dem die Einwirkungen aus dem Betongewicht ganz oder teilweise durch eine Unterstützung des Stahltragwerks oder durch andere unabhängige Bauteile bis zu dem Zeitpunkt aufgenommen werden, bei dem der Beton planmäßige Beanspruchungen übertragen kann

(312) Tragwerk ohne Eigengewichtsverbund

Tragwerk oder Verbundbauteil, bei dem die Einwirkungen aus dem Betongewicht vom Stahltragwerk aufgenommen werden

(313) Vorspannung

Verfahren, mit dem im Betonquerschnitt eines Verbundquerschnitts durch Spannglieder oder planmäßig eingeprägte Deformationen planmäßig Druckbeanspruchungen erzeugt werden

3.2 Formelzeichen**(314) Allgemeines**

Es werden die Formelzeichen nach DIN 18800-1:1990-11, 3.3 und DIN 18800-2:1990-11, 1.3, sowie DIN 1045-1:2001-07, 3.2 verwendet. Physikalische Kenngrößen, Festigkeiten und Querschnittskenngrößen erhalten einen zusätzlichen Index, wenn sie sich auf die einzelnen Baustoffe beziehen. Es wird der Index *a* für Baustahl, *c* für Beton, *s* für Betonstahl und *p* für Spannstahl und *yp* für Profilbleche verwendet. Diese Indizes werden auch für die Bezeichnung der Teilschnittgrößen der einzelnen Querschnittsteile verwendet.

Hinsichtlich der Bezeichnung der Einwirkungen werden die Bezeichnungen nach DIN 1055-100 verwendet. Der in DIN 18000 Teil 1 bis Teil 3 verwendete Index *S* für Einwirkungen und Beanspruchungen wird in dieser Norm in Übereinstimmung mit DIN 1055-100 und DIN 1045-1 durch den Index *E* ersetzt. Formelzeichen, die im Text häufig verwendet werden, sind in den nachfolgenden Elementen erläutert. Weitere Formelzeichen werden in den entsprechenden Elementen erläutert.

(315) Physikalische Größen, Festigkeiten

f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Baustahls
f_{ypk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze von Profilblechen
f_{sk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{pk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Spannstahls
f_{ck}	charakteristischer Wert der einaxialen Druckfestigkeit (Zylinderdruckfestigkeit) des Betons
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Baustahls
$f_{yp,d}$	Bemessungswert der Streckgrenze von Profilblechen
f_{sd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{pd}	Bemessungswert der Zugfestigkeit des Spannstahls
f_{cd}	Bemessungswert der einaxialen Druckfestigkeit des Betons ($f_{cd} = \alpha f_{ck}/\gamma_c$)
f_{ctm}	Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

E_a	Elastizitätsmodul des Baustahls
E_s	Elastizitätsmodul des Betonstahls
E_{cm}	mittlerer Elastizitätsmodul des Betons nach DIN 1045-1:2005-06, 9.1.3(2)
$\varphi(t, t_0)$	Kriechzahl
n_L	Reduktionszahl für die Fläche und das Trägheitsmoment des Betonquerschnitts zur Berechnung von ideellen, auf den Elastizitätsmodul des Baustahls bezogen Querschnittskenngößen
α	Abminderungsbeiwert zur Ermittlung des Bemessungswertes f_{cd}

(316) Teilsicherheitsbeiwerte

γ_a	Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl
γ_c	Teilsicherheitsbeiwert für Beton
γ_s	Teilsicherheitsbeiwert für Beton- und Spannstahl
γ_v	Teilsicherheitsbeiwert für Verbundmittel
γ_{VS}	Teilsicherheitsbeiwert für die Längsschubtragfähigkeit von Verbunddecken

(317) Querschnittskenngößen

b	Breite von Querschnittsteilen
t	Erzeugnisdicke, Blechdicke
h	Bauteilhöhe
b_{eff}	mittragende Gurtbreite
b_{ei}	Breite eines Teilgurt
d	Nutzhöhe
A_a, I_a	Querschnittsfläche und Flächenmoment zweiten Grades des Baustahlquerschnitts
A_c, I_c	Querschnittsfläche und Flächenmoment zweiten Grades des ungerissenen Betonquerschnitts
A_s, I_s	Querschnittsfläche und Flächenmoment zweiten Grades des Betonstahlquerschnitts
$E_a I_1$	Biegesteifigkeit des Verbundquerschnitts, bei der das Flächenmoment zweiten Grades des mittragenden Querschnitts I_1 unter der Annahme berechnet wird, dass der Betonquerschnitt nicht gerissen ist
$E_a I_2$	Biegesteifigkeit des Verbundquerschnitts, bei der das Flächenmoment zweiten Grades des mittragenden Querschnitts I_2 mit dem Gesamtstahlquerschnitt (Baustahl und Betonstahl) berechnet wird und zugbeanspruchter Beton als gerissen angenommen wird und nicht berücksichtigt wird
$(EI)_w$	wirksame Biegesteifigkeit zur Berücksichtigung der Rissbildung im Kammerbeton
$(EI)_{eff}$	wirksame Biegesteifigkeit von Verbundstützenquerschnitten zur Berechnung der Einflüsse aus Theorie II. Ordnung
$(EI)_{eff,\lambda}$	wirksame Biegesteifigkeit von Verbundstützenquerschnitten zur Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades
ρ_s	Bewehrungsgrad

(318) Widerstandgrößen

R_d	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit (allg. Bezeichnung)
R_k	charakteristischer Wert der Beanspruchbarkeit
R_m	Beanspruchbarkeit bei Ansatz der rechnerischen Mittelwerte der Werkstofffestigkeiten
$M_{pl,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit eines Verbundquerschnittes

$M_{pl,Rk}$	charakteristischer Wert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts
M_{Rd}	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts
$N_{pl,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit des Verbundquerschnitts
$N_{pl,Rk}$	charakteristischer Wert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit des Verbundquerschnitts
P_{Rd}	Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit eines Verbundmittels
V_{Rd}	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des Verbundquerschnitts
$V_{c,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des Betonquerschnittsteiles
$V_{a,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des Baustahlquerschnitts
$V_{pl,a,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Querkrafttragfähigkeit des Baustahlquerschnitts
$v_{L,Rd}$	Bemessungswert der Längsschubkrafttragfähigkeit des Betongurtes bei Verbundträgern
σ_{Rd}	Bemessungswert der Tragspannung
$\tau_{u,Rd}$	Bemessungswert der Verbundfestigkeit bei Verbunddecken

(319) Beanspruchungen

M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes
$M_{a,Ed}$	Bemessungswert des auf den Baustahlquerschnitt einwirkenden Biegemomentes
$M_{v,Ed}$	Bemessungswert des auf den Verbundquerschnitt einwirkenden Biegemomentes
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
$V_{a,Ed}$	Bemessungswert der auf den Baustahlquerschnitt einwirkenden Querkraft
$V_{c,Ed}$	Bemessungswert der auf den Betonquerschnitt einwirkenden Querkraft
$v_{L,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Längsschubkraft in der Verbundfuge bzw. im Betongurt

(320) Teilschnittgrößen

M_a	Biegemoment des Baustahlquerschnitts
N_a	Normalkraft des Baustahlquerschnitts
N_s	Normalkraft des Betonstahlquerschnitts
N_c	Normalkraft des Betonquerschnitts
N_{cf}	Normalkraft des Betonquerschnitts bei vollständiger Verdübelung

(321) Systemgrößen

$N_{Ki,d}$	Normalkraft einer Verbundstütze unter der kleinsten Verzweigungslast nach der Elastizitätstheorie, ermittelt mit der Biegesteifigkeit $(EI)_{eff}$
$N_{Ki,k}$	Normalkraft einer Verbundstütze unter der kleinsten Verzweigungslast nach der Elastizitätstheorie zur Ermittlung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_k$, ermittelt mit der Biegesteifigkeit $(EI)_{eff,\lambda}$
M_{Ki}	Biegedrillknickmoment nach der Elastizitätstheorie
$\bar{\lambda}_k$	bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_k = \sqrt{N_{pl,Rk}/N_{Ki,k}}$
$\bar{\lambda}_M$	bezogener Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken $\bar{\lambda}_M = \sqrt{M_{pl,Rk}/M_{Ki}}$
$\eta_{Ki,d}$	Verzweigungslastfaktor des Systems $\eta_{Ki,d} = N_{Ki,d}/N_{Ed}$
η	Verdübelungsgrad

3.3 SI-Einheiten

(322) Allgemeines

SI-Einheiten sind in Übereinstimmung mit ISO 1000 zu verwenden. Für die statischen Berechnungen werden folgende Einheiten empfohlen:

- Kräfte und Lasten in kN, kN/m, kN/m²;
- spezifische Masse (Dichte) in kg/m³;
- spezifisches Gewicht (Wichte) in kN/m³;
- Spannungen und Festigkeiten in N/mm² (= MN/m²);
- Momente (Biegemomente) in kNm.

4 Bautechnische Unterlagen

(401) Allgemeines

Es gelten DIN 18800-1:1990-11, Abschnitt 2 sowie DIN 1045-1:2001-07, Abschnitt 4. Ferner sind für Verbundbauteile die Regelungen nach Element (402) zu beachten.

(402) Besonderheiten bei Verbundtragwerken

Wenn bei Verbundtragwerken die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit durch die Montage bzw. durch den Betoniervorgang beeinflusst werden, ist im Allgemeinen eine Montageanweisung erforderlich, die insbesondere Angaben

- zur Reihenfolge und zum Zeitablauf des Betoniervorgangs,
- zum Zeitpunkt für das Montieren bzw. Entfernen von Hilfsunterstützungen,
- zum Zeitpunkt und Einbau von Kontaktstücken bei Trägern, bei denen die Durchlaufwirkung an Trägerstößen mittels Kontaktstücken erst nach dem Betonieren der Betonplatte hergestellt wird,
- zu erforderlichen Überhöhungen bei Trägern und Decken,
- zu dem Zeitpunkt und der Größe von planmäßig eingepprägten Deformationen (z. B. Absenken von Durchlaufträgern an Mittelstützen) sowie zu den erforderlichen Kontrollmaßnahmen,
- zur Lage beim Betonieren sowie zur Betonierrichtung bei Verbundstützen und bei Stützen mit ausbetonierten Hohlprofilen zur Entlüftung und Verdichtung des Betons

enthalten muss.

5 Sicherheitskonzept

5.1 Allgemeines

(501) Allgemeines

Es gilt das in DIN 1055-100 festgelegte Sicherheitskonzept. Alternativ darf die Bemessung nach dem in DIN 18800-1:1990-11, Abschnitt 7 angegebenen Sicherheitskonzept erfolgen. Die erforderlichen Nachweise für die Tragsicherheit sind für Verbundträger und Verbundstützen in Abschnitt 9 und für die Gebrauchstauglichkeit in Abschnitt 10 angegeben. Für Verbunddecken gilt Abschnitt 11. In 5.2 bis 5.4 werden weitere bauartspezifische Festlegungen für Verbundtragwerke getroffen.

Der Nachweis der Tragsicherheit nach den Abschnitten 9 und 11 setzt eine ausreichende Dauerhaftigkeit voraus. Diese Voraussetzung ist gegeben, wenn die Anforderungen an die in Abschnitt 6 angegebenen Regelungen und Nachweise eingehalten werden.

(502) Belastungsgeschichte, Montagezustände

Für Verbundtragwerke sind maßgebende Beanspruchungszustände infolge der Belastungsgeschichte sowie maßgebende Lagerungs-, Transport- und Montagezustände beim Nachweis der Tragsicherheit und beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen.

5.2 Bemessungswert des Tragwiderstandes

(503) Charakteristische Werte der Baustoff- und Werkstoffeigenschaften

Es gelten die Regelungen nach Abschnitt 7.

(504) Bemessungswert und charakteristischer Wert des Tragwiderstandes

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d ist bei Anwendung elastischer und plastischer Berechnungsverfahren mit den Bemessungswerten der Werkstofffestigkeiten (Baustahl f_{yd} , Beton f_{cd} , Betonstahl f_{sd} , Spannstahl f_{pd} , Profilbleche $f_{yp,d}$ und Verbundmittel P_{Rd}) nach Gleichung (1) und der charakteristische Wert des Tragwiderstandes nach Gleichung (2) zu ermitteln.

$$R_d = R[f_{yd}, f_{cd}, f_{sd}, f_{pd}, f_{yp,d}, P_{Rd}, \tau_{u,Rd}] = R\left[\frac{f_{yk}}{\gamma_a}, \frac{\alpha f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{f_{sk}}{\gamma_s}, \frac{f_{pk}}{\gamma_s}, \frac{f_{ypk}}{\gamma_a}, \frac{P_{Rk}}{\gamma_v}, \frac{\tau_{u,Rk}}{\gamma_{VS}}\right] \quad (1)$$

$$R_k = R[f_{yk}, \alpha f_{ck}, f_{sk}, f_{pk}, f_{ypk}, P_{Rk}, \tau_{u,Rk}] \quad (2)$$

Dabei ist

- f_{yk} der charakteristische Wert der Streckgrenze des Baustahls nach DIN 18800-1:1990-11, 4.1,
- f_{ck} der charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1,
- α der Abminderungsbeiwert nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.6 und Element (979),
- f_{sk} der charakteristische Wert der Streckgrenze des Betonstahls nach DIN 1045-1:2001-07, 9.2,
- f_{pk} der charakteristische Wert der Zugfestigkeit des Spannstahls nach DIN 1045-1:2001-07, 9.3,
- f_{ypk} der charakteristische Wert der Streckgrenze von Profilblechen bei Verbunddecken,
- P_{Rk} der charakteristische Wert der Tragfähigkeit von Verbundmitteln,
- $\tau_{u,Rk}$ der charakteristische Wert der Verbundfestigkeit eines Profilbleches.

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_a , γ_c , γ_s , und γ_V für Baustahl, Beton, Beton- und Spannstahl und für Verbundmittel sind in Element (505) angegeben. Für den charakteristischen Wert der Streckgrenze von Profilblechen sowie für die charakteristischen Werte der Längsschubkrafttragfähigkeit und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte γ_{VS} für Verbunddecken gilt Element (104).

(505) Teilsicherheitsbeiwerte

Für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_c und γ_s gelten die Festlegungen nach DIN 1045-1:2001-07, 5.3.3 und für den Teilsicherheitsbeiwert γ_a die Festlegungen nach DIN 18800-1:1990-11, 7.3.1. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Für Betonfestigkeitsklassen ab C55/67 und LC55/60 ist für γ_c DIN 1045-1:2001-07, 5.3.3(9) zu beachten. Der in Tabelle 1 angegebene Teilsicherheitsbeiwert γ_V für Verbundmittel gilt für Kopfbolzendübel nach Element (704). Für andere Verbundmittel gilt Element (104).

Tabelle 1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstandes im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Bemessungssituation	Baustahl Profilbleche γ_a	Beton γ_c	Betonstahl, Spannstahl γ_s	Verbundmittel γ_V
1	ständige und vorübergehende Bemessungssituation	1,1 ^a	1,5	1,15	1,25
2	außergewöhnliche Bemessungssituation	1,0	1,3	1,0	1,0
3	Nachweis gegen Ermüdung	siehe Anmerkung zu Element (957)	1,5	1,15	1,25
^a Bei Stahlbauteilen (mit Ausnahme von Profilblechen) ohne Stabilitätsgefahr gilt DIN 18800-1/A1:1996-02.					

(506) Tragwiderstand und Teilsicherheitsbeiwert γ_R bei Anwendung nichtlinearer Berechnungsverfahren

Bei Anwendung nichtlinearer Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung von geometrischen und physikalischen Nichtlinearitäten (siehe hierzu auch DIN 1045-1:2001-07, 5.2(2)) darf der Bemessungswert des Tragwiderstandes beim Nachweis von Verbundstützen nach 9.7.2 sowie beim Tragsicherheitsnachweis von Verbundträgern nach Element (811) nach Gleichung (3) ermittelt werden.

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R_m \quad \text{mit} \quad R_m = [f_{y,R}, f_{c,R}, f_{s,R}, f_{p,R}, P_{Rm}] \quad (3)$$

Dabei sind $f_{c,R}$, $f_{s,R}$ und $f_{p,R}$ die rechnerischen Mittelwerte der Baustofffestigkeiten nach DIN 1045:2001-07, 8.5.1. Für Beton darf abweichend von DIN 1045-1:2001-07, 8.5.1(4) für Betonfestigkeitsklassen bis C50/60 mit $f_{c,R} = f_{ck}$ angenommen werden, wenn der Teilsicherheitsbeiwert γ_R nach Gleichung (4) ermittelt wird. Für den rechnerischen Mittelwert der Streckgrenze des Baustahls darf $f_{y,R} = f_{yk}$ und für die Tragfähigkeit von Verbundmitteln $P_{Rm} = P_{RK}$ zugrunde gelegt werden.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_R ist für Verbundtragwerke für den maßgebenden kritischen Querschnitt nach Gleichung (4) zu ermitteln.

$$\gamma_R = \frac{R_{pl,m}}{R_{pl,d}} \quad (4)$$

Dabei ist

- $R_{pl,d}$ der für den maßgebenden kritischen Schnitt vollplastisch ermittelte Bemessungswert der Querschnittstragfähigkeit nach Gleichung (1),
- $R_{pl,m}$ die für den maßgebenden kritischen Schnitt ermittelte vollplastische Querschnittstragfähigkeit unter Ansatz der rechnerischen Mittelwerte der Werkstofffestigkeiten nach Gleichung (3).

5.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit

(507) Allgemeine Anforderungen an Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Es gelten DIN 1055-100:2001-03, Abschnitt 9.

(508) Teilsicherheitsbeiwert für sekundäre Beanspruchungen aus Schwinden

Für Zwangsbeanspruchungen aus dem Schwinden (sekundäre Beanspruchungen nach Element (822)) gilt $\gamma_F = 1,0$.

(509) Vorspannung mittels planmäßig eingepprägter Deformationen

Bei Vorspannung mittels planmäßig eingepprägter und kontrollierter Deformationen (z. B. Absenken von Auflagern bei Durchlaufträgern) ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit ein Teilsicherheitsbeiwert γ_p zu berücksichtigen, der ungünstige und günstige Auswirkungen berücksichtigt. Bei günstiger Auswirkung ist der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_p = 1,0$ und bei ungünstiger Auswirkung der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_p = 1,1$ zu berücksichtigen.

5.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

(510) Allgemeine Anforderungen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Es gelten DIN 1055-100:2001-03, Abschnitt 10 sowie DIN 1045:2001-07, 5.4.

6 Dauerhaftigkeit

(601) Erforderliche Nachweise

Der Nachweis ausreichender Dauerhaftigkeit gilt als erbracht, wenn die in den nachfolgenden Elementen angegebenen Anforderungen erfüllt werden und die Anforderungen an die Begrenzung der Spannungen nach 10.3 sowie in Abhängigkeit von den Expositionsklassen nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 19, Zeilen 2 und 3 die in 10.4 angegebenen Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite und an den Nachweis der Dekompression erfüllt werden.

(602) Stahlbeton- und Spannbetonteile

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, Abschnitt 6.

(603) Baustahlteile

Es gilt DIN 18800-1:1990-11, 7.7. Für die Spaltbereiche im Übergang Stahl/Beton (Verbundfuge) ist DIN 18800-7:2002-09, Element (1009) zu beachten.

(604) Verbundmittel

Eine ausreichende Dauerhaftigkeit ist gegeben, wenn die Bemessung nach 9.4 erfolgt und insbesondere die in 9.4.5 angegebenen Anforderungen an die konstruktive Ausbildung der Verdübelung erfüllt werden.

(605) Verbunddecken

Eine ausreichende Dauerhaftigkeit ist gegeben, wenn die in Abschnitt 11 und gegebenenfalls die in bauaufsichtlichen Zulassungen angegebenen ergänzenden Anforderungen erfüllt werden.

7 Werkstoffe

(701) Baustahl, hochfeste Zugglieder und Verbindungsmittel

Es gelten die Regelungen nach DIN 18800-1:1990-11, Abschnitt 4 sowie die Anpassungsrichtlinie zu DIN 18800.

(702) Beton

Sofern in dieser Norm keine anderen Festlegungen getroffen werden, gelten für die Materialeigenschaften von Normal- und Leichtbetonen die Regelungen nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1. Betonfestigkeitsklassen kleiner als C20/25 bzw. LC20/22 und höher als C60/75 bzw. LC60/66 liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm.

(703) Beton- und Spannstahl

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 9.2 und 9.3.

(704) Verbundmittel

Für Kopfbolzendübel gilt DIN EN ISO 13918. Bei Verwendung anderer Verbundmittel gilt Element (104).

(705) Profilbleche für Verbunddecken

Die mechanischen und geometrischen Kennwerte sowie die Verbundeigenschaften sind nicht Gegenstand dieser Norm. Es gilt Element (104).

8 Tragwerksberechnung

8.1 Allgemeines

(801) Grundlegende Annahmen

Das statische Modell und die grundlegenden Annahmen müssen das Verhalten von Querschnitten, Bauteilen, Verbindungen und Lagern ausreichend genau abbilden. Der Abschnitt 8 gilt für Tragwerke, bei denen die überwiegende Anzahl der Einzelbauteile entweder Verbund- oder Stahlbauteile sind. Wenn das Tragverhalten im Wesentlichen dem eines Stahlbeton- oder Spannbetontragwerks entspricht und nur wenige Einzelelemente als Verbundbauteile ausgebildet sind, sind die Schnittgrößen in der Regel nach DIN 1045-1:2001-07, Abschnitt 7 zu ermitteln. Die Schnittgrößenermittlung für Verbunddecken ist in Abschnitt 11 geregelt.

(802) Berechnungsmodelle für Anschlüsse

Im Allgemeinen dürfen die Einflüsse aus dem Last-Verformungsverhalten der Anschlüsse auf die Schnittgrößen und das Verformungsverhalten des Tragwerks vernachlässigt werden. Wenn sie, wie z. B. bei ver-

formbaren Anschlüssen, einen maßgebenden Einfluss haben, müssen sie in der Regel bei der Schnittgrößen-ermittlung berücksichtigt werden.

Bei Fachwerkkonstruktionen mit Druckgliedern in Verbundbauweise nach 9.7 kann im Allgemeinen keine ausreichende Rotationsfähigkeit unterstellt werden, die die Annahme von Gelenken in den Knoten rechtfertigt.

(803) Boden-Bauwerks-Interaktion

Falls erforderlich, sind Einflüsse aus dem Verformungsverhalten der Gründung zu berücksichtigen.

8.2 Einflüsse aus Tragwerksverformungen und Imperfektionen

(804) Grundsätze

Es gilt DIN 18800-1:1990-11, Element (728). Die Berechnung darf nach Theorie I. Ordnung erfolgen, wenn die Bedingung (5) eingehalten ist.

$$\eta_{K_{i,d}} \geq 10 \quad (5)$$

Dabei ist $\eta_{K_{i,d}}$ der Verzweigungslastfaktor nach DIN 18800-2:1990-11, Element (110). Bei der Bestimmung des Verzweigungslastfaktors und der Verzweigungslast $N_{K_{i,d}}$ müssen die Steifigkeitsansätze für das Tragwerk die Einflüsse aus der Rissbildung und aus dem Kriechen des Betons sowie aus dem Verformungsverhalten der Anschlüsse berücksichtigen. Bei Verbundstützen und Druckgliedern in Verbundbauweise ist für die Ermittlung des Verzweigungslastfaktors die Biegesteifigkeit $(EI)_{\text{eff}}$ nach Element (831) zu berücksichtigen.

(805) Imperfektionen

Der Einfluss von geometrischen und strukturellen Imperfektionen ist nach DIN 18800-2:1990-11, Element (114) zu berücksichtigen. Zur Erfassung beider Imperfektionen dürfen geometrische Ersatzimperfektionen in Übereinstimmung mit der DIN 18800-2:1990-11, Abschnitt 2 angenommen werden.

Bei Verbundstützen sind als maximaler Stich der Vorkrümmung abweichend von DIN 18800-2:1990-11, 2.2 die Werte nach Tabelle 11 zu verwenden. Bei seitlich verschieblichen Rahmentragwerken ist zusätzlich Element (834) zu beachten.

Für den gleichzeitigen Ansatz von Vorkrümmung und Vorverdrehung gilt DIN 18800-2:1990-11, 2.4. Die Stabkennzahl ε ist mit dem Bemessungswert der wirksamen Biegesteifigkeit $(EI)_{\text{eff}}$ nach Element (831) zu berechnen.

(806) Biegedrillknicken

Wenn bei der globalen Tragwerksberechnung der Einfluss des Biegedrillknickens vernachlässigt wird, darf für biegedrillknickgefährdete Verbundträger der Nachweis nach 9.3 geführt werden.

(807) Schnittgrößenermittlung für ebene Rahmentragwerke

Ebene seitlich verschiebliche Stockwerkrahmen dürfen nach Theorie I. Ordnung berechnet werden, wenn die Bedingung (5) für jedes Stockwerk erfüllt ist. Alternativ darf der Nachweis für diese Tragwerke auch nach DIN 18800-2:1990-11, Element (516) erfolgen, wenn der Normalkrafteinfluss in den Riegeln vernachlässigt werden darf und die Einflüsse nach 8.3.3 berücksichtigt werden.

(808) Definition der Unverschieblichkeit bei Rahmentragwerken

Es gelten die Regelungen der DIN 18800-2:1990-11, 5.2.2. Für die Berechnung der Aussteifungselemente gilt DIN 18800-2:1990-11, 5.2.3.

(809) Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen bei Rahmentragwerken

Es gilt DIN 18800-2:1990-11, 5.2.1. Bei Rahmen mit Verbundstützen dürfen bei der Berechnung der Biegesteifigkeit nach Gleichungen (45) und (46) der DIN 18800-2:1990-11 die nach Zustand I ermittelten ideellen Querschnittsflächen unter Berücksichtigung der Reduktionszahlen nach Element (822) verwendet werden.

8.3 Schnittgrößenermittlung

8.3.1 Allgemeines

(810) Grundsätze

Die Schnittgrößen dürfen nach der Elastizitäts- oder Fließzonentheorie berechnet werden. Eine Berechnung nach der Fließgelenktheorie in Übereinstimmung mit DIN 18800-1:1990-11, 7.5.4 ist nur zulässig, wenn die in 8.3.5 genannten Voraussetzungen erfüllt sind.

Für Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind die Schnittgrößen in der Regel mit elastischen Berechnungsverfahren nach 8.3.3 zu ermitteln. Dies gilt auch für den Nachweis gegen Ermüdung.

(811) Nichtlineare Berechnungsverfahren

Nichtlineare Tragwerksberechnungen unter Berücksichtigung von geometrischen und physikalischen Nichtlinearitäten dürfen in Übereinstimmung mit DIN 1045-1:2001-07, 8.5 und 9.1.5 für Verbundträger mit Querschnitten der Klassen 1 und 2 sowie für Verbundstützen (siehe 9.7.2) angewendet werden. Dabei sind im Allgemeinen das Verformungsverhalten der Verdübelung, die Rissbildung im Beton sowie die Einflüsse aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen, das Langzeitverhalten des Betons und die Belastungsgeschichte zu berücksichtigen. Hinsichtlich des Sicherheitskonzeptes wird auf Element (506) verwiesen. Angaben zur Berücksichtigung des Verformungsverhaltens von Verbundmitteln enthält Element (924).

(812) Querschnittsklassifizierung und Schnittgrößenermittlung

Die Methode der Schnittgrößenermittlung ist von der Rotationskapazität der Querschnitte abhängig. Das Rotationsvermögen der Querschnitte wird durch die in 8.4 angegebene Querschnittsklassifizierung beurteilt. Die Zuordnung der Querschnittsklassen zu den Nachweisverfahren nach DIN 18800-1:1990-11, 7.4 sowie die bei der Schnittgrößenermittlung und der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit zu berücksichtigenden Einflüsse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

(813) Verhalten von Verbindungen

Es gilt DIN 18800-1:1990-11, Element (733) und Element (737).

(814) Verformungsverhalten von Verbundmitteln

Einflüsse aus dem Verformungsverhalten (Schlupf, Abheben) der Verbundfuge dürfen bei der Ermittlung der Schnittgrößen nach 8.3.3, 8.3.4 und 8.3.5 vernachlässigt werden, wenn die Verdübelung nach 9.4 ausgeführt wird.

Tabelle 2 — Zuordnung der Querschnittsklassen zu den Nachweisverfahren nach DIN 18800-1

Spalte	1	2	3	4	5			
Zeile	Nachweisverfahren nach DIN 18800-1	Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden und der Belastungsgeschichte	Schnittgrößen E_d	Beanspruchbarkeit R_d	Querschnittsklasse			
					1	2	3	4
1	E/E	ja ^d	E-Theorie	elastisch mit Spannungsbegrenzung	ja	ja	ja	ja ^a
2	E/P	ja ^d	E-Theorie mit Momentenumlagerung	plastisch mit Dehnungsbegrenzung	ja	ja	ja ^b	—
3	E/P	nein	E-Theorie mit Momentenumlagerung	vollplastisch	ja	ja	—	—
4	P/P	nein	Fließgelenktheorie ^c	vollplastisch	ja	—	—	—

^a Grenzspannungen im Stahlträger sind nach Element (915) zu ermitteln.
^b Dehnungen im Stahlträger und im Beton sind nach Element (913) zu begrenzen.
^c Alternativ elastische Schnittgrößenermittlung mit Momentenumlagerung nach 8.3.4.
^d Darf bei Trägern mit Querschnitten der Klassen 1 und 2 ohne Biegedrillknickgefahr vernachlässigt werden.

8.3.2 Mittragende Gurtbreite

(815) Allgemeines

Der Einfluss aus der Schubweichheit breiter Gurte ist entweder durch eine genauere Berechnung oder durch eine mittragende Gurtbreite zu berücksichtigen. Für Betongurte darf die mittragende Gurtbreite nach Element (816) ermittelt werden.

(816) Mittragende Gurtbreite für die Schnittgrößenermittlung

Es darf eine konstante mittragende Gurtbreite über die gesamte Stützweite angenommen werden. Hierbei ist im Allgemeinen der Wert der mittragenden Breite $b_{\text{eff},1}$ in Feldmitte und für Kragarme der Wert $b_{\text{eff},2}$ am Auflager nach 9.1.2 anzunehmen.

8.3.3 Elastische Tragwerksberechnung

8.3.3.1 Allgemeines

(817) Grundsätze

Bei der Berechnung sind im Allgemeinen die Einflüsse aus der Rissbildung im Beton, aus dem Kriechen und Schwinden des Betons, aus der Belastungsgeschichte sowie aus Vorspannmaßnahmen zu berücksichtigen.

(818) Vorspannung mittels planmäßig eingepprägter Deformationen

Bei Vorspannung mittels planmäßig, kontrolliert eingepprägter Deformationen (z. B. Absenken von Auflagern bei Durchlaufträgern) sind die Einflüsse aus möglichen Abweichungen von den Nennwerten der eingepprägten Deformationen und Abweichungen der Steifigkeiten bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zu beachten. Die Beanspruchungen aus planmäßig eingepprägten und kontrollierten Deformationen dürfen mit dem mittleren Elastizitätsmodul E_{cm} nach DIN 1045-1:2005-06, 9.1.3 und der mittleren Kriechzahl nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.4 sowie den Nennwerten der Bauteilabmessungen ermittelt werden, wenn die in Element (509) angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden.

(819) Spanngliedvorspannung

Die Schnittgrößen aus Spanngliedvorspannung sind in Übereinstimmung mit DIN 1045-1:2991-07, 8.7 unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens des Betons und der Rissbildung im Beton zu bestimmen.

(820) Temperatureinwirkungen

Wenn klimatische Temperatureinwirkungen nach DIN 1055-7 zu berücksichtigen sind, dürfen die daraus resultierenden Beanspruchungen bei der Tragwerksberechnung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ausgenommen Ermüdung) im Allgemeinen vernachlässigt werden, wenn alle Querschnitte die Bedingungen der Klasse 1 oder 2 erfüllen und wenn keine Biegedrillknickgefahr besteht. Für Verbundtragwerke dürfen für Betonstahl abweichend von DIN 1045-1 die Rechenwerte des Temperaturendeckungskoeffizienten und des Elastizitätsmoduls für Baustahl verwendet werden.

8.3.3.2 Kriechen und Schwinden**(821) Grundsätze**

Die Einflüsse aus dem Kriechen und Schwinden müssen mit ausreichender Genauigkeit berücksichtigt werden. Für die Ermittlung der Kriechzahlen und Schwindmaße gilt DIN 1045-1:2001-07, 9.1.4. Die Einflüsse aus dem Kriechen und Schwinden dürfen bei typischen Trägerquerschnitten nach Bild 2 mit dem in Element (822) angegebenen Näherungsverfahren ermittelt werden. Für Doppelverbundquerschnitte, bei denen beide Betongurte ungerissen sind (z. B. bei Vorspannung), sowie für vollständig einbetonierte Querschnitte sind die Einflüsse aus dem Kriechen und Schwinden in der Regel mit genaueren Berechnungsverfahren zu ermitteln. Für Verbundstützen gelten die Regelungen nach Element (831).

(822) Näherungsverfahren zur Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden des Betons

Für typische Trägerquerschnitte nach Bild 2 dürfen die Einflüsse aus dem Kriechen des Betons durch ideale, auf den Elastizitätsmodul des Baustahls bezogene Werte für die Querschnittsfläche und das Flächenmoment zweiten Grades des Betongurtes berücksichtigt werden. Die von der Art der Beanspruchung (Index L) abhängigen Reduktionszahlen n_L dürfen nach Gleichung (6) berechnet werden.

$$n_L = n_0 (1 + \psi_L \varphi_t) \quad (6)$$

Dabei ist

n_0 = E_a/E_{cm} die Reduktionszahl für kurzzeitige Beanspruchungen bzw. für den Zeitpunkt t_0 ,

E_{cm} der mittlere Elastizitätsmodul des Betons nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 9 oder Tabelle 10,

φ_t die Kriechzahl $\varphi(t, t_0)$ nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.4 in Abhängigkeit vom betrachteten Betonalter (t) und vom Alter (t_0) bei Belastungsbeginn,

ψ_L ein von der Beanspruchungsart abhängiger Beiwert, der für ständige Beanspruchungen mit $\psi_P = 1,10$, für primäre und sekundäre Beanspruchungen aus dem Schwinden (ψ_S) sowie für zeitabhängige sekundäre Beanspruchungen aus dem Kriechen (ψ_{PT}) mit $\psi_S = \psi_{PT} = 0,55$ und für Beanspruchungen aus Vorspannung mittels planmäßig eingepprägter Deformationen mit $\psi_D = 1,50$ angenommen werden darf.

ANMERKUNG Aus dem Schwinden des Betons resultieren bei Verbundtragwerken Eigenspannungen im Querschnitt sowie Krümmungen und Längsdehnungen in Bauteilen. Diese Eigenspannungen, die in statisch bestimmten Tragwerken und bei Vernachlässigung der Verträglichkeitsbedingungen auch in statisch unbestimmten Tragwerken auftreten, werden als primäre Beanspruchungen bezeichnet. Die primären Beanspruchungen rufen in statisch unbestimmten Tragwerken aufgrund der Verträglichkeitsbedingungen zusätzliche Zwangsbeanspruchungen hervor. Diese werden als sekundäre Beanspruchungen bezeichnet.

(823) Festlegung des Belastungsalters

Der Einfluss des Betonalters ist bei der Ermittlung der Kriechzahl und des Schwindmaßes mit ausreichender Genauigkeit zu berücksichtigen. Für Verbundtragwerke des Hoch- und Ingenieurbaus, bei denen der Betongurt abschnittsweise hergestellt wird, darf für die ständigen Einwirkungen aus dem Betongewicht ein mittleres Alter für den Belastungsbeginn für die Bestimmung der Kriechzahl angenommen werden.

Diese Annahme darf auch für Beanspruchungen aus Vorspannmaßnahmen mittels planmäßig eingepprägter Deformationen getroffen werden, wenn der Beton in den maßgebenden Feldern zum Zeitpunkt der Vorspannmaßnahme älter als 14 Tage ist.

Beim Schwinden ist das Alter bei Belastungsbeginn in der Regel mit einem Tag anzunehmen. Wenn Fertigteile verwendet werden oder wenn eine Vorspannung des Betons vor Herstellung des Verbundes erfolgt, ist in der Regel für die Ermittlung der Kriechzahl und des Schwindmaßes als Alter bei Belastungsbeginn das Alter anzunehmen, bei dem die Verbundwirkung wirksam wird.

(824) Einfluss der Rissbildung auf die sekundären Beanspruchungen aus Schwinden

In Trägerbereichen, in denen der Betongurt als gerissen angenommen wird, dürfen bei der Ermittlung der sekundären Beanspruchungen aus dem Schwinden die Auswirkungen aus den primären Beanspruchungen infolge Schwinden vernachlässigt werden.

(825) Vernachlässigung der sekundären Beanspruchungen aus Schwinden

Die Einflüsse aus primären und sekundären Beanspruchungen infolge des Schwindens und Kriechens des Betongurtes sind im Allgemeinen zu berücksichtigen. Sie dürfen bei der Schnittgrößenermittlung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Ausnahme des Grenzzustandes der Ermüdung für Verbundtragwerke vernachlässigt werden, wenn alle Querschnitte die Bedingungen der Querschnittsklasse 1 oder 2 erfüllen und keine Biegedrillknickgefahr besteht.

(826) Berücksichtigung des Langzeitverhaltens des Betons bei Verbundstützen

Bei Verbundstützen und druckbeanspruchten Verbundbauteilen nach 9.7 dürfen die Einflüsse aus dem Kriechen nach Element (831) berücksichtigt werden.

8.3.3.3 Einflüsse aus der Rissbildung des Betons

(827) Grundsätze

Die Einflüsse aus der Rissbildung des Betons und aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen sind bei der Berechnung ausreichend genau zu berücksichtigen.

Wenn im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit keine besonderen Anforderungen an die Verformungen gestellt werden, dürfen die Schnittgrößen auch vereinfachend ohne Berücksichtigung der Rissbildung ermittelt werden. Hinsichtlich der Umlagerung der Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt 8.3.4. Bei

Durchlaufträgern und Riegeln in seitlich unverschieblichen Rahmentragwerken darf das in Element (828) angegebene Näherungsverfahren verwendet werden. Andernfalls sind die Schnittgrößen nach dem in Element (829) angegebenen allgemeinen Verfahren zu ermitteln.

Bei Verbundstützen ist der Einfluss der Rissbildung nach Element (831) zu berücksichtigen.

(828) Näherungsverfahren zur Berücksichtigung der Rissbildung bei Trägern

Dieses Verfahren darf für durchlaufende Verbundträger ohne Vorspannmaßnahmen sowie für Riegel in seitlich unverschieblichen Rahmentragwerken mit Querschnitten nach Bild 2 angewendet werden. Wenn das Verhältnis der an eine Innenstütze angrenzenden Stützweiten ($l_{\min}/l_{\max}$) nicht kleiner als 0,6 ist, darf der Einfluss der Rissbildung durch Ansatz der Biegesteifigkeit $E_a I_2$ über 15 % der Stützweite der an die betrachtete Innenstütze angrenzenden Felder und Ansatz der Steifigkeit $E_a I_1$ in den restlichen Bereichen erfasst werden.

(829) Allgemeines Verfahren zur Berücksichtigung der Rissbildung bei Trägern

Bei Tragwerken, bei denen die Rissbildung einen großen Einfluss auf die Schnittgrößenverteilung hat (z. B. Rissbildung in den Riegeln von seitlich verschieblichen Rahmentragwerken), ist zur Festlegung der Steifigkeitsverteilung eine zweimalige Berechnung der Schnittgrößen erforderlich. Zunächst sind für die charakteristische Kombination der Einwirkungen nach DIN 1055-100:2001-03, 10.4(2) die extremalen Schnittgrößen (Momentengrenzlinie) mit den Biegesteifigkeiten $E_a I_1$ der ungerissenen Querschnitte und unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens des Betons zu ermitteln. Diese Berechnung wird als „Tragwerksberechnung ohne Berücksichtigung der Rissbildung“ bezeichnet.

In Trägerbereichen, in denen infolge der aus der Haupttragwerkswirkung resultierenden extremalen Schnittgrößen die Randzugspannung des Betongurtes für Normalbeton den zweifachen Wert von f_{ctm} nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 9 und für Leichtbeton den zweifachen Wert von f_{lctm} nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 10 überschreitet, ist die Biegesteifigkeit auf den Wert $E_a I_2$ nach Element (317) abzumindern. Die hieraus resultierende Steifigkeitsverteilung darf für die Schnittgrößenermittlung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zugrunde gelegt werden.

(830) Kammerbetonierte Trägerquerschnitte

Bei Trägern mit kammerbetonierten Querschnitten darf der Einfluss der Rissbildung durch die wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_w = 0,5 (E_a I_1 + E_a I_2)$ berücksichtigt werden. Zur Ermittlung der als gerissen anzunehmenden Teile des Kammerbetonquerschnitts darf die vollplastische Spannungsverteilung des Querschnitts nach 9.2.2 zugrunde gelegt werden.

(831) Einfluss der Rissbildung und wirksame Biegesteifigkeit bei Verbundstützen

Für Verbundstützen und Druckglieder in Verbundbauweise nach 9.7 ist die wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{\text{eff}}$ mit Gleichung (7) zu ermitteln.

$$(EI)_{\text{eff}} = 0,9 (E_a I_a + E_s I_s + 0,5 E_{c,\text{eff}} I_c) \quad (7)$$

Dabei ist

$E_a I_a$ die Biegesteifigkeit des Baustahlquerschnittes,

$E_s I_s$ die Biegesteifigkeit der Bewehrung,

$E_{c,\text{eff}} I_c$ die Biegesteifigkeit des Betonquerschnitts. Das Flächenmoment 2. Ordnung I_c ist dabei für den ungerissenen Betonquerschnitt zu berechnen.

Der Einfluss aus dem Langzeitverhalten des Betons ist durch Abminderung des mittleren Elastizitätsmoduls E_{cm} auf den effektiven Wert $E_{c,\text{eff}}$ nach Gleichung (8) zu berücksichtigen.

$$E_{c,eff} = E_{cm} \frac{1}{1 + (N_{G,Ed} / N_{Ed}) \varphi_t} \quad (8)$$

Dabei ist

- E_{cm} mittlerer Elastizitätsmodul des Betons nach DIN 1045:2001-07, Tabelle 9 oder 10,
- φ_t die Kriechzahl $\varphi(t, t_0)$ nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.4 in Abhängigkeit vom betrachteten Betonalter (t) und dem Alter (t_0) bei Belastungsbeginn,
- N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft,
- $N_{G,Ed}$ der ständig wirkende Anteil der einwirkenden Normalkraft.

Wenn keine genauere Ermittlung der Kriechzahl durchgeführt wird, darf bei betongefüllten Hohlprofilen die Kriechzahl mit 25 % desjenigen Wertes angenommen werden, der sich nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.4 ohne Berücksichtigung der Austrocknungsbehinderung durch das Hohlprofil ergibt.

8.3.3.4 Belastungsgeschichte

(832) Grundsätze

Bei der Tragwerksberechnung müssen die Einflüsse aus der Belastungsgeschichte ausreichend genau berücksichtigt werden. Hierzu zählen Einflüsse aus einer abschnittsweisen Herstellung des Tragwerks, aus Systemwechseln und aus Einwirkungen, die teilweise auf das Stahl- oder Verbundtragwerk wirken (Herstellung mit oder ohne Eigengewichtsverbund).

(833) Vernachlässigung des Einflusses der Belastungsgeschichte

Bei Verbundträgern darf bei der Tragwerksberechnung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Ausnahme des Grenzzustandes der Ermüdung der Einfluss der Belastungsgeschichte vernachlässigt werden, wenn alle Querschnitte die Bedingungen der Klasse 1 oder 2 erfüllen und wenn ein Nachweis gegen Biegedrillknicken nicht erforderlich ist. Siehe hierzu Elemente (916) und (918).

(834) Seitlich verschiebliche Rahmentragwerke in Verbundbauweise

Der Einfluss von Systemwechseln im Bauzustand, die zu Steifigkeitsänderungen führen (z. B. wenn die Riegel im Bauzustand noch keine Verbundquerschnitte sind), ist bei der Schnittgrößenermittlung zu berücksichtigen. Wenn bei seitlich verschieblichen Rahmentragwerken die Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung ermittelt werden müssen, darf der Einfluss der Belastungsgeschichte bezüglich der Imperfektionen vernachlässigt werden, wenn im Endzustand die Vorverdrehungen nach DIN 18800-2:1990-11, 2.3 mit dem Faktor α nach Gleichung (9) vergrößert werden.

$$\alpha = \frac{1 - \frac{1}{\eta_{Ki,E}} \frac{N_{B,Ed}}{N_{Ed}}}{1 - \frac{1}{\eta_{Ki,B}}} \quad (9)$$

Dabei ist

- $N_{B,Ed}$ die Summe aller im Bauzustand in dem betrachteten Stockwerk übertragenen Bemessungswerte der Vertikallasten,
- N_{Ed} die Summe aller im Endzustand in dem betrachteten Stockwerk übertragenen Bemessungswerte der Vertikallasten,
- $\eta_{Ki,B}$ der Verzweigungslastfaktor im Bauzustand bezogen auf $N_{B,Ed}$,
- $\eta_{Ki,E}$ der Verzweigungslastfaktor im Endzustand bezogen auf N_{Ed} (siehe auch Element (804)).

8.3.4 Elastische Berechnung mit Momentenumlagerung

(835) Allgemeines

Die mit einer elastischen Berechnung nach 8.3.3 ermittelten Schnittgrößen dürfen bei Durchlaufträgern und seitlich unverschieblichen Rahmentragwerken im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter Beachtung der Gleichgewichtsbedingungen umgelagert werden. Der Grad der Momentenumlagerung ist dabei von der Querschnittsklassifizierung nach 8.4 abhängig.

(836) Umlagerung der Schnittgrößen bei Tragwerken mit Verbund-, Stahl- und Betonbauteilen

Die aus einer elastischen Tragwerksberechnung nach 8.3.3 resultierenden Schnittgrößen dürfen umgelagert werden

- a) bei Verbundträgern mit vollständiger und teilweiser Verdübelung nach den Elementen (837) bis (839),
- b) bei Stahlbauteilen nach DIN 18800-1:1990-11, Element (754),
- c) bei überwiegend biegebeanspruchten Betonbauteilen nach DIN 1045-1:2001-07, 8.3,
- d) bei kammerbetonierten Verbundträgern ohne Betongurt nach b) oder c), wobei jeweils der kleinere Wert nach b) oder c) für die Schnittgrößenumlagerung maßgebend ist.

(837) Umlagerung der Schnittgrößen bei Verbundträgern — Anwendungsgrenzen

Mit Ausnahme des Grenzzustandes der Ermüdung dürfen die nach 8.3.3 ermittelten Schnittgrößen bei Verbundträgern im Grenzzustand der Tragfähigkeit umgelagert werden, wenn:

- es sich um Durchlaufträger oder Rahmenriegel in seitlich unverschieblichen Tragwerken handelt,
- die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung nicht zu berücksichtigen sind,
- die Anschlüsse entweder als biegesteife und volltragfähige oder als gelenkige Anschlüsse ausgebildet werden,
- bei kammerbetonierten Verbundträgern die für die angenommene Schnittgrößenumlagerung erforderliche Rotationskapazität nachgewiesen wird oder an Stützen mit planmäßiger Momentenumlagerung der Beitrag des druckbeanspruchten Kammerbetons und der druckbeanspruchten Bewehrung bei der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit vernachlässigt wird,
- die Bauhöhe feldweise konstant ist und kein Nachweis gegen Biegedrillknicken erforderlich ist,
- die Träger überwiegend durch Gleichstreckenlasten beansprucht werden.

(838) Grenzwerte für die Momentenumlagerung bei Trägern mit Baustählen S235, S275 und S355

Wenn keine genauere Berechnung mit Nachweis ausreichender Rotationskapazität erfolgt, dürfen bei Trägern mit Baustählen S235, S275 und S355 die nachfolgend angegebenen Momentenumlagerungen berücksichtigt werden:

- Abminderung der extremalen negativen Momente an Innenstützen bis zu den in Tabelle 3 angegebenen Grenzwerten.
- Erhöhung der extremalen negativen Biegemomente an Innenstützen bis zu maximal 10 % bei einer Berechnung der Schnittgrößen unter Annahme ungerissener Querschnitte und bis zu maximal 20 % bei einer Berechnung der Schnittgrößen unter Berücksichtigung der Rissbildung nach Element (828) oder

(829). Eine Erhöhung der Schnittgrößen an Innenstützen ist nur zulässig, wenn alle Querschnitte die Bedingungen der Querschnittsklasse 1 oder 2 erfüllen.

Die in Tabelle 3 angegebenen Grenzwerte für die Momentenumlagerung beziehen sich bei Querschnitten der Klasse 3 oder 4 auf die auf den Verbundquerschnitt einwirkenden Biegemomente. Für die auf den Stahlquerschnitt einwirkenden Momente ist in der Regel keine Umlagerung der Biegemomente zulässig.

Tabelle 3 — Grenzwerte für die Umlagerung von negativen Biegemomenten an Innenstützen in %

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Querschnittsklasse im negativen Momentenbereich	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
1	Schnittgrößenermittlung ohne Berücksichtigung der Rissbildung	40	30	20	10
2	Schnittgrößenermittlung mit Berücksichtigung der Rissbildung nach Element (828) oder (829)	25	15	10	0

(839) Grenzwerte für die Momentenumlagerung bei Trägern mit Baustählen S420 und S460

Bei Verbundträgern mit Baustählen S420 und S460 ist eine Abminderung der extremalen negativen Momente an Innenstützen nur zulässig, wenn alle Querschnitte die Bedingungen der Klasse 1 oder 2 erfüllen. Die Momentenumlagerung darf bei einer Berechnung der Schnittgrößen ohne Berücksichtigung der Rissbildung 30 % und bei einer Berechnung der Schnittgrößen unter Berücksichtigung der Rissbildung 15 % nicht überschreiten. Andernfalls ist nachzuweisen, dass die Rotationskapazität größere Momentenumlagerungen zulässt.

8.3.5 Berechnung nach der Fließgelenktheorie

(840) Grundsätze

Die Beanspruchungen dürfen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Ausnahme des Grenzzustandes der Ermüdung in Übereinstimmung mit DIN 18800-1:1990-11, 7.5.4 für Durchlaufträger und Rahmentragwerke in Verbundbauweise nach der Fließgelenktheorie ermittelt werden, wenn:

- alle Bauteile und Verbindungen in Stahl- oder Verbundbauweise ausgeführt werden,
- Einflüsse aus Theorie II. Ordnung nicht zu berücksichtigen sind,
- für Baustahl die Werkstoffanforderungen nach DIN 18800-1 erfüllt sind,
- bei allen Bauteilen, in denen Fließgelenke auftreten und bei denen die Rotationsanforderungen nicht genauer nachgewiesen werden, die wirksamen Querschnitte in Fließgelenken die Bedingungen der Querschnittsklasse 1 nach 8.4 erfüllen,
- in Bezug auf die vertikale Querschnittsachse (z. B. Stegachse bei I-Querschnitten) symmetrische Baustahlquerschnitte vorhanden sind,
- der Stahlquerschnitt und stabilisierende Anschlussbauteile so ausgebildet sind, dass kein Biegedrillknicken auftreten kann,
- an Stellen von Fließgelenken mit Rotationsanforderungen seitliche Abstützungen vorhanden sind,

- Verbindungen bei Erreichen der plastischen Momententragfähigkeit auch unter Berücksichtigung von in Bauteilen und Verbindungen wirkenden Normalkräften eine ausreichende Rotationskapazität aufweisen.

(841) Bedingungen für Durchlaufträger ohne direkten Nachweis der Rotationskapazität

Für Durchlaufträger in Verbundbauweise darf angenommen werden, dass eine ausreichende Rotationskapazität vorhanden ist, wenn:

- a) Baustähle S235, S275 oder S355 verwendet werden,
- b) der Kammerbeton und die im Druckbereich des Kammerbetons angeordnete Bewehrung bei der Ermittlung der Momententragfähigkeit vernachlässigt werden,
- c) im Bereich von Fließgelenken alle Querschnitte die Bedingungen der Klasse 1 und in allen anderen Bereichen die Bedingungen der Klasse 1 oder 2 nach 8.4 erfüllen,
- d) für jede Träger-Stützenverbindung nachgewiesen wird, dass eine ausreichende Rotationskapazität vorhanden ist oder dass der Anschluss so ausgebildet wird, dass die Momententragfähigkeit des Anschlusses nicht kleiner als der 1,2fache Wert der vollplastischen Momententragfähigkeit des angeschlossenen Trägerquerschnitts ist,
- e) sich zwei benachbarte Stützweiten bezogen auf die kleinere Stützweite in ihrer Länge um nicht mehr als 50 % unterscheiden,
- f) die Stützweite des Endfeldes nicht größer als 115 % der Stützweite des Nachbarfeldes ist,
- g) in einem Feld, in dem mehr als die Hälfte der Bemessungslast auf einer Länge von $1/5$ der Stützweite konzentriert ist, in Fließgelenken mit druckbeanspruchten Betongurten die plastische Druckzonenhöhe z_{pl} nach Element (907) nicht größer als 15 % der Gesamthöhe des Verbundträgers ist (andernfalls ist nachzuweisen, dass sich das betrachtete Fließgelenk im Feldbereich als letztes ausbildet und somit keine Rotationsanforderungen bestehen),
- h) der Druckflansch des Stahlträgers im Bereich von Fließgelenken seitlich gehalten ist. Seitliche Halterungen sind in Längsrichtung in einem Abstand anzuordnen, der die halbe Stahlträgerhöhe nicht überschreiten darf.

(842) Fließgelenktheorie bei seitlich unverschieblichen Rahmentragwerken

Eine Berechnung nach der Fließgelenktheorie ist nur zulässig, wenn die Riegel die Bedingungen nach Element (841) erfüllen und Verbundstützen mit ausbetonierten Hohlprofilen verwendet werden oder wenn nachgewiesen wird, dass bei anderen Querschnitten in Verbundstützen keine Fließgelenke mit Rotationsanforderungen entstehen. Beim Tragsicherheitsnachweis für die Stützen darf dann eine elastische Einspannung in die Riegel nicht berücksichtigt werden.

8.4 Klassifizierung von Querschnitten

(843) Grundsätze

Die Rotationskapazität der Querschnitte wird durch die nachfolgend beschriebenen Querschnittsklassen 1 bis 4 definiert. Die Einstufung der Querschnitte in die jeweils ungünstigste Klasse hängt von den Abmessungen der druckbeanspruchten Teile des Stahlquerschnitts und bei auf Zug beanspruchten Betongurten von der Duktilität des Betonstahls und vom Bewehrungsgrad ab.

- Klasse 1: Diese Querschnitte können plastische Gelenke mit ausreichendem Rotationsvermögen für eine plastische Berechnung des Systems ausbilden.

- Klasse 2: Querschnitte der Klasse 2 können bei eingeschränktem Rotationsvermögen die vollplastische Querschnittstragfähigkeit entwickeln.
- Klasse 3: Diese Querschnitte können in der ungünstigsten druckbeanspruchten Faser des Stahlquerschnitts bis zur Streckgrenze ausgenutzt werden. Eine Einstufung in Klasse 2 ist möglich, wenn ein wirksamer Stegquerschnitt nach Element (845) zugrunde gelegt wird.
- Klasse 4: Bei diesen Querschnitten wird die Querschnittstragfähigkeit durch örtliches Beulen vor Erreichen der elastischen Momententragfähigkeit begrenzt.

Die maßgebende Querschnittsklasse eines Verbundquerschnitts ergibt sich in der Regel aus der ungünstigsten Klasse der druckbeanspruchten Einzelquerschnittsteile des Baustahlquerschnitts. Bei der Tragwerksberechnung ist für Bauzustände die für den jeweiligen Bauzustand maßgebende Querschnittsklasse des Stahlquerschnitts und im Endzustand (Verbundquerschnitt) die vom Vorzeichen des Biegemomentes abhängige Querschnittsklasse zu beachten.

Tabelle 4 — Zuordnung der Querschnittsklassen zu den Grenzwerten $\text{grenz}(b/t)$ nach DIN 18800-1

Spalte	1	2
Zeile	Querschnitt der	Maßgebende Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ nach DIN 18800-1:1990-11
1	Klasse 1	Tabelle 18
2	Klasse 2	Tabelle 15
3	Klasse 3	Tabellen 12 und 13

(844) Einstufung von Stahlquerschnitten ohne Kammerbeton

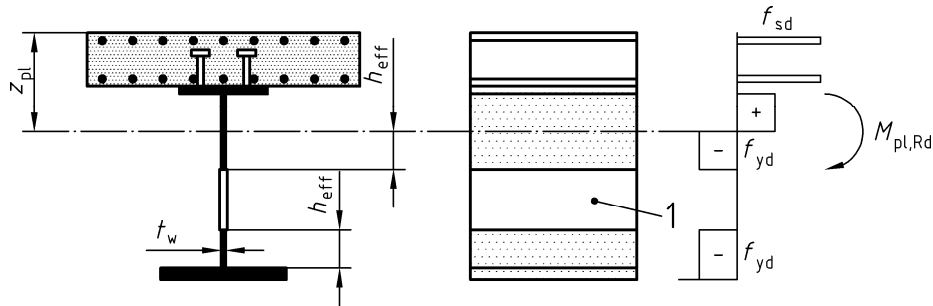
Für die Einstufung in die jeweilige Querschnittsklasse ist nachzuweisen, dass die in Tabelle 4 angegebenen Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ nicht überschritten werden. Flansche, bei denen ein örtliches Beulen durch die Verdübelung mit dem Betongurt verhindert wird, dürfen in die Klasse 1 eingestuft werden, wenn die Bedingungen nach Element (948) eingehalten sind. Querschnittsteile, die nicht die Bedingungen für die Querschnittsklasse 3 erfüllen, sind in die Querschnittsklasse 4 einzustufen.

Für die Klassifizierung der Querschnitte ist mit Ausnahme von Querschnitten der Klassen 3 und 4 von einer vollplastischen Spannungsverteilung auszugehen. Für Querschnitte der Klassen 3 und 4 ist die elastische Spannungsverteilung unter Berücksichtigung der Belastungsgeschichte und der Einflüsse aus Kriechen und Schwinden zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Spannungsverteilung ist der Steg des Stahlquerschnitts als voll wirksam anzunehmen und die mittragende Gurtbreite nach Element (904) zu berücksichtigen. Die Klassifizierung erfolgt unter Berücksichtigung der Bemessungswerte der Werkstofffestigkeiten, wobei die Zugfestigkeit des Betons nicht in Rechnung gestellt werden darf.

(845) Querschnitte mit Stegen der Klasse 3 und Gurten der Klasse 1 oder 2

Bei Querschnitten mit Stegen der Klasse 3 und Gurten der Klasse 1 oder 2 darf die Momententragfähigkeit bei negativer Momentenbeanspruchung vollplastisch ermittelt werden, wenn bei der Berechnung ein wirksamer Steg nach Bild 1 zugrunde gelegt wird. Als wirksamer Stegquerschnitt darf im Bereich des Untergurtes und der plastischen Nulllinie jeweils die Höhe h_{eff} nach Gleichung (10) und Bild 1 angenommen werden. Zur Lasteinleitung von konzentrierten Einzellasten am Untergurt (Auflager) muss der Steg ausgesteift werden.

$$h_{\text{eff}} = 20 \cdot t_w \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}} \quad \text{mit } f_{yk} \text{ in N/mm}^2 \quad (10)$$



Legende

1 nicht wirksamer Querschnitt

Bild 1 — Wirksamer Stegquerschnitt

(846) Erforderliche Duktilitätsbewehrung bei Querschnitten der Klassen 1 und 2

Ein vorzeitiges Versagen der Bewehrung in zugbeanspruchten Betongurten infolge örtlicher Dehnungskonzentrationen an einzelnen Rissen, hervorgerufen aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen, muss verhindert werden.

Bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 und Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit nach 9.2.2 darf bei auf Zug beanspruchten Betongurten nur Betonstahl mit hoher Duktilität nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 11 verwendet werden. Geschweißte Betonstahlmatten dürfen in der Regel bei einer Berechnung nach 8.3.5 nur berücksichtigt werden, wenn eine ausreichende Duktilität zur Verhinderung eines vorzeitigen Versagens nachgewiesen wird. Ferner ist innerhalb der mittragenden Breite eine Mindestbewehrung A_s nach Bedingung (11) anzuordnen.

$$A_s \geq \rho_s A_c \quad (11)$$

Dabei ist

$$\rho_s = \delta \frac{f_{yk}}{240} \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \sqrt{k_c} \quad (12)$$

Dabei ist

A_c Querschnittsfläche des Betongurtes innerhalb der mittragenden Breite,

f_{yk} charakteristischer Wert der Streckgrenze des Baustahls in N/mm²,

f_{sk} charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls in N/mm²,

f_{ctm} Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons nach DIN 1045-1,

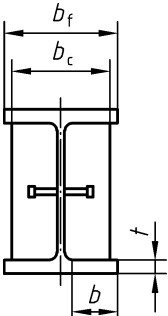
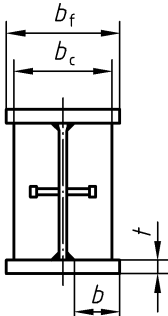
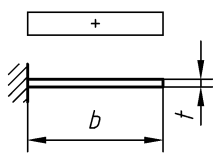
δ Beiwert, der für Querschnitte der Klasse 2 mit $\delta = 1,0$ und für Querschnitte der Klasse 1 bei Rotationsanforderungen in Fließgelenken mit $\delta = 1,1$ anzunehmen ist,

k_c Beiwert nach 10.4.2, Element (1016).

(847) Anrechenbarkeit der Längsbewehrung im Kammerbeton

Bei Querschnitten der Klasse 1 dürfen bei gleichzeitiger Verwendung von Betonstabstahl und Betonstahlmatten bei Querschnitten mit Rotationsanforderungen in Fließgelenken Betonstahlmatten bei der Ermittlung der Momententragfähigkeit nicht angerechnet werden.

Tabelle 5 — Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ für die Gurte von Querschnitten mit Kammerbeton

Spalte	Walzprofil	Geschweißtes Profil	Spannungsverteilung (Druckspannungen positiv)
			 $\varepsilon = \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}} \text{ mit } f_{yk} \text{ in N/mm}^2$
Grenzen für die Breite b_c des Kammerbetons: $0,8 \leq \frac{b_c}{b_f} \leq 1,0$			
Zeile	Querschnitt der		Grenzwerte für b/t
1	Klasse 1		$b/t \leq 9 \varepsilon$
2	Klasse 2		$b/t \leq 14 \varepsilon$
3	Klasse 3		$b/t \leq 20 \varepsilon$

(848) Klassifizierung von kammerbetonierten Verbundquerschnitten

Wenn der günstige Einfluss des Kammerbetons auf das örtliche Beulen von Stegen und Gurten berücksichtigt wird, ist der Kammerbeton zu bewehren und mit dem Steg des Stahlquerschnitts planmäßig zu verdübeln.

Einseitig gestützte Gurte von kammerbetonierten Verbundträgern dürfen nach Tabelle 5 klassifiziert werden. Stege von kammerbetonierten Trägern dürfen in die Klasse 2 eingestuft werden, wenn die Bedingungen nach Tabelle 6 und zusätzlich die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- Es werden die Anforderungen an das Verhältnis b_c/b_f nach Tabelle 5 eingehalten und der Kammerbeton ist in Längsrichtung mit Betonstabstahl und/oder Matten bewehrt.
- Der Kammerbeton wird entsprechend Bild 7 mit Hilfe von an den Steg angeschweißten Bügeln oder mit Hilfe von durch Stegöffnungen gesteckten Bügeln und/oder durch an den Steg geschweißten Kopfbolzendübeln verankert. Der Durchmesser der Steckbügel darf 6 mm nicht unterschreiten. Es dürfen nur Dübel mit Schaftdurchmessern größer als 10 mm verwendet werden.

In Trägerlängsrichtung darf der Dübelabstand je Stegseite bzw. der Abstand der Steckbügel 400 mm nicht überschreiten. Der Abstand zwischen der Gurtinnenseite und den im Kammerbeton angeordneten Verankerungselementen darf nicht größer als 200 mm sein. Für Träger mit Stahlquerschnitten, bei denen die maximale Querschnittshöhe nicht kleiner als 400 mm ist und bei denen die Dübel bzw. Steckbügel mehrreihig angeordnet werden, ist eine versetzte Anordnung zulässig.

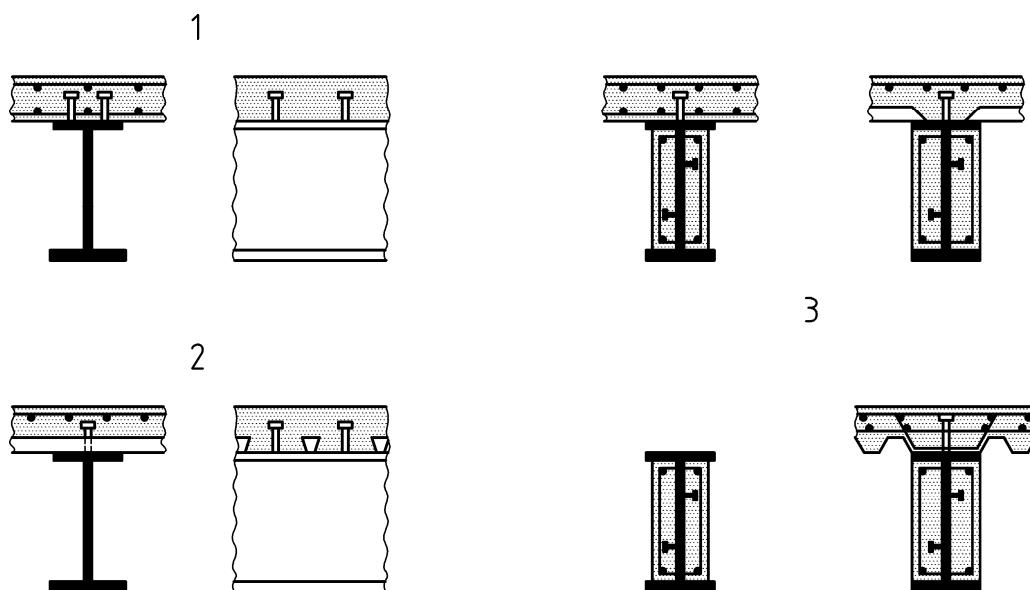
9 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

9.1 Verbundträger

9.1.1 Allgemeines

(901) Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich dieses Abschnittes umfasst vorwiegend auf Biegung beanspruchte Verbundträger, bei denen Stahlträger und Betongurte durch Verbundmittel schubfest miteinander verbunden werden und der Betongurt den Obergurt bildet. Die Stahlträger können teilweise einbetoniert sein (Querschnitte mit Kammerbeton). Typische Querschnitte sind in Bild 2 dargestellt. Die Betongurte können aus Vollbetonplatten oder aus Profilblechdecken bestehen, die parallel oder senkrecht zur Trägerrichtung verlaufen dürfen.



Legende

- 1 Träger mit Gurten aus Vollbetonplatten und durchgehender Verbundfuge
- 2 Träger mit Profilblechen und unterbrochener Verbundfuge
- 3 Träger mit Kammerbeton

Bild 2 — Typische Querschnitte von Verbundträgern

(902) Erforderliche Nachweise und kritische Schnitte

Für Verbundträger sind folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis ausreichender Tragsicherheit für Biegung und Querkraft in kritischen Querschnitten nach 9.2,
- Nachweis gegen den Grenzzustand des Biegedrillknickens nach 9.3,
- Nachweis ausreichender Tragsicherheit gegen Längsschubversagen der Verbundfuge und des Betongurtes im Bereich von kritischen Längen für die Längsschubkrafttragfähigkeit nach 9.4 und 9.5,
- Nachweis gegen Ermüdung nach 9.6.

Kritische Schnitte beim Nachweis ausreichender Tragsicherheit für Biegung und Querkraft sind:

- Stellen extremaler Biegemomente,
- Auflagerpunkte,
- Angriffspunkte von konzentrierten vertikalen Einzellasten,
- Stellen mit Querschnittssprüngen, die nicht durch Rissbildung des Betongurtes verursacht werden (ein Querschnittssprung ist in der Regel als kritischer Schnitt zu untersuchen, wenn das Verhältnis von größerer zu kleinerer Momententragfähigkeit größer als 1,2 ist),
- Querschnitte mit Stegöffnungen und Durchbrüchen in Betongurten,
- Einleitungsstellen von konzentrierten Längskräften.

Beim Nachweis der ausreichenden Tragsicherheit für das Längsschubversagen der Verbundfuge und des Betongurtes ergeben sich die maßgebenden kritischen Längen aus dem Abstand benachbarter kritischer Querschnitte. In dieser Hinsicht zählen ferner zu kritischen Schnitten:

- freie Enden von Kragarmen,
- benachbarte Nachweispunkte bei Trägern mit veränderlicher Bauhöhe, die so zu wählen sind, dass an allen betrachteten benachbarten Nachweispunkten, an denen die Momente ein gleiches Vorzeichen aufweisen, das Verhältnis von größerer zu kleinerer plastischer Momententragfähigkeit nicht größer als 1,5 ist,
- Trägerbereiche mit nichtelastischem Verhalten des Stahlquerschnitts, wenn die Verbundmittel nicht die Duktilitätsanforderungen nach Element (924) erfüllen.

(903) Vollständige und teilweise Verdübelung

Die Bemessungsverfahren für vollständige und teilweise Verdübelung dürfen nur bei Trägern angewendet werden, bei denen die Momententragfähigkeit in kritischen Schnitten vollplastisch ermittelt werden darf.

Ein Trägerabschnitt bzw. Kragarm gilt als vollständig verdübelt, wenn eine Vergrößerung der Anzahl der Verbundmittel zu keiner Erhöhung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit führt. Andernfalls ist der Träger teilweise verdübelt. Die Anwendungsgrenzen für eine teilweise Verdübelung von Trägern sind in den Elementen (925) und (926) angegeben.

9.1.2 Mittragende Gurtbreite beim Nachweis der Querschnittstragfähigkeit

(904) Mittragende Gurtbreite bei Momentenbeanspruchung

Der Einfluss aus der Schubweichheit breiter Gurte darf durch eine mittragende Gurtbreite berücksichtigt werden. In den Feldbereichen und an Auflagern darf die mittragende Gurtbreite b_{eff} in Abhängigkeit von der äquivalenten Stützweite L_e nach Gleichung (13) berechnet werden.

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum b_{\text{ei}} \text{ mit } b_{\text{ei}} = L_e / 8 \leq b_i \quad (13)$$

Dabei ist

b_0 der Achsabstand zwischen den äußeren Dübelreihen,

b_i geometrische Teilgurtbreite nach Bild 3,

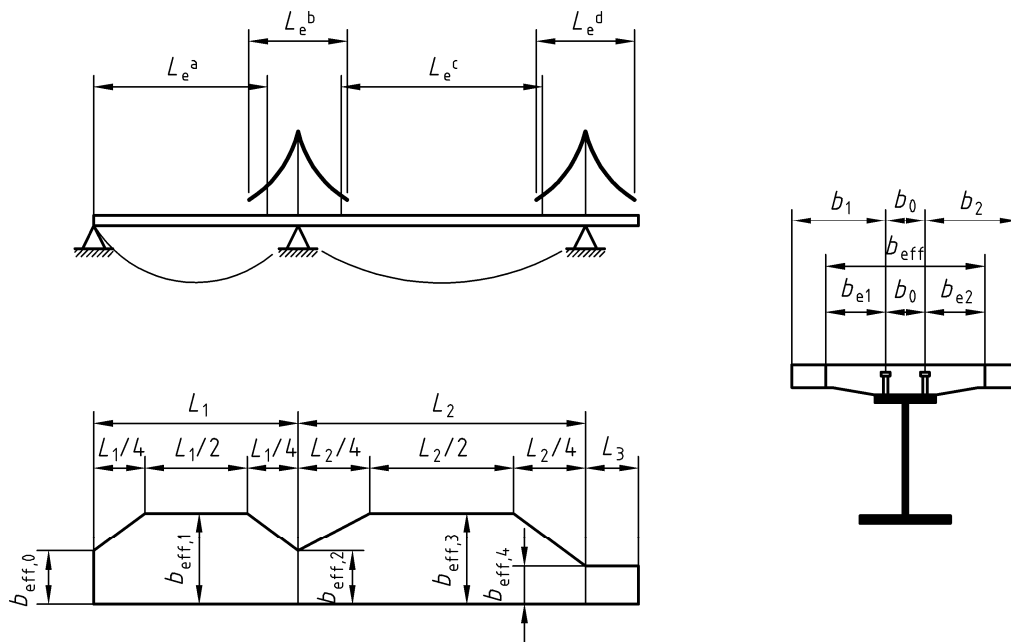
b_{ei} die mittragende Breite der Teilgurte,

L_e die äquivalente Stützweite L_e , für die im Allgemeinen der Abstand der Momentennullpunkte anzunehmen ist. Für durchlaufende Verbundträger, bei denen die Momentengrenzlinie aus unterschiedlichen Laststellungen resultiert, sowie für Kragarme dürfen L_e und der Verlauf der mittragenden Gurtbreite nach Bild 3 angenommen werden. Wenn die Momentenverteilung durch die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Anschlüssen beeinflusst wird, ist dies in der Regel bei der Ermittlung der äquivalenten Stützweite L_e zu berücksichtigen.

Die mittragende Breite an Endauflagern ergibt sich mit $\beta_i = (0,55 + 0,025 L_e/b_{ei}) \leq 1,0$ zu:

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei} \quad (14)$$

Dabei ist b_{ei} die mittragende Breite in Feldmitte des Endfeldes und L_e die äquivalente Stützweite des Endfeldes nach Bild 3.



Legende

$$L_e^a = 0,85 L_1$$

$$L_e^b = 0,25 (L_1 + L_2)$$

$$L_e^c = 0,7 L_2$$

$$L_e^d = 2 L_3$$

Bild 3 — Äquivalente Stützweiten zur Ermittlung der mittragenden Gurtbreite

(905) Mittragende Gurtbreite bei Normalkraftbeanspruchung

Im Einleitungsbereich von konzentrierten Normalkräften darf die mittragende Gurtbreite auf der Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt werden. Bei Einleitung von Normalkräften in Betongurte darf der mittragende Querschnitt nach DIN 1045-1:2001-07, 7.3.1(5) ermittelt werden.

9.2 Querschnittstragfähigkeit von Verbundträgern

9.2.1 Allgemeines

(906) Nachweisformat

In kritischen Schnitten sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad (15)$$

Dabei ist

M_{Ed} , V_{Ed} der Bemessungswert des Biegemomentes bzw. der Querkraft,

M_{Rd} , V_{Rd} die Querschnittstragfähigkeit für Biegung bzw. Querkraft.

Die Querschnittstragfähigkeit darf nur dann vollplastisch ermittelt werden, wenn der wirksame Querschnitt die Bedingungen der Klasse 1 oder 2 erfüllt und keine Spanngliedvorspannung vorhanden ist. Eine elastische und dehnungsbeschränkte Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit nach 9.2.3 und 9.2.4 ist für die Querschnittsklassen 1, 2 und 3 zulässig. Die Querschnittstragfähigkeiten von Querschnitten der Klasse 4 sind unter Berücksichtigung des Beulens nach Element (915) zu ermitteln. Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegemomente und Querkräfte sind die Elemente (912), (913) und (915) zu beachten.

Bei elastischer und dehnungsbeschränkter Ermittlung der Momententragfähigkeit darf Ebenbleiben des Gesamtquerschnitts angenommen werden, wenn die Verdübelung und die Querbewehrung unter Berücksichtigung der Verteilung der Längsschubkräfte nach 9.4 bemessen werden. Wenn bei Trägern mit zugbeanspruchten breiten Gurten kein genauere Nachweis unter Berücksichtigung der Schubweichheit der Gurte geführt wird, gilt für die Verteilung der Bewehrung der Gurtlängsbewehrung DIN 1045-1:2001-07, 13.2.1(2).

9.2.2 Vollplastische Querschnittstragfähigkeit

(907) Vollplastische Momententragfähigkeit bei vollständiger Verdübelung

Die vollplastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ ist mit den folgenden Annahmen zu ermitteln:

- Vollständiges Zusammenwirken von Baustahl, Beton und Betonstahl, d. h., in der Verbundfuge tritt kein Schlupf auf.
- Die Betonzugfestigkeit wird vernachlässigt.
- Im gesamten Baustahlquerschnitt wirken Zug- und Druckspannungen mit dem Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} .
- Im gesamten Betonstahlquerschnitt wirken innerhalb der mittragenden Gurtbreite Zug- und Druckspannungen mit dem Bemessungswert der Streckgrenze f_{sd} .
- In der Druckzone des mittragenden Betonquerschnittes wirken Druckspannungen mit dem Bemessungswert f_{cd} nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.6. Abweichend von DIN 1045-1:2001-07, Bild 25 darf die Anpassung von f_{cd} und x für den Ansatz des Spannungsblocks vernachlässigt werden.
- Auf Druck beanspruchte Profilbleche werden vernachlässigt. Bei innerhalb des wirksamen Querschnitts auf Zug beanspruchten Profilblechen darf angenommen werden, dass diese Bleche mit dem Bemessungswert der Streckgrenze f_{ypd} beansprucht werden können.

Hinsichtlich der Anrechenbarkeit von Betonstahl in der Zugzone gilt Element (846). Bezüglich der Anrechenbarkeit von Kammerbeton in der Druckzone sind die Elemente (837) und (841) zu beachten. Beispiele für vollplastische Spannungsverteilungen sind in Bild 4 angegeben.

Wenn bei Verbundquerschnitten mit Baustählen S420 und S460 der Abstand z_{pl} zwischen der plastischen Nulllinie und der auf Druck beanspruchten Randfaser größer als 15 % der Gesamtquerschnittshöhe h ist, ist der Bemessungswert der Momententragfähigkeit M_{Rd} nach Gleichung (16) durch Abminderung der vollplastischen Momententragfähigkeit mit dem Faktor β nach Bild 4 zu ermitteln.

$$M_{Rd} = \beta M_{pl,Rd} \quad (16)$$

Für Werte $z_{pl}/h > 0,4$ ist die Momententragfähigkeit nach 9.2.3 oder 9.2.4 zu ermitteln.

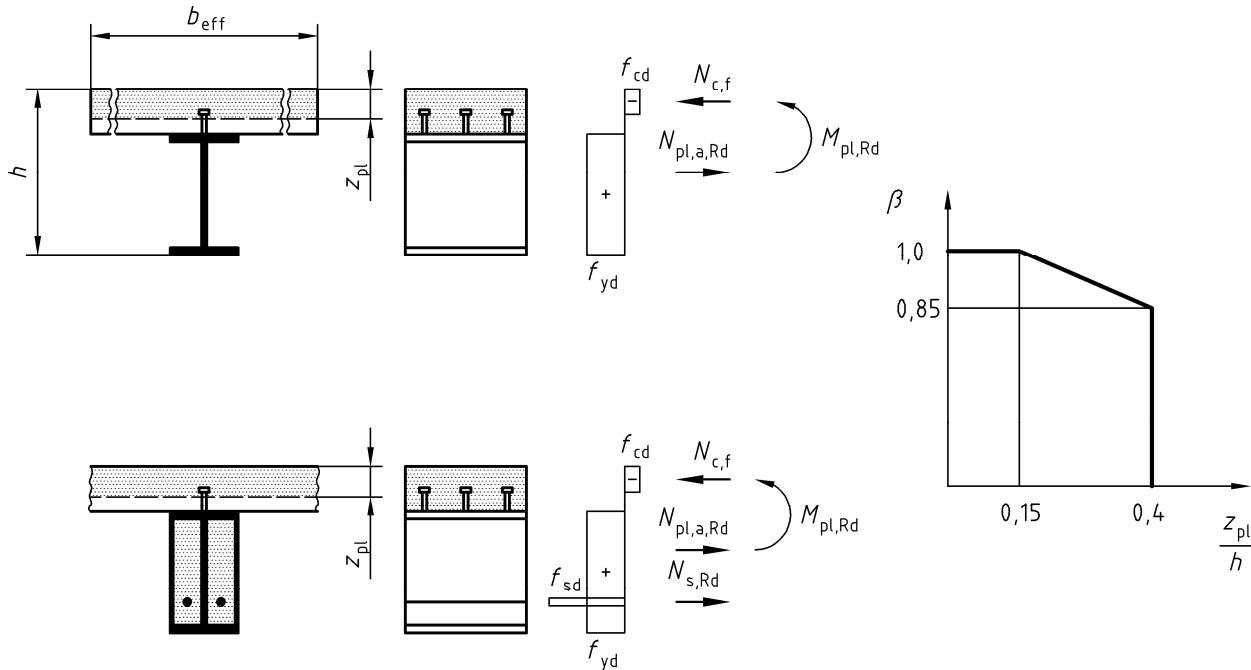


Bild 4 — Beispiele für vollplastische Spannungsverteilungen bei vollständiger Verdübelung und Abminderungsfaktor β

(908) Grenzen für die Ausnutzung der vollplastischen Momententragfähigkeit bei Durchlaufträgern

Bei Durchlaufträgern mit Querschnitten der Klasse 4 an Innenstützen und Querschnitten der Klasse 1 oder 2 in den Feldbereichen ist für den Nachweis des Feldquerschnitts die Bedingung $M_{Ed} \leq 0,9 M_{pl,Rd}$ einzuhalten, wenn das Verhältnis der an eine Innenstütze angrenzenden Stützweiten (l_{min}/l_{max}) kleiner als 0,6 ist.

(909) Vollplastische Momententragfähigkeit bei teilweiser Verdübelung

In Trägerbereichen, in denen der Betongurt in der Druckzone liegt, darf die Momententragfähigkeit M_{Rd} auf der Grundlage der Theorie der teilweisen Verdübelung mit zwei plastischen Nulllinien und der vom Verdübelungsgrad η abhängigen Druckkraft des Betongurtes $N_c = \eta N_{cf}$ nach Bild 5 ermittelt werden, wenn duktile Verbundmittel nach den Elementen (924), (925) und (926) verwendet werden.

Für die Querschnittsklassifizierung nach 8.4 ist die zweite plastische Nulllinie im Stahlträger maßgebend. Eine teilweise Verdübelung des Kammerbetons und der in den Kammern angeordneten Längsbewehrung ist nicht zulässig.

Der Zusammenhang zwischen M_{Rd} und N_c wird durch die in Bild 6 dargestellte Kurve ABC beschrieben. Vereinfachend darf M_{Rd} auch mit der in Bild 6 angegebenen Näherung (Linie A-C) nach Gleichung (17) ermittelt werden:

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \frac{N_c}{N_{cf}} \quad (17)$$

Dabei ist

$M_{pl,a,Rd}$ die vollplastische Momententragfähigkeit des Baustahlquerschnitts,

$M_{pl,Rd}$ die vollplastische Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts bei vollständiger Verdübelung nach Element (907).

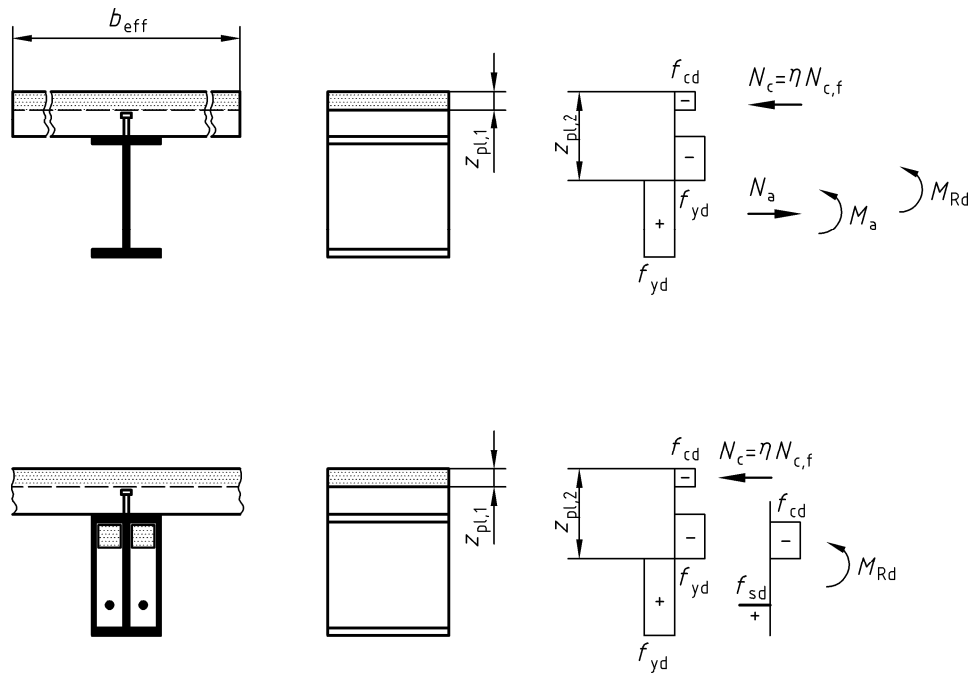
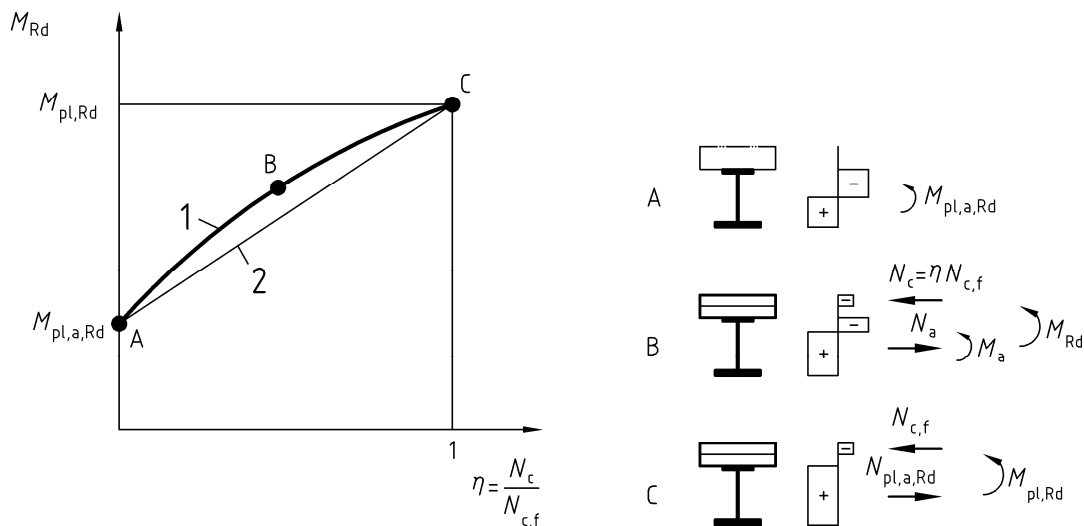


Bild 5 — Beispiele für plastische Spannungsverteilungen bei teilweiser Verdübelung



Legende

- 1 Teilverbundtheorie
- 2 Näherung nach Gleichung (17)

Bild 6 — Zusammenhang zwischen M_{Rd} und N_c bei teilweiser Verdübelung und Verwendung von duktilen Verbundmitteln

(910) Querkrafttragfähigkeit bei Trägern ohne Kammerbeton

Die Mitwirkung des Betongurtes darf bei der Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit nur angerechnet werden, wenn dies gesondert nachgewiesen wird. Für die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd} darf die vollplastische Querkrafttragfähigkeit $V_{pl,a,Rd}$ des Baustahlquerschnitts nach DIN 18800-1:1990-11, Elemente (755) und (756) zugrunde gelegt werden, wenn der bezogene Schlankheitsgrad für Schubbeulen nach DIN 18800-3 nicht größer als 0,84 bzw. bei nicht ausgesteiften Stegen der in Tabelle 6, Zeile 1 angegebene Grenzwert $\text{grenz}(b/t)$ nicht überschritten wird. Andernfalls ist die Querkrafttragfähigkeit mit der Grenzbeulspannung $\tau_{p,Rd}$ nach DIN 18800-3:1990-11, Element (502) und der querkraftübertragenden Querschnittsfläche A_v nach Gleichung (18) zu bestimmen.

$$V_{Rd} = A_v \tau_{p,Rd} \tag{18}$$

Bei der Ermittlung der plastischen Querkrafttragfähigkeit $V_{pl,a,Rd}$ darf für A_v bei geschweißten Profilen $A_v = h t_w$ und für Walzprofile $A_v = A_a - 2 b_f t_f + (t_w + 2r) t_f$ angenommen werden. Dabei ist h der Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurte, t_w die Stegdicke, b_f bzw. t_f die Breite und die Dicke des Gurtes und r der Ausrundungsradius zwischen Steg und Gurt des Stahlprofils.

Tabelle 6 — Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ nicht ausgesteifter Stege ohne Nachweis des Schubbeulens

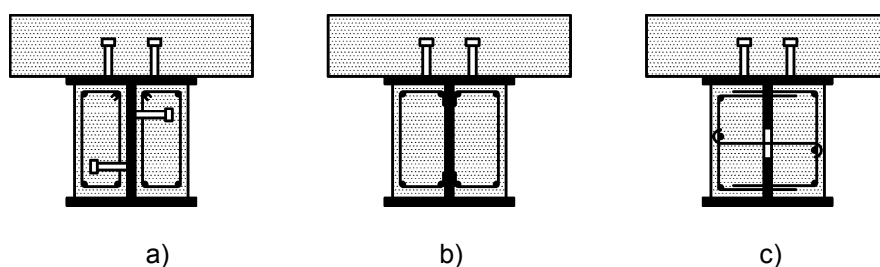
Spalte	1	2	
Zeile	Querschnitt	$\text{grenz}(b/t)$	
1	ohne Kammerbeton	$70 \sqrt{240 / f_{yk}}$	mit f_{yk} in N/mm ²
2	mit Kammerbeton	$124 \sqrt{240 / f_{yk}}$	

(911) Querkrafttragfähigkeit bei Trägern mit Kammerbeton

Der Kammerbeton darf bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 bei der Querschnittstragfähigkeit angerechnet werden, wenn für den Steg des Stahlprofils der in Tabelle 6, Zeile 2 angegebene Grenzwert $\text{grenz}(b/t)$ nicht überschritten wird, die Bügelbewehrung nach Bild 7 ausgeführt wird und die in Tabelle 5 angegebene Bedingung hinsichtlich der Breite b_c des Kammerbetons eingehalten ist.

Die anteiligen Bemessungswerte der Querkraft des Stahlprofils und des Kammerbetonquerschnittes dürfen die Querkrafttragfähigkeit des Stahlprofils nach Element (910) und die Querkrafttragfähigkeit des Kammerbetons nach DIN 1045-1:2001-07, 10.3.4 nicht überschreiten. Die Aufteilung der Bemessungsquerkraft V_{Ed} in die Anteile, die vom Stahlprofil ($V_{a,Ed}$) und vom bewehrten Kammerbetonquerschnitt ($V_{c,Ed}$) aufgenommen werden, darf im Verhältnis der Beiträge des Baustahlquerschnitts und des bewehrten Kammerbetonquerschnitts zur Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ erfolgen.

Bei Bügeln, die nach Bild 7 durch Öffnungen in den Stegen gesteckt werden, ist die Übergreifungslänge nach DIN 1045-1:2001-07, 12.8.1 und 12.8.2 nachzuweisen.



Legende

- a) geschlossene Bügel und Verankerung mit Kopfbolzendübeln
- b) Bügel kraftschlüssig am Steg angeschweißt
- c) durch Öffnungen im Steg gesteckte Bügel und Stechkappen

Bild 7 — Typische Querschnittsausbildung bei kammerbetonierten Trägern

(912) Interaktion Biegung und Querkraft

Wenn die Querkraft V_{Ed} oder bei kammerbetonierten Trägern die anteilige Querkraft $V_{a,Ed}$ den 0,5fachen Wert von V_{Rd} nach Element (910) oder (911) überschreitet, ist der Einfluss der Querkraft auf die Momententragfähigkeit zu berücksichtigen. Wenn kein genauere Nachweis geführt wird, darf der Einfluss der Querkraft auf die Momententragfähigkeit durch Ansatz einer reduzierten Streckgrenze $\rho_w f_{yd}$ in den querkraftübertragenden Querschnittsteilen oder durch eine reduzierte Stegdicke berücksichtigt werden (siehe Bild 8). Der Abminderungsfaktor ρ_w ergibt sich nach Gleichung (19).

$$\rho_w = 1 - \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \quad (19)$$

Dabei ist

V_{Ed} der Bemessungswert der Querkraft bei Querschnitten ohne Kammerbeton bzw. die anteilige Querkraft $V_{a,Ed}$ des Stahlprofils bei Trägern mit Kammerbeton,

V_{Rd} die Querkrafttragfähigkeit nach Element (910).

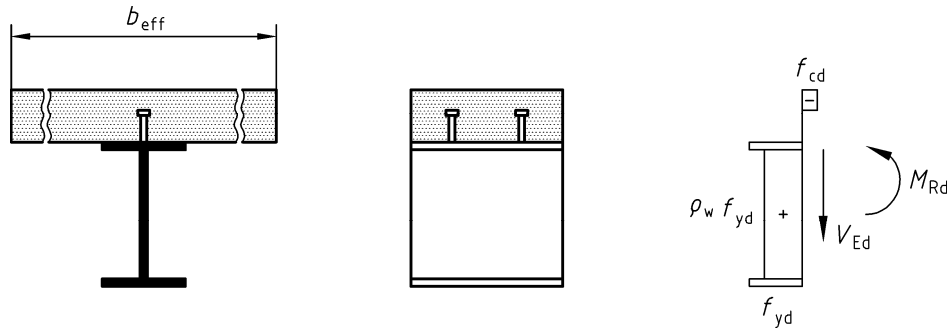


Bild 8 — Vollplastische Spannungsverteilung bei gleichzeitiger Querkraftbeanspruchung

9.2.3 Dehnungsbeschränkte Querschnittstragfähigkeit

(913) Grundsätze

Für Träger mit vollständiger Verdübelung und Querschnitten der Klassen 1 bis 3 sowie Stegen, die die Bedingungen nach Tabelle 6 erfüllen, darf die Querschnittstragfähigkeit dehnungsbeschränkt berechnet werden. Der Berechnung sind die folgenden Annahmen zugrunde zu legen:

- Ebenbleiben des Gesamtquerschnitts,
- starrer Verbund zwischen Beton und im Verbund liegender Bewehrung,
- Vernachlässigung der Zugfestigkeit des Betons,
- Verteilung der Betondruckspannungen auf der Grundlage der Spannungsdehnungslinien nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.6,
- Spannungsermittlung im Beton- und Spannstahl mit den rechnerischen Spannungsdehnungslinien nach DIN 1045-1:2001-07, 9.2.4 und 9.3.3,
- Berücksichtigung der Vordehnung bei der Ermittlung der Spannungen in Spanngliedern,
- Spannungsermittlung im Baustahlquerschnitt unter Zugrundelegung einer ideal-elastischen-ideal-plastischen Spannungsdehnungslinie mit der Streckgrenze f_{yd} . Bei Querschnitten der Klasse 3 ist die maximale Dehnung im Druckbereich auf den Wert $\varepsilon_a = f_{yd}/E_a$ und bei Querschnitten, für die ein Biegedrillknicknachweis nach 9.3 erforderlich ist, auf den Wert $\varepsilon_a = \kappa_M f_{yd}/E_a$ zu beschränken. Der Abminderungsbeiwert κ_M ergibt sich nach Element (921).

Der Einfluss der Querkraft auf die Momententragfähigkeit darf durch eine mit dem Faktor ρ_w nach Element (912) reduzierte Stegdicke berücksichtigt werden.

9.2.4 Elastische Querschnittstragfähigkeit

(914) Grundsätze

Die Spannungen sind in der Regel nach der Elastizitätstheorie unter Berücksichtigung der mittragenden Gurtbreite des Betongurtes nach Element (904) und der Belastungsgeschichte zu ermitteln. Wenn keine genaueren Berechnungsverfahren verwendet werden, dürfen die Einflüsse aus dem Kriechen des Betons nach Element (822) ermittelt werden. Bei Querschnitten mit zugbeanspruchten Betongurten dürfen die primären Beanspruchungen infolge des Schwindens vernachlässigt werden.

(915) Grenzspannungen

Bei der Ermittlung der elastischen Querschnittstragfähigkeit sind für den wirksamen Querschnitt die nachfolgenden Grenzspannungen einzuhalten:

- f_{cd} für Betongurte in der Druckzone mit f_{cd} nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.6(2) und (4),
- σ_{Rd} nach DIN 18800-1:1990-11, Element (746) für Stahlträger mit Querschnitten der Klassen 1, 2 und 3. Bei Querschnitten der Klasse 3 muss ferner der bezogene Schlankheitsgrad für Schubbeulen nach DIN 18800-3 kleiner als 0,84 sein. Bei gleichzeitiger Wirkung von Normalspannungen σ und Schubspannungen τ gilt für den Baustahlquerschnitt DIN 18800-1:1990-11, Element (747),
- $\sigma_{p,Rd}$ nach DIN 18800-3 für druckbeanspruchte Querschnittsteile von Stahlträgern der Klasse 3 mit einem bezogenen Schlankheitsgrad für Schubbeulen größer als 0,84 sowie für Querschnitte der Klasse 4. Bei gleichzeitiger Wirkung von Normalspannungen σ und Schubspannungen τ gilt für den Baustahlquerschnitt DIN 18800-3:1990-11, Element (504),
- $\kappa_M f_{yd}$ in Gurten, für die ein Biegedrillknicknachweis nach Element (921) erforderlich ist,
- f_{sd} für Betonstahl nach DIN 1045-1:2001-07, 9.2.4 in der Zug- und Druckzone des Querschnittes,
- f_{pd} für Spannstahl nach DIN 1045-1:2001-07, 9.3.3.

9.3 Nachweis gegen Biegedrillknicken bei Verbundträgern**(916) Allgemeines**

In den negativen Momentenbereichen ist ein Biegedrillknicknachweis erforderlich, wenn der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_M$ nach Element (919) oder (921) größer als 0,4 ist.

(917) Nachweis des Druckgurtes als Druckstab

Der Nachweis darf nach DIN 18800-2:1990-11, Element (310) mit $M_{ply,d} = M_{pl,Rd}$ geführt werden.

(918) Vereinfachter Nachweis für Durchlaufträger mit Walzprofilen

Für Durchlaufträger und durchlaufende Rahmenriegel aus Walzprofilen, die über die gesamte Trägerlänge als Verbundquerschnitt ausgebildet sind und an den Auflagerpunkten ausgesteift und seitlich gehalten sind, gilt der Nachweis des Biegedrillknickens als erbracht, wenn die Profilhöhe bei Trägern ohne Kammerbeton die Grenzwerte für die Profilhöhe nach Tabelle 7 nicht überschreitet und die nachfolgenden Bedingungen a) bis d) eingehalten werden. Für Querschnitte mit Kammerbeton nach den Elementen (847) und (848) dürfen die Werte nach Tabelle 7 um 200 mm vergrößert werden.

- a) Die Stützweiten benachbarter Felder unterscheiden sich bezogen auf die kleinere Stützweite um nicht mehr als 20 %. Bei Trägern mit Kragarmen ist die Kragarmlänge kleiner als 15 % der Stützweite des benachbarten Endfeldes.
- b) Der Träger wird überwiegend durch Gleichstreckenlasten beansprucht; der Bemessungswert der ständigen Einwirkungen ist größer als 40 % des Bemessungswertes der Gesamtlast.
- c) Die Verdübelung zwischen dem Obergurt und dem Betongurt wird nach 9.4 ausgeführt und der Abstand der Dübel in Trägerlängsrichtung ist nicht größer als 300 mm.
- d) Der Betongurt erfüllt bei Verwendung von Normalbeton in Querrichtung die Anforderungen an die Biegeschlankheit $l_t/d \leq 35$ nach DIN 1045-1:2001-07, 11.3.2. Für Leichtbeton ist DIN 1045-1:2001-07, 11.3.2(2) zu beachten.

Tabelle 7 — Grenzprofilhöhen $h_{\max}$ für Querschnitte ohne Kammerbeton

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Profil der Reihe	Grenzprofilhöhe $h_{\max}$ in mm		
		Baustahl S235	Baustahl S355	Baustahl S460
1	IPE	600	400	270
2	HEA	800	650	500
3	HEB	900	700	600

(919) Biegedrillknicknachweis für Träger mit Querschnitten der Klassen 1 und 2

Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (20) zu führen.

$$\frac{M_{E,d}}{\kappa_M M_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (20)$$

Dabei ist

κ_M der Abminderungsfaktor nach DIN 18800-2:1990-11, Element (311),

$M_{pl,Rd}$ der Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit nach Element (907).

Der bezogene Schlankheitsgrad zur Bestimmung von κ_M ist nach Gleichung (21) zu bestimmen.

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,Rk}}{M_{Ki}}} \quad (21)$$

Dabei ist

$M_{pl,Rk}$ die vollplastischen Momententragfähigkeit nach Element (907), ermittelt mit den charakteristischen Werten der Werkstoffeigenschaften,

M_{Ki} das ideale Biegedrillknickmoment des Verbundquerschnittes nach Element (920).

(920) Ideales Biegedrillknickmoment M_{Ki}

Bei der Berechnung des idealen Biegedrillknickmomentes M_{Ki} darf davon ausgegangen werden, dass der Stahlträger am Obergurt seitlich unverschieblich und durch die Betonplatte drehelastisch gehalten ist. Die drehelastische Bettung ist in Übereinstimmung mit DIN 18800-2:1990-11, Element (309) zu ermitteln. Bei der Ermittlung der Drehbettung $c_{9M,k}$ aus der Biegesteifigkeit der abstützenden Betonplatte ist der Einfluss der Rissbildung zu berücksichtigen. Die Drehbettung $c_{9A,k}$ aus der Verformung der Verbundmittel darf bei Ausbildung der Verbundmittel nach 9.4 vernachlässigt werden. Bei Trägern mit Kammerbeton darf die Drehfedersteifigkeit $c_{9P,k}$ nach DIN 18800-2:1990-11, Element (309) mit Gleichung (22) ermittelt werden.

$$c_{9P,k} = \frac{E_a t_w b_c^2}{16 h_s (1 + 4 n_P t_w / b_c)} \quad (22)$$

Dabei ist

n_P die Reduktionszahl für ständige Einwirkungen mit $\psi_L = \psi_P$ nach Element (822),

b_c die Breite des Kammerbetons nach Tabelle 5,

h_s der Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurte des Stahlprofils,

t_w die Stegdicke.

(921) Biegedrillknicknachweis für Träger mit Querschnitten der Klassen 3 und 4

Der Nachweis ist mit Bedingung (23) zu führen.

$$\frac{\sigma_{Ed}}{\kappa_M f_{yd}} \leq 1,0 \quad (23)$$

Dabei ist

σ_{Ed} die Spannung in der Schwerachse des gedrückten Gurtes unter Berücksichtigung der Belastungsgeschichte und des Kriechens und Schwindens,

κ_M der Abminderungsfaktor nach DIN 18800-2:1990-11, Element (311), ermittelt mit dem bezogenen Schlankheitsgrad nach Gleichung (24).

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{Ki}}} \quad (24)$$

In Gleichung (24) ist σ_{Ki} die Spannung in der Schwerachse des Druckgurtes infolge des idealen Biegedrillknickmomentes. Die Spannung $\sigma_{Ki} = \eta_{Ki} \sigma_{Ed}$ ist dabei mit dem am Verbundsystem berechneten Verzweigungslastfaktor η_{Ki} zu ermitteln, der sich für die Summe der Schnittgrößen des Stahlquerschnittes vor Herstellung des Verbundes und der Teilschnittgrößen des Baustahlquerschnittes aus Einwirkungen nach Herstellung des Verbundes ergibt.

In Übereinstimmung mit Element (920) darf bei der Ermittlung von η_{Ki} berücksichtigt werden, dass der Stahlträger am Obergurt durch die Betonplatte seitlich und drehelastisch gehalten ist.

(922) Besonderheiten bei kammerbetonierten Trägern ohne Betongurt

Bei Trägern mit Kammerbeton und einer Bügelbewehrung nach Element (911), Bild 7, darf zusätzlich zur Torsionssteifigkeit $G_a I_{at}$ des Stahlprofils die Torsions- und Biegesteifigkeit des in der Druckzone liegenden effektiven Kammerbetonquerschnitts angerechnet werden. Die Druckzone darf dabei unter Ansatz der vollplastischen Spannungsverteilung nach 9.2.2 ermittelt werden. Für die Ermittlung des effektiven St. Venant'schen Torsionsträgheitsmomentes $I_{ct,eff}$ darf die gesamte Kammerbetonbreite b_c nach Tabelle 5 abzüglich der Stegdicke des Stahlprofils angesetzt werden. Wenn kein genauere Nachweis geführt wird, sind die effektive Torsionssteifigkeit $G_c I_{ct,eff}$ mit dem Schubmodul $G_c = 0,3 E_a / n_p$ und das ideelle Flächenmoment zweiten Grades um die schwache Achse mit der Reduktionszahl n_p für ständige Einwirkungen nach Element (822) zu ermitteln.

9.4 Verbundsicherung bei Verbundträgern

9.4.1 Allgemeines

(923) Grundsätze

Die Verbundmittel müssen in Trägerlängsrichtung so angeordnet werden, dass die Längsschubkräfte $V_{L,Ed}$ zwischen Betonplatte und Stahlträger im Grenzzustand der Tragfähigkeit übertragen werden können. Der natürliche Haftverbund darf nicht berücksichtigt werden. Zwischen kritischen Schnitten nach Element (902) ist die Bedingung (25) nachzuweisen.

$$\frac{V_{L,Ed}}{V_{L,Rd}} \leq 1,0 \quad (25)$$

Dabei ist

$V_{L,Ed}$ der Bemessungswert der einwirkenden Längsschubkraft nach 9.4.3,

$V_{L,Rd}$ die Längsschubkrafttragfähigkeit, die sich aus der im betrachteten Trägerabschnitt vorhandenen Anzahl n der Verbundmittel und der Längsschubtragfähigkeit P_{Rd} des Verbundmittels ergibt.

(924) Duktilitätsanforderungen und Verformungsverhalten von Verbundmitteln

Verbundmittel müssen ein ausreichendes Verformungsvermögen aufweisen, um eine bei der Bemessung angenommene plastische Umlagerung von Längsschubkräften zu ermöglichen. Verbundmittel gelten als duktil, wenn das Verformungsverhalten die Annahme eines ideal-elastisch-ideal-plastischen Verhaltens in der Verbundfuge bei der Berechnung des Tragwerks rechtfertigt und wenn das charakteristische Verformungsvermögen δ_{uk} nach Bild 9 mindestens 6 mm beträgt.

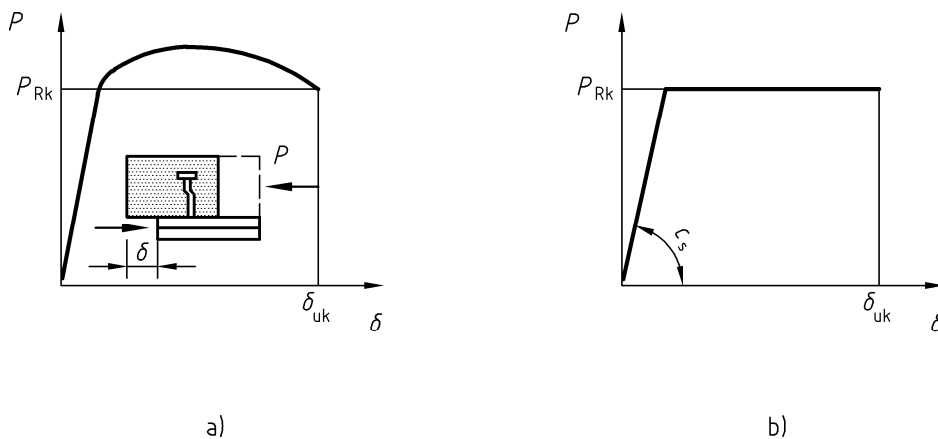


Bild 9 — Verformungsvermögen von Verbundmitteln

Bei Anwendung des Berechnungsverfahrens nach Element (811) darf die in Bild 9 b) dargestellte ideal-elastisch-ideal-plastische Verformungsbeziehung verwendet werden. Für Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten mit Schaftdurchmessern von 19 mm, 22 mm und 25 mm darf für $c_s = 3\,000\text{ kN/cm}$ und für Kopfbolzendübel in Kombination mit gedrunzenen Profilblechen (siehe Element 1101), Profilblechhöhen $h_p \leq 60\text{ mm}$ und Schaftdurchmessern der Dübel von 19 mm oder 22 mm $c_s = 2\,000\text{ kN/cm}$ angenommen werden.

(925) Duktilitätsanforderungen bei Kopfbolzendübeln in Vollbetonplatten

Kopfbolzendübel, bei denen die Höhe nach dem Aufschweißen nicht kleiner als der 4fache Schaftdurchmesser ist und bei denen der Nennwert des Schaftdurchmessers nicht kleiner als 16 mm und nicht größer als 25 mm ist, gelten als duktil, wenn die Bedingungen (27) bis (30) für den Verdübelungsgrad η nach Gleichung (26) eingehalten werden.

$$\eta = \frac{n}{n_f} \quad (26)$$

Dabei ist n_f die für eine vollständige Verdübelung erforderliche Anzahl von Verbundmitteln und n die vorhandene Dübelanzahl in diesen Trägerbereichen.

Für Träger mit doppelsymmetrischen Baustahlquerschnitten gilt:

$$L_e \leq 25: \eta \geq 1 - \left(\frac{360}{f_{yk}} \right) (0,75 - 0,03 L_e) \geq 0,4 \quad (27)$$

$$L_e > 25: \eta \geq 1 \quad (28)$$

Für Träger mit einfachsymmetrischen Baustahlquerschnitten, bei denen die Querschnittsfläche des Untergurtes den 3fachen Wert der Querschnittsfläche des Obergurtes nicht überschreitet, gilt:

$$L_e \leq 20: \eta \geq 1 - \left(\frac{360}{f_{yk}} \right) (0,30 - 0,015 L_e) \geq 0,4 \quad (29)$$

$$L_e > 20: \eta \geq 1 \quad (30)$$

In den Gleichungen (27) bis (30) ist

L_e die Länge des positiven Momentenbereiches (Abstand der Momentennullpunkte) in m. Für typische Durchlaufträger darf L_e nach Bild 3 angenommen werden,

f_{yk} der charakteristische Wert der Streckgrenze des Baustahls in N/mm².

Für Stahlquerschnitte, bei denen die Querschnittsfläche des Untergurtes größer als die Querschnittsfläche des Obergurtes, jedoch kleiner als der 3fache Wert ist, darf der Mindestverdübelungsgrad η durch lineare Interpolation mit Hilfe der Beziehungen (27) bis (30) ermittelt werden.

ANMERKUNG Die Bedingungen nach den Gleichungen (27) bis (30) stellen sicher, dass bei Trägern mit Gleichstreckenbelastung der maximale Schlupf auf den Wert δ_{uk} nach Element (924) beschränkt wird. Bei Trägern mit überwiegender Beanspruchung durch Einzellasten sind niedrigere Verdübelungsgrade zulässig, wenn durch eine genauere Berechnung nachgewiesen wird, dass der charakteristische Wert des Verformungsvermögens nicht überschritten wird.

(926) Duktilitätsanforderungen für Kopfbolzendübel in Verbindung mit Profilblechen

Kopfbolzendübel dürfen über den Anwendungsbereich nach Element (925) hinaus als duktil eingestuft werden, wenn:

- der Betongurt des Trägers aus einer Profilblechverbunddecke mit senkrecht zum Träger verlaufenden Profilblechen besteht und die Profilbleche über dem Träger durchlaufen,
- der Baustahlquerschnitt aus einem gewalzten oder geschweißten doppelsymmetrischen Querschnitt besteht,
- die Höhe der Dübel nach dem Aufschweißen nicht kleiner als 76 mm ist und der Nennwert des Schaftdurchmessers 19 mm beträgt,
- innerhalb einer Rippe nur ein Kopfbolzendübel vorhanden ist, der entweder zentrisch in jeder Rippe oder über die gesamte Trägerlänge alternierend je Rippe links und rechts angeordnet wird,
- die Profilblechgeometrie die Bedingungen $b_o/h_p \geq 2$ und $h_p \leq 60$ mm erfüllt (Bezeichnungen siehe Bild 29) und
- die Gurtnormalkraft N_c nach Gleichung (17) ermittelt wird (Näherungsverfahren nach Bild 6).

Wenn diese Bedingungen eingehalten sind, gilt für den Verdübelungsgrad η :

$$L_e \leq 25: \eta \geq 1 - \left(\frac{360}{f_{yk}} \right) (1,0 - 0,04 L_e) \geq 0,4 \quad (31)$$

$$L_e > 25: \eta \geq 1 \quad (32)$$

L_e und f_{yk} sind in Element (925) erläutert.

(927) Verwendung von Verbundmitteln mit unterschiedlichem Verformungsverhalten

Wenn bei einem Verbundträger innerhalb einer Stützweite Verbundmittel mit signifikant unterschiedlichem Verformungsverhalten verwendet werden, muss dies bei der Bemessung berücksichtigt werden.

(928) Sicherung gegen abhebende Kräfte

Verbundmittel müssen eine ausreichende Tragfähigkeit gegen Abheben der Betonplatte aufweisen. Andernfalls ist das Abheben der Betonplatte durch andere Maßnahmen zu verhindern. Eine ausreichende Sicherheit gegen Abheben der Betonplatte darf angenommen werden, wenn die Verbundmittel oder zusätzliche Verankerungselemente für eine senkrecht zum Stahlträgergurt wirkende Zugkraft bemessen werden, die sich aus dem 0,1fachen Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit des Verbundmittels ergibt. Bei Kopfbolzendübeln nach 9.4.4 darf davon ausgegangen werden, dass sie ein Abheben des Betongurtes verhindern, wenn sie nicht durch planmäßige Zugkräfte beansprucht werden.

9.4.2 Verteilung von Verbundmitteln

(929) Grundsätze

Die Verbundmittel sind in Trägerlängsrichtung nach dem Verlauf der Bemessungslängsschubkraft $V_{L,Ed}$ anzuordnen. Die erforderliche Anzahl der Verbundmittel darf in den Bereichen zwischen dem maximalen Feldmoment und dem Endauflager bzw. dem extremalen Stützmoment nach dem elastisch ermittelten Längsschubkraftverlauf verteilt werden. Auf zusätzliche Nachweise zwischen kritischen Schnitten darf dann verzichtet werden.

Bei duktilen Verbundmitteln ist ein Einschneiden in die Deckungslinie der Längsschubkraft zulässig, wenn die ermittelte Längsschubkraft die Längsschubtragfähigkeit örtlich um nicht mehr als 15 % überschreitet und die Gesamtanzahl der Verbundmittel zwischen kritischen Schnitten ausreichend ist.

(930) Äquidistante Anordnung von Verbundmitteln

Duktile Verbundmittel dürfen zwischen kritischen Schnitten nach Element (902) äquidistant verteilt werden, wenn

- im betrachteten Trägerbereich die Querschnitte an kritischen Schnitten die Bedingungen der Klasse 1 oder 2 erfüllen,
- der Verdübelungsgrad η die Bedingungen nach Element (925) oder (926) erfüllt und
- die vollplastische Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts den 2,5fachen Wert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Baustahlquerschnitts nicht überschreitet.

Andernfalls ist unter Berücksichtigung der bereichsweise teilweisen Verdübelung eine ausreichende Momentendeckung für den jeweiligen Trägerabschnitt nachzuweisen.

9.4.3 Ermittlung der Längsschubkräfte

(931) Träger mit Querschnitten der Klasse 1 oder 2 und duktilen Verbundmitteln

Bei Trägern mit duktilen Verbundmitteln sind die Längsschubkräfte zwischen kritischen Schnitten aus der Differenz der Normalkräfte des Betongurtes bzw. der Betonstahlbewehrung infolge der vollplastischen Momententragfähigkeit nach Element (907) bei vollständiger Verdübelung und nach Element (909) bei teilweiser Verdübelung zu ermitteln.

(932) Träger mit Verbundmitteln ohne ausreichende Duktilität oder mit Querschnitten der Klassen 3 und 4

Bei Trägern mit Querschnitten der Klasse 3 oder 4 und bei Trägern mit Querschnitten der Klasse 1 oder 2, bei denen nicht-duktilen Verbundmittel verwendet werden, sind die Längsschubkräfte aus der Differenz der Normalkräfte des Betongurtes zwischen kritischen Schnitten unter der Voraussetzung des Ebenbleibens des Gesamtquerschnittes zu ermitteln.

Für Verbundquerschnitte der Klasse 1 oder 2, bei denen der Betongurt in der Druckzone liegt, darf der Zusammenhang zwischen der Momententragfähigkeit M_{Rd} und der Normalkraft des Betongurtes N_c mit den nachfolgenden Gleichungen (33) und (34) berechnet werden. Siehe hierzu auch Bild 10.

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \frac{N_c}{N_{c,el}} \quad \text{für } N_c \leq N_{c,el} \quad (33)$$

$$M_{Rd} = M_{el,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{el,Rd}) \frac{N_c - N_{c,el}}{N_{c,f} - N_{c,el}} \quad \text{für } N_{c,el} \leq N_c \leq N_{c,f} \quad (34)$$

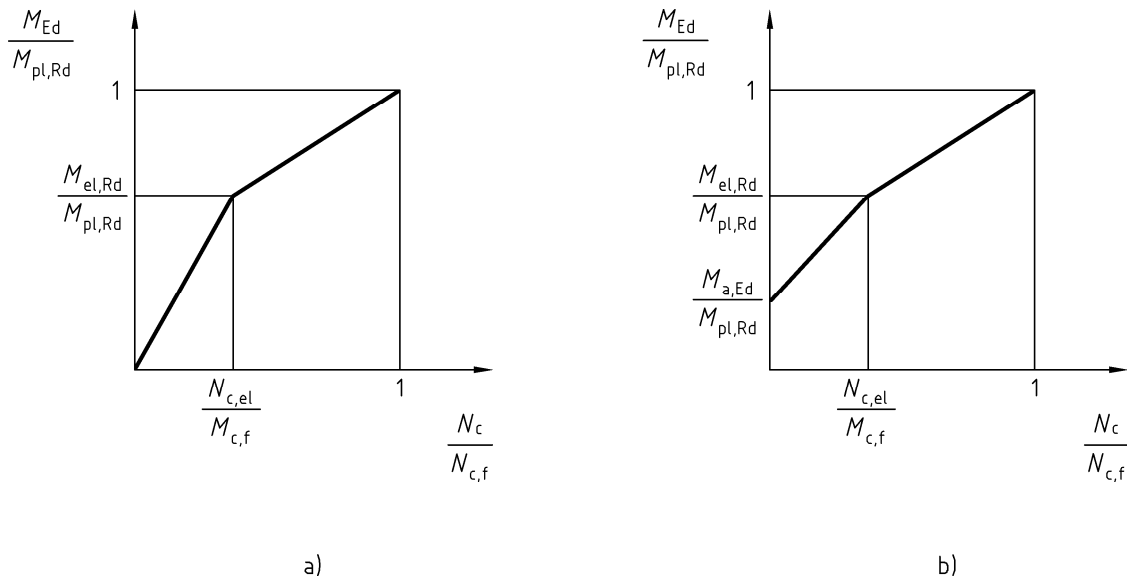
Dabei ist

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + k M_{v,Ed} \quad (35)$$

mit

- $M_{a,Ed}$ auf den Baustahlquerschnitt einwirkendes Bemessungsmoment,
- $M_{v,Ed}$ auf den Verbundquerschnitt einwirkendes Bemessungsmoment,
- k kleinster Faktor, der sich aus den für die jeweiligen Randfasern des Querschnitts maßgebenden Grenzspannungen nach Element (915) ergibt, wobei bei Trägern ohne Eigengewichtsverbund der Einfluss aus der Belastungsgeschichte zu berücksichtigen ist,
- $N_{c,el}$ Normalkraft des Betongurtes bei Erreichen des Bemessungswertes der elastischen Momententragfähigkeit $M_{el,Rd}$.

Bei Querschnitten, bei denen die Momententragfähigkeit nach Gleichung (16) zu bestimmen ist, ist in Gleichung (34) und in Bild 10 anstelle von $M_{pl,Rd}$ die reduzierte Momententragfähigkeit $\beta M_{pl,Rd}$ zu berücksichtigen.



Legende

- a) Träger ohne Eigengewichtsverbund
b) Träger mit Eigengewichtsverbund

Bild 10 — Näherung für den Zusammenhang zwischen M_{Rd} und N_c für Verbundquerschnitte mit druckbeanspruchten Betongurten

(933) Längsschubkräfte aus der Einleitung von Längskräften

Die in den Einleitungsbereichen von Längskräften F_{Ed} auftretenden Längsschubkräfte $V_{L,Ed}$ sind zu berücksichtigen. Die Verteilung der gesamten Längsschubkraft $V_{L,Ed}$ über die Länge L_v der Verbundfuge darf bei Einleitung der Längskraft F_{Ed} innerhalb der Trägerlänge bei duktilen Verbundmitteln nach Bild 11 a) angenommen werden. Der Maximalwert der Längsschubkraft je Längeneinheit ergibt sich zu:

$$v_{L,Ed,max} = V_{L,Ed} / (e_d + b_{eff}/2) \quad (36)$$

Dabei ist

- b_{eff} die bei der Schnittgrößenermittlung angesetzte mittragende Gurtbreite nach Element (904),
- e_d entweder $2e_h$ oder $2e_v$,
- e_h der seitliche Abstand vom Angriffspunkt der Kraft F_{Ed} zur maßgebenden Stegachse des Stahlquerschnittes, wenn die Kraft in den Betongurt eingeleitet wird,
- e_v der vertikale Abstand vom Angriffspunkt der Kraft F_{Ed} zur Verbundfuge, wenn die Kraft in den Stahlträger eingeleitet wird.

Wenn die Kraft F_{Ed} an einem freien Ende des Betongurtes oder des Stahlträgers eingeleitet wird, ergibt sich die maximale Längsschubkraft $v_{L,Ed,max}$ je Längeneinheit mit Bild 11 b) nach Gleichung (37).

$$v_{L,Ed,max} = 2 V_{L,Ed} / (e_d + b_{eff}/2) \quad (37)$$

Wenn die Einleitung der Kraft F_{Ed} über eine größere Länge erfolgt, wie z. B. über ein Knotenblech eines Verbundfachwerkes, darf diese Lasteinleitungslänge zusätzlich bei e_d berücksichtigt werden.

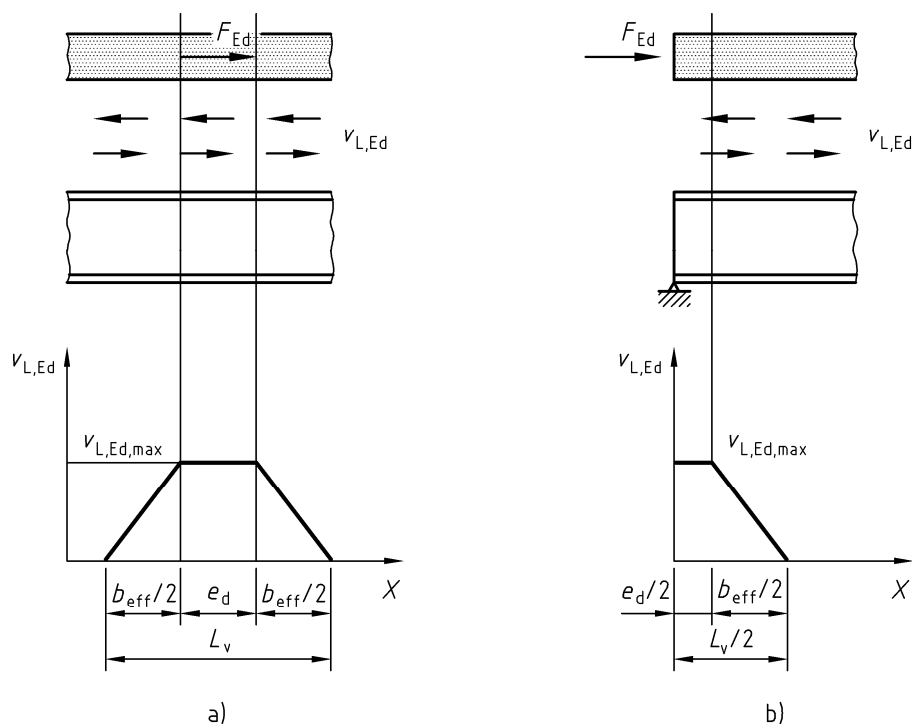


Bild 11 — Verteilung der Längsschubkräfte in den Einleitungsbereichen von Längskräften

(934) Konzentrierte Längsschubkräfte an Betongurtenden

Die konzentrierten Längsschubkräfte aus den primären Beanspruchungen infolge des Schwindens nach Bild 12 a) sowie konzentrierte Längsschubkräfte aus Momentenbeanspruchung an den Enden von Betongurten nach Bild 12 b) dürfen bei duktilen Verbundmitteln dreieckförmig auf eine Einleitungslänge b_{eff} nach 8.3.2 verteilt werden.

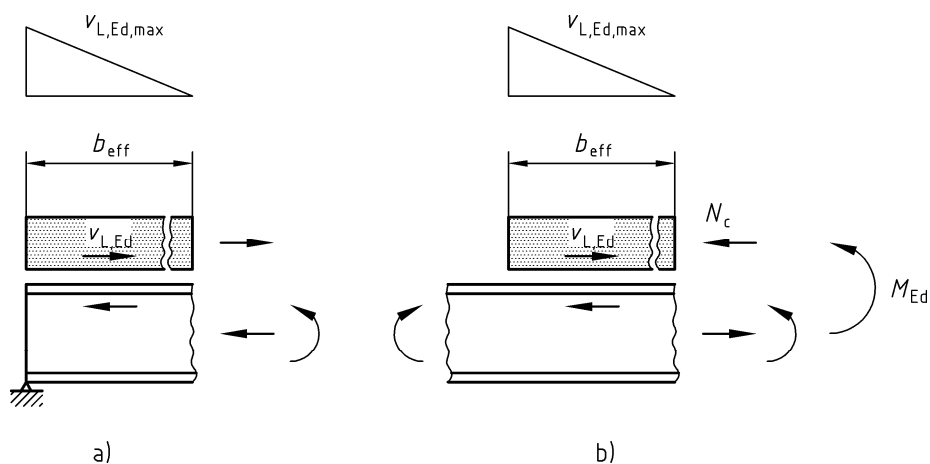


Bild 12 — Verteilung der Längsschubkräfte an Betongurtenden

9.4.4 Beanspruchbarkeit von Verbundmitteln

(935) Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten

Der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit eines Kopfbolzendübels nach DIN EN ISO 13918, bei dem ein automatisches Schweißverfahren nach DIN EN ISO 14555 verwendet wird, ergibt sich aus dem jeweils kleineren Wert nach den Gleichungen (38) und (39).

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

$$P_{Rd} = \frac{0,25 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} \quad (39)$$

Dabei ist

$$\alpha = 0,2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \text{ für } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4 \quad (40)$$

$$\alpha = 1 \text{ für } h_{sc}/d > 4 \quad (41)$$

d der Nenndurchmesser des Dübelschaftes mit $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$,

f_u die spezifizierte Zugfestigkeit des Bolzenmaterials, die jedoch höchstens mit 450 N/mm^2 in Rechnung gestellt werden darf,

f_{ck} der im maßgebenden Alter vorhandene charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach DIN 1045:2001-07, Tabellen 9 und 10. Bei Leichtbetonen sind nur Rohdichteklassen D 1,8 und D 2,0 nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 8 zulässig,

h_{sc} der Nennwert der Gesamthöhe des Dübels.

Die Tragfähigkeiten nach den Gleichungen (38) und (39) setzen Schweißwulstabmessungen voraus, die den Richtwerten (Mittelwerten) in DIN EN ISO 13918 entsprechen. Der Durchmesser des Schweißwulstes sollte nicht kleiner als $1,2 d$ und die kleinste Schweißwulsthöhe nicht kleiner als $0,15 d$ sein.

(936) Einfluss von Zugkräften auf die Längsschubtragfähigkeit

Werden Kopfbolzendübel neben Längsschubkräften zusätzlich planmäßig durch Zugkräfte beansprucht, so ist in der Regel der aus dem Bemessungswert der Zugkraft F_{ten} resultierende Einfluss nachzuweisen. Für $F_{ten} \leq 0,1 P_{Rd}$ darf der Einfluss der Zugkraft vernachlässigt werden. Dabei ist P_{Rd} der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit nach Element (935).

(937) Horizontal und randnah angeordnete Kopfbolzendübel

Werden Kopfbolzendübel so angeordnet, dass Spaltzugkräfte in Dickenrichtung des Betongurtes entstehen (z. B. bei horizontaler Anordnung der Dübel nach Bild 13), so ist bei randnaher Anordnung der Einfluss der Spaltzugkräfte auf die Dübeltragfähigkeit zu berücksichtigen. Die Längsschubtragfähigkeit darf nur dann nach Element (935) ermittelt werden, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

- Die Dübel übertragen ausschließlich Kräfte in Längsrichtung.
- Es wird eine Bügelbewehrung nach Bild 13 angeordnet und es sind die Bedingungen $e_v \geq 6 d$ und $v \geq 14 d$ eingehalten.
- Die Bügelbewehrung wird für eine Spaltzugkraft $F_{zv} = 0,3 P_{Rd}$ bemessen und der Bügelabstand ist kleiner als $18 d$. Dabei ist P_{Rd} die Dübeltragfähigkeit nach Element (935).

Andernfalls ist die Dübeltragfähigkeit nach Anhang A zu ermitteln.

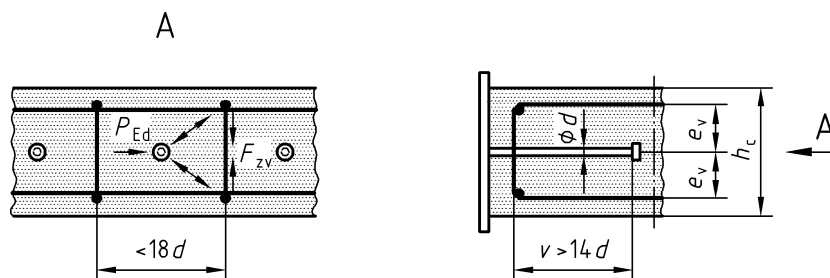


Bild 13 — Spaltzugkräfte bei horizontal angeordneten Dübeln

(938) Kopfbolzendübel mit Profilblechen parallel zur Trägerachse

Der Einfluss der Rippengeometrie auf die Dübeltragfähigkeit ist zu berücksichtigen. Bei parallel zur Trägerachse angeordneten Profilblechen nach Bild 14 darf der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit durch Abminderung des Wertes P_{Rd} für Vollbetonplatten nach Element (935) mit dem Faktor k_ℓ nach Gleichung (42) ermittelt werden.

$$k_\ell = 0,6 \frac{b_o}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1,0 \quad (42)$$

Dabei ist h_{sc} die Gesamtlänge des Dübels, die jedoch nur mit maximal $h_p + 75$ mm in Rechnung gestellt werden darf. Wird das Profilblech über dem Träger nicht gestoßen, so ist die Breite b_o der Voute gleich der in Bild 29 angegebenen Rippenbreite. Sind die Bleche über dem Träger gestoßen, so wird b_o wie in Bild 14 a) und b) angegeben definiert. Als Voutenhöhe ist die Gesamthöhe h_p des Profilbleches unter Berücksichtigung von in Blechlängsrichtung nicht unterbrochenen lokalen Profilierungen anzusetzen. Bei offener Profilblechgeometrie mit $h_p \geq 60$ mm und bei über dem Träger gestoßenen Profilblechen ohne kraftschlüssige Verbindung der Bleche mit dem Träger sind die in Element (946) angegebenen Bedingungen hinsichtlich der Voutenabmessungen und der Bewehrung einzuhalten. Für die innerhalb der Rippe anzuordnende Bewehrung mit der Querschnittsfläche A_{bh} nach Bild 14 c) gilt je Dübel $A_{bh} \geq 0,30 k_\ell P_{Rd} / f_{sd}$ mit P_{Rd} nach Element 935.

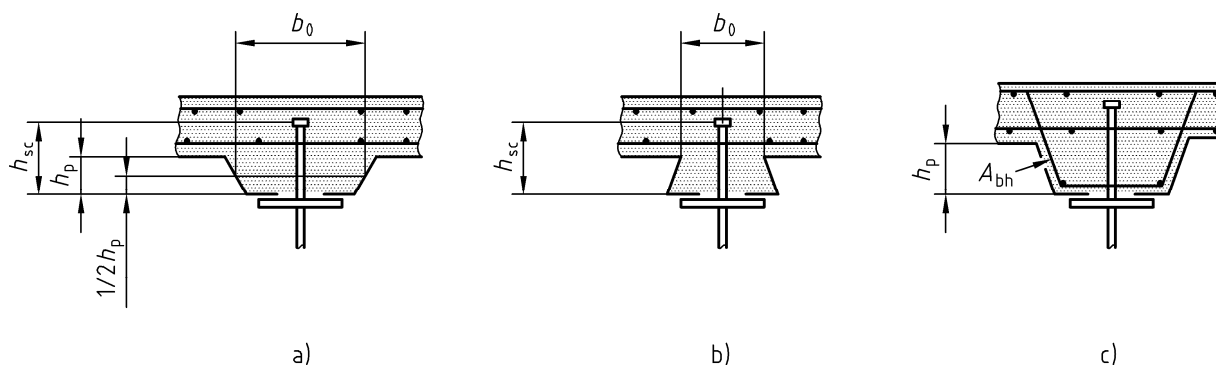


Bild 14 — Träger mit parallel zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen

(939) Profilbleche mit Rippen senkrecht zur Trägerachse

Der Einfluss der Rippengeometrie auf die Dübeltragfähigkeit ist zu berücksichtigen. Bei senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen darf der Bemessungswert der Dübeltragfähigkeit durch Abminderung des Wertes P_{Rd} nach Element (935) mit dem Faktor k_t nach Gleichung (43) ermittelt werden.

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \frac{b_o}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq k_{t,max} \quad (43)$$

Dabei ist n_r die Anzahl der Kopfbolzendübel je Rippe, die rechnerisch maximal mit $n_r = 2$ berücksichtigt werden darf. Für die Profilblechhöhe h_p ist die Gesamthöhe unter Berücksichtigung von in Blechlängsrichtung nicht unterbrochenen lokalen Profilierungen zu berücksichtigen. Die weiteren Symbole sind in Bild 15 angegeben. Der Abminderungsfaktor k_t darf maximal mit den in Tabelle 8 angegebenen oberen Grenzwerten $k_{t,max}$ berücksichtigt werden.

Tabelle 8 — Obere Grenzwerte $k_{t,max}$ für den Abminderungsfaktor k_t

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Anzahl der Dübel je Rippe	Blechdicke t des Profilbleches mm	Durch die Profilbleche geschweißte Dübel mit Schaftdurchmessern d kleiner als 20 mm	Vorgelochte Profilbleche und Dübel mit 19 mm und 22 mm Durchmesser
1	$n_r = 1$	$\leq 1,0$	0,85	0,75
2		$> 1,0$	1,00	0,75
3	$n_r = 2$	$\leq 1,0$	0,70	0,60
4		$> 1,0$	0,80	0,60

Die Werte für k_t nach Gleichung (43) dürfen verwendet werden, wenn:

- die Dübel in Rippen angeordnet werden, bei denen die Profilblechhöhe h_p 85 mm nicht überschreitet und bei denen die Rippenbreite b_0 nicht kleiner als die Rippenhöhe h_p ist, und
- der Schaftdurchmesser der Dübel bei Anwendung der Durchschweißtechnik nicht größer als 20 mm bzw. bei vorgelochten Profilblechen nicht größer als 22 mm ist. Hinsichtlich des Durchschweißens von Dübeln ist Element (1130) zu beachten.

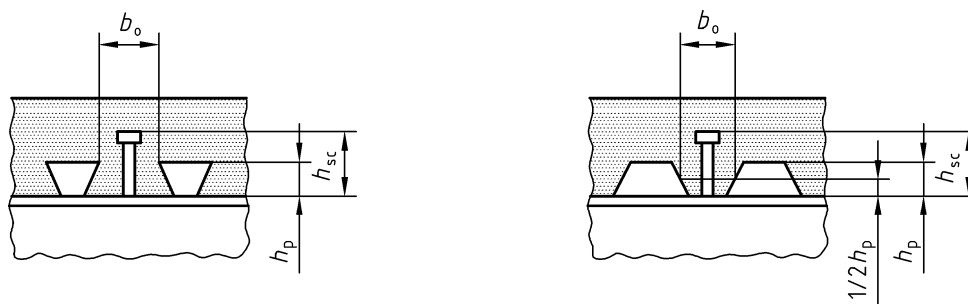


Bild 15 — Träger mit senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen

(940) Zweiachsige Beanspruchung von Kopfbolzendübeln

Werden die Dübel sowohl aus dem Trägerverbund als auch aus dem Deckenverbund beansprucht, so ist bei gleichzeitiger Wirkung dieser Schubkräfte die folgende Bedingung einzuhalten:

$$\frac{F_L^2}{P_{L,Rd}^2} + \frac{F_t^2}{P_{t,Rd}^2} \leq 1 \quad (44)$$

Dabei ist

F_L die Längsschubkraft aus dem Träger,

F_t die rechtwinklig dazu wirkende Schubkraft aus der Verbundwirkung mit der Decke nach Element (1129).

$P_{L,Rd}$ und $P_{t,Rd}$ sind die zugehörigen Dübeltragfähigkeiten nach den Elementen (939) und (1129).

9.4.5 Konstruktionsregeln für die Ausbildung der Verbundsicherung

(941) Kopfbolzendübel

Dübel mit einer Gesamthöhe kleiner als der 3fache Schaftdurchmesser d sind nicht zulässig. Der Kopfdurchmesser des Dübels darf nicht kleiner als der 1,5fache und die Höhe des Dübelkopfes nicht kleiner als der 0,4fache Schaftdurchmesser d sein. Kopfbolzendübel dürfen mit einer Fertigungsbeschichtung versehen werden, deren Schichtdicke 20 μm bis 40 μm nicht überschreiten darf.

Bei der Ausführung ist die Betonierreihenfolge so zu wählen, dass noch nicht vollständig abgebundener Beton infolge einer unplanmäßigen Verbundwirkung, die aus den Tragwerksverformungen infolge der nachfolgenden Betonierlasten resultiert, nicht geschädigt wird. In der Regel sollten Kopfbolzendübel erst planmäßig beansprucht werden, wenn der charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons mindestens 20 N/mm² beträgt.

(942) Sicherung gegen Abheben der Betonplatte

Die für die Verhinderung des Abhebens wirksame Verankerungsfläche eines Verbundmittels (z. B. die Unterseite des Kopfes eines Kopfbolzendübels) soll mindestens 30 mm (lichter Abstand) über der unteren Bewehrung des Betongurtes liegen (siehe Bild 16 b)). Für Träger mit Vouten gilt Element (946).

(943) Dübelabstände

Der Achsabstand der Dübel e_L in Kraftrichtung darf nicht kleiner als $5d$ sein. Senkrecht zur Kraftrichtung (siehe Bild 16) darf der Achsabstand bei Vollbetonplatten den Wert $e_q = 2,5d$ und in allen anderen Fällen (bei Profilblechen) $e_q = 4d$ nicht unterschreiten.

Der Abstand der Dübel darf in Längsrichtung nicht größer als die 6fache Betongurt Dicke und nicht größer als 800 mm sein. Der Randabstand e_D zwischen den Außenkanten des Dübels und des Flansches darf nicht kleiner als 20 mm sein (siehe Bild 16 a)).

Wenn bei horizontal angeordneten Dübeln Spaltzugkräfte in Dickenrichtung des Gurtes entstehen, sind die Anforderungen nach Element (937) zu beachten.

(944) Betondeckung und Verdichtung des Betons

Die Verdübelung ist konstruktiv so auszubilden, dass eine einwandfreie Verdichtung des Betons im Dübelfußbereich sichergestellt ist. Daher sind im Allgemeinen Kopfbolzendübel zu vermeiden, die von unten an den Obergurt geschweißt werden (z. B. bei kammerbetonierten Trägern und bei einbetonierten Stahlobergurten in Fachwerken). Bei Verwendung von Fertigteilen darf der lichte Abstand zwischen dem Dübelschaft und dem Fertigteil nicht kleiner als 25 mm sein. Die Betondeckung über den Dübeln darf bei Korrosionsgefahr die Werte für Betonstahl nach DIN 1045-1:2001-07, 6.3 nicht unterschreiten.

(945) Abmessungen des Stahlträgerflansches

Die Dicke des Bleches bzw. Stahlgurtes ist so zu wählen, dass eine einwandfreie Schweißung und eine Einleitung der Dübelkraft in den Stahlgurt ohne örtliche Überbeanspruchungen oder übermäßige Verformungen sichergestellt sind. Werden die Dübel nicht direkt über dem Steg angeordnet, so darf der Durchmesser des Dübels bei Tragwerken unter vorwiegend ruhender Beanspruchung den 2,5fachen Wert der Flansch- bzw. Blechdicke nicht überschreiten.

Wenn bei zugbeanspruchten Blechen und Gurten mit aufgeschweißten Dübeln ein Ermüdungsnachweis erforderlich ist, darf der Schaftdurchmesser des Dübels nicht größer als der 1,5fache Wert der Blech- bzw. Flanschdicke sein.

(946) Ausbildung von Vouten

Bei Ausbildung von Vouten zwischen dem Stahlträger und der Unterseite des Betongurtes ist in der Regel zu beachten, dass die Außenseiten der Voute außerhalb einer Linie liegen, die unter 45° von der Außenkante des Dübels zur oberen Kante der Voute verläuft (siehe Bild 16). Die seitliche Betondeckung e_v des Dübels am unteren Rand darf in der Regel nicht kleiner als 50 mm sein. Der lichte Abstand zwischen der unteren Querbewehrung und der für die Abhebesicherung wirksamen Fläche des Verbundmittels darf nicht kleiner als 40 mm sein.

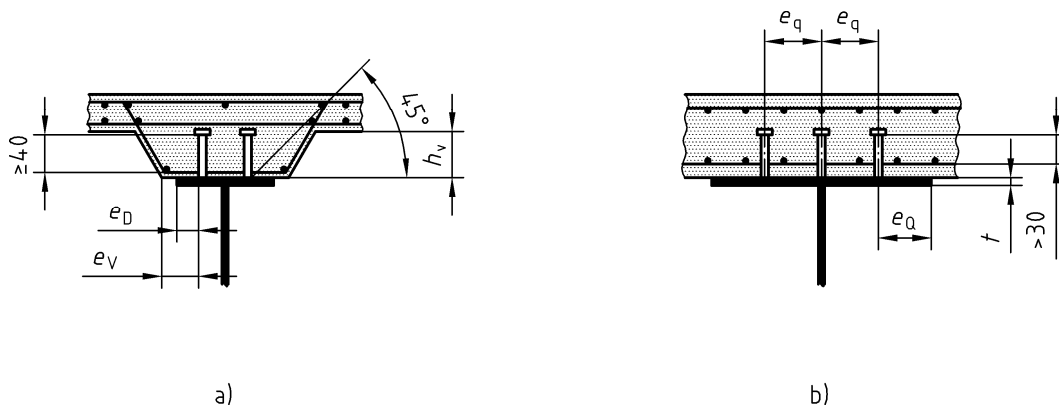


Bild 16 — Mindestmaße bei Vouten und lichte Abstände zwischen Unterkante Dübelkopf und der unteren Querbewehrung

(947) Kopfbolzendübel bei Profilblechen

Die Einbindetiefe des Dübels in den Beton oberhalb des Profilbleches darf im aufgeschweißten Zustand nicht kleiner als der 2fache Schaftdurchmesser des Dübels sein und die minimale Breite von ausbetonierten Rippenzellen darf nicht kleiner als 50 mm sein. Bezüglich der Sicherung gegen Abheben des Gurtes gilt Element (942).

Wenn die Geometrie des Profilbleches bei senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen eine zentrische Anordnung der Dübel in den Rippen nicht zulässt, sind die Dübel in der Regel über die gesamte Trägerlänge alternierend exzentrisch in den Rippen anzuordnen.

Bei Trägern mit parallel zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen mit offener Profilblechgeometrie (siehe Bild 29) sowie bei Trägern mit parallel zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen, die über dem Träger gestoßen sind (siehe Bild 14), sind die Bedingungen für Vouten nach Element (946) einzuhalten.

(948) Höchstwerte der Dübelabstände bei Flanschen mit örtlicher Beulgefahr

Wenn bei der Bemessung angenommen wird, dass ein örtliches Stabilitätsversagen des Stahl- oder Betonteils durch die Verdübelung verhindert wird, muss zur Realisierung dieser Annahme ein ausreichend enger Dübelabstand gewählt werden.

Wird ein Druckflansch, der üblicherweise in eine höhere Klasse einzustufen wäre, wegen des günstigen Einflusses der Verdübelung mit dem Betongurt auf das lokale Beulen in die Klasse 1 oder 2 eingestuft, so sind der Achsabstand e_L der Verbundmittel in Richtung der Druckbeanspruchung und der Abstand e_r zwischen der Außenkante des Druckflansches und der Achse der äußeren Dübelreihe nach Tabelle 9 zu begrenzen.

Tabelle 9 — Höchstwerte für Dübelabstände bei Flanschen nach Element (948)

Spalte	1	2
Zeile	Achsabstand	Achsabstand e mit f_{yk} in N/mm ²
1	e_L in Längsrichtung bei nicht unterbrochener Verbundfuge (z. B. bei Vollbetonplatten)	$e_L \leq 22 t \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}}$
2	e_L in Längsrichtung bei unterbrochener Verbundfuge (z. B. bei Gurten mit Profilblechen)	$e_L \leq 15 t \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}}$
3	e_Q zum freien Rand in Querrichtung nach Bild 16 b)	$e_Q \leq 9 t \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}}$

9.5 Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes bei Verbundträgern

(949) Grundsätze

Der Betongurt und die Querbewehrung sind im Grenzzustand der Tragfähigkeit so zu bemessen, dass ein Versagen infolge Längsschub im Plattenanschnitt oder örtlicher Schubkrafteinleitung (Dübelumrissfläche) vermieden wird. Die in dem jeweils betrachteten Schnitt maßgebende einwirkende Längsschubkraft je Längeneinheit ist aus der erforderlichen Dübelanzahl unter Berücksichtigung der Verteilung der Dübel nach 9.4 zu ermitteln.

In kritischen Schnitten für die Längsschubtragfähigkeit des Betongurtes sind in Übereinstimmung mit DIN 1045-1:2001-07, 10.3.5 die folgenden Bedingungen einzuhalten:

$$\frac{v_{L,Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1,0 \quad \frac{v_{L,Ed}}{v_{Rd,sy}} \leq 1,0 \quad (45)$$

Dabei ist

- $v_{L,Ed}$ der Bemessungswert der einwirkenden Längsschubkraft je Längeneinheit in den zu untersuchenden Schnitten für das Längsschubversagen,
- $v_{Rd,max}$ der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit je Längeneinheit nach DIN 1045-1:2001-07, 10.3.4(6) bei rechtwinklig zur Trägerachse angeordneter Schubbewehrung, wobei für b_w in Gleichung (76) von DIN 1045-1:2001-07 die jeweils maßgebende Länge l_f des kritischen Schnittes nach Element (950) oder (951) und für z die jeweils untersuchte kritische Länge in Trägerlängsrichtung nach Element (902) zu berücksichtigen ist,
- $v_{Rd,sy}$ der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit je Längeneinheit nach DIN 1045-1:2001-07, 10.3.4(4). In Gleichung (75) der DIN 1045-1:2001-07 ist dabei anstelle von z die jeweils untersuchte kritische Länge in Trägerlängsrichtung nach Element (902) einzusetzen. Der Verlauf der Längsschubkraft in Gurtquerrichtung darf bei der Bemessung der Querbewehrung berücksichtigt werden.

Bei kombinierter Beanspruchung durch Längsschubkräfte und Querbiegemomente im Gurtanschnitt (Schnitte a-a nach den Bildern 17 und 18) gilt DIN 1045-1:2001-07, 10.3.5(4).

(950) Kritische Schnitte und anrechenbare Querbewehrung bei Vollbetonplatten

Bei Vollbetonplatten sind die kritischen Schnitte nach Bild 17 nachzuweisen. Für den Nachweis im Plattenanschnitt (Schnitt a-a) gilt DIN 1045-1:2001-07, 10.3.5(3). Bei den Nachweisen der Dübelumrissfläche (Schnitte b-b bis c-c) nach Gleichung (76) der DIN 1045-1:2001-07 ist anstelle von b_w die jeweilige Länge l_f

nach Bild 17 anzunehmen. Für den Plattenanschnitt (Schnitt a-a) ist $l_f = h_f$. Die Länge l_f des Schnittes b-b nach Bild 17 ergibt sich bei einreihigen oder bei versetzt angeordneten Dübeln aus dem zweifachen Wert der Dübelhöhe zuzüglich des Kopfdurchmessers des Dübels. Bei zweireihiger Dübelanordnung resultiert die Länge l_f des Schnittes b-b aus $(2h_{sc} + e_q)$ zuzüglich des Kopfdurchmessers eines Dübels. Dabei ist h_{sc} die Höhe des Dübels und e_q der Achsabstand der Dübel in Querrichtung. Beim Nachweis der Dübelumrissfläche nach Gleichung (75) der DIN 1045-1:2001-07 ergibt sich die anrechenbare Querbewehrung je Längeneinheit A_{sf}/s_f nach Bild 17, wobei A_b , A_t und A_{bh} die jeweiligen Querschnittsflächen der Querbewehrung je Längeneinheit sind. Wenn im Schnitt a-a und im Schnitt e-e nach Bild 17 c) die Dicke des Teilfertigteils angerechnet werden soll, ist Element (953) zu beachten.

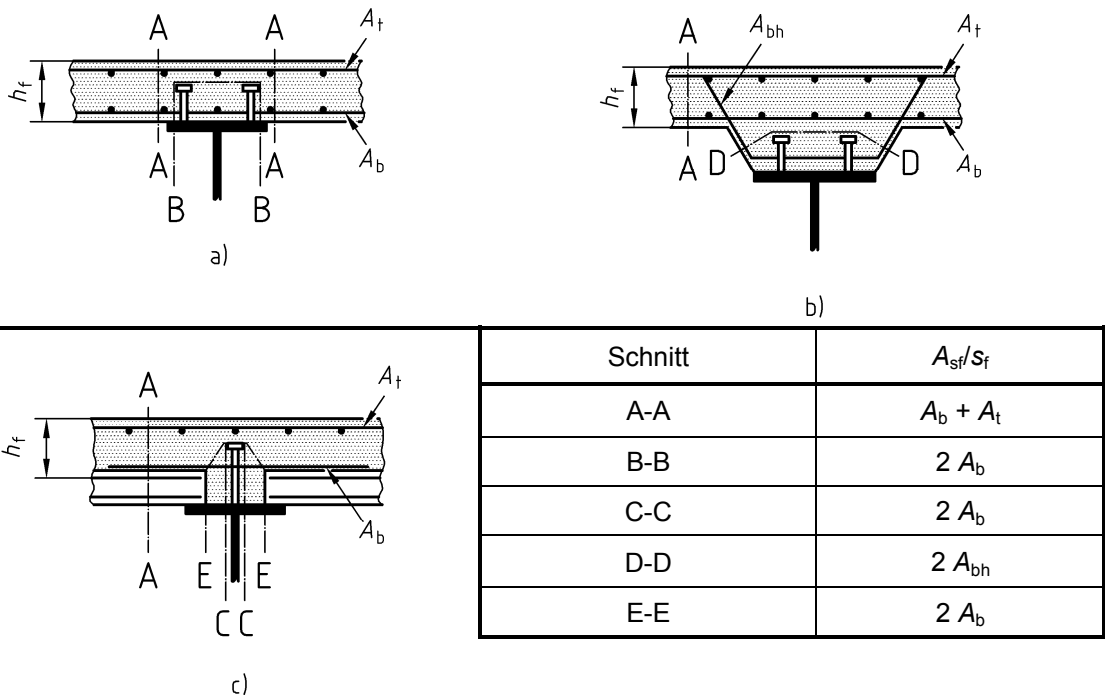


Bild 17 — Maßgebende Schnitte beim Nachweis der Längsschubkrafttragfähigkeit

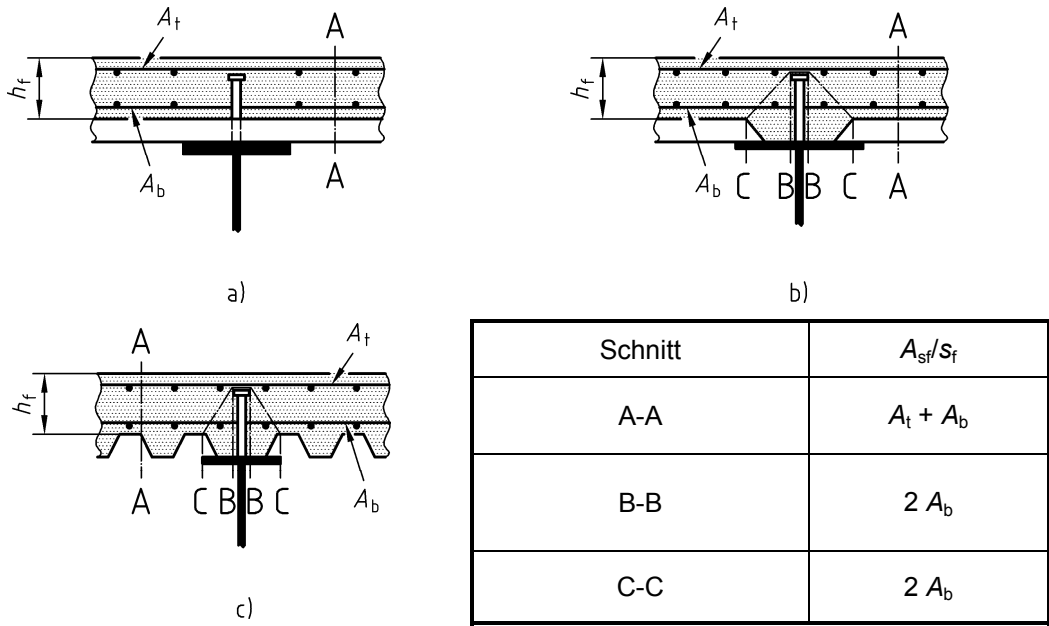


Bild 18 — Maßgebende Schnitte für den Nachweis der Längsschubkrafttragfähigkeit bei Betongurten mit Profilblechen

(951) Maßgebende Schnitte und anrechenbare Querbewehrung bei Querschnitten mit Profilblechen

Bei Gurten mit Profilblechen darf beim Nachweis im Plattenanschnitt (Schnitt a-a nach Bild 18) für h_f nur die Aufbetondicke oberhalb des Profilbleches berücksichtigt werden.

Bei Verwendung von senkrecht zur Trägerachse verlaufenden durchgehenden Profilblechen nach Bild 18 a) ist ein Nachweis der Dübelumrissfläche nicht erforderlich, wenn die Tragfähigkeit der Dübel unter Berücksichtigung des in Element (939) angegebenen Abminderungsfaktors k_t ermittelt wird.

Beim Nachweis des Schnittes c-c nach Bild 18 b) darf bei der Ermittlung von l_f der Beton innerhalb der Rippenhöhe nicht berücksichtigt werden. Die in den maßgebenden Schnitten anrechenbare Querbewehrung ist in Bild 18 angegeben. Bei parallel zur Trägerrichtung verlaufenden Profilblechen mit Profilblechhöhen $h_p > 60$ mm ist zusätzlich Element (938) zu beachten.

(952) Anrechnung von Profilblechen auf die Schubbewehrung

Senkrecht zur Trägerachse angeordnete und durchlaufende Profilbleche mit mechanischem Verbund oder Reibungsverbund dürfen beim Nachweis der Längsschubkrafttragfähigkeit im Schnitt a-a angerechnet werden. Anstelle der in DIN 1045-1:2001-07, 10.3.4(4) angegebenen Gleichung (75) ist dann der Nachweis mit Beziehung (46) zu führen.

$$(A_{sf} f_{sd}/s_f) + A_{pe} f_{yp,d} > v_{L,Ed} / \cot \theta \quad (46)$$

Dabei ist

A_{pe} die wirksame Querschnittsfläche des Profilbleches je Längeneinheit senkrecht zur Trägerrichtung, wobei bei vorgelochten Blechen die Nettoquerschnittsfläche maßgebend ist (A_{pe} ist in Element (1118) erläutert),

$f_{yp,d}$ der Bemessungswert der Streckgrenze des Profilbleches,

A_{sf} die anrechenbare Querbewehrung nach Bild 18,

θ Winkel zwischen den Betondruckstreben und der Trägerachse nach DIN 1045-1:2001-07, 10.3.4.

Wenn bei senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechen die Bleche über dem Träger gestoßen werden und die Dübel direkt durch die Bleche auf den Träger geschweißt werden, ist in der Beziehung (46) für den Traganteil des Bleches anstelle von $A_{pe} f_{yp,d}$ der folgende Traganteil zu berücksichtigen:

$$P_{pb,Rd}/s \text{ jedoch } \leq A_{pe} f_{yp,d} \quad (47)$$

Dabei ist

$P_{pb,Rd}$ der Bemessungswert der Tragfähigkeit für die Endverdübelung mit durchgeschweißten Kopfbolzendübeln nach Element (1129),

s der Achsabstand der für die Endverdübelung des Profilbleches wirksamen Dübel in Trägelängsrichtung.

(953) Verwendung von Teilfertigteilen

Wenn bei Verwendung von Teilfertigteilen (siehe Bild 17 c)) im Schnitt a-a die Dicke des Fertigteils bei h_f angerechnet wird, ist DIN 1045-1:2001-07, 10.3.6 zu beachten. Dies gilt auch für die horizontale Fuge zwischen Fertigteil und Aufbeton.

(954) Mindestbewehrung

Die Mindestbewehrung ist in der Regel in Übereinstimmung mit den Regelungen nach DIN 1045-1:2001-07, 13.2.3 zu ermitteln. Bei Gurten mit Profilblechen sind die Regelungen zur Ermittlung der erforderlichen Mindestbewehrung auf die Betonfläche oberhalb des Profilbleches zu beziehen.

(955) Einleitung der Längsschubkräfte im Bereich von freien Betonrändern

Bei Randträgern ist eine Querbewehrung erforderlich, die zwischen der dem freien Betonrand zugewandten Dübelreihe und dem freien Betonrand voll zu verankern ist.

Um eine örtliche Rissbildung in Trägerlängsrichtung zu verhindern, sind in der Regel bei Verbundträgern, bei denen der Abstand zwischen dem freien Betonrand und der Achse der benachbarten Dübelreihe kleiner als 300 mm ist, die nachfolgenden Konstruktionsregeln zu beachten:

- a) Anordnung einer Schlaufenbewehrung, die um die Dübel greift,
- b) bei Verwendung von Kopfbolzendübeln Einhalten eines Mindestabstandes von $6 d$ zwischen dem freien Betonrand und der Achse der benachbarten Dübelreihe, wobei d der Nennwert des Dübelschaftdurchmessers ist. Der Durchmesser der Schlaufenbewehrung sollte mindestens $0,5 d$ betragen und
- c) die Schlaufenbewehrung sollte unter Beachtung der Betondeckung so tief wie möglich angeordnet werden.

(956) Abstufung und Verankerung der Längs- und Querbewehrung

Die Längs- und Querbewehrung ist nach DIN 1045-1:2001-07, 12.6 zu verankern.

Im Bereich von Kragarmen und in den negativen Momentenbereichen von Durchlaufträgern ist die Abstufung der Längsbewehrung entsprechend der Dübelverteilung und unter Berücksichtigung des Versatzmaßes vorzunehmen.

9.6 Nachweis gegen Ermüdung

9.6.1 Allgemeines

(957) Anwendungsbereich und Teilsicherheitsbeiwerte

Für den Nachweis gegen Ermüdung gelten DIN 18800-1:1990-11, Element (741) und DIN 1045-1:2001-07, 10.8. 9.6 enthält ergänzende Regelungen für die Ermittlung der Spannungsschwingbreiten und regelt den Nachweis der Ermüdung für Kopfbolzendübel.

Für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} für die Ermüdungsfestigkeit von Beton sowie Beton- und Spannstahl gilt DIN 1045-1:2001-07, 5.3.3.

Für Kopfbolzendübel ist der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mf,v} = 1,25$ zu berücksichtigen.

Für Baustahl gelten die Regelungen in den jeweiligen Anwendungsnormen.

ANMERKUNG In DIN 18800-1 sind keine Bemessungsregeln für den Nachweis gegen Ermüdung angegeben. Für die Ermüdungsfestigkeit von Baustahl und geschweißten Konstruktionsdetails dürfen die Regelungen nach DIN-Fachbericht 103 zugrunde gelegt werden. Dies gilt auch für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} .

9.6.2 Ermüdungsfestigkeit

(958) Beton, Beton- und Spannstahl sowie Baustahl

Für Beton sowie Beton- und Spannstahl gilt DIN 1045-1:2001-07, 10.8. Für Baustahl gelten die Regelungen in den jeweiligen Anwendungsnormen.

(959) Kopfbolzendübel

Die Ermüdungsfestigkeitskurve für Kopfbolzendübel nach Element (935) ist in Bild 19 dargestellt und wird bei Verwendung von Normalbeton durch die Gleichung (48) beschrieben.

$$(\Delta \tau_R)^m N_R = (\Delta \tau_c)^m N_c \quad (48)$$

Dabei ist

$\Delta \tau_R$ die Ermüdungsfestigkeit bezogen auf die Querschnittsfläche des Dübelschaftes,

$\Delta \tau_c = 90 \text{ N/mm}^2$ der Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit bei der Bezugslastspielzahl N_c ,

$m = 8$ der Neigungsexponent der Ermüdungsfestigkeitskurve nach Bild 19,

N_R die zu $\Delta \tau_R$ zugehörige Anzahl der Spannungsspiele,

N_c die Bezugslastspielzahl mit $N_c = 2 \times 10^6$.

Bei Verwendung von Leichtbeton ist anstelle von $\Delta \tau_c$ die Ermüdungsfestigkeit $\eta_E \Delta \tau_c$ zu verwenden. Der Beiwert η_E ergibt sich nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 10, Zeile 7.

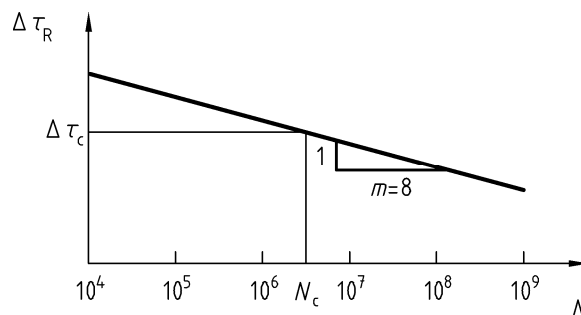


Bild 19 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten bei Längsschubbeanspruchung

9.6.3 Einwirkungen, Schnittgrößen und Spannungen

(960) Einwirkungen, Einwirkungskombination und Schnittgrößen

Die ermüdungswirksamen Einwirkungen sind den jeweiligen Anwendungsnormen zu entnehmen. Falls erforderlich, sind bei der Berechnung zur Erfassung von dynamischen Beanspruchungen Schwing- oder Stoßbeiwerte zu berücksichtigen. Die Schnittgrößen sind mit Hilfe einer elastischen Tragwerksberechnung für die Kombination der Einwirkungen nach DIN 1045-1:2001-07, 10.8.3(3) zu ermitteln. Die maximalen und minimalen Biegemomente und/oder Schnittgrößen zur Ermittlung der schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreiten werden nachfolgend mit $M_{Ed,max,f}$ und $M_{Ed,min,f}$ bezeichnet. Bei üblichen Hochbauten darf der häufige Verkehrslastanteil nach DIN 1055-100:2001-03, 10.4 für den Nachweis gegen Ermüdung zugrunde gelegt werden.

(961) Spannungen im Baustahl

Wenn infolge der Einwirkungskombination nach Element (960) im Betongurt Zugspannungen entstehen, dürfen die Spannungen im Baustahlquerschnitt mit Hilfe des Flächenmomentes zweiten Grades I_2 nach Element (314) berechnet werden. Andernfalls sind die Spannungen unter Annahme eines ungerissenen Querschnitts zu ermitteln. Die Spannungen im Baustahlquerschnitt sind auf den Grenzwert nach Element (1012) zu beschränken.

(962) Betonstahl

Bei der Spannungsermittlung muss in Bereichen, in denen unter der Einwirkungskombination nach Element (960) Zugspannungen im Beton entstehen, der Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen im Allgemeinen berücksichtigt werden.

Die schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite nach DIN 1045-1:2001-07, 10.8.3(5) ergibt sich zu:

$$\Delta\sigma_{s, \text{equ}} = \lambda_s |\sigma_{s, \text{max}, f} - \sigma_{s, \text{min}, f}| \quad (49)$$

Dabei ist

$\sigma_{s, \text{max}, f}$ maximale Spannung infolge $M_{\text{Ed}, \text{max}, f}$ die nach Element (1020) mit den Gleichungen (76) bis (78) zu ermitteln ist. Anstelle des in Gleichung (77) angegebenen Beiwertes $\beta = 0,4$ darf beim Nachweis gegen Ermüdung der Beiwert $\beta = 0,2$ berücksichtigt werden,

$\sigma_{s, \text{min}, f}$ minimale Spannung infolge des Biegemomentes $M_{\text{Ed}, \text{min}, f}$ nach Gleichung (50),

$$\sigma_{s, \text{min}, f} = \sigma_{s, \text{max}, f} \frac{M_{\text{Ed}, \text{min}, f}}{M_{\text{Ed}, \text{max}, f}} \quad (50)$$

λ_s der Schadensäquivalenzfaktor, der den entsprechenden Anwendungsnormen zu entnehmen ist.

Wenn infolge $M_{\text{Ed}, \text{min}, f}$ und $M_{\text{Ed}, \text{max}, f}$ oder nur infolge $M_{\text{Ed}, \text{min}, f}$ im Betongurt Druckspannungen entstehen, dürfen die Spannungen für diese Biegemomente unter Annahme eines ungerissenen Querschnitts ermittelt werden. Für übliche Hochbauten darf näherungsweise $\Delta\sigma_{s, \text{equ}} = \Delta\sigma_{s, \text{max}}$ angenommen werden, wobei $\Delta\sigma_{s, \text{max}}$ die maximale Spannungsschwingbreite unter der ermüdungswirksamen Einwirkungskombination ist.

(963) Verdübelung

Für die Verbundfuge muss die Längsschubkraft je Längeneinheit auf der Grundlage der Elastizitätstheorie ermittelt werden. In Bereichen mit wahrscheinlicher Rissbildung in Betonquerschnittsteilen sind im Allgemeinen der Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen sowie der Einfluss von Überfestigkeiten bei der Betonzugfestigkeit zu berücksichtigen.

Auf der sicheren Seite liegend darf die Längsschubkraft in der Verbundfuge unter der Annahme eines ungerissenen Querschnitts bestimmt werden.

9.6.4 Nachweisverfahren

9.6.4.1 Beton, Beton- und Spannstahl sowie Baustahl

(964) Beton, Beton- und Spannstahl

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 10.8.3. Die Spannungen im Betonstahl sind nach Element (962) zu ermitteln. Bei Spanngliedvorspannung ist das unterschiedliche Verbundverhalten von Beton- und Spannstahl nach DIN 1045-1:2001-07, 10.8.2 zu berücksichtigen.

(965) Baustahl

Der Nachweis ist nach den jeweils maßgebenden Anwendungsnormen zu führen.

ANMERKUNG Siehe Anmerkung zu Element (957).

9.6.4.2 Kopfbolzendübel**(966) Anwendungsbereich**

Die nachfolgenden Regelungen gelten für Verbundträger mit Gurten aus Vollbetonplatten, bei denen Kopfbolzendübel als Verbundmittel verwendet werden.

(967) Maximale Dübelbeanspruchungen

Die Längsschubkraft je Verbundmittel darf unter der charakteristischen Lastkombination den 0,6fachen Wert der Dübeltragfähigkeit P_{Rd} nach Element (935) nicht überschreiten.

(968) Betongurt in der Druckzone

Der Ermüdungsnachweis ist für Trägerbereiche, in denen der Betongurt unter der Einwirkungskombination nach Element (960) in der Druckzone liegt, mit der nachfolgenden Bedingung zu führen:

$$\frac{\gamma_{F,f} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,v}} \leq 1,0 \quad \text{mit} \quad \Delta\tau = \frac{\Delta P_{E,2}}{\pi d^2 / 4} \quad (51)$$

Dabei ist

$\Delta\tau_{E,2}$ die schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite bezogen auf die Bezugslastspielzahl $N_c = 2 \times 10^6$. Die Spannungsschwingbreite $\Delta\tau_{E,2}$ ergibt sich dabei aus der schädigungsäquivalenten Schwingbreite der Schubkraft des Dübels $\Delta P_{E,2}$ und der Querschnittsfläche des Dübelschaftes nach Gleichung (51). Die ermüdungswirksamen Verkehrslasten zur Ermittlung von $\Delta\tau_{E,2}$ sind den Anwendungsnormen zu entnehmen. Für Hochbauten darf $\Delta\tau_{E,2}$ vereinfacht mit der häufigen Lastkombination ermittelt werden,

$\Delta\tau_c$ der auf $N_c = 2 \times 10^6$ Spannungsspiele bezogene Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit nach Element (959).

(969) Betongurt in der Zugzone

Wenn unter der maßgebenden Kombination im Gurt des Stahlträgers Zugspannungen auftreten, ist beim Nachweis die gleichzeitige Wirkung von Schubspannungsschwingbreiten $\Delta\tau_E$ im Dübel und von Normalspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_E$ im Gurt des Trägers mit den nachfolgenden Bedingungen nachzuweisen:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} + \frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,v}} \leq 1,3 \quad (52)$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad \frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,v}} \leq 1,0 \quad (53)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{E,2}$ die schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite bezogen auf 2 Mio. Spannungsspiele. Die ermüdungswirksamen Verkehrslasten zur Bestimmung von $\Delta\sigma_E$ sind den Anwendungsnormen zu entnehmen. Für Hochbauten darf $\Delta\sigma_E$ vereinfacht mit der häufigen Lastkombination ermittelt werden,

$\Delta\sigma_c = 80 \text{ N/mm}^2$ die Ermüdungsfestigkeit des zugbeanspruchten Stahlgurtes für die Bezugslastspielzahl $N = 2 \times 10^6$.

Die Schubspannungsschwingbreite $\Delta\tau_{E,2}$ und die Ermüdungsfestigkeit $\Delta\tau_c$ sind in Element (968) erläutert.

Die Bedingung (52) ist in der Regel sowohl für die maximale Normalspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{E,2}$ und den zugehörigen Wert $\Delta\tau_{E,2}$ als auch für die maximale Schubspannungsschwingbreite und den zugehörigen Wert $\Delta\sigma_{E,2}$ nachzuweisen. Wenn der Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen nicht mit genaueren Berechnungsverfahren berücksichtigt wird, ist der Nachweis mit den jeweils zugehörigen Spannungsschwingbreiten im Allgemeinen sowohl mit den Querschnittskenngrößen des ungerissenen als auch mit den Querschnittskenngrößen des gerissenen Querschnitts zu führen.

9.7 Verbundstützen und druckbeanspruchte Verbundbauteile

9.7.1 Allgemeines

(970) Anwendungsbereich

9.7 regelt die Bemessung und konstruktive Ausbildung von Verbundstützen und druckbeanspruchten Verbundbauteilen, die aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen (Bild 20 a)), aus teilweise einbetonierten Stahlprofilen (Bild 20 b) und 20 c)) oder aus runden bzw. rechteckigen ausbetonierten Hohlprofilen bestehen (Bild 20 d) bis Bild 20 f)) und bei denen Baustahlgüten S235 bis S460 und Normalbetone der Festigkeitsklassen C20/25 bis C50/60 verwendet werden. Der Querschnittsparameter δ muss die Bedingung (54) erfüllen:

$$0,2 \leq \delta \leq 0,9 \quad (54)$$

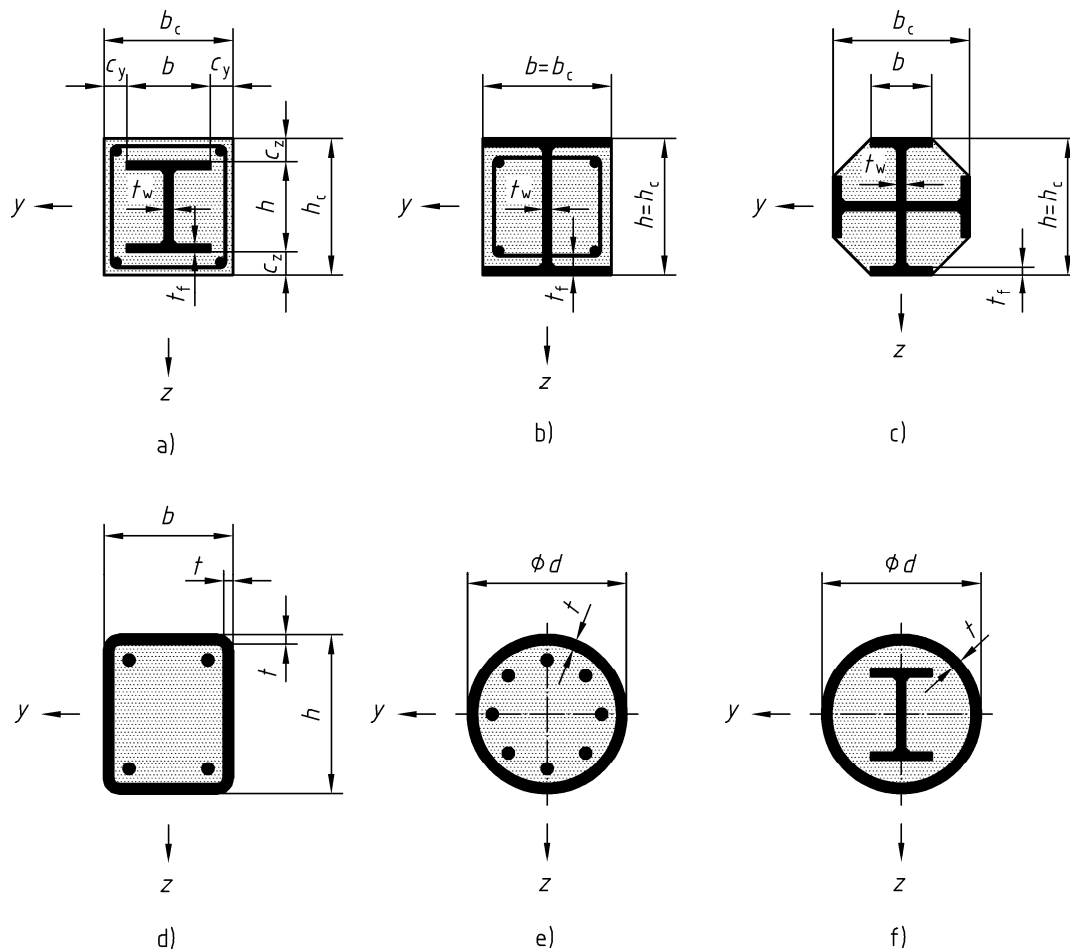


Bild 20 — Beispiele für Querschnitte von Verbundstützen — Bezeichnungen

Der Querschnittsparameter δ ergibt sich nach Gleichung (55). Dabei ist $N_{pl,Rd}$ die vollplastische Normalkrafttragfähigkeit bei Druckbeanspruchung nach Element (979).

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \quad (55)$$

(971) Bemessungsverfahren und erforderliche Nachweise

Für den Nachweis der Tragsicherheit werden zwei Nachweisverfahren angegeben:

- ein allgemeines Verfahren nach 9.7.2, das auch für Druckglieder mit unsymmetrischen Querschnitten oder über die Stützenlänge veränderlichen Querschnitten gültig ist,
- ein vereinfachtes Verfahren nach 9.7.3 für Druckglieder mit doppelsymmetrischen und über die Bauteillänge konstanten Querschnitten.

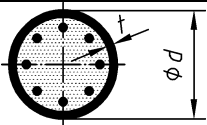
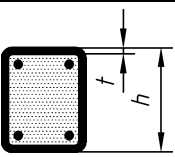
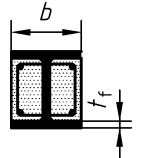
Für Verbundstützen und druckbeanspruchte Verbundbauteile sind folgende Nachweise zu führen:

- Tragfähigkeit des Bauteils nach 9.7.2 oder 9.7.3,
- Nachweis gegen örtliches Beulen von Stahlteilen nach Element (973),
- Nachweis der Lasteinleitung nach 9.7.4.2,
- Nachweis der Längsschubtragfähigkeit nach 9.7.4.3.

(972) Gleichzeitige Beanspruchung durch Normalkräfte und Biegemomente

Wenn bei druckbeanspruchten Verbundbauteilen Biegemomente und Normalkräfte aus unabhängigen Einwirkungen resultieren, sind die Teilsicherheitsbeiwerte für diejenigen Schnittgrößen, die zu einer Erhöhung der Beanspruchbarkeit führen, um 20 % abzumindern.

Tabelle 10 — Grenzwerte $\max(d/t)$, $\max(h/t)$ und $\max(b/t_f)$

Spalte	1	2
Zeile	Querschnitt	$\max(d/t)$, $\max(h/t)$ und $\max(b/t_f)$ mit f_{yk} in N/mm ²
1	ausbetonierte kreisförmige Hohlprofile 	$\max(d/t) = 90 \frac{240}{f_{yk}}$
2	ausbetonierte rechteckige Hohlprofile 	$\max(h/t) = 52 \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}}$
3	teilweise einbetonierte I-Querschnitte 	$\max(b/t_f) = 44 \sqrt{\frac{240}{f_{yk}}}$

(973) Örtliches Beulen von Stahlquerschnittsteilen

Wenn die Tragfähigkeit durch örtliches Beulen in Stahlquerschnittsteilen beeinflusst wird, muss dies bei der Bemessung berücksichtigt werden.

Der Nachweis gegen örtliches Beulen darf bei vollständig einbetonierten Stahlprofilen mit Betondeckungen nach Element (997) entfallen. Für andere Querschnitte darf der Nachweis entfallen, wenn die in Tabelle 10 angegebenen Grenzwerte nicht überschritten werden.

9.7.2 Allgemeines Bemessungsverfahren

(974) Bemessungsgrundlagen

Beim Nachweis der Gesamtstabilität sind die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung von geometrischen und strukturellen Imperfektionen, örtlichen Instabilitäten, des Einflusses der Rissbildung und des Plastizierens sowie der Auswirkungen aus dem Kriechen und Schwinden des Betons zu berücksichtigen.

Es ist nachzuweisen, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter der ungünstigsten Kombination der Einwirkungen stabiles Gleichgewicht herrscht und an keiner Stelle die Tragfähigkeit des Querschnitts für Biegung, Normalkraft und Querkraft überschritten wird. Die Einflüsse nach Theorie II. Ordnung sind für alle möglichen Versagensrichtungen zu untersuchen.

Die Schnittgrößen sind nach der Fließzonentheorie zu ermitteln. Bei der Berechnung darf Ebenbleiben des Querschnitts und vollständiger Verbund zwischen Beton- und Stahlprofil angenommen werden. Die Zugfestigkeit des Betons darf bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Die Einflüsse aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen dürfen berücksichtigt werden.

(975) Spannungsdehnungslinien, Kriechen und Schwinden

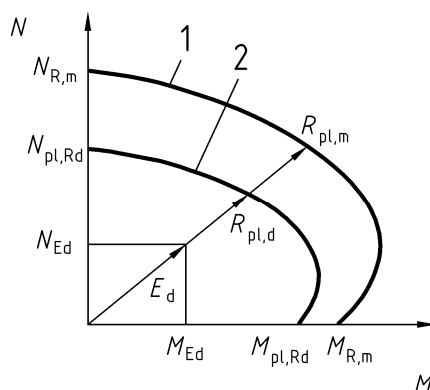
Für Beton und Betonstahl gilt DIN 1045-1:2001-07, 8.5.1. Für das Langzeitverhalten des Betons gilt DIN 1045-1:2001-07 und DIN 1045-1:2005-06 9.1.5. Für Baustahl darf ein ideal-elastisch-ideal-plastisches Werkstoffverhalten zugrunde gelegt werden.

(976) Sicherheitskonzept

Beim Nachweis nach dem allgemeinen Bemessungsverfahren gilt das Sicherheitskonzept nach Element (506). Eine ausreichende Tragsicherheit gilt als nachgewiesen, wenn der auf die Bemessungswerte der Einwirkungen bezogene Laststeigerungsfaktor η_u größer als der Teilsicherheitsbeiwert γ_R für den Systemwiderstand ist. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_R ist dabei für den maßgebenden Bemessungspunkt nach Bild 21 nach Element (506) zu bestimmen.

(977) Imperfektionen

Bei der Berechnung dürfen anstelle von geometrischen und strukturellen Imperfektionen für die Vorkrümmung auch geometrische Ersatzimperfektionen nach Tabelle 11 verwendet werden.



Legende

- 1 vollplastisch ermittelte Interaktionskurve unter Ansatz der rechnerischen Mittelwerte der Werkstofffestigkeiten
- 2 Interaktionskurve nach 9.7.3.2

Bild 21 — Zur Ermittlung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_R

9.7.3 Vereinfachtes Nachweisverfahren

9.7.3.1 Allgemeines

(978) Anwendungsbereich

Das vereinfachte Nachweisverfahren gilt für Stützen mit doppelsymmetrischen und über die Bauteillänge konstanten Verbundquerschnitten mit gewalzten, kalt- und warmprofilierten oder geschweißten Stahlprofilen.

Für Baustahlquerschnitte, die aus zwei oder mehreren nicht miteinander verbundenen Querschnittsteilen bestehen, darf das Näherungsverfahren nur für Ausweichen senkrecht zur Stoffachse des Baustahlquerschnitts angewendet werden. Bei ausbetonierten Hohlprofilen dürfen zusätzliche Einstellprofile (Bild 20 f)) aus geschweißten oder gewalzten I-Profilen und Kreuzprofilen verwendet werden. Vorhandene Längsbewehrung darf rechnerisch maximal mit 6 % der Betonfläche berücksichtigt werden. Das Verhältnis h_c/b_c bzw. h/b nach Bild 20 muss die Bedingung $0,2 \leq h/b \leq 5,0$ erfüllen.

Der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ nach Gleichung (67) muss die nachfolgende Bedingung erfüllen:

$$\bar{\lambda}_K \leq 2,0 \quad (56)$$

Bei vollständig einbetonierten Stahlprofilen nach Bild 20 a) dürfen rechnerisch maximal die Betondeckungen

$$\max c_z = 0,3h \quad \max c_y = 0,4b \quad (57)$$

berücksichtigt werden.

9.7.3.2 Querschnittstragfähigkeit

(979) Vollplastische Normalkrafttragfähigkeit

Der Bemessungswert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit $N_{pl,Rd}$ des Verbundquerschnitts ergibt sich aus der Addition der Bemessungswerte der Tragfähigkeiten der einzelnen Querschnittsteile.

$$N_{pl,Rd} = N_{pl,a,Rd} + N_{c,Rd} + N_{s,Rd} = A_a f_{yd} + A_c f_{cd} + A_s f_{sd} \quad (58)$$

Dabei ist

A_a , A_c und A_s die Querschnittsflächen von Profilstahl, Beton und Bewehrung,

f_{yd} , f_{cd} und f_{sd} die Bemessungswerte der Festigkeiten nach 5.2. Bei der Ermittlung der Festigkeit f_{cd} nach DIN 1045-1:2001-07, 9.1.6(2) darf für teilweise und vollständig einbetonierten Stahlprofile $\alpha = 0,85$ und für betongefüllte Hohlprofile $\alpha = 1,00$ angenommen werden.

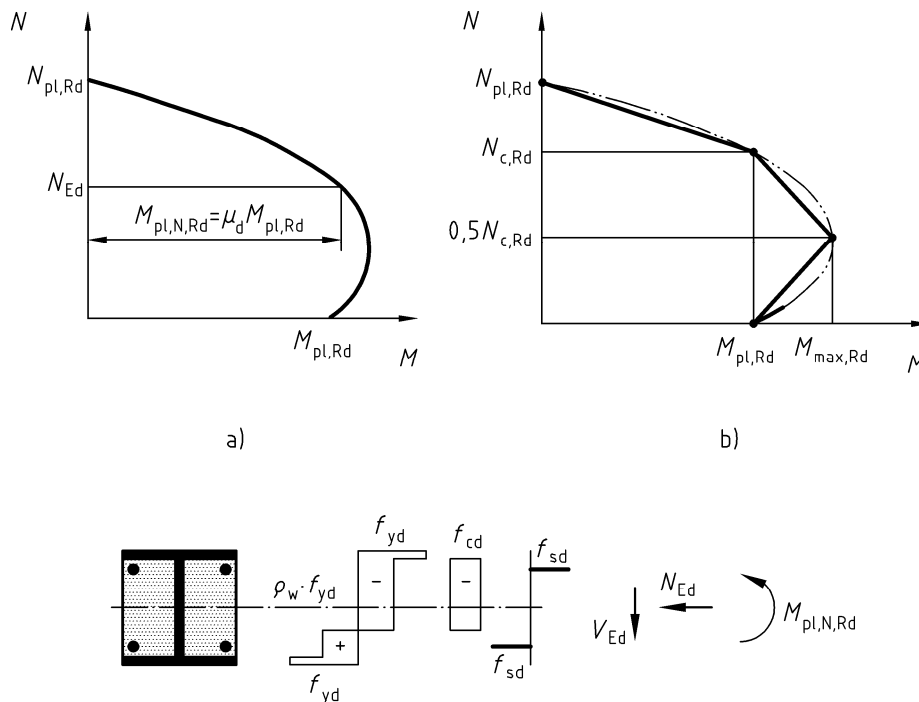


Bild 22 — Vollplastische Interaktionskurve für Druck und einachsige Biegung

(980) Querschnittstragfähigkeit bei Druck und Biegung

Bei Druck und Biegung dürfen die Querschnittstragfähigkeit und die Interaktionskurve des Verbundquerschnittes mit den in Bild 22 dargestellten vollplastischen Spannungsblöcken ermittelt werden. Für den Ansatz von α gilt Element (979). Die Interaktionskurve darf auf der sicheren Seite liegend durch einen Polygonzug (z. B. nach Bild 22 b)) angenähert werden.

(981) Berücksichtigung von Querkraften bei der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit

Der Einfluss von Querkraften auf die Tragfähigkeit bei Druck und Biegung ist bei der Ermittlung der Interaktionskurve zu berücksichtigen, wenn die einwirkende anteilige Querkraft des Baustahlquerschnittes $V_{a,Ed}$ den 0,5fachen Wert der in Element (910) angegebenen vollplastischen Querkrafttragfähigkeit des Baustahlquerschnittes $V_{pl,a,Rd}$ überschreitet. Für $V_{a,Ed} > 0,5V_{pl,a,Rd}$ darf der Einfluss der Querkraft auf die Querschnittstragfähigkeit für Druck und Biegung durch Ansatz eines reduzierten Bemessungswertes der Streckgrenze $\rho_w f_{yd}$ in den querkraftübertragenden Querschnittsteilen berücksichtigt werden. Siehe hierzu Element (912).

Die anteilige Bemessungsquerkraft des Stahlprofils $V_{a,Ed}$ darf die in Element (910) angegebene Querkrafttragfähigkeit des Stahlprofils nicht überschreiten. Die Querkrafttragfähigkeit des bewehrten Betonquerschnitts $V_{c,Rd}$ ist nach DIN 1045-1:2001-07, 10.3 nachzuweisen. Wenn kein genauere Nachweis erfolgt, darf die Aufteilung der Bemessungsquerkraft V_{Ed} in den auf das Stahlprofil ($V_{a,Ed}$) und auf den Stahlbetonquerschnitt ($V_{c,Ed}$) entfallenden Anteil nach den Gleichungen (59) und (60) ermittelt werden. Vereinfachend darf angenommen werden, dass V_{Ed} nur vom Baustahlquerschnitt übertragen wird.

$$V_{a,Ed} = V_{Ed} \frac{M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad (59)$$

$$V_{c,Ed} = V_{Ed} - V_{a,Ed} \quad (60)$$

Dabei ist

$M_{pl,a,Rd}$ die vollplastische Momententragfähigkeit des Baustahlquerschnittes und

$M_{pl,Rd}$ die vollplastische Momententragfähigkeit des Verbundquerschnittes.

(982) Berücksichtigung der Umschnürungswirkung bei betongefüllten Rohren

Bei betongefüllten kreisförmigen Hohlprofilen darf die aus der Umschnürungswirkung des Rohres resultierende Erhöhung der Betondruckfestigkeit berücksichtigt werden, wenn

- der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ nach Element (984) nicht größer als 0,5 und
- die auf den Außendurchmesser d bezogene Exzentrizität $e = M_{Ed}/N_{Ed}$ kleiner als 0,1 ist.

Die vollplastische Normalkrafttragfähigkeit darf dann mit Gleichung (61) ermittelt werden, wobei t die Wanddicke des Rohres ist.

$$N_{pl,Rd} = N_{a,Rd} + N_{c,Rd} + N_{s,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s f_{sd} \quad (61)$$

Für Druckglieder mit $e = 0$ ergeben sich die Werte $\eta_a = \eta_{ao}$ und $\eta_c = \eta_{co}$ in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ nach Element (984) zu:

$$\eta_{ao} = 0,25 (3 + 2 \bar{\lambda}_K) \text{ (jedoch } \leq 1,0) \quad (62)$$

$$\eta_{co} = 4,9 - 18,5 \bar{\lambda}_K + 17 \bar{\lambda}_K^2 \text{ (jedoch } \geq 0) \quad (63)$$

Bei Druckgliedern mit kombinierter Beanspruchung durch Biegemomente und Normalkräfte mit $0 < e/d \leq 0,1$ ergeben sich die Werte η_a und η_c nach den Gleichungen (64) und (65), wobei η_{ao} und η_{co} nach den Gleichungen (62) und (63) zu bestimmen sind.

$$\eta_a = \eta_{ao} + (1 - \eta_{ao}) (10 e/d) \quad (64)$$

$$\eta_c = \eta_{co} (1 - 10 e/d) \quad (65)$$

Für $e/d > 0,1$ gilt $\eta_a = 1,0$ und $\eta_c = 0$.

9.7.3.3 Tragfähigkeitsnachweis bei planmäßig zentrischem Druck

(983) Allgemeines

Der Nachweis darf nach Element (984) oder nach 9.7.3.4 geführt werden.

(984) Nachweis auf der Grundlage der europäischen Knickspannungslinien

Der Tragsicherheitsnachweis ist für die maßgebende Ausweichrichtung mit Bedingung (66) zu führen.

$$\frac{N_{Ed}}{\kappa N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (66)$$

Der Abminderungsfaktor κ ($= \kappa_y$ bzw. κ_z) ist in Abhängigkeit von dem bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ nach Gleichung (67) und dem Bewehrungsgrad $\rho_s = A_s/A_c$ für den jeweiligen Querschnitt mit der nach Tabelle 11 zugeordneten Knickspannungslinie nach DIN 18800-2:1990-11, Element (304), Gleichungen (4a) bis (4c) zu ermitteln. Der bezogene Schlankheitsgrad ergibt sich für die jeweils betrachtete Versagensachse zu:

$$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{Ki,k}}} \quad (67)$$

Dabei ist

$N_{pl,Rk}$ der charakteristische Wert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit, der sich nach Gleichung (58) ergibt, wenn anstelle der Bemessungswerte der Festigkeiten die charakteristischen Werte verwendet werden,

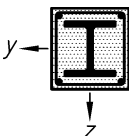
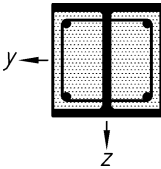
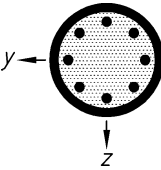
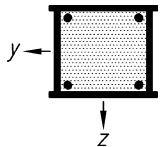
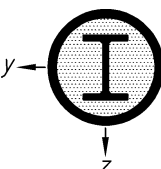
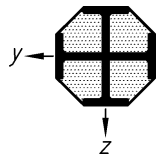
$N_{Ki,k}$ die Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für die jeweils betrachtete Versagens-ebene, die mit der wirksamen Biegesteifigkeit $(EI)_{eff,\lambda}$ nach Gleichung (68) zu bestimmen ist.

Die wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{eff,\lambda}$ des Querschnitts zur Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades ergibt sich zu:

$$(EI)_{eff,\lambda} = E_a I_a + E_s I_s + 0,6 E_{c,eff} I_c \quad (68)$$

In Gleichung (68) sind I_a , I_c und I_s die für die jeweils betrachtete Versagensebene maßgebenden Flächenmomente zweiten Grades für den Baustahl-, Betonstahl- und den als ungerissen angenommenen Betonquerschnitt. Der wirksame Elastizitätsmodul des Betons $E_{c,eff}$ ist nach Element (831), Gleichung (8) zu berechnen.

**Tabelle 11 — Knickspannungslinien für Verbundstützen und geometrische Ersatzimperfektionen
(Stich der Vorkrümmung w_0, v_0 bezogen auf die Stützenlänge L)**

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Querschnitt	Anwendungs- grenzen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knick- spannungs- linie	Maximaler Stich der Vorkrümmung
1	vollständig einbetonierte gewalzte oder geschweißte I-Querschnitte 		y-y	b	$L/200$
2			z-z	c	$L/150$
3	teilweise einbetonierte gewalzte oder geschweißte I-Querschnitte 		y-y	b	$L/200$
4			z-z	c	$L/150$
5	kreisförmige und rechteckige Hohlprofile 	$\rho_s \leq 3 \%$	y-y und z-z	a	$L/300$
6		$3 \% < \rho_s \leq 6 \%$	y-y und z-z	b	$L/200$
7	geschweißte Kastenquerschnitte 		y-y und z-z	b	$L/200$
8	ausbetonierte Rohre mit zusätz- lichen gewalzten oder geschweißten I-Profilen als Einstellprofil 		y-y	b	$L/200$
9			z-z	b	$L/200$
10	teilweise einbetonierte Profile aus gewalzten oder geschweißten gekreuzten I-Profilen 		y-y und z-z	b	$L/200$

9.7.3.4 Tragfähigkeitsnachweis bei Druck und Biegung

(985) Nachweisformat bei Druck und einachsiger Biegung

Der Tragfähigkeitsnachweis ist unter Verwendung der Interaktionskurve nach Element (980) für die maßgebende Ausweichrichtung mit der nachfolgenden Bedingung zu führen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d M_{pl,Rd}} \leq \alpha_M \quad (69)$$

Dabei ist

- M_{Ed} das betragsmäßig größte Moment, das sich entweder aus den Randmomenten oder aus dem innerhalb der Stützenlänge auftretenden Maximalmoment ergibt. Die Momente sind dabei unter Berücksichtigung von Imperfektionen nach Element (805) und, falls erforderlich, unter Berücksichtigung der Theorie II. Ordnung mit der wirksamen Biegesteifigkeit nach Element (831) zu ermitteln,
- $M_{pl,N,Rd}$ die nach Bild 22 ermittelte vollplastische Momententragfähigkeit des Querschnitts bei gleichzeitiger Wirkung der Normalkraft N_{Ed} mit $M_{pl,N,Rd} = \mu_d M_{pl,Rd}$,
- $M_{pl,Rd}$ die vollplastische Momententragfähigkeit des Querschnitts,
- α_M ein Beiwert, der für die Baustähle S235, S275 und S355 mit $\alpha_M = 0,9$ und für die Baustähle S420 und S460 mit $\alpha_M = 0,8$ anzunehmen ist.

Der Beiwert $\mu_d = \mu_{dy}$ oder μ_{dz} nach den Bildern 22 und 23 bezieht sich auf die zur betrachteten Biegeachse zugehörige vollplastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$. Dabei sind Werte $\mu_d > 1,0$ nur zulässig, wenn das Biegemoment M_{Ed} und die Normalkraft N_{Ed} nicht unabhängig voneinander wirken können (z. B., wenn das Biegemoment aus einer Exzentrizität der Normalkraft resultiert). Andernfalls ist ein zusätzlicher Nachweis unter Beachtung von Element (972) erforderlich.

(986) Tragfähigkeitsnachweis bei Druck und zweiachsiger Biegung

Für Verbundstützen und Druckglieder in Verbundbauweise mit Druck und zweiachsiger Biegung dürfen die Beiwerte μ_{dy} und μ_{dz} nach Element (985) und Bild 23 für jede Biegeachse getrennt ermittelt werden. Der Einfluss von Imperfektionen ist bei der stärker versagensgefährdeten Achse zu berücksichtigen. Wenn die stärker versagensgefährdete Achse nicht eindeutig bestimmbar ist, ist der Nachweis für beide Achsen mit den jeweils zugehörigen Imperfektionen getrennt zu führen. Der Tragfähigkeitsnachweis ist für die maximalen Biegemomente innerhalb der Stützenlänge und für die Randmomente mit den nachfolgenden Bedingungen (70) und (71) zu führen.

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} \leq \alpha_{M,y} \quad \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} \leq \alpha_{M,z} \quad (70)$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} \leq 1,0 \quad (71)$$

Dabei ist

- $M_{pl,y,Rd}$ und $M_{pl,z,Rd}$ die vollplastischen Momententragfähigkeiten für die jeweilige Biegeachse,
- $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ die nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz von Imperfektionen ermittelten Bemessungswerte der einwirkenden Biegemomente.

Die Beiwerte μ_{dy} , μ_{dz} und $\alpha_M = \alpha_{M,y}$ sowie $\alpha_M = \alpha_{M,z}$ sind in Element (985) erläutert.

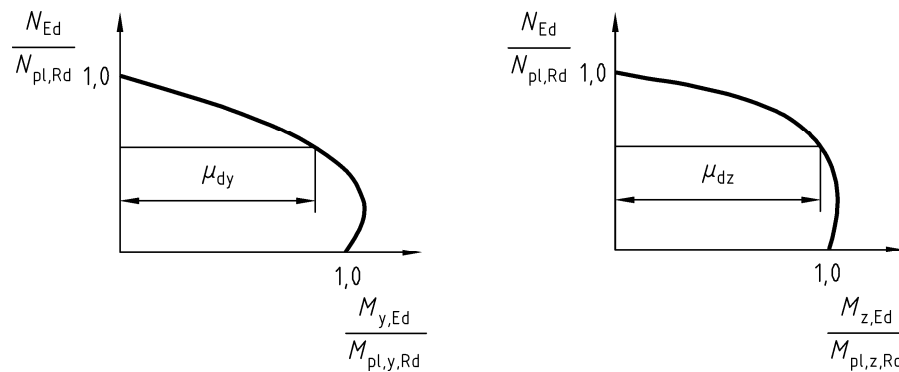


Bild 23 — Nachweis bei Druck und Biegung

9.7.4 Verbundsicherung und Krafteinleitung

9.7.4.1 Allgemeines

(987) Grundsätze

Die Schubtragfähigkeit der Verbundfuge zwischen Profilstahl und Beton ist durch Einhalten von Verbundspannungen, Aktivierung von Reibungskräften an den Berührungsflächen zwischen Stahl und Beton oder durch mechanische Verbundmittel sicherzustellen, ohne dass ein nennenswerter Schlupf auftritt. Krafteinleitungsbereiche sind Stützenendbereiche und Bereiche innerhalb der Stützenlänge mit Einleitung von Normalkräften und/oder Biegemomenten aus angrenzenden Bauteilen. Bei planmäßig zentrisch beanspruchten Stützen ist außer dem Nachweis für die Krafteinleitungsbereiche kein Nachweis der Verbundsicherung erforderlich. Für Stützen mit Querkraften aus Querlasten oder aus Randmomenten ist die Verbundsicherung für die Krafteinleitungsbereiche und für den Querkraftschub in maßgebenden kritischen Schnitten nachzuweisen.

9.7.4.2 Nachweis der Krafteinleitung

(988) Grundsätze

In den Krafteinleitungsbereichen und an Stellen mit Querschnittsänderungen sind in der Regel Verbundmittel anzuordnen, wenn in der Verbundfuge zwischen Stahlprofil und Beton der Bemessungswert der Verbundspannung τ_{Rd} nach Element (996) überschritten wird. Die Längsschubkräfte ergeben sich dabei aus der Differenz der Teilschnittgrößen des Stahl- oder Stahlbetonquerschnitts im Bereich der Krafteinleitungslänge.

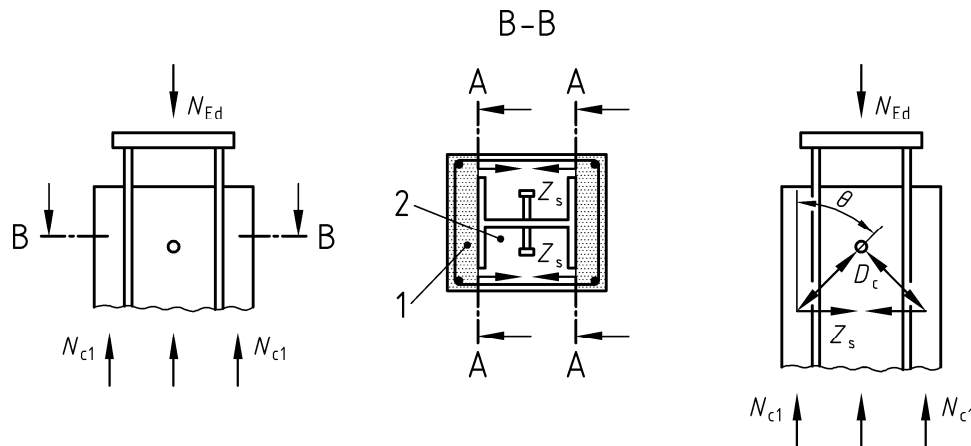
Wenn die Lasteinleitung nur über den Betonquerschnitt erfolgt, sind die Teilschnittgrößen in der Regel mit Hilfe einer elastischen Berechnung unter Berücksichtigung des Kriechens und Schwindens zu ermitteln. In allen anderen Fällen sind die Längsschubkräfte im Allgemeinen mit den vollplastisch ermittelten Teilschnittgrößen zu berechnen. Wenn kein genauere Nachweis geführt wird, darf die Lasteinleitungslänge nicht größer als $2d$ oder $L/3$ angenommen werden. Dabei ist d die kleinste Außenabmessung des Querschnitts und L die Stützenlänge.

(989) Lasteinleitung mit Endkopfplatten

Bei einer Lasteinleitung über Endkopfplatten ist im Krafteinleitungsbereich keine Verbundsicherung mit Verbundmitteln erforderlich, sofern nachgewiesen werden kann, dass die Fuge zwischen Betonquerschnitt und Kopfplatte unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden ständig überdrückt ist. Andernfalls sind die Lasteinleitungsbereiche nach Element (990) nachzuweisen. Bei betongefüllten kreisförmigen Hohlprofilen darf der Einfluss aus der Umschnürungswirkung des Rohres berücksichtigt werden, wenn die Bedingungen nach Element (982) eingehalten sind. In diesem Fall dürfen beim Nachweis der Lasteinleitung die Beiwerte η_a und η_c für $\bar{\lambda}_K = 0$ berücksichtigt werden.

(990) Lasteinleitung nur über das Stahlprofil oder nur über den Betonquerschnitt

Werden die Lasten nur über den Stahlquerschnitt oder nur über den Betonquerschnitt eingeleitet, so ist in den Kräfteinleitungsbereichen eine Verdübelung erforderlich. Bei Verwendung von Kopfbolzendübeln in den Kammern von I-Profilen darf die Tragfähigkeit nach Element (991) berechnet werden. Für die erforderliche Bügelbewehrung in den Kräfteinleitungsbereichen gilt DIN 1045-1:2001-07, 13.5.3. Bei teilweise einbetonierten Querschnitten ist die Bügelbewehrung mit dem Steg des Stahlprofils kraftschlüssig zu verbinden oder mit Hilfe von Steckhaken oder Dübeln zu verankern (siehe Bild 7).

**Legende**

- 1 indirekt angeschlossene Querschnittsfläche
- 2 direkt angeschlossene Querschnittsfläche

Bild 24 — Direkt und indirekt angeschlossene Betonquerschnittsflächen

Wenn bei vollständig einbetonierten Stahlprofilen die Lasteinleitung nur über das Stahlprofil oder nur über den Betonquerschnitt erfolgt, ist die erforderliche Bügelbewehrung zum Anschluss der Teilschnittgrößen derjenigen Beton- und Betonstahlquerschnittsteile, die indirekt durch Verbundmittel angeschlossen sind, mit dem in Bild 24 dargestellten Fachwerkmodell für die Kraft Z_s im Schnitt A-A zu ermitteln. Bei dem Querschnitt nach Bild 24 ist z. B. die angegebene anteilige Kraft N_{c1} als nicht direkt angeschlossen anzunehmen. Bei der Bemessung und Anordnung der Bügel ist im Allgemeinen für die Druckstreben des Fachwerks D_c eine Neigung von $\theta = 45^\circ$ anzunehmen.

(991) Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln in den Kammern von Walzprofilen

Wenn bei teilweise oder vollständig einbetonierten und vergleichbaren I-Querschnitten Kopfbolzendübel an den Stegen angeordnet werden, dürfen die an den Innenseiten der Flansche entstehenden Reibungskräfte berücksichtigt werden, die aus der Behinderung der Spaltzugkräfte im Beton resultieren. Die Reibungskräfte dürfen zusätzlich zu den Abscherkräften der Dübel berücksichtigt werden.

Die zusätzliche Tragfähigkeit darf nach Bild 25 mit $\mu P_{Rd}/2$ für jeden Flansch und jede horizontale Dübelreihe in Rechnung gestellt werden. Hierbei ist μ der von der Oberflächenbeschaffenheit abhängige Reibungsbeiwert, der bei walzrauen Stahlprofilen ohne Beschichtung mit 0,5 angenommen werden darf. P_{Rd} ist die Dübeltragfähigkeit eines Dübels nach Element (935). Ohne Nachweis durch Versuche dürfen bei Berücksichtigung der Reibungskräfte die in Bild 25 angegebenen lichten Abstände zwischen den Flanschen nicht überschritten werden.

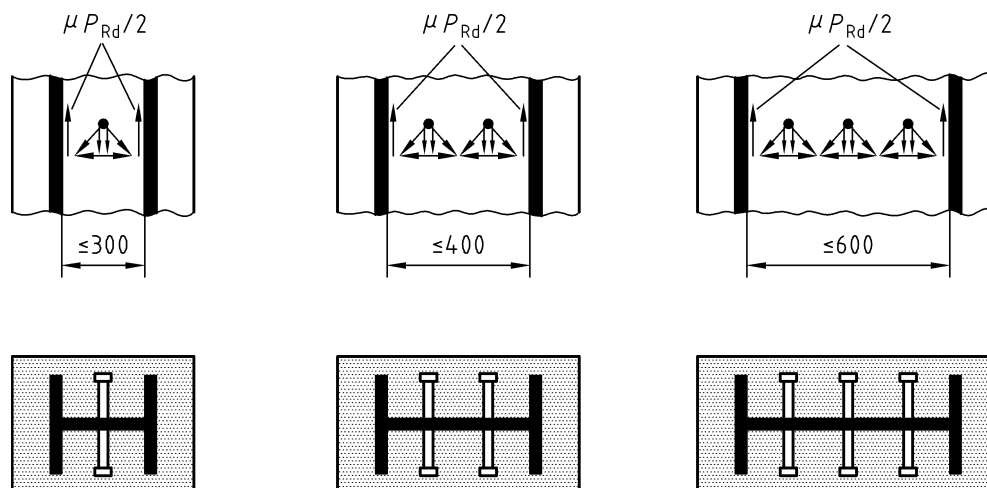


Bild 25 — Zusätzliche Aktivierung von Reibungskräften an den Flanschinnenseiten bei Kopfbolzendübeln

(992) Lastverteilung über Kopfplatten

Wenn die Lasteinleitungsfläche kleiner als die Stützenfläche ist, dürfen die Lasten über die Kopfplattendicke t_e im Verhältnis von 1:2,5 verteilt werden. Die Betonspannung im Bereich der wirksamen Lasteinleitungsfläche ist dann bei betongefüllten Hohlprofilen nach Element (993) und bei allen anderen Querschnitten nach DIN 1045-1:2001-07, 10.7 zu begrenzen.

(993) Besonderheiten bei ausbetonierten Hohlprofilen

Wenn bei betongefüllten kreisförmigen oder quadratischen Hohlprofilen der Beton nur über eine Teilfläche beansprucht wird, wie z. B. bei durchgesteckten Knotenblechen oder bei Lasteinleitung über Steifen nach Bild 26, darf die aus der Teilschnittgröße des Betonquerschnitts resultierende örtliche Betonpressung unter dem Knotenblech bzw. unter der Steife die Grenzspannung $\sigma_{c,Rd}$ nach Gleichung (72) nicht überschreiten. Zusätzlich ist nachzuweisen, dass die über Teilflächenpressung eingeleitete Kraft kleiner als die Querschnittstragfähigkeit $N_{c,Rd}$ des Betonquerschnitts nach Element (982) ist.

$$\sigma_{c,Rd} = f_{cd} \left(1 + \eta_{cL} \frac{t}{a} \frac{f_{yk}}{f_{ck}} \right) \sqrt{\frac{A_c}{A_1}} \leq f_{yd} \quad (72)$$

Dabei ist

- t die Wanddicke des Hohlprofils,
- a der Durchmesser bei kreisförmigen Hohlprofilen oder die Seitenlänge bei quadratischen Hohlprofilen,
- A_c die Betonquerschnittsfläche des Stützenquerschnitts,
- A_1 die Belastungsfläche unter dem Knotenblech bzw. unter den Steifen nach Bild 26,
- η_{cL} Beiwert zur Erfassung der Umschnürungswirkung mit $\eta_{cL} = 4,9$ für Rohre und $\eta_{cL} = 3,5$ für quadratische Hohlprofile.

Das Flächenverhältnis A_c/A_1 darf rechnerisch maximal mit 20 berücksichtigt werden. Für den Nachweis der Schweißnähte zwischen Rohr und Knotenblech bei Einleitung der Lasten nach Bild 26 b) gilt DIN 18800 1:1990-11, 8.4.

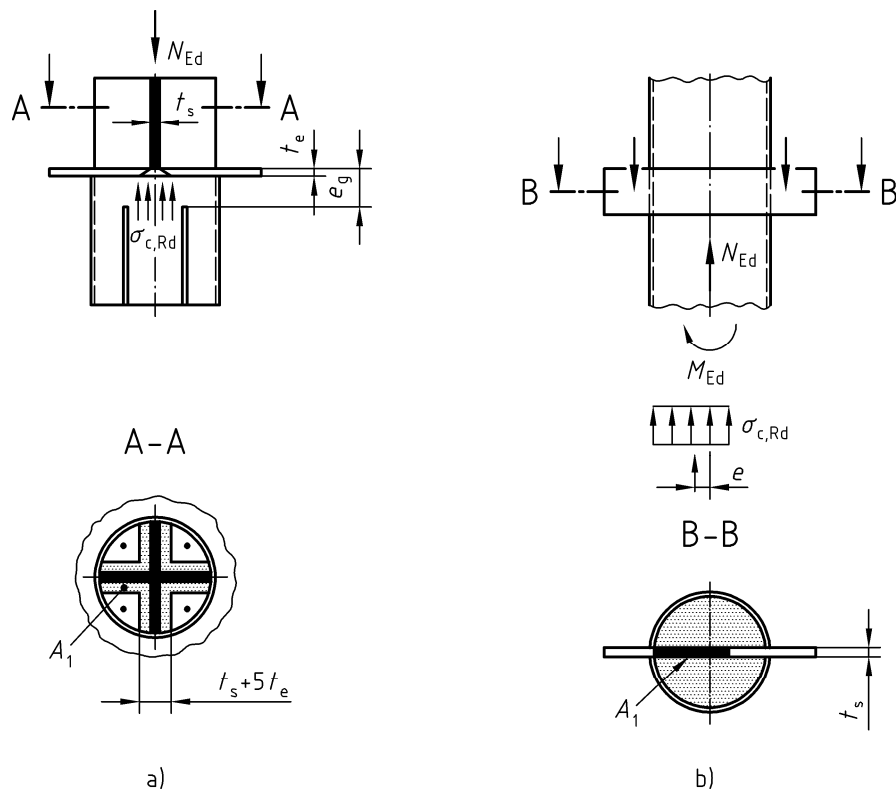


Bild 26 — Teilflächenpressung bei ausbetonierten Hohlprofilen

(994) Anrechenbarkeit der Längsbewehrung bei Hohlprofilen

Bei ausbetonierten kreisförmigen Hohlprofilen darf bei Druckgliedern mit vorwiegend ruhender Beanspruchung die Längsbewehrung beim Nachweis der Stütze auch dann angerechnet werden, wenn sie nicht unmittelbar mit Hilfe von Schweißnähten oder über Kontakt an die Endkopfplatten angeschlossen ist. In diesem Fall darf der lichte Abstand e_g zwischen dem Ende der Bewehrung und der Kopfplatte (siehe Bild 26 a)) 30 mm nicht überschreiten und 10 mm nicht unterschreiten. Die Bewehrungsstäbe müssen rechtwinklig gesägt sein.

9.7.4.3 Verbundsicherung außerhalb der Krafteinleitungsbereiche**(995) Grundsätze**

Außerhalb der Krafteinleitungsbereiche ist im Allgemeinen ein Nachweis der Verbundsicherung erforderlich, wenn die Stützen durch Querlasten und/oder Randmomente beansprucht werden. Wenn die aus dem Bemessungswert der Längsschubkraft resultierenden Verbundspannungen den Wert der Verbundtragfähigkeit $\bar{\tau}_{Rd}$ nach Element (996) überschreiten, ist die Anordnung von Verbundmitteln erforderlich. Erforderliche Verbundmittel sind dem Schubkraftverlauf anzupassen.

Wenn kein genauerer Nachweis geführt wird, dürfen die Verbundspannungen zwischen Stahlprofil und Beton näherungsweise elastisch unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens und der Rissbildung des Betons berechnet werden.

Bei teilweise einbetonierten I-Querschnitten mit Querkraftbeanspruchung infolge planmäßiger Biegung um die schwache Achse des Stahlprofils (Biegung aus Querlasten und Endmomenten) ist stets eine Verdübelung erforderlich. Wenn die Querkraft nicht allein vom Stahlprofil aufgenommen werden kann, ist die für die anteilige Querkraft des Betonquerschnitts $V_{c,Ed}$ (siehe hierzu Element (981)) erforderliche Bügelbewehrung im Allgemeinen kraftschlüssig an den Steg des Stahlprofils anzuschweißen (Bild 7 b)) oder durch Bohrungen im Steg des Stahlprofils (Bild 7c)) zu stecken.

(996) Bemessungswerte der Verbundfestigkeit

Wenn die mit dem Beton in Kontakt stehenden Oberflächen des Stahlprofils keine Beschichtung aufweisen und frei von Schmierstoffen, loser Walzhaut und losem Rost sind, dürfen für die Verbundtragfähigkeit τ_{Rd} die in Tabelle 12 angegebenen Verbundspannungen verwendet werden.

Die in Tabelle 12 angegebene Verbundtragfähigkeit für vollständig einbetonierte Stahlprofile gilt für Querschnitte mit einer Betondeckung von 40 mm. Bei größerer Betondeckung und entsprechender Bewehrung dürfen für die Verbundtragfähigkeit größere Werte berücksichtigt werden. Wenn nicht mit Hilfe von Versuchen größere Tragfähigkeiten nachgewiesen werden, darf bei größeren Betondeckungen die erhöhte Verbundtragfähigkeit $\beta_c \tau_{Rd}$ mit β_c nach Gleichung (73) angesetzt werden.

$$\beta_c = 1 + 0,02 c_z \left(1 - \frac{c_{z,min}}{c_z} \right) \leq 2,5 \quad (73)$$

Dabei ist

c_z der Nennwert der Betondeckung in mm nach Bild 20 a),

$c_{z,min}$ die minimale zulässige Betondeckung ($c_{z,min} = 40$ mm).

Tabelle 12 — Bemessungswert der Verbundtragfähigkeit τ_{Rd}

Zeile	Querschnitt	τ_{Rd} in N/mm ²
1	vollständig einbetonierte Stahlprofile	0,30
2	ausbetonierte kreisförmige Hohlprofile	0,55
3	ausbetonierte rechteckige Hohlprofile	0,40
4	Flansche von teilweise einbetonierten Profilen	0,20
5	Stege von teilweise einbetonierten Profilen	0,00

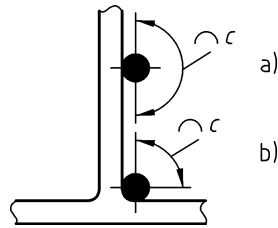
9.7.5 Bauliche Durchbildung**(997) Betondeckung von Stahlprofilen und Bewehrung**

Für vollständig einbetonierte Stahlprofile ist eine Mindestbetondeckung erforderlich, um die Übertragung der Schubkräfte zwischen Beton und Stahl sicherzustellen, das Stahlprofil gegen Korrosion zu schützen und um ein Abplatzen des Betons zu verhindern. Die Betondeckung der Flansche von vollständig einbetonierten Profilen darf 40 mm oder 1/6 der Flanscbreite b nicht unterschreiten. Bei Brandschutzanforderungen gilt zusätzlich DIN V ENV 1994-1-2. Für die Betondeckung der Bewehrung gilt DIN 1045-1:2001-07, 6.3.

(998) Längs- und Bügelbewehrung

Die Längs- und Bügelbewehrung ist nach DIN 1045-1:2001-07, 13.5 auszuführen. Wird die Längsbewehrung bei vollständig einbetonierten Stahlprofilen beim Tragfähigkeitsnachweis angerechnet, so ist eine Mindestbewehrung von 0,3 % der Betonfläche erforderlich. Wenn bei betongefüllten Hohlprofilen keine Brandschutzbemessung erforderlich ist, ist eine Ausführung ohne Längsbewehrung zulässig.

Der lichte Abstand zwischen der Längsbewehrung und dem Stahlprofil darf auch kleiner als die Mindestabstände nach DIN 1045-1 gewählt werden (im Grenzfall auch null). In diesem Fall sind für die Bestimmung der Verbundtragfähigkeit der Bewehrung die wirksamen Umfänge c nach Bild 27 anzunehmen.

Bild 27 — Wirksamer Umfang c eines Bewehrungsstabes

Wird bei vollständig oder teilweise einbetonierten Stahlprofilen auf eine Anrechnung der Längsbewehrung beim Tragfähigkeitsnachweis verzichtet und liegen Umweltbedingungen vor, die eine Einstufung in die Expositionsklasse X0 nach DIN 1045-1 erlauben, sind in der Regel eine konstruktive Längsbewehrung mit einem Mindeststabdurchmesser von 8 mm und einem maximalen Stababstand von 250 mm sowie eine Bügelbewehrung mit einem Mindeststabdurchmesser von 6 mm und einem maximalen Abstand von 200 mm erforderlich. Alternativ dürfen Betonstahlmatten mit einem Mindeststabdurchmesser von 4 mm verwendet werden.

10 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

10.1 Allgemeines

(1001) Erforderliche Nachweise, Allgemeines

Die erforderlichen Nachweise für Verbundträger sind in 5.4 und die Nachweise für Verbunddecken in 11.5 geregelt. Für Verbundstützen, die nach 9.7 bemessen werden, ist im Allgemeinen kein Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erforderlich. Ein Nachweis kann erforderlich werden, wenn Stützen (z. B. während des Transports oder der Montage) überwiegend auf Biegung beansprucht werden.

10.2 Schnittgrößen und Spannungen

(1002) Grundsätze

Bei der Berechnung der Schnittgrößen, Spannungen und Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit müssen die folgenden Einflüsse berücksichtigt werden:

- Schubverformungen bei breiten Gurten (mittragende Gurtbreite),
- Kriechen und Schwinden des Betons,
- Rissbildung im Betongurt und Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen,
- Montageablauf und Belastungsgeschichte,
- Nachgiebigkeit der Verbundfuge bei signifikantem Schlupf der Verbundmittel,
- nichtlineares Verhalten von Bau- und Betonstahl,
- Verwölbung und Profilverformung des Querschnitts.

(1003) Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen

Für die Schnittgrößenermittlung gilt 8.3.3.

(1004) Einfluss der Rissbildung bei der Spannungsermittlung

Die Zugfestigkeit des Betons darf bei der Ermittlung der Spannungen nicht berücksichtigt werden. Der Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen ist bei der Ermittlung der Spannungen im Beton- und Spannstahl zu berücksichtigen. Wenn kein genaueres Berechnungsverfahren verwendet wird, dürfen zur Berücksichtigung dieses Einflusses die Spannungen nach 10.4.3 ermittelt werden.

Bei der Ermittlung der Spannungen für den Baustahlquerschnitt darf der Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt werden.

(1005) Mittragende Gurtbreite zur Ermittlung der Spannungen

Bei der Ermittlung der Spannungen darf der Einfluss von Schubverformungen bei breiten Gurten nach 8.3.2 berücksichtigt werden.

(1006) Kriechen und Schwinden

Wenn keine genaueren Berechnungsverfahren verwendet werden, dürfen die Einflüsse aus dem Kriechen und Schwinden nach 8.3.3.2 ermittelt werden.

Bei Querschnitten mit Rissbildung im Betongurt dürfen die primären Beanspruchungen aus dem Schwinden vernachlässigt werden.

(1007) Nachgiebigkeit der Verbundmittel

Der Einfluss aus der Nachgiebigkeit der Verdübelung darf vernachlässigt werden, wenn entweder eine vollständige Verdübelung vorhanden ist oder bei teilweiser Verdübelung die Bedingungen nach Element (1027) eingehalten sind.

(1008) Berücksichtigung von plastischen Verformungen

Die Einflüsse aus plastischen Verformungen sind nur bei Trägern, die mit den für die Querschnittsklasse 1 zulässigen Momentenumlagerungen nach den Elementen (838) und (839) und bei Trägern, die nach 8.3.5 bemessen werden, erforderlich. Wenn keine genauere Berechnung nach der Fließzonentheorie durchgeführt wird, dürfen die Verformungen näherungsweise auf der Grundlage der Fließgelenktheorie ermittelt werden.

10.3 Spannungsbegrenzungen**(1009) Allgemeines**

Für das nutzungsgerechte und dauerhafte Verhalten sind übermäßige Schädigung des Betongefüges durch hohe Betondruckspannungen, nichtelastische Verformungen der Werkstoffe, die zu unkontrollierter Rissbildung im Beton führen können, sowie übermäßiger Schlupf in der Verbundfuge im Allgemeinen durch Einhaltung der in den Elementen (1010) bis (1013) angegebenen Spannungsgrenzen zu vermeiden.

Spannungsbegrenzungen sind nur erforderlich, wenn eine oder mehrere der nachfolgenden Randbedingungen vorliegen:

- es sich um Träger mit Vorspannmaßnahmen mittels Spanngliedern und/oder planmäßig eingepprägter Deformationen handelt,
- ein Nachweis gegen Ermüdung nach 9.6 erforderlich ist,
- im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Querschnitte der Klassen 1 und 2 eine Momentenumlagerung vom Feld zur Stütze vorgenommen wird (siehe Elemente 838),

- bei kammerbetonierten Trägern der Querschnittsklasse 1 oder 2 beim Tragsicherheitsnachweis der Kammerbeton vernachlässigt wird und die Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach 8.3.4 umgelagert werden oder nach 8.3.5 ermittelt werden.

(1010) Begrenzung von Betondruckspannungen

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.1.2.

(1011) Begrenzung der Spannungen im Spannstahl und im Betonstahl

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.1.3 und 11.1.4.

(1012) Begrenzung der Spannungen im Baustahlquerschnitt

Für die seltene Lastkombination dürfen die Spannungen den 1,0fachen charakteristischen Wert der Streckgrenze nicht überschreiten.

(1013) Begrenzung der Längsschubkräfte für Verbundmittel

Siehe hierzu Element (967) und Element (1027).

10.4 Begrenzung der Rissbreite und Nachweis der Dekompression

10.4.1 Allgemeines

(1014) Grundsätze

Für die Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite sowie für die maßgebenden Einwirkungskombinationen gelten die Regelungen nach DIN 1045-1:2001-07, 11.2.1. Die Begrenzung der Rissbreite umfasst die Nachweise nach 10.4.2 sowie 10.4.3 oder 10.4.4.

10.4.2 Mindestbewehrung

(1015) Grundsätze

Wenn ein Nachweis erforderlich ist, ist in allen Trägerbereichen mit wahrscheinlicher Rissbildung eine Mindestbewehrung nach Element (1016) anzuordnen. Eine Rissbildung ist in den Bereichen wahrscheinlich, in denen unter der seltenen Kombination der Einwirkungen nach DIN 1055-100:2001-03, 10.4 die Betonrandspannung eine Zugspannung ist. Bei der Spannungsberechnung sind die Einflüsse aus dem Kriechen und den primären und sekundären Auswirkungen aus dem Schwinden zu berücksichtigen.

Bei Trägern mit Spanngliedvorspannung und/oder planmäßig eingeprägten Deformationen ist eine Mindestbewehrung in den Trägerbereichen erforderlich, in denen Betondruckspannungen am Querschnittsrand auftreten, die dem Betrag nach kleiner als 1 N/mm² sind.

(1016) Mindestbewehrung bei Querschnitten ohne Spannglieder

Wenn keine genauere Ermittlung der Mindestbewehrung erfolgt, ist die erforderliche Mindestbewehrung nach DIN 1045-1:2001-07, 11.2.2, Gleichung (127) zu ermitteln. Für die Spannung σ_s sind die Grenzdurchmesser nach Tabelle 20 von DIN 1045-1:2001-07 zu verwenden. Abweichend von DIN 1045-1:2001-07, 11.2.2(5) ist der Beiwert k für die Gurte von Verbundquerschnitten mit 0,7 zu berücksichtigen. Der Beiwert k_c nach DIN 1045-1:2001-07, Gleichung (128) ist für die Gurte von Verbundträgern nach Gleichung (74) zu ermitteln.

$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{h_c}{2 z_{io}}} + 0,3 \leq 1,0 \quad (74)$$

Dabei ist

- h_c die Dicke des Betongurtes ohne Berücksichtigung von Vouten und Rippen,
- z_{io} der Abstand zwischen den am ungerissenen Querschnitt ermittelten Schwerachsen des Betongurtes und des Verbundquerschnitts, ermittelt mit der Reduktionszahl n_o nach Element (822).

Der Grenzdurchmesser der Bewehrungsstäbe nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 20 darf abweichend von DIN 1045-1:2001-07, Gleichung (131) nach Gleichung (75) modifiziert werden.

$$d_s = d_s^* \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad (75)$$

Dabei ist

- d_s^* der Grenzdurchmesser nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 20,
- $f_{ct,0}$ die Zugfestigkeit des Betons, auf die die Werte nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 20 bezogen sind ($f_{ct,0} = 3,0 \text{ N/mm}^2$),
- $f_{ct,eff}$ die wirksame Betonzugfestigkeit nach DIN 1045-1:2001-07, 11.2.2 (5).

Die erforderliche Mindestbewehrung ist entsprechend der resultierenden Zugkraft des Betongurtes im ungerissenen Zustand auf die obere und untere Bewehrungslage zu verteilen. Bei Trägern mit Gurten aus Profilblech-Verbunddecken darf auf eine untere Bewehrungslage verzichtet werden. Bei Betongurten mit veränderlicher Dicke in Querrichtung ist bei der Ermittlung der Mindestbewehrung die lokale Betongurtdicke zugrunde zu legen.

(1017) Mindestbewehrung bei Trägern mit Spanngliedvorspannung

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.2.2. Wenn kein genauerer Nachweis erfolgt, ist der in DIN 1045-1:2001-07, 11.2.2, Gleichung (127) angegebene Beiwert k_c bei Verbundträgern mit Spanngliedvorspannung mit $k_c = 0,9$ anzusetzen. Für den Beiwert k gilt Element (1016).

(1018) Mindestbewehrungsquerschnitt für Kammerbeton

Wenn kein genauerer Nachweis geführt wird, darf die Mindestbewehrung für den Kammerbeton von I-Querschnitten nach DIN 1045-1:2001-07, Gleichung (127) mit $k = 0,7$ und $k_c = 0,6$ bestimmt werden.

10.4.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

(1019) Grundsätze

In Trägerbereichen, in denen der für den Grenzzustand der Tragfähigkeit erforderliche Bewehrungsquerschnitt den Mindestbewehrungsquerschnitt nach 7.4.2 überschreitet, ist die Betonstahlspannung entweder in Abhängigkeit vom Stabdurchmesser nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 20 oder in Abhängigkeit vom Stababstand nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 21 zu beschränken.

(1020) Ermittlung der Spannungen bei Querschnitten ohne Spannglieder

Die Betonstahlspannungen sind unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen zu ermitteln. Wenn kein genauerer Nachweis erfolgt, darf die Betonstahlspannung mit Gleichung (76) ermittelt werden.

$$\sigma_s = \sigma_{s,2} + \Delta\sigma_s \quad (76)$$

mit

$$\Delta\sigma_s = \beta \frac{f_{ct,eff}}{\alpha_{st} \rho_s} \quad (77)$$

$$\alpha_{st} = \frac{A \ I}{A_a \ I_a} \quad (78)$$

Dabei ist

- $\sigma_{s,2}$ die Betonstahlspannung infolge der auf den Verbundquerschnitt einwirkenden Schnittgrößen unter Vernachlässigung von zugbeanspruchten Betonquerschnittsteilen,
- $f_{ct,eff}$ die wirksame Betonzugfestigkeit nach DIN 1045-1:2001-07, 11.2.2(5),
- ρ_s der Bewehrungsgrad des Betongurtes ($\rho_s = A_s/A_{ct}$),
- A_{ct} die Fläche der Betonzugzone des Betongurtes, die vereinfachend mit der mittragenden Gurtfläche des Betongurtes angenommen werden darf,
- A_s die gesamte Querschnittsfläche der in der Betonzugzone A_{ct} angeordneten Längsbewehrung,
- A, I die Fläche und das Flächenmoment zweiten Grades des Verbundquerschnittes bei Vernachlässigung von zugbeanspruchten Betonquerschnittsteilen und — falls vorhanden — ohne Berücksichtigung von Profilblechen,
- A_a, I_a die Fläche und das Flächenmoment zweiten Grades des Baustahlquerschnitts,
- β ein Beiwert, der für den Nachweis der Begrenzung der Rissbreite mit 0,4 angenommen werden darf.

(1021) Träger mit Kammerbeton

Der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung für den Kammerbeton ist nach Element (1020) zu führen. Der Einfluss der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen darf bei der Spannungsermittlung vernachlässigt werden.

(1022) Querschnitte mit Spanngliedvorspannung

Die Betonstahlspannung ist für im Verbund liegende Spannglieder nach DIN 1045:2001-07, 11.2.3(5), Gleichung (132) zu ermitteln. Die Betonstahlspannung $\sigma_{s,2}$ in Gleichung (132) der DIN 1045-1:2001-07 ist dabei nach Element (1020) zu berechnen, wobei in Gleichung (77) der geometrische Bewehrungsgrad ρ_{tot} nach DIN 1045-1:2001-07, Gleichung (134) zu berücksichtigen ist.

10.4.4 Nachweis mit direkter Berechnung der Rissbreite

(1023) Allgemeines

Die Begrenzung der Rissbreite darf auch durch eine direkte Berechnung nachgewiesen werden. Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.2.4.

Bei der Ermittlung der Dehnungsdifferenz von Beton und Betonstahl nach DIN 1045-1:2001-07, 11.2.4(2) ist bei der Ermittlung der Betonstahlspannung σ_s im Riss der Einfluss aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen zu berücksichtigen. Wenn keine genauere Berechnung erfolgt, darf σ_s nach Element (1020) ermittelt werden.

10.5 Begrenzung von Verformungen

(1024) Grundsätze

Für die Begrenzung von Verformungen gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.3.1(1) bis (6).

Wenn keine besonderen Anforderungen gestellt werden, gilt für die Begrenzung des Durchhangs DIN 1045:2001-07, 11.3.1(8). Zur Vermeidung von Schäden an angrenzenden Bauteilen (z. B. Trennwänden, Fassaden usw.) ist die Änderung der Verformung nach Einbau dieser Bauteile für die häufige Einwirkungskombination nach DIN 1045-1:2001-07, 11.3.1(10) zu begrenzen.

(1025) Trägerüberhöhungen

Verbundträger sind in der Regel für die ständigen Einwirkungen einschließlich der Verformungen aus dem Kriechen und Schwinden des Betons zu überhöhen. Eventuell zu berücksichtigende Überhöhungen für veränderliche Einwirkungen sind im Einzelfall festzulegen.

(1026) Besonderheiten bei Trägern mit Kammerbeton

Wenn bei Trägern mit Kammerbeton kein genauere Nachweis geführt wird, dürfen die Verformungen mit den Annahmen für die Biegesteifigkeit nach Element (830) ermittelt werden.

(1027) Nachgiebigkeit der Verbundfuge

Die Einflüsse aus der Nachgiebigkeit der Verdübelung dürfen vernachlässigt werden, wenn

- a) die Verdübelung nach 9.4 erfolgt und
- b) entweder nicht weniger als die Hälfte der Anzahl der Verbundmittel angeordnet wird, die für eine vollständige Verdübelung erforderlich ist oder die im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach der Elastizitätstheorie ermittelte Längsschubkraft je Dübel bei Kopfbolzendübeln den Wert P_{Rd} nach Element (935) nicht überschreitet, sowie
- c) bei Verwendung von senkrecht zur Trägerachse verlaufenden Profilblechdecken die Rippenhöhe nicht größer als 80 mm ist.

10.6 Schwingungsverhalten

(1028) Grundsätze

Bei schlanken Deckenkonstruktionen und bei schlanken Verbundträgern kann ein Nachweis erforderlich werden, bei dem die Beschleunigung und der Schwingungsbereich unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzung so begrenzt werden, dass ein Unbehagen für die Nutzer oder Beschädigungen der Ausbauten verhindert werden.

(1029) Steifigkeitsannahmen

Die Steifigkeitsannahmen müssen das tatsächliche Verhalten mit ausreichender Genauigkeit erfassen. Der Einfluss aus der Rissbildung in Betongurten und im Kammerbeton darf nach 8.3.3.3 berücksichtigt werden. Bei der Berechnung darf für den Beton der dynamische Elastizitätsmodul zugrunde gelegt werden.

11 Verbunddecken

11.1 Grundlagen und Definitionen

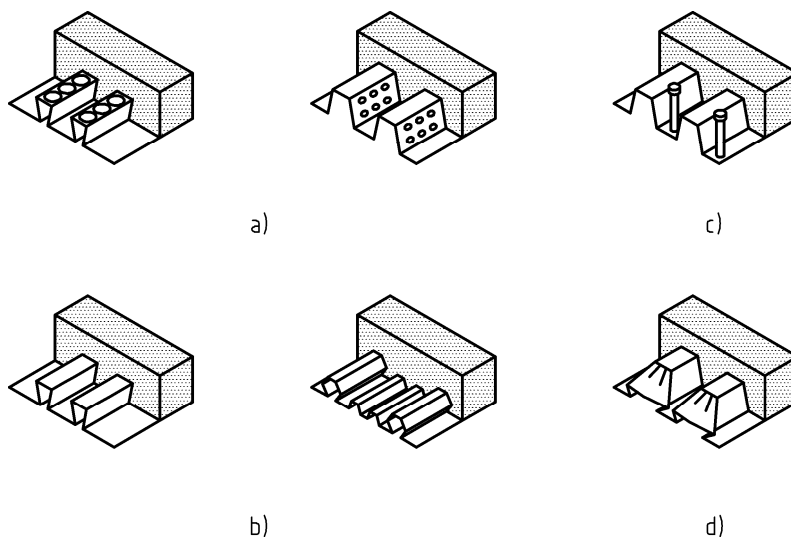
(1101) Anwendungsbereich

Die Regelungen des Abschnittes 11 gelten für einachsig gespannte Verbunddecken mit parallel zur Spannrichtung verlaufenden Rippen in vorwiegend ruhend beanspruchten Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus. Der Anwendungsbereich ist auf Profilbleche mit gedrungener Rippengeometrie mit $b_f/b_s \leq 0,6$ beschränkt (siehe Bild 29).

(1102) Tragverhalten und Bemessungssituationen

Im Bauzustand dient das Profilblech als Schalung und die Tragsicherheit muss für die Einwirkungen aus dem Frischbeton und Montagelasten unter Berücksichtigung von gegebenenfalls vorhandenen Hilfsunterstützungen nachgewiesen werden. Die für den Endzustand erforderlichen Nachweise der Tragsicherheit beziehen sich auf den Zustand nach Herstellung der Verbundwirkung und nach Entfernen von eventuellen Hilfsunterstützungen. Wenn der Nachweis der Tragsicherheit nach 11.4 geführt wird, dürfen die Einflüsse aus der Belastungsgeschichte im Endzustand vernachlässigt werden.

Verbunddecken dürfen zur seitlichen Stabilisierung von Stahlträgern sowie als aussteifende Scheiben für Horizontallasten verwendet werden. Wenn Profilbleche im Bauzustand neben ihrer Tragwirkung als Schalung zusätzlich als Aussteifungselement für Horizontallasten dienen, gelten die Regelungen nach DIN 18807-1 bis DIN 18807-3.



Legende

- a) mechanischer Verbund
- b) Reibungsverbund
- c) Endverankerung mit durchgeschweißten Dübeln
- d) Endverankerung mit Blechverformungsankern

Bild 28 — Verbundwirkung bei Verbunddecken

(1103) Verbundwirkung

Das Profilblech und gegebenenfalls die Endverankerung müssen so ausgebildet sein, dass eine ausreichende Verbundwirkung zur Übertragung der Längsschubkräfte zwischen Blech und Beton ermöglicht wird. Die Haftung zwischen Profilblech und Beton darf nicht in Rechnung gestellt werden. Die planmäßige Verbund-

wirkung zwischen Profilblech und Beton ist durch eine oder mehrere der nachfolgend genannten und in Bild 28 dargestellten Maßnahmen sicherzustellen:

- mechanischer Verbund infolge von planmäßig in das Blech eingepprägten Deformationen (Sicken und Noppen),
- Reibungsverbund bei Blechen mit hinterschnittener Profilblechgeometrie,
- Endverankerung mittels aufgeschweißter Kopfbolzendübel oder anderer örtlicher Verankerungen, jedoch nur in Kombination mit a) oder b),
- Endverankerung mit Blechverformungsankern am Blechende, jedoch nur in Kombination mit b).

(1104) Vollständige und teilweise Verdübelung

Eine Verbunddecke gilt in Übereinstimmung mit Element (903) als vollständig verdübelt, wenn die für die vollplastische Momententragfähigkeit erforderlichen Längsschubkräfte zwischen Profilblech und Beton übertragen werden können. Andernfalls liegt eine teilweise Verdübelung vor.

11.2 Konstruktionsgrundsätze

(1105) Mindestabmessungen

Die Gesamtdicke h darf im Endzustand 80 mm nicht unterschreiten und die Aufbetondicke h_c oberhalb der Rippen (ohne Noppen) darf im Endzustand und im Bauzustand (z. B. beim zweilagigen Betonieren) nicht geringer als 40 mm sein.

Wenn die Verbunddecke gleichzeitig Gurt eines Verbundträgers ist oder zur Aussteifung herangezogen wird, darf die Gesamtdicke h nicht geringer als 90 mm und h_c nicht geringer als 50 mm sein.

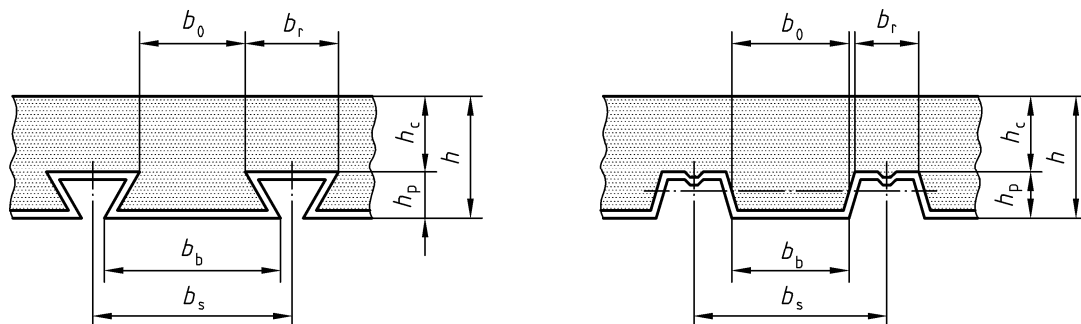


Bild 29 — Profilblech- und Deckenabmessungen

(1106) Mindestaufлагertiefen

Durch eine ausreichende Auflagertiefe ist sicherzustellen, dass ein Versagen des Bleches und der Unterkonstruktion verhindert wird. Die Auflagertiefen sind im Allgemeinen so zu wählen, dass Verbindungsmittel zur Befestigung der Bleche auf der Unterkonstruktion ohne Beschädigung der Unterkonstruktion angeordnet werden können und dass beim Verlegen der Bleche infolge unplanmäßiger Verschiebungen kein Versagen des Auflagerpunktes, hervorgerufen durch eine zu geringe Auflagertiefe, eintreten kann.

Die in Bild 30 angegebenen Auflagertiefen l_{bc} und l_{bs} dürfen (auch bei Hilfsunterstützungen im Bauzustand) die nachfolgend angegebenen Mindestwerte nicht unterschreiten:

- bei Auflagerung auf Stahl oder Beton: $l_{bc} = 75$ mm und $l_{bs} = 50$ mm;
- bei Auflagerung auf anderen Werkstoffen: $l_{bc} = 100$ mm und $l_{bs} = 70$ mm.

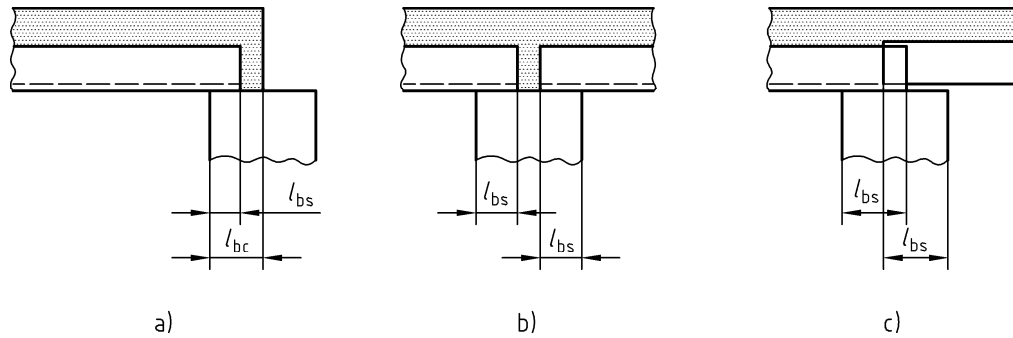


Bild 30 — Mindestauflagertiefen

(1107) Konstruktive Betonstahlbewehrung

Im Aufbeton ist in beiden Richtungen eine konstruktive Mindestbewehrung von mindestens $0,8 \text{ cm}^2/\text{m}$ anzuordnen. Diese Bewehrung darf auf die statisch erforderliche Bewehrung angerechnet werden.

Die Stababstände dürfen in beiden Richtungen den Höchstwert $2h$ und 350 mm nicht überschreiten. Der kleinere Wert ist maßgebend. Bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten ist Element (1116) zu beachten.

(1108) Zuschlagstoffe

Der Größtkorndurchmesser der Zuschlagstoffe darf $0,4h_c$, $b_o/3$ und $31,5 \text{ mm}$ nicht überschreiten. Dabei ist b_o bei offenen Profilblechgeometrien die mittlere Rippenbreite und bei hinterschnittener Profilblechgeometrie die kleinste Breite nach Bild 29.

11.3 Erforderliche Nachweise für das Profilblech im Bauzustand**(1109) Allgemeines**

Der Nachweis ausreichender Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit ist nach DIN 18807-1 bis DIN 18807-3 in Kombination mit der Anpassungsrichtlinie zu DIN 18800 zu führen. Bei Anordnung von Hilfsunterstützungen im Bauzustand sind die Regelungen nach Element (1106) zu beachten. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf die Durchbiegung des Profilbleches δ_s infolge des Frischbetongewichtes und des Eigengewichtes des Bleches den Wert $\delta_{s,\max} = L/180$ nicht überschreiten, wobei L die maßgebende Stützweite unter Berücksichtigung von Hilfsunterstützungen ist.

(1110) Einwirkungen

Im Bauzustand sind die folgenden Einwirkungen zu berücksichtigen:

- Eigengewicht des Frischbetons und des Profilbleches,
- Montage- und Ersatzlasten aus Arbeitsbetrieb beim Betonieren nach DIN 1055-8,
- Einwirkungen aus gelagerten Materialien, sofern vorhanden,
- Mehrgewicht des Betons infolge der Durchbiegung des Bleches.

Wenn die Mittendurchbiegung δ des Bleches unter seinem Eigengewicht und dem Gewicht des Frischbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kleiner als $1/10$ der Deckendicke ist, darf das aus der Durchbiegung resultierende Mehrgewicht des Betons bei der Bemessung des Profilbleches vernachlässigt werden. Andernfalls ist das Mehrgewicht des Betons zu berücksichtigen, wobei näherungsweise über die gesamte Spannweite eine um den Wert $0,7\delta$ vergrößerte Nenndicke des Betons zugrunde gelegt werden darf.

11.4 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit für den Endzustand

11.4.1 Allgemeines

(1111) Erforderliche Nachweise

Für Verbunddecken sind die folgenden Nachweise zu führen:

- Nachweis der Tragsicherheit für Biegung und Querkraft nach 11.4.3,
- Nachweis der Tragsicherheit gegen Längsschubversagen nach 11.4.4,
- Nachweis der Tragsicherheit gegen Durchstanzen bei konzentrierten Einzellasten nach Element (1122).

11.4.2 Ermittlung der Schnittgrößen

(1112) Allgemeines

Die Schnittgrößen dürfen nach den folgenden Verfahren ermittelt werden:

- a) Linear-elastische Berechnung mit oder ohne Momentenumlagerung nach DIN 1045-1:2001-07, 8.2 und 8.3,
- b) Berechnung nach der Fließzonen- bzw. Plastizitätstheorie nach DIN 1045-1:2001-07, 8.4,
- c) Berechnung nach der Fließgelenktheorie ohne direkte Kontrolle der Rotationskapazität nach Element (1113),
- d) nach dem in Element (1114) angegebenen Näherungsverfahren.

(1113) Berechnung nach der Fließgelenktheorie

Eine Berechnung nach der Fließgelenktheorie ohne direkte Kontrolle der Rotationskapazität ist nur zulässig, wenn Betonstahl mit hoher Duktilität nach DIN 1045-1:2001-07, 9.2.2 und Profilbleche mit hinterschnittener Profilblechgeometrie und mechanischem Verbund verwendet werden und die Stützweite 6 m nicht überschreitet.

(1114) Näherungsweise Berechnung von Durchlaufdecken als Kette von Einfeldträgern

Durchlaufend ausgeführte Decken dürfen als eine Kette von Einfeldträgern bemessen werden, wenn an den Innenstützen die Bedingungen nach Element (1135) eingehalten werden.

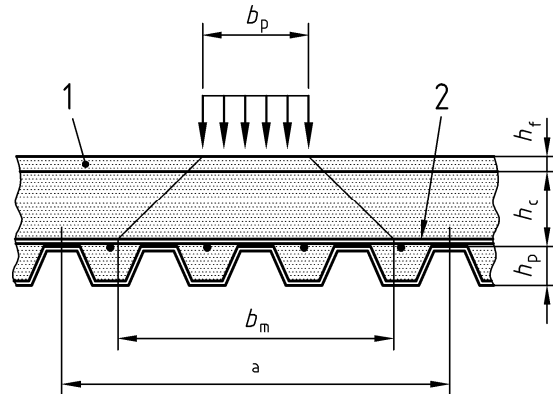
(1115) Lasteintragsbreite und mittragende Breite bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten

Einzellasten und Linienlasten dürfen auf eine Lasteintragsbreite b_m nach Bild 31 und Gleichung (79) verteilt werden. Die Lasteintragsbreite b_m ist dabei auf die Ebene unmittelbar oberhalb des Profilbleches zu beziehen und ergibt sich zu:

$$b_m = b_p + 2(h_c + h_f) \quad (79)$$

Dabei ist

- b_p die Aufstandsweite der konzentrierten Last rechtwinklig zur Spannrichtung des Bleches,
- h_c die Aufbetondicke oberhalb der Rippen ohne Berücksichtigung von Sicken und Noppen,
- h_f die Dicke einer gegebenenfalls vorhandenen lastverteilenden Deckschicht.



Legende

- 1 Fußbodenaufbau
- 2 Querbewehrung

Bild 31 — Verteilung von konzentriert angreifenden Lasten

Wenn keine genauere Berechnung unter Berücksichtigung der Anisotropie der Decke erfolgt, dürfen für die Schnittgrößenermittlung und die Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit für Decken mit $h_p/h \leq 0,6$ die mittragenden Breiten nach den Gleichungen (80) bis (82) berechnet werden:

a) für Biegung und Längsschub:

— bei Einfeldplatten und in den Endfeldern von Durchlaufplatten mit $b_m \leq 0,8L$:

$$b_{em} = b_m + 2 L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq b \quad (80)$$

— bei Innenfeldern durchlaufender Platten:

$$b_{em} = b_m + 1,33 L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq b \quad (81)$$

b) für Querkkräfte und $b_m \leq 0,4L$:

$$b_{ev} = b_m + L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq b \quad (82)$$

Dabei ist L_p der Abstand des Schwerpunktes der Last zum benachbarten Auflager, L die Spannweite und b die Plattenbreite.

(1116) Querbiegemomente bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten

Bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten sind die Schnittgrößen im Allgemeinen unter Berücksichtigung der Anisotropie der Decke zu ermitteln und für die Querbewehrung ist ein Nachweis nach DIN 1045-1:2001-07, 10.2 erforderlich. Wenn bei konzentrierten Einzel- und Linienlasten die charakteristischen Werte der Einwirkungen bei Einzellasten 7,5 kN und bei Flächenlasten 5,0 kN/m² nicht überschreiten, darf auf eine genauere Ermittlung der Querbiegemomente und den Nachweis der Querbewehrung verzichtet werden, wenn eine konstruktive Mindestbewehrung von 0,2 % der Betonquerschnittsfläche oberhalb der Rippen angeordnet wird. Diese Bewehrung ist über die Breite b_{em} zuzüglich der Verankerungslänge nach DIN 1045-1:2001-07, 12.6 anzuordnen. Andere vorhandene Bewehrung darf auf die Mindestbewehrung angerechnet werden.

11.4.3 Querschnittstragfähigkeit

(1117) Nachweisformat

Für kritische Querschnitte sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad (83)$$

Dabei ist

M_{Ed} der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes,

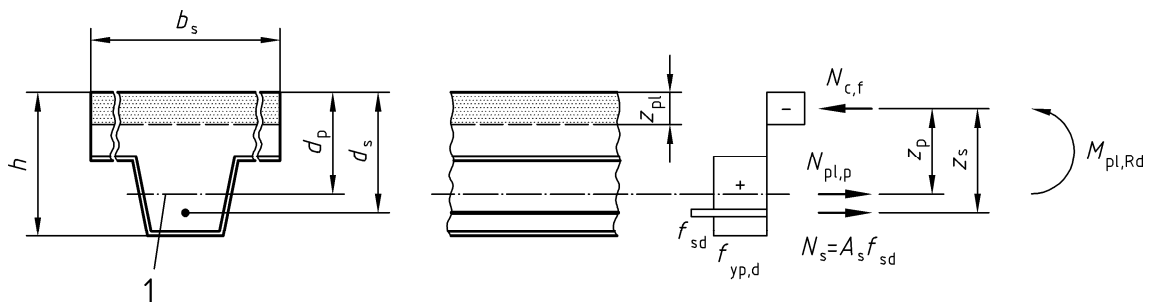
V_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft,

M_{Rd} die Momententragfähigkeit nach den Elementen (1118) bzw. (1119),

V_{Rd} die Querkrafttragfähigkeit nach Element (1121).

(1118) Vollplastische Momententragfähigkeit bei vollständiger Verdübelung und positiver Momentenbeanspruchung

Bei vollständiger Verdübelung darf die Momententragfähigkeit bei positiver Momentenbeanspruchung (Profilblech in der Zugzone) in Übereinstimmung mit Element (907) vollplastisch ermittelt werden, wobei jedoch für das Profilblech bei der Berechnung der vollplastischen Normalkraft des Profilbleches $N_p = A_{pe} f_{yp,d}$ der Bemessungswert der Streckgrenze $f_{yp,d}$ zugrunde zu legen ist. Bei der Ermittlung der wirksamen Querschnittsfläche des Profilbleches A_{pe} sind die Flächenanteile von Sicken, Noppen und vergleichbaren Profilierungen zu vernachlässigen, sofern dies nicht gesondert geregelt ist. Wenn die plastische Nulllinie innerhalb des Profilbleches liegt, muss bei der Ermittlung der vollplastischen Momententragfähigkeit das örtliche Beulen gedrückter Stahlquerschnittsteile berücksichtigt werden. Die Auswirkungen örtlichen Beulens in gedrückten Teilen des Bleches dürfen durch wirksame Breiten in Übereinstimmung mit Element (1120) berücksichtigt werden. Wenn eine untere Bewehrung angeordnet wird, darf diese nur angerechnet werden, wenn die plastische Nulllinie nicht im Profilblech liegt und die Bedingung $N_s/N_p \leq 0,7$ eingehalten wird (Bild 32).



Legende

1 elastische Schwerachse des Profilbleches

**Bild 32 — Vollplastische Momententragfähigkeit bei vollständiger Verdübelung
(plastische Nulllinie im Aufbeton)**

(1119) Momententragfähigkeit bei teilweiser Verdübelung und positiver Momentenbeanspruchung

Bei Decken mit duktilem Verbundverhalten ergibt sich die Momententragfähigkeit M_{Rd} in Übereinstimmung mit Element (909) in Abhängigkeit vom Verdübelungsgrad η aus Gleichung (84):

$$M_{Rd} = N_c z_p + M_{pl,r} \quad (84)$$

Dabei ist

$$N_c = \eta N_{cf} \text{ und } \eta = \frac{\tau_{u,Rd} b_s L_x}{A_{pe} f_{y,pd}} \leq 1,0 \quad (85)$$

η der Verdübelungsgrad,

N_{cf} die Betondruckkraft bei vollständiger Verdübelung nach Element (1017),

z_p der innere Hebelarm (Abstand zwischen N_c und der Zugkraft N_p im Profilblech),

$M_{pl,r}$ Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Profilbleches bei gleichzeitiger Wirkung der Normalkraft N_p ,

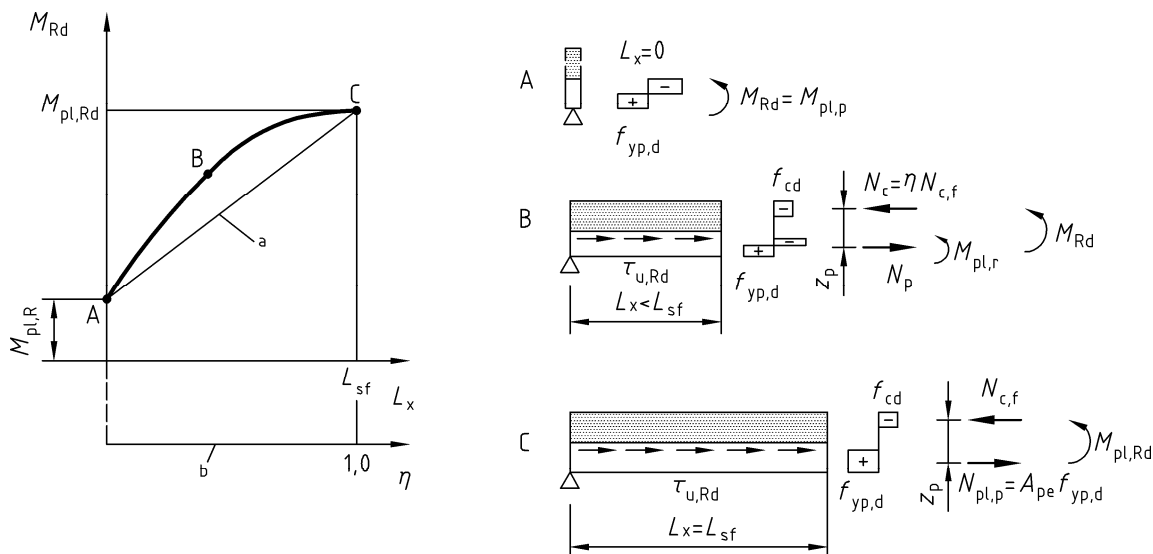
b_s die Querschnittsbreite nach Bild 34,

A_{pe} die wirksame Querschnittsfläche des Profilbleches,

$\tau_{u,Rd}$ der auf die Grundfläche des Bleches bezogene und aus Versuchen zu ermittelnde Bemessungswert der Verbundfestigkeit (siehe Elemente (104) und (705)),

L_x der Abstand zwischen dem jeweils betrachteten Querschnitt und dem benachbarten Auflager (siehe Bild 33). Die Länge $L_x = L_{sf}$ nach Bild 33 ergibt sich mit Gleichung (85) für den Verdübelungsgrad $\eta = 1,0$.

Vereinfachend kann M_{Rd} durch lineare Interpolation zwischen den Punkten A und C nach Bild 33 ermittelt werden.



Legende

a Näherung

b Verdübelungsgrad

Bild 33 — Momententragfähigkeit M_{Rd} bei teilweiser Verdübelung

Wenn eine zusätzliche untere Bewehrung angeordnet wird, darf M_{Rd} nach Gleichung (86) berechnet werden, wenn die Bedingung $N_s/N_p \leq 0,7$ erfüllt ist (siehe Bild 32).

$$M_{Rd} = N_p z_p + M_{pl,r} + N_s z_s \quad (86)$$

Dabei ist

$N_s = A_s f_{sd}$ die Normalkraft der Bewehrung, wobei A_s die auf die Breite b_s bezogene Querschnittsfläche der voll verankerten unteren Bewehrung ist,

N_p die Normalkraft im Profilblech.

Die zugehörigen inneren Hebelarme z_p und z_s sind in Bild 34 angegeben.

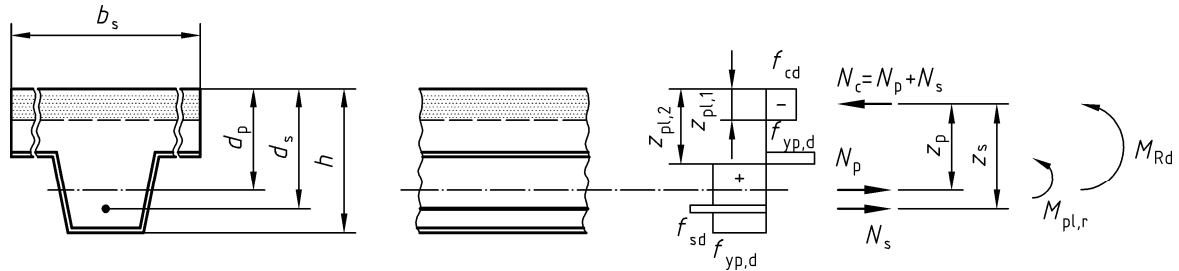


Bild 34 — Beitrag einer zusätzlichen Längsbewehrung

(1120) Momententragfähigkeit bei negativer Momentenbeanspruchung

Wenn das Profilblech bei der Ermittlung der Momententragfähigkeit nicht berücksichtigt wird, darf die Momententragfähigkeit nach Bild 35 vollplastisch berechnet werden. Eine Berücksichtigung des Profilbleches bei vollplastischer Ermittlung der Momententragfähigkeit ist nur zulässig, wenn das Blech durchlaufend ist und das örtliche Beulen berücksichtigt wird. Die Auswirkungen örtlichen Beulens in gedrückten Teilen des Bleches dürfen durch wirksame Breiten berücksichtigt werden, die die doppelten Werte für beidseitig gelagerte Plattenstreifen nach DIN 18800-1:1990-11, Tabelle 18 nicht überschreiten dürfen. Bei der Ermittlung der wirksamen Querschnittsfläche des Profilbleches darf die Breite der Sicken und Noppen im Blech nur berücksichtigt werden, wenn dies für das Profilblech ausdrücklich so geregelt ist.

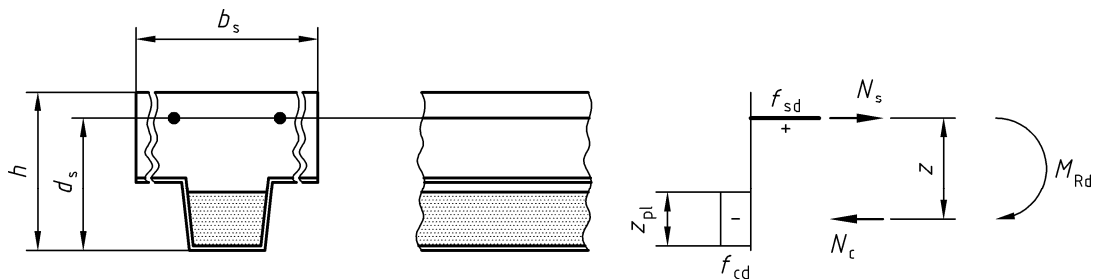


Bild 35 — Vollplastische Spannungsverteilung bei negativer Momentenbeanspruchung

(1121) Querkrafttragfähigkeit

Die auf den Achsabstand zweier Rippen (Breite b_s nach Bild 29) bezogene Querkrafttragfähigkeit ist nach DIN 1045-1:2001-07, 10.3 zu ermitteln. Für die kleinste Querschnittsbreite b_w innerhalb der Nutzhöhe ist b_o nach Bild 29 anzusetzen.

(1122) Durchstanzen

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 10.5. Wenn kein genauere Nachweis geführt wird, darf der Betonquerschnitt in den Rippen bei der Ermittlung der Tragfähigkeit und bei der Ermittlung des kritischen Rundschnittes nicht berücksichtigt werden.

11.4.4 Nachweis der Längsschubtragfähigkeit

11.4.4.1 Allgemeines

(1123) Nachweisverfahren und Anwendungsbereich

Für den Nachweis der Längsschubtragfähigkeit von Decken mit nicht-duktilen Verbundverhalten gilt 11.4.4.2. Bei Verbunddecken mit duktilen Verbundverhalten ist der Nachweis nach 11.4.4.3 zu führen.

11.4.4.2 Nachweis nach dem m+k-Verfahren

(1124) Nachweisformat

Es ist Bedingung (87) nachzuweisen.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,L}} \leq 1,0 \quad (87)$$

Dabei ist

V_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft,

$V_{Rd,L}$ die Querkrafttragfähigkeit bei Längsschubversagen nach Element (1125).

(1125) Querkrafttragfähigkeit bei Längsschubversagen

Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit bei Längsschubversagen ist nach Gleichung (88) zu ermitteln.

$$V_{Rd,L} = b \, d_p \left(\frac{m}{b} \frac{A_p}{L_s} + k \right) \frac{1}{\gamma_{VS}} \quad (88)$$

Dabei ist

b die Breite des Querschnitts in mm,

d_p die statische Nutzhöhe in mm nach Bild 32,

A_p der Nennwert der Querschnittsfläche des Profilbleches in mm²,

L_s die Schublänge nach Element (1126) in mm,

m, k durch Versuche ermittelte Werte in N/mm² (siehe Element (104)). Sollen eine zusätzliche Längsbewehrung und/oder Endverankerungen in Rechnung gestellt werden, so müssen diese in den Faktoren m und k berücksichtigt sein,

γ_{VS} der gesondert geregelte Teilsicherheitsbeiwert für das verwendete Blech (siehe Element (104)).

(1126) Maßgebende Schublänge L_s

Für den Nachweis nach Element (1125) ergibt sich bei Einfeldträgern die maßgebende Schublänge L_s aus dem maximalen Moment, dividiert durch den größeren Wert der Querkräfte an den benachbarten Auflagern. Wenn die Decken als durchlaufende Verbunddecken bemessen werden, darf der Nachweis der Längsschubtragfähigkeit an äquivalenten Einfeldträgern mit der Stützweite L_{eff} nach Bild 36 erfolgen.

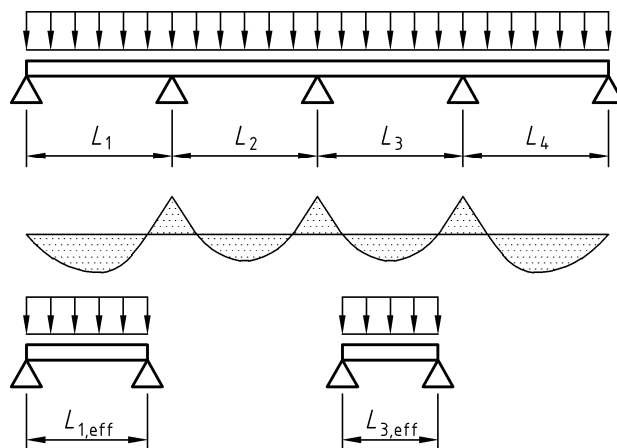


Bild 36 — Äquivalente einfeldrige Stützweiten zur Bestimmung der Längsschubtragfähigkeit von durchlaufenden Verbunddecken

11.4.4.3 Nachweis nach der Teilverbundtheorie

(1127) Nachweisverfahren

Es ist nachzuweisen, dass die Bedingung (89) an jeder Stelle x eingehalten ist (siehe Bild 37).

$$\frac{M_{Ed}(x)}{M_{Rd}(x)} \leq 1,0 \quad (89)$$

Dabei ist

M_{Ed} das einwirkende Bemessungsmoment,

M_{Rd} die vom Verdübelungsgrad an der Stelle x abhängige Momententragfähigkeit nach Element (1119).

Bei durchlaufenden Decken ist für den Nachweis die äquivalente Stützweite L_{eff} nach Element (1126) zugrunde zu legen.

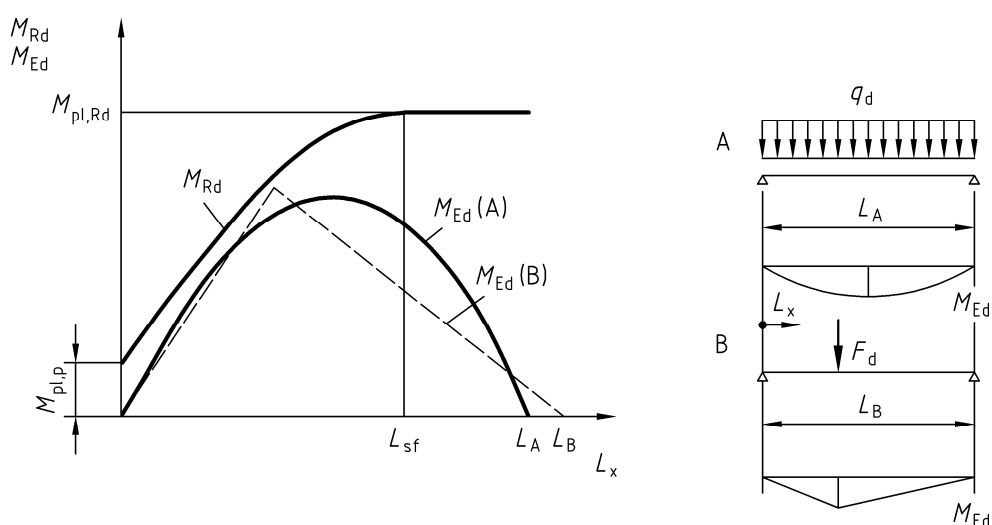


Bild 37 — Momentendeckung bei teilweiser Verdübelung

(1128) Nachweis bei zusätzlichen Endverankerungen

Bei dem Nachweis nach Element (1127) darf bei der Ermittlung der Momententragfähigkeit die aus der Endverankerung resultierende Vergrößerung der Momententragfähigkeit berücksichtigt werden.

Bei der Ermittlung der Momententragfähigkeit M_{Rd} nach Element (1119) vergrößert sich die Betondruckkraft N_c dabei um die Grenzscherkraft V_{ed} der Endverankerung. Dies kann durch die in Bild 38 dargestellte Verschiebung des Momentendiagramms in der L_x -Richtung um den Betrag $V_{ed}/(b \tau_{u,Rd})$ berücksichtigt werden.

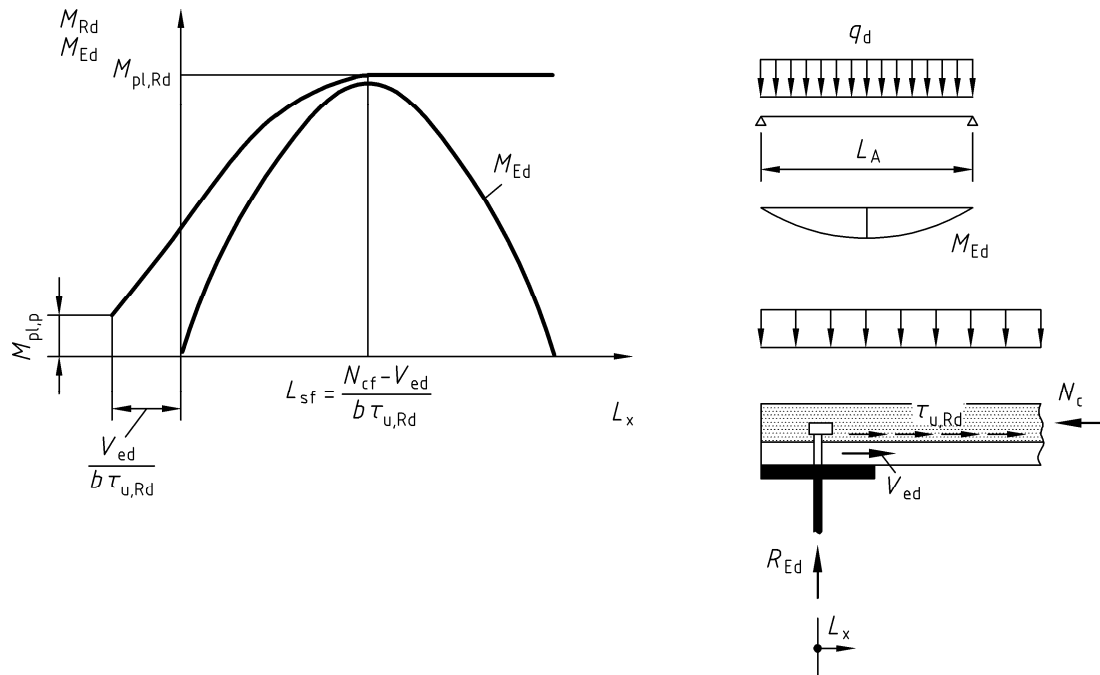


Bild 38 — Momentendeckung bei teilweiser Verdübelung und zusätzlicher Endverankerung

(1129) Endverankerung mit Kopfbolzendübeln

Der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit $P_{pb,Rd}$ eines durch das Profilblech geschweißten Kopfbolzendübeln ergibt sich aus dem jeweils kleineren Wert nach Element (935) und der Tragfähigkeit nach Gleichung (90).

$$P_{pb,Rd} = k_{\varphi} d_{do} t f_{yp,d} \quad (90)$$

mit

$$k_{\varphi} = 1 + a/d_{do} \leq 6,0 \quad (91)$$

Dabei ist

- d_{do} der Durchmesser des Schweißwulstes, für den der 1,1fache Wert des Schaftdurchmessers des Dübels angesetzt werden darf,
- a der Abstand zwischen der Dübelachse und dem Blechende, der nicht kleiner als $1,5 d_{do}$ sein darf,
- t die Dicke des Profilbleches.

Wenn das Zusammenwirken mit dem Flächenverbund und eventuell vorhandenen Endverankerungen nicht geregelt ist, sind die Kopfbolzendübel im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die größte Zugkraft im Profilblech zu bemessen.

(1130) Durchschweißen von Dübeln bei Profilblechen

Das Durchschweißen von Kopfbolzendübeln ist unter folgenden Bedingungen zulässig:

- a) Schaftdurchmesser $d_1 \leq 19$ mm,
- b) kein Korrosionsschutz des Stahlträgers im Bereich der Schweißung vorhanden,
- c) Dicke des verzinkten Stahlbleches kleiner als 1,25 mm und Dicke der Zinkschicht auf jeder Seite des Stahlbleches kleiner als 30 µm,
- d) bei nicht verzinkten Blechen minimaler Korrosionsgrad und Blechdicke kleiner als 1,5 mm,
- e) keine Feuchtigkeit während des Schweißens,
- f) festes Aufliegen der Profiltafeln auf der Schweißfläche,
- g) Durchschweißen nur durch eine Lage Profilblech,
- h) Verwendung von geeigneten Keramikringen.

(1131) Endverankerung mit Blechverformungsankern

Die Endverankerung darf mit Blechverformungsankern ausgeführt werden, wenn diese für das Profilblech gesondert geregelt sind (siehe Element (104)).

(1132) Endverankerung durch Reibungskräfte infolge von Auflagerkräften

Die aus der Auflagerkraft R_{Ed} nach Bild 38 resultierende Reibungskraft $V_{ed} = \mu R_{Ed}$ darf als Endverankerungskraft angerechnet werden, wenn dieser Einfluss nicht schon in $\tau_{u,Rd}$ enthalten ist. Bezüglich der Reibzahl μ sind die Elemente (104) und (705) zu beachten.

11.5 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit im Endzustand

11.5.1 Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen

(1133) Grundlagen

Schnittgrößen und Verformungen infolge von Einwirkungen auf die Verbunddecke sind mit elastischen Berechnungsverfahren in Übereinstimmung mit 8.3.3 zu ermitteln. Zur Berücksichtigung des Einflusses aus der Rissbildung im Beton darf die Biegesteifigkeit in Übereinstimmung mit Element (830) berechnet werden. Der Einfluss des Kriechens darf bei der Ermittlung der Biegesteifigkeit nach Element (822) berücksichtigt werden. Einflüsse aus dem Schwinden des Betons dürfen vernachlässigt werden. Bei einfeldrigen Verbunddecken und in den Endfeldern von Durchlaufdecken kann der Schlupf zwischen Profilblech und Beton zu einer Vergrößerung der Verformungen führen. Dieser Einfluss darf vernachlässigt werden, wenn in den Regelungen für das Profilblech (siehe Element (104)) keine abweichenden Angaben enthalten sind.

11.5.2 Begrenzung der Rissbreite

(1134) Durchlaufdecken

Im Bereich negativer Momente durchlaufender Decken gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.2.

(1135) Mindestbewehrung bei durchlaufenden Decken, die als eine Kette von Einfeldträgern bemessen werden

Wenn durchlaufende Decken nach Element (1114) als eine Kette von Einfeldträgern bemessen werden und nach DIN 1045-1:2001-07, 11.2.1 keine Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite bestehen, muss bei Decken, die während des Betonierens nicht durch Hilfsstützen unterstützt werden, die Querschnittsfläche der oberen Bewehrung über den Innenstützen mindestens 0,2 % und bei Decken, die während des Betonierens durch Hilfsstützen unterstützt werden (Eigengewichtsverbund), mindestens 0,4 % der Querschnittsfläche des Betons oberhalb des Profilbleches betragen.

11.5.3 Begrenzung der Verformungen

(1136) Grundsätze

Es gilt DIN 1045-1:2001-07, 11.3.

(1137) Nachweis ohne Berechnung der Verformung

Durchbiegungsberechnungen dürfen entfallen, wenn der Schlupf zwischen Profilblech und Beton in Übereinstimmung mit Element (1133) vernachlässigbar ist und die Biegeschlankheit unter Ansatz der Nutzhöhe d_p die Grenzwerte nach DIN 1045-1:2001-07, 11.3.2 nicht überschreitet. Die Durchbiegung des Profilbleches im Bauzustand unter seinem Eigengewicht braucht bei diesem Nachweis nicht berücksichtigt zu werden.

Anhang A (normativ)

Kopfbolzendübel, die randnah angeordnet werden und Spaltzugkräfte in Gurtickenrichtung erzeugen

A.1 Tragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit von Kopfbolzendübeln nach Bild A.1, die randnah angeordnet werden und in Gurtickenrichtung Spaltzugkräfte erzeugen, ist nach Gleichung (A.1) zu ermitteln, wenn sich hieraus kleinere Tragfähigkeiten als nach Element (935) ergeben.

$$P_{Rd,L} = \frac{1,4 k_v (f_{ck} d a'_r)^{0,4} (a/s)^{0,3}}{\gamma_V} \text{ in kN} \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

a'_r der wirksame Randabstand mit $a'_r = a_r - c_v - d_s/2 \geq 50 \text{ mm}$,

k_v = 1,00 ein Beiwert für Dübel in Randlage,

= 1,14 ein Beiwert für Dübel in Mittellage,

γ_V der Teilsicherheitsbeiwert nach Element (505),

f_{ck} der charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit im jeweils betrachteten Alter in N/mm^2 ,

d der Schaftdurchmesser des Dübels mit $19 \leq d \leq 25 \text{ mm}$,

h die Gesamthöhe des Dübels mit $h/d \geq 4$,

a der Achsabstand der Dübel in Längsrichtung mit $110 \leq a \leq 440 \text{ mm}$,

s der Abstand der Bügel mit $a/2 \leq s \leq a$ und $s/a'_r \leq 3$,

d_s der Stabdurchmesser der Bügelbewehrung mit $d_s \geq 8 \text{ mm}$,

d_ℓ der Stabdurchmesser der Längsbewehrung mit $d_\ell \geq 10 \text{ mm}$,

c_v die Betondeckung nach Bild A.1 in mm.

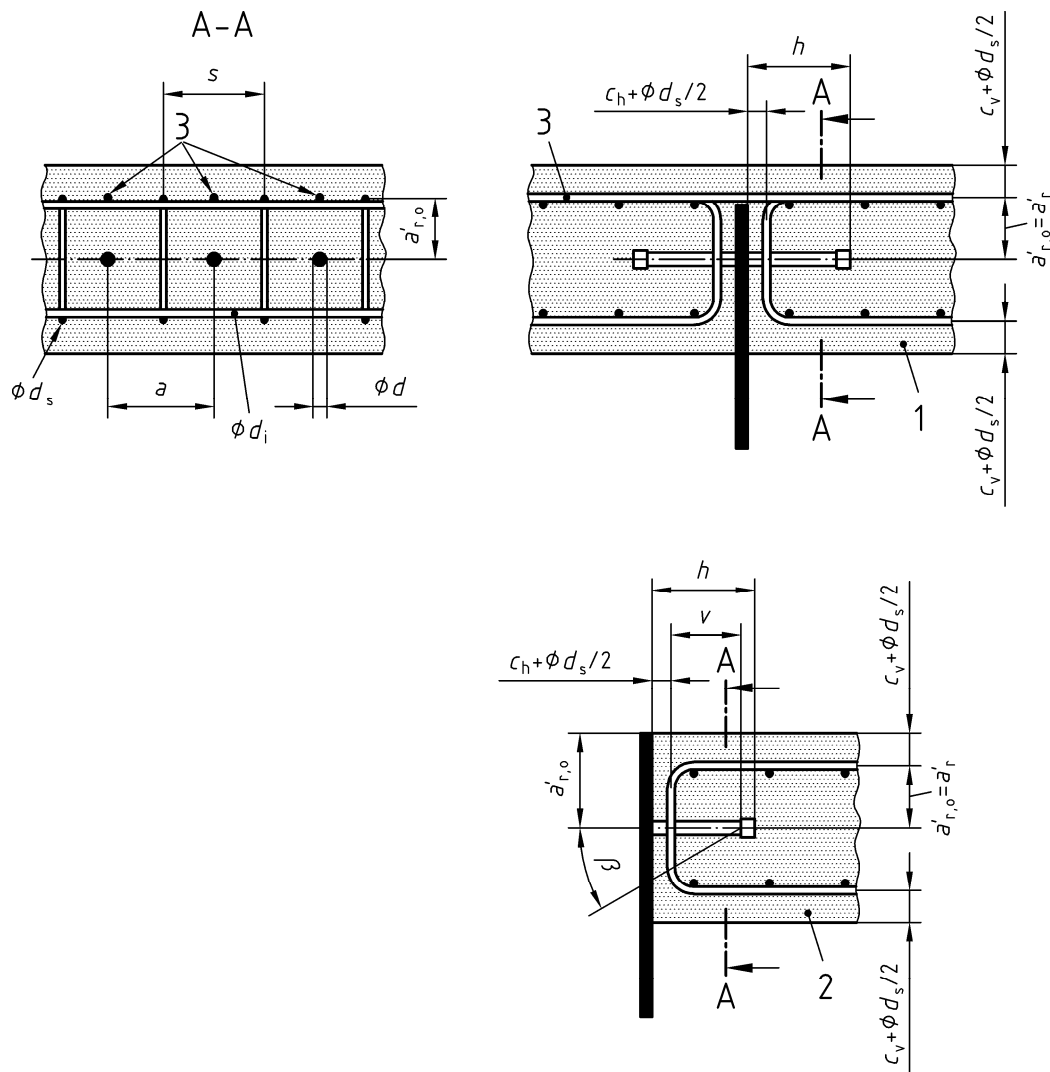
A.2 Konstruktionsregeln

Zur Vermeidung eines Versagens infolge Herausziehens der Dübel sind in der Regel die folgenden Bedingungen einzuhalten:

Dübel im Druckbereich des Betongurtes: $\beta \leq 30^\circ$ oder $v \geq \max\{110 \text{ mm} ; 1,7 a'_r ; 1,7 s/2\}$

Dübel im Zugbereich des Betongurtes: $\beta \leq 23^\circ$ oder $v \geq \max\{160 \text{ mm} ; 2,4 a'_r ; 2,4 s/2\}$

Dabei ist v in Bild A.1 angegeben.



Legende

- 1 Mittellage
- 2 Randlage
- 3 Querbewehrung

Bild A.1 — Anordnung und geometrische Randbedingungen für randnahe Kopfbolzendübel in horizontaler Lage

A.3 Spaltzugkräfte

Die Bügel sind für die in Gurtickenrichtung wirkende Spaltzugkraft nach Gleichung (A.2) zu bemessen.

$$T_d = 0,3 P_{Rd,L} \quad (A.2)$$

A.4 Gleichzeitige Beanspruchung durch vertikale Kräfte und Längsschubkräfte

Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch vertikale Dübelkräfte aus der Auflagerung des Gurtes und in Längsrichtung des Gurtes wirkende horizontale Dübelkräfte ist bei der Ermittlung der Tragfähigkeit die Interaktionsbedingung (A.3) nachzuweisen.

$$\left(\frac{F_{d,L}}{P_{Rd,L}} \right)^{1,2} + \left(\frac{F_{d,V}}{P_{Rd,V}} \right)^{1,2} \leq 1,0 \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist

$$P_{Rd,V} = \frac{0,012 (f_{ck} d_\ell)^{0,5} (d a/s)^{0,4} (d_s)^{0,3} (a'_{r,o})^{0,7} k_v}{\gamma_V} \text{ in kN} \quad (\text{A.4})$$

und $a'_{r,o}$ der wirksame obere Randabstand mit $a'_{r,o} = a_{r,o} - c_v - d_s/2 \geq 50 \text{ mm}$. Zusätzlich zu den in Element (A.1) genannten Randbedingungen sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

$$h \geq 100 \text{ mm}; 110 \leq a \leq 250 \text{ mm}; d_s \leq 12 \text{ mm}; d_\ell \leq 16 \text{ mm}.$$

A.5 Ermüdungsfestigkeit

Für Normalbeton ergibt sich die Ermüdungsfestigkeit von Kopfbolzendübeln, die Spaltzugkräfte in Gurtickenrichtung erzeugen, nach Gleichung (A.5). Wenn sich nach Element (959) ein kleinerer Wert ergibt, ist dieser für den Nachweis maßgebend.

$$(\Delta P_R)^m N = (\Delta P_c)^m N_c \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

ΔP_R die Ermüdungsfestigkeit (ertragbare Schubkraftdoppelamplitude je Dübel),

ΔP_c der Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit nach Tabelle A.1 bei der Bezugslastspielzahl N_c ,

a'_r der wirksame Randabstand,

m der Neigungsexponent der Ermüdungsfestigkeitskurve mit $m = 8$,

N_c die Bezugslastspielzahl mit $N_c = 2 \times 10^6$

N die Anzahl der Lastspiele.

Tabelle A.1 — Ermüdungsfestigkeit für horizontal angeordnete Kopfbolzendübel

Spalte Zeile	1	2	3	4	5
1	a'_r	mm	50	≥ 100	ANMERKUNG: Für $50 < a'_r < 100 \text{ mm}$ ergibt sich ΔP_c durch lineare Interpolation.
2	ΔP_c	kN	24,9	35,6	