

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 Längs Kräften.....	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 Querschnittskenngrößen
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) Querschnittskenngrößen

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_{yk} , 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.

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

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

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

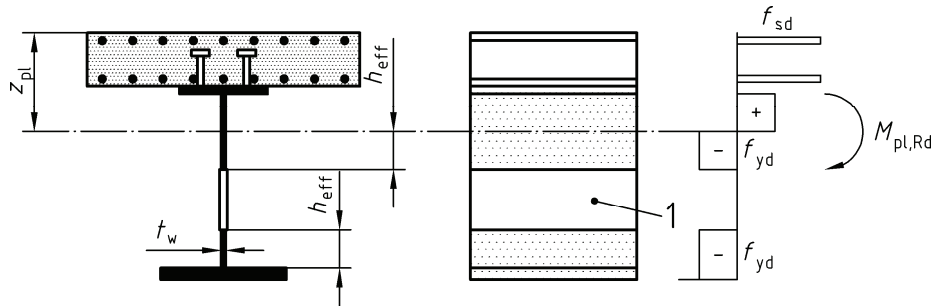
Für die Einstufung in die jeweilige Querschnittsklasse ist nachzuweisen, dass die in Tabelle 4 angegebenen Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ nicht überschritten werden. Flansche, bei denen ein örtliches Beulen durch die Verdübelung mit dem Betongurt verhindert wird, dürfen in die Klasse 1 eingestuft werden, 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,

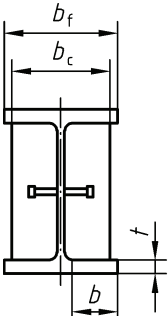
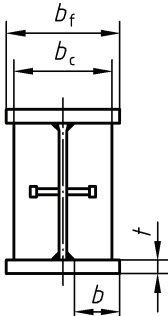
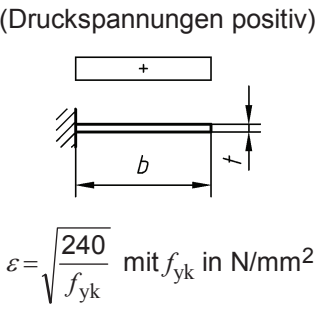
δ Beiwert, der für Querschnitte der Klasse 2 mit $\delta = 1,0$ und für Querschnitte der Klasse 1 bei Rotationsanforderungen in Fließgelenken mit $\delta = 1,1$ anzunehmen ist,

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)
			
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		$b/t \leq 9 \epsilon$
2	Klasse 2		$b/t \leq 14 \epsilon$
3	Klasse 3		$b/t \leq 20 \epsilon$

(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.