

DIN EN 1993-1-3

**DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.13

Ersatz für  
DIN EN 1993-1-3:2010-12

**Eurocode 3 –  
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –  
Teil 1-3: Kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln;  
Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2024**

Eurocode 3 –  
Design of steel structures –  
Part 1-3: Cold-formed members and sheeting;  
German version EN 1993-1-3:2024

Eurocode 3 –  
Calcul des structures en acier –  
Partie 1-3: Règles générales – Profilés et plaques formés à froid;  
Version allemande EN 1993-1-3:2024

Gesamtumfang 225 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)



## Nationales Vorwort

Das Dokument EN 1993-1-3:2024 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-3:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Harmonisierung des Wortlauts entsprechend der neuesten Ausgaben von EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8;
- b) Anpassung der Nennwerte der Zugfestigkeit (Tabelle 5.1) an EN 1993-1-1 bzw. die entsprechenden Produktnormen zur Harmonisierung (Abschnitt 5);
- c) geringfügige Ergänzungen zu Festlegungen für Wellprofile (7.6.5);
- d) geringfügige Ergänzungen zu Festlegungen für die Bemessung von Trapezprofilen bei axialem Druck (8.1.3);
- e) Bemessung der Querschnittsbeanspruchbarkeit bei Querbelastung von Querschnitten mit zwei oder mehr unversteiften Stegen präzisiert (8.1.6.3);
- f) Bemessungsformeln für die Querschnittsbeanspruchbarkeit von Querschnitten bei Beanspruchung aus Normalkraft, Biegemoment, Querkraft und Torsion überarbeitet (8.1.10);
- g) geringfügige Ergänzungen bei den Stabilitätsnachweisen für Bauteile bei Beanspruchung aus zentrischer Druckkraft und Biegemoment (8.2.5);
- h) Spezifizierung der Bemessungsregeln in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Abschnitt 9);
- i) Spezifizierungen für die Bemessung von Trapezprofilen mit Überdeckung (11.3.4);
- j) Spezifizierungen zur Biegemomentenbeanspruchbarkeit von Kassettenprofilen (11.2.2);
- k) Spezifizierungen zum Prüfaufbau bei Versuchen am Einfeldträger für ein eindeutiges, einheitliches experimentelles Prüfverfahren (A.5.2);
- l) Spezifizierungen zum Prüfaufbau und zu den Bewertungskriterien von Prüfungen an Profiltafeln (zur Begehbarkeit) für ein eindeutiges, einheitliches experimentelles Prüfverfahren (A.5.6);
- m) besondere Bestimmungen für Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl hinsichtlich der Korrosionsumgebung gestrichen; allgemeiner Verweis auf EN 1993-1-4 aufgenommen (Anhang B).

## Frühere Ausgaben

DIN 1050: 1934-08, 1937-07, 1946-10, 1957-12, 1968-06  
DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1974-07  
DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934-08, 1956-12, 1968-12  
DIN 4101: 1937-07, 1974-07  
DIN 4114-1: 1952-07  
DIN 4114-2: 1953-02  
DIN 18800-1: 1981-03, 2008-11  
DIN 18800-1/A1: 1996-02  
DIN 18800-2: 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-2/A1: 1996-02  
DIN 18800-3: 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-3/A1: 1996-02  
DIN 18807-1: 1987-06  
DIN 18807-1/A1: 2001-05  
DIN 18807-2: 1987-06  
DIN 18807-2/A1: 2001-05  
DIN V ENV 1993-1-3: 2002-05  
DIN EN 1993-1-3: 2007-02, 2010-12  
DIN EN 1993-1-3 Berichtigung 1:2009-11

— Leerseite —

Deutsche Fassung  
Eurocode 3 —  
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten —  
Teil 1-3: Kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln

Eurocode 3 —  
Design of steel structures —  
Part 1-3: Cold-formed members and sheeting

Eurocode 3 —  
Calcul des structures en acier —  
Partie 1-3: Règles générales - Profilés et plaques formés  
à froid

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. Januar 2024 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

# Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort .....	6
<b>0 Einleitung .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Anwendungsbereich .....</b>	<b>11</b>
1.1 Anwendungsbereich zu EN 1993-1-3 .....	11
1.2 Annahmen .....	11
<b>2 Normative Verweisungen .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Begriffe und Symbole .....</b>	<b>12</b>
3.1 Begriffe .....	12
3.1.1 Werkstoff .....	12
3.1.2 Kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln und Sandwichelemente .....	13
3.1.3 Stabilitätsformen .....	15
3.1.4 Querschnittsberechnung .....	16
3.1.5 Tragwerke aus kaltgeformten Stahlbauteilen .....	16
3.1.6 Verbindungen .....	17
3.2 Symbole und Abkürzungen .....	18
3.2.1 Lateinische Großbuchstaben .....	18
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben .....	25
3.2.3 Griechische Großbuchstaben .....	36
3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben .....	36
3.3 Symbole der Querschnittsabmessungen .....	40
3.4 Symbole der Koordinatenachsen .....	41
<b>4 Grundlagen der Tragwerksplanung .....</b>	<b>41</b>
4.1 Grundlegende Anforderungen .....	41
4.2 Spezifische Regeln für kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln .....	42
<b>5 Werkstoffe .....</b>	<b>44</b>
5.1 Allgemeines .....	44
5.2 Baustähle .....	46
5.2.1 Eigenschaften des Grundmaterials .....	46
5.2.2 Werkstoffeigenschaften kaltgeformter Stahlbauteile und Profiltafeln .....	47
5.2.3 Bruchzähigkeit .....	48
5.2.4 Materialdicken und Materialdickentoleranzen .....	48
5.3 Verbindungselemente .....	49
5.3.1 Mechanische Verbindungselemente .....	49
5.3.2 Schweißzusatzwerkstoffe .....	50
<b>6 Dauerhaftigkeit .....</b>	<b>50</b>
<b>7 Tragwerksberechnung .....</b>	<b>50</b>
7.1 Tragwerksmodellierung für die Berechnung .....	50
7.2 Globale Tragwerksberechnung .....	50
7.2.1 Verfahren der Tragwerksberechnung für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	50
7.2.2 Imperfektionen .....	51
7.3 Modellierung von kaltgeformten Stahlquerschnitten .....	55
7.3.1 Einfluss ausgerundeter Ecken .....	55
7.3.2 Modellierung für die Querschnittsberechnung .....	58

7.4	Querschnittsberechnung — Geometrische Abmessungen und Gültigkeitsbereich.....	59
7.5	Querschnittsberechnung — Eindrehen der Gurte .....	61
7.6	Querschnittsberechnung –Plattenbeulen und Forminstabilität.....	62
7.6.1	Allgemeines .....	62
7.6.2	Ebene, nicht ausgesteifte Querschnittsteile .....	65
7.6.3	Ebene Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen.....	67
7.6.4	Besondere Festlegungen für Trapezprofile.....	77
7.6.5	Besondere Festlegungen für Wellprofile und ähnliche Profiltafeln.....	88
7.7	Querschnittsberechnung — Plattenbeulen zwischen Verbindungselementen .....	89
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	89
8.1	Querschnittsbeanspruchbarkeit .....	89
8.1.1	Allgemeines .....	89
8.1.2	Zentrische Zugbeanspruchung.....	90
8.1.3	Zentrische Druckbeanspruchung.....	90
8.1.4	Biegemomentenbeanspruchung.....	92
8.1.5	Querkraftbeanspruchung.....	97
8.1.6	Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung.....	98
8.1.7	Beanspruchung aus Zugkraft und Biegung.....	109
8.1.8	Beanspruchung aus Druckkraft und Biegung.....	109
8.1.9	Beanspruchung aus Normalkraft, Biegemoment und Querkraft.....	110
8.1.10	Beanspruchung aus Normalkraft, Biegemoment, Querkraft und Torsion.....	111
8.1.11	Beanspruchung aus Biegemoment und örtlicher Querbelastrung oder Auflagerreaktion .....	113
8.2	Stabilitätsnachweise für Bauteile.....	114
8.2.1	Allgemeines .....	114
8.2.2	Biegeknicken von Bauteilen und Profiltafeln unter Druckbeanspruchung .....	114
8.2.3	Drillknicken und Biegedrillknicken von Bauteilen unter Druckbeanspruchung .....	114
8.2.4	Biegedrillknicken von Bauteilen unter Biegebeanspruchung .....	117
8.2.5	Beanspruchung aus Biegung und zentrischer Druckkraft.....	118
8.2.6	Beanspruchung aus Biegung und zentrischer Zugkraft.....	121
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	121
9.1	Allgemeines .....	121
9.2	Plastische Verformungen .....	122
9.3	Durchbiegungen.....	122
9.4	Begehbarkeit von Trapezprofilen.....	123
9.4.1	Begehbarkeit während der Montage .....	123
9.4.2	Begehbarkeit nach der Montage.....	123
10	Bemessung von Anschlüssen.....	123
10.1	Allgemeines .....	123
10.2	Stöße und Endanschlüsse von Bauteilen unter Druckbeanspruchung .....	123
10.3	Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen .....	124
10.4	Punktschweißungen.....	132
10.5	Überlappungsschweißungen .....	133
10.5.1	Allgemeines .....	133
10.5.2	Kehlnähte .....	134
10.5.3	Lichtbogenpunktschweißung .....	135
11	Besondere Angaben für Bauteile, Kassettenprofile und Profiltafeln.....	138
11.1	Bauteile mit Stabilisierung durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente ...	138
11.1.1	Allgemeines .....	138
11.1.2	Berechnungsverfahren.....	139
11.1.3	Bemessungskriterien.....	140
11.1.4	Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit .....	143
11.1.5	Steifigkeit der Querbettung am freien Gurt eines Bauteils.....	150

11.1.6	Kräfte in den Verbindungselementen eines Profiltafel-Bauteil-Anschlusses und Reaktionskräfte.....	152
11.2	Kassettenprofile mit Aussteifung durch Profiltafeln .....	153
11.2.1	Allgemeines .....	153
11.2.2	Biegemomentenbeanspruchbarkeit.....	155
11.3	Besondere Angaben für Profiltafeln.....	160
11.3.1	Streckenlast oder Einzellast auf Trapezprofilen .....	160
11.3.2	Perforierte Profiltafeln.....	161
11.3.3	Profiltafeln mit Öffnungen .....	163
11.3.4	Trapezprofile mit Überdeckung am Auflager .....	166
11.3.5	Trapezprofile mit seitlichen Überdeckungen .....	172
11.4	Seitliche Stützungen und Verdrehbehinderungen von Bauteilen durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente .....	173
11.4.1	Seitliche Stützung von Bauteilen.....	173
11.4.2	Verdrehbehinderung von Bauteilen.....	176
11.5	Bemessung von Schubfeldern .....	183
11.5.1	Allgemeines .....	183
11.5.2	Schubfeldwirkung .....	184
11.5.3	Voraussetzungen .....	184
11.5.4	Schubfelder aus Stahlprofiltafeln.....	185
11.5.5	Schubfelder aus Kassettenprofilen aus Stahl.....	187
12	Versuchsgestützte Bemessung .....	188
Anhang A (normativ) Prüfverfahren .....		190
A.1	Allgemeines .....	190
A.1.1	Anwendung dieses Anhangs .....	190
A.1.2	Gegenstand und Anwendungsbereich .....	190
A.2	Werkstoffprüfungen .....	191
A.3	Versuche an einzelnen Trägern und Stützen.....	192
A.3.1	Druckversuche am vollen Querschnitt.....	192
A.3.2	Zugversuche am vollen Querschnitt.....	193
A.3.3	Biegeversuche am vollen Querschnitt.....	194
A.4	Versuche an Tragwerken und Tragwerksteilen .....	194
A.4.1	Abnahmeversuch.....	194
A.4.2	Belastungsversuch .....	195
A.4.3	Prototypversuch bis zum Versagen .....	196
A.4.4	Kalibrationsversuch .....	196
A.5	Versuche an Profiltafeln und Kassettenprofilen.....	197
A.5.1	Allgemeines .....	197
A.5.2	Versuch am Einfeldträger.....	198
A.5.3	Versuch am Zweifeldträger.....	199
A.5.4	Versuch an einer Innenstützung.....	200
A.5.5	Versuch am Endauflager .....	204
A.5.6	Begehbarkeit.....	206
A.6	Versuche an Bauteilen mit Verdrehbehinderung.....	207
A.6.1	Allgemeines .....	207
A.6.2	Versuch an einer Innenstützung.....	207
A.6.3	Bestimmung der Verdrehbehinderung .....	208
A.7	Versuche an Verbindungselementen .....	209
A.8	Versuche an Bauteilen von Lagereinrichtungen .....	210
A.9	Auswertung der Versuchsergebnisse.....	210
A.9.1	Allgemeines .....	210
A.9.2	Normierung der Versuchsergebnisse .....	210
A.9.3	Charakteristische Werte .....	212
A.9.4	Bemessungswerte .....	214

<b>Anhang B (informativ) Dauerhaftigkeit von Verbindungselementen .....</b>	<b>215</b>
<b>B.1 Anwendung dieses Anhangs.....</b>	<b>215</b>
<b>B.2 Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....</b>	<b>215</b>
<b>Anhang C (normativ) Gemischter Ansatz von wirksamen Breiten/wirksamen Dicken für einseitig gestützte Querschnittsteile .....</b>	<b>218</b>
<b>C.1 Anwendung dieses Anhangs.....</b>	<b>218</b>
<b>C.2 Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....</b>	<b>218</b>
<b>C.3 Querschnittsbeanspruchbarkeit .....</b>	<b>218</b>
<b>Literaturhinweise.....</b>	<b>220</b>

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1993-1-3:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2027, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2028 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 1993-1-3:2006 und seine Berichtigungen.

Die erste Generation der EN-Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Normungsauftrags M/515 erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Harmonisierung des Wortlauts entsprechend der neuesten Ausgaben von EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8;
- Anpassung der Nennwerte der Zugfestigkeit (Tabelle 5.1) an EN 1993-1-1 bzw. an die entsprechenden Produktnormen zur Harmonisierung (Abschnitt 5);
- geringfügige Ergänzungen zu Festlegungen für Wellprofile (7.6.5);
- geringfügige Ergänzungen zu Festlegungen für die Bemessung von Trapezprofilen bei axialem Druck (8.1.3);
- Bemessung der Querschnittsbeanspruchbarkeit bei Querbelastung von Querschnitten mit zwei oder mehr unversteiften Stegen präzisiert (8.1.6.3);
- Bemessungsformeln für die Querschnittsbeanspruchbarkeit von Querschnitten bei Beanspruchung aus Normalkraft, Biegemoment, Querkraft und Torsion überarbeitet (8.1.10);
- geringfügige Ergänzungen bei den Stabilitätsnachweisen für Bauteile bei Beanspruchung aus zentrischer Druckkraft und Biegemoment (8.2.5);
- Spezifizierung der Bemessungsregeln (Text in Gleichungen umgewandelt) in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Abschnitt 9);
- Spezifizierungen für die Bemessung von Trapezprofilen mit Überdeckung (11.3.4);

- Spezifizierungen zur Biegemomentenbeanspruchbarkeit von Kassettenprofilen (11.2.2);
- Spezifizierungen zum Prüfaufbau bei Versuchen am Einfeldträger für ein eindeutiges, einheitliches experimentelles Prüfverfahren (A.5.2);
- Spezifizierungen zum Prüfaufbau und zu den Bewertungskriterien von Prüfungen an Profiltafeln (zur Begehbarkeit) für ein eindeutiges, einheitliches experimentelles Prüfverfahren (A.5.6);
- besondere Bestimmungen für Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl hinsichtlich der Korrosionsumgebung gestrichen; allgemeiner Verweis auf EN 1993-1-4 aufgenommen (Anhang B).

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## 0 Einleitung

### 0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*
- EN 1991, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5 — Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6 — Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- Neue Teile sind derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

**ANMERKUNG** Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

### 0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

EN 1993 (alle Teile) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken aus Stahl. Eurocode 3 entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung, enthalten sind.

EN 1993 (alle Teile) behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in verschiedene Teile gegliedert:

EN 1993-1, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;*

EN 1993-2, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Brücken;*

EN 1993-3, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;

EN 1993-4, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;

EN 1993-5, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*;

EN 1993-6, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranunterstützungen*;

EN 1993-7, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Sandwich-Elemente*;

EN 1993-1 existiert nicht als ein physisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 gesonderten Teilen, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

EN 1993-1-1, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-1-2, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*;

EN 1993-1-3, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln*;

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlquerschnitte nach EN 10219 (alle Teile) werden in EN 1993-1-1 behandelt.

EN 1993-1-4, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen*;

EN 1993-1-5, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*;

EN 1993-1-6, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*;

EN 1993-1-7, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelastrung*;

EN 1993-1-8, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Anschlüsse*;

EN 1993-1-9, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*;

EN 1993-1-10, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenwahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*;

EN 1993-1-11, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Zugglieder*;

EN 1993-1-12, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S960*;

EN 1993-1-13, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Träger mit großen Stegöffnungen*;

EN 1993-1-14, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Part 1-14: Bemessung mithilfe von Finite-Element-Berechnung*.

Alle Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Bauwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln, nichtrostende Stähle, plattenförmige Bauteile usw.

Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Bauwerksart relevant sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Flüssigkeitsbehälter; Pfähle und Spundwände; Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln in EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

### **0.3 Einleitung zu EN 1993-1-3**

EN 1993-1-3 enthält ergänzende Bemessungsregeln für kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln aus Stahl. Den Schwerpunkt von EN 1993-1-3 bilden Bemessungsverfahren und Bemessungsregeln für einzelne kaltgeformte Bauteile (Träger, Stützen und tragende Bauteile), Profiltafeln und Kassettenprofile in Hinblick auf Tragfähigkeit, Stabilität und Gebrauchstauglichkeit.

### **0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen**

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung die zwingend zu befolgen ist, und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

### **0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-1-3**

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo diese Möglichkeit ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen schließen die Auswahl von Werten für national festgelegte Parameter (NDP, en: nationally determined parameters) ein.

Die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1993-1-3 kann einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde festgelegt werden oder wenn keine Festlegung besteht, für ein spezifisches Einzelprojekt durch die zuständigen Parteien vereinbart werden.

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-3 im Rahmen von Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.2(3)	4.2(4)	4.2(5)	5.2.1(3)
7.1(2)	7.2.1(6)	8.2.5(2)	10.3(3)
10.3(3)	10.3(3)	10.3(3)	12(1)
A.1(1)	A.9.4(3)		

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-3 bei Anwendung der folgenden informativen Anhänge gestattet:

#### **Anhang B**

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

## 1 Anwendungsbereich

### 1.1 Anwendungsbereich zu EN 1993-1-3

(1) Dieses Dokument enthält Regeln für die Tragwerksplanung von kaltgeformten Stahlbauteilen und Profiltafeln.

(2) Dieses Dokument ist anwendbar für kaltgeformte Stahlerzeugnisse aus beschichtetem oder nicht beschichtetem, warm- oder kaltgewalzten Blech oder Band, das durch Rollprofilier- oder Kantverfahren kaltgeformt wurde. Es behandelt ebenfalls Profiltafeln und Bauteile, die während der Fertigung durch stetiges Biegen oder Rollprofilieren gekrümmt werden. Profiltafeln, deren Krümmung durch Stauchung der Innengurte erzeugt wird, sind nicht enthalten. Dieses Dokument ist auch anwendbar für die Bemessung von Profiltafeln für Stahl-Beton-Verbunddecken im Bauzustand, siehe EN 1994 (alle Teile). Die Ausführung von Stahltragwerken aus kaltgeformten Stahlbauteilen ist in EN 1090-4 geregelt. EN 1090-2 enthält Festlegungen zu Schraubverbindungen.

ANMERKUNG Die Regelungen in EN 1993-1-3 ergänzen die Regelungen in den anderen Teilen von EN 1993-1.

(3) Es werden auch Bemessungsverfahren für Schubfeldkonstruktionen mit Stahl-Profiltafeln angegeben.

(4) Dieses Dokument ist nicht anwendbar für kaltgeformte Rund- und Rechteckhohlprofile, die nach EN 10219 (alle Teile) geliefert werden; hierzu wird auf EN 1993-1-1 und EN 1993-1-8 verwiesen.

(5) Dieses Dokument enthält Verfahren für die rechnerische Bemessung und die versuchsgestützte Bemessung. Die rechnerischen Bemessungsverfahren sind nur in den angegebenen Grenzen für die Werkstoffkennwerte und geometrischen Verhältnisse anwendbar, für die ausreichende Erfahrung und Versuchsergebnisse vorhanden sind. Diese Einschränkungen sind nicht für die versuchsgestützte Bemessung anwendbar.

### 1.2 Annahmen

(1) Sofern nicht ausdrücklich angegeben, gelten EN 1990, EN 1991 (alle Teile) und EN 1993-1-1.

(2) Die Bemessungsverfahren nach EN 1993-1-3 sind anwendbar, wenn:

- die Ausführungsqualität den Festlegungen in EN 1090-4 entspricht, die Ausführungsqualität der Schraubenverbindungen den Festlegungen in EN 1090-2 entspricht; und
- die Werkstoffe und Bauprodukte den Festlegungen in den maßgebenden Teilen von EN 1993 (alle Teile) oder in den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen entsprechen.

(3) EN 1993 muss angewendet werden in Verbindung mit:

- den Teilen von EN 1992 bis EN 1999, wenn in diesen Dokumenten auf Stahltragwerke und Stahlbauteile Bezug genommen wird;
- EN-Normen für Bauprodukte, die für Stahltragwerke maßgebend sind.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind weitere zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze) und Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze) in Bezug genommen werden.

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1090-4, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1993-1-1:2022, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 14509, *Selbsttragende Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten — Werkmäßig hergestellte Produkte — Spezifikationen*

EN ISO 7438, *Metallische Werkstoffe — Biegeversuch (ISO 7438)*

## **3 Begriffe und Symbole**

### **3.1 Begriffe**

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990 und die folgenden Begriffe.

#### **3.1.1 Werkstoff**

##### **3.1.1.1**

##### **Grundwerkstoff**

flaches Stahlblech, das für die Kaltprofilierung von Querschnitten und Profiltafeln verwendet wird

##### **3.1.1.2**

##### **Basisstreckgrenze**

Streckgrenze des Grundwerkstoffs aus dem Zugversuch

##### **3.1.1.3**

##### **Nenndicke**

vom Stahllieferanten festgelegte, durchschnittliche Solldicke nach dem Kaltumformen einschließlich Zink- und anderer metallischer Überzüge, jedoch unter Ausschluss organischer Beschichtungen

##### **3.1.1.4**

##### **Stahlkerndicke**

Nenndicke abzüglich der Zink- oder anderen metallischen Überzüge

##### **3.1.1.5**

##### **Bandstahlrolle**

en **coil**

Lagerungssystem, bei dem ein kontinuierliches Blech auf eine Trommel aufgewickelt wird

##### **3.1.1.6**

##### **Kaltumformung**

Metallumformungsverfahren, das ohne Wärmezufuhr bei annähernd Raumtemperatur durchgeführt wird

### 3.1.1.7

#### Abkanten

Verfahren der Kaltumformung mit einer Abkantpresse, bei dem ein Metallblech zwischen einem Oberwerkzeug und einem Unterwerkzeug gebogen wird

### 3.1.1.8

#### Rollprofilieren

Formgebungsprozess für Metall, bei dem ein Querschnitt durch das stetige Umformen eines Stahlblechs beim Durchlaufen aufeinanderfolgender Walzengruppen erzeugt wird

### 3.1.1.9

#### Verzinkung

Zinküberzug für den Korrosionsschutz

### 3.1.1.10

#### harmonisierte Produktnorm

Europäische Norm, die von einer anerkannten Europäischen Normungsorganisation wie CEN, CENELEC oder ETSI, in Reaktion auf einen Normungsauftrag der Europäischen Kommission an eine dieser Organisationen erarbeitet wurde

## 3.1.2 Kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln und Sandwichelemente

### 3.1.2.1

#### Bauteil

tragendes Bauteil, dessen Querschnittsmaße viel kleiner als seine Länge sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für typische Querschnittsformen von kaltgeformten Stahlbauteilen sind in Bild 3.1 dargestellt. Querschnitte von kaltgeformten Stahlbauteilen können entweder unversteift sein oder über Längsaussteifungen in den Stegen, den Gurten oder in beiden verfügen.

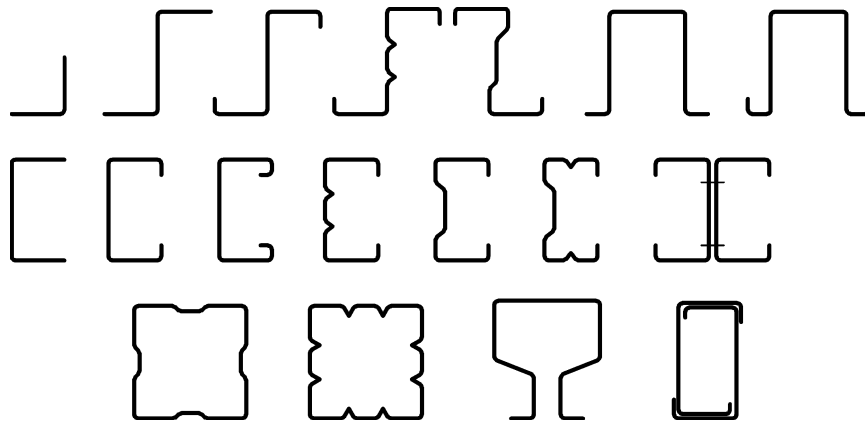


Bild 3.1 — Typische Querschnittsformen von kaltgeformten Bauteilen

### 3.1.2.2

#### Profiltafel

tragendes Bauteil, dessen Höhe viel geringer als seine Breite und Länge ist und das üblicherweise in Wand-, Dach- oder Deckenkonstruktionen verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für typische Querschnittsformen von Profiltafeln sind in Bild 3.2 dargestellt. Querschnitte von Profiltafeln können entweder unversteift sein oder über Längsaussteifungen in den Stegen, den Gurten oder in beiden verfügen.

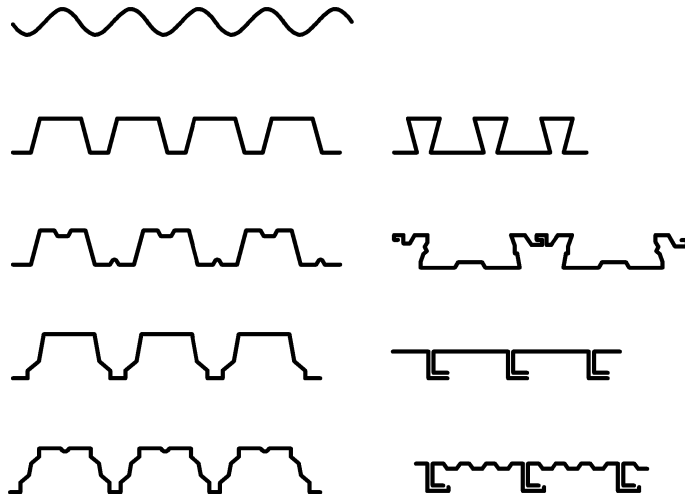


Bild 3.2 — Beispiele für kaltgeformte Profiltafeln und Kassettenprofile

### 3.1.2.3

#### **Kassettenprofil**

profiliertes Blech mit großen lippenverstärkten Randsteifen, wobei durch Kopplung von benachbarten Kassettenprofilen eine profilierte Fläche gebildet wird, die eine parallele Fläche aus Profiltafeln, die senkrecht zur Spannweite der Kassettenprofile verlaufen, tragen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für typische Querschnittsformen von Kassettenprofilen sind in Bild 3.2 dargestellt.

### 3.1.2.4

#### **Sandwichelement**

Wand- oder Dachbauteil, das aus einem Kern mit geringer Dichte besteht, der mit zwei äußeren Deckschichten verklebt ist

### 3.1.2.5

#### **Umbiegung**

gerundeter Übergang zwischen zwei ebenen Querschnittsteilen

### 3.1.2.6

#### **nicht ausgesteifte Querschnittsteile**

beidseitig oder einseitig gestützte, druckbeanspruchte Teilfläche ohne Steifen

### 3.1.2.7

#### **ausgesteifte Querschnittsteile**

druckbeanspruchte Querschnittsteile mit Zwischen- oder Randsteifen

### 3.1.2.8

#### **Steife**

im Zusammenhang mit EN 1993-1-3 bezieht sich das Wort „Steife“ ohne weitere Festlegung auf eine Längssteife, d. h. eine einfache Umbiegung oder eine Abfolge von Umbiegungen im Querschnitt mit dem Ziel, die Beanspruchbarkeit auf Plattenbeulen/Forminstabilität zu erhöhen

Anmerkung 1 zum Begriff: Längssteifen können entweder Randsteifen oder Zwischensteifen sein.

### 3.1.2.9

#### **Randsteife**

Längssteife, die durch Umbiegung des Randes eines Querschnittsteils mit dem Ziel erzeugt wird, die Beanspruchbarkeit auf Plattenbeulen/Forminstabilität zu erhöhen

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Randsteifen sind in Bild 3.3 dargestellt.

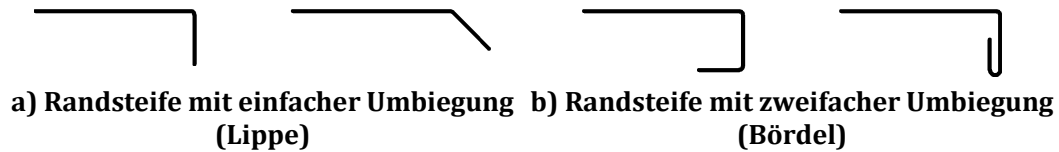


Bild 3.3 — Typische Randsteifen

### 3.1.2.10

#### Zwischensteife

Längssteife, die aus mehrfachen Umbiegungen in einem Querschnittsteil mit dem Ziel erzeugt wird, die Beanspruchbarkeit auf Plattenbeulen/Forminstabilität zu erhöhen

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Zwischensteifen sind in Bild 3.4 dargestellt.

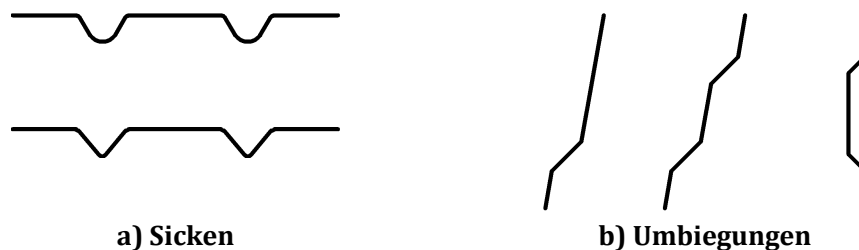


Bild 3.4 — Typische Zwischensteifen

### 3.1.3 Stabilitätsformen

#### 3.1.3.1

##### Instabilität des Querschnitts

Instabilität, bei der der Querschnitt als Ganzes weder eine Verschiebung noch eine Rotation erfährt, Querschnittsinstabilitäten werden üblicherweise in die Instabilitätsformen Plattenbeulen und Forminstabilität eingeteilt

#### 3.1.3.2

##### Plattenbeulen

en local buckling or plate buckling

Instabilität des Querschnitts, bei der die einzelnen Querschnittsteile ausschließlich Biegeverformungen aus der Plattenebene erfahren und die Ecken des Querschnitts an ihren ursprünglichen Positionen verbleiben, nach EN 1993-1-5 als Plattenbeulen definiert

#### 3.1.3.3

##### Forminstabilität

en distortional buckling

Instabilität des Querschnitts, bei der einige Querschnittsteile Verschiebungen in der Ebene zusätzlich zu Verschiebungen aus der Ebene infolge von Plattenbiegung erfahren; im besonderen Fall von C- oder Z-Profilen mit Lippe darf die Forminstabilität als Biegedrillknicken der Randsteife, bestehend aus den wirksamen Anteilen Gurt-Lippe, um die Steg-Gurt-Verbindung verstanden werden

#### 3.1.3.4

##### globale Instabilität

en global buckling

Instabilität, die durch eine Verschiebung und/oder Rotation des Querschnitts mit minimaler Formänderung (d. h. ohne Querschnittsinstabilität) charakterisiert wird, globale Instabilitätsformen schließen Biegeknicken, Drillknicken und Biegedrillknicken ein

### 3.1.4 Querschnittsberechnung

#### 3.1.4.1

##### **Bemessungsdicke**

Stahldicke zur Verwendung bei der rechnerischen Bemessung nach 3.3.3(6) und 5.2.4

#### 3.1.4.2

##### **abgewickelte Länge**

Länge gemessen entlang der Mittellinie von Querschnittsteilen oder eines Querschnitts, einschließlich der Längen aller Umbiegungen oder Steifen

#### 3.1.4.3

##### **Bruttoquerschnitt**

vollständiger Querschnitt ohne Abzüge für Plattenbeulen/Forminstabilität oder vorhandene Löcher

#### 3.1.4.4

##### **wirksamer Querschnitt**

idealisierte Querschnitt zur Berücksichtigung der modifizierten Spannungsverteilung infolge von Plattenbeulen/Forminstabilität; der wirksame Querschnitt besteht aus den an die längsgestützten Ränder angrenzenden, voll wirksamen Querschnittsteilflächen, während der Rest des Querschnitts für den Spannungsabtrag als ausfallend angenommen wird

#### 3.1.4.5

##### **wirksame Dicke**

reduzierte Dicke einer Rand- oder Zwischensteife, bestehend aus Platte und Steife, zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Forminstabilität

#### 3.1.4.6

##### **wirksame Breite**

Breite oder kombinierte Breiten eines Querschnittsteils, die bei Plattenbeulen und Forminstabilität als tragfähig angenommen wird, während der Rest des Querschnittsteils für den Spannungsabtrag als ausfallend angenommen wird (siehe auch: wirksamer Querschnitt)

#### 3.1.4.7

##### **bezogener Schlankheitsgrad**

genormter, dimensionsloser Schlankheitswert

### 3.1.5 Tragwerke aus kaltgeformten Stahlbauteilen

#### 3.1.5.1

##### **Auflager**

Stelle, an der ein Bauteil Kräfte oder Momente in eine Gründung, ein anderes Bauteil oder Tragwerksteil weiterleiten kann

#### 3.1.5.2

##### **Verformungsbehinderung**

vollständige Behinderung von Verschiebungen, Verdrehungen oder Verwölbungen eines Bauteils oder einer Teilfläche, wodurch deren Stabilität erhöht wird

#### 3.1.5.3

##### **teilweise Verformungsbehinderung**

teilweise Behinderung von Verschiebungen, Verdrehungen oder Verwölbungen eines Bauteils oder einer Teilfläche, wodurch deren Stabilität ähnlich einer Federlagerung erhöht wird

#### 3.1.5.4

##### **Reststützmoment**

Biegemomentenbeanspruchbarkeit, die nach dem Erreichen des Bemessungswerts der höchsten Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts (d. h. auf dem absteigenden Ast der Momentenrotationskurve) im Querschnitt verbleibt

#### 3.1.5.5

##### **Schubfeldwirkung**

Tragverhalten von Profiltafelkonstruktionen hauptsächlich unter Schubbeanspruchung

#### 3.1.5.6

##### **Schubfeldbemessung**

Bemessungsverfahren, das die Schubfeldwirkung auf die Steifigkeit und Tragfähigkeit eines Tragwerks berücksichtigt

#### 3.1.5.7

##### **Schlauder**

Bauteil zur seitlichen Stützung des freien Gurts eines Bauteils

### 3.1.6 Verbindungen

#### 3.1.6.1

##### **Anschluss**

Bereich, in dem zwei oder mehrere Bauteile miteinander verbunden sind

#### 3.1.6.2

##### **Verbindung**

Reihe von Grundkomponenten, die zur Übertragung von Kräften und Momenten zwischen zwei oder mehreren Bauteilen oder Blechen an dem konstruktiven Punkt dienen, an dem diese sich treffen

#### 3.1.6.3

##### **Grundkomponente eines Anschlusses**

Teil eines Anschlusses, der zu einem oder mehreren Kennwerten des Anschlusses beiträgt

#### 3.1.6.4

##### **angeschlossenes Element**

jedes Bauteil oder jede Profiltafel, das/die mit einem anderen Bauteil oder einer anderen Profiltafel verbunden ist

#### 3.1.6.5

##### **Verbindungselement**

Verbindungselement: Niete, Setzbolzen, Gewindeformschrauben (selbstschneidende Schrauben, selbstfurchende Schrauben), Gewindeformschrauben mit Bohrspitze (Bohrschrauben), Schrauben mit Muttern oder Schweißnähte

#### 3.1.6.6

##### **Befestigung**

örtliche Interaktion eines Verbindungselements (Niete, Setzbolzen oder Gewindeformschrauben mit/ohne Bohrspitze) mit dem umgebenden Werkstoff der verbundenen Elemente

#### 3.1.6.7

##### **Blindniet**

##### **Niet**

mechanisches Verbindungselement, das eine Verbindung herstellt, indem eine Niethülse gegen ihren rohrförmigen Körper gezogen wird und diesen plastisch verformt; der Einbau erfordert nur den Zugang zu einer Seite der verbundenen Elemente

### 3.1.6.8

#### Setzbolzen

nagelähnliches Verbindungselement, das unter Verwendung einer speziell konstruierten Pistole mit hoher Geschwindigkeit in die zu verbindenden Elemente getrieben wird

### 3.1.6.9

#### Gewindeformschraube mit Bohrspitze (Bohrschraube)

gewindeformende oder gewindeschneidende Schraube mit Bohrspitze, die beim Anziehen im Werkstoff in einem Arbeitsgang ein Loch bohrt und das Muttergewinde erzeugt

### 3.1.6.10

#### Gewindeformschraube

Schraube, die beim Anziehen im Werkstoff das Muttergewinde in einem vorgebohrten Loch erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Gewindeformschrauben werden in diesem Dokument zur Vereinfachung auch als Schrauben bezeichnet.

### 3.1.6.11

#### Bauteil I

verbundenes Element einer Befestigung am Kopf des Verbindungselements (bei Blindnieten der Setzkopf)

### 3.1.6.12

#### Bauteil II

zweites verbundenes Element einer Befestigung, üblicherweise die Unterkonstruktion

## 3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 3.2.1 Lateinische Großbuchstaben

$A$	Bruttoquerschnittsfläche
$A_{\text{eff}}$	wirksame Querschnittsfläche zur Berücksichtigung von Plattenbeulen und Forminstabilität
$A_i$	Bruttoquerschnittsfläche des Elements $i$
$A_{\text{net}}$	Nettoquerschnittsfläche eines angeschlossenen Bauteils
$A_s$	Spannungsquerschnitt eines Verbindungselements
$A_{\text{sh}}$	Bruttoquerschnittsfläche mit scharfkantigen Ecken
$A_{\text{st}}$	wirksame Querschnittsfläche der Steife
$A_{\text{st,red}}$	reduzierte Fläche des wirksamen Querschnitts der Steife infolge von Forminstabilität
$A_{\text{st,a}}$	wirksame Querschnittsfläche einer einzelnen, druckbeanspruchten Stegsteife oder der Stegsteife, die in Stegen mit zwei Steifen in Trapezprofilen dem Druckgurt näher liegt
$A_{\text{st,a,red}}$	reduzierte Fläche des wirksamen Querschnitts einer einzelnen druckbeanspruchten Stegsteife oder der Stegsteife, die in Stegen mit zwei Steifen in Trapezprofilen dem Druckgurt näher liegt

$A_{st,b}$	wirksame Querschnittsfläche der zweiten druckbeanspruchten Stegsteife in Trapezprofilen
$A_{st,b,red}$	reduzierte Fläche des wirksamen Querschnitts der zweiten druckbeanspruchten Stegsteife in Trapezprofilen
$A_{st1}$	wirksame Querschnittsfläche der Randsteife in Gurt 1
$A_{st2}$	wirksame Querschnittsfläche der Randsteife in Gurt 2
$C$	Drehfedersteifigkeit (en: rotational spring stiffness)
$C_D$	Drehfedersteifigkeit, die die teilweise Verdrehbehinderung von Bauteilen durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente erfasst
$C_{D,A}$	Drehfedersteifigkeit der Verbindung zwischen Profiltafeln, Sandwichelementen oder Kassettenprofilen und dem Bauteil
$C_{D,B}$	Drehfedersteifigkeit infolge der Verformung des Bauteilquerschnitts
$C_{D,C}$	Drehfedersteifigkeit, die die Biegesteifigkeit der Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente repräsentiert
$C_{\theta}, C_{\theta i}$	Drehfedersteifigkeit von ebenen Querschnittsteilen mit Rand- oder Zwischensteifen
$C_{100}$	Rotationskoeffizient (en: rotation coefficient), der den Wert von $C_{D,A}$ repräsentiert, wenn die Breite des Bauteilgurts gleich 100 mm ist
$D$	Dicke eines Sandwichelements
$E$	Elastizitätsmodul
$E_C$	Elastizitätsmodul des Kerns eines Sandwichelements
$E_{C,c}$	Elastizitätsmodul des Kerns eines Sandwichelements unter Druckbeanspruchung
$E_{C,t}$	Elastizitätsmodul des Kerns eines Sandwichelements unter Zugbeanspruchung
$E_{C,t,\theta}$	Elastizitätsmodul des Kerns eines Sandwichelements in Abhängigkeit der Belastungsdauer
$F_{b,Rd}$	Bemessungswert der Lochleibungsbeanspruchbarkeit einer Verbindung oder Befestigung
$F_{bow,max}$	Last eines druckbeanspruchten Bauteils, die nach der Elastizitätstheorie mit einer Vorkrümmung nach Produktspezifikation bestimmt wird
$F_{bow,test}$	Last eines druckbeanspruchten Bauteils, die nach der Elastizitätstheorie mit einer Vorkrümmung nach Aufmaß an Versuchskörpern bestimmt wird
$F_{Ed}$	Bemessungswert der Querbelastrung
$F_{Ed,i}$	Bemessungswert der Querbelastrung unter Annahme einer Lastverteilung aus einer Einzellast oder Linienlast über die Rippen eines Trapezprofils

$F_{e,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Randversagen einer Punktschweißung (en: end resistance)
$F_{k,ol,Ed}$	Bemessungswert der Abscherkraft in einer Schraube zur Befestigung von Trapezprofilen an Überdeckungen
$F_{lat}$	Prüflast in Versuchen an Bauteilen mit Verdrehbehinderung
$F_{n,Rd}$	Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit im Nettoquerschnitt, bestimmt für die entsprechende Art des mechanischen Verbindungselements oder der Schweißnaht
$F_{o,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Ausreißen eines Verbindungselements
$F_{p,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen eines Verbindungselements
$F_{rib,Ed}$	anteilige Bemessungslast, die von einer Rippe eines Trapezprofils aufgenommen wird, für den Nachweis der Beanspruchbarkeit des Steges unter Querbelastung
$F_{str}$	gesamte Prüflast in einem Belastungsversuch
$F_{supp}$	Reaktionskraft am Auflager von Profiltafeln
$F_{t,Ed}$	Bemessungswert der Zugkraft in einem Verbindungselement
$F_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit eines Verbindungselements
$F_{t,Rk}$	charakteristischer Wert der Zugbeanspruchbarkeit eines Verbindungselements
$F_{tb,Rd}$	Bemessungswert der Lochleibungsbeanspruchbarkeit einer Punktschweißung
$F_{unit}$	Einheitsstreckenlast, die am Schwerpunkt des ideellen Querschnitts einwirkt, der aus den wirksamen Teilen der Steife und den angrenzenden wirksamen Flächen der ausgesteiften Platte besteht
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der Abscherkraft in einem Verbindungselement
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Abscheren eines Verbindungselements, bestimmt für die entsprechende Art des mechanischen Verbindungselements oder der Schweißnaht
$F_{v,Rk}$	charakteristische Beanspruchbarkeit für Abscheren eines Verbindungsmittels, bestimmt für die entsprechende Art des mechanischen Verbindungselements oder der Schweißnaht
$F_{w,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer Kehlnaht- oder Lochschweißverbindung
$F_{R1}, F_{R2}$	Reaktionskräfte in Querrichtung in der Gurtebene
$G$	Schubmodul
$I$	Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts
$I'$	Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts bezogen auf die Schwerachsen $y'-y'$ or $z'-z'$

$I_{\text{eff}}$	Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts
$I_{\text{fic}}$	Trägheitsmoment eines fiktiven wirksamen Querschnitts für die Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$I_{\text{fz}}$	Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts des freien Gurtes zuzüglich des mitwirkenden Stegflächenanteils bei Biegung um die z-z-Achse
$I_{\text{lt,a}}$	Trägheitsmoment des breiten Gurts eines Kassettenprofils um seine eigene Schwerachse parallel zum breiten Gurt
$I_{\text{sh}}$	Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts mit scharfkantigen Ecken
$I_{\text{st}}$	Trägheitsmoment des Steifenquerschnitts
$I_{\text{st,a}}$	Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts einer einzelnen druckbeanspruchten Stegsteife oder der Stegsteife, die in Stegen mit zwei Steifen in Trapezprofilen dem Druckgurt näher liegt, um die eigene Schwerachse parallel zum ausgesteiften Querschnittsteil
$I_{\text{T}}$	Torsionswiderstand (St. Venant'sches Trägheitsmoment) des Bruttoquerschnitts
$I_{\text{w}}$	Wölbwiderstand des Bruttoquerschnitts
$I_{\text{w,eff}}$	Wölbwiderstand des wirksamen Querschnitts
$I_{\text{w,sh}}$	Wölbwiderstand des Bruttoquerschnitts mit scharfkantigen Ecken
$I(\sigma)_{\text{eff}}$	Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts, berechnet für eine bei der Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit verwendete maximale Spannung $\sigma \geq \sigma_{\text{gr}}$
$K$	äquivalente lineare Steifigkeit einer Wegfeder, die die teilweise Verdrehbehinderung durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente bei einer Bauteilbemessung repräsentiert
$K_{\text{a}}$	Steifigkeitsparameter zur Berücksichtigung einer vorhandenen Stahlabdeckplatte bei der Bestimmung der Rotationssteifigkeit von Trapezprofilen
$K_{\text{A}}$	Steifigkeit gegen seitliche Verschiebung eines Bauteils infolge der Rotationssteifigkeit des Anschlusses von Profiltafel und Bauteil
$K_{\text{B}}$	Steifigkeit gegen seitliche Verschiebung eines Bauteils infolge der Profilverformung des Bauteilquerschnitts
$K_{\text{C}}$	Steifigkeit gegen seitliche Verschiebung eines Bauteils infolge der Biegesteifigkeit der Profiltafeln
$K_{\text{fz}}$	Federsteifigkeit der Druckgurte von Kassettenprofilen
$K_{\text{ol,f}}$	Federsteifigkeit, die die Verbindungselemente in überdeckten Gurten von Trapezprofilen repräsentiert
$K_{\text{ol,w}}$	Federsteifigkeit, die die Verbindungselemente in den überdeckten Stegen von Trapezprofilen repräsentiert

$K_{st}$	Federsteifigkeit einer Steife in einem kaltgeformten Stahlquerschnitt
$K_{st,1}$	Federsteifigkeit einer Steife in Gurt 1
$K_1$	kategorieabhängiger Koeffizient zur Berechnung der Beanspruchbarkeit unter Querbelastungen
$L$	Bauteillänge
$L_a$	Abstand zwischen Schlaufnern, sofern vorhanden, sonst die Stützweite des Bauteils
$L_{dia}$	Gesamtlänge des Schubfelds aus Stahl in Richtung der Spannweite der Profiltafel
$L_e$	Abstand zwischen einem Verformungsmesspunkt und dem Auflager der Profiltafel in einem Versuch
$L_{lim}$	maximale Stützweite von Profiltafeln, die von einer einzelnen Person betreten werden dürfen
$L_{lim,test}$	maximale Stützweite von Profiltafeln, die von einer einzelnen Person betreten werden dürfen, bestimmt durch Versuche
$L_{span}$	Stützweite von Profiltafeln oder Sandwichelementen
$L_T$	Länge des Bauteils zwischen Torsions- und/oder Wölbbehinderungen
$L_{test}$	Stützweite im Versuch
$M$	Biegemoment
$M_{c,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts
$M_{c,Rk}$	charakteristische Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts
$M_{c,Rd,com}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Verwendung des Widerstandsmoments für die Druckseite
$M_{c,Rd,ten}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Verwendung des Widerstandsmoments für die Zugseite
$M_d$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit ermittelt durch Versuche
$M_{d,lim}$	Bemessungswert der Stützmomentenbeanspruchbarkeit von Profiltafeln, bestimmt durch Versuche, entsprechend eines frei gewählten Rotationsgrenzwertes $\theta_{lim}$
$M_{Ed}$	Bemessungswert des Biegemoments
$M_{f,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts, der ausschließlich aus den wirksamen Gurtflächen besteht
$M_{fz,Ed}$	Bemessungswert des Querbiegemoments am freien Gurt eines Bauteils

$M_{lt,c,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Kassettenprofils mit druckbeanspruchtem breitem Gurt
$M_{lt,t,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Kassettenprofils mit zugbeanspruchtem breitem Gurt
$M_{mean}$	Mittelwert der Biegemomententragfähigkeiten aus Versuchen
$M_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, der ausschließlich aus den wirksamen Gurtflächen und der Bruttofläche des Stegs besteht
$M_{span,Ed}$	höchster Bemessungswert des Feldmoments
$M_{supp,Ed}$	Bemessungswert des Stützmoments
$M_{supp,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit am Auflager
$M_0$	Wert des Biegemoments, der zur Berechnung der Beanspruchbarkeit bei kombinierter Biegemomenten- und Querbeanspruchung verwendet wird
$M_{0,fz,Ed}$	Ausgangswert des Querbiegemoments am freien Gurt eines Bauteils ohne Federlagerung
$\hat{M}_{c,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit von gebogenen Profiltafeln ohne Berücksichtigung der Bogentragwirkung
$N$	Normalkraft
$N_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit
$N_{b,Rk,ref}$	Biegeknickbeanspruchbarkeit des schmalen Gurts eines Kassettenprofils, berechnet mit der Referenzknicklänge
$N_{b,Rk,1}$	Biegeknickbeanspruchbarkeit des schmalen Gurts eines Kassettenprofils, berechnet mit der maßgebenden Knicklänge
$N_{cr}$	elastische ideale Verzweigungslast eines Bauteils
$N_{cr,i}$	Mindestwert der elastischen idealen Verzweigungslast eines Bauteils
$N_{cr,T}$	elastische ideale Verzweigungslast für Drillknicken
$N_{cr,TF}$	elastische ideale Verzweigungslast für Biegedrillknicken
$N_{c,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines Querschnitts bei konstanter Druckbeanspruchung
$N_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
$N_{Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Normalkraftbeanspruchung
$N_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugkraftbeanspruchbarkeit

$N_{\text{test}}$	Anzahl von Versuchen
$P$	Eckmittelpunkt von angrenzenden, ebenen Querschnittsteilen in einem kaltgeformten Stahlquerschnitt
$R$	Radius der Profilierungen in Wellprofilen
$R_{\text{adj}}$	anhand von Prüfergebnissen ermittelter normierter Wert der Tragfähigkeit
$R_{\text{adj},i}$	anhand des $i$ -ten Prüfkörpers ermittelter normierter Wert der Tragfähigkeit
$R_{\text{adj},i,j}$	normierter Wert der Tragfähigkeit des Prüfkörpers $i$ der Prüfreihe $j$
$R_{\text{adj},m,j}$	Mittelwert der normierten Tragfähigkeiten der Prüfreihe $j$
$R_d$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit, ermittelt durch Versuche
$R_{\text{eh}}$	Wert der Streckgrenze nach Produktnorm
$R_k$	charakteristischer Wert der Beanspruchbarkeit, ermittelt durch Versuche
$R_{k,j}$	charakteristischer Wert der Beanspruchbarkeit, ermittelt aus einer Versuchsreihe $j$
$R_m$	Wert der Zugfestigkeit nach Produktnorm
$R_{\text{obs}}$	Wert der Beanspruchbarkeit, ermittelt durch Versuche
$R_{\text{obs,min}}$	Mindestwert der Beanspruchbarkeit, ermittelt durch Versuche
$R_{p0,2}$	Wert der 0,2 %-Dehngrenze nach Produktnorm
$R_w$	Reaktionskraft in der Ebene des Stegs
$R_{w,Rd}$	Beanspruchbarkeit des Steges unter Querbelastungen
$R_0$	Wert der Querbelastung, mit der die Beanspruchbarkeit unter kombinierten Biegemomenten und Querbelastungen berechnet wird
$S$	Beitrag der Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente zur Schubsteifigkeit
$S_{\text{It}}$	Schubsteifigkeit eines Schubfelds aus Kassettenprofilen aus Stahl je Längeneinheit
$U_i$	Ausnutzungsgrad eines Stoßes oder eines Anschlusses
$V_{b,Rd}$	Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit eines Querschnitts in der Ebene des Stegs
$V_{\text{Ed}}$	Bemessungswert der Querkraft
$V_{\text{supp},l,\text{Ed}}$	Querkraft in der Nähe des Auflagers in Profiltafeln mit einzelnen Überdeckungen
$V_{w,Rd}$	Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit eines Querschnitts senkrecht zu den Gurten

$V_x$	Variationskoeffizient
$W$	Widerstandsmoment eines Querschnitts
$W_{\text{eff}}$	elastisches Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts unter Berücksichtigung von Plattenbeulen und Forminstabilität
$W_{\text{el}}$	elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts
$W_{\text{fz}}$	elastisches Widerstandsmoment des Querschnitts, bestehend aus dem Bruttoquerschnitt des freien Gurtes eines Bauteils zuzüglich des mitwirkenden Stegflächenanteils bei Biegung um die z-z-Achse
$W_{\text{pl}}$	plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts;
$W_{\text{pp,eff}}$	teil-plastisches Widerstandsmoment eines wirksamen Querschnitts mit einer bilinearen Spannungsverteilung in der Zugzone und einer linearen Spannungsverteilung in der Druckzone
$X$	Schnittpunkt der Mittellinien angrenzender ebener Querschnittsteile in einem kaltgeformten Stahlquerschnitt

### 3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

$a_{\text{end}}$	Abstand zwischen der Innenkante des Endauflagers und dem Ende der Profiltafel (in Endauflagerversuchen)
$a_f$	Abstand zwischen den Verbindungselementen in den Gurten der Profiltafel und dem Steg
$a_{\text{fp}}$	Abstand vom Verbindungselement zwischen Profiltafel und Bauteil zum Steg des Bauteils
$a_{\text{ol}}$	Länge der Überdeckung von Trapezprofilen
$a_{\text{per}}$	Abstand zwischen den Mittelpunkten der Perforierung in Profiltafeln
$a_{\text{pur}}$	Abstand zwischen Bauteilen
$a_s$	Abstand von der Last $q_{\text{ed}}$ zum Schubmittelpunkt (gemessen in y-Richtung)
$a_{\text{w,min}}$	minimaler Abstand zwischen dem Mittelpunkt einer Lichtbogenpunktschweißung und dem Rand einer angrenzenden Schweißnaht
$a-a$	Schwerachse der Steife parallel zu den auszusteifenden, angrenzenden ebenen Querschnittsteilen
$b$	Gesamtbreite des Gurtes
$b_a$	Breite des Gurtes eines Bauteils
$b_c$	Breite der Druckzone, bestimmt anhand einer bilinearen Spannungsverteilung
$b_{\text{cleat}}$	Breite des Pfettenschuhs

$b_{\text{corr}}$	Rippenabstand des Trapezprofils
$b_{\text{corr,max}}$	maximal zulässiger Rippenabstand des Trapezprofils
$b_{\text{curl}}$	Hälfte des Abstandes zwischen den Stegen von Kasten- und Hutprofilen oder die Breite des über den Steg hinausragenden Gurtanteils, erforderlich für die Berechnung des Eindrehens der Gurte
$b_{\text{df}}$	abgewickelte Breite eines Gurts, entlang seiner Mittellinie gemessen, einschließlich aller Gurtsteifen
$b_e$	Anteil eines Druckgurts mit zwei Steifen in Trapezprofilen
$b_{\text{eff}}$	wirksame Breite eines ebenen Querschnittsteils
$b_{e1}$	Anteil der wirksamen Breite eines ebenen Querschnittsteils
$b_{e2}$	Anteil der wirksamen Breite eines ebenen Querschnittsteils
$b_{e0}$	wirksame Breite eines einseitig gestützten Querschnittsteils
$b_f$	Gurtbreite, gemessen von der Mittellinie des Stegs
$b_i$	Breite eines ebenen Querschnittsteils $i$
$b_{i,e1}$	Anteil der wirksamen Breite eines ebenen Querschnittsteils $i$
$b_{i,e2}$	Anteil der wirksamen Breite eines ebenen Querschnittsteils $i$
$b_{K1}$	Abstand von der Steg-Gurt-Verbindung zum Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts der Randsteife von Gurt 1
$b_{K2}$	Abstand von der Steg-Gurt-Verbindung zum Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts der Randsteife von Gurt 2
$b_{\text{lt}}$	Gesamtbreite des breiten Gurts von Kassettenprofilen
$b_{\text{lt,eff}}$	wirksame Breite des breiten Gurts von Kassettenprofilen
$b_m$	Anteil eines Druckgurts mit einer Steife in Trapezprofilen
$b_{\text{mod}}$	modifizierte Breite eines Bauteilgurts, der mit Profiltafeln verbunden ist
$b_p$	Nennwert der geraden Breite von ebenen Querschnittsteilen
$b_{p,c}$	Nennwert der geraden Breite einer einfach umgeformten Randsteife (Lippe)
$b_{p,c1}, b_{p,c2}$	Nennwerte der geraden Breiten einer doppelt umgeformten Randsteife (Bördel)
$b_{p,i}$	Nennwert der geraden Breite von ebenen Querschnittsteilen $i$ in einem Querschnitt mit scharfkantigen Ecken

$b_{\text{rib}}$	Rippenbreite von Trapezprofilen
$b_{\text{st}}$	Breite der Gurtsteife in Trapezprofilen, parallel zur Mittellinie des Gurts gemessen
$b_{\text{st,d}}$	abgewickelte Breite einer Steife in Trapezprofilen, entlang der Mittellinie der Steife gemessen
$b_{\text{st,mult}}$	Breite eines Druckgurts von Trapezprofilen mit mehreren Steifen, parallel zur Mittellinie des Druckgurts gemessen
$b_{\text{st,d,mult}}$	abgewickelte Breite eines Druckgurts von Trapezprofilen mit mehreren Steifen, entlang der Mittellinie der Steifen gemessen
$b_{\text{supp}}$	Auflagerbreite von Profiltafeln in Auflagerversuchen
$b_{\text{sw}}$	Breite eines Sandwichelements
$b_{\text{t}}$	Breite der Zugzone, bestimmt anhand einer bilinearen Spannungsverteilung
$b_{\text{tot,i}}$	Anteile der Gurtbreite des Trapezprofils
$b_{\text{u}}$	Gurtbreite des Trapezprofils, das an dem stützenden Bauteil befestigt ist
$b_{\text{u,max}}$	maximal zulässige Gurtbreite des Trapezprofils, das an der Unterkonstruktion befestigt ist
$\bar{b}$	maßgebende Breite eines ebenen Querschnittsteils für den Nachweis des Plattenbeulens
$b-b$	Schwerachse der Steife senkrecht zu den auszusteifenden, angrenzenden ebenen Querschnittsteilen
$c$	Breite der Lippe einer einfach umgeformten Randsteife
$c_{\text{eff}}$	wirksame Breite der Lippe einer einfach umgeformten Randsteife
$c_{\text{eq}}$	äquivalente Breite der Lippe (einer einfach umgeformten Randsteife), die nicht senkrecht zum Gurt ist
$c_{\text{k}}$	Abstand zwischen den beiden Verbindungselemente eines Paares in Sandwichelementen
$c_{\text{l}}$	Breite der Lippe, gemessen von der Mittellinie des Gurts
$c_{\text{l}}$	Breite des beidseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife
$c_{\text{l,eq}}$	äquivalente Breite einer doppelt umgeformten Randsteife, die nicht senkrecht zum Gurt ist
$c_{\text{l,eff}}$	wirksame Gesamtbreite des beidseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife
$c_{\text{l,e1}}$	Anteil der wirksamen Breite des beidseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife

$c_{1,e2}$	Anteil der wirksamen Breite des beidseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife
$c_{1,l}$	Breite des beidseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife, gemessen zwischen den Mittellinien der angrenzenden Querschnittsteile
$c_2$	Breite des einseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife
$c_{2,l}$	Breite des einseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife, gemessen zwischen den Mittellinien der angrenzenden Querschnittsteile
$c_{2,eff}$	wirksame Breite des einseitig gestützten, ebenen Querschnittsteils in einer doppelt umgeformten Randsteife
$d$	Nenndurchmesser eines Verbindungselements, im Allgemeinen der Gewindeaußendurchmesser
$d_{as}$	sichtbarer Durchmesser einer Lichtbogenpunktschweißung
$d_p$	wirksamer Umfangsdurchmesser einer Lichtbogenpunktschweißung
$d_{per}$	Durchmesser der Perforierung in Profiltafeln
$d_s$	Linsendurchmesser einer Punktschweißung oder Lichtbogenpunktschweißung
$d_w$	Durchmesser der Unterlegscheibe oder des Kopfes eines Verbindungselements
$d_o$	Nenndurchmesser des Lochs für ein Verbindungselement
$e$	Abstand der Verbindungselemente zur Befestigung von Profiltafeln und Bauteil
$e_N$	Verschiebung des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts im Verhältnis zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts
$e_f$	Exzentrizität von Verbindungselementen in Profiltafeln
$e_{lt,0}$	Abstand von der Schwerachse des Bruttoquerschnitts von Kassettenprofilen zur Schwerachse der schmalen Gurte
$e_u$	Abstand zwischen den Längsstoß-Verbindungselementen in Stegen von Kassettenprofilen zum breiten Gurt
$e_w$	Exzentrizität der Stegumformungen zur Verbindungslinie der Stegendpunkte
$e_0$	Vorkrümmung
$e_{0,LT}$	Vorkrümmung bei Biegedrillknicken
$e_1$	Randabstand in Krafrichtung, gemessen vom Mittelpunkt des Verbindungselementes bis zum angrenzenden Rand des angeschlossenen Bauteils
$e_2$	Randabstand senkrecht zur Krafrichtung, gemessen vom Mittelpunkt des Verbindungselementes bis zum angrenzenden Rand des angeschlossenen Bauteils

$f_{bv}$	Schubfestigkeit unter Berücksichtigung des Schubbeulens
$f_{Cc}$	Druckfestigkeit des Kernwerkstoffs von Sandwichelementen
$f_{Ct}$	Zugfestigkeit des Kernwerkstoffs von Sandwichelementen
$f_u$	Zugfestigkeit des Werkstoffs; bei Verbindungen mit Schrauben oder Schweißnähten: die Zugfestigkeit des Werkstoffs des stützenden Bauteils, in dem eine Schraube befestigt wird oder auf dem eine Schweißnaht aufgebracht wird
$f_{ub}$	Zugfestigkeit des Werkstoffs eines Verbindungselements
$f_{uw}$	Zugfestigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes
$f_{u,I}$	bei Befestigungen mit Nieten, Schrauben oder Setzbolzen: die Zugfestigkeit des Bauteils I direkt unterhalb des Kopfes des Verbindungselements (bei Blindnieten der Setzkopf)
$f_{u,II}$	bei Befestigungen mit Nieten, Schrauben oder Setzbolzen: die Zugfestigkeit des Bauteils II (üblicherweise die Unterkonstruktion)
$f_y$	Streckgrenze
$f_{ya}$	durchschnittliche Streckgrenze zur Berücksichtigung der Kaltverfestigung infolge Kaltumformung
$f_{yb}$	Basisstreckgrenze
$f_{ym}$	durchschnittliche gemessene Basisstreckgrenze eines Bauteils im Versuch
$f_{yb,obs}$	experimentell gemessene Basisstreckgrenze
$g_r$	Abstand zwischen dem Mittelpunkt $P$ einer Ecke eines kaltgeformten Stahlquerschnitts und dem Schnittpunkt $X$ der Mittellinien
$g_s$	Abstand zwischen dem belasteten Gurt eines kaltgeformten Stahlquerschnitts und dem Schubmittelpunkt, gemessen in $z$ -Richtung
$h$	Gesamthöhe des Querschnitts
$h_a$	Anteil der Höhe eines ausgesteiften Trapezprofilstegs
$h_b$	Anteil der Höhe eines ausgesteiften Trapezprofilstegs
$h_c$	Abstand zwischen der Schwerachse des wirksamen Querschnitts des Trapezprofils und der Mittellinie des Druckgurts
$h_d$	abgewickelte Höhe eines Stegs, entlang der Steg-Mittellinie gemessen, einschließlich aller Stegsteifen
$h_{t,u}$	Höhe der Profilierungen im breiten Gurt von Kassettenprofilen

$h_{st,a}$	Breite einer einzelnen druckbeanspruchten Stegsteife oder der Stegsteife, die in Stegen mit zwei Steifen in Trapezprofilen dem Druckgurt näher liegt
$h_{st,b}$	Breite einer zweiten Steife in Stegen mit zwei Steifen in Trapezprofilen
$h_t$	Abstand zwischen der Nulllinie des wirksamen Querschnitts des Trapezprofils und der Mittellinie des Zuggurts
$h_w$	Höhe des Stegs zwischen den Mittellinien der Gurte
$i_{fz}$	Trägheitsradius des freien Gurts eines Bauteils
$i$	Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts
$i_{min}$	minimaler Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts
$i_0$	polarer Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts bezogen auf den Schubmittelpunkt
$k_A$	Koeffizient zur Berechnung der Rotationssteifigkeit der Verbindung von Profiltafeln und Bauteilen für den Lastfall Auflast
$k_{ba}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Bauteilbreite bei der Berechnung der Rotationssteifigkeit der Verbindung von Profiltafeln und Bauteilen
$k_{b,corr}$	Koeffizient zur Berücksichtigung des Rippenabstands von Trapezprofilen bei der Berechnung der Rotationssteifigkeit der Verbindung von Profiltafeln und Bauteilen
$k_{bu}$	Koeffizient zur Berechnung der Rotationssteifigkeit der Verbindung von Profiltafeln und Bauteilen für den Lastfall abhebender Last
$k_{ce}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der umgeformten Querschnittsteile des Bruttoquerschnitts
$k_{c1}$	Koeffizient für Sandwichelemente, der vom Kernwerkstoff abhängig ist
$k_{c2}$	Koeffizient für Sandwichelemente, der vom Kernwerkstoff abhängig ist
$k_{fp}$	Koeffizient, der vom Umformprozess abhängig ist
$k_h$	Koeffizient für die Umrechnung der Torsion- und Querbiegebeanspruchungen von Bauteilen in eine äquivalente horizontale Last
$k_{h0}$	Koeffizient zur Bestimmung der äquivalenten horizontalen Last am freien Gurt eines Bauteils
$k_{i, sb}$	Koeffizienten zur Berechnung der Beanspruchbarkeit eines Steges mit Querbelastungen
$k_{id,i}$	Koeffizienten zur Berücksichtigung der Ausbreitung von Querbelastungen in Trapezprofilen
$k_{lf}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Art der Belastung in Gurten eines Querschnitts
$k_{ls}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Belastung von Trapezprofilen
$k_n$	Koeffizient für die statistische Auswertung von Versuchsergebnissen

$k_{\text{num}}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Anzahl der Schrauben in einer Verbindung
$k_{\text{ol}}$	Koeffizient zur Berechnung der Federsteifigkeit der Verbindungen an Überdeckungen von Profiltafeln
$k_{\text{pur}}$	Koeffizient zur Berechnung der Rotationssteifigkeit eines Bauteils
$k_{\text{ss}}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Lagerung eines Bauteils
$k_{\text{st,w}}$	Koeffizient zur Berechnung der Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Stegs unter Querbelastungen
$k_{\text{t}}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Dicke von Profiltafeln oder Bauteilen bei der Berechnung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Schrauben
$k_{\text{v}}$	Schubsteifigkeit eines Verbindungselements von Sandwichelementen
$k_{\alpha}$	Steifigkeitskoeffizient für Schubfelder aus Kassettenprofilen aus Stahl
$k_{\theta\text{f}}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der teilweisen Drehbettung der Stege von Trapezprofilen durch die Gurte
$k_{\theta\text{w}}, k_{\theta\text{w}0}$	Koeffizienten zur Berücksichtigung der teilweisen Drehbettung des Druckgurts durch die Stege oder andere angrenzende Querschnittsteile in Trapezprofilen
$k_{\sigma}$	Beulwert für ebene Querschnittsteile unter Längsspannungen
$k_{\tau}$	Beulwert für ebene Querschnittsteile unter Schubspannungen
$k_1$	Faktor für Sandwichelemente
$l_{\text{A}}$	Breite der Profiltafeln im Versuch an Biegeträgern mit Verdrehbehinderung durch Profiltafeln
$l_{\text{B}}$	Länge der Träger im Versuch an Biegeträgern mit Verdrehbehinderung durch Profiltafeln
$l_{\text{bl}}$	wirksame Länge der Lasteinleitung
$l_{\text{cr}}$	Halbwellenlänge, entsprechend dem minimalen Wert der idealen Verzweigungsspannung
$l_{\text{cr,f}}$	Halbwellenlänge des ausgesteiften Druckgurts in Trapezprofilen
$l_{\text{cr,T}}$	Knicklänge beim Drillknicken oder Biegedrillknicken von Bauteilen unter Normalkraft
$l_{\text{cr,LT}}$	Knicklänge beim Biegedrillknicken von Trägern unter Biegebeanspruchung
$l_{\text{cr,y}}, l_{\text{cr,z}}$	Knicklängen beim Biegeknicken von Bauteilen
$l_{\text{end}}$	Abstand zwischen dem freien Ende eines Bauteils und der Einleitungsstelle der Querbelastung
$l_{\text{F}}$	Länge, über die Querbelastungen eingeleitet werden

$l_{fz}$	Knicklänge des freien Gurts eines Bauteils
$l_{sb}$	Nennlänge der starren Lasteinleitung
$l_{spac}$	Abstand zwischen Querbelastungen, die auf gegenüberliegende Seiten des Stegs eingeleitet werden
$l_T$	Knicklänge für Drillknicken oder Biegedrillknicken unter Normalkraft, bestimmt unter Berücksichtigung der vorhandenen Torsions- und/oder Wölbbehinderungen am jeweiligen Ende der Systemlänge $L_T$
$l_w$	Gesamtlänge einer Kehlnaht
$l_{w,e}$	wirksame Länge einer Stirnkehlnaht
$l_{w,s}$	wirksame Länge einer Flankenkehlnaht
$l_{w,as}$	Länge einer länglichen Lichtbogenpunktschweißung
$m$	einwirkendes Biegemoment je Längeneinheit einer Profiltafel oder eines Sandwichelements
$n$	Anzahl
$n_c$	Anzahl der Profilierungen zwischen dem Längsrand einer Profiltafel und dem entsprechenden Rand der nächsten Profiltafel
$n_f$	Anzahl der mechanischen Verbindungselemente in einer Verbindung
$n_{ce}$	Anzahl der umgeformten Querschnittsteile in einem kaltgeformten Stahlquerschnitt
$n_k$	Anzahl der Verbindungselementpaare je Sandwichelement und Auflager
$n_j$	Anzahl der einzelnen Versuche in Versuchsreihen $j$
$n_p$	Anzahl der vollständigen Rippen mit Überdeckungen von Profiltafeln innerhalb der Breite $n_c$
$n_{pe}$	Anzahl der ebenen Querschnittsteile in einem kaltgeformten Stahlquerschnitt
$n_r$	Anzahl der Umbiegungen um $90^\circ$ mit einem Innenradius von $r \leq 5t$ im Querschnitt
$n_s$	Anzahl der Bleche, die mit derselben Schraube oder demselben Verbindungselement an dem stützenden Bauteil befestigt sind
$n_w$	Anzahl von Punktschweißungen in einer Verbindung
$p$	Breite der Profilierungen in Wellprofilen
$p_{ol}$	Abstand von Verbindungselementen in Überdeckungen von Trapezprofilen
$p_1$	Achsabstand von Verbindungselementen in Kraftrichtung

$p_{1,lt}$	Achsabstand von Verbindungselementen in Kassettenprofilen in Längsrichtung
$p_2$	Achsabstand von Verbindungselementen senkrecht zur Krafrichtung
$q$	Eigengewicht des Daches, einschließlich des Eigengewichts der Profiltafeln
$q_{Ed}$	gleichmäßig verteilt wirkende Last auf ein Bauteil
$q_{h,Ed}$	äquivalente horizontale Last am freien Gurt eines Bauteils, die durch Torsion und Querbiegung hervorgerufen wird
$q_{pur}$	Belastung, die durch Profiltafeln in ein Bauteil eingeleitet wird
$q_s$	Abscherkraft in einem Verbindungselement zur Befestigung von Profiltafel und Bauteil
$q_t$	Zugkraft in einem Verbindungselement zur Befestigung von Profiltafel und Bauteil
$q_0$	Eigengewicht des Daches, einschließlich des Eigengewichts der Profiltafeln multipliziert mit dem Vergrößerungsfaktor $a_{per}$
$r$	innerer Biegeradius
$r_{beam}$	Krümmungsradius eines Bogenträgers
$r_{ce,j}$	innerer Biegeradius eines umgeformten Querschnittsteils $j$
$r_m$	Biegeradius, gemessen entlang der Mittellinien des kaltgeformten Stahlquerschnitts
$s$	Gewindesteigung von Verbindungselementen
$s_a$	Anteil der geneigten Steghöhe eines Trapezprofils
$s_b$	Anteil der geneigten Steghöhe eines Trapezprofils
$s_c$	Anteil der geneigten Steghöhe eines Trapezprofils
$s_d$	abgewinkelte Steghöhe einschließlich der Stegsteifen, gemessen entlang der Mittellinien des Stegs
$s_{eff,0}$	Grundwert der wirksamen Breite des Stegs eines Trapezprofils
$s_{eff,i}$	Anteile der wirksamen Breite des Stegs eines Trapezprofils
$s_{eff,n}$	Anteil der wirksamen Breite des Stegs des Trapezprofils, der der Schwerachse am nächsten ist
$s_n$	Anteil der geneigten Steghöhe eines Trapezprofils
$s_p$	geneigte Höhe des breitesten, ebenen Querschnittsteils im Steg
$s_{per}$	geneigte Höhe des perforierten Teils eines Stegs des Trapezprofils

$s_{pF}$	geneigte Höhe des ebenen Querschnittsteils des Steges, das dem querbelasteten Gurt am nächsten ist
$s_{st,a}$	Anteil der Stegsteife eines Trapezprofils
$s_{st,b}$	Anteil der Stegsteife eines Trapezprofils
$s_{tot,i}$	Summe der Anteile der Steghöhen eines Trapezprofils
$s_w$	geneigte Steghöhe, gemessen zwischen den Mittellinien der Gurte und parallel zum Steg
$s_x$	Standardabweichung der Versuchsergebnisse
$t$	Bemessungsdicke des Stahlwerkstoffs
$t_{a,eq}$	äquivalente Dicke perforierter Profiltafeln zur Berechnung der Querschnittswerte des Bruttoquerschnitts
$t_{b,eq}$	äquivalente Dicke perforierter Profiltafeln zur Berechnung der Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts
$t_{c,eq}$	äquivalente Dicke perforierter Profiltafeln zur Berechnung der Beanspruchbarkeit des Steges mit Querbelastungen
$t_{cleat}$	Dicke eines Pfettenschuhs
$t_{cor}$	Nennstärke abzüglich der Dicke der Zinküberzüge und anderer metallischer Überzüge
$t_{cor,obs}$	experimentell gemessene Kernstärke
$t_{eff}$	wirksame Dicke eines Anteils des einseitig gestützten Querschnittsteils zur Berücksichtigung des Plattenbeulens
$t_{eq}$	äquivalente Dicke des Stahlwerkstoffs
$t_{F2}$	Nennstärke der Deckschichten aus Stahl von Sandwichelementen
$t_{lt,eq}$	äquivalente Dicke des breiten Gurts eines Kassettenprofils
$t_{mc}$	Dicke der Zinküberzüge und anderer metallischer Überzüge
$t_{nom}$	Nennblechdicke nach dem Kaltumformen einschließlich Zinküberzüge und anderer metallischer Beschichtungen, jedoch ohne jegliche organische Beschichtungen
$t_{obs}$	experimentell gemessene Dicke des Werkstoffs
$t_{red}$	reduzierte Bemessungsdicke einer Steife zur Berücksichtigung der Forminstabilität
$t_{sheet}$	Dicke des Stahlblechs
$t_{supp}$	Bemessungsdicke des Gurts des stützenden Bauteils

$t_w$	Dicke einer Unterlegscheibe aus Stahl
$t_I$	bei Befestigungen mit Nieten, Schrauben oder Setzbolzen: die Dicke des Bauteils I direkt unterhalb des Kopfes des Verbindungselements (bei Blindnieten der Setzkopf)
$t_{II}$	bei Befestigungen mit Nieten, Schrauben oder Setzbolzen: die Dicke des Bauteils II (üblicherweise die Unterkonstruktion)
$t_1$	bei Punktschweißungen: die Dicke des dickeren angeschlossenen Bauteils
$v_{curl}$	größte Verformung eines Gurts zur Nulllinie infolge des Eindrehens des Gurts
$v_{lt,Ed}$	Bemessungswert des Schubflusses in einem Kassettenprofil in Richtung der Stützweite, je Längeneinheit der Stützweite
$v_{lt,Rd}$	Bemessungswert des Schubflusses in einem Kassettenprofil in Richtung der Stützweite, je Längeneinheit
$v_{lt,Ed,ser}$	Schubfluss in einem Schubfeld aus Kassettenprofilen aus Stahl im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$v_{lt,Rd,ser}$	Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit eines Schubfelds aus Kassettenprofilen aus Stahl im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$v_{st}$	Durchbiegung einer Steife infolge einer Einheitslast $F_{unit}$
$w$	Gesamtbreite von Wellprofilen
$x$	Abstand in $x$ -Richtung entlang des Bauteils
$x_A$	Abstand in $x$ -Richtung zwischen dem betrachteten Querschnitt und einem gelenkigen Auflager oder einem Momentennullpunkt
$x_B$	Abstand in $x$ -Richtung zwischen dem betrachteten Querschnitt und einem gelenkigen Auflager oder einem Momentennullpunkt
$x_{i,j}$	normierte Werte der Beanspruchbarkeit, ermittelt durch Versuche
$x_s$	Abstand in $x$ -Richtung zwischen dem betrachteten Querschnitt und einem gelenkigen Auflager oder einem Momentennullpunkt
$x-x$	Achse entlang des Bauteils
$y$	Abstand in $y$ -Richtung, gemessen von der Nulllinie des Querschnitts
$y-y$	Hauptachse eines Querschnitts
$y'-y'$	Schwerachse eines Querschnitts, die parallel zu den Gurten verläuft oder Schwerachse der Profiltafel, die parallel zur Ebene der Profiltafel verläuft
$y_o$	$y$ -Koordinate des Schubmittelpunkts in Bezug zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts
$z$	Abstand in $z$ -Richtung, gemessen von der Nulllinie des Querschnitts

$z_c$	Abstand in z-Richtung zwischen dem Druckgurt und der Nulllinie des Querschnitts
$z_t$	Abstand in z-Richtung zwischen dem Zuggurt und der Nulllinie des Querschnitts
$z_o$	y-Koordinate des Schubmittelpunkts in Bezug zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts
$z-z$	Hauptachse eines Querschnitts
$z'-z'$	Schwerachse eines Querschnitts, die parallel zum Steg verläuft oder Schwerachse der Profiltafel, die senkrecht zur Ebene der Profiltafel verläuft

### 3.2.3 Griechische Großbuchstaben

$\Delta_{tol}$	Minustoleranz der Dicke in %, wie in der Produktnorm oder der Produktionsspezifikation festgelegt
$\Delta M_{Ed}$	zusätzliches Biegemoment infolge der Verschiebung des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts in Bezug zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts

### 3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben

$\alpha$	Exponent zur Normierung von Versuchsergebnissen
$\alpha_b$	Koeffizient zur Berechnung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Schrauben
$\alpha_l$	Exponent zur Berechnung der Vorkrümmungen
$\alpha_{per}$	Lastvergrößerungsfaktor zur Berücksichtigung von Öffnungen in Profiltafeln
$\alpha_r$	Koeffizient zur Berechnung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Nieten
$\alpha_{sc}$	Koeffizient zur Berechnung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit von selbstschneidenden Schrauben
$\alpha_T$	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
$\alpha_y, \alpha_z$	Exponenten für den Nachweis des Bauteils unter kombinierter Biegemomenten- und Druckbeanspruchung
$\beta$	Exponent zur Normierung von Versuchsergebnissen
$\beta_A$	Verhältnis der wirksamen Querschnittsfläche zur Bruttoquerschnittsfläche
$\beta_{Lf}$	Abminderungsfaktor für lange Anschlüsse
$\beta_i$	Exponent zur Berechnung der Vorkrümmungen
$\beta_{lt}$	Korrelationsfaktor zur Berechnung der Biegeknickbeanspruchbarkeit von Kassettenprofilen unter Biegung
$\beta_V$	Interaktionsfaktor zur Berechnung der Beanspruchbarkeit unter Querbelastungen

$\beta_z$	Exponent für den Nachweis des Bauteils unter kombinierter Biegemomenten- und Druckbeanspruchung
$\gamma_{M0}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten
$\gamma_{M1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei globalem Stabilitätsversagen
$\gamma_{M2}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit bei Erreichen der Zugfestigkeit
$\gamma_{M,ser}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Berechnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$\delta$	Durchbiegung
$\delta_e$	durchschnittliche Durchbiegung in einem Endauflagerversuch an Profiltafeln, gemessen in einem vorgegebenen Abstand von den Auflagern
$\delta_{el}$	Durchbiegung unter einer vorgegebenen Last auf dem ansteigenden Teil der Versuchskurve in einem Zwischenauflagerversuch an Profiltafeln
$\delta_{lat}$	seitliche Verschiebung des Obergurts eines Bauteils in einem Versuch an Biegeträgern mit Verdrehbehinderung durch Profiltafeln
$\delta_{lin}$	fiktive Durchbiegung, die unter Annahme eines linearen Last-Verformungs-Verhaltens in einem Zwischenauflagerversuch an Profiltafeln ermittelt wird
$\delta_{pl}$	Durchbiegung unter einer vorgegebenen Last auf dem absteigenden Teil der Versuchskurve in einem Zwischenauflagerversuch an Profiltafeln
$\delta_y, \delta_z$	Exponenten für den Nachweis des Bauteils unter kombinierter Biegemomenten- und Druckbeanspruchung
$\varepsilon$	Werkstoffparameter in Abhängigkeit der Streckgrenze
$\varepsilon_a$	Werkstoffparameter in Abhängigkeit der mittleren Streckgrenze $f_{ya}$
$\varepsilon_b$	Werkstoffparameter in Abhängigkeit der Basisstreckgrenze $f_{yb}$
$\varepsilon_{mp,cf}$	maximal zulässige plastische Dehnung für kaltgeformte Tragstrukturen
$\zeta$	Faktor zur Berechnung der Reaktionskräfte von gelenkig gelagerten Trägern
$\eta_i$	Koeffizient zur Berechnung der Knicklänge des freien Gurts eines Bauteils in Abhängigkeit der Belastung und der Anzahl der Schlaudern
$\eta_k$	Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung einer kleinen Anzahl von Versuchsergebnissen
$\eta_{sys}$	Umrechnungsfaktor zur Berücksichtigung des unterschiedlichen Verhaltens unter Versuchsbedingungen und tatsächlichen Betriebsbedingungen
$\theta$	Rotation
$\theta_{Ed}$	Verdrehung des Bauteils im plastischen Gelenk über dem Auflager

$\theta_{\text{lim}}$	Grenzwert für die Rotation
$\kappa_R$	Korrekturfaktor für die Nachweisstelle und die Randbedingungen eines Bauteils
$\bar{\lambda}$	bezogener Schlankheitsgrad zur Berechnung einer Vorkrümmung eines Bauteils
$\bar{\lambda}_d$	bezogener Schlankheitsgrad für Forminstabilität
$\bar{\lambda}_{d,\text{red}}$	abgeminderter bezogener Schlankheitsgrad für Forminstabilität
$\bar{\lambda}_e$	bezogener Schlankheitsgrad eines ebenen Querschnittsteils für Plattenbeulen oder Forminstabilität
$\bar{\lambda}_{e,0}$	Grenzwert des bezogenen Schlankheitsgrads eines ebenen Querschnittsteils für Plattenbeulen oder Forminstabilität
$\bar{\lambda}_{fz}$	bezogener Schlankheitsgrad für Biegeknicken des freien Gurtes eines Bauteils
$\bar{\lambda}_p$	bezogener Schlankheitsgrad für Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen unter Längsspannungen
$\bar{\lambda}_{p,\text{red}}$	abgeminderter bezogener Schlankheitsgrad für Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen unter Längsspannungen
$\bar{\lambda}_w$	bezogener Schlankheitsgrad von Stegen für Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen unter Schubbeanspruchung
$\lambda_1$	Referenzschlankheitsgrad zur Bestimmung des bezogenen Schlankheitsgrads
$\mu$	Faktor zur Berücksichtigung der Ausnutzung der Biegemomentenbeanspruchbarkeit
$\mu_F$	Lastkorrekturbeiwert in Belastungsversuchen
$\mu_R$	Korrekturbeiwert für die Beanspruchbarkeit aus Versuchsergebnissen
$\mu_{so}$	Faktor zur Berücksichtigung der erhöhten Biegemomentenbeanspruchbarkeit von Profiltafeln mit Überdeckungen
$\nu$	Poisson'sche Zahl (Querkontraktionszahl)
$\xi$	Faktor zur Berechnung der Kräfte in Verbindungselementen zur Befestigung von Profiltafeln und Bauteil
$\rho$	Abminderungsfaktor für Plattenbeulen zur Berechnung der wirksamen Breite eines ebenen Querschnittsteils
$\sigma$	Längsspannung
$\sigma_a$	mittlere, auf Grundlage des Bruttoquerschnitts berechnete Spannung in den Gurten
$\sigma_{\text{com,Ed}}$	maximale Druckspannung in einem ebenen Querschnittsteil oder Steife

$\sigma_{\text{com,Ed,n,red}}$	reduzierte Druckspannung in einem ebenen Querschnittsteil oder Steife, die sich rechnerisch nach einer Anzahl von Iterationen ergibt
$\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$	Druckspannung in einem ebenen Querschnittsteil unter Belastung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$\sigma_{\text{cr}}$	elastische ideale Verzweigungsspannung eines Querschnitts, eines ebenen Querschnittsteils oder eines aus mehreren Querschnittsteilen zusammengesetzten Bauteils
$\sigma_{\text{cr,mod}}$	modifizierte elastische ideale Verzweigungsspannung von Profiltafeln mit Gurt- und Stegsteifen
$\sigma_{\text{cr,st}}$	elastische ideale Verzweigungsspannung der Steife(n)
$\sigma_{\text{cr,st,a}}$	elastische ideale Verzweigungsspannung einer einzelnen Stegsteife oder der Steife, die in Trapezprofilstegen mit zwei Steifen dem Druckgurt näher liegt
$\sigma_{\text{eff,ser}}$	maximale Biegedruckspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, berechnet mit den wirksamen Querschnittswerten
$\sigma_{\text{gr,ser}}$	maximale Biegedruckspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, berechnet mit den Bruttoquerschnittswerten
$\sigma_{\text{max,Ed}}$	Bemessungswert der maximalen Längsspannung
$\sigma_{\text{M,Ed}}$	Bemessungswert der Längsspannung infolge eines Biegemoments
$\sigma_{\text{N,Ed}}$	Bemessungswert der Längsspannung infolge einer Normalkraft
$\sigma_{\text{tot,Ed}}$	Bemessungswert der gesamten Längsspannung infolge aller auftretenden Einwirkungen
$\sigma_{\text{w,Ed}}$	Bemessungswert der Längsspannung infolge von Wölbkrafttorsion
$\sigma_1, \sigma_2$	Werte der Längsspannungen an den Längsrändern eines ebenen Querschnittselements unter der Annahme einer linearen Spannungsverteilung
$\tau_{\text{cr}}$	elastische ideale Verzweigungsspannung für Schubbeulen eines Querschnitts oder eines ebenen Querschnittselements
$\tau_{\text{t,Ed}}$	Bemessungswert der Schubspannung infolge primärer (St. Venant'scher) Torsion
$\tau_{\text{tot,Ed}}$	Bemessungswert der gesamten Schubspannung, der sich aus den Bemessungswerten sämtlicher Einwirkungen auf Grundlage des Bruttoquerschnitts ergibt
$\tau_{\text{V,Ed}}$	Bemessungswert der Schubspannung infolge einer Querkraft
$\tau_{\text{w,Ed}}$	Bemessungswert der Schubspannung infolge Wölbkrafttorsion
$\varphi_{\theta,t}$	Parameter zur Berücksichtigung der Belastungsdauer bei der Bestimmung des Elastizitätsmoduls für den Kern von Sandwichelementen
$\phi$	Winkel zwischen zwei ebenen Teilflächen, üblicherweise der Winkel zwischen dem Steg und dem Gurt von kaltgeformten Querschnitten oder Trapezprofilen

$\phi_{fic}$	Winkel zwischen dem ausgesteiften Steg und dem Gurt eines kaltgeformten Querschnitts oder einer Profiltafel bezogen auf die Linie, die die Endpunkte des ausgesteiften Stegs verbindet
$\phi_{fz}$	Parameter zur Bestimmung des Abminderungsfaktors bei globaler Instabilität
$\phi_0$	Anfangsschiefstellung
$\chi$	Abminderungsfaktor zur Bestimmung der Biegeknick- oder Biegedrillknickbeanspruchbarkeit entsprechend der maßgebenden Knicklinie
$\chi_d$	Abminderungsfaktor zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit auf Forminstabilität
$\chi_{d,n}$	Abminderungsfaktor zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit auf Forminstabilität, ermittelt nach einer Anzahl von Iterationen
$\chi_{fz}$	Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken von Bauteilen, was dem Biegeknicken des freien Gurts entspricht
$\chi_y, \chi_z$	Abminderungsfaktoren für Biegeknicken
$\chi_{TF}$	Abminderungsfaktoren für Biegedrillknicken unter Normalkraft (en: torsional-flexural buckling)
$\chi_{LT}$	Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken unter Biegemomentenbeanspruchung (en: lateral-torsional buckling)
$\psi$	Verhältnis der Längsspannungen an den äußersten Rändern eines ebenen Querschnittsteils
$\omega_{x,y}, \omega_{x,z}, \omega_{x,LT}$	Interpolationsfaktoren für den Stabilitätsnachweis von Bauteilen unter kombinierter Biege- und Druckbeanspruchung

### 3.3 Symbole der Querschnittsabmessungen

(1) Maßangaben von kaltgeformten Stahlbauteilen und Profiltafeln, einschließlich der Gesamtbreite  $b$ , der Gesamthöhe  $h$ , des inneren Biegeradius  $r$  und anderer Maße, die mit Symbolen ohne tiefgestellte Indizes gekennzeichnet sind, sind, wenn nicht anderweitig festgelegt, Außenmaße und werden, wie in Bild 3.5 dargestellt, von den Oberflächen der Werkstoffe aus gemessen.

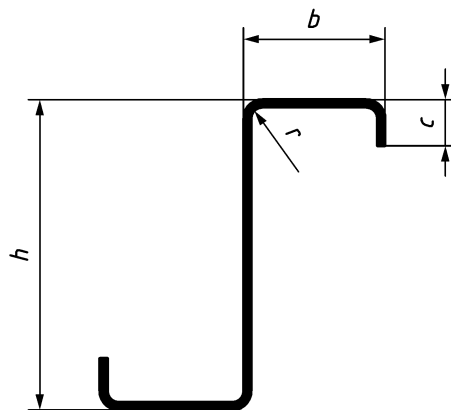


Bild 3.5 — Abmessungen eines typischen Querschnitts

(2) Die anderen Querschnittsabmessungen von kaltgeformten Stahlbauteilen und Profiltafeln, die mit tiefgestellten Indizes wie z. B.  $b_f$ ,  $h_w$  oder  $s_w$  gekennzeichnet sind, werden zwischen den Mittellinien der Bleche oder zwischen den Eckmittelpunkten vermessen, wenn nicht anderweitig festgelegt.

(3) Im Fall von geneigten Querschnittsteilen wie bei Stegen von Trapezprofilen wird die geneigte Höhe  $s_w$  parallel zur geneigten Linie gemessen, die die Schnittpunkte der Gurte und des Stegs verbindet.

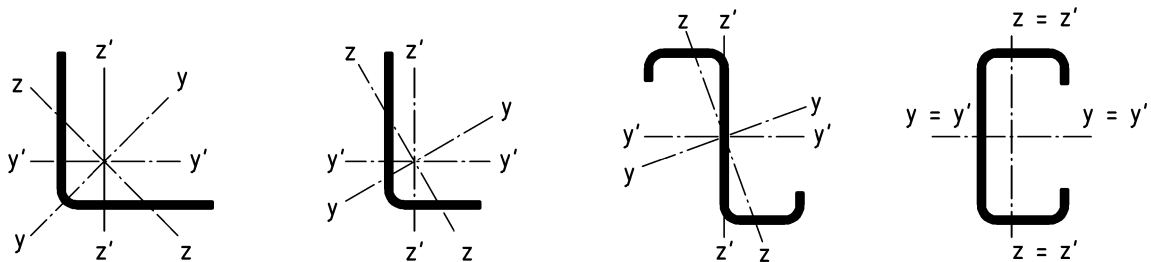
(4) Die abgewinkelte Steghöhe  $h_d$  wird entlang der Mittellinie des Stegs einschließlich aller Stegsteifen gemessen. Ein Beispiel ist in Bild 11.5 dargestellt.

(5) Die abgewinkelte Gurtbreite  $b_{df}$  wird entlang der Mittellinie des Gurtes einschließlich aller Gurtzwischensteifen gemessen. Ein Beispiel ist in Bild 8.10 dargestellt.

(6) Die Dicke  $t$  ist eine Bemessungsdicke des Stahls nach 5.2.4(4), sofern nicht anders festgelegt.

### 3.4 Symbole der Koordinatenachsen

(1) Im Allgemeinen entspricht die Definition der Koordinatenachsen für Bauteilquerschnitte der in EN 1993-1-1. Zusätzlich definiert Bild 3.6 Achsen für kaltgeformte Stahlquerschnitte, die nicht doppelt-symmetrisch sind.



**Bild 3.6 — Definition der Koordinatenachsen von typischen kaltgeformten Stahlquerschnitten**

(2) Bei kaltgeformten Stahlquerschnitten, Profiltafeln und Kassettenprofilen gelten die folgenden Definitionen der Achsen:

- $y-y$  starke Hauptachse;
- $z-z$  schwache Hauptachse;
- $y'-y'$  Schwerachse parallel zu den Gurten oder parallel zur Ebene der Profiltafel;
- $z'-z'$  Schwerachse parallel zum Steg oder senkrecht zur Ebene der Profiltafel.

**ANMERKUNG** Die Bemessungsregeln dieses Dokuments beziehen sich im Allgemeinen auf die Querschnittseigenschaften um die Hauptachsen  $y-y$  und  $z-z$ . In einigen Fällen stimmt jedoch die aufgrund von angeschlossenen Konstruktionsteilen erzwungene Biegeachse nicht mit einer der Hauptachsen überein (siehe z. B. Abschnitt 11).

## 4 Grundlagen der Tragwerksplanung

### 4.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Bemessung von kaltgeformten Stahlbauteilen und Profiltafeln muss nach den allgemeinen Regeln in EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) und nach den besonderen Vorschriften für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Stahl nach EN 1993-1-1 ausgeführt werden.

(2) Tragwerke aus Stahl, die nach diesem Dokument bemessen wurden, müssen nach EN 1090-4 ausgeführt werden, Schraubverbindungen müssen nach EN 1090-2 ausgeführt werden, wobei die verwendeten Werkstoffe und Bauprodukte den maßgebenden Teilen von EN 1993 oder den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen entsprechen müssen.

## 4.2 Spezifische Regeln für kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln

(1) Dieses Dokument enthält Bemessungsregeln für kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln. Für einen allgemeinen Bemessungsansatz auf Grundlage der Finite-Elemente-Methoden, siehe EN 1993-1-14.

(2) Bei Nachweisen von Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit müssen geeignete Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt werden.

(3) Bei Berechnungen von Grenzzuständen der Tragfähigkeit muss der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  folgendermaßen angewendet werden:

- bei der Berechnung der Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Fließen und Instabilität des Querschnitts infolge Plattenbeulen oder Forminstabilität:  $\gamma_{M0}$ ;
- bei der Berechnung der Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Profiltafeln bei globalem Stabilitätsversagen:  $\gamma_{M1}$ ;
- bei der Berechnung der Beanspruchbarkeit von Nettoquerschnitten an Löchern für Verbindungselemente und von Verbindungen:  $\gamma_{M2}$ .

ANMERKUNG Nachstehend sind die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  für den Hochbau angegeben, sofern nicht im Nationalen Anhang abweichende Werte festgelegt sind:

- $\gamma_{M0} = 1,00$ ;
- $\gamma_{M1} = 1,00$ ;
- $\gamma_{M2} = 1,25$ .

(4) Bei Berechnungen des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit muss der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,ser}$  angewendet werden.

ANMERKUNG Nachstehend ist der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,ser}$  für den Hochbau angegeben, sofern nicht im Nationalen Anhang ein abweichender Wert festgelegt ist:

$$\gamma_{M,ser} = 1,00.$$

(5) Bei der Tragwerksbemessung muss zwischen verschiedenen „Konstruktionsklassen“ unterschieden werden, dies auf Grundlage des Ausmaßes, in dem kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln und Sandwichelemente zur Tragfähigkeit und Stabilisierung des Gesamttragwerks oder einzelner tragender Bauteile beitragen. Diese Konstruktionsklassen stehen in Zusammenhang mit verschiedenen Anforderungen in den geltenden Produkt- und Ausführungsnormen für kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln und Sandwichelemente, und sie müssen wie folgt festgelegt werden:

- Anwendungsfälle, in denen kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln oder Sandwichelemente dafür bemessen sind, zur Gesamttragfähigkeit und Stabilisierung eines Tragwerks beizutragen, müssen in die **Konstruktionsklasse I** eingestuft werden;
- Anwendungsfälle, in denen kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln oder Sandwichelemente dafür bemessen sind, zur Tragfähigkeit und Stabilisierung einzelner tragender Bauteile beizutragen, müssen in die **Konstruktionsklasse II** eingestuft werden;

- Profiltafeln oder Sandwichelemente, die zur Stabilisierung von Pfetten oder Wandriegel dienen, die als Teil des Aussteifungssystems des Haupttragwerks (z. B. als Druckglieder, Streben) bemessen sind, dürfen in die Konstruktionsklasse II eingestuft werden.
- Anwendungsfälle, in denen kaltgeformte Stahlbauteile, Profiltafeln oder Sandwichelemente als Bauelemente dienen, die ausschließlich Lasten in das Tragwerk einleiten, müssen in die **Konstruktionsklasse III** eingestuft werden. Profiltafeln und Sandwichelemente in Konstruktionsklasse III können ferner in „tragende“ oder „nichttragende“ Anwendungen unterschieden werden.

ANMERKUNG Zulässige Anwendungen von nichttragenden kaltgeformten Profiltafeln oder nichttragenden Sandwichelementen in Konstruktionsklasse III können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

EN 1090-4 und EN 1090-2 behandeln die Anforderungen an die Ausführung von tragenden Profiltafeln und kaltgeformten Stahlbauteilen. EN 14782 behandelt nichttragende kaltgeformte Profiltafeln der Konstruktionsklasse III. EN 14509-1<sup>1</sup> behandelt nichttragende Sandwichelemente der Konstruktionsklasse III und EN 14509-2<sup>2</sup> behandelt tragende Sandwichelemente der Konstruktionsklasse II.

(6) Die Einstufung in Konstruktionsklassen ist für Profiltafeln und Sandwichelemente von besonderer Bedeutung, um ihre Beziehung zum Gesamttragwerk, sowie zu ihren tragenden Bauteilen, festzulegen.

ANMERKUNG

- Konstruktionsklasse I: Der Tragwerksplaner geht von einer Aussteifung des Tragwerks durch die Profiltafeln aus.
- Konstruktionsklasse II: Der Planer der Bauteile, die die Profiltafeln oder Sandwichelemente direkt stützen, geht davon aus, dass letztere eine Behinderung in Hinblick auf die globale Stabilität oder auf die Biegung parallel zur Ebene der Profiltafel oder des Sandwichelements bewirken.
- Konstruktionsklasse III: Der Planer der Bauteile, die die Profiltafeln oder Sandwichelemente direkt stützen, geht davon aus, dass letztere keine Behinderung in Hinblick auf die globale Stabilität oder auf die Biegung parallel zur Ebene der Profiltafel oder des Sandwichelements bewirken.

Zwischen dem Planer von Bauteilen, die Profiltafeln oder Sandwichelemente tragen, und dem Planer von Profiltafeln oder Sandwichelementen ist eine angemessene Kommunikation hinsichtlich der angenommenen Konstruktionsklasse und der entsprechenden Folgen nach den Produktnormen erforderlich.

(7) Zusätzliche Anforderungen für tragende Anwendungen sind in EN 1090-4 enthalten, z. B. bezüglich:

- der Angabe der Konstruktionsklasse auf Konstruktions- und Verlegeplänen sowie einer deutlichen Kennzeichnung am realisierten Tragwerk;
- der Bereitstellung einer Mindestanzahl von Verbindungselementen zwischen den Profiltafeln oder Sandwichelementen und dem stützenden Bauteil sowie zwischen den verschiedenen Profiltafeln oder Sandwichelementen;
- der Festlegung der Konstruktionsklasse in den Entwurfsvorgaben sowie in der Betriebs- und Wartungsanleitung.

(8) EN 1090-4 gibt die Faktoren an, die die Ausführung beeinflussen und die in der Entwurfsphase festgelegt werden müssen.

---

1 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung prEN 14509-1.

2 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung prEN 14509-2.

## 5 Werkstoffe

### 5.1 Allgemeines

(1) Alle Stahlsorten, die für kaltgeformte Stahlbauteile und Profiltafeln eingesetzt werden, müssen für die Kaltumformung und, soweit zutreffend, für das Schweißen geeignet sein. Stahlsorten, die für verzinkte Bauteile und Profiltafeln eingesetzt werden, sollten auch für die Verzinkung geeignet sein.

Bei Stahlsorten nach Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2, deren Eigenschaften und chemische Zusammensetzung den einschlägigen Normen entsprechen, muss davon ausgegangen werden, dass sie diese Anforderungen erfüllen. Für andere Stahlsorten muss die Eignung für die Kaltumformung durch einen Biegeversuch nach EN ISO 7438 oder durch eine gleichwertige Prüfung nachgewiesen werden. Falls andere als die in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 erwähnten Stahlsorten verwendet werden, müssen ihre Eigenschaften (mechanische Eigenschaften und Schweißbarkeit) bekannt sein und ihre mechanischen Eigenschaften müssen den Bedingungen nach EN 1993-1-1:2022, 5.1(2) entsprechen.

**Tabelle 5.1 — Nennwerte der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  und der Zugfestigkeit  $f_u$**

Stahl	Norm	Sorte	$f_{yb}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>
Warmgewalzte Erzeugnisse aus nichtlegierten Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle	EN 10025-2	S 235	235	360
		S 275	275	390
		S 355	355	490
		S 460	460	540
Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle	EN 10025-3	S 275 N	275	370
		S 355 N	355	470
		S 420 N	420	520
		S 460 N	460	540
		S 275 NL	275	370
		S 355 NL	355	470
		S 420 NL	420	520
Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle	EN 10025-4	S 275 M	275	360
		S 355 M	355	450
		S 420 M	420	500
		S 460 M	460	530
		S 275 ML	275	360
		S 355 ML	355	450
		S 420 ML	420	500
		S 460 ML	460	530

(2) Die Nennwerte der Werkstoffeigenschaften in 5.1 und 5.2 sollten als charakteristische Werte für die Berechnungen in einer Bemessung verwendet werden.

(3) Dieses Dokument behandelt die Bemessung und Konstruktion von kaltgeformten Bauteilen und Profiltafeln aus Stahl, der den Anforderungen nach 5.2.1 entspricht.

(4) Die Bemessungswerte der folgenden Werkstoffeigenschaften des Stahls sollten wie in EN 1993-1-1 angesetzt werden mit:

— Elastizitätsmodul:  $E = 210\,000$  N/mm<sup>2</sup> (5.1)

— elastischer Schubmodul:  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  N/mm<sup>2</sup> (5.2)

— Poisson'sche Zahl (Querkontraktionszahl) im elastischen Bereich:  $\nu = 0,3$  (5.3)

— linearer Wärmeausdehnungskoeffizient:  $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6}$  je Kelvin, gilt bei Temperaturen  $\leq 100$  °C (5.4)

**Tabelle 5.2 — Nennwerte der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  und der Zugfestigkeit  $f_u$**

Stahl	Norm	Sorte	$f_{yb}$	$f_u$
			N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Kontinuierlich kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus allgemeinen Baustählen	ISO 4997	CR 220	220	300
		CR 250	250	330
		CR 320	320	400
Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle	EN 10149-2	S 315 MC	315	390
		S 355 MC	355	430
		S 420 MC	420	480
		S 460 MC	460	520
		S 500 MC	500	550
		S 550 MC	550	600
		S 600 MC	600	650
		S 650 MC	650 <sup>b</sup>	700
Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte oder normalisierend gewalzte Stähle	EN 10149-3	S 260 NC	240 <sup>a</sup>	350 <sup>a</sup>
		S 315 NC	295 <sup>a</sup>	410 <sup>a</sup>
		S 355 NC	355 <sup>a</sup>	450 <sup>a</sup>
		S 420 NC	400 <sup>a</sup>	510 <sup>a</sup>
Kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus mikrolegiertem Stahl mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen	EN 10268	HC260LA	240	340
		HC300LA	280	370
		HC340LA	320	400
		HC380LA	350	430
		HC420LA	390	460

Stahl	Norm	Sorte	$f_{yb}$	$f_u$
			N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl zum Kaltumformen	EN 10346	S220GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ	220	300
		S250GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	250	330
		S280GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	280	360
		S320GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	320	390
		S350GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	350	420
		S390GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ	390	460
		S420GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ	420	480
		S450GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ	450	510
Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl mit hoher Dehngrenze zum Kaltumformen	EN 10346	HX260LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	240 <sup>a</sup>	330 <sup>a</sup>
		HX300LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	280 <sup>a</sup>	360 <sup>a</sup>
		HX340LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	320 <sup>a</sup>	390 <sup>a</sup>
		HX380LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	360 <sup>a</sup>	420 <sup>a</sup>
		HX420LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	400 <sup>a</sup>	450 <sup>a</sup>
		HX460LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	435 <sup>a</sup>	475 <sup>a</sup>
		HX500LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	470 <sup>a</sup>	500 <sup>a c</sup>
Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus weichen Stählen zum Kaltumformen	EN 10346	DX51D+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	120 <sup>a c</sup>	250 <sup>a c</sup>
		DX52D+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	120 <sup>a c</sup>	250 <sup>a c</sup>
		DX53D+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	120 <sup>a c</sup>	250 <sup>a c</sup>
<p><sup>a</sup> Die in der entsprechenden Produktnorm angegebenen Nennwerte beziehen sich auf die Querrichtung des Bands oder Blechs. Die in der vorstehenden Tabelle angegebenen Werte entsprechen den Eigenschaften in Längs-(Walz-)richtung.</p> <p><sup>b</sup> Bei Dicken &gt; 8 mm muss die angegebene Streckgrenze um 20 N/mm<sup>2</sup> reduziert werden.</p> <p><sup>c</sup> Die Produktnorm legt keine Mindestwerte der Streckgrenze oder der Zugfestigkeit fest. Für jede Stahlsorte darf ein Mindestwert von 120 N/mm<sup>2</sup> für die Streckgrenze und ein Mindestwert von 250 N/mm<sup>2</sup> für die Zugfestigkeit angenommen werden.</p>				

ANMERKUNG Die Werkstoffe in Tabelle 5.1 entsprechen den harmonisierten Produktnormen, während die Werkstoffe in Tabelle 5.2 den EN- oder ISO-Produktnormen entsprechen. Dieses Dokument ist anwendbar für Werkstoffe, die in beiden Tabellen aufgeführt sind.

## 5.2 Baustähle

### 5.2.1 Eigenschaften des Grundmaterials

(1) Die Nennwerte der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  oder der Zugfestigkeit  $f_u$  sollten auf eine der folgenden Arten bestimmt werden:

- indem die Werte  $f_{yb} = R_{eh}$  oder  $f_{yb} = R_{p0,2}$  und  $f_u = R_m$  direkt aus den Produktnormen übernommen werden, falls sie für die Längsrichtung gelten;
- durch Verwendung der Werte in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2;
- durch geeignete Versuche.

(2) Werden die charakteristischen Werte aus Versuchen ermittelt, sollten diese Versuche nach A.2.1 durchgeführt werden.

(3) Es darf angenommen werden, dass die Eigenschaften des Stahls unter Druckbeanspruchung die gleichen sind wie die unter Zugbeanspruchung.

ANMERKUNG Informationen darüber, ob die Werkstoffe nach Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 in einer plastischen Tragwerksbemessung verwendet werden können, können im Nationalen Anhang angegeben werden.

(4) Die Werkstoffeigenschaften bei erhöhten Temperaturen für die Bemessung im Brandfall sind in EN 1993-1-2 angegeben.

## 5.2.2 Werkstoffeigenschaften kaltgeformter Stahlbauteile und Profiltafeln

(1) Wo die Streckgrenze mit dem Symbol  $f_y$  oder  $f_{ya}$  bezeichnet wird, darf die durchschnittliche Streckgrenze  $f_{ya}$  nach (2) oder (3) verwendet werden, wenn (4) bis (5) gelten.

In anderen Fällen sollte die Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  verwendet werden, siehe 5.2.1 (1).

(2) Die durchschnittliche Streckgrenze  $f_{ya}$  eines Querschnitts infolge der Kaltumformung darf anhand von Ergebnissen aus Versuchen in Originalgröße bestimmt werden.

(3) Alternativ darf die durchschnittliche Streckgrenze  $f_{ya}$  nach Gleichung (5.5) bestimmt werden:

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb}) \frac{k_{fp} n_r t^2}{A} \quad \text{aber} \quad f_{ya} \leq \frac{(f_u + f_{yb})}{2} \quad (5.5)$$

Dabei ist

$A$  die Bruttoquerschnittsfläche;

$k_{fp}$  ein Koeffizient, der vom Umformprozess wie folgt abhängig ist:

—  $k_{fp} = 7$  bei Rollprofilierung;

—  $k_{fp} = 5$  bei anderen Umformverfahren;

$n_r$  die Gesamtzahl der Umbiegungen mit  $90^\circ$  und einem Innenradius von  $r \leq 5t$  (Umbiegungen mit Winkeln kleiner als  $90^\circ$  sollten als Bruchteile von 1 einbezogen werden);

$t$  die Bemessungsdicke des Stahlwerkstoffs, wie in 5.2.4(4) festgelegt.

(4) Die durchschnittliche Streckgrenze  $f_{ya}$  infolge der Kaltumformung darf verwendet werden, wenn Folgendes bestimmt wird:

- die Beanspruchbarkeit eines Querschnitts unter konstanter Zugbeanspruchung nach 8.1.2;
- die Beanspruchbarkeit eines Querschnitts unter konstanter Druckbeanspruchung, wenn  $A_{eff} = A$  nach 8.1.3;
- die Beanspruchbarkeit eines Querschnitts mit vollständig wirksamen Gurten unter Biegebeanspruchung nach 8.1.4;
- die Beanspruchbarkeit auf globales Stabilitätsversagen eines Bauteils unter zentrischer Druckbeanspruchung mit  $A_{eff} = A$  nach 8.2.2 und 8.2.3.

(5) Zur Bestimmung der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts mit vollständig wirksamen Gurten darf der Querschnitt in  $m$  ebene Querschnittsteile, wie zum Beispiel Stege oder Gurte, unterteilt werden. Gleichung (5.5) darf dann zur Ermittlung der erhöhten Streckgrenze  $f_{y,i}$  für jedes einzelne ebene Querschnittsteil  $i$  ( $i = 1 \dots m$ ) verwendet werden, wenn das Kriterium in Gleichung (5.6) erfüllt ist:

$$\frac{\sum_{i=1}^m A_i f_{y,i}}{\sum_{i=1}^m A_i} \leq f_{ya} \quad (5.6)$$

Dabei ist

$A_i$  die Bruttoquerschnittsfläche des Querschnittsteils  $i$  ( $i = 1 \dots m$ ). Bei der Berechnung der erhöhten Streckgrenze  $f_{y,i}$  nach Gleichung (5.5) darf davon ausgegangen werden, dass die Hälfte der an das Querschnittsteil  $i$  angrenzenden Umbiegungen Teil der Fläche  $A_i$  ist.

(6) Die durchschnittliche Streckgrenze  $f_{ya}$  infolge der Kaltumformung sollte nicht bei Bauteilen angesetzt werden, die einer Wärmebehandlung nach dem Umformen unterzogen wurden und länger als eine Stunde Temperaturen über 580 °C ausgesetzt waren.

ANMERKUNG Für weiterführende Informationen, siehe EN 1090-2.

(7) Es sollte besonders beachtet werden, dass einige Verfahren der Wärmebehandlung (insbesondere Warmglühen) die Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  absenken könnten.

(8) Zum Schweißen in kaltverformten Bereichen, siehe EN 1993-1-10.

### 5.2.3 Bruchzähigkeit

(1) Siehe EN 1993-1-1 und EN 1993-1-10.

### 5.2.4 Materialdicken und Materialdickentoleranzen

(1) Die Festlegungen für die rechnerische Bemessung in diesem Dokument sind anwendbar für Bauteile und Profiltafeln mit  $t_{cor} \geq 0,35$  mm.

(2) Geringere Materialdicken dürfen ebenfalls verwendet werden, wenn die Beanspruchbarkeit durch eine versuchsgestützte Bemessung ermittelt wird.

(3) In EN 1090-4 ist die Mindest-Nennstärke des Stahls für verschiedene Anwendungen festgelegt.

(4) Eine Bemessungsdicke  $t$  muss verwendet werden, die auf Grundlage der Stahlkerndicke  $t_{cor}$  (anstatt der Nennstärke  $t_{nom}$ ) nach Gleichung (5.7) oder Gleichung (5.8) bestimmt werden sollte:

$$t = t_{cor} \quad \text{wenn} \quad \Delta_{tol} \leq 5 \% \quad (5.7)$$

$$t = t_{cor} \frac{100 - \Delta_{tol}}{95} \quad \text{wenn} \quad \Delta_{tol} > 5 \% \quad (5.8)$$

Dabei ist

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{mc} \quad (5.9)$$

$\Delta_{tol}$  die Minustoleranz der Dicke in %, wie in der Produktnorm oder der Produktionsspezifikation festgelegt;

$t_{\text{nom}}$  die Nennblechdicke einschließlich Zinküberzügen und anderer metallischer Beschichtungen, jedoch ohne jegliche organische Beschichtungen, siehe (6);

$t_{\text{cor}}$  die Nenndicke abzüglich der Dicke der Zinküberzüge und anderer metallischer Überzüge;

$t_{\text{mc}}$  die Dicke der metallischen Überzüge.

Bei der Verzinkung mit Z 275 darf die Dicke der Beschichtung auf beiden Seiten der Platte zusammengefasst mit  $t_{\text{mc}} = 0,04$  mm angesetzt werden.

(5) Bei kontinuierlich feuerverzinkten Bauteilen und Blechen mit Minustoleranzen, die gleich oder geringer als die „besonderen Toleranzen (S)“ nach EN 10143 sind, darf die Bemessungsdicke nach Gleichung (5.7) angesetzt werden. Ist die Minustoleranz größer als die „besondere Toleranz (S)“ nach EN 10143, darf die Bemessungsdicke nach Gleichung (5.8) verwendet werden.

(6)  $t_{\text{nom}}$  ist die Nennblechdicke nach der Kaltumformung. Sie darf als der Wert  $t_{\text{nom}}$  des ursprünglichen Blechs verwendet werden, wenn:

- die Querschnittsfläche  $A$  vor der Kaltumformung (entspricht der Nennblechbreite multipliziert mit der Nennblechdicke) und die Querschnittsfläche  $A_{\text{calc}}$  nach der Kaltumformung (wie anhand der festgelegten Querschnittsform berechnet) nicht mehr als 2 % voneinander abweichen; oder
- die Bemessung der Bauteile auf der Basisstreckgrenze  $f_{\text{yb}}$  beruht.

Anderenfalls sollte die festgelegte Nennblechdicke  $t_{\text{nom}}$  des ursprünglichen Blechwerkstoffs entsprechend verringert werden.

ANMERKUNG 1 Alternativ kann rechnerisch in der Bemessung die Dicke örtlich an den Umbiegungen verringert werden, bis  $A_{\text{calc}} \leq 1,02 A$  entspricht (dabei ist  $A$  die Nennbreite des Blechs multipliziert mit der Nennblechdicke nach Angaben des Herstellers).

ANMERKUNG 2 Im Fall einer versuchsgestützten Bemessung nach Abschnitt 12 werden die Auswirkungen, die durch diese Vorgaben erfasst werden, bereits implizit berücksichtigt, da die tatsächlichen Maße der Versuchskörper und die Auswirkungen des Herstellungsprozesses indirekt in den Versuchsergebnissen enthalten sind.

## 5.3 Verbindungselemente

### 5.3.1 Mechanische Verbindungselemente

#### 5.3.1.1 Schraubengarnituren

(1) Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben sollten den Anforderungen in EN 1993-1-8 entsprechen.

#### 5.3.1.2 Andere Arten von mechanischen Verbindungselementen

(1) Andere Arten von mechanischen Verbindungselementen z. B.:

- Gewindeformschrauben, einschließlich gewindefurchender Schrauben und gewindefurchender Schrauben oder Gewindeformschrauben mit Bohrspitze (Bohrschrauben);
- Setzbolzen;
- Blindniete;
- Clinchen

dürfen verwendet werden, sofern sie mit der entsprechenden Europäischen Produktnorm oder ETA übereinstimmen, siehe auch EN 1090-4.

(2) Die charakteristische Beanspruchbarkeit für Abscheren  $F_{v,Rk}$  und die minimale charakteristische Zugbeanspruchbarkeit  $F_{t,Rk}$  von mechanischen Verbindungselementen dürfen den EN-Produktnormen oder ETA entnommen werden.

### **5.3.2 Schweißzusatzwerkstoffe**

(1) Schweißzusatzwerkstoffe sollten den Anforderungen in EN 1993-1-8 entsprechen.

## **6 Dauerhaftigkeit**

(1) Zu grundlegenden Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, siehe EN 1993-1-1.

(2) In Fällen, in denen verschiedene Metalle miteinander in Kontakt kommen, sollte besonders auf Kontaktkorrosion geachtet werden, siehe EN 1090-4.

(3) Zur Korrosionsbeständigkeit kaltgeformter Erzeugnisse aus Stahl, siehe EN 1090-4. Zur Korrosionsbeständigkeit von Verbindungselementen und zu Umweltklassen nach EN ISO 12944-2, siehe Anhang B. Zu feuerverzinkten Schrauben, siehe EN ISO 10684.

## **7 Tragwerksberechnung**

### **7.1 Tragwerksmodellierung für die Berechnung**

(1) Die statischen Berechnungen müssen mit Tragwerksmodellen geführt werden, die für kaltgeformte Stahltragwerke und den betrachteten Grenzzustand geeignet sind. Das angewendete Berechnungsverfahren muss den Annahmen für die Bemessung entsprechen.

(2) Finite-Elemente-Analysen zur Bestimmung von elastischen idealen Verzweigungslasten, zum Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit oder der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, oder zur Durchführung numerischer Simulationen sollten nach EN 1993-1-14 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Bei Anwendung von Finite-Elemente-Methoden beträgt die maximal zulässige plastische Dehnung für kaltgeformte Tragwerke  $\epsilon_{mp,cf} = 5 \%$ , sofern nicht im Nationalen Anhang ein abweichender Wert angegeben ist.

(3) Wenn die Auswirkungen des Verhaltens der Anschlüsse auf die Schnittgrößenverteilung und auf die Gesamtverformungen des Tragwerks maßgebend sind (wie im Fall von verformbaren Anschlüssen), sollten sie berücksichtigt werden, siehe EN 1993-1-8.

ANMERKUNG Zur Berechnung von (Biege-) Trägersystemen mit eingeschränkter Durchlaufwirkung infolge von Überlappungen oder Kopplungen, siehe 11.1.3.3. Zur Berechnung von Profiltafeln mit Überdeckungen, siehe 11.3.4. Zur Berechnung von verstellbaren Palettenregalen, siehe EN 15512.

### **7.2 Globale Tragwerksberechnung**

#### **7.2.1 Verfahren der Tragwerksberechnung für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

(1) Die Art der Tragwerksberechnung (nach Theorie I. Ordnung oder Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung von Imperfektionen) sollte in Übereinstimmung mit den Anforderungen für Querschnitts- und Bauteilnachweise in 8.1 und 8.2 geführt werden.

(2) Die Auswirkungen von Plattenbeulen und Forminstabilität auf die Steifigkeit kaltgeformter Bauteile und Tragwerke müssen in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden. Diese Auswirkungen dürfen in der Tragwerksberechnung vernachlässigt werden, wenn die wirksame Querschnittsfläche jedes einzelnen, ebenen Querschnittsteils, mit oder ohne Steifen, größer als 50 % seiner Bruttoquerschnittsfläche ist.

(3) Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung sollten in der globalen Berechnung von Tragwerken aus kaltgeformten Stahlquerschnitten nach der Elastizitätstheorie in Übereinstimmung mit den Festlegungen in EN 1993-1-1:2022, 7.2.1, berücksichtigt werden.

(4) Abhängig von der Art des Tragwerks und der numerischen Modellierung sollten Imperfektionen und Einflüsse nach Theorie II. Ordnung nach einem der folgenden Verfahren berücksichtigt werden:

- a) vollständig im Rahmen der Tragwerksberechnung;
- b) teilweise im Rahmen der Tragwerksberechnung und teilweise als Stabilitätsnachweise für die einzelnen Bauteile nach 8.2;
- c) durch Stabilitätsnachweise von „Ersatzstäben“ nach 8.2, unter Verwendung geeigneter Knicklängen in Übereinstimmung mit den Knickbiegelineien bzw. Eigenformen des Tragwerks.

ANMERKUNG Geeignete Verfahren zur Tragwerksberechnung auf Grundlage von Finite-Elemente-Methoden in Übereinstimmung mit den verschiedenen Verfahren in a) bis c) sind in EN 1993-1-14 enthalten.

(5) Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen unter Anwendung der allgemeinen Verfahren der Tragwerksberechnung M0, M1, M2, M3, M4, M5 und EM nach EN 1993-1-1:2022, 7.2.2 (4) bis (9), durchgeführt werden, wobei auch Drillknicken und Biegedrillknicken von Bauteilen unter Druckbeanspruchung zu berücksichtigen ist.

(6) Die Anwendbarkeit der Berechnungsverfahren für kaltgeformte Tragwerke und die entsprechenden Nachweise zur Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, die für kaltgeformte Stahltragwerke nach diesem Dokument erforderlich sind, sind in Tabelle 7.1 angegeben. Verfahren M0 bis Verfahren M4 werden für die Bemessung kaltgeformter Stahltragwerke empfohlen.

ANMERKUNG Einschränkungen für die Anwendung des Verfahrens EM können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

(7) Die Fälle, bei denen in einer Tragwerksberechnung die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung infolge Biegedrillknicken von biegebeanspruchten Bauteilen vernachlässigt werden dürfen, und die nachfolgend zu führenden Nachweise sind in EN 1993-1-1:2022, 7.2.1 (6), festgelegt.

(8) Bei druckbeanspruchten Bauteilen sollten die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung infolge von Drillknicken oder Biegedrillknicken berücksichtigt werden. Sie dürfen in der Tragwerksberechnung und den anschließenden Nachweisen vernachlässigt werden, wenn Drillknicken und Biegedrillknicken verhindert werden oder nicht auftreten.

## 7.2.2 Imperfektionen

### 7.2.2.1 Allgemeines

(1) Bei der Tragwerksberechnung sollten die Auswirkungen von Imperfektionen in geeigneter Weise erfasst werden, einschließlich der Eigenspannungen und der geometrischen Imperfektionen von kaltgeformten Stahltragwerken (wie Anfangsschiefstellung, Abweichungen von der Geradheit, Ebenheit und Passung sowie Lastexzentrizitäten), die größer als die grundlegenden Toleranzen von kaltgeformten Stahltragwerken nach EN 1090-4 sind.

(2) Geometrische Ersatzimperfektionen sollten verwendet werden, deren Werte die kombinierten Auswirkungen aller Arten von Imperfektionen abdecken, es sei denn, diese Auswirkungen sind in den Nachweisen der Querschnittsbeanspruchbarkeit oder den Stabilitätsnachweisen von Bauteilen erfasst, siehe Tabelle 7.1.

(3) Allgemeine Informationen zu Imperfektionen werden in EN 1993-1-1:2022, 7.3.1 (3)(4), bereitgestellt.

### 7.2.2.2 Anfangsschiefstellungen

(1) Anfangsschiefstellungen für die Tragwerksberechnung sollten EN 1993-1-1:2022, 7.3.2, entnommen werden, jedoch mit  $\phi_0 = 1/200$  in allen Fällen.

(2) Die Anfangsschiefstellung sollte in allen maßgebenden horizontalen Richtungen angesetzt werden, sie braucht jedoch nicht in beiden Richtungen gleichzeitig, sondern nur in jeweils einer Richtung berücksichtigt werden.

**Tabelle 7.1 — Verfahren der Tragwerksberechnung zur Bemessung von kaltgeformten Stahltragwerken und -bauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Verfahren nach EN 1993-1-1: 2022, 7.2.2	zusätzliche Anforderungen an kaltgeformte Stahlquerschnitte	Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung/ II. Ordnung bei der Tragwerksberechnung	Imperfektionen für die Tragwerksberechnung	Bemessung nach 8.1 oder 8.2
M0 7.2.2(4)	Biegeknicke und Biegedrillknicken, sowohl in als auch aus der Ebene darf vernachlässigt werden	Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung	Keine	8.1: Querschnittsbeanspruchbarkeit
M1 7.2.2(5)	Biegeknicke in der Ebene darf vernachlässigt werden, Knicken aus der Ebene (Biege-, Drill-, oder Biegedrillknicken unter Druck- oder Biegebeanspruchung (en: torsional-flexural or lateral-torsional buckling) darf nicht vernachlässigt werden	Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung	Keine	8.1: Querschnittsbeanspruchbarkeit und 8.2: Stabilitätsnachweise aus der Ebene
EM 7.2.2(9)	keine	Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung	Keine	8.1: Querschnittsbeanspruchbarkeit und 8.2: Stabilitätsnachweise in und aus der Ebene nach 8.2 auf Grundlage einer geeigneten Knicklänge der „Ersatzstäbe“
M2 7.2.2(6)	keine	Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung	Anfangsschiefstellungen	8.1: Querschnittsbeanspruchbarkeit und 8.2: Stabilitätsnachweise in und aus der Ebene
M3 7.2.2(7)a	keine	Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung	Anfangsschiefstellungen	8.1: Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Verwendung von $\gamma_{M1}$ und 8.2: Stabilitätsnachweise in und aus der Ebene

Verfahren nach EN 1993-1-1: 2022, 7.2.2	zusätzliche Anforderungen an kaltgeformte Stahlquerschnitte	Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung/ II. Ordnung bei der Tragwerksberechnung	Imperfektionen für die Tragwerksberechnung	Bemessung nach 8.1 oder 8.2
M4 7.2.2(7)b	keine	Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung	Anfangschiefstellungen und Vorkrümmungen von Bauteilen in der Ebene	8.1: Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Verwendung von $\gamma_{M1}$ und 8.2: Stabilitätsnachweis aus der Ebene
M5 7.2.2(8)	keine	Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung	Anfangschiefstellungen und Vorkrümmungen von Bauteilen in und aus der Ebene und Vorverdrehungen (Biegeknick-, Drillknick-, oder Biegedrillknickformen)	8.1: Nachweis der Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Verwendung von $\gamma_{M1}$ oder Spannungsnachweise, z. B. basierend auf Finite Element-Analysen nach EN 1993-1-14 unter Verwendung von $\gamma_{M1}$

ANMERKUNG Bei den Stabilitätsnachweisen nach 8.2.5(2) bis (5) ist der Nachweis der Querschnittsbeanspruchbarkeit enthalten.

### 7.2.2.3 Äquivalente Vorkrümmungen von Bauteilen

(1) Für eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung mit Ansatz von Bauteilimperfektionen dürfen die äquivalenten Vorkrümmungen  $e_0$ , zugehörig zu den Stabilitätsformen Biegeknicken und Biegedrillknicken unter Druckbeanspruchung, nach Gleichung (7.1) bestimmt werden:

$$e_0 = \frac{M_{c,Rd}}{N_{c,Rd}} \left( \frac{1}{\chi} - \frac{\bar{\lambda}^2}{\gamma_{M1}} \right) (1 - \chi^{\alpha_i})^{\frac{1}{\beta_i}} \quad (7.1)$$

Dabei ist/sind

- $\chi$  der Abminderungsfaktor entsprechend der maßgebenden Knicklinie, siehe 8.2.2;
- $M_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts um die maßgebende Achse nach 8.1.4;
- $N_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Druckbeanspruchbarkeit nach 8.1.3;
- $\alpha_i, \beta_i$  Exponenten nach Tabelle 7.2 in Abhängigkeit der zum Nachweis der Querschnittsbeanspruchbarkeit verwendeten  $N$ - $M$ -Interaktionsgleichungen nach 8.1.8(1) oder alternativ nach 8.1.8(4) mit Verweisung auf 8.2.5. Die in Tabelle 7.2 ausgewählte  $N$ - $M$ -Interaktion muss dieselbe sein, wie diejenige, die beim anschließenden Nachweis der Querschnittsbeanspruchbarkeit verwendet wird. Bei der Auswahl der  $N$ - $M$ -Interaktion nach 8.1.8(4) müssen die Exponenten  $\alpha_i$ , und  $\beta_i$  (die in Gleichung (7.1), basierend auf Tabelle 7.2, und in der  $N$ - $M$ -Interaktion für den Querschnittsnachweis, berechnet nach 8.1.8(4) mit Bezug auf 8.2.5, Tabelle 8.9, verwendet werden) gleich sein.

$\bar{\lambda}$  der bezogene Schlankheitsgrad des Bauteils:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{c,Rk}}{N_{cr}}} \quad (7.2)$$

Dabei ist

$N_{cr}$  die elastische ideale Verzweigungslast des Bauteils.

Bei asymmetrischen Querschnitten und bei Bauteilen mit Biegemomenten, deren Vorzeichen sich entlang der Bauteillänge ändert, sind für einen Stabilitätsnachweis jeweils zwei Berechnungen erforderlich, entsprechend der beiden entgegengesetzten Richtungen der Imperfektionen.

**Tabelle 7.2 — Exponenten zur Berechnung der äquivalenten Vorkrümmung  $e_0$  nach Gleichung (7.1)**

Knicken um die Achse	Exponenten $\alpha_i, \beta_i$		
	Anwendung der linearen N-M-Interaktion nach 8.1.8(1)	Anwendung der linearen N-M-Interaktion nach 8.1.8(4) in Übereinstimmung mit 8.2.5, Tabelle 8.9	Anwendung der N-M-Interaktion nach 8.1.8(4) in Übereinstimmung mit NDP nach 8.2.5, Tabelle 8.9
starke Hauptachse	$\alpha_i = 1$ $\beta_i = 1$	$\alpha_i = 1$ $\beta_i = 1$	$\alpha_i = \alpha_y$ aber $\alpha_i \geq 1,0$ $\beta_i = \beta_y$ aber $\beta_i \geq 1,0$ dabei sollten $\alpha_y$ und $\beta_y$ nach dem NDP in Tabelle 8.9 berechnet werden, mit: $\chi_y = 1,0$ und $\omega_{x,y} = 1,0$
schwache Hauptachse			$\alpha_i = \alpha_z$ aber $\alpha_i \geq 1,0$ $\beta_i = \beta_z$ aber $\beta_i \geq 1,0$ dabei sollten $\alpha_z$ und $\beta_z$ nach dem NDP in Tabelle 8.9 berechnet werden, mit: $\chi_z = 1,0$ und $\omega_{x,z} = 1,0$

(2) Als Alternative zu (1) dürfen die äquivalenten Vorkrümmungen für Biegeknicken nach EN 1993-1-1:2022, 7.3.3.1, verwendet werden.

(3) Bei Imperfektionen, die Biegedrillknicken von Bauteilen unter Biegebeanspruchung begünstigen, darf eine äquivalente Vorkrümmung  $e_{0,LT}$  um die schwache Profilachse nach Gleichung (7.1) angesetzt werden, ohne dass gleichzeitig eine Anfangsverdrehung berücksichtigt werden braucht.

(4) Die äquivalente Vorkrümmung sollte in allen maßgebenden horizontalen Richtungen angesetzt werden, sie braucht jedoch nicht in beiden Richtungen gleichzeitig, sondern jeweils nur in einer Richtung berücksichtigt werden.

#### 7.2.2.4 Imperfektionen auf Grundlage von Stabilitätsformen des Tragwerks nach elastischer Verzweigungslastanalyse

(1) Als Alternative zu 7.2.2.2 und 7.2.2.3 darf eine kombinierte äquivalente Vorkrümmung und Anfangsschiefstellung nach Gleichung (7.1) berechnet werden, dies auf der Grundlage der Knickbiegelineien bzw. Eigenformen nach einer elastischen Verzweigungslastanalyse des Tragwerks nach EN 1993-1-1:2022, 7.3.6, und mit  $\bar{\lambda}$ , bestimmt nach EN 1993-1-1:2022, 7.3.6(1).

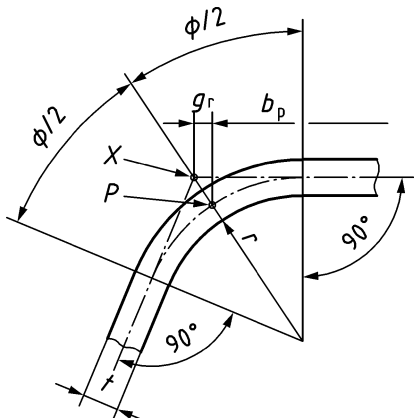
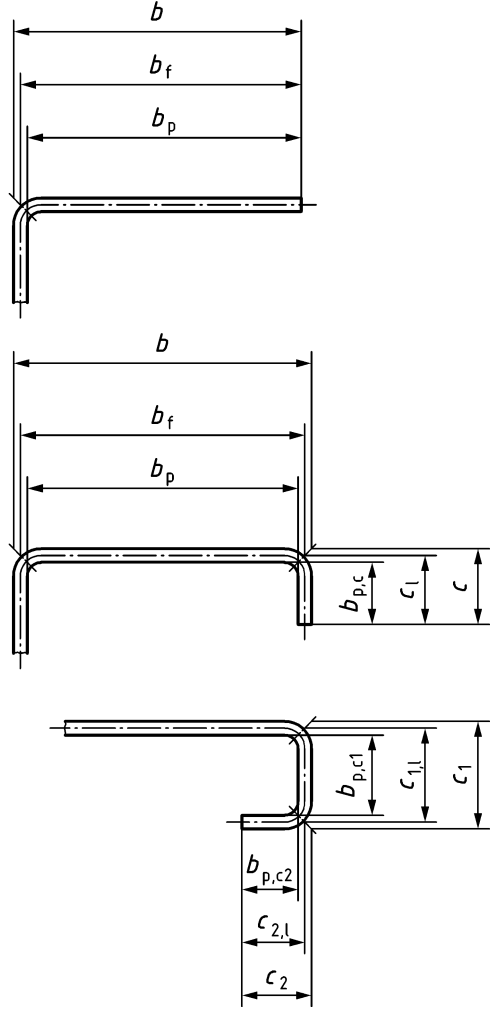
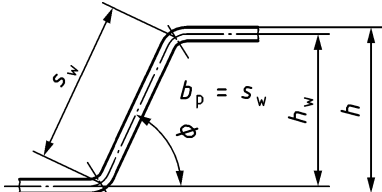
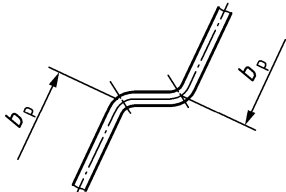
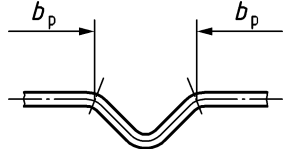
## 7.3 Modellierung von kaltgeformten Stahlquerschnitten

### 7.3.1 Einfluss ausgerundeter Ecken

(1) Bei kaltgeformten Stahlquerschnitten sollten die Nennwerte der geraden Breiten  $b_p$  von ebenen Querschnittsteilen von den Mittelpunkten der angrenzenden Eckbereiche gemessen werden, wie in Tabelle 7.3 dargestellt.

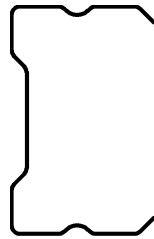
(2) Die Berechnung der Querschnittswerte von kaltgeformten Stahlquerschnitten sollte auf der Nenngeometrie des Querschnitts basieren.

Tabelle 7.3 — Nennbreiten  $b_p$  von ebenen Querschnittsteilen unter Berücksichtigung der Eckradien

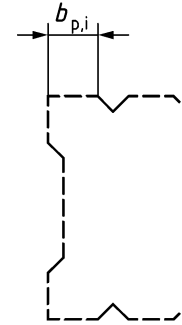
<p><b>(a) Mittelpunkt des Eckbereichs oder Umbiegung</b></p> 	<p>Dabei ist</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— X ist der Schnittpunkt der Mittellinien</li> <li>— P ist der Mittelpunkt des Eckbereichs</li> <li>— <math>r_m = r + t/2</math></li> <li>— <math>g_r = r_m \left( \tan \frac{\phi}{2} - \sin \frac{\phi}{2} \right)</math></li> </ul>
<p><b>(b) Nennwert der geraden Breite <math>b_p</math> ebener Querschnittsteile von Gurten</b></p>  <p>wobei <math>c_1, c_2</math>: Außenmaße</p>	<p><b>(c) Nennwert der geraden Breite <math>b_p</math> eines Steges</b></p>  <p>(<math>b_p =</math> geneigte Höhe <math>s_w</math>)</p> <p><b>(d) Nennwert der geraden Breite <math>b_p</math> ebener Querschnittsteile, die an eine Umbiegung angrenzen</b></p>  <p><b>(e) Nennwert der geraden Breite <math>b_p</math> ebener Querschnittsteile, die an eine Sicke angrenzen</b></p> 

Normen-Download-DIN Media-VFA-Interlift e. V. - KdNr. 6363432-ID.yzz2r6i81yz1-XZoQaul\_Ng6xQrgRRvLqa-okkTT7-2025-03-28 08:03:07

(3) Sofern keine genaueren Verfahren zur Ermittlung der Querschnittswerte verwendet werden, darf das folgende Näherungsverfahren angewendet werden. Der Einfluss der ausgerundeten Ecken auf die Querschnittsbeanspruchbarkeit darf vernachlässigt werden, wenn der Innenradius  $r \leq 5t$  und  $r \leq 0,10 b_p$  ist. Es darf dann angenommen werden, dass der Querschnitt aus ebenen Querschnittsteilen mit scharfkantigen Ecken besteht, wie in Bild 7.1 gezeigt. In Bild 7.1 ist auch dargestellt, wie  $b_p$  bestimmt wird. Bei Querschnittswerten der Steifigkeit, z. B.  $I_y$ ,  $I_z$ ,  $I_w$ , sollte der Einfluss ausgerundeter Ecken immer berücksichtigt werden.



a) tatsächlicher Querschnitt



b) idealisierter Querschnitt

**Bild 7.1 — Näherungsweise Ansatz zur Berücksichtigung ausgerundeter Eckbereiche**

(4) Der Einfluss ausgerundeter Eckbereiche auf die Querschnittswerte darf berücksichtigt werden, indem die für einen äquivalenten Querschnitt mit scharfkantigen Ecken berechneten Querschnittswerte, wie in Bild 7.1 dargestellt, mit den folgenden Näherungen nach Gleichung (7.3) bis Gleichung (7.5) abgemindert werden:

$$A \sim A_{sh}(1 - k_{ce}) \quad (7.3)$$

$$I \sim I_{sh}(1 - 2k_{ce}) \quad (7.4)$$

$$I_w \sim I_{w,sh}(1 - 4k_{ce}) \quad (7.5)$$

mit

$$k_{ce} = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^{n_{ce}} r_{ce,j} \frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^{n_{pe}} b_{p,i}} \quad (7.6)$$

Dabei ist

- $A$  die Bruttoquerschnittsfläche;
- $A_{sh}$  die Fläche eines äquivalenten Querschnitts mit scharfkantigen Ecken;
- $b_{p,i}$  der Nennwert der geraden Breite eines ebenen Querschnittsteils  $i$  in einem äquivalenten Querschnitt mit scharfkantigen Ecken, gemessen bis zu den Schnittpunkten der Mittellinien der angrenzenden ebenen Querschnittsteile, siehe Punkt X in Tabelle 7.3(a);
- $I$  das Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts;
- $I_{sh}$  der Wert von  $I$  eines äquivalenten Querschnitts mit scharfkantigen Ecken;
- $I_w$  der Wölbwiderstand des Bruttoquerschnitts;
- $I_{w,sh}$  der Wert für  $I_w$  eines äquivalenten Querschnitts mit scharfkantigen Ecken;

- $\phi_j$  der Winkel zwischen zwei ebenen Querschnittsteilen, die durch das gekrümmte Element  $j$ , verbunden sind, in Grad;
- $n_{pe}$  die Anzahl der ebenen Querschnittsteile;
- $n_{ce}$  die Anzahl der gekrümmten Querschnittsteile;
- $r_{ce,j}$  der Innenradius eines gekrümmten Elements  $j$ .

(5) Die Abminderungen in (4) dürfen ebenfalls zur Berechnung der wirksamen Querschnittswerte  $A_{eff}$ ,  $I_{y,eff}$ ,  $I_{z,eff}$  und  $I_{w,eff}$  verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Nennwerte der geraden Breite  $b_p$  der ebenen Querschnittsteile von den Schnittpunkten ihrer Mittellinien aus gemessen werden.










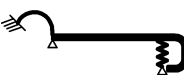










(6) Ist der Innenradius  $r > 0,04 t E/f_y$ , sollte die Querschnittsbeanspruchbarkeit durch Versuche bestimmt werden, wenn nicht geeignetere Analysen nach EN 1993-1-14 angewendet werden.

### 7.3.2 Modellierung für die Querschnittsberechnung

(1) Werden keine genaueren Modelle nach EN 1993-1-14 verwendet, dürfen die Querschnittsteile für die Berechnung, wie in Tabelle 7.4 dargestellt, modelliert werden.

(2) Der gegenseitige Einfluss mehrerer Steifen sollte berücksichtigt werden.

Tabelle 7.4 — Modellierung von Querschnittsteilen

Art des Elements	Modell	Art des Elements	Modell
			
			
			
			
			

(3) Sofern nicht anderweitig begründet, sollten die Ränder, die für eine seitliche Überdeckung der Profiltafeln vorgesehen sind, nicht bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit und der Steifigkeit der Profiltafeln berücksichtigt werden. Diese Ränder sind in Bild 7.2 als gepunktete Linien dargestellt.



Bild 7.2 — Modell einer Profiltafel zur Bestimmung von Beanspruchbarkeit und Steifigkeit

(4) Wenn eine Randsteife nicht senkrecht zum Gurt angeordnet ist, wie bei der in Bild 7.3 dargestellten Randsteife mit doppelter Umbiegung, sollte die äquivalente Größe  $c_{\text{eq}}$  der Randsteife nach Gleichung (7.7) oder Gleichung (7.8) bestimmt werden:

$$c_{\text{eq}} = \frac{c}{(\cos \phi)^{1/3}} \quad \text{wenn } c_2 = 0 \quad \text{(Randsteife mit einfacher Umbiegung)} \quad (7.7)$$

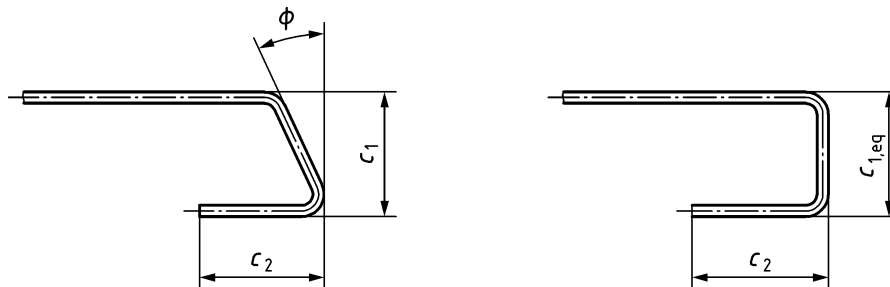
Dabei ist

$c$  die Breite der Randsteife mit einfacher Umbiegung (Lippe), senkrecht zum Gurt gemessen (siehe auch Bild 7.3 für geneigte Randsteifen mit doppelter Umbiegung).

$$c_{1,\text{eq}} = c_1 \left[ \frac{c_1 + 4 c_2 \cos \phi}{\cos \phi (c_1 + c_2 \cos \phi)} \right]^{1/3} \quad \text{wenn } c_2 > 0 \quad \text{(Randsteife mit doppelter Umbiegung)} \quad (7.8)$$

Dabei sind

$c_1, c_2$  die Breiten der Querschnittsteile einer Randsteife mit doppelter Umbiegung (Bördel), im Außenmaß gemessen, wie in Bild 7.3 dargestellt.



ANMERKUNG  $c_1, c_2$ : Außenmaße

**Bild 7.3 — Geneigte Randsteife mit doppelter Umbiegung (Bördel)**

## 7.4 Querschnittsberechnung — Geometrische Abmessungen und Gültigkeitsbereich

(1) Die Festlegungen für die rechnerische Bemessung in diesem Dokument sollten nicht für Querschnitte angewendet werden, die außerhalb der in Tabelle 7.5 angegebenen Bereiche der Breiten-Dicken-Verhältnisse  $b/t$ ,  $h/t$ ,  $c/t$ ,  $c_1/t$  und  $c_2/t$  liegen. Diese Grenzwerte definieren die Bereiche, für die derzeit ausreichende Erfahrung und Nachweise durch Versuche vorliegen. Querschnitte mit größeren Breiten-Dicken-Verhältnissen dürfen ebenfalls verwendet werden, vorausgesetzt, dass ihre Beanspruchbarkeiten in Grenzzuständen der Tragfähigkeit und ihr Verhalten in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit durch Versuche und/oder Berechnungen nachgewiesen werden, wobei die berechneten Ergebnisse durch eine ausreichende Anzahl von Versuchen bestätigt werden.

Tabelle 7.5 — Maximale Breiten-Dicken-Verhältnisse

Querschnittsteil	Maximalwert
	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
	$b/t \leq 90$ $c_1/t \leq 60$ $c_2/t \leq 50$ mit $c_1, c_2$ : Außenmaße
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

(2) Um eine ausreichende Steifigkeit zu gewährleisten und gleichzeitig ein vorzeitiges Stabilitätsversagen der Steife zu vermeiden, sollten die Abmessungen von Randsteifen innerhalb der in Gleichung (7.9) bis Gleichung (7.11) angegebenen Bereiche liegen:

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \quad (7.9)$$

$$0,2 \leq c_1/b \leq 0,6 \quad (7.10)$$

$$0,1 \leq c_2/b \leq 0,3 \quad (7.11)$$

wobei die Abmessungen  $b, c, c_1$  und  $c_2$  in der Tabelle 7.5 angezeigt sind.

Wenn  $c/b < 0,2$  oder  $c_1/b < 0,2$  oder  $c_2/b < 0,1$ , sollte die Randsteife in den Berechnungen vernachlässigt werden ( $c = 0$  oder  $c_1 = c_2 = 0$ ).

(3) Wenn die Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts durch Versuche oder durch Versuche und anschließende Simulationen mittels Finite-Elemente-Methoden bestimmt werden, so gelten die Grenzwerte in (1) und (2) nicht.

ANMERKUNG Zur Anwendung von Finite-Elemente-Methoden, siehe EN 1993-1-14.

## 7.5 Querschnittsberechnung — Eindrehen der Gurte

(1) Die Auswirkungen des Eindrehens der Gurte auf die Beanspruchbarkeit dürfen vernachlässigt werden, wenn die maximale Verformung infolge des Eindrehens weniger als 5 % der Querschnittshöhe beträgt. Falls das Eindrehen stärker ausgeprägt ist, sollte dessen Auswirkung auf die Beanspruchbarkeit, z. B. durch Reduktion des Hebelarms der wirksamen Gurtquerschnittsteile oder durch mögliche Querbiegung des Stegs, berücksichtigt werden.

Die Auswirkungen des Eindrehens der Gurte auf die Beanspruchbarkeit dürfen sowohl bei Bauteilen als auch bei Profiltafeln vernachlässigt werden, falls  $b/t \leq 250 h/b$  (siehe Bild 7.4).

ANMERKUNG 1 Das Eindrehen der Gurte ist durch eine nach innen gerichtete Krümmung in Richtung der neutralen Achse gekennzeichnet und kann z. B. bei breiten Gurten eines biegebeanspruchten Bauteils oder in Gurten eines Bogenträgers mit druckbeanspruchter konkaver Seite auftreten.

ANMERKUNG 2 Bei Kassettenprofilen wird die Auswirkung des Eindrehens der Gurte in 11.2.2.2 berücksichtigt.

(2) Die Berechnung der maximalen Verformung infolge des Eindrehens darf nach Gleichung (7.12) und Gleichung (7.13) erfolgen. Die Gleichungen gelten sowohl für Druck- als auch für Zuggurte, entweder mit oder ohne Längssteifen, aber ohne eng angeordnete Quersteifen.

Bei einem Bauteil, das vor der Beanspruchung gerade ist (siehe Bild 7.4), gilt:

$$v_{\text{curl}} = 2 \frac{\sigma_a^2 b_{\text{curl}}^4}{E^2 t^2 z} \quad (7.12)$$

Bei Bogenträgern gilt:

$$v_{\text{curl}} = 2 \frac{\sigma_a b_{\text{curl}}^4}{E t^2 r_{\text{beam}}} \quad (7.13)$$

Dabei ist

- $v_{\text{curl}}$  die größte Verformung des Gurts in Richtung der Nulllinie infolge des Eindrehens, siehe Bild 7.4;
- $b_{\text{curl}}$  die Hälfte des Abstandes zwischen den Stegen bei Kasten- und Hutprofilen oder die Breite des über den Steg auskragenden Gurtanteils, siehe Bild 7.4;
- $t$  die Gurtstärke;
- $z$  der Abstand vom Gurt bis zur Nulllinie des Bruttoquerschnitts, siehe Bild 7.4;
- $r_{\text{beam}}$  der Krümmungsradius des Bogenträgers;
- $\sigma_a$  die mittlere, auf Grundlage des Bruttoquerschnitts berechnete Spannung in den Gurten. Wurde die Spannung zuvor auf der Basis des wirksamen Querschnitts berechnet, darf die mittlere Spannung durch Multiplikation der Spannung im wirksamen Querschnitt mit dem Verhältnis der wirksamen Gurtflächen zur Bruttofläche des Gurts ermittelt werden.

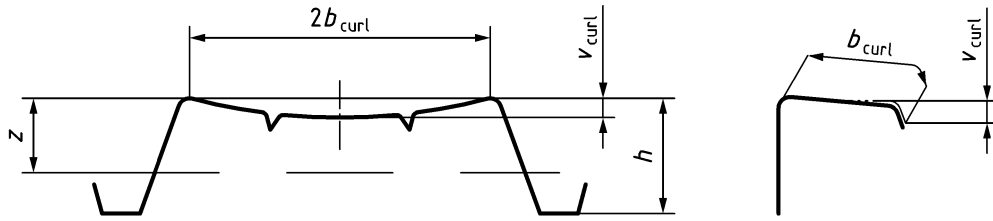


Bild 7.4 — Verformungen infolge des Eindrehens der Gurte

## 7.6 Querschnittsberechnung – Plattenbeulen und Forminstabilität

### 7.6.1 Allgemeines

(1) Die Auswirkungen des Plattenbeulens und der Forminstabilität sollten bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit und Steifigkeit von kaltgeformten Stahlbauteilen und Profiltafeln berücksichtigt werden.

(2) Auswirkungen des Plattenbeulens sollten nach (6), (7) und 7.6.2 durch Verwendung der Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts berücksichtigt werden, die auf Grundlage der Methode der wirksamen Breiten berechnet wurden, siehe auch EN 1993-1-5.

(3) Bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit auf Plattenbeulen sollte zur Berechnung der wirksamen Breiten von druckbeanspruchten Querschnittsteilen nach EN 1993-1-5 die Streckgrenze  $f_y$  als  $f_{yb}$  angesetzt werden.

ANMERKUNG Die Querschnittsbeanspruchbarkeit auf Plattenbeulen wird in 8.1 behandelt.

(4) Bei Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit sollte die wirksame Breite eines druckbeanspruchten Querschnittsteils auf der Basis der Druckspannung  $\sigma_{com,Ed,ser}$  im Querschnittsteil unter der Belastung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berechnet werden.

(5) Die Auswirkungen der Forminstabilität sollten in Fällen, wie in Bild 7.5 (a) bis Bild 7.5 (e) dargestellt, berücksichtigt werden. Die Forminstabilität von Querschnittsteilen mit Rand- oder Zwischensteifen sollte nach (6), (7) und 7.6.3 berücksichtigt werden.

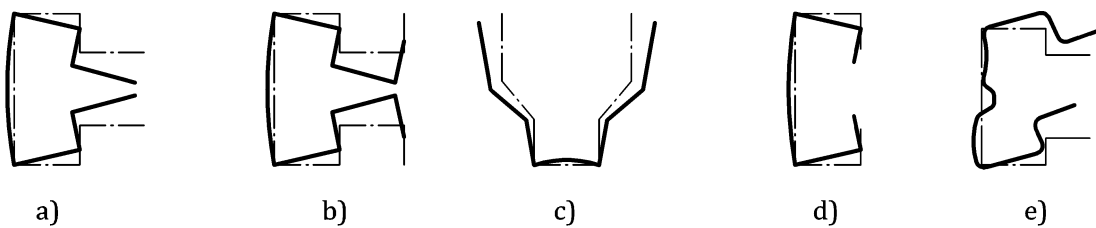


Bild 7.5 — Beispiele für Forminstabilität

(6) Die Auswirkungen von Plattenbeulen und Forminstabilität sollten durch eine lineare [siehe 7.6.1(7)] oder nichtlineare Stabilitätsanalyse (siehe EN 1993-1-14) mit Hilfe numerischer Verfahren, aus Druckversuchen an kurzen Stützen (siehe Anhang A) oder mit vereinfachten Verfahren nach 7.6.2 und EN 1993-1-5 für Plattenbeulen sowie nach 7.6.3.1 für Forminstabilität bestimmt werden.

(7) Wenn die elastische Verzweigungslast mit Hilfe einer linearen Verzweigungslastanalyse ermittelt wird, darf das folgende Verfahren angewendet werden:

- a) Für Halbwellenlängen bis zur Nennlänge des Bauteils werden die elastische ideale Verzweigungslast berechnet und die zugehörigen Stabilitätsformen bestimmt, wie in Bild 7.6 dargestellt.
- b) Für Querschnittsteile, bei denen Plattenbeulen auftritt, werden auf der Grundlage der kleinsten elastischen Verzweigungslast die wirksamen Breiten nach 7.6.2 berechnet, siehe Bild 7.7.

- c) Für Rand- und Zwischensteifen oder andere Querschnittsteile, bei denen möglicherweise Forminstabilität auftritt, wird auf der Grundlage der kleinsten Verzweigungslast für Forminstabilität die abgeminderte Dicke nach 7.6.3.3 oder 7.6.3.4 berechnet, siehe Bild 7.7.
- d) Die Beanspruchbarkeit auf Gesamtinstabilität wird nach 8.2 (unter Einbezug der Stabilitätsformen Biegeknicken, Drillknicken oder Biegedrillknicken unter Druck- und Biegebeanspruchung) für die entsprechende Knicklänge auf der Grundlage des in b) und c) bestimmten wirksamen Querschnitts berechnet.

(8) Das folgende Bemessungsverfahren sollte zur Bestimmung der Querschnittswerte der wirksamen Querschnitte, die sich unter Berücksichtigung des Plattenbeulens und der Forminstabilität ergeben, angewendet werden:

- a) wirksame Fläche  $A_{\text{eff}}$ :

Die wirksame Fläche  $A_{\text{eff}}$  sollte unter der Annahme bestimmt werden, dass der Querschnitt nur konstanten Spannungen infolge einer zentrischen Druckbeanspruchung unterliegt, wobei das Plattenbeulen nach 7.6.2 und die Forminstabilität von Querschnittsteilen mit Steifen nach 7.6.3 berücksichtigt wird. Bei einfach symmetrischen oder asymmetrischen Querschnitten können die möglichen Verschiebungen  $e_{N_y}$  und  $e_{N_z}$  des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts gegenüber dem Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts zu zusätzlichen Biegemomenten führen, die bei der Bestimmung der Querschnittsbeanspruchbarkeit (siehe 8.1 und Bild 8.1) und der Beanspruchbarkeit bei Stabilitätsversagen des Bauteils (siehe 8.2) berücksichtigt werden sollten.

- b) wirksames Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$ :

Das wirksame Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$  sollte unter der Annahme bestimmt werden, dass der Querschnitt nur auf Biegung beansprucht wird. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

- 1) Die wirksame Fläche der Querschnittsteile unter Druckbeanspruchung (z. B. der Gurt eines C- oder Z-Profils bei Biegung um die starke Hauptachse) darf unter Berücksichtigung des Plattenbeulens nach 7.6.2 und der Forminstabilität von Querschnittsteilen mit Steifen nach 7.6.3 bestimmt werden, wobei das Spannungsverhältnis für den Bruttoquerschnitt bestimmt wird.
- 2) Die wirksame Fläche von Querschnittsteilen, die durch einen Spannungsgradienten beansprucht werden (z. B. der Steg eines C- oder Z-Profils bei Biegung um die starke Hauptachse) darf unter Berücksichtigung des Plattenbeulens nach 7.6.2 und der Forminstabilität von Querschnittsteilen mit Steifen nach 7.6.3 bestimmt werden, wobei das Spannungsverhältnis  $\psi$  für einen Querschnitt ermittelt wird, der sich aus den wirksamen Flächen der Querschnittsteile unter konstanter Druckbeanspruchung (z. B. dem Gurt), ermittelt im vorangegangenen Schritt a), und der Bruttoquerschnittsfläche der durch einen Spannungsgradienten beanspruchten Querschnittsteile (z. B. dem Steg) zusammensetzt.
- 3) Falls das wirksame Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$  des Querschnitts auf der Grundlage einer maximalen Spannung im Querschnitt gleich der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  berechnet wurde, darf der wirksame Querschnitt verfeinert werden, in dem die Spannungsverteilung für den im vorherigen Schritt ermittelten, wirksamen Querschnitt neu berechnet wird. Bei Anwendung dieser Option sollten mindestens zwei Iterationen durchgeführt werden.

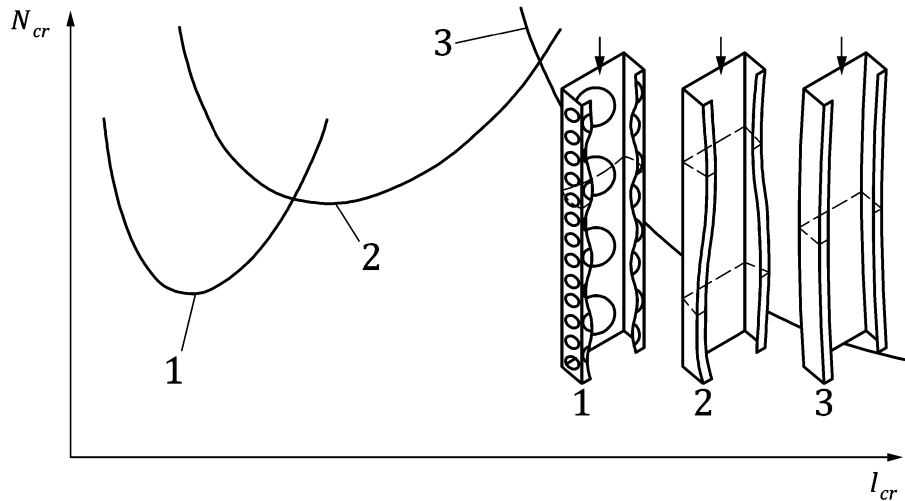
Falls die wirksamen Querschnittswerte auf Grundlage einer maximalen Spannung  $\sigma_{\text{com,Ed}}$  im Querschnitt berechnet wurden, die kleiner ist als  $f_{yb}$  [siehe 7.6.2 (5) und 7.6.3.2 (2)], sollte der wirksame Querschnitt verfeinert werden, in dem die Spannungsverteilung auf der Basis des in den vorherigen Schritten ermittelten wirksamen Querschnitts neu berechnet wird. Die Mindestanzahl der Iterationen beträgt zwei.

(9) Alternativ zu 7.6.1(8) darf für den Nachweis der Querschnittsbeanspruchbarkeit nach 8.1 ein einziger wirksamer Querschnitt unter der Annahme bestimmt werden, dass der Querschnitt einer kombinierten Beanspruchung aus konstanten Druck- oder Zugspannungen infolge einer Normalkraft  $N_{Ed}$  und gleichzeitigen Biegespannungen infolge eines Biegemoments  $M_{Ed}$  ausgesetzt ist. Die möglichen Verschiebungen  $e_{Ny}$  und  $e_{Nz}$  des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts gegenüber dem Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts können zu zusätzlichen Biegemomenten führen, die berücksichtigt werden sollten. Dies erfordert ein iteratives Verfahren.

Beim Stabilitätsnachweis des Bauteils nach 8.2 darf dieses alternative Verfahren nicht angewendet werden.

(10) Zur Bestimmung von elastischen idealen Verzweigungslasten in 7.6.1(7) dürfen numerische Verfahren, z. B. Finite-Elemente-Methoden (FEM), Finite-Streifen-Methode (FSM) oder die verallgemeinerte technische Biegetheorie (VTB; en: GBT, generalized beam theory), basierend auf einer linear-elastischen Verzweigungslastanalyse (LBA), angewendet werden.

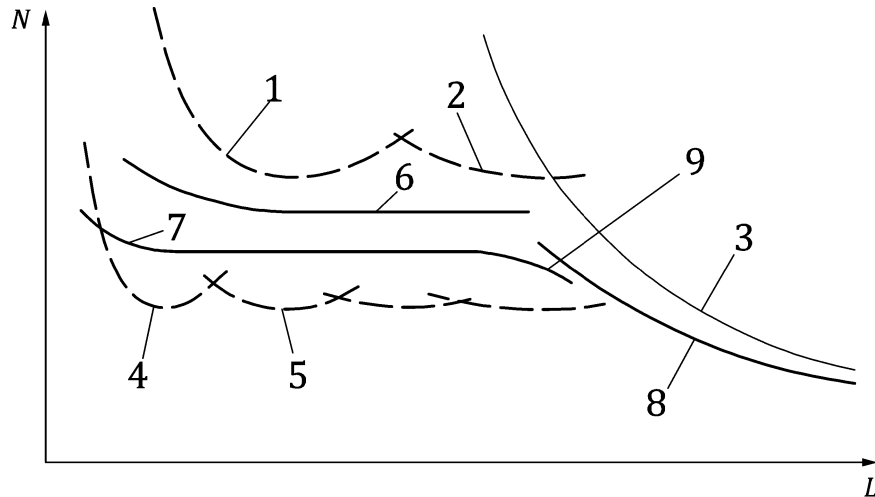
ANMERKUNG Zu Finite-Element-Methoden von Stahltragwerken, siehe EN 1993-1-14.



### Legende

- $l_{cr}$  Halbwellenlänge
- $N_{cr}$  ideale Verzweigungslast
- 1 Plattenbeulen
- 2 Forminstabilität
- 3 globale Instabilität

**Bild 7.6 — Beispiele für die elastische Verzweigungslast bei verschiedenen Stabilitätsformen in Abhängigkeit der Halbwellenlänge**



### Legende

$L$  Bauteillänge

$N$  Last

1-2 elastische Forminstabilität, dargestellt durch Girlandenkurven mit einer ansteigenden Anzahl von Halbwellen in Längsrichtung

3 elastische globale Instabilität

4-5 elastisches Plattenbeulen, dargestellt durch Girlandenkurven mit einer ansteigenden Anzahl von Halbwellen in Längsrichtung

6 Beanspruchbarkeit auf Forminstabilität

7 Beanspruchbarkeit auf Plattenbeulen

8 Beanspruchbarkeit auf globale Instabilität

9 mögliche Interaktion von Plattenbeulen, Forminstabilität und globaler Instabilität

**Bild 7.7 — Beispiele für die elastische Verzweigungslast und die Beanspruchbarkeit bei Stabilitätsversagen in Abhängigkeit der Bauteillänge**

### 7.6.2 Ebene, nicht ausgesteifte Querschnittsteile

(1) Die wirksamen Breiten von nicht ausgesteiften Querschnittsteilen sollten nach EN 1993-1-5 ermittelt werden, wobei der Nennwert der geraden Breite  $b_p$  anstelle von  $\bar{b}$  verwendet wird und die Abminderungsfaktoren für Plattenbeulen auf Grundlage des bezogenen Beulschlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_p$  und der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  bestimmt werden.

(2) Der Nennwert der geraden Breite  $b_p$  eines ebenen Querschnittsteils sollte nach Tabelle 7.3 bestimmt werden. Für ebene Querschnittsteile in geneigten Stegen sollte die entsprechende geneigte Höhe verwendet werden.

(3) Bei einseitig gestützten Querschnittsteilen darf die Methode der gemischten wirksamen Breiten/wirksamen Dicken verwendet werden, die nach Anhang C ausgeführt werden sollte.

(4) Bei einer Bemessung nach EN 1993-1-5 darf wie folgt vorgegangen werden:

- Die wirksame Fläche ebener Querschnittsteile unter konstanter Druckbeanspruchung darf in einem Querschnitt, der durch einen Spannungsgradienten beansprucht wird (z. B. der Gurt eines C-Profiles bei Biegung um die starke Hauptachse), nach EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2, bestimmt werden, wobei das Spannungsverhältnisses  $\psi$  auf Grundlage der Bruttoquerschnittswerte ermittelt wird.

- Die wirksame Fläche ebener Querschnittsteile, die durch einen Spannungsgradienten beansprucht werden (z. B. der Steg eines C-Profils bei Biegung um die starke Hauptachse) darf nach EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2, ermittelt werden, wobei das Spannungsverhältnis  $\psi$  für einen Querschnitt ermittelt wird, der sich aus der wirksamen Fläche der ebenen Querschnittsteile unter konstanter Druckbeanspruchung und dem Bruttoquerschnitt der ebenen Querschnittsteile, die durch einen Spannungsgradienten beansprucht werden, zusammensetzt.

ANMERKUNG Zur iterativen Berechnung des wirksamen Querschnitts, siehe 7.6.1(8).

- Das vereinfachte Verfahren in 7.6.4 darf im Fall von Stegen in Trapezprofilen mit einem Spannungsgradient verwendet werden.

(5) Nach EN 1993-1-5:2024, 6.4.1(6), darf der bezogene Beulschlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$  durch  $\bar{\lambda}_{p,red}$  ersetzt werden, dies auf Grundlage einer Druckspannung  $\sigma_{com,Ed}$  (kleiner als die Basisstreckgrenze  $f_{yb}/\gamma_{M0}$ ) unter Verwendung von Gleichung (7.14):

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb}/\gamma_{M0}}} \quad (7.14)$$

Dabei ist

- $\sigma_{com,Ed}$  der Bemessungswert der Druckspannung im maßgebenden ebenen Querschnittsteil, der durch Überlagerung aller gleichzeitig einwirkenden Spannungen berechnet wird, wobei jede Spannung auf Grundlage des wirksamen Querschnitts für die jeweilige Belastungsart berechnet wird.

ANMERKUNG In diesem Dokument kann  $\sigma_{com,Ed}$  sowohl zum Nachweis der Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung von Plattenbeulen und Forminstabilität als auch für den Stabilitätsnachweis des Bauteils verwendet werden, woraus sich eine spezifischere Definition für  $\sigma_{com,Ed}$  im Vergleich zu EN 1993-1-5 ergibt.

Dies erfordert eine iterative Berechnung des wirksamen Querschnitts nach 7.6.1(8).

(6) Falls eine Bemessung auf der Grundlage von  $\sigma_{com,Ed}$  erfolgt, sollte das folgende Verfahren angewendet werden:

- Die wirksame Fläche jedes relevanten Querschnittsteils sollte auf Grundlage der Druckspannung  $\sigma_{com,Ed}$  für das jeweilige Querschnittsteil nach 7.6.2, 7.6.3.2, 7.6.3.3 und 7.6.3.4 berechnet werden.
- Die Querschnittsbeanspruchbarkeit und die Beanspruchbarkeit von Bauteilen auf Stabilitätsversagen sollten nach 8.1 und 8.2 bestimmt werden, wobei:
  - alle relevanten Querschnittsbeanspruchbarkeiten auf der Grundlage desselben Wertes der maximalen Druckspannung  $\sigma_{com,Ed,max}$  im wirksamen Querschnitt berechnet werden sollten; und
  - die maximale Druckspannung  $\sigma_{com,Ed,max}$  die Werte  $f_{yb}$  und  $f_{ya}$  in 8.1 und 8.2, soweit zutreffend, ersetzt. Die Beanspruchbarkeit auf Stabilitätsversagen sollte auf der Grundlage der Knicklinien für  $f_{yb}$  bestimmt werden.

### 7.6.3 Ebene Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen

#### 7.6.3.1 Modellierung zur Analyse der Forminstabilität

(1) Die Bemessung druckbeanspruchter ebener Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen sollte unter der Annahme erfolgen, dass sich das ausgesteifte Querschnittsteil mit seiner Steife wie ein Druckglied mit kontinuierlicher Querbettung verhält, mit einer Federsteifigkeit, die von den Randbedingungen und der Biegesteifigkeit der angrenzenden ebenen Querschnittsteile abhängt.

(2) Die Federsteifigkeit einer Steife sollte unter Ansatz einer Einheitsstreckenlast  $F_{\text{unit}}$  (je Längeneinheit) ermittelt werden, wie in Tabelle 7.6 dargestellt. Die Federsteifigkeit  $K_{\text{st}}$  je Längeneinheit darf nach Gleichung (7.15) bestimmt werden:

$$K_{\text{st}} = F_{\text{unit}}/v_{\text{st}} \quad (7.15)$$

Dabei ist

$F_{\text{unit}}$  die Einheitsstreckenlast (je Längeneinheit), die am Schwerpunkt eines ideellen Querschnitts einwirkt, der sich aus den wirksamen Teilen der Steife und den angrenzenden wirksamen Flächen des ausgesteiften Querschnittsteils zusammensetzt, siehe Tabelle 7.6;

$v_{\text{st}}$  die Durchbiegung der Steife unter der Einheitsstreckenlast  $F_{\text{unit}}$ .

(3) Bei der Bestimmung der Drehfedersteifigkeiten  $C_{\theta}$ ,  $C_{\theta,1}$  und  $C_{\theta,2}$  aus der Querschnittsgeometrie [siehe Tabelle 7.6 (a)] sollten die möglichen Auswirkungen weiterer Steifen berücksichtigt werden, die in demselben Querschnittsteil oder in anderen druckbeanspruchten Querschnittsteilen vorhanden sind.

(4) Bei einer Randsteife sollte die Durchbiegung  $v_{\text{st}}$  nach Gleichung (7.16) bestimmt werden:

$$v_{\text{st}} = \theta b_p + \frac{F_{\text{unit}} b_{\text{K1}}^3}{3} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad (7.16)$$

mit

$$\theta = F_{\text{unit}} b_{\text{K1}} / C_{\theta}$$

(5) Im Fall von Randsteifen von C- und Z-Profilen mit Lippen oder Bördeln sollte  $C_{\theta}$  unter Ansatz der Einheitsstreckenlasten  $F_{\text{unit}}$ , wie in Tabelle 7.6 (c) dargestellt, bestimmt werden. Daraus resultiert die Gleichung (7.17) zur Berechnung der Federsteifigkeit  $K_{\text{st},1}$  der Steife in Gurt 1:

$$K_{\text{st},1} = \frac{Et^3}{4(1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{b_{\text{K1}}^2 h_w + b_{\text{K1}}^3 + 0,5 b_{\text{K1}} b_{\text{K2}} h_w k_{\text{if}}} \quad (7.17)$$

Dabei sind

$b_{\text{K1}}$  der Abstand von der Steg-Gurt-Verbindung zum Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts der Randsteife von Gurt 1 (einschließlich des wirksamen Gurtanteils  $b_{e2}$ ), siehe Tabelle 7.6 (a);

$b_{\text{K2}}$  der Abstand von der Steg-Gurt-Verbindung zum Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts der Randsteife von Gurt 2 (einschließlich des wirksamen Gurtanteils);

$h_w$  die Steghöhe, gemessen zwischen den Mittellinien der Gurte;

$k_{lf}$  ein Koeffizient zur Berücksichtigung der Art der Beanspruchung in den Gurten mit:

$k_{lf} = 0$  wenn Gurt 2 zugbeansprucht ist (z. B. bei einem Bauteil mit Biegung um die y-y-Achse);

$k_{lf} = A_{st2}/A_{st1}$  wenn Gurt 2 druckbeansprucht ist (z. B. bei einer Stütze unter zentrischer Druckbeanspruchung);

$k_{lf} = 1$  bei einem symmetrischen Querschnitt unter Druckbeanspruchung.

$A_{st1}, A_{st2}$  die wirksamen Flächen der Randsteifen (einschließlich des wirksamen Teils  $b_{e2}$  des Gurtes, siehe Tabelle 7.6 (b), von Gurt 1 bzw. Gurt 2).

Tabelle 7.6 — Bestimmung der Federsteifigkeit

<b>(a) Tatsächliches System</b>			
<b>(b) Äquivalentes System</b>			
<b>(c) Beispielhafte Berechnung von <math>v_{st}</math> für C- und Z-Profile</b>			
Zentrischer Druck oder Biegung um die schwache Biegeachse	Biegung um die starke Biegeachse	Zentrischer Druck	Biegung um die starke oder schwache Biegeachse

Normen-Download-DIN Media-VFA-Interlif e. V. - Kd/Nr. 6363432-ID.yyz2r6181yz1: XZoQaul\_Ng6xQrgRRvLqa-okkTT7-2025-03-28 08:03:07

(6) Als konservative Alternative dürfen die Werte der Drehfedersteifigkeiten einer Zwischensteife  $C_{\theta,1}$  und  $C_{\theta,2}$  zu null gesetzt werden, und die Durchbiegung  $v_{st}$  darf nach Gleichung (7.18) ermittelt werden:

$$v_{st} = \frac{F_{unit} b_{K1}^2 b_{K2}^2}{3(b_{K1} + b_{K2})} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad (7.18)$$

Dabei ist

$F_{unit}$  die Einheitsstreckenlast (je Längeneinheit) nach (2);

$b_{K1}, b_{K2}$  die Abstände nach (5), siehe Tabelle 7.6.

### 7.6.3.2 Beanspruchbarkeit auf Forminstabilität

(1) Der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit auf Forminstabilität sollte mit Hilfe des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_d$  nach Gleichung (7.19) bis Gleichung (7.21) ermittelt werden:

$$\chi_d = 1,0 \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \quad (7.19)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d \quad \text{wenn} \quad 0,65 \leq \bar{\lambda}_d < 1,38 \quad (7.20)$$

$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda}_d \geq 1,38 \quad (7.21)$$

mit

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,st}}} \quad (7.22)$$

Dabei ist

$\sigma_{cr,st}$  die elastische ideale Verzweigungsspannung der Steife(n) nach 7.6.3.3, 7.6.3.4 oder 7.6.4.2.

(2) Der bezogene Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_d$  nach Gleichung (7.22) darf bei einer Druckspannung  $\sigma_{com,Ed}$  durch  $\bar{\lambda}_{d,red}$  nach Gleichung (7.23) ersetzt werden:

$$\bar{\lambda}_{d,red} = \bar{\lambda}_d \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb}/\gamma_{M0}}} \quad (7.23)$$

Dabei ist

$\sigma_{com,Ed}$  der Bemessungswert der maximalen Druckspannung am Schwerpunkt der Steife, berechnet auf Grundlage des maßgebenden, wirksamen Querschnitts nach 7.6.2(5).

Dies erfordert eine iterative Berechnung des wirksamen Querschnitts nach 7.6.1(8).

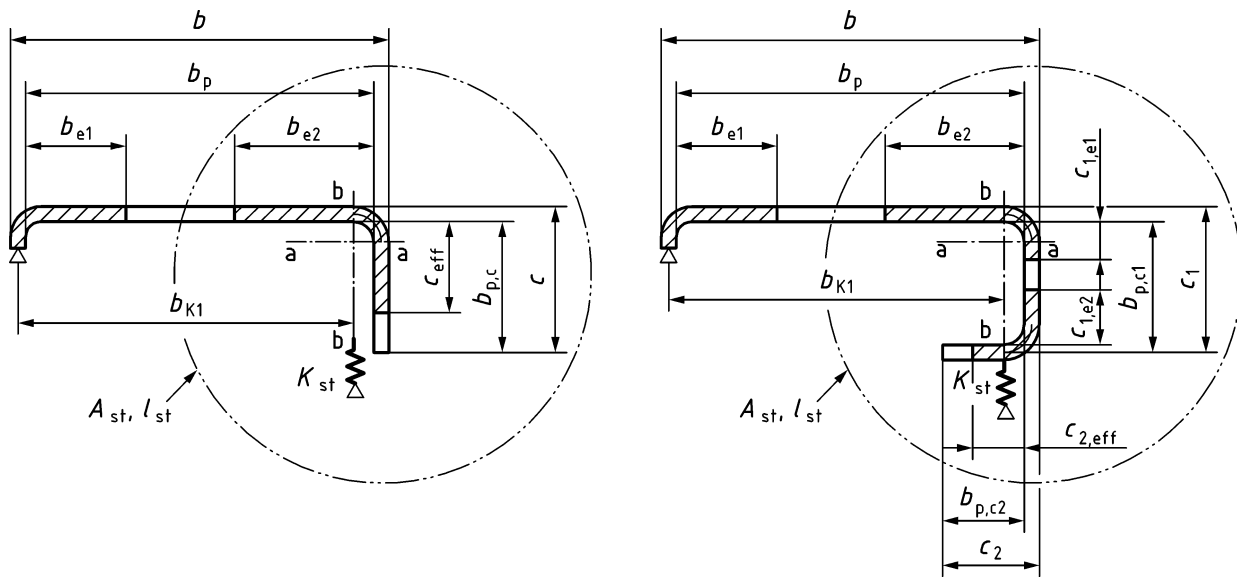
(3) Wird eine Bemessung auf Grundlage von  $\sigma_{com,Ed}$  durchgeführt, sollte das Verfahren nach 7.6.2 (6) angewendet werden.

(4) Alternativ darf die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st}$  aus einer elastischen Verzweigungslastanalyse mit Hilfe von numerischen Methoden ermittelt werden [siehe 7.6.1(7) und 7.6.1(10)].

(5) Im Fall von ebenen Querschnittsteilen mit Rand- und Zwischensteifen und bei Verzicht auf ein genaueres Verfahren darf die Auswirkung der Zwischensteife(n) vernachlässigt werden.

**7.6.3.3 Ebene Querschnittsteile mit Randsteifen — Interaktion zwischen Plattenbeulen und Forminstabilität**

(1) Das folgende Verfahren darf bei Randsteifen angewendet werden, wenn die Anforderungen in 7.4 erfüllt sind und der Winkel zwischen Steife und dem ebenen Querschnittsteil zwischen  $45^\circ$  und  $135^\circ$  liegt.



**a) Randsteife mit einfacher Umbiegung (Lippe)    b) Randsteife mit zweifacher Umbiegung (Bördel)**

**Bild 7.8 — Randsteifen**

(2) Der Querschnitt einer Randsteife sollte aus den wirksamen Teilen der Steife (d. h. den wirksamen Teilen der Querschnittsteile  $c$  oder der Querschnittsteile  $c_1$  und  $c_2$ , wie in Bild 7.8 dargestellt) und dem angrenzenden, wirksamen Teil des ebenen Querschnittsteils  $b_p$  bestehen.

(3) Das Verfahren, das in Tabelle 7.7 dargestellt ist, sollte schrittweise wie folgt durchgeführt werden:

**Schritt 1: Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen**

Ermittlung eines initialen wirksamen Steifenquerschnitts, wobei die wirksamen Breiten unter der Annahme bestimmt werden, dass die Steife eine vollständige Verformungsbehinderung bewirkt, siehe (4) und (5);

**Schritt 2: Forminstabilität**

Verwendung des initialen wirksamen Steifenquerschnitts zur Bestimmung des Abminderungsfaktors für Forminstabilität unter Berücksichtigung der Auswirkungen der kontinuierlichen Federlagerung, siehe (6), (7), (8) und (9);

**Schritt 3: Verfeinerung des wirksamen Querschnitts der Randsteife (optional)**

Dieser Schritt ist optional und darf entfallen. Iteration zur Verfeinerung des Abminderungsfaktors für Forminstabilität, siehe (10);

**Schritt 4: Festlegung eines wirksamen Querschnitts der Randsteife, siehe (11)**

(4) Die initialen Werte der wirksamen Breiten  $b_{e1}$  und  $b_{e2}$  des ebenen Querschnittsteils, wie in Bild 7.8 gezeigt, sollten nach 7.6.2 unter der Annahme bestimmt werden, dass das ebene Querschnittsteil  $b_p$  beidseitig gestützt ist, siehe EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.1.

(5) Die initialen Werte der wirksamen Breiten der Randsteife in Bild 7.8 sollten wie folgt ermittelt werden:

a) für eine Randsteife mit einfacher Umbiegung (Lippe) (siehe Bild 7.8 a):

$$c_{\text{eff}} = \rho b_{p,c} \quad (7.24)$$

Dabei ist

$\rho$  der Abminderungsfaktor für Plattenbeulen nach 7.6.2, wobei abweichend davon der Beulwert  $k_\sigma$  wie folgt bestimmt werden sollte:

$$k_\sigma = 0,5 \quad \text{wenn } b_{p,c}/b_p \leq 0,35 \quad (7.25)$$

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p,c}/b_p - 0,35)^2} \quad \text{wenn } 0,35 < b_{p,c}/b_p \leq 0,6 \quad (7.26)$$

b) für eine Randsteife mit zweifacher Umbiegung (Bördel) (siehe Bild 7.8 b):

$$c_{1,\text{eff}} = \rho b_{p,c1} \quad (7.27)$$

Dabei ist

$\rho$  der nach 7.6.2 ermittelte Abminderungsfaktor für Plattenbeulen unter Verwendung des Beulwerts  $k_\sigma$  für ein beidseitig gestütztes Querschnittsteil nach EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.1;

und:

$$c_{2,\text{eff}} = \rho b_{p,c2} \quad (7.28)$$

Dabei ist

$\rho$  der nach 7.6.2 ermittelte Abminderungsfaktor für Plattenbeulen unter Verwendung des Beulwerts  $k_\sigma$  für ein einseitig gestütztes Querschnittsteil nach EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.2;

(6) Bei der Berechnung der Fläche  $A_{st}$  und des Trägheitsmoments  $I_{st}$  des wirksamen Querschnitts der Randsteife müssen die ausgerundeten Eckbereiche nach denselben Grundsätzen berücksichtigt werden wie bei der Berechnung des wirksamen Querschnitts nach 7.3.1, siehe Bild 7.8.

(7) Die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st}$  einer Randsteife sollte nach Gleichung (7.29) bestimmt werden:

$$\sigma_{cr,st} = \frac{2 \sqrt{K_{st} E I_{st}}}{A_{st}} \quad (7.29)$$

Dabei ist

$K_{st}$  die Federsteifigkeit der Randsteife je Längeneinheit, siehe 7.6.3.1(2);

$I_{st}$  das Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts der Randsteife um seine Schwerachse a-a, siehe Bild 7.8.

(8) Alternativ darf die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st}$  aus einer elastischen Verzweigungslastanalyse mit Hilfe von numerischen Methoden bestimmt werden, siehe 7.6.1(7) und 7.6.1(10).

(9) Der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  für die Beanspruchbarkeit einer Randsteife auf Forminstabilität sollte nach 7.6.3.2 auf Grundlage von  $\sigma_{cr,st}$  ermittelt werden.

(10) Optional darf bei  $\chi_d < 1$  der wirksame Querschnitt der Randsteife iterativ verfeinert werden, indem das Verfahren nach Tabelle 7.7 wiederholt wird, beginnend mit Schritt 1 und mit modifizierten Werten von  $\rho$  auf Grundlage einer reduzierten Spannung nach Gleichung (7.30):

$$\sigma_{com,Ed,n,red} = \chi_{d,(n-1)} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (7.30)$$

Dabei ist

$n$  die Nummer des iterativen Zyklus.

Dies führt für alle ebenen Querschnittsteile, die die Steife bilden, zu einem abgeminderten bezogenen Schlankheitsgrad für Plattenbeulen nach Gleichung (7.31):

$$\bar{\lambda}_{p,n,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_{d,(n-1)}} \quad (7.31)$$

Falls die Bemessung für Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6.2 und 7.6.3.2 auf der Druckspannung  $\sigma_{com,Ed}$  basiert, sollte  $f_{yb}$  in Gleichung (7.30) durch  $\sigma_{com,Ed}$  ersetzt werden.

(11) Die reduzierte Dicke  $t_{red}$  sollte für alle Teile der Randsteife (d. h. für eine Randsteife mit einfacher Umbiegung (Lippe):  $b_{e2,n}$ ,  $c_{eff,n}$ ; für eine Randsteife mit zweifacher Umbiegung (Bördel):  $b_{e2,n}$ ,  $c_{1,e1,n}$ ,  $c_{1,e2,n}$ ,  $c_{2,eff,n}$ ) nach Gleichung (7.32) angesetzt werden:

$$t_{red} = \chi_d \cdot t \quad (7.32)$$

Tabelle 7.7 — Druckbeanspruchbarkeit eines Gurts mit einer Randsteife nach (3)

	<p><b>Bruttoquerschnitt und Randbedingungen nach (1) und (2)</b></p>
	<p><b>Schritt 1: Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen</b> Berechnung des wirksamen Querschnitts (<math>b_{e1}</math>, <math>b_{e2}</math>, <math>c_{eff}</math>) nach (4) und (5) für <math>K_{st} = \infty</math></p>
<p>Iteration 1</p>	<p><b>Schritt 2: Forminstabilität</b></p> <p>a) Berechnung der elastischen idealen Verzweigungsspannung <math>\sigma_{cr,st}</math> nach (6), (7) oder (8), unter Verwendung der in Schritt 1 bestimmten wirksamen Querschnittsfläche der Randsteife <math>A_{st}</math></p> <p>b) Berechnung des Abminderungsfaktors <math>\chi_d</math> für Forminstabilität nach (9) auf Grundlage von <math>\sigma_{cr,st}</math></p>
<p>Iteration n</p>	<p><b>Schritt 3: Verfeinerung des wirksamen Querschnitts der Randsteife (optional)</b> Für <math>\chi_d &lt; 1</math>, wird optional Schritt 1 wiederholt, indem die wirksame Breite der Randsteife (<math>b_{e2}</math>, <math>c_{eff}</math>) erneut mit der reduzierten Druckspannung <math>\sigma_{com,Ed,n,red}</math> nach (10) unter Ansatz von <math>\chi_d</math> aus der vorherigen Iteration berechnet wird, dies wird solange fortgeführt, bis <math>\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}</math>, aber <math>\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}</math>.</p>
	<p><b>Schritt 4: Festlegung des wirksamen Querschnitts der Randsteife</b> Die reduzierte Dicke <math>t_{red}</math> für die Randsteife (<math>b_{e2}</math>, <math>c_{eff}</math>) wird auf Grundlage von <math>\chi_{d,n}</math> nach (11) berechnet</p>
<p><sup>a</sup> Falls die Bemessung auf Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6.2 und 7.6.3.2 auf der Druckspannung <math>\sigma_{com,Ed}</math> beruht, sollte <math>f_{yb}</math> durch <math>\sigma_{com,Ed}</math> ersetzt werden.</p>	

### 7.6.3.4 Ebene Querschnittsteile mit Zwischensteifen — Interaktion zwischen Plattenbeulen und Forminstabilität

(1) Das folgende Verfahren darf bei einer oder zwei identischen Zwischensteifen, ausgebildet als Sicken oder Umbiegungen, angewendet werden, sofern die wirksamen Breiten aller ebenen Querschnittsteile nach 7.6.2 berechnet werden.

(2) Der Querschnitt einer Zwischensteife sollte aus der Steife selbst und den angrenzenden, wirksamen Anteilen  $b_{1e,1}$  und  $b_{2e,1}$  der ausgesteiften ebenen Querschnittsteile bestehen, wie in Bild 7.9 dargestellt.

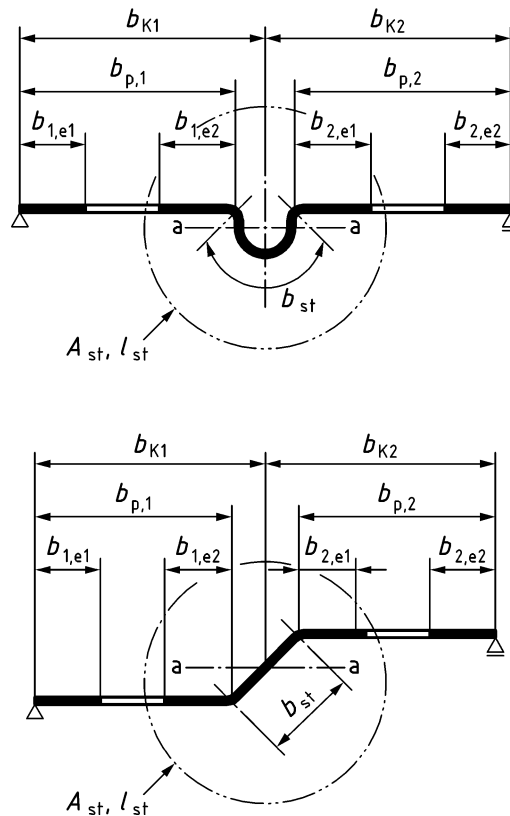


Bild 7.9 — Zwischensteifen

(3) Das Verfahren, das in Tabelle 7.8 dargestellt ist, sollte schrittweise wie folgt durchgeführt werden:

#### Schritt 1: Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen

Ermittlung eines initialen wirksamen Steifenquerschnitts, wobei die wirksamen Breiten unter der Annahme bestimmt werden, dass die Steife eine vollständige Verformungsbehinderung bewirkt, siehe (4);

#### Schritt 2: Forminstabilität

Verwendung des initialen wirksamen Steifenquerschnitts zur Bestimmung des Abminderungsfaktors für Forminstabilität unter Berücksichtigung der Auswirkungen der kontinuierlichen Federlagerung, siehe (5), (6), (7), (8);

#### Schritt 3: Verfeinerung des wirksamen Querschnitts der Zwischensteife (optional)

Dieser Schritt ist optional und darf entfallen. Iteration zur Verfeinerung des Abminderungsfaktors für Forminstabilität, siehe (9);

**Schritt 4: Festlegung eines wirksamen Querschnitts für die Zwischensteife, siehe (10).**

(4) Die initialen Werte der wirksamen Breiten  $b_{1,e2}$  und  $b_{2,e1}$ , die in Bild 7.9 dargestellt werden, sollten nach 7.6.2 unter der Annahme bestimmt werden, dass die ebenen Querschnittsteile  $b_{p,1}$  und  $b_{p,2}$  beidseitig gestützt sind, siehe EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.1.

(5) Bei der Berechnung der Fläche  $A_{st}$  und des Trägheitsmoments  $I_{st}$  des wirksamen Querschnitts der Zwischensteife müssen die ausgerundeten Eckbereiche nach denselben Grundsätzen berücksichtigt werden wie bei der Berechnung des wirksamen Querschnitts nach 7.3.1, siehe Bild 7.9.

(6) Die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st}$  einer Zwischensteife sollte nach Gleichung (7.33) bestimmt werden:

$$\sigma_{cr,st} = \frac{2 \sqrt{K_{st} EI_{st}}}{A_{st}} \quad (7.33)$$

Dabei ist

$K_{st}$  die Federsteifigkeit der Zwischensteife je Längeneinheit, siehe 7.6.3.1(2);

$I_{st}$  das Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts der Zwischensteife um seine Schwerachse a-a, siehe Bild 7.9.

(7) Alternativ darf die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st}$  aus einer elastischen Verzweigungslastanalyse mit Hilfe von numerischen Methoden bestimmt werden, siehe 7.6.1(7) und 7.6.1(10).

(8) Der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  für die Beanspruchbarkeit einer Zwischensteife auf Forminstabilität sollte auf Grundlage von  $\sigma_{cr,st}$  nach 7.6.3.2 ermittelt werden.

(9) Optional darf bei  $\chi_d < 1$  der wirksame Querschnitt der Zwischensteife iterativ verfeinert werden, indem das Verfahren nach Tabelle 7.8 wiederholt wird, beginnend mit Schritt 1 und mit modifizierten Werten von  $\rho$ , auf Grundlage einer reduzierten Spannung nach Gleichung (7.34):

$$\sigma_{com,Ed,n,red} = \chi_{d,(n-1)} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (7.34)$$

Dabei ist

$n$  die Nummer des iterativen Zyklus.

Dies führt für alle ebenen Querschnittsteile, die die Steife bilden, zu einem abgeminderten bezogenen Schlankheitsgrad für Plattenbeulen nach Gleichung (7.35):

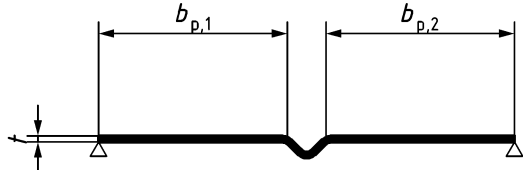
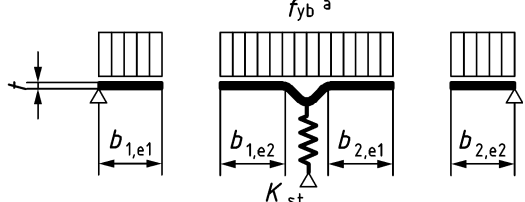
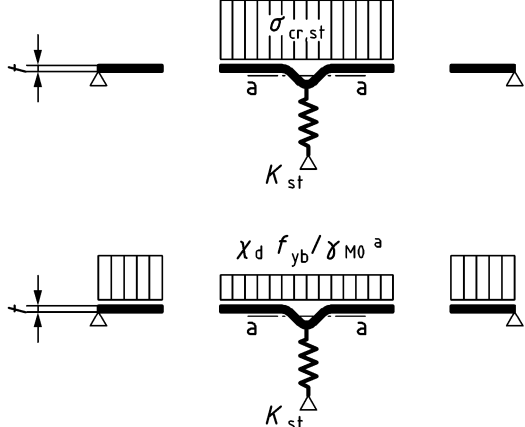
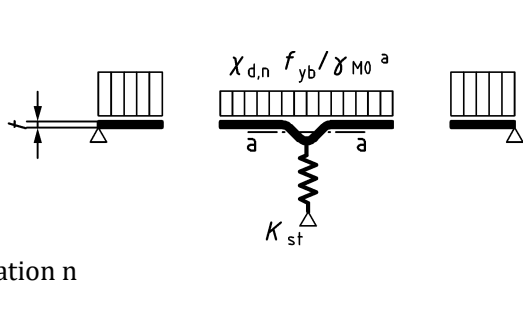
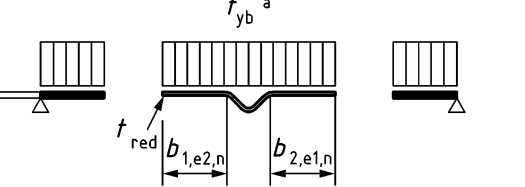
$$\bar{\lambda}_{p,n,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_{d,(n-1)}} \quad (7.35)$$

Falls die Bemessung auf Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6.2 und 7.6.3.2 auf der Druckspannung  $\sigma_{com,Ed}$  basiert, sollte  $f_{yb}$  in Gleichung (7.34) durch  $\sigma_{com,Ed}$  ersetzt werden.

(10) Die reduzierte Dicke  $t_{red}$  sollte für alle Teile der Zwischensteife ( $b_{1,e2,n}$ ,  $b_{2,e1,n}$ ,  $b_{st}$ ) nach Gleichung (7.36) angesetzt werden:

$$t_{red} = \chi_d \cdot t \quad (7.36)$$

Tabelle 7.8 — Druckbeanspruchbarkeit eines ebenen Querschnittsteils mit einer Zwischensteife nach (3)

	<p><b>Bruttoquerschnitt und Randbedingungen nach (1) und (2)</b></p>
	<p><b>Schritt 1: Plattenbeulen von ebenen Querschnittsteilen</b>          Berechnung des wirksamen Querschnitts (<math>b_{1e1}</math>, <math>b_{1e2}</math>, <math>b_{2e1}</math>, <math>b_{2e2}</math>) nach (4) für <math>K_{st} = \infty</math></p>
<p>Iteration 1</p> 	<p><b>Schritt 2: Forminstabilität</b></p> <p>a) Berechnung der elastischen idealen Verzweigungsspannung <math>\sigma_{cr,st}</math> nach (5), (6) oder (7), unter Verwendung der in Schritt 1 bestimmten wirksamen Querschnittsfläche der Zwischensteife <math>A_{st}</math></p> <p>b) Berechnung des Abminderungsfaktors <math>\chi_d</math> für Forminstabilität nach (8) auf Grundlage von <math>\sigma_{cr,st}</math></p>
<p>Iteration n</p> 	<p><b>Schritt 3: Verfeinerung des wirksamen Querschnitts der Zwischensteife (optional)</b>          Für <math>\chi_d &lt; 1</math> wird optional Schritt 1 wiederholt, indem die wirksame Breite der Zwischensteife (<math>b_{1,e2}</math>, <math>b_{2,e1}</math>) erneut mit der reduzierten Druckspannung <math>\sigma_{com,Ed,n,red}</math> nach (9) unter Ansatz von <math>\chi_d</math> aus der vorherigen Iteration berechnet wird, dies wird solange fortgeführt, bis <math>\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}</math>, aber <math>\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}</math>.</p>
	<p><b>Schritt 4: Festlegung des wirksamen Querschnitts der Zwischensteife</b>          Die reduzierte Dicke <math>t_{red}</math> für die Zwischensteife (<math>b_{1e2}</math>, <math>b_{2e1}</math>) wird auf Grundlage von <math>\chi_{d,n}</math> nach (10) berechnet</p>
<p><sup>a</sup> Falls die Bemessung auf Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6.2 und 7.6.3.2 auf der Druckspannung <math>\sigma_{com,Ed}</math> beruht, sollte <math>f_{yb}</math> durch <math>\sigma_{com,Ed}</math> ersetzt werden.</p>	

Normen-Download-DIN Media-VFA-Interlif e. V. - KdNr. 6363432-ID.yzz2r6i81yz1-XZoQaul\_Ng6xQrgRRvLqa-okkTT7-2025-03-28 08:03:07

## 7.6.4 Besondere Festlegungen für Trapezprofile

### 7.6.4.1 Allgemeines

(1) Für Trapezprofile sollten die Festlegungen in 7.6.4 in Verbindung mit dem allgemeinen Verfahren in 7.6.3.4 für Gurte mit Zwischensteifen angewendet werden.

(2) Die Interaktion zwischen den Instabilitäten von Gurt- und Stegsteifen sollte mit dem Verfahren in 7.6.4.4 ebenfalls berücksichtigt werden.

### 7.6.4.2 Gurte mit Zwischensteifen

(1) Bei einem Gurt mit einer Zwischensteife unter konstanter Druckbeanspruchung sollte angenommen werden, dass der wirksame Querschnitt aus zwei an die Steifen angrenzenden Streifen mit einer Breite von  $0,5b_{\text{eff}}$  (zur Berechnung von  $A_{\text{st}}$ ) oder  $20t$  (zur Berechnung von  $I_{\text{st}}$ ) besteht, siehe Tabelle 7.9.

Falls die ebenen Querschnittsteile, die Bestandteil einer großen U-förmigen Steife sind, nicht vollständig wirksam sind, sollte die Steife als eine einzelne Steife mit reduzierten Breiten nach Tabelle 7.9 betrachtet werden.

ANMERKUNG Die bei der Berechnung des Trägheitsmoments  $I_{\text{st}}$  angesetzte Breite der Steife nach Tabelle 7.9 kann größer sein als die Gurtbreite.

(2) Bei einer mittig angeordneten Gurtsteife sollte die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{\text{cr,st}}$  nach Gleichung (7.37) ermittelt werden:

$$\sigma_{\text{cr,st}} = \frac{4,2 k_{\theta w} E}{A_{\text{st}}} \sqrt{\frac{I_{\text{st}} t^3}{4b_p^2 (2b_p + 3b_{\text{st,d}})}} \quad (7.37)$$

Dabei ist/sind

- $b_p$  der Nennwert der geraden Breite des ebenen Querschnittsteils, wie in Tabelle 7.9 dargestellt;
- $b_{\text{st,d}}$  die abgewinkelte Breite der Steife, entlang der Mittellinie der Steife gemessen, siehe Tabelle 7.9;
- $A_{\text{st}}, I_{\text{st}}$  die Querschnittsfläche und das Trägheitsmoment des wirksamen Steifenquerschnitts nach Tabelle 7.9;
- $k_{\theta w}$  ein Koeffizient, der die teilweise Drehbettung des ausgesteiften Gurtes durch die Stege oder durch sonstige angrenzende Querschnittsteile berücksichtigt, siehe (5) und (6). Bei der Berechnung des wirksamen Querschnitts unter zentrischem Druck gilt  $k_{\theta w} = 1,0$ .

Gleichung (7.37) darf bei einer breiten Sicke verwendet werden, vorausgesetzt, dass das ebene Querschnittsteil der Steife infolge Plattenbeulen abgemindert wird und  $b_p$  in Gleichung (7.37) durch den größeren Wert von  $b_p$  und  $0,25 (3b_p + b_{\text{st}})$  ersetzt wird, siehe Tabelle 7.9. Ein ähnliches Verfahren darf bei Gurten mit zwei oder mehr breiten Sicken angewendet werden.

(3) Bei zwei symmetrisch angeordneten Gurtsteifen sollte die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st}$  nach Gleichung (7.38) ermittelt werden:

$$\sigma_{cr,st} = \frac{4,2 k_{\theta w} E}{A_{st}} \sqrt{\frac{I_{st} t^3}{8b_{tot,2}^2 (3b_{tot,1} - 4b_{tot,2})}} \quad (7.38)$$

mit

$$b_{tot,1} = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_{st,d} \quad (7.39)$$

$$b_{tot,2} = b_{p,1} + 0,5 b_{st} \quad (7.40)$$

Dabei ist/sind

$b_{p,1}$  der Nennwert der geraden Breite eines äußeren ebenen Querschnittsteils, wie in Tabelle 7.9 dargestellt;

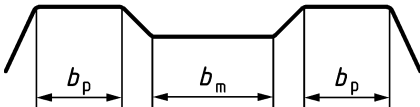
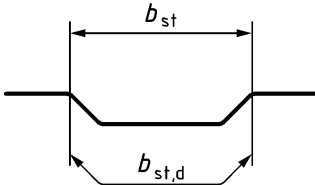
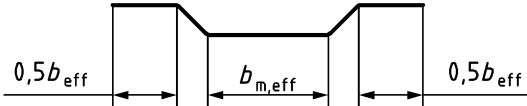
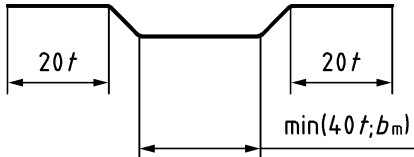
$b_{p,2}$  der Nennwert der geraden Breite eines inneren ebenen Querschnittsteils wie in Tabelle 7.9 dargestellt;

$b_{st}$  die Gesamtbreite der Steife, gemessen parallel zur Mittellinie des Druckgurtes, siehe Tabelle 7.9;

$b_{st,d}$  die abgewinkelte Breite der Aussteifung, gemessen entlang der Mittellinie der Aussteifung, siehe Tabelle 7.9;

$A_{st} I_{st}$  die Querschnittsfläche und das Trägheitsmoment des wirksamen Steifenquerschnitts nach Tabelle 7.9.

Tabelle 7.9 — Druckgurt mit einer, zwei oder mehreren Steifen

Druckgurt mit einer oder zwei Steifen	
	eine Steife
(a) Geometrie	
(b) Breite der Steife $b_{st}$	
(c) Querschnitt zur Berechnung der wirksamen Fläche $A_{st}$	
(d) Querschnitt zur Berechnung des wirksamen Trägheitsmoments $I_{st}$	

	zwei Steifen
(a) Geometrie	
(b) Breite der Steife $b_{st}$	
(c) Querschnitt zur Berechnung der wirksamen Fläche $A_{st}$	
(d) Querschnitt zur Berechnung des wirksamen Trägheitsmoments $I_{st}$	
<b>Druckgurt mit mehreren Steifen</b>	
(a) Geometrie und Schwerachse $a-a$	
(b) abgewinkelte Gurtbreite $b_{st,d,mult}$	

(4) Bei einem Gurt mit drei oder mehr ähnlichen Steifen sollte die wirksame Fläche des gesamten Gurts nach Gleichung (7.41) ermittelt werden:

$$A_{\text{eff}} = \rho b_{\text{st,d,mult}} t \quad (7.41)$$

Dabei ist

$\rho$  der Abminderungsfaktor für Plattenbeulen nach EN 1993-1-5:2024, 6.4.1(1) bis 6.4.1(5), unter Verwendung eines bezogenen Schlankheitsgrads  $\bar{\lambda}_p$  auf Grundlage der elastischen idealen Verzweigungsspannung  $\sigma_{\text{cr,st}}$

mit

$$\sigma_{\text{cr,st}} = 1,8 E \sqrt{\frac{I_{\text{st}} t}{b_{\text{st,mult}}^2 b_{\text{st,d,mult}}^3}} + 3,6 \frac{Et^2}{b_{\text{st,mult}}} \quad (7.42)$$

Dabei ist

$I_{\text{st}}$  die Summe der Trägheitsmomente der Steifen um die Schwerachse  $a-a$  des wirksamen Steifenquerschnitts, unter Vernachlässigung der Eigentragheitsmomente der zur Achse  $a-a$  parallel liegenden Querschnittsteile, siehe Tabelle 7.9;

$b_{st,mult}$  die Breite eines Druckgurtes mit mehreren Steifen, parallel zur Mittellinie des Druckgurtes gemessen, siehe Tabelle 7.9;

$b_{st,d,mult}$  die abgewickelte Breite eines Druckgurtes mit mehreren Steifen, entlang der Mittellinie der Steifen gemessen, siehe Tabelle 7.9.

(5) Der Wert  $k_{\theta w}$  darf aus der Halbwellenlänge  $l_{cr,f}$  der Instabilitätsform des Druckgurtes, wie in Gleichung (7.43) und Gleichung (7.44) angegeben, berechnet werden:

$$k_{\theta w} = k_{\theta w0} \quad \text{wenn } l_{cr,f}/s_w \geq 2 \quad (7.43)$$

$$k_{\theta w} = k_{\theta w0} - (k_{\theta w0} - 1) \left[ \frac{2 l_{cr,f}}{s_w} - \left( \frac{l_{cr,f}}{s_w} \right)^2 \right] \quad \text{wenn } l_{cr,f}/s_w < 2 \quad (7.44)$$

Dabei ist/sind

$s_w$  die geneigte Steghöhe, siehe Tabelle 7.3(c);

$l_{cr,f}$  die Halbwellenlänge der Instabilitätsform des Druckgurtes nach (7);

$k_{\theta w}, k_{\theta w0}$  Koeffizienten zur Berücksichtigung des Plattenbeulens der Stege in Trapezprofilen, siehe (7).

(6) Alternativ darf der Koeffizient der Drehbettung  $k_{\theta w}$  konservativ mit 1,0 angesetzt werden, was einer gelenkigen Lagerung entspricht.

(7) Die Werte  $l_{cr,f}$  und  $k_{\theta w0}$  dürfen wie folgt bestimmt werden:

a) bei einem Druckgurt mit einer Zwischensteife, siehe Tabelle 7.9:

$$l_{cr,f} = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_{st} b_p^2 (2b_p + 3b_{st,d})}{t^3}} \quad (7.45)$$

$$k_{\theta w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_{tot,3}}{s_w + 0,5b_{tot,3}}} \quad (7.46)$$

mit

$$b_{tot,3} = 2b_p + b_{st,d} \quad (7.47)$$

b) bei einem Druckgurt mit zwei Zwischensteifen, siehe Tabelle 7.9:

$$l_{cr,f} = 3,65 \sqrt[4]{\frac{I_{st} b_{tot,2}^2 (3b_{tot,1} - 4b_{tot,2})}{t^3}} \quad (7.48)$$

$$k_{\theta w0} = \sqrt{\frac{(2b_{tot,1} + s_w)(3b_{tot,1} - 4b_{tot,2})}{b_{tot,2}(4b_{tot,1} - 6b_{tot,2}) + s_w(3b_{tot,1} - 4b_{tot,2})}} \quad (7.49)$$

Dabei sind

$b_{tot,1}, b_{tot,2}$  die Anteile der Breite nach (3).

(8) Bei Stegen ohne Aussteifungen sollte der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  nach dem Verfahren in 7.6.3.2 direkt aus  $\sigma_{cr,st}$  ermittelt werden.

(9) Bei Stegen mit Zwischensteifen sollte der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  nach dem Verfahren in 7.6.3.2, aber unter Verwendung der modifizierten idealen Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,mod}$  nach 7.6.4.4 ermittelt werden.

(10) In Übereinstimmung mit dem allgemeinen Bemessungsverfahren in 7.6.3.4 für ebene Querschnittsteile mit Zwischensteifen mit der Interaktion von Plattenbeulen und Forminstabilität führt die Bemessung von Gurten mit einer oder zwei Zwischensteifen zu einer reduzierten Dicke  $t_{red}$  aller Teile der Zwischensteifen (siehe Tabelle 7.9 c), wie in Gleichung (7.50) angegeben:

$$t_{red} = \chi_d \cdot t \quad (7.50)$$

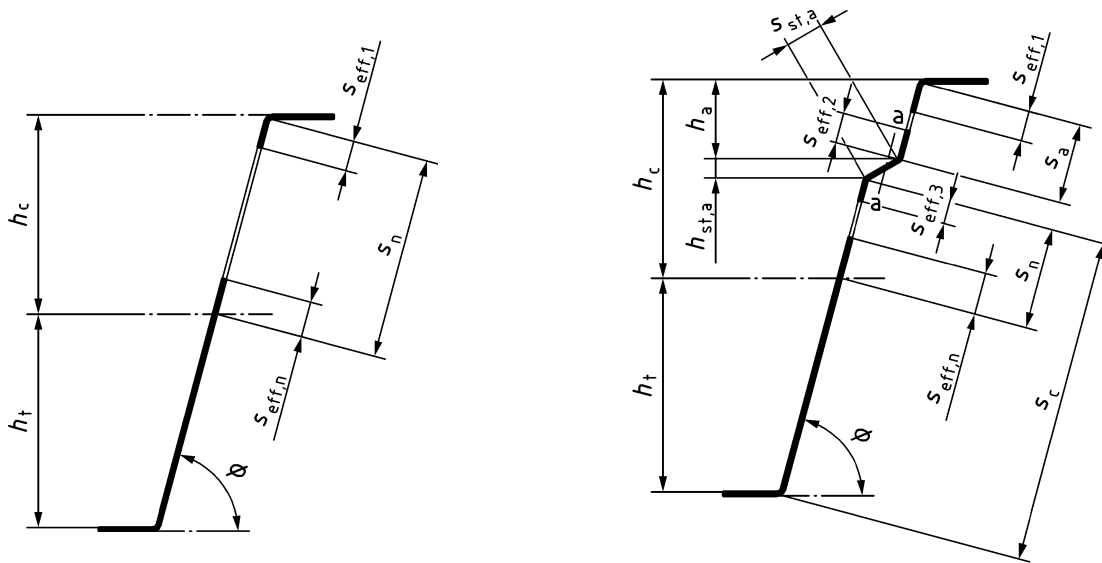
(11) Für die Querschnittswerte der Steifen in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sollte die Bemessungsdicke  $t$  angesetzt werden.

#### 7.6.4.3 Stege mit bis zu zwei Zwischensteifen

(1) Für den wirksamen Querschnitt der Druckzone eines Steges (oder eines anderen Querschnittsteils mit einem Spannungsgradienten) mit bis zu zwei Zwischensteifen sollte angenommen werden, dass sich dieser zusammensetzt aus den reduzierten wirksamen Querschnittsflächen  $A_{st,red}$  der Zwischensteifen, einem Streifen am Übergang zum Druckgurt und einem Streifen, der an die Schwerachse des wirksamen Querschnitts grenzt, wie in Bild 7.10 dargestellt.

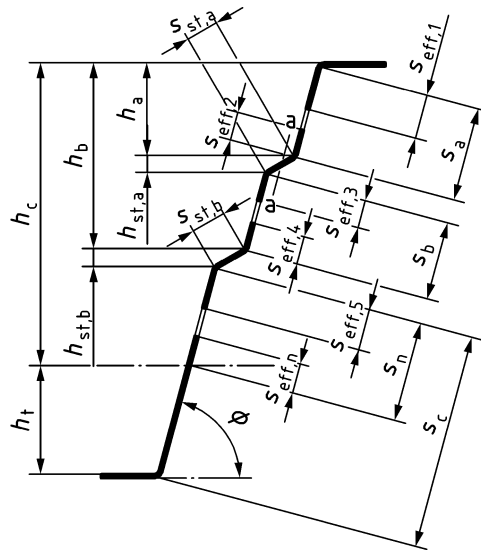
(2) Der wirksame Querschnitt eines Stegs, wie in Bild 7.10 dargestellt, sollte bestehen aus:

- a) einem Streifen mit der Breite  $s_{eff,1}$ , der an den Druckgurt grenzt;
- b) der reduzierten wirksamen Fläche  $A_{st,red}$  einer jeden Stegsteife, bei maximal zwei Stegsteifen;
- c) einem Streifen der Breite  $s_{eff,n}$ , der an die wirksame Schwerachse grenzt;
- d) der Stegfläche unter Zugbeanspruchung.



(a) ohne Steife

(b) eine Steife



(c) zwei Steifen

**Bild 7.10 — Wirksame Querschnitte von Stegen in Trapezprofilen**

(3) Die wirksamen Flächen der Stegsteifen sollten nach Gleichung (7.51) und Gleichung (7.52) ermittelt werden:

a) bei einer einzelnen Steife oder bei der Steife, die näher am Druckgurt liegt:

$$A_{st,a} = t (s_{eff,2} + s_{eff,3} + s_{st,a}) \tag{7.51}$$

b) bei einer zweiten Steife:

$$A_{st,b} = t (s_{eff,4} + s_{eff,5} + s_{st,b}) \tag{7.52}$$

Dabei sind

$s_{eff,1}$  bis  $s_{eff,n}$ ,  $s_{st,a}$  und  $s_{st,b}$  die Abmessungen, wie in Bild 7.10 gezeigt.

(4) Bei der Bestimmung der Lage der wirksamen Schwerachse sollten die wirksamen Querschnitte der Gurte und die Bruttoquerschnitte der Stege zugrunde gelegt werden. Der Grundwert der wirksamen Breite  $s_{\text{eff},0}$  sollte mit Gleichung (7.53) ermittelt werden:

$$s_{\text{eff},0} = 0,76 t \sqrt{\frac{E}{f_{yb}/\gamma_{M0}}} \quad (7.53)$$

Dabei sind

$f_{yb}, E$  die Werkstoffeigenschaften des Stahls, siehe 5.1.

(5) Wenn der Steg nicht vollständig wirksam ist, sollten die Abmessungen  $s_{\text{eff},1}$  bis  $s_{\text{eff},n}$  nach Gleichung (7.54) bis Gleichung (7.59) wie folgt bestimmt werden:

$$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \quad (7.54)$$

$$s_{\text{eff},2} = s_{\text{eff},0} \left( 1 + 0,5 \frac{h_a}{h_c} \right) \quad (7.55)$$

$$s_{\text{eff},3} = s_{\text{eff},0} \left( 1 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a})}{h_c} \right) \quad (7.56)$$

$$s_{\text{eff},4} = s_{\text{eff},0} \left( 1 + 0,5 \frac{h_b}{h_c} \right) \quad (7.57)$$

$$s_{\text{eff},5} = s_{\text{eff},0} \left( 1 + 0,5 \frac{(h_b + h_{\text{st},b})}{h_c} \right) \quad (7.58)$$

$$s_{\text{eff},n} = 1,5 s_{\text{eff},0} \quad (7.59)$$

Dabei ist/sind

$h_c$  der Abstand zwischen der Nulllinie des wirksamen Querschnitts des Trapezprofils und der Mittellinie des Druckgurts, siehe Bild 7.10;

$h_a, h_b, h_{\text{st},a}$  und  $h_{\text{st},b}$  die Abmessungen nach Bild 7.10.

(6) Die Abmessungen  $s_{\text{eff},1}$  bis  $s_{\text{eff},n}$  sollten anfänglich nach (5) bestimmt werden und dann, sollte sich das maßgebende ebene Querschnittsteil als voll wirksam herausstellen, nach Gleichung (7.60) bis Gleichung (7.69) revidiert werden:

a) bei einem nicht ausgesteiften Steg, wenn aufgrund  $s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ , der gesamte Steg wirksam ist, wird wie folgt abgeändert:

$$s_{\text{eff},1} = 0,4 s_n \quad (7.60)$$

$$s_{\text{eff},n} = 0,6 s_n \quad (7.61)$$

- b) bei einem ausgesteiften Steg, wenn aufgrund  $s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},2} \geq s_a$ , die Gesamtbreite  $s_a$  wirksam ist, wird wie folgt abgeändert:

$$s_{\text{eff},1} = s_a \frac{1}{\left(2 + 0,5 \frac{h_a}{h_c}\right)} \quad (7.62)$$

$$s_{\text{eff},2} = s_a \frac{\left(1 + 0,5 \frac{h_a}{h_c}\right)}{\left(2 + 0,5 \frac{h_a}{h_c}\right)} \quad (7.63)$$

- c) bei einem Steg mit einer einzelnen Steife, wenn aufgrund  $s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ , die Gesamtbreite  $s_n$  wirksam ist, wird wie folgt abgeändert:

$$s_{\text{eff},3} = s_n \frac{\left(1 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a})}{h_c}\right)}{\left(2,5 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a})}{h_c}\right)} \quad (7.64)$$

$$s_{\text{eff},n} = s_n \frac{1,5}{\left(2,5 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a})}{h_c}\right)} \quad (7.65)$$

- d) bei einem Steg mit zwei Steifen:

- wenn aufgrund  $s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},4} \geq s_b$ , die Gesamtbreite  $s_b$  wirksam ist, wird wie folgt abgeändert:

$$s_{\text{eff},3} = s_b \frac{\left(1 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a})}{h_c}\right)}{\left(2 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a} + h_b)}{h_c}\right)} \quad (7.66)$$

$$s_{\text{eff},4} = s_b \frac{\left(1 + 0,5 \frac{h_b}{h_c}\right)}{\left(2 + 0,5 \frac{(h_a + h_{\text{st},a} + h_b)}{h_c}\right)} \quad (7.67)$$

- wenn aufgrund  $s_{\text{eff},5} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ , die Gesamtbreite  $s_n$  wirksam ist, wird wie folgt abgeändert:

$$s_{\text{eff},5} = s_n \frac{\left(1 + 0,5 \frac{(h_b + h_{\text{st},b})}{h_c}\right)}{\left(2,5 + 0,5 \frac{(h_b + h_{\text{st},b})}{h_c}\right)} \quad (7.68)$$

$$s_{\text{eff},n} = s_n \frac{1,5}{\left(2,5 + \frac{0,5 (h_b + h_{\text{st},b})}{h_c}\right)} \quad (7.69)$$

(7) Bei einer einzelnen Steife oder bei der Steife, die in Stegen mit zwei Steifen dem Druckgurt näher liegt, sollte die elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,st,a}$  nach Gleichung (7.70) bestimmt werden:

$$\sigma_{cr,st,a} = \frac{1,05 k_{\theta f} E}{A_{st,a} s_{tot,2} (s_{tot,1} - s_{tot,2})} \sqrt{I_{st,a} t^3 s_{tot,1}} \quad (7.70)$$

Dabei ist

$s_{tot,1}$  wie folgt angegeben:

— bei einer einzelnen Steife:

$$s_{tot,1} = 0,9 (s_a + s_{st,a} + s_c) \quad (7.71)$$

— bei der Steife, die in Stegen mit zwei Steifen näher am Druckgurt liegt:

$$s_{tot,1} = s_a + s_{st,a} + s_b + 0,5 (s_{st,b} + s_c) \quad (7.72)$$

$$s_{tot,2} = s_{tot,1} - s_a - 0,5 s_{st,a} \quad (7.73)$$

und dabei ist

$k_{\theta f}$  ein Koeffizient, der die teilweise Drehbettung der ausgesteiften Stege durch die Gurte berücksichtigt, siehe (8);

$I_{st,a}$  das Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts, der sich aus der Versatzlänge  $s_{st,a}$  und zwei angrenzenden Streifen der Länge  $20t$  zusammensetzt, um die eigene Schwerachse parallel zu der Stegebene, siehe Tabelle 7.10. Bei der Berechnung von  $I_{st,a}$  darf ein möglicher Unterschied in der Neigung der ebenen Stegquerschnittsteile auf beiden Seiten der Steife vernachlässigt werden;

$s_c$  wie in Bild 7.10 festgelegt;

$A_{st,a}$  wie in (3) festgelegt.

**ANMERKUNG** Die bei der Berechnung des Trägheitsmoments  $I_{st,a}$  nach Tabelle 7.10 verwendete Breite der Steife kann größer sein als die Steghöhe.

(8) Ohne genauere Untersuchung darf der Drehbettungsbeiwert  $k_{\theta f}$  konservativ mit 1,0 angesetzt werden, was einer gelenkigen Lagerung entspricht.

Tabelle 7.10 — Stegsteifen in Trapezprofilen

(a) Geometrie	
(b) Querschnitt zur Berechnung der wirksamen Fläche $A_{st,a}$	
(c) Querschnitt zur Berechnung des wirksamen Trägheitsmoments $I_{st,a}$	

(9) Bei nicht ausgesteiften Gurten sollte der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  mit dem Verfahren nach 7.6.3.2 direkt mit  $\sigma_{cr,st,a}$  ermittelt werden.

(10) Sind auch die Gurte ausgesteift, sollte der Abminderungsfaktor  $\chi_d$  unter Anwendung des Verfahrens nach 7.6.3.2, aber mit der modifizierten idealen Verzweigungsspannung  $\sigma_{cr,mod}$  nach 7.6.4.4 ermittelt werden.

(11) Bei einer einzelnen, druckbeanspruchten Stegsteife oder bei der Stegsteife, die in Stegen mit zwei Steifen näher am Druckgurt liegt, sollte die reduzierte wirksame Fläche  $A_{st,a,red}$  nach Gleichung (7.74) bestimmt werden:

$$A_{st,a,red} = \frac{\chi_d A_{st,a}}{1 - (h_a + 0,5 h_{st,a})/h_c} \quad \text{aber } A_{st,a,red} \leq A_{st,a} \quad (7.74)$$

(12) Bei einer einzelnen, zugbeanspruchten Steife sollte für die reduzierte wirksame Fläche  $A_{st,a,red}$  die Fläche  $A_{st,a}$ , angesetzt werden.

(13) Bei Stegen mit zwei Steifen sollte für die reduzierte wirksame Fläche  $A_{st,b,red}$  der zweiten Steife die Fläche  $A_{st,b}$  angesetzt werden.

(14) Bei der Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte sollte die reduzierte wirksame Fläche  $A_{st,a,red}$  durch eine reduzierte Dicke  $t_{red} = \chi_d t$  für alle Querschnittsteile berücksichtigt werden, die in  $A_{st,a}$  enthalten sind.

(15) Die wirksamen Querschnittswerte der Steifen in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sollten mit der Bemessungsdicke  $t$  bestimmt werden.

(16) Optional dürfen die wirksamen Querschnittswerte des Stegs in Trapezprofilen in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit durch Iteration verfeinert werden; hierzu wird die wirksame Schwerachse auf der Basis der wirksamen Stegquerschnitte aus dem vorhergehenden Berechnungsschritt und der wirksamen Gurtquerschnitte, mit Ansatz der reduzierten Dicke  $t_{\text{red}}$  für alle Querschnittsteile des Gurtes, die zu den Gurtsteifen  $A_{\text{st}}$  gehören, zugrunde gelegt. Bei dieser Iteration sollte ein erhöhter Eingangswert für den Grundwert der wirksamen Breite  $s_{\text{eff},0}$  nach Gleichung (7.75) angesetzt werden:

$$s_{\text{eff},0} = 0,95 t \sqrt{\frac{E}{\sigma_{\text{com,Ed,ser}} \cdot \gamma_{\text{M0}}}} \quad (7.75)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$  die auf Grundlage des wirksamen Querschnitts unter Belastung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berechnete Druckspannung am Schwerpunkt der Steife. Vereinfacht darf  $\sigma_{\text{com,Ed,ser}} = f_{\text{yb}}/1,5$  angenommen werden.

#### 7.6.4.4 Profiltafeln mit Steifen in Gurten und Stegen

(1) Bei Profiltafeln mit Zwischensteifen in Gurten und Stegen (siehe Bild 7.11) sollte die Interaktion zwischen der Forminstabilität von Gurt- und Stegsteifen durch eine modifizierte elastische ideale Verzweigungsspannung  $\sigma_{\text{cr,mod}}$  für beide Steifenarten berücksichtigt werden, die mit Gleichung (7.76) ermittelt wird:

$$\sigma_{\text{cr,mod}} = \frac{\sigma_{\text{cr,st}}}{\sqrt[4]{1 + \left(k_{\text{ls}} \frac{\sigma_{\text{cr,st}}}{\sigma_{\text{cr,st,a}}}\right)^4}} \quad (7.76)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{cr,st}}$  die elastische ideale Verzweigungsspannung für eine Gurtzwischensteife, nach 7.6.4.2(2) für den Gurt mit einer einzelnen Steife oder nach 7.6.4.2(3) für einen Gurt mit zwei Steifen;

$\sigma_{\text{cr,st,a}}$  die elastische ideale Verzweigungsspannung für eine einzelne Stegsteife oder für die Steife, die in Stegen mit zwei Steifen näher am Druckgurt liegt, siehe 7.6.4.3(7);

$A_{\text{st}}$  die wirksame Querschnittsfläche einer Gurtzwischensteife;

$A_{\text{st,a}}$  die wirksame Querschnittsfläche einer Stegzwischensteife, siehe 7.6.4.3(3);

$k_{\text{ls}}$  ein Koeffizient zur Berücksichtigung der Belastungsart von Trapezprofilen wie folgt:

$$k_{\text{ls}} = 1 - (h_a + 0,5 h_{\text{st,a}})/h_c \quad \text{für biegebeanspruchte Profiltafeln;} \quad (7.77)$$

$$k_{\text{ls}} = 1 \quad \text{für Profiltafeln unter zentrischem Druck;}$$

Dabei sind

$h_a$ ,  $h_{\text{st,a}}$  und  $h_c$  die Abmessungen nach Bild 7.10.

(2) Für die wirksamen Querschnittswerte der Steifen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte die Bemessungsdicke  $t$  angesetzt werden.

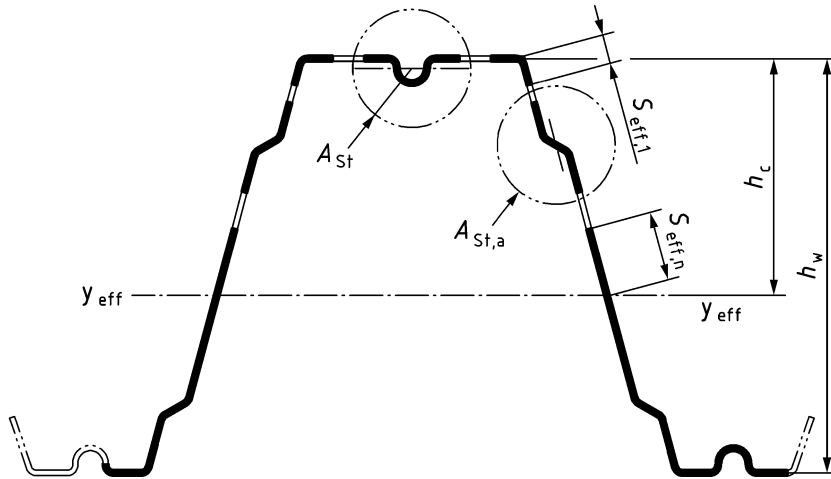


Bild 7.11 — Trapezprofil mit Gurt- und Stegsteifen

### 7.6.5 Besondere Festlegungen für Wellprofile und ähnliche Profiltafeln

(1) Für Wellprofile und ähnliche Profiltafeln muss Schalenbeulen nach EN 1993-1-6 berücksichtigt werden. Der Nachweis darf für den äquivalenten Querschnitt eines Kreiszylinders, eingeschrieben in die Profilwellen, unter Biegebeanspruchung geführt werden. Die Toleranz-Qualitätsklasse sollte mit Klasse C angesetzt werden.

(2) Unter gleichmäßig verteilten Belastungen braucht Schalenbeulen nicht berücksichtigt werden und die Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts darf ausgenutzt werden, wenn die Bedingungen in Gleichung (7.78) oder Gleichung (7.80) erfüllt werden:

- für die elastische Biegemomentenbeanspruchbarkeit mit Fließbeginn an der äußersten Druckfaser:

$$\frac{2 \cdot R}{t} \leq 90 \cdot \varepsilon_b^2 \quad (7.78)$$

mit

$$\varepsilon_b = \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \quad (7.79)$$

- für die plastische Biegemomentenbeanspruchbarkeit:

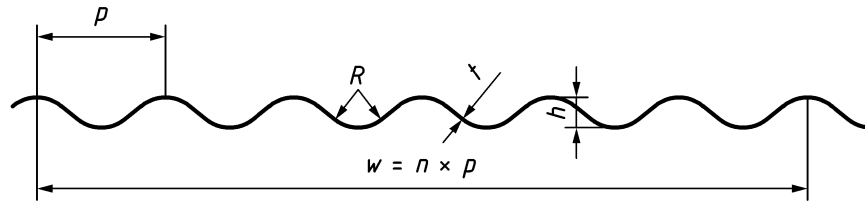
$$\frac{2 \cdot R}{t} \leq 70 \cdot \varepsilon_a^2 \quad (7.80)$$

mit

$$\varepsilon_a = \sqrt{\frac{235}{f_{ya}}} \quad (7.81)$$

Dabei sind

$R$  und  $t$  Abmessungen nach Bild 7.12.



**Bild 7.12 — Wellprofile und ähnliche Profiltafeln**

(3) Bei Profiltafeln unter gleichmäßig verteilter Belastung mit Querschnitten, in denen die Spannung an der äußersten Druckfaser, unter Annahme einer elastischen Spannungsverteilung, die Streckgrenze erreichen kann, dürfen die vereinfachte Gleichung (7.82) und die vereinfachte Gleichung (7.83) für die Berechnung des Trägheitsmoments und des Widerstandsmoments angewendet werden:

$$I_y = 0,13 t h^2 \quad (7.82)$$

$$W_y = 0,26 t h \quad (7.83)$$

wenn der Querschnitt die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$t \geq 0,55 \text{ mm}$$

$$18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$$

$$76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$$

## 7.7 Querschnittsberechnung — Plattenbeulen zwischen Verbindungselementen

(1) Bei Bauteilen, die aus Blechen zusammengesetzt und mit mechanischen Verbindungselementen zusammengefügt werden, sollte Plattenbeulen zwischen den Verbindungselementen überprüft werden, siehe EN 1993-1-8:2024, Tabelle 5.3.

## 8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

### 8.1 Querschnittsbeanspruchbarkeit

#### 8.1.1 Allgemeines

(1) Die Querschnittsbeanspruchbarkeiten sollten nach 8.1 bestimmt werden. Die Auswirkungen von Plattenbeulen und Forminstabilität sollten durch Ansatz der Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts, der nach Abschnitt 7.6 bestimmt wird, berücksichtigt werden.

(2) Die Beanspruchbarkeit von Bauteilen auf globale Instabilitäten sollte nach 8.2 nachgewiesen werden.

(3) Bei Bauteilen, deren Querschnitte zu Profilverformung neigen, sollte die Querbiegung der Gurte und die Stabilität der freien Druckgurte untersucht werden, siehe 11.1.

(4) Anstelle einer rechnerischen Bemessung darf eine versuchsgestützte Bemessung durchgeführt werden, um die Querschnittsbeanspruchbarkeit oder die Beanspruchbarkeit auf globale Instabilität für eine gegebene Belastungsart zu bestimmen.

**ANMERKUNG** Die versuchsgestützte Bemessung wirkt sich wahrscheinlich besonders bei den Querschnitten günstig aus, die plattenförmige Querschnittsteile mit verhältnismäßig hohem Schlankheitsgrad enthalten, z. B. wenn es darum geht, die Auswirkungen von plastischem Tragverhalten, Stegkrüppeln oder Schubverzerrungen zu bestimmen.

### 8.1.2 Zentrische Zugbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Zugnormalkraft  $N_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt den Nachweis nach Gleichung (8.1) erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.1)$$

Dabei ist

$N_{t,Rd}$  der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit nach (2).

(2) Der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit  $N_{t,Rd}$  eines Querschnitts sollte mit Gleichung (8.2) berechnet werden:

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_{ya}}{\gamma_{M0}} \quad \text{aber} \quad N_{t,Rd} \leq F_{n,Rd} \quad (8.2)$$

Dabei ist

$A$  die Bruttoquerschnittsfläche;

$F_{n,Rd}$  die Beanspruchbarkeit des Nettoquerschnittes, bestimmt nach 10.3 für die maßgebende Art des mechanischen Verbindungselements;

$f_{ya}$  die durchschnittliche Streckgrenze, siehe 5.2.2.

(3) Der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit eines Winkelprofils, das nur an einem Schenkel angeschlossen ist oder von anderen Arten von Querschnitten, die an auskragenden, einseitig gestützten Querschnittsteilen angeschlossen sind, sollte nach EN 1993-1-8:2024, 5.11, bestimmt werden.

### 8.1.3 Zentrische Druckbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Drucknormalkraft  $N_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt den Nachweis nach Gleichung (8.3) erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.3)$$

Dabei ist

$N_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Querschnittsbeanspruchbarkeit bei gleichförmigem Druck nach (2).

(2) Der Bemessungswert der Druckbeanspruchbarkeit  $N_{c,Rd}$  sollte wie folgt bestimmt werden:

— wenn  $A_{eff} < A$ :

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (8.4)$$

— wenn  $A_{\text{eff}} = A$ :

$$N_{c,Rd} = \frac{A \left( f_{yb} + 4 (f_{ya} - f_{yb}) \left( 1 - (\bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0})_{\text{max}} \right) \right)}{\gamma_{M0}} \leq \frac{A f_{ya}}{\gamma_{M0}} \quad (8.5)$$

Dabei ist

- $A_{\text{eff}}$  die wirksame Querschnittsfläche unter Berücksichtigung von Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6 bei Annahme einer konstanten Druckspannung in der Größe  $f_{yb}$ , und im Falle von Trapezprofilen die wirksame Querschnittsfläche unter Verwendung des Grundwerts der wirksamen Breite  $s_{\text{eff},0}$  für alle wirksamen Querschnittsteile des Stegs zwischen den Steifen;
- $A$  die Bruttoquerschnittsfläche;
- $f_{ya}$  die durchschnittliche Streckgrenze, siehe 5.2.2;
- $f_{yb}$  die Basisstreckgrenze, siehe 5.2.2;
- $(\bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0})_{\text{max}}$  der größte Wert des Verhältnisses der Schlankheitsgrade  $\bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0}$  aller ebenen Querschnittsteile eines Querschnitts. Die Werte der Schlankheitsgrade  $\bar{\lambda}_e$  und  $\bar{\lambda}_{e0}$  sollten in Abhängigkeit von der Art der ebenen Querschnittsteile wie folgt bestimmt werden:

— für zweiseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,673, \text{ siehe 7.6.2;} \quad (8.6)$$

— für einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,748, \text{ siehe 7.6.2;} \quad (8.7)$$

— für Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,65, \text{ siehe 7.6.3.} \quad (8.8)$$

(3) Es darf angenommen werden, dass die Normalkraft in einem Bauteil am Schwerpunkt seines Bruttoquerschnitts einwirkt.

ANMERKUNG Weiterführende Berechnungen können eine genauere Verteilung der Schnittkräfte ergeben.

(4) Der Bemessungswert der Druckbeanspruchbarkeit eines Querschnitts, wie nach 8.1.3(2) berechnet, entspricht der Beanspruchbarkeit bei einer Normalkraft, die am Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts einwirkt. Wenn der Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts nicht mit dem Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts übereinstimmt, sollten die zusätzlichen Biegemomente, die durch die Verschiebungen  $e_{Ny}$  und  $e_{Nz}$  des Schwerpunkts (siehe Bild 8.1) entstehen, unter Verwendung der Interaktionsgleichungen in 8.1.8 berücksichtigt werden. Wenn eine Schwerpunktverschiebung eine günstige Auswirkung auf die Querschnittsbeanspruchbarkeit hat, sollte diese Verschiebung vernachlässigt werden, jedoch nur, wenn die Querschnittsbeanspruchbarkeit mit Ansatz der Streckgrenze und nicht mit den tatsächlichen Druckspannungen unter den einwirkenden Lasten berechnet wurde.

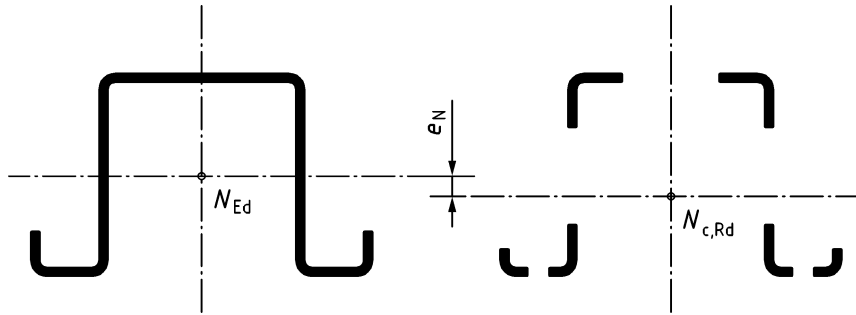


Bild 8.1 — Wirksamer Querschnitt unter Druckbeanspruchung

## 8.1.4 Biegemomentenbeanspruchung

### 8.1.4.1 Elastische und elastisch-plastische Biegemomentenbeanspruchbarkeit bei Erreichen der Streckgrenze im Druckgurt

(1) Der Bemessungswert des Biegemoments  $M_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt den Nachweis nach Gleichung (8.9) erfüllen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.9)$$

Dabei ist

$M_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des biegebeanspruchten Querschnitts nach (2).

(2) Der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit  $M_{c,Rd}$  eines biegebeanspruchten Querschnitts um eine Hauptachse sollte wie folgt ermittelt werden (siehe Bild 8.2):

— wenn  $W_{eff} < W_{el}$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (8.10)$$

— wenn  $W_{eff} = W_{el}$  und die in (3) aufgeführten Bedingungen erfüllt sind:

$$M_{c,Rd} = \frac{\left( W_{el} f_{yb} + 3 (W_{pl} f_{ya} - W_{el} f_{yb}) \left( 1 - (\bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0})_{\max} \right) \right)}{\gamma_{M0}} \leq \frac{W_{pl} f_{ya}}{\gamma_{M0}} \quad (8.11)$$

Dabei ist

$W_{eff}$  das elastische Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts unter Berücksichtigung von Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6, siehe auch (5);

$W_{el}$  das elastische Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts;

$W_{pl}$  das plastische Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts;

$f_{ya}$  die durchschnittliche Streckgrenze, siehe 5.2.2;

$f_{yb}$  die Basisstreckgrenze, siehe 5.2.2;

$(\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0})_{\max}$  der größte Wert des Verhältnisses der Schlankheitsgrade  $\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0}$  aller ebenen Querschnittsteile eines Querschnitts. Die Werte des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_e$  und  $\bar{\lambda}_{e0}$  sollten je nach Art der ebenen Querschnittsteile wie folgt bestimmt werden:

a) Für ebene Querschnittsteile mit oder ohne Steifen mit Ausnahme von Stegen von Trapezprofilen:

— für beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,5 + \sqrt{0,25 - 0,055 (3 + \psi)} \quad (8.12)$$

Dabei ist

$\psi$  das Spannungsverhältnis, siehe 7.6.2;

— für einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,748, \text{ siehe 7.6.2;} \quad (8.13)$$

— für Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,65, \text{ siehe 7.6.3;} \quad (8.14)$$

b) Für Stege von Trapezprofilen nach 7.6.4.3:

— für Stege von Trapezprofilen ohne Steifen in der Druckzone:

$$\frac{\bar{\lambda}_e}{\bar{\lambda}_{e0}} = \frac{s_n}{s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n}} \quad (8.15)$$

— für Stege von Trapezprofilen mit einer oder zwei Zwischensteifen in der Druckzone:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d \text{ und } \bar{\lambda}_{e0} = 0,65, \text{ siehe 7.6.2;} \quad (8.16)$$

mit:

$$\frac{\bar{\lambda}_e}{\bar{\lambda}_{e0}} = \frac{s_n}{s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},2}} \quad \text{für den Teil des Stegs zwischen dem Druckgurt und der ersten Steife} \quad (8.17)$$

$$\frac{\bar{\lambda}_e}{\bar{\lambda}_{e0}} = \frac{s_n}{s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n}} \quad \text{für den Teil des Stegs zwischen der Nulllinie und der Steife in einem Steg mit einer Steife in der Druckzone} \quad (8.18)$$

$$\frac{\bar{\lambda}_e}{\bar{\lambda}_{e0}} = \frac{s_n}{s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},4}} \quad \text{für den Teil des Stegs zwischen zwei Steifen} \quad (8.19)$$

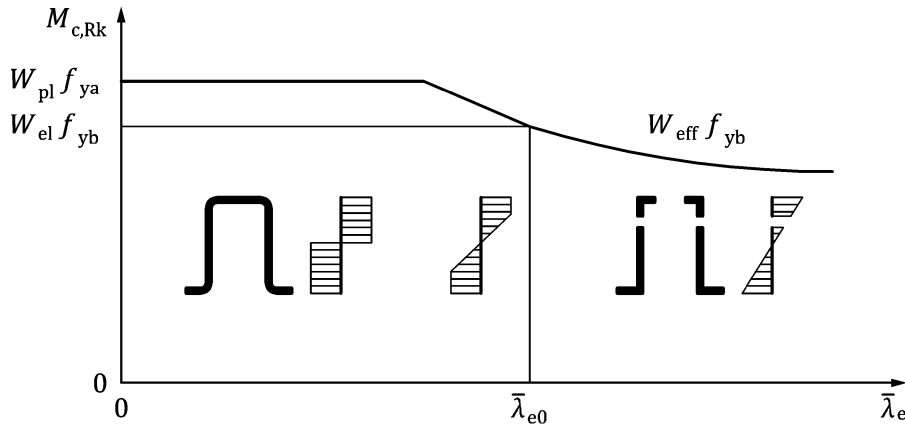
$$\frac{\bar{\lambda}_e}{\bar{\lambda}_{e0}} = \frac{s_n}{s_{\text{eff},5} + s_{\text{eff},n}} \quad \text{für den Teil des Stegs, der in einem Steg mit zwei Steifen in der Druckzone der Nulllinie am nächsten ist} \quad (8.20)$$

Dabei ist

$s_n$  die Länge wie in Bild 7.10 dargestellt;

$s_{\text{eff},1}$  bis  $s_{\text{eff},n}$  entsprechend Gleichung (7.54) bis Gleichung (7.59) und wie in Bild 7.10 dargestellt.

**ANMERKUNG** Die aus Gleichung (8.11) resultierende Biegemomentenbeanspruchbarkeit ist in Bild 8.2 als Funktion des bezogenen Schlankheitsgrads grafisch dargestellt.



**Bild 8.2 — Biegemomentenbeanspruchbarkeit als Funktion der Schlankheit**

(3) Gleichung (8.11) darf angewendet werden, wenn die folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

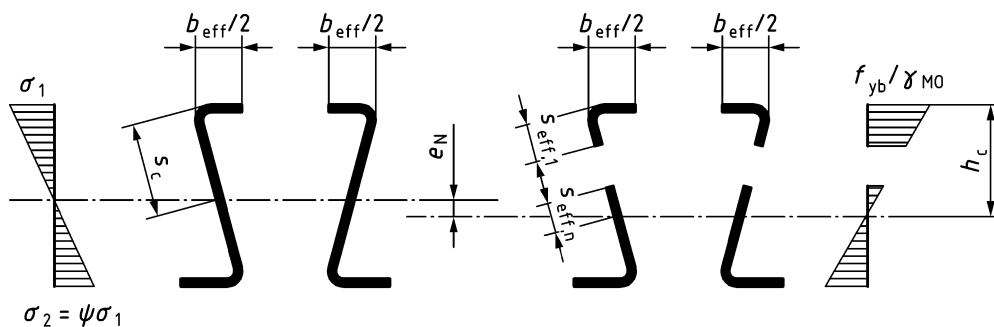
- a) das Biegemoment wird nur um eine Hauptachse des Querschnitts aufgebracht;
- b) das Bauteil ist weder auf Torsion beansprucht noch globalen Instabilitäten ausgesetzt;
- c) der Winkel  $\phi$  zwischen Steg und Gurt (siehe Bild 8.5) ist größer als  $60^\circ$ .

(4) Wenn  $W_{\text{eff}} = W_{\text{el}}$  gilt und die Bedingungen in (3) b) oder (3) c) nicht erfüllt sind, darf der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts mit Biegebeanspruchung um eine Hauptachse nach Gleichung (8.21) bestimmt werden:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_{ya}}{\gamma_{M0}} \tag{8.21}$$

(5) Das Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$  sollte für einen wirksamen Querschnitt gelten, der nur durch ein Biegemoment um die maßgebende Hauptachse beansprucht ist, mit einer maximalen Spannung  $\sigma_{\text{max,Ed}}$  gleich  $f_{yb}/\gamma_{M0}$  und unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Plattenbeulen und Forminstabilität nach 7.6. Falls Schubverzerrungen maßgebend sind, sollten deren Auswirkungen auch berücksichtigt werden.

(6) Für die Bestimmung der wirksamen Steganteile darf das Spannungsverhältnis  $\psi = \sigma_2/\sigma_1$  unter Berücksichtigung der wirksamen Fläche des Druckgurts und der Bruttoquerschnittsfläche des Stegs ermittelt werden, wie in Bild 8.3 dargestellt.



**Bild 8.3 — Beispiel eines wirksamen Querschnitts und der Biegemomentenbeanspruchbarkeit**

(7) Wird die Streckgrenze zuerst am druckbeanspruchten Rand des Querschnitts erreicht, sollte der Wert von  $W_{\text{eff}}$  basierend auf einer linearen Spannungsverteilung über den Querschnitt berechnet werden.

(8) Bei zweiachsender Biegung darf der Nachweis nach Gleichung (8.22) geführt werden:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1 \quad (8.22)$$

Dabei ist

$M_{y,Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments um die starke Hauptachse;

$M_{z,Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments um die schwache Hauptachse;

$M_{cy,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, wenn dieser ausschließlich durch ein Biegemoment um die  $y$ - $y$ -Achse beansprucht wird;

$M_{cz,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, wenn dieser ausschließlich durch ein Biegemoment um die  $z$ - $z$ -Achse beansprucht wird.

(9) In einer Tragwerksberechnung darf die Umlagerung von Biegemomenten im Bauteil aufgrund von Plastizierung an Zwischenauflagern berücksichtigt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- jedes Reststützmoment an Zwischenauflagern größer als Null muss durch Versuchsergebnisse nach Abschnitt 12 bestätigt werden;
- die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach 9.2 müssen erfüllt werden.

#### 8.1.4.2 Elastische und elastisch-plastische Biegemomentenbeanspruchbarkeit bei Erreichen der Streckgrenze im Zuggurt

(1) Der Bemessungswert der elastischen Biegemomentenbeanspruchbarkeit  $M_{c,Rd}$  darf nach Gleichung (8.10) bestimmt werden, wobei der wirksame Querschnitt auf Grundlage des Bemessungswerts der maximalen Druckspannung  $\sigma_{\text{com,Ed}}$  auf der Druckseite bestimmt wird, siehe 7.6.

(2) Unter der Voraussetzung, dass das Biegemoment nur um eine Hauptachse des Querschnitts wirkt und die Streckgrenze zuerst am zugbeanspruchten Rand erreicht wird, darf die plastische Tragreserve in der Zugzone ohne Dehnungsbegrenzung so weit ausgenutzt werden, bis die maximale Druckspannung  $\sigma_{\text{com,Ed}}$  den Wert  $f_{yb}/\gamma_{M0}$  erreicht. Die Festlegungen in 8.1.4.2(2) bis 8.1.4.2(4) gelten ausschließlich im Fall reiner Biegung. Bei kombinierter Normalkraft- und Biegemomentenbeanspruchung sollte 8.1.7 oder 8.1.8 angewendet werden.

(3) Das teilplastische Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts  $W_{\text{pp,eff}}$  sollte mit einer bilinearen Spannungsverteilung in der Zugzone und einer linearen Spannungsverteilung in der Druckzone ermittelt werden.

(4) Ohne eine genauere Berechnung darf die wirksame Breite  $b_{\text{eff}}$  eines Querschnittsteils mit linearer Spannungsverteilung nach 7.6.2 ermittelt werden, wobei  $b_c$  aus der bilinearen Spannungsverteilung nach Bild 8.4 und unter der Annahme von  $\psi = -1$  bestimmt wird.

(5) Es gilt 8.1.4.1(9).

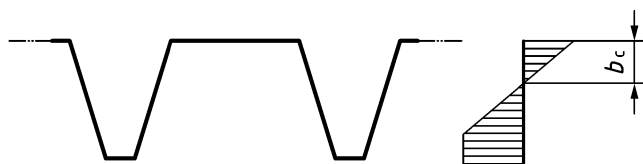


Bild 8.4 — Höhe der Druckzone zur Bestimmung der wirksamen Breiten

### 8.1.4.3 Auswirkungen von Schubverzerrungen

- (1) Die Auswirkungen von Schubverzerrungen sollten nach EN 1993-1-5 berücksichtigt werden.
- (2) Die Auswirkungen von Schubverzerrungen dürfen bei Profiltafeln und Bauteilen vernachlässigt werden, die die Grenzwerte der Querschnittsgeometrie nach 7.4 erfüllen.

ANMERKUNG Die Auswirkungen von Schubverzerrungen in Kassettenprofilen werden in 11.2.2.2 berücksichtigt.

### 8.1.4.4 Besondere Festlegungen für gekrümmte Profiltafeln und Profile

- (1) Gekrümmte Profiltafeln oder Bauteile dürfen unter Berücksichtigung der Bogentragwirkung bemessen werden.
- (2) Gekrümmte Profiltafeln, die ohne Berücksichtigung der Bogentragwirkung bemessen wurden, dürfen nur verwendet werden, wenn die Grenzwerte der Bemessungsdicken und der Krümmungsradien nach Tabelle 8.1 eingehalten werden.

Tabelle 8.1 — Gültigkeitsbereich für die Bemessung von gekrümmten Profiltafeln ohne Berücksichtigung der Bogentragwirkung

Art des Querschnitts	Bemessungsdicke	Krümmungsradius
	mm	$R$ m
Trapezprofil	0,59	$5,6 \leq R \leq 32,9$
	0,96	$6,4 \leq R \leq 25,8$
Wellprofil oder ähnliche Profiltafeln	0,59	$4,3 \leq R \leq 11,5$
	0,96	$3,8 \leq R \leq 17,2$

Für Zwischenwerte der Bemessungsdicke dürfen die Grenzwerte des Krümmungsradius  $R$  interpoliert werden.

- (3) Der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit gekrümmter Profiltafeln ohne Berücksichtigung der Bogentragwirkung darf auf Grundlage des Bemessungswerts der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der entsprechenden ebenen (d. h. nicht gekrümmten) Profiltafeln nach Gleichung (8.23) bestimmt werden:

$$\hat{M}_{c,Rd} = 0,9 \cdot M_{c,Rd} \quad (8.23)$$

Dabei ist

$\hat{M}_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der gekrümmten Profiltafel ohne Berücksichtigung der Bogentragwirkung;

$M_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der entsprechenden ebenen Profiltafel.

### 8.1.5 Querkraftbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Querkraft  $V_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt den Nachweis nach Gleichung (8.24) erfüllen:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1 \quad (8.24)$$

Dabei ist

$V_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit eines Querschnitts in der Ebene des Stegs nach (2).

(2) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit  $V_{b,Rd}$  in der Ebene des Stegs sollte mit Gleichung (8.25) bestimmt werden:

$$V_{b,Rd} = \frac{h_w}{\sin \phi} t f_{bv} \gamma_{M0} \quad (8.25)$$

Dabei ist

$f_{bv}$  die Schubfestigkeit unter Berücksichtigung des Schubbeulens nach Tabelle 8.2;

$h_w$  die zwischen den Mittellinien der Gurte gemessene Steghöhe, siehe Tabelle 7.3(c);

$\phi$  der Winkel des Steges in Bezug auf die Gurte, siehe Bild 8.5.

Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit senkrecht zu den Gurten sollte mit Gleichung (8.26) bestimmt werden:

$$V_{w,Rd} = V_{b,Rd} \sin \phi \quad (8.26)$$

**Tabelle 8.2 — Schubfestigkeit  $f_{bv}$  unter Berücksichtigung des Schubbeulens**

Bezogener Schlankheitsgrad des Stegs	Steg ohne Aussteifung am Auflager	Steg mit Aussteifung am Auflager <sup>a</sup>
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,4$	$\frac{0,48 f_{yb}}{\bar{\lambda}_w}$	$\frac{0,48 f_{yb}}{\bar{\lambda}_w}$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,4$	$\frac{0,67 f_{yb}}{\bar{\lambda}_w^2}$	$\frac{0,48 f_{yb}}{\bar{\lambda}_w}$

<sup>a</sup> Aussteifung am Auflager, z. B. Knaggen, die geeignet sind, Stegverformungen zu verhindern und dafür bemessen sind, Auflagerkräfte aufzunehmen.

(3) Der bezogene Schlankheitsgrad des Stegs  $\bar{\lambda}_w$  sollte wie folgt bestimmt werden:

— bei Stegen ohne Längssteifen:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \quad (8.27)$$

— bei Stegen mit Längssteifen, siehe Bild 8.5:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_{yb}}{k_\tau E}} \quad \text{aber} \quad \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \quad (8.28)$$

mit

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \left( \frac{\sum I_{st}}{s_d} \right)^{1/3} \quad (8.29)$$

Dabei ist

- $I_{st}$  das Trägheitsmoment einer einzelnen Längssteife um die Achse a-a nach 7.6.4.3(7), wie in Bild 8.5 dargestellt;
- $s_d$  die gesamte, abgewinkelte, geneigte Höhe des Stegs, wie in Bild 8.5 dargestellt;
- $s_p$  die geneigte Höhe des breitesten, ebenen Querschnittsteils im Steg, wie in Bild 8.5 dargestellt;
- $s_w$  die geneigte Höhe des Stegs, wie in Bild 8.5 dargestellt, festgelegt durch den Abstand zwischen den Mittelpunkten der Ecken, siehe Tabelle 7.3(c).

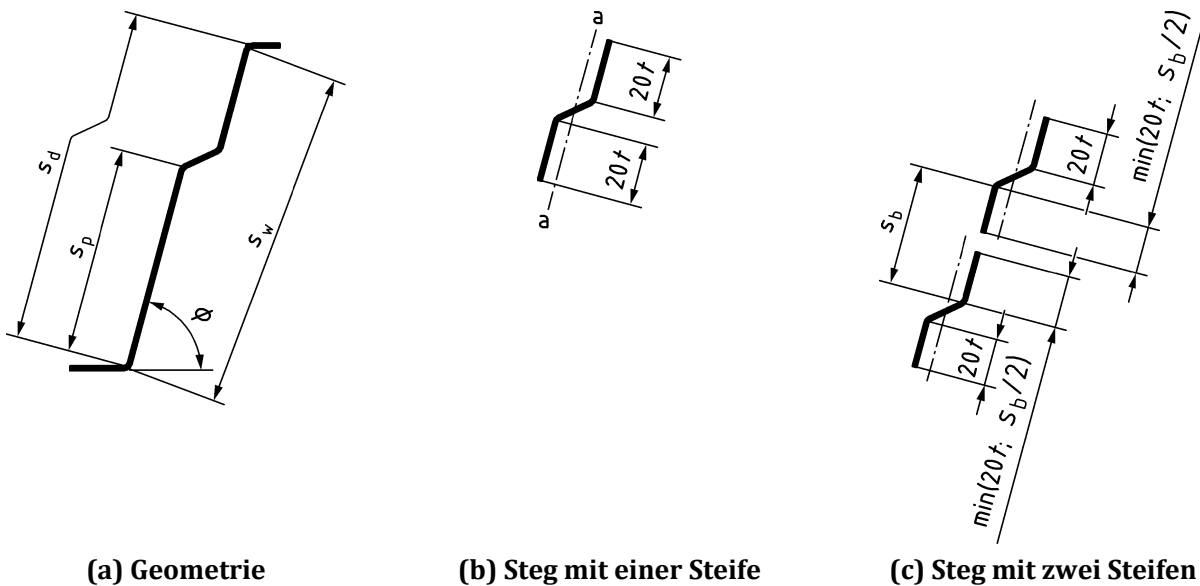


Bild 8.5 — Steg mit Längsaussteifungen

## 8.1.6 Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

### 8.1.6.1 Allgemeines

(1) Um Zusammendrücken oder Stegkrüppeln infolge einer Auflagerkraft oder einer anderen, über den Gurt eingeleiteten Querbelastung zu verhindern, muss der Bemessungswert der Querbelastung  $F_{Ed}$  den Nachweis nach Gleichung (8.30) erfüllen:

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad (8.30)$$

Dabei ist

$R_{w,Rd}$  der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stegs unter Querbelastungen.

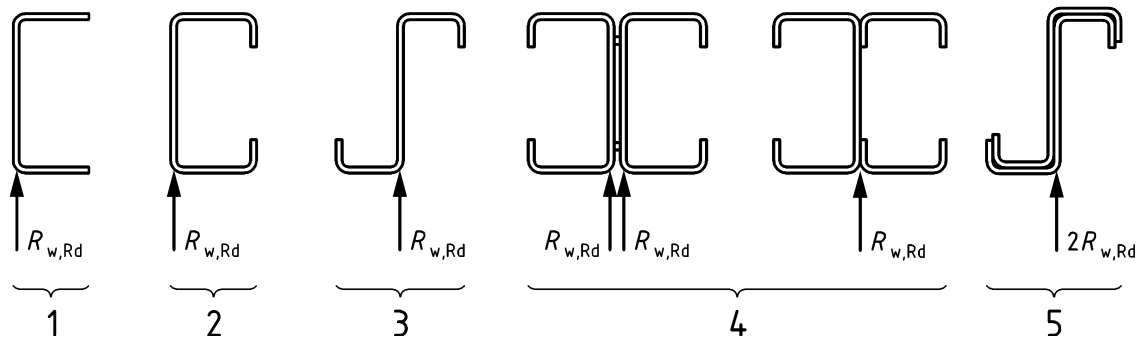
(2) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines Stegs unter Querbelastungen  $R_{w,Rd}$  sollte wie folgt ermittelt werden:

- a) für einen nicht ausgesteiften Steg:
  - bei einem Querschnitt mit einem einzelnen Steg: siehe 8.1.6.2;
  - bei jedem anderen Fall, auch für Profiltafeln: siehe 8.1.6.3;
- b) für einen ausgesteiften Steg: siehe 8.1.6.4;

(3) Wenn die gesamte Belastung oder die Auflagerkraft nur über einen am Steg befestigten Pfettenschuh eingeleitet wird, braucht die Beanspruchbarkeit des Stegs unter Querbelastung nicht berücksichtigt werden.

### 8.1.6.2 Querschnitte mit einem einzelnen, nicht ausgesteiften Steg

(1) Bei Querschnitten mit einem einzelnen, nicht ausgesteiften Steg, wie in den Beispielen in Bild 8.6 dargestellt, darf der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stegs unter Querbelastung nach (6) bestimmt werden, wenn der Querschnitt die Kriterien in Tabelle 8.3 erfüllt.



#### Legende

- 1 nicht ausgesteiftes C-Profil
- 2 ausgesteiftes C-Profil
- 3 ausgesteiftes Z-Profil
- 4 zusammengesetzte I-Profile
- 5 geschachtelte (en: nested) Z-Profile (Befestigung zwischen den beiden Stegen am Ende der Überlappung vorausgesetzt)

**Bild 8.6 — Querschnitte mit einem einzelnen Steg — Gültigkeitsbereich von 8.1.6.2**

**Tabelle 8.3 — Bemessung von Querschnitten mit einem Einzelsteg — Gültigkeitsbereich**

<b>(1) Nicht ausgesteifte C-Profile (siehe Bild 8.6)</b>					
<b>Befestigung am Auflager</b>	$t$ [mm]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$r/t$	$l_{sb}/t$	$h/t$
befestigt	0,6–6,0	250–600	$\leq 4$	$\leq 100$	$\leq 200$
nicht befestigt	1,0–6,0	250–600	$\leq 4$	$\leq 100$	$\leq 200$
<b>(2) Ausgesteifte C-Profile (siehe Bild 8.6)</b>					
<b>Befestigung am Auflager</b>	$t$ [mm]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$r/t$	$l_{sb}/t$	$h/t$
befestigt	0,6–3,1	160–600	$\leq 10$	$\leq 170$	$\leq 270$
nicht befestigt	0,6–3,1	160–600	$\leq 5$	$\leq 170$	$\leq 270$

<b>(3) Ausgesteifte Z-Profile (siehe Bild 8.6)</b>					
<b>Befestigung am Auflager</b>	$t$ [mm]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$r/t$	$l_{sb}/t$	$h/t$
befestigt	1,0–3,0	320–500	$\leq 10$	$\leq 100$	$\leq 200$
nicht befestigt	1,5–3,0	320–500	$\leq 5$	$\leq 100$	$\leq 200$
<b>(4) Zusammengesetzte I-Profile (siehe Bild 8.6)</b>					
<b>Befestigung am Auflager</b>	$t$ [mm]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$r/t$	$l_{sb}/t$	$h/t$
befestigt	1,0–4,0	200–450	$\leq 5$	$\leq 100$	$\leq 270$
nicht befestigt	1,0–4,0	200–450	$\leq 5$	$\leq 100$	$\leq 270$
<b>(5) Geschachtelte Z-Profile (siehe Bild 8.6)</b>					
<b>Befestigung am Auflager</b>	$t$ [mm]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$r/t$	$l_{sb}/t$	$h/t$
befestigt	1,0–3,0	320–500	$\leq 10$	$\leq 100$	$\leq 200$
nicht befestigt	1,0–3,0	320–500	$\leq 10$	$\leq 100$	$\leq 200$

(2) Die Nennlänge der starren Lasteinleitung sollte dem allgemeinen Grenzwert von  $l_{sb} \leq 200$  mm entsprechen. Bei größeren Längen der starren Lasteinleitung darf das Verfahren angewendet werden, jedoch sollte  $l_{sb}$  auf 200 mm reduziert werden.

Falls das Auflager aus einem einzelnen, kaltgeformten Stahlbauteil mit einem einsteigigen Querschnitt besteht, darf die wirksame Auflagerlänge ohne detaillierte Berechnung nach 8.1.6.3(5) bestimmt werden.

(3) Bei größeren Werten von  $t$  oder  $f_{yb}$  darf das Verfahren angewendet werden, aber die Werte sollten auf die Höchstwerte nach Tabelle 8.3 reduziert werden.

(4) Bei Bauteilen mit einem I-förmigen Querschnitt, der aus zwei C-Profilen gebildet wird, oder mit einem ähnlichen Querschnitt, bei dem zwei Profile im Bereich ihrer Stege verbunden sind, sollten die Verbindungen so nahe wie möglich an den Bauteilgurten ausgeführt werden.

(5) Ist ein ausreichend steifer Pfettenschuh vorhanden, dürfen die Koeffizienten  $k_{lsb}$  für zusammengesetzte I-Profile auch für C-Profile oder Z-Profile mit (zusätzlich) befestigten oder unbefestigten Gurten verwendet werden, wenn die Nennlänge der starren Lasteinleitung  $l_{sb}$  als Mindestwert der Länge der starren Lasteinleitung und der Breite des Pfettenschuhs nach Gleichung (8.31) angesetzt wird, siehe Bild 8.7:

$$l_{sb} = \min \{b_f; b_{cleat}\} \leq 200 \text{ mm} \quad (8.31)$$

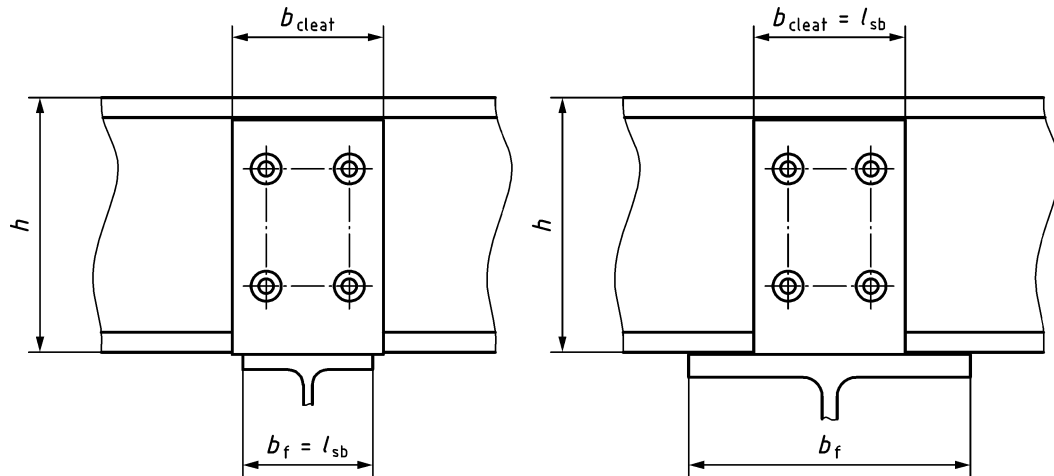
Dabei ist

$b_f$  die tatsächliche Länge der starren Lasteinleitung, üblicherweise die Gurtbreite, siehe Bild 8.7;

$b_{cleat}$  die Breite des Pfettenschuhs.

Eine ausreichende Steifigkeit des Pfettenschuhs darf angenommen werden, wenn die Bedingung in Gleichung (8.32) erfüllt ist:

$$t_{cleat} \geq t \sqrt[3]{\frac{2h}{l_{sb}}} \quad (8.32)$$



**Bild 8.7 — Nennlänge der starren Lasteinleitung  $l_{sb}$  bei einer Befestigung mit Pfettenschuhen**

(6) Bei Querschnitten, welche die Bedingungen nach Tabelle 8.3 erfüllen, sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines Stegs unter Querbelastungen  $R_{w,Rd}$  nach Gleichung (8.33) bestimmt werden:

$$R_{w,Rd} = k_{0,sb} \frac{t^2 \sqrt{E f_{yb}}}{\gamma_{M1}} \left( 1 - k_{r,sb} \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left( 1 + k_{l,sb} \sqrt{\frac{l_{sb}}{t}} \right) \left( 1 - k_{h,sb} \sqrt{\frac{h}{t}} \right) \quad (8.33)$$

Dabei ist/sind

- $k_{0,sb}, k_{r,sb}, k_{l,sb}, k_{h,sb}$  Koeffizienten nach Tabelle 8.4 in Abhängigkeit der in Tabelle 8.5 aufgeführten Belastungszustände;
- $t$  die Bemessungsdicke;
- $E$  der Elastizitätsmodul;
- $f_{yb}$  die Basisstreckgrenze;
- $h$  die Gesamthöhe des Querschnitts, siehe Bild 8.7;
- $r$  der innere Radius der Eckbereiche;
- $l_{sb}$  die Nennlänge der starren Lasteinleitung. Falls zwei gleich große Querbelastungen auf entgegengesetzten Seiten des Stegs, jedoch über unterschiedliche Lagerlängen verteilt einwirken, sollte der kleinere Wert von  $l_{sb}$  verwendet werden.

**ANMERKUNG** Zu Einzelheiten der Befestigungen von Querschnitten am Auflager siehe Bild 8.8.

Tabelle 8.4 — Koeffizienten  $k_{i, sb}$  zur Berechnung der Beanspruchbarkeit unter Querbelastungen

<b>(1) Nicht ausgesteifte C-Profile (siehe Bild 8.6)</b>						
Nr.	Belastungszustand	Befestigung am Auflager	$k_{0, sb}$	$k_{r, sb}$	$k_{l, sb}$	$k_{h, sb}$
1	EOF	befestigt	0,157	0,074	0,231	0,024
		nicht befestigt	0,085	0,188	0,640	0,044
2	IOF	befestigt	0,193	0,045	0,219	0,000
		nicht befestigt	0,222	0,002	0,120	0,000
3	ETF	befestigt	0,075	0,092	0,278	0,026
		nicht befestigt	0,075	0,092	0,278	0,026
4	ITF	befestigt	0,263	0,076	0,126	0,037
		nicht befestigt	0,263	0,076	0,126	0,037
<b>(2) Ausgesteifte C-Profile (siehe Bild 8.6)</b>						
Nr.	Belastungszustand	Befestigung am Auflager	$k_{0, sb}$	$k_{r, sb}$	$k_{l, sb}$	$k_{h, sb}$
1	EOF	befestigt	0,266	0,165	0,155	0,032
		nicht befestigt	0,251	0,211	0,148	0,039
2	IOF	befestigt	0,627	0,151	0,098	0,036
		nicht befestigt	0,594	0,143	0,049	0,033
3	ETF	befestigt	0,200	0,109	0,142	0,046
		nicht befestigt	0,291	0,383	0,095	0,041
4	ITF	befestigt	0,558	0,102	0,053	0,028
		nicht befestigt	1,202	0,232	0,000	0,051
<b>(3) Ausgesteifte Z-Profile (siehe Bild 8.6)</b>						
Nr.	Belastungszustand	Befestigung am Auflager	$k_{0, sb}$	$k_{r, sb}$	$k_{l, sb}$	$k_{h, sb}$
1	EOF	befestigt	0,162	0,094	0,239	0,029
		nicht befestigt	0,120	0,000	0,024	0,008
2	IOF	befestigt	0,324	0,094	0,239	0,029
		nicht befestigt	0,240	0,000	0,024	0,008
3	ETF	befestigt	0,308	0,000	0,075	0,049
		nicht befestigt	–	–	–	–
4	ITF	befestigt	0,606	0,061	0,082	0,035
		nicht befestigt	–	–	–	–

<b>(4) Zusammengesetzte I-Profile (siehe Bild 8.6)</b>						
Nr.	Belastungszustand	Befestigung am Auflager	$k_{0, sb}$	$k_{r, sb}$	$k_{l, sb}$	$k_{h, sb}$
1	EOF	befestigt oder nicht befestigt	0,179	0	0,225	0
2	IOF	befestigt oder nicht befestigt	0,580	0,163	0,066	0
3	ETF	befestigt oder nicht befestigt	0,439	0,292	0,052 8	0,034 4
4	ITF	befestigt oder nicht befestigt	0,768	0,179	0,069 9	0,033 5

<b>(5) Geschachtelte Z-Profile (siehe Bild 8.6)</b>						
Nr.	Belastungszustand	Befestigung am Auflager	$k_{0, sb}$	$k_{r, sb}$	$k_{l, sb}$	$k_{h, sb}$
1	IOF	befestigt oder nicht befestigt	0,235	0,200	0,187	0

Tabelle 8.5 — Belastungszustände

Nr.	Belastungszustand		
1	EOF – Einzelne Belastung eines Gurts am Bauteilende		$l_{end} \leq 1,5 h$
2	IOF – Einzelne Belastung eines Gurts im Feld		$l_{end} > 1,5 h$
3	ETF – Zwei entgegengesetzt wirkende Belastungen der Gurte am Bauteilende		$l_{end} \leq 1,5 h$ $l_{spac} \leq 1,5 h$
4	ITF – Zwei entgegengesetzt wirkende Belastungen der Gurte im Feld		$l_{end} > 1,5 h$ $l_{spac} \leq 1,5 h$

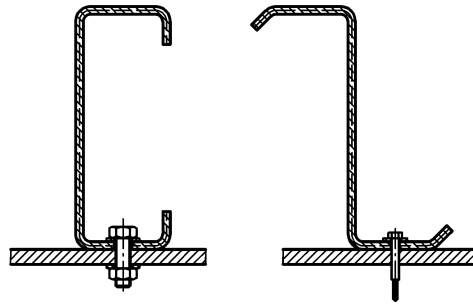


Bild 8.8 — Befestigung von Profilen am Auflager

### 8.1.6.3 Querschnitte mit zwei oder mehreren, nicht ausgesteiften Stegen

(1) Bei Querschnitten mit zwei oder mehr Stegen, einschließlich Profiltafeln (siehe Bild 8.9), sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines nicht ausgesteiften Steges unter Querbelastungen nach (2) bestimmt werden, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- die Summe der Lasteinleitungslänge  $l_{sb}$  und des lichten Abstands  $l_{end}$  zwischen dem Ende der Lasteinleitung und dem freien Ende sollte mindestens 40 mm betragen, d. h.  $l_{sb} + l_{end} \geq 40$  mm;
- der lichte Abstand  $l_{end}$  zwischen dem Ende der Lasteinleitung und dem freien Ende beträgt mindestens 40 mm, siehe Tabelle 8.6;
- der Querschnitt erfüllt die folgenden Bedingungen:

$$r/t \leq 10 \quad (8.34)$$

$$h/t \leq 200 \sin \phi \quad (8.35)$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \quad (8.36)$$

Dabei ist

$h$  die Höhe des Stegs;

$r$  der innere Radius der Eckbereiche;

$\phi$  der Neigungswinkel des Steges in Bezug auf die Gurte [in Grad].

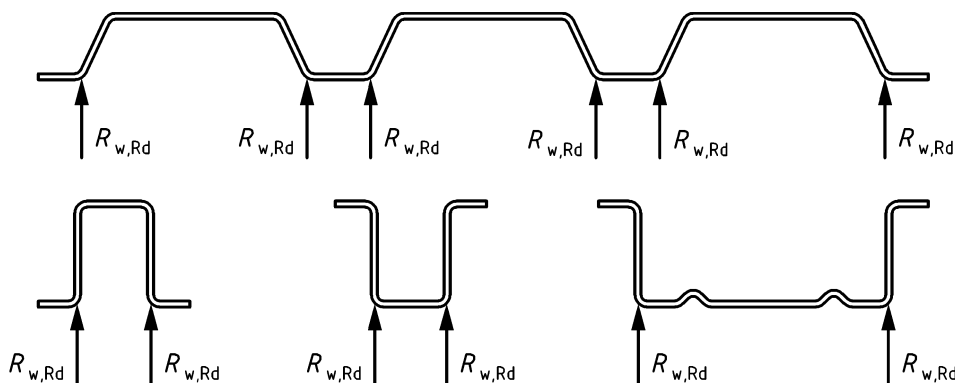


Bild 8.9 — Beispiele für Querschnitte mit zwei oder mehr Stegen

(2) Sind die Bedingungen in (1) erfüllt, sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit jedes Stags des Querschnitts unter Querbelastungen  $R_{w,Rd}$  nach Gleichung (8.37) bestimmt werden:

$$R_{w,Rd} = K_1 \frac{t^2 \sqrt{E f_{yb}}}{\gamma_{M1}} \left( 1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left( 0,5 + \sqrt{\frac{0,02 l_{bl}}{t}} \right) \left( 2,4 + \left( \frac{\Phi}{90} \right)^2 \right) \quad (8.37)$$

Dabei ist

- $l_{bl}$  die wirksame Länge der Lasteinleitung in Abhängigkeit der maßgebenden Belastungskategorie nach (3) und der Nennlänge der starren Lasteinleitung nach (4);
- $K_1$  ein Koeffizient in Abhängigkeit der maßgebenden Belastungskategorie nach (3).

(3) Die Werte für  $l_{bl}$  und  $K_1$  sollten nach (5) bzw. (6) ermittelt werden. Es sollte zwischen zwei Belastungskategorien (1 und 2) unterschieden werden, dies auf Grundlage des lichten Abstands  $l_{spac}$  zwischen der örtlichen Querbelastung und dem nächstgelegenen Auflager oder aber des lichten Abstands  $l_{end}$  zwischen Auflagerreaktion oder lokaler Querbelastung und dem freien Ende, siehe Tabelle 8.6. Kategorie 1 behandelt Fälle, in denen die Last sehr nah an einem Auflager oder freien Rand einwirkt, während Kategorie 2 die übrigen Fälle behandelt.

(4) Die Nennlänge der starren Lasteinleitung  $l_{sb}$  ist die tatsächliche Länge, über die die Querbelastungen aufgebracht werden, z. B. die Breite des Obergurts des stützenden Bauteils. Die folgenden Ausnahmen gelten:

- besteht das Auflager aus einem Rundhohlprofil, sollte ein Wert von 10 mm für die Nennlänge der starren Lasteinleitung  $l_{sb}$  verwendet werden;
- wenn das stützende Bauteil aus zwei kaltgeformten Stahlprofilen mit jeweils einem Steg besteht (in einer Rücken-an-Rücken-Ausführung), darf  $l_{sb}$  als der doppelte Wert des Einzelprofils angesetzt werden.

(5) Der Wert der wirksamen Lasteinleitungslänge  $l_{bl}$  sollte wie folgt angesetzt werden:

a) für Kategorie 1:

- Falls das Auflager aus kaltgeformten Stahlbauteilen besteht:

$$l_{bl} = 10 \text{ mm} \quad (8.38)$$

- Falls das Auflager aus anderen Arten von Bauteilen besteht:

$$l_{bl} = 10 \text{ mm} \quad \text{wenn } l_{end} + l_{sb} < h \quad (8.39)$$

$$l_{bl} = 10 + \frac{(l_{end} + l_{sb} - h)(l_{sb} - 10)}{h/2 + l_{sb}} \text{ [mm]} \quad \text{wenn } l_{end} + l_{sb} \geq h, \text{ aber } l_{end} < 1,5h \quad (8.40)$$

Dabei ist

- $l_{end}$  der lichte Abstand zwischen dem Ende der Lasteinleitung und dem freien Ende [in mm];
- $l_{sb}$  die Nennlänge der starren Lasteinleitung [in mm];
- $h$  die Höhe des Steges [in mm].

b) für Kategorie 2:

- Falls das Auflager aus einem einzelnen kaltgeformten Stahlbauteil mit einem einstegeigen Querschnitt besteht:

$$l_{bl} = \min \{17,5 t_{supp} - 6 \text{ mm}; 50 \text{ mm}; l_{sb}\} \quad (8.41)$$

Dabei ist

$t_{supp}$  die Bemessungsdicke des Gurts des stützenden Bauteils;

$l_{sb}$  die Nennlänge der starren Lasteinleitung.

- Falls das Auflager aus einem einzelnen kaltgeformten Stahlbauteil mit einem einstegeigen Querschnitt besteht, der torsionsbeansprucht ist:

$$l_{bl} = 10 \text{ mm} \quad (8.42)$$

ANMERKUNG Der Querschnitt kann als torsionsbeansprucht betrachtet werden, wenn sein Schubmittelpunkt entweder nicht im Bereich unter dem Obergurt (z. B. in einem U-Profil oder C-Profil) oder nicht im Bereich über dem Auflager liegt (in den Fällen, in denen die Lasten auf die Ober- bzw. Unterseite des Bauteils einwirken) und die Torsion nicht durch andere tragende Bauteile behindert wird.

- Falls das Auflager aus anderen Arten von Bauteilen besteht:

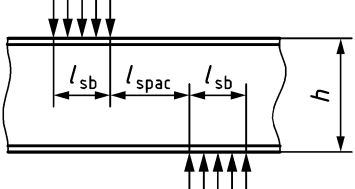
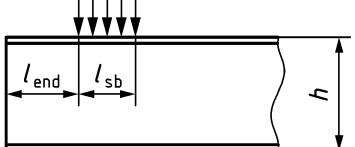
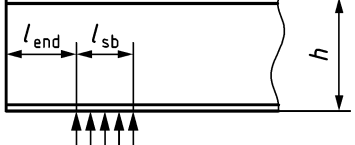
$$l_{bl} = l_{sb} \quad (8.43)$$

Dabei ist

$l_{sb}$  die Nennlänge der starren Lasteinleitung.

Der maximale Bemessungswert der wirksamen Lasteinleitungslänge beträgt  $l_{bl} = 200 \text{ mm}$ .

**Tabelle 8.6 — Lasten und Auflagerreaktionen — Belastungskategorien für Querschnitte mit zwei oder mehr Stegen**

	<p>Kategorie 1: — Lasteinleitung im lichten Abstand <math>l_{spac} \leq 1,5 h</math> zum nächstgelegenen Auflager;</p>
	<p>Kategorie 1: — Lasteinleitung im lichten Abstand <math>l_{end} \leq 1,5 h</math> zu einem freien Ende;</p>
	<p>Kategorie 1: — Auflagerreaktion im lichten Abstand <math>l_{end} \leq 1,5 h</math> zu einem freien Ende;</p>

	<p>Kategorie 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Lasteinleitung im lichten Abstand <math>l_{\text{spac}} &gt; 1,5 h</math> zum nächstgelegenen Auflager;</li> </ul>
	<p>Kategorie 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Lasteinleitung im lichten Abstand <math>l_{\text{end}} &gt; 1,5 h</math> zu einem freien Ende;</li> </ul>
	<p>Kategorie 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Auflagerreaktion im lichten Abstand <math>l_{\text{end}} &gt; 1,5 h</math> zu einem freien Ende;</li> </ul>
	<p>Kategorie 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Auflagerreaktion an einer Mittelstützung ohne örtliche Belastung innerhalb eines Abstands von <math>1,5 h</math>.</li> </ul>

(6) Der Koeffizient  $K_1$  sollte wie folgt bestimmt werden:

a) für Kategorie 1:

- bei Profiltafeln mit beidseitiger, entgegengesetzt wirkender Belastung:

$$K_1 = 0,075 \quad (8.44)$$

- bei Profiltafeln in der Nähe eines freien Endes:

$$K_1 = 0,18 \sqrt{\frac{l_{\text{end}} + l_{\text{sb}}}{1,5 h}} \leq 0,15 \quad (8.45)$$

- bei Kassettenprofilen und Hutprofilen:

$$K_1 = 0,057 \quad (8.46)$$

b) für Kategorie 2:

- bei Profiltafeln:

$$K_1 = 0,15 \quad (8.47)$$

- bei Kassettenprofilen und Hutprofilen:

$$K_1 = 0,115 \quad (8.48)$$

### 8.1.6.4 Ausgesteifte Stege

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Stegs unter Querbelastungen darf nach (2) für Querschnitte mit Steglängssteifen bestimmt werden, die so umgebogen sind, dass die beiden Eckpunkte der Stegumbiegungen auf den gegenüberliegenden Seiten der Verbindungslinie der Steg端punkte liegen. Diese Endpunkte sollten als Schnittpunkte der Mittellinien des Stegs und der Gurte bestimmt werden, wie in Bild 8.10 dargestellt. Damit (2) gilt, sollte zusätzlich die Bedingung nach Gleichung (8.49) erfüllt sein:

$$2 \leq \frac{e_{w,max}}{t} < 12 \quad (8.49)$$

Dabei ist

$e_{w,max}$  die größere Exzentrizität der Umbiegungen in Bezug zur Verbindungslinie der Steg端punkte.

(2) Bei Querschnitten, die die Bedingungen in (1) erfüllen, darf der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Stegs unter Querbelastungen durch Multiplikation des Bemessungswerts der Beanspruchbarkeit eines entsprechenden unausgesteiften Steges nach 8.1.6.2 oder 8.1.6.3 mit dem Faktor  $k_{st,w}$  nach Gleichung (8.50) ermittelt werden:

$$k_{st,w} = 1,45 - 0,05 \frac{e_{w,max}}{t} \quad \text{aber} \quad k_{st,w} \leq 0,95 + 35\,000 \, t^2 \frac{e_{w,min}}{(b_{df}^2 s_{pF})} \quad (8.50)$$

Dabei ist

$b_{df}$  die abgewickelte Breite des Gurtes, siehe Bild 8.10;

$e_{w,min}$  die geringere Exzentrizität der Umbiegungen in Bezug zur Verbindungslinie der Steg端punkte;

$s_{pF}$  die geneigte Höhe des ebenen Querschnittsteils des Steges, das dem querbelasteten Gurt am nächsten ist, siehe Bild 8.10.

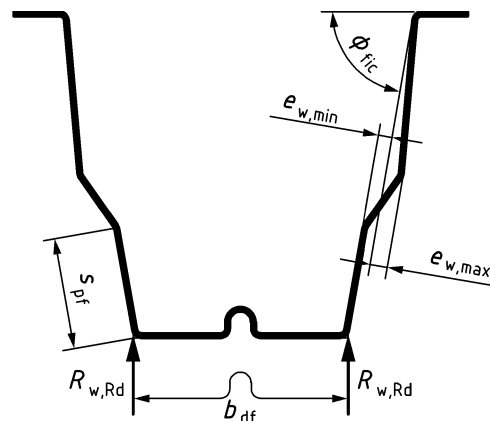


Bild 8.10 — Ausgesteifte Stege

### 8.1.6.5 Streckenlast oder Einzellast auf Trapezprofilen

(1) Beim Nachweis der Beanspruchbarkeit unter Querbelastungen sollte im Fall von Einzellasten oder Streckenlasten auf Trapezprofilen die Art der Lastverteilung (hier zu verstehen als Verteilung der Last senkrecht zur Spannweite) berücksichtigt werden, wobei zwischen direkter Belastung von einer oder zwei angrenzenden Rippen (direkte Lastverteilung) und indirekter Lastverteilung (d.h. Belastung über zwischenliegende Lastverteilungssysteme) unterschieden wird.

(2) Im Fall direkter Lastverteilung ohne zwischenliegende Lastverteilungssysteme sollte bei der Bemessung der Anteil der Last, der von jeder Rippe aufgenommen wird, nach 11.3.1 bestimmt werden.

(3) Falls die Lastverteilung durch warmgewalzte Stahlbauteile, kaltgeformte Stahlbauteile, Holz- oder Betonbauteile erfolgt, sollte das Lastverteilungssystem so bemessen sein, dass die Belastung wirksam verteilt wird.

### 8.1.7 Beanspruchung aus Zugkraft und Biegung

(1) Querschnitte mit gleichzeitiger Beanspruchung durch eine zentrische Zugkraft  $N_{Ed}$  und Biegemomente  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  sollten den Nachweis nach Gleichung (8.51) erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1 \quad (8.51)$$

Dabei ist

$N_{t,Rd}$  der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit, siehe 8.1.2;

$M_{cy,Rd,ten}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, unter Ansatz des Widerstandsmoments auf der Zugseite, wenn der Querschnitt ausschließlich durch ein Biegemoment um die  $y$ - $y$ -Achse beansprucht wird, siehe 8.1.4;

$M_{cz,Rd,ten}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, unter Ansatz des Widerstandsmoments auf der Zugseite, wenn der Querschnitt ausschließlich durch ein Biegemoment um die  $z$ - $z$ -Achse beansprucht wird, siehe 8.1.4.

(2) Wenn  $M_{cy,Rd,com} \leq M_{cy,Rd,ten}$  oder  $M_{cz,Rd,com} \leq M_{cz,Rd,ten}$  gilt, sollte auch der Nachweis nach Gleichung (8.52) erfüllt werden:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.52)$$

Dabei ist

$M_{cy,Rd,com}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Ansatz des Widerstandsmoments auf der Druckseite, wenn der Querschnitt ausschließlich durch ein Biegemoment um die  $y$ - $y$ -Achse beansprucht wird, siehe 8.1.4;

$M_{cz,Rd,com}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Ansatz des Widerstandsmoments auf der Druckseite, wenn der Querschnitt ausschließlich durch ein Biegemoment um die  $z$ - $z$ -Achse beansprucht wird, siehe 8.1.4.

### 8.1.8 Beanspruchung aus Druckkraft und Biegung

(1) Querschnitte unter gleichzeitiger Beanspruchung durch eine zentrische Druckkraft  $N_{Ed}$  und Biegemomente  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  sollten den Nachweis nach Gleichung (8.53) erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1 \quad (8.53)$$

Dabei ist

$N_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Druckbeanspruchbarkeit, siehe 8.1.3;

$M_{cy,Rd,com}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Ansatz des Widerstandsmoments auf der Druckseite, wenn der Querschnitt ausschließlich mit einem Biegemoment um die  $y$ - $y$ -Achse beansprucht wird, siehe 8.1.7(2);

$M_{cz,Rd,com}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts unter Ansatz des Widerstandsmoments auf der Druckseite, wenn der Querschnitt ausschließlich mit einem Biegemoment um die  $z$ - $z$ -Achse beansprucht wird, siehe 8.1.7(2).

(2) Die zusätzlichen Biegemomente  $\Delta M_{y,Ed}$  und  $\Delta M_{z,Ed}$ , die sich aus der Schwerachsenverschiebung am wirksamen Querschnitt ergeben, sollten wie folgt angesetzt werden:

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{Ny} \quad (8.54)$$

$$\Delta M_{z,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{Nz} \quad (8.55)$$

Dabei sind

$e_{Ny}$  und  $e_{Nz}$  die Verschiebungen der  $y$ - $y$ - und  $z$ - $z$ -Schwerachsen des wirksamen Querschnitts unter konstanter Druckbeanspruchung, siehe 8.1.3(4).

(3) Wenn  $M_{cy,Rd,ten} \leq M_{cy,Rd,com}$  oder  $M_{cz,Rd,ten} \leq M_{cz,Rd,com}$  gilt, sollte auch der Nachweis in Gleichung (8.56) erfüllt werden:

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.56)$$

Dabei sind

$M_{cy,Rd,ten}$ ,  $M_{cz,Rd,ten}$  die Bemessungswerte der Biegemomentenbeanspruchbarkeiten nach 8.1.7(1).

(4) Alternativ dürfen die Festlegungen nach 8.2.5 und Gleichung (8.73) bis Gleichung (8.75), soweit maßgebend, mit  $\chi_y = \chi_z = \chi_{LT} = 1,0$  und  $\omega_{x,y} = \omega_{x,z} = \omega_{x,LT} = 1,0$  verwendet werden.

### 8.1.9 Beanspruchung aus Normalkraft, Biegemoment und Querkraft

(1) Bei I-Profilen und ähnlichen Querschnitten, die gleichzeitig durch eine Normalkraft  $N_{Ed}$ , ein Biegemoment um die starke Hauptachse  $M_{y,Ed}$  und eine Querkraft  $V_{Ed}$  beansprucht werden, braucht der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit zur Berücksichtigung der Querkraft nicht reduziert zu werden, wenn  $V_{Ed} \leq 0,5 V_{w,Rd}$  gilt.

Wenn  $V_{Ed} > 0,5 V_{w,Rd}$  gilt, sollte der Nachweis in Gleichung (8.57) erfüllt werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1 \quad (8.57)$$

Dabei ist

- $\Delta M_{y,Ed}$  das zusätzliche Biegemoment infolge der Verschiebung des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts in Bezug zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts, siehe 8.1.8;
- $N_{Rd}$  der Bemessungswert der Zug- oder Druckbeanspruchbarkeit des Querschnitts, siehe 8.1.2 oder 8.1.3;
- $M_{cy,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts bei Biegung um die starke Hauptachse, siehe 8.1.4;
- $V_{w,Rd}$  die Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit des Stegs, siehe 8.1.5(2);
- $M_{pl,Rd}$  der Bemessungswert der plastischen Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, der aus den wirksamen Gurtflächen und der Bruttofläche des Stegs besteht;
- $M_{f,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Querschnitts, der ausschließlich aus den wirksamen Gurtflächen besteht.

Bei Bauteilen und Profiltafeln mit mehr als nur einem Steg ist  $V_{w,Rd}$  die Summe der Beanspruchbarkeiten der Stege.

### 8.1.10 Beanspruchung aus Normalkraft, Biegemoment, Querkraft und Torsion

(1) Die Längsspannungen infolge der Normalkraft  $N_{ed}$  und der Biegemomente  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  sollten mit dem jeweiligen, nach 8.1.2 bis 8.1.4 berechneten wirksamen Querschnitt bestimmt werden. Wenn der Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts nicht mit dem Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts übereinstimmt, sollten die zusätzlichen Biegemomente, die infolge der Normalkraft und der Verschiebungen  $e_{Ny}$  und  $e_{Nz}$  der Schwerachsen entstehen, berücksichtigt werden, siehe Bild 8.1 und 8.1.8.

(2) Greifen Lasten außermittig zum Schubmittelpunkt des Querschnitts an, sollte der Schubmittelpunkt des Bruttoquerschnitts zur Bestimmung des einwirkenden Torsionsmoments angesetzt werden.

(3) Die Schubspannungen infolge von Querkraften und primärer (St. Venant'scher) Torsion sowie die Längs- und Schubspannungen infolge Wölbkrafttorsion sollten mit den Querschnittswerten des Bruttoquerschnitts bestimmt werden.

(4) In torsionsbeanspruchten Querschnitten sollten die Nachweise nach Gleichung (8.58) bis Gleichung (8.60) (auf der Grundlage der Streckgrenze  $f_y$  nach 5.2.2) erfüllt werden:

$$\frac{\sigma_{tot,Ed}}{f_y} \leq 1 \quad (8.58)$$

$$\frac{\tau_{tot,Ed}}{f_{bv}} \leq 1 \quad (8.59)$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + \tau_{tot,Ed}^2 \left(\frac{f_y}{f_{bv}}\right)^2}}{f_y} \leq 1,1 \quad (8.60)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{tot,Ed}}$  der Bemessungswert der gesamten Längsspannungen infolge aller gleichzeitig wirkenden Beanspruchungen, siehe (3)(5);

$\tau_{\text{tot,Ed}}$  der Bemessungswert der gesamten Schubspannungen infolge aller gleichzeitig auftretenden Beanspruchungen, berechnet auf Grundlage des Bruttoquerschnitts, siehe (5).

$f_{\text{bv}}$  die Schubfestigkeit unter Berücksichtigung des Schubbeulens, siehe 8.1.5;

(5) Die Bemessungswerte der gesamten Längsspannungen  $\sigma_{\text{tot,Ed}}$  und der gesamten Schubspannungen  $\tau_{\text{tot,Ed}}$  sollten wie folgt bestimmt werden:

$$\sigma_{\text{tot,Ed}} = \sigma_{\text{N,Ed}} + \sigma_{\text{My,Ed}} + \sigma_{\text{Mz,Ed}} + \sigma_{\text{w,Ed}} \quad (8.61)$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} = \tau_{\text{Vy,Ed}} + \tau_{\text{Vz,Ed}} + \tau_{\text{t,Ed}} + \tau_{\text{w,Ed}} \quad (8.62)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{My,Ed}}$  der Bemessungswert der Längsspannung infolge des Biegemoments  $M_{\text{y,Ed}}$  und des zusätzlichen Biegemoments  $\Delta M_{\text{y,Ed}}$  infolge der Normalkraft und der Verschiebung des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts, siehe 8.1.8 (bestimmt am wirksamen Querschnitt);

$\sigma_{\text{Mz,Ed}}$  der Bemessungswert der Längsspannung infolge des Biegemoments  $M_{\text{z,Ed}}$  und des zusätzlichen Biegemoments  $\Delta M_{\text{z,Ed}}$  infolge der Normalkräfte und der Verschiebung des Schwerpunkts des wirksamen Querschnitts, siehe 8.1.8 (bestimmt am wirksamen Querschnitt);

$\sigma_{\text{N,Ed}}$  der Bemessungswert der Längsspannung infolge der Normalkraft  $N_{\text{Ed}}$  (bestimmt am wirksamen Querschnitt);

$\sigma_{\text{w,Ed}}$  der Bemessungswert der Längsspannung infolge Wölbkrafttorsion (bestimmt am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{\text{Vy,Ed}}$  der Bemessungswert der Schubspannung infolge Querkraft  $V_{\text{y,Ed}}$  (bestimmt am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{\text{Vz,Ed}}$  der Bemessungswert der Schubspannung infolge Querkraft  $V_{\text{z,Ed}}$  (bestimmt am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{\text{t,Ed}}$  der Bemessungswert der Schubspannung infolge primärer (St. Venant'scher) Torsion (bestimmt am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{\text{w,Ed}}$  der Bemessungswert der Schubspannung infolge Wölbkrafttorsion (bestimmt am Bruttoquerschnitt).

### 8.1.11 Beanspruchung aus Biegemoment und örtlicher Querbelastung oder Auflagerreaktion

(1) Querschnitte mit gleichzeitiger Beanspruchung durch ein Biegemoment  $M_{Ed}$  und eine örtliche Querbelastung oder Auflagerreaktion  $F_{Ed}$  sollten die Nachweise nach Gleichung (8.63) bis Gleichung (8.65) erfüllen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.63)$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad (8.64)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_0} + \frac{F_{Ed}}{R_0} \leq 1 \quad (8.65)$$

mit

$$M_0 = 1,25 M_{c,Rd} \quad (8.66)$$

$$R_0 = 1,25 R_{w,Rd} \quad (8.67)$$

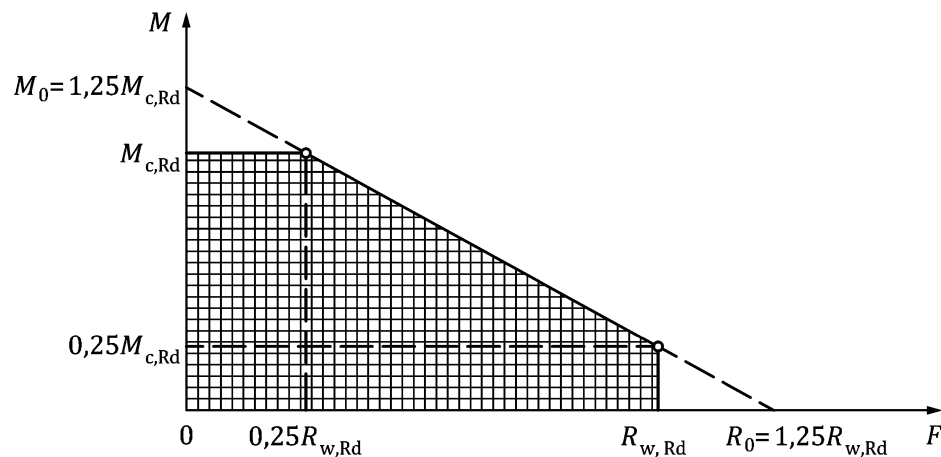
Dabei ist

$M_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, siehe 8.1.4.1(1);

$R_{w,Rd}$  der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stegs mit Querbelastungen, siehe 8.1.6.

ANMERKUNG Gleichung (8.63) bis Gleichung (8.67) sind in Bild 8.11 grafisch dargestellt.

(2) Bei Bauteilen und Profiltafeln mit mehr als einem Steg ist  $R_{w,Rd}$  die Summe der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten der Einzelstege unter Querbelastungen.



**Bild 8.11 — Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Beanspruchung aus Biegemoment und lokaler Querbelastung oder Auflagerreaktion**

## 8.2 Stabilitätsnachweise für Bauteile

### 8.2.1 Allgemeines

(1) Bei Bauteilen, deren Querschnitte zu Profilverformungen neigen, sollte ein mögliches seitliches Ausknicken der Druckgurte und die Querbiegung der Gurte im Allgemeinen berücksichtigt werden.

(2) Die Auswirkungen des Plattenbeulens und der Forminstabilität sollten nach 7.6 berücksichtigt werden.

### 8.2.2 Biegeknicken von Bauteilen und Profiltafeln unter Druckbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken  $N_{b,Rd}$  sollte nach EN 1993-1-1 mit der passenden Knicklinie nach Tabelle 8.7 unter Berücksichtigung der Art des Querschnitts, der Knickachse und der Streckgrenze ermittelt werden, siehe (3).

(2) Die Knicklinie für Querschnitte, die nicht in Tabelle 8.7 enthalten sind, darf analog dazu festgelegt werden.

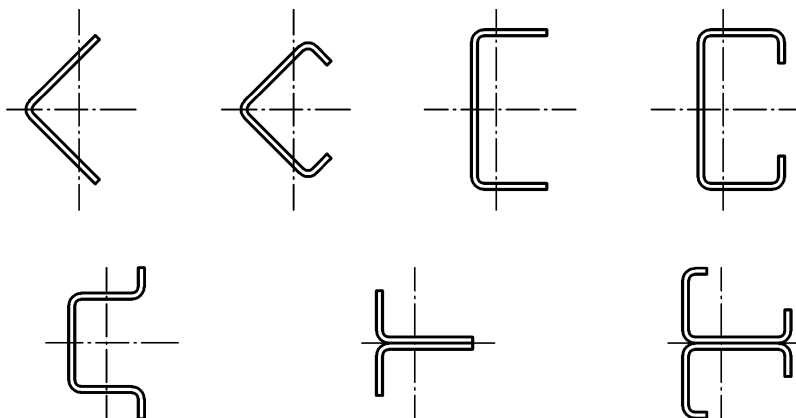
(3) Für einen kaltgeformten Querschnitt sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken auf folgender Grundlage bestimmt werden:

- entweder mit dem bezogenen Schlankheitsgrad für Biegeknicken nach EN 1993-1-1 in Kombination mit der durchschnittlichen Streckgrenze  $f_{ya}$  nach dem Kaltumformen nach 5.2.2, vorausgesetzt, dass  $A_{eff} = A$  gilt, siehe 5.2.2(4);
- oder dem bezogenen Schlankheitsgrad für Biegeknicken nach EN 1993-1-1 in Kombination mit der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  in allen anderen Fällen, siehe 5.2.2(1).

### 8.2.3 Drillknicken und Biegedrillknicken von Bauteilen unter Druckbeanspruchung

(1) Bei Bauteilen mit doppelt symmetrischen oder punktsymmetrischen Querschnitten (z. B. Z-Profile mit gleich großen Gurten) sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass die Beanspruchbarkeit des Bauteils auf Drillknicken (en: torsional buckling) geringer sein könnte als auf Biegeknicken (en: flexural buckling).

(2) Bei Bauteilen mit einfach symmetrischem Querschnitt (siehe Bild 8.12) sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass die Beanspruchbarkeit des Bauteils auf Biegedrillknicken (en: torsional-flexural buckling) geringer sein könnte als für Biegeknicken (en: flexural buckling).

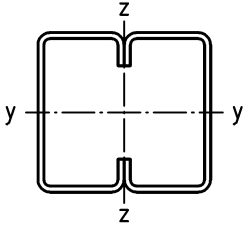
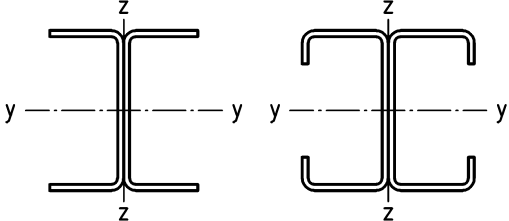
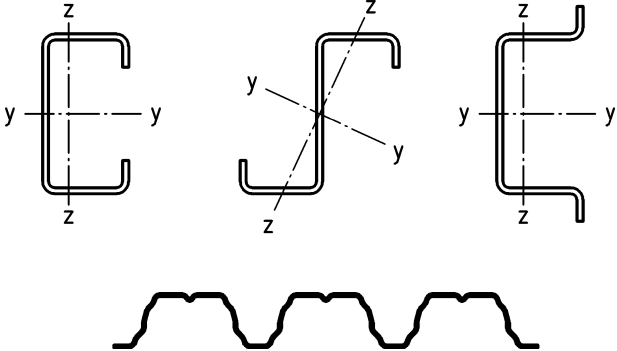
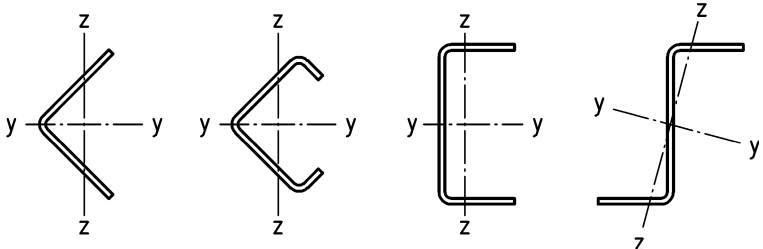


**Bild 8.12 — Einfach symmetrische Querschnitte mit Biegedrillknickgefährdung unter Druckbeanspruchung**

(3) Bauteile mit einem asymmetrischen Querschnitt sollten auf Biegedrillknicken (en: torsional-flexural buckling) bemessen werden.

(4) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $N_{b,Rd}$  auf Drillknicken oder Biegedrillknicken darf nach EN 1993-1-1:2022, 8.3.1.1, mit der maßgebenden Knicklinie für Knicken um die z-z-Achse nach Tabelle 8.7 ermittelt werden.

Tabelle 8.7 — Geeignete Knicklinien für unterschiedliche Querschnitte

Art des Querschnitts	Knicken um die Achse	Knicklinie
	<p>jede</p> <p>jede</p>	<p>b bei Verwendung von <math>f_{yb}</math></p> <p>c bei Verwendung von <math>f_{ya}</math></p>
	<p>y-y</p> <p>z-z</p>	<p>a</p> <p>b</p>
	<p>jede</p>	<p>b</p>
 <p>oder anderer Querschnitt</p>	<p>jede</p>	<p>c</p>

(5) Die elastische ideale Verzweigungslast  $N_{cr,T}$  für Drillknicken eines Bauteils unter Druckbeanspruchung (en: torsional buckling) darf nach Gleichung (8.68) bestimmt werden:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( GI_T + \frac{\pi^2 EI_w}{l_{cr,T}^2} \right) \quad (8.68)$$

mit

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \quad (8.69)$$

Dabei ist/sind

- $G$  der Schubmodul;
- $I_T$  der Torsionswiderstand des Bruttoquerschnitts;
- $I_w$  der Wölbwiderstand des Bruttoquerschnitts;
- $i_y$  der Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts um die  $y$ - $y$ -Achse;
- $i_z$  der Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts um die  $z$ - $z$ -Achse;
- $l_{cr,T}$  die Knicklänge des Bauteils für Drillknicken;
- $y_0, z_0$  die Koordinaten des Schubmittelpunkts in Bezug zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts.

(6) Bei doppelt oder punktsymmetrischen Querschnitten ( $y_0 = z_0 = 0$ ) darf die elastische ideale Verzweigungslast  $N_{cr}$  nach Gleichung (8.70) bestimmt werden:

$$N_{cr} = N_{cr,i} \quad (8.70)$$

Dabei ist

$N_{cr,i}$  der Mindestwert von  $N_{cr,y}$ ,  $N_{cr,z}$  und  $N_{cr,T}$ .

(7) Bei Querschnitten mit Symmetrie um die  $y$ - $y$ -Achse ( $z_0 = 0$ ) darf die elastische ideale Verzweigungslast  $N_{cr,TF}$  für Biegedrillknicken (en: torsional-flexural buckling) nach Gleichung (8.71) bestimmt werden:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left( 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left( \frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right) \quad (8.71)$$

mit

$$\beta = 1 - \left( \frac{y_0}{i_0} \right)^2 \quad (8.72)$$

Dabei ist/sind

- $N_{cr,y}$  die elastische ideale Verzweigungslast für Biegeknicken um die  $y$ - $y$ -Achse;
- $N_{cr,T}$  die elastische ideale Verzweigungslast für Drillknicken, siehe (5);
- $y_0, i_0$  in (5) festgelegt.

ANMERKUNG: Elastisch-kritische Verzweigungslasten für Stahlprofile können auch unter Verwendung von CEN/TR 1993-1-103 bestimmt werden.

(8) Die kritische Knicklänge  $l_{cr,T}$  für Drillknicken oder Biegedrillknicken von Bauteilen unter Normalkraft sollte unter Berücksichtigung der vorhandenen Torsions- und Wölbbehinderungen an jedem Ende der Länge  $L_T$  bestimmt werden.

(9) Der Wert  $l_{cr,T}/L_T$  darf wie folgt angesetzt werden:

- 1,0 bei Anschlüssen mit teilweiser Torsions- und Wölbbehinderung, siehe Tabelle 8.8;
- 0,7 bei Anschlüssen mit erheblicher Torsions- und Wölbbehinderung, siehe Tabelle 8.8.

**Tabelle 8.8 — Torsions- und Wölbbehinderungen durch Anschlüsse**

<b>(a) Anschlüsse mit teilweiser Torsions- und Wölbteilbehinderung</b>
<b>(b) Anschlüsse mit erheblicher Torsions- und Wölbbehinderung</b>
<p>Hohlprofile oder Profile mit Schraubenverbindung an zwei Stegen je Bauteil:</p>
<p><b>Legende</b></p> <p>1 maßgebende Stütze</p> <p>2 Steg des angeschlossenen Bauteils</p>

### 8.2.4 Biegedrillknicken von Bauteilen unter Biegebeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Biegedrillknicken von Bauteilen unter Biegebeanspruchung (en: lateral-torsional buckling) sollte nach EN 1993-1-1:2022, 8.3.2, mit Verwendung der Knicklinie  $b$  bestimmt werden.

(2) Dieses Verfahren sollte nicht bei Querschnitten angewendet werden, bei denen die Hauptachsen des wirksamen Querschnitts im Vergleich zu den Hauptachsen des Bruttoquerschnitts signifikant verdreht sind.

### 8.2.5 Beanspruchung aus Biegung und zentrischer Druckkraft

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Beanspruchung durch eine Normalkraft und ein Biegemoment darf mit einer Bauteilberechnung nach Theorie II. Ordnung nach EN 1993-1-1 auf Grundlage des wirksamen Querschnitts nach 7.6 ermittelt werden. Siehe auch 7.2.

(2) Als Alternative zu (1) sollten die Nachweise nach Gleichung (8.73) und Gleichung (8.74) in jedem Querschnitt entlang des Bauteils erfüllt sein:

Bei Knicken um die starke Hauptachse:

$$\left( \omega_{x,y} \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{c,Rd}} \right)^{\alpha_y} + \left( \omega_{x,LT} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{cy,Rd}} \right)^{\beta_y} + \left( \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \right)^{\delta_y} \leq 1 \quad (8.73)$$

Bei Knicken um die schwache Hauptachse:

$$\left( \omega_{x,z} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{c,Rd}} \right)^{\alpha_z} + \left( \omega_{x,LT} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{cy,Rd}} \right)^{\beta_z} + \left( \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \right)^{\delta_z} \leq 1 \quad (8.74)$$

Dabei ist/sind

$N_{Ed}$	der Bemessungswert der Druckkraft;
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$	die Bemessungswerte der Biegemomente um die $y$ - $y$ -Achse und die $z$ - $z$ -Achse entlang der Bauteile oder, konservativ angesetzt, die maximalen Bemessungswerte der beiden Biegemomente (siehe Anmerkung 1); <ul style="list-style-type: none"> <li>— bei Bauteilen mit beidseitig gelenkiger Lagerung und bei Bauteilen, die Teil eines unverschieblichen Tragwerks sind, so dass Stabilitätsversagen eines verschieblichen Tragwerks ausgeschlossen werden kann, ist <math>M_{Ed}</math> das Biegemoment nach Theorie I. Ordnung;</li> <li>— bei Bauteilen, die Teil eines verschieblichen Tragwerks sind, so dass das Stabilitätsversagen des verschieblichen Tragwerks zu berücksichtigen ist, ist <math>M_{Ed}</math> das Biegemoment nach Theorie II. Ordnung;</li> </ul>
$\Delta M_{y,Ed}$ und $\Delta M_{z,Ed}$	die Bemessungswerte der zusätzlichen Biegemomente $\Delta M_{y,Ed}$ und $\Delta M_{z,Ed}$ infolge der Verschiebungen der Schwerachsen des wirksamen Querschnitts, wenn $A_{eff} < A$ , siehe 8.1.8(2) (bei Bauteilen mit eingespannten Enden gilt: $\Delta M_{Ed} = 0$ );
$\chi_y, \chi_z$	die Abminderungsfaktoren für Biegeknicken nach 8.2.2. Im Fall von Biegedrillknicken unter Normalkraft (en: torsional-flexural buckling) sollte der maßgebende Abminderungsfaktor für das Biegeknicken $\chi_y$ oder $\chi_z$ durch $\chi_{TF}$ nach 8.2.3 ersetzt werden;
$\chi_{LT}$	der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken unter Biegebeanspruchung (en: lateral-torsional buckling) nach 8.2.4;
$N_{c,Rd}$	der Bemessungswert der Normalkraftbeanspruchbarkeit des Querschnitts nach 8.1.3;
$M_{cy,Rd}, M_{cz,Rd}$	der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeiten des Querschnitts um die $y$ - $y$ -Achse bzw. die $z$ - $z$ -Achse nach 8.1.4;

$\alpha_y, \alpha_z, \beta_y, \beta_z, \delta_y, \delta_z$  Exponenten in den Interaktionsgleichungen, bestimmt nach Tabelle 8.9;

$\omega_{x,y}, \omega_{x,z}, \omega_{x,LT}$  die Interpolationsfaktoren nach Tabelle 8.10. Sie sind abhängig von der Lage des zu bemessenden Querschnitts und berücksichtigen den maßgebenden Stabilitätsfall sowie die Normalkraft oder das Biegemoment.

ANMERKUNG 1 Gleichung (8.73) und Gleichung (8.74) werden auf einen einzelnen Stabilitätsnachweis für das Bauteil reduziert, wenn, konservativ angesetzt, die maximalen Bemessungswerte der Druckkraft  $N_{Ed}$  und die maximalen Bemessungswerte der Biegemomente  $M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$  in Kombination mit den konservativen Interpolationsfaktoren  $\omega_{x,i} = 1,0$  nach Tabelle 8.10 verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Interaktionsgleichung (8.73) und Interaktionsgleichung (8.74) können auch für warmgewalzte und geschweißte Bauteile verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Für kaltgeformte, I-förmige Bauteile (z. B. zwei C-Profile in der Ausführung Rücken-an-Rücken) kann die Interaktionsgleichung nach EN 1993-1-1 verwendet werden.

(3) Bei asymmetrischen Profilen sollten sowohl die Zugseite als auch die Druckseite des biegebeanspruchten Querschnitts unter Ansatz von geeigneten Bemessungswerten der Beanspruchbarkeiten geprüft werden. Ist die Beanspruchbarkeit auf der Zugseite kleiner als die Beanspruchbarkeit auf der Druckseite, sollte auch der Nachweis nach Gleichung (8.75), abhängig von der maßgebenden Biegeachse, erfüllt werden:

$$\left( \omega_{x,i} \frac{N_{Ed}}{\chi_i N_{c,Rd}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \right)^{\alpha_i} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} \right)^{\beta_i} + \left( \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \right)^{\delta_i} \leq 1 \quad (8.75)$$

Dabei ist

$$M_{cy,Rd} = M_{cy,Rd,ten}, \text{ siehe 8.1.7;} \quad (8.76)$$

$$M_{cz,Rd} = M_{cz,Rd,ten}, \text{ siehe 8.1.7;} \quad (8.77)$$

$i = y$  oder  $z$ , abhängig von der maßgebenden Biegeachse.

(4) Im Fall von verschieblichen Tragwerken und entsprechendem Stabilitätsversagen des Tragwerks sollten bei der Anwendung des Verfahrens EM zur Tragwerksberechnung (siehe Tabelle 7.1) die Interpolationsfaktoren  $\omega_{x,i}$  gleich 1,0 angenommen werden, es sei denn, die elastische Knickbiegelineie bzw. Eigenform des verschieblichen Tragwerks wird ermittelt und der Abstand  $x_s$  vom bemessungsrelevanten Querschnitt bis zum gelenkigen Auflagerpunkt oder einem Momentennullpunkt kann bestimmt werden, siehe Bild 8.13.

(5) Die  $y$ - $y$ - und die  $z$ - $z$ -Achse sind Hauptachsen. Im Fall von Biegedrillknicken infolge einer Biegebeanspruchung um die schwache Hauptachse sollten die Nachweise der Gleichung (8.73) und Gleichung (8.74) auch mit vertauschten Achsen  $y$ - $y$  und  $z$ - $z$  geführt werden.

**Tabelle 8.9 — Exponenten zur Verwendung in Interaktionsgleichung (8.73) und Interaktionsgleichung (8.74)**

Exponenten	Allgemeine Festlegungen (NDP)	Konservativ
$\alpha_y^a$	$\chi_y/\omega_{x,y}$ aber $\alpha_y, \beta_y, \gamma_y \geq 0,85$	0,85
$\beta_y^a$		
$\delta_y^a$		
$\alpha_z^a$	$\chi_z/\omega_{x,z}$ aber $\alpha_z, \beta_z, \gamma_z \geq 0,85$	0,85
$\beta_z^a$		
$\delta_z^a$		

<sup>a</sup> Im Fall von Biegedrillknicken von Bauteilen unter Normalkraft (en: torsional-flexural buckling) sollte der entsprechende Abminderungsfaktor für das Biegeknicken  $\chi_y$  oder  $\chi_z$  durch  $\chi_{TF}$  ersetzt werden.

ANMERKUNG Die allgemeinen Festlegungen für die Exponenten kaltgeformter Profile sind in der zweiten Spalte der Tabelle 8.9 angegeben, sofern nicht im Nationalen Anhang abweichende Werte festgelegt sind.

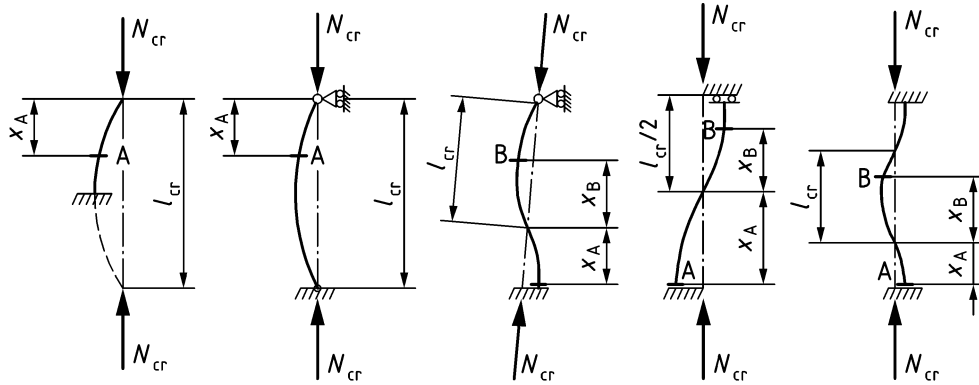
**Tabelle 8.10 — Interpolationsfaktoren  $\omega_{x,y}$ ,  $\omega_{x,z}$  und  $\omega_{x,LT}$**

Faktor	Für einen spezifischen Querschnitt entlang eines gleichförmigen Bauteils und für besondere Lastfälle	Konservativ für alle Querschnittslagen und Lastfälle
$\omega_{x,y}$	Konstante oder äquivalente Normalkraft $N^{a,b,c}$	1,0
$\omega_{x,z}$		
$\omega_{x,LT}$	Konstantes oder äquivalentes Biegemoment $M_y^{b,c}$	

Dabei ist/sind  
 $l_{cr,y}, l_{cr,z}, l_{cr,LT}$  die Knicklängen für den maßgebenden Stabilitätsfall;  
 $x_s$  ( $= x_A$  oder  $x_B$ ) der Abstand zwischen dem betrachteten Querschnitt und einem gelenkig gelagerten Auflagerpunkt oder dem Momentennullpunkt der maßgebenden Stabilitätsform, bestimmt auf Grundlage einer sinusförmigen Stabilitätsform, siehe Beispiele in Bild 8.13.  
Bei einachsiger Biegung mit Endmomenten ohne Querbelastungen ( $|M_{Ed,2}| < M_{Ed,1}$ , wobei in dieser Bedingung stets ein positives Vorzeichen für den Wert von  $M_{Ed,1}$  angenommen wird), darf der Abstand  $x_s$  zum Bemessungsprofil wie folgt ermittelt werden:

$$\cos\left(\frac{\pi x_s}{l_{cr}}\right) = \frac{(M_{Ed,1} - M_{Ed,2})}{M_{c,Rd}} \cdot \frac{N_{c,Rd}}{N_{Ed}} \cdot \frac{1}{\pi \left(\frac{1}{\chi} - 1\right)} \text{ aber } x_s \geq 0$$

<sup>a</sup> Im Fall von Biegedrillknicken von Bauteilen unter Normalkraft (en: torsional-flexural buckling) sollte der entsprechende Abminderungsfaktor für das Biegeknicken  $\chi_y$  oder  $\chi_z$  durch  $\chi_{TF}$  ersetzt werden.  
<sup>b</sup> Im Fall einer axialen Normalkraft  $N$  oder eines Biegemoments  $M_y$ , das nicht konstant entlang der Bauteillänge ist, sollten die Interpolationsfaktoren  $\omega_{x,y}$ ,  $\omega_{x,z}$  or  $\omega_{x,LT}$  konservativ mit 1,0 in der Nähe der Stelle der maximalen zentrischen Normalkraft  $N$  oder des Biegemoments  $M_y$  angesetzt werden, oder alternativ mit 1,0 an der Stelle der maximalen Spannungen, die durch geeignete Berechnungen unter Ansatz von Bauteilimperektionen bestimmt werden.  
<sup>c</sup> In diesem Fall bedeutet "äquivalent": ein Normalkraft- oder Biegemomentenverlauf, für den sich näherungsweise eine sinusförmige Stabilitätsform ergibt (z. B. ein parabelförmiger Biegemomentenverlauf).



ANMERKUNG In diesen Beispielen sind die Querschnitte A und B (durch Querlinien gekennzeichnet) maßgeblich für die Bemessung.

**Bild 8.13 — Knicklänge  $l_{cr}$  und Definition von  $x_s$  ( $= x_A$  oder  $x_B$ )**

### 8.2.6 Beanspruchung aus Biegung und zentrischer Zugkraft

(1) Die Gleichungen für Bauteile unter gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung und zentrischer Druckkraft nach 8.2.5 sind anwendbar, wenn  $N_{c,Rd}$  durch  $N_{t,Rd}$  nach 8.1.2 ersetzt und  $\chi_y = \chi_z = \chi_{TF} = 1,0$  angesetzt wird.

## 9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

### 9.1 Allgemeines

(1) Die Regelungen zu den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit nach EN 1993-1-1 gelten auch für kaltgeformte Stahlbauteile und Profiltafeln.

(2) Die Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts unter Gebrauchslasten, die nach einer elastischen Tragwerksberechnung nach 7.6 ermittelt wurden, sollten bei allen Berechnungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von kaltgeformten Stahlbauteilen und Profiltafeln verwendet werden. Bei einer globalen plastischen Tragwerksberechnung, siehe 9.2.

(3) Als Alternative zur expliziten Berechnung von  $I_{eff}$  entlang des Bauteils nach (2), darf ein Trägheitsmoment  $I_{eff, fic}$  entlang des Bauteils verwendet werden, das durch Interpolation zwischen den Querschnittswerten des Bruttoquerschnitts und denen des wirksamen Querschnitts nach Gleichung (9.1) ermittelt wird:

$$I_{eff, fic} = I - \frac{\sigma_{gr, ser}}{\sigma_{com, Ed, ser}} (I - I_{eff}(\sigma_{com, Ed, ser})) \quad (9.1)$$

Dabei ist

- $I$  das Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts;
- $\sigma_{gr, ser}$  die maximale Biegedruckspannung im betrachteten Querschnitt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, basierend auf den Bruttoquerschnittswerten (mit positivem Vorzeichen in Gleichung (9.1));
- $\sigma_{com, Ed, ser}$  die entlang der Bauteillänge maximal auftretende Biegedruckspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, basierend auf den Querschnittswerten des wirksamen Querschnitts (mit positivem Vorzeichen in Gleichung (9.1));
- $I_{eff}(\sigma_{com, Ed, ser})$  das Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts, berechnet auf Grundlage von  $\bar{\lambda}_{p, red}$  [siehe 7.6.2(5)] für eine maximale Spannung  $\sigma_{com, Ed, ser} = \sigma_{eff, ser} \geq \sigma_{gr, ser}$  und mit  $\sigma_{eff, ser} \leq f_{yb}$ .

(4) Das wirksame Trägheitsmoment  $I_{\text{eff}}$  nach (2) oder  $I_{\text{eff, fic}}$  nach (3) darf als veränderlich entlang des Bauteils angesetzt werden. Es darf konservativ davon ausgegangen werden, dass das wirksame Trägheitsmoment  $I_{\text{eff}}$  oder  $I_{\text{eff, fic}}$  entlang der Bauteillänge konstant ist und dem Wert entspricht, der für das maximale Feldmoment (als Absolutwert) unter Gebrauchslasten bestimmt wurde.

## 9.2 Plastische Verformungen

(1) Bei einer plastischen Tragwerksberechnung und gleichzeitiger Beanspruchung infolge eines Stützmoments  $M_{\text{Ed}}$  und einer Auflagerreaktion  $F_{\text{Ed}}$  an einem Zwischenaufleger, beide bestimmt unter der charakteristischen Kombination der Einwirkungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, sollten die Nachweise in Gleichung (9.2), Gleichung (9.3) und Gleichung (9.4) erfüllt sein:

$$\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{c, Cd}}} \leq 0,9 \quad (9.2)$$

$$\frac{F_{\text{Ed}}}{R_{\text{w, Cd}}} \leq 0,9 \quad (9.3)$$

$$\frac{M_{\text{Ed}}}{M_0} + \frac{F_{\text{Ed}}}{R_0} \leq 0,9 \quad (9.4)$$

Dabei ist:

$$M_0 = 1,25 M_{\text{c, Cd}} \quad (9.5)$$

$$R_0 = 1,25 R_{\text{w, Cd}} \quad (9.6)$$

mit

$M_{\text{c, Cd}}$  der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit des Querschnitts, basierend auf der charakteristischen Biegemomentenbeanspruchbarkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit, siehe 8.1.4.1(1), jedoch unter Verwendung von  $\gamma_{\text{M, ser}}$ , siehe 4.2(4);

$R_{\text{w, Cd}}$  der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Steges bei Querbelastung, basierend auf der charakteristischen Beanspruchbarkeit bei Querbelastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, siehe 8.1.6, jedoch unter Verwendung von  $\gamma_{\text{M, ser}}$ , siehe 4.2(4).

(2) Der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit  $M_{\text{c, Cd}}$  darf auch unter Verwendung des wirksamen Querschnitts im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit auf der Grundlage von  $\sigma_{\text{com, Ed}}$  für die charakteristische Beanspruchungskombination berechnet werden, siehe 9.1(2) und 7.6.

## 9.3 Durchbiegungen

(1) Die Durchbiegungen dürfen nach der Elastizitätstheorie berechnet werden.

(2) Der Einfluss von Schlupf in den Verbindungen (zum Beispiel bei Durchlaufträgern mit Kopplung und Überlappungen) sollte bei der Berechnung von Durchbiegungen und Schnittgrößen berücksichtigt werden.

## 9.4 Begehbarkeit von Trapezprofilen

### 9.4.1 Begehbarkeit während der Montage

(1) Während der Montage, d. h. wenn die Profiltafeln noch nicht vollständig oder dauerhaft befestigt sind, dürfen die Profiltafeln nur für notwendige Tätigkeiten betreten werden, z. B. in Zusammenhang mit dem Einbau des Daches.

(2) Sofern nicht anders festgelegt, gibt EN 1090-4 praktische Hinweise dazu, wie die Begehbarkeit durch Maßnahmen zur Lastverteilung sicherzustellen ist.

(3) Falls die Spannweite der Profiltafeln den in Versuchen nach A.5.6 bestimmten Grenzwert  $L_{lim}$  nicht überschreitet, darf auf Maßnahmen zur Lastverteilung verzichtet werden werden.

### 9.4.2 Begehbarkeit nach der Montage

(1) Nach der Montage dürfen die Profiltafeln nur von einzelnen Personen zur Instandhaltung und Reinigung betreten werden.

(2) Sofern nicht anders festgelegt, dürfen Profiltafeln nur betreten werden, wenn Maßnahmen zur Lastverteilung getroffen wurden, siehe EN 1090-4.

(3) Falls die Spannweite der Profiltafeln den in Versuchen nach A.5.6 bestimmten Grenzwert  $L_{lim}$  nicht überschreitet, darf auf Maßnahmen zur Lastverteilung verzichtet werden werden.

ANMERKUNG Dies entspricht einer Nutzlast  $Q_k = 1$  kN nach EN 1991-1-1, Kategorie H.

(4) Bei Profiltafeln, die über den Auflagern durchlaufen, dürfen Maßnahmen zur Lastverteilung entfallen, wenn die Spannweite der Profiltafeln um höchstens 25 % größer ist als die in Einzelfeldversuchen bestimmten Grenzwerte.

(5) Es ist ratsam, Laufstege für den Zugang zu Bereichen, die regelmäßige Instandhaltung erfordern, oder für den Zugang zu Betriebselementen (z. B. Schornsteinen, Heizanlagen und Photovoltaikerelementen) zu installieren.

## 10 Bemessung von Anschlüssen

### 10.1 Allgemeines

(1) Die Annahmen für die Bemessung und allgemeine Regeln für Anschlüsse sind in EN 1993-1-8 angegeben.

(2) Für Schweißverbindungen gilt EN 1993-1-8, mit Ausnahme von Punktschweißungen und Überlappungsstößen bei Kerndicken  $t_{cor} \leq 4$  mm.

### 10.2 Stöße und Endanschlüsse von Bauteilen unter Druckbeanspruchung

(1) Stöße und Endanschlüsse druckbeanspruchter Bauteile sollten entweder mindestens den gleichen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit wie die Bauteilquerschnitte aufweisen oder für ein zusätzliches Biegemoment nach Theorie II. Ordnung im Bauteil, zusätzlich zu der Normalkraft  $N_{Ed}$  und den Biegemomenten  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  aus der globalen Tragwerksberechnung, bemessen werden.

(2) Sofern für das Bauteil keine Berechnung nach Theorie II. Ordnung durchgeführt wird, sollte der Bemessungswert des Biegemoments nach Theorie II. Ordnung nach Gleichung (10.1) angesetzt werden:

$$M_{II,i,Ed} = M_{i,Rd} \left( U_i(x_s) - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^{\alpha_i} \right)^{1/\delta_i} \quad (10.1)$$

Dabei ist

$i$   $y$  oder  $z$ , abhängig von der Biegeachse;

$U_i(x_s)$  der Ausnutzungsgrad des Stoßes oder Endanschlusses entsprechend der Bauteilnachweise nach 8.2.5;

mit

$$U_i(x_s) = \left( \omega_{x,i} \frac{N_{Ed}}{\chi_i N_{c,Rd}} \right)^{\alpha_i} + \left( \frac{M_{i,Ed}}{M_{i,Rd}} \right)^{\delta_i} \leq 1 \quad (10.2)$$

Die in Gleichung (10.2) verwendeten Parameter sind in 8.2.5(2) festgelegt.

Gleichung (10.1) darf auch zur Berechnung von Querkräften verwendet werden, dazu ist  $V$  anstelle von  $M$  anzusetzen.

(3) Stöße und Endanschlüsse sollten so ausgeführt werden, dass die Last in die wirksamen Teilflächen des Querschnitts eingeleitet werden kann.

(4) Wenn die konstruktive Durchbildung am Bauteilende so ist, dass die Wirkungslinie der inneren Normalkraft nicht eindeutig bestimmt werden kann, sollte eine angemessene Exzentrizität angenommen werden, und die daraus resultierenden Biegemomente sollten bei der Bemessung des Bauteils, der Stöße und der Endanschlüsse berücksichtigt werden.

### 10.3 Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen

(1) Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen sollten kompakt gestaltet sein. Bei der Positionierung der Verbindungselemente sollte auf ausreichend Platz für Montage und Wartung geachtet werden.

ANMERKUNG EN 1993-1-8 enthält detaillierte Informationen zu diesen Anforderungen.

(2) Die Querkräfte in den einzelnen mechanischen Verbindungselementen einer Verbindung dürfen als gleichmäßig verteilt angenommen werden, wenn:

- die Befestigungen über ausreichende Duktilität verfügen (siehe Bedingungen nach Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.5);
- Abscheren der Verbindungselemente nicht die kritische Versagensform ist.

(3) Bei der rechnerischen Bemessung sollten die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Befestigungen unter überwiegend statischen Belastungen bestimmt werden anhand von:

- Tabelle 10.2 für Blindniete;
- Tabelle 10.3 für Gewindeformschrauben;
- Tabelle 10.4 für Setzbolzen;
- Tabelle 10.5 für Schrauben.

Bei der versuchsgestützten Ermittlung des Bemessungswerts der Beanspruchbarkeit von mechanischen Verbindungselemente gelten Abschnitt 12 und Anhang A.

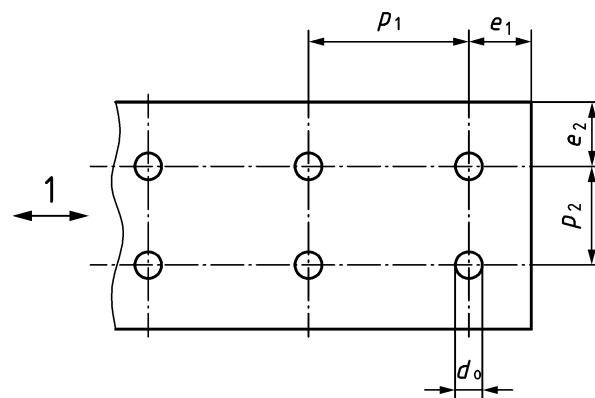
ANMERKUNG Weitere Informationen zur Beanspruchbarkeit von Befestigungen können im Nationalen Anhang enthalten sein, wie in Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.5 festgelegt.

(4) In Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.5 haben die Formelzeichen folgende Bedeutungen:

$A_s$	Spannungsquerschnitt eines Verbindungselements;
$A_{\text{net}}$	Nettoquerschnittsfläche des angeschlossenen Bauteils;
$A_{\text{net,I}}$	Nettoquerschnittsfläche des Bauteils I direkt unterhalb des Kopfes des Verbindungselements (bei Blindnieten der Setzkopf);
$A_{\text{net,II}}$	Nettoquerschnittsfläche des Bauteils II (üblicherweise die Unterkonstruktion);
$\beta_{\text{Lf}}$	Abminderungsfaktor für lange Verbindungen nach EN 1993-1-8;
$d$	Nenndurchmesser des Verbindungselements;
$d_o$	Nenndurchmesser des Lochs für ein Verbindungselement;
$d_w$	Durchmesser der Unterlegscheibe oder des Kopfes des Verbindungselements;
$e_1$	Randabstand in Krafrichtung, gemessen vom Mittelpunkt des Verbindungselementes bis zum angrenzenden Rand des angeschlossenen Bauteils, siehe Bild 10.1;
$e_2$	Randabstand senkrecht zur Krafrichtung, gemessen vom Mittelpunkt des Verbindungselementes bis zum angrenzenden Rand des angeschlossenen Bauteils, siehe Bild 10.1;
$f_{\text{ub}}$	Zugfestigkeit des Werkstoffs des Verbindungselements;
$f_{\text{u,I}}$	bei Befestigungen mit Nieten, Gewindeformschrauben, Setzbolzen oder Schrauben mit Muttern: die Zugfestigkeit des Bauteils I direkt unterhalb des Kopfes des Verbindungselements (bei Blindnieten der Setzkopf);
$f_{\text{u,II}}$	bei Befestigungen mit Nieten, Gewindeformschrauben, Setzbolzen oder Schrauben mit Muttern: die Zugfestigkeit des Bauteils II (üblicherweise die Unterkonstruktion);
$f_u$	bei Verbindungen mit Schrauben oder Schweißnähten: die Zugfestigkeit des stützenden Bauteils, in dem eine Schraube befestigt wird oder auf dem eine Schweißnaht aufgebracht wird;
$n_s$	Anzahl der Bleche, die mit derselben Schraube oder demselben Bolzen an dem stützenden Bauteil befestigt sind;
$n_f$	Anzahl der mechanischen Verbindungselemente in einer Verbindung;
$p_1$	Achsabstand der Verbindungselemente in Krafrichtung, siehe Bild 10.1;
$p_2$	Achsabstand der Verbindungselemente senkrecht zur Krafrichtung, siehe Bild 10.1;

- $t_I$  bei Befestigungen mit Nieten, Gewindeformschrauben oder Setzbolzen: die Dicke des Bauteils I direkt unterhalb des Kopfes des Verbindungselements (bei Blindnieten der Setzkopf);
- $t_{II}$  bei Befestigungen mit Nieten, Gewindeformschrauben oder Setzbolzen: die Dicke des Bauteils II (üblicherweise die Unterkonstruktion);
- $t$  bei Verbindungen mit Schrauben oder Schweißnähten: die Bemessungsdicke des Stahlwerkstoffs nach dem Kaltumformen, ausgenommen metallische oder organische Beschichtungen;
- $s$  Gewindesteigung.

(5) Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M1}$  zur Berechnung der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von mechanischen Verbindungselementen sollte mit  $\gamma_{M2}$  angesetzt werden, siehe Abschnitt 4(3).



### Legende

- 1 Richtung der Lastübertragung

### Bild 10.1 — Rand- und Achsabstände von Verbindungselementen und Punktschweißungen

(6) Ist der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit  $F_{o,Rd}$  für Ausreißen eines Verbindungselements kleiner als der für Durchknöpfen  $F_{p,Rd}$ , sollte die Verformbarkeit des Verbindungselements durch Versuche bestimmt werden.

(7) Wenn die Verbindungselemente nicht mittig in den Gurten von Profiltafeln angeordnet sind, sollten die Beanspruchbarkeiten für Durchknöpfen nach Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.4 für Niete, Gewindeformschrauben und Setzbolzen nach Tabelle 10.1 abgemindert werden.

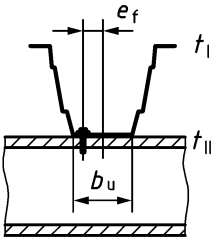
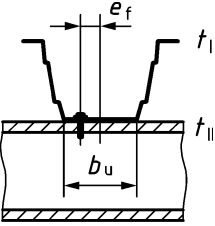
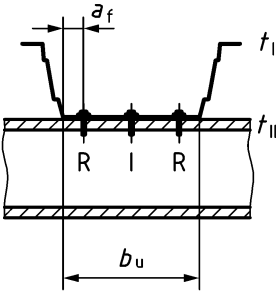
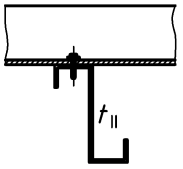
(8) Die Beanspruchbarkeit eines Verbindungselements bei gleichzeitiger Wirkung von Scher- und Zugbeanspruchungen darf mit Gleichung (10.3) nachgewiesen werden:

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1 \quad (10.3)$$

Dabei sind

$F_{p,Rd}$ ,  $F_{o,Rd}$ ,  $F_{b,Rd}$  und  $F_{n,Rd}$  die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit des Verbindungselements, berechnet nach Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.5.

Tabelle 10.1 — Nicht mittig im Gurt einer Profiltafel angebrachte Verbindungselemente

Fall	Anforderung	Abminderungsbeiwert
	$b_u \leq 150 \text{ mm}$	1,0 wenn $e_f \leq b_u/4$ 0,9 wenn $e_f > b_u/4$
	$150 \text{ mm} < b_u \leq 265 \text{ mm}$	0,5 wenn $0 < e_f \leq b_u/4$ 0,7 wenn $b_u/4 < e_f \leq b_u/2$
	Wenn $b_u > 265 \text{ mm}$ , sind mindestens zwei Verbindungselemente erforderlich	Für die Verbindungselemente I und R: I: 0,0 R: 0,7 wenn $a_f \leq 75 \text{ mm}$ R: 0,35 wenn $a_f > 75 \text{ mm}$
	Querschnitte wie Z-, C- oder $\Sigma$ -Profile	Siehe 11.1.6 zur Berechnung von Kräften in Verbindungselementen

(9) Die Auswirkungen der Profilverformung dürfen vernachlässigt werden, wenn der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für die Befestigungen nach Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.5 ermittelt wurde und die Befestigung durch einen Gurt mit einer Breite von höchstens 150 mm erfolgt.

(10) Der Lochdurchmesser von Gewindeformschrauben sollte nach den Herstelleranweisungen ausgeführt werden. Diesen Anweisungen sollten folgende Kriterien zugrunde liegen:

- das Anziehmoment sollte größer sein als das Gewindeformschneidmoment;
- das Anziehmoment sollte kleiner sein als das Gewindeformabschermoment oder das Bruchdrehmoment für den Schraubenkopf;
- das Gewindeformschneidmoment sollte kleiner sein als  $2/3$  des Bruchdrehmomentes des Schraubenkopfes.

(11) Für lange Verbindungen sollte der Abminderungsfaktor  $\beta_{L,f}$  nach EN 1993-1-8:2024, 5.7.3, angesetzt werden.

(12) Die Bemessungsregeln für Blindniete gelten nur, wenn der Lochdurchmesser nicht um mehr als 0,1 mm größer ist als der Nietdurchmesser.

(13) Für Schrauben M12 und M14 mit Lochdurchmessern, die 2 mm größer als der Schraubendurchmesser sind, gilt EN 1993-1-8:2024, 5.7.1(5).

Tabelle 10.2 — Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Blindnieten

<b>Niete mit Scherbeanspruchung:</b>	
<u>Beanspruchbarkeit für Lochleibung:</u>	
$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_r d t_1 f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$	aber $F_{b,Rd} \leq \frac{e_1 t_1 f_{u,I}}{1,2 \gamma_{M2}}$
dabei wird $\alpha_r$ wie folgt vorgegeben:	
wenn $t_1 = t_{II}$ :	$\alpha_r = 3,6\sqrt{t_1/d}$ aber $\alpha_r \leq 2,1$
wenn $t_{II} \geq 2,5 t_1$ :	$\alpha_r = 2,1$
wenn $t_1 < t_{II} < 2,5 t_1$ :	$\alpha_r$ sollte durch lineare Interpolation bestimmt werden.
<u>Zugbeanspruchbarkeit im Nettoquerschnitt:</u>	
$F_{n,Rd} = \min\left(\frac{A_{net,I} f_{u,I}}{\gamma_{M2}}; \frac{A_{net,II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}}\right)$	
<u>Beanspruchbarkeit für Abscheren:</u>	
Die Beanspruchbarkeit für Abscheren $F_{v,Rk}$ oder $F_{v,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen und	$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}}$
<u>Bedingungen:</u> <sup>d</sup>	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \frac{F_{b,Rd}}{n_f \beta_{Lf}}$ oder $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$
<b>Niete mit Zugbeanspruchung:</b> <sup>b</sup>	
<u>Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen:</u>	Die Beanspruchbarkeit $F_{p,Rk}$ oder $F_{p,Rd}$ für Durchknöpfen ist durch Versuche zu bestimmen.
<u>Beanspruchbarkeit für Ausreißen:</u>	Die Beanspruchbarkeit für Ausreißen $F_{o,Rk}$ oder $F_{o,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen.
<u>Zugbeanspruchbarkeit:</u>	Die Zugbeanspruchbarkeit $F_{t,Rk}$ oder $F_{t,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen.
<u>Bedingungen:</u> <sup>d</sup>	$F_{t,Rd} \geq F_{p,Rd}$ oder $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$
<u>Anwendungsbereiche:</u> <sup>c</sup>	
$e_1 \geq 1,5 d$	$p_1 \geq 3 d$ $2,6 \text{ mm} \leq d \leq 6,4 \text{ mm}$
$e_2 \geq 1,5$	$p_2 \geq 3 d$ $f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$
<p>a Es wird davon ausgegangen, dass das dünnste Blech am Setzkopf des Blindnietes anliegt, d. h. <math>t_1 \leq t_{II}</math>. Anderenfalls sollte bei der Bemessung <math>t_1 = t_{II}</math> angenommen werden.</p> <p>b Blindniete werden üblicherweise nicht bei Zugbeanspruchungen eingesetzt.</p> <p>c Blindniete dürfen außerhalb dieses Anwendungsbereichs eingesetzt werden, wenn die Beanspruchbarkeit durch Versuche bestimmt wird.</p> <p>d Die Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn ausreichende Verformungskapazität der Verbindung erforderlich ist. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, sollte nachgewiesen werden, dass die Verformbarkeit durch andere Tragwerksteile sichergestellt wird.</p>	

ANMERKUNG 1 Nach Tabelle 10.2 wird die Beanspruchbarkeit von scherbeanspruchten Blindnieten für Abscheren, die Beanspruchbarkeit von zugbeanspruchten Blindnieten für Durchknöpfen und Ausreißen sowie die Zugbeanspruchbarkeit von Blindnieten durch Versuche bestimmt, wenn nicht weiterführende Informationen im Nationalen Anhang angegeben sind.

Tabelle 10.3 — Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Gewindeformschrauben

<b>Gewindeformschrauben mit Scherbeanspruchung: <sup>a</sup></b>			
<u>Beanspruchbarkeit für Lochleibung:</u>			
$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_{sc} d t_1 f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$			
dabei wird $\alpha_{sc}$ wie folgt vorgegeben:			
— wenn $t_I = t_{II}$ :	$\alpha_{sc} = \alpha_1 = 3,2\sqrt{t_I/d}$	aber	$\alpha_{sc} \leq 1,7$
— wenn $t_{II} \geq 2,5 t_I$ :	$\alpha_{sc} = \alpha_{2,5} = 1,7$		
— wenn $t_I < t_{II} < 2,5 t_I$ :	$\alpha_{sc} = \left( \alpha_1 + \frac{1}{1,5} (\alpha_{2,5} - \alpha_1) \left( \frac{t_{II}}{t_I} - 1 \right) \right) \left( \frac{t_I + t_{II}}{2 t_I} \right)$	aber	$\alpha_{sc} \leq \alpha_{2,5} = 1,7$
<u>Zugbeanspruchbarkeit im Nettoquerschnitt:</u>		$F_{n,Rd} = \min \left( \frac{A_{net,I} f_{u,I}}{\gamma_{M2}}; \frac{A_{net,II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}} \right)$	
<u>Beanspruchbarkeit für Abscheren:</u>	Die Beanspruchbarkeit für Abscheren $F_{v,Rk}$ oder $F_{v,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen	und	$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}}$
<u>Bedingungen: <sup>d</sup></u>	$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$		
<b>Gewindeformschrauben mit Zugbeanspruchung: <sup>a</sup></b>			
<u>Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen: <sup>b</sup></u>			
— für statische Belastung:	$F_{p,Rd} = \frac{d_w t_I f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$		
— für Gewindeformschrauben unter Windlasten oder gleichzeitigem Auftreten von Windlasten und statischen Belastungen:	$F_{p,Rd} = \frac{0,67 d_w t_I f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$		
<u>Beanspruchbarkeit für Ausreißen:</u>			
— wenn $t_{II}/s < 1$ :	$F_{o,Rd} = \frac{0,45 d t_{II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}}$		
— wenn $t_{II}/s \geq 1$ :	$F_{o,Rd} = \frac{0,65 d t_{II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}}$		
<u>Zugbeanspruchbarkeit:</u>	Die Zugbeanspruchbarkeit $F_{t,Rk}$ oder $F_{t,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen.		
<u>Bedingungen: <sup>d</sup></u>	$F_{t,Rd} \geq F_{p,Rd}$ oder $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$		
<b>Anwendungsbereiche: <sup>c</sup></b>			
<u>Allgemein:</u>	$e_1 \geq 3 d$	$p_1 \geq 3 d$	$3,0 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$
	$e_2 \geq 1,5 d$	$p_2 \geq 3 d$	$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$
<u>Bei Zugbeanspruchung:</u>	$0,5 \text{ mm} \leq t_I \leq 1,5 \text{ mm}$	und	$t_{II} \geq 0,9 \text{ mm}$
<sup>a</sup>	Es wird davon ausgegangen, dass das dünnste Blech am Schraubenkopf anliegt, d. h. $t_I \leq t_{II}$ . Anderenfalls sollte bei der Bemessung $t_I = t_{II}$ angenommen werden.		
<sup>b</sup>	Die angegebenen Werte setzen voraus, dass die Unterlegscheibe ausreichende Steifigkeit aufweist, um größere Verformungen und/oder ein Durchknöpfen des Kopfes des Verbindungselements zu verhindern.		
<sup>c</sup>	Gewindeformschrauben dürfen außerhalb dieses Anwendungsbereichs eingesetzt werden, wenn die Beanspruchbarkeit durch Versuche ermittelt wird.		
<sup>d</sup>	Die Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn ausreichende Verformungskapazität der Verbindung erforderlich ist. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, sollte nachgewiesen werden, dass die Verformbarkeit durch andere Tragwerksteile sichergestellt wird.		

ANMERKUNG 2 Nach Tabelle 10.3 wird die Beanspruchbarkeit von scherbeanspruchten Gewindeformschrauben für Abscheren und die Zugbeanspruchbarkeit von Gewindeformschrauben durch Versuche bestimmt, wenn nicht weiterführende Informationen im Nationalen Anhang angegeben sind.

**Tabelle 10.4 — Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Setzbolzen**

<b>Setzbolzen mit Scherbeanspruchung:</b>		
<u>Beanspruchbarkeit für Lochleibung:</u>		
$F_{b,Rd} = \frac{3,2 d t_1 f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$		
<u>Zugbeanspruchbarkeit im Nettoquerschnitt:</u>		
$F_{n,Rd} = \min\left(\frac{A_{net,I} f_{u,I}}{\gamma_{M2}}; \frac{A_{net,II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}}\right)$		
<u>Beanspruchbarkeit für Abscheren:</u>		
Die Beanspruchbarkeit für Abscheren $F_{v,Rk}$ oder $F_{v,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen und $F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}}$		
<u>Bedingungen:</u> <sup>c</sup> $F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{b,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd}$		
<b>Setzbolzen mit Zugbeanspruchung:</b>		
<u>Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen:</u> <sup>a</sup>		
— für statische Belastung:		$F_{p,Rd} = \frac{d_w t_1 f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$
— bei Windlasten oder gleichzeitigem Auftreten von Windlasten und statischen Belastungen:		$F_{p,Rd} = \frac{0,5 d_w t_1 f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$
<u>Beanspruchbarkeit für Ausreißen:</u>		
Die Beanspruchbarkeit für Ausreißen $F_{o,Rk}$ oder $F_{o,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen		
<u>Zugbeanspruchbarkeit:</u>		
Die Zugbeanspruchbarkeit $F_{t,Rk}$ oder $F_{t,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen.		
<u>Bedingungen:</u> <sup>c</sup> $F_{o,Rd} \geq F_{p,Rd}$ oder $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$		
<b>Anwendungsbereiche:</b> <sup>b</sup>		
<u>Allgemein:</u>	$e_1 \geq 4,5 d$	$3,7 \text{ mm} \leq d \leq 6,0 \text{ mm}$
	$e_2 \geq 4,5 d$	für $d = 3,7 \text{ mm}$ : $t_{II} \geq 4,0 \text{ mm}$
	$p_1 \geq 4,5 d$	für $d = 4,5 \text{ mm}$ : $t_{II} \geq 6,0 \text{ mm}$
	$p_2 \geq 4,5 d$	für $d = 5,2 \text{ mm}$ : $t_{II} \geq 8,0 \text{ mm}$
	$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$	
<u>Bei Zugbeanspruchung:</u>	$0,5 \text{ mm} \leq t_1 \leq 1,5 \text{ mm}$	$t_{II} \geq 6,0 \text{ mm}$
<sup>a</sup>	Die angegebenen Werte setzen voraus, dass die Unterlegscheibe ausreichende Steifigkeit aufweist, um größere Verformungen und/oder ein Durchknöpfen des Kopfes des Verbindungselements zu verhindern.	
<sup>b</sup>	Setzbolzen dürfen außerhalb dieser Anwendungsbereiche eingesetzt werden, wenn die Beanspruchbarkeit durch Versuche ermittelt wird.	
<sup>c</sup>	Die Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn ausreichend Verformungskapazität der Verbindung erforderlich ist. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, sollte nachgewiesen werden, dass die Verformungskapazität durch andere Tragwerksteile sichergestellt wird.	

ANMERKUNG 3 Nach Tabelle 10.4 wird die Beanspruchbarkeit von scherbeanspruchten Setzbolzen für Abscheren, die Beanspruchbarkeit von zugbeanspruchten Setzbolzen für Ausreißen und die Zugbeanspruchbarkeit von Setzbolzen durch Versuche bestimmt, wenn nicht weiterführende Informationen im Nationalen Anhang angegeben sind.

**Tabelle 10.5 — Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Schrauben**

<b>Schrauben mit Scherbeanspruchung: <sup>a</sup></b>			
<u>Beanspruchbarkeit für Lochleibung: <sup>b</sup></u>			
$F_{b,Rd} = \min \left( \frac{2,5 \alpha_b k_{tI} d t_1 f_{u,I}}{\gamma_{M2}}; \frac{2,5 \alpha_b k_{tII} d t_{II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}} \right)$			
wobei:			
$\alpha_b$ der kleinere der Werte 1,0 oder $e_1/(3d)$ ist;			
$k_{tI} = (0,8 t_1 + 1,5)/2,5$ für $0,75 \text{ mm} \leq t_1 \leq 1,25 \text{ mm}$ ;			
$k_{tI} = 1,0$ für $t_1 > 1,25 \text{ mm}$			
$k_{tII} = (0,8 t_{II} + 1,5)/2,5$ für $0,75 \text{ mm} \leq t_{II} \leq 1,25 \text{ mm}$ ;			
$k_{tII} = 1,0$ für $t_{II} > 1,25 \text{ mm}$			
<u>Zugbeanspruchbarkeit im Nettoquerschnitt:</u>			
$F_{n,Rd} = \min \left( \frac{A_{net,I} f_{u,I}}{\gamma_{M2}}; \frac{A_{net,II} f_{u,II}}{\gamma_{M2}} \right) \cdot \left( 1 + 3k_{num} \left( \frac{d_0}{u} - 0,3 \right) \right) \quad \text{aber} \quad \left( 1 + 3k_{num} \left( \frac{d_0}{u} - 0,3 \right) \right) \leq 1$			
mit:			
$k_{num} = [\text{Anzahl der Schrauben am Querschnitt}]/[\text{Gesamtanzahl der Schrauben in der Verbindung}]$			
$u = 2 e_2$ aber $u \leq p_2$			
<u>Beanspruchbarkeit für Abscheren:</u>			
— für die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8:	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$		
— für die Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9:	$F_{v,Rd} = \frac{0,5 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$		
<u>Bedingungen: <sup>c</sup></u>	$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$		
<b>Schrauben mit Zugbeanspruchung: <sup>a</sup></b>			
<u>Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen:</u>	Die Beanspruchbarkeit $F_{p,Rk}$ oder $F_{p,Rd}$ für Durchknöpfen ist durch Versuche zu bestimmen.		
<u>Beanspruchbarkeit für Ausreißen:</u>	Die Beanspruchbarkeit für Ausreißen $F_{o,Rk}$ oder $F_{o,Rd}$ ist durch Versuche zu bestimmen.		
<u>Zugbeanspruchbarkeit:</u>	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$		
<u>Bedingungen: <sup>c</sup></u>	$F_{t,Rd} \geq F_{p,Rd}$ oder $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$		
<b>Anwendungsbereiche: <sup>b</sup></b>			
$e_1 \geq 1,0 d_0$	$p_1 \geq 3 d_0$	$0,75 \text{ mm} \leq t \leq 4 \text{ mm}$	Mindestschraubengröße: M 6
$e_2 \geq 1,5 d_0$	$p_2 \geq 3 d_0$	Festigkeitsklassen: 4.6 bis 10.9	$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$
<sup>a</sup> Bei Blechdicken größer als oder gleich 3 mm dürfen alternativ die Regelungen für Schraubverbindungen in EN 1993-1-8 angewendet werden. Bei Blechdicken größer 4 mm sollten die Regelungen für Schraubenverbindungen in EN 1993-1-8 angewendet werden.			
<sup>b</sup> Schrauben dürfen außerhalb dieser Anwendungsbereiche eingesetzt werden, wenn die Beanspruchbarkeit durch Versuche ermittelt wird.			
<sup>c</sup> Die Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn ausreichend Verformungskapazität der Verbindung erforderlich ist. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, sollte nachgewiesen werden, dass die Verformungskapazität durch andere Tragwerksteile sichergestellt wird.			

ANMERKUNG 4 Nach Tabelle 10.5 wird die Beanspruchbarkeit von zugbeanspruchten Schrauben für Durchknöpfen und Ausreißen durch Versuche bestimmt, wenn nicht weiterführende Informationen im Nationalen Anhang angegeben sind.

## 10.4 Punktschweißungen

(1) Punktschweißungen dürfen bei schwarzem oder verzinktem Grundmaterial bis zu 4,0 mm Dicke zur Anwendung kommen, wenn die Dicke des dünneren angeschlossenen Blechs höchstens 3,0 mm beträgt.

(2) Punktschweißungen dürfen entweder durch Widerstands- oder Schmelzpunktschweißungen ausgeführt werden.

(3) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $F_{v,Rd}$  einer Punktschweißung unter Scherbeanspruchung sollte nach Tabelle 10.6 bestimmt werden.

(4) Die Formelzeichen in Tabelle 10.6 bedeuten:

$A_{net}$  ist die Nettoquerschnittsfläche des angeschlossenen Bauteils;

$d_s$  ist der Linsendurchmesser einer Punktschweißung an der Schnittstelle, siehe 10.4(6) und 10.4(7);

$n_w$  ist die Anzahl von Punktschweißungen in einer Verbindung;

$t$  ist die Dicke des dünneren angeschlossenen Bauteils oder Blechs [mm];

$t_1$  ist die Dicke des dickeren angeschlossenen Bauteils oder Blechs [mm].

Die Randabstände  $e_1$  und  $e_2$  sowie die Abstände  $p_1$  und  $p_2$  sind in 10.3(5) festgelegt.

(5) Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  für die Berechnung der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Punktschweißverbindungen sollte mit  $\gamma_{M2}$  angesetzt werden, siehe Abschnitt 4(3).

**Tabelle 10.6 — Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten für Punktschweißungen**

<b>Punktschweißungen mit Scherbeanspruchung:</b>		
<u>Beanspruchbarkeit für Lochleibung:</u>		
— wenn $t \leq t_1 \leq 2,5 t$ :		
$F_{tb,Rd} = \frac{2,7 \sqrt{t} d_s f_u}{\gamma_{M2}}$	mit: $t$ in [mm]	
— wenn $t_1 > 2,5 t$ :		
$F_{tb,Rd} = \frac{2,7 \sqrt{t} d_s f_u}{\gamma_{M2}}$	aber	$F_{tb,Rd} \leq \frac{0,7 d_s^2 f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{und} \quad F_{tb,Rd} = \frac{3,1 t d_s f_u}{\gamma_{M2}}$
<u>Beanspruchbarkeit für Randversagen:</u>	$F_{e,Rd} = \frac{1,4 t e_1 f_u}{\gamma_{M2}}$	
<u>Zugbeanspruchbarkeit im Nettoquerschnitt:</u>	$F_{n,Rd} = \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$	
<u>Beanspruchbarkeit für Abscheren:</u>	$F_{v,Rd} = \frac{\pi(d_s^2/4) f_u}{\gamma_{M2}}$	
<u>Bedingungen:</u>	$F_{v,Rd} \geq 1,25 F_{tb,Rd} \quad \text{oder} \quad F_{v,Rd} \geq 1,25 F_{e,Rd}$	$\text{oder} \quad \Sigma F_{v,Rd} \geq 1,25 F_{n,Rd}$
<b>Anwendungsbereiche:</b>		
$2 d_s \leq e_1 \leq 6 d_s$	$3 d_s \leq p_1 \leq 8 d_s$	
$e_2 \leq 4 d_s$	$3 d_s \leq p_2 \leq 6 d_s$	

(6) Der Linsendurchmesser  $d_s$  einer Punktschweißung an der Schnittstelle sollte mit Gleichung (10.4) und Gleichung (10.5) bestimmt werden:

— für Schmelzpunktschweißen:

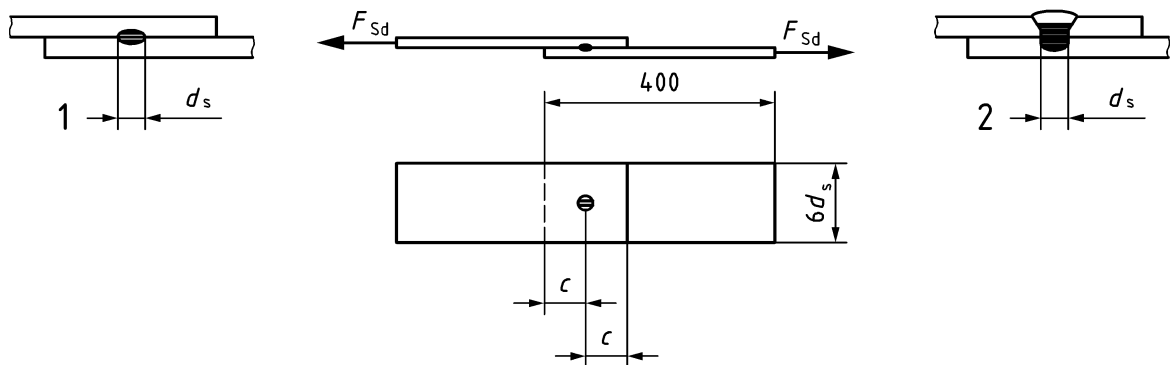
$$d_s = 0,5 t + 5 \text{ mm} \quad (10.4)$$

— für Widerstandspunktschweißen:

$$d_s = 5\sqrt{t} \quad \text{mit } t \text{ in [mm]} \quad (10.5)$$

(7) Der beim Schweißverfahren ausgeführte Wert  $d_s$  sollte durch Abscherversuche nach Abschnitt 12 an Prüfkörpern mit einfachen Überlappungsstößen, wie in Bild 10.2 dargestellt, bestätigt werden. Die Dicke  $t$  des Prüfkörpers sollte dabei der des Anwendungsfalls entsprechen. Die Randabstände  $e_1$  und  $e_2$  in den Versuchen sollten die Bedingung in Gleichung (10.6) erfüllen:

$$3,5 d_s \leq e \leq 5 d_s \quad (10.6)$$



### Legende

- 1 Widerstandspunktschweißnaht
- 2 Schmelzpunktschweißnaht

**Bild 10.2 — Versuchskörper für Scherversuche an Punktschweißungen**

## 10.5 Überlappungsschweißungen

### 10.5.1 Allgemeines

(1) Die Festlegungen nach 10.5 sollten für die Bemessung von Überlappungsschweißungen mittels Lichtbogenschweißung angewendet werden, wenn der Grundwerkstoff höchstens 4,0 mm dick ist. Überlappungsschweißungen mit dickerem Grundwerkstoff sollten nach EN 1993-1-8 bemessen werden.

(2) Die Dicke der Schweißnaht sollte so gewählt werden, dass die Beanspruchbarkeit der Verbindung durch das angeschlossene Bauteil oder Blech und nicht durch die Beanspruchbarkeit der Schweißnaht bestimmt wird.

(3) Wenn die Schweißnahtdicke mindestens der Dicke des angeschlossenen Bauteils oder Blechs entspricht, darf (2) als erfüllt angenommen werden.

(4) Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  zur Berechnung der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Überlappungsschweißungen sollte mit  $\gamma_{M2}$  angesetzt werden, siehe Abschnitt 4(3).

### 10.5.2 Kehlnähte

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $F_{w,Rd}$  einer Kehlnahtverbindung sollte mit Gleichung (10.7) bis Gleichung (10.9) bestimmt werden:

— für eine Flankenkehlnaht bei paarweiser Anordnung von Flankenkehlnähten:

$$F_{w,Rd} = \frac{t l_{w,s} (0,9 - 0,45 l_{w,s}/b) f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{wenn } l_{w,s} \leq b \quad (10.7)$$

$$F_{w,Rd} = \frac{0,45 t b f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{wenn } l_{w,s} > b \quad (10.8)$$

— für eine Stirnkehlnaht:

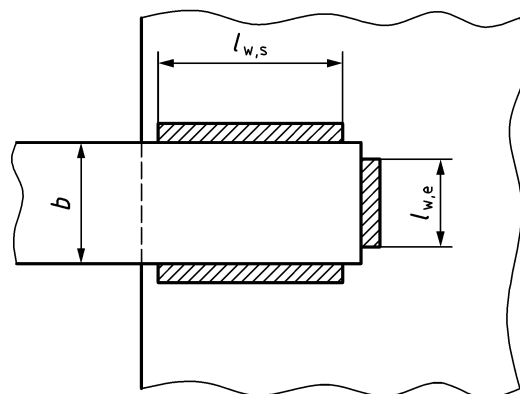
$$F_{w,Rd} = \frac{t l_{w,e} (1 - 0,3 l_{w,e}/b) f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{bei einer Schweißnaht und wenn } l_{w,s} \leq b \quad (10.9)$$

Dabei ist

$b$  die Breite des angeschlossenen Bauteils oder Blechs, siehe Bild 10.3;

$l_{w,e}$  ist die wirksame Länge der Stirnkehlnaht, siehe Bild 10.3;

$l_{w,s}$  die wirksame Länge einer Flankenkehlnaht, siehe Bild 10.3.



**Bild 10.3 — Überlappungsstoß mit Kehlnähten**

(2) Bei einer Kombination von Stirn- und Flankenkehlnähten in derselben Verbindung sollte der Bemessungswert der Gesamtbeanspruchbarkeit aus der Summe der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten der Stirn- und der Flankenkehlnähte ermittelt werden. Eine realistische Annahme für die Kräfteverteilung unter Berücksichtigung des Schwerpunkts der Verbindung sollte erfolgen.

(3) Die wirksame Länge  $l_w$  einer Kehlnaht sollte als die Gesamtlänge der Kehlnaht in voller Größe einschließlich der Endumschweißungen angesetzt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Schweißnaht über die gesamte Länge die volle Größe hat, braucht weder am Nahtanfang noch am Nahtende eine Reduktion auf die wirksame Länge vorgenommen werden.

(4) Kehlnähte mit einer geringeren wirksamen Länge als der 8-fachen Dicke des dünneren, angeschlossenen Bauteils sollten nicht zur Kraftübertragung herangezogen werden.

### 10.5.3 Lichtbogenpunktschweißung

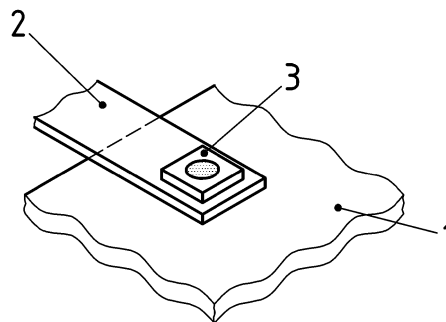
- (1) Lichtbogenpunktschweißungen sollten nicht für die Übertragung von anderen Kräften als Scherkräften bemessen werden.
- (2) Lichtbogenpunktschweißungen sollten nicht zum Verbinden von Teilen oder Blechen mit einer Gesamtdicke  $\Sigma t$  größer als 4 mm verwendet werden.
- (3) Lichtbogenpunktschweißungen sollten einen Linsendurchmesser  $d_s$  an der Schnittstelle von mindestens 10 mm aufweisen.
- (4) Bei angeschlossenen Bauteilen oder Blechen mit geringerer Dicke als 0,7 mm sollte ein Schweißring verwendet werden, siehe Bild 10.4.
- (5) Lichtbogenpunktschweißungen sollten mit passenden End- und Randabständen ausgeführt werden, die wie folgt bestimmt werden:

- (a) Der Mindestabstand, gemessen parallel zur Krafrichtung, von der Mitte einer Lichtbogenpunktschweißung zum nächstgelegenen Rand einer angrenzenden Schweißnaht oder zum Rand eines angeschlossenen Bauteils, sollte nicht kleiner sein als der nachfolgend angegebene Wert von  $a_{w,min}$ :

$$a_{w,min} = 1,8 \frac{F_{w,Rd}}{t f_u \gamma_{M2}} \quad \text{wenn } f_u/f_y < 1,15 \quad (10.10)$$

$$a_{w,min} = 2,1 \frac{F_{w,Rd}}{t f_u \gamma_{M2}} \quad \text{wenn } f_u/f_y \geq 1,15 \quad (10.11)$$

- (b) Der Mindestabstand zwischen der Mitte einer kreisförmigen Lichtbogenpunktschweißung und dem Rand eines angeschlossenen Blechs sollte nicht kleiner als  $1,5 d_{as}$  sein, wobei  $d_{as}$  der sichtbare Durchmesser der Lichtbogenpunktschweißung ist.
- (c) Der lichte Mindestabstand zwischen einer länglichen Lichtbogenpunktschweißung und dem Ende eines Blechs oder zwischen einer länglichen Lichtbogenpunktschweißung und dem Rand eines Blechs sollte nicht weniger als  $1,0 d_{as}$  betragen.



#### Legende

- 1 unterstützendes Bauteil  
2 angeschlossenes Teil des Blechs  
3 Schweißring

**Bild 10.4 — Lichtbogenpunktschweißung mit Schweißring**

(6) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Abscheren  $F_{w,Rd}$  einer kreisförmigen Lichtbogenpunktschweißung sollte mit Gleichung (10.12) bestimmt werden:

$$F_{w,Rd} = \frac{0,625 \pi (d_s^2 / 4) f_{uw}}{\gamma_{M2}} \quad (10.12)$$

Dabei ist

$f_{uw}$  die Zugfestigkeit des Schweißzusatzwerkstoffs;

aber:

$F_{w,Rd}$  sollte nicht größer sein als der folgende Bemessungswert der Beanspruchbarkeit:

— wenn  $d_p / \sum t \leq 18 \sqrt{420 / f_u}$  mit  $f_u$  in  $[N/mm^2]$

$$F_{w,Rd} = \frac{1,5 d_p \sum t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (10.13)$$

— wenn  $18 \sqrt{420 / f_u} < d_p / \sum t \leq 30 \sqrt{420 / f_u}$  mit  $f_u$  in  $[N/mm^2]$

$$F_{w,Rd} = \frac{27 \sqrt{420 / f_u} (\sum t)^2 f_u}{\gamma_{M2}} \quad (10.14)$$

— wenn  $d_p / \sum t > 30 \sqrt{420 / f_u}$  mit  $f_u$  in  $[N/mm^2]$

$$F_{w,Rd} = \frac{0,9 d_p \sum t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (10.15)$$

Dabei ist

$d_p$  der wirksame Umfangsdurchmesser einer Lichtbogenpunktschweißung nach (8).

(7) Der Linsendurchmesser  $d_s$  einer Lichtbogenpunktschweißung an der Schnittstelle, siehe Tabelle 10.7, sollte nach Gleichung (10.16) ermittelt werden:

$$d_s = 0,7 d_{as} - 1,5 \sum t \quad \text{aber } d_s \geq 0,55 d_{as} \quad (10.16)$$

Dabei ist

$d_{as}$  der sichtbare Durchmesser der Lichtbogenpunktschweißung, siehe Tabelle 10.7.

(8) Der wirksame Umfangsdurchmesser  $d_p$  einer Lichtbogenpunktschweißung sollte wie folgt ermittelt werden:

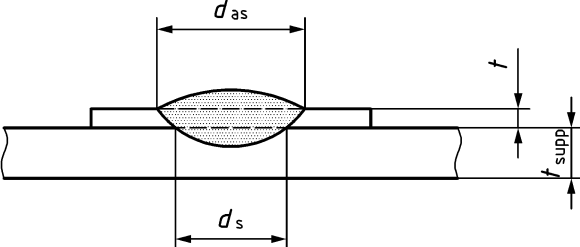
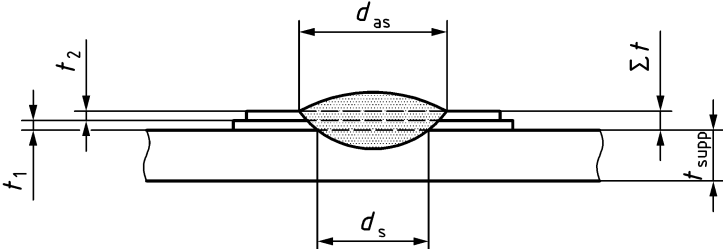
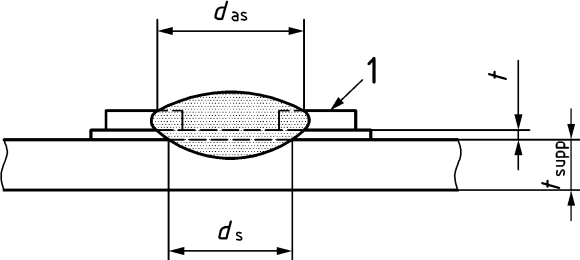
— für ein einzelnes angeschlossenes Blech oder Bauteil der Dicke  $t$ :

$$d_p = d_{as} - t \quad (10.17)$$

— für mehrere angeschlossene Bauteile oder Bleche mit der Gesamtdicke  $t$ :

$$d_p = d_{as} - 2 t \quad (10.18)$$

Tabelle 10.7 — Lichtbogenpunktschweißungen

Fall		Dicke
Einzelnes angeschlossenes Blech		$\sum t = t$
Zwei angeschlossene Bleche		$\sum t = t_1 + t_2$
Einzelnes angeschlossenes Blech mit Schweißring		$\sum t = t$
<b>Legende</b> 1 Schweißring		

(9) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer länglichen Lichtbogenpunktschweißung  $F_{w,Rd}$  sollte nach Gleichung (10.19) bestimmt werden:

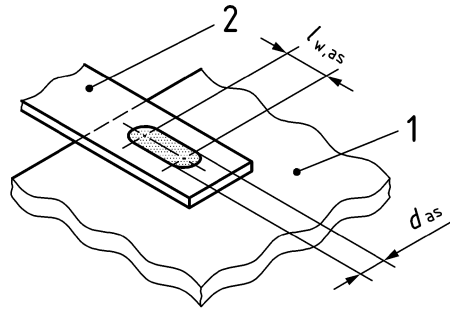
$$F_{w,Rd} = \frac{0,625 (\pi(d_s^2/4) + l_{w,as} d_s) f_{uw}}{\gamma_{M2}} \quad (10.19)$$

jedoch sollte  $F_{w,Rd}$  nicht größer sein als der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit der wirksamen Schweißlinse nach Gleichung (10.20):

$$F_{w,Rd} = \frac{(0,5l_{w,as} + 1,67d_p) \sum t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (10.20)$$

Dabei ist

$l_{w,as}$  die Länge der länglichen Lichtbogenpunktschweißung wie in Bild 10.5 dargestellt.



### Legende

- 1 unterstützendes Bauteil
- 2 angeschlossenes Teil eines Blechs

Bild 10.5 — Längliche Lichtbogenpunktschweißung

## 11 Besondere Angaben für Bauteile, Kassettenprofile und Profiltafeln

### 11.1 Bauteile mit Stabilisierung durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente

#### 11.1.1 Allgemeines

(1) Die Festlegungen in 11.1 dürfen für Bauteile mit Z-, C-,  $\Sigma$ -, U- oder Hut-Querschnitt angewendet werden.

(2) Diese Festlegungen dürfen für Träger mit oder ohne Schlaufungen und für einfeldrige, durchlaufende, gekoppelte oder überlappende Träger angewendet werden.

(3) Diese Festlegungen dürfen auch für kaltgeformte Stahlbauteile angewendet werden, die als Pfetten, Wandriegel, Deckenträger oder für andere Arten von Bauteilen verwendet werden, die in ähnlicher Weise eine Stabilisierung durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente erfahren.

(4) Die Bemessung von Wandriegeln auf Winddruck entspricht derjenigen von Bauteilen unter Auflast; die Bemessung von Wandriegeln für Windsog entspricht derjenigen von Bauteilen unter abhebenden Lasten.

(5) Eine vollständige, kontinuierliche, seitliche Stützung kann durch Stahlprofiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente mit ausreichender Steifigkeit erzeugt werden, die kontinuierlich mit dem Gurt des Bauteils verbunden sind. Im Fall von Profiltafeln sollten diese Verbindungen an den Untergurten der Profiltafeln angebracht werden. Das Bauteil darf an der Verbindung mit den Stahlprofiltafeln, Kassettenprofilen oder Sandwichelementen als seitlich gestützt betrachtet werden, wenn die Bedingungen nach 11.4.1 erfüllt sind. In anderen Fällen (z. B. Profiltafeln mit Befestigung am Bauteil durch den Obergurt) sollte der Grad der seitlichen Stützung entweder nach Erfahrungswerten beurteilt oder durch Versuche bestimmt werden.

ANMERKUNG Für Hinweise zu Versuchen, siehe Abschnitt 12 und Anhang A.

(6) Sofern nicht alternative Auflagerkonstruktionen durch Versuchsergebnisse gerechtfertigt werden, sollte das Bauteil mit Auflagerdetails, wie z. B. Pfettenschuhen, versehen werden, durch die seitliche Verschiebungen und Verdrehungen an den Auflagern verhindert werden. Die Auswirkungen der Kräfte in der Ebene von Profiltafeln, Kassettenprofilen oder Sandwichelementen, die über die Auflager des Bauteils abgetragen werden, sollten bei der Bemessung der Auflagerdetails berücksichtigt werden. Wenn Pfettenschuhe verwendet werden, darf die Querbiegung des Stegs infolge der von den Profiltafeln übertragenen Querlast vernachlässigt werden. Bei einem Anschluss mittels Pfettenschuh darf der Nachweis des Bauteils auf Stegkrüppeln entfallen, wenn ein Spalt zwischen dem Auflager und dem Untergurt des Bauteils vorhanden ist und dieser auch bei Durchbiegungen des Bauteils erhalten bleibt.

(7) Das Tragverhalten eines seitlich gestützten Bauteils darf, wie in Tabelle 11.1 für Pfetten dargestellt, modelliert werden. Es darf angenommen werden, dass die Verbindung zwischen Bauteil und Profiltafeln, Kassettenprofilen oder Sandwichelementen die Verdrehung des Bauteils teilweise behindert. Diese teilweise Verdrehbehinderung darf als Drehfeder mit der Federsteifigkeit  $C_D$  modelliert werden. Die Spannungen im freien Gurt, der nicht direkt mit den Profiltafeln, Kassettenprofilen oder Sandwichelementen verbunden ist, sollten danach durch Überlagerung der Wirkungen aus der Biegung in der Ebene und der Wirkungen aus Torsion einschließlich der seitlichen Biegung infolge der Profilverformung berechnet werden. Die Verdrehbehinderung, die durch die Profiltafel, das Kassettenprofil oder das Sandwichelement erzeugt wird, sollte nach 11.4.2 bestimmt werden.

(8) Wenn der freie Gurt eines Einfeldträgers Druckbeanspruchungen unter abhebender Belastung erhält, sollten auch die zusätzlichen Spannungen infolge Torsion und Profilverformungen berücksichtigt werden.

### 11.1.2 Berechnungsverfahren

(1) Sofern nicht eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung erfolgt, sollte das in 11.1.3 und 11.1.4 angegebene Berechnungsverfahren angewendet werden, um das seitliche Ausweichen des freien Gurtes (das zusätzliche Spannungen hervorruft) zu erfassen; hierbei wird der freie Gurt als Bauteil unter Querbelastung  $q_{h,Ed} = k_h q_{Ed}$  betrachtet, siehe Tabelle 11.1. Die Bezeichnung der Bauteilachsen ist in 3.3.4 angegeben. Spezifikationen nach den Festlegungen für die Bemessung in 11.1 sind in Bild 11.2 angegeben.

(2) In dem in 11.1.3 und 11.1.4 beschriebenen Verfahren wird der Einfluss der in 11.1.1(7) beschriebenen Drehfeder durch eine äquivalente Wegfeder mit der Steifigkeit  $K$  ersetzt. Der freie Gurt darf als ein druckbeanspruchtes Bauteil mit veränderlicher Normalkraft und mit einer kontinuierlichen Querbettung der Steifigkeit  $K$  betrachtet werden. Bei der Bestimmung von  $K$  sollten die Auswirkungen von Profilverformungen berücksichtigt werden.

(3) Wenn der freie Gurt Druckbeanspruchungen aus der Biegung in der Stegeebene (z. B. infolge abhebender Last auf einem einfeldrigen Bauteil) erfährt, sollte auch die Beanspruchbarkeit des freien Gurtes auf seitliches Stabilitätsversagen nachgewiesen werden.

(4) Für eine genauere Berechnung darf eine numerische Berechnung durchgeführt werden, in der die Werte für die Drehfedersteifigkeit  $C_D$  nach 11.4.2 angesetzt werden. Die Auswirkungen einer Vorkrümmung  $e_0$  des freien Gurtes sollten nach 7.2.2.3 berücksichtigt werden. Die Vorkrümmung sollte der maßgebenden Knicklinie bzw. Eigenform aus einer linear-elastischen Verzweigungslastanalyse [siehe 7.1(2)] entsprechen.

(5) Es darf auch eine numerische Berechnung mit Ansatz der Drehfedersteifigkeit  $C_D$  nach 11.4.2 durchgeführt werden, wenn keine seitliche Stützung vorliegt oder die Stützwirkung nicht nachgewiesen werden kann. Die numerische Berechnung sollte die biaxiale Biegung, die reine St.-Venant'sche-Torsion und die Wölbkrafttorsion berücksichtigen.



### 11.1.3.2 Bauteile mit vollständiger Durchlaufwirkung über den Auflagern

(1) Bei einem durchlaufenden zwei- oder mehrfeldrigen Bauteil ohne Überlappungen oder Kopplungen darf die Biegemomentenverteilung entweder durch Berechnung ermittelt werden oder auf der Basis von Versuchsergebnissen festgelegt werden.

(2) Werden die Biegemomente durch Berechnung ermittelt, dürfen sie unter Anwendung der Elastizitätstheorie bestimmt werden.

(3) Alternativ darf eine realistischere Biegemomentenverteilung unter Berücksichtigung des Momenten-Rotationsverhaltens des Bauteils über dem Zwischenaufleger ermittelt werden, wobei das Momenten-Rotationsverhalten versuchsgestützt nach Abschnitt 12 und Abschnitt A.6 bestimmt wird.

(4) Falls das Momenten-Rotationsverhalten an einem Auflager versuchsgestützt bestimmt wird, sollte der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit  $M_{\text{supp,Rd}}$  für eine vorgegebene, auf das Bauteil einwirkende Gleichlast  $q_{\text{Ed}}$ , anhand des Schnittpunktes von zwei Kurven ermittelt werden (siehe Bild 11.1):

- der nach Abschnitt 12 und Abschnitt A.6 versuchsgestützt ermittelten Momenten-Rotationskurve am Auflager (siehe Bild A.9);
- der theoretischen Beziehung zwischen dem Stützmoment  $M_{\text{supp,Ed}}$  und der zugehörigen Verdrehung  $\theta_{\text{Ed}}$  des Bauteils im plastischen Gelenk am Auflager, die anhand einer elastisch-plastischen Berechnung des Bauteils unter einer Belastung  $q_{\text{Ed}}$  mit einem ideal-plastischen Gelenk über dem Auflager bestimmt wurde.

Im Fall eines zweifeldrigen Bauteils mit jeweils gleicher Spannweite unter einer gleichförmig verteilten Last wird diese Beziehung angegeben durch:

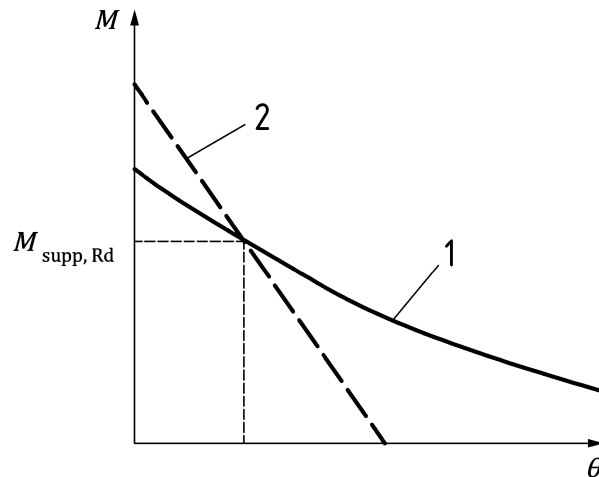
$$\theta_{\text{Ed}} = \frac{L}{12 EI_{\text{eff}}} (q_{\text{Ed}} L^2 - 8 M_{\text{supp,Ed}}) \quad (11.1)$$

$$M_{\text{span,Ed}} = \frac{(q_{\text{Ed}} L^2 - 2 M_{\text{supp,Rd}})^2}{8 q_{\text{Ed}} L^2} \quad (11.2)$$

Dabei ist

- $I_{\text{eff}}$  das wirksame Trägheitsmoment des Bauteils für das Biegemoment  $M_{\text{span,Ed}}$ ;
- $L$  die Stützweite des Bauteils;
- $M_{\text{span,Ed}}$  der maximale Bemessungswert des Feldmoments des Bauteils.

Für andere Fälle sollte eine Beziehung, äquivalent zu Gleichung (11.1), durch geeignete Berechnung bestimmt werden.



### Legende

- 1 Momenten-Rotations-Kurve  
2  $M_{\text{supp,Ed}}$  in Abhängigkeit von  $\theta_{\text{Ed}}$

**Bild 11.1 — Bestimmung der Biegemomentenbeanspruchbarkeit am Auflager**

(5) Zusätzlich sollten bei Bauteilen unter Auflast der Spannungszustand im freien Gurt und die seitliche Stabilität des freien Gurts im Bereich des Auflagers berücksichtigt werden, weil diese Effekte in dem Zwischenaufgerversuch nach A.6.2 nicht vollständig erfasst werden. Falls der freie Gurt über dem Auflager durchläuft und der Abstand zwischen dem Auflager und der nächstgelegenen Schlauder größer als  $0,5L$  ist, sollte die Querschnittsbeanspruchbarkeit am Auflager nach 11.1.4.1 nachgewiesen werden und die Stabilitätsnachweise am Auflager sollten nach 11.1.4.2 erfolgen, dies unter Berücksichtigung der zusätzlichen Querlast  $q_{h,Ed}$ . Alternativ dürfen Versuche im Realmaßstab an zwei- oder mehrfeldrigen Bauteilen zur Untersuchung des Spannungszustands und der Stabilität des freien Gurts am Zwischenaufgänger zum Einsatz kommen.

(6) Das maximale Feldmoment  $M_{\text{span,Ed}}$  sollte ausgehend vom Stützmoment mit statischen Gleichgewichtsbedingungen berechnet werden. Das maximale Feldmoment  $M_{\text{span,Ed}}$  im Bauteil sollte die Kriterien für die Querschnittsbeanspruchbarkeit nach 11.1.4.1 und, bei einem Bauteil unter abhebender Last, die Stabilitätsnachweise für den freien Gurt nach 11.1.4.2 erfüllen. Alternativ dürfen diese Nachweise durch Versuche erbracht werden. Ein Versuch am Einfeldträger darf mit einer Stützweite ausgeführt werden, die dem Abstand zwischen den Momentennullpunkten im Feld entspricht.

(7) Sofern nicht Versuche nach Abschnitt A.6 durchgeführt werden, sollte das Bauteil für eine Kombination aus Biegemoment und Auflagerkraft bemessen sein. Falls die Auflagerreaktion eine Zugkraft ist, darf dieser Nachweis entfallen.

(8) Sofern nicht Versuche nach Abschnitt A.6 durchgeführt werden, sollte das Bauteil für eine Kombination aus Biegemoment und Querkraft am Auflager bemessen sein.

### 11.1.3.3 Bauteile mit beschränkter Durchlaufwirkung durch Überlappungen oder Kopplungen

(1) Versuche sollten durchgeführt werden zur Bestimmung:

- der Biegesteifigkeit des gekoppelten oder überlappten Teils des Bauteilsystems;
- des üblicherweise nichtlinearen Momenten-Rotationsverhaltens des überlappten oder gekoppelten Teils. Falls in den Berechnungen von linearem Verhalten ausgegangen wurde, sollten sowohl die Mindest- als auch die Höchstwerte der Rotationssteifigkeit berücksichtigt werden (siehe A.9.3). Die Biegemomentenumlagerung darf nur angesetzt werden, wenn das Versagen am Auflager auftritt und wenn seitliche Verschiebungen am Auflager verhindert werden (z. B. durch einen Pfettenschuh);

- der Beanspruchbarkeit des überlappten oder gekoppelten Teils bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Auflagerkraft;
- der Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft.

Alternativ dürfen diese charakteristischen Werte durch numerische Verfahren mit einem Modell bestimmt werden, das durch eine ausreichende Anzahl von Versuchen bestätigt wurde.

#### 11.1.3.4 Kriterien der Gebrauchstauglichkeit

(1) Die maßgebenden Gebrauchstauglichkeitskriterien für Bauteile sollten erfüllt werden.

#### 11.1.4 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

##### 11.1.4.1 Querschnittsbeanspruchbarkeit

(1) Die Querschnittsbeanspruchbarkeit eines Bauteils unter Normalkraft und Querlast sollte, wie in Bild 11.2 dargestellt, nachgewiesen werden, indem die Spannungen infolge der folgenden Beanspruchungen überlagert werden:

- das Biegemoment in der Stegebene  $M_{y',Ed}$ ;
- die Normalkraft  $N_{Ed}$ ;
- die am freien Gurt angreifende, äquivalente horizontale Last  $q_{h,Ed}$ , die die Querbiegung des freien Gurts erzeugt, siehe (3).

(2) Die maximalen Bemessungswerte der Spannungen im Querschnitt sollten die Nachweise in Gleichung (11.3) und Gleichung (11.4) erfüllen:

- im seitlich gestützten Gurt:

$$\frac{\sigma_{\max,Ed}}{f_y} = \frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}} f_y} + \frac{M_{y',Ed}}{W_{\text{eff},y'} f_y} \leq 1 \quad (11.3)$$

- im freien Gurt:

$$\frac{\sigma_{\max,Ed}}{f_y} = \frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}} f_y} + \frac{M_{y',Ed}}{W_{\text{eff},y'} f_y} + \frac{M_{fz',Ed}}{W_{fz'} f_y} \leq 1 \quad (11.4)$$

Dabei ist

- $A_{\text{eff}}$  die wirksame Querschnittsfläche unter konstanter Druckbeanspruchung;
- $f_y$  die Streckgrenze nach 5.2.2;
- $M_{fz',Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments im freien Gurt infolge der horizontalen Last  $q_{h,Ed}$ , siehe Gleichung (11.5);
- $W_{\text{eff},y'}$  das Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts bei Biegung um die  $y'-y'$ -Achse;

$W_{fz'}$  das elastische Widerstandsmoment des Querschnitts, bestehend aus dem Bruttoquerschnitt des freien Gurts und dem mittragenden Steganteil bei Biegung um die eigene Schwerachse  $z'-z'$ ; sofern keine aufwändigere Berechnung durchgeführt wird, darf der mitwirkende Steganteil mit  $1/5$  der Steghöhe bei C- und Z-Profilen und  $1/6$  der Steghöhe bei  $\Sigma$ -Profilen, gemessen vom Schnittpunkt zwischen Gurt und Steg, angesetzt werden, siehe Bild 11.2;

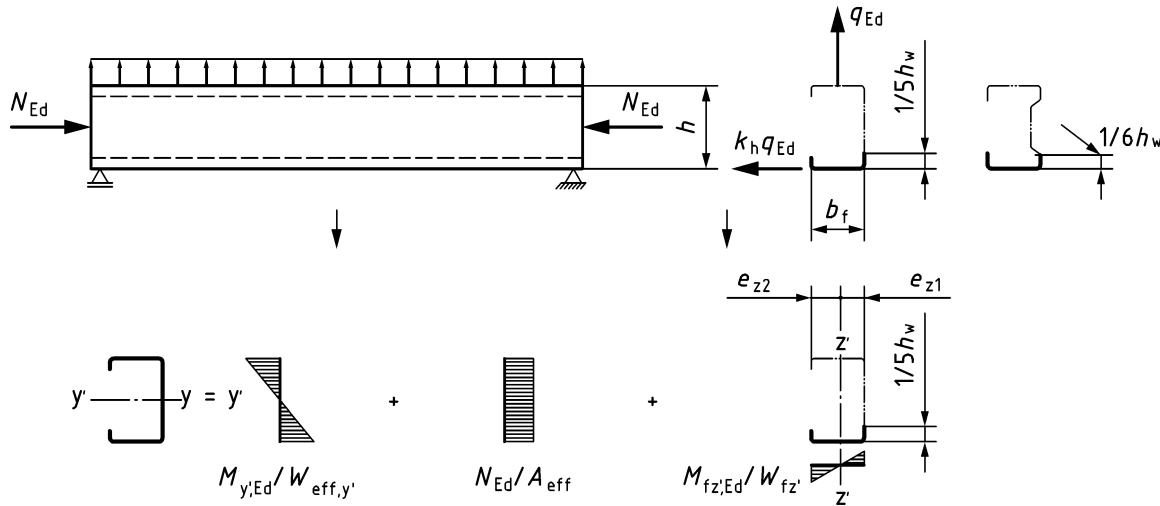


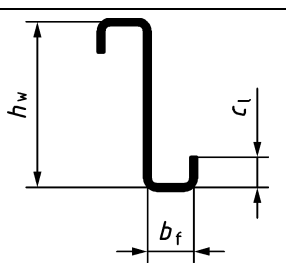
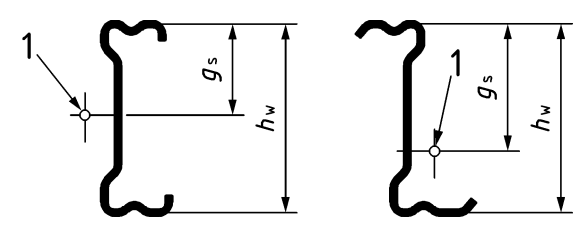
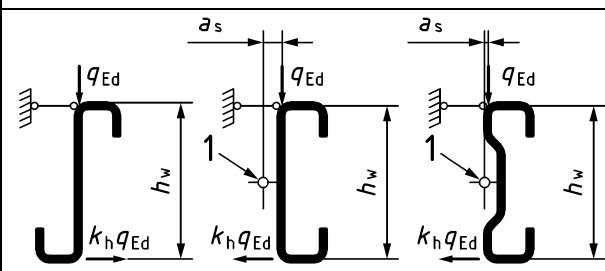
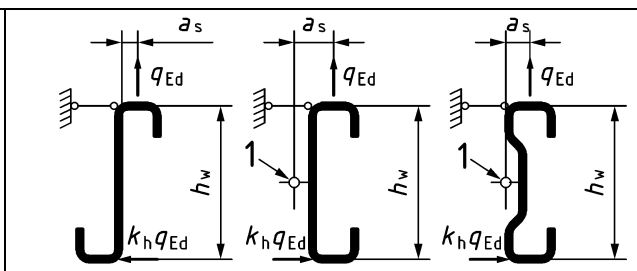
Bild 11.2 — Spannungsüberlagerung

(3) Die am freien Gurt angreifende, äquivalente horizontale Last  $q_{h,Ed}$ , die die Auswirkungen von Torsion und Querbiegung am Querschnitt repräsentiert, sollte nach Gleichung (11.5) ermittelt werden:

$$q_{h,Ed} = k_h q_{Ed} \tag{11.5}$$

(4) Der Koeffizient  $k_h$  sollte, wie in Tabelle 11.2 für übliche Querschnittsarten angegeben, ermittelt werden. Anderenfalls sollte er durch geeignete Berechnung begründet werden.

**Tabelle 11.2 — Umrechnung der Auswirkungen von Torsion und Querbiegung in eine äquivalente horizontale Last  $k_h q_{Ed}$**

$k_{h0}$ Koeffizient für die horizontale Last am freien Untergurt ( $k_{h0}$ entspricht einer Belastung, die am Schubmittelpunkt aufgebracht wird)	
 $k_{h0} = \frac{h_w t (b_f^2 + 2c_1 b_f - 2c_1^2 b_f / h_w)}{4 I_{y'}}$ (a) punktsymmetrischer Z-Querschnitt	 $k_{h0} = \frac{I_{yz'} g_s}{I_{y'} h_w}$ (b) Z-, C- oder $\Sigma$ -Querschnitt
Koeffizient für die äquivalente horizontale Last $k_h$	
	
$k_h = k_{h0}$ $k_h = k_{h0} + a_s/h_w$ $k_h = k_{h0} + a_s/h_w^{***}$	$k_h = k_{h0} - a_s/h_w^*$ $k_h = k_{h0} + a_s/h_w^{**}$ $k_h = k_{h0} + a_s/h_w^{**}$
Z-, C- oder $\Sigma$ -Querschnitt (a) Auflast	Z-, C- oder $\Sigma$ -Querschnitt (b) abhebende Last
mit: $g_s$ ist der Abstand des belasteten Gurts zum Schubmittelpunkt (gemessen in $z'$ -Richtung) $a_s$ ist der Abstand von der Last $q_{Ed}$ zum Schubmittelpunkt (gemessen in $y'$ -Richtung) $I'$ ist das Trägheitsmoment um die maßgebende $y'$ - $y'$ oder $z'$ - $z'$ -Achse des Querschnitts	
* Bei $a_s/h_w > k_{h0}$ wirkt die Last $k_h q_{Ed}$ entgegengesetzt. ** Die Lage der Last $q_{Ed}$ ist auf Positionen zwischen den Rändern des Obergurts beschränkt. *** Liegt der Schubmittelpunkt auf der rechten Seite der Last $q_{Ed}$ , wirkt die äquivalente horizontale Last entgegengesetzt.	
<b>Legende</b> 1 Schubmittelpunkt	

(5) Das Querbiegemoment  $M_{fz',Ed}$  darf nach Gleichung (11.6) bestimmt werden, ausgenommen davon sind Bauteile mit einem freien, zugbeanspruchten Gurt, für den aufgrund der positiven Auswirkung des Gurteindrehens und der Theorie II. Ordnung das Querbiegemoment  $M_{fz',Ed}$  zu null angenommen werden darf:

$$M_{fz',Ed} = \kappa_R M_{0,fz',Ed} \quad (11.6)$$

Dabei ist

$M_{0,fz',Ed}$  der Ausgangswert des Querbiegemomentes ohne Federlagerung;

$\kappa_R$  ein Korrekturfaktor, der die wirksame Federlagerung berücksichtigt.

(6) Das Ausgangsquerbiegemoment  $M_{0,fz',Ed}$  am freien Gurt darf nach Tabelle 11.3 für kritische Schnitte im Feld, an den Auflagern sowie an und zwischen den Schlaudern bestimmt werden.

(7) Der Korrekturfaktor  $\kappa_R$  für den maßgebenden Schnitt und die Randbedingungen darf nach Tabelle 11.3 mit Hilfe des nach Gleichung (11.7) zu berechnenden Koeffizienten  $k_{ss}$ , bestimmt werden:

$$k_{ss} = \frac{K L_a^4}{\pi^4 E I_{fz'}} \quad (11.7)$$

Dabei ist

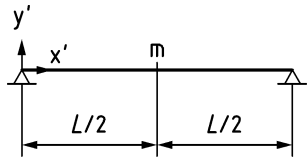
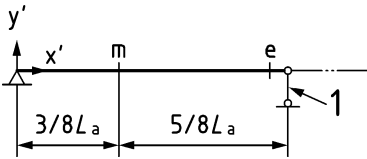
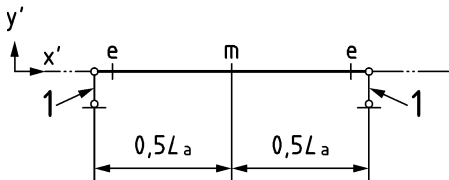
$I_{fz'}$  das Trägheitsmoment des Querschnitts, bestehend aus dem Bruttoquerschnitt des freien Gurts und dem mitwirkenden Steganteil, bei Biegung um die  $z'-z'$ -Achse, siehe 11.1.4.1(2); bei Anwendung numerischer Berechnung, siehe 11.1.2(5);

$K$  die seitliche Wegfedersteifigkeit je Längeneinheit, siehe 11.1.5;

$L_a$  der Abstand zwischen den Schlaudern, sofern vorhanden, sonst die Spannweite  $L$  des Bauteils.

Alternativ darf das Modell des elastisch gebetteten Balkens („Winklersche Bettung“) zur Bestimmung von  $\kappa_R$  verwendet werden.

**Tabelle 11.3 — Werte für den Ausgangswert des Biegemoments  $M_{0,fz',Ed}$  und den Korrekturfaktor  $\kappa_R$  (gültig für  $k_{SS} \leq 40$ )**

System	Schnitt	$M_{0,fz',Ed}$	$\kappa_R$
	m	$\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0225 k_{SS}}{1 + 1,013 k_{SS}}$
	m	$\frac{9}{128} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0141 k_{SS}}{1 + 0,416 k_{SS}}$
	e	$-\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0314 k_{SS}}{1 + 0,396 k_{SS}}$
	m	$\frac{1}{24} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0125 k_{SS}}{1 + 0,198 k_{SS}}$
	e	$-\frac{1}{12} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0178 k_{SS}}{1 + 0,191 k_{SS}}$
<b>Legende</b> 1 Schlauder oder Auflager			

#### 11.1.4.2 Stabilitätsnachweis für den freien Gurt

(1) Für den freien Gurt unter Druckbeanspruchung sollte der Stabilitätsnachweis nach Gleichung (11.8) geführt werden:

$$\frac{1}{\gamma_{M1}} \frac{\chi_{fz'} N_{Ed} + M_{y',Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{fz',Ed}}{\gamma_{M1} W_{fz'} f_{yb}} \leq 1 \quad (11.8)$$

Dabei ist

$\chi_{fz'}$  der Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken (Biegeknicken des freien Gurtes).

mit

$$\chi_{fz'} = \frac{1}{\phi_{fz'} + \sqrt{\phi_{fz'}^2 - 0,75 \bar{\lambda}_{fz'}^2}} \leq \min \left( 1; \frac{1}{\bar{\lambda}_{fz'}^2} \right) \quad (11.9)$$

$$\phi_{fz'} = 0,5 \left( 1 + 0,34 (\bar{\lambda}_{fz'} - 0,4) + 0,75 \bar{\lambda}_{fz'}^2 \right) \quad (11.10)$$

Im Fall, dass ein Bauteil durch eine zentrische Druckkraft  $N_{Ed} > 0,04 N_{cr,y'}$  beansprucht wird, sollte auch der Biegeknickenachweis um die Achse  $y'-y'$  des Querschnitts nach 8.2.5, Gleichung (8.71) geführt werden, dies unter Berücksichtigung von  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed} = M_{y',Ed}$  und  $M_{z,Ed} = M_{fz',Ed}$ , wobei die Hauptachsen  $y-y$  und  $z-z$  ersetzt werden durch die Schwerachse  $y'-y'$  und die Schwerachse  $z'-z'$  des freien Gurts zuzüglich des mitwirkenden Steganteils [siehe 11.1.4.1(2)], und unter Verwendung von  $\chi_y = \chi_{y'}$ ,  $\chi_{LT} = \chi_{fz'}$  und  $\omega_{x,LT} = 1,0$ .

(2) Der bezogene Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{fz'}$  für das Biegeknicken des freien Gurtes sollte mit Gleichung (11.11) bestimmt werden:

$$\bar{\lambda}_{fz'} = \frac{l_{fz'}}{i_{fz'} \lambda_1} \quad (11.11)$$

mit

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}} \quad (11.12)$$

Dabei ist

$l_{fz'}$  die Knicklänge des freien Gurtes nach (3);

$i_{fz'}$  der Trägheitsradius des Querschnitts, bestehend aus dem Bruttoquerschnitt des freien Gurtes zuzüglich des mitwirkenden Steganteils bei Biegung um die  $z'-z'$ -Achse, siehe 11.1.4.1(2).

(3) Die Knicklänge des freien Gurtes sollte durch geeignete Berechnungen bestimmt werden. Wenn  $0 \leq k_{ss} \leq 200$  ist, darf die Knicklänge eines freien Gurts mit veränderlichen Druckspannungen über die Stützweite  $L$  (wie in Bild 11.3 und Bild 11.4 dargestellt) nach Gleichung (11.13) ermittelt werden:

$$l_{fz'} = \eta_1 L_a (1 + \eta_2 k_{ss}^{\eta_3})^{\eta_4} \quad (11.13)$$

Dabei ist

$L_a$  der Abstand zwischen den Schlaudern, sofern vorhanden, sonst die Spannweite  $L$  des Bauteils;

$k_{ss}$  wie in 11.1.4.1(7) angegeben;

$\eta_1$  bis  $\eta_4$  Koeffizienten, abhängig von der Anzahl der Schlaudern, die für Auflast in Tabelle 11.4 und für abhebende Last in Tabelle 11.5 angegeben sind.

Tabelle 11.4 und Tabelle 11.5 sind nur gültig für:

- gleiche Spannweiten;
- gleiche Abstände zwischen Schlaudern (falls vorhanden);
- gleichmäßig verteilte Querbelastung auf Bauteilen und ohne Normalkraft;
- Systeme ohne Überlappungen oder Kopplungen, oder Bauteile mit Kopplungen und Überlappungen unter der Voraussetzung, dass die Anschlüsse als vollständig kontinuierlich mit einem konstanten Trägheitsmoment betrachtet werden können;
- Bauteile ohne Schlaudern oder Bauteile mit Schlaudern, die, falls vorhanden, eine vollständige seitliche Stützung des freien Gurts an den Positionen der Schlaudern bieten.

Alternativ dürfen, mit Ausnahme von Kragsystemen, die folgenden Werte nach Gleichung (11.14) und Gleichung (11.15) verwendet werden:

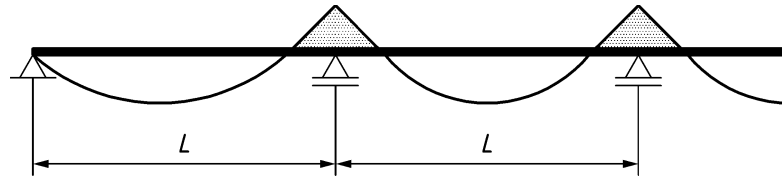
- bei Auflast:

$$\eta_1 = 0,75 \text{ und } \eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 0; \quad (11.14)$$

— bei abhebender Last:

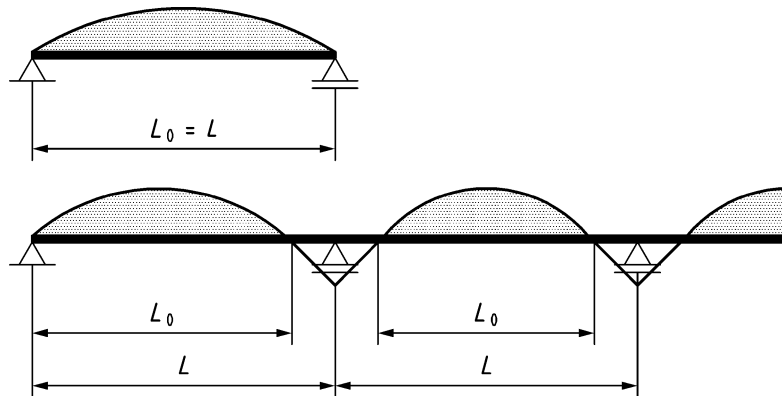
$$\eta_1 = 0,95 \text{ und } \eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 0. \quad (11.15)$$

Bei überlappten oder gekoppelten Anschlüssen sollte die Knicklänge des freien Gurts unter Berücksichtigung der möglichen Auswirkung einer reduzierten Durchlaufwirkung auf die Biegemomentenverteilung in den Bauteilen bestimmt werden.



ANMERKUNG Die gepunkteten Flächen zeigen die druckbeanspruchten Bereiche.

**Bild 11.3 — Veränderliche Druckspannung im freien Gurt bei Auflast**



ANMERKUNG Die gepunkteten Flächen zeigen die druckbeanspruchten Bereiche.

**Bild 11.4 — Veränderliche Druckspannung im freien Gurt bei abhebender Last**

**Tabelle 11.4 — Koeffizient  $\eta_i$  bei Auflast mit 0, 1, 2, 3 oder 4 Schlaudern**

Position	Anzahl der Schlaudern	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\eta_4$
Endfeld	0	0,414	1,72	1,11	-0,178
Innenfeld		0,657	8,17	2,22	-0,107
Endfeld	1	0,515	1,26	0,868	-0,242
Innenfeld		0,596	2,33	1,15	-0,192
Endfeld und Innenfeld	2	0,596	2,33	1,15	-0,192
Endfeld und Innenfeld	3 und 4	0,694	5,45	1,27	-0,168

Tabelle 11.5 — Koeffizient  $\eta_i$  bei abhebender Last mit 0, 1, 2, 3 oder 4 Schlaudern

Position	Anzahl der Schlaudern	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\eta_4$
Einfeld	0	0,694	5,45	1,27	-0,168
Endfeld		0,515	1,26	0,868	-0,242
Innenfeld		0,306	0,232	0,742	-0,279
Einfeld und Endfeld	1	0,800	6,75	1,49	-0,155
Innenfeld		0,515	1,26	0,868	-0,242
Einfeld	2	0,902	8,55	2,18	-0,111
Endfeld und Innenfeld		0,800	6,75	1,49	-0,155
Einfeld und Endfeld	3 und 4	0,902	8,55	2,18	-0,111
Innenfeld		0,800	6,75	1,49	-0,155

### 11.1.5 Steifigkeit der Querbettung am freien Gurt eines Bauteils

(1) Die teilweise seitliche Stützung des freien Gurtes eines Bauteils durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente sollte als seitliche Wegfeder modelliert werden, die am freien Gurt wirkt, siehe Tabelle 11.1. Der Gesamtwert der horizontalen Steifigkeit  $K$  je Längeneinheit sollte mit Gleichung (11.16) bestimmt werden:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_A} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C} \quad (11.16)$$

Dabei ist

$K_A$  die horizontale Steifigkeit infolge der Rotationssteifigkeit des Anschlusses zwischen Profiltafel, Kassettenprofil oder Sandwichelement und dem Bauteil;

$K_B$  die horizontale Steifigkeit infolge der Profilverformung des Bauteils;

$K_C$  die horizontale Steifigkeit infolge der Biegesteifigkeit der Profiltafeln.

(2) Der Ausdruck  $1/K_C$  in Gleichung (11.16) darf entfallen.

(3) Der Wert von  $K$  sollte mit Gleichung (11.17) ermittelt werden:

$$\frac{1}{K} = \frac{h_w^2}{C_D} = \frac{h_w^2}{C_{D,A}} + \frac{h_w^2}{C_{D,B}} + \frac{h_w^2}{C_{D,C}} \quad (11.17)$$

Dabei ist/sind

$C_{D,A}$ ,  $C_{D,B}$ ,  $C_{D,C}$  die Rotationssteifigkeiten nach 11.4.2;

$h_w$  die zwischen den Mittellinien der Gurte gemessene Steghöhe des Querschnitts, siehe Bild 11.5.

(4) Die Rotationssteifigkeit  $C_{D,B}$  infolge der Profilverformung eines Bauteils darf mit Gleichung (11.18) bestimmt werden:

$$\frac{h_w^2}{C_{D,B}} = \frac{4 h_w^2 (1 - \nu^2) (h_d + b_{\text{mod}})}{E t^3} \quad (11.18)$$

dabei wird die Abmessung  $b_{\text{mod}}$  wie folgt bestimmt:

— wenn die äquivalente horizontale Last  $q_{h,Ed}$  einen Kontakt von Bauteil und Profiltafel an der Steg-Gurt-Verbindung des Bauteils erzeugt:

$$b_{\text{mod}} = a_{fp} \quad (11.19)$$

— wenn die äquivalente horizontale Last  $q_{h,Ed}$  einen Kontakt von Bauteil und Profiltafel am Gurtende oder an der Gurt-Randsteifen-Verbindung des Bauteils erzeugt:

$$b_{\text{mod}} = 2 a_{fp} + b \quad (11.20)$$

Dabei ist

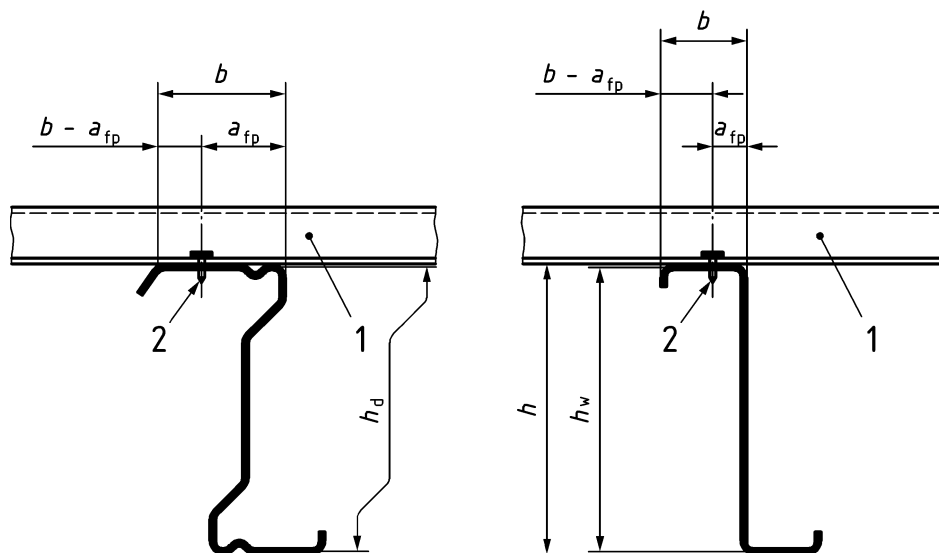
$t$  die Dicke des Bauteils;

$a_{fp}$  der Abstand vom Verbindungselement zwischen Profiltafel und Bauteil zum Steg des Bauteils, siehe Bild 11.5;

$b$  die Breite des an der Profiltafel befestigten Bauteilgurtes, siehe Bild 11.5;

$h_w$  die zwischen den Mittellinien der Gurte gemessene Steghöhe des Bauteils, siehe Bild 11.5;

$h_d$  die zwischen den Mittellinien der Gurte gemessene, abgewinkelte Länge des Bauteilstegs, siehe Bild 11.5.



#### Legende

- 1 Profiltafel
- 2 Verbindungselement

**Bild 11.5 — Bauteil und angeschlossene Profiltafel**

### 11.1.6 Kräfte in den Verbindungselementen eines Profiltafel-Bauteil-Anschlusses und Reaktionskräfte

(1) Verbindungselemente zum Anschluss von Profiltafel und Bauteil sollten für eine gleichzeitige Beanspruchung aus einer Querlast  $q_s$   $e$  senkrecht zur Bauteilachse und einer Zugkraft  $q_t$   $e$  nachgewiesen werden, wobei  $q_s$  und  $q_t$  nach Tabelle 11.6 berechnet werden dürfen und  $e$  der Abstand der Verbindungselemente ist. Die Querlast, die durch Stabilitätseffekte hervorgerufen wird, sollte zur Querlast  $q_s$   $e$  addiert werden, siehe EN 1993-1-1. Weiterhin sollten Querlasten infolge der Schubfeldwirkung in Bauteillängsrichtung vektoriell zu  $q_s$   $e$  addiert werden.

Tabelle 11.6 — Quer- und Zugbeanspruchung im Verbindungselement

Bauteil und Belastung	Querbeanspruchung je Längeneinheit $q_s$	Zugbeanspruchung je Längeneinheit $q_t$
Z-Profil, Auflast	$(1 + \xi) k_h q_{Ed}$ darf mit 0 angesetzt werden	0
Z-Profil, abhebende Last	$(1 + \xi) k_h q_{Ed}$	$ \xi k_h q_{Ed} h/a_{fp}  + q_{Ed}$ mit $(a_{fp} \cong b/2)$
C-Profil, Auflast	$(1 - \xi) k_h q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed} h/a_{fp}$
C-Profil, abhebende Last	$(1 - \xi) k_h q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed} h/(b - a_{fp}) + q_{Ed}$
mit $\xi$ Faktor nach (4) $k_h$ Koeffizient für die äquivalente horizontale Last nach Tabelle 11.2 $a_{fp}$ siehe Bild 11.5		

(2) Die Verbindungselemente, die die Bauteile mit den Auflagern verbinden, sollten für die Reaktionskräfte  $R_w$  in der Stegeebene und für die quergerichteten Reaktionskräfte  $F_{R1}$  und  $F_{R2}$  in den Gurtebenen nachgewiesen werden, siehe Bild 11.6. Die Kräfte  $F_{R1}$  und  $F_{R2}$  können mit Hilfe von Tabelle 11.7 berechnet werden. Bei geneigten Dächern sollte die Kraft  $F_{R2}$  auch parallel zum Dach wirkende Kräfte einschließen.  $F_{R2}$  sollte aus der Profiltafel in den Bauteilobergurt und von dort über eine Bauteil-/Hauptträger-Verbindung (z. B. mittels Pfettenschuh) auf den Hauptträger übertragen werden. Die Reaktionskräfte an einem Zwischenaufleger von durchlaufenden Bauteilen können mit dem 2,2-fachen der Werte in Tabelle 11.7 angesetzt werden.

ANMERKUNG 1 Bei geneigten Dächern werden vertikale Lasten in eine Komponente, die senkrecht zum Dach als Querbelastung auf die Bauteile wirkt, und in eine Komponente, die in der Dachebene wirkt, aufgeteilt.

ANMERKUNG 2 Ist  $F_{R1}$  positiv, wird das Verbindungselement nicht auf Zug beansprucht.

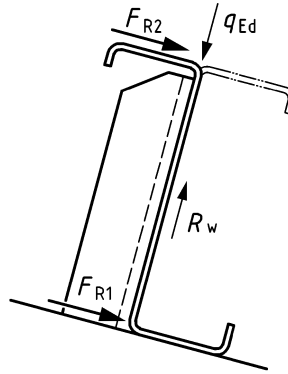


Bild 11.6 — Reaktionskräfte am Auflager

Tabelle 11.7 — Reaktionskraft am Auflager bei gelenkig gelagerten Bauteilen

Bauteil und Belastung	Auflagerkraft am Untergurt $F_{R1}$	Auflagerkraft am Obergurt $F_{R2}$
Z-Profil, Auflast	$(1 - \zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$(1 + \zeta)k_h q_{Ed} L/2$
Z-Profil, abhebende Last	$-(1 - \zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1 + \zeta)k_h q_{Ed} L/2$
C-Profil, Auflast	$(1 - \zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1 - \zeta)k_h q_{Ed} L/2$
C-Profil, abhebende Last	$-(1 - \zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$(1 - \zeta)k_h q_{Ed} L/2$
mit		
$\zeta$ Faktor nach (3)		
$k_h$ Koeffizient für die äquivalente horizontale Last nach Tabelle 11.2		
$L$ Bauteillänge		

(3) Der Faktor  $\zeta$  kann nach Gleichung (11.21) angesetzt werden:

$$\zeta = 1 - \sqrt[3]{\kappa_R^2} \quad (11.21)$$

Dabei ist

$\kappa_R$  ein Korrekturfaktor nach Tabelle 11.3.

(4) Der Faktor  $\xi$  kann nach Gleichung (11.22) angesetzt werden:

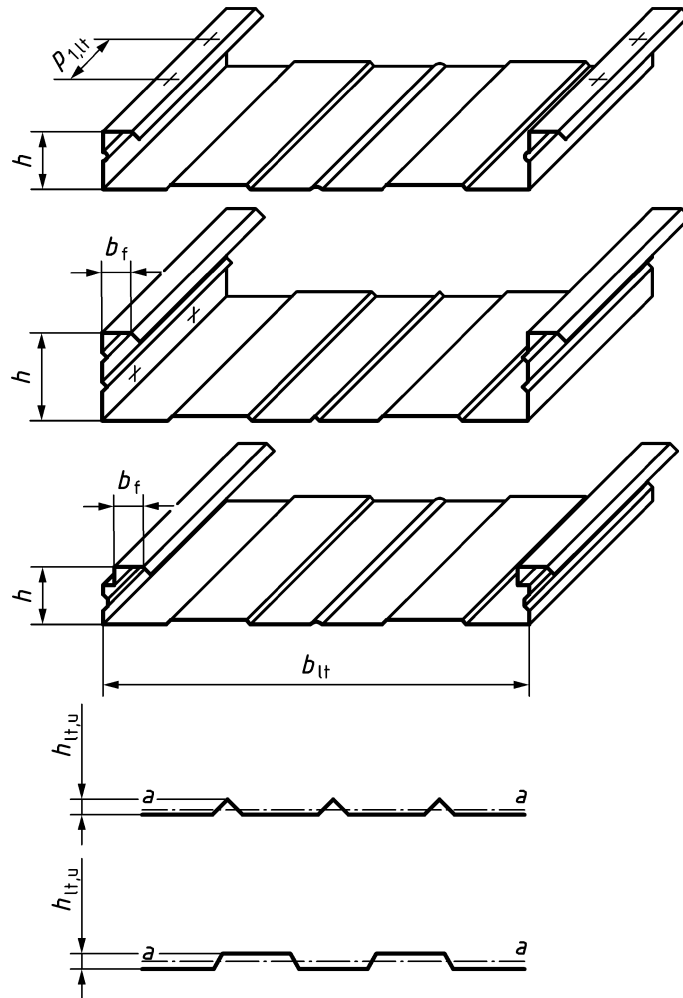
$$\xi = 0,67 \zeta \quad (11.22)$$

## 11.2 Kassettenprofile mit Aussteifung durch Profiltafeln

### 11.2.1 Allgemeines

(1) Die beiden schmalen Gurte von Kassettenprofilen sollten durch angeschlossene Stahlprofiltafeln, Bauteile oder andere ähnliche Komponenten seitlich gestützt werden.

ANMERKUNG Kassettenprofile sind große C-förmige Querschnitte mit zwei Stegen, zwei schmalen Gurten auf einer Seite und einem breiten Gurt auf der anderen Seite, wie in Bild 11.7 allgemein dargestellt.



**Bild 11.7 — Typische Geometrie von Kassettenprofilen**

(2) Die Beanspruchbarkeit der Stege von Kassettenprofilen unter Querkraftbeanspruchung und unter örtlichen Querbelastungen sollte nach 8.1.5 bis 8.1.11 ermittelt werden, jedoch mit dem Bemessungswert  $M_{lt,c,Rd}$  nach (3) oder (4).

(3) Der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit  $M_{lt,c,Rd}$  von Kassettenprofilen darf nach 11.2.2 ermittelt werden, wenn:

- die Abmessungen in den Grenzen der Tabelle 11.8 liegen;
- die Höhe  $h_{lt,u}$  der Sicken im breiten Gurt nicht das Maß  $h/8$  überschreitet, wobei  $h$  die Gesamthöhe des Kassettenprofils ist.

**Tabelle 11.8 — Gültigkeitsbereich der Festlegungen in 11.2.2**

0,75 mm	≤	$t_{\text{nom}}$	≤	1,5 mm
30 mm	≤	$b_f$	≤	60 mm
60 mm	≤	$h$	≤	200 mm
300 mm	≤	$b_{1t}$	≤	600 mm
		$I_{t,a}/b_{1t}$	≤	10 mm <sup>4</sup> /mm
		$p_{1,t}$	≤	2 000 mm

(4) Alternativ darf die Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Kassettenprofils durch Versuche bestimmt werden, vorausgesetzt, dass das örtliche Tragverhalten des Kassettenprofils nicht durch den Versuchsaufbau beeinflusst wird.

ANMERKUNG Anhang A enthält geeignete Prüfverfahren.

## 11.2.2 Biegemomentenbeanspruchbarkeit

### 11.2.2.1 Druckbeanspruchung im breiten Gurt

(1) Die Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Kassettenprofils mit Druckbeanspruchung im breiten Gurt sollte mit dem schrittweisen Verfahren nach Bild 11.8 bestimmt werden:

- **Schritt 1:** Bestimmung der wirksamen Flächen aller druckbeanspruchten Querschnittsteile auf der Grundlage des Spannungsverhältnisses  $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ , das mit den wirksamen Breiten der Druckgurte und der Bruttoquerschnittsfläche der Stege ermittelt wird, siehe 7.6;
- **Schritt 2:** Ermittlung des Schwerpunkts des wirksamen Querschnittes und Bestimmung des Bemessungswerts der Biegemomentenbeanspruchbarkeit  $M_{1t,c,Rd}$  mit Gleichung (11.23):

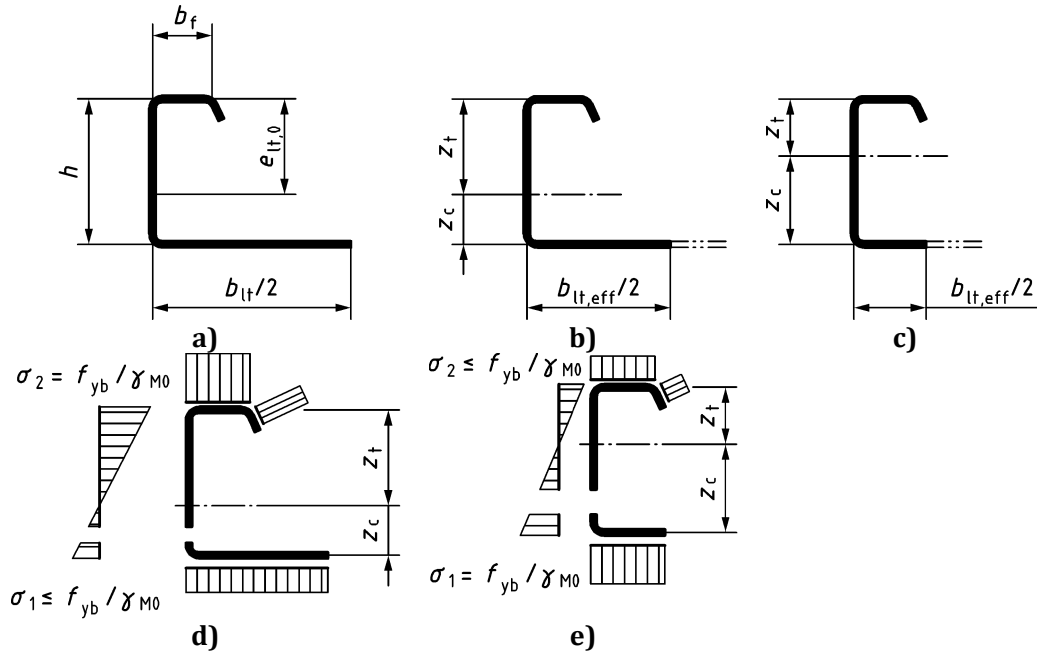
$$M_{1t,c,Rd} = 0,8 W_{\text{eff,min}} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (11.23)$$

mit

$$W_{\text{eff,min}} = I_{y,\text{eff}}/z_c \text{ aber } W_{\text{eff,min}} \leq I_{y,\text{eff}}/z_t; \quad (11.24)$$

Dabei sind

$z_c$  und  $z_t$  wie in Bild 11.8 dargestellt.



**Legende**

- a) Bruttoquerschnitt des Kassettenprofils (eine Hälfte)
- b) Querschnitt mit einer großen wirksamen Teilfläche im breiten Gurt (Schritt 1)
- c) Querschnitt mit einer geringen wirksamen Teilfläche im breiten Gurt (Schritt 1)
- d) effektiver Querschnitt des Kassettenprofils mit großer wirksamer Teilfläche im breiten Gurt und entsprechenden Biegespannungen (Schritt 2)
- e) effektiver Querschnitt des Kassettenprofils mit geringer wirksamer Teilfläche im breiten Gurt und entsprechenden Biegespannungen (Schritt 2)

**Bild 11.8 — Bestimmung der Biegemomentebeanspruchbarkeit bei Druckbeanspruchung im breiten Gurt**

**11.2.2.2 Zugbeanspruchung im breiten Gurt**

(1) Die Biegemomentebeanspruchbarkeit eines Kassettenprofils mit Zugbeanspruchung im breiten Gurt sollte mit dem schrittweisen Verfahren nach Bild 11.9 bestimmt werden:

- **Schritt 1:** Bestimmung des Schwerpunkts des Bruttoquerschnitts;
- **Schritt 2:** Ermittlung der wirksamen Breite des breiten Gurtes  $b_{lt,eff,curl}$  unter Berücksichtigung der möglichen Eindrehung des Gurtes mit Gleichung (11.25):

$$b_{lt,eff,curl} = \frac{53,3 \cdot 10^{10} e_{lt,0}^2 t^3 t_{lt,eq}}{h L b_{lt}^3} \tag{11.25}$$

Dabei ist

- $b_{lt}$  die Gesamtbreite des breiten Gurtes;
- $e_{lt,0}$  der Abstand von der Schwerachse des Bruttoquerschnittes bis zur Mittellinie der schmalen Gurte;
- $h$  die Gesamthöhe des Kassettenprofils;
- $L$  die Spannweite des Kassettenprofils;
- $t_{lt,eq}$  die äquivalente Dicke des breiten Gurtes mit:

$$t_{lt,eq} = (12 I_{lt,a}/b_{lt})^{1/3} \quad (11.26)$$

$I_{lt,a}$  das Trägheitsmoment des breiten Gurts um seine eigene Schwerachse  $a-a$  parallel zum breiten Gurt, wie in Bild 11.7 dargestellt.

- **Schritt 3:** Bestimmung der wirksamen Flächen aller druckbeanspruchten Querschnittsteile auf der Grundlage des Spannungsverhältnisses  $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ , das mit den wirksamen Gurtbreiten und der Bruttoquerschnittsfläche der Stege ermittelt wird, siehe 7.6;
- **Schritt 4:** Ermittlung des Schwerpunktes des wirksamen Querschnittes und Bestimmung des Bemessungswerts der Biegemomentenbeanspruchbarkeit  $M_{lt,t,Rd}$  mit Gleichung (11.27):

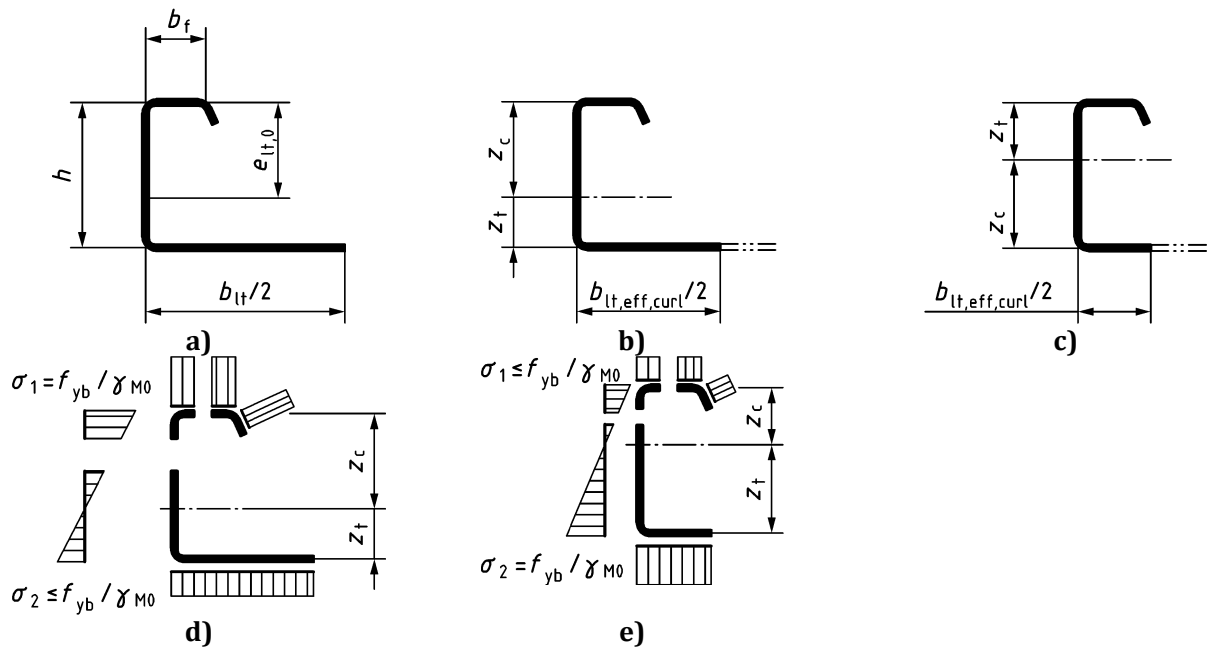
$$M_{lt,t,Rd} = 0,8 \beta_{lt} W_{eff,com} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{aber} \quad M_{lt,t,Rd} = 0,8 W_{eff,t} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (11.27)$$

mit

$$W_{eff,com} = I_{y,eff}/z_c$$

$$W_{eff,t} = I_{y,eff}/z_t$$

$\beta_{lt}$  der Korrelationsfaktor nach 11.2.2.4



#### Legende

- Bruttoquerschnitt des Kassettenprofils (eine Hälfte)
- Querschnitt mit einer großen wirksamen Teilfläche im breiten Gurt (Schritt 1)
- Querschnitt mit einer geringen wirksamen Teilfläche im breiten Gurt (Schritt 1)
- effektiver Querschnitt des Kassettenprofils mit großer wirksamer Teilfläche im breiten Gurt und entsprechenden Biegespannungen (Schritt 2)
- effektiver Querschnitt des Kassettenprofils mit geringer wirksamer Teilfläche im breiten Gurt und entsprechenden Biegespannungen (Schritt 2)

**Bild 11.9 — Bestimmung der Biegemomentenbeanspruchbarkeit bei Zugbeanspruchung im breiten Gurt**

(2) Die Einflüsse von Schubverzerrungen dürfen vernachlässigt werden, wenn  $L/b_{lt,eff} \geq 25$ . Andernfalls sollte ein reduzierter Wert von  $\rho$  nach 8.1.4.3(1) bestimmt werden.

(3) Das Eindrehen der Gurte darf bei der Bestimmung der Durchbiegungen in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit vernachlässigt werden.

(4) Vereinfachend darf die Biegemomentenbeanspruchbarkeit von Kassettenprofilen mit unausgesteiftem, breitem Gurt näherungsweise bestimmt werden, indem für den breiten Gurt unter Zugbeanspruchung die gleiche wirksame Fläche wie für die beiden schmalen Gurte unter Druckbeanspruchung zusammen angesetzt wird.

### 11.2.2.3 Stabilitätsversagen der schmalen Gurte

(1) Der Korrelationsfaktor  $\beta_{lt}$ , der die Reduktion der Beanspruchbarkeit infolge des Stabilitätsversagens der druckbeanspruchten schmalen Gurte erfasst, sollte nach (2) bis (4) ermittelt werden.

ANMERKUNG Die Biegemomentenbeanspruchbarkeit von Kassettenprofilen mit Zugbeanspruchung im breiten Gurt wird durch die Instabilität der schmalen Gurte begrenzt. Die schmalen Gurte werden durch die Verbindung des Kassettenprofils mit der äußeren Wandbekleidung gegen seitliches Ausknicken stabilisiert. Der Längsabstand der Verbindungselemente  $p_{1,lt}$  legt die Knicklänge des druckbeanspruchten schmalen Gurts fest.

(2) Bei einem Längsabstand  $p_{1,lt} \leq 300$  mm darf der Korrelationsfaktor  $\beta_{lt}$  gleich 1,0 gesetzt werden.

(3) Bei einem Längsabstand  $300 \text{ mm} < p_{1,lt} \leq 1\,000$  mm darf der Korrelationsfaktor  $\beta_{lt}$  konservativ mit Gleichung (11.28) berechnet werden:

$$\beta_{lt} = 1,15 - \frac{p_{1,lt}}{2\,000} \quad (11.28)$$

Dabei ist

$p_{1,lt}$  der Achsabstand der Verbindungselemente in Längsrichtung, durch die eine seitliche Stützung der schmalen Gurte erfolgt, in [mm], siehe Bild 11.7.

(4) Bei einem Längsabstand  $300 \text{ mm} < p_{1,lt} \leq 2\,000$  mm darf der Korrelationsfaktor  $\beta_{lt}$  nach Gleichung (11.29) angesetzt werden:

$$\beta_{lt} = \frac{N_{b,Rk,1}}{N_{b,Rk,ref}} \quad (11.29)$$

Dabei ist

$N_{b,Rk,ref}$  der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken des schmalen Gurts eines Kassettenprofils, berechnet für eine Knicklänge  $L_{cr} = p_{1,lt,ref} = 300$  mm;

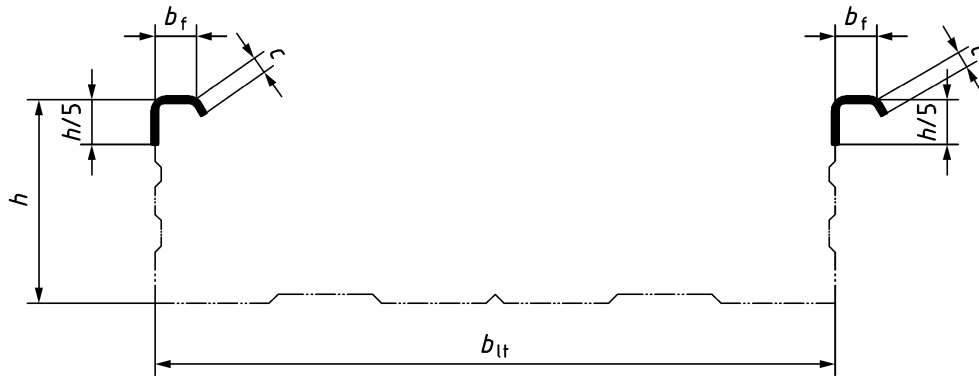
$N_{b,Rk,1}$  der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken des schmalen Gurts eines Kassettenprofils, berechnet für eine Knicklänge  $L_{cr} = p_{1,lt}$ ;

$p_{1,lt}$  der Achsabstand der Verbindungselemente in Längsrichtung, durch die eine seitliche Stützung der schmalen Gurte erfolgt, siehe Bild 11.7.

ANMERKUNG Gleichung (11.29) kann auch dazu verwendet werden, Versuchsergebnisse für unterschiedliche Längsabstände von Verbindungselementen anzupassen. In diesem Fall entspricht  $p_{1,lt,ref}$  dem Längsabstand der Verbindungselemente entsprechend der Versuche.

(5) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des druckbeanspruchten schmalen Gurts eines Kassettenprofils auf Biegeknicken sollte unter Anwendung des folgenden schrittweisen Verfahrens für  $N_{b,Rk,ref}$  und  $N_{b,Rk,1}$  bestimmt werden:

- **Schritt 1:** Bestimmung des Bruttoquerschnitts des druckbeanspruchten schmalen Gurts, der aus dem schmalen Gurt, der Randsteife und 1/5 des Stegs besteht, wie in Bild 11.10 dargestellt.

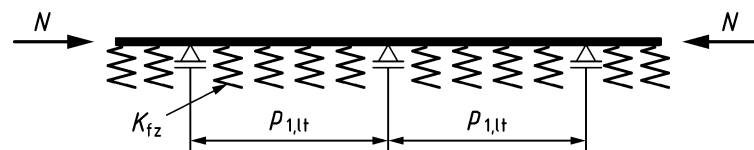


**Bild 11.10 — Festlegung der Bruttoquerschnitte der druckbeanspruchten schmalen Gurte**

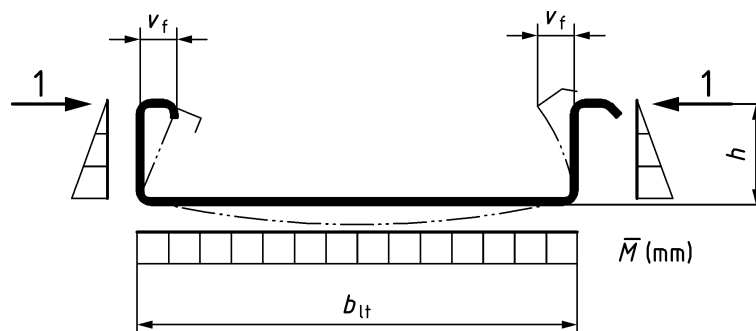
Falls die Breiten der beiden schmalen Gurte eines Kassettenprofils voneinander abweichen, sind getrennte Berechnungen für jeden Gurt, unter Verwendung des Faktors  $\beta_{lt}$  auf Grundlage der Mittelwerte für  $N_{b,Rk,ref}$  und  $N_{b,Rk,1}$ , erforderlich.

- **Schritt 2:** Ermittlung des wirksamen Querschnitts des schmalen Gurts nach dem Verfahren in 7.6.3.3 mit einer Federsteifigkeit  $K_{st,1}$  nach Gleichung (7.17), berechnet für einen Koeffizient  $k_{if} = 0$ .
- **Schritt 3:** Ermittlung der elastischen idealen Verzweigungslast  $N_{cr}$  des Gurts, unter Verwendung des mechanischen Modells eines elastisch gebetteten Bauteils (Bild 11.11), mit der Federsteifigkeit  $K_{fz}$  (siehe Bild 11.12) nach Gleichung (11.30):

$$K_{fz} = \frac{Et^3}{4(1 - \nu^2)(h^3 + 1,5h^2b_{lt})} \quad (11.30)$$



**Bild 11.11 — Mechanisches Modell für den druckbeanspruchten schmalen Gurt**



**Bild 11.12 — Mechanisches Modell zur Berechnung der Federsteifigkeit  $K_{fz}$**

ANMERKUNG Siehe CEN/TR 1993-1-103<sup>3</sup> zur elastischen idealen Verzweigungslast eines elastisch gebetteten Bauteils. Alternativ kann die elastische ideale Verzweigungslast unter Verwendung von  $I_{fz}'$  nach 11.1.4.2.(2) berechnet werden.

— **Schritt 4:** Ermittlung des charakteristischen Werts der Beanspruchbarkeit  $N_{b,Rk}$  des Gurts auf Biegeknicke nach EN 1993-1-1 nach dem Verfahren in 11.1.4.2.

#### 11.2.2.4 Trägheitsmoment für die Berechnung von Durchbiegungen

(1) Der wirksame Querschnitt zur Berechnung von Durchbiegungen darf mit den Verfahren nach 11.2.2.1 und 11.2.2.2 berechnet werden, wobei jedoch  $f_{yb}$  durch  $f_{yb}/1,50$  ersetzt wird.

### 11.3 Besondere Angaben für Profiltafeln

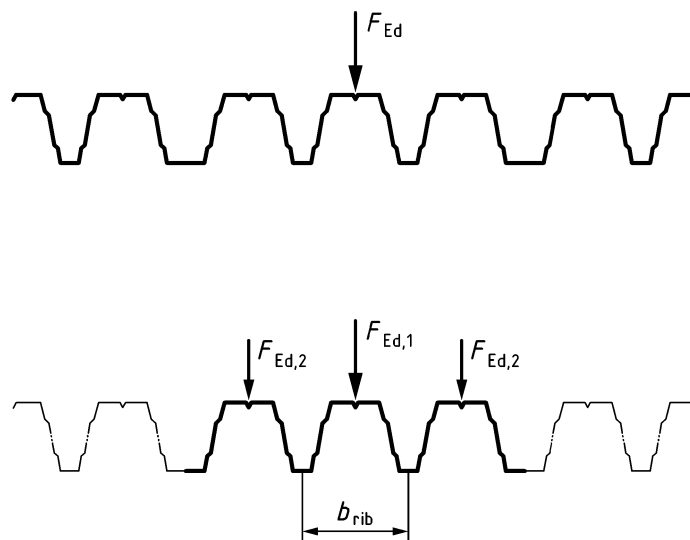
#### 11.3.1 Streckenlast oder Einzellast auf Trapezprofilen

##### 11.3.1.1 Allgemeines

(1) Beim Nachweis der Beanspruchbarkeit von Trapezprofilen unter Querbelastungen nach 8.1.6 sollte im Fall von Einzellasten oder Streckenlasten die Art der Lastverteilung senkrecht zur Spannrichtung berücksichtigt werden, wobei zwischen der direkten Belastung von einer oder zwei angrenzenden Rippen (direkte Lasteinleitung) und der indirekten Lasteinleitung (d. h. Belastung über tragende Zwischensysteme) unterschieden wird.

##### 11.3.1.2 Direkte Lasteinleitung ohne tragende Zwischensysteme

(1) Sofern nicht eine genauere Berechnung durchgeführt wird, dürfen konzentrierte Lasten  $F_{Ed}$ , die auf eine oder zwei angrenzende Rippen einer Profiltafel in einem Abstand  $x \leq L/2$  vom Auflager aufgebracht werden, als verteilte Lasten angenommen werden, wie in Bild 11.13 dargestellt, wenn die Last über mindestens zwei Stege eingeleitet wird und die Breite der Belastung in Spannrichtung mindestens 50 mm beträgt.



#### Legende

$F_{Ed}$  aufgebrachte Last  
 $F_{Ed,1}, F_{Ed,2}$  angenommene Lastverteilung

**Bild 11.13 — Lastverteilung ohne lastverteilende Zwischensysteme**

3 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung prCEN/TR 1993-1-103.

(2) Für den Nachweis der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der Trapezprofile sollte der zusätzliche Lastanteil in jeder Rippe  $F_{\text{rib,Ed}}$  mit Gleichung (11.31) angesetzt werden:

$$F_{\text{rib,Ed}} = \frac{k_{\text{ld},i}}{100} \cdot F_{\text{Ed},i} \quad (11.31)$$

Dabei ist

$k_{\text{ld},i}$  der Lastausbreitungskoeffizient nach Tabelle 11.9;

$F_{\text{Ed},i}$  die eingeleitete Last im Fall direkter Lasteinleitung, siehe Bild 11.13.

(3) Zusätzlich sollte die Beanspruchbarkeit auf Stegkrüppeln überprüft werden.

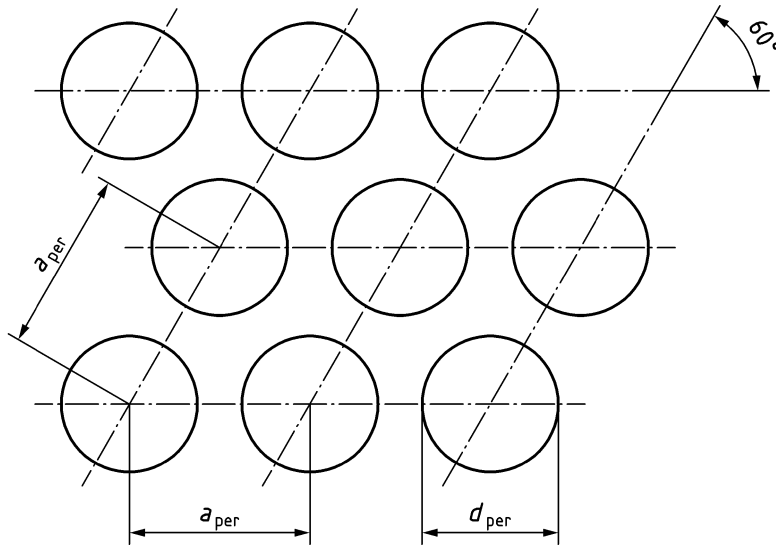
**Tabelle 11.9 — Lastausbreitung ohne lastverteilende Zwischensysteme**

Lastverteilung	Belastete Rippe	Angrenzende Rippe
	$k_{\text{ld},1}$ %	$k_{\text{ld},2}$ %
Beidseitig (Innenliegende Rippe)	$(352 - 0,8 b_{\text{rib}}) \left( \frac{x}{L_{\text{span}}} - 0,5 \right)^2 + (12 + 0,2 b_{\text{rib}})$	$(44 - 0,1 b_{\text{rib}}) \left( 1 - 4 \left( \frac{x}{L_{\text{span}}} - 0,5 \right)^2 \right)$
Einseitig (Randrippe)	$(240 - 0,6 b_{\text{rib}}) \left( \frac{x}{L_{\text{span}}} - 0,5 \right)^2 + (40 + 0,15 b_{\text{rib}})$	$(60 - 0,15 b_{\text{rib}}) \left( 1 - 4 \left( \frac{x}{L_{\text{span}}} - 0,5 \right)^2 \right)$
<p>Dabei ist</p> <p><math>L_{\text{span}}</math> die Stützweite der Profiltafel;</p> <p><math>x</math> der Abstand zwischen der Einzellast und dem angrenzenden Auflager;</p> <p><math>b_{\text{rib}}</math> die Rippenbreite, in [mm].</p>		

### 11.3.2 Perforierte Profiltafeln

(1) Perforierte Profiltafeln mit Lochanordnungen in Form gleichseitiger Dreiecke, wie in Bild 11.14 dargestellt, dürfen rechnerisch nachgewiesen werden, wenn die Regeln für nicht-perforierte Profiltafeln durch Einführung einer äquivalenten Dicke für die perforierten Bereiche der Profiltafeln, wie nachfolgend angegeben, modifiziert werden.

**ANMERKUNG** Diese Bemessungsregeln liefern eher konservative Werte. Für wirtschaftlichere Lösungen kann eine versuchsgestützte Bemessung nach Abschnitt 12 und Anhang A durchgeführt werden.



**Bild 11.14 — Perforierte Profiltafeln mit Lochanordnung in Form gleichseitiger Dreiecke**

(2) Wenn  $0,2 \leq d_{\text{per}}/a_{\text{per}} \leq 0,9$  ist, dürfen die Querschnittswerte des Bruttoquerschnitts nach Abschnitt 7 berechnet werden, wobei jedoch  $t$  durch  $t_{\text{a,eq}}$  nach Gleichung (11.32) ersetzt wird:

$$t_{\text{a,eq}} = 1,18 t \left( 1 - \frac{d_{\text{per}}}{0,9 a_{\text{per}}} \right) \quad (11.32)$$

Dabei ist

$d_{\text{per}}$  der Durchmesser der Perforierung;

$a_{\text{per}}$  der Achsabstand der Perforierungen.

(3) Vorausgesetzt, dass  $0,2 \leq d_{\text{per}}/a_{\text{per}} \leq 0,9$ , dürfen die Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts nach Abschnitt 7 ermittelt werden, wobei jedoch  $t$  durch  $t_{\text{b,eq}}$  nach Gleichung (11.33) ersetzt wird:

$$t_{\text{b,eq}} = t \sqrt[3]{1,18 \left( 1 - \frac{d_{\text{per}}}{a_{\text{per}}} \right)} \quad (11.33)$$

(4) Die Beanspruchbarkeit eines einzelnen Steges mit örtlichen Querbelastungen darf nach 8.1.6 berechnet werden, wobei jedoch  $t$  durch  $t_{\text{c,eq}}$  nach Gleichung (11.34) ersetzt wird:

$$t_{\text{c,eq}} = t \left( 1 - \left( \frac{d_{\text{per}}}{a_{\text{per}}} \right)^2 \frac{s_{\text{per}}}{s_{\text{w}}} \right)^{3/2} \quad (11.34)$$

Dabei ist

$s_{\text{per}}$  die geneigte Höhe des perforierten Steganteils;

$s_{\text{w}}$  die geneigte Gesamthöhe des Steges.

### 11.3.3 Profiltafeln mit Öffnungen

(1) Öffnungen und Durchdringungen in Trapez- oder Wellprofilen müssen beim Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt und in der Bauzeichnung angegeben werden.

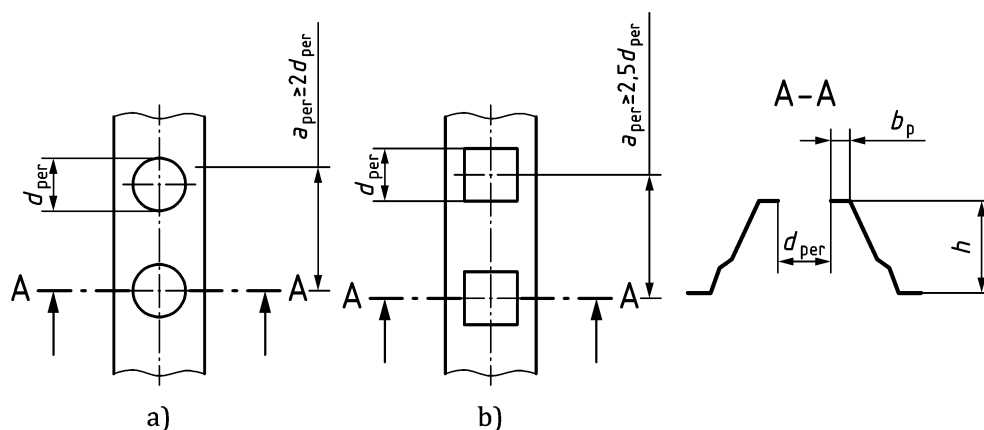
(2) Kreisförmige oder viereckige Öffnungen bis zu  $d_{\text{per}} = 125 \text{ mm}$  in einem Trapez- oder Wellprofil dürfen im Feldbereich (nur positive Momente) ohne zusätzliche statische Berechnung angeordnet werden, wenn ihr Abstand vom Endauflager oder von den Momentennullpunkten kleiner oder gleich 10 % der Spannweite ist, vorausgesetzt, dass:

- Öffnungen sich nur im Gurt befinden und die verbleibende Gurtbreite  $b_p \geq 0,2h$  beträgt;
- die Last gleichmäßig verteilt ist;
- Öffnungen mindestens im Abstand von vier Rippen auseinanderliegen, rechtwinklig zur Spannrichtung gemessen.

(3) Bei kreisförmigen oder viereckigen Öffnungen bis zu  $d_{\text{per}} = 125 \text{ mm}$  (siehe Bild 11.15) im Feldbereich eines Trapezprofils (nur positive Momente) sollte die wirksame Breite der an die Stege angrenzenden Gurteile bestimmt werden, wobei diese als einseitig gestützte Querschnittsteile mit der Breite  $b_p$  betrachtet werden (siehe Bild 11.15).

Der Gültigkeitsbereich ist wie folgt:

- Öffnungen befinden sich nur im Gurt und die verbleibende Gurtbreite beträgt  $b_p \geq 0,2h$ ;
- die Last ist gleichmäßig verteilt;
- Öffnungen liegen mindestens im Abstand von vier Rippen auseinander, rechtwinklig zur Spannrichtung gemessen;
- es gibt nicht mehr als zwei Löcher in einem Gurt, mit Mindestabständen nach Bild 11.15.



#### Legende

- a) Draufsicht des Obergurts mit kreisförmigen Löchern
- b) Draufsicht des Obergurts mit viereckigen Löchern

**Bild 11.15 — Profiltafel mit kreisförmigen a) oder viereckigen b) Löchern im Gurt**

(4) Bei Öffnungen im Bereich von 125 mm × 125 mm bis 300 mm × 300 mm im Feldbereich von Trapezprofilen (nur positive Momente) dürfen Auswechslungen (en: framing) unter den folgenden Bedingungen entfallen:

- a) die Öffnung sollte durch ein Abdeckblech mit einer Dicke  $t \geq 1,5t_{\text{sheet}} \geq 1,13$  mm nach Tabelle 11.10 verstärkt werden;
- b) die Profiltafel ist ausschließlich durch gleichmäßig verteilte Belastungen beansprucht;
- c) der durch die Öffnung geschwächte Querschnitt ist für das  $\alpha_{\text{per}}$ -fache des Bemessungswerts des Biegemoments nach Gleichung (11.35) bemessen:

$$\frac{\alpha_{\text{per}} M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}}} \leq 1 \quad (11.35)$$

Dabei ist

- $\alpha_{\text{per}}$  der Lastvergrößerungsfaktor, siehe Tabelle 11.11;
- d) der durch die Öffnung geschwächte Querschnitt ist für das  $\alpha_{\text{per}}$ -fache des Bemessungswerts der Querkraft bemessen, sinngemäß wie beim Nachweis nach (11.35);
  - e) es sollte nicht mehr als eine Öffnung je Meter rechtwinklig zur Spannweite der Profiltafel geben;
  - f) die Breite des Abdeckblechs sollte so gewählt werden, dass mindestens zwei Stege auf jeder Seite der Öffnung bedeckt sind, und sie sollte mindestens 600 mm betragen;
  - g) das Abdeckblech sollte an den Obergurten des Trapez- oder Wellprofils befestigt werden, wie in Tabelle 11.10 dargestellt.

(5) Auswechslungen von kreisförmigen oder viereckigen Öffnungen in Kassettenprofilen dürfen entfallen, wenn die Stege und mindestens 100 mm der an die Stege des Kassettenprofils angrenzenden Gurte erhalten bleiben. Der Abstand zwischen Öffnungen, zwischen ihren Innenrändern gemessen, sollte mindestens das Doppelte der Breite des breiten Gurts  $b_{\text{t}}$  der Kassettenprofile betragen.

(6) Verstärkungsmaßnahmen im Bereich der Öffnungen müssen so angebracht werden, dass die bestehende Profilgeometrie der Trapezprofile oder der Kassettenprofile nicht verändert wird – nicht einmal an den Befestigungspunkten des Verstärkungsbauteils. Die Verstärkungsbauteile müssen mindestens dieselben Anforderungen an den Korrosionsschutz erfüllen wie die angrenzenden Profiltafeln.

(7) Der Mindestdurchmesser von Blindnieten bei der Verbindung des Längsrandes einer Profiltafel, die an eine Öffnung in der Verlegetfläche angrenzt, beträgt 4 mm, der Mindestdurchmesser von Gewindeformschrauben 4,2 mm.

Tabelle 11.10 — Öffnungen in Profiltafeln, Befestigung von Abdeckblechen an Obergurten

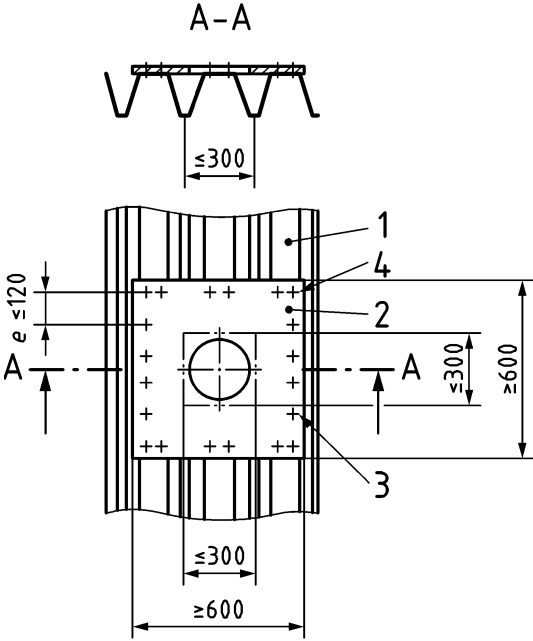
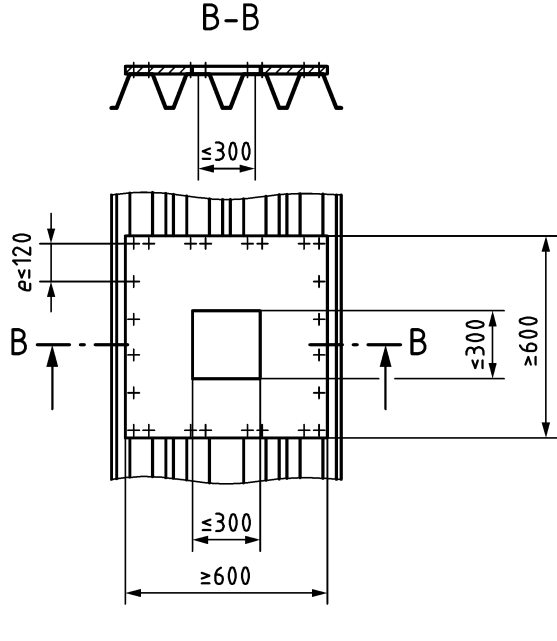
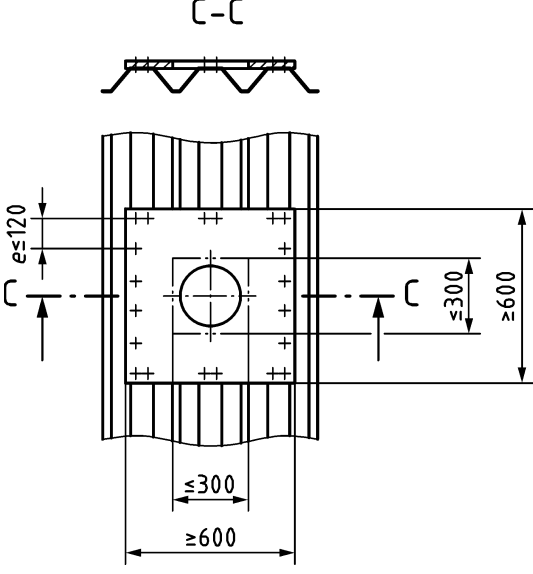
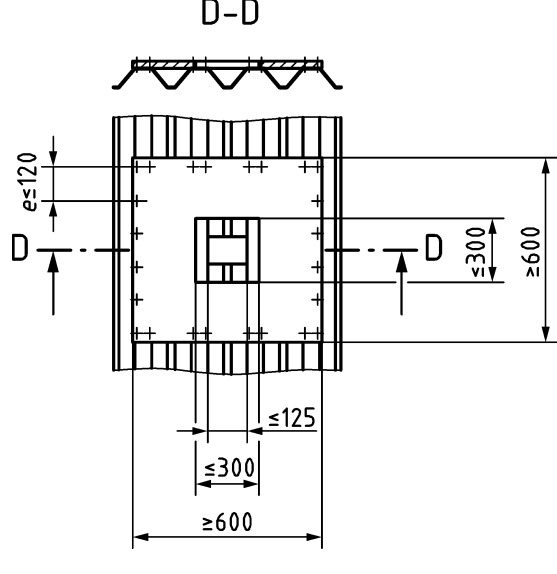
 <p><b>a) Geringer Rippenabstand</b> Nahezu mittig angeordnete Öffnung bezogen auf den Obergurt. Öffnung in der Profiltafel: 300 mm × 300 mm Abdeckblech mit kreisförmiger Öffnung.</p>	 <p><b>b) Geringer Rippenabstand</b> Nahezu mittig angeordnete Öffnung bezogen auf den Untergurt. Öffnung in der Profiltafel: 300 mm × 300 mm Abdeckblech mit rechteckiger Öffnung: 300 mm × 300 mm.</p>
 <p><b>c) Großer Rippenabstand</b> Nahezu mittig angeordnete Öffnung bezogen auf den Obergurt. Öffnung in der Profiltafel: 300 mm × 300 mm. Abdeckblech mit kreisförmiger Öffnung</p>	 <p><b>d) Großer Rippenabstand</b> Nahezu mittig angeordnete Öffnung bezogen auf den Untergurt. Öffnung in der Profiltafel: 125 mm × 125 mm (Bemessung basiert auf einer rechteckigen Öffnung im Abdeckblech von 300 mm × 300 mm).</p>

Tabelle 11.11 — Lastvergrößerungsfaktor  $\alpha_{per}$  bei Öffnungen in der Verlegefläche

Durchmesser der Öffnung $d_{per}$ mm	Lastvergrößerungsfaktor <sup>a</sup> $\alpha_{per}$
$\leq 200$	1,5
300	2,5

<sup>a</sup> Bei Durchmessern der Öffnung zwischen 200 mm und 300 mm darf der Wert  $\alpha_{per}$  linear interpoliert werden.

### 11.3.4 Trapezprofile mit Überdeckung am Auflager

#### 11.3.4.1 Momententragfähige Überdeckung

##### 11.3.4.1.1 Allgemeines

(1) Überdeckungen der Ränder von Profiltafeln dürfen nur im Bereich der Innenaullager von Durchlaufsystemen für die Übertragung von Biegemomenten ausgelegt werden. Die verschiedenen Überdeckungssysteme in Tabelle 11.12 dürfen nach 11.3.4.1 bis 11.3.4.5 bemessen werden.

Tabelle 11.12 — Statisches System von Profiltafeln mit Überdeckung

11.3.4.2	Einzelne Überdeckung mit überkragender unterer Profiltafel <b>SOL-L</b>	
11.3.4.3	Einzelne Überdeckung mit überkragender oberer Profiltafel <b>SOL-U</b>	
11.3.4.4	Doppelte Überdeckung <b>DOL</b>	
11.3.4.5	Durchlaufende Profiltafel mit Verstärkung oberhalb des Auflagers <b>CR</b>	

(2) Bei Profiltafeln, die dicker als 1,0 mm sind, dürfen je nach Querschnitt (z. B. steile Stege,  $\phi > 75^\circ$ , und flacher Untergurt, siehe Bild 11.16) ebene Bleche zwischen den Untergurten im Auflagerbereich eingefügt werden, um den Kontakt und die Lastverteilung an der Überdeckung zu fördern (siehe EN 1090-4).

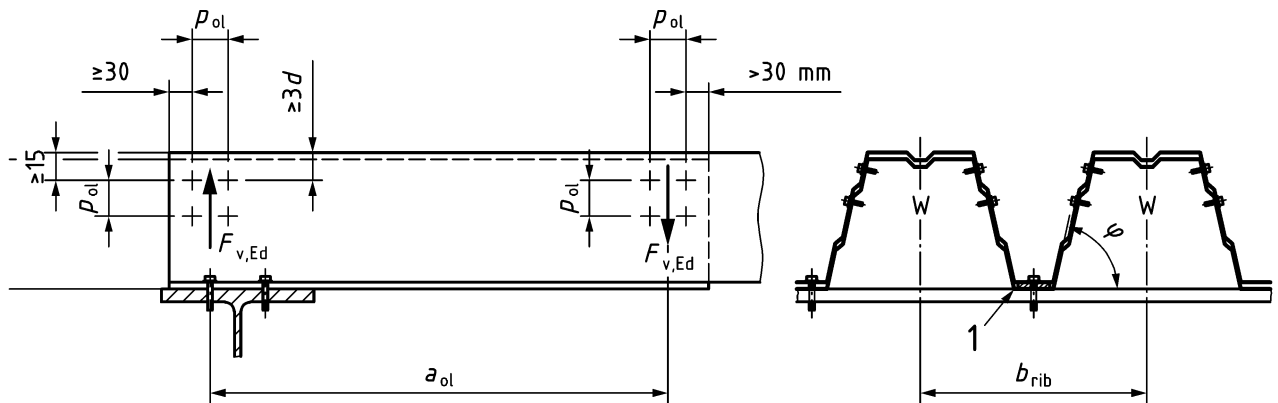
(3) Bei Profiltafeln mit teilweise perforiertem Steg sollten die Verbindungselemente in den nicht perforierten Bereichen des Stegs angeordnet werden.

(4) Überdeckungen von Kassettenprofilen dürfen nicht zur Übertragung von Biegemomenten angesetzt werden.

#### 11.3.4.1.2 Durchlaufende Profiltafeln mit Überdeckung und Verbindungselementen im Steg

(1) Profiltafeln mit Überdeckungen dürfen als durchlaufend angesehen werden, wenn die Überdeckungslänge  $a_{ol}$  mindestens  $0,08L$  beträgt, die Verbindungselemente wie in Bild 11.16 dargestellt angeordnet sind und die benachbarten Stützweiten etwa gleich lang sind.

(2) Für die Verbindungselemente sollten die Grenzwerte zu Randabständen und Achsabständen nach Bild 11.16 gelten.



mit:  $4d \leq p_{ol} \leq 10d$   
 $p_{ol} \geq 40 \text{ mm}$

#### Legende

1 Unterlegscheibe aus Flachblech

Bild 11.16 — Trapezprofil mit einzelner Überdeckung am Auflager

(3) Mindestens zwei Verbindungselemente sollten in jeder senkrechten Reihe angrenzend zum freien Rand der oberen Profiltafel angeordnet werden.

#### 11.3.4.1.3 Statisches System zur Berücksichtigung von Verformungen in den Überdeckungen und den Verbindungen

(1) Für die Berechnung sollte ein statisches System nach Bild 11.17 verwendet werden, wobei die Verbindungselemente als Federn mit der Federkonstante  $K_{ol,f}$  oder  $K_{ol,w}$  nach (4) modelliert werden.

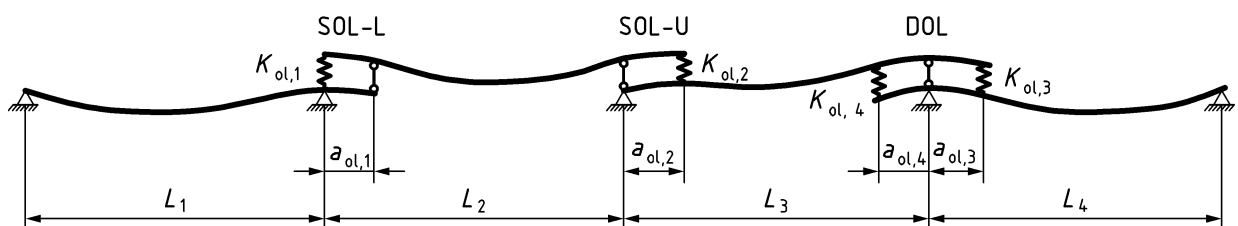


Bild 11.17 — Statisches System für Trapezprofile mit einzelner Überdeckung an den Auflagern

(2) Die Überdeckungslänge sollte zwischen  $0,065L$  und  $0,11L$  liegen, wobei  $L$  die größere der angrenzenden Stützweiten ist; die Überdeckungslänge sollte nicht länger als das 0,15-fache der kürzeren angrenzenden Stützweite sein.

(3) Die End- und Randabstände und die Abstände der Verbindungselemente sollten die Bedingungen nach 10.3 und, bei Verbindungselementen im Ober- oder Untergurt, die nach Tabelle 11.13 erfüllen.

(4) Die Federsteifigkeit der Verbindungen sollte wie folgt angesetzt werden:

— für Verbindungselemente im Gurt nach Gleichung (11.36);

$$K_{ol,f} = 0,5 k_{ol} E \sqrt{\frac{t^3 d_w}{h_w b_p}} \quad (11.36)$$

— für Verbindungselemente in den Stegen darf die Verformung vernachlässigt werden, d. h.

$$K_{ol,w} = \infty \quad (11.37)$$

Dabei ist

$k_{ol}$  der Koeffizient nach Tabelle 11.13;

$d$  der Durchmesser des Verbindungselements;

$d_w$  der Durchmesser der Unterlegscheibe;

$h_w$  die Profilhöhe;

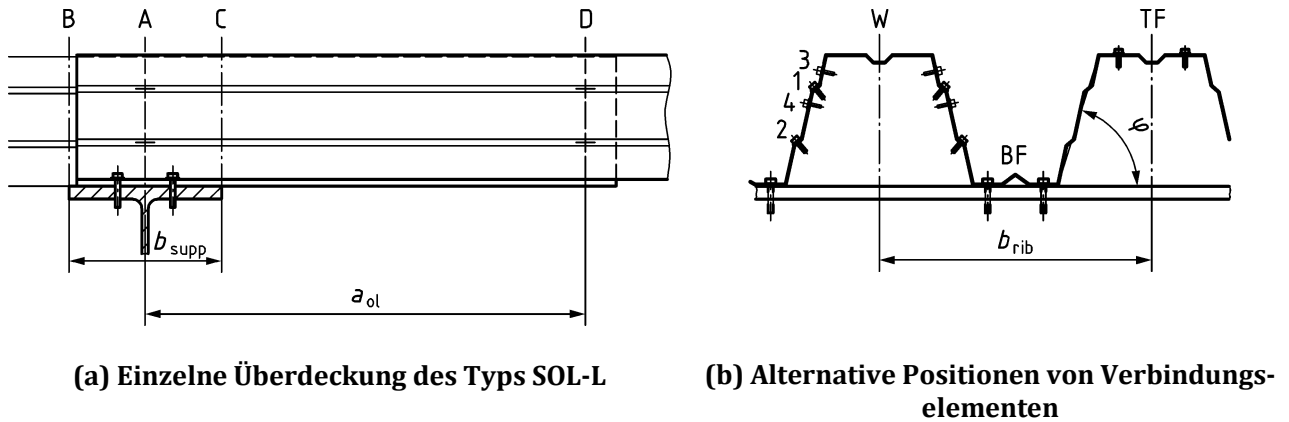
$b_p$  die Breite der ebenen Teilfläche des Gurts nach Tabelle 11.13.

Die Federsteifigkeit in Gleichung (11.36) bezieht sich auf einen einzelnen Gurt. Wenn zwei Gurte verbunden sind, sind die Verformungen verdoppelt, d. h. es gilt  $K_{ol,i} = 0,5 K_{ol,f}$ .

**Tabelle 11.13 — Anordnung von Verbindungselementen am Auflager und Koeffizient  $k_{ol}$**

$e_1 \geq b_p, e_2 \geq 40 \text{ mm}$ $k_{ol} = 0,07$		$e_1 \geq b_p,$ $e_2 \geq 40 \text{ mm}$ $k_{ol} = 0,13$	

(5) Die Verbindungselemente an den Enden der Überdeckungen sollten über die Steghöhe verteilt und in der in Bild 11.18 (1,2,3, ...) dargestellten Anordnung befestigt sein, falls nötig dürfen sie in zwei senkrechten Reihen angeordnet werden.



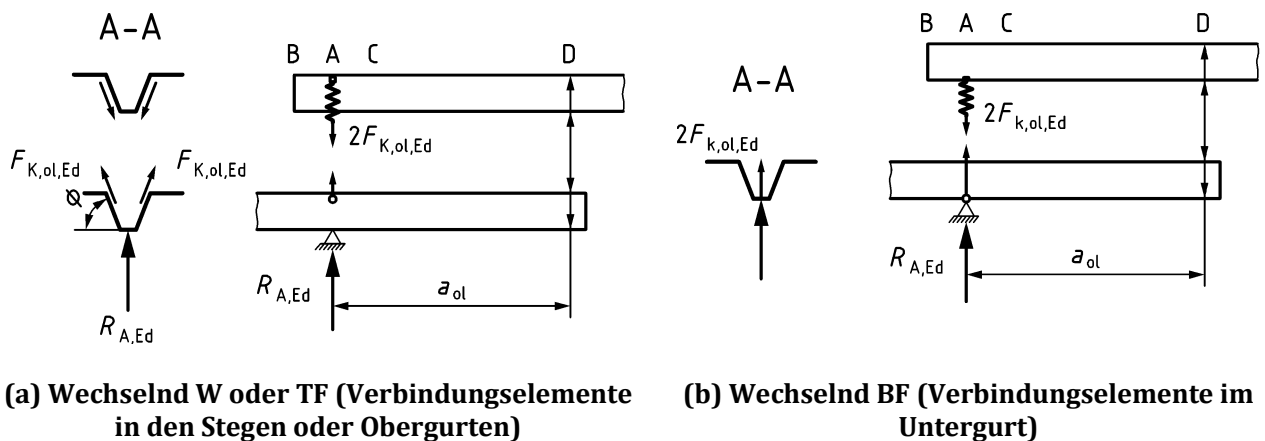
**Bild 11.18 — Trapezprofil mit einzelner Überdeckung am Auflager (SOL-L)**

(6) Die Verbindungselemente sollten für die Kraft in den Federn entsprechend dem statischen System in Bild 11.17 bemessen sein, dies unter Berücksichtigung der Stegneigung.

#### 11.3.4.2 Einzelne Überdeckung mit überkragender unterer Profiltafel (SOL-L)

(1) Falls Auflast überwiegt, darf auf die Verbindungselemente am überkragenden Ende (Querschnitt D in Bild 11.19) im Fall von SOL-L verzichtet werden. Für abhebende Last sollte die Profiltafel als gelenkig gelagert betrachtet werden.

(2) Die untere Profiltafel sollte in Abhängigkeit der Position der Verbindungselemente bemessen werden: W, TF oder BF nach Bild 11.18.



**Bild 11.19 — Auflagerkraft an der überkragenden unteren Profiltafel (SOL-L)**

(3) Die Verbindungselemente sollten für einen Bemessungswert der Querkraft in jedem Steg nach Gleichung (11.38) bemessen werden:

$$F_{k,ol,Ed} = \frac{|M_{supp,Ed}|}{2 a_{ol} \sin \phi} b_{rib} \text{ für SOL-L} \quad (11.38)$$

Dabei ist

$M_{supp,Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments am Auflager;

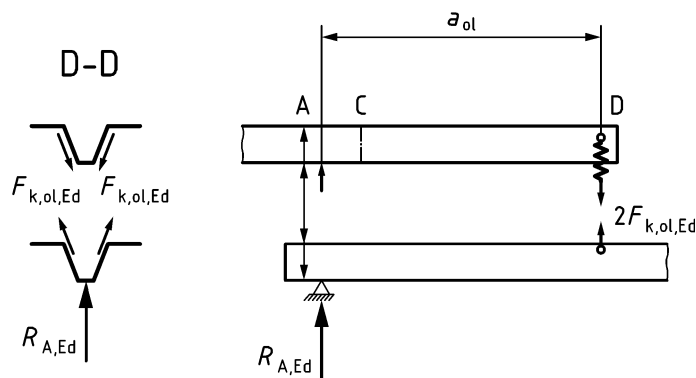
$a_{ol}$  die Länge der Überdeckung nach Bild 11.17;

$\phi$  der Winkel des Steges in Bezug zu den Gurten (siehe Bild 11.18);

$b_{rib}$  die Rippenbreite (Teilung des Profils).

### 11.3.4.3 Einzelne Überdeckung mit überkrager oberer Profiltafel (SOL-U)

(1) Bei überkrager oberer Profiltafel (SOL-U nach Tabelle 11.12) wird die Auflagerkraft über die obere und die untere Profiltafel nach Bild 11.20 verteilt.



**Bild 11.20 — Auflagerkraft an der überkrageren oberen Profiltafel (SOL-U)**

(2) Die Verbindungselemente sollten für einen Bemessungswert der Querkraft in jedem Steg nach Gleichung (11.39) bemessen werden:

$$F_{k,ol,Ed} = \frac{|M_{supp,Ed}| + a_{ol} |V_{supp,l,Ed}|}{2 a_{ol} \sin \phi} b_{rib} \text{ für SOL-U} \quad (11.39)$$

Dabei ist

$M_{supp,Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments am Auflager;

$V_{supp,l,Ed}$  der Bemessungswert der Querkraft links des Auflagers in Bild 11.20;

$a_{ol}$  die Länge der Überdeckung in Bild 11.20;

$\phi$  der Winkel des Steges in Bezug zu den Gurten (siehe Bild 11.18);

$b_{rib}$  die Rippenbreite (Teilung des Profils).

### 11.3.4.4 Doppelte Überdeckung (DOL)

(1) Die Biegemomentenbeanspruchbarkeit eines Bereichs mit doppelter Überdeckung (DOL nach Tabelle 11.12) unter kombinierter Beanspruchung aus Biegemoment und Auflagerkraft sollte aus der Summe der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der unteren Profiltafel am Auflager und der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der oberen Profiltafel bestimmt werden, siehe Bild 11.21.

Das Biegemoment und die Auflagerkraft, die sich aus den Einwirkungen ergeben, sollten den Umstand erfassen, dass die erhöhte Steifigkeit der doppelten Profiltafel die Schnittkraftverteilung in der Profiltafel verändern kann, und sie sollten mindestens auf das 1,1-fache der Werte erhöht werden, die sich für die entsprechenden durchlaufenden Profiltafeln ergeben.

(2) Falls das Biegemoment mit einem Modell nach Bild 11.17 berechnet wird, darf die Biegemomentenbeanspruchbarkeit als die Summe der Biegemomentenbeanspruchbarkeiten der beiden Profiltafeln am Auflager angesetzt werden.

(3) Die Verbindungselemente am Ende der Überdeckung sollten für einen Bemessungswert der Querkraft nach Gleichung (11.40) bemessen werden:

$$F_{K,ol,Ed} = \frac{|M_{supp,Ed}|/2 + q_{Ed} a_{ol}^2 / 2}{2 a_{ol} \sin \phi} b_{rib} \text{ für DOL} \quad (11.40)$$

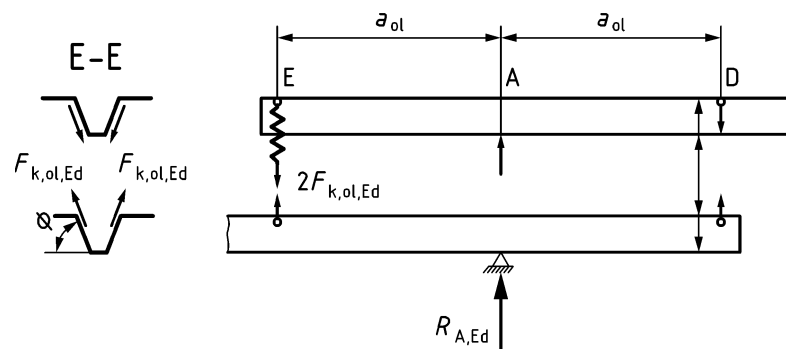
Dabei ist

$M_{supp,Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments am Auflager;

$\phi$  der Winkel des Steges in Bezug zu den Gurten, siehe Bild 11.18;

$a_{ol}$  die Länge der Überdeckung in Bild 11.21;

$b_{rib}$  die Rippenbreite (Teilung des Profils).



**Bild 11.21 — Auflagerkraft und Biegemoment in Profiltafeln mit doppelter Überdeckung (DOL)**

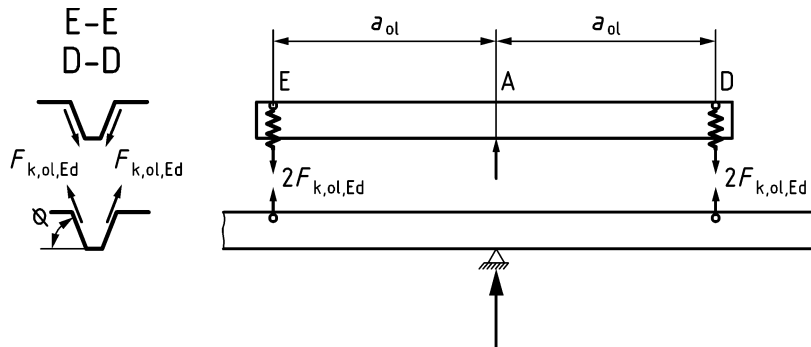
(4) Die Profiltafeln außerhalb der Enden der Überdeckungen (Punkt D und Punkt E in Bild 11.21) sollten für die Biegemomente in diesem Bereich nachgewiesen werden, ohne dass die Interaktion mit der Reaktionskraft zwischen den beiden Profiltafeln berücksichtigt werden braucht.

(5) Das Ende der oberen Profiltafel sollte für die Reaktionskraft  $F_{K,ol,Ed}$  nachgewiesen werden und die Beanspruchbarkeit  $R_{wRd}$  sollte für eine belastete Länge bestimmt werden, die dem senkrechten Abstand zwischen den Verbindungselementen in Querschnitt E entspricht.

(6) Falls Auflast überwiegt und es keine abhebende Belastung in der maßgebenden Einwirkungskombination gibt, darf auf die Verbindungselemente am überkragenden Ende D in Bild 11.21 verzichtet werden.

### 11.3.4.5 Lokale Verstärkung (CR)

(1) Die Beanspruchbarkeit von Profiltafeln, die mit zusätzlichen Profiltafeln oberhalb der durchlaufenden Profiltafel verstärkt werden (CR nach Tabelle 11.12 und Bild 11.22), darf mit demselben Verfahren ermittelt werden, wie für eine doppelte Überdeckung in 11.3.4.4 beschrieben.



**Bild 11.22 — Auflagerkraft bei durchlaufender Profiltafel mit Verstärkung (CR)**

(2) Verbindungselemente sollten in den Stegen an den überkragenden Enden D und E und oberhalb des Auflagers A angebracht werden.

(3) Falls die verstärkende Profiltafel unterhalb der durchlaufenden Profiltafel angeordnet wird, dürfen die Querkraft- und die Biegemomentenbeanspruchbarkeit über dem Auflager als die Summe der Beanspruchbarkeiten der beiden Profiltafeln angesetzt werden. Die Profiltafeln außerhalb der Enden der Überdeckung sollten nach 11.3.4.4(4) nachgewiesen werden.

### 11.3.5 Trapezprofile mit seitlichen Überdeckungen

(1) Eine Überdeckung am Längsstoß von Profiltafeln (seitliche Überdeckung) darf zur Erhöhung der Biegesteifigkeit und Biegemomentenbeanspruchbarkeit unter verteilten Lasten (die in Querrichtung konstant sein sollten) verwendet werden. In diesem Fall darf der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit der Profiltafel durch Multiplikation mit dem Faktor nach Gleichung (11.41) erhöht werden:

$$\mu_{so} = 1 + 1,02 \frac{n_p}{n_c} - 0,02 \frac{n_c}{n_p} \quad (11.41)$$

Dabei ist

$n_c$  die Anzahl der Rippen zwischen dem Längsrand der Profiltafel und dem entsprechenden Rand der nächsten Profiltafel, siehe Bild 11.23;

$n_p$  die Anzahl aller Rippen der Profiltafel mit Überdeckungen innerhalb der Breite  $n_c$  multipliziert mit  $b_{rib}$ , siehe Bild 11.23.

mit

$$1 \leq n_p \leq n_c \quad (11.42)$$

und

$$n_p \geq n_c/7 \quad (11.43)$$

(2) Siehe EN 1090-4 zu Ausführungsregeln.

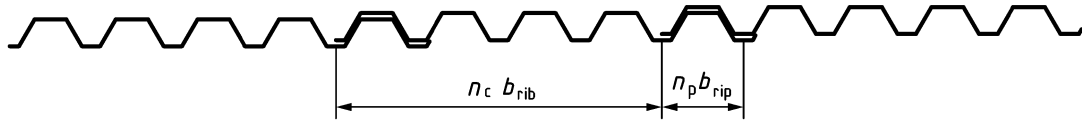


Bild 11.23 — Seitliche Überdeckung von Profiltafeln

## 11.4 Seitliche Stützungen und Verdrehbehinderungen von Bauteilen durch Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente

### 11.4.1 Seitliche Stützung von Bauteilen

#### 11.4.1.1 Allgemeines

(1) Falls Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente an einem Bauteil angeschlossen sind und die Bedingung nach Gleichung (11.44) erfüllt ist, darf das Bauteil an der Verbindungsstelle in der Ebene der Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente als seitlich gestützt betrachtet werden.

$$S \geq \left( EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25 h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (11.44)$$

Dabei ist

- $S$  die durch die Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente bereitgestellte Schubsteifigkeit, bezogen auf die Verformung in ihrer Ebene;
- $I_w$  der Wölbwiderstand des Bauteils;
- $I_T$  der Torsionswiderstand des Bauteils;
- $I_z$  das Trägheitsmoment um die schwache Hauptachse des Bauteilquerschnitts;
- $L$  die Stützweite des Bauteils;
- $h$  die Höhe des Bauteils.

(2) Gleichung (11.44) darf auch zur Untersuchung der seitlichen Stabilität von Bauteilgurten, die mit anderen Verkleidungsarten als Profiltafeln, Kassettenprofilen oder Sandwichelementen verbunden werden, verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Verbindungen entsprechend bemessen sind.

#### 11.4.1.2 Seitliche Stützung durch Trapezprofile aus Stahl

(1) Die Schubsteifigkeit eines Trapezprofils, das an jeder Rippe mit dem Bauteil verbunden und an jeder seitlichen Überdeckung angeschlossen ist, darf nach Gleichung (11.45) bestimmt werden:

$$S = 1\,000 \sqrt{t^3} (50 + 10 \sqrt[3]{L_{\text{dia}}}) \frac{a_{\text{pur}}}{h_w} \text{ in [N]} \quad (11.45)$$

Dabei ist

- $t$  die Bemessungsdicke der Profiltafel, in mm;
- $L_{\text{dia}}$  die Gesamtlänge des Schubfelds im Dach in Stützrichtung des Trapezprofils, in mm;
- $a_{\text{pur}}$  der Abstand zwischen den Bauteilen, in mm, siehe Bild 11.24;
- $h_w$  die Profilhöhe der Profiltafel, in mm.

Gleichung (11.45) gilt nur, wenn schubfeste Verbindungen zwischen Profiltafel und Randträgern vorhanden sind.

(2) Falls die Profiltafel nur mit jeder zweiten Rippe an den Randträgern eines Schubfelds befestigt ist, sollte der Wert  $S$  nach Gleichung (11.45) mit 0,20 multipliziert werden.

ANMERKUNG Für zusätzliche Informationen zur Schubsteifigkeit  $S$  von Trapezprofilen, siehe ECCS-Leitfaden [Anmerkung zu 11.5.1(3)] oder versuchsgestützte Bemessung.

### 11.4.1.3 Seitliche Stützung durch Kassettenprofile aus Stahl

(1) Für Kassettenprofile aus Stahl wird die Schubsteifigkeit  $S$  in Gleichung (11.46) angegeben mit:

$$S = S_{lt} a_{pur} \quad (11.46)$$

Dabei ist

$S_{lt}$  die Schubsteifigkeit eines Schubfelds aus Stahlkassettenprofilen je Längeneinheit nach (2);

$a_{pur}$  der Abstand zwischen den Bauteilen.

(2) Die Schubsteifigkeit  $S_{lt}$  je Längeneinheit darf nach Gleichung (11.47) ermittelt werden:

$$S_{lt} = \frac{k_{\alpha} L_{dia} b_{lt}}{p_{1,lt}(b - b_{lt})} \quad (11.47)$$

Dabei ist

$L_{dia}$  die Gesamtlänge des Schubfeldes (in Stützrichtung der Kassettenprofile);

$b$  die Gesamtbreite des Schubfeldes ( $b = \sum b_{lt}$ );

$p_{1,lt}$  der Achsabstand der Verbindungselemente in Längsrichtung;

$k_{\alpha}$  ein Steifigkeitsbeiwert.

(3) Der Steifigkeitsbeiwert  $k_{\alpha}$  darf konservativ mit 2 000 N/mm angesetzt werden, wenn nicht genauere Werte durch Versuche bestimmt werden.

(4) Der Schubfluss im Kassettenprofil  $v_{lt,Ed}$  je Längeneinheit in Richtung der Stützweite infolge Bemessungslasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit sollte nicht größer sein als der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Schubflusses  $v_{lt,Rd}$  je Längeneinheit in Richtung der Stützweite, wie in Gleichung (11.48) angegeben mit:

$$v_{lt,Rd} = 8,43 E \sqrt[4]{I_{lt,a}(t/b_{lt})^9} \quad (11.48)$$

Dabei ist

$I_{lt,a}$  das Trägheitsmoment des breiten Gurtes um die eigene Schwerachse a-a, siehe Bild 11.7;

$b_{lt}$  die Gesamtbreite des breiten Gurtes.

(5) Der Schubfluss im Kassettenprofil  $v_{lt,Ed,ser}$  je Längeneinheit der Stützweite unter Gebrauchslasten sollte nicht größer sein als  $v_{lt,Rd,ser}$  je Längeneinheit der Stützweite nach Gleichung (11.49):

$$v_{lt,Rd,ser} = \frac{S_{lt}}{750} \quad (11.49)$$

Dabei ist

$S_{lt}$  die Schubsteifigkeit eines Schubfelds aus Stahlkassettenprofilen je Längeneinheit der Stützweite, ermittelt nach (2).

#### 11.4.1.4 Seitliche Stützung durch Sandwichelemente

(1) Die Schubsteifigkeit von Sandwichelementen, die mit dem Bauteil mit mindestens einem Paar und mit höchstens 4 Paaren von Verbindungselementen verbunden sind, darf nach Gleichung (11.50) berechnet werden:

$$S = \frac{k_v}{2 b_{sw}} \sum_{k=1}^{n_k} c_k^2 \quad (11.50)$$

Dabei ist

$k_v$  die Schubsteifigkeit nach Tabelle 11.14;

$b_{sw}$  die Elementbreite;

$c_k$  der Abstand zwischen zwei Verbindungselementen eines Paares  $k$ ;

$n_k$  die Anzahl der Verbindungselementpaare je Sandwichelement und Auflager.

Die Sandwichelemente sollten senkrecht zu den Bauteilen angeordnet werden.

ANMERKUNG Zusätzliche Informationen zur Schubsteifigkeit  $S$  von Sandwichelementen (z. B. zum Randabstand von Verbindungselementen) sind angegeben in ECCS Publication 135/CIB Publication 379: European Recommendations on the Stabilization of Steel Structures by Sandwich Panels (2014).

**Tabelle 11.14 — Schubsteifigkeit  $k_v$  [kN/mm] von Befestigungen**

Nenndicke der inneren Deckschicht	Stahlsorte		
	S 220GD	S 280GD	≥ S 320GD
0,40 mm	1,6	1,9	2,0
0,50 mm	2,0	2,3	2,5
0,63 mm	2,4	2,9	3,1
0,75 mm	2,8	3,3	3,6

ANMERKUNG Lineare Interpolation ist in Bezug auf die Stahlsorte und die Nenndicke der inneren Deckschicht zulässig.

(2) Tabelle 11.14 darf innerhalb der Bereiche nach Tabelle 11.15 angewendet werden. Der Einfluss des Kernwerkstoffs auf die  $k_v$ -Werte darf vernachlässigt werden.

**Tabelle 11.15 — Gültigkeitsbereich von Tabelle 11.14**

Nenndurchmesser $d$ von Verbindungselementen	$5,5 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$
Gesamtdicke des Sandwichelements $D$	$D \geq 40 \text{ mm}$
Nenndicke $t_{F2}$ der inneren Deckschicht	$0,40 \text{ mm} \leq t_{F2} \leq 1,00 \text{ mm}$
Nenndicke $t_{\text{supp}}$ der Unterkonstruktion	$1,50 \text{ mm} \leq t_{\text{supp}}$

## 11.4.2 Verdrehbehinderung von Bauteilen

### 11.4.2.1 Allgemeines

(1) Die Verdrehbehinderung eines Bauteils durch Profiltafeln, Sandwichelemente oder Kassettenprofile, die auf dem Bauteilobergurt befestigt sind, darf als Drehfeder, die am Obergurt des Bauteils wirkt, modelliert werden, siehe Bild 11.24. Die gesamte Drehfedersteifigkeit  $C_D$  sollte nach Gleichung (11.51) bestimmt werden:

$$C_D = \frac{1}{\frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,C}}} \quad (11.51)$$

Dabei ist

- $C_{D,A}$  die Drehfedersteifigkeit (je Längeneinheit bezogen auf die Bauteillänge) der Verbindung zwischen dem Bauteil und der Profiltafel, dem Sandwichelement oder dem Kassettenprofil;
- $C_{D,B}$  die Drehfedersteifigkeit (je Längeneinheit bezogen auf die Bauteillänge) infolge der Profilverformung des Bauteilquerschnitts, hergeleitet aus einer Berechnung der Profilverformungen des Bauteilquerschnitts, wenn der druckbeanspruchte Gurt der freie Gurt ist. Wenn der druckbeanspruchte Gurt der verbundene Gurt ist:  $C_{D,B} = \infty$ ;
- $C_{D,C}$  die Drehfedersteifigkeit (je Längeneinheit bezogen auf die Bauteillänge) entsprechend der Biegesteifigkeit der Profiltafel, des Sandwichelements oder des Kassettenprofils.

(2) Die Werte von  $C_{D,A}$ ,  $C_{D,B}$ ,  $C_{D,C}$  dürfen entweder durch Berechnung oder Versuche (siehe Abschnitt 12 und Abschnitt A.6) oder durch eine Kombination von beidem ermittelt werden.

(3) Der Wert  $C_{D,C}$  darf als der Mindestwert der Gleichung (11.52) angesetzt werden, der sich aus den in Bild 11.24 dargestellten Berechnungsmodellen unter Berücksichtigung der Verdrehungen der angrenzenden Bauteile und der Durchlaufwirkung der Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente ergibt:

$$C_{D,C} = m/\theta \quad (11.52)$$

Dabei ist

- $m$  das aufgebrachte Biegemoment je Längeneinheit, bezogen auf die Breite der Profiltafeln, Kassettenprofile oder Sandwichelemente, wie in Bild 11.24 dargestellt;
- $\theta$  die resultierende Rotation, wie nach Bild 11.24 gemessen [Radiant].

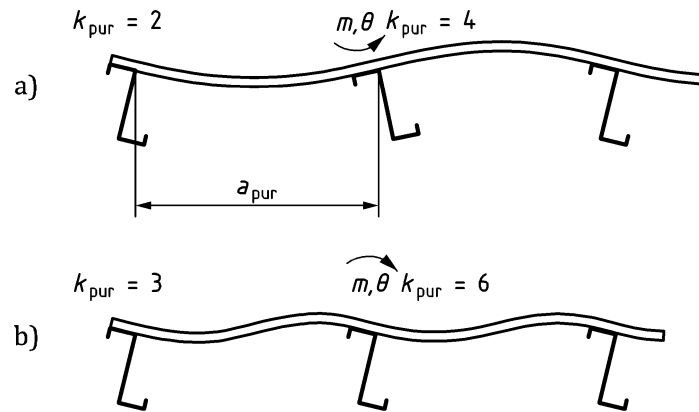


Bild 11.24 — Berechnungsmodelle für  $C_{D,C}$

(4) Alternativ darf ein konservativer Wert von  $C_{D,C}$  nach Gleichung (11.53) bestimmt werden:

$$C_{D,C} = \frac{k_{\text{pur}} E I_{\text{eff}}}{a_{\text{pur}}} \quad (11.53)$$

wobei  $k_{\text{pur}}$  ein Koeffizient ist, der die Art des Bauteils berücksichtigt, z. B. hinsichtlich der Bauteile in Bild 11.24, mit den folgenden Werten:

— Randbauteil, Fall (a) in Bild 11.24:  $k_{\text{pur}} = 2;$  (11.54)

— Randbauteil, Fall (b) in Bild 11.24:  $k_{\text{pur}} = 3;$  (11.55)

— Innenliegendes Bauteil, Fall (a) in Bild 11.24:  $k_{\text{pur}} = 4;$  (11.56)

— Innenliegendes Bauteil, Fall (b) in Bild 11.24:  $k_{\text{pur}} = 6;$  (11.57)

Dabei ist

$I_{\text{eff}}$  das wirksame Trägheitsmoment je Längeneinheit, bezogen auf die Breite der Profiltafel, des Kassettenprofils oder des Sandwichelements;

$a_{\text{pur}}$  der Bauteilabstand, siehe Bild 11.24.

#### 11.4.2.2 Verdrehbehinderung durch Trapezprofile aus Stahl

(1) Für Trapezprofile, die an den Obergurt eines Bauteils angeschlossen sind, darf unter der Voraussetzung, dass die Verbindungselemente zwischen Blech und Bauteil mittig auf dem Obergurt angebracht sind, der Wert von  $C_{D,A}$  nach Gleichung (11.58) bestimmt werden:

$$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{\text{ba}} \cdot k_{\text{t}} \cdot k_{\text{b,corr}} \cdot k_{\text{A}} \cdot k_{\text{bu}} \quad (11.58)$$

Dabei ist

$$k_{\text{ba}} = (b_{\text{a}}/100)^2 \quad \text{wenn } b_{\text{a}} < 125 \text{ mm;} \quad (11.59)$$

$$k_{\text{ba}} = 1,25 (b_{\text{a}}/100) \quad \text{wenn } 125 \text{ mm} \leq b_{\text{a}} < 200 \text{ mm;} \quad (11.60)$$

$$k_{\text{t}} = (t_{\text{nom}}/0,75)^{1,1} \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} \geq 0,75 \text{ mm; Positivlage der Profiltafel;} \quad (11.61)$$

$$k_t = (t_{\text{nom}}/0,75)^{1,5} \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} \geq 0,75 \text{ mm; Negativlage der Profiltafel;} \quad (11.62)$$

$$k_t = (t_{\text{nom}}/0,75)^{1,5} \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} < 0,75 \text{ mm;} \quad (11.63)$$

$$k_{b,\text{corr}} = 1,0 \quad \text{wenn } b_{\text{corr}} \leq 185 \text{ mm;} \quad (11.64)$$

$$k_{b,\text{corr}} = 185/b_{\text{corr}} \quad \text{wenn } b_{\text{corr}} > 185 \text{ mm;} \quad (11.65)$$

$k_A$  ein Koeffizient in Abhängigkeit von der Belastung und Lage der Profiltafel, wie folgt:

— Bei Auflast:

$$k_A = 1,0 + (q_{\text{pur}} - 1,0) \cdot 0,08 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 0,75 \text{ mm; Positivlage der Profiltafel;} \quad (11.66)$$

$$k_A = 1,0 + (q_{\text{pur}} - 1,0) \cdot 0,16 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 0,75 \text{ mm; Negativlage der Profiltafel;} \quad (11.67)$$

$$k_A = 1,0 + (q_{\text{pur}} - 1,0) \cdot 0,095 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 1,00 \text{ mm; Positivlage der Profiltafel;} \quad (11.68)$$

$$k_A = 1,0 + (q_{\text{pur}} - 1,0) \cdot 0,095 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 1,00 \text{ mm; Negativlage der Profiltafel;} \quad (11.69)$$

mit:

$q_{\text{pur}} [\text{kN/m}] \leq 12 \text{ kN/m}$  die Belastung, die durch die Profiltafel in ein Bauteil eingeleitet wird;

unter Berücksichtigung, dass:

— die lineare Interpolation zwischen  $t_{\text{nom}} = 0,75$  und  $t_{\text{nom}} = 1,0$  mm zulässig ist;

— bei  $t_{\text{nom}} < 0,75$  mm:  $k_A = 1,0$ ;

— bei  $t_{\text{nom}} > 1$  mm, sollten Gleichung (11.65) und Gleichung (11.66)<sup>N1</sup> für  $k_A$  mit  $t_{\text{nom}} = 1$  mm verwendet werden.

— Bei abhebender Last:

$$k_A = 1,0; \quad (11.70)$$

$$k_{b_u} = \sqrt{\frac{b_{u,\text{max}}}{b_u}} \quad \text{wenn } b_u > b_{u,\text{max}}, \text{ sonst } k_{b_u} = 1; \quad (11.71)$$

Dabei ist

$b_a$  die Breite des Bauteilgurts, in mm;

$b_{\text{corr}}$  der Rippenabstand, in mm;

$b_u$  die Gurtbreite der Profiltafel, die am Bauteil befestigt ist, siehe Tabelle 11.16;

N1 Nationale Fußnote: Fehler in Referenzfassung. Gemeint sind Gleichung (11.68) und Gleichung (11.69).

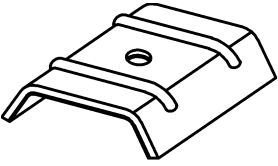
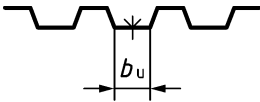
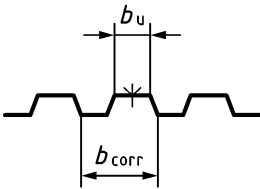
$b_{u,max}$  in Tabelle 11.16 angegeben;

$C_{100}$  ein Rotationskoeffizient nach Tabelle 11.16, der den Wert von  $C_{D,A}$  für  $b_a = 100$  mm angibt.

ANMERKUNG Die Lage der Profiltafel wird als positiv bezeichnet, wenn der schmalere Gurt in Kontakt mit dem Bauteil ist, und negativ, wenn der breitere Gurt in Kontakt mit dem Bauteil ist.

(2) Für den Fall, dass zwischen Profiltafel und Bauteil keine Dämmung angeordnet ist, dürfen die Werte des Rotationskoeffizienten  $C_{100}$  der Tabelle 11.16 entnommen werden.

**Tabelle 11.16 — Rotationskoeffizient  $C_{100}$  für Trapezprofile aus Stahl**

Lage der Profiltafeln		Befestigung am		Abstand der Verbindungselemente		Scheibendurchmesser	$C_{100}$	$b_{u,max}$
Positiv <sup>a</sup>	Negativ <sup>a</sup>	Untergurt	Obergurt	$e = b_{corr}$	$e = 2b_{corr}$	mm	kNm/m	mm
<b>Bei Auflast:</b>								
×		×		×		22	5,2	40
×		×			×	22	3,1	40
	×		×	×		$K_a$	10,0	40
	×		×		×	$K_a$	5,2	40
	×	×		×		22	3,1	120
	×	×			×	22	2,0	120
<b>Bei abhebender Last:</b>								
×		×		×		16	2,6	40
×		×			×	16	1,7	40
<b>Legende</b>								
$b_{corr}$ Rippenabstand;								
$b_u$ Breite des an das Bauteil angeschlossenen Gurts der Profiltafel.								
$K_a$ steht für ein Stahlabdeckblech mit $t \geq 0,75$ mm, siehe unten						Profiltafelbefestigung		
						— am Untergurt:		
								
Die in dieser Tabelle angegebenen Werte gelten bei:						— am Obergurt:		
Schraubendurchmesser der Profilbefestigung: $\Phi = 6,3$ mm;								
Stahlunterlegscheibe mit der Dicke: $t_w \geq 1,0$ mm.								
<sup>a</sup> Die Lage der Profiltafel ist positiv, wenn der schmalere Gurt in Kontakt mit dem Bauteil ist, und negativ, wenn der breitere Gurt in Kontakt mit dem Bauteil ist.								

### 11.4.2.3 Verdrehbehinderung durch Trapezprofile aus Aluminium

(1) Der Wert von  $C_{D,A}$  für Trapezprofile aus Aluminium nach EN 1999-1-4, die mit dem Obergurt des Bauteils verbunden sind, darf nach Gleichung (11.72) bestimmt werden:

$$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{b,corr} \cdot k_{bu} \quad (11.72)$$

Dabei ist

$$k_{ba} = (b_a/100)^2 \quad \text{wenn } b_a < 100 \text{ mm;} \quad (11.73)$$

$$k_{ba} = 1,25 (b_a/100) \quad \text{wenn } 125 \text{ mm} \leq b_a < 200 \text{ mm;} \quad (11.74)$$

$$k_t = (t_{nom}/0,7 \text{ mm}) \quad \text{wenn } t_{nom} \geq 0,70 \text{ mm;} \text{ Auflast;} \quad (11.75)$$

$$k_t = 0,0 \quad \text{wenn } t_{nom} < 0,70 \text{ mm;} \text{ Auflast;} \quad (11.76)$$

$$k_t = 1,0 \quad \text{wenn } t_{nom} \geq 0,80 \text{ mm;} \text{ abhebende Last;} \quad (11.77)$$

$$k_t = 0,0 \quad \text{wenn } t_{nom} < 0,80 \text{ mm;} \text{ abhebende Last;} \quad (11.78)$$

$$k_{b,corr} = 1,0 \quad \text{wenn } b_{corr} \leq b_{corr,max}; \quad (11.79)$$

$$k_{b,corr} = b_{corr,max}/b_{corr} \quad \text{wenn } b_{corr} > b_{corr,max}; \quad (11.80)$$

$$k_{bu} = \sqrt{\frac{b_{u,max}}{b_u}} \quad \text{wenn } b_u > b_{u,max} \text{ sonst } k_{bu} = 1; - \quad (11.81)$$

Dabei ist

$b_a$  die Gurtbreite des Bauteils, in mm;

$b_{corr}$  der Rippenabstand, in mm;

$b_{corr,max}$  in Tabelle 11.17 angegeben;

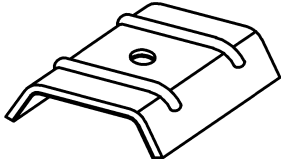
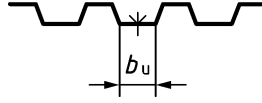
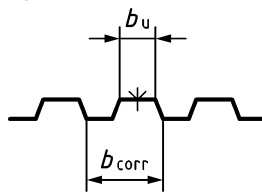
$b_u$  die Gurtbreite der Profiltafel, die am Bauteil befestigt ist;

$b_{u,max}$  in Tabelle 11.17 angegeben;

$C_{100}$  ein Rotationskoeffizient, der in Tabelle 11.17 angegeben ist und den Wert von  $C_{D,A}$  für  $b_a = 100$  mm angibt.

(2) Für den Fall, dass zwischen Profiltafeln und Bauteilen keine Dämmung angeordnet ist, dürfen die Werte des Rotationskoeffizienten  $C_{100}$  nach Tabelle 11.17 ermittelt werden.

Tabelle 11.17 — Rotationskoeffizient  $C_{100}$  für Trapezprofile aus Aluminium

Lage der Profiltafeln		Befestigung am		Abstand der Verbindungselemente		Unterlegscheibe		$C_{100}$	$b_{corr,max}$	$b_{u,max}$
Positiv <sup>a</sup>	Negativ <sup>a</sup>	Untergurt	Obergurt	$e = b_{corr}$ r	$e = 2b_{corr}$	∅ mm	t mm	kNm/m	mm	
<b>Bei Auflast:</b>										
×		×		×		19	≥ 1,0	7,0	124	35
×		×			×	19	≥ 1,0	4,0	124	35
×			×	×		19	≥ 1,0	3,2	200	35
×			×		×	19	≥ 1,0	2,0	200	35
<b>Bei abhebender Last:</b>										
	×	×			×	19	≥ 1,0	1,3	124	63
	×		×		×	$K_a$	≥ 0,75	3,0	124	63
×		×			×	19	≥ 1,0	4,1	124	20
<b>Legende</b>										
$b_{corr}$ Rippenabstand;										
$b_u$ Breite des an das Bauteil angeschlossenen Gurts der Profiltafel.										
$K_a$ steht für ein Stahlabdeckblech mit $t \geq 0,75$ mm, siehe unten 						<b>Profiltafelbefestigung</b> — am Untergurt:  — am Obergurt: 				
<sup>a</sup> Die Lage der Profiltafel ist positiv, wenn der schmalere Gurt in Kontakt mit dem Bauteil ist, und negativ, wenn der breitere Gurt in Kontakt mit dem Bauteil ist.										

#### 11.4.2.4 Verdrehbehinderung durch Kassettenprofile aus Stahl

(1) Bei Kassettenprofilen aus Stahl mit  $t_{nom} \geq 0,75$  mm und  $b_{lt} \leq 600$  mm, darf eine Steifigkeit der Verbindung von  $C_{D,A} = 1,7$  kNm/m angesetzt werden, wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wurde. Das Kassettenprofil muss mit mindestens zwei Verbindungselementen je Element und an jedem Auflager befestigt werden, mit einem Abstand  $\leq 75$  mm zwischen den Verbindungselementen und dem Steg, wie in EN 1090-4:2018, Bild 5, dargestellt.

ANMERKUNG Dies gilt auch für Kassettenprofile mit Perforationen nach 11.3.2.

### 11.4.2.5 Verdrehbehinderung durch Sandwichelemente

(1) Bei Sandwichelementen sollte eine durch Versuche bestimmte, reduzierte Rotationssteifigkeit  $C_{D,A}$  angesetzt werden, um die Eindrückung des Verbindungselements und den möglichen Spalt zwischen dem Obergurt des Bauteils und der inneren Deckschicht des Sandwichelements infolge abhebender Last zu berücksichtigen.

Bei Auflast darf der Wert der Rotationssteifigkeit  $C_{D,A}$  wie folgt angesetzt werden:

— bei Bauteilen mit Symmetrie um die schwache Hauptachse nach Gleichung (11.82):

$$C_{D,A} = 0,75 k_{c1} E_{C,t,\theta} b_a^2 \quad (11.82)$$

— bei Bauteilen mit  $\Sigma$ -, Z-, U- oder C-Profilen nach Gleichung (11.83):

$$C_{D,A} = 0,75 k_{c2} E_{C,t,\theta} \quad (11.83)$$

Dabei ist

$$E_{C,t,\theta} = \frac{E_C}{1 + \varphi_{\theta,t}} \sqrt{k_1^3} \quad (11.84)$$

mit

$E_C$  der Elastizitätsmodul des Kerns, siehe Tabelle 11.19;

$k_1$  ein Faktor nach EN 14509:2013, A.5.5.5;

$b_a$  die Breite des Bauteilgurts;

$k_{c1}$  und  $k_{c2}$  Koeffizienten nach Tabelle 11.18.

(2) Die verbleibenden Parameter sowie der Gültigkeitsbereich von Gleichung (11.82) bis Gleichung (11.84) sind in Tabelle 11.19 angegeben.

**Tabelle 11.18 — Koeffizienten  $k_{c1}$  und  $k_{c2}$**

Kernwerkstoff	Geometrie der äußeren Deckschicht (am Kopf des Verbindungselements)	$k_{c1}$	$k_{c2}$
		–	mm <sup>2</sup>
PUR/PIR und XPS/EPS	profiliert <sup>a</sup>	0,180	648
	geringfügig profiliert/eben	0,142	511
Mineralwolle	profiliert <sup>a</sup>	0,089	320
	geringfügig profiliert/eben	0,048	173

<sup>a</sup> Höhe der Profilierung  $\geq 30$  mm.

**Tabelle 11.19 — Zusätzliche Parameter und Gültigkeitsbereich von Gleichung (11.82) bis Gleichung (11.84) und Tabelle 11.18**

Parameter in Abhängigkeit der Belastungsdauer, in $t$	
Kernwerkstoffe PUR/PIR und XPS/EPS, $t = 2\ 000$ Stunden	$\varphi_{\theta,2000} = 1,29$
Kernwerkstoffe PUR/PIR und XPS/EPS, $t = 100\ 000$ Stunden	$\varphi_{\theta,100000} = 1,83^a$
Kernwerkstoff Mineralwolle, $t = 2\ 000$ Stunden	$\varphi_{\theta,2000} = 1,35$
Kernwerkstoff Mineralwolle, $t = 100\ 000$ Stunden	$\varphi_{\theta,100000} = 2,31^a$
<b>Zusätzliche Parameter und Gültigkeitsbereich</b>	
Breite $b_a$ , in mm, des Gurts eines Bauteils, das symmetrisch um die schwache Hauptachse ist	$60\text{ mm} \leq b_a \leq 180\text{ mm}$
Breite $b_a$ , in mm, des Gurts eines $\Sigma$ -, Z-, U- oder C-Profiles	$60\text{ mm} \leq b_a \leq 80\text{ mm}$
Elastizitätsmodul des Kerns $E_C$ ; $E_C$ darf als der Mittelwert des Druckmoduls $E_{Cc}$ und des Zugmoduls $E_{Ct}$ mit $E_C = 0,5 (E_{Cc} + E_{Ct})$ , in $\text{N/mm}^2$ , angesetzt werden	$2,0\text{ N/mm}^2 \leq E_C \leq 8,0\text{ N/mm}^2$
Blechdicke $t_{\text{cor}}$ der beiden Deckschichten	$0,38 \leq t_{\text{cor}} \leq 0,71\text{ mm}$
Charakteristische Druckfestigkeit $f_{Cc}$ des Kernwerkstoffs	Kernwerkstoffe PUR/PIR und XPS/EPS: $f_{Cc} \geq 0,08\text{ N/mm}^2$ Kernwerkstoff Mineralwolle: $f_{Cc} \geq 0,05\text{ N/mm}^2$
Charakteristische Zugfestigkeit $f_{Ct}$ des Kernwerkstoffs	$f_{Ct} \geq 0,06\text{ N/mm}^2$
Durchmesser der Unterlegscheibe $d_W$	$d_W \geq 16\text{ mm}$
Falls höhere Werte der Parameter $b_a$ , $E_C$ und $t_{\text{cor}}$ auftreten, darf das Berechnungsverfahren angewendet werden, jedoch sollten diese Werte auf die entsprechenden Obergrenzen des Gültigkeitsbereichs abgemindert werden. Falls niedrigere Werte auftreten, müssen Versuche in Übereinstimmung mit EN 14509 durchgeführt werden.	
<sup>a</sup> Werte, die für eine Belastungsdauer von $t = 100\ 000$ Stunden angegeben wurden, dürfen auch für längere Dauern angesetzt werden.	

## 11.5 Bemessung von Schubfeldern

### 11.5.1 Allgemeines

(1) Das Zusammenwirken zwischen tragenden Bauteilen und Profiltafelkonstruktionen, die als Teile eines zusammenwirkenden, integralen Tragsystems bemessen werden, darf, wie in 11.5 beschrieben, berücksichtigt werden.

(2) Die Festlegungen nach 11.5 sollten nur auf Schubfelder aus Stahl angewendet werden.

(3) Schubfelder dürfen aus Profiltafeln bestehen, die zur Dach- oder Wandverkleidung oder als Deckenkonstruktion eingesetzt werden. Schubfelder können auch durch Dach- oder Wandkonstruktionen gebildet werden, die aus Kassettenprofilen bestehen.

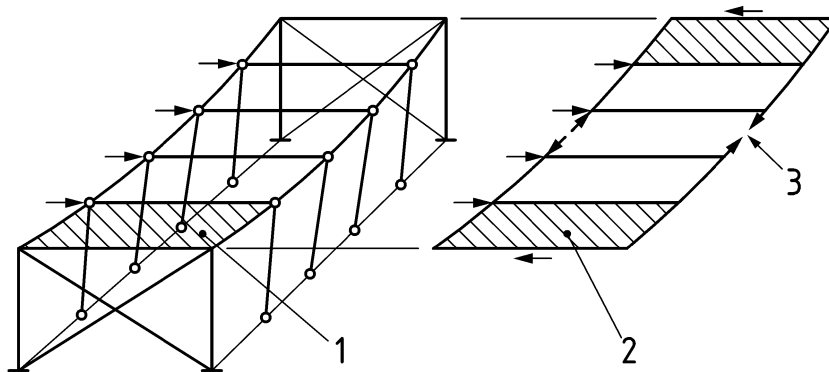
ANMERKUNG Zusätzliche Informationen zu Nachweisverfahren für derartige Schubfelder sind enthalten in ECCS Publication No. 88 (1995): *European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm*.

### 11.5.2 Schubfeldwirkung

(1) Mit der Schubfeldbemessung darf der Beitrag der Scheibenwirkung von Dach-, Wand- und Deckenkonstruktionen, infolge ihrer Steifigkeit und Schubtragfähigkeit, zur Gesamtsteifigkeit und -tragfähigkeit der Tragstruktur ausgenutzt werden.

(2) Dächer und Decken dürfen als gebäudelange, hohe plattenförmige Träger betrachtet werden, die in ihrer Ebene angreifende Querlasten abtragen und an vertikale Endscheiben oder an zwischenliegende Rahmentragwerke oder Verbände weiterleiten. Die Profiltafelkonstruktionen dürfen dabei als Stege zur Aufnahme von in der Ebene wirkenden Querlasten aufgefasst werden, dabei wirken die Randglieder als Gurte zur Aufnahme der zentrischen Druck- und Zugkräfte, siehe Bild 11.25 und Bild 11.26.

(3) In ähnlicher Weise dürfen rechteckige Wandtafeln als Aussteifungssysteme herangezogen werden, die als Schubfelder Kräfte in ihrer Ebene aufnehmen.



#### Legende

- 1 Profiltafelkonstruktion
- 2 Schubfeld, gebildet durch Profiltafelkonstruktion
- 3 Gurtkräfte in Randbauteilen

**Bild 11.25 — Schubfeldwirkung bei einem Gebäude mit Flachdach**

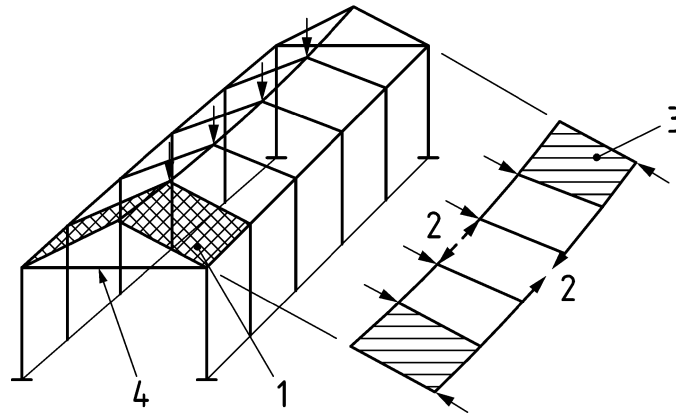
### 11.5.3 Voraussetzungen

(1) Die Verfahren der Schubfeldbemessung, bei denen Profiltafelkonstruktionen als integraler Bestandteil eines Tragwerks genutzt werden, dürfen nur unter den folgenden Bedingungen angewendet werden:

- die Ausnutzung der Profiltafeln, über ihre Hauptnutzung hinaus, ist auf die Ausbildung von Schubfeldern mit Lastabtrag in der Ebene der Profiltafelkonstruktionen beschränkt;
- die Schubfelder haben längslaufende Randglieder zur Aufnahme der Gurtkräfte aus der Schubfeldwirkung;
- die Scheibenkräfte in der Ebene von Dächern oder Decken werden über ausgesteifte Rahmen, weitere vertikale Schubfelder oder andere Aussteifungsmaßnahmen in die Fundamente weitergeleitet;
- zur Übertragung der Scheibenkräfte vom Schubfeld in das Hauptstahltragwerk und zur Befestigung mit den als Gurte wirkenden Randgliedern, werden geeignete Verbindungen angeordnet;
- die Profiltafelkonstruktionen sind integrale Bestandteile des Tragwerks und können nicht ohne sachgemäßen Nachweis entfernt werden;
- sowohl die Projektspezifikation als auch die Berechnungen und Zeichnungen enthalten Warnvermerke, die auf die planmäßige Scheibenwirkung der Profiltafelkonstruktionen hinweisen;
- bei Profiltafeln mit Profilierung in Dachlängsrichtung dürfen die Gurtkräfte aus der Schubfeldwirkung von den Profiltafeln selbst übernommen werden.

(2) Eine Schubfeldbemessung darf für Dächer, Decken und Fassaden von Gebäuden herangezogen werden.

(3) Die Scheibenwirkung darf vorzugsweise zur Abtragung von Wind- und Schneelasten sowie anderen Lasten ausgenutzt werden, die über die Profiltafeln selbst eingeleitet werden. Die Scheibenwirkung darf auch zur Abtragung geringer vorübergehender Lasten, z. B. Brems- und Stoßkräfte von leichten Hebezeugen oder Kranbahnen angesetzt werden; sie darf dagegen nicht zur Aufnahme ständiger äußerer Lasten, z. B. aus dem Betrieb mechanischer Anlagen, herangezogen werden.



#### Legende

- 1 Profiltafelkonstruktion
- 2 Gurtkräfte in Randbauteilen
- 3 Schubfeld durch Profiltafelkonstruktion
- 4 Zugband im Giebel zur Aufnahme von Kräften aus der Profiltafelkonstruktion im Dach

**Bild 11.26 — Schubfeldwirkung bei einem Gebäude mit Satteldach**

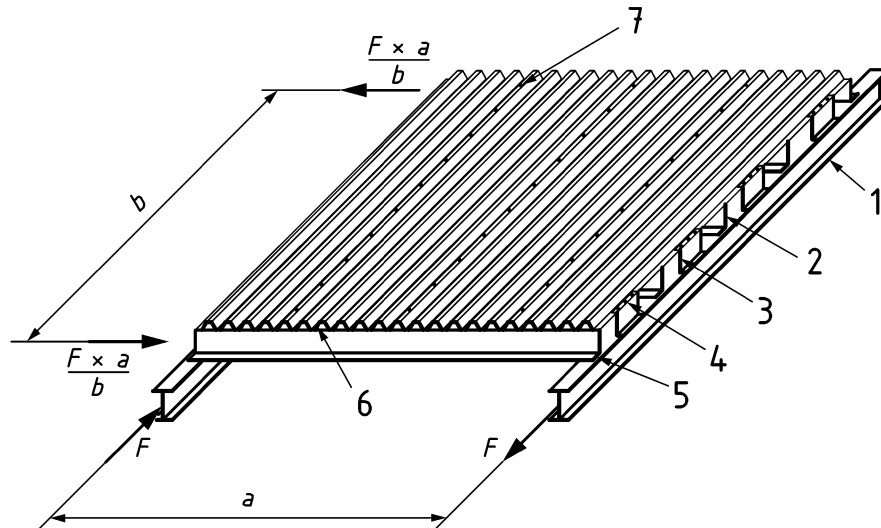
#### 11.5.4 Schubfelder aus Stahlprofiltafeln

(1) In einem Schubfeld aus Stahlprofiltafeln, siehe Bild 11.27, sollten beide Enden der Profiltafeln an den stützenden Bauteilen mit Gewindeformschrauben, Setzbolzen, Schweißungen, Schrauben oder anderen Verbindungselementen befestigt werden, die sich im Gebrauch nicht lösen, nicht herausgezogen werden können oder durch Abscheren versagen, bevor die Profiltafel einreißt. Alle diese Verbindungselemente sollten direkt durch die Profiltafeln hindurch am stützenden Bauteil befestigt werden, z. B. durch die Untergurte der Profiltafeln, wenn nicht besondere Maßnahmen ergriffen werden, die die in der Bemessung angenommene Kraftübertragung in den Verbindungen sicherstellen.

(2) Die Längsränder zwischen angrenzenden Profiltafeln sollten mit Nieten, Gewindeformschrauben, Schweißnähten oder anderen Verbindungselementen befestigt werden, die sich im Gebrauch nicht lösen, nicht herausgezogen werden können oder durch Abscheren versagen, bevor die Profiltafel reißt. Der Abstand der Verbindungselemente sollte 500 mm nicht überschreiten.

(3) Die Rand- und Endabstände der Verbindungselemente sollten so gewählt werden, dass kein vorzeitiges Versagen der Profiltafeln eintritt.

(4) Kleine, nicht systematisch angeordnete Öffnungen bis zu 3 % der maßgebenden Fläche dürfen ohne besonderen Nachweis angeordnet werden, wenn die Gesamtanzahl der Verbindungselemente nicht reduziert wird. Öffnungen bis zu 15 % der maßgebenden Fläche (d. h. die rechnerisch berücksichtigte Gesamtfläche des Schubfelds) sind zulässig, sofern sie durch detaillierte Berechnungen nachgewiesen werden. Flächen, die größere Öffnungen haben, sollten in kleinere Flächen mit voller Schubfeldwirkung unterteilt werden.



### Legende

- 1 Träger/Riegel
- 2 Pfette
- 3 Schubknagge
- 4 Verbindungselement zwischen Profiltafel und Schubknagge
- 5 Pfette
- 6 Verbindungselemente zwischen Profiltafel und Pfette
- 7 Verbindungselemente am Längsstoß

**Bild 11.27 — Modell zur Bemessung eines Schubfeldes**

(5) Alle Profiltafeln, die Teil eines Schubfeldes sind, sollten zunächst für ihre Hauptnutzung unter Biegebeanspruchung bemessen werden. Um sicherzustellen, dass sich das Versagen der Profiltafeln infolge Biegebeanspruchung einstellt, bevor die Beanspruchbarkeit des Schubfeldes beeinträchtigt wird, sollte nachgewiesen werden, dass die Schubspannung aus der Schubfeldwirkung  $0,25 f_{yb} / \gamma_{M1}$  nicht überschreitet.

(6) Die Beanspruchbarkeit der Längsstoßverbindungen und der Verbindungen von Bauteil und Profiltafeln parallel zur Profilierung sollte für die einwirkende Bemessungslast bestimmt werden. Die Beanspruchbarkeit bei Scherbeanspruchung der Verbindungselemente zwischen Profiltafel und Pfette und der Verbindungselemente zwischen Profiltafel und Träger/Riegel (bei direkt an die Hauptträger angeschlossenen Profiltafeln) sollte mit Hilfe des Kriteriums in Gleichung (11.82)<sup>N2</sup> nachgewiesen werden, wenn nicht die Abstützkräfte infolge Profilverformung [siehe Bild 11.28(6)] und die senkrecht zur Pfette wirkende Kraft infolge Schlupf in den Längsstößen [siehe Bild 11.28(5)] durch geeignete Berechnung berücksichtigt werden.

$$\frac{1,5 F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1 \quad (11.85)$$

Dabei ist/sind

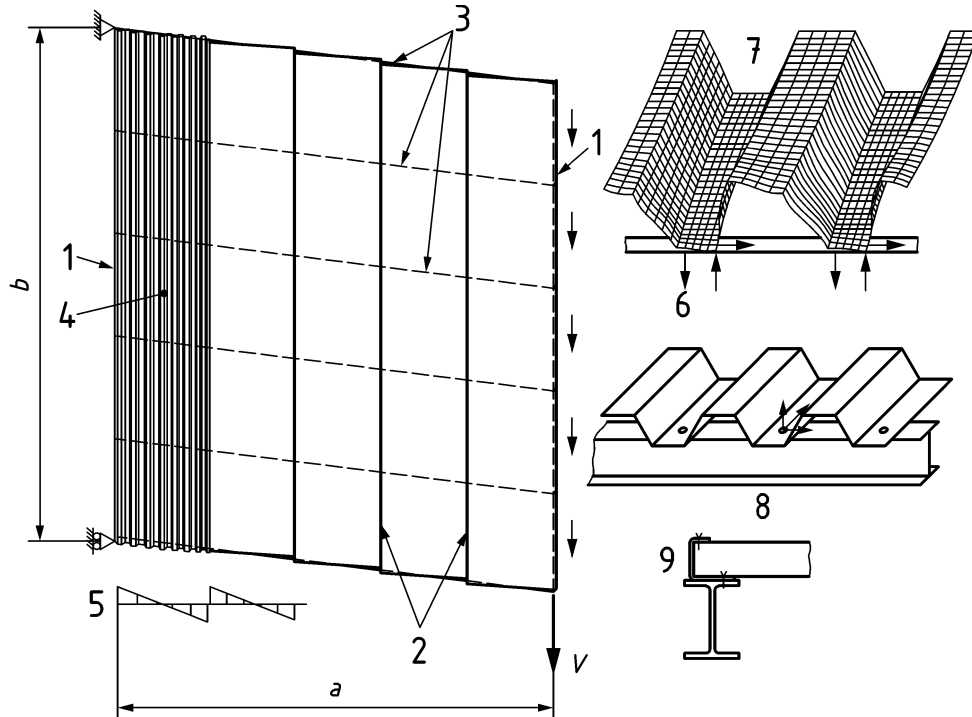
$F_{b,Rd}$  und  $F_{n,Rd}$  die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit für die Befestigung, berechnet nach Tabelle 10.2 bis Tabelle 10.5;

$F_{v,Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Scherbeanspruchung.

N2 Nationale Fußnote: Fehler in Referenzfassung. Gemeint ist Gleichung (11.85).

Die Auswirkung von Profilverformungen darf durch Endverstärkungsmaßnahmen verhindert werden, siehe Bild 11.28(9). Die Kombination von Scherkraft und Windsog sollte nach 10.3(8) überprüft werden.

Für alle anderen Versagensarten der Befestigungen sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit den Bemessungswert der einwirkenden Last um mindestens 25 % überschreiten.



#### Legende

- 1 Träger/Riegel
- 2 Verbindungselemente am Längsstoß
- 3 Pfetten
- 4 Randblech
- 5 Scherkraft infolge Schlupf in den Längsstoßverbindungen
- 6 Auswirkung von Scherkraft und Profilverformung am Endquerschnitt
- 7 Profilmitte
- 8 Kräfte, die auf die Verbindungselemente zwischen Profiltafel und Pfette einwirken
- 9 Endverstärkung zur Verhinderung der Profilverformung am Endquerschnitt

**Bild 11.28 — Bemessungsmodell für die Verformungen eines Schubfeldes**

#### 11.5.5 Schubfelder aus Kassettenprofilen aus Stahl

(1) Kassettenprofile in Schubfeldern sollten ausgesteifte, breite Gurte haben.

(2) Kassettenprofile in Schubfeldern sollten an den Stegen miteinander verbunden sein, wobei der Abstand  $p_{1,t}$  der Verbindungselemente (in der Regel Blindniete) höchstens 300 mm und der Abstand  $e_u$  vom breiten Gurt höchstens 30 mm betragen sollte, wie in Bild 11.29 dargestellt.

(3) Eine genaue Bewertung der Verformungen unter Berücksichtigung der Verbindungselemente darf mit einem ähnlichen Verfahren wie für Trapezprofile vorgenommen werden.

ANMERKUNG EAD 330046-01-0602 kann angewendet werden.

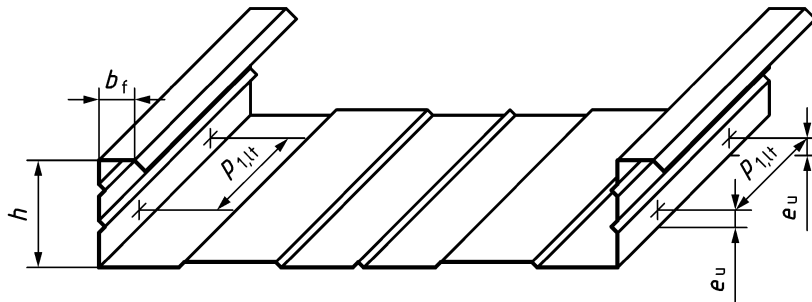


Bild 11.29 — Anordnung der Verbindungselemente am Längsstoß

## 12 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Eine versuchsgestützte Bemessung nach Abschnitt 12 sollte in Verbindung mit den Grundsätzen nach EN 1990 und EN 1993-1-1 durchgeführt werden; Abschnitt 12 enthält zusätzliche Festlegungen speziell für kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln aus Stahl.

ANMERKUNG Weiterführende Informationen zu Versuchen können durch den Nationalen Anhang bereitgestellt werden.

(2) Jeder Versuchskörper sollte in jeder Hinsicht dem tatsächlichen Bauteil oder Tragwerk entsprechen. Es sollte darauf geachtet werden, dass Versuchsergebnisse durch Änderungen des Herstellungsprozesses (z. B. andere Rollprofilieranlagen) ungültig werden können.

(3) Im Fall von Versuchen an Tragwerksteilen (z. B. ein Zwischenauflagerversuch an einem System mit Überdeckungen oder Kopplungen) müssen die Versuchskörper in Übereinstimmung mit den maßgebenden bautechnischen Unterlagen montiert werden.

(4) Die in den Versuchen verwendeten Auflagereinrichtungen sollten vorzugsweise Randbedingungen bieten, die denen im tatsächlichen Tragwerk stark ähneln. Wenn dies nicht möglich ist, sollten ungünstigere Randbedingungen vorgesehen werden, durch die die Beanspruchbarkeit reduziert oder die Verformbarkeit vergrößert wird. Falls die Auflager keine Drehbettung bieten, sollten, soweit zutreffend, Linienkipp- und Rollenlager oder Kugellager verwendet werden.

(5) Wenn Plattenbeulen die Beanspruchbarkeit des Querschnittes bestimmt, sollte der Versuchskörper eine Länge von mindestens der dreifachen Breite des breitesten plattenförmigen Querschnittsteils aufweisen. Bei Querschnitten mit Rand- oder Zwischensteifen sollte sichergestellt werden, dass der Versuchskörper lang genug ist, um mehrere Halbwellen der Forminstabilität auszubilden.

(6) Vor den Versuchen sollten die Querschnittsabmessungen des Versuchskörpers gemessen werden, um sicherzustellen, dass sie innerhalb der zulässigen Toleranzen der maßgebenden Produktnorm liegen.

(7) Falls die gegebene Lastkombination Kräfte einschließt, die auf mehr als einer Wirkungslinie einwirken, sollte jede dieser Kräfte während des Versuchs proportional gesteigert werden.

(8) Die Lasten müssen entweder schrittweise oder kontinuierlich aufgebracht werden. Wird die Last schrittweise aufgebracht, müssen die Laststufen so gewählt werden, dass das Verhalten deutlich beobachtet werden kann. Wird die Last kontinuierlich aufgebracht, muss die Belastungsgeschwindigkeit gering genug sein, um statische Bedingungen sicherzustellen.

(9) Bei jeder Laststufe sollten die Verformungen und/oder Dehnungen an einer oder an mehreren aussagekräftigen Stelle(n) des Versuchskörpers gemessen werden. Das Ablesen der Messwerte für Verformungen oder Dehnungen sollte erst nach dem Abklingen der Verformungen in einer Laststufe erfolgen.

(10) Die Auflagersetzungen an beiden Enden des Versuchskörpers sollten ebenfalls überwacht werden.

(11) Das Versuchsergebnis zur Beanspruchbarkeit sollte dem Höchstwert der Beanspruchung im Versagensfall entsprechen.

(12) Der Versagensfall eines Versuchskörpers sollte als erreicht gelten, wenn einer der folgenden Zustände eingetreten ist:

- Einsturz oder Bruch des Versuchskörpers;
- Rissbildung in einem entscheidenden Teil des Versuchskörpers;
- übermäßiger Anstieg der Verformungen.

(13) Für jede Versuchsreihe muss eine förmliche Dokumentation erarbeitet werden, die alle maßgebenden Daten enthält, so dass die Versuchsreihe exakt reproduziert werden kann.

(14) Die nachfolgenden Prüfverfahren müssen ausgeführt werden, wie in Anhang A festgelegt:

- Werkstoffprüfungen, siehe Abschnitt A.2;
- Versuche an einzelnen Trägern und Stützen, siehe Abschnitt A.3;
- Versuche an Tragwerken oder Tragwerksteilen, siehe Abschnitt A.4;
- Versuche an Profiltafeln und Kassettenprofilen, siehe Abschnitt A.5;
- Versuche an Bauteilen mit Verdrehbehinderung, siehe Abschnitt A.6;
- Versuche an Befestigungen, siehe Abschnitt A.7;
- Versuche an Lagereinrichtungen, siehe Abschnitt A.8;
- Auswertung von Versuchsergebnissen zur Bestimmung von Bemessungswerten, siehe Abschnitt A.9.

## Anhang A (normativ)

### Prüfverfahren

#### A.1 Allgemeines

##### A.1.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser normative Anhang A enthält zusätzliche Informationen zu Abschnitt 12 zur versuchsgestützten Bemessung.

ANMERKUNG Umrechnungsfaktoren für bereits existierende Versuchsergebnisse, die den Ergebnissen der genormten Versuche nach diesem Anhang gleichwertig sind, können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

##### A.1.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser normative Anhang behandelt:

- Werkstoffprüfungen, siehe Abschnitt A.2;
- Versuche an einzelnen Trägern und Stützen, siehe Abschnitt A.3;
- Versuche an Tragwerken oder Tragwerksteilen, siehe Abschnitt A.4;
- Versuche an Profiltafeln und Kassettenprofilen, siehe Abschnitt A.5;
- Versuche an Bauteilen mit Verdrehbehinderung, siehe Abschnitt A.6;
- Versuche an Befestigungen, siehe Abschnitt A.7;
- Versuche an Lagereinrichtungen, siehe Abschnitt A.8;
- Auswertung von Versuchsergebnissen zur Bestimmung von Bemessungswerten, siehe Abschnitt A.9.

(2) Die Messunsicherheit sollte mit der Größenordnung der betreffenden Messung kompatibel sein; in keinem Fall sollte der Messfehler  $\pm 1\%$  des zu bestimmenden Werts überschreiten. Die folgenden Größen von Grenzabweichungen sollten ebenfalls erreicht werden für:

- die Gesamtmaße (Breite, Höhe und Länge):  $\pm 1,0$  mm;
- die Breite ebener Querschnittsteile:  $\pm 1,0$  mm;
- die Biegeradien:  $\pm 1,0$  mm;
- die Neigungen der ebenen Querschnittsteile:  $\pm 2,0^\circ$ ;
- die Winkel zwischen ebenen Oberflächen:  $\pm 2,0^\circ$ ;
- die Lage und Maße von Zwischensteifen:  $\pm 1,0$  mm;
- die Werkstoffdicke:  $\pm 0,01$  mm;
- alle Querschnittsmessungen:  $0,5\%$  der Nennwerte.

Zusätzlich sollte die Anordnung der Verbindungselemente und aller Komponenten in Bezug zueinander aufgezeichnet werden.

(3) Im Fall von Versuchen an Tragwerken oder Tragwerksteilen mit Schraubverbindungen müssen die Versuchskörper mit den festgelegten Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben und mit den Werkzeugen und Anzugverfahren montiert werden, die bei der Ausführung verwendet werden. Handfest angezogene Schraubverbindungen, für die kein Anzugverfahren vorgegeben ist, sollten mit einem Anziehmoment angezogen werden, das nicht größer ist als das bei der Ausführung verwendete. Falls entweder:

- das Letztgenannte nicht sichergestellt ist; oder
- das Anziehmoment nicht dauerhaft sichergestellt ist; oder
- der Schlupf nicht ausdrücklich in der Auswertung, Berechnung und Bemessung berücksichtigt wird,

dürfen die Anziehmomente nach Tabelle A.1 als Höchstwert bei der Montage der Versuchskörper mit Verwendung eines manuellen Drehmomentschlüssels aufgebracht werden.

**Tabelle A.1 — Vorbereitung der Versuchskörper mit handfest angezogenen Schraubverbindungen:  
Maximale Anziehmomente für Schraubenabmessungen, die üblicherweise in kaltgeformten  
Tragwerken verwendet werden**

Schraubenabmessung	M6	M8	M10	M12	M14	M16
$M_{\text{torque,max}}$ [Nm]	1,5	4	8	15	22	35

ANMERKUNG Die Ausführungsspezifikationen für nicht vorgespannte (handfest angezogene) Schraubverbindungen nach EN 1090-2, auf die EN 1090-4 Bezug nimmt, legen kein aufzubringendes und zu überprüfendes Anziehmoment fest.  $M_{\text{torque}}$  nach Tabelle A.1 wird übernommen aus Schmidt, H. et. al, Ausführung von Stahlbauten, Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2:2014, Tabelle KII.8-1, für die Mindestfestigkeitsklasse von Schrauben 4.6.

## A.2 Werkstoffprüfungen

### Zugversuche

(1) Werden die charakteristischen Werte der Werkstoffeigenschaften mit Hilfe von Versuchen ermittelt, sollten diese Versuche nach EN ISO 6892-1 durchgeführt werden. Es sollten mindestens 5 Prüfstücke wie folgt entnommen werden:

1. Bandrollen (Coils):
  - a) Bandrollen derselben Charge (dieselbe Stahlschmelze): mindestens ein Prüfstück je Bandrolle werden von 30 % der Bandrollen genommen;
  - b) Bandrollen verschiedener Chargen: mindestens ein Prüfstück je Bandrolle;
2. Streifen:
  - a) mindestens ein Prüfstück je 2 000 kg Stahl aus derselben Charge;
  - b) mindestens ein Prüfstück je Charge.

Die Prüfstücke sollten der Stahlcharge nach Zufall entnommen werden, und die Ausrichtung sollte der Längsrichtung des Tragwerksteils entsprechen. Die charakteristischen Werte sollten auf Grundlage einer statistischen Auswertung nach EN 1990:2023, Anhang D, bestimmt werden.

## A.3 Versuche an einzelnen Trägern und Stützen

### A.3.1 Druckversuche am vollen Querschnitt

#### A.3.1.1 Versuche an kurzen Stützen

(1) Versuche an kurzen Stützen dürfen durchgeführt werden, um die Auswirkungen des Plattenbeulens und der Forminstabilität durch Bestimmung des Verhältnisses  $\beta_A = A_{\text{eff}}/A$  und der Schwerpunktlage des wirksamen Querschnittes zu ermitteln.

(2) Die Längen der Versuchskörper mit perforierten Querschnitten sollten mindestens fünf Lochungen umfassen, wobei der Versuchskörper an beiden Enden mittig zwischen zwei Lochungen geschnitten werden sollte.

(3) Wenn die Gesamtlänge des Versuchskörpers den 20-fachen Wert des kleinsten Trägheitsradius des Bruttoquerschnittes  $i_{\text{min}}$  überschreitet, sollten seitliche Zwischenstützungen mit einem Abstand von höchstens  $20 i_{\text{min}}$  angeordnet werden.

(4) Die geschnittenen Enden des Versuchskörpers sollten eben sein und rechtwinklig zur Längsachse verlaufen.

(5) Eine zentrische Druckkraft sollte an beiden Enden des Versuchskörpers über mindestens 30 mm dicke Druckplatten eingeleitet werden, die mindestens 10 mm über den Querschnittsumfang herausragen.

(6) Der Versuchskörper sollte in die Prüfmaschine eingebaut und ein Kugellager an jedem Ende installiert werden. Die Druckplatten sollten mit Ausrundungen zur Aufnahme der Kugellager versehen sein. Die Kugellager sollten sich in einer Linie mit dem Schwerpunkt des berechneten wirksamen Querschnitts befinden. Falls sich die berechnete Lage dieses wirksamen Schwerpunktes als nicht korrekt erweist, darf sie im Rahmen der Versuchsreihe angepasst werden.

(7) Bei offenen Querschnitten dürfen mögliche Verformungen aus Rückfederungen korrigiert werden.

(8) Versuche an kurzen Stützen dürfen durchgeführt werden, um die Druckbeanspruchbarkeit eines Querschnittes zu bestimmen. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sollten folgende Parameter als Variablen betrachtet werden:

- die Dicke  $t$ ;
- die Verhältnisse  $b_p/t$  der einzelnen Querschnittsteile;
- die Zugfestigkeit  $f_u$ ;
- die Streckgrenze  $f_{yb}$ ;
- der Verhältniswert  $f_u/f_{yb}$ ;
- die Schwerpunktlage des wirksamen Querschnitts;
- geometrische Imperfektionen des Querschnitts;
- das Verfahren der Kaltumformung (z. B. die Erhöhung der Streckgrenze durch Einbringen einer Verformung, die anschließend wieder zurückgenommen wird).

### A.3.1.2 Knickversuche an Bauteilen

(1) Knickversuche an Bauteilen dürfen zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit von druckbeanspruchten Bauteilen bei globalem Stabilitätsversagen (einschließlich Biegeknicken, Drillknicken und Biegedrillknicken) und der Interaktion zwischen Plattenbeulen, Forminstabilität und globalem Stabilitätsversagen durchgeführt werden.

(2) Die Versuchsdurchführung sollte im Allgemeinen derjenigen für Versuche an kurzen Stützen nach A.3.1.1 entsprechen.

(3) Eine Reihe von Versuchen an axial belasteten Versuchskörpern mit unterschiedlichen Bauteillängen darf durchgeführt werden, um die geeignete Knicklinie für eine bestimmte Querschnittsform, eine bestimmte Stahlsorte und einen spezifischen Herstellungsprozess zu bestimmen. Die Werte der bezogenen Schlankheitsgrade in den Versuchen und die Mindestanzahl der Versuche  $n$  bei jedem Wert sollten den Angaben nach Tabelle A.2 entsprechen.

**Tabelle A.2 — Bezogener Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}$  und Mindestanzahl der Versuche  $N_{\text{test}}$**

$\bar{\lambda}$	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	3,0
$N_{\text{test}}$	3	5	5	5	5	5	5	5

(4) Ähnliche Versuche dürfen auch durchgeführt werden, um die Auswirkung von zusätzlichen Zwischenhalterungen auf die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Drillknicken eines Bauteils zu bestimmen.

(5) Zur Auswertung der Versuchsergebnisse sollten die folgenden Parameter berücksichtigt werden:

- die bei den Druckversuchen an kurzen Stützen in A.3.1.1(8) angegebenen Parameter;
- die Imperfektionen bei Abweichungen von der Geradheit eines Bauteils im Vergleich zu den Produktnormen, siehe Abschnitt 12(6);
- die Art der Endauflagerung oder Zwischenhalterungen (biege- und/oder torsionssteif).

(6) Die Abweichung von der Geradheit darf folgendermaßen berücksichtigt werden:

- a) Bestimmung der Belastung des Bauteils durch geeignete Berechnung nach der Elastizitätstheorie mit einer Vorkrümmung, die der des Prüfkörpers entspricht:  $F_{\text{bow,test}}$ ;
- b) Wie a), jedoch mit einer Vorkrümmung, die dem zulässigen Höchstwert der Produktspezifikation entspricht:  $F_{\text{bow,max,nom}}$ ;
- c) Anpassung der Versuchsergebnisse mit dem Korrekturfaktor  $F_{\text{bow,max,nom}}/F_{\text{bow,test}}$ .

### A.3.2 Zugversuche am vollen Querschnitt

(1) Dieser Versuch darf zur Bestimmung der durchschnittlichen Streckgrenze  $f_{y\alpha}$  eines Querschnittes durchgeführt werden.

(2) Die Mindestlänge des Prüfkörpers sollte mindestens der 5-fachen Breite des breitesten, ebenen Querschnittsteils im Querschnitt entsprechen.

(3) Die Last sollte über Endlagerungen eingebracht werden, die eine gleichförmige Spannungsverteilung über den Querschnitt sicherstellen.

(4) Die Versagenszone sollte in einem Abstand zum Endauflager liegen, der mindestens der Breite des breitesten, ebenen Querschnittsteils im Querschnitt entspricht.

### A.3.3 Biegeversuche am vollen Querschnitt

(1) Dieser Versuch darf zur Bestimmung der Biegemomentenbeanspruchbarkeit und der Rotationskapazität des Querschnittes durchgeführt werden.

(2) Der Versuchskörper sollte eine Länge von mindestens dem 15-fachen der größten Querschnittsabmessung aufweisen. Der Abstand der seitlichen Stützungen des Druckgurtes sollte nicht kleiner sein als der Abstand in der tatsächlichen Anwendung.

(3) Zwei gleiche Einzellasten sollten so auf den Versuchskörper aufgebracht werden, dass in der Feldmitte ein konstantes Biegemoment über eine Länge von mindestens  $0,2 L_{\text{test}}$  (Stützweite), aber nicht mehr als  $0,33 L_{\text{test}}$  (Stützweite) entsteht. Diese Lasten sollten im Schubmittelpunkt des Querschnittes eingeleitet werden. Der Querschnitt sollte an den Lasteinleitungspunkten gabelgelagert sein. Falls erforderlich, sollte Plattenbeulen des Versuchskörpers an den Lasteinleitungsstellen verhindert werden, um sicherzustellen, dass das Versagen im mittleren Abschnitt der Stützweite auftritt. Die Durchbiegungen sollten an den Lasteinleitungsstellen, in der Mitte der Stützweite und an den Enden des Versuchskörpers gemessen werden.

(4) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sollten folgende Parameter als Variablen betrachtet werden:

- die Dicke  $t$ ;
- das Verhältnis  $b_p/t$ ;
- die Zugfestigkeit  $f_u$ ;
- die Streckgrenze  $f_{yb}$ ;
- der Verhältniswert  $f_u/f_{yb}$ ;
- die Unterschiede der Stabilisierung von Bauteilen im Versuch und in der tatsächlichen Anwendung;
- die Auflagerbedingungen.

## A.4 Versuche an Tragwerken und Tragwerksteilen

### A.4.1 Abnahmeversuch

(1) Ein Abnahmeversuch darf als eine zerstörungsfreie Prüfung zur Bestätigung des Tragverhaltens eines Tragwerks oder von Tragwerksteilen durchgeführt werden.

(2) Die Versuchslast eines Abnahmeversuchs sollte gleich der Summe der folgenden Lastanteile sein:

- $1,0 \times$  (tatsächliche Eigenlast während des Versuches);
- $1,15 \times$  (übrige ständige Last);
- $1,25 \times$  (veränderliche Lasten),

darf aber kleiner sein als der Mittelwert der gesamten Bemessungslast im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der gesamten Bemessungslast im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für die vorherrschende Lastkombination.

(3) Vor Durchführung des Abnahmeversuchs darf optional eine Vorbelastung (die die charakteristischen Werte der Lasten nicht überschreitet) aufgebracht und wieder entfernt werden.

(4) Das Tragwerk sollte zuerst bis zu einer Last belastet werden, die der gesamten charakteristischen Last entspricht. Unter dieser Last sollte das Tragwerk ein überwiegend elastisches Verhalten zeigen. Bei der Entlastung darf die bleibende Verformung höchstens 20 % der maximalen aufgezeichneten Verformung betragen. Werden diese Kriterien nicht erfüllt, sollte dieser Teil der Versuchsdurchführung wiederholt werden. Um eine Abnahme zu erreichen, sollte das Tragwerk bei diesem wiederholten Belastungszyklus bis zum Erreichen der charakteristischen Last ein überwiegend lineares Verhalten zeigen und die bleibende Verformung sollte 10 % der maximalen aufgezeichneten Verformung nicht überschreiten.

(5) Während des Abnahmeversuchs sollten die Lasten in einer Reihe regelmäßiger Laststufen und in regelmäßigen Zeitabständen aufgebracht werden, und die maßgebenden Verformungen sollten bei jeder Laststufe gemessen werden. Wenn die Verformungen deutlich nichtlinear werden, sollten die Laststufen reduziert werden.

(6) Beim Erreichen der Versuchslast des Abnahmeversuchs sollte die Last konstant gehalten werden, um zu überprüfen, ob das Tragwerk oder die Tragwerksteile stabil sind. Mit Hilfe von Verformungsmessungen sollte festgestellt werden, ob das Tragwerk zeitabhängige Verformungen aufweist, wie z.B. Verformungen in Verbindungen oder aufgrund von Kriechvorgängen in der Zinkschicht.

(7) Die Entlastung sollte in regelmäßigen Schritten erfolgen, wobei die Verformungen in jeder Laststufe gemessen werden sollten.

(8) Das Tragwerk sollte der Versuchslast des Abnahmeversuchs standhalten und es sollten keine signifikanten örtlichen Profilverformungen oder Mängel vorhanden sein, die das Tragwerk nach dem Versuch unbrauchbar machen könnten.

#### A.4.2 Belastungsversuch

(1) Ein Belastungsversuch darf durchgeführt werden, um die berechnete Beanspruchbarkeit eines Tragwerks oder von Tragwerksteilen zu bestätigen. Wenn eine Anzahl ähnlicher Bauteile nach einheitlichem Entwurf und Bemessung gebaut ist und ein oder mehrere Prototypen im Versuch getestet wurden und sämtliche Anforderungen dieses Belastungsversuchs erfüllt haben, dürfen weitere Bauteile ohne weitere Versuche akzeptiert werden, wenn sie den Prototypen in allen maßgebenden Aspekten ähnlich sind.

(2) Vor der Durchführung des Belastungsversuchs sollten die Versuchskörper zunächst den in A.4.1 beschriebenen Abnahmeversuch durchlaufen.

(3) Die Last sollte danach schrittweise bis zum Erreichen der Versuchslast des Belastungsversuchs  $F_{str}$  erhöht werden, und die maßgebenden Verformungen sollten bei jeder Laststufe gemessen werden. Die Versuchslast sollte mindestens eine Stunde gehalten werden, und es sollten Verformungsmessungen durchgeführt werden, um festzustellen, ob das Tragwerk einem Kriechvorgang unterliegt.

(4) Die Entlastung sollte in regelmäßigen Schritten erfolgen, wobei die Verformungen in jeder Laststufe gemessen werden sollten.

(5) Die gesamte Versuchslast aus dem Belastungsversuch  $F_{str}$  (einschließlich der Eigenlast) sollte aus dem Bemessungswert der Gesamtlast  $F_{Ed}$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter Verwendung von Gleichung (A.1) bestimmt werden:

$$F_{str} = \gamma_{Mi} \mu_F F_{Ed} \quad (A.1)$$

Dabei ist

$\mu_F$  der Lastkorrekturbeiwert;

$\gamma_{Mi}$  der Teilsicherheitsbeiwert für den Grenzzustand der Tragfähigkeit.

(6) Der Lastkorrekturbeiwert  $\mu_F$  sollte Streuungen der Tragfähigkeit von Tragwerk oder Tragwerksteilen infolge der Auswirkungen von Abweichungen der Streckgrenze des Werkstoffs, der Querschnittsbeanspruchbarkeit, der Stabilität des Bauteils oder anderen maßgebenden Parametern berücksichtigen.

(7) Wenn eine wirklichkeitsnahe Beurteilung der Tragfähigkeit des Tragwerks oder der Tragwerksteile nach Anhang A oder nach anderen anerkannten Berechnungsverfahren, die alle Auswirkungen von Instabilitäten berücksichtigen, durchgeführt werden darf, darf der Lastkorrekturbeiwert  $\mu_F$  als das Verhältnis aus der prognostizierten Tragfähigkeit auf Grundlage der mittleren Basisstreckgrenze  $f_{ym}$  und dem entsprechenden Wert auf Grundlage des Nennwerts der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  angesetzt werden.

(8) Der Wert  $f_{ym}$  sollte aus den gemessenen Basisstreckgrenzen  $f_{yb,obs}$  der verschiedenen Komponenten eines Tragwerks oder von Tragwerksteilen unter Berücksichtigung ihrer relativen Bedeutung bestimmt werden.

(9) Wenn keine wirklichkeitsnahe, theoretische Beurteilung der Tragfähigkeit vorgenommen werden kann, sollte der Lastkorrekturbeiwert  $\mu_F$  mit dem Korrekturbeiwert der Beanspruchbarkeit  $\mu_R$  nach A.9.2 gleichgesetzt werden.

(10) Bei Beanspruchung durch die Versuchslast sollte kein Versagen infolge Instabilität oder Bruch in irgendeinem Teil des Versuchskörpers auftreten.

(11) Bei der Entlastung sollte die Verformung um mindestens 20 % zurückgehen.

### A.4.3 Prototypversuch bis zum Versagen

(1) Ein Versuch bis zum Versagen darf zur Bestimmung der Versagensart und der Grenztragfähigkeit von Tragwerken und Tragwerksteilen durchgeführt werden. Wenn der Prototyp nicht für eine weitere Nutzung vorgesehen ist, darf er nach Beendigung des Belastungsversuchs nach A.4.2 optional zur Ermittlung dieser zusätzlichen Informationen verwendet werden.

(2) Alternativ darf ein Versuch bis zum Versagen durchgeführt werden, um den wirklichen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit aus der Versagenslast im Versuch abzuleiten. Da der Abnahmeversuch und der Belastungsversuch vorzugsweise zuerst durchgeführt werden sollten, sollte zunächst der zu erwartende Bemessungswert der Beanspruchbarkeit als Grundlage für solche Versuche abgeschätzt werden.

(3) Vor der Durchführung eines Versuchs bis zum Versagen sollte der Versuchskörper zuerst den Belastungsversuch nach A.4.2 durchlaufen. Der abgeschätzte Bemessungswert der Tragfähigkeit darf danach auf Grundlage seines Verhaltens im Belastungsversuch angepasst werden.

(4) Bei einem Versuch bis zum Versagen sollte die Belastung zunächst stufenweise bis zu der Versuchslast des Belastungsversuchs aufgebracht werden. Nachfolgende Laststufen sollten nach Auswertung des Last-Verformungs-Diagramms festgelegt werden.

(5) Die Grenztragfähigkeit sollte als der Wert der Versuchslast an dem Punkt angenommen werden, an dem das Tragwerk oder die Tragwerksteile keiner weiteren Lastzunahme mehr standhalten können.

ANMERKUNG An diesem Punkt wird wahrscheinlich eine irreversible Querschnittsverformung aufgetreten sein. In einigen Fällen definiert die Gesamtverformung die Versuchsgrenze.

### A.4.4 Kalibrationsversuch

(1) Ein Kalibrationsversuch darf durchgeführt werden, um:

- das Tragverhalten im Vergleich zu rechnerischen Bemessungsmodellen zu überprüfen;
- bestimmte Parameter, die aus Berechnungsmodellen abgeleitet wurden, wie z. B. Festigkeit oder Steifigkeit von Bauteilen oder Anschlüssen, zu quantifizieren.

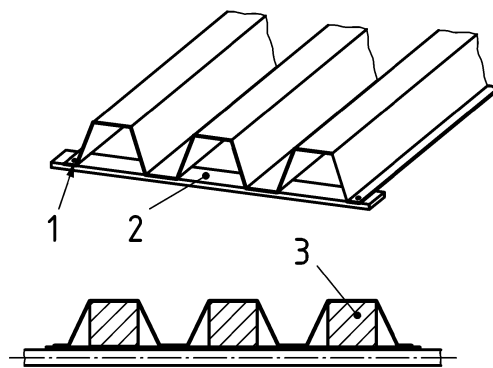
## A.5 Versuche an Profiltafeln und Kassettenprofilen

### A.5.1 Allgemeines

(1) Obwohl diese Prüfverfahren für Profiltafeln vorgestellt werden, dürfen ähnliche Prüfverfahren, die auf denselben Grundsätzen beruhen, auch für Kassettenprofile und andere Arten von Profiltafeln angewendet werden.

(2) Die Belastung darf durch Luftsäcke, in einer Prüfkammer mit Unterdruck oder durch Stahl- oder Holztraversen eingeleitet werden, die so angeordnet sind, dass eine annähernd gleichmäßig verteilte Belastung gewährleistet ist.

(3) Um ein Auseinanderspreizen der Profiltafelrippen zu verhindern, dürfen an den Auflagern oder Lasteinleitungspunkten der Versuchskörper Querzugbänder oder andere geeignete Hilfsmittel wie z.B. Holzklötze angebracht werden. Einige Beispiele sind in Bild A.1 dargestellt.



#### Legende

- 1 Niet oder Schraube
- 2 Zugband in Querrichtung (Metallband)
- 3 Holzklötze

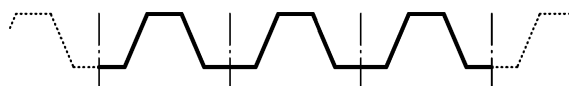
**Bild A.1 — Beispiele für geeignetes Versuchszubehör**

(4) Um die Anforderungen in 7.3.2(3) zu erfüllen, sollten die Versuchskörper, die aus Profiltafeln mit mehr als zwei Rippen bestehen, eine ganzzahlige Anzahl vollständiger Rippen enthalten, gemessen zwischen den Mittellinien der Rippen. Falls ein Längsrand des Versuchskörpers zugbeansprucht ist, sollte der außenstehende Teil davon entfernt werden, wie in Bild A.2 dargestellt. Falls eine Rippe am Längsrand des Versuchskörpers druckbeansprucht ist, sollte die Rippe am Rand entfernt werden, wie in Bild A.3 dargestellt.



ANMERKUNG Die zu entfernenden Teile sind mit gepunkteten Linien dargestellt.

**Bild A.2 — Verfahren zur Reduzierung der zugbeanspruchten Längsränder**



ANMERKUNG Die zu entfernenden Teile sind mit gepunkteten Linien dargestellt.

**Bild A.3 — Verfahren zur Reduzierung der druckbeanspruchten Längsränder**

### A.5.2 Versuch am Einfeldträger

(1) Der in Tabelle A.3 dargestellte Versuchsaufbau darf verwendet werden, um die Biegemomentebeanspruchbarkeit in Feldmitte (ohne Querkrafteinfluss) und die wirksame Biegesteifigkeit zu bestimmen.

(2) Die Biegesteifigkeit sollte anhand des Last-Verformungs-Diagramms als die Sekantensteifigkeit bestimmt werden, die sich für ein Biegemoment gleich 60 % des Biegemoments im Versagenszustand ergibt.

(3) Für die Auswertung (siehe A.9.3) dürfen Versuche an verschiedenen Versuchskörpern in Versuchseinheiten zusammengefasst werden, wenn sie aus Versuchskörpern bestehen, die alle folgenden Bedingungen erfüllen:

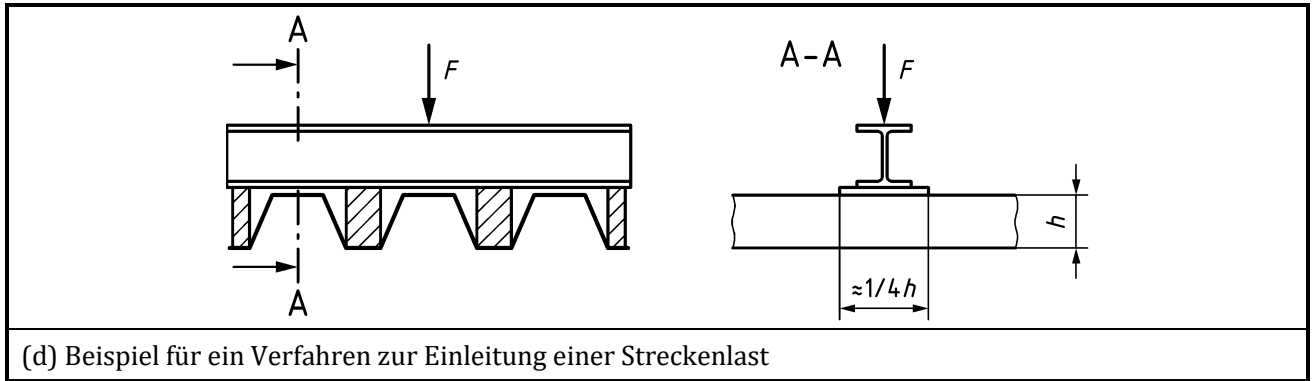
- sie haben dieselbe gemeinsame Nennstreckgrenze  $f_{yb}$ ;
- sie haben dieselben oder unterschiedliche Stützweiten;
- sie haben dieselben oder unterschiedliche Nennblechdicken  $t_{nom}$ .

(4) Für jede Nennblechdicke müssen mindestens zwei Versuchskörper getestet werden.

(5) Versuchskörper aus perforierten Profiltafeln oder Profiltafeln mit Löchern sollten nicht in dieselbe Versuchseinheit aufgenommen werden wie Versuchskörper aus nicht perforierten Profiltafeln oder Profiltafeln ohne Löcher.

Tabelle A.3 — Versuchsaufbau für Versuche an Einfeldträgern

<p>(a) Gleichförmig verteilte Belastung und ein Beispiel für eine alternative Gleichstreckenlast</p>	<p>(b) Verteilte Belastung, aufgebracht durch einen Luftsack (alternativ durch eine Unterdruckvorrichtung)</p> <p><b>Legende</b> 1 Zugband in Querrichtung</p>
<p>(c) Beispiel für eine Auflagerausbildung zur Vermeidung von Profilverformungen</p>	



### A.5.3 Versuch am Zweifeldträger

(1) Der in Bild A.4 und Bild A.5 dargestellte Versuchsaufbau darf verwendet werden, um die maßgebende Beanspruchbarkeit von Profiltafeln oder Kassettenprofilen (für eine gegebene Auflagerbreite  $b_B^{N3}$ ) zu bestimmen, die durchlaufend über zwei oder mehr Felder verlegt sind und durch eine gleichmäßig verteilte Last beansprucht werden.

ANMERKUNG A.5.1(4) gilt nicht für diese Versuchsaufbauten.

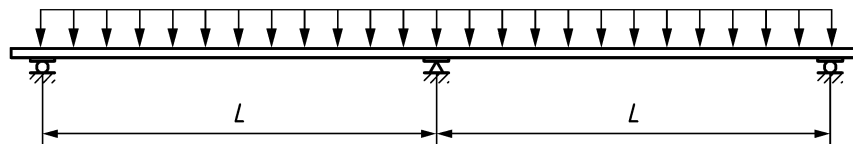


Bild A.4 — Versuchsaufbau für Zweifeldträgerversuche

(2) Die gleichmäßig verteilte Last (Bild A.4) darf unter Verwendung z. B. eines Luftsackes oder einer Unterdruck-Prüfeinrichtung aufgebracht werden. Alternativ dürfen die Lasten so angeordnet werden, dass sie eine annähernd gleichmäßig verteilte Belastung erzeugen, wie in Bild A.5 dargestellt.

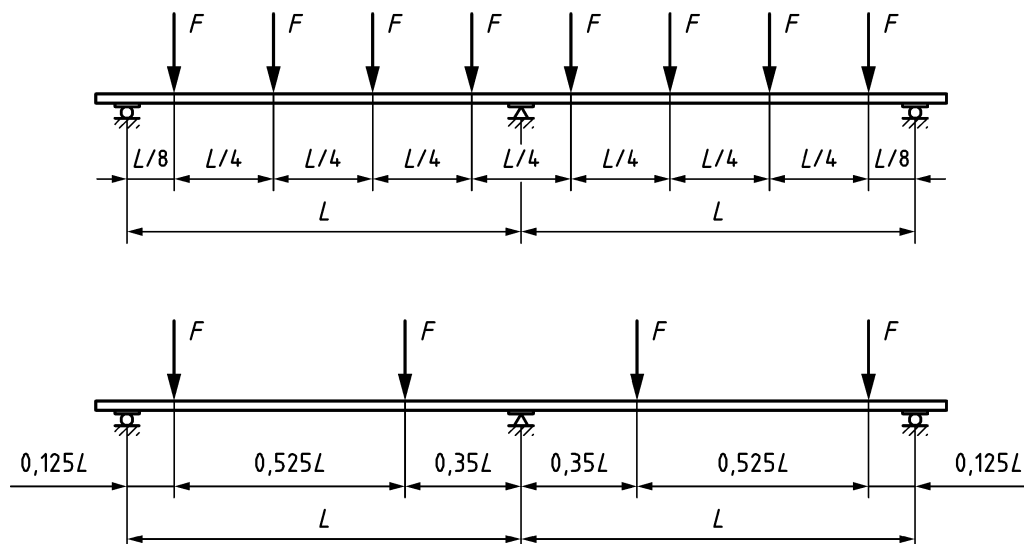


Bild A.5 — Beispiele äquivalenter Streckenlasten für zwei Versuche am Zweifeldträger

N3 Nationale Fußnote: Fehler in Referenzfassung. Gemeint ist  $b_{supp}$ .

(3) Da sich aus diesen Versuchskonfigurationen keine direkten Informationen über das Tragverhalten unter kombinierter Einwirkung eines Biegemoments und einer Zwischenauflegerreaktion ergeben, sollten zur Bestimmung der Biegemomentenbeanspruchbarkeit sowie des Momenten-Rotations-Verhaltens am Auflager und zur angemessenen Interpretation der Versuchsergebnisse die Auflagerreaktionen an allen Auflagern gemessen werden.

#### A.5.4 Versuch an einer Innenstützung

(1) Der Versuchsaufbau nach Tabelle A.4 ist geeignet, das Tragverhalten von durchlaufenden Profiltafeln an Innenstützungen unter gleichzeitiger Wirkung eines Biegemoments und einer Auflagerreaktionskraft für eine gegebene Auflagerbreite  $b_{\text{supp}}$  zu bestimmen. Dieser Versuch ist für gleiche oder ungleiche Stützweiten unter gleichmäßig oder ungleichmäßig verteilter Last anwendbar.

(2) Um das gleiche Verhältnis von Biegemoment zu Auflagerreaktionskraft wie im Fall eines Zweifeldträgers mit zwei gleich großen Stützweiten der Länge  $L$  zu erzielen, darf die Stützweite im Versuch  $L_{\text{test}}$  nach Gleichung (A.2) angesetzt werden:

$$L_{\text{test}} = 0,4 L \quad (\text{A.2})$$

(3) Zur Bestimmung des stützweitenabhängigen Tragverhaltens sollten Versuche für mindestens 3 verschiedene Stützweiten  $L_{\text{test}}$  vorzugsweise in gleichen Intervallen, durchgeführt werden.

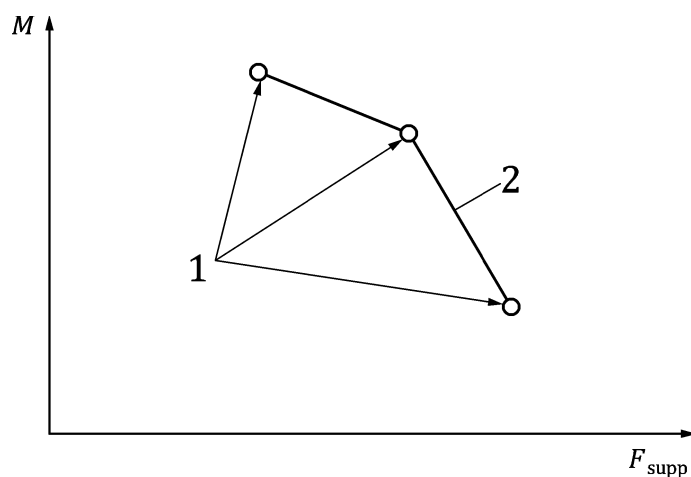
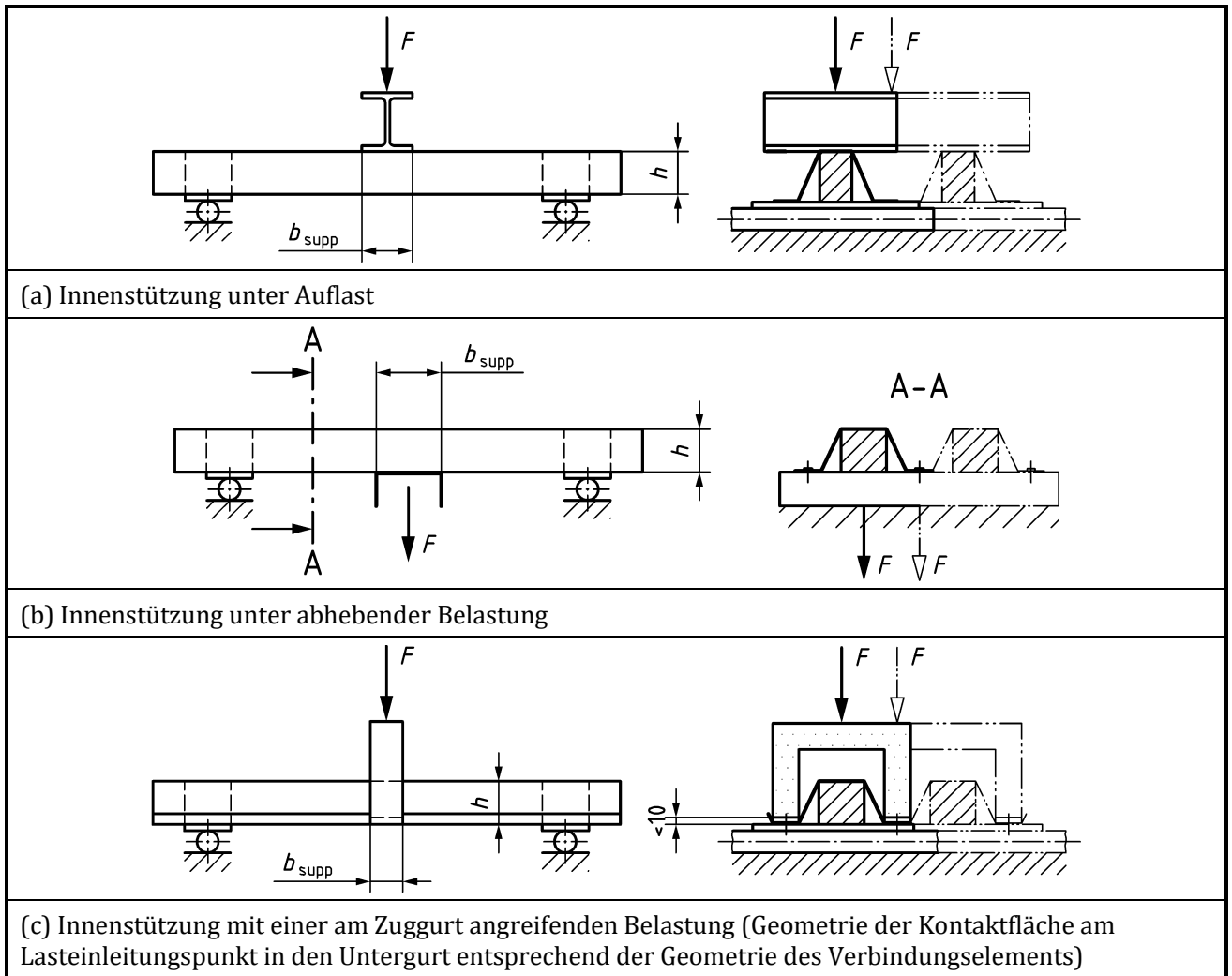
(4) Für jeden Wert der Stützweite  $L_{\text{test}}$  im Versuch sollte die Auflagerreaktionskraft  $F_{\text{supp}}$  als der Mittelwert der normierten Werte der Spitzenlast  $F_{\text{max}}$  für diesen Wert von  $L_{\text{test}}$  angesetzt werden. Der entsprechende Wert des Stützmoments  $M$  sollte danach mit Gleichung (A.3) bestimmt werden:

$$M = \frac{L_{\text{test}} F_{\text{supp}}}{4} \quad (\text{A.3})$$

Der Einfluss der ständigen Last sollte bei der Berechnung des Biegemomentwerts  $M$  nach Gleichung (A.3) addiert werden.

(5) Die Werte  $M$  und  $F_{\text{supp}}$  sollten für jeden Wert von  $L_{\text{test}}$  grafisch dargestellt werden, wie in Bild A.6 gezeigt. Werte für zwischenliegende Kombinationen aus  $M$  und  $F_{\text{supp}}$  dürfen danach durch lineare Interpolation bestimmt werden. Anstelle der in Bild A.6 dargestellten polygonalen Linie (b) darf eine konservativ gewählte gerade oder gekrümmte Linie unter Anwendung geeigneter Interaktionsgleichungen verwendet werden.

Tabelle A.4 — Versuchsaufbau für den Versuch an einer Innenstützung

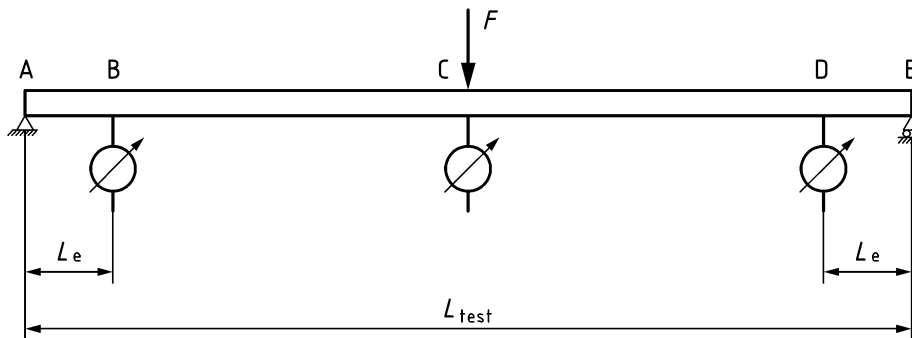


**Legende**

- 1 Versuchsergebnisse bei verschiedenen Stützweiten
- 2 lineare Interpolation

**Bild A.6 — Beziehung zwischen Stützmoment  $M$  und der Auflagerreaktionskraft  $F_{\text{supp}}$**

(6) Die berichtigte Durchbiegung am Lasteinleitungspunkt C in Bild A.7 sollte aus den Gesamtmesswerten unter Berücksichtigung des Mittelwertes der Durchbiegungen an Punkt B und Punkt D, im Abstand  $L_e$  von Auflagerpunkt A und Auflagerpunkt E gemessen, ermittelt werden, siehe Bild A.7.



**Bild A.7 — Versuchsaufbau für den Versuch an einer Innenstützung**

(7) Bei jedem Versuch sollte die Last in Beziehung zur zugehörigen, berichtigten Durchbiegung grafisch dargestellt werden, siehe Bild A.8. Aus diesem Diagramm sollte der Rotationswinkel  $\theta$  für einen Wertebereich der aufgebrachtten Last mit Gleichung (A.4) und Gleichung (A.5) ermittelt werden:

$$\theta = \frac{2 (\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{el})}{0,5 L_{test} - L_e} \quad \text{für Berechnungen auf Grundlage des wirksamen Querschnitts} \quad (A.4)$$

$$\theta = \frac{2 (\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{lin})}{0,5 L_{test} - L_e} \quad \text{für Berechnungen auf Grundlage des Bruttoquerschnittes} \quad (A.5)$$

Dabei ist

$\delta_{el}$  die berichtigte Durchbiegung, die einer gegebenen Belastung auf dem ansteigenden Teil der Versuchskurve (vor  $F_{max}$ ) entspricht;

$\delta_{pl}$  die berichtigte Durchbiegung bei derselben Belastung auf dem abfallenden Kurventeil (nach  $F_{max}$ );

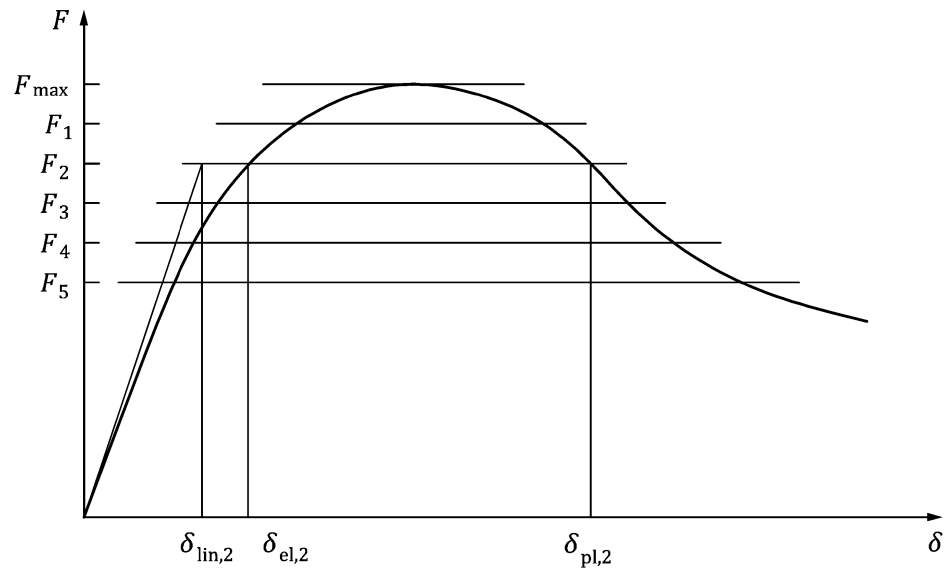
$\delta_{lin}$  die fiktive, berichtigte Durchbiegung, die sich nach einer linearen Berechnung unter einer gegebenen Belastung ergibt, siehe Bild A.8;

$\delta_e$  der durchschnittliche Messwert der Durchbiegung im Abstand  $L_e$  vom Auflager, siehe Bild A.7;

$L_{test}$  die Stützweite im Versuch;

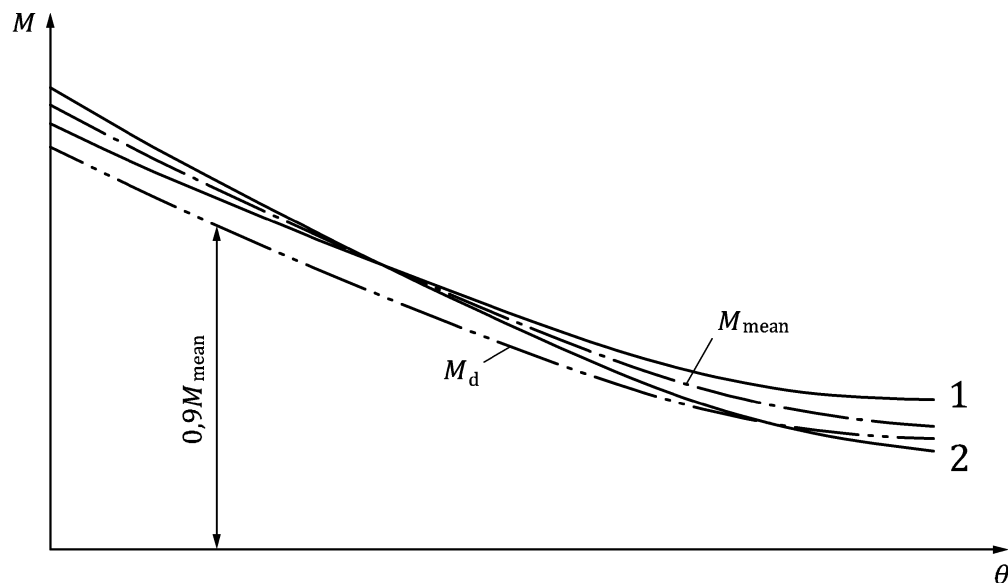
$L_e$  der Abstand von den Durchbiegungsmesspunkten B und D zum Auflager, siehe Bild A.7.

Falls Holzklötze nach A.5.1(3) verwendet werden, darf die Messung der Durchbiegung  $\delta_e$  an Punkt B und Punkt D entfallen und  $\delta_e$  und  $L_e$  dürfen mit Null angesetzt werden.



**Bild A.8 — Beziehung zwischen der Last  $F$  und der Durchbiegung  $\delta$**

(8) Die Beziehung zwischen  $M$  und  $\theta$  sollte für alle Versuche mit gleicher Stützweite  $L_{\text{test}}$ , die einem bestimmten Wert der tatsächlichen Spannweite  $L$  entspricht, grafisch dargestellt werden, wie in Bild A.9 gezeigt. Die für die Bemessung maßgebende  $M - \theta$ -Kurve der Profiltafel an einem Zwischenaufleger sollte danach als das 0,9-Fache der  $M - \theta$ -Mittelwertkurve für alle Versuche angesetzt werden, die diesem Wert der tatsächlichen Spannweite  $L$  entsprechen.



**Legende**

- $M_{\text{mean}}$  Mittelwert des Biegemoments
- $M_{\text{d}}$  Bemessungswert des Biegemoments
- 1 Daten aus Versuch 1
- 2 Daten aus Versuch 2

**Bild A.9 — Herleitung der Momenten-Rotations-Beziehung ( $M - \theta$ )**

(9) Eine konservative, vereinfachte Bemessung darf durchgeführt werden, bei der ein konstanter Wert des Stützmoments  $M_{d,lim}$  angesetzt wird, das einem willkürlich gewählten Rotationsgrenzwert  $\theta_{lim}$  entspricht. Im Rahmen des Bemessungsverfahrens sollte nachgewiesen werden, dass die Rotation im Grenzzustand der Tragfähigkeit den Rotationsgrenzwert  $\theta_{lim}$  nicht überschreitet.

ANMERKUNG Die tatsächliche Rotation  $\theta$  ist üblicherweise kleiner als 0,15 rad.

(10) Bei der Auswertung (siehe A.9.3) dürfen Versuche an verschiedenen Versuchskörpern in Versuchseinheiten zusammengefasst werden, wenn sie aus Versuchskörpern bestehen, die alle folgenden Bedingungen erfüllen:

- sie haben dieselbe Nennstreckgrenze  $f_{yb}$ ;
- sie haben dieselbe Nennblechdicke  $t_{nom}$ ;
- sie haben dieselbe Auflagerbreite  $b_{supp}$ ;
- sie haben dieselbe oder unterschiedliche Stützweiten im Versuch  $L_{test}$ .

Für jede Stützweite müssen mindestens zwei Versuchskörper getestet werden.

(11) Es gilt A.5.2(5).

(12) Falls die Charakteristik des Momenten-Rotations-Verhaltens durch Versuche mit unterschiedlicher Auflagerbreite  $b_B^{N4}$  ermittelt wird, darf die Charakteristik für eine zwischenliegende Auflagerbreite durch lineare Interpolation bestimmt werden.

### A.5.5 Versuch am Endauflager

(1) Der in Bild A.10 dargestellte Versuchsaufbau darf verwendet werden, um die Beanspruchbarkeit einer Profiltafel auf Querkraft und Stegkrüppeln am Endauflager zu bestimmen.

ANMERKUNG Versuche am Endauflager nach EN 1993-1-3:2006 führen zu konservativeren Ergebnissen.

---

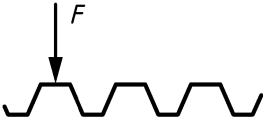
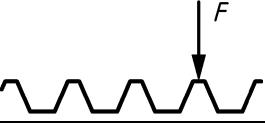
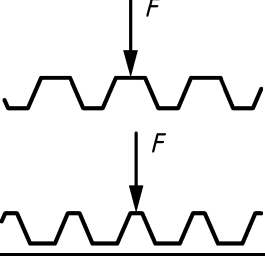
N4 Nationale Fußnote: Fehler in Referenzfassung. Gemeint ist  $b_{supp}$ .



### A.5.6 Begehbarkeit

(1) Die Begehbarkeit von Profiltafeln ist bis zu der maximalen Stützweite sichergestellt, für die die Beurteilungskriterien nach Tabelle A.5 erfüllt sind.

**Tabelle A.5 — Beurteilungskriterien für die Begehbarkeit**

Art der Belastung	Belastungsmodell	Belastung		Beurteilungskriterium
		$F_{\min}$		
		kN		
Randbelastung		1,2	signifikante bleibende Verformung	
Äußerste, vollständig ausgebildete Rippe in Verlegerichtung		1,5	Versagenslast <sup>a</sup>	
		2,0	plötzliches Versagen ohne signifikante Gesamtverformung	
Mittige Belastung		2,0	Versagenslast <sup>b</sup>	

<sup>a</sup> Das Beurteilungskriterium  $F_{\min} \leq 1,5$  kN muss auf die erste Lastspitze angewendet werden.

<sup>b</sup> Nach der ersten Lastspitze und einem nachfolgenden Lastabfall können Membranwirkungen zu einer anschließenden Lasterhöhung führen. Das Beurteilungskriterium darf auf die zweite Lastspitze angewendet werden, vorausgesetzt, dass das zusätzliche Kriterium  $F_{\min} \geq 1,5$  kN bei der ersten Lastspitze erfüllt wird.

(2) Die Profiltafeln sollten im Versuch auf 40 mm breiten, flachen Schienen aufgelagert werden. Der seitliche Überstand der Profiltafel am Auflager sollte zwischen  $h$  und  $2h$  liegen. Für eine Randbelastung, die für die Begehbarkeit während des Einbaus maßgeblich ist, gilt A.5.1(3) nicht. Bei mittlerer Belastung darf das Versuchszubehör nach A.5.1(3) an den Auflagerpunkten und den Drittelpunkten der Stützweite verwendet werden.

(3) Eine quasi-statische Einzellast sollte als Auflast in Feldmitte einer einfeldrigen Profiltafel über eine Fläche von 100 mm x 150 mm aufgebracht werden, wobei die längere Seite der Fläche parallel zur Stützrichtung angeordnet ist. Um jegliche Spannungskonzentrationen zu vermeiden, sollte die Belastung über eine weiche Schicht von 10 mm Dicke aufgebracht werden, z. B. über eine Filzunterlage.

(4) Von einer signifikanten, bleibenden Verformung darf bei einer Verformung von 3 mm ausgegangen werden. Von plötzlichem Versagen ohne signifikante Gesamtverformung darf ausgegangen werden, wenn das Versagen vor Erreichen einer Durchbiegung von  $1/100$  der Stützweite auftritt.

(5) Die Versuche sollten zunächst mit der größten Stützweite durchgeführt werden, die für den praktischen Einsatz vorgesehen ist. Falls die Beurteilungskriterien nach Tabelle A.5 nicht durch die erforderliche Mindestanzahl von Versuchen nach Tabelle A.6 erfüllt werden, wird die Stützweite verringert, bis die erforderliche Anzahl der Versuche die Beurteilungskriterien erfüllt.

Tabelle A.6 — Mindestanzahl der Versuche

Anzahl der zu prüfenden Nennblechdicken		Anzahl der Versuche
für $t_{\text{nom}} \geq 0,60$ mm	$\geq 3$	$\geq 2$
	2	$\geq 3$
	1	$\geq 4$
für $t_{\text{nom}} < 0,60$ mm		$\geq 4$

(6) Die maximale Stützweite der Profiltafel  $L_{\text{lim}}$ , die von einer einzelnen Person begangen werden darf, ist die kleinste der Stützweiten  $L_{\text{lim,test}}$ , die sich aus den Versuchsergebnissen für die Randbelastung oder die mittige Belastung ergibt.

(7) Die Versuchsergebnisse sollten nach A.9.2 normiert werden, eine statistische Auswertung nach A.9.3 darf jedoch entfallen. Für  $R_{\text{adj},i} < F_{\text{min}}$  dürfen die Versuchsergebnisse nach Gleichung (A.6) normiert werden:

$$L_{\text{lim}} = L_{\text{test}} \cdot \min \left\{ \frac{R_{\text{obs,min}}}{\mu_R F_{\text{min}}}; 1 \right\} \quad (\text{A.6})$$

Dabei ist

$L_{\text{test}}$  die in den Versuchen verwendete Stützweite;

$R_{\text{obs,min}}$  der aus beiden Versuchsserien (Randbelastung und mittige Belastung) ermittelte Mindestwert;

$\mu_R$  der Korrekturbeiwert nach A.9.2.

## A.6 Versuche an Bauteilen mit Verdrehbehinderung

### A.6.1 Allgemeines

(1) A.6 gilt für kaltgeformte Stahlbauteile, wie Pfetten, Wandriegel, Deckenträger und andere, ähnliche Arten von Bauteilen, bei denen ein Gurt durch Profiltafeln seitlich gestützt und/oder teilweise verdrehbehindert ist.

(2) A.6 gilt nicht für Bauteile, die durch Sandwichelemente gestützt werden, für diese sind Versuchsverfahren und Versuchsaufbauten in EN 14509-2 festgelegt.

ANMERKUNG 1 Der Versuchsaufbau in Bild A.11 kann für Sandwichelemente unter Auflast verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Zusätzliche Informationen zu Versuchsverfahren für Sandwichelemente sind enthalten in European Recommendations on the Stabilization of Steel Structures by Sandwich Panels. ECCS Pub. No. 135/CIB Pub. No. 320 (2014).

### A.6.2 Versuch an einer Innenstützung

(1) Der Versuchsaufbau für einen Versuch an einer Innenstützung nach A.5.4, Bild A.7, sollte verwendet werden.

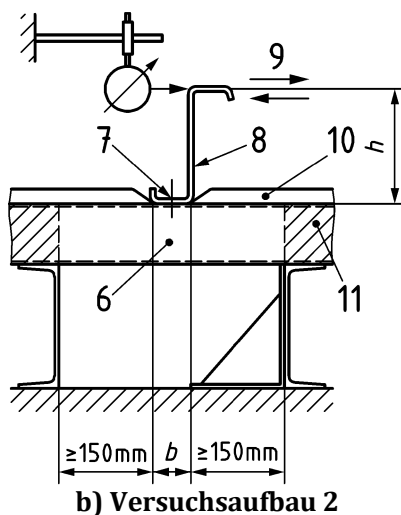
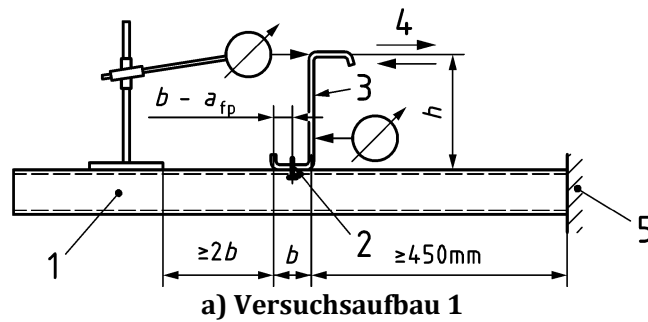
(2) Die Auswertung der Versuchsergebnisse sollte nach A.5.4 erfolgen.

### A.6.3 Bestimmung der Verdrehbehinderung

(1) Die Versuchsaufbauten in Bild A.11 dürfen genutzt werden, um die Größe der Verdrehbehinderung durch hinreichend befestigte Profiltafeln oder durch ein einzelnes Bauteil, das senkrecht zur Stützweite des zu testenden Bauteils verläuft, zu bestimmen.

(2) Mit den Versuchsaufbauten in Bild A.11 wird der Gesamtbetrag der Verformungsbehinderung aus zwei kombinierten Beiträgen gemessen:

- die seitliche Steifigkeit  $K_A$  je Längeneinheit infolge der Rotationssteifigkeit der Verbindung zwischen Profiltafel und Bauteil;
- die seitliche Steifigkeit  $K_B$  je Längeneinheit infolge der Profilverformung des Bauteils.



#### Legende

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1 Profiltafel            | 7 Verbindungselement          |
| 2 Verbindungselement     | 8 Bauteil                     |
| 3 Bauteil                | 9 Last                        |
| 4 Last                   | 10 Dämmung (falls zutreffend) |
| 5 eingespanntes Auflager | 11 Holzklötze                 |
| 6 Profiltafel            |                               |

**Bild A.11 — Alternative Versuchsaufbauten zur Bestimmung der Federsteifigkeitswerte  $K_A$  und  $K_B$**

(3) Die Auswertung der Versuchsergebnisse sollte nach Gleichung (A.7) vorgenommen werden:

$$\frac{1}{K_A l_A} + \frac{1}{K_B l_B} = \frac{\delta_{\text{lat}}}{F_{\text{lat}}} \quad (\text{A.7})$$

Dabei ist

$l_A$  die Breite der geprüften Profiltafel;

$l_B$  die Länge des geprüften Bauteils;

$F_{\text{lat}}$  die Last, die eine seitliche Durchbiegung von  $h/10$  erzeugt;

$\delta_{\text{lat}}$  die seitliche Verschiebung des Obergurtes in Lastrichtung von  $F_{\text{lat}}$ .

(4) Die Werte von  $C_{D,A}$  für Auflast und für abhebende Last sollten mit Gleichung (A.8) bestimmt werden:

$$C_{D,A} = \frac{\frac{h_w^2}{l_A}}{\frac{\delta_{\text{lat}}}{F_{\text{lat}}} - \frac{4(1-\nu^2) h_w^2 (h_d + b_{\text{mod}})}{E t^3 l_B}} \quad (\text{A.8})$$

Dabei sind

$b_{\text{mod}}$ ,  $h_w$  und  $h_d$  die Parameter nach 11.1.5(4);

$l_A$  und  $l_B$  die Längen nach A.6.3(3).

(5) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse nach Abschnitt A.9 sollten folgende Parameter als Variablen betrachtet werden:

- die Anzahl der Verbindungselemente je Längeneinheit des Versuchskörpers;
- die Art der Verbindungselemente;
- die Biegesteifigkeit des Bauteils im Verhältnis zu seiner Dicke;
- die Biegesteifigkeit des Untergurtes der Profiltafel im Verhältnis zu seiner Dicke;
- die Anordnung der Verbindungselemente im Gurt der Profiltafel;
- der Abstand zwischen den Verbindungselementen und dem Drehpunkt des Bauteils;
- die Gesamthöhe des Bauteils;
- die Anordnung einer Dämmung zwischen Bauteil und Profiltafel.

## A.7 Versuche an Verbindungselementen

(1) Versuche an Verbindungselementen werden in diesem Dokument nicht näher aufgeführt.

ANMERKUNG 1 EAD 330046-01-0602, *Fastening Screws for Metal Members and Sheeting* und EAD 330153-01-0602, *Cartridge fired pin for Connections of thin gauge Steel Members and Sheeting*, stehen für die Bewertung und Bestimmung der Eigenschaften von Verbindungselementen zur Verfügung, die für die Bemessung von kaltgeformten Strukturen nach diesem Dokument erforderlich sind.

ANMERKUNG 2 Zusätzliche Informationen zu Prüfverfahren für Befestigungen sind enthalten in *The Design and Testing of Connections in Steel Sheeting and Sections: ECCS Publication No. 124 (2009)*.

(2) Bei sprödem Versagen sollte ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag im Vergleich zu einer duktilen Versagensart vorgesehen werden.

## A.8 Versuche an Bauteilen von Lagereinrichtungen

(1) Versuche an Bauteilen von verstellbaren Plattenregalen sind in EN 15512 beschrieben.

ANMERKUNG Für andere Arten von Lagereinrichtungen ist keine Norm verfügbar, es gibt jedoch eine Anzahl industriespezifischer Anleitungen für die Praxis:

- FEM 10.2.06: Shelving;
- FEM 10.2.07: Drive-in and drive-through racking;
- FEM 10.2.09: Cantilever racking.

## A.9 Auswertung der Versuchsergebnisse

### A.9.1 Allgemeines

(1) Von einem Versagen eines Versuchskörpers sollte ausgegangen werden, wenn das Lastmaximum erreicht worden ist, sich ein Riss in einem wesentlichen Teil des Versuchskörpers gebildet hat oder die Gesamtverformungen festgelegte Grenzwerte überschritten haben.

(2) Die Gesamtverformungen der Bauteile sollten im Allgemeinen die folgenden Kriterien erfüllen:

Bei Versuchen an Bauteilen im Feldbereich:

$$\delta \leq L/50 \quad (\text{A.9})$$

Bei Versuchen an Stützungen:

$$\theta \leq 1/50 \quad (\text{A.10})$$

Dabei ist

- $\delta$  die maximale Durchbiegung eines Bauteils mit der Stützweite  $L$ ;
- $\theta$  die Verdrehung (Verformungswinkel) eines Tragwerks oder Bauteils.

(3) Bei Versuchen an Verbindungen oder Bauteilen, bei denen die Untersuchung großer Verformungen für eine genaue Auswertung erforderlich ist (z. B. bei der Auswertung der Momenten-Rotations-Charakteristik von Kopplungen), braucht keine Begrenzung der Gesamtverformung während des Versuchs vorgenommen zu werden.

### A.9.2 Normierung der Versuchsergebnisse

(1) Die Versuchsergebnisse sollten zur Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den tatsächlich gemessenen Kennwerten der Versuchskörper und deren Nennwerten in geeigneter Weise normiert werden.

(2) Die gemessene Basisstreckgrenze  $f_{yb,obs}$  sollte um nicht mehr als  $-25\%$  vom Nennwert der Basisstreckgrenze  $f_{yb}$  abweichen, folglich:  $f_{yb,obs} \geq 0,75 f_{yb}$ .

(3) Die gemessene Dicke  $t_{obs}$  sollte den Nennwert der Blechdicke  $t_{nom}$  (siehe 5.2.4) um nicht mehr als  $12\%$  überschreiten.

(4) Bei allen Versuchen sollte die Normierung mit Bezug auf die tatsächlichen Messwerte der Dicke des Stahlkerns  $t_{\text{cor,obs}}$  und der Basisstreckgrenze  $f_{\text{yb,obs}}$  vorgenommen werden, es sei denn, die in den Versuchen gemessenen Werte werden zur Kalibrierung eines Berechnungsmodells herangezogen. Im letztgenannten Fall brauchen die Bestimmungen nach A.9.2(5) nicht angewendet zu werden.

(5) Der normierte Wert der Beanspruchbarkeit  $R_{\text{adj},i}$  des  $i$ -ten Versuchsergebnisses ( $i = 1 \dots n$ ) sollte anhand des gemessenen Versuchsergebnisses  $R_{\text{obs},i}$  nach Gleichung (A.11) bestimmt werden:

$$R_{\text{adj},i} = R_{\text{obs},i} / \mu_R \quad (\text{A.11})$$

Dabei ist

$\mu_R$  der Korrekturbeiwert der Beanspruchbarkeit, angegeben durch:

$$\mu_R = \left( \frac{f_{\text{yb,obs}}}{f_{\text{yb}}} \right)^\alpha \left( \frac{t_{\text{cor,obs}}}{t_{\text{cor}}} \right)^\beta \quad (\text{A.12})$$

(6) Der Exponent  $\alpha$  in Gleichung (A.12) sollte nach Gleichung (A.13) und Gleichung (A.14) ermittelt werden:

$$\text{— wenn } f_{\text{yb,obs}} \leq f_{\text{yb}}: \quad \alpha = 0 \quad (\text{A.13})$$

$$\text{— wenn } f_{\text{yb,obs}} > f_{\text{yb}}: \quad \alpha = 1 \quad (\text{A.14})$$

Bei Profiltafeln oder Kassettenprofilen, bei denen druckbeanspruchte Querschnittsteile große  $b_p/t$ -Verhältnisse aufweisen, so dass Plattenbeulen eindeutig die Versagensform sein wird, gilt:  $\alpha = 0,5$ .

(7) Der Exponent  $\beta$  in Gleichung (A.12) sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\text{— wenn } t_{\text{cor,obs}} \leq t_{\text{cor}}: \quad \beta = 1 \quad (\text{A.15})$$

$$\text{— wenn } t_{\text{cor,obs}} > t_{\text{cor}}:$$

$$\text{— bei Versuchen an Profiltafeln oder Kassettenprofilen:} \quad \beta = 2 \quad (\text{A.16})$$

$$\text{— bei Versuchen an Bauteilen, Tragwerken oder Tragwerksteilen:$$

$$\text{— wenn } b_p/t \leq (b_p/t)_{\text{lim}}: \quad \beta = 1 \quad (\text{A.17})$$

$$\text{— wenn } b_p/t > 1,5 (b_p/t)_{\text{lim}}: \quad \beta = 2 \quad (\text{A.18})$$

$$\text{— wenn } (b_p/t)_{\text{lim}} < b_p/t < 1,5 (b_p/t)_{\text{lim}}: \quad \text{wird } \beta \text{ durch lineare Interpolation ermittelt.}$$

Dabei wird der Grenzwert des Breiten-Dicken-Verhältnisses  $(b_p/t)_{\text{lim}}$  angegeben durch:

$$\left( \frac{b_p}{t} \right)_{\text{lim}} = 0,64 \sqrt{\frac{Ek_\sigma}{f_{\text{yb}}}} \sqrt{\frac{f_{\text{yb}}/\gamma_{\text{M0}}}{\sigma_{\text{com,Ed}}}} \cong 19,1 \varepsilon \sqrt{k_\sigma} \sqrt{\frac{f_{\text{yb}}/\gamma_{\text{M0}}}{\sigma_{\text{com,Ed}}}} \quad (\text{A.19})$$

Dabei ist

$b_p$  der Nennwert der geraden Breite eines ebenen Querschnittsteils;

$k_{\sigma}$  der maßgebende Beulwert nach EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.1 oder Tabelle 6.2;

$\sigma_{\text{com,Ed}}$  die berechnete, größte Druckspannung in einem Querschnittsteil im Grenzzustand der Tragfähigkeit;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \text{ mit } f_y \text{ in N/mm}^2 \quad (\text{A.20})$$

(8) Bei der Normierung des Trägheitsmoments sollten, wenn im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit lineares Verhalten beobachtet wird, die Exponenten in Gleichung (A.12) wie folgt angesetzt werden:  $\alpha = 0,0$  und  $\beta = 1,0$ .

### A.9.3 Charakteristische Werte

#### A.9.3.1 Allgemeines

(1) Charakteristische Werte von im Versuch bestimmten Eigenschaften dürfen statistisch bestimmt werden, wenn mindestens 3 Versuchsergebnisse vorliegen.

(2) Zusätzliche Regeln gelten für Prüfreihen nach A.9.3.2, oder in Fällen, in denen nur eine begrenzte Anzahl von Versuchsergebnissen verfügbar ist, wie in A.9.3.3 festgelegt.

(3) Die zur Bestimmung der charakteristischen Werte durchzuführende statistische Auswertung sollte nach EN 1990:2023, Anhang D, erfolgen.

(4) Die Werte des Koeffizienten  $k_n$  sollten nach EN 1990:2023, Tabelle D.1, entsprechend der Anzahl der Versuchsergebnisse und für einen unbekanntem Wert  $V_x$  bestimmt werden.

#### A.9.3.2 Charakteristische Werte für Versuchseinheiten

(1) Im Allgemeinen dürfen mehrere Versuchsreihen, die an einer Reihe von ansonsten ähnlichen Tragwerken, Tragwerksteilen, Bauteilen, Profiltafeln oder anderen tragenden Bauteilen durchgeführt werden und bei denen ein oder mehrere Parameter variiert werden, als eine einzige Versuchseinheit behandelt werden, vorausgesetzt, dass alle Versuchskörper die gleiche Versagensart aufweisen. Die variierten Parameter dürfen Querschnittsabmessungen, Stützweite, Dicke und Werkstofffestigkeit sein.

Für Versuche am Einfeldträger, Versuche an einer Innenstützung und Versuche am Endauflager sind Versuchseinheiten in A.5.2, A.5.4 bzw. A.5.5 festgelegt.

(2) Zur Berechnung des charakteristischen Werts der Beanspruchbarkeit  $R_{k,j}$  aus einer Versuchsreihe  $j$  sollte zunächst jedes Versuchsergebnis normiert werden, indem es durch den Mittelwert der Beanspruchbarkeit der Versuchsreihe  $j$ ,  $R_{\text{adj},m,j}$  dividiert wird, siehe Gleichung (A.21):

$$x_{i,j} = \frac{R_{\text{adj},i,j}}{R_{\text{adj},m,j}} \quad i = 1 \dots n_j \quad (\text{A.21})$$

Dabei ist

- $n_j$  die Anzahl der einzelnen Versuche in einer Versuchsreihe  $j$ ;
- $R_{\text{adj},i,j}$  der normierte Wert der Beanspruchbarkeit des Versuchskörpers  $i$  der Versuchsreihe  $j$ ;
- $R_{\text{adj},m,j}$  der Mittelwert der normierten Beanspruchbarkeit  $R_{\text{adj},i,j}$  der Versuchsreihe  $j$ .

(3) Der nach EN 1990:2023, Tabelle D.1, ermittelte Wert von  $k_n$  sollte auf der Grundlage der Gesamtanzahl der Versuche  $n_{\text{tot}}$  in der Versuchseinheit nach Gleichung (A.22) bestimmt werden:

$$n_{\text{tot}} = \sum_j n_j \quad (\text{A.22})$$

Dabei ist

$n_j$  die Anzahl der einzelnen Versuche in der Versuchsreihe  $j$ .

(4) Die Standardabweichung  $s_x$  sollte nach Gleichung (A.23) berechnet werden:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n_{\text{tot}} - 1} \sum_j \sum_i (x_{i,j} - 1)^2} \quad (\text{A.23})$$

(5) Der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit  $R_k$  sollte nach Gleichung (A.24) berechnet werden:

$$R_{k,j} = R_{\text{adj},m,j} \cdot (1 \pm k_n s_x) \quad (\text{A.24})$$

Dabei ist

$s_x$  die Standardabweichung nach (4);

$k_n$  der entsprechende Koeffizient nach EN 1990:2023, Tabelle D.1;

$R_{\text{adj},m,j}$  der Mittelwert der normierten Beanspruchbarkeiten  $R_{\text{adj},i,j}$ .

In Gleichung (A.24) sollte das ungünstigste Vorzeichen „+“ oder „-“ angesetzt werden.

(6) A.9.3.2 ist gleichermaßen anwendbar, um die charakteristischen Werte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für Verformungen, Rotationen und die Steifigkeiten von Bauteilen, Profiltafeln und Tragwerken zu bestimmen.

Für charakteristische Werte von Rotationen sollten beide Vorzeichen in Gleichung (A.24) berücksichtigt werden.

### A.9.3.3 Charakteristische Werte bei geringer Anzahl von Versuchen

(1) Falls nur ein Versuch durchgeführt wird, sollte der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit  $R_k$  aus diesem Versuch mit dem normierten Wert des Versuchsergebnisses  $R_{\text{adj}}$  nach Gleichung (A.25) ermittelt werden:

$$R_k = 0,9 \eta_k R_{\text{adj}} \quad (\text{A.25})$$

Dabei sollte  $\eta_k$  in Abhängigkeit der Versagensart wie folgt angesetzt werden:

— bei Fließen:  $\eta_k = 0,9$ ;

— bei großer Gesamtverformung:  $\eta_k = 0,9$ ;

— bei Plattenbeulen:  $\eta_k = 0,8$  bis  $0,9$ , abhängig von den Auswirkungen des globalen Trag- und Instabilitätsverhaltens in den Versuchen;

— bei globaler Instabilität:  $\eta_k = 0,7$ .

(2) Bei einer Versuchsreihe mit zwei Versuchen sollte der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit  $R_k$  mit Gleichung (A.26) ermittelt werden, vorausgesetzt, dass jedes normierte Versuchsergebnis  $R_{adj,i}$  innerhalb des Bereichs von  $\pm 10\%$  des Mittelwertes  $R_{adj,m}$  der normierten Versuchsergebnisse liegt:

$$R_k = \eta_k R_{adj,m} \quad (\text{A.26})$$

(3) Wenn nur ein Versuch durchgeführt wird, sollte der charakteristische Wert der Steifigkeit mit 0,95 multipliziert werden, wenn eine höhere Steifigkeit eine günstige Auswirkung hat, und mit 1,05 multipliziert werden, wenn eine höhere Steifigkeit zu einer ungünstigen Auswirkung führt.

(4) Als charakteristischer Wert der Steifigkeitskennwerte (wie beispielsweise der Biege- oder Rotationssteifigkeit) darf der Mittelwert aus mindestens zwei Versuchen angenommen werden, vorausgesetzt, dass alle Versuchsergebnisse innerhalb des Bereichs von  $\pm 10\%$  des Mittelwertes liegen.

#### A.9.4 Bemessungswerte

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $R_d$  sollte aus dem entsprechenden, versuchsgestützt bestimmten, charakteristischen Wert der Beanspruchbarkeit  $R_k$  nach Gleichung (A.27) ermittelt werden:

$$R_d = \eta_{\text{sys}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (\text{A.27})$$

Dabei ist

$\gamma_M$  der Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit, siehe Abschnitt 4;

$\eta_{\text{sys}}$  ein Umrechnungsfaktor zur Berücksichtigung der Unterschiede des Tragverhaltens unter Versuchsbedingungen und realen Bedingungen.

(2) Der geeignete Wert von  $\eta_{\text{sys}}$  sollte in Abhängigkeit der Modellierung des Versuchsaufbaus mit Hilfe analytischer oder numerischer Modelle im Vergleich zur realen Ausführung bestimmt werden.

(3) Bei Versuchen an

- einzelnen Trägern und Stützen nach Abschnitt A.3;
- Profiltafeln nach Abschnitt A.5;
- Bauteilen mit Verdrehbehinderung nach Abschnitt A.6;
- Befestigungen nach Abschnitt A.7;
- Bauteilen von Lagereinrichtungen nach Abschnitt A.8;

und bei anderen eindeutig festgelegten Standardprüfverfahren darf  $\eta_{\text{sys}}$  gleich 1,0 angesetzt werden.

**ANMERKUNG** Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  kann im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die in Abschnitt 4 angegebenen  $\gamma_M$ -Werte werden verwendet, es sei denn, aus der Anwendung von EN 1990:2023, Anhang D, ergeben sich andere Werte.

## Anhang B (informativ)

### Dauerhaftigkeit von Verbindungselementen

#### B.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser informative Anhang enthält ergänzende Hinweise zu den in Abschnitt 6 angegebenen Hinweisen zur Dauerhaftigkeit, wobei Situationen berücksichtigt werden, in denen Bleche und Verbindungselemente aus unterschiedlichen Werkstoffen zusammenwirken. Tabelle B.1 legt empfohlene Ausführungen in Hinblick auf Korrosion fest.

ANMERKUNG Nationale Entscheidungen über die Anwendung dieses informativen Anhangs sind im Nationalen Anhang enthalten. Wenn der Nationale Anhang keine Informationen über die Anwendung dieses informativen Anhangs enthält, kann dieser verwendet werden.

#### B.2 Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich

(1) Dieser informative Anhang behandelt die Werkstoffe für Bleche und Verbindungselemente nach Tabelle B.1.

(2) Die Umweltklassen nach EN ISO 12944-2 sind in Tabelle B.2 angegeben.

**Tabelle B.1 — Werkstoff von Verbindungselementen in Bezug zu den Umgebungsbedingungen hinsichtlich Korrosion (Werkstoffe der Bleche sind nur zur Information angegeben). Es wird nur die Korrosionsanfälligkeit betrachtet. Die Umweltklassen sind in EN ISO 12944-2 definiert.**

Umwelt- klasse	Werkstoff der Bleche	Werkstoff des Verbindungselementes				
		Aluminiu m	Galvanisierter Stahl  Dicke des Überzuges $\geq 8 \mu\text{m}$	Feuer- verzinkter Stahl <sup>b</sup>  Dicke des Überzuges $> 45 \mu\text{m}$	Nich- trostender Stahl <sup>d</sup>	Monel <sup>a</sup>
C1	A, B, C	X	X	X	siehe EN 1993-1-4	X
	D, E, S	X	X	X		X
C2	A	X	—	X		X
	C, D, E	X	—	X		X
	S	X	—	X		X
C3	A	X	—	X		X
	C, E	X	—	X		—
	D	X	—	X		X
	S	—	—	X		X
C4	A	X	—	(X) <sup>c</sup>		—
	D	—	—	X	—	
	E	X	—	X	—	

Umwelt- klasse	Werkstoff der Bleche	Werkstoff des Verbindungselementes				
		Aluminium	Galvanisierter Stahl  Dicke des Überzuges $\geq 8 \mu\text{m}$	Feuer- verzinkter Stahl <sup>b</sup>  Dicke des Überzuges > 45 $\mu\text{m}$	Nich- trostender Stahl <sup>d</sup>	Monel <sup>a</sup>
	S	—	—	X		X
C5-I	A	X	—	—		—
	D <sup>f</sup>	—	—	X		—
	S	—	—	—		—
C5-M	A	X	—	—		—
	D <sup>f</sup>	—	—	X		—
	S	—	—	—		—

**Legende**

- A Aluminium, unabhängig von der Oberflächenbehandlung
- B unbeschichtetes Stahlblech
- C feuerverzinktes (Z275) oder Aluzink-beschichtetes (AZ150) Stahlblech
- D feuerverzinktes Stahlblech + Farb- oder Kunststoffbeschichtung
- E Aluzink-beschichtetes (AZ185) Stahlblech
- S nichtrostender Stahl
- X Art des Werkstoffs wird aus Korrosionsschutzsicht empfohlen
- (X) Art des Werkstoffs wird aus Korrosionsschutzsicht nur unter bestimmten Umständen empfohlen
- Art des Werkstoffs wird aus Korrosionsschutzsicht nicht empfohlen

**ANMERKUNG** Unbeschichtete Verbindungselemente aus Baustahl können in der Korrosionsschutzklasse C1 eingesetzt werden

- a bezieht sich ausschließlich auf Niete
- b bezieht sich ausschließlich auf Gewindeformschrauben und Muttern
- c Isolierscheiben aus alterungsbeständigem Material zwischen Blech und Verbindungselement
- d nichtrostender Stahl EN 10088
- e Neigung zur Farbänderung.
- f immer mit dem Hersteller abzustimmen

**Tabelle B.2 — Kategorien atmosphärischer Korrosivität nach EN ISO 12944-2 und Beispiele für typische Umweltbedingungen**

Korrosivitätskategorie	Grad der Korrosivität	Beispiele typischer Umweltbedingungen in gemäßigttem Klima (informativ)	
		Außen	Innen
C1	sehr niedrig	—	Beheizte Gebäude mit sauberer Luft, z. B. Büros, Geschäfte, Schulen und Hotels.
C2	niedrig	Gegenden mit niedriger Luftverschmutzung. Überwiegend ländliche Gebiete.	Unbeheizte Gebäude mit Kondenswasserausfall, z. B. Lager, Sporthallen.
C3	mittel	Städtische und industrielle Gegenden, mäßige Verschmutzung durch Schwefeldioxid. Küstennahe Gegenden mit niedrigem Salzgehalt.	Produktionsstätten mit hoher Luftfeuchte und geringer Luftverschmutzung, z. B. in der Nahrungsmittelindustrie, Wäschereien, Brauereien und Molkereien.
C4	hoch	Industrielle Gegenden und Küstengebiete mit mäßigem Salzgehalt.	Chemiewerke, Schwimmbäder, küstennahe Werften.
C5-I	sehr hoch (Industrie)	Industrielle Gegenden mit hoher Luftfeuchte und aggressiven Luftverhältnissen.	Gebäude oder Bereiche mit fast ständigem Kondenswasserausfall und hoher Verschmutzung.
C5-M	sehr hoch (Seeklima)	Küstengebiete und Offshore-Standorte mit hohem Salzgehalt.	Gebäude oder Bereiche mit fast ständigem Kondenswasserausfall und hoher Verschmutzung.

## Anhang C (normativ)

### Gemischter Ansatz von wirksamen Breiten/wirksamen Dicken für einseitig gestützte Querschnittsteile

#### C.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser normative Anhang enthält ergänzende Hinweise zu 7.6.2 und zur Bemessung von einseitig gestützten Querschnittsteilen auf Plattenbeulen.

#### C.2 Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich

(1) Dieser normative Anhang behandelt die Bemessung auf Plattenbeulen von einseitig gestützten Querschnittsteilen unter Druck- und/oder Biegebeanspruchung auf der Grundlage des gemischten Ansatzes von wirksamen Breiten/wirksamen Dicken.

#### C.3 Querschnittsbeanspruchbarkeit

(1) Der gemischte Ansatz von wirksamen Breiten/wirksamen Dicken für einseitig gestützte Querschnittsteile unter Druck- und/oder Biegebeanspruchung muss nach den Festlegungen in diesem Anhang C angewendet werden.

(2) Das einseitig gestützte Querschnittsteil wird in einen vollständig wirksamen Anteil und einen infolge des Plattenbeulens reduzierten Anteil unterteilt. Die wirksame Querschnittsfläche des einseitig gestützten Querschnittsteils besteht aus einer wirksamen Breite  $b_{e0}$  multipliziert mit der vollständigen Dicke  $t$  des Querschnittsteils und einer Breite des Querschnittsteils  $(b_p - b_{e0})$  multipliziert mit der wirksamen Dicke  $t_{eff}$ , siehe Tabelle C.1.

(3) Der Abminderungsfaktor für Plattenbeulen wird angegeben durch Gleichung (C.1):

$$\rho = \begin{cases} \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1 & \text{wenn } 0,749 \leq \bar{\lambda}_p < 1,2 \\ \frac{0,77}{\sqrt{\bar{\lambda}_p}} & \text{wenn } 1,2 \leq \bar{\lambda}_p \leq 3,2 \end{cases} \quad (C.1)$$

Dabei ist

$\bar{\lambda}_p$  der bezogene Schlankheitsgrad für das Plattenbeulen ebener Querschnittsteile nach 7.6.2.

(4) Der Beulwert  $k_\sigma$  für verschiedene Spannungsverteilungen darf mit numerischen Verfahren bestimmt werden. Konservativ dürfen die Werte nach EN 1993-1-5:2024, Tabelle 6.2, verwendet werden.

(5) Das in (4) und Tabelle C.1 verwendete Spannungsverhältnis  $\psi$  sollte auf der Grundlage der Querschnittswerte des Bruttoquerschnitts bestimmt werden.

(6) Die Querschnittsbeanspruchbarkeit sollte unter Annahme einer elastischen Spannungsverteilung im wirksamen Querschnitt bestimmt werden.

Tabelle C.1 — Einseitig gestützte Querschnittsteile

Maximale Druckbeanspruchung am freien Längsrand	
Spannungsverteilung	Wirksame Breite und Dicke
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42 b_p$ $t_{eff} = (1,75 \rho - 0,75) t$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0,42 b_p}{(1 - \psi)} + b_t < b_p$ $b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75 \rho - 0,75 - 0,15 \psi) t$
Maximale Druckbeanspruchung am gestützten Längsrand	
Spannungsverteilung	Wirksame Breite und Dicke
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42 b_p$ $t_{eff} = (1,75 \rho - 0,75) t$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0,42 b_p}{(1 - \psi)}$ $b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75 \rho - 0,75) t$

## Literaturhinweise

### Verweisungen in Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze)

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt keine streng einzuhaltenden Anforderungen, sondern nachdrücklich empfohlene Entscheidungen oder Verfahrensweisen darstellen. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Normen verwendet/angenommen werden, wenn es technisch begründet ist. 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).

EN 1993-1-5:2024, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*

EN 1993-1-8:2024, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Anschlüsse*

EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO 6892-1)*

### Verweisungen in Erlaubnis-Sätzen (d. h. durch „darf“-Sätze)

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt keine zwingend zu befolgenden Anforderungen darstellen, sondern eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes beschreiben. 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).

EN 10143, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Blech und Band aus Stahl — Grenzabmaße und Formtoleranzen*

### Verweisungen in Möglichkeits-Sätzen (d. h. durch „kann/können“-Sätze) und Anmerkungen

Die folgenden Dokumente werden zu informativen Zwecken im Dokument zitiert, z. B. in „kann/können“-Sätzen und in Anmerkungen.

CEN/TR 1993-1-103: *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-103 Elastisches Biegeknicken und Biegedrillknicken von Stäben*

EN 1994 (alle Teile), *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*

EN 10025 (alle Teile), *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen*

EN 10088 (alle Teile), *Nichtrostende Stähle*

EN 10149 (alle Teile), *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen*

EN 10219 (alle Teile), *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*

EN 10268, *Kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Technische Lieferbedingungen*

EN 10346, *Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl zum Kaltumformen — Technische Lieferbedingungen*

EN 14509-1<sup>4</sup>, *Werkmäßig hergestellte Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten — Teil 1: Selbsttragende Anwendungen*

EN 14509-2<sup>5</sup>, *Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten — Werkmäßig hergestellte Produkte — Spezifikationen — Teil 2: Tragende Anwendungen — Befestigungen und mögliche Nutzung zur Stabilisierung von einzelnen tragenden Bauteilen*

EN 14782, *Selbsttragende Dachdeckungs- und Wandbekleidungs-elemente für die Innen- und Außenanwendung aus Metallblech — Produktspezifikation und Anforderungen*

EN 15512, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Grundlagen der statischen Bemessung*

EN ISO 1478, *Blechsraubengewinde (ISO 1478)*

EN ISO 10684, *Verbindungselemente — Feuerverzinkung (ISO 10684)*

EN ISO 12944-2, *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme — Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen (ISO 12944-2)*

ISO 4997, *Cold-reduced carbon steel sheet of structural quality*

EAD 330046-01-0602, *Fastenings Screws for Metal Members and Sheeting*. Verfügbar unter: [www.eota.eu](http://www.eota.eu)

EAD 330153-01-0602, *Cartridge fired pin for Connections of thin gauge Steel Members and Sheeting*.

ECCS Publication No. 135/CIB Publication No.320: 2014, *European recommendations on the stabilization of steel structures by sandwich panels*. ECCS European convention for steel construction. Brussels. Verfügbar unter: <http://site.cibworld.nl/dl/publications/pub320.pdf>

ECCS Publication No. 088: 1995, *European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm*. ECCS European convention for steel construction. Brussels. Verfügbar unter: <http://www.steelconstruct.com>

ECCS Publication No. 124; 2009, *The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections*. ECCS European convention for steel construction. Brussels. Verfügbar unter: <http://www.steelconstruct.com>

FEM 10.2.06, *Shelving*. Verfügbar unter: [www.erfed.org](http://www.erfed.org)

FEM 10.2.07, *Drive-in and drive-through racking*. Verfügbar unter: [www.erfed.org](http://www.erfed.org)

FEM 10.2.09, *Cantilever racking*. Verfügbar unter: [www.erfed.org](http://www.erfed.org)

Schmidt, H. et. al, *Ausführung von Stahlbauten, Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2*, Januar 2014 — ISBN: 978-3-433-60410-6

Blanc, M.; Renaux, T.; Izabel, D, *Strength capacities of metal interlocking plank: Justification by calculation according to Eurocodes*. Revue construction métallique. No.4 — 2020

PACTE, *Programme d'action pour la qualité de la construction et de la transition énergétique: Recommendations professionnelles pour la conception et la réalisation de planchers collaborants acier béton*. AQC, 2020

---

4 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung prEN 14509-1.

5 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung prEN 14509-2.