

DIN EN 1999-1-4



ICS 91.010.30; 91.080.17

EntwurfEinsprüche bis 2021-04-26
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1999-1-4:2010-05**Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –
Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1999-1-4:2021**Eurocode 9: Design of aluminium structures –
Part 1-4: Cold-formed structural sheeting;
German and English version prEN 1999-1-4:2021Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-4: Calcul des structures à plaques formée à froid;
Version allemande et anglaise prEN 1999-1-4:2021**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-02-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 168 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1999-1-4:2021) 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 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen (SpA zu CEN/TC 250/SC 9 und CEN/TC 135)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 7049 siehe DIN EN ISO 7049

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1999-1-4:2010-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde vollständig überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7049, *Linsenkopf-Blebschrauben mit Kreuzschlitz*

<i>Titel de:</i>	Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln
<i>Titel en:</i>	Eurocode 9: Design of aluminium structures — Part 1-4: Cold-formed structural sheeting
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium — Partie 1-4: Calcul des structures à plaques formée à froid

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	8
1.1 Anwendungsbereich von EN 1999-1-4	8
1.2 Annahmen	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Formelzeichen	10
3.3 Geometrie und Konventionen	12
3.3.1 Formen der Querschnitte	12
3.3.2 Formen von Längsaussteifungen	13
3.3.3 Abmessungen der Querschnitte	13
3.3.4 Festlegung der Bauteilachsen	14
4 Bemessungsgrundlagen	14
5 Werkstoffe	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Aluminiumlegierungen für Bauteile	15
5.2.1 Materialeigenschaften	15
5.2.2 Blechdicken und geometrische Toleranzen	17
5.3 Mechanische Verbindungselemente	18
6 Dauerhaftigkeit	18
7 Berechnungsmethoden	18
7.1 Einfluss ausgerundeter Ecken	18
7.2 Geometrische Festlegungen	20
7.3 Bemessungsmodelle	21
7.4 Einwölbung der Gurte	21
7.5 Örtliches Beulen und Gesamtfeldbeulen	22
7.5.1 Allgemeines	22
7.5.2 Unausgesteifte ebene Teilflächen	23
7.5.3 Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen	24
7.5.4 Trapezprofiltafeln mit Zwischensteifen	28
7.5.5 Kaltgeformte Bauteile	36
8 Grenzzustände der Tragfähigkeit	36
8.1 Beanspruchbarkeit von Querschnitten	36
8.1.1 Allgemeines	36
8.1.2 Zentrischer Zug	37
8.1.3 Zentrischer Druck	37
8.1.4 Biegemoment	38
8.1.5 Querkraft	40
8.1.6 Torsion	42
8.1.7 Örtliche Lasteinleitung	42
8.1.8 Zugkraft und Biegung	46
8.1.9 Druckkraft und Biegung	46
8.1.10 Querkraft, Normalkraft und Biegung	47
8.1.11 Biegemoment und örtliche Lasteinleitung oder Auflagerkraft	47
8.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken	48

8.2.1	Allgemeines	48
8.2.2	Zentrischer Druck	48
8.2.3	Biegung und zentrischer Druck	49
8.3	Trapezförmige Profiltafeln mit Überlappung am Auflager	50
8.3.1	Momentenübertragende Überlappungen	50
8.3.2	Einfache Überlappung mit auskragender unterer Profiltafel (SOL-L).....	53
8.3.3	Einfache Überlappung mit auskragender oberer Profiltafel (SOL-U).....	54
8.3.4	Doppelte Überlappung (DOL)	55
8.3.5	Örtliche Verstärkung (CR)	56
8.3.6	Trapezförmige Profiltafel mit seitlichen Überlappungen	57
8.4	Schubfelder.....	57
8.4.1	Allgemeines	57
8.4.2	Scheibenwirkung.....	57
8.4.3	Voraussetzungen	58
8.4.4	Schubfelder aus Aluminium-Profiltafeln.....	60
8.5	Gelochte Profiltafeln mit Lochanordnung in Form gleichseitiger Dreiecke.....	62
9	Gebrauchstauglichkeit	63
9.1	Allgemeines	63
9.2	Plastische Verformungen	64
9.3	Durchbiegungen.....	64
10	Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen	64
10.1	Allgemeines	64
10.2	Blindniete.....	66
10.2.1	Allgemeines	66
10.2.2	Bemessungswerte für scherbeanspruchte Nietverbindungen.....	66
10.2.3	Bemessungswerte für zugbeanspruchte Nietverbindungen	67
10.3	Gewindeformende Schrauben/Bohrschrauben.....	67
10.3.1	Allgemeines	67
10.3.2	Bemessungswerte für scherbeanspruchte Schraubverbindungen.....	68
10.3.3	Bemessungswerte für zugbeanspruchte Schraubverbindungen.....	69
11	Versuchsgestützte Bemessung	71
Anhang A (normativ)	Versuchsaufbau und -durchführung.....	72
A.1	Anwendung dieses Anhangs.....	72
A.2	Anwendungsbereich und Anwendungsfeld	72
A.3	Versuche mit Profiltafeln	72
A.3.1	Allgemeines	72
A.3.2	Einfeldträgerversuch	73
A.3.3	Zweifeldträgerversuch	73
A.3.4	Ersatzträgerversuch.....	73
A.3.5	Endauflagerversuche	76
A.4	Versuchsauswertung.....	76
A.4.1	Allgemeines	76
A.4.2	Normierung der Versuchsergebnisse	76
A.4.3	Charakteristische Werte.....	77
A.4.4	Bemessungswerte	79
A.4.5	Gebrauchstauglichkeit	79
Anhang B (informativ)	Dauerhaftigkeit von Verbindungselementen	80
B.1	Anwendung dieses informativen Anhangs.....	80
B.2	Anwendungsbereich und Anwendungsfeld	80
B.3	Material von Verbindungselementen bezüglich korrosiver Umgebungen	80
Literaturhinweise.....		83

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1999-1-4:2021) 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.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1999-1-4:2007 ersetzen.

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 Mandats M/515 erarbeitet, das 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.

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 Tragwerksplanung*
- 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>

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 1999 Eurocodes 9

EN 1999 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken und Tragwerken aus Aluminium. Sie 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 1999 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Aluminium. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht behandelt.

EN 1999 behandelt nicht die besonderen Anforderungen an die Bemessung gegen Erdbeben. Festlegungen bezüglich dieser Anforderungen sind in EN 1998 enthalten, in Ergänzung zu und im Einklang mit EN 1999.

EN 1999 ist in fünf Teile gegliedert:

- EN 1999-1-1, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln*
- EN 1999-1-2, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*
- EN 1999-1-3, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-3: Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke*
- EN 1999-1-4, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln*
- EN 1999-1-5, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalentragwerke*

0.3 Einleitung zu EN 1999-1-4

Dieses Dokument behandelt die Bemessung kaltgeformter trapezoidaler Profiltafeln. Es gilt für kaltgeformte Aluminiumprodukte, die aus kalt- oder warmgewalzten Blechen oder Bändern durch Kaltumformung wie Rollformen oder Abkanten hergestellt sind.

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 verifiziert 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 für prEN 1999-1-4

Nationale Festlegungen sind in diesem Dokument zulässig, wo diese Möglichkeit ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festgelegte Parameter (NDP, en: nationally determined parameters).

Die nationale Ausgabe von EN 1999-1-4 kann durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden, der alle nationalen Festlegungen enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauten im jeweiligen Land erforderlich sind.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in diesem Dokument angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in diesem Dokument angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in EN 1999-1-4 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4(4) ANMERKUNG 1

5.1(3) ANMERKUNG

9.3(3) ANMERKUNG

A.4.4(3)

Nationale Festlegungen sind in EN 1999-1-4 zu den folgenden informativen Anhängen gestattet:

Anhang B (informativ) Dauerhaftigkeit von Verbindungselementen

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 von EN 1999-1-4

(1)P Dieses Dokument behandelt die Bemessung kaltgeformter trapezoidaler Profiltafeln. Es gilt für kaltgeformte Aluminiumprodukte, die aus kalt- oder warmgewalzten Blechen oder Bändern durch Kaltumformung wie Rollformen oder Abkanten hergestellt sind.

ANMERKUNG 1 Die in diesem Teil angegebenen Regeln ergänzen die Regeln der übrigen Teile von EN 1999-1.

ANMERKUNG 2 Die Ausführung von Aluminiumtragwerken aus tragenden, kaltgeformten Bauteilen für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen wird in EN 1090-5 behandelt.

(2) Dieses Dokument gibt Bemessungsregeln für die Scheibentragfähigkeit von Schubfeldern aus Aluminium-Profiltafeln an.

(3) Dieses Dokument gilt nicht für stabförmige Kaltprofile mit C- und Z-Profilquerschnitten sowie kaltgeformte und geschweißte Rund- oder Rechteckhohlquerschnitte aus Aluminium.

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

(5) Dieses Dokument beinhaltet keine Lastannahmen für Montage und Gebrauch.

1.2 Annahmen

(1) Bezüglich der Bemessung neuer Tragwerke ist prEN 1999 (alle Teile) zur direkten Anwendung in Verbindung mit EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1997 und EN 1998 vorgesehen.

EN 1999 (alle Teile) gilt in Verbindung mit folgenden Regelwerken:

- Europäische Normen zu Bauprodukten, die maßgebend für Aluminiumtragwerke sind;
- EN 1090-1, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile*;
- EN 1090-5, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 5: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Aluminium und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*.

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).

prEN 1990:2020, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1999-1-1, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990 und EN 1999-1-1 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Ausgangsmaterial

Bleche und Bänder aus Aluminium, aus welchen durch Kaltumformung Profiltafeln hergestellt werden

3.1.2

Streckgrenze des Ausgangsmaterials

0,2 %-Dehngrenze f_0 des Ausgangsmaterials

3.1.3

Scheibenwirkung

Tragwirkung von Profiltafeln bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene

3.1.4

nachgiebige Verformungsbehinderung

Behinderung von Verschiebungen oder Verdrehungen an Stellen eines Querschnittes, wodurch die Beanspruchbarkeit hinsichtlich Beulen bzw. Knicken erhöht wird

3.1.5

Verformungsbehinderung

völlige Behinderung von Verschiebungen oder Verdrehungen eines ebenen Teilquerschnittes, die die Beanspruchbarkeit hinsichtlich Beulen bzw. Knicken erhöht

3.1.6

bezogener Schlankheitsgrad

normierte, materialbezogene Schlankheit

3.1.7

Schubfeldbemessung

Bemessungsmethode zur Berücksichtigung der Scheibenwirkung von Profiltafeln hinsichtlich Steifigkeit und Beanspruchbarkeit einer Konstruktion

3.1.8

Auflager

Stelle, wo ein Bauteil Kräfte oder Momente zu einem Fundament oder zu einem anderen Bauteil überleiten kann

3.1.9

wirksame Dicke

rechnerische Dicke in Verbindung mit dem Beulen eines ebenen Querschnittsteiles

3.1.10

reduzierte wirksame Dicke

rechnerische Dicke in Verbindung mit dem globalen Beulen einer Aussteifung in einem zweiten Berechnungsschritt, wenn lokales Beulen im ersten Berechnungsschritt berücksichtigt wurde

3.2 Formelzeichen

Zusätzlich zu den Formelzeichen in EN 1999-1-1 werden in diesem Dokument folgende Zeichen benutzt:

Lateinische Großbuchstaben

$F_{v,Rk}$	charakteristische Schubtragfähigkeit
$F_{t,Rk}$	charakteristische Zugbruchtragfähigkeit
$R_{p0,2}$	0,2%-Dehngrenze nach Werkstoffnorm
R_m	Zugfestigkeit nach Werkstoffnorm
S_f, S_w	Federsteifigkeit der Profiltafelverbindung
$V_{b,Rd}$	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit

Lateinische Kleinbuchstaben

a_{ol}	Länge der Überlappung der trapezförmigen Profiltafel
a_{per}	Abstand zwischen den Mittelpunkten der Perforierungen in der Profiltafel
b_b	Breite des Gebäudes
b_p	Rechenbreite einer ebenen Teilfläche
b_{rib}	Rippenabstand
d	Durchmesser des Verbindungselements
d_{per}	Durchmesser der Perforierungen in der Profiltafel
d_w	Durchmesser von (Dicht-)Scheibe oder Kopf des Verbindungselementes
f_{bv}	Schubbeulfestigkeit
$f_{u,min}$	kleinerer Zugfestigkeitswert von verbundenen Bauteilen
$f_{u,sup}$	Zugfestigkeitswert der Unterkonstruktion, in welche die Schraube eingedreht ist
f_y	Streckgrenze der Unterkonstruktion aus Stahl
h_a, h_b	Abstand des Druckgurtes zu den Sicken, senkrecht zum Gurt gemessen
h_b	Höhe der Stützen entlang des Gebäudes
h_{sa}, h_{sb}	Höhe von Sicken in Stegen, senkrecht zum Steg gemessen
h_w	Höhe des Profils

k	Steifigkeit einer Wegfeder
k_f	Koeffizient für die Federsteifigkeit von Profiltafelverbindungen
k_{ol}	Koeffizient für die Berechnung der Federsteifigkeit der Verbindungen an Überlappungen von Profiltafeln
k_σ	Beulwerte für die Druckbeanspruchung
k_τ	Beulwerte für die Schubbeanspruchung
l_a	wirksame Auflagerbreite
n	Anzahl der Versuche
n_c	Anzahl der Rippen zwischen dem Längsrand einer Profiltafel bis zum entsprechenden Rand der nächsten Profiltafel
n_p	Anzahl ganzer Rippen bei doppelten Profiltafeln innerhalb der Breite n_c mal Rippenbreite
$q_{bv,Ed}$	vertikale Last je Flächeneinheit, die auf das Dach einwirkt (Schnee, Eigengewicht und Winddruck)
$q_{h,Ed}$	horizontale Last je Länge, die entlang des Dachschubfeldes wirkt
s_a, s_b	Breite von Bauteilen zwischen Sicken in Stegen
s_d	gesamte abgewinkelte schräge Länge des Stegs
s_n	Abstand von der Schwerachse zur nächsten Sicke auf der druckbeanspruchten Seite des Stegs
s_p	größte schräge Länge einer ebenen Teilfläche im Steg
s_{per}	schräge Länge der Perforation im Steg zentrisch in Steghöhe
s_s	Auflagerbreite
s_a, s_b	Breite der Sicken in Stegen
s_w	schräge Länge des Stegs zwischen den Mittelpunkten der Ecken von Steg zu Gurt
t	Blechdicke
t_{min}	Dicke des dünneren Teils zweier verbundener Bauteile
t_{nom}	Nenndicke
t_{sup}	Dicke der Unterkonstruktion, in welche die Schraube eingedreht ist
v_h	maximale horizontale Verformung der Dachscheibe infolge $q_{h,Ed}$

x_s Abstand des untersuchten Abschnittes zu einem gelenkigen Lager oder zu einem Wendepunkt der Knicklinie infolge zentrischen Drucks

Griechische Großbuchstaben

θ Verdrehung

Griechische Kleinbuchstaben

$\bar{\lambda}_{lim}$ Länge des Plateaus für das Plattenbeulen

$\bar{\lambda}_p$ bezogener Schlankheitsgrad der ebenen Teilfläche (Platte)

$\bar{\lambda}_s$ bezogener Schlankheitsgrad der Steife

$\bar{\lambda}_w$ bezogener Schlankheitsgrad des Stegs

μ_{so} Faktor der den Anstieg des Biegegewiderstands in der Profiltafel mit seitlichen Überlappungen berücksichtigt

$\sigma_{cr,sa}$ elastische Beulspannung der Steife

φ Winkel zwischen zwei ebenen Teilflächen eines Querschnitts

ϕ auf die Gurte bezogene Stegneigung

ψ Spannungsverhältnis

ω_x Faktor zur Berücksichtigung des Flächenträgheitsmoments infolge zentrischen Drucks und Verformung

3.3 Geometrie und Konventionen

3.3.1 Formen der Querschnitte

(1) Kaltgeformte Profiltafeln weisen über ihre gesamte Länge innerhalb festgelegter Toleranzen einen konstanten Nennwert der Blechdicke auf und über ihre gesamte Länge einen gleichförmigen Querschnitt.

(2) Die Querschnitte von kaltgeformten Profiltafeln bestehen aus einer Anzahl von ebenen Teilflächen, die durch gekrümmte Elemente verbunden sind.

(3) Beispiele für typische Querschnittsformen von kaltgeformten Profiltafeln zeigt Bild 3.1.

(4) Kaltgeformte Profiltafeln können entweder unausgesteift sein oder Längsaussteifungen in Stegen oder Gurten oder auch in beiden aufweisen.

3.3.2 Formen von Längsaussteifungen

(1) Typische Formen von Längsaussteifungen kaltgeformter Profiltafeln zeigt Bild 3.2.

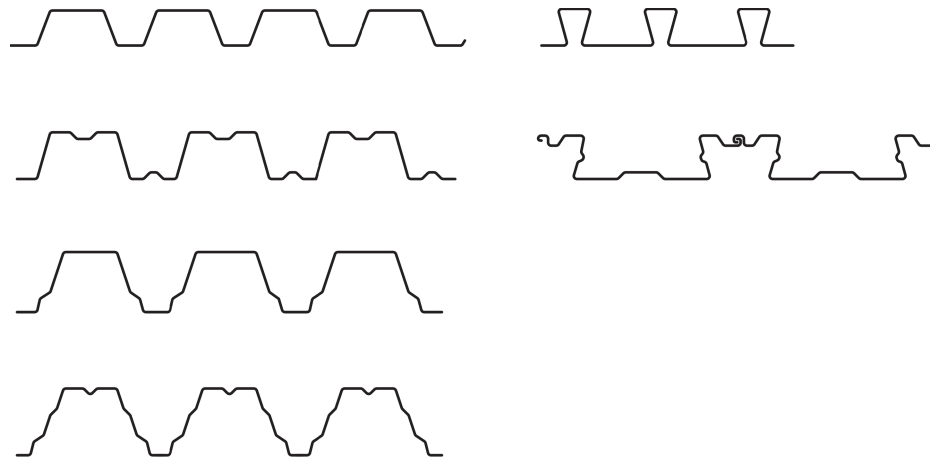
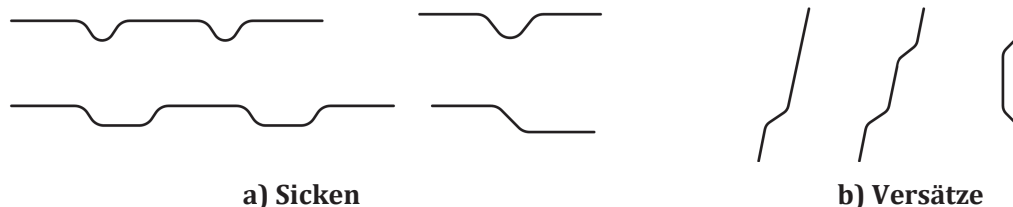


Bild 3.1 — Beispiele kaltgeformter Profiltafeln



a) Sicken

b) Versätze

Bild 3.2 — Typische Zwischenaussteifungen

3.3.3 Abmessungen der Querschnitte

(1) Die Maße kaltgeformter Profiltafeln, einschließlich Gesamtbreite b , Gesamthöhe h , innerer Biegeradius r , sowie alle Außenabmessungen mit indexloser Bezeichnung werden, falls nicht anders festgelegt, über die Außenkontur gemessen, siehe Bild 7.1.

(2) Falls nicht anders angegeben, werden die, die mit Index versehen sind, Querschnittsabmessungen kaltgeformter Profiltafeln – wie zum Beispiel b_p , h_w oder s_w – entweder bis zur Blechmittellinie bzw. bis zur Eckenmitte gemessen.

(3) Bei geneigten Stegen wird die schräge Länge s parallel zur Neigung gemessen.

(4) Die Abwicklung der Steghöhe wird einschließlich der Stegaussteifungen entlang der Blechmittellinien gemessen.

(5) Die Abwicklung der Gurtbreite wird einschließlich aller inneren Aussteifungen entlang der Blechmittellinie gemessen.

(6) Die Dicke t ist, sofern nicht anders angegeben, der Nennwert der Blechdicke, siehe 3.2.

3.3.4 Festlegung der Bauteilachsen

(1) Für Profiltafeln werden in EN 1999-1-4 folgende Festlegungen für die Bauteilachsen verwendet:

- y - y für die Achse parallel zur Profiltafelebene;
- z - z für die Achse rechtwinklig zur Profiltafelebene.

4 Bemessungsgrundlagen

(1)P Die Bemessung kaltgeformter Profiltafeln muss mit den allgemeinen Regeln in EN 1990 und EN 1999-1-1 übereinstimmen.

(2)P Für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind angemessene Teilsicherheitsbeiwerte festzulegen.

(3) Beim Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit gelten folgende Teilsicherheitsbeiwerte γ_M :

- für Beanspruchbarkeit von Querschnitten und Bauteilen, bei denen das Versagen durch Instabilität eintritt: γ_{M1} ;
- für Beanspruchbarkeit von Querschnitten, bei denen das Versagen durch Zugbruch eintritt: γ_{M2} ;
- für Beanspruchbarkeit von Verbindungen: γ_{M3} .

ANMERKUNG Für die Werte von γ_{M1} und γ_{M2} , siehe EN 1999-1-1. Für Verbindungen in kaltgeformten Profiltafeln gilt $\gamma_{M3} = \gamma_{M2}$.

(4) Bei der Bemessung von Tragwerken sollte zwischen „Konstruktionsklassen“ unterschieden werden, auf Grundlage des Ausmaßes, in dem kaltgeformte Aluminiumbauteile oder -profiltafeln zur Tragfähigkeit und Stabilität des Gesamttragwerks oder von bestimmten Bauteilen beitragen. Die Konstruktionsklassen stehen in Zusammenhang mit verschiedenen Anforderungen in den geltenden Produkt- und Ausführungsnormen für kaltgeformte Bauelemente und Profiltafeln aus Aluminium und sie müssen wie folgt bestimmt werden:

Konstruktionsklasse I: Tragwerke, bei denen kaltgeformte Bauteile oder Profiltafeln mit einem bezogenen Schlankheitsgrad dazu ausgelegt sind, zur Gesamttragfähigkeit und Steifigkeit beizutragen;

Konstruktionsklasse II: Tragwerke, bei denen kaltgeformte Bauteile oder Profiltafeln mit einem bezogenen Schlankheitsgrad zur Tragfähigkeit und Stabilität einzelner Tragwerksteile beitragen;

Konstruktionsklasse III: Tragwerke, bei denen kaltgeformte Bauteile oder Profiltafeln mit einem bezogenen Schlankheitsgrad lediglich der Übertragung der Lasten auf das Tragwerk dienen. Profiltafeln und Sandwichelemente in Konstruktionsklasse III können unterschieden werden in

- tragend oder
- nichttragend.

ANMERKUNG 1 Die zulässige Anwendung von nichttragenden kaltgeformten Profiltafeln in Konstruktionsklasse III kann durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

ANMERKUNG 2 EN 1090-1 und EN 1090-4 behandeln Anforderungen an die Ausführung von tragenden Profiltafeln und von kaltgeformten Bauteilen. EN 14782 behandelt nichttragende kaltgeformte Bleche für Konstruktionsklasse III.

(5) Pfetten, die als Teil des Aussteifungssystems des Haupttragwerks ausgelegt sind (z. B. druckbeanspruchte Bauteile, Streben, Zerrbalken) dürfen durch Profilbleche mit bezogenem Schlankheitsgrad der Konstruktionsklasse II ausgesteift werden.

(6) Die Kategorisierung in Konstruktionsklassen sollte für Profilbleche hinsichtlich ihres Bezugs zum Gesamttragwerk und den direkten Unterkonstruktionen vorgenommen werden.

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

(1) Die auf Berechnung basierenden Bemessungsverfahren nach diesem Dokument dürfen für Bauteile aus den in Tabelle 5.1 aufgeführten Legierungen in den dort angegebenen Zuständen angewendet werden.

(2) Für rechnerische Bemessungen nach diesem Dokument sollte die 0,2 %-Dehngrenze f_0 mindestens $f_0 = 135 \text{ N/mm}^2$ betragen.

(3) Aluminiumhalbzeug, das für kaltgeformte Profiltafeln verwendet wird, sollte für die vorgesehene Kaltumformung (Querschnittsform und Herstellverfahren) geeignet sein.

ANMERKUNG Andere Aluminiumwerkstoffe und -produkte können im Nationalen Anhang angegeben werden.

5.2 Aluminiumlegierungen für Bauteile

5.2.1 Materialeigenschaften

(1) Für den Bemessungsnachweis sollten die in diesem Abschnitt angegebenen Materialeigenschaften als charakteristische Werte betrachtet werden.

ANMERKUNG Die charakteristischen Werte für die 0,2 %-Dehngrenze f_0 und für die Zugfestigkeit f_u sind unmittelbar aus den Produktnormen zu entnehmen, durch Übernahme der Kleinstwerte von $R_{p0,2}$ und R_m .

(2) Es darf vorausgesetzt werden, dass die mechanischen Kennwerte für Druck die gleichen sind wie für Zug.

(3) Soll ein teilplastischer Biege widerstand ausgenutzt werden, sollte das Verhältnis der charakteristischen Werte von Zugfestigkeit f_u zu 0,2 %-Dehngrenze f_0 nicht kleiner als 1,2 sein.

(4) Die Bemessungswerte der übrigen Werkstoffkennwerte, z. B. Elastizitätsmodul, sollten EN 1999-1-1 entnommen werden.

Tabelle 5.1 — Charakteristische Werte für die 0,2 %-Dehngrenze f_o , Zugfestigkeit f_u und Bruchdehnung A_{50} für Bleche und Bänder in Zuständen mit $f_o \geq 135 \text{ N/mm}^2$ und Dicken zwischen 0,5 mm und 6 mm

Numerische Bezeichnung EN AW-	Chemische Bezeichnung EN AW-	Beständigkeits- klasse ^e	Zustände ^{a, b, c}	Dicke bis zu mm	f_u R_m N/mm ²	f_o $R_{p0,2}$ ^a N/mm ²	A_{50} % ^d
3003	AlMn1Cu	A	H16 H26	4,0	170	150 140	2 3
			H18	3,0	190	170	2
			H46	3,0	165	140	3
			H48	3,0	180	165	2-3
3004	AlMn1Mg1	A	H12 H22/H32	6,0	190	155 145	3-5 5-7
			H14 H24/H34	6 3	220	180 170	2-3 4
			H16 H26/H36	4 3	240	200 190	1-2 3
			H18 H28/H38	3 1,5	260	230 220	1-2 3
			H43	3	195	160	4-5
			H44	3	210	180	4
			H46	3	230	200	3
			H48	3	260	220	3
3005	AlMn1Mg0,5	A	H14	6,0	170	150	2-3
			H16	4	195	175	2
			H18 H28	3	220	200 190	2 2-3
			H44	3	165	135	3-4
			H46	3	185	160	2-3
			H48	3	210	180	2
3103	AlMn1	A	H16 H26	8 4	160	145 135	2 3
			H18	3	185	165	2
			H46	3	160	140	3
			H48	3	180	160	2-3
3105	AlMn0,5Mg0,5	A	H16 H26	3	175	160 150	2 3
			H18 H28	3 1,5	195	180 170	1 2
			H46	3	175	150	2-3
			H48	3	195	170	2
5005	AlMg1(B)	A	H16 H26/H36	4,0	165	145 135	2-3 3-4
			H18	3	185	165	2
			H46	3	165	135	3-4
			H48	3	185	160	2-3

Numerische Bezeichnung EN AW-	Chemische Bezeichnung EN AW-	Beständigkeitsklasse ^e	Zustände ^{a, b, c}	Dicke bis zu mm	f_u R_m N/mm ²	f_o $R_{p0,2}$ ^a N/mm ²	A_{50} % ^d
5052	AlMg _{2,5}	A	H12	6,0	210	160	5-8
			H14 H24/H34	6	230	180 150	3-4 5-7
			H16 H26/H36	6	250	210 180	3 4-6
			H18 H28/H38	3	270	240 210	2 3-4
			H44	3	230	150	5-6
			H46	3	250	180	4-5
			H48	3	270	210	3-4
5251	AlMg ₂ Mn _{0,3}	A	H12	6	190	150	4-8
			H14 H24/H34	6	210	170 140	2-4 5-8
			H16 H26/H36	4	230	200 170	2-3 4-7
			H18 H28/H38	3	255	230 200	2 3
			H46	3	210	165	4-5
			H48	3	250	215	3
6025-7072 Alclad ^f	AlMg _{2,5} SiMnCu-AlZn ₁ Alclad ^f	A	H32	5	180	135	2-4
			H34	5	210	165	2-3
			H36	5	220	185	2-4
			H42	3	180	135	3-4
			H46	3	220	185	3-4

- ^a Werte für Zustände H1x, H2x, H3x nach EN 485-2:2016+A1:2018
- ^b Werte für Zustände H4x (bandbeschichtete Bleche und Bänder) nach EN 1396:2015
- ^c Sind zwei (drei) Zustände in einer Zeile angegeben, haben durch „|“ getrennte Zustände unterschiedliche und durch „/“ getrennte Zustände gleiche technologische Werte. (Die Unterschiede beziehen sich nur auf f_o und A_{50} .)
- ^d A_{50} kann von der Blechdicke abhängen, erforderlichenfalls sind daher auch A_{50} -Bereiche angegeben.
- ^e Beständigkeitsklasse, siehe EN 1999-1-1
- ^f EN AW-6025-7072 Alclad (EN AW-AlMg_{2,5}SiMnCu-AlZn₁ Alclad) ist ein Verbundwerkstoff mit einem Kernmaterial EN AW-6025 und einer Plattierung auf beiden Seiten mit EN AW-7072. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit sollte die Plattierung eine Dicke von mindestens 4 % der Gesamtdicke des Materials auf jeder Seite haben. Falls die Dicke der Plattierung 5 % überschreitet, sollte diese Tatsache in den statischen Berechnungen berücksichtigt werden, d. h. nur die Kerndicke der Verbundwerkstofftafel sollte berücksichtigt werden. Aus diesen Gründen sollten die Mindestdicke der Plattierung von 4 % und die Mindestkerndicke in den Ausführungsunterlagen für den Auftragnehmer festgelegt werden, um die entsprechenden Konstruktionsmaterialien mit der Prüfbescheinigung 3.1 zu beschaffen.

5.2.2 Blechdicken und geometrische Toleranzen

(1) Die in diesem Dokument angegebenen Berechnungsverfahren können bei Legierungen angewendet werden, mit einem Nennwert der Blechdicke t_{nom} ohne organische Beschichtung von:

$$t_{nom} \geq 0,5 \text{ mm}$$

(2) Der Nennwert der Blechdicke t_{nom} sollte als Bemessungswert für die Blechdicke t verwendet werden, sofern die Minustoleranz kleiner als 5 % ist. Anderenfalls sollte Gleichung (5.1) angewendet werden:

$$t = t_{\text{nom}}(100 - \text{dev})/95 \quad (5.1)$$

Dabei ist

dev die Minustoleranz in %.

ANMERKUNG Toleranzen für Dachelemente sind in EN 508-2 geregelt.

5.3 Mechanische Verbindungselemente

(1) Folgende mechanische Verbindungselemente dürfen benutzt werden:

- gewindeformende Schrauben in Form von gewindefurchenden Schrauben und Bohrschrauben nach den in 10.3 aufgeführten Normen;
- Blindniete nach den in 10.2 aufgeführten Normen.

(2) Die charakteristische Scherfestigkeit $F_{v,Rk}$ und die charakteristische Zugbruchtragfähigkeit $F_{t,Rk}$ der mechanischen Verbindungselemente sollten nach 10.2 oder 10.3 ermittelt werden.

(3) Bezüglich weiterer Details zu Gewindeformschrauben und Blindniete wird auf EN 1090-3 verwiesen.

(4) Die charakteristische Scherfestigkeit und die charakteristische Zugbruchtragfähigkeit von mechanischen Verbindungselementen, die nicht in diesem Dokument geregelt sind, können europäischen Zulassungen (ETA) entnommen werden.

6 Dauerhaftigkeit

(1) Die grundlegenden Anforderungen an die Dauerhaftigkeit nach EN 1999-1-1 müssen eingehalten werden.

(2) Besondere Aufmerksamkeit ist angebracht, wenn verschiedene Werkstoffe zusammengefügt werden und durch elektrochemische Reaktionen Korrosion auftreten könnte.

ANMERKUNG Siehe Anhang B zum Korrosionswiderstand von Verbindungselementen in Abhängigkeit von der Korrosivitätskategorie der Umgebung nach EN ISO 12944-2.

(3) Die Umgebungs- und Witterungseinflüsse während Herstellung, Transport und Zwischenlagerung auf der Baustelle sollten berücksichtigt werden.

7 Berechnungsmethoden

7.1 Einfluss ausgerundeter Ecken

(1) In Querschnitten mit ausgerundeten Ecken werden die Nennbreiten b_p der ebenen Teilflächen als Abstand zwischen den angrenzenden Eckenmitten gemessen, siehe Bild 7.1.

(2) Bei Querschnitten mit ausgerundeten Ecken sollte die Berechnung der Querschnittswerte auf der Grundlage der wirklichen Querschnittsgeometrie erfolgen.

(3) Unabhängig davon, ob geeignetere Methoden zur Ermittlung der Querschnittswerte zur Anwendung kommen, darf das in (4) beschriebene Näherungsverfahren angewendet werden. Der Einfluss von Eckausrundungen darf aber bei inneren Biegeradien $r \leq 10 t$ und $r \leq 0,15 b_p$ vernachlässigt und der Querschnitt darf unter Annahme scharfkantiger Ecken berechnet werden.

(4) Bei ausgerundeten Ecken kann die Berechnung von Querschnittswerten über eine Abminderung der Querschnittswerte des scharfkantigen Querschnitts unter Verwendung der Näherungswerte nach Gleichung (7.1), Gleichung (7.2) und Gleichung (7.3) geschehen:

$$A_g \approx A_{g,sh}(1 - \delta) \quad (7.1)$$

$$I_g \approx I_{g,sh}(1 - 2\delta) \quad (7.2)$$

mit:

$$\delta = 0,43 \cdot \sum_{j=1}^n (r_j \phi_j / 90) / \sum_{i=1}^m b_{p,i} \quad (7.3)$$

Dabei ist

A_g die Bruttoquerschnittsfläche;

$A_{g,sh}$ der Flächenwert A_g eines Querschnitts mit scharfen Kanten;

$b_{p,i}$ die Rechenbreite einer ebenen Teilfläche i des scharfkantigen Querschnittes;

I_g das Flächenträgheitsmoment des Bruttoquerschnittes;

$I_{g,sh}$ das Flächenträgheitsmoment I_g des scharfkantigen Querschnittes;

φ der Winkel zwischen zwei benachbarten ebenen Teilflächen;

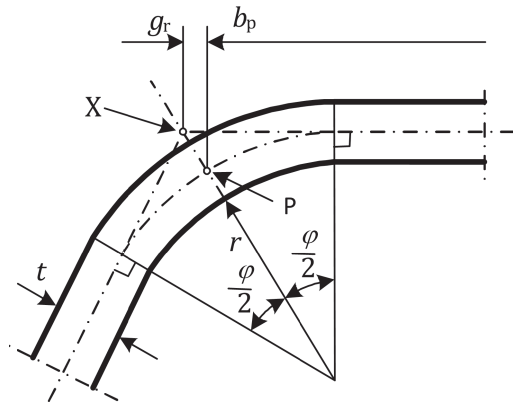
m die Anzahl der ebenen Teilflächen;

n die Anzahl der gekrümmten Teilflächen ohne Berücksichtigung der Bögen von Aussteifungen in Stegen und Gurten;

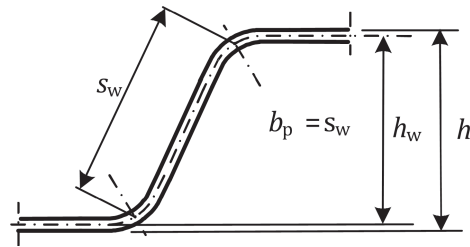
r_j der innere Biegeradius der gekrümmten Teilfläche.

(5) Die Abminderungen, die sich aus Gleichung (7.1) ergeben, dürfen auch bei der Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte A_{eff} und $I_{y,eff}$ nach 8.1 zur Anwendung kommen, wenn für die Nennbreiten der ebenen Teilflächen die Abstände zwischen den Schnittpunkten der Mittellinien angesetzt werden.

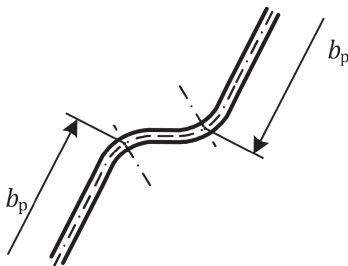
(6) Ist der innere Biegeradius $r \geq 0,04 t E / f_o$, so sollte der Biegezugwiderstand des Querschnittes durch Versuche bestimmt werden.



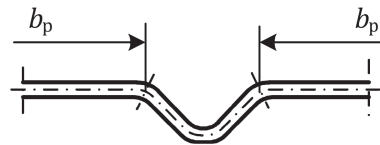
a) Mittelpunkt der Ecke oder der Ausrundung/Eckenmitte



b) Rechenbreite b_p eines Steges



c) Rechenbreite b_p ebener Teilflächen die an den Versatz angrenzen



d) Rechenbreite b_p ebener Teilflächen, die an Sicken angrenzen

Legende

X Schnittpunkt der Mittellinien

P die Eckenmitte

$R_m = r + t/2$

$g_r = R_m \left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right)$

$B_p = \text{schräge Höhe } s_w$

Bild 7.1 — Rechenbreiten ebener Teilflächen b_p unter Berücksichtigung von ausgerundeten Ecken

7.2 Geometrische Festlegungen

(1) Die Regeln für die rechnerische Bemessung nach diesem Dokument sollten nicht bei Querschnitten mit Breiten-zu-Dicken-Verhältnissen b/t und s_w/t angewendet werden, welche die nachstehend angegebenen maximal zulässigen Werte überschreiten:

- für gedrückte Gurte $b/t \leq 300 b$;
- für Stege $s_w/t \leq 0,5 E/f_o$.

(2) Es kann davon ausgegangen werden, dass die in (1) angegebenen Grenzwerte für b/t und s_w/t den Bereich beschreiben, für den ausreichende Erfahrungen und Bestätigungen durch Versuchsergebnisse vorliegen.

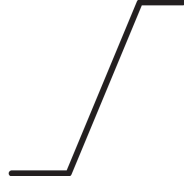
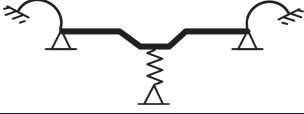
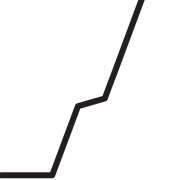
(3) Querschnitte mit größeren Breiten-zu-Dicken-Verhältnissen als die in (1) angegebenen dürfen verwendet werden, wenn Beanspruchbarkeit und Gebrauchstauglichkeit durch Versuche und/oder durch

Berechnung ermittelt werden, wobei jedoch die Ergebnisse durch eine angemessene Anzahl von Versuchen bestätigt werden.

7.3 Bemessungsmodelle

- (1) Für die Berechnung dürfen Querschnittsteile wie in Tabelle 7.1 aufgeführt modelliert werden.
- (2) Der wechselseitige Einfluss mehrerer Aussteifungen sollte berücksichtigt werden.

Tabelle 7.1 — Bemessungsmodelle für Querschnittsteile

Art des Querschnittsteiles	Modell
	
	
	
	

7.4 Einwölbung der Gurte

- (1) Der Einfluss der Einwölbung sehr breiter Gurte (d. h. Durchbiegung in Richtung neutraler Faser) auf die Tragfähigkeit einer biegebeanspruchten Profiltafel oder einer gebogenen Profiltafel, deren konkave Seite Druckbeanspruchungen unterworfen ist, sollte berücksichtigt werden, es sei denn, das Einwölungsmaß ist geringer als 5 % der Profilhöhe.
- (2) Ist die Einwölbung größer als 5 % der Höhe des Profilquerschnitts, so sollte die Abminderung der Tragfähigkeit, zum Beispiel durch Verringerung des inneren Hebelarmes des breiten Gurtes zur Schwerachse berücksichtigt werden.

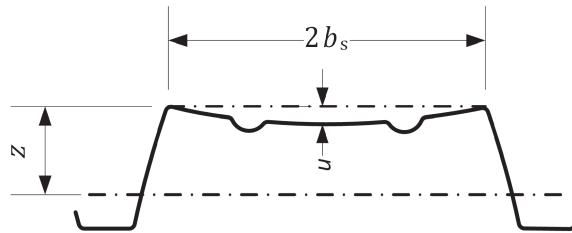


Bild 7.2 — Einwölbung von Gurten

(3) Die Berechnung der Einwölbung darf wie folgt sowohl für ausgesteifte als auch unausgesteifte Druck- und Zuggurte, jedoch nicht für querausgesteifte Gurte durchgeführt werden.

— Für Profiltafeln, die vor Belastung gerade sind (siehe Bild 7.2) sollten Gleichung (7.4) und Gleichung (7.5) angewendet werden:

$$u = \frac{2\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z} \quad (7.4)$$

— Für gebogene Profiltafeln:

$$u = \frac{2\sigma_a b_s^4}{E t^2 r} \quad (7.5)$$

Dabei ist

u die Einwölbung des Gurtes in Richtung der neutralen Achse, siehe Bild 7.2;

b_s der halbe Stegabstand;

z der Schwerpunktabstand des Gurtes;

r der Krümmungsradius des gebogenen Profils;

σ_a die mittlere, mit der Gesamtfläche ermittelte Spannung im Gurt.

(4) Wurde die Spannung mit dem wirksamen Querschnitt ermittelt, ergibt sich die mittlere Spannung durch Multiplikation der mit dem wirksamen Querschnitt ermittelten Spannung mit dem Verhältnis aus wirksamer Gurtfläche und gesamter Gurtfläche.

7.5 Örtliches Beulen und Gesamtfeldbeulen

7.5.1 Allgemeines

(1) Die Einflüsse örtlichen Beulens und Gesamtfeldbeulens sollten bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit und der Steifigkeit von kaltgeformten Profiltafeln berücksichtigt werden.

(2) Örtliches Beulen kann durch Ansatz wirksamer Querschnittswerte berücksichtigt werden, die auf der Grundlage wirksamer Wanddicken ermittelt werden, siehe EN 1999-1-1.

(3) Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit im Hinblick auf örtliches Beulen sollte die 0,2 %-Dehngrenze f_0 verwendet werden.

ANMERKUNG Bezüglich der wirksamen Querschnittswerte beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit siehe 9.1(3).

ANMERKUNG Zum Gesamtfeldbeulen von Querschnittsteilen mit Zwischenaussteifungen siehe 7.5.3.

7.5.2 Unausgesteifte ebene Teilflächen

(1) Die wirksame Dicke t_{eff} druckbeanspruchter Querschnittsteile sollte als $t_{\text{eff}} = \rho \cdot t$ ermittelt werden, worin ρ ein das örtliche Beulen berücksichtigender Abminderungsfaktor ist.

(2) Die Nennbreite b_p eines ebenen Querschnittsteiles sollte nach 7.1 ermittelt werden. Bei ebenen Querschnittsteilen in geneigten Stegen sollte die jeweilige schräge Höhe verwendet werden.

(3) Der Abminderungsfaktor ρ zur Bestimmung von t_{eff} sollte mit der größten Druckspannung $\sigma_{\text{com,Ed}}$ in der entsprechenden Teilfläche ermittelt werden (berechnet auf der Grundlage des wirksamen Querschnittes), wenn die Beanspruchbarkeit des Querschnittes erreicht ist.

(4) Wenn $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_o / \gamma_{M1}$ sollte der Reduktionsfaktor ρ durch Gleichung (7.6), Gleichung (7.7) und Gleichung (7.8) ermittelt werden:

$$\text{wenn } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_{\text{lim}} : \rho = 1,0 \quad (7.6)$$

$$\text{wenn } \bar{\lambda}_p > \bar{\lambda}_{\text{lim}} : \rho = \alpha \left(1 - 0,22 / \bar{\lambda}_p \right) / \bar{\lambda}_p \quad (7.7)$$

worin der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ der ebenen Teilfläche (Platte) gegeben ist durch:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_o}{\sigma_{\text{cr}}}} \equiv \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{12(1 - \nu^2)f_o}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma}} \quad (7.8)$$

Dabei ist

k_σ der von der Spannungsverteilung abhängige Beulwert nach Tabelle 7.3.

Die Parameter $\bar{\lambda}_{\text{lim}}$ und α sollten Tabelle 7.2 entnommen werden.

Tabelle 7.2 — Parameter $\bar{\lambda}_{\text{lim}}$ und α

$\bar{\lambda}_{\text{lim}}$	α
0,517	0,90

(5) Wenn $\sigma_{\text{com,Ed}} < f_o / \gamma_{M1}$ darf der Reduktionsfaktor ρ wie folgt bestimmt werden:

Gleichung (7.6) und Gleichung (7.7) dürfen verwendet werden, wobei jedoch die Schlankheit der ebenen Teilfläche $\bar{\lambda}_p$, durch die reduzierte Schlankheit der ebenen Teilfläche $\bar{\lambda}_{p,\text{red}}$ nach Gleichung (7.9) ersetzt wird:

$$\bar{\lambda}_{p,\text{red}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed}}}{f_o / \gamma_{M1}}} \quad (7.9)$$

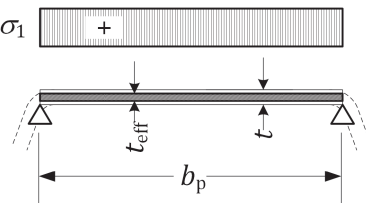
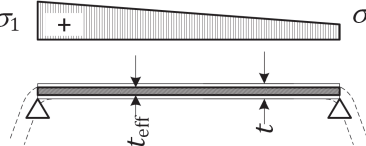
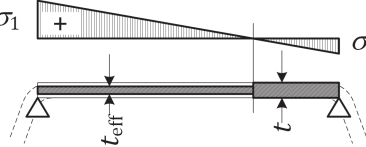
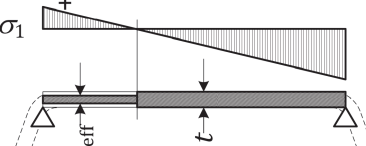
ANMERKUNG Bezüglich der wirksamen Steifigkeit beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit siehe 9.1(3).

(6) Zur Bestimmung der wirksamen Dicke einer Gurtteilfläche mit ungleichmäßiger Spannungsverteilung dürfen die in Tabelle 7.3 benutzten Spannungsverhältnisse ψ am Bruttoquerschnitt ermittelt werden.

(7) Für die Bestimmung der wirksamen Dicken bei Stegteilflächen darf das in Tabelle 7.3 angegebene Spannungsverhältnis ψ unter Ansatz der wirksamen Fläche des druckbeanspruchten Gurtes und der Bruttofläche der Stege ermittelt werden.

(8) Die wirksamen Querschnittswerte können ausgehend von dem auf dem Bruttoquerschnitt beruhenden wirksamen Querschnitt durch Iteration von (6) und (7) verbessert werden. Für die Berechnung von Spannungsverteilungen sind hierbei mindestens zwei Iterationsschritte vorzunehmen.

Tabelle 7.3 — Beulwerte k_σ für druckbeanspruchte Querschnittsteile

Teilquerschnitt (+ = Druck)	$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	Beulwert k_σ
	$\psi = +1$	$k_\sigma = 4,0$
	$+1 > \psi \geq 0$	$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi}$
	$0 > \psi \geq -1$	$k_\sigma = 7,81 - 6,26\psi + 9,78\psi^2$
	$-1 > \psi \geq -3$	$k_\sigma = 5,98(1 - \psi^2)$

7.5.3 Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen

7.5.3.1 Allgemeines

(1) Die Bemessung druckbeanspruchter Teilquerschnitte mit Zwischensteifen sollte auf der Annahme beruhen, dass sich die Aussteifung wie ein Druckstab auf elastischer Bettung verhält, wobei die Bettungsziffer (Federsteifigkeit) von den Randbedingungen und der Biegesteifigkeit der benachbarten ebenen Teilflächen abhängig ist.

(2) Die Federsteifigkeit einer Aussteifung sollte ermittelt werden, indem eine Last je Längeneinheit u , wie in Bild 7.3 dargestellt, angebracht wird. Die Federsteifigkeit k je Längeneinheit kann mit Gleichung (7.10) errechnet werden:

$$k = u/\delta \quad (7.10)$$

wobei δ die Verformung eines durch die Last u beanspruchten abgekanteten Plattenstreifens ist, und die Last u in der Mittelebene (beim kürzesten Abstand zu einer Ecke des Querschnitts b_1) des wirksamen Teiles der Aussteifung angreift.

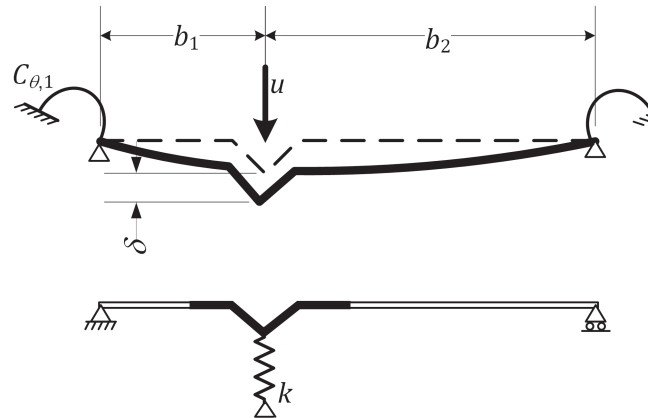


Bild 7.3 — Modell zur Ermittlung der Federsteifigkeit

(3) Bei der Ermittlung der Drehfedersteifigkeiten $C_{\theta,1}$ und $C_{\theta,2}$ aus der Geometrie des Querschnittes sollten mögliche Einwirkungen anderer, an der gleichen Teilfläche vorhandenen Aussteifungen oder anderer druckbeanspruchter Teilflächen des Gesamtquerschnittes berücksichtigt werden.

(4) Bei Zwischensteifen können, als auf der sicheren Seite liegende Näherung, die Drehfedersteifigkeiten $C_{\theta,1}$ und $C_{\theta,2}$ zu null gesetzt werden und die Verformung δ kann nach Gleichung (7.11) angesetzt werden:

$$\delta = \frac{ub_1^2b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad (7.11)$$

(5) Der Reduktionsfaktor χ_d bezüglich Gesamtfeldbeulen bei einer Aussteifung (Biegeknicken bei einer Zwischensteife) sollte in Abhängigkeit der nach Gleichung (7.12) zu ermittelnden bezogenen Schlankheit Tabelle 7.4 entnommen werden.

$$\bar{\lambda}_s = \sqrt{f_o / \sigma_{cr,s}} \quad (7.12)$$

dabei ist $\sigma_{\chi p, \sigma}$ die elastische kritische Spannung nach 7.5.3.2 oder 7.5.4.2.

Tabelle 7.4 — Abminderungsfaktoren χ_d bezüglich Gesamtfeldbeulen

$\bar{\lambda}_s$	χ_d
$-\bar{\lambda}_s \leq 0,25$	1,00
$0,25 < \bar{\lambda}_s \leq 1,04$	$1,155 - 0,62\bar{\lambda}_s$
$1,04 \leq \bar{\lambda}_s$	$0,53/\bar{\lambda}_s$

7.5.3.2 Berechnungsverfahren

(1) Das Berechnungsverfahren nach 7.5.3.2 ist anwendbar bei ein oder zwei gleichen Zwischenaussteifungen, welche durch Sicken oder Versätze gebildet werden, vorausgesetzt, alle ebenen Teilflächen werden nach 7.5.2 berechnet.

(2) Die Aussteifungen sollten gleich geformt sein und ihre Anzahl sollte nicht mehr als zwei betragen. Sind mehr als zwei Steifen vorhanden, sollten zwei berücksichtigt werden.

(3) Sind die in (1) und (2) genannten Bedingungen erfüllt, kann die Wirksamkeit der Aussteifung nach der folgenden Vorgehensweise ermittelt werden.

(4) Der Querschnitt einer Zwischensteife sollte angenommen werden als aus der Aussteifung selbst bestehend und den wirksamen Anteilen der ebenen Querschnittsteile $b_{p,1}$ und $b_{p,2}$, wie in Bild 7.4 dargestellt.

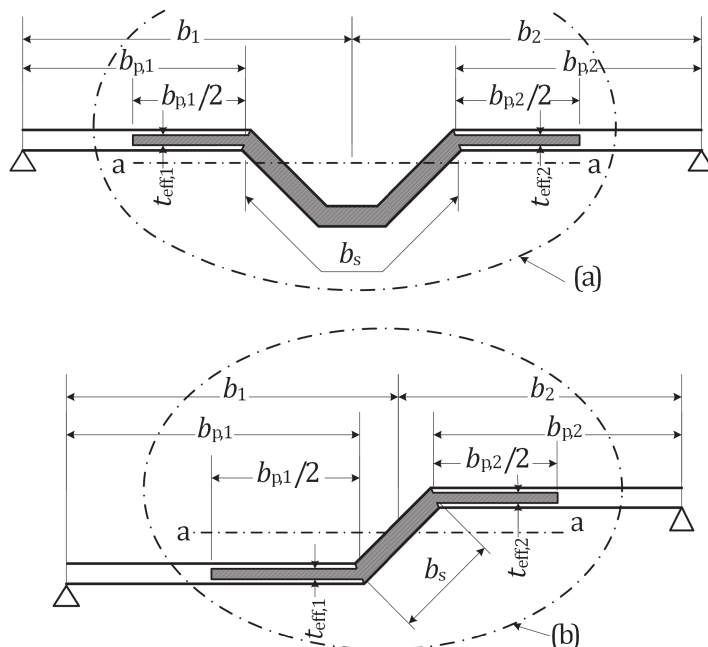
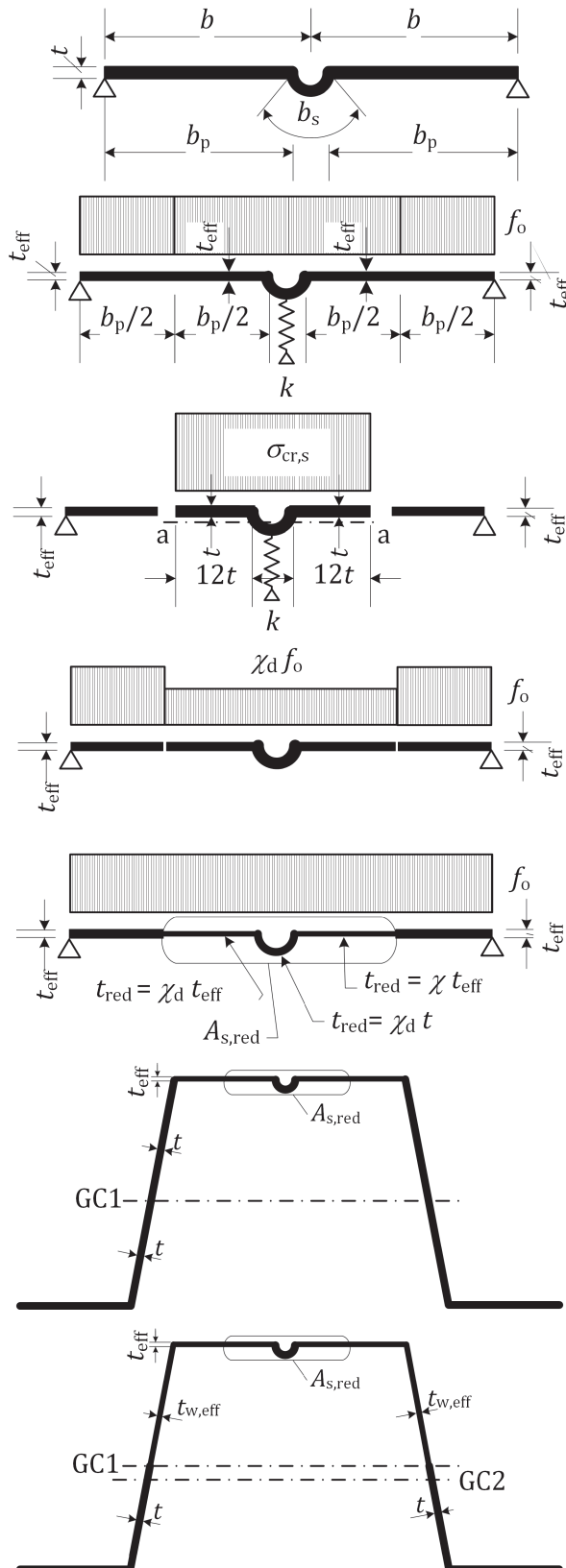


Bild 7.4 — Anfänglicher wirksamer Querschnitt A_s für Zwischensteifen in (a) Gurt und (b) Steg

(5) Das in Bild 7.5 dargestellte Verfahren sollte in den folgenden Berechnungsschritten durchgeführt werden:

- **Schritt 1:** Ermittlung eines ersten wirksamen Querschnittes für die Aussteifung zur Berechnung der Querschnittsfläche A_s unter Verwendung wirksamer Dicken, welche unter der Annahme, dass die Aussteifung unverschieblich gelagert ist und f_0 ist, berechnet werden, siehe (6) und (7);
- **Schritt 2:** Berechnung des wirksamen Trägheitsmomentes unter Verwendung eines weiteren Querschnittes nach Bild 7.6 zur Berechnung des Abminderungsfaktors bezüglich Gesamtfeldbeulen unter Berücksichtigung der kontinuierlichen Federsteifigkeit, siehe (8) und (9);
- **Schritt 3:** Bei der Berechnung von wirksamen Querschnittswerten sollte die reduzierte wirksame Steifenfläche $A_{s,red}$ durch reduzierte Dicken $t_{red} = t A_{s,red} / A_s$ in allen zu A_s zugehörigen Elemente berücksichtigt werden.
- **Schritt 4:** Die wirksamen Breiten druckbeanspruchter Teile des Stegs sollten auf dem Schwerpunkt GC1 für einen Querschnitt beruhen, der aus dem wirksamen Querschnitt des Druckgurtes aus Schritt 3 und dem Gesamtquerschnitt des restlichen Querschnitts besteht. Das stellt den wirksamen Querschnitt des Gesamtquerschnitts mit dem endgültigen Schwerpunkt GC2 dar.



a) Gesamtquerschnitt und Randbedingungen des druckbeanspruchten Gurtes.

b) **Schritt 1:** Die wirksame Dicke für $k = \infty$ auf der Grundlage von f_0 an den Rändern.

Beim Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird f_0 durch $0,6f_0$ ersetzt. Siehe Abschnitt 9.

c) **Schritt 2:** Kritische elastische Spannung, $\sigma_{cr,s}$, für den wirksamen Querschnitt auf Grundlage der wirksamen Fläche, A_s , des Trägheitsmoments I_s nach Bild 7.6 und der Federsteifigkeit k .

d) Reduzierte Festigkeit $\chi_d f_0$ für die wirksame Fläche A_s der Aussteifung unter Verwendung des in Abhängigkeit von $\sigma_{cr,s}$ ermittelten Reduktionsfaktors χ_d . Beim Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist $\chi_d = 1,0$.

e) **Schritt 3:** Übernahme eines wirksamen Querschnitts $A_{s,red}$ mit reduzierter Dicke $t_{red} = \chi_d t$ für die Steife und reduzierter wirksamer Dicke $\chi_d t_{eff}$ für angrenzende ebene Teilflächen.

f) Der Schwerpunkt GC1 für den Querschnitt, der sich aus der wirksamen Fläche des Gurtes nach Schritt 3 und dem Bruttoquerschnitt des restlichen Querschnitts zusammensetzt.

g) **Schritt 4:** Die wirksamen Breiten der gedrückten Teile des Stegs nach 7.5.4.3, auf Grundlage des Schwerpunktes GC1 nach f), bildet den wirksamen Querschnitt des Gesamtquerschnittes mit dem endgültigen Schwerpunkt GC2.

Bild 7.5 — Modell zur Ermittlung der Druckbeanspruchbarkeit eines Gurtes mit Zwischensteife und des wirksamen Querschnitts des Gesamtprofils

(6) Der Eingangswert für die wirksame Dicke t_{eff} sollte, wie in Bild 7.4 dargestellt, unter der Voraussetzung einer zweiseitigen Lagerung der ebenen Teilfläche b_p nach 7.5.2 ermittelt werden, siehe Tabelle 7.1.

(7) Die wirksame Querschnittsfläche einer Zwischensteife A_s sollte über Gleichung (7.13) ermittelt werden:

$$A_s = t_{\text{eff}} b_p / 2 + t_{\text{eff}} b_p / 2 \quad (7.13)$$

(8) Die kritische (elastische) Beulspannung $\sigma_{\text{cr},s}$ einer Zwischensteife sollte über Gleichung (7.14) ermittelt werden:

$$\sigma_{\text{cr},s} = \frac{2\sqrt{kEI_s}}{A_s} \quad (7.14)$$

Dabei ist

k die Federsteifigkeit je Längeneinheit, siehe 7.5.3.1(2);

I_s das wirksame Trägheitsmoment der Zwischensteife unter Ansatz der Dicke t und der fiktiv angesetzten Breiten $12t$ der benachbarten ebenen Teilflächen bezogen auf die Schwerachse a-a des wirksamen Querschnittes, siehe Bild 7.6(a).

(9) Der Reduktionsfaktor χ_d bezüglich Gesamtfeldbeulen bei einer Zwischensteife sollte mit der elastischen Knickspannung $\sigma_{\text{cr},s}$ aus dem in 7.5.3.1(5) angegebenen Verfahren ermittelt werden.

(10) Die reduzierte Querschnittsfläche $A_{s,\text{red}}$ der Steife sollte unter Berücksichtigung des Gesamtfeldbeulens nach Gleichung (7.15) ermittelt werden:

$$A_{s,\text{red}} = \chi_d A_s \quad (7.15)$$

(11) Bei der Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte sollte die reduzierte wirksame Steifenfläche $A_{s,\text{red}}$ über reduzierte Dicken $t_{\text{red}} = \chi_d t_{\text{eff}}$ in allen zu A_s zugehörigen Teilflächen berücksichtigt werden.

(12) Die wirksamen Querschnittswerte der Steifen sollten bei Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit auf der unreduzierten Dicke t , d. h. $\chi_d = 1,0$ beruhen.

7.5.4 Trapezprofiltafeln mit Zwischensteifen

7.5.4.1 Allgemeines

(1) 7.5.4 sollte in Verbindung mit 7.5.3.2 für Gurte mit Zwischensteifen und für Stege mit Zwischensteifen angewendet werden.

(2) Die Interaktion zwischen Gesamtfeldbeulen von Zwischensteifen in Gurten und Zwischensteifen in Stegen sollte ebenfalls nach dem Verfahren nach 7.5.4.4 berücksichtigt werden.

7.5.4.2 Gurte mit Zwischensteifen

(1) Bei vorausgesetzter gleichmäßig verteilter Druckspannung sollte angenommen werden, dass der wirksame Querschnitt eines Gurtes mit Zwischensteifen aus reduzierten wirksamen Querschnittsflächen $A_{s,red}$ von bis zu zwei Zwischensteifen und zwei angrenzenden Streifen mit einer Breite von $0,5 b_p$ und einer Dicke von t_{eff} besteht, welche an den Stegen aufgelagert sind, siehe Bild 7.5 f).

(2) Bei einer zentrischen Steife im Gurt sollte die kritische Beulspannung $\sigma_{cr,s}$ nach Gleichung (7.16) ermittelt werden:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2\kappa_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}} \quad (7.16)$$

Dabei ist

b_p die Rechenbreite der ebenen Teilstücke, wie in Bild 7.6 (b) dargestellt;

b_s die (abgewinkelte) Breite der Steife, siehe Bild 7.6 (c);

κ_w ein Beiwert, der die Drehbettung des ausgesteiften Gurtes durch die Stege berücksichtigt, siehe (5) und (6).

A_s und I_s sind wie in 7.5.3.2 und Bild 7.6 definiert.

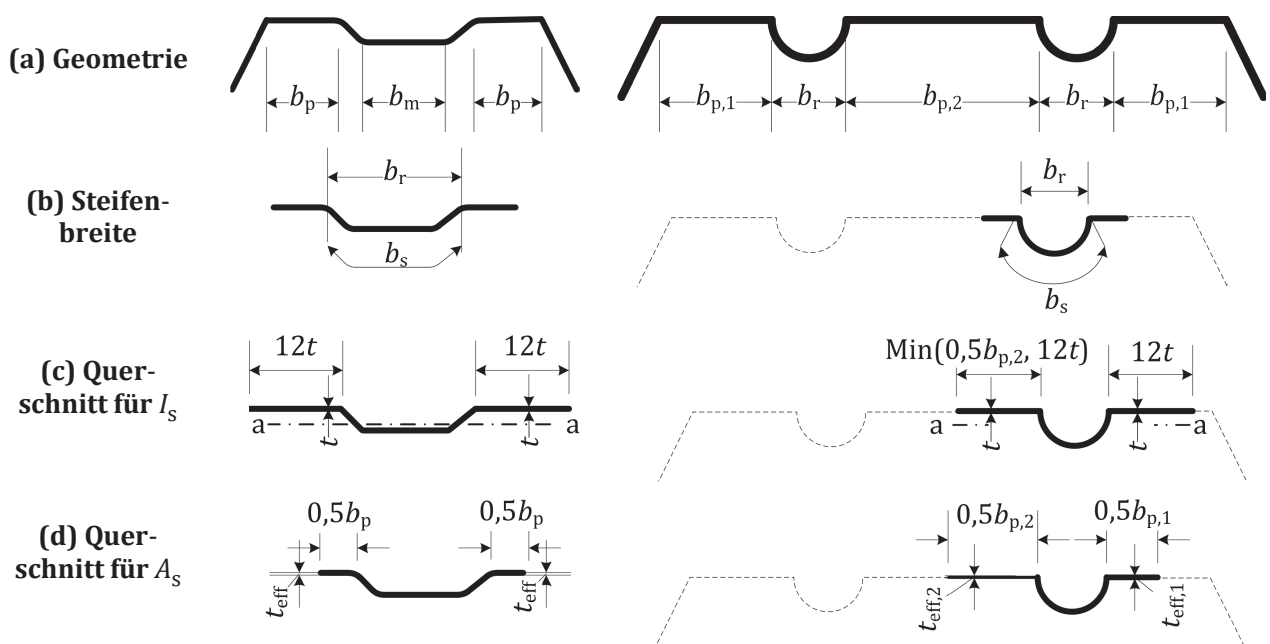


Bild 7.6 — Druckgurte mit einer Steife bzw. zwei Steifen

(3) Bei zwei symmetrisch angeordneten Steifen im Gurt sollte die kritische Beulspannung $\sigma_{cr,s}$ nach Gleichung (7.17) ermittelt werden:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2\kappa_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8 b_1^2 (3b_e - 4b_1)}} \quad (7.17)$$

mit:

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5 b_r$$

Dabei ist

$b_{p,1}$ die Rechenbreite einer äußeren ebenen Teilfläche, wie in Bild 7.6 dargestellt;

$b_{p,2}$ die Rechenbreite der inneren ebenen Teilfläche, wie in Bild 7.6 dargestellt;

b_s die abgewinkelte Breite der Steife, gemessen entlang der Mittellinie der Steife, siehe Bild 7.6 (c).

(4) Sind drei Zwischensteifen vorhanden, sollte der mittlere nicht berücksichtigt werden.

(5) Der Beiwert κ_w ergibt sich aus der Knicklänge l_b des gedrückten Gurtes nach Gleichung (7.18) und Gleichung (7.19):

$$\text{wenn } l_b/s_w \geq 2: \kappa_w = \kappa_{w0} \quad (7.18)$$

$$\text{wenn } l_b/s_w < 2: \kappa_w = \kappa_{w0} - (\kappa_{w0} - 1)[2 l_b/s_w - (l_b/s_w)^2] \quad (7.19)$$

Dabei ist

s_w die geneigte Länge des Steges ist, siehe Bild 7.7 (a);

l_b die halbe Knicklänge der Aussteifung, siehe (7).

(6) Alternativ darf der Drehbettingsbeiwert κ_w mit 1,0 auf der sicheren Seite liegend, entsprechend einer gelenkigen Lagerung, angesetzt werden.

(7) Die Werte von l_b und κ_{w0} dürfen nach Gleichung (7.20), Gleichung (7.21), Gleichung (7.22) und Gleichung (7.23) bestimmt werden:

— für einen druckbeanspruchten Gurt mit einer Zwischensteife:

$$l_b = 3,07 \sqrt[4]{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s) / t^3} \quad (7.20)$$

$$\kappa_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} \quad (7.21)$$

mit:

$$b_d = 2b_p + b_s$$

— für einen druckbeanspruchten Gurt mit zwei oder drei Zwischensteifen:

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{I_s b_1^2 (3b_e - 4b_1) / t^3} \quad (7.22)$$

$$\kappa_{wo} = \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_1)}{b_1(4b_e - 6b_1) + s_w(3b_e - 4b_1)}} \quad (7.23)$$

(8) Die hinsichtlich des Gesamtfeldbeulens (Biegeknicken einer Zwischensteife) reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{s,red}$ der Steife sollte nach Gleichung (7.24) bestimmt werden:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \text{ jedoch } A_{s,red} \leq A_s \quad (7.24)$$

(9) Bei unausgesteiften Stegen sollte der Abminderungsfaktor χ_d unmittelbar aus $\sigma_{cr,s}$ nach der in 7.5.3.1(5) angegebenen Berechnungsmethode ermittelt werden.

(10) Wenn die Stege ebenfalls ausgesteift sind, sollte der Abminderungsfaktor χ_d aus der in 7.5.3.1(5) angegebenen Berechnungsmethode ermittelt werden, jedoch unter Verwendung der modifizierten elastischen kritischen Spannung $\sigma_{cr,mod}$ nach 7.5.4.4.

(11) Bei der Berechnung von wirksamen Querschnittswerten sollte die reduzierte wirksame Steifenfläche $A_{s,red}$ durch reduzierte Dicken $t_{red} = \chi_d t_{eff}$ in allen zu A_s zugehörigen Teilflächen berücksichtigt werden.

7.5.4.3 Stege mit bis zu zwei Steifen unter ungleichförmiger Spannung

(1) Für den wirksamen Querschnitt des druckbeanspruchten Bereiches eines Steges sollte angenommen werden, dass sich dieser aus den reduzierten Flächen $A_{s,red}$ von bis zu zwei Zwischensteifen, einer ebenen mit dem Druckgurt verbundenen Teilfläche und einer ebenen bis zur Schwerachse des Gesamtquerschnittes reichenden Teilfläche zusammensetzt, siehe Bild 7.7. Stege unter konstanter Druckbeanspruchung sollten wie ausgesteifte Gurte behandelt werden.

(2) Der wirksame Querschnitt eines Steges sollte, wie in Bild 7.7 dargestellt, bestehen aus:

- a) einem am Druckgurt abliegenden Streifen mit der Breite $s_a/2$ und der wirksamen Dicke $t_{eff,a}$;
- b) reduzierten Flächen $A_{s,red}$ der Stegsteifen, jedoch höchstens zwei;
- c) einem Streifen mit der Länge $2s_n/3$ bis zur Schwerachse des wirksamen Querschnittes;
- d) dem zugbeanspruchten Stegteil.

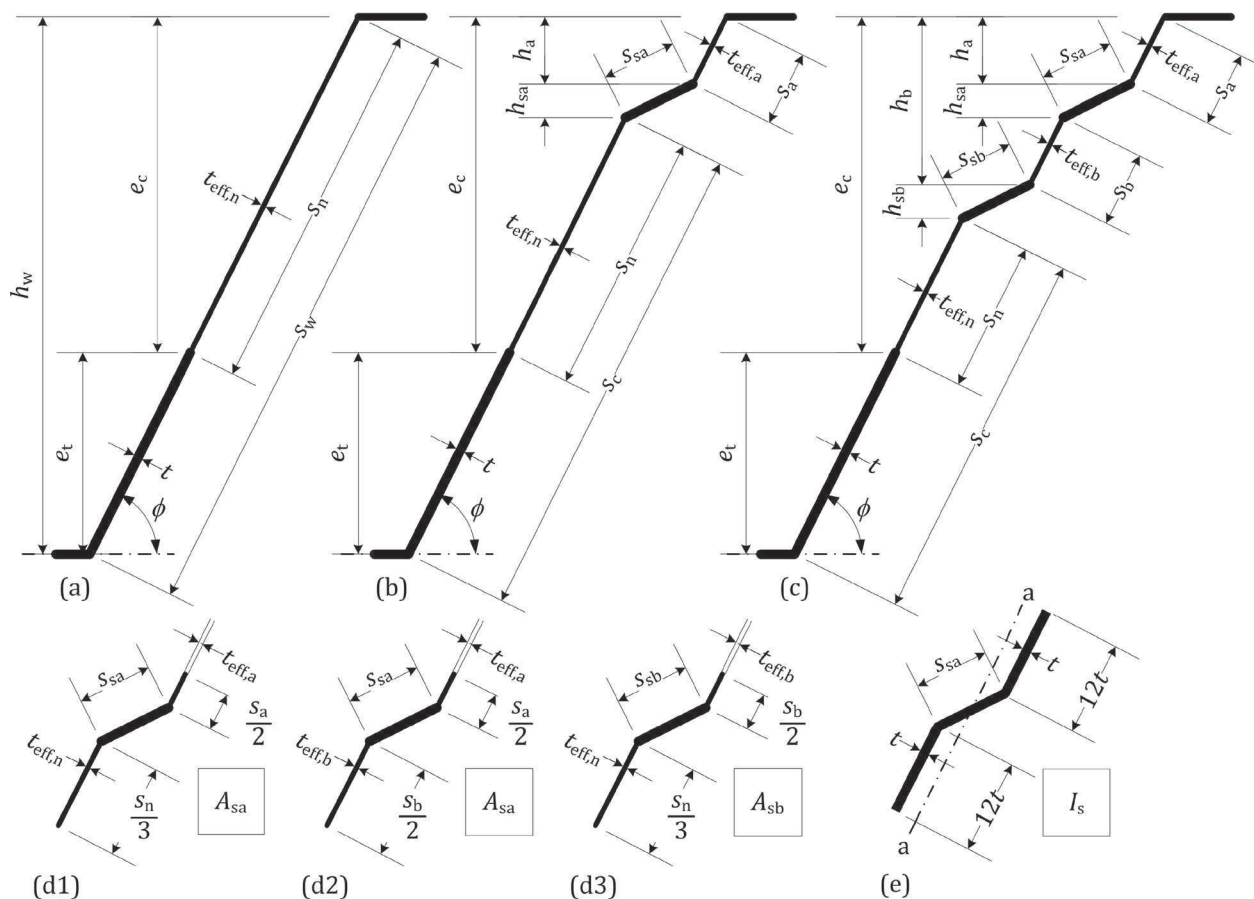


Bild 7.7 — Wirksame Querschnittsteile in Stegen kaltgeformter Profiltafeln

(3) Die Eingangswerte für die wirksamen Querschnittsflächen sollten mit Gleichung (7.25), Gleichung (7.26) und Gleichung (7.27) ermittelt werden:

— bei einer Steife:

$$A_{sa} = (t_{eff,a} \frac{s_a}{2} + t s_{sa} + t_{eff,n} \frac{s_n}{3}), \quad \text{Bild 7.7 (d1)} \quad (7.25)$$

— für die dem Druckgurt zugekehrte Steife bei Stegen mit zwei Steifen:

$$A_{sa} = (t_{eff,a} \frac{s_a}{2} + t s_{sa} + t_{eff,b} \frac{s_b}{2}), \quad \text{Bild 7.7 (d2)} \quad (7.26)$$

— für die zweite Steife:

$$A_{sb} = (t_{eff,b} \frac{s_b}{2} + t s_{sb} + t_{eff,n} \frac{s_n}{3}), \quad \text{Bild 7.7 (d3)} \quad (7.27)$$

wobei die Abmessungen s_a , s_{sa} , s_b , s_{sb} , und s_n Bild 7.7 zu entnehmen und $t_{eff,a}$, $t_{eff,b}$ und $t_{eff,n}$ (5) zu entnehmen sind.

(4) Zu Beginn der Berechnung sollte die Lage der wirksamen Schwerachse unter der Annahme von wirksamen Querschnitten in den Gurten und Nennquerschnitten der Stege ermittelt werden.

(5) Wenn die bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ des druckbeanspruchten Stegbereiches größer ist als $\bar{\lambda}_{lim}$ [siehe 7.5.2(4)], sollten die wirksamen Dicken $t_{teff,a}$, $t_{teff,b}$ und $t_{teff,n}$ nach Gleichung (7.28) ermittelt werden:

$$t_{eff} = \rho t \quad (7.28)$$

wobei ρ nach Gleichung (7.2) mit der Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ und dem Faktor ψ für die Spannungsverteilung nach Tabelle 7.5 zu bestimmen ist. e_c und e_t sind hierbei die Abstände von der wirksamen Schwerachse zu den Systemlinien des druck- bzw. zugbeanspruchten Gurtes, siehe Bild 7.7. Die Abmessungen h_a , h_b , h_{sa} , h_{sb} , s_n sowie ϕ sind Bild 7.7 zu entnehmen.

(6) Zur Bestimmung der Eingangswerte für die wirksamen Querschnittsflächen A_{sa} und A_{sb} von Stegauseitungen sind in der Regel s_a und s_b in zwei gleiche Teile $s_a/2$ und $s_b/2$ zu unterteilen. Der Teil s_n des Steges oberhalb der Schwerachse ist in einen an die Steife angrenzenden Teil $s_n/3$, siehe Bild 7.7 (d1) und Bild 7.7 (d3), und einen der Schwerachse zugekehrten Teil $2s_n/3$ aufzuteilen.

Tabelle 7.5 — Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ und Spannungsverhältnisse ψ für ausgesteifte Stege

Lage in Steg	Stegabschnitt	Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p$	Spannungsverhältnis ψ
Ohne Aussteifungen, Bild 7.7 (a)			
Zwischen Druckgurt und Schwerachse	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{Ek_\sigma}}$	$\psi = -\frac{e_t}{e_c}$
Eine Aussteifung, Bild 7.7 (b)			
Am Druckgurt angrenzend	s_a	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_a}{t} \sqrt{\frac{f_o}{Ek_\sigma}}$	$\psi = \frac{e_c - h_a}{e_c}$
An die Schwerachse angrenzend	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{Ek_\sigma} \frac{(e_c - h_a - h_{sa})}{e_c}}$	$\psi = \frac{e_t}{s_n \cdot \sin \phi}$
Zwei Aussteifungen, Bild 7.7 (c)			
Am Druckgurt angrenzend	s_a	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_a}{t} \sqrt{\frac{f_o}{Ek_\sigma}}$	$\psi = \frac{e_c - h_a}{e_c}$
Zwischen den Aussteifungen	s_b	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_b}{t} \sqrt{\frac{f_o}{Ek_\sigma} \cdot \frac{(e_c - h_a - h_{sa})}{e_c}}$	$\psi = \frac{e_c - h_b}{e_c - h_a - h_{sa}}$
An die Schwerachse angrenzend	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{Ek_\sigma} \frac{(e_c - h_b - h_{sb})}{e_c}}$	$\psi = \frac{e_t}{s_n \cdot \sin \phi}$

(7) Für eine einzelne Aussteifung oder, im Falle von zwei Aussteifungen, für die dem Druckgurt zugewandte Aussteifung sollte die elastische Beulspannung $\sigma_{cr,sa}$ unter Verwendung von Gleichung (7.29), Gleichung (7.30) und Gleichung (7.31) bestimmt werden:

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1,05 \kappa_f E \sqrt{I_{sa} t^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)} \quad (7.29)$$

wobei s_1 und s_2 wie folgt definiert sind:

— bei einer Steife:

$$s_1 = 0,9(s_a + s_{sa} + s_c), \quad s_2 = s_1 - s_a - 0,5s_{sa} \quad (7.30)$$

— im Falle von zwei Aussteifungen für die dem Druckgurt zugewandte Aussteifung, wenn sich die andere Aussteifung im zugbeanspruchten Bereich befindet oder nahe an der Schwerachse liegt:

$$s_1 = s_a + s_{sa} + s_b + 0,5(s_{sb} + s_c), \quad s_2 = s_1 - s_a - 0,5s_{sa} \quad (7.31)$$

Dabei ist

κ_f ein Beiwert, der die Drehbettung des ausgesteiften Steges durch den Gurt berücksichtigt;

I_{sa} das Flächenträgheitsmoment der Aussteifung, bestehend aus dem Versatz s_{sa} und zwei angeschlossenen Teilflächen der jeweiligen Länge $12 t$, deren Schwerachse parallel zu den ebenen Teilflächen verläuft, siehe Bild 7.7 (e). Bei der Ermittlung von I_{sa} darf jegliche Veränderung der Neigung der ebenen Teilflächen ober- oder unterhalb der Aussteifung vernachlässigt werden.

(8) Falls nicht genauer ermittelt, darf der Drehbettungsbeiwert κ_f mit 1,0, einer gelenkigen Lagerung entsprechend auf der sicheren Seite liegend, angenommen werden.

(9) Bei einer einzelnen druckbeanspruchten Aussteifung oder, im Falle von zwei Aussteifungen, für die dem Druckgurt zugewandte Aussteifung sollte die reduzierte Fläche $A_{sa,red}$ (Schritt 2 in Bild 7.5) mit Gleichung (7.32) bestimmt werden:

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1 - \frac{h_a + 0,5 h_{sa}}{e_c}} \text{ jedoch } A_{sa,red} \leq A_{sa} \quad (7.32)$$

(10) Sind die Gurte ebenfalls ausgesteift, sollte der Abminderungsfaktor χ_d mit der in 7.5.4.4 angegebenen elastischen kritischen Spannung $\sigma_{cr,mod}$ in Verbindung mit dem in 7.5.3.1(5) angegebenen Verfahren ermittelt werden.

(11) Für eine einzelne zugbeanspruchte Aussteifung sollte die reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{sa,red}$ gleich A_{sa} gesetzt werden.

(12) Bei Stegen mit zwei Aussteifungen sollte die reduzierte Fläche $A_{sb,red}$ der zweiten, der Schwerachse zugekehrten Aussteifung gleich A_{sb} gesetzt werden.

(13) Zur Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte sollte die reduzierte Fläche $A_{sa,red}$ durch Ansetzen einer reduzierten Blechdicke $t_{red} = \chi_d t_{eff}$ für alle A_{sa} zugehörigen Querschnittsteile erfasst werden.

(14) Ist $\chi_d < 1$, kann sein Wert nach 7.5.3(7) iterativ verfeinert werden.

ANMERKUNG Bezüglich der wirksamen Querschnittswerte für den Gebrauchszustand siehe 9.1.

7.5.4.4 Profiltafeln mit Gurt- und Stegtaussteifungen

(1) Bei Profiltafeln mit Zwischensteifen in Gurten und Stegen, siehe Bild 7.8, sollte die Interaktion zwischen dem Gesamtfeldbeulen der Gurtaussteifungen und der Stegtaussteifungen unter Verwendung der modifizierten elastischen kritischen Spannung $\sigma_{cr,mod}$ für beide Aussteifungsarten nach Gleichung (7.33) berücksichtigt werden:

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1 + \left[\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}} \right]^4}} \quad (7.33)$$

Dabei ist

$\sigma_{cr,s}$ die elastische kritische Spannung eines Gurtes mit Zwischenaussteifung, siehe 7.5.4.2(2) für den Gurt mit einer Aussteifung oder 7.5.4.2(3) für den Gurt mit zwei Aussteifungen;

$\sigma_{cr,sa}$ die elastische kritische Spannung einer einzelnen Stegtaussteifung oder, im Falle von zwei Aussteifungen, für die dem Druckgurt zugekehrte Aussteifung, siehe 7.5.4.3(7);

$\beta_s = 1 - (h_a + 0,5h_{sa})/e_c$ für ein biegebeanspruchtes Profil;

$\beta_s = 1$ für ein Profil unter zentrischem Druck.

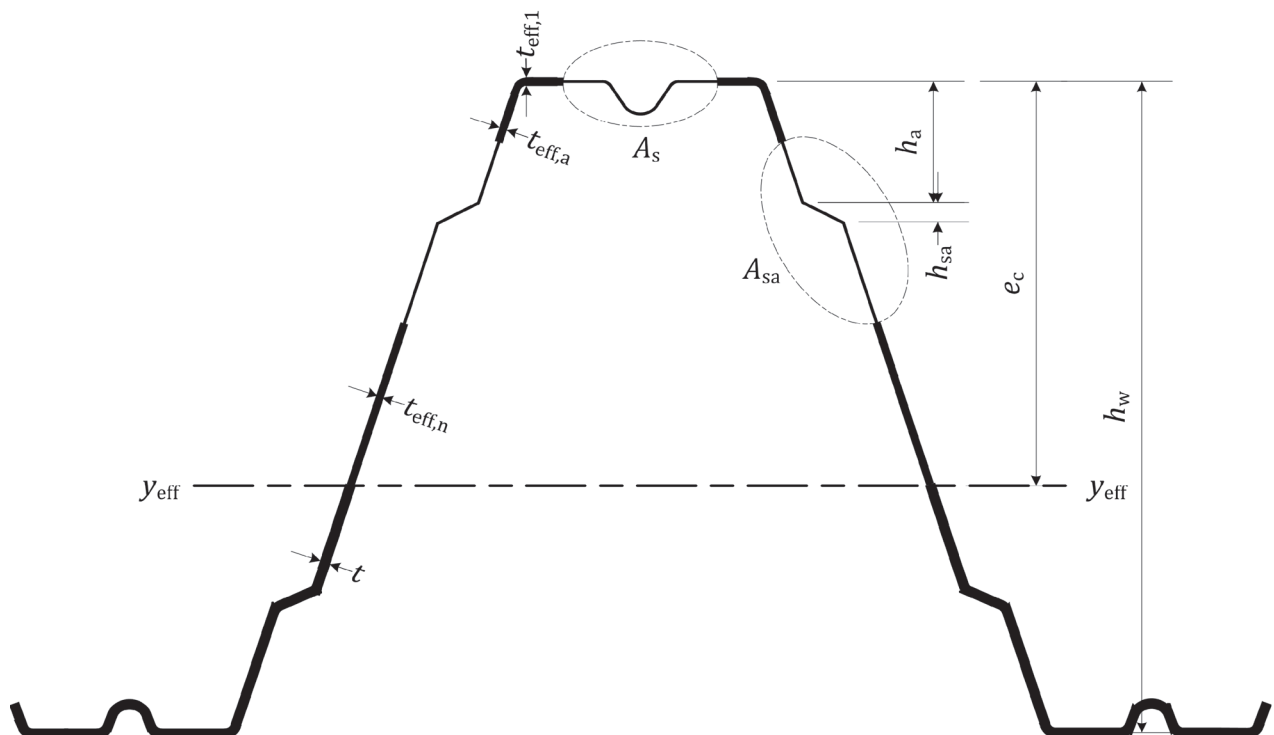


Bild 7.8 — Wirksamer Querschnitt von Profiltafeln mit Gurt- und Stegtaussteifungen

7.5.5 Kaltgeformte Bauteile

- (1) Für einfache kaltgeformte Bauteile mit einer Abkantung (en: fold) (Winkelquerschnitt nach Bild 7.9 a) sollte das Verfahren für Drillknicken oder Biegedrillknicken nach EN 1999-1-1 angewendet werden.
- (2) Für Bauteile nach Bild 7.9 b mit Querschnittsteilflächen, die anfällig für Gesamtfeldbeulen sind, darf ein numerisches Verfahren (Finite-Streifen-Methode oder Finite-Elemente-Methode) angewendet werden, um die elastische Gesamtfeldbeulbelastung und den Abminderungsfaktor χ_d nach 7.5.3.1 zu berechnen, um die wirksame Dicke der druckbeanspruchten Querschnittsteile zu berechnen.
- (3) Für Bauteile nach Bild 7.9 c, die aus kaltgeformten Teilen (und möglicherweise stranggepressten Teilen) bestehen, die zusammengeschweißt wurden, gilt EN 1999-1-1.

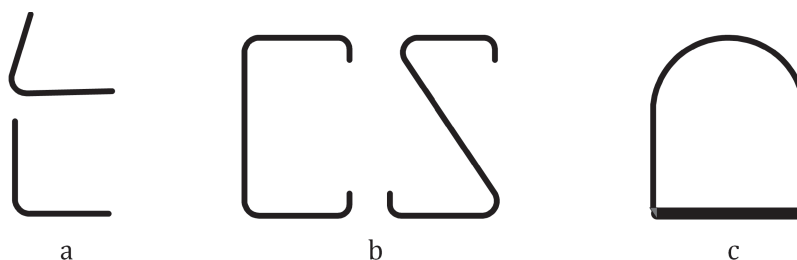


Bild 7.9 — (a) und (b) kaltgeformte Querschnitte, (c) Querschnitt mit kaltgeformter Teilfläche

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

8.1 Beanspruchbarkeit von Querschnitten

8.1.1 Allgemeines

- (1) Die in diesem Abschnitt angegebenen Regeln gelten für die Bemessung durch Berechnung.
- (2) Anstelle einer Bemessung durch Berechnung darf für jede Widerstandsgröße eine versuchsgestützte Bemessung durchgeführt werden, siehe hierzu Abschnitt 11 und Anhang A.

ANMERKUNG Die versuchsgestützte Bemessung kann bei relativ großen b_p/t -Verhältnissen für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten relevant sein, zum Beispiel im Hinblick auf nichtelastisches Verhalten, Stegkrüppeln oder Schubverzerrung.

- (3) Bei der Bemessung durch Berechnung sollten die Einflüsse aus örtlichem Beulen und Gesamtfeldbeulen durch Verwendung nach 7.5 ermittelter, wirksamer Querschnittswerte berücksichtigt werden.
- (4) Die Beanspruchbarkeit druckbeanspruchter, knickgefährdeter Profiltafeln sollte nach 8.2 berücksichtigt werden.

8.1.2 Zentrischer Zug

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{t,Rd}$ eines Querschnittes unter gleichmäßiger Zugbeanspruchung sollte nach Gleichung (8.1) bestimmt werden:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_o A_g}{\gamma_{M1}} \text{ jedoch } N_{t,Rd} \leq F_{net,Rd} \quad (8.1)$$

Dabei ist

A_g die Bruttofläche des Querschnittes;

$F_{net,Rd}$ die Beanspruchbarkeit des Nettoquerschnittes bei Verwendung von mechanischen Verbindungselementen.

8.1.3 Zentrischer Druck

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{c,Rd}$ eines Querschnittes unter Druckbeanspruchung sollte nach Gleichung (8.2) und Gleichung (8.3) ermittelt werden:

- wenn die wirksame Fläche A_{eff} kleiner ist als die Bruttofläche A_g (wie bei Querschnitten mit Reduktion hinsichtlich örtlichen Beulens und/oder Gesamtfeldbeulens):

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.2)$$

- wenn die wirksame Fläche A_{eff} gleich ist wie die Bruttofläche A_g (wie bei einem Querschnitt ohne Reduktion hinsichtlich örtlichen Beulens und/oder Gesamtfeldbeulens):

$$N_{c,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (8.3)$$

Dabei ist

A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche nach 7.5.2 unter der Annahme einer gleichförmigen Druckspannung f_o / γ_{M1} .

(2) Die Normalkraft eines Bauteiles sollte als im Schwerpunkt wirkend angenommen werden.

ANMERKUNG Dies ist eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung, die immer angenommen werden kann. Nähere Untersuchungen können wirklichkeitsnähere Ergebnisse bezüglich des inneren Kräfteverlaufes liefern, zum Beispiel bei gleichmäßig anwachsender Normalkraft im druckbeanspruchten Querschnittsteil.

(3) Der Widerstand eines Querschnittes unter gleichmäßiger Druckbeanspruchung sollte mit seinem Bemessungswert im Schwerpunkt des wirksamen Querschnittes angesetzt werden. Wenn die Schwerachsen des Bruttoquerschnittes und des wirksamen Querschnittes nicht zusammenfallen, sollte die Verschiebung e_N der Schwerachsen (siehe Bild 8.1) nach dem Verfahren in 8.1.9 berücksichtigt werden. Wirkt sich die Verschiebung günstig aus, sollte diese nur vernachlässigt werden, wenn die Verschiebung unter Ansatz der Dehngrenzspannung und nicht der vorhandenen Druckspannung ermittelt wurde.

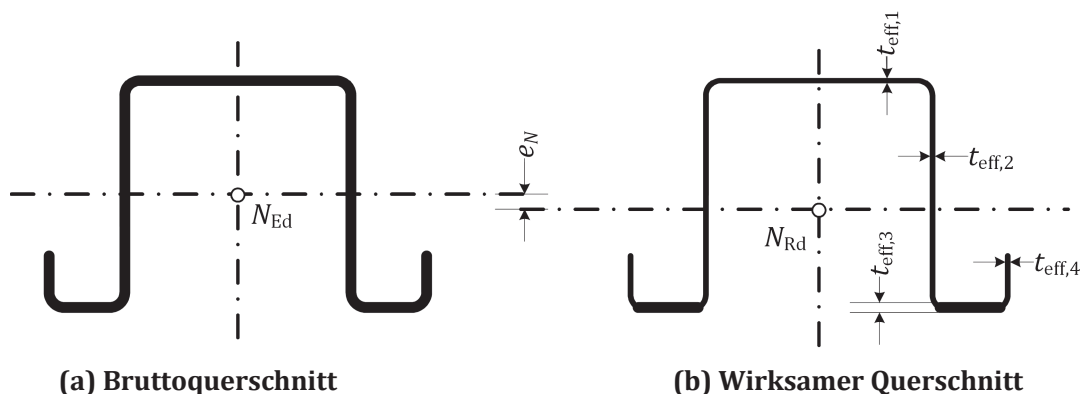


Bild 8.1 — Verschiebung der Schwerachse bei Querschnitten unter Druckbeanspruchung

8.1.4 Biegemoment

8.1.4.1 Elastischer und elastisch-plastischer Widerstand bei Erreichen der Dehngrenze im druckbeanspruchten Gurt

(1) Der Bemessungswert des Biegemomentes $M_{c,Rd}$ eines Querschnittes sollte nach Gleichung (8.4) und Gleichung (8.5) ermittelt werden:

- wenn das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} kleiner ist als das Widerstandsmoment W_{el} des Bruttoquerschnittes, dann:

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.4)$$

- wenn das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} gleich ist wie das Widerstandsmoment W_{el} des Bruttoquerschnittes, dann:

$$M_{c,Rd} = f_o / [W_{el} + (W_{pl} - W_{pl}) 4(1 - \lambda / \lambda_{el})] / \gamma_{M1} \text{ jedoch nicht größer als } W_{pl} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.5)$$

Dabei ist

λ die Schlankheit jenes Querschnittsteiles, der den größten Wert für λ / λ_{el} aufweist.

Für zweiseitig gelagerte ebene Querschnittsteile ist $\lambda = \bar{\lambda}_p$ und $\lambda_{el} = \bar{\lambda}_{lim}$ mit $\bar{\lambda}_{lim}$ nach Tabelle 7.2;

Für ausgesteifte Querschnittsteile ist $\lambda = \bar{\lambda}_s$ und $\lambda_{el} = 0,25$, siehe 7.5.3.1.

ANMERKUNG Der Biege­widerstand nach Gleichung (8.5) ist als Diagramm in Abhängigkeit des bezogenen Schlankheitsgrads in Bild 8.2 aufgezeichnet.

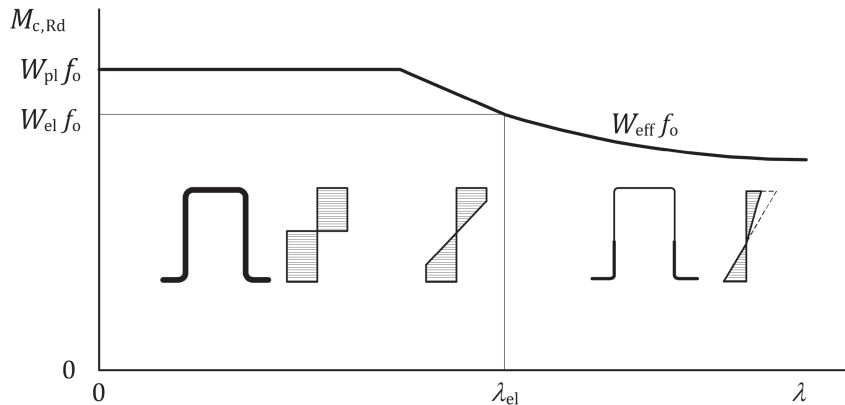


Bild 8.2 — Biegewiderstand in Abhängigkeit der Schlankheit

(2) Die Gleichung (8.5) darf unter der Voraussetzung angewendet werden, dass der Neigungswinkel ϕ zwischen dem Steg und dem Gurt (siehe Bild 8.5) größer ist als 60° .

(3) Ist Bedingung (2) nicht erfüllt, sollte Gleichung (8.6) verwendet werden:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.6)$$

(4) Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} sollte auf den durch das Biegemoment bestimmten wirksamen Querschnitt bezogen werden, wobei zur Berücksichtigung von Einflüssen aus örtlichem Beulen und Gesamtfeldbeulen, wie in 7.5 aufgezeigt, $\sigma_{max,Ed}$ gleich f_o / γ_{M1} zu setzen ist. Falls die mittragende Breite (en: shear lag) (siehe EN 1999-1-1) maßgebend ist, sollte deren Einfluss berücksichtigt werden.

(5) Das zur Ermittlung der wirksamen Steganteile benötigte Spannungsverhältnis $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ darf mit der wirksamen Fläche des druckbeanspruchten Gurtes und der Bruttofläche des Steges ermittelt werden, siehe Bild 8.3.

(6) Wird die Streckgrenze zuerst im druckbeanspruchten Bereich des Querschnittes erreicht, sollte das Widerstandsmoment W_{eff} – sofern nicht die in 8.1.4.2 aufgeführten Bedingungen zutreffen – mit einer über die Querschnittshöhe linearen Spannungsverteilung ermittelt werden.

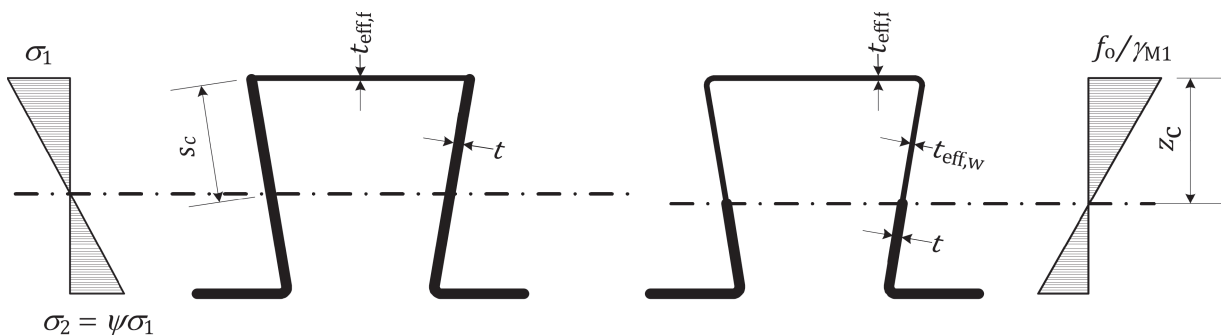


Bild 8.3 — Beispiel für einen wirksamen Querschnitt bezüglich Biegebeanspruchung

(7) Wird in der Tragwerksberechnung eine Momentenumlagerung in Ansatz gebracht, sollte 9.2 erfüllt sein. Wird das Reststützmoment am Zwischenauflager nicht zu null gesetzt, sollte das aufnehmbare Reststützmoment durch Versuchsergebnisse ermittelt werden.

8.1.4.2 Elastischer und elastisch-plastischer Widerstand bei Erreichen der Dehngrenze ausschließlich im zugbeanspruchten Gurt

(1) Wenn die Streckgrenze zuerst im zugbeanspruchten Bereich des Querschnittes erreicht wird, dürfen plastische Reserven im Zugbereich ohne Dehnungsbeschränkung ausgenutzt werden, bis die maximale Druckspannung $\sigma_{\text{com,Ed}}$ den Wert f_o/γ_{M1} erreicht. Dies gilt ausschließlich für Biegung ohne zentrische Kraft; bei zentrischem Druck mit Biegung sollte 8.1.8 oder 8.1.9 angewendet werden.

(2) Im Fall von (1) sollte das wirksame teilplastische Widerstandsmoment $W_{\text{pp,eff}}$ mit einer abgeknickten Spannungsverteilung in der Biegezugzone und einer linearen Spannungsverteilung in der Biegedruckzone ermittelt werden.

(3) Falls keine genauere Berechnung erfolgt, darf die wirksame Dicke t_{eff} von Stegen nach 7.5.2 ermittelt werden, und e_c ergibt sich hierin aus der abgeknickten Spannungsverteilung (siehe Bild 8.4) unter Annahme, dass $\psi = -1$.



Bild 8.4 — Maß e_c zur Ermittlung wirksamer Dicken

(4) Es gilt 8.1.4.1(7).

8.1.4.3 Mittragende Breiten infolge Schubverzerrungen

(1) Einflüsse von Schubverzerrungen auf die mittragende Breite sollten nach EN 1999-1-1 berücksichtigt werden, sie dürfen jedoch bei Gurten mit $b/t \leq 300$ vernachlässigt werden.

8.1.5 Querkraft

(1) Die Beanspruchbarkeit durch Querkraft $V_{\text{b,Rd}}$ sollte nach Gleichung (8.7) ermittelt werden:

$$V_{\text{b,Rd}} = (h_w / \sin \phi) t f_{\text{bv}} / \gamma_{M1} \quad (8.7)$$

Dabei ist

f_{bv} die Schubbeulspannung nach Tabelle 8.1;

h_w die Steghöhe, gemessen zwischen den Mittellinien der Gurte, siehe Bild 8.5;

ϕ die auf die Gurte bezogene Stegneigung.

Tabelle 8.1 — Schubbeulfestigkeit f_{bv} in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad des Stegs, $\bar{\lambda}_w$

Bezogenen Schlankheitsgrad des Stegs	Stege ohne Aussteifung am Auflager	Stege mit Aussteifung am Auflager ^a
$\bar{\lambda}_w \geq 0,83$	$0,58 f_0$	$0,58 f_0$
$0,83 < \bar{\lambda}_w \leq 1,40$	$0,48 f_0 / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_0 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_0 / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_0 / \bar{\lambda}_w$
^a Aussteifung am Auflager, wie zum Beispiel Profillücker, die geeignet sind Stegverdrehungen zu verhindern und die Auflagerkräfte zu übertragen.		

(2) Der bezogene Schlankheitsgrad des Stegs $\bar{\lambda}_w$, sollte nach Gleichung (8.8), Gleichung (8.9) und Gleichung (8.10) ermittelt werden:

— bei Stegen ohne Längsaussteifungen:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E}} \quad (8.8)$$

— bei Stegen mit Längsaussteifungen (siehe Bild 8.5):

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_0}{k_\tau E}} \text{ jedoch } \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E}} \quad (8.9)$$

mit:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \sqrt{\frac{\sum I_s}{s_d}} \quad (8.10)$$

Dabei ist

I_s das Flächenträgheitsmoment der Längssteife bezüglich der Achse a-a, wie in Bild 8.5 dargestellt;

s_d die Abwicklung der Steglänge, wie in Bild 8.5 dargestellt;

s_p die größte schräge Länge einer ebenen Teilfläche im Steg, siehe Bild 8.5;

s_w die schräge Länge der zwischen den Eckpunkten gemessenen Steghöhe, siehe Bild 8.5.

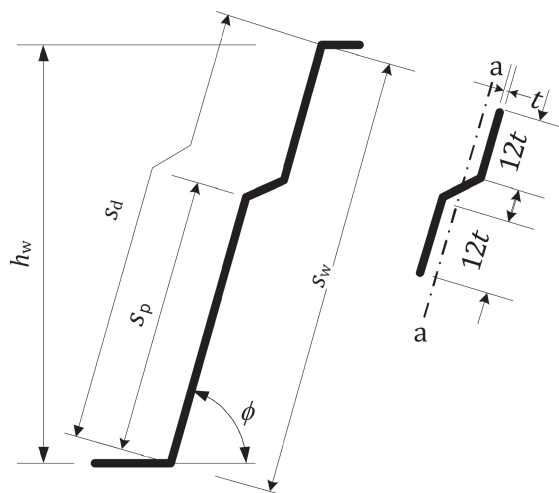


Bild 8.5 — Geometrie eines längsausgesteiften Steges und wirksamer Querschnitt der Aussteifung

8.1.6 Torsion

(1) Torsionssteifigkeiten und -beanspruchbarkeiten dürfen bei profilierten Blechen vernachlässigt werden.

8.1.7 Örtliche Lasteinleitung

8.1.7.1 Allgemeines

(1) Um Zusammendrücken, Stegkrüppeln oder örtliches Beulen bei einem durch Auflagerkräfte oder durch örtliche, über die Gurte erfolgende Lasteinleitung beanspruchten Steg zu vermeiden, sollte die transversale Kraft F_{Ed} Gleichung (8.11) genügen:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \quad (8.11)$$

Dabei ist

$R_{w,Rd}$ die Beanspruchbarkeit des Steges unter örtlicher Lasteinleitung.

(2) Die örtliche Beanspruchbarkeit des Steges $R_{w,Rd}$ sollte wie folgt ermittelt werden:

a) bei unausgesteiften Stegen: nach 8.1.7.2;

b) bei ausgesteiften Stegen: nach 8.1.7.3.

(3) Die örtliche Beanspruchbarkeit des Steges darf vernachlässigt werden, wenn die Auflagerkräfte oder die örtlichen Lasten beispielsweise über Knaggen eingeleitet werden, die geeignet sind Stegverformungen zu verhindern und die Auflagerkräfte zu übertragen.

8.1.7.2 Querschnitte mit unausgesteiften Stegen

(1) Die Beanspruchbarkeit eines unausgesteiften Steges unter örtlich begrenzter Lasteinleitung, siehe Bild 8.6, sollte nach (2) ermittelt werden, vorausgesetzt, dass alle nachfolgend aufgeführten Bedingungen eingehalten sind:

— der Abstand c von der Wirkungslinie der Auflagerkraft oder der örtlich eingeleiteten Last zum freien Trägerende beträgt mindestens 40 mm, siehe Bild 8.7;

— der Querschnitt genügt Gleichung (8.12) und den Bedingungen:

$$r/t \leq 10 \quad (8.12)$$

$$h_w/t \leq 200 \sin \phi$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

Dabei ist

h_w die zwischen den Mittellinien der Gurte gemessene Steghöhe;

r der innere Biegeradius der Ecken;

ϕ der Stegneigungswinkel in Grad.

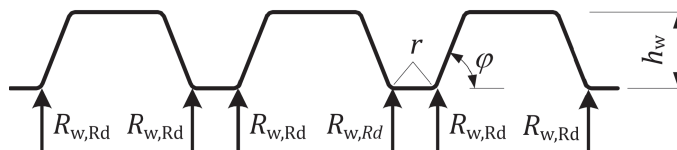


Bild 8.6 — Beispiel eines Querschnittes mit zwei oder mehr Stegen

(2) Sind beide in (1) genannten Bedingungen erfüllt, sollte die Beanspruchbarkeit bei örtlicher Lastenleitung $R_{w,Rd}$ je Steg eines profilierten Bleches nach Gleichung (8.13) bestimmt werden:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_0 E} (1 - 0,1 \sqrt{r/t}) (0,5 + \sqrt{0,02 l_a/t}) (2,4 + (\phi/90)^\circ)^2 / \gamma_{M1} \quad (8.13)$$

Dabei ist

l_a die wirksame Auflagerbreite der zugehörigen Lagerungskategorie, siehe (4);

α der Beiwert für die zugehörige Lagerungskategorie, siehe (3);

s_w die schräge Länge des Steges ($= h_w / \sin \phi$);

r der innere Biegeradius ($r < 10 t$).

(3) Werte für den Beiwert α sollten Bild 8.7 entnommen werden.

(4) Die Werte für l_a sollten nach (5) ermittelt werden. Für innere Auflager an runden Rohren oder kaltgeformte C-Querschnitte sollte s_s gleich 10 mm angesetzt werden, für Z- und Sigma-Querschnitte gleich der tatsächlichen Breite des Gurtes. Die maßgebende Lagerungskategorie (1 oder 2) sollte dem Abstand e von der örtlichen Lastenleitung bis zum nächstgelegenen Auflager oder dem Abstand c vom Ende des Auflagers oder der örtlichen Lastenleitung zum freien Trägerende bestimmt werden, siehe Bild 8.7.

(5) Der Wert für die wirksame Auflagerbreite l_a profilierter Bleche sollte nach Gleichung (8.14) und Gleichung (8.15) ermittelt werden:

a) für Lagerungskategorie 1: $l_a = s_s$ jedoch $l_a \leq 40 \text{ mm}$ (8.14)

b) für Lagerungskategorie 2: $l_a = s_s$ jedoch $l_a \leq 200 \text{ mm}$ (8.15)

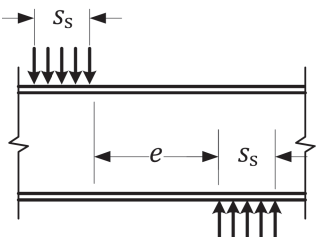
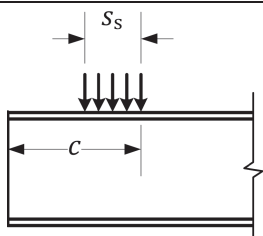
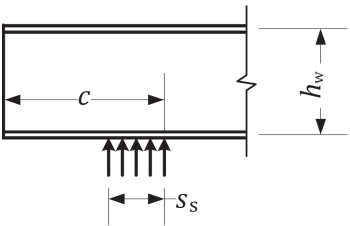
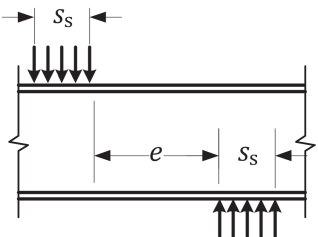
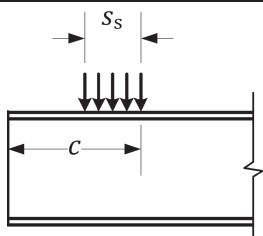
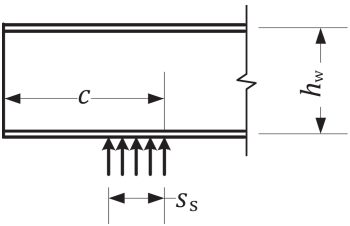
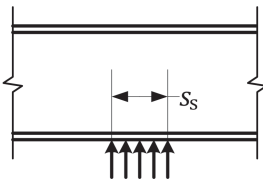
	Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$ örtliche Lasteinleitung mit Abstand $e \leq 1,5 h_w$ vom nächstgelegenen Auflager;
	Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$ örtliche Lasteinleitung mit Abstand $c \leq 1,5 h_w$ vom freien Trägerende;
	Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$ Endauflagerreaktion mit Abstand $c \leq 1,5 h_w$ vom freien Trägerende;
	Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$ örtliche Lasteinleitung mit Abstand $e > 1,5 h_w$ vom nächstgelegenen Auflager;
	Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$ örtliche Lasteinleitung mit Abstand $c > 1,5 h_w$ vom freien Trägerende;
	Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$ Endauflagerreaktion mit Abstand $c > 1,5 h_w$ vom freien Trägerende;
	Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$ Zwischenaflagerreaktion ohne örtliche Lasteinleitung innerhalb eines Abstands von $1,5 h_w$.

Bild 8.7 — Örtliche Lasteinleitungen und Lagerungskategorien für Querschnitte mit zwei oder mehr Stegen

8.1.7.3 Querschnitte mit ausgesteiften Stegen

(1) Die örtliche Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Steges darf bei Querschnitten mit Stegaussteifungen nach (2) ermittelt werden, wenn die Aussteifungen derart ausgebildet sind, dass die beiden Abkantungen der Aussteifungen jeweils auf der gegenüberliegenden Seite einer zwischen den Schnittpunkten der Mittellinien von Gurten und der Stege gedachten Verbindungslinie liegen, siehe Bild 8.8, und Gleichung (8.16) erfüllt ist:

$$2 < e_{\max}/t < 12 \quad (8.16)$$

Dabei ist

$e_{\max}$ die größere Exzentrizität zwischen den Versätzen und der Verbindungslinie.

(2) Für Querschnitte mit ausgesteiften Stegen, welche die in (1) genannten Bedingungen erfüllen, darf die transversale Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Steges durch Multiplikation des entsprechenden Wertes von 8.1.7.2 für einen vergleichbaren unausgesteiften Steg mit dem Faktor $\kappa_{a,s}$ nach Gleichung (8.17) ermittelt werden:

$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{\max}/t \text{ jedoch } \kappa_{a,s} \leq 0,95 + 35\,000 t^2 e_{\min}/(b_d^2 s_p) \quad (8.17)$$

Dabei ist

b_d die abgewinkelte Länge des belasteten Gurtes, siehe Bild 8.8;

$e_{\min}$ die kleinere Exzentrizität zwischen den Versätzen und der Verbindungslinie, siehe Bild 8.8;

s_p die schräge Länge des am belasteten Gurt anliegenden ebenen Steganteiles, siehe Bild 8.8.

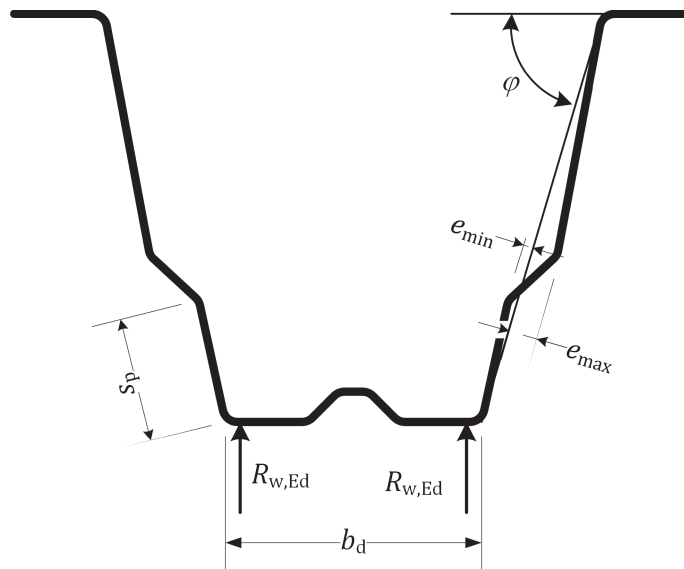


Bild 8.8 — Auflagerkräfte und Geometrie ausgesteifter Stege

8.1.8 Zugkraft und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Beanspruchung durch zentrische Zugkraft N_{Ed} und Biegemoment $M_{y,Ed}$ sollte nach Gleichung (8.18) nachgewiesen werden, dass:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} \leq 1 \quad (8.18)$$

Dabei ist

$N_{t,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich zentrischer Zugbeanspruchung ist (8.1.2);

$M_{cy,Rd,ten}$ der Bemessungswert des Querschnittes für die maximale Zugbeanspruchbarkeit bei ausschließlicher Biegung um die Achse y – y (8.1.4).

(2) Ist $M_{cy,Rd,com} \leq M_{cy,Rd,ten}$, wobei $M_{cy,Rd,com}$ der Bemessungswert des Querschnittes für die maximale Druckbeanspruchbarkeit ist, sollte Gleichung (8.19) ebenfalls erfüllt sein:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.19)$$

8.1.9 Druckkraft und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Beanspruchung durch zentrische Druckkraft N_{Ed} und Biegemoment $M_{y,Ed}$ sollte nach Gleichung (8.20) nachgewiesen werden, dass:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} \leq 1 \quad (8.20)$$

wobei $N_{c,Rd}$ nach 8.1.3 und $M_{cy,Rd,com}$ nach 8.1.8 definiert sind.

(2) Das sich aus dem Versatz der Schwerachsen ergebende Zusatzmoment $\Delta M_{y,Ed}$ sollte nach Gleichung (8.21) angenommen werden:

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_N \quad (8.21)$$

wobei e_N die Verschiebung der y-y-Schwerachse infolge axialer Kräfte ist, siehe 8.1.3 (3).

(3) Ist $M_{cy,Rd,ten} \leq M_{cy,Rd,com}$, sollte die folgende Bedingung die Gleichung (8.22) ebenfalls erfüllen:

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.22)$$

wobei $M_{cy,Rd,ten}$ nach 8.1.8 definiert ist.

8.1.10 Querkraft, Normalkraft und Biegung

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Biegung und Normalkraft darf als unabhängig von der Querkraft angenommen werden, wenn das Verhältnis $V_{Ed}/V_{w,Rd}$ weniger als 0,5 beträgt. Beträgt das Verhältnis $V_{Ed}/V_{w,Rd}$ mehr als 0,5, so sollte die kombinierte Beanspruchung aus zentrischer Normalkraft N_{Ed} , Biegemoment M_{Ed} und Querkraft V_{Ed} Gleichung (8.23) erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1 \quad (8.23)$$

Dabei ist

- N_{Rd} der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich zentrischer Zug- oder Druckbeanspruchung nach 8.1.2 oder 8.1.3;
- $M_{y,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich Biegung nach 8.1.4;
- $V_{w,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich Querkraft nach 8.1.5. Bei Bauteilen mit mehr als einem Steg ist $V_{w,Rd}$ die Summe der Beanspruchbarkeiten aller Stege $V_{b,Rd}$ nach 8.1.5;
- $M_{f,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des ausschließlich aus den wirksamen Querschnitten der Gurte bestehenden Querschnittes;
- $M_{pl,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des Querschnitts, bestehend aus den wirksamen Querschnittsflächen der Gurte und voll wirksamen Querschnitten der Stege, unabhängig von der Querschnittsklasse.

8.1.11 Biegemoment und örtliche Lasteinleitung oder Auflagerkraft

(1) Querschnitte unter gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegemoment M_{Ed} und transversal eingeleiteter Kraft F_{Ed} infolge örtlicher Lasteinleitung oder Auflagerreaktion sollten Gleichung (8.24), Gleichung (8.25) und Gleichung (8.26) erfüllen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.24)$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad (8.25)$$

$$0,94 \cdot \left[\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}}\right]^2 \leq 1 \quad (8.26)$$

Dabei ist

- $M_{c,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich Biegung nach 8.1.4.1;
- $R_{w,Rd}$ die adäquate Summe der örtlichen Querwiderstandswert der Einzelstege nach 8.1.7.

(2) In Gleichung (8.26) darf das Biegemoment M_{Ed} vom Auflagerrand eingesetzt werden.

8.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken

8.2.1 Allgemeines

- (1) Die Effekte aus örtlichem Beulen und Gesamtfeldbeulen sollten berücksichtigt werden. Hierfür dürfen die in 7.5 angegebenen Verfahren verwendet werden.
- (2) Die Normalkraft sollte als in der Schwerlinie des Bruttoquerschnitts wirkend angenommen werden.
- (3) Die Beanspruchbarkeit von Profiltafeln sollte auf die Schwerachse des wirksamen Querschnittes bezogen werden. Fällt diese nicht mit der Schwerachse des Bruttoquerschnittes zusammen, sollten die sich hieraus ergebenden Zusatzmomente (siehe Bild 8.9) nach dem in 8.2.3 angegebenen Verfahren berücksichtigt werden.

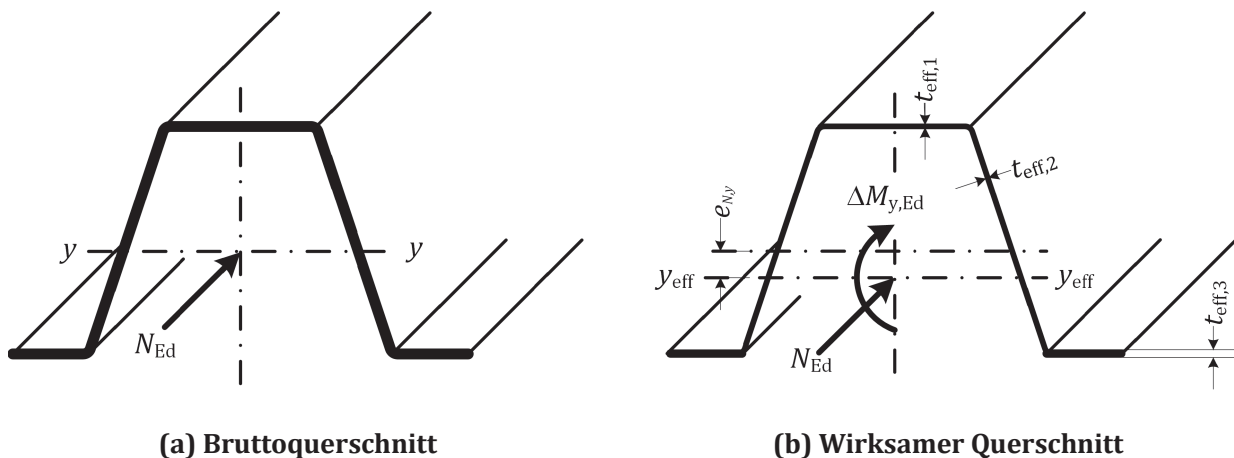


Bild 8.9 — Verschobene Schwerachse im wirksamen Querschnitt

8.2.2 Zentrischer Druck

8.2.2.1 Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken

- (1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken infolge einer zentrischen Druckkraft $N_{b,Rd}$ sollte aus Gleichung (8.27) ermittelt werden:

$$N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.27)$$

Dabei ist

A_{eff} die nach Abschnitt 5 unter Voraussetzung einer konstanten Druckbeanspruchung $\sigma_{com,Ed} = f_o / \gamma_{M1}$ ermittelte wirksame Querschnittsfläche;

χ der zugehörige Abminderungsfaktor bezüglich Knicken.