

DIN EN 1993-1-3

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für
DIN V ENV 1993-1-3:2002-05

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-3: Allgemeine Regeln –
Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche;
Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-3: General rules –
Supplementary rules for cold-formed members and sheeting;
German version EN 1993-1-3:2006

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-3: Règles générales –
Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid;
Version allemande EN 1993-1-3:2006

Gesamtumfang 145 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-3:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ begleitet.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. Januar 2006 angenommen.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedsstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben.

Ein Nationaler Anhang wird im Laufe der Übergangsfristen erarbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-1-3:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet;
- b) der Vornormcharakter wurde aufgehoben.

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1993-1-3: 2002-05

Deutsche Fassung

**Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -
Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für
kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche**

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-3: General
rules - Supplementary rules for cold-formed members and
sheeting

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-3:
Règles générales - Règles supplémentaires pour les
profilés et plaques à parois minces formés à froid

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. Januar 2006 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 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, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Einleitung	6
1.1 Anwendungsbereich.....	6
1.2 Normative Verweisungen.....	6
1.3 Begriffe.....	7
1.4 Formelzeichen.....	9
1.5 Bezeichnungsweisen und vereinbarte Maßangaben.....	9
1.5.1 Querschnittsform.....	9
1.5.2 Formen der Längsaussteifungen.....	11
1.5.3 Maßangaben für Querschnitte.....	12
1.5.4 Vereinbarung über die Bauteilachsen.....	13
2 Grundlagen der Bemessung	14
3 Werkstoffe	15
3.1 Allgemeines.....	15
3.2 Baustähle.....	17
3.2.1 Werkstoffeigenschaften des Grundmaterials.....	17
3.2.2 Werkstoffeigenschaften kaltgeformter Profile und Blechkonstruktionen.....	17
3.2.3 Bruchzähigkeit.....	19
3.2.4 Materialdicken und Materialdickentoleranzen.....	19
3.3 Befestigungsmittel.....	19
3.3.1 Schraubengarnituren.....	19
3.3.2 Andere Arten mechanischer Verbindungsmittel.....	19
3.3.3 Schweißzusatzwerkstoffe.....	20
4 Dauerhaftigkeit	20
5 Tragwerksberechnung	20
5.1 Einfluss ausgerundeter Ecken.....	20
5.2 Geometrische Größenverhältnisse.....	23
5.3 Tragwerksmodellierung für die Berechnung.....	25
5.4 Eindrehen der Flansche.....	25
5.5 Lokales Beulen und Forminstabilität von Querschnitten.....	27
5.5.1 Allgemeines.....	27
5.5.2 Ebene nicht ausgesteifte Querschnittsteile.....	29
5.5.3 Ebene Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen.....	29
5.6 Beulen zwischen Verbindungsmitteln.....	45
6 Grenzzustände der Tragfähigkeit	46
6.1 Querschnittstragfähigkeit.....	46
6.1.1 Allgemeines.....	46
6.1.2 Zentrischer Zug.....	46
6.1.3 Zentrischer Druck.....	46
6.1.4 Biegung.....	47
6.1.5 Schubtragfähigkeit.....	50
6.1.6 Torsionsmomente.....	51
6.1.7 Örtliche Lasteinleitung.....	52
6.1.8 Kombinierte Beanspruchung aus Zug und Biegung.....	60
6.1.9 Kombinierte Beanspruchung aus Druck und Biegung.....	61
6.1.10 Kombinierte Beanspruchung aus Querkraft, Axialkraft und Biegung.....	61
6.1.11 Kombinierte Beanspruchung aus Biegung und lokaler Lasteinleitung oder Lagerreaktion.....	62
6.2 Stabilitätsnachweise für Bauteile.....	62
6.2.1 Allgemeines.....	62

6.2.2	Biegeknicken	62
6.2.3	Drillknicken und Biegedrillknicken.....	63
6.2.4	Biegedrillknicken biegebeanspruchter Bauteile	67
6.2.5	Biegung und zentrische Druckkraft.....	67
6.3	Biegung und Zugkraft	67
7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	67
7.1	Allgemeines.....	67
7.2	Plastische Verformungen	68
7.3	Durchbiegungen	68
8	Verbindungen	68
8.1	Allgemeines.....	68
8.2	Stöße und Endanschlüsse druckbeanspruchter Bauteile	68
8.3	Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln.....	69
8.4	Punktschweißungen.....	76
8.5	Überlappungsstöße.....	77
8.5.1	Allgemeines.....	77
8.5.2	Kehlnähte	77
8.5.3	Lochschweißungen	78
9	Versuchsgestützte Bemessung	81
10	Besondere Angaben zu Pfetten, Kassettenprofilen und Profilblechen	82
10.1	Träger mit Drehbettung durch Bleche.....	82
10.1.1	Allgemeines.....	82
10.1.2	Berechnungsmethoden	83
10.1.3	Bemessungskriterien	85
10.1.4	Bemessungswerte der Tragfähigkeit	87
10.1.5	Drehbehinderung durch Profilbleche.....	93
10.1.6	Kräfte in den Blech/Pfetten-Verbindungen und Lagerkräfte.....	99
10.2	Kassettenprofile mit Aussteifung durch Profilbleche	101
10.2.1	Allgemeines.....	101
10.2.2	Momententragfähigkeit.....	102
10.3	Bemessung von Schubfeldern.....	105
10.3.1	Allgemeines.....	105
10.3.2	Scheibenwirkung	105
10.3.3	Voraussetzungen.....	106
10.3.4	Schubfelder aus Profilblechen.....	107
10.3.5	Schubfelder aus Kassettenprofilen	108
10.4	Perforierte Profilbleche.....	109
Anhang A (normativ) Versuche		111
A.1	Allgemeines.....	111
A.2	Versuche an Profilblechen und Kassettenprofilen	111
A.2.1	Allgemeines.....	111
A.2.2	Versuche am Einfeldträger	112
A.2.3	Versuche am Zweifeldträger.....	112
A.2.4	Ersatzträger zur Prüfung der Zwischenstützung	113
A.2.5	Versuche am Endlager.....	114
A.3	Versuche an kaltgeformten Profilen	116
A.3.1	Allgemeines.....	116
A.3.2	Druckversuche am vollen Querschnitt.....	117
A.3.3	Zugversuch am vollen Querschnitt	118
A.3.4	Biegeversuch am vollen Querschnitt	119
A.4	Versuche an Tragwerken oder Tragwerksteilen.....	119
A.4.1	Abnahmeversuch	119
A.4.2	Zerstörungsfreier Festigkeitsversuch.....	120
A.4.3	Tragfähigkeitsversuch bis zum Versagen	121
A.4.4	Kalibrationsversuch	121

	Seite
A.5	Versuche an durch Profilbleche drehbehinderten Biegeträgern 121
A.5.1	Allgemeines 121
A.5.2	Versuch zur Prüfung der Innenstützung 122
A.5.3	Ermittlung der Drehbehinderung 125
A.6	Auswertung der Versuchsergebnisse 127
A.6.1	Allgemeines 127
A.6.2	Normierung der Versuchsergebnisse 127
A.6.3	Charakteristische Werte 128
A.6.4	Bemessungswerte 130
A.6.5	Gebrauchstauglichkeit 131
Anhang B (informativ)	Dauerhaftigkeit von Verbindungsmitteln 132
Anhang C (informativ)	Querschnittswerte für dünnwandige Querschnitte 134
C.1	Offene Querschnitte 134
C.2	Querschnittswerte für offene, verzweigte Querschnitte 137
C.3	Torsionssteifigkeit von Querschnitten mit geschlossenem Querschnittsteil 137
Anhang D (informativ)	Gemischte Anwendung von wirksamen Breiten und wirksamen Dicken bei einseitig gestützten Querschnittsteilen 138
Anhang E (informativ)	Vereinfachte Pfettenbemessung 140

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-3:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Structural Eurocodes“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Großbritannien) gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieser Eurocode ersetzt ENV 1993-1-3.

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

Nationaler Anhang zu EN 1993-1-3

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Kennwerte und Empfehlungen mit Anmerkungen, die darauf hinweisen, wann nationale Abänderungen anfallen. Deswegen gilt zur nationalen Norm, die EN 1993-1-3 implementiert, ein nationaler Anhang, der die national bestimmten Parameter zu Entwurf und Bemessung von Stahlbauten, die in dem jeweiligen Land zu errichten sind, enthält.

Nationale Abänderungen werden in den folgenden Regelungen der EN 1993-1-3 ermöglicht:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| — 2(3)P | — 8.4(5) |
| — 2(5) | — 8.5.1(4) |
| — 3.1(3) Anmerkung 1 und Anmerkung 2 | — 9(2) |
| — 3.2.4(1) | — 10.1.1(1) |
| — 5.3(4) | — 10.1.4.2(1) |
| — 8.3(5) | — A.1(1), Anmerkung 2 |
| — 8.3(13), Tabelle 8.1 | — A.1(1), Anmerkung 3 |
| — 8.3(13), Tabelle 8.2 | — A.6.4(4) |
| — 8.3(13), Tabelle 8.3 | — E(1) |
| — 8.3(13), Tabelle 8.4 | |

1 Einleitung

1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-3 enthält Anforderungen an die Bemessung kaltgeformter, dünnwandiger Bauteile und Bleche. Sie bezieht sich auf kaltgewalzte Stahlerzeugnisse aus beschichtetem oder nicht beschichtetem warm- oder kaltgewalzten dünnwandigen Blech oder Band, das durch Rollprofilier- oder Kantverfahren kaltverformt wurde. Sie darf auch zur Bemessung von profilierten Stahlblechen für Stahl-Beton-Verbunddecken im Bauzustand angewendet werden, siehe EN 1994. Die Ausführung von Stahlbaukonstruktionen aus kaltgeformten, dünnwandigen Bauteilen ist in EN 1090 geregelt.

ANMERKUNG Die Regelungen dieses Teils sind Ergänzungen anderer Teile der EN 1993-1.

(2) Es werden auch Bemessungsverfahren zu Schubfeldkonstruktionen aus dünnwandigen Stahlblechen angeführt.

(3) Dieser Teil enthält keine Regelungen zu kaltgeformten Kreis- und Rechteckhohlprofilen, die nach EN 10219 geliefert werden. Hierzu wird auf EN 1993-1-1 und EN 1993-1-8 verwiesen.

(4) EN 1993-1-3 enthält Nachweisverfahren mit Berechnungen und mit durch Versuche gestützten Berechnungen. Die Berechnungsverfahren beziehen sich lediglich auf die angegebenen Werkstoffe und geometrischen Abmessungen, für die ausreichend Erfahrungswerte und Versuchsergebnisse vorliegen. Diese Einschränkungen gelten nicht für die experimentellen Verfahren.

(5) EN 1993-1-3 regelt nicht die Lastanordnungen für die Überprüfung von Lasten bei Montage und Instandhaltung.

(6) Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Norm ist, dass die kaltgeformten Bauteile den Toleranzanforderungen in EN 1090-2 genügen.

1.2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikationen (einschließlich Änderungen).

EN 508-1, *Dachdeckungsprodukte aus Metallblech — Festlegungen für selbsttragende Bedachungselemente aus Stahlblech, Aluminiumblech oder nichtrostendem Stahlblech — Teil 1: Stahl*

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

EN 1993 (Teile 1-1 bis 1-12), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994 (alle Teile), *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*

EN 10002-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

EN 10025-1:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen*

EN 10025-2:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 10025-3:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

EN 10025-4:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

EN 10025-5:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle*

EN 10143, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Blech und Band aus Stahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10149-2, *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle*

EN 10149-3, *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 3: Lieferbedingungen für normalgeglühte, normalisierend gewalzte Stähle*

EN 10204, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 10268, *Kaltgewalzte Flacherzeugnisse mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen aus mikrolegierten Stählen — Technische Lieferbedingungen*

EN 10292, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Technische Lieferbedingungen*

EN 10326, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Baustählen — Technische Lieferbedingungen*

EN 10327, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus weichen Stählen zum Kaltumformen — Technische Lieferbedingungen*

EN ISO 1478, *Blechschaubengewinde*

EN ISO 1479, *Sechskant-Blechschauben*

EN ISO 2702, *Wärmebehandelte Blechschauben aus Stahl — Mechanische Eigenschaften*

EN ISO 7049, *Linsenkopf-Blechschauben mit Kreuzschlitz*

EN ISO 10684, *Verbindungselemente — Feuerverzinkung*

EN ISO 12944-2, *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme — Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen*

ISO 4997, *Cold-reduced steel sheet of structural quality*

FEM 10.2.02, *Fédération Européenne de la manutention, Secion X, Equipement et procédés de stockage, FEM 10.2.02, The design of static steel pallet racking, Racking design code, April 2001, Version 1.02.*

1.3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1993-1-1 und die folgenden Begriffe.

1.3.1

Grundwerkstoff

flaches Stahlblech, aus dem kaltgeformte Querschnitte und profilierte Bleche durch Kaltverformung hergestellt werden

1.3.2

Basisstreckgrenze

Streckgrenze des Grundwerkstoffs aus dem Zugversuch

1.3.3

Schubfeldwirkung

Tragverhalten unter Einbeziehung von Schub in der Blechebene

1.3.4

Kassettenprofil

kastenförmiges Blechprofil mit lippenversteiften Randgurten, die durch Kopplung von benachbarten Kassettengurten eine rippenversteifte Wand bilden, die eine parallele Wand aus senkrecht dazu verlaufenden Profilblechen tragen kann

1.3.5

Teilbehinderung

Teilbehinderung seitlicher Verformungen oder der Verdrehungen oder Verwölbungen eines Bauteils, die die Tragfähigkeit gegenüber Stabilitätsversagen ähnlich wie eine Federlagerung erhöht, aber geringfügiger als bei einer starren Lagerung

1.3.6

bezogener Schlankheitsgrad

ein genormter, dimensionsloser Schlankheitswert

1.3.7

Halterung

volle Behinderung seitlicher Verformungen oder Verdrehungen oder Verwölbungen eines Bauteils, die die Tragfähigkeit gegenüber Stabilitätsversagen ähnlich wie eine starre Lagerung erhöht

1.3.8

Schubfeldbemessung

ein Bemessungsverfahren, das die Schubtragwirkung von Blechkonstruktionen auf die Steifigkeit und Tragfähigkeit eines Tragwerks berücksichtigt

1.3.9

Lager

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

1.3.10

Nenndicke

ein durchschnittlicher Zielwert für die Blechdicke einschließlich des Zinküberzugs oder anderer metallischer Überzüge nach dem Kaltwalzen entsprechend den Herstellerangaben (t_{nom} schließt Kunststoffbeschichtungen aus)

1.3.11

Stahlkerndicke

die Nenndicke abzüglich der Zink- oder anderer metallischer Überzüge (t_{cor})

1.3.12

Bemessungsdicke

die Stahlkerndicke zur Verwendung bei der rechnerischen Bemessung nach 1.5.3(6) und 3.2.4

1.4 Formelzeichen

(1) Zusätzlich zu den in EN 1993-1 angegebenen werden die folgenden Formelzeichen verwendet:

f_y	Streckgrenze
f_{ya}	durchschnittliche Streckgrenze
f_{yb}	Basisstreckgrenze des Grundwerkstoffs vor dem Kaltwalzen
t	Bemessungskernstärke des Stahlwerkstoffs vor dem Kaltformen abzüglich aller metallischer und organischer Beschichtungen
t_{nom}	Nennstärke = Blechstärke nach dem Kaltformen einschließlich Zink- und anderer metallischer Beschichtungen
t_{cor}	Stahlkernstärke = Nennstärke abzüglich der Zink- und anderer metallischer Überzüge
K	Verschiebefedersteifigkeit
C	Drehfedersteifigkeit

(2) Zusätzliche Formelzeichen werden an den Stellen im Text definiert, an denen sie zuerst verwendet werden.

(3) Ein Formelzeichen darf mehrere Bedeutungen haben.

1.5 Bezeichnungsweisen und vereinbarte Maßangaben

1.5.1 Querschnittsform

(1) Kaltgeformte Bauteile und profilierte Bleche weisen innerhalb der zulässigen Toleranzen eine konstante Nennstärke über ihrer Gesamtlänge auf und dürfen entweder einen gleich bleibenden Querschnitt oder einen längsveränderlichen Querschnitt besitzen.

(2) Der Querschnitt eines kaltgeformten Bauteils und Profilblechs umfasst im Grundsatz eine Reihe ebener Elemente, die durch gerundete Elemente verbunden sind.

(3) Typische Querschnittsformen kaltgeformter Bauteile sind in Bild 1.1 dargestellt.

ANMERKUNG Die Berechnungsmethoden der EN 1993-1-3 umfassen nicht jeden der in den Bildern 1.1 und 1.2 dargestellten Fälle.

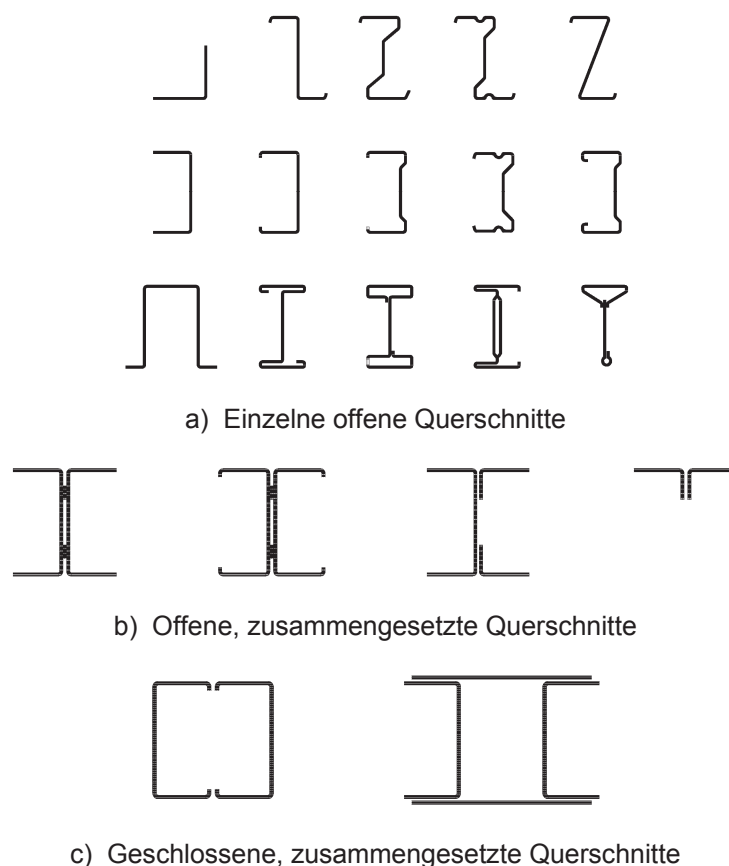
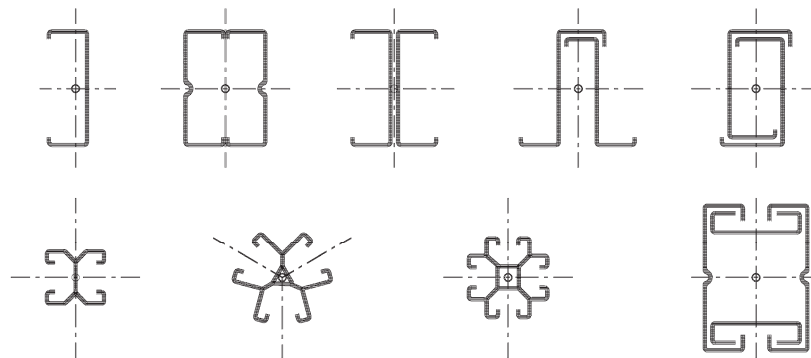


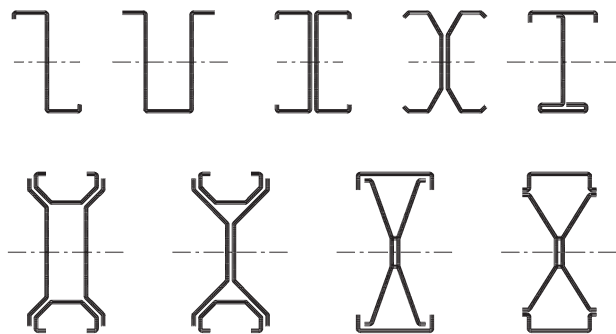
Bild 1.1 — Typische Querschnittsformen kaltgewalzter Bauteile

(4) Beispiele für die Querschnitte kaltgewalzter Bauteile und Bleche sind in Bild 1.2 dargestellt.

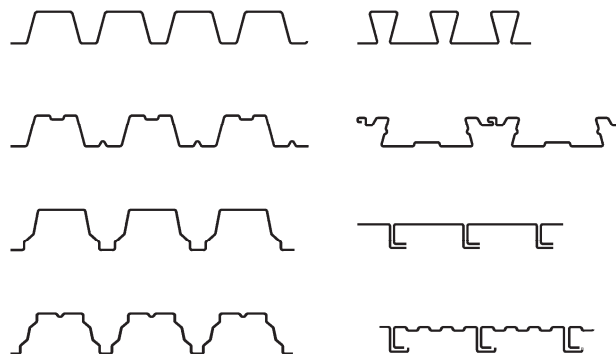
ANMERKUNG Jede Regel in diesem Teil von EN 1993 bezieht sich auf die Hauptquerschnittsachsen, welche durch die Hauptachsen $y-y$ und $z-z$ bei symmetrischen und $u-u$ und $v-v$ bei unsymmetrischen Querschnitten wie z. B. Winkel- und Z-Profilen definiert sind. In einigen Fällen ist die Zwangs-Biegeachse durch angeschlossene Konstruktionsteile unabhängig von den Symmetrieeigenschaften des Querschnitts vorgegeben.



a) Druck- und Zugglieder



b) Träger und andere Bauteile für Biegebeanspruchung



c) Profilbleche und Kassettenprofile

Bild 1.2 — Beispiele für kaltgeformte Bauteile und Profilbleche

(5) Querschnitte von kaltgeformten Bauteilen und Blechen dürfen entweder nicht ausgesteift sein oder sie enthalten Längsaussteifungen in den Stegen, Flanschen oder in beiden.

1.5.2 Formen der Längsaussteifungen

(1) Typische Formen der Längsaussteifungen in kaltgewalzten Bauteilen und Blechen sind in Bild 1.3 dargestellt.

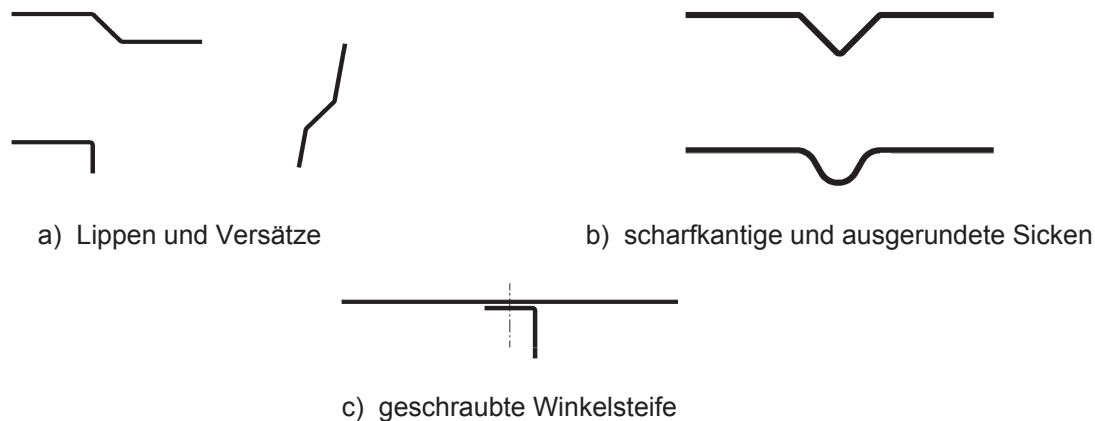


Bild 1.3 — Typische Steifenformen für kaltgewalzte Bauteile und Blechkonstruktionen

- (2) Flanschlängssteifen dürfen entweder als Rand- oder Zwischensteifen ausgeführt sein.
- (3) Typische Randsteifen sind in Bild 1.4 dargestellt.



Bild 1.4 — Typische Randsteifen

- (4) Typische Längszwischensteifen sind in Bild 1.5 dargestellt.

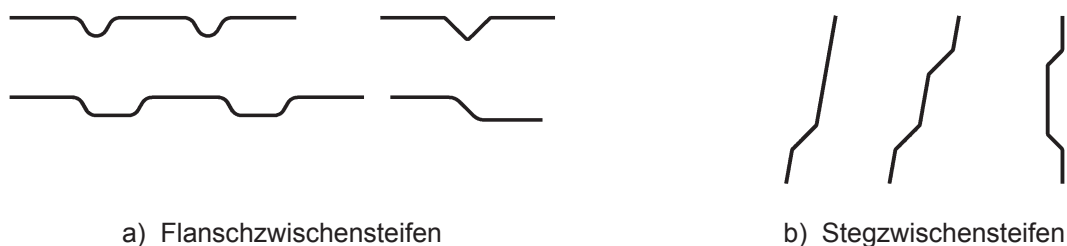


Bild 1.5 — Typische Längszwischensteifen

1.5.3 Maßangaben für Querschnitte

- (1) Gesamtmaßangaben kaltgeformter Querschnitte und Blechkonstruktionen, wie die Gesamtbreite b , die Gesamthöhe h , der innere Biegeradius r und andere Außenmaße, die mit Symbolen ohne tiefgestellte Indizes, wie z. B. a , c oder d , gekennzeichnet sind, werden, wenn nicht anderweitig festgelegt, von den Oberflächen aus gemessen, siehe Bild 1.6.

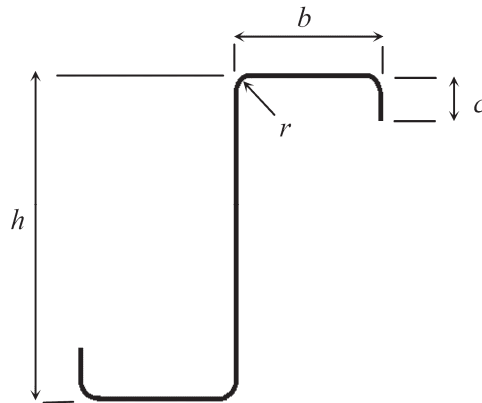


Bild 1.6 — Abmessungen eines typischen Querschnitts

- (2) Wenn nicht anderweitig festgelegt, werden die Querschnittsabmessungen eines kaltgeformten Bauteils und einer Blechkonstruktion, die mit tiefgestellten Indizes wie z. B. b_d , h_w oder s_w gekennzeichnet sind, entweder von den Blechmittellinien oder den Eckmittelpunkten vermessen.
- (3) Im Falle von geneigten Elementen wie bei Stegen von Trapezblechen wird die schräge Höhe s parallel zur Neigung gemessen. Die Neigung ist durch die gerade Linie zwischen den Schnittpunkten der Flansche und des Steges gegeben.
- (4) Die Steghöhe wird entlang der Steg-Mittellinie inklusive aller Stegauseistungen vermessen.
- (5) Die Flanschbreite wird entlang der Flansch-Mittellinie inklusive aller Zwischensteifen vermessen.
- (6) Wenn nichts anderes ausgewiesen ist, handelt es sich bei der Materialdicke t um die Stahlbemessungsdicke (die Stahlkerndicke, gegebenenfalls, abzüglich der Toleranz wie in 3.2.4 spezifiziert).

1.5.4 Vereinbarung über die Bauteilachsen

- (1) Allgemein werden die Vereinbarungen über die Bauteilachsen in EN 1993-1-1 verwendet, siehe Bild 1.7.

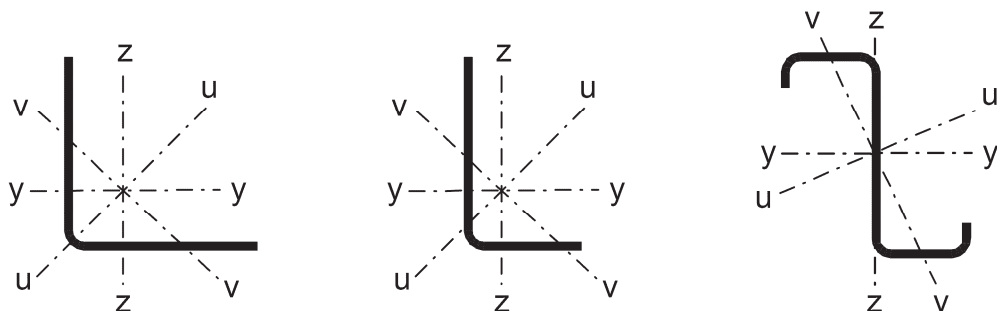


Bild 1.7 — Vereinbarung über die Bauteilachsen

(2) Bei Profilblechen und Kassettenprofilen gelten die folgenden Vereinbarungen:

- $y-y$ Achse parallel zur Blechebene;
- $z-z$ Achse senkrecht zur Blechebene.

2 Grundlagen der Bemessung

(1) Die Bemessung kaltgewalzter Bauteile und Blechkonstruktionen ist in der Regel in Übereinstimmung mit den allgemeinen Regelungen der EN 1990 und der EN 1993-1-1 durchzuführen. Zu dem allgemeinen Vorgehen mit FE-Verfahren (oder anderen) siehe EN 1993-1-5, Anhang C.

(2)P Bei Nachweisen der Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sind die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte anzusetzen.

(3)P Bei rechnerischen Nachweisen des Grenzzustands der Tragfähigkeit sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M folgendermaßen anzuwenden:

- Querschnittstragfähigkeit, begrenzt durch ausgeprägtes Fließen des Querschnitts unter Einbeziehung lokalen Beulens oder Profilverformung von Querschnitten: γ_{M0} ;
- Tragfähigkeit von Bauteilen und Blechkonstruktionen, bei denen sich ein globales Stabilitätsversagen einstellt: γ_{M1} ;
- Tragfähigkeit von Nettoquerschnitten an Schraubenlöchern: γ_{M2} ;

ANMERKUNG Zahlenwerte für γ_{Mi} dürfen im nationalen Anhang definiert sein. Die folgenden Zahlenwerte werden für den allgemeinen Hochbau empfohlen:

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,00;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

(4) γ_M -Werte zur Tragfähigkeit von Anschlüssen enthält Abschnitt 8.

(5) Bei Nachweisen des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit sind in der Regel die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,ser}$ zu verwenden.

ANMERKUNG Zahlenwerte für $\gamma_{M,ser}$ dürfen im nationalen Anhang definiert sein. Der folgende Zahlenwert wird für den allgemeinen Hochbau empfohlen:

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

(6) Bei der Bemessung von kaltgeformten Bauteilen und Blechkonstruktionen sollte eine von den Schadensfolgen abhängige Unterscheidung zwischen „Konstruktionsklassen“ nach EN 1990 – Anhang B getroffen werden:

- **Konstruktionsklasse I:** Konstruktion, bei der kaltgeformte Bauteile und Blechkonstruktionen zur Gesamttragfähigkeit eines Tragwerks beitragen;
- **Konstruktionsklasse II:** Konstruktion, bei der kaltgeformte Bauteile und Blechkonstruktionen zur Tragfähigkeit eines einzelnen Tragwerksteils beitragen;
- **Konstruktionsklasse III:** Konstruktion, bei der kaltgeformte Bauteile und Blechkonstruktionen lediglich der Übertragung der Lasten auf das Tragwerk dienen.

ANMERKUNG 1 Im Verlauf verschiedener Bauphasen dürfen unterschiedliche Konstruktionsklassen definiert werden.

ANMERKUNG 2 Die Anforderungen an die Ausführung von Blechkonstruktionen sind in EN 1090 geregelt.

3 Werkstoffe

3.1 Allgemeines

(1) Die Stahlsorte, die für kaltgeformte Bauteile und Blechkonstruktionen eingesetzt werden soll, sollte für die Kaltverformung und, wenn erforderlich, für das Schweißen, geeignet sein. Stahlsorten, die für verzinkte kaltgeformte Bauteile und Blechkonstruktionen eingesetzt werden sollen, sollten auch für die Verzinkung geeignet sein.

(2) Die Nennwerte der Werkstoffeigenschaften in diesem Abschnitt sind in der Regel als charakteristische Werte für die Bemessung zu verwenden.

(3) Dieser Teil von EN 1993 behandelt die Bemessung kaltgeformter Bauteile und profilierter Blechkonstruktionen aus Stählen entsprechend der Tabelle 3.1a.

Tabelle 3.1a — Nennwerte der Basisstreckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_u

Stahlsorte	Norm	Sorte	f_{yb} in N/mm ²	f_u in N/mm ²
Warmgewalzte nicht legierte Baustähle; Teil 2: Technische Lieferbedingungen für nicht legierte Baustähle	EN 10025-2	S 235	235	360
		S 275	275	430
		S 355	355	510
Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen; Teil 3: Technische Lieferbedingungen normalisierter, gewalzter, schweißbarer Feinkornbaustähle	EN 10025-3	S 275 N	275	370
		S 355 N	355	470
		S 420 N	420	520
		S 460 N	460	550
		S 275 NL	275	370
		S 355 NL	355	470
		S 420 NL	420	520
		S 460 NL	460	550
Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen; Teil 4: Technische Lieferbedingungen thermomechanisch gewalzter, schweißbarer 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

ANMERKUNG 1 Bei Stahlblechen mit weniger als 3 mm Dicke nach EN 10025, wenn die Ausgangsbandbreite ≥ 600 mm beträgt, dürfen die charakteristischen Werte im nationalen Anhang angegeben werden. Das 0,9fache der Werte in Tabelle 3.1a wird empfohlen.

ANMERKUNG 2 Bei anderen Stahlwerkstoffen und Erzeugnissen gilt der nationale Anhang. Beispiele zu Stahlsorten, die den Anforderungen dieser Norm entsprechen, enthält die Tabelle 3.1b.

Tabelle 3.1b — Nennwerte der Basisstreckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_u

Stahlsorte	Norm	Sorte	f_{yb} in N/mm ²	f_u in N/mm ²
Kontinuierlich kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus allgemeinen Baustählen	ISO 4997	CR 220 CR 250 CR 320	220 250 320	300 330 400
Kontinuierlich feuerverzinktes Blech aus unlegierten Baustählen	EN 10326	S220GD+Z S250GD+Z S280GD+Z S320GD+Z S350GD+Z	220 250 280 320 350	300 330 360 390 420
Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus hochfesten Stählen zur Kaltumformung. Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle	EN 10149-2	S 315 MC S 355 MC S 420 MC S 460 MC S 500 MC S 550 MC S 600 MC S 650 MC S 700 MC	315 355 420 460 500 550 600 650 700	390 430 480 520 550 600 650 700 750
	EN 10149-3	S 260 NC S 315 NC S 355 NC S 420 NC	260 315 355 420	370 430 470 530
Kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus Stahl mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen	EN 10268	H240LA H280LA H320LA H360LA H400LA	240 280 320 360 400	340 370 400 430 460
Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen	EN 10292	H260LAD H300LAD H340LAD H380LAD H420LAD	240 ^b 280 ^b 320 ^b 360 ^b 400 ^b	340 ^b 370 ^b 400 ^b 430 ^b 460 ^b
Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stahl mit Zink-Aluminium-Überzügen (ZA)	EN 10326	S220GD+ZA S250GD+ZA S280GD+ZA S320GD+ZA S350GD+ZA	220 250 280 320 350	300 330 360 390 420
Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stahl mit Aluminium-Zink-Überzügen (AZ)	EN 10326	S220GD+AZ S250GD+AZ S280GD+AZ S320GD+AZ S350GD+AZ	220 250 280 320 350	300 330 360 390 420
Kontinuierlich feuerverzinktes Band und Blech aus unlegierten Stählen zur Kaltverformung	EN 10327	DX51D+Z DX52D+Z DX53D+Z	140 ^a 140 ^a 140 ^a	270 ^a 270 ^a 270 ^a
^a Mindestwerte für Streckgrenze und Zugfestigkeit sind in dieser Norm nicht enthalten. Für jede Stahlsorte darf ein Mindestwert von 140 N/mm ² für die Streckgrenze und 270 N/mm ² für die Zugfestigkeit angenommen werden. ^b Die Streckgrenzenwerte in den Werkstoffbezeichnungen beziehen sich auf die Eigenschaften senkrecht zur Walzrichtung. Die Werte für Längszug sind in der Tabelle enthalten.				

3.2 Baustähle

3.2.1 Werkstoffeigenschaften des Grundmaterials

(1) Die Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} oder Zugfestigkeit f_u sind in der Regel folgendermaßen zu bestimmen:

- a) entweder durch Gleichsetzen von $f_y = R_{eh}$ oder $R_{p0,2}$ und $f_u = R_m$ direkt aus den Erzeugnisnormen, oder
- b) durch Verwendung der Werte in Tabellen 3.1a und 3.1b oder
- c) durch entsprechende Versuche.

(2) Werden die charakteristischen Werte aus Versuchen ermittelt, so sind solche Versuche in der Regel nach EN 10002-1 durchzuführen. Es sollten wenigstens 5 Prüfstücke einer Charge folgendermaßen entnommen werden:

- 1) Bandrollen:
 - a) bei einem Los einer Produktionscharge (ein Konverter-Stahlguss) mindestens ein Prüfstück je Bandrolle aus 30 % aller Bandrollen;
 - b) bei einem Los aus verschiedenen Produktionschargen mindestens ein Prüfstück je Bandrolle;
- 2) Streifen:
 - wenigstens ein Prüfstück je 2 000 kg aus einer Produktion.

Die Prüfstücke sind dem betreffenden Stahllos in der Regel nach Zufall zu entnehmen, und die Orientierung sollte der Längsrichtung des Tragwerksteils entsprechen. Die charakteristischen Werte sollten entsprechend der statistischen Auswertung nach EN 1990, Anhang D bestimmt werden.

- (3) Es darf unterstellt werden, dass die Stahleigenschaften für Druck die gleichen sind wie für Zug.
- (4) Für die Duktilitätsanforderungen gilt in der Regel 3.2.2 der EN 1993-1-1.
- (5) Die Bemessungswerte der Werkstoffkenngrößen sind in der Regel 3.2.6 der EN 1993-1-1 zu entnehmen.
- (6) Die Werkstoffeigenschaften bei hohen Temperaturen sind in EN 1993-1-2 enthalten.

3.2.2 Werkstoffeigenschaften kaltgeformter Profile und Blechkonstruktionen

(1) Wo die Streckgrenze mit dem Symbol f_y bezeichnet wird, darf die Durchschnittsstreckgrenze f_{ya} verwendet werden, wenn (4) bis (8) gilt. In anderen Fällen ist in der Regel die Basisstreckgrenze f_{yb} zu verwenden. Wo die Streckgrenze mit dem Symbol f_{yb} bezeichnet wird, ist in der Regel die Basisstreckgrenze f_{yb} zu verwenden.

(2) Die durchschnittliche Streckgrenze f_{ya} eines Querschnitts infolge der Kaltverfestigung darf anhand von Versuchen zur Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit ermittelt werden.

(3) Alternativ darf die erhöhte Streckgrenze f_{ya} nach der folgenden Berechnungsvorschrift ermittelt werden:

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb}) \frac{knt^2}{A_g} \quad \text{jedoch} \quad f_{ya} \leq \frac{(f_u + f_{yb})}{2} \quad (3.1)$$

Dabei ist

A_g die Bruttoquerschnittsfläche;

k ein verformungsabhängiger Zahlenwert:

- $k = 7$ bei Rollprofilierung;
- $k = 5$ bei anderen Profilierverfahren;

n die Anzahl der Umbiegungen um 90° im Querschnitt mit einem Innenradius von $r \leq 5t$ (Umbiegungen unter 90° sind als Bruchteile von n einzubeziehen);

t die Bemessungskernstärke des Stahlwerkstoffs vor der Kaltumformung abzüglich aller metallischen Überzüge und organischen Beschichtungen, siehe 3.2.4.

(4) Die erhöhte Streckgrenze infolge der Kaltverformung darf folgendermaßen berücksichtigt werden:

- bei axial beanspruchten Bauteilen, in denen die wirksame Querschnittsfläche A_{eff} der Bruttofläche A_g entspricht;
- bei der Bestimmung von A_{eff} ist als Streckgrenze f_y der Wert für f_{yb} anzusetzen.

(5) Die Durchschnittsstreckgrenze f_{ya} darf bei der Bestimmung folgender Tragfähigkeiten herangezogen werden:

- Querschnittstragfähigkeit von zentrisch auf Zug beanspruchten Bauteilen;
- Querschnittstragfähigkeit und Knicktragfähigkeit zentrisch belasteter Druckstützen mit einem vollständig wirksamen Querschnitt;
- die Momententragfähigkeit eines Querschnitts mit vollständig wirksamen Druckflanschen.

(6) Zur Bestimmung der Momententragfähigkeit eines Querschnitts mit vollständig wirksamen Flanschen kann der Querschnitt in m ebene Querschnittsteile, wie die Flansche, unterteilt werden. Ausdruck (3.1) darf dann zur Ermittlung der erhöhten Streckgrenze $f_{y,i}$ für jedes einzelne Querschnittsteil i verwendet werden, vorausgesetzt, dass:

$$\frac{\sum_{i=1}^m A_{g,i} f_{y,i}}{\sum_{i=1}^m A_{g,i}} \leq f_{ya} \quad (3.2)$$

wobei:

$A_{g,i}$ die Bruttoquerschnittsfläche eines einzelnen Querschnittsteils i ,

und die Berechnung der erhöhten Streckgrenze $f_{y,i}$ für jede Fläche $A_{g,i}$ nach Ausdruck (3.1) mit Kantenbiegewinkeln an den Rändern der einzelnen, ebenen Querschnittsteile in der Größe des halben Winkels durchgeführt wird.

(7) Die Streckgrenzenerhöhung infolge der Kaltverformung ist in der Regel nicht anzusetzen bei Bauteilen mit einer anschließenden Wärmebehandlung von mehr als 580°C über länger als eine Stunde.

ANMERKUNG Näheres findet sich in EN 1090-2.

(8) Es ist zu beachten, dass einige Verfahren der Wärmebehandlung (insbesondere Warmglühen) die Streckgrenze auch unter das Niveau der Basisstreckgrenze f_{yb} absenken können.

ANMERKUNG Zum Schweißen in kaltverformten Bereichen, siehe auch EN 1993-1-8.

3.2.3 Bruchzähigkeit

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

3.2.4 Materialdicken und Materialdickentoleranzen

(1) Die Festlegungen für die rechnerische Bemessung der EN 1993-1-3 dürfen für Stähle innerhalb der angegebenen Grenzen für die Kerndicken t_{cor} angewendet werden.

ANMERKUNG Die Kerndickengrenzen t_{cor} für Blechkonstruktionen und Bauteile dürfen im jeweiligen nationalen Anhang angegeben werden. Die folgenden Werte werden empfohlen:

- Bleche und Bauteile: $0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15 \text{ mm}$;
- Anschlüsse: $0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 4 \text{ mm}$, siehe 8.1(2).

(2) Dickere oder dünnere Werkstoffe dürfen ebenfalls verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Tragfähigkeit durch versuchsgestützte Bemessung ermittelt wird.

(3) Die Stahlkerndicke t_{cor} ist in der Regel als Bemessungsdicke anzusetzen, wenn

$$t = t_{cor} \quad \text{wenn } tol \leq 5 \% \quad (3.3a)$$

$$t = t_{cor} \frac{100 - tol}{95} \quad \text{wenn } tol > 5 \% \quad (3.3b)$$

$$\text{mit } t_{cor} = t_{nom} - t_{metalliccoatings} \quad (3.3c)$$

Hierbei ist tol die untere Toleranzgrenze in %.

ANMERKUNG Bei üblicher Verzinkung mit Z 275 ist $t_{zinc} = 0,04 \text{ mm}$.

(4) Bei durchlaufend feuerverzinkten Bauteilen und Blechen mit unteren Toleranzen, die gleich oder geringer als die „besonderen Toleranzen (S)“ der EN 10143 sind, kann die Bemessungsmaterialdicke nach (3.3a) angesetzt werden. Liegt die untere Toleranz über der „besonderen Toleranz (S)“ in EN 10143, dann kann die Bemessungsmaterialdicke nach (3.3b) verwendet werden.

(5) t_{nom} ist die Blechenndicke nach der Kaltverformung. Sie darf dem Wert t_{nom} des ursprüngliche Blechs gleichgesetzt werden, wenn die rechnerische Querschnittsfläche vor und nach der Kaltverformung sich um nicht mehr als 2 % unterscheidet. Anderenfalls sollten die Ausgangswerte der Abmessungen geändert werden.

3.3 Befestigungsmittel

3.3.1 Schraubengarnituren

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

3.3.2 Andere Arten mechanischer Verbindungsmittel

(1) Andere Typen mechanischer Verbindungsmittel z. B.:

- Gewindeformschrauben wie gewindeformende, selbstschneidende oder selbstdrehende Gewindeschrauben,
- Setzbolzen,
- Blindniete

dürfen verwendet werden, wenn sie mit der entsprechenden europäischen Produktspezifikation übereinstimmen.

(2) Die charakteristische Schubtragfähigkeit $F_{v,Rk}$ und die charakteristische Mindestzugfestigkeit $F_{t,Rk}$ mechanischer Verbindungsmittel dürfen den Produktnormen, ETAG oder ETA entnommen werden.

3.3.3 Schweißzusatzwerkstoffe

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

4 Dauerhaftigkeit

(1) Grundsätzliche Anforderungen enthält EN 1993-1-1, Abschnitt 4.

ANMERKUNG EN 1090, 9.3.1 enthält eine Reihe von die Ausführung beeinflussenden Faktoren, die in der Entwurfsphase festgelegt werden müssen.

(2) Besonders zu beachten sind Fälle, bei denen unterschiedliche Werkstoffe im Verbund wirken, wenn diese Werkstoffe infolge ihrer elektrochemischen Eigenschaften Korrosion fördern können.

ANMERKUNG 1 Zur Korrosionsbeständigkeit von Verbindungsmitteln in Umweltklassen nach EN ISO 12944-2, siehe Anhang B.

ANMERKUNG 2 Zu Erzeugnissen für die Dacheindeckung siehe EN 508-1.

ANMERKUNG 3 Zu weiteren Erzeugnissen siehe EN 1993-1-1.

ANMERKUNG 4 Zu feuerverzinkten Schrauben siehe EN ISO 10684.

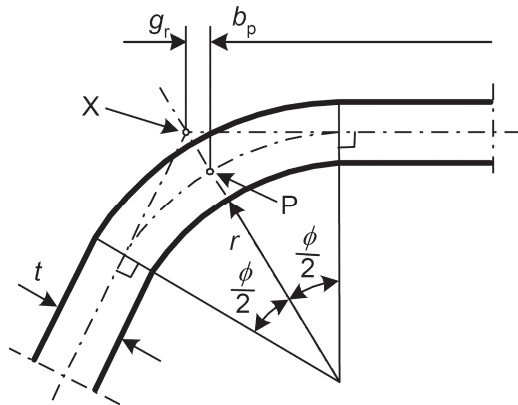
5 Tragwerksberechnung

5.1 Einfluss ausgerundeter Ecken

(1) Bei Querschnitten mit ausgerundeten Ecken sollte der Nennwert der geraden Breite b_p eines ebenen Elements von den Mittelpunkten der angrenzenden Eckbereiche, wie in Bild 5.1 dargestellt, ausgemessen werden.

(2) Bei Querschnitten mit ausgerundeten Ecken hat die Berechnung der Querschnittsgrößen in der Regel mit der vorhandenen Geometrie des Querschnitts zu erfolgen.

(3) Werden keine geeigneteren Methoden zur Ermittlung der Querschnittsgrößen angewendet, kann die folgende Methode angewendet werden. Der Einfluss ausgerundeter Ecken darf vernachlässigt werden, wenn der Innenradius $r \leq 5 t$ und $r \leq 0,10 b_p$ beträgt. Es darf dann angenommen werden, dass der Querschnitt aus ebenen Teilen mit scharfkantigen Ecken besteht (entsprechend Bild 5.2 gilt b_p für jedes ebene Element einschließlich der zugbeanspruchten Elemente). Bei Querschnittssteifigkeiten ist der Einfluss ausgerundeter Ecken immer zu berücksichtigen.



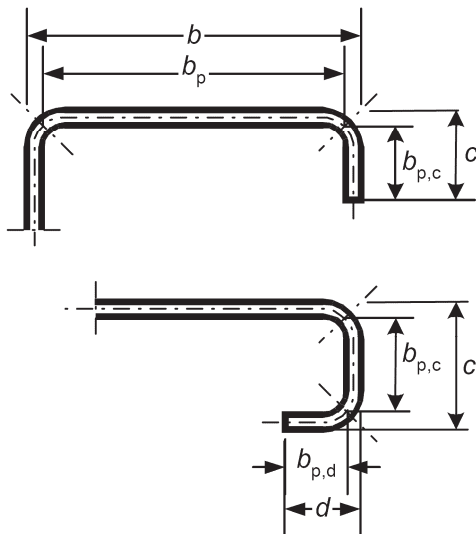
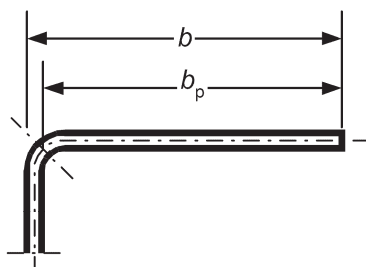
a) Mittelpunkt der Ecke oder Biegung

X ist der Schnittpunkt der Mittellinien

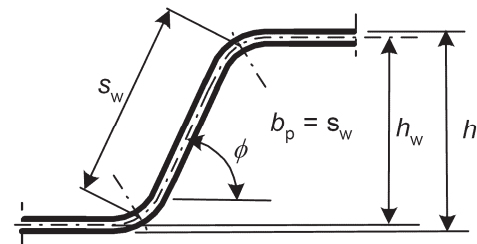
P ist der Mittelpunkt der Ecke

$$r_m = r + t/2$$

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

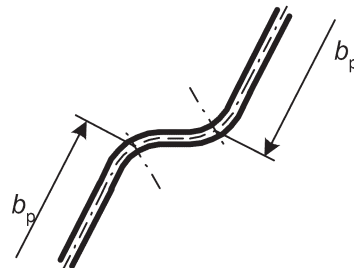


b) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Flanschstücke

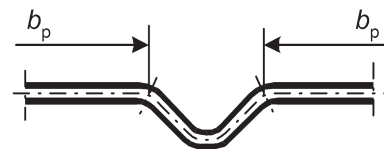


c) Nennwert der geraden Breite b_p eines Steges

(b_p = abgeschrägte Höhe s_w)



d) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Teile, die an eine Stegsteife angrenzen



e) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Teile, die an eine Flanschsteife angrenzen

Bild 5.1 — Nenn-Breiten ebener Querschnittsteile b_p unter Berücksichtigung der Eckradien

(4) Der Einfluss ausgerundeter Ecken auf die Querschnittswerte darf berücksichtigt werden, indem die Querschnittswerte für einen Ersatzquerschnitt mit scharfkantigen Ecken, siehe Bild 5.2, mit den folgenden Näherungen abgemindert werden:

$$A_g \approx A_{g,sh} (1 - \delta) \quad (5.1a)$$

$$I_g \approx I_{g,sh} (1 - 2\delta) \quad (5.1b)$$

$$I_w \approx I_{w,sh} (1 - 4\delta) \quad (5.1c)$$

mit:

$$\delta = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\varphi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}} \quad (5.1d)$$

Dabei ist

A_g die Bruttoquerschnittsfläche;

$A_{g,sh}$ der Wert für A_g des Ersatzquerschnitts mit scharfkantigen Ecken;

$b_{p,i}$ der Nennwert der geraden Breite eines ebenen Elements i des Ersatzquerschnitts mit scharfen Kanten;

I_g das Flächenmoment 2. Grades des Bruttoquerschnitts;

$I_{g,sh}$ der Wert für I_g des scharfkantigen Ersatzquerschnitts;

I_w der Wölbwiderstand des Bruttoquerschnitts;

$I_{w,sh}$ der Wert für I_w des scharfkantigen Ersatzquerschnitts;

ϕ der Winkel zwischen zwei ebenen Querschnittsteilen;

m die Anzahl der ebenen Querschnittsteile;

n die Anzahl der gekrümmten Querschnittsteile;

r_j der Innenradius eines gekrümmten Elements j .

(5) Die Abminderung in Ausdruck (5.1) darf ebenfalls zur Berechnung der wirksamen Querschnittswerte A_{eff} , $I_{y,eff}$, $I_{z,eff}$ und $I_{w,eff}$ verwendet werden unter der Voraussetzung, dass die Nennwerte der geraden Breite des ebenen Elements vom Schnittpunkt der Mittellinien aus gemessen werden.

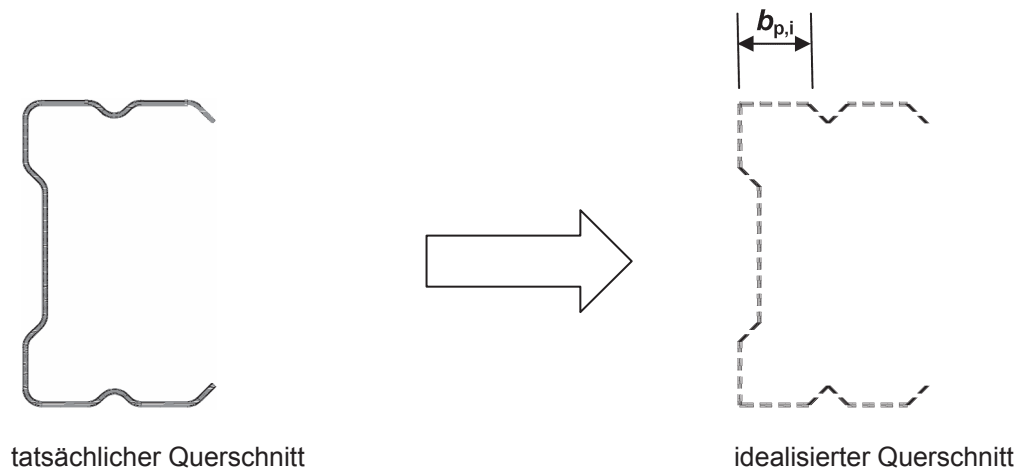


Bild 5.2 — Näherungsweise Berücksichtigung ausgerundeter Ecken

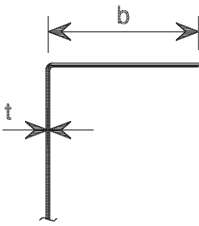
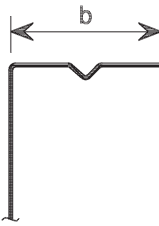
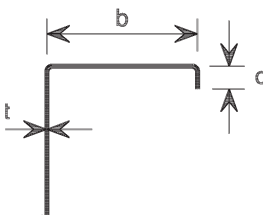
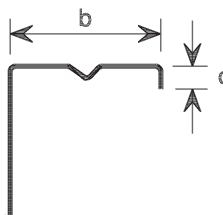
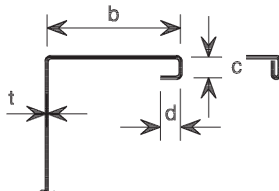
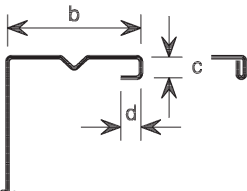
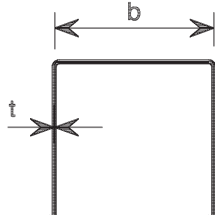
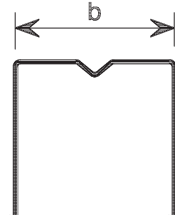
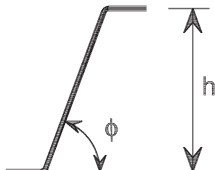
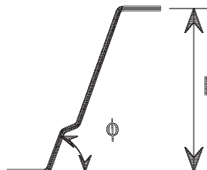
(6) Beträgt der Innenradius $r > 0,04 t E/f_y$, ist die Tragfähigkeit experimentell zu bestimmen.

5.2 Geometrische Größenverhältnisse

(1) Die Festlegungen für die rechnerische Bemessung in der EN 1993-1-3 sollten bei Querschnitten jenseits der Breiten-Dicken-Verhältnisse b/t , h/t , c/t und d/t in Tabelle 5.1 nicht angewendet werden.

ANMERKUNG Die in Tabelle 5.1 angegebenen Grenzen für b/t , h/t , c/t und d/t dürfen als die Bereichsgrenzen angesehen werden, in denen bereits ausreichende Erfahrungswerte und Versuchsergebnisse vorliegen. Querschnitte mit größeren Breiten-Dicken-Verhältnissen dürfen ebenfalls verwendet werden, vorausgesetzt, dass ihre Tragfähigkeit im Grenzzustand und ihr Gebrauchstauglichkeitsverhalten durch Versuche und/oder Berechnungen nachgewiesen werden können. Hierbei sind die Ergebnisse durch eine ausreichende Anzahl von Versuchen zu bestätigen.

Tabelle 5.1 — Maximale Breiten-Dicken-Verhältnisse

Querschnittsteilfläche	Maximalwert
 	$b/t \leq 50$
 	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
 	$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
 	$b/t \leq 500$
 	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

(2) Zur Erlangung ausreichend hoher Steifigkeit und zur Vermeidung von vorzeitigem Versagen der Steifen sollten deren Abmessungen innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \quad (5.2a)$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,3 \quad (5.2b)$$

wobei die Abmessungen b , c und d in Tabelle 5.1 angegeben sind. Bei $c/b < 0,2$ oder $d/b < 0,1$ ist die Lippe in der Regel zu vernachlässigen ($c = 0$ oder $d = 0$).

ANMERKUNG 1 Werden wirksame Querschnittswerte durch Versuche und Berechnungen ermittelt, haben diese Grenzen keine Gültigkeit

ANMERKUNG 2 Das Lippenmaß c liegt senkrecht zum Flansch, auch wenn die Lippe nicht senkrecht zum Flansch angeordnet ist.

ANMERKUNG 3 Zu FE-Methoden siehe EN 1993-1-5, Anhang C.

5.3 Tragwerksmodellierung für die Berechnung

(1) Werden keine genaueren Modelle nach EN 1993-1-5 verwendet, dürfen die Querschnittsteile für die Berechnung wie in Tabelle 5.2 dargestellt modelliert werden.

(2) Der gegenseitige Einfluss mehrfacher Steifen ist in der Regel in Rechnung zu stellen.

(3) Imperfektionen, die Biegeknicken oder Biegedrillknicken begünstigen, sind der EN 1993-1-1, Tabelle 5.1 zu entnehmen.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1993-1-1, 5.3.4.

(4) Bei Imperfektionen, die Biegedrillknicken begünstigen, darf eine Anfangsvorkrümmung e_0 senkrecht zur schwachen Profilachse unterstellt werden, ohne dass eine Anfangsverdrillung angesetzt wird.

ANMERKUNG Der Größtwert der Imperfektion darf dem nationalen Anhang entnommen werden. Die Größen von $e_0/L = 1/600$ für elastische Berechnungen und $e_0/L = 1/500$ für plastische Berechnungen werden bei Querschnitten empfohlen, die der Biegedrillknickkurve a in EN 1993-1-1, 6.3.2.2, zugeschrieben werden.

Tabelle 5.2 — Modellierung von Querschnittsteilen

Elementtyp	Modell	Elementtyp	Modell

5.4 Eindrehen der Flansche

(1) Die Auswirkung des Eindrehens von Flanschen (d. h. die Nachinnenkrümmung zur neutralen Achse hin des sehr breiten Flansches eines biegebeanspruchten Profils oder des Flansches eines biegebeanspruchten

Bogenträgers, bei dem die konkave Seite druckbeansprucht ist) ist in der Regel auf die Tragfähigkeit zu berücksichtigen, außer wenn die Verformung infolge der Eindrehung weniger als 5 % der Querschnittshöhe beträgt. Ist die Eindrehung größer, so sollte die Tragfähigkeitsminderung zum Beispiel durch die Abnahme des Hebelarms der eingedrehten breiten Flanschabschnitte und durch die mögliche Wirkung auf die Stegbiegungen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Bei Kassettenprofilen werden diese Auswirkungen in 10.2.2.2 berücksichtigt.

(2) Die Berechnung der Verformung infolge der Eindrehung kann folgendermaßen erfolgen. Die Gleichungen gelten sowohl für Druck- wie für Zugflansche, mit oder ohne Steifen, jedoch ohne eng angeordnete Quersteifen am Flansch. Bei einem vor der Belastung noch geraden Profil (siehe Bild 5.3) gilt

$$u = 2 \frac{\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z} \quad (5.3a)$$

Bei Bogenträgern gilt:

$$u = 2 \frac{\sigma_a b_s^4}{E t^2 r} \quad (5.3b)$$

Dabei ist

- u die Durchbiegung des Flansches in Richtung der neutralen Achse (infolge Eindrehung), siehe Bild 5.3;
- b_s der halbe Abstand zwischen den Stegen bei Kasten- und Hutprofilen oder die Flanschbreite ausgehend vom Steg, siehe Bild 5.3;
- t die Flanschdicke;
- z der Abstand zwischen den Flanschen und der neutralen Achse;
- r der Krümmungsradius des Bogenträgers;
- σ_a die mittlere Flanschspannung gerechnet für den Bruttoquerschnitt. Wird die Spannung für den wirksamen Querschnitt berechnet, erhält man die mittlere Spannung durch Multiplikation jener Spannung mit dem Verhältnis von wirksamer Flanschfläche zu Bruttoflanschfläche.

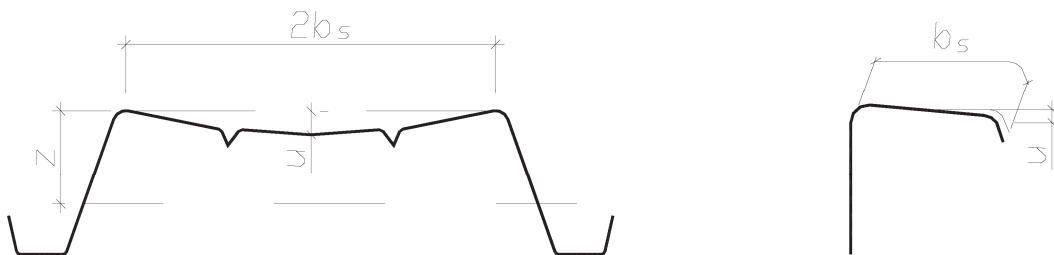


Bild 5.3 — Verformungen infolge der Flanscheindrehung

5.5 Lokales Beulen und Forminstabilität von Querschnitten

5.5.1 Allgemeines

- (1) Die Auswirkungen lokalen Beulens und der Forminstabilität von Querschnitten sollten bei der Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit kaltgeformter Bauteile und Blechkonstruktionen berücksichtigt werden.
- (2) Lokale Beuleffekte dürfen berücksichtigt werden, indem wirksame Querschnittswerte, die auf der Grundlage wirksamer Breiten errechnet wurden, angesetzt werden, siehe EN 1993-1-5.
- (3) Bei der Berechnung der wirksamen Breiten druckbeanspruchter Teile zur Bestimmung der Tragfähigkeit infolge lokalen Beulens nach EN 1993-1-5 ist als Streckgrenze f_y in der Regel der Wert f_{yb} anzusetzen.

ANMERKUNG Zur Tragfähigkeit siehe 6.1.3(1).

- (4) Bei Nachweisen der Gebrauchtauglichkeit ist die wirksame Breite eines druckbeanspruchten Querschnittsteils in der Regel mit der Druckspannung $\sigma_{com,Ed,ser}$ im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit zu ermitteln.
- (5) Die Forminstabilität von Querschnitten mit Rand oder Zwischensteifen, wie in Bild 5.4d) dargestellt, wird in 5.5.3 behandelt.

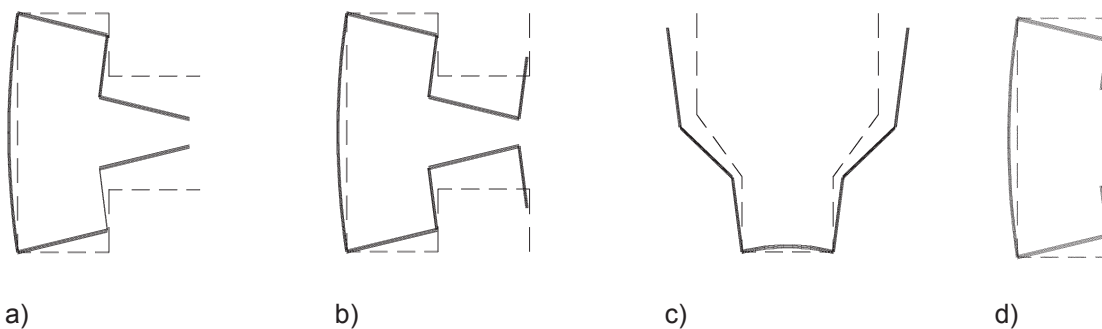
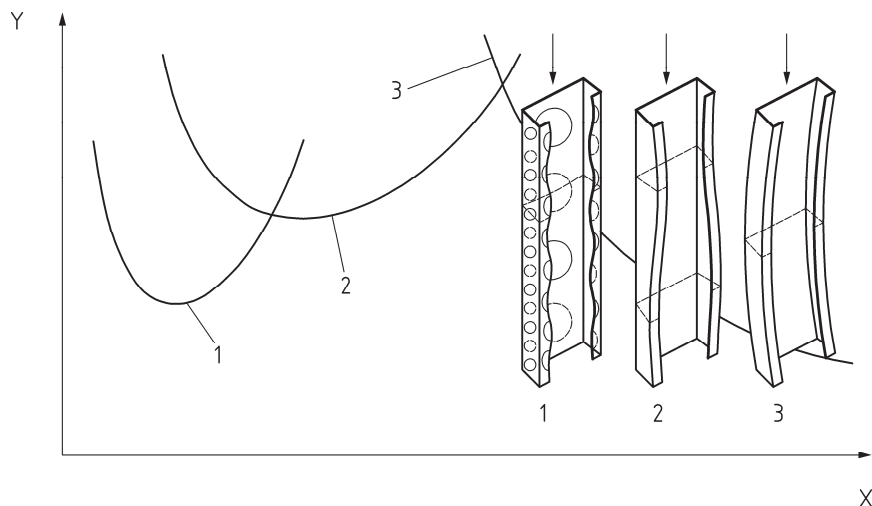


Bild 5.4 — Beispiele für Forminstabilität von Querschnitten

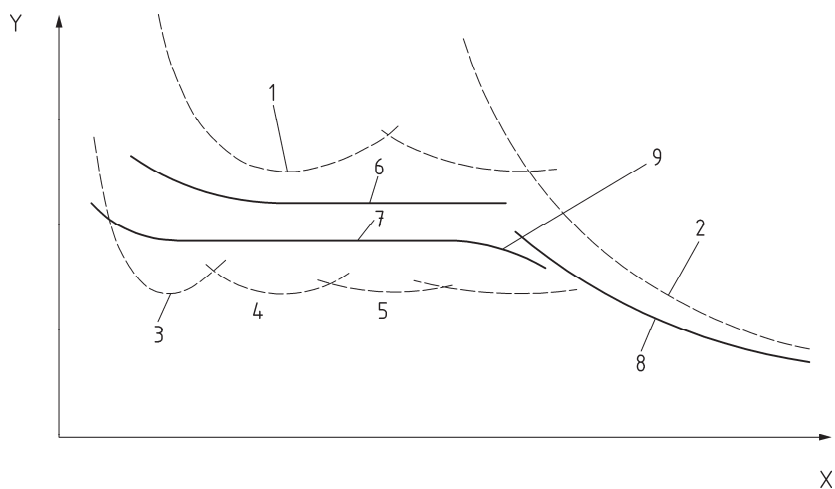
- (6) Die Auswirkungen der Forminstabilität von Querschnitten sind in Fällen wie in Bild 5.4 a), b) und c) in der Regel zu verfolgen. In diesen Fällen sollten die Auswirkungen dieser Instabilitäten durch lineare (siehe 5.5.1(7)) oder nicht-lineare Stabilitätsuntersuchungen (siehe EN 1993-1-5) mit Hilfe numerischer Methoden oder Kurzprofildruckversuche ermittelt werden.
- (7) Kommt nicht das vereinfachte Verfahren in 5.5.3 zum Einsatz und wird die elastische Verzweigungslast mit einer linearen Stabilitätsberechnung ermittelt, so darf die folgende Methode angewendet werden:
 - 1) Bei Wellenlängen bis zur Bauteillänge werden die elastischen Verzweigungslasten berechnet und die zugehörigen Eigenformen ermittelt, siehe Bild 5.5a.
 - 2) Für lokal ausgebeulte Querschnittsteile werden auf der Grundlage der kleinsten Verzweigungslasten die wirksamen Breiten (s) nach 5.5.2 berechnet, siehe Bild 5.5b.
 - 3) Für Rand- und Zwischensteifen oder andere Querschnittsteile, die der Forminstabilität des Querschnitts unterliegen, wird auf der Grundlage der kleinsten Verzweigungslast für Forminstabilität die abgeminderte Dicke (siehe 5.5.3.1(7)) berechnet, siehe Bild 5.5b.
 - 4) Es wird die Tragfähigkeit bei Gesamtbauteilstabilität nach 6.2 (Biegeknicken, Drillknicken oder Biegedrillknicken je nach maßgebendem Knickfall) für die Bauteillänge auf der Grundlage wirksamer Querschnitte aus 2) und 3) berechnet.



Legende

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | Lokales Blechbeulen | X | Halbwellenlänge |
| 2 | Forminstabilität des Querschnitts | Y | Knickspannung |
| 3 | Instabilität des Gesamtbauteils | | |

Bild 5.5a — Beispiele für die elastische kritische Spannung für mehrere Instabilitätsformen als Funktion der Knick- und Beullängen



Legende

- | | | | |
|---|--|---|--------------|
| 1 | Elastische Forminstabilität des Querschnitts | X | Bauteillänge |
| 2 | Elastische Verzweigungslast für Gesamtstabilität | Y | Last |
| 3 | Lokales Beulen, eine Welle | | |
| 4 | Zwei Wellen | | |
| 5 | Drei Wellen | | |
| 6 | Tragfähigkeit bei Forminstabilität des Querschnitts | | |
| 7 | Beultragfähigkeit | | |
| 8 | Gesamtbeultragfähigkeit | | |
| 9 | Mögliche Interaktion der lokalen und globalen Instabilität | | |

Bild 5.5b — Beispiele für elastische Verzweigungslasten und Tragfähigkeiten bei Instabilitäten abhängig von der Bauteillänge

5.5.2 Ebene nicht ausgesteifte Querschnittsteile

(1) Die wirksamen Breiten nicht ausgesteifter Querschnittsteile sind in der Regel nach EN 1993-1-5 mit Hilfe des Abminderungsbeiwertes ρ aufgrund des Plattenschlankheitsgrades $\bar{\lambda}_p$ zu ermitteln, wobei der Nennwert der Breite b_p anstelle von $\bar{b}$ verwendet wird.

(2) Der Nennwert der geraden Breite b_p eines ebenen Elements sollte entsprechend Bild 5.1 in 5.1.4 bestimmt werden. Im Fall von ebenen Elementen in schrägen Stegen sollte die entsprechende geneigte Höhe verwendet werden.

ANMERKUNG Anhang D enthält eine alternative Methode zur Berechnung der wirksamen Breite einseitig gelagerter Querschnittsteile.

(3) Bei Verwendung der Methode in EN 1993-1-5 darf das folgende Vorgehen angewendet werden:

- Das Spannungsverhältnis ψ , entsprechend EN 1993-1-5, Tabellen 4.1 und 4.2 zur Berechnung der wirksamen Flanschbreiten eines Querschnitts mit Spannungsgradienten, darf mit den Querschnittswerten des Bruttoquerschnitts ermittelt werden.
- Das Spannungsverhältnis ψ , entsprechend EN 1993-1-5, Tabellen 4.1 und 4.2 zur Ermittlung der wirksamen Stegbreiten, darf mit den wirksamen Flächen des Druckflansches und der Bruttofläche des Steges ermittelt werden.
- Die effektiven Querschnittswerte können verbessert werden, indem das Spannungsverhältnis ψ mit den bereits ermittelten wirksamen Querschnitten anstelle des Bruttoquerschnitts verwendet wird. Die Mindestanzahl der Iterationsschritte für den Spannungsgradienten beträgt zwei.
- Die vereinfachte Methode in 5.5.3.4 darf im Fall von Stegen in Trapezblechen mit Spannungsgradient verwendet werden.

5.5.3 Ebene Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen

5.5.3.1 Allgemeines

(1) Die Bemessung druckbeanspruchter Querschnittsteile mit Rand- oder Zwischensteifen basiert in der Regel auf der Annahme, dass sich die Steife wie ein Druckglied mit einer durchgehenden, teilweisen Verschiebungsbehinderung verhält mit einer Verschiebungsfedersteifigkeit, die von den Randbedingungen und der Biegesteifigkeit der angrenzenden ebenen Querschnittsteile abhängt.

(2) Die Verschiebungsfedersteifigkeit der Steifen sollte mit einer Einheitsstreckenlast u ermittelt werden, siehe Bild 5.6. Die Federsteifigkeit je Längeneinheit K kann berechnet werden mit:

$$K = u / \delta \quad (5.9)$$

Dabei ist

δ die Verformung der Steife infolge einer Einheitsstreckenlast u im Schwerpunkt (b_1) des wirksamen Querschnittsteils.

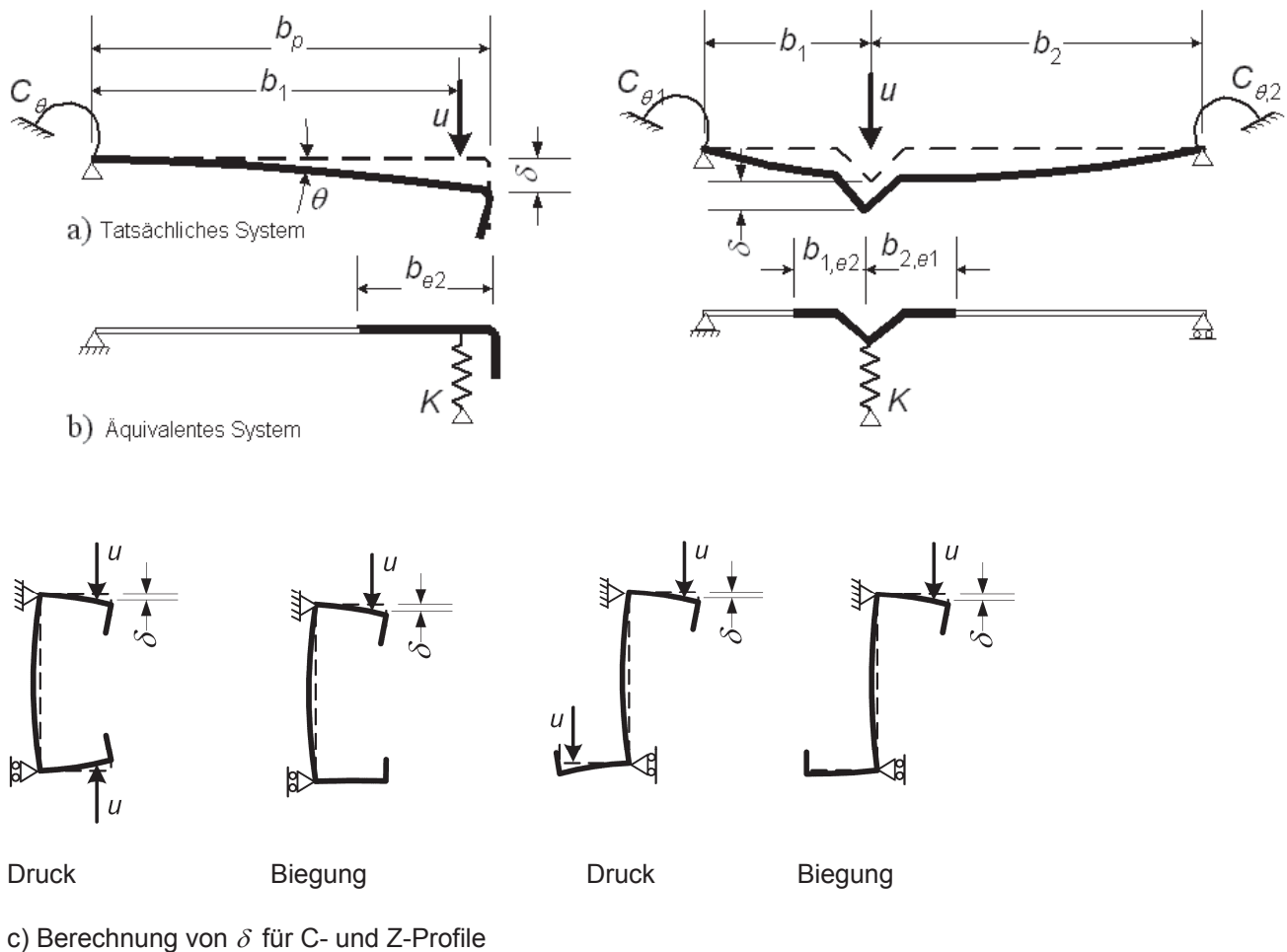


Bild 5.6 — Ermittlung von Federsteifigkeiten

(3) Bei der Bestimmung der Drehfedersteifigkeiten C_θ , $C_{\theta,1}$ und $C_{\theta,2}$ aus der Querschnittsgeometrie sollten die mögliche Auswirkungen weiterer Steifen im selben Querschnittsteil oder in anderen druckbeanspruchten Querschnittsteilen berücksichtigt werden.

(4) Bei Randsteifen darf die Verformung δ folgendermaßen ermittelt werden:

$$\delta = \theta b_p + \frac{u b_p^3}{3} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad (5.10a)$$

mit:

$$\theta = u b_p / C_\theta$$

(5) Im Fall von Randsteifen von C- und Z-Profilen mit Lippen sollte C_θ mit der Einheitsstreckenlast u wie in Bild 5.6 c) dargestellt ermittelt werden. Dies führt zu folgendem Ausdruck für die Federsteifigkeit K_1 für Flansch 1:

$$K_1 = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5 b_1 b_2 h_w k_f} \quad (5.10b)$$

Dabei ist

- b_1 der Abstand von der Steg-Flansch-Verbindung bis zum Schwerpunkt des wirksamen Bereichs der Randsteife von Flansch 1 (einschließlich des mitwirkenden Flanschteils $b_{e,2}$), siehe Bild 5.6a);
- b_2 der Abstand der Steg-Flansch-Verbindung bis zum Schwerpunkt des wirksamen Bereichs der Randsteife von Flansch 2 (einschließlich des wirksamen Flanschteils);
- h_w die Steghöhe;
- $k_f = 0$ wenn Flansch 2 zugbeansprucht ist (z. B. bei Biegebeanspruchung um die y-y-Achse);
- $k_f = \frac{A_{s2}}{A_{s1}}$ wenn Flansch 2 ebenfalls druckbeansprucht ist (z. B. bei Druckbeanspruchung des Bauteils);
- $k_f = 1$ bei einem druckbeanspruchten, symmetrischen Querschnitt;
- A_{s1} und A_{s2} die jeweils wirksamen Flächen der Randsteifen von Flansch 1 und Flansch 2 (einschließlich des mitwirkenden Teils $b_{e,2}$ des Flansches, siehe Bild 5.6 b)).

(6) Bei einer Zwischensteife können als konservative Alternative die Werte der Drehfedersteifigkeiten $C_{\theta 1}$ und $C_{\theta 2}$ zu null gesetzt werden. Dann ergibt sich die die Verformung δ zu:

$$\delta = \frac{u b_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad (5.11)$$

(7) Der Abminderungsbeiwert χ_d für die Forminstabilität des Querschnittes (entspricht dem Biegeknicken einer Steife) sollte mit der bezogenen Schlankheit $\bar{\lambda}_d$ bestimmt werden, und zwar mit:

$$\chi_d = 1,0, \quad \text{wenn } \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \quad (5.12a)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d, \quad \text{wenn } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 \quad (5.12b)$$

$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d}, \quad \text{wenn } \bar{\lambda}_d \geq 1,38 \quad (5.12c)$$

Dabei ist

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}} \quad (5.12d)$$

mit:

$\sigma_{cr,s}$ als elastische kritische Spannung für die Steife(n) nach 5.5.3.2, 5.5.3.3 oder 5.5.3.4.

(8) Alternativ darf die elastische kritische Spannung $\sigma_{cr,s}$ mit Hilfe einer numerischen Eigenwertberechnung bestimmt werden (siehe 5.5.1(7)).

(9) Im Fall von ebenen Querschnittsteilen mit Rand- und Zwischensteife(n) darf bei Verzicht auf genauere Berechnungsverfahren die Zwischensteife vernachlässigt werden.

5.5.3.2 Ebene Teilflächen mit Randsteifen

(1) Das folgende Vorgehen gilt für Randsteifen, wenn die Anforderungen in 5.2 eingehalten sind und der Winkel zwischen Steife und ebenem Element zwischen 45° und 135° liegt.

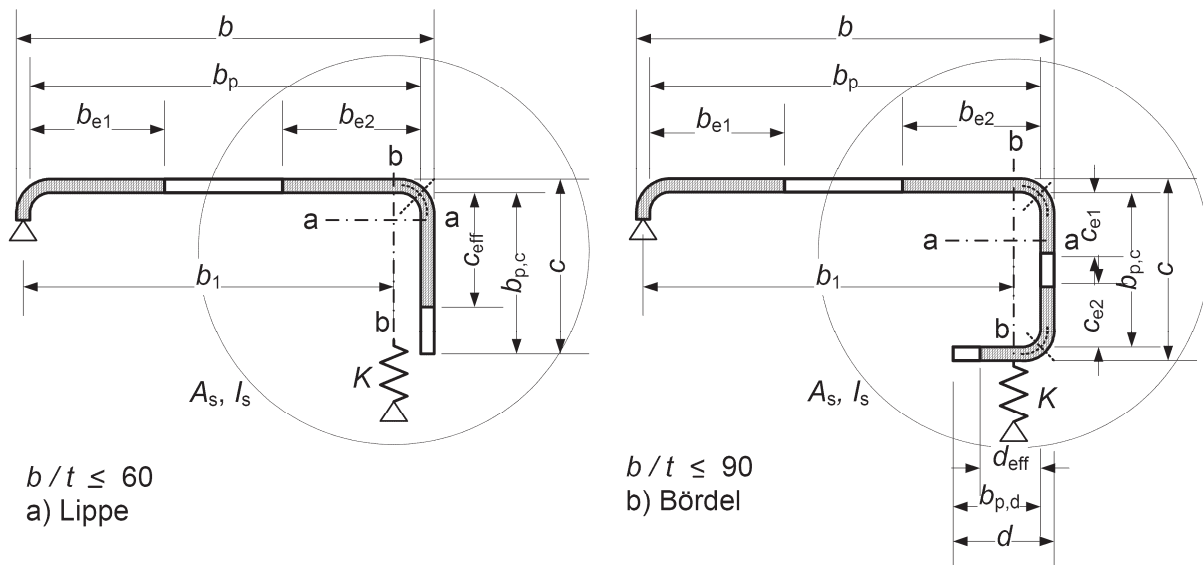


Bild 5.7 — Randsteifen

(2) Der Querschnitt einer Randsteife besteht aus den wirksamen Anteilen der Steifenteilfläche c oder der Steifenteilflächen c und d nach Bild 5.7 und dem angrenzenden, wirksamen Anteil der ebenen Teilfläche b_p .

(3) Das in Bild 5.8 dargestellte Vorgehen sollte folgendermaßen schrittweise durchgeführt werden:

- **Schritt 1:** Ermittlung eines ersten Ansatzes für den wirksamen Querschnitt der Steife mit der Annahme, dass die Randsteife als festes Auflager wirkt und dass $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_{yb}/\gamma_{M0}$ ist; siehe (4) und (5);
- **Schritt 2:** Verwendung des wirksamen ersten Ansatzes für den Querschnitt (aus Schritt 1) zur Bestimmung des Abminderungsfaktors für die Forminstabilität des Querschnitts (entspricht dem Biegeknicken der Steife) unter Berücksichtigung der elastischen kontinuierlichen Verschiebungsfeder (elastische Bettung), siehe (6), (7) und (8);
- **Schritt 3:** Wahlweise Iteration zur Verbesserung des Abminderungsfaktors für das Knicken der Randsteife, siehe (9) und (10).

(4) Die ersten Ansätze der wirksamen Breiten b_{e1} und b_{e2} in Bild 5.7 sollten nach 5.5.2 bestimmt werden, wobei angenommen wird, dass die ebene Teilfläche b_p beidseitig gelagert ist, siehe EN 1993-1-5, Tabelle 4.1.

(5) Die ersten Ansätze der wirksamen Breiten c_{eff} und d_{eff} in Bild 5.9 sollte wie folgt ermittelt werden:

a) für eine Lippe:

$$c_{\text{eff}} = \rho b_{p,c} \quad (5.13a)$$

mit ρ nach 5.5.2, aber mit folgendem Beulwert k_σ :

— bei $b_{p,c}/b_p \leq 0,35$:

$$k_\sigma = 0,5 \quad (5.13b)$$

— bei $0,35 < b_{p,c}/b_p \leq 0,6$:

$$k_{\sigma} = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p,c}/b_p - 0,35)^2} \quad (5.13c)$$

b) bei einem Bördel:

$$c_{\text{eff}} = \rho b_{p,c} \quad (5.13d)$$

mit ρ nach 5.5.2 und dem Beulwert k_{σ} , für eine beidseitig gelagerte Teilfläche nach EN 1993-1-5, Tabelle 4.1;

$$d_{\text{eff}} = \rho b_{p,d} \quad (5.13e)$$

mit ρ nach 5.5.2 und dem Beulwert k_{σ} , für eine einseitig gelagerte Teilfläche nach EN 1993-1-5, Tabelle 4.2.

(6) Die wirksame Querschnittsfläche der Randsteife A_s sollte fallabhängig wie folgt ermittelt werden:

$$A_s = t(b_{e2} + c_{\text{eff}}) \quad \text{oder} \quad (5.14a)$$

$$A_s = t(b_{e2} + c_{e1} + c_{e2} + d_{\text{eff}}) \quad (5.14b)$$

ANMERKUNG Ausgerundete Ecken sind gegebenenfalls zu berücksichtigen, siehe 5.1.

(7) Die elastische Knickspannung $\sigma_{\text{cr},s}$ einer Randsteife sollte berechnet werden mit:

$$\sigma_{\text{cr},s} = \frac{2 \sqrt{K E I_s}}{A_s} \quad (5.15)$$

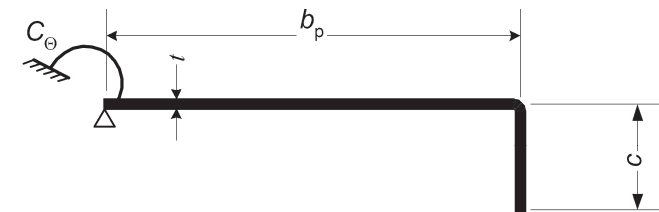
Dabei ist

K die Federsteifigkeit je Längeneinheit, siehe 5.5.3.1(2);

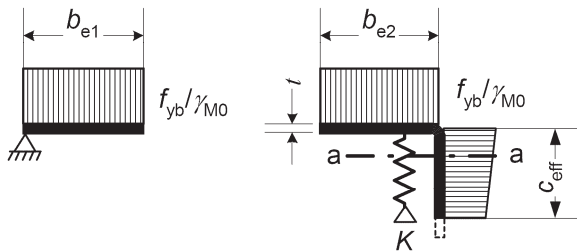
I_s das wirksame Flächenmoment 2. Grades der wirksamen Fläche A_s der Randsteife, bezogen auf ihre Schwerachse a–a siehe Bild 5.7.

(8) Alternativ darf die elastische kritische Spannungen $\sigma_{\text{cr},s}$ mit einer numerischen Eigenwertanalyse ermittelt werden, siehe 5.5.1(7).

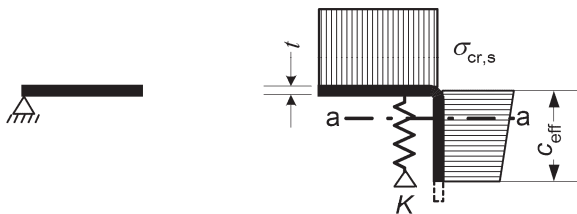
(9) Der Abminderungsfaktor χ_d für die Forminstabilität des Querschnitts (entspricht dem Biegeknicken einer Randsteife) sollte mit der idealen Knickspannung $\sigma_{\text{cr},s}$ und der Berechnungsmethode in 5.5.3.1(7) ermittelt werden.



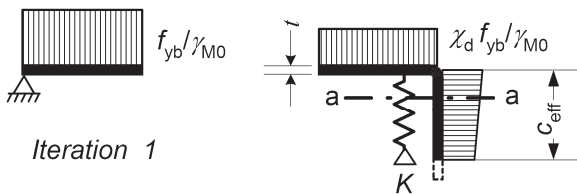
a) Bruttoquerschnitt und Randbedingungen



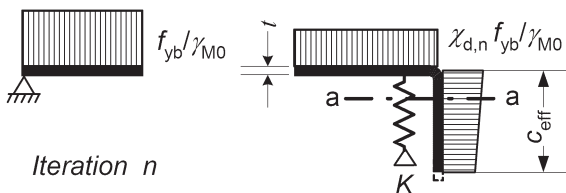
b) **Schritt 1:** Wirksamer Querschnitt mit $K = \infty$ auf der Grundlage $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$



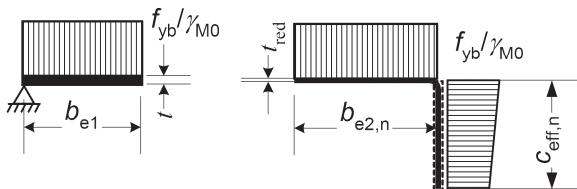
c) **Schritt 2:** Ideale Knickspannung $\sigma_{cr,s}$ mit der wirksamen Querschnittsfläche A_s aus Schritt 1



d) Reduzierte Beanspruchbarkeit $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ der wirksamen Fläche der Randsteife A_s mit dem auf $\sigma_{cr,s}$ basierenden Abminderungsfaktor χ_d



e) **Schritt 3:** Wiederholung von Schritt 1 mit der wirksamen Fläche und abgeminderter Druckspannung $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ mit χ_d aus der vorangegangenen Iteration, bis $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, jedoch $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$



f) Festlegung eines Querschnitts mit den effektiven Breiten b_{e2} , c_{eff} und der abgeminderten Dicke t_{red} infolge von $\chi_{d,n}$

Bild 5.8 — Beanspruchbarkeit eines Flansches mit einer Randsteife

(10) Bei $\chi_d < 1$ kann das Ergebnis iterativ weiter verbessert werden, indem ausgehend von $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ ein modifizierter Wert für ρ nach 5.5.2(5) ermittelt wird, so dass gilt:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \quad (5.16)$$

(11) Die reduzierte, wirksame Querschnittsfläche der Randsteife $A_{s,\text{red}}$ ergibt sich unter Berücksichtigung des Biegeknickens zu:

$$A_{s,\text{red}} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{\text{com,Ed}}} \quad \text{jedoch } A_{s,\text{red}} \leq A_s \quad (5.17)$$

mit $\sigma_{\text{com,Ed}}$ als die am wirksamen Querschnitt berechnete Druckspannung in der Schwerlinie der Steife.

(12) Bei der Bestimmung der Querschnittswerte des wirksamen Querschnittes wird die reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{s,\text{red}}$ durch eine reduzierte Blechdicke $t_{\text{red}} = t A_{s,\text{red}} / A_s$ für alle A_s angehörenden Teilflächen berücksichtigt.

5.5.3.3 Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen

(1) Das folgende Vorgehen gilt bei einer oder zwei gleichen Zwischensteifen aus scharfkantigen oder ausgerundeten Sicken, vorausgesetzt, dass jede ebene Teilfläche nach 5.5.2 errechnet wird.

(2) Der Querschnitt einer Zwischensteife besteht aus der Steife selbst und den angrenzenden, wirksamen Anteilen der ebenen Teilflächen $b_{p,1}$ und $b_{p,2}$ nach Bild 5.9.

(3) Das Verfahren ist in Bild 5.10 erläutert und beinhaltet folgende Berechnungsschritte:

- **Schritt 1:** Ermittlung eines wirksamen ersten Ansatzes des Querschnittes der Steifen mit wirksamen Teilflächen, die mit der Annahme berechnet werden, dass die Zwischensteife als festes Auflager wirkt und dass $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ ist, siehe (4) and (5);
- **Schritt 2:** Anwendung des ersten Ansatzes des wirksamen Querschnittes von Schritt 1 zur Bestimmung des Abminderungsfaktors für Forminstabilität des Querschnitts (entspricht Biegeknicken einer Zwischensteife) unter Berücksichtigung der elastischen Bettung, siehe (6), (7) und (8);
- **Schritt 3:** Wahlweise Iteration zur Verbesserung des Abminderungsfaktors für das Knicken der Zwischensteife, siehe (9) and (10).

(4) Die ersten Ansätze der wirksamen Breiten $b_{1,e2}$ und $b_{2,e1}$ nach Bild 5.9 sollten nach 5.5.2 bestimmt werden, wobei angenommen wird, dass die ebenen Teilflächen $b_{p,1}$ und $b_{p,2}$ beidseitig gelagert sind, siehe EN 1993-1-5, Tabelle 4.1.

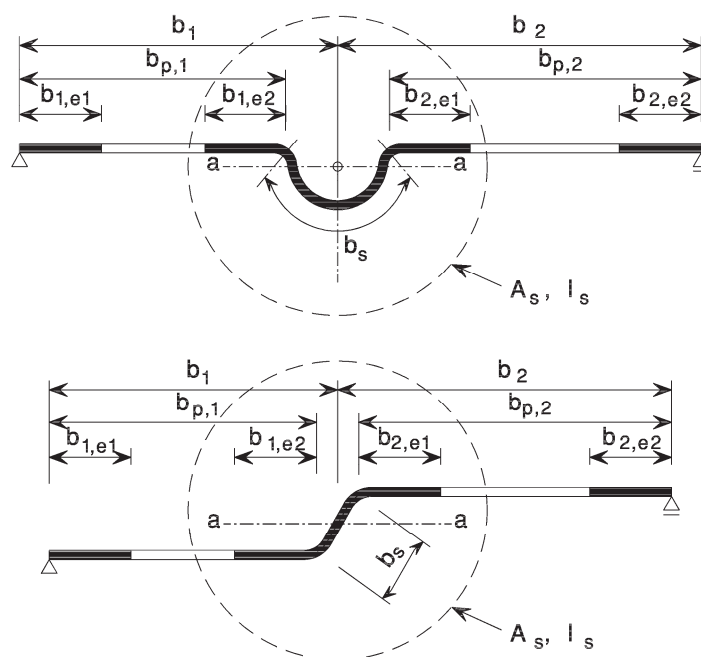


Bild 5.9 — Zwischensteifen

(5) Die wirksame Fläche einer Zwischensteife A_s ergibt sich zu:

$$A_s = t(b_{1,e2} + b_{2,e1} + b_s) \quad (5.18)$$

mit den Abmessungen der Aussteifung b_s wie in Bild 5.9 dargestellt.

ANMERKUNG Wenn erforderlich, sind die ausgerundeten Ecken mit einzubeziehen, siehe 5.1.

(6) Die elastische Knickspannung $\sigma_{cr,s}$ für eine Zwischensteife sollte berechnet werden mit:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s} \quad (5.19)$$

Dabei ist

K die Federsteifigkeit je Längeneinheit, siehe 5.5.3.1(2);

I_s das wirksame Flächenmoment 2. Grades der wirksamen Querschnittsfläche A_s der Zwischensteife, bezogen auf ihre Schwerachse a–a, siehe Bild 5.9.

(7) Wahlweise kann die elastische Knickspannung $\sigma_{cr,s}$ auch mit Hilfe einer Eigenwertberechnung mit numerischen Verfahren bestimmt werden, siehe 5.5.1(7).

(8) Der Abminderungsfaktor χ_d für die Forminstabilität von Querschnitten (entspricht dem Knicken einer Zwischensteife) ergibt sich mit der idealen Knickspannung $\sigma_{cr,s}$ und der Berechnungsmethode nach 5.5.3.1(7).

(9) Bei $\chi_d < 1$ kann das Ergebnis durch Iteration weiter verbessert werden, indem ein modifizierter Startwert für ρ nach 5.5.2(5) mit $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ verwendet wird, so dass gilt:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \quad (5.20)$$

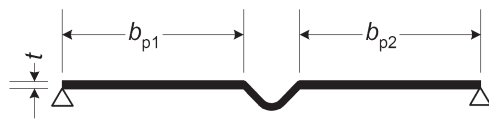
(10) Die reduzierte, wirksame Querschnittsfläche der Zwischensteife $A_{s,red}$ für die Forminstabilität von Querschnitten (Biegeknicken einer Steife) ergibt sich mit:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \quad \text{jedoch } A_{s,red} \leq A_s \quad (5.21)$$

wobei

$\sigma_{com,Ed}$ die Druckspannung in der Schwerlinie der Steife berechnet mit dem wirksamen Querschnitt ist.

(11) Bei der Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte wird die reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{s,red}$ durch eine reduzierte Blechdicke $t_{red} = t A_{s,red} / A_s$ für alle Teilflächen in A_s berücksichtigt.



a) Bruttoquerschnitt und Randbedingungen

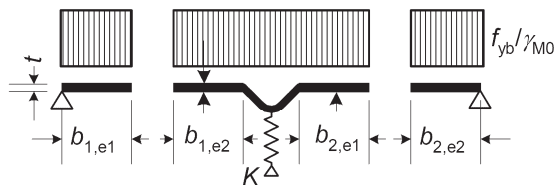
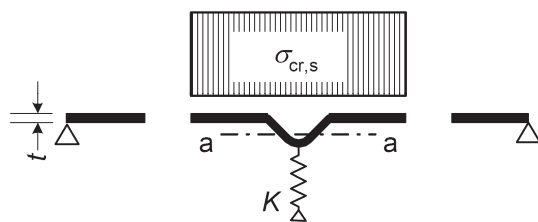
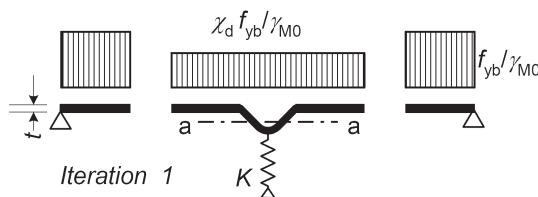
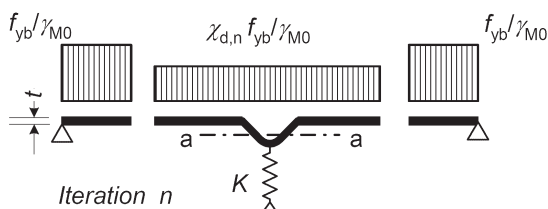
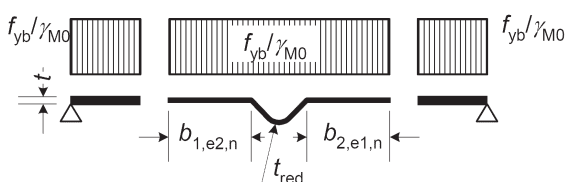
b) **Schritt 1:** Wirksamer Querschnitt mit $K = \infty$ mit $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ c) **Schritt 2:** Ideale Knickspannung $\sigma_{cr,s}$ mit der wirksamen Querschnittsfläche A_s von Schritt 1d) Abgeminderte Beanspruchbarkeit $\chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ zur Berechnung der wirksamen Steifenfläche A_s mit dem Abminderungsbeiwert χ_d infolge von $\sigma_{cr,s}$ e) **Schritt 3:** Wiederholung von Schritt 1, indem die wirksame Breite mit einer abgeminderten Druckspannung $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ infolge von χ_d aus dem vorangegangenen Iterationsschritt, bis $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, jedoch $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$.f) Der wirksame Querschnitt besteht aus $b_{1,e2}$, $b_{2,e1}$ und der abgeminderten Materialdicke t_{red} infolge von $\chi_{d,n}$

Bild 5.10 — Drucktragfähigkeit eines Flansches mit Zwischensteife

5.5.3.4 Trapezblechprofile mit Zwischenaussteifungen

5.5.3.4.1 Allgemeines

(1) Dieser Unterabschnitt 5.5.3.4 sollte für Trapezblechprofile im Zusammenhang mit 5.5.3.3 für Gurte und Stege mit Zwischenaussteifungen angewendet werden.

(2) Die Interaktion zwischen dem Knicken der Gurtsteifen und der Stegsteifen sollte durch die Verwendung des Verfahrens in 5.5.3.4.4 berücksichtigt werden.

5.5.3.4.2 Gurte mit Zwischenaussteifungen

(1) Bei konstanter Druckbeanspruchung besteht der wirksame Gurtquerschnitt aus den abgeminderten wirksamen Flächen $A_{s,red}$ zuzüglich zweier, an die Sicke angrenzender Streifen der Breite $0,5b_{eff}$ (oder $15 t$, siehe Bild 5.11).

(2) Bei einer mittig angeordneten Zwischenaussteifung sollte die elastische kritische Spannung $\sigma_{cr,s}$ bestimmt werden mit:

$$\sigma_{\text{cr},s} = \frac{4,2 \, k_w \, E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s \, t^3}{4 \, b_p^2 (2 \, b_p + 3 \, b_s)}} \quad (5.22)$$

Dabei ist

b_n die Nennwert der geraden Breiten einer ebenen Teilfläche nach Bild 5.11;

b_s die Breite der Sicke, gemessen entlang ihres Umfangs, siehe Bild 5.11;

A_s, I_s Querschnittsfläche und Flächenmoment 2. Grades der Aussteifung nach Bild 5.11;

k_w ein Beiwert, der die teilweise Drehbettung des ausgesteiften Gurtes infolge der Stege oder sonstiger angrenzender Teilflächen berücksichtigt, siehe (5) und (6). Für die Berechnung des druckbeanspruchten wirksamen Querschnitts gilt $k_w = 1,0$.

Gleichung (5.22) darf bei großen Sicken verwendet werden, vorausgesetzt, dass die ebene Teilfläche der Steife infolge lokalen Beulens abgemindert wird und b_p in Gleichung (5.22) durch das Maximum von b_p oder $0,25(3b_p+b_I)$ ersetzt wird, siehe Bild 5.11. Ein ähnliches Vorgehen gilt bei Gurten mit einfacher oder mehrfacher Aussteifung.

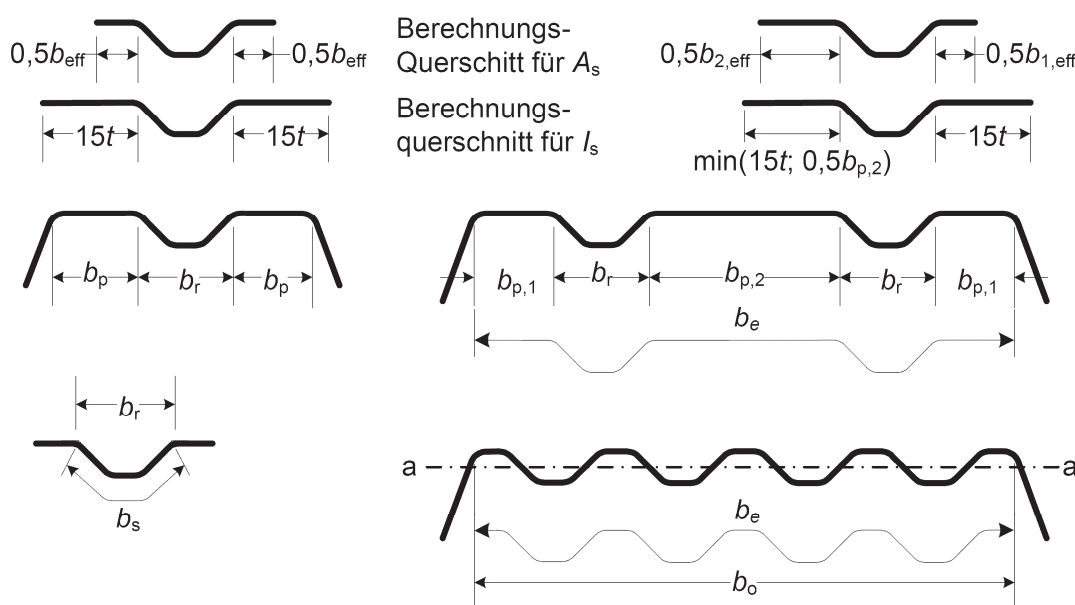


Bild 5.11 — Druckgurt mit einfacher oder mehrfacher Aussteifung

(3) Bei zwei symmetrisch angeordneten Zwischensteifen sollte die elastische kritische Spannung $\sigma_{cr,s}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2 \, k_w \, E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s \, t^3}{8 b_1^2 (3 b_e - 4 b_1)}} \quad (5.23a)$$

mit:

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

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

Dabei ist

$b_{p,1}$ der Nennwert der Breite einer äußeren ebenen Teilfläche, siehe Bild 5.11;

$b_{p,2}$ der Nennwert der Breite der inneren ebenen Teilfläche, siehe Bild 5.11;

b_r die Gesamtbreite einer Zwischensteife, siehe Bild 5.11;

A_s, I_s die Querschnittsfläche und das Flächenmoment 2. Grades eines Steifenquerschnitts nach Bild 5.11.

(4) Bei mehrfach ausgesteiften Gurten (drei oder mehr Aussteifungen) gilt für den wirksamen Querschnitt des *gesamten Gurtes*:

$$A_{eff} = \rho b_e t \quad (5.23b)$$

wobei ρ der Abminderungsbeiwert nach EN 1993-1-5, Anhang E für den Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ basierend auf der elastischen Knickspannung ist:

$$\sigma_{cr,s} = 1,8E \sqrt{\frac{I_s \, t}{b_o^2 b_e^3}} + 3,6 \frac{Et^2}{b_o^2} \quad (5.23c)$$

Dabei ist

I_s die Summe der Flächenträgheitsmomente der Steifen um die Achse a unter Vernachlässigung des Terms $b \, t^3/12$;

b_o die Gurtbreite nach Bild 5.11;

b_e die abgewinkelte Breite der Blechmittelebene nach Bild 5.11.

(5) Der Wert k_w darf mit der Beulhalbwellenlänge l_b des Druckgurtes wie folgt ermittelt werden:

— bei $l_b / s_w \geq 2$:

$$k_w = k_{w0} \quad (5.24a)$$

— bei $l_b / s_w < 2$:

$$k_w = k_{w0} - (k_{w0} - 1) \left[\frac{2l_b}{s_w} - \left(\frac{l_b}{s_w} \right)^2 \right] \quad (5.24b)$$

wobei:

s_w die geneigte Steghöhe ist, siehe Bild 5.1c).

(6) Wahlweise darf die elastische Drehbettung k_w auf der sicheren Seite liegend mit 1,0 wie für eine gelenkige Lagerung angesetzt werden.

(7) Die Werte l_b und k_{wo} dürfen wie folgt ermittelt werden:

— bei einem Druckgurt mit einer Zwischensteife:

$$l_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}{t^3}} \quad (5.25)$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{s_w + 2 b_d}{s_w + 0,5 b_d}} \quad (5.26)$$

mit:

$$b_d = 2b_p + b_s$$

— bei einem Druckgurt mit zwei Zwischensteifen::

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{I_s b_1^2 (3 b_e - 4 b_1) / t^3} \quad (5.27)$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{(2 b_e + s_w) (3 b_e - 4 b_1)}{b_1 (4 b_e - 6 b_1) + s_w (3 b_e - 4 b_1)}} \quad (5.28)$$

(8) Die reduzierte wirksame Fläche $A_{s,red}$ der Aussteifung für die Berechnung der Forminstabilität des Querschnitts (Biegeknicken einer Steife) sollte ermittelt werden mit:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,ser}} \quad \text{jedoch } A_{s,red} \leq A_s \quad (5.29)$$

(9) Bei Stegen ohne Aussteifungen sollte der Abminderungsfaktor χ_d nach der Berechnungsmethode in 5.5.3.1(7) direkt aus $\sigma_{cr,s}$ berechnet werden.

(10) Bei Stegen mit Aussteifungen sollte der Abminderungsfaktor χ_d ebenso aus 5.5.3.1(7), aber mit der modifizierten idealen Knickspannung $\sigma_{cr,mod}$ nach 5.5.3.4.4 berechnet werden.

(11) Bei der Bestimmung der Querschnittswerte des wirksamen Querschnitts wird die reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{s,red}$ durch eine reduzierte Blechdicke $t_{red} = t A_{s,red} / A_s$ für alle Teilflächen berücksichtigt, die in A_s enthalten sind.

(12) Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sollten die Querschnittswerte der Aussteifungen mit der Bemessungsblechdicke t ermittelt werden.

5.5.3.4.3 Stege mit bis zu zwei Aussteifungen

(1) Für die wirksame Querschnittsfläche der Druckzone eines Steges (oder eines anderen Querschnittsteils mit einem Spannungsgradienten) wird angenommen, dass diese sich aus den reduzierten wirksamen

Querschnittsflächen $A_{s,red}$ (von bis zu 2 Zwischensteifen), einem Streifen neben dem Druckgurt und einem Streifen neben der Schwerachse der wirksamen Querschnittsfläche zusammensetzt, siehe Bild 5.12.

(2) Die wirksame Querschnittsfläche des Steges (siehe Bild 5.12) besteht aus:

- a) einem Streifen mit der Länge $s_{eff,1}$ neben dem Druckgurt;
- b) der reduzierten wirksamen Querschnittsfläche $A_{s,red}$ von bis zu zwei Stegaussteifungen;
- c) einem Streifen der Länge $s_{eff,n}$ neben der neutralen Faser des wirksamen Querschnitts;
- d) der Stegfläche unter Zugbeanspruchung.

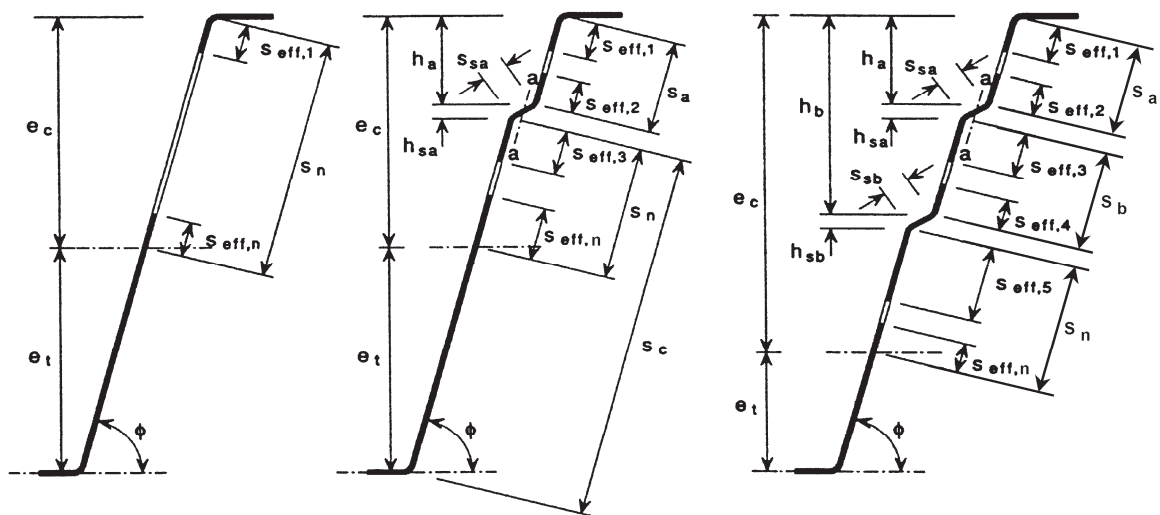


Bild 5.12 — Wirksame Querschnittsfläche von trapezförmig profilierten Stegen

(3) Die wirksamen Flächen der Aussteifungen sollten wie folgt ermittelt werden:

— bei einer einzelnen Aussteifung oder bei der Steife, die näher am Druckgurt liegt:

$$A_{sa} = t(s_{eff,2} + s_{eff,3} + s_{sa}) \quad (5.30)$$

— bei der weiteren Steife:

$$A_{sb} = t(s_{eff,4} + s_{eff,5} + s_{sb}) \quad (5.31)$$

mit den Abmessungen $s_{eff,1}$ bis $s_{eff,n}$ und s_{sa} und s_{sb} nach Bild 5.12.

(4) Für den ersten Ansatz der Lage der wirksamen neutralen Achse sollte ein Querschnitt mit den wirksamen Flächen der Gurte und der Bruttofläche des Steges zugrunde gelegt werden. In diesem Fall gilt für die wirksame Breite $s_{eff,0}$:

$$s_{eff,0} = 0,76 t \sqrt{E / (\gamma_{M0} \sigma_{com,Ed})} \quad (5.32)$$

Dabei ist

$\sigma_{com,Ed}$ die Gurtdruckspannung bei Erreichen der Tragfähigkeit.

(5) Wenn der Steg nicht vollständig wirksam ist, sollten die Längen $s_{\text{eff},1}$ bis $s_{\text{eff},n}$ wie folgt ermittelt werden:

$$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \quad (5.33a)$$

$$s_{\text{eff},2} = (1 + 0,5h_a/e_c) s_{\text{eff},0} \quad (5.33b)$$

$$s_{\text{eff},3} = [1 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c] s_{\text{eff},0} \quad (5.33c)$$

$$s_{\text{eff},4} = (1 + 0,5h_b/e_c) s_{\text{eff},0} \quad (5.33d)$$

$$s_{\text{eff},5} = [1 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c] s_{\text{eff},0} \quad (5.33e)$$

$$s_{\text{eff},n} = 1,5s_{\text{eff},0} \quad (5.33f)$$

wobei:

e_c der Abstand von der neutralen Achse des wirksamen Querschnitts bis zur Systemlinie des Druckgurtes ist, siehe Bild 5.12, und die Abmessungen h_a , h_b , h_{sa} und h_{sb} wie in Bild 5.12 definiert sind.

(6) Die Abmessungen $s_{\text{eff},1}$ bis $s_{\text{eff},n}$, die im ersten Schritt nach (5) bestimmt wurden, ändern sich wie folgt, wenn die maßgebende ebene Teilfläche voll wirksam ist:

— bei einem unausgesteiften Steg, der wegen $s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ voll wirksam ist:

$$s_{\text{eff},1} = 0,4s_n \quad (5.34a)$$

$$s_{\text{eff},n} = 0,6s_n \quad (5.34b)$$

— bei einem ausgesteiften Steg, wenn wegen $s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},2} \geq s_a$ die Gesamtlänge s_a voll wirksam ist:

$$s_{\text{eff},1} = \frac{s_a}{2 + 0,5h_a/e_c} \quad (5.35a)$$

$$s_{\text{eff},2} = s_a \frac{(1 + 0,5h_a/e_c)}{2 + 0,5h_a/e_c} \quad (5.35b)$$

— bei einem Steg mit einer Aussteifung, wenn wegen $s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ die Gesamtlänge s_n voll wirksam ist:

$$s_{\text{eff},3} = s_n \frac{[1 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c]}{2,5 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c} \quad (5.36a)$$

$$s_{\text{eff},n} = \frac{1,5s_n}{2,5 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c} \quad (5.36b)$$

— bei einem Steg mit zwei Aussteifungen:

— wenn wegen $s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},4} \geq s_b$ die Gesamtlänge s_b voll wirksam ist:

$$s_{\text{eff},3} = s_b \frac{1 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c}{2 + 0,5(h_a + h_{sa} + h_b)/e_c} \quad (5.37a)$$

$$s_{\text{eff},4} = s_b \frac{1 + 0,5h_b/e_c}{2 + 0,5(h_a + h_{sa} + h_b)/e_c} \quad (5.37b)$$