

DIN EN 1993-1-3



ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-3: Allgemeine Regeln –
Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche;
Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006 + AC:2009**

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 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-3: Règles générales –
Règles supplémentaires pour les profilés et plaques formés à froid;
Version allemande EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-1-3:2007-02;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-5:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12,
DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-9:2010-12, DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-10:2010-12, DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-11:2010-12 und
DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-1:2008-11;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-5:2010-12 und DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-2:2008-11;
mit DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-5:2010-12 und DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12 Ersatz für
DIN 18800-3:2008-11;
Ersatz für DIN EN 1993-1-3 Berichtigung 1:2009-11;
teilweiser Ersatz für DIN 18807-1:1987-06, DIN 18807-1/A1:2001-05, DIN 18807-2:1987-06 und
DIN 18807-2/A1:2001-05

Gesamtumfang 147 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-3:2010-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-3:2006 + AC:2009) 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.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen **AC** **AC** angezeigt.

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.

Gegenüber DIN EN 1993-1-3:2007-02, DIN EN 1993-1-3 Berichtigung 1:2009-11, DIN 18800-1:2008-11, DIN 18800-2:2008-11, DIN 18800-3:2008-11, DIN 18807-1:1987-06, DIN 18807-1/A1:2001-05, DIN 18807-2:1987-06 und DIN 18807-2/A1:2001-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- d) Titel berichtigt;
- e) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

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

DIN EN 1993-1-3:2010-12

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-3

Oktober 2006

+AC

Mai 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-1-3:1996

Deutsche Fassung

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte 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
formés à froid

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. Januar 2009 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 13. Mai 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-3:2006 eingearbeitet.

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 des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-3	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

	Seite	
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.....	94
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
A.5	Versuche an durch Profilbleche drehbehinderten Biegeträgern.....	121

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

	Seite
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.....	129
A.6.4 Bemessungswerte	131
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 + AC:2009) 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 1993-1-3:1996.

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 | |

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

1 Einleitung

1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-3 enthält Anforderungen an die Bemessung kaltgeformter, **[AC] gestrichener Text [AC]** Bauteile und Bleche. Sie bezieht sich auf kaltgewalzte Stahlerzeugnisse aus beschichtetem oder nicht beschichtetem warm- oder kaltgewalzten **[AC] gestrichener Text [AC]** 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, **[AC] gestrichener Text [AC]** 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, *Blechsraubengewinde*

EN ISO 1479, *Sechskant-Blechsrauben*

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

EN ISO 7049, *Linsenkopf-Blechsrauben 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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

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

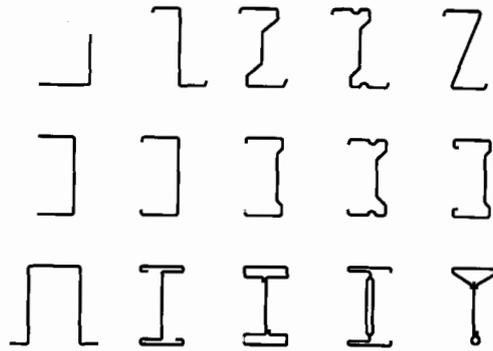
(1) Kaltgeformte Bauteile und profilierte Bleche weisen innerhalb der zulässigen Toleranzen eine konstante Nennstärke über ihrer Gesamtlänge auf und dürfen entweder einen gleich bleibenden Querschnitt oder einen längsveränderlichen Querschnitt besitzen.

(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.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



a) Einzelne offene Querschnitte



b) Offene, zusammengesetzte Querschnitte

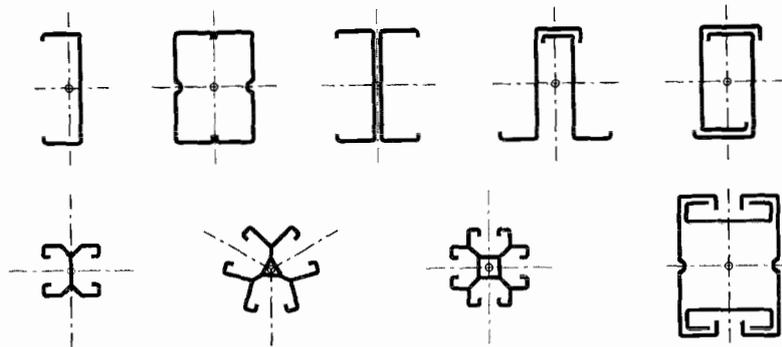


c) Geschlossene, zusammengesetzte Querschnitte

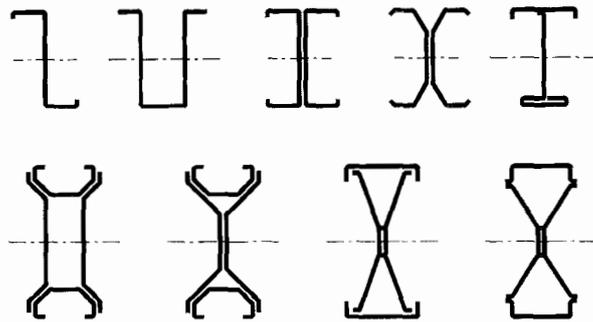
Bild 1.1 — Typische Querschnittsformen kaltgewalzter Bauteile

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

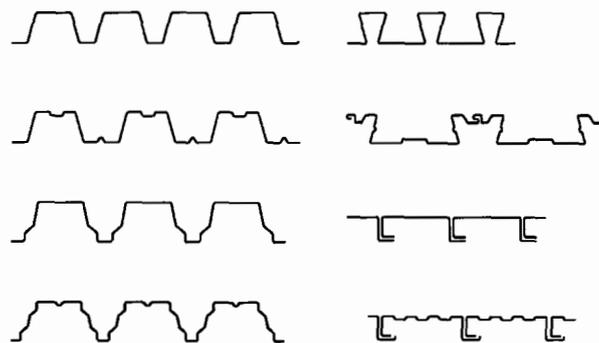
ANMERKUNG Jede Regel in diesem Teil von EN 1993 bezieht sich auf die Hauptquerschnittsachsen, welche durch die Hauptachsen $y-y$ und $z-z$ bei symmetrischen und $u-u$ und $v-v$ bei unsymmetrischen Querschnitten wie z. B. Winkel- und Z-Profilen definiert sind. In einigen Fällen ist die Zwangs-Biegeachse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



a) Druck- und Zuglieder



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.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

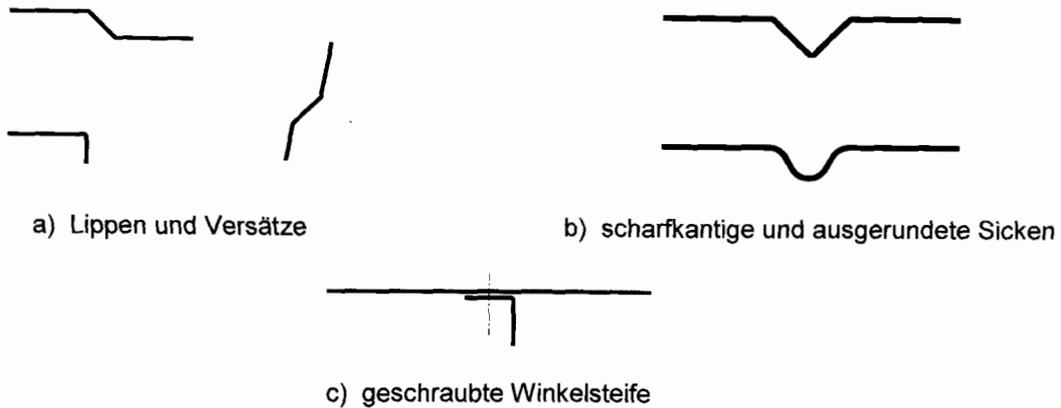


Bild 1.3 — Typische Steifenformen für kaltgewalzte Bauteile und Blechkonstruktionen

- (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.

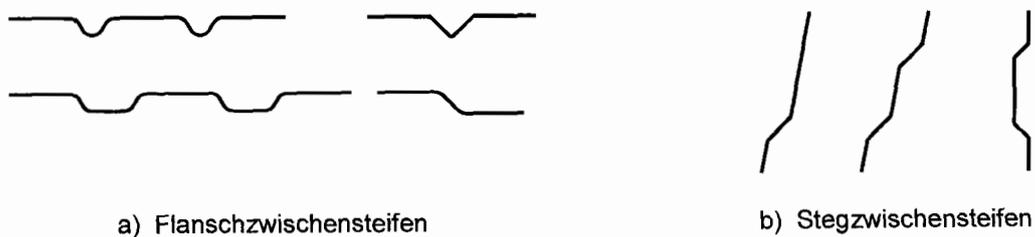


Bild 1.5 — Typische Längszwischensteifen

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.

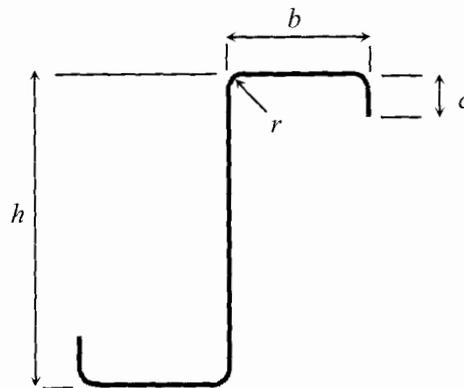


Bild 1.6 — Abmessungen eines typischen Querschnitts

- (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 Stegauseifungen 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.

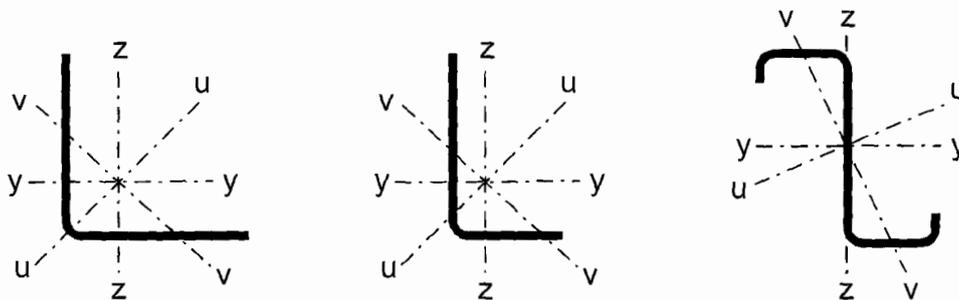


Bild 1.7 — Vereinbarung über die Bauteilachsen

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(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 Abschnitts 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.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

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	220	300
		CR 250	250	330
		CR 320	320	400
Kontinuierlich feuerverzinktes Blech aus unlegierten Baustählen	EN 10326	S220GD+Z	220	300
		S250GD+Z	250	330
		S280GD+Z	280	360
		S320GD+Z	320	390
		S350GD+Z	350	420
Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus hochfesten Stählen zur Kaltumformung. Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle	EN 10149-2	S 315 MC	315	390
		S 355 MC	355	430
		S 420 MC	420	480
		S 460 MC	460	520
		S 500 MC	500	550
		S 550 MC	550	600
		S 600 MC	600	650
		S 650 MC	650	700
	S 700 MC	700	750	
		EN 10149-3	S 260 NC	260
S 315 NC			315	430
S 355 NC			355	470
S 420 NC			420	530
Kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus Stahl mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen	EN 10268	H240LA	240	340
		H280LA	280	370
		H320LA	320	400
		H360LA	360	430
		H400LA	400	460
Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen	EN 10292	H260LAD	240 ^b	340 ^b
		H300LAD	280 ^b	370 ^b
		H340LAD	320 ^b	400 ^b
		H380LAD	360 ^b	430 ^b
		H420LAD	400 ^b	460 ^b
Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stahl mit Zink-Aluminium-Überzügen (ZA)	EN 10326	S220GD+ZA	220	300
		S250GD+ZA	250	330
		S280GD+ZA	280	360
		S320GD+ZA	320	390
		S350GD+ZA	350	420
Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stahl mit Aluminium-Zink-Überzügen (AZ)	EN 10326	S220GD+AZ	220	300
		S250GD+AZ	250	330
		S280GD+AZ	280	360
		S320GD+AZ	320	390
		S350GD+AZ	350	420
Kontinuierlich feuerverzinktes Band und Blech aus unlegierten Stählen zur Kaltverformung	EN 10327	DX51D+Z	140 ^a	270 ^a
		DX52D+Z	140 ^a	270 ^a
		DX53D+Z	140 ^a	270 ^a

^a Mindestwerte für Streckgrenze und Zugfestigkeit sind in dieser Norm nicht enthalten. Für jede Stahlsorte darf ein Mindestwert von 140 N/mm² für die Streckgrenze und 270 N/mm² 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:

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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

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 Momentenragfähigkeit eines Querschnitts mit vollständig wirksamen Druckflanschen.

(6) Zur Bestimmung der Momentenragfähigkeit 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

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

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

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

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 Blechnennstärke 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.:

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- 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 AC EN 1090-2 AC, 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.

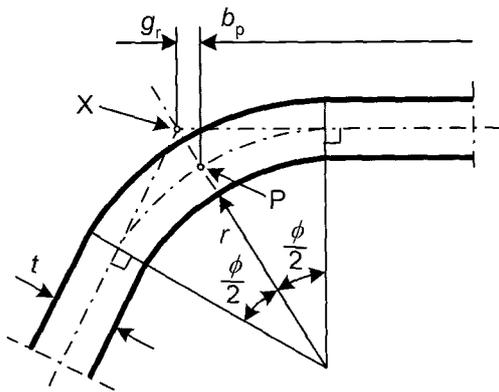
5 Tragwerksberechnung

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.



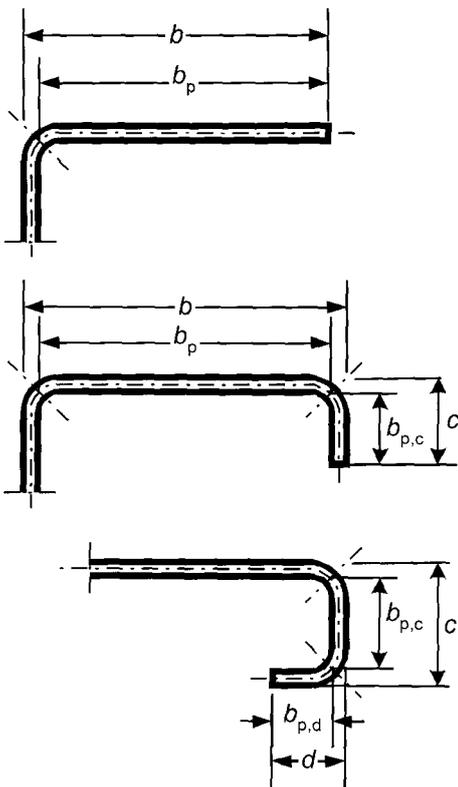
a) Mittelpunkt der Ecke oder Biegung

X ist der Schnittpunkt der Mittellinien

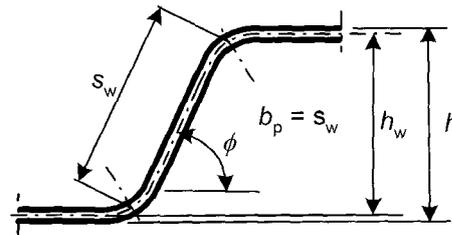
P ist der Mittelpunkt der Ecke

$$r_m = r + t/2$$

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

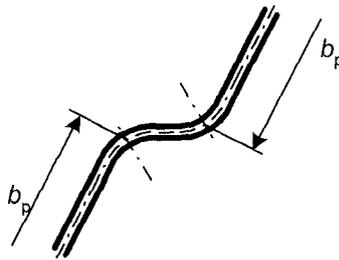


b) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Flanschstücke

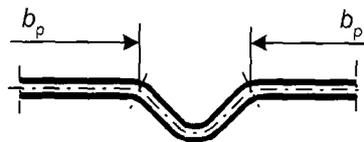


c) Nennwert der geraden Breite b_p eines Steges

(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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(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.

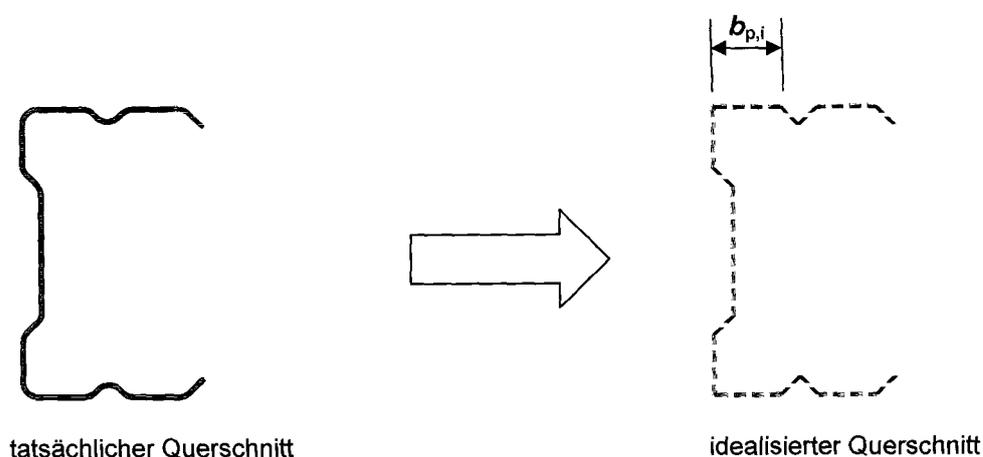


Bild 5.2 — Näherungsweise Berücksichtigung ausgerundeter Ecken

(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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Bogenträgers, bei dem die konkave Seite druckbeansprucht ist) ist in der Regel auf die Tragfähigkeit zu berücksichtigen, außer wenn die Verformung infolge der Eindrechung weniger als 5 % der Querschnittshöhe beträgt. Ist die Eindrechung 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 Eindrechung 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 Eindrechung), 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.

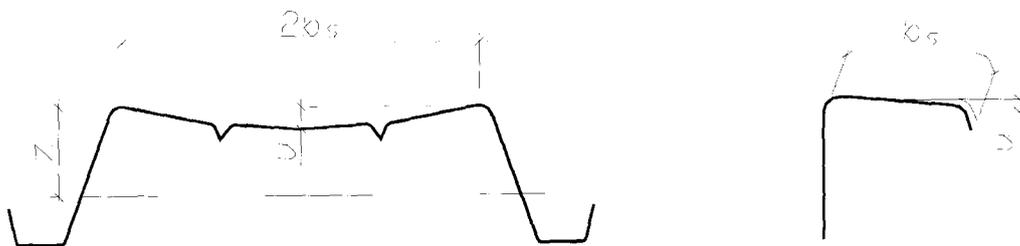


Bild 5.3 — Verformungen infolge der Flancheindrechung

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 $\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$ 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.

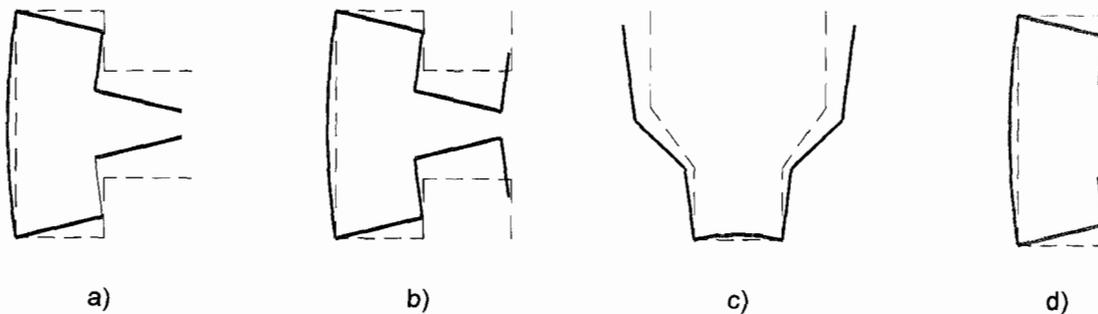


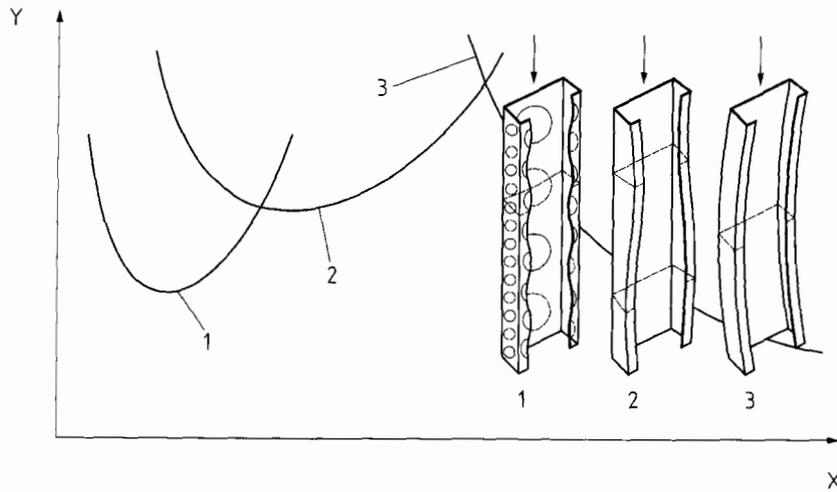
Bild 5.4 — Beispiele für Forminstabilität von Querschnitten

(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.

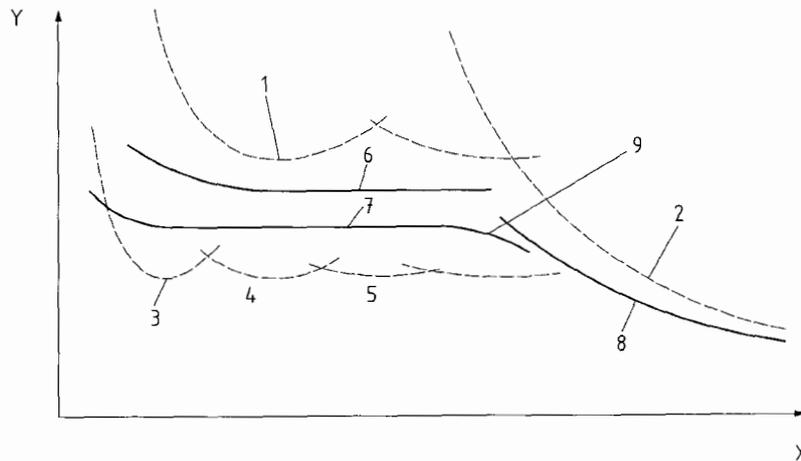
DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



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 Flanscbreiten 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.

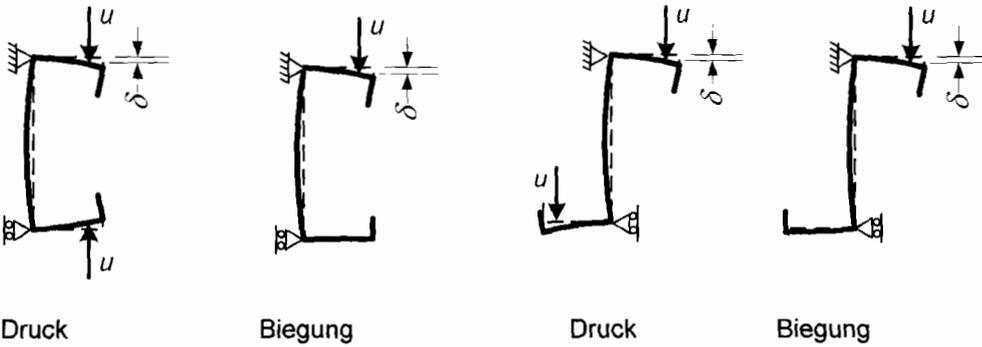
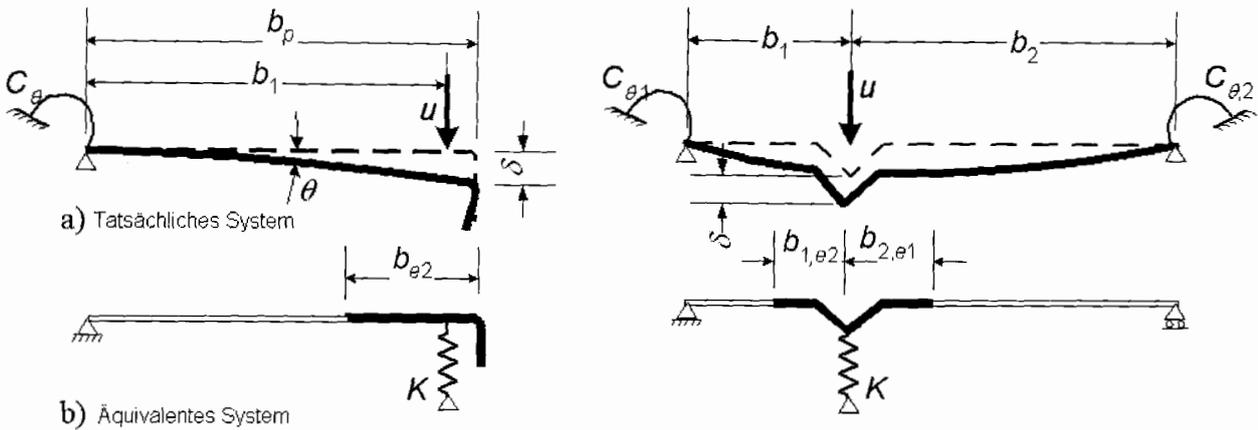
(2) Die Verschiebungsfedersteifigkeit der Steifen sollte mit einer Einheitsstreckenlast u ermittelt werden, siehe Bild 5.6. Die Federsteifigkeit je Längeneinheit K kann berechnet werden mit:

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

Dabei ist

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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



c) Berechnung von δ für C- und Z-Profile

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:

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad (5.11)$$

(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.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

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.

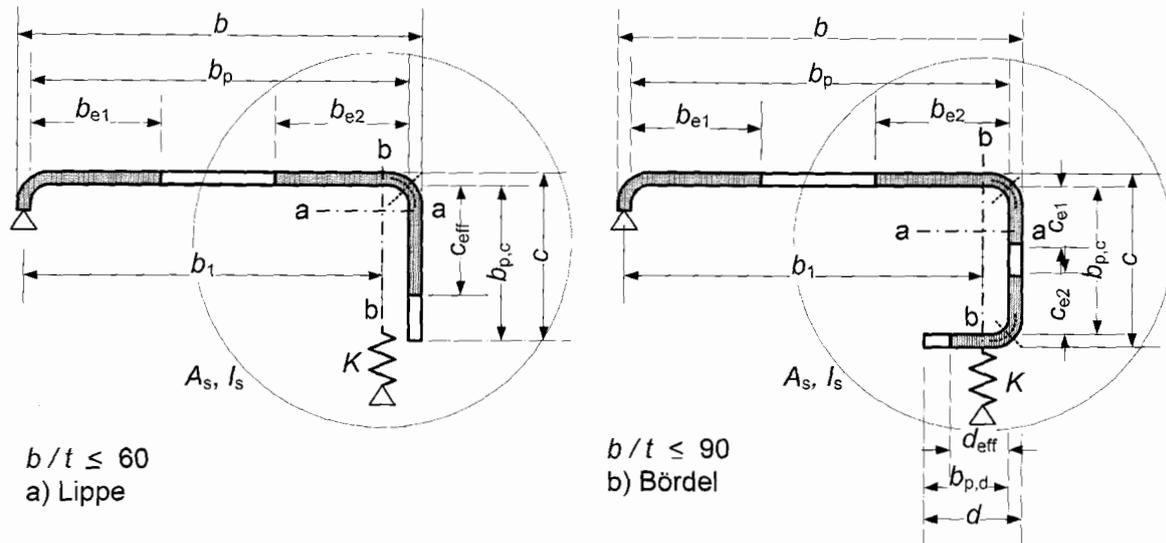


Bild 5.7 — Randsteifen

(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 $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$ 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 5.7 sollte wie folgt ermittelt werden:

a) für eine Lippe:

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

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

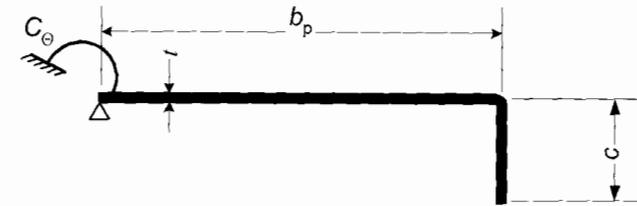
K die Federsteifigkeit je Längeneinheit, siehe 5.5.3.1(2);

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

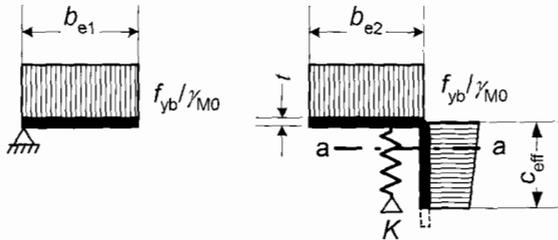
(8) Alternativ darf die elastische kritische Spannungen $\sigma_{\text{cr},s}$ mit einer numerischen Eigenwertanalyse ermittelt werden, siehe 5.5.1(7).

(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.

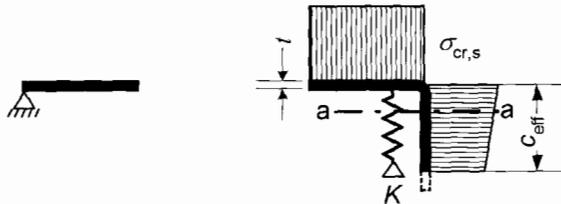
DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



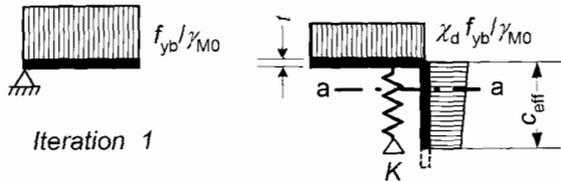
a) Bruttoquerschnitt und Randbedingungen



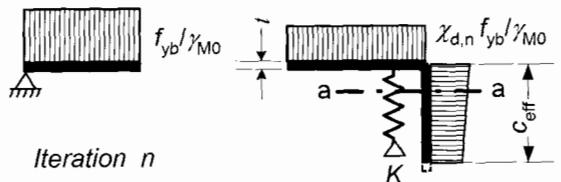
b) Schritt 1: Wirksamer Querschnitt mit $K = \infty$ auf der Grundlage $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_{yb}/\gamma_{M0}$



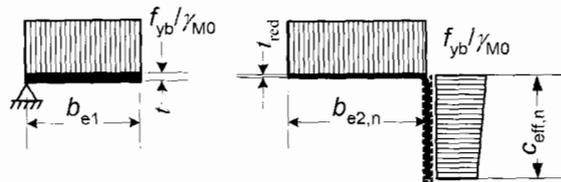
c) Schritt 2: Ideale Knickspannung $\sigma_{\text{cr,s}}$ mit der wirksamen Querschnittsfläche A_s aus Schritt 1



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



e) Schritt 3: Wiederholung von Schritt 1 mit der wirksamen Fläche und abgeminderter Druckspannung $\sigma_{\text{com,Ed,i}} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ 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 $\sigma_{\text{com,Ed,i}} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ ein modifizierter Wert für ρ nach $\overline{\text{AC}} 5.5.2(1)$ $\overline{\text{AC}}$ ermittelt wird, so dass gilt:

$$\bar{\lambda}_{p,\text{red}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \tag{5.16}$$

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

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

mit $\sigma_{com,Ed}$ 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 $A_{s,red}$ durch eine reduzierte Blechdicke $t_{red} = t A_{s,red} / A_s$ 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 abgerundeten 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 $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ 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.

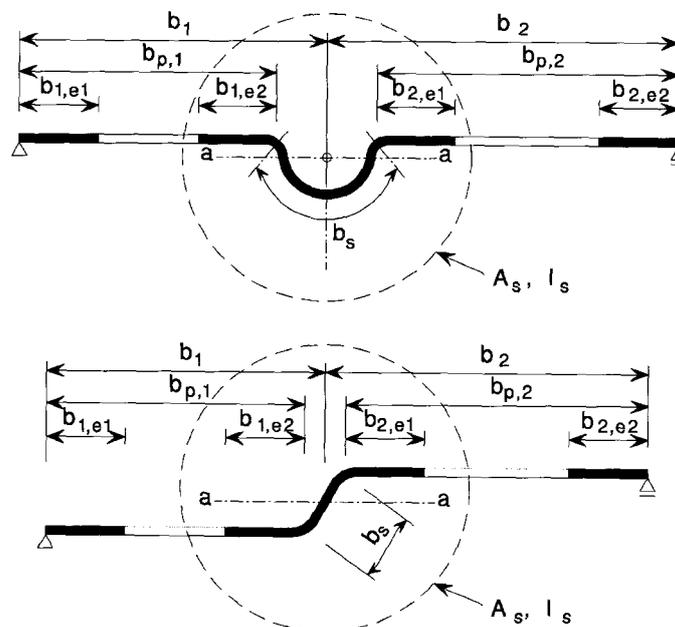


Bild 5.9 — Zwischensteifen

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(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 **AC** 5.5.2(1) **AC** mit $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ verwendet wird, so dass gilt:

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

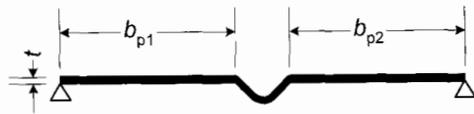
(10) Die reduzierte, wirksame Querschnittsfläche der Zwischensteife $A_{s,red}$ für die Forminstabilität von Querschnitten (Biegeknicken einer Steife) ergibt sich mit:

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

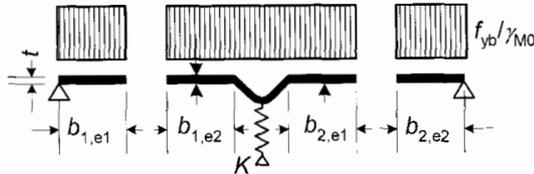
wobei

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

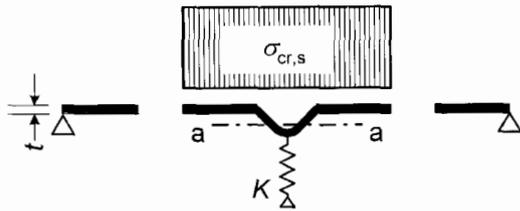
(11) Bei der Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte wird die reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{s,red}$ durch eine reduzierte Blechdicke $t_{red} = t A_{s,red} / A_s$ für alle Teilflächen in A_s berücksichtigt.



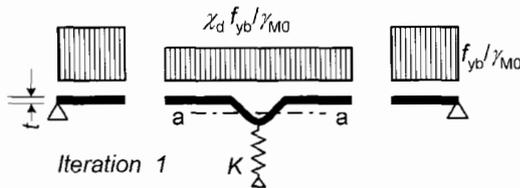
a) Bruttoquerschnitt und Randbedingungen



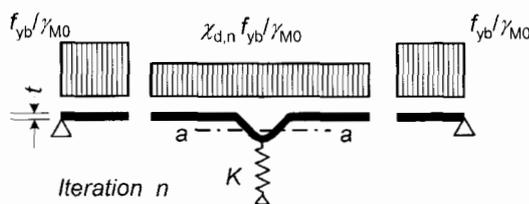
b) Schritt 1: Wirksamer Querschnitt mit $K = \infty$ mit $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$



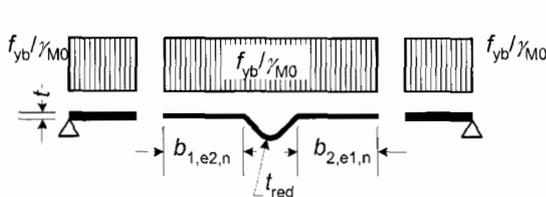
c) Schritt 2: Ideale Knickspannung $\sigma_{cr,s}$ mit der wirksamen Querschnittsfläche A_s von Schritt 1



d) 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 $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_{d,n} f_{yb} / \gamma_{M0}$ 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.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

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 $15t$, siehe Bild 5.11).

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

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

Dabei ist

- b_p 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 $0,25(3b_p + b_r)$ ersetzt wird, siehe Bild 5.11. Ein ähnliches Vorgehen gilt bei Gurten mit einfacher oder mehrfacher Aussteifung.

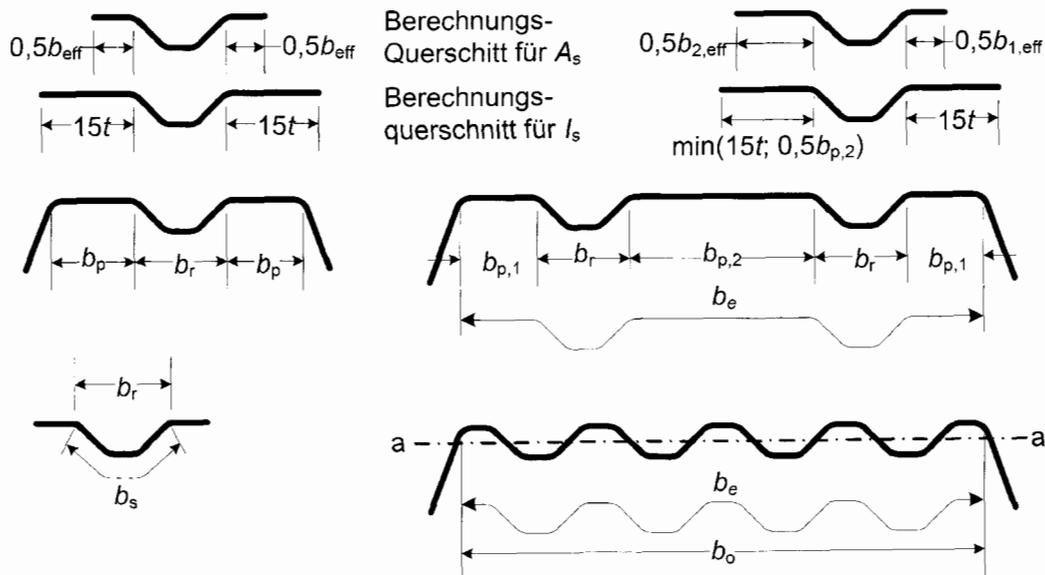


Bild 5.11 — Druckgurt mit einfacher oder mehrfacher Aussteifung

(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 $l_b/s_w < 2$:

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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

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 Stegtaussteifungen;
- c) einem Streifen der Länge $s_{eff,n}$ neben der neutralen Faser des wirksamen Querschnitts;
- d) der Stegfläche unter Zugbeanspruchung.

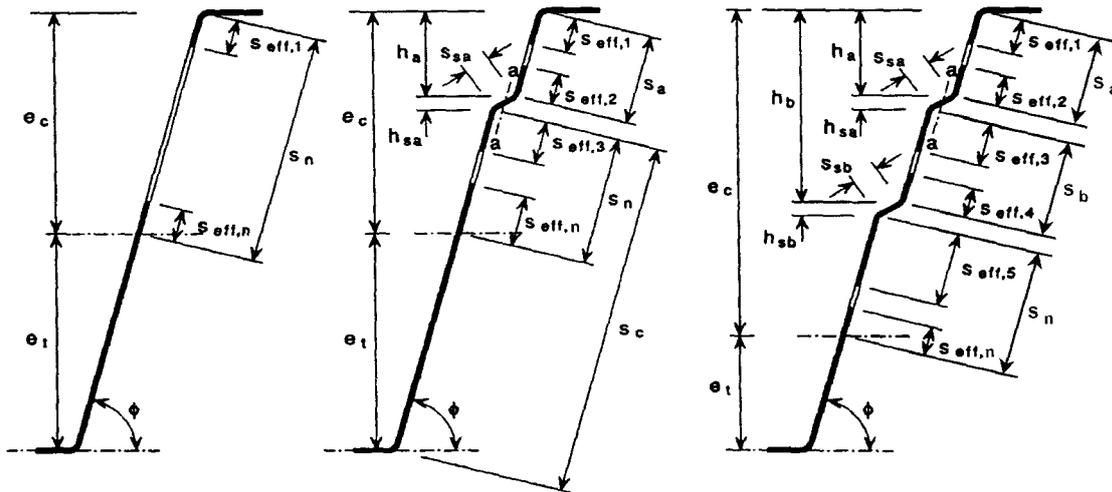


Bild 5.12 — Wirksame Querschnittsfläche von trapezförmig profilierten Stegen

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

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

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

— bei der weiteren Steife:

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

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 $s_{eff,0}$:

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

Dabei ist

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

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(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:

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

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

— wenn wegen $s_{\text{eff},5} + s_{\text{eff},n} \geq s_n$ die Gesamtlänge s_n voll wirksam ist:

$$s_{\text{eff},5} = s_n \frac{1 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c}{2,5 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c} \quad (5.38a)$$

$$s_{\text{eff},n} = \frac{1,5s_n}{2,5 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c} \quad (5.38b)$$

(7) Bei nur einer Aussteifung oder bei der Aussteifung von zwei Aussteifungen, die näher am Druckgurt liegt, sollte die ideale Knickspannung $\sigma_{\text{cr,sa}}$ wie folgt ermittelt ermittelt:

$$\sigma_{\text{cr,sa}} = \frac{1,05 k_f E \sqrt{I_s t^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)} \quad (5.39a)$$

Dabei wird s_1 wie folgt bestimmt:

— bei einer Aussteifung:

$$s_1 = 0,9 (s_a + s_{sa} + s_c) \quad (5.39b)$$

— bei zwei Aussteifungen für die Aussteifung, die näher am Druckgurt liegt:

$$s_1 = s_a + s_{sa} + s_b + 0,5(s_{sb} + s_c) \quad (5.39c)$$

s_2 wird wie folgt bestimmt:

$$s_2 = s_1 - s_a - 0,5 s_{sa} \quad (5.39d)$$

Dabei ist

k_f ein Beiwert, der die Drehbettung des ausgesteiften Steges durch die Gurte berücksichtigt;

I_s das wirksame Flächenmoment 2. Grades der Aussteifung, das unter Einbeziehung der Versatzlänge s_{sa} und zweier benachbarter Streifen mit den Längen $s_{\text{eff},1}$, bezogen auf die eigene neutrale Achse parallel zur Stegebene, berechnet wird, siehe Bild 5.13; bei der Bestimmung von I_s darf eine mögliche Neigungsveränderung des Steges ober- und unterhalb der Aussteifung vernachlässigt werden;

s_c wie in Bild 5.12 definiert.

(8) Falls nicht genauer ermittelt, darf der Drehbettungsbeiwert k_f als auf der sicheren Seite liegend gleich 1,0 gesetzt werden. Dies entspricht einer gelenkigen Lagerung.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

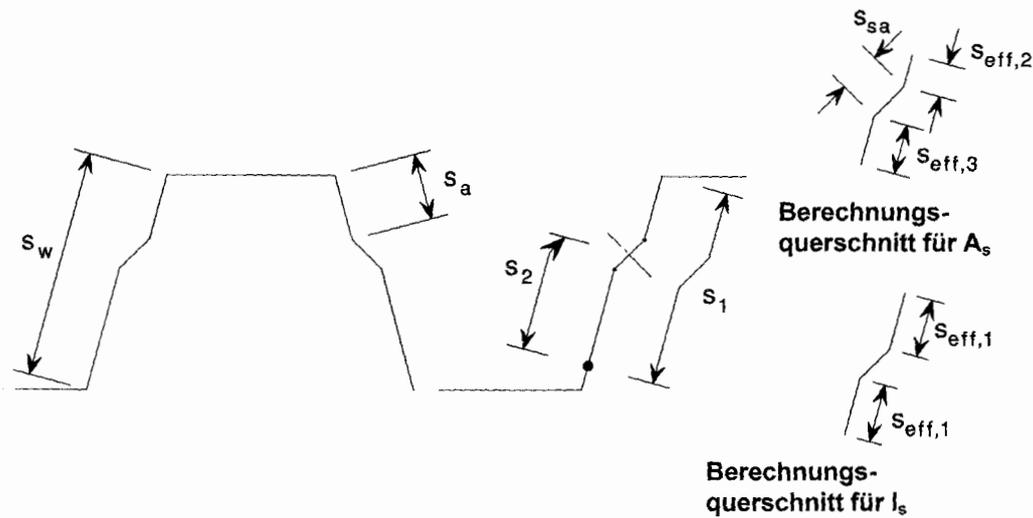


Bild 5.13 — Stegaussteifungen bei trapezförmig profilierten Blechen

(9) Bei einer einzelnen Aussteifung oder bei der Aussteifung von zwei Aussteifungen, die näher am Druckgurt liegt, sollte die wirksame Fläche $A_{sa,red}$ folgendermaßen bestimmt werden:

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1 - (h_a + 0,5h_{sa})/e_c} \quad \text{jedoch } A_{sa,red} \leq A_{sa} \quad (5.40)$$

(10) Bei nicht ausgesteiften Gurten sollte der Abminderungsfaktor χ_d nach der Berechnungsmethode nach 5.5.3.1(7) direkt mit $\sigma_{cr,sa}$ ermittelt werden.

(11) Sind auch die Gurte ausgesteift, sollte der Abminderungsfaktor χ_d wiederum aus 5.5.3.1(7), aber mit der modifizierten idealen Knickspannung $\sigma_{cr,mod}$ nach 5.5.3.4.4 ermittelt werden.

(12) Bei einer Aussteifung im Zugspannungsbereich entspricht die wirksame Querschnittsfläche $A_{sa,red}$ dem Flächenwert A_{sa} .

(13) Bei Stegen mit zwei Aussteifungen sollte für die reduzierte wirksame Fläche $A_{sb,red}$ bei der zweiten Aussteifung die Fläche A_{sb} angesetzt werden.

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

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

(16) Die wirksamen Querschnittswerte dürfen wahlweise durch Iteration weiter verbessert werden. Hierzu wird von der Schwerachse des wirksamen Querschnitts der Stege aus dem vorhergehenden Berechnungsschritt und den wirksamen Querschnittsflächen der Gurte mit der reduzierten Blechdicke t_{red} (für alle Teilflächen des Gurtes, die zu den Gurtaussteifungen A_s gehören) ausgegangen. Bei dieser Iteration sollte ein erhöhter Eingangswert für die wirksame Breite $s_{eff,0}$:

$$s_{eff,0} = 0,95 t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{com,Ed}}} \quad (5.41)$$

angesetzt werden.

5.5.3.4.4 Trapezprofile mit Aussteifungen in den Gurten und Stegen

(1) Bei Trapezprofilen mit Zwischensteifen in den Gurten und Stegen (siehe Bild 5.16) sollte die Interaktion zwischen dem Biegeknicken der Gurtsteifen und der Stegsteifen durch eine für beide Aussteifungstypen geltende modifizierte elastische kritische Spannung $\sigma_{cr,mod}$ berücksichtigt werden:

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1 + \left[\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}} \right]^4}} \quad (5.42)$$

Dabei ist

$\sigma_{cr,s}$ die elastische kritische Spannung für eine Gurtzwischensteife, siehe 5.5.3.4.2(2) für Gurte mit einer Aussteifung oder 5.5.3.4.2(3) für Gurte mit zwei Aussteifungen;

$\sigma_{cr,sa}$ die elastische kritische Spannung für eine einzelne Stegsteife oder bei zwei Stegaussteifungen für die Stegsteife neben dem Druckgurt (siehe 5.5.3.4.3(7));

A_s der wirksame Querschnitt einer Gurtzwischensteife;

A_{sa} der wirksame Querschnitt einer Stegzwischensteife;

$\beta_s = 1 - (h_a + 0,5 h_{ha}) / e_c$ bei Biegebeanspruchung des Profils;

$\beta_s = 1$ bei Druckbeanspruchung des Profils.

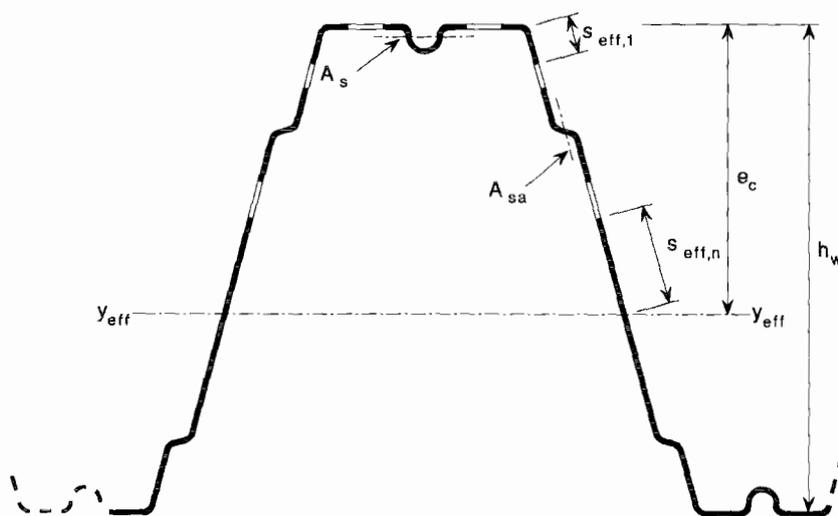


Bild 5.14 — Trapezprofil mit Gurt- und Stegsteifen

5.6 Beulen zwischen Verbindungsmitteln

(1) Beulen zwischen den Verbindungsmitteln sollten wie bei Bauteilen mit Schraubverbindungen überprüft werden, siehe EN 1993-1-8, Tabelle 3.3.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

6.1 Querschnittstragfähigkeit

6.1.1 Allgemeines

(1) Für die verschiedenen Beanspruchbarkeiten darf anstelle der rechnerischen Bemessung auch eine versuchsgestützte Bemessung durchgeführt werden.

ANMERKUNG Die versuchsgestützte Bemessung wirkt sich besonders bei relativ großen b_p/t -Verhältnissen günstig aus, z. B. im Hinblick auf inelastisches Verhalten, Stegkrüppeln oder bei Einflüssen aus mittragenden Breiten.

(2) Bei der rechnerischen Bemessung sind Einflüsse örtlichen Beulens in der Regel durch wirksame Querschnitte nach 5.5 zu berücksichtigen.

(3) Die Knicktragfähigkeit von Bauteilen ist in der Regel nach 6.2 nachzuweisen.

(4) Wenn Forminstabilität des Querschnitts auftreten kann, sollte die Möglichkeit seitlichen Ausknickens der Druckgurte und allgemein der Querbiegung der Gurte berücksichtigt werden, siehe 5.5 und 10.1.

6.1.2 Zentrischer Zug

(1) Der Bemessungswert der Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ sollte wie folgt bestimmt werden:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{ya} A_g}{\gamma_{M0}} \quad \text{jedoch } N_{t,Rd} \leq F_{n,Rd} \quad (6.1)$$

Dabei ist

A_g die Gesamtquerschnittsfläche;

$F_{n,Rd}$ die Beanspruchbarkeit des Nettoquerschnittes bei mechanischen Verbindungsmitteln nach 8.4;

f_{ya} die durchschnittliche Streckgrenze, siehe **AC** 3.2.2 **AC**.

(2) Die Beanspruchbarkeit eines Winkelprofils auf zentrischen Zug $N_{t,Rd}$, das nur an einem Schenkel angeschlossen ist, oder von anderen entsprechend angeschlossen Querschnitten ist in **AC** EN 1993-1-8, 3.10.3 **AC** geregelt.

6.1.3 Zentrischer Druck

(1) Der Bemessungswert der Grenzdruckkraft $N_{c,Rd}$ sollte folgendermaßen ermittelt werden:

— wenn die wirksame Fläche A_{eff} geringer als die Bruttoquerschnittsfläche A_g ist (Querschnitt, der wegen lokalen Ausbeulens oder Forminstabilität des Querschnitts abgemindert wird):

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (6.2)$$

— wenn die wirksame Fläche A_{eff} gleich der Bruttoquerschnittsfläche A_g ist (Querschnitte ohne eine Abminderung):

$$N_{c,Rd} = A_g (f_{yb} + (f_{ya} - f_{yb}) \lambda (1 - \bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0})) / \gamma_{M0} \quad \text{jedoch nicht mehr als } A_g f_{ya} / \gamma_{M0} \quad (6.3)$$

Dabei ist

A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche nach 5.5 für eine konstante Druckspannung von f_{yb} ;

f_{ya} die durchschnittliche Streckgrenze, siehe 3.2.2;

f_{yb} die Basisstreckgrenze;

AC gestrichener Text **AC**

bei ebenen Elementen $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p$ und $\bar{\lambda}_{e0} = 0,673$, siehe 5.5.2;

bei ausgesteiften Elementen $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d$ und $\bar{\lambda}_{e0} = 0,65$, siehe 5.5.3.

(2) Die Wirkungslinie der resultierenden Normalkraft ist in der Regel in der Schwerachse der Bruttoquerschnittsfläche anzusetzen. Es handelt sich hierbei um eine konservative Annahme, die ohne weiteren Nachweis verwendet werden darf. Weitergehende Berechnungen können zu einer realistischeren Wiedergabe der Schnittgrößen, z. B. im Falle eines gleichmäßigen Zuwachses der Normalkraft in einer druckbeanspruchten Teilfläche, führen.

(3) Die Tragfähigkeit eines druckbeanspruchten Querschnitts wird auf die Schwerachse des wirksamen Querschnitts bezogen. Wenn die Schwerachsen des Bruttoquerschnitts und des wirksamen Querschnitts nicht zusammenfallen, sollte der Versatz e_N (siehe Bild 6.1) der Schwerachsen nach 6.19 berücksichtigt werden. Ergibt der Nulllinienversatz ein günstiges Ergebnis beim Spannungsnachweis, darf er nur unter der Bedingung, dass die Ermittlung des wirksamen Querschnittes mit der Streckgrenze und nicht mit der tatsächlichen Druckspannung gerechnet wurde, vernachlässigt werden.

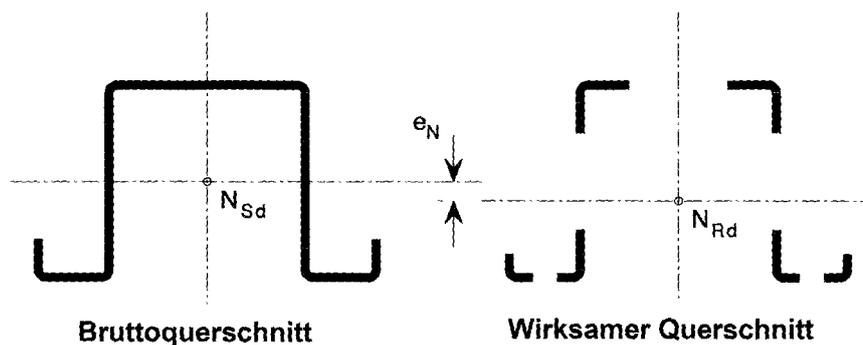


Bild 6.1 — Wirksamer druckbeanspruchter Querschnitt

6.1.4 Biegung

6.1.4.1 Elastische und teilplastische Beanspruchbarkeit bei Erreichen der Streckgrenze im Druckflansch

(1) Die Momentenfähigkeit $M_{c,Rd}$ eines Querschnitts für Biegebeanspruchung um eine Hauptachse wird wie folgt ermittelt (siehe Bild 6.2):

— wenn das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} geringer ist als das des Bruttoquerschnittes W_{cl} :

$$M_{c,Rd} = W_{\text{eff}} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (6.4)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

— wenn das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} dem des Bruttoquerschnitts W_{el} entspricht:

$$M_{\text{c,Rd}} = f_{\text{yb}} (W_{\text{el}} + (W_{\text{pl}} - W_{\text{el}}) \lambda(1 - \bar{\lambda}_{\text{e,max}} / \bar{\lambda}_{\text{e0}})) / \gamma_{\text{M0}}, \text{ jedoch nicht mehr als } W_{\text{pl}} f_{\text{yb}} / \gamma_{\text{M0}} \quad (6.5)$$

Dabei ist

$\bar{\lambda}_{\text{e,max}}$ die Schlankheit der Teilfläche, die das Maximum von $\bar{\lambda}_{\text{e}} / \bar{\lambda}_{\text{e0}}$ liefert;

- bei zweifach gelagerten Teilflächen $\bar{\lambda}_{\text{e}} = \bar{\lambda}_{\text{p}}$ und $\bar{\lambda}_{\text{e0}} = 0,5 + \sqrt{0,25 - 0,055(3 + \psi)}$, wobei ψ das Spannungsverhältnis ist, siehe 5.5.2;
- bei einseitig gelagerten Teilflächen $\bar{\lambda}_{\text{e}} = \bar{\lambda}_{\text{p}}$ und $\bar{\lambda}_{\text{e0}} = 0,673$, siehe 5.5.2;

AC gestrichener Text AC

Die resultierende Momententragfähigkeit ist in Bild 6.2 als Funktion einer Teilfläche dargestellt.

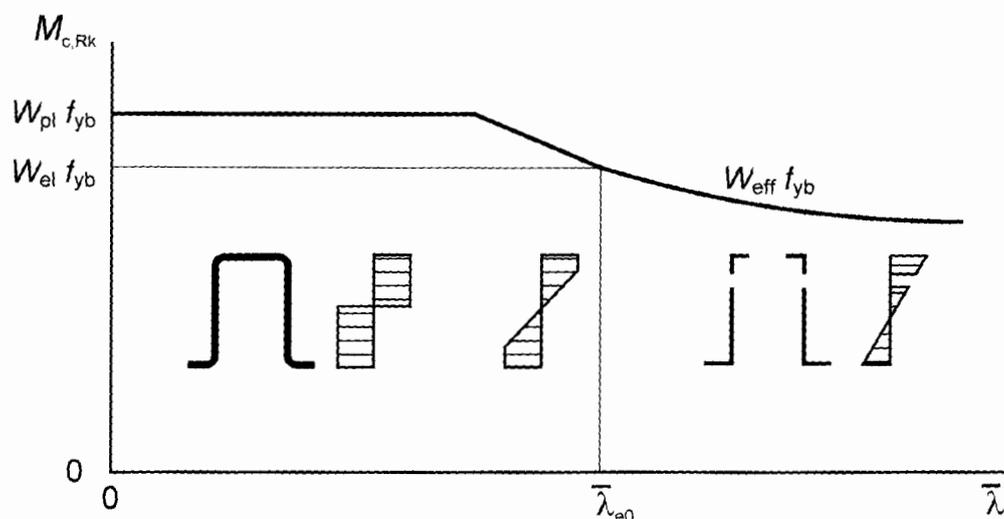


Bild 6.2 — Biegetragfähigkeit als Funktion der Schlankheit

(2) Ausdruck (6.5) gilt, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Biegung nur um eine Querschnittshauptachse;
- b) das Bauteil erhält keine Torsion und ist nicht stabilitätsgefährdet;
- c) der Winkel ϕ zwischen Steg (siehe Bild 6.5) und Gurt ist größer als 60° .

(3) Ist (2) nicht erfüllt, darf angesetzt werden:

$$M_{\text{c,Rd}} = W_{\text{el}} f_{\text{ya}} / \gamma_{\text{M0}} \quad (6.6)$$

(4) Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} gilt nur bei wirksamen Querschnitten, die um eine Hauptachse biegebeansprucht sind, bei einer Maximalspannung von $\sigma_{\text{max,Ed}} = f_{\text{yb}} / \gamma_{\text{M0}}$ unter Berücksichtigung lokaler Beuleffekte und Forminstabilität des Querschnitts nach 5.5. Sind mittragende Breiten querschnittsbestimmend, sollte diesem Umstand Rechnung getragen werden.

(5) Für die Bestimmung der wirksamen Stegfläche darf das Spannungsverhältnis $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ mit den wirksamen Gurtflächen und dem Bruttoquerschnitt der Stege ermittelt werden, siehe Bild 6.3.

(6) Wird die Streckgrenze zuerst im druckbeanspruchten Teil des Querschnitts erreicht und die Bedingung 6.1.4.2 nicht erfüllt, sollte das Widerstandsmoment W_{eff} mit einer linearen Spannungsverteilung über den Querschnitt berechnet werden.

(7) Bei Biegung um beide Achsen darf folgendes Kriterium angewendet werden:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1 \quad (6.7)$$

Dabei ist:

$M_{y,Ed}$ das Biegemoment um die starke Hauptachse (y-y-Achse);

$M_{z,Ed}$ das Biegemoment um schwache Hauptachse (z-z-Achse);

$M_{cy,Rd}$ die Momententragfähigkeit um die y-y-Achse;

$M_{cz,Rd}$ die Momententragfähigkeit um die z-z-Achse.

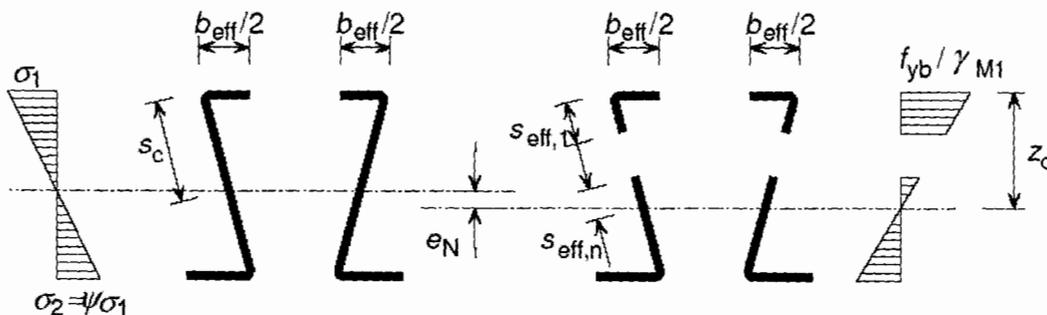


Bild 6.3 — Wirksamer Querschnitt bei Biegung

(8) Sollen Schnittgrößenumlagerungen bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden, so sollte anhand von Versuchsergebnissen nach Abschnitt 9 nachgewiesen werden, dass die in 7.2 gestellten Anforderungen erfüllt sind.

6.1.4.2 Elastische und teilplastische Tragfähigkeiten bei Plastizierungen nur im Zugflansch

(1) Unter der Voraussetzung, dass das Biegemoment nur um eine Querschnittshauptachse wirkt und die Streckgrenze zuerst auf der Biegezugseite erreicht wird, dürfen plastische Querschnittsreserven in der Zugzone ohne eine Dehnungsbegrenzung so weit ausgenutzt werden, bis die maximale Druckspannung den Grenzwert $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ erreicht. In diesem Abschnitt wird nur der Fall Biegung betrachtet. Bei Biegung und Axiallasten gilt 6.1.8 oder 6.1.9.

(2) In diesem Fall sollte das wirksame plastische Widerstandsmoment $W_{\text{pp,eff}}$ mit einer bilinearen Spannungsverteilung in der Biegezugzone und einer linearen Spannungsverteilung in der Biegedruckzone bestimmt werden.

(3) Ohne genauere Nachweise darf die wirksame Breite b_{eff} einer Teilfläche mit veränderlicher Spannung nach 5.5.2 ermittelt werden, wobei bei b_c unter der Annahme einer bilinearen Spannungsverteilung mit $\psi = -1$ ermittelt werden darf.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

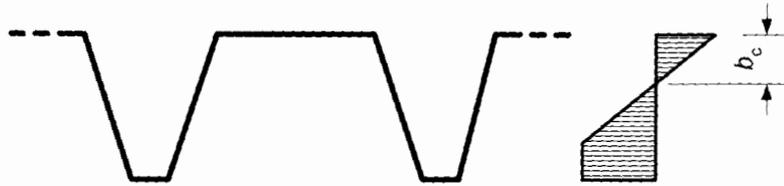


Bild 6.4 — Abmessung b_c zur Bestimmung der wirksamen Breite

(4) Sollen Schnittgrößenumlagerungen bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden, so ist in der Regel anhand von Versuchsergebnissen nach Abschnitt 9 nachzuweisen, dass die in 7.2 gestellten Anforderungen erfüllt sind.

6.1.4.3 Querschnitte mit mittragenden Breiten

(1) Mittragende Breiten sollten nach EN 1993-1-5 berücksichtigt werden.

6.1.5 Schubtragfähigkeit

(1) Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{b,Rd}$ sollte bestimmt werden mit:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}} \quad (6.8)$$

Dabei ist

f_{bv} die Grenzscherbspannung unter Berücksichtigung lokalen Beulens nach Tabelle 6.1;

h_w die Steghöhe zwischen den Mittelebenen der Gurte, siehe Bild 5.1c);

ϕ die Neigung des Steges in Bezug auf die Flansche, siehe Bild 6.5.

Tabelle 6.1 — Schubbeulfestigkeit f_{bv}

Stegschlankheitsgrad	Am Auflager nicht ausgesteifter Steg	Am Auflager ausgesteifter Steg ^a
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

^a Aussteifung am Lager, z. B. durch Lagerknaggen oder Lagerleisten zur Vermeidung von Stegverformungen und zur Aufnahme von Lagerreaktionen

(2) Die bezogene Stegslankheit $\bar{\lambda}_w$ sollte folgendermaßen ermittelt werden:

— bei Stegen ohne Längsaussteifungen:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \quad (6.10a)$$

— bei Stegen mit Längsaussteifungen, siehe Bild 6.5:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_{yb}}{k_\tau E}} \quad \text{jedoch} \quad \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \quad (6.10b)$$

mit:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \left(\frac{\Sigma I_s}{s_d} \right)^{1/3}$$

Dabei ist

- I_s das Flächenmoment 2. Grades der Längssteife um die Achse a–a entsprechend der Definition in 5.5.3.4.3(7) und der Darstellung in Bild 6.5;
- s_d die Abwicklung der Steglänge nach Bild 6.5;
- s_p die Steglänge der breitesten ebenen Teilfläche im Steg, siehe Bild 6.5;
- s_w die Steglänge, wie in Bild 6.5 dargestellt, zwischen den Eckpunkten der Gurte, siehe Bild 5.1c).

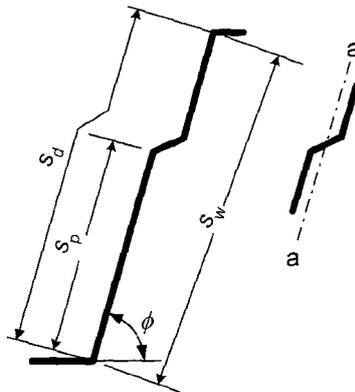


Bild 6.5 — Längsausgesteifter Steg

6.1.6 Torsionsmomente

- (1) Greifen Querlasten nicht im Schubmittelpunkt an, so ist in der Regel die Wirkung der Torsion zu berücksichtigen.
- (2) Schwerachse, Schubmittelpunktachse und Zwangsdrillruheachse zur Bestimmung der Torsionseffekte sind in der Regel am Bruttoquerschnitt zu bestimmen.
- (3) Die aus der Normalkraft N_{Ed} und den Biegemomenten $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ resultierenden Längsspannungen sollten mit dem entsprechenden wirksamen Querschnitt aus 6.1.2 bis 6.1.4 bestimmt werden. Die Schubspannungen infolge Querkraft und primärer (St. Venant'scher) Torsion sowie die Normalspannungen und Schubspannungen infolge Wölbkrafttorsion sollten am Bruttoquerschnitt ermittelt werden.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(4) Bei torsionsbeanspruchten Querschnitten sollten folgende Bedingungen für die Bemessungswerte nachgewiesen werden. Für die Streckgrenze darf ein einheitlicher Wert nach 3.2.2 verwendet werden.

$$\sigma_{\text{tot,Ed}} \leq f_{ya} / \gamma_{M0} \quad (6.11a)$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} \leq \frac{f_{ya} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad (6.11b)$$

$$\sqrt{\sigma_{\text{tot,Ed}}^2 + 3 \tau_{\text{tot,Ed}}^2} \leq 1,1 \frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}} \quad (6.11c)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{tot,Ed}}$ die Summe der mit den jeweilig wirksamen Querschnitten berechneten Normalspannungen;

$\tau_{\text{tot,Ed}}$ die Summe der am Bruttoquerschnitt berechneten Schubspannungen.

(5) Für die Summe der Bemessungswerte der Normalspannungen $\sigma_{\text{tot,Ed}}$ und die Summe der Bemessungswerte der Schubspannungen $\tau_{\text{tot,Ed}}$ gilt:

$$\sigma_{\text{tot,Ed}} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed} + \sigma_{w,Ed} \quad (6.12a)$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed} \quad (6.12b)$$

Dabei ist

$\sigma_{M_y,Ed}$ die Biegenormalspannung infolge von $M_{y,Ed}$ (am wirksamen Querschnitt);

$\sigma_{M_z,Ed}$ die Biegenormalspannung infolge von $M_{z,Ed}$ (am wirksamen Querschnitt);

$\sigma_{N,Ed}$ die Normalspannung infolge von N_{Ed} (am wirksamen Querschnitt);

$\sigma_{w,Ed}$ die Wölbnormalspannung (am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{V_y,Ed}$ die Schubspannung infolge Querkraft $V_{y,Ed}$ (am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{V_z,Ed}$ die Schubspannung infolge Querkraft $V_{z,Ed}$ (am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{t,Ed}$ die Schubspannung infolge primärer (St. Venant'scher) Torsion (am Bruttoquerschnitt);

$\tau_{w,Ed}$ die Wölbschubspannung (am Bruttoquerschnitt).

6.1.7 Örtliche Lasteinleitung

6.1.7.1 Allgemeines

(1)P Um örtliches Zusammendrücken, Stegkrüppeln oder örtliches Beulen im Steg, hervorgerufen durch Auflagerkräfte oder örtliche Lasteinleitungen durch den Flansch in den Steg, zu vermeiden, ist nachzuweisen, dass:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \quad (6.13)$$

Dabei ist

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

(2) Die Beanspruchbarkeit des Steges unter örtlicher Lasteinleitung $R_{w,Rd}$ ist in der Regel folgendermaßen zu bestimmen:

a) bei nicht ausgesteiften Stegen:

— Querschnitte mit einem Stegblech: nach 6.1.7.2;

— andere Querschnitte einschließlich Profilbleche: nach 6.1.7.3;

b) bei ausgesteiften Stegen: nach 6.1.7.4.

(3) Die örtliche Beanspruchbarkeit des Steges muss nicht nachgewiesen werden, wenn die Einzellast oder Auflagerkraft über eine Aussteifung eingeleitet wird, die Profilverformungen verhindert und für die Lasteinleitung bemessen ist.

(4) Bei I-Trägern, die aus zwei C-Profilen oder ähnlichen Querschnitten durch Verbindung an den Stegen gebildet werden, sollten die Stegverbindungen so nahe wie möglich an den Gurten liegen.

6.1.7.2 Querschnitte mit einem nicht ausgesteiften Steg

(1) Bei Querschnitten mit nur einem nicht ausgesteiften Steg, siehe Bild 6.6, darf die Beanspruchbarkeit für örtliche Lasteinleitung wie in (2) angegeben ermittelt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$h_w / t \leq 200 \quad (6.14a)$$

$$r / t \leq 6 \quad (6.14b)$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \quad (6.14c)$$

Dabei ist

h_w die Steghöhe zwischen den Mittellinien der Gurte;

r der innere Biegeradius an den Ecken;

ϕ der Neigungswinkel des Steges in Bezug auf die Gurte in Grad.

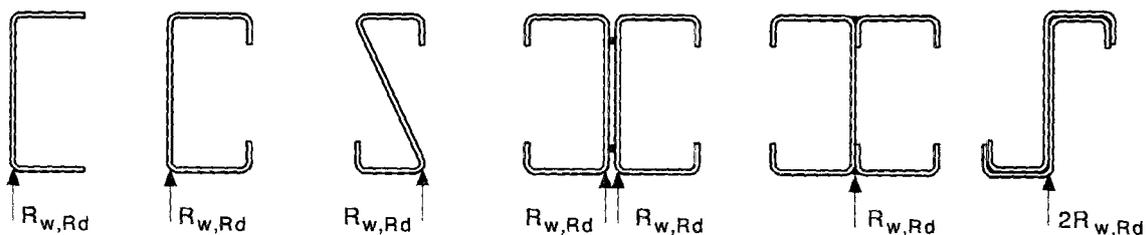


Bild 6.6 — Beispiele für Querschnitte mit nur einem Steg

(2) Bei Querschnitten, welche die Bedingungen in (1) erfüllen, darf die Beanspruchbarkeit für örtliche Lasteinleitung $R_{w,Rd}$ nach Bild 6.7 ermittelt werden.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(3) Die Beiwerte k_1 bis k_5 sind in der Regel folgendermaßen zu bestimmen:

$$k_1 = 1,33 - 0,33 k$$

$$k_2 = 1,15 - 0,15 r/t \quad \text{jedoch } k_2 \geq 0,50 \quad \text{und } k_2 \leq 1,0$$

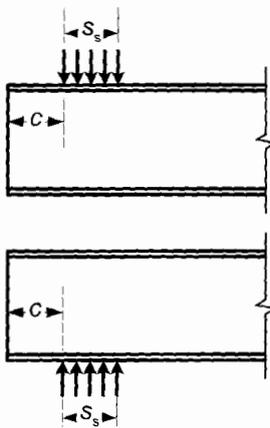
$$k_3 = 0,7 + 0,3 (\phi / 90)^2$$

$$k_4 = 1,22 - 0,22 k$$

$$k_5 = 1,06 - 0,06 r/t \quad \text{jedoch } k_5 \leq 1,0$$

Dabei ist

$$k = f_{yb} / 228 \quad \text{mit } f_{yb} \text{ in N/mm}^2.$$



a) Bei einer Einzellast oder Lagerreaktion

i) $c \leq 1,5 h_w$ Abstand vom freien Ende:

— bei Querschnitten mit ausgesteiften Gurten:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[9,04 - \frac{h_w/t}{60} \right] \left[1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15a)$$

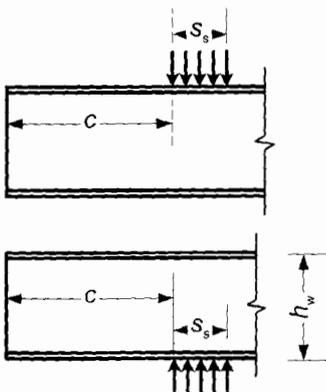
— bei Querschnitten mit nicht ausgesteiften Gurten:

— wenn $s_s/t \leq 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[5,92 - \frac{h_w/t}{132} \right] \left[1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15b)$$

— wenn $s_s/t > 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[5,92 - \frac{h_w/t}{132} \right] \left[0,71 + 0,015 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15c)$$



ii) $c > 1,5 h_w$ Abstand vom freien Ende:

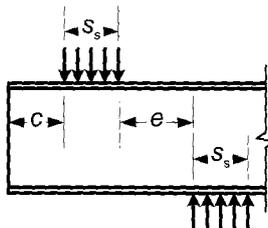
— wenn $s_s/t \leq 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[14,7 - \frac{h_w/t}{49,5} \right] \left[1 + 0,007 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15d)$$

— wenn $s_s/t > 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[14,7 - \frac{h_w/t}{49,5} \right] \left[0,75 + 0,011 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15e)$$

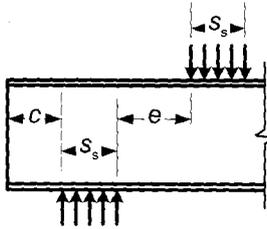
Bild 6.7 a) — Örtliche Lasteinleitungen und Auflager — Querschnitte mit nur einem Steg



b) Bei zwei entgegengesetzten Querlasten weniger als $e = 1,5 h_w$ voneinander entfernt:

i) $c \leq 1,5 h_w$ Abstand vom freien Ende:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[6,66 - \frac{h_w/t}{64} \right] \left[1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15f)$$



ii) $c > 1,5 h_w$ Abstand vom freien Ende:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[21,0 - \frac{h_w/t}{16,3} \right] \left[1 + 0,0013 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.15g)$$

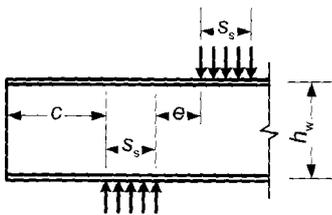
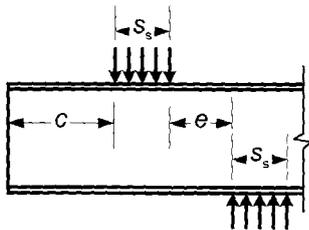


Bild 6.7 b) — Örtliche Lasteinleitungen und Auflager — Querschnitte mit nur einem Steg

(4) Ist die Stegverdrehung entweder durch geeignete Aussteifungen oder aufgrund der Querschnittsgeometrie behindert (siehe z. B. zusammengesetzte I-Profile Nr. 4 und 5 in Bild 6.6), so darf die Stegbeanspruchbarkeit für örtliche Lasteinleitung $R_{w,Rd}$ folgendermaßen bestimmt werden:

a) bei einer Einzellast oder Auflagerreaktion

i) $c < 1,5 h_w$ (nahe oder direkt am freien Ende) bei Querschnitten mit aussteiften und nicht aussteiften Gurten

$$R_{w,Rd} = \frac{k_7 \left[8,8 + 1,1 \sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16a)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- ii) $c > 1,5 h_w$ (vom freien Ende entfernt) bei Querschnitten mit ausgesteiften und nicht ausgesteiften Gurten

$$R_{w,Rd} = \frac{k_5^* k_6 \left[13,2 + 2,87 \sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16b)$$

- b) bei entgegengesetzten Belastungen oder Lagerreaktionen

- i) $c < 1,5 h_w$ (nahe oder direkt am freien Ende) bei Querschnitten mit ausgesteiften und nicht ausgesteiften Gurten

$$R_{w,Rd} = \frac{k_{10} k_{11} \left[8,8 + 1,1 \sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16c)$$

- ii) $c > 1,5 h_w$ (vom freien Ende entfernt) bei Querschnitten mit ausgesteiften und nicht ausgesteiften Gurten

$$R_{w,Rd} = \frac{k_8 k_9 \left[13,2 + 2,87 \sqrt{\frac{s_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}} \quad (6.16d)$$

Die Beiwerte k_5^* bis k_{11} werden folgendermaßen bestimmt:

$$k_5^* = 1,49 - 0,53 k \quad \text{jedoch } k_5^* \geq 0,6$$

$$k_6 = 0,88 - 0,12 t / 1,9$$

$$\boxed{AC} k_7 = 1 + h_w / (t \times 750) \quad \boxed{AC} \quad \text{wenn } s_s / t < 150 ; \quad k_7 = 1,20 \quad \text{wenn } s_s / t > 150$$

$$k_8 = 1 / k \quad \text{wenn } s_s / t < 66,5 ; \quad \boxed{AC} k_8 = (1,10 - h_w / (t \times 665)) / k \quad \boxed{AC} \quad \text{wenn } s_s / t > 66,5$$

$$k_9 = 0,82 + 0,15 t / 1,9$$

$$\boxed{AC} k_{10} = (0,98 - h_w / (t \times 865)) / k \quad \boxed{AC}$$

$$k_{11} = 0,64 + 0,31 t / 1,9$$

Dabei ist

$$k = f_{yb} / 228 \quad \text{mit } f_{yb} \text{ in N/mm}^2;$$

s_s die Länge der steifen Lasteinleitung.

Wenn zwei gleich große und entgegengerichtete Querkräfte mit verschiedenen Längen der steifen Lasteinleitung angreifen, ist der kleinere Wert für s_s maßgebend.

6.1.7.3 Querschnitte mit zwei oder mehreren nicht aussteiften Stegen

(1) Bei Querschnitten mit zwei oder mehr nicht aussteiften Stegen einschließlich der Stege von Profilblechen, siehe Bild 6.8, sollte die Beanspruchbarkeit eines nicht aussteiften Steges nach (2) ermittelt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- der Abstand c zwischen dem Auflagerende oder der Lasteinleitung und dem freien Ende, siehe Bild 6.9, beträgt mindestens 40 mm;
- der Querschnitt erfüllt die folgenden Bedingungen:

$$r/t \leq 10 \quad (6.17a)$$

$$h_w/t \leq 200 \sin \phi \quad (6.17b)$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \quad (6.17c)$$

Dabei ist

h_w die Steghöhe zwischen den Mittelebenen der Gurte;

r der innere Biegeradius der Ecken;

ϕ der Neigungswinkel des Steges in Bezug auf die Flansche in Grad.

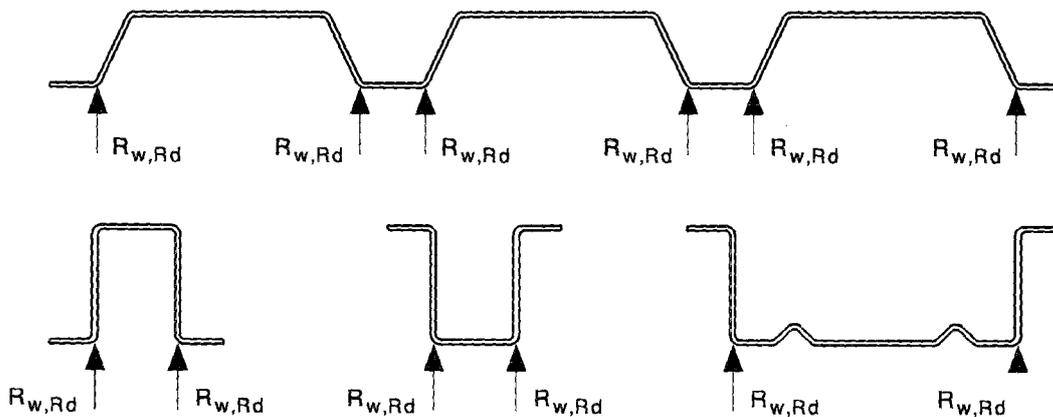


Bild 6.8 — Beispiele für Querschnitte mit zwei und mehr Stegen

(2) Sind beide Bedingungen in (1) erfüllt, sollte die Beanspruchbarkeit $R_{w,Rd}$ für lokale Querlasten je Steg folgendermaßen ermittelt werden:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} (1 - 0,1 \sqrt{r/t}) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] (2,4 + (\phi / 90)^2) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

Dabei ist

l_a die wirksame Lasteinleitungslänge für die maßgebende Kategorie, siehe (3);

α ein Beiwert, siehe (3).

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(3) Die Werte für l_a und α sind nach (4) bzw. (5) zu bestimmen. Der maximale Bemessungswert für l_a beträgt $l_a = 200$ mm. Besteht das Lager aus einem kaltgeformten Profil oder einem Rundhohlprofil, so gilt $s_s = 10$ mm. Die maßgebende Kategorie (1 oder 2) orientiert sich am lichten Abstand e zwischen der lokalen Lasteinleitung und dem nächstgelegenen Auflager, oder aber dem lichten Abstand c zwischen Auflager oder lokaler Lasteinleitung und dem freien Ende, siehe Bild 6.9.

(4) Die wirksame Auflagerlänge l_a ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

a) für Kategorie 1: $l_a = 10 \text{ mm}$ (6.19a)

b) für Kategorie 2:

— $\beta_V \leq 0,2$: $l_a = s_s$ (6.19b)

— $\beta_V \geq 0,3$: $l_a = 10 \text{ mm}$ (6.19c)

— $0,2 < \beta_V < 0,3$: lineare Interpolation zwischen l_a für 0,2 und 0,3 mit:

$$\beta_V = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|}$$

Dabei sind $|V_{Ed,1}|$ und $|V_{Ed,2}|$ die Beträge der Querkräfte auf jeder Seite der örtlichen Lasteinleitung oder der Auflagerreaktion. Es gilt $|V_{Ed,1}| \geq |V_{Ed,2}|$. Der Wert s_s ist die Länge der steifen Lasteinleitung.

(5) Die Beiwerte α sollten folgendermaßen bestimmt werden:

a) Kategorie 1:

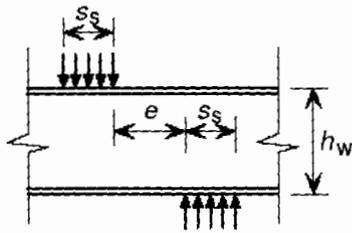
— bei Profilblechen: $\alpha = 0,075$ (6.20a)

— bei Kassettenprofilen und Hutprofilen: $\alpha = 0,057$ (6.20b)

b) Kategorie 2:

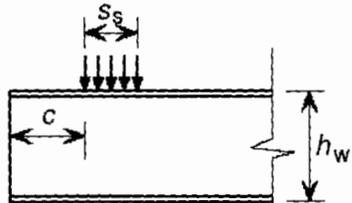
— bei Profilblechen: $\alpha = 0,15$ (6.20c)

— bei Kassettenprofilen und Hutprofilen: $\alpha = 0,115$ (6.20d)



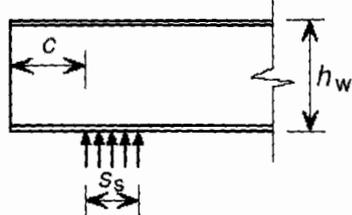
Kategorie 1

– lokale Lasteinleitung im Abstand $e \leq 1,5 h_w$ vom nächsten Auflager;



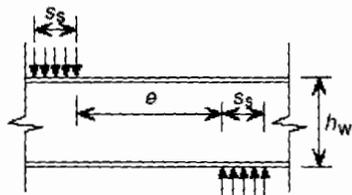
Kategorie 1

– lokale Lasteinleitung im Abstand $c \leq 1,5 h_w$ vom freien Ende;



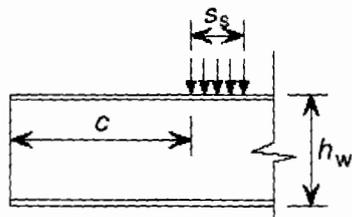
Kategorie 1

– Lagerreaktion im Abstand $c \leq 1,5 h_w$ vom freien Ende;



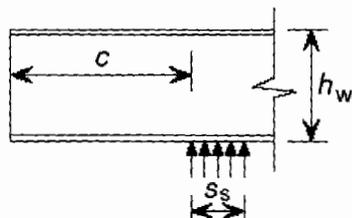
Kategorie 2

– lokale Lasteinleitung im Abstand $e > 1,5 h_w$ zum nächsten Auflager;



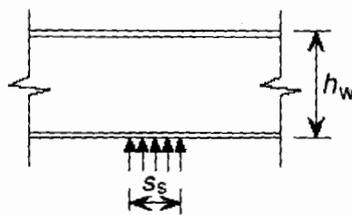
Kategorie 2

– lokale Lasteinleitung im Abstand $c > 1,5 h_w$ vom freien Ende;



Kategorie 2

– Lagerreaktion im Abstand $c > 1,5 h_w$ vom freien Ende;



Kategorie 2

– Lagerreaktion am Zwischenauflager.

Bild 6.9 — Lokale Lasteinleitungen und Lagerreaktionen — Kategorien für Querschnitte mit zwei oder mehreren Stegen

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

6.1.7.4 Ausgesteifte Stege

(1) Die Beanspruchbarkeit von ausgesteiften Stegen für örtliche Lasteinleitung darf bei Stegquerschnitten mit Längsaussteifungen nach (2) ermittelt werden, wenn die Verbindungslinie zwischen den Gurteckpunkten die Aussteifungen schneidet und wenn die folgende Bedingung eingehalten wird, siehe Bild 6.10:

$$2 < \frac{e_{\max}}{t} < 12 \quad (6.21)$$

Dabei ist

e_{\max} die größere Exzentrizität eines Stefeneckpunktes gegenüber der Verbindungslinie der Gurteckpunkte.

(2) Bei ausgesteiften Stegen, welche die Bedingung (1) erfüllen, kann die örtliche Beanspruchbarkeit durch Multiplikation der Beanspruchbarkeit des unausgesteiften Steges nach 6.1.7.2 oder 6.1.7.3 mit dem Faktor $\kappa_{a,s}$ ermittelt werden:

$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{\max} / t \quad \text{jedoch } \kappa_{a,s} \leq 0,95 + 35\,000 t^2 e_{\min} / (b_d^2 s_p) \quad (6.22)$$

Dabei ist

b_d die Abwicklungslänge des belasteten Gurtes, siehe Bild 6.10;

e_{\min} die geringere Exzentrizität eines Stefeneckpunktes gegenüber der Verbindungslinie der Gurteckpunkte;

s_p die Steglänge der ebenen Teilfläche des Steges direkt am belasteten Gurt, siehe Bild 6.10.

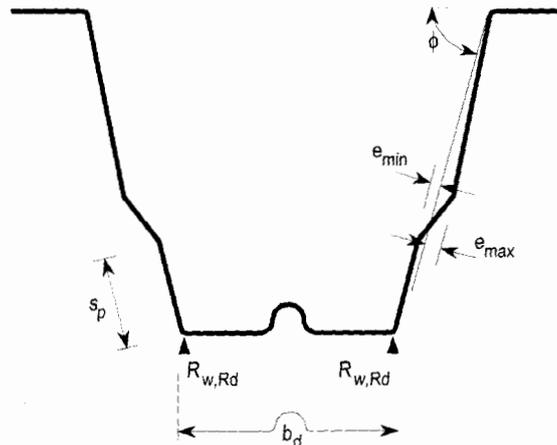


Bild 6.10 — Ausgesteifte Stege

6.1.8 Kombinierte Beanspruchung aus Zug und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Einwirkung von Zugkräften N_{Ed} und Biegemomenten $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ ist in der Regel folgender Nachweis zu erbringen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1 \quad (6.23)$$

Dabei ist

$N_{t,Rd}$ die Beanspruchbarkeit auf zentrischen Zug (6.1.2);

$M_{cy,Rd,ten}$ die Momententragfähigkeit um die y - y -Achse, begrenzt durch die Zugspannung (6.1.4);

$M_{cz,Rd,ten}$ die Momententragfähigkeit um die z - z -Achse, begrenzt durch die Zugspannung (6.1.4).

(2) Bei $M_{cy,Rd,com} \leq M_{cy,Rd,ten}$ oder $M_{cz,Rd,com} \leq M_{cz,Rd,ten}$ (wobei $M_{cy,Rd,com}$ und $M_{cz,Rd,com}$ die Momententragfähigkeiten des Querschnitts um die jeweilige Achse bei Beanspruchung durch die Druckspannung sind) muss in der Regel folgendes Kriterium erfüllt sein:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

6.1.9 Kombinierte Beanspruchung aus Druck und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Einwirkung von Druckkräften N_{Ed} und Biegemomenten $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ ist in der Regel folgender Nachweis zu erbringen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1 \quad (6.25)$$

mit $N_{c,Rd}$ nach 6.1.3 und $M_{cy,Rd,com}$ und $M_{cz,Rd,com}$ nach 6.1.8.

(2) Die sich aus der Schwerachsenverschiebung ergebenden Zusatzmomente $\Delta M_{y,Ed}$ und $\Delta M_{z,Ed}$ werden folgendermaßen bestimmt:

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_{Ny}$$

$$\Delta M_{z,Ed} = N_{Ed} e_{Nz}$$

wobei e_{Ny} und e_{Nz} die Schwerachsenverschiebungen senkrecht zur y - y - und z - z -Achse infolge axialer Beanspruchung sind, siehe 6.1.3(3).

(3) Wenn $M_{cy,Rd,ten} \leq M_{cy,Rd,com}$ oder $M_{cz,Rd,ten} \leq M_{cz,Rd,com}$ sollte folgendes Kriterium erfüllt werden:

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (6.26)$$

mit $M_{cy,Rd,ten}$ und $M_{cz,Rd,ten}$ definiert in 6.1.8.

6.1.10 Kombinierte Beanspruchung aus Querkraft, Axialkraft und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Beanspruchung aus einer Axialkraft N_{Ed} , einem Biegemoment M_{Ed} und einer Querkraft V_{Ed} braucht infolge der Querkraft keinerlei Abminderung durchgeführt zu werden, solange $V_{Ed} \leq 0,5 V_{w,Rd}$ ist. Liegt die Querkraft oberhalb der Hälfte der Querkrafttragfähigkeit, ist in der Regel die folgende Gleichung einzuhalten:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{t,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1,0 \quad (6.27)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- N_{Rd} die Tragfähigkeit des Querschnitts für Zug oder Druck nach 6.1.2 oder 6.1.3;
 $M_{y,Rd}$ die Momententragfähigkeit eines Querschnitts nach 6.1.4;
 $V_{w,Rd}$ die Bemessungsschubtragfähigkeit eines Stegs nach 6.1.5(1);
 $M_{f,Rd}$ die plastische Momententragfähigkeit eines Querschnitts, der nur aus den wirksamen Flächen der Flansche gebildet wird, siehe EN 1993-1-5;
 $M_{pl,Rd}$ die plastische Momententragfähigkeit eines Querschnitts, siehe EN 1993-1-5.

Bei Bauteilen und Profilblechen mit mehr als nur einem Steg ist $V_{w,Rd}$ die Summe der Stegtragfähigkeiten, siehe auch EN 1993-1-5.

6.1.11 Kombinierte Beanspruchung aus Biegung und lokaler Lasteinleitung oder Lagerreaktion

(1) Bei Querschnitten mit gleichzeitiger Beanspruchung aus Biegung M_{Ed} und aus einer örtlichen Querlast F_{Ed} (Lasteinleitung oder Lagerreaktion) sind in der Regel folgende Bedingungen einzuhalten:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1 \quad (6.28a)$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1 \quad (6.28b)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25 \quad (6.28c)$$

Dabei ist

- $M_{c,Rd}$ die Momententragfähigkeit des Querschnitts nach 6.1.4.1(1);
 $R_{w,Rd}$ die Beanspruchbarkeit des Querschnitts für örtliche Lasteinleitung nach 6.1.7.

Das Biegemoment M_{Ed} in Gleichung (6.28c) darf am Rand des Auflagers ermittelt werden. Bei Bauteilen und Blechkonstruktionen mit mehr als einem Steg ist $R_{w,Rd}$ die Summe der Beanspruchbarkeiten der Einzelstege.

6.2 Stabilitätsnachweise für Bauteile

6.2.1 Allgemeines

- (1) Bei Bauteilen, deren Querschnitte zu Forminstabilität neigen, sollte ein mögliches seitliches Ausknicken der Druckgurte und allgemein die Querbiegung der Gurte berücksichtigt werden.
 (2) Der Einfluss örtlichen Blechbeulens und der Forminstabilität des Querschnitts auf die Tragfähigkeit ist in der Regel nach 5.5 zu berücksichtigen.

6.2.2 Biegeknicken

- (1) Die Tragfähigkeit $N_{b,Rd}$ für Biegeknicken ist in der Regel nach EN 1993-1-1 mit der entsprechenden querschnittsabhängigen von der Biegeknickachse und der Materialfestigkeit abhängigen Knicklinie aus Tabelle 6.3 zu ermitteln, siehe (3).
 (2) Für in Tabelle 6.3 nicht dargestellte Querschnitte sollte eine gleichwertige Knickspannungslinie angesetzt werden.

(3) Die Tragfähigkeit für Biegeknicken von zusammengesetzten, geschlossenen Querschnitten sollte wie folgt bestimmt werden:

- entweder mit Knickspannungslinie b auf der Grundlage der Nennstreckgrenze f_{yb} des Grundmaterials;
- oder mit Knickspannungslinie c auf der Grundlage der durchschnittlichen rechnerischen Streckgrenze f_{ya} des Bauteils nach der Kaltumformung, wie in 3.2.3 definiert, vorausgesetzt, dass $A_{\text{eff}} = A_g$ ist.

6.2.3 Drillknicken und Biegedrillknicken

(1) Bei Bauteilen mit punktsymmetrischem offenem Querschnitt (z. B. Z-Pfetten mit gleich großen Flanschen) sollte die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass die Tragfähigkeit als Folge des Drillknickens geringer ist als beim Biegeknicken.

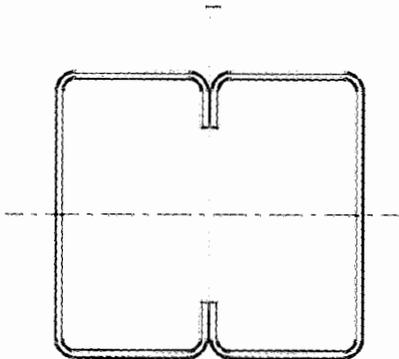
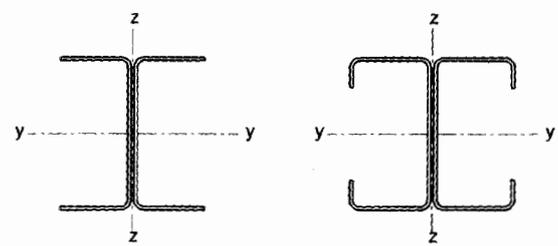
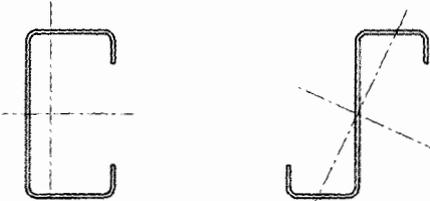
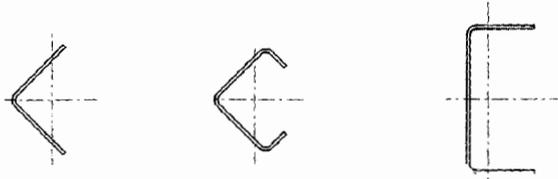
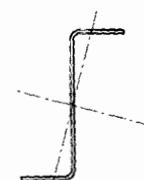
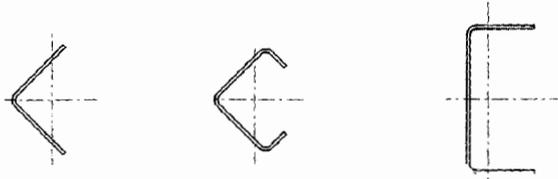
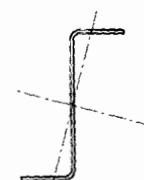
(2) Bei Bauteilen mit einfach symmetrischem Querschnitt, siehe Bild 6.12, sollte die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass die Tragfähigkeit entweder als Folge des Drillknickens oder Biegedrillknickens geringer ist als beim Biegeknicken.

(3) Bei Bauteilen mit unsymmetrischem Querschnitt sollte die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass die Tragfähigkeit entweder als Folge des Drillknickens oder Biegedrillknickens geringer ist als beim Biegeknicken.

(4) Die Tragfähigkeit $N_{b,Rd}$ für Drillknicken oder Biegedrillknicken sollte nach EN 1993-1-1, 6.3.1.1 mit der maßgebenden Knickspannungslinie für Knicken senkrecht zur z - z -Achse aus Tabelle 6.3 bestimmt werden.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.3 — Knickspannungslinien für unterschiedliche Querschnittstypen

Querschnittstyp	Knicken senkrecht zur Achse	Knickspannungslinie
	bei Verwendung von f_{yb}	Jede
	bei Verwendung von f_{ya} ^a	Jede
	y-y	a
	z-z	b
  <p>oder anderer Querschnitt</p>	Jede	b
  <p>oder anderer Querschnitt</p>	Jede	c

^a Die durchschnittliche rechnerische Streckgrenze f_{ya} darf nur bei $A_{eff} = A_g$ angesetzt werden.

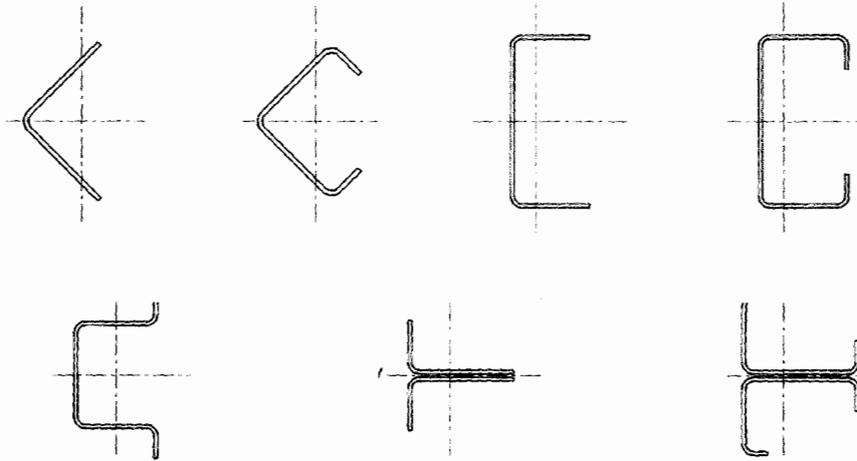


Bild 6.12 — Auf Biegedrillknicken zu untersuchende, einfach symmetrische Querschnitte

(5) Die elastische kritische Last $N_{cr,T}$ für Drillknicken beidseitig gelenkig gelagerter Stäbe lautet:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{l_T^2} \right) \quad (6.33a)$$

mit:

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \quad (6.33b)$$

Dabei ist

G der Schubmodul;

I_t der Torsionswiderstand (St. Venant'sches Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnitts;

I_w der Wölbwiderstand des Gesamtquerschnitts;

i_y der Trägheitsradius des Gesamtquerschnitts senkrecht zur y - y -Achse;

i_z der Trägheitsradius des Gesamtquerschnitts senkrecht zur z - z -Achse;

l_T die Bauteilknicklänge für Drillknicken;

y_0, z_0 die Koordinaten des Schubmittelpunkts bezogen auf den Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts.

AC

(6) Bei doppelt symmetrischen Querschnitten (d. h. $y_0 = z_0 = 0$) lautet die elastische kritische Last N_{cr} :

$$N_{cr} = N_{cr,i} \quad (6.34)$$

wobei $N_{cr,i}$ mindestens aus den drei Werten $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$, $N_{cr,T}$ ermittelt werden sollte. AC

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(7) Bei Querschnitten mit einfacher Symmetrie um die y - y -Achse (d. h. $z_0 = 0$) gilt für die elastische kritische Last $N_{cr,TF}$ für Biegedrillknicken:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4\left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right] \quad (6.35)$$

mit:

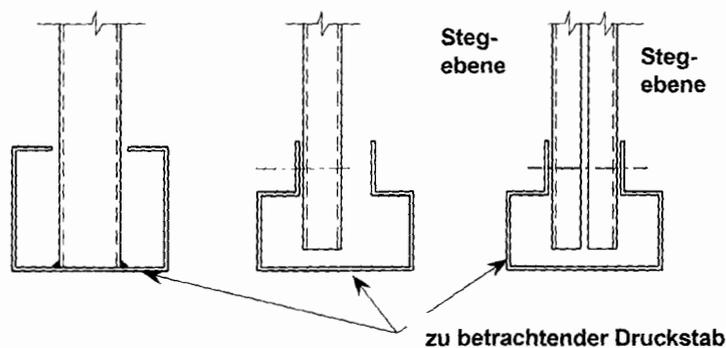
$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2$$

AC Gleichung (6.35) gilt nur, wenn die Knicklänge für Drillknicken und die Knicklänge für Biegeknicken gleich sind, d. h. $l_y = l_T$. **AC**

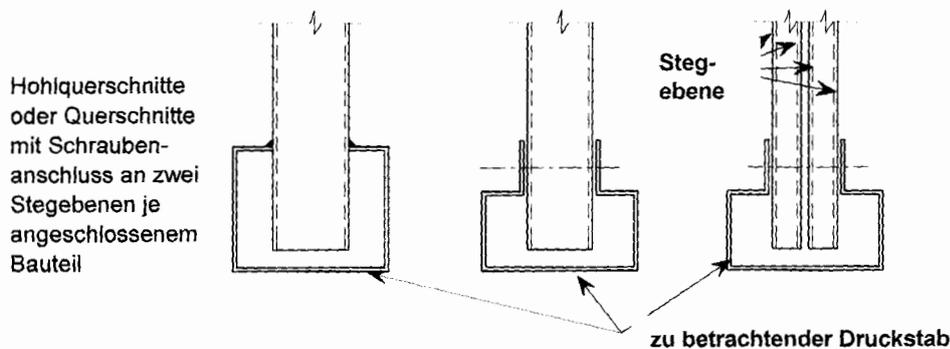
(8) Bei der Bestimmung der Knicklänge l_T für Drillknicken oder Biegedrillknicken sind in der Regel die Torsions- und Wölbbehinderungen an jedem Ende der Systemlänge L_T einzubeziehen.

(9) Bei praxisüblichen Anschlüssen an jedem Ende darf der Wert für l_T/L_T folgendermaßen angesetzt werden:

- 1,0 bei Anschlüssen mit teilweiser Torsions- und Wölbbehinderung, siehe Bild 6.13a);
- 0,7 bei Anschlüssen mit erheblicher Torsions- und Wölbbehinderung, siehe Bild 6.13b).



a) Verbindungen mit teilweiser Torsions- und Verwölbungsbehinderung



b) Verbindungen mit erheblicher Torsions- und Verwölbungsbehinderung

Bild 6.13 — Torsions- und Wölbbehinderungen bei praxisüblichen Stabanschlüssen

6.2.4 Biegedrillknicken biegebeanspruchter Bauteile

(1) Die Tragfähigkeit biegebeanspruchter Träger gegenüber Biegedrillknicken sollte nach EN 1993-1-1, 6.3.2.2 mit den Knickspannungslinien b bestimmt werden.

(2) Dieses Verfahren ist bei Querschnitten, bei denen sich ein ausgeprägter Winkel zwischen den Hauptachsen des wirksamen Querschnitts gegenüber den Hauptachsen des Bruttoquerschnitts einstellt, nicht verwendbar.

6.2.5 Biegung und zentrische Druckkraft

(1) Die Interaktion zwischen Normalkraft und Biegemoment darf mit einer Bauteilberechnung nach Theorie 2. Ordnung nach EN 1993-1-1 mit den wirksamen Querschnitten nach 5.5 durchgeführt werden. Siehe auch 5.3.

(2) Alternativ kann die Interaktionsbeziehung (6.36) verwendet werden:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0,8} \leq 1,0 \quad (6.36)$$

Dabei ist $N_{b,Rd}$ die Tragfähigkeit eines druckbeanspruchten Bauteils nach 6.2.2 (für Biegeknicken, Drillknicken und Biegedrillknicken) und $M_{b,Rd}$ die Momententragfähigkeit nach 6.2.4. Das Biegemoment M_{Ed} enthält die Exzentrizität aus der Verschiebung der neutralen Achse.

6.3 Biegung und Zugkraft

(1) Es gelten die Interaktionsbeziehungen in 6.2.5.

7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

7.1 Allgemeines

(1) Die Regelungen zu den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit nach EN 1993-1-1, Abschnitt 7 gelten auch für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche.

(2) Die nach 5.1 bestimmten, wirksamen Querschnittswerte für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollten bei allen Berechnungen zur Gebrauchstauglichkeit kaltgeformter, dünnwandiger Bauteile und Bleche angewendet werden.

(3) Das wirksame Flächenmoment 2. Grades darf vereinfacht als Interpolation zwischen Bruttoquerschnitt und wirksamem Querschnitt mit dem folgenden Ausdruck ermittelt werden:

$$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma} (I_{gr} - I(\sigma)_{eff}) \quad (7.1)$$

Dabei ist

I_{gr} das Flächenmoment 2. Grades des Bruttoquerschnitts;

σ_{gr} die maximale Druckspannung am Bruttoquerschnitt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Druckspannung positiv);

$I(\sigma)_{eff}$ das Flächenmoment 2. Grades des wirksamen Querschnitts aus der Berücksichtigung der Beuleinflüsse, berechnet für die Maximalspannung $\sigma \geq \sigma_{gr}$, die die größte Spannung innerhalb der betrachteten Berechnungslänge ist.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(4) Das wirksame Flächenmoment 2. Grades I_{eff} (oder I_{fic}) darf als über die Stützweite veränderlich angenommen werden. Alternativ darf ein konstanter Wert, der sich auf den maximalen Momentenbetrag unter Gebrauchslasten bezieht, angesetzt werden.

7.2 Plastische Verformungen

(1) Bei Anwendung der Fließgelenktheorie sollte bei gleichzeitigem Auftreten von Stützmoment und Auflagerkraft an einer Zwischenstützung die 0,9-fache Beanspruchbarkeit, gerechnet mit $\gamma_{M,\text{ser}}$, siehe Abschnitt 2(5), nicht überschritten werden.

(2) Diese Beanspruchbarkeit darf nach 6.1.11 mit der wirksamen Querschnittsfläche für den Gebrauchszustand und $\gamma_{M,\text{ser}}$ ermittelt werden.

7.3 Durchbiegungen

(1) Verformungen dürfen nach der Elastizitätstheorie berechnet werden.

(2) Der Einfluss von Schlupf in den Anschlüssen (zum Beispiel bei Durchlaufträgern mit Kopplungsstücken und Überlappungsstößen) ist bei der Berechnung von Verformungen und Schnittgrößen in der Regel zu berücksichtigen.

8 Verbindungen

8.1 Allgemeines

(1) Die Bemessungsannahmen und Anforderungen von Anschlüssen gehen aus EN 1993-1-8 hervor.

(2) Die folgenden Regelungen betreffen Blechkerndicken $t_{\text{cor}} \leq 4$ mm, für die EN 1993-1-8 nicht gilt.

8.2 Stöße und Endanschlüsse druckbeanspruchter Bauteile

(1) Stöße und Endanschlüsse druckbeanspruchter Bauteile sollten entweder mindestens die gleiche Beanspruchbarkeit wie die Bauteilquerschnitte aufweisen oder für die Schnittgrößen N_{Ed} , $M_{y,\text{Ed}}$ und $M_{z,\text{Ed}}$ aus der Tragwerksberechnung und den Zusatzschnittgrößen nach Theorie 2. Ordnung im Bauteil ausgelegt sein.

(2) Falls keine Bauteilberechnung nach Theorie 2. Ordnung erfolgt, sollte dieses zusätzliche Biegemoment ΔM_{Ed} auf die Querschnittsachse bezogen werden, die den kleinsten Abminderungsbeiwert χ für Biegeknicken ergibt, siehe [AC] 6.2.2(1) [AC]. Das zusätzliche Biegemoment ist:

$$\Delta M_{\text{Ed}} = N_{\text{Ed}} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{\text{eff}}}{A_{\text{eff}}} \sin \frac{\pi a}{l} \quad (8.1a)$$

Dabei ist

A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche;

a der Abstand des Stoßes oder Anschlusses zum nächsten Momentennullpunkt;

l die Knicklänge des Stabes zwischen den Momentennullpunkten für Knicken um die maßgebende Achse;

W_{eff} das Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts für Biegung um die maßgebende Achse.

Stöße und Endanschlüsse sollten für eine zusätzliche Querkraft bemessen werden:

$$\Delta V_{Ed} = \frac{\pi N_{Ed}}{l} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{eff}}{A_{eff}} \quad (8.1b)$$

(3) Stöße und Anschlüsse sind in der Regel so zu gestalten, dass die Kräfte zu den wirksamen Querschnitten geführt werden.

(4) Wenn die konstruktive Durchbildung am Bauteilende so ist, dass die Wirkungslinie der Kraft nicht eindeutig ist, sollte eine angemessene Lastexzentrizität angenommen werden. Das daraus resultierende Moment sollte beim Bauteil und bei den Stößen und Anschlüssen berücksichtigt werden.

8.3 Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln

(1) Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen sollten kompakt gestaltet sein. Bei der Positionierung der Verbindungsmittel ist auf ausreichend Platz für Montage und Wartung zu achten.

ANMERKUNG Näheres enthält EN 1993-1-8.

(2) Die von die einzelnen Verbindungsmitteln zu übertragenden Scherkräfte dürfen als gleichmäßig verteilt angenommen werden, vorausgesetzt, dass:

- die Verbindungsmittel über ausreichende Duktilität verfügen;
- Abscheren nicht die kritische Versagensform ist.

(3) Bei der rechnerischen Bemessung sind die Tragfähigkeiten von überwiegend statisch beanspruchten Verbindungsmitteln aus folgenden Tabellen zu entnehmen:

- Tabelle 8.1 Blindniete;
- Tabelle 8.2 gewindeformende Schrauben und Bohrschrauben;
- Tabelle 8.3 Setzbolzen;
- Tabelle 8.4 Schrauben.

ANMERKUNG Zur Bestimmung der Tragfähigkeiten mechanischer Verbindungsmittel durch Versuche, siehe 9(4).

(4) In den Tabellen 8.1 bis 8.4 haben die Formelzeichen folgende Bedeutungen:

- | | |
|--------------|--|
| A | Gesamtquerschnittsfläche eines Verbindungsmittels; |
| A_s | Spannungsquerschnitt eines Verbindungsmittels; |
| A_{net} | Nettoquerschnitt des angeschlossenen Bauteils; |
| β_{Lf} | der Abminderungsbeiwert für lange Verbindungen nach EN 1993-1-8; |
| d | der Nenndurchmesser des Verbindungsmittels; |
| d_o | Nenndurchmesser des Schrauben- oder Nietloches; |
| d_w | Durchmesser der Unterlegscheibe oder des Schraubenkopfes; |

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- e_1 Randabstand in Krafrichtung, gemessen vom Mittelpunkt des Verbindungselementes bis zum benachbarten Rand des angeschlossenen Bauteils, siehe Bild 8.1;
- e_2 Randabstand quer zur Krafrichtung, gemessen vom Mittelpunkt des Verbindungselementes bis zum benachbarten Rand des Bauteils, siehe Bild 8.1;
- f_{ub} Zugfestigkeit des Werkstoffs des Verbindungsmittels;
- $f_{u,sup}$ Zugfestigkeit des Bauteils, in dem die Gewindeformschraube befestigt ist;
- n Anzahl der Bleche, die durch eine Gewindeformschraube oder einen Setzbolzen mit dem Bauteil verbunden werden;
- n_f die Anzahl der Verbindungsmittel in einer Verbindung;
- p_1 Lochabstand bezogen auf die Lochmitten in Krafrichtung, siehe Bild 8.1;
- p_2 Lochabstand bezogen auf die Lochmitten quer zur Krafrichtung, siehe Bild 8.1;
- t Dicke des dünneren Bleches in der Verbindung;
- t_1 Dicke des dickeren Bleches in der Verbindung;
- t_{sup} Dicke des Bauteils, in dem die Gewindeformschraube oder der Setzbolzen befestigt ist.

(5) Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M zur Berechnung der Beanspruchbarkeit des Verbindungsmittels ist γ_{M2} .

ANMERKUNG Der Wert γ_{M2} kann im nationalen Anhang enthalten sein. Es wird der Wert $\gamma_{M2} = 1,25$ empfohlen.

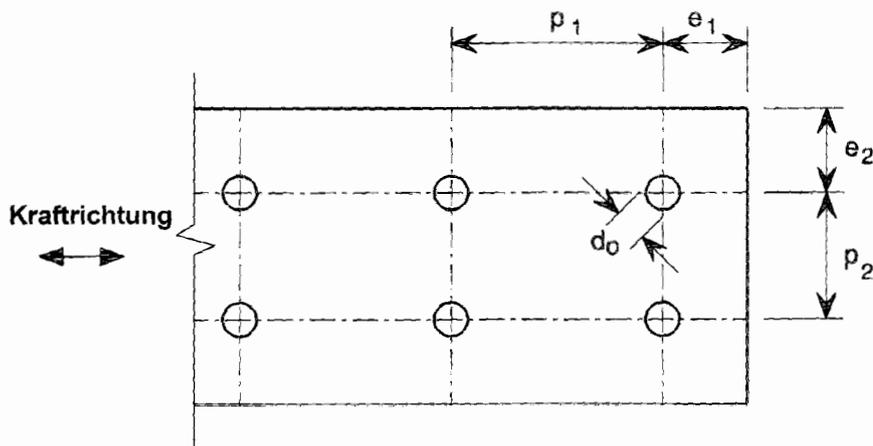


Bild 8.1 — Rand- und Zwischenabstände von Verbindungsmitteln und Punktschweißungen

(6) Liegt die Grenzzugkraft $F_{o,Rd}$ für Ausreißen eines Verbindungsmittels unter der für Durchknöpfen $F_{p,Rd}$, ist die Verformungsfähigkeit in der Regel durch Versuche zu ermitteln.

(7) Die Beanspruchbarkeiten für Durchknöpfen nach Tabellen 8.2 und 8.3 für Bohrschrauben und Setzbolzen sind in der Regel abzumindern, wenn das Verbindungselement nicht mittig in einer Trapez-Rippe angebracht ist. Bei Befestigung eines Verbindungselementes im Viertelpunkt der Rippenbreite sollte die Grenzzugkraft auf $0,9F_{p,Rd}$ abgemindert werden und bei Befestigung zweier Verbindungselemente in den Viertelpunkten gilt $0,7F_{p,Rd}$ je Verbindungselement, siehe Bild 8.2.

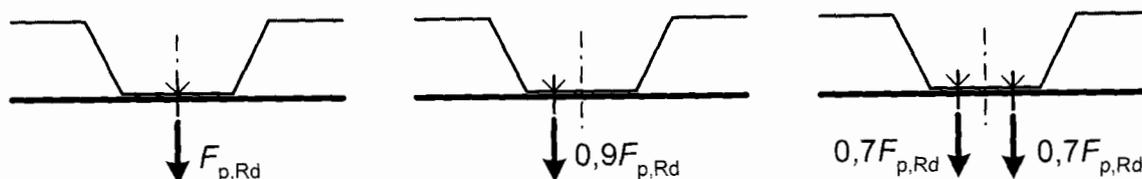


Bild 8.2 — Reduktion der Zugbeanspruchbarkeit nach Lage der Befestigung

(8) Wenn sowohl $F_{t,Rd}$ als auch $F_{v,Rd}$ durch Berechnung nach den Tabellen 8.1 bis 8.4 ermittelt wurden, kann die Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Scher- und Zugkräften wie folgt nachgewiesen werden.

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1 \quad (8.2)$$

(9) Blechprofilverformungen brauchen nicht nachgewiesen zu werden, wenn die Gurtbreite bei einer einzelnen Befestigung 150 mm nicht überschreitet und die Beanspruchbarkeiten nach den Tabellen 8.1 bis 8.4 eingehalten werden.

(10) Der Bohrlochdurchmesser für Gewindeformschrauben sollte nach den Anweisungen des Schraubenherstellers eingehalten werden. Diesen Anweisungen sollten folgende Kriterien zugrunde liegen:

- das anzuwendende Drehmoment sollte größer als das Gewindeschneidmoment sein;
- das anzuwendende Drehmoment ist geringer als das Gewindeabschermoment oder das Bruchdrehmoment für den Schraubenkopf;
- das Einschraubmoment sollte geringer als 2/3 des Bruchdrehmomentes des Schraubenkopfes sein.

(11) Bei langen Verbindungen sollte der Abminderungsbeiwert β_{Lf} nach EN 1993-1-8, 3.8 berücksichtigt werden.

(12) Die Bemessungsregeln für Blindniete gelten nur, wenn der Lochdurchmesser nicht um mehr als 0,1 mm größer als der Nietdurchmesser ist.

(13) Zu Schrauben M12 und M14 mit Lochdurchmessern, die 2 mm größer als der Schraubendurchmesser sind, wird auf EN 1993-1-8 verwiesen.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 8.1 — Beanspruchbarkeit von Blindnieten^a

Niete mit Scherbeanspruchung:	
Grenzlochleibungskraft:	$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2}$ jedoch $F_{b,Rd} \leq f_u e_1 t / (1,2 \gamma_{M2})$
Für α gilt:	<p>– wenn $t = t_1$: $\alpha = 3,6 \sqrt{t/d}$ jedoch $\alpha \leq 2,1$</p> <p>– wenn $t_1 \geq 2,5 t$: $\alpha = 2,1$</p> <p>– wenn $t < t_1 < 2,5 t$: α ist durch lineare Interpolation zu bestimmen.</p>
Grenzzugkraft im Nettoquerschnitt des Blechs:	$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
Grenzabscherkraft:	Die Grenzabscherkraft $F_{v,Rd}$ ist durch Versuche zu ermitteln ^{*1)} und in der Form $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$ darzustellen.
Bedingungen:^d	$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd} / (n_f \beta_{Lf})$ oder $F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$
Niete mit Zugbeanspruchung:^b	
Grenzzugkraft für Durchknöpfen:	Die Grenzzugkraft $F_{p,Rd}$ für Durchknöpfen ist durch Versuche zu bestimmen ^{*1)} .
Grenzzugkraft für Ausreißen:	Bei Blindnieten nicht relevant.
Grenzzugkraft bei Schaftbruch:	Die Grenzzugkraft $F_{t,Rd}$ der Niete ist durch Versuche zu ermitteln ^{*1)} .
Bedingungen:	$F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$
Anwendungsgrenzen:^c	
$e_1 \geq 1,5 d$	$p_1 \geq 3 d$ $2,6 \text{ mm} \leq d \leq 6,4 \text{ mm}$
$e_2 \geq 1,5 d$	$p_2 \geq 3 d$
$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$	
<p>^a Diese Tabelle gilt, wenn der Setzkopf am dünneren Blech liegt.</p> <p>^b Blindniete werden in der Regel nicht bei Zugbeanspruchungen eingesetzt.</p> <p>^c Blindniete dürfen außerhalb der Anwendungsgrenzen eingesetzt werden, wenn die Tragfähigkeit durch Versuche ermittelt wird.</p> <p>^d Die geforderten Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn Verformungskapazität der Verbindung benötigt wird. Werden die Bedingungen nicht erfüllt, ist sicherzustellen, dass die erforderliche Verformungskapazität durch andere Bauteile sichergestellt werden kann.</p> <p>ANMERKUNG^{*1)} Der nationale Anhang darf Weiteres zur Grenzabscherkraft, Beanspruchbarkeit bei Durchknöpfen und Grenzzugkräften bei Zugbeanspruchung von Blindnieten enthalten.</p>	

Tabelle 8.2 — Beanspruchbarkeit von Gewindeformschrauben^a

Gewindeformschrauben mit Scherbeanspruchung:	
Grenzlochleibungskraft:	$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2}$
Für α gilt:	<ul style="list-style-type: none"> – wenn $t = t_1$: $\alpha = 3,2 \sqrt{t/d}$ jedoch $\alpha \leq 2,1$ – wenn $t_1 \geq 2,5 t$ und $t < 1,0 \text{ mm}$: $\alpha = 3,2 \sqrt{t/d}$ jedoch $\alpha \leq 2,1$ – wenn $t_1 \geq 2,5 t$ und $t \geq 1,0 \text{ mm}$: $\alpha = 2,1$ – wenn $t < t_1 < 2,5 t$: α ist durch lineare Interpolation zu bestimmen.
Grenzzugkraft im Nettoquerschnitt des Blechs:	$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
Grenzabscherkraft:	Die Grenzabscherkraft $F_{v,Rd}$ ist durch Versuche zu ermitteln ^{*2)} und in der Form $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$ darzustellen
Bedingungen: ^d	$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$
Gewindeformschrauben bei Zugbeanspruchung:	
Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen: ^b	
– für statische Belastung:	$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$
– bei Windbelastung und gleichzeitigem Auftreten von Wind und statischer Belastung:	$F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$
Beanspruchbarkeit für Ausreißen:	Wenn $t_{sup} / s < 1$: $F_{o,Rd} = 0,45 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2}$
(s ist die Gewindesteigung)	Wenn $t_{sup} / s \geq 1$: $F_{o,Rd} = 0,65 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2}$
Grenzzugkraft bei Schaftbruch:	Die Grenzzugkraft $F_{t,Rd}$ ist durch Versuche zu ermitteln ^{*2)} .
Bedingungen: ^d	$F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$ oder $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$
Anwendungsgrenzen:	
Allgemein:	$e_1 \geq 3d$ $p_1 \geq 3d$ $3,0 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$ $e_2 \geq 1,5d$ $p_2 \geq 3d$
Bei Zugbeanspruchung:	$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$ und $t_1 \geq 0,9 \text{ mm}$ $f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$
^a	Diese Tabelle gilt, wenn der Schraubenkopf am dünneren Blech liegt.
^b	Die angegebenen Werte setzen voraus, dass die Unterlegscheibe ausreichende Steifigkeit hat, um größere Verformungen oder ein Durchknöpfen des Schraubenkopfes zu verhindern.
^c	Gewindeformschrauben dürfen außerhalb der Anwendungsgrenzen eingesetzt werden, wenn die Tragfähigkeit durch Versuche ermittelt wird.
^d	Die geforderten Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn Verformungskapazität der Verbindung benötigt wird. Werden die Bedingungen nicht erfüllt, ist sicherzustellen, dass die erforderliche Verformungskapazität durch andere Bauteile sichergestellt werden kann.
ANMERKUNG^{*2)} Der nationale Anhang darf Weiteres zur Grenzabscherkraft und Grenzzugkraft von Gewindeformschrauben enthalten.	

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 8.3 — Beanspruchbarkeit von Setzbolzen

Setzbolzen mit Scherbeanspruchung:	
<u>Grenzlochleibungskraft:</u>	$F_{b,Rd} = 3,2 f_u d t / \gamma_{M2}$
<u>Grenzzugkraft im Nettoquerschnitt:</u>	$F_{t,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
<u>Grenzabscherkraft:</u>	Die Grenzabscherkraft $F_{v,Rd}$ ist durch Versuche zu ermitteln ^{*3)} und in der Form $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$ darzustellen
<u>Bedingungen:</u> ^c	$F_{v,Rd} \geq 1,5 \Sigma F_{b,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{t,Rd}$
Setzbolzen mit Zugbeanspruchung:	
<u>Grenzzugkraft für Durchknöpfen:</u> ^a	
– für statische Belastung: $F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$	
– bei Windbelastung und gleichzeitigem Auftreten von Wind und statischer Belastung: $F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$	
<u>Beanspruchbarkeit für Ausreißen:</u>	Die Beanspruchbarkeit für Ausreißen $F_{o,Rd}$ ist durch Versuche zu ermitteln ^{*3)} .
<u>Grenzzugkraft bei Schaffbruch:</u>	Die Grenzzugkraft $F_{t,Rd}$ ist durch Versuche zu ermitteln ^{*3)} .
<u>Bedingungen:</u> ^c	$F_{o,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$ oder $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$
Anwendungsgrenzen: ^b	
<u>Allgemein:</u>	$e_1 \geq 4,5 d$ $3,7 \text{ mm} \leq d \leq 6,0 \text{ mm}$ $e_2 \geq 4,5 d$ bei $d = 3,7 \text{ mm}$: $t_{sup} \geq 4,0 \text{ mm}$ $p_1 \geq 4,5 d$ bei $d = 4,5 \text{ mm}$: $t_{sup} \geq 6,0 \text{ mm}$ $p_2 \geq 4,5 d$ bei $d = 5,2 \text{ mm}$: $t_{sup} \geq 8,0 \text{ mm}$ $f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$
<u>Bei Zugbeanspruchung:</u>	$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$ $t_{sup} \geq 6,0 \text{ mm}$
<p>^a Die angegebenen Werte setzen voraus, dass die Unterlegscheibe ausreichende Steifigkeit hat, um größere Verformungen oder ein Durchknöpfen des Schraubenkopfes zu verhindern.</p> <p>^b Setzbolzen dürfen außerhalb der Anwendungsgrenzen eingesetzt werden, wenn die Tragfähigkeit durch Versuche ermittelt wird.</p> <p>^c Die geforderten Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn Verformungskapazität der Verbindung benötigt wird. Werden die Bedingungen nicht erfüllt, ist sicherzustellen, dass die erforderliche Verformungskapazität durch andere Bauteile sichergestellt werden kann.</p> <p>ANMERKUNG^{*3)} Der nationale Anhang darf Weiteres zur Grenzabscherkraft, Beanspruchbarkeit bei Durchknöpfen und Grenzzugkraft von zugbeanspruchten Setzbolzen enthalten.</p>	

Tabelle 8.4 — Beanspruchbarkeit von Schrauben

Schrauben mit Scherbeanspruchung:	
<u>Grenzlochleibungskraft:</u> ^b	
$F_{b,Rd} = 2,5 \alpha_b k_t f_u d t / \gamma_{M2}$ α_b ist der kleinere Wert von 1,0 und $e_1 / (3d)$	
$k_t = (0,8 t + 1,5) / 2,5$, wenn $0,75 \text{ mm} \leq t \leq 1,25 \text{ mm}$; $k_t = 1,0$, wenn $t > 1,25 \text{ mm}$	
<u>Grenzzugkraft im Nettoquerschnitt:</u>	
$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_0/u - 0,3)) A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ jedoch $F_{n,Rd} \leq A_{net} f_u / \gamma_{M2}$	
mit: $r = [\text{Anzahl der Schrauben im Querschnitt}] / [\text{Gesamtanzahl der Schrauben in der Verbindung}]$	
$u = 2e_2$ jedoch $u \leq p_2$	
<u>Grenzabscherkraft:</u>	
— für die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8:	
$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$	
— für die Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9:	
$F_{v,Rd} = 0,5 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$	
<u>Bedingungen:</u> ^c $F_{v,Rd} \geq 1,2 \Sigma F_{b,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	
Schrauben mit Zugbeanspruchung:	
<u>Grenzzugkraft für Durchknöpfen:</u>	Die Beanspruchbarkeit $F_{p,Rd}$ für Durchknöpfen ist durch Versuche zu ermitteln ^{*4)} .
<u>Beanspruchbarkeit für Ausreißen:</u>	bei Schrauben nicht maßgebend.
<u>Grenzzugkraft für Schaftbruch:</u>	$F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$
<u>Bedingungen:</u> ^c $F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$	
Anwendungsgrenzen: ^a	
$e_1 \geq 1,0 d_0$ $p_1 \geq 3 d_0$ $\overline{\text{AC}} 0,75 \text{ mm} \leq t < 3 \text{ mm} \overline{\text{AC}}$	Minstdurchmesser: M 6
$e_2 \geq 1,5 d_0$ $p_2 \geq 3 d_0$	Festigkeitsklassen: 4.6 – 10.9
$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$	
^a Schrauben dürfen außerhalb der Anwendungsgrenzen eingesetzt werden, wenn die Tragfähigkeit durch Versuche ermittelt wird.	
^b Bei Blechdicken größer oder gleich 3 mm gelten die Regelungen für Schraubenverbindungen in EN 1993-1-8.	
^c Die geforderten Bedingungen sollten erfüllt werden, wenn Verformungskapazität der Verbindung benötigt wird. Werden die Bedingungen nicht erfüllt, ist sicherzustellen, dass die erforderliche Verformungskapazität durch andere Bauteile sichergestellt werden kann.	
ANMERKUNG ^{*4)} Der nationale Anhang darf Weiteres zur Beanspruchbarkeit für Durchknöpfen von zugbeanspruchten Schrauben enthalten.	

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

8.4 Punktschweißungen

(1) Punktschweißverbindungen dürfen bei schwarzem oder verzinktem Grundmaterial bis zu 4 mm Dicke zur Anwendung kommen, wobei die Dicke des dünneren angeschlossenen Blechs höchstens 3 mm betragen darf.

(2) Punktschweißverbindungen dürfen entweder als Widerstands- oder Schmelzpunktschweißungen ausgeführt werden.

(3) Der Grenzausscherkraft $F_{v,Rd}$ einer Punktschweißverbindung ergibt sich aus Tabelle 8.5.

(4) Die Formelzeichen in Tabelle 8.5 bedeuten:

- A_{net} ist der Nettoquerschnitt des angeschlossenen Bauteils;
 n_w ist die Anzahl von Punktschweißungen in einer Verbindung;
 t ist die Blechdicke des dünneren angeschlossenen Bauteils in mm;
 t_1 ist die Blechdicke des dickeren angeschlossenen Bauteils in mm.

Die Randabstände e_1 und e_2 sowie die Zwischenabstände p_1 und p_2 sind wie in 8.3(5) definiert.

(5) Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} für die Berechnung des Beanspruchbarkeiten von Punktschweißverbindungen ist γ_{M2} .

ANMERKUNG Der nationale Anhang bestimmt über den Wert für γ_{M2} . Ein Wert von $\gamma_{M2} = 1,25$ wird empfohlen.

Tabelle 8.5 — Beanspruchbarkeit für Punktschweißverbindungen

Punktschweißverbindungen mit Scherbeanspruchung:	
<u>Beanspruchbarkeit auf Lochleibung:</u>	
— wenn $t \leq t_1 \leq 2,5t$:	
$F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t} d_s f_u / \gamma_{M2}$	mit t in mm
— wenn $t_1 > 2,5t$:	
$F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t} d_s f_u / \gamma_{M2}$	jedoch $F_{tb,Rd} \leq 0,7 d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$ und $F_{tb,Rd} \leq 3,1 t d_s f_u / \gamma_{M2}$
<u>Grenzscherkraft auf Randversagen:</u>	$F_{e,Rd} = 1,4 t e_1 f_u / \gamma_{M2}$
<u>Grenzzugkraft im Nettoquerschnitt des Blechs:</u>	$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
<u>Grenzausscherkraft:</u>	$F_{v,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$
<u>Bedingungen:</u> $F_{v,Rd} \geq 1,25 F_{tb,Rd}$ oder $F_{v,Rd} \geq 1,25 F_{e,Rd}$ oder $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,25 F_{n,Rd}$	
Anwendungsgrenzen:	
$2 d_s \leq e_1 \leq 6 d_s$	$3 d_s \leq p_1 \leq 8 d_s$
$e_2 \leq 4 d_s$	$3 d_s \leq p_2 \leq 6 d_s$

(6) Der Schweißlinsendurchmesser d_s ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

— bei Schmelzpunktschweißung: $d_s = 0,5t + 5 \text{ mm}$ (8.3a)

— bei Widerstandsschweißung: $d_s = 5\sqrt{t}$ mit t in mm (8.3b)

(7) Der bei der Schweißung tatsächlich ausgeführte Wert d_s sollte durch Scherversuche nach Abschnitt 9 an Proben mit einfachen Überlappungsstößen nach Bild 8.3 festgestellt werden. Die Materialdicke t des Probekörpers sollte dabei der des Anwendungsfalls entsprechen.

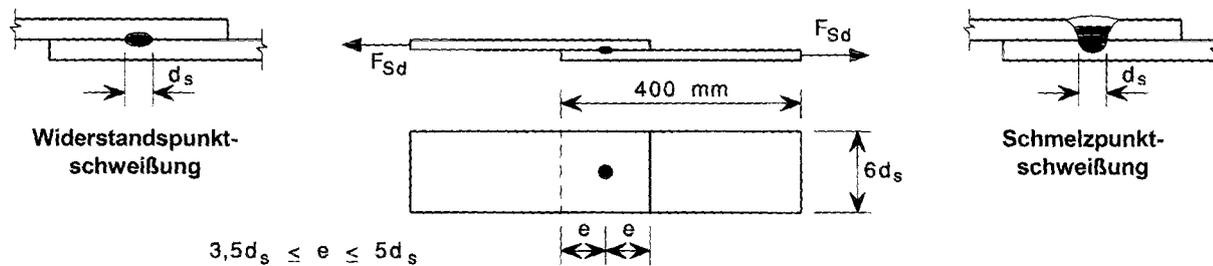


Bild 8.3 — Probekörper für Scherversuche an Punktschweißverbindungen

8.5 Überlappungsstöße

8.5.1 Allgemeines

(1) 8.5 sollte für die Bemessung von lichtbogengeschweißten Überlappungsstößen bei Materialdicken bis höchstens 4 mm gelten. Bei größerer Dicke werden Überlappungsstöße nach EN 1993-1-8 bemessen.

(2) Die Dicke der Schweißnaht ist in der Regel so festzulegen, dass die Beanspruchbarkeit der Verbindung durch das angeschlossene Blechstück und nicht durch die Schweißnaht bestimmt wird.

(3) Die Bedingung (2) kann als erfüllt gelten, wenn die Schweißnahtdicke mindestens der Dicke des zu verbindenden Teils entspricht.

(4) Der Bauteilsicherheitsbeiwert γ_M zur Berechnung der Beanspruchbarkeiten der Überlappungsstöße ist γ_{M2} .

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf über die Größe von γ_{M2} bestimmen. Es wird $\gamma_{M2} = 1,25$ empfohlen.

8.5.2 Kehlnähte

(1) Der Beanspruchbarkeit $F_{w,Rd}$ einer Kehlnahtverbindung ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

— bei paarweiser Anordnung für jede Flankenkehlnaht:

$$F_{w,Rd} = tL_{w,s} (0,9 - 0,45 L_{w,s} / b) f_u / \gamma_{M2} \quad \text{wenn } L_{w,s} \leq b \quad (8.4a)$$

$$F_{w,Rd} = 0,45 t b f_u / \gamma_{M2} \quad \text{wenn } L_{w,s} > b \quad (8.4b)$$

— bei Stirnkehlnähten:

$$F_{w,Rd} = tL_{w,e} (1 - 0,3 L_{w,e} / b) f_u / \gamma_{M2} \quad [\text{für eine Naht und wenn } L_{w,s} \leq b] \quad (8.4c)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- b die Breite des anzuschließenden Bauteils, siehe Bild 8.4;
 $L_{w,e}$ ist die wirksame Länge der Stirnkehlnaht, siehe Bild 8.4;
 $L_{w,s}$ die wirksame Länge einer Längskehlnaht, siehe Bild 8.4.

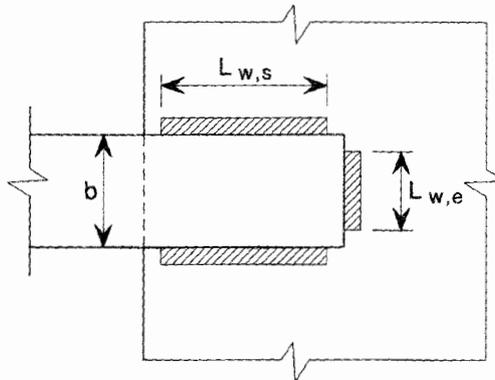


Bild 8.4 — Überlappungsstoß mit Kehlnähten

(2) Bei einer Kombination von Stirn- und Flankenkehlnähten ergibt sich die Beanspruchbarkeit der Verbindung aus der Summe der Beanspruchbarkeiten beider Kehlnahtformen. Die Position des Schwerpunkts und eine realistische Beanspruchungsverteilung sollten dabei beachtet werden.

(3) Die wirksame Länge L_w einer Kehlnaht ist die Gesamtlänge der Naht einschließlich der Eckausrundungen. Bei konstanter Dicke der Kehlnaht ist kein Abzug der Länge für Anfang und Ende der Naht erforderlich.

(4) Kehlnähte mit einer geringeren Länge als die achtfache Dicke des dünneren Verbindungsstücks sind in der Regel nicht zur Kraftübertragung heranzuziehen.

8.5.3 Lochschweißungen

- (1) Lochschweißungen sollten nur zur Übertragung von Scherkräften eingesetzt werden.
- (2) Lochschweißungen sollten nur bis zu einer Gesamtdicke Σt von maximal 4 mm der zu verbindenden Bleche angewandt werden.
- (3) Lochschweißungen sollten einen Linsendurchmesser d_s von mindestens 10 mm aufweisen.
- (4) Bei Blechen mit geringerer Dicke als 0,7 mm sollte ein Schweißring nach Bild 8.5 verwendet werden.
- (5) Lochschweißungen sollten mit passenden Randabständen ausgeführt werden, wie folgt:
 - i) Für den Abstand parallel zur Krafrichtung zwischen der Mitte einer Lochschweißung und dem Rand einer angrenzenden Schweißnaht oder dem Rand eines angeschlossenen Blechs sollte folgender Mindestwert e_{\min} eingehalten werden:

— wenn $f_u/f_y < 1,15$

$$\boxed{\text{AC}} e_{\min} = 1,8 \frac{F_{w,Rd}}{t f_u / \gamma_{M2}} \boxed{\text{AC}}$$

— wenn $f_u/f_y \geq 1,15$

$$\boxed{\text{AC}} e_{\min} = 2,1 \frac{F_{w,Rd}}{t f_u / \gamma_{M2}} \boxed{\text{AC}}$$

- ii) Der Mindestabstand zwischen der Mitte einer Rundlochschiweißung und dem Rand eines angeschlossenen Blechstücks sollte in der Regel $1,5d_w$ sein, wobei d_w der messbare Durchmesser der Lochschweißung ist.
- iii) Der lichte Abstand zwischen einer Langlochschiweißung und dem Rand eines Blechstücks sollte mindestens $1,0 d_w$ betragen.

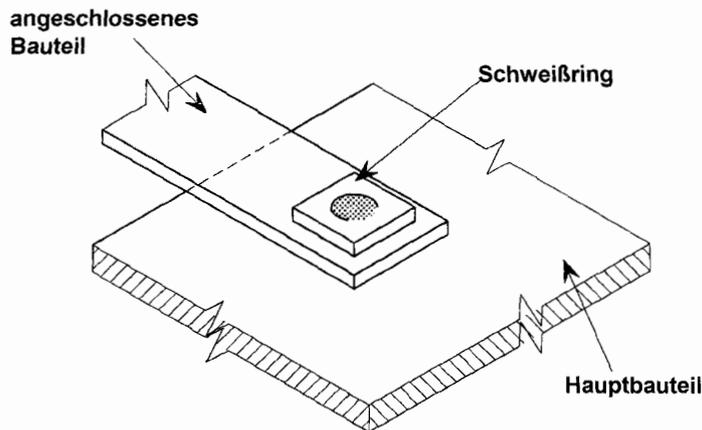


Bild 8.5 — Lochschweißung mit Schweißring

(6) Die Grenzabscherkraft $F_{w,Rd}$ einer kreisförmigen Lochschweißung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$F_{w,Rd} = (\pi/4) d_s^2 \times 0,625 f_{uw} / \gamma_{M2} \quad (8.5a)$$

wobei:

f_{uw} die Zugfestigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes ist;

jedoch darf $F_{w,Rd}$ nicht größer sein als die Lochleibungsbeanspruchbarkeit der wirksamen Schweißlinse:

— wenn $d_p / \Sigma t \leq 18 (420 / f_u)^{0,5}$:

$$F_{w,Rd} = 1,5 d_p \Sigma t f_u / \gamma_{M2} \quad (8.5b)$$

— wenn $18 (420 / f_u)^{0,5} < d_p / \Sigma t < 30 (420 / f_u)^{0,5}$:

$$F_{w,Rd} = 27 (420 / f_u)^{0,5} (\Sigma t)^2 f_u / \gamma_{M2} \quad (8.5c)$$

— wenn $d_p / \Sigma t \geq 30 (420 / f_u)^{0,5}$:

$$F_{w,Rd} = 0,9 d_p \Sigma t f_u / \gamma_{M2} \quad (8.5d)$$

mit d_p nach (8).

(7) Der Linsendurchmesser d_s einer Lochschweißung, siehe Bild 8.6, ergibt sich zu:

$$d_s = 0,7d_w - 1,5 \Sigma t \quad \text{jedoch} \quad d_s \geq 0,55 d_w \quad (8.6)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

wobei:

d_w der an der Oberfläche messbare Durchmesser der Lochschweißung ist, siehe Bild 8.6.

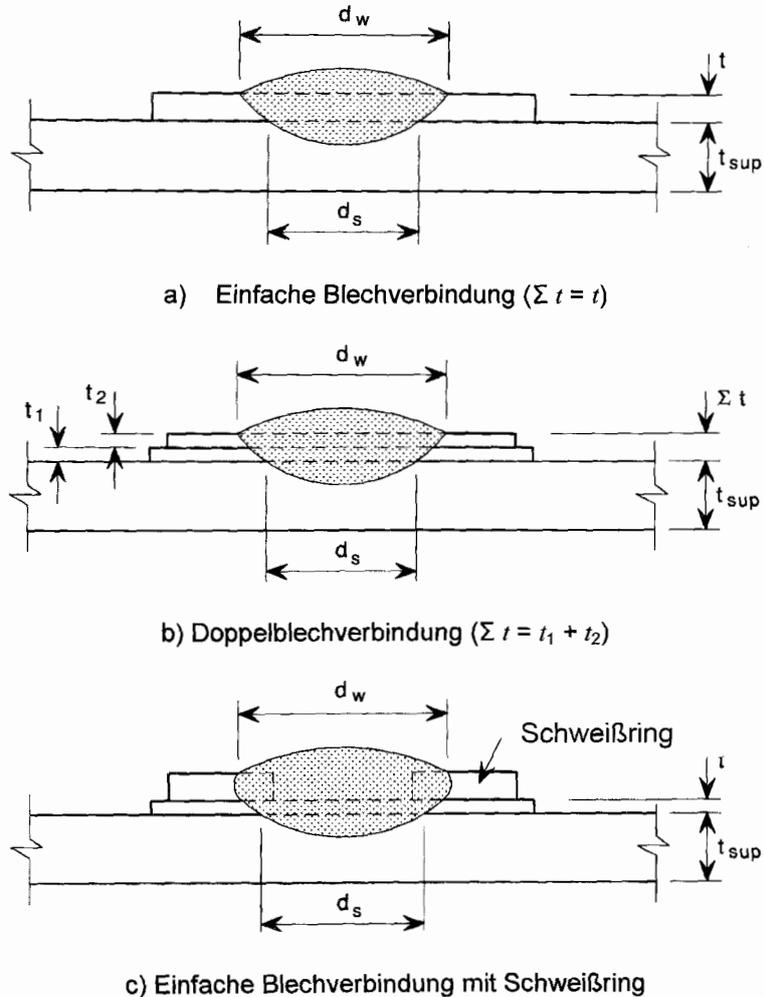


Bild 8.6 — Lochschweißungen

(8) Der wirksame Durchmesser d_p einer Schweißlinse sollte wie folgt ermittelt werden:

— für ein einzelnes Bauteil der Dicke t :

$$d_p = d_w - t \quad (8.7a)$$

— für mehrere zu verbindende Bauteile oder Bleche mit der Gesamtdicke Σt :

$$d_p = d_w - 2 \Sigma t \quad (8.7b)$$

(9) Die Grenzabscherkraft $F_{w,Rd}$ einer Langlochsweißung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$F_{w,Rd} = [(\pi/4) d_s^2 + L_w d_s] \times 0,625 f_{uw} / \gamma_{M2} \quad (8.8a)$$

jedoch sollte $F_{w,Rd}$ nicht größer sein als die Lochleibungsbeanspruchbarkeit der wirksamen Schweißlinse:

$$F_{w,Rd} = (0,5 L_w + 1,67 d_p) \Sigma t f_u / \gamma_{M2} \quad (8.8b)$$

wobei:

L_w die Länge der Langlochschiweißung nach Bild 8.7 ist.

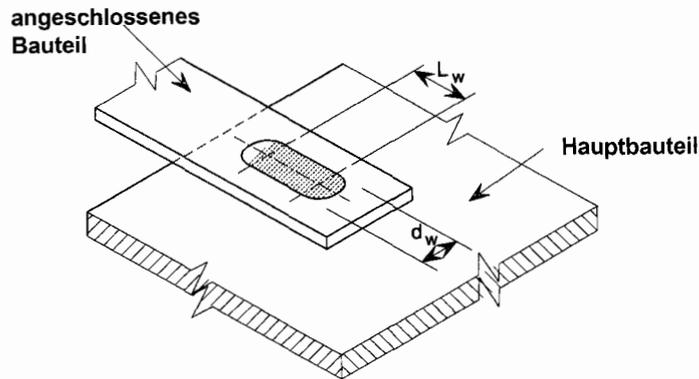


Bild 8.7 — Langlochschiweißung

9 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Dieser Abschnitt 9 hat das Ziel, die Grundlagen für die versuchsgestützte Bemessung in EN 1990 und in 2.5 der EN 1993-1-1 den besonderen Bedingungen für kaltgeformte, dünnwandige Bauteile und Bleche anzupassen.

(2) Für die Versuche gelten die in Anhang A angegebenen Grundsätze.

ANMERKUNG 1 Der nationale Anhang darf zusätzlich zu Anhang A Informationen zu Versuchen enthalten.

ANMERKUNG 2 Anhang A enthält standardisierte Verfahren zu:

- Versuche an Profiblechen und Kassettenprofilen;
- Versuche an Kaltprofilen;
- Versuche an Tragwerken und Tragwerksteilen;
- Versuche an durch Profibleche drehgebetteten Biegeträgern;
- Auswertung von Versuchsergebnissen zur Bestimmung von Bemessungsgrößen.

(3) Zugversuche mit Stahl sind in der Regel nach EN 10002-1 auszuführen. Versuche zur Bestimmung anderer Werkstoffkennwerte sollten nach den entsprechenden Europäischen Technischen Spezifikationen durchgeführt werden.

(4) Versuche an Verbindungsmitteln oder Verbindungen sollten nach der entsprechenden Europäischen oder Internationalen Norm durchgeführt werden.

ANMERKUNG Bis zum Erscheinen entsprechender europäischer oder internationaler Regelungen dürfen Empfehlungen für die Versuchsdurchführung an Verbindungsmitteln den folgenden Veröffentlichungen entnommen werden:

ECCS Publication No. 21 (1983): *European recommendations for steel construction: the design and testing of connections in steel sheeting and sections*;

ECCS Publication No. 42 (1983): *European recommendations for steel construction: mechanical fasteners for use in steel sheeting and sections*.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

10 Besondere Angaben zu Pfetten, Kassettenprofilen und Profilblechen

10.1 Träger mit Drehbettung durch Bleche

10.1.1 Allgemeines

(1) Die Regelungen dieses Abschnittes 10.1 gelten für Träger (in diesem Abschnitt als Pfetten bezeichnet) mit Z-, C-, Σ-, U- und Hut-Profilen mit $h/t < 233$, $c/t \leq 20$ bei Lippen und $d/t \leq 20$ bei Bördeln.

ANMERKUNG Andere Anwendungsgrenzen können durch Versuche gerechtfertigt werden. Der nationale Anhang darf Näheres zu Versuchen enthalten. Es werden standardisierte Versuche nach Anhang A empfohlen.

(2) Diese Regelungen gelten für Tragwerkssysteme mit Schlaudern, Durchlaufsystemen, gekoppelten und überlappten Systemen.

(3) Diese Regelungen gelten auch für kaltgeformte Bauteile als Wandriegel, Deckenträger oder ähnliche Bauteile mit seitlicher Stützung durch flächenhafte Bauteile.

(4) Die Bemessung von Wandriegeln auf Winddruck entspricht derjenigen von Pfetten für Auflast; die Bemessung von Wandriegeln für Windsog entspricht derjenigen von Pfetten bei abhebenden Lasten.

(5) Kontinuierliche seitliche Stützung wird durch Trapezbleche oder andere Profilbleche mit ausreichender Steifigkeit erzeugt, die mit dem Obergurt der Pfette kontinuierlich über ihre Rippenuntergurte verbunden sind. Die Pfette gilt an der Verbindungsstelle mit dem Trapezblech als seitlich gehalten, wenn 10.1.1(6) erfüllt ist. In anderen Fällen (z. B. bei Befestigung der Profilbleche über ihre Rippenobergurte) ist der Behinderungsgrad nach Erfahrungswerten zu beurteilen oder durch Versuche zu bestimmen.

ANMERKUNG Näheres zu Versuchen enthält Anhang A.

(6) Ist das Trapezblech an eine Pfette angeschlossen und die Bedingung (10.1a) erfüllt, so kann die Pfette an der Verbindungsstelle in Blechebene als seitlich gehalten angesehen werden.

$$S \geq \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25 h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (10.1a)$$

Dabei ist

S die Schubsteifigkeit, die durch die Befestigung des Trapezblechs an jeder Blechrippe mit der Pfette ermöglicht wird (Ist das Blech nur an jeder zweiten Rippe mit der Pfette verbunden, so ist S durch $0,2 S$ zu ersetzen.);

I_w der Wölbwiderstand der Pfette;

I_t das St. Venant'sche Torsionsträgheitsmoment der Pfette;

I_z das Flächenträgheitsmoment des Pfettenquerschnitts um die schwache Hauptachse;

L die Stützweite der Pfette;

h die Höhe des Pfettenquerschnitts.

ANMERKUNG 1 Gleichung (10.1a) kann auch zur Bestimmung der seitlichen Stabilität von Bauteilgurten durch andere Eindeckungen als Trapezbleche herangezogen werden, vorausgesetzt, dass die Verbindungen entsprechend konzipiert sind.

ANMERKUNG 2 Die Schubsteifigkeit S kann mit den ECCS-Richtlinien (siehe ANMERKUNG in 9(4)) berechnet oder durch Versuche bestimmt werden.

(7) Sofern nicht die Wirkungsweise alternativer Pfettenauflagerungen durch Versuche belegt ist, sollten die Pfetten so befestigt werden, dass z. B. durch Pfettenschuhe Verdrehungen und seitliche Verschiebungen der Pfette am Auflager verhindert werden. Kräfte in der Ebene der Profilbleche, die über die Auflager abgetragen werden, sind bei der Bemessung der Auflager zu berücksichtigen.

(8) Das Tragverhalten seitlich gehaltener Pfetten ist in der Regel nach Bild 10.1 zu modellieren. Die Verbindung zwischen Pfette und Profilblech erzeugt eine teilweise Behinderung der Pfettenverdrehung. Diese Drehbettung ist als Drehfeder mit der Drehsteifigkeit C_D gekennzeichnet. Die Spannungen im freien Gurt, der nicht direkt mit den Profilblechen verbunden ist, sollten dann durch eine Überlagerung der Wirkungen aus der Biegung normal zur Profilblechebene und der Torsion einschließlich der seitlichen Biegung infolge der Querschnittsverformung ermittelt werden. Die durch das Blech bereitgestellte Drehbehinderung ist mit 10.1.5 zu ermitteln.

(9) Wenn bei einem Einfeldträger unter Windsog der freie Untergurt Druckbeanspruchungen erhält, sollte die Spannungserhöhung infolge Torsion und Profilverformungen berücksichtigt werden.

(10) Die Schubsteifigkeit eines Trapezbleches, das an jedem Rippenuntergurt mit einer Pfette und an jeder seitlichen Überlappung verbunden ist, darf berechnet werden zu:

$$S = 1\,000 \sqrt{t^3} (50 + 10 \sqrt[3]{b_{\text{roof}}}) \frac{s}{h_w} \quad \text{in N,} \quad t \text{ und } b_{\text{roof}} \text{ in mm} \quad (10.1b)$$

Dabei ist t die Bemessungsdicke des Blechs, b_{roof} die Breite der Daches, s der Pfettenabstand und h_w die Profilhöhe des profilierten Blechs. Die Einheit der Abmessungen ist mm. Bei Kassettenprofilen beträgt die Schubsteifigkeit das S_v -fache des Abstands zwischen den Pfetten, wobei S_v nach 10.3.5(6) berechnet wird.

10.1.2 Berechnungsmethoden

(1) Sofern nicht eine Berechnung nach Theorie 2. Ordnung erfolgt, sollte die in 10.1.3 und 10.1.4 angegebene Berechnungsmethode angewendet werden. Hierbei wird das seitliche Ausweichen des freien Gurtes erfasst (was Zusatzspannungen hervorruft), indem dieser als Träger mit einer seitlichen Belastung $q_{h,Ed}$ betrachtet wird (siehe Bild 10.1).

(2) Bei der Anwendung dieser Methode sollte die Drehbettung durch eine äquivalente Bettung mit der Steifigkeit K ersetzt werden. Bei der Bestimmung von K sind in der Regel die Auswirkungen von Querschnittsverformungen zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck darf der freie Gurt als ein Druckstab mit veränderlicher Normalkraft und mit einer seitlichen kontinuierlichen Bettung mit der Steifigkeit K betrachtet werden.

(3) Wenn der freie Gurt einer Pfette Druckspannungen aus der Biegewirkung normal zur Profilblechebene (z. B. infolge Windsog auf eine einfeldrige Pfette) erfährt, sollte die Beanspruchbarkeit des freien Gurtes auch für seitliches Knicken nachgewiesen werden.

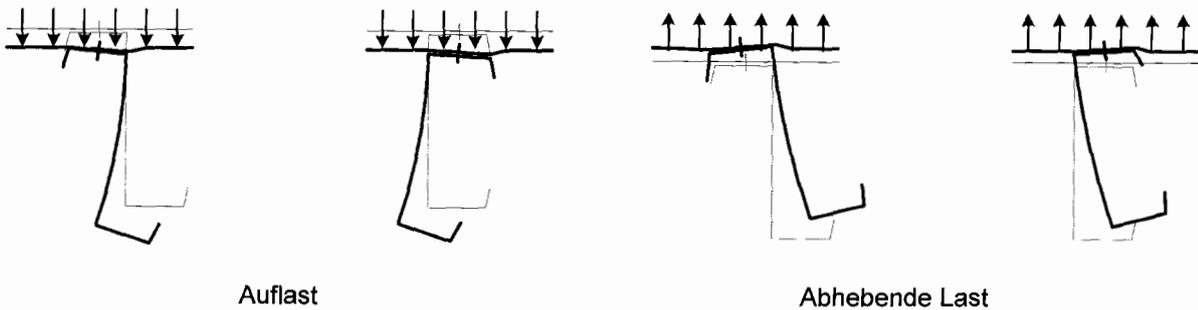
(4) Für eine genauere Berechnung ist in der Regel eine Berechnung mit numerischen Methoden durchzuführen, wobei die Werte für die Drehfedersteifigkeit C_D nach 10.1.5.2 anwendbar sind. Eine Vorkrümmung e_0 des freien Flansches sollte entsprechend der Definition in 5.3 berücksichtigt werden. Die Imperfektion sollte dabei mit der maßgebenden elastischen Eigenform verträglich sein.

(5) Es kann auch eine numerische Berechnung mit der Drehfedersteifigkeit C_D nach 10.1.5.2 durchgeführt werden, wenn keine seitliche Stützung besteht oder die Stützwirkung nicht nachgewiesen werden kann. Bei der Durchführung numerischer Berechnungen sollten die Biegung in zwei Richtungen, die St. Venant'sche Torsionssteifigkeit und die Wölbsteifigkeit in Bezug auf die Zwangsdrehachse berücksichtigt werden.

(6) Wird eine Berechnung nach Theorie 2. Ordnung durchgeführt, sollten wirksame Querschnitte und wirksame Steifigkeiten infolge Beulens berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Ein vereinfachtes Bemessungsverfahren für Pfetten aus C-, Z- und Σ -Querschnitten enthält Anhang E.

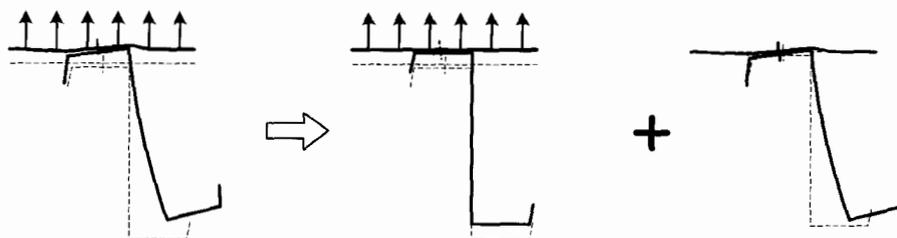
DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



Auflast

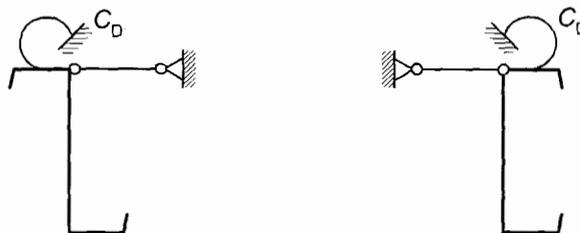
Abhebende Last

a) Z- und C-Pfettenquerschnitt mit Verbindung des oberen Flansches an das Profilblech

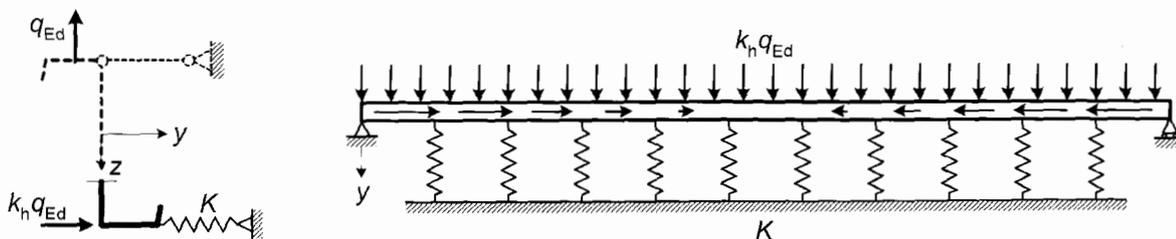


Biegung in der Ebene der Pfetten Torsion und seitliche Verformung

b) Gesamtverformung in zwei Verformungsanteile aufgeteilt



c) Pfettenmodell mit seitlicher Halterung und Drehfederbettung C_D infolge des Blechs



d) Zur Vereinfachung wird die Drehfederbettung C_D durch eine seitliche Wegfeder der Steifigkeit K ersetzt

e) Freier Pfettenflansch berechnet als elastisch gebetteter Stab. Das Modell erfasst Torsions- und Querbiegeeffekte (einschließlich der Querschnittsverformungen) einfeldriger Träger unter abhebenden Lasten.

Bild 10.1 — Statische Modelle für seitlich gehaltene Pfetten mit Drehfederbettung durch das Profilblech

10.1.3 Bemessungskriterien

10.1.3.1 Einfeldrige Pfetten

(1) Eine einfeldrige Pfette unter Auflast sollte den Kriterien der Querschnittstragfähigkeit nach 10.1.4.1 genügen. Bei zentrischem Druck sind auch die Stabilitätsbedingungen für den freien Gurt nach 10.1.4.2 zu erfüllen.

(2) Eine einfeldrige Pfette unter abhebender Last sollte den Kriterien der Querschnittstragfähigkeit nach 10.1.4.1 und den Stabilitätskriterien für den freien Gurt nach 10.1.4.2 genügen.

10.1.3.2 Zweifeldrige Durchlaufpfetten unter Auflast

(1) Bei einer durchlaufenden zweifeldrigen Pfette ohne Stoß über der Zwischenstütze dürfen bei Auflast die Biegemomente entweder durch Berechnung oder Versuche ermittelt werden.

(2) Werden die Momente durch Berechnung ermittelt, sollte dies nach der Elastizitätstheorie erfolgen. Der Pfettenquerschnitt sollte den Bedingungen nach 10.1.4.1 genügen. Für das Stützmoment sollte auch die Stabilitätsbedingung für den freien Gurt nach 10.1.4.2 erfüllt werden. An der Innenstützung sollte ebenso das Zusammenwirken von Moment- und Lagerreaktion (und Stegkrüppeln, sofern keine Lagerschuhe verwendet werden) und von Moment und Querkraft überprüft werden.

(3) Alternativ dürfen die Momente auf der Grundlage von Versuchen nach Abschnitt 9 und A.5 unter Berücksichtigung des Rotationsverhaltens der Pfette über der Zwischenstütze bestimmt werden.

ANMERKUNG Geeignete Testverfahren sind in Anhang A angegeben.

(4) Die Momentenbeanspruchbarkeit $M_{\text{sup,Rd}}$ über der Stütze für eine Gleichlast q_{Ed} sollte als Schnittpunkt zweier Kurven ermittelt werden, und zwar:

- der nach Abschnitt 9 und A.5 experimentell ermittelten Momenten-Rotations-Charakteristik am Auflager,
- der theoretischen Beziehung zwischen der Größe des Stützmomentes $M_{\text{sup,Ed}}$ und der zugehörigen Verdrehung ϕ_{Ed} der Pfette im plastischen Gelenk am Auflager.

Bei der Ermittlung der Bemessungsgröße des Stützmomentes $M_{\text{sup,Ed}}$ sollte der Einfluss einer seitlichen Belastung am freien Flansch und/oder des Stabilitätsproblems des freien Flansches an der Innenstützung berücksichtigt werden, wenn diese nicht vollständig durch Innenstützversuche nach A.5.2 erfasst werden. Ist der freie Flansch durchlaufend über der Innenstütze, und beträgt der Abstand zwischen Auflager und der nächsten Schlauder mindestens $0,5s$, so sollte die seitliche Belastung $q_{\text{h,Ed}}$ nach 10.1.4.2 beim Nachweis der Tragfähigkeit über der Innenstütze berücksichtigt werden. Alternativ dürfen Großversuche (1:1) an zwei- oder mehrfeldrigen Pfetten zur Ermittlung der Auswirkung seitlicher Belastung auf den freien Flansch und/oder von Stabilitätsproblemen des freien Flansches am Zwischenlager zum Einsatz kommen.

(5) Die Feldmomente sollten dann ausgehend vom Stützmoment bestimmt werden.

(6) Die folgenden Gleichungen dürfen bei Zweifeldträgern mit gleichen Spannweiten angewendet werden:

$$\phi_{\text{Ed}} = \frac{L}{12 E I_{\text{eff}}} \left[q_{\text{Ed}} L^2 - 8 M_{\text{sup,Ed}} \right] \quad (10.2a)$$

$$M_{\text{spn,Ed}} = \frac{\left(q_{\text{Ed}} L^2 - 2 M_{\text{sup,Rd}} \right)^2}{8 q_{\text{Ed}} L^2} \quad (10.2b)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

I_{eff} das wirksame Flächenträgheitsmoment passend zum Moment $M_{\text{spn,Ed}}$;

L die Stützweite;

$M_{\text{spn,Ed}}$ das größte Feldmoment.

(7) Die Gleichungen (10.2a) und (10.2b) gelten nicht für Zweifeldpfetten ungleicher Stützweiten und unter ungleichmäßiger Streckenlast (z. B. bei Schneeanhäufungen). Für diese Fälle sollten eigene Berechnungen durchgeführt werden.

(8) Das maximale Feldmoment $M_{\text{spn,Ed}}$ der Pfette sollte den Bedingungen der Querschnittstragfähigkeit in 10.1.4.1 genügen. Alternativ kann die Feldmomententragfähigkeit durch Versuche ermittelt werden, wobei der Versuch am Einfeldträger mit einer Vergleichsspannweite entsprechend dem Abstand der Momentennullpunkte ausgeführt werden kann.

10.1.3.3 Zweifeldrige Durchlaufpfette unter abhebender Last (Windsog)

(1) Bei einer durchlaufenden zweifeldrigen Pfette ohne Stoß über der Zwischenstütze sollten bei Windsog die Biegemomente nach der Elastizitätstheorie ermittelt werden.

(2) Das Biegemoment über der Zwischenstütze sollte bezüglich der Querschnittstragfähigkeit den Bedingungen in 10.1.4.1 genügen. Das Zusammenwirken der Auflagerkraft und des Stützmomentes braucht nicht berücksichtigt zu werden, da die Auflagerkraft eine Zugkraft ist. An der Innenstützung ist auch die kombinierte Beanspruchung aus Biegemoment und Querkraft zu überprüfen.

(3) Die Feldmomente sollten die Stabilitätsbedingungen für den freien Gurt nach 10.1.4.2 erfüllen.

10.1.3.4 Koppelpfetten mit Überlappung oder Kopplungsstücken mit beschränkter Durchlaufwirkung

(1) Koppelpfetten, bei denen die Durchlaufwirkung über mehr als zwei Felder durch Überlappungen oder kurze Kopplungsstücke erzielt wird, sollten unter Berücksichtigung der wirksamen Querschnitte und der Auswirkungen der Kopplungen über den Zwischenstützen bemessen werden.

(2) Versuche zur Ermittlung des Tragverhaltens über Zwischenstützen dienen zur Bestimmung von:

- der Biegesteifigkeit der Kopplung oder Überlappung;
- der Momenten-Rotations-Charakteristik der Kopplung. Wenn das Versagen an der Zwischenstütze auftritt, so darf die plastische Umverteilung der Biegemomente für gekoppelte oder überlappte Träger ausschließlich dann angewendet werden, wenn mit Pfettenschuhen oder gleichartiger seitlicher Trägerhalterung an den Zwischenstützen ein Ausweichen verhindert wird;
- der Beanspruchbarkeit der Kopplung oder Überlappung bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Auflagerkraft;
- der Beanspruchbarkeit des nicht überlappten bzw. nicht gekoppelten Pfettenteiles bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft.

Alternativ können die Eigenschaften über der Innenstützung mit numerischen Methoden ermittelt werden, wenn zumindest die Vorgehensweise mit einer bestimmten Anzahl an Versuchen bestätigt wurde.

(3) Bei Auflast sollte die Pfette folgende Bedingungen erfüllen:

- an Zwischenstützen: die Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Auflagerkraft, z. B. ermittelt durch versuchsgestützte Bemessung;
- nahe dem Auflager: die Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft, ermittelt durch versuchsgestützte Bemessung;
- in den Feldern: die Beanspruchbarkeit für den Querschnitt nach 10.1.4.1;
- bei Druckbeanspruchung der Pfette: die Stabilitätsbedingungen für den freien Gurt nach 10.1.4.2.

(4) Bei Windsog sollten die Pfette folgende Bedingungen erfüllen:

- an Zwischenstützen: die Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Auflagerkraft als Zugkraft, z. B. ermittelt durch versuchsgestützte Bemessung;
- nahe dem Auflager: die Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft, z. B. ermittelt durch versuchsgestützte Bemessung;
- in den Feldern: die Stabilitätsbedingungen für den freien Gurt nach 10.1.4.2;
- bei Druckbeanspruchung der Pfette: die Stabilitätsbedingungen für den freien Gurt nach 10.1.4.2.

10.1.3.5 Kriterien der Gebrauchstauglichkeit

(1) Die Bedingungen für den Gebrauchstauglichkeitszustand von Pfetten sollten erfüllt werden.

10.1.4 Bemessungswerte der Tragfähigkeit

10.1.4.1 Querschnittstragfähigkeit

(1) Bei Pfetten mit Einwirkungen von Normalkräften und Querlasten sollten beim Nachweis der Beanspruchbarkeit des Querschnittes nach Bild 10.2 die Spannungen aus folgenden Beanspruchungen überlagert werden:

- dem Biegemoment um die y-Achse $M_{y,Ed}$;
- der Normalkraft N_{Ed} ;
- einer am freien Gurt angreifenden Horizontalkraft $q_{h,Ed}$ aus der Wirkung von Torsion und Seitenbiegung, siehe (3).

(2) Die maximalen Spannungen im Querschnitt sollten wie folgt begrenzt werden:

- im seitlich gestützten Gurt:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{\text{eff},y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}}} \leq f_y / \gamma_M \quad (10.3a)$$

- im freien Gurt:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{\text{eff},y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}}} + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \leq f_y / \gamma_M \quad (10.3b)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche bei zentrischer Druckbeanspruchung;
- f_y die Streckgrenze nach 3.2.1(5);
- $M_{z,Ed}$ das Biegemoment im freien Gurt unter der Horizontallast $q_{h,Ed}$, siehe Gleichung (10.4);
- $W_{eff,y}$ das wirksame Widerstandsmoment bei Biegung um die y - y -Achse;
- W_{tz} das Bruttowiderstandsmoment des freien Gurtes zuzüglich des mittragenden Steganteils für Biegung um die z - z -Achse; wird keine aufwändigere Berechnung durchgeführt, darf der mitwirkende Stegflächenanteil mit 1/5 der Steghöhe (ausgehend vom Schnittpunkt zwischen Gurt und Steg) bei C- und Z-Profilen und 1/6 der Steghöhe bei Σ -Profilen angesetzt werden, siehe Bild 10.2;

$\gamma_M = \gamma_{M0}$ wenn $A_{eff} = A_g$ oder wenn $W_{eff,y} = W_{el,y}$ und $N_{Ed} = 0$, sonst $\gamma_M = \gamma_{M1}$.

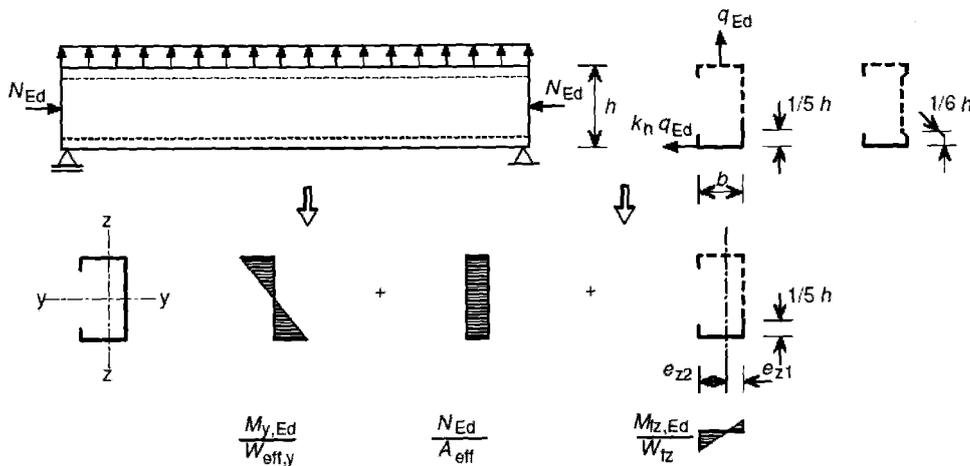


Bild 10.2 — Spannungsüberlagerung

(3) Die am freien Gurt angreifende Horizontalbelastung $q_{h,Ed}$ als Folge von Torsion und Biegung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$q_{h,Ed} = k_h q_{Ed} \tag{10.4}$$

(4) Der Faktor k_h kann für normale Querschnittsformen Bild 10.3 entnommen werden.

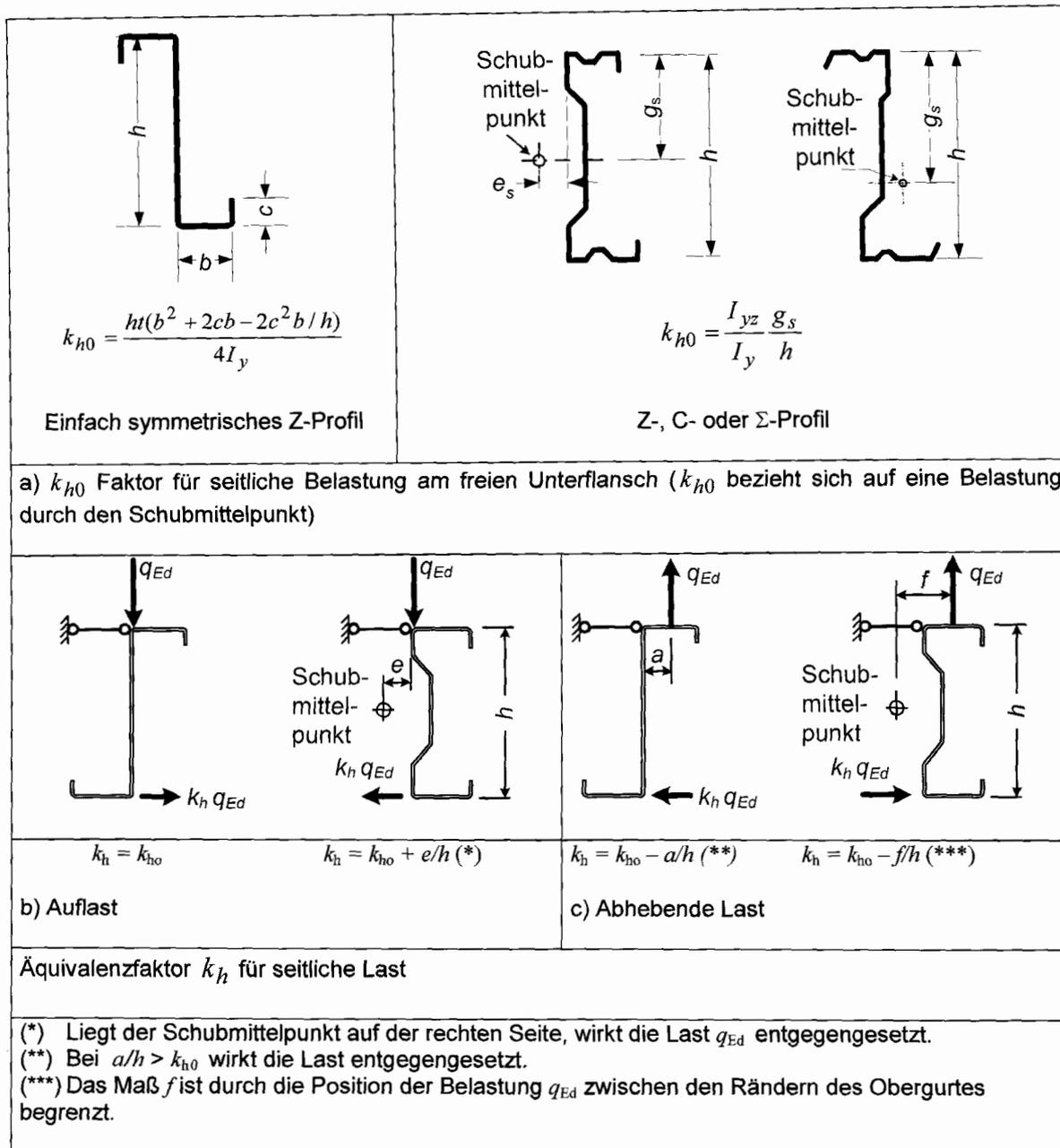


Bild 10.3 — Umrechnung der Torsion und seitlichen Biegung in eine äquivalente seitliche Belastung $k_h q_{Ed}$

(5) Das Querbiegemoment $M_{fz,Ed}$ darf nach Gleichung (10.5) bestimmt werden. Ist der freie Flansch unter Zugbeanspruchung, so darf aufgrund der positiven Auswirkung des Flanscheindrehens und der Theorie II. Ordnung das Querbiegemoment zu null angenommen werden:

$$M_{fz,Ed} = \kappa_R M_{0,fz,Ed} \tag{10.5}$$

Dabei ist

$M_{0,fz,Ed}$ der Ausgangswert des Querbiegemomentes ohne Wegfederbettung;

κ_R ein Korrekturfaktor, der die Bettung erfasst.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(6) Das Ausgangsquerbiegemoment $M_{0,fz,Ed}$ des freien Gurtes ist in Tabelle 10.1 für kritische Schnitte im Feld, an der Stütze sowie an und zwischen Schlaudern angegeben. Tabelle 10.1 ist für Federkennwerte $R \leq 40$ gültig.

(7) Der Korrekturfaktor κ_R für den maßgebenden Schnitt und die Randbedingungen der Pfette können nach Tabelle 10.1 (oder an dem System des elastisch gebetteten Balkens) mit Hilfe des Federkennwertes R ermittelt werden:

$$R = \frac{K L_a^4}{\pi^4 E I_{fz}} \quad (10.6)$$

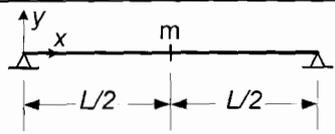
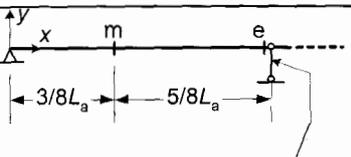
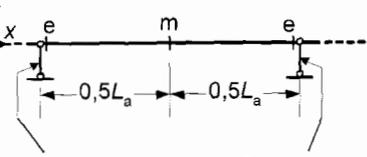
Dabei ist

I_{fz} das Flächenmoment 2. Grades um die z-z-Achse der Bruttofläche des freien Gurtes zuzüglich des mitwirkenden Stegflächenanteils, siehe 10.1.4.1(2); zur Anwendung numerischer Methoden, siehe 10.1.2(5);

K die Steifigkeit der Wegfeder je Längeneinheit nach 10.1.5.1;

L_a der Abstand zwischen Schlaudern, sofern vorhanden, sonst die Spannweite L der Pfette.

Tabelle 10.1 — Ausgangswerte für das Querbiegemoment $M_{0,fz,Ed}$ und Korrekturbeiwerte κ_R

System	Schnittstelle	$M_{0,fz,Ed}$	κ_R
 $(L_a = L)$	m	$\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0225R}{1 + 1,013R}$
 Schlauder oder Auflager	m	$\frac{9}{128} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0141R}{1 + 0,416R}$
	e	$-\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0314R}{1 + 0,396R}$
 Schlauder oder Auflager	m	$\frac{1}{24} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0125R}{1 + 0,198R}$
	e	$-\frac{1}{12} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0178R}{1 + 0,191R}$

10.1.4.2 Knickbeanspruchbarkeit des freien Gurtes

(1) Für den freien Gurt mit Druckbeanspruchungen sollte die Beanspruchbarkeit wie folgt nachgewiesen werden:

$$\frac{I}{\chi_{LT}} \left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \right) + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \leq f_{yb} / \gamma_{M1} \quad (10.7)$$

wobei χ_{LT} der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken ist (entspricht dem Biegeknicken des freien Gurtes).

ANMERKUNG Die Anwendung der χ_{LT} -Werte darf nach dem Nationalen Anhang geschehen. Für die bezogenen Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_{fz}$ nach (2) wird die Verwendung von EN 1993-1-1, 6.3.2.3 mit der Knicklinie b ($\alpha_{LT} = 0,34$; $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$; $\beta = 0,75$) empfohlen. Im Fall zentrischer Druckbeanspruchung und wenn der Abminderungsbeiwert für Knicken um die starke Achse kleiner ist als der für Knicken um die schwache Achse, z. B. bei vielen Schlaudern, ist in der Regel auch diese Versagensform nach 6.2.2 und 6.2.4 nachzuweisen.

(2) Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{fz}$ für das Biegeknicken des freien Gurtes lautet:

$$\bar{\lambda}_{fz} = \frac{l_{fz} / i_{fz}}{\lambda_1} \quad (10.8)$$

mit:

$$\lambda_1 = \pi \left[E / f_{yb} \right]^{0,5}$$

Dabei ist

l_{fz} die Knicklänge des freien Gurtes nach (3) bis (7);

i_{fz} der Trägheitsradius des Gesamtquerschnittes des freien Gurtes zuzüglich des mitwirkenden Stegflächenanteils um die z-z-Achse, siehe 10.1.4.1(2).

(3) Bei Federkennwerten $0 \leq R \leq 200$ darf bei Auflast und veränderlicher Druckbeanspruchung entlang der Spannweite L nach Bild 10.4 die Knicklänge des freien Gurtes wie folgt ermittelt werden:

$$l_{fz} = \eta_1 L_a \left(1 + \eta_2 R^{\eta_3} \right)^{\eta_4} \quad (10.9)$$

Dabei ist

L_a der Abstand zwischen Schlaudern, sofern vorhanden, sonst die Spannweite L der Pfette;

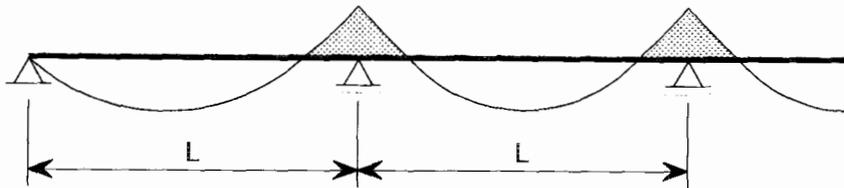
R wie in 10.1.4.1(7) angegeben;

η_1 bis η_4 Koeffizienten in Abhängigkeit von der Anzahl der Schlaudern nach Tabelle 10.2a.

Die Tabellen 10.2a und 10.2b gelten nur bei gleichfeldrigen Durchlaufsystemen mit Gleichlast, ohne Trägerstoß oder Überlappung, und mit Stützung des freien Flansches durch Schlaudern. Die Tabellen können auch bei gestoßenen Durchlaufpfetten verwendet werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Verbindungen starr sind. In anderen Fällen ist die Knicklänge durch entsprechende Berechnungen zu ermitteln, oder es können mit Ausnahme von Kragssystemen die Werte der Tabelle 10.2a für den Fall von drei Schlaudern je Feld verwendet werden.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG Infolge der Rotation im Trägerstoß könnte das Feldmoment größer ausfallen, was auch zu höheren Knicklängen im Feld führt. Bei Vernachlässigung des tatsächlichen Momentenverlaufs könnte die Bemessung unsicher ausfallen.



[Markierte Bereiche stehen für Druckbeanspruchung]

Bild 10.4 — Veränderliche Druckbeanspruchungen im freien Gurt bei Auflast

Tabelle 10.2a — Beiwerte η_i bei Auflast mit und ohne Schlaudern

Situation	Anzahl Schlaudern	η_1	η_2	η_3	η_4
Endfeld	0	0.414	1.72	1.11	-0.178
Innenfeld		0.657	8.17	2.22	-0.107
Endfeld	1	0.515	1.26	0.868	-0.242
Innenfeld		0.596	2.33	1.15	-0.192
Endfeld und Innenfeld	2	0.596	2.33	1.15	-0.192
Endfeld und Innenfeld	3 und 4	0.694	5.45	1.27	-0.168

Tabelle 10.2b — Beiwerte η_i bei abhebender Last (Windsog) mit und ohne Schlaudern

Situation	Anzahl Schlaudern	η_1	η_2	η_3	η_4
Einfeld	0	0.694	5.45	1.27	-0.168
Endfeld		0.515	1.26	0.868	-0.242
Innenfeld		0.306	0.232	0.742	-0.279
Einfeld und Endfeld	1	0.800	6.75	1.49	-0.155
Innenfeld		0.515	1.26	0.868	-0.242
Einfeld	2	0.902	8.55	2.18	-0.111
Endfeld und Innenfeld		0.800	6.75	1.49	-0.155
Einfeld und Endfeld		3 und 4	0.902	8.55	2.18
Innenfeld	0.800		6.75	1.49	-0.155

(4) Wenn mehr als 3 Schlaudern je Spannweite mit gleichen Abständen vorhanden sind und die Bedingung in (3) zutrifft, braucht bei Auflast die Knicklänge nicht größer als $L_a = L/3$ (Wert für 2 Schlaudern) angesetzt zu werden. Diese Regel gilt nur dann, wenn keine Druckkraft im Querschnitt vorhanden ist.

(5) Wenn die Druckbeanspruchungen wegen großer Normalkräfte über die Spannweite L wenig veränderlich sind, sollte die Knicklänge mit den η_i -Werte in der Tabelle 10.2a für den Fall von mehr als drei Schlaudern je Spannweite, aber mit dem tatsächlichen Abstand L_a ermittelt werden.

(6) Bei $0 \leq R_0 \leq 200$ darf bei abhebenden Lasten (Windsog) und bei längs der Stablänge L_0 veränderlicher Druckbeanspruchung, wie in Bild 10.5 dargestellt, die Knicklänge des freien Gurtes wie folgt ermittelt werden:

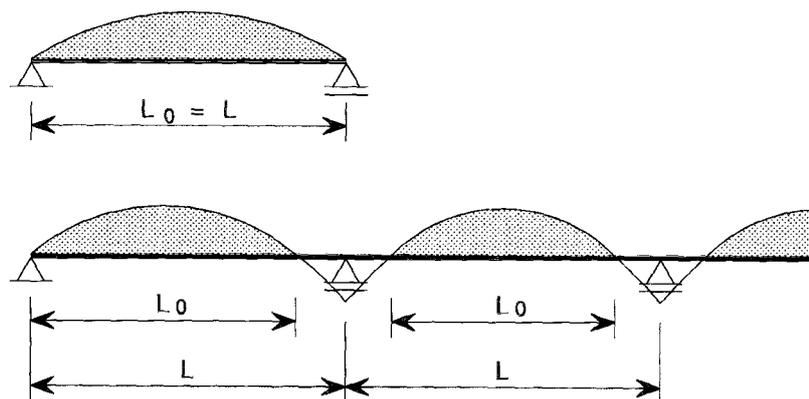
$$l_{fz} = 0,7 L_0 (1 + 13,1 R_0^{1,6})^{-0,125} \quad (10.10a)$$

mit:

$$R_0 = \frac{K L_0^4}{\pi^4 E I_{fz}} \quad (10.10b)$$

wobei I_{fz} und K in 10.1.4.1(7) definiert sind. Alternativ können die Knicklängen für den freien Flansch mit Tabelle 10.2b in Kombination mit der Gleichung in 10.1.4.2(3) ermittelt werden.

(7) Wenn bei Windsog der freie Gurt gegenüber horizontalen Verschiebungen durch Schlaudem wirksam gehalten ist, darf die Knicklänge (als auf der sicheren Seite liegend) wie bei einer konstanten Momentverteilung nach (5) angesetzt werden. Die Gleichung \overline{AC} (10.9) \overline{AC} darf unter den in (3) genannten Bedingungen verwendet werden. Werden keine entsprechenden Berechnungen durchgeführt, wird auf \overline{AC} (5) \overline{AC} verwiesen.



[Die gepunkteten Flächen zeigen die druckbeanspruchten Bereiche]

Bild 10.5 — Veränderliche Druckspannung im freien Flansch bei Windsog

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

10.1.5 Drehbehinderung durch Profilbleche

10.1.5.1 Steifigkeit der Querbettung

(1) Die seitliche Stützung des freien Gurtes der Pfetten durch die Profilbleche sollte als Wegfeder angesetzt werden, die in der Gurtebene am freien Gurt als Querbettung wirkt (siehe Bild 10.1). Die Gesamtbettung K je Längeneinheit wird wie folgt bestimmt:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_A} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C} \quad (10.11)$$

Dabei ist

K_A die Querbettung entsprechend der Drehfedersteifigkeit des Anschlusses vom Profilblech an die Pfette;

K_B die Querbettung, die aus der Profilverformung der Pfette herrührt;

K_C die Querbettung infolge der Biegesteifigkeit der Profilbleche.

(2) Üblicherweise ist der Betrag von $1/K_C$ vernachlässigbar, da K_C im Vergleich zu K_A und K_B sehr groß ist. Die resultierende Querbettung beträgt dann:

$$K = \frac{1}{\left(1/K_A + 1/K_B\right)} \quad (10.12)$$

(3) Der Wert für $(1/K_A + 1/K_B)$ darf entweder durch Versuche oder durch Berechnung ermittelt werden.

ANMERKUNG Anhang A enthält geeignete Versuchsverfahren.

(4) Die Querbettung K je Längeneinheit darf wie folgt berechnet werden:

$$\frac{1}{K} = \frac{4(1-\nu^2)h^2(h_d + b_{\text{mod}})}{Et^3} + \frac{h^2}{C_D} \quad (10.13)$$

wobei das Maß b_{mod} folgendermaßen ermittelt wird:

— wenn die äquivalente seitliche Belastung $q_{h,\text{Ed}}$ Kontakt des Profilbleches mit dem Pfettensteg erzeugt:

$$b_{\text{mod}} = a$$

— wenn die äquivalente seitliche Belastung $q_{h,\text{Ed}}$ Kontakt des Profilbleches mit dem Gurtende der Pfette erzeugt:

$$b_{\text{mod}} = 2a + b$$

Dabei ist

t die Blechdicke der Pfette;

a der Abstand zwischen Verbindungsmittel und Pfettensteg, siehe Bild 10.6;

b die Breite des befestigten Pfettengurtes, siehe Bild 10.6;

- C_D die gesamte Drehfedersteifigkeit nach 10.1 5.2;
 h die Gesamthöhe der Pfette;
 h_d die Abwicklung der Steghöhe, siehe Bild 10.6.

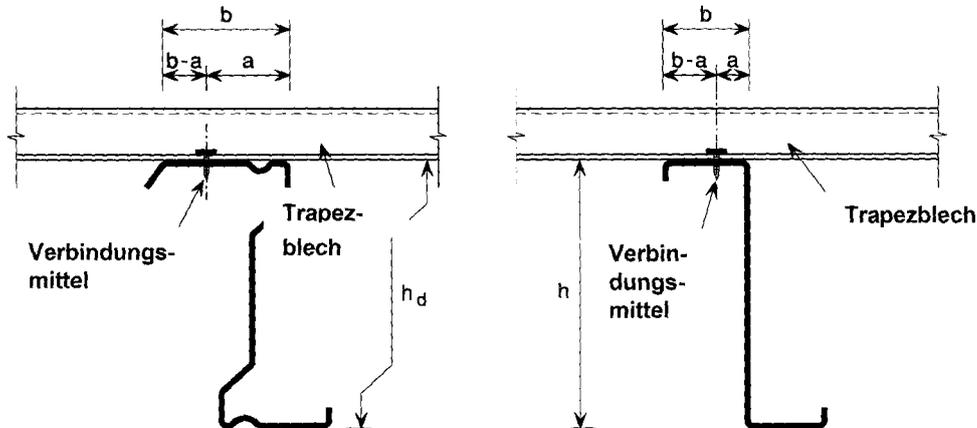


Bild 10.6 — Pfette und befestigtes Blech

10.1.5.2 Steifigkeit der Drehbettung

(1) Die Verdrehungsbehinderung der Pfette durch das auf dem Obergurt befestigte Profilblech wird als Drehfeder angesetzt, die sich am Obergurt der Pfette als Drehbettung auswirkt, siehe Bild 10.1. Die resultierende Steifigkeit C_D der Drehbettung lautet:

$$C_D = \frac{1}{\left(1/C_{D,A} + 1/C_{D,C}\right)} \quad (10.14)$$

Dabei ist

- $C_{D,A}$ die Steifigkeit der Drehbettung der Verbindung zwischen Profilblech und Pfette;
 $C_{D,C}$ die Steifigkeit der Drehbettung entsprechend der Biegesteifigkeit des Profilbleches.

(2) Die Steifigkeit der Drehbettung $C_{D,A}$ darf mit den Regeln nach (5) und (7) berechnet werden. Alternativ kann $C_{D,A}$ durch Versuche ermittelt werden, siehe (9).

(3) Die Steifigkeit der Drehbettung $C_{D,C}$ darf als der kleinste Wert angesetzt werden, der sich aus den in Bild 10.7 dargestellten Rechenmodellen ergibt. Dabei sind die Verdrehungen der benachbarten Pfetten und die Durchlaufwirkung der Profilbleche unterschiedlich angenommen.

Es gilt:

$$C_{D,C} = m/\theta \quad (10.15)$$

Dabei ist

- m das nach Bild 10.7 aufgebrauchte Moment je Breitereinheit des Profilblechs;
 θ die aus m resultierende Querschnittsverdrehung in Rad, wie in Bild 10.7 dargestellt.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

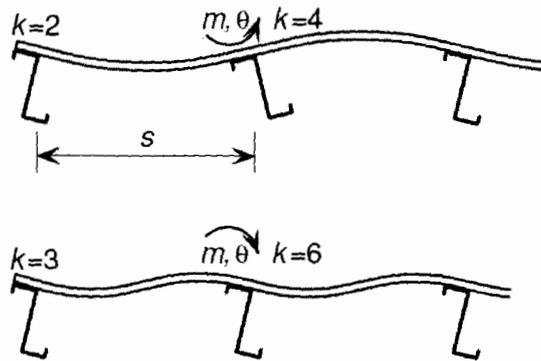


Bild 10.7 — Berechnungsmodelle für $C_{D,C}$

(4) Alternativ darf (auf der sicheren Seite liegend) der $C_{D,C}$ -Wert wie folgt ermittelt werden:

$$C_{D,C} = \frac{k E I_{\text{eff}}}{s} \quad (10.16)$$

wobei k ein Koeffizient ist, der die folgenden Werte annimmt:

- Endfeld und Verdrehung nach Bild 10.7 oben $k = 2$;
- Endfeld und Verdrehung nach Bild 10.7 unten $k = 3$;
- Innenfeld und Verdrehung nach Bild 10.7 oben $k = 4$;
- Innenfeld und Verdrehung nach Bild 10.7 unten $k = 6$.

Dabei ist

I_{eff} das wirksame Flächenmoment 2. Grades je Breitereinheit des Profilblechs;

s der Pfettenabstand.

(5) Vorausgesetzt, dass die Verbindungsmittel zwischen Pfetten und Profilblech in der Mitte der Pfettengurte angebracht sind, darf der Wert $C_{D,A}$ für auf dem Pfettenobergurt befestigte Profilbleche wie folgt bestimmt werden (siehe Tabelle 10.3):

$$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{bR} \cdot k_A \cdot k_{bT} \quad (10.17)$$

mit

$$k_{ba} = (b_a / 100)^2 \quad \text{wenn } b_a < 125 \text{ mm};$$

$$k_{ba} = 1,25(b_a / 100) \quad \text{wenn } 125 \text{ mm} \leq b_a < 200 \text{ mm};$$

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,1} \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} \geq 0,75 \text{ mm}; \text{ positive Lage};$$

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,5} \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} \geq 0,75 \text{ mm}; \text{ negative Lage};$$

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,5} \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} < 0,75 \text{ mm};$$

$$k_{bR} = 1,0 \quad \text{wenn } b_R \leq 185 \text{ mm};$$

$$k_{bR} = 185 / b_R \quad \text{wenn } b_R > 185 \text{ mm};$$

bei Auflast:

$$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,08 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 0,75 \text{ mm}; \text{ positive Lage};$$

$$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,16 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 0,75 \text{ mm}; \text{ negative Lage};$$

$$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 1,00 \text{ mm}; \text{ positive Lage};$$

$$k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095 \quad \text{wenn } t_{\text{nom}} = 1,00 \text{ mm}; \text{ negative Lage};$$

- lineare Interpolation bei t zwischen $t = 0,75 \text{ mm}$ und $t = 1,0 \text{ mm}$ ist zulässig;
- die Gleichung gilt nicht für $t < 0,75 \text{ mm}$;
- bei $t > 1 \text{ mm}$ ist in der Gleichung $t = 1 \text{ mm}$ einzusetzen;

bei abhebender Last:

$$k_A = 1,0;$$

$$k_{bT} = \sqrt{\frac{b_{T,\text{max}}}{b_T}} \quad \text{wenn } b_T > b_{T,\text{max}}, \text{ sonst } k_{bT} = 1;$$

$A \leq 12$ in kN/m ist die Last in kN/m, die zwischen Blech und Pfette wirkt.

Dabei ist

- b_a die Breite des Pfettengurts in mm;
- b_R der Rippenabstand des Profilbleches in mm;
- b_T die Breite des Profilblechgurtes, der mit der Pfette verbunden wird;
- $b_{T,\text{max}}$ nach Tabelle 10.3;
- C_{100} die Drehfedersteifigkeit (entspricht $C_{D,A}$ für $b_a = 100 \text{ mm}$).

(6) Für den Fall, dass zwischen dem Pfettenobergurt und den Profilblechen keine Dämmung angeordnet ist, gelten die Werte für C_{100} nach Tabelle 10.3.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(7) Alternativ darf $C_{D,A} = 130 p$ in Nm/m/rad angesetzt werden, wobei p die Anzahl der Verbindungsmittel (zwischen Trapezprofilen und Pfettengurt) je lfd. Meter Länge der Pfette ist. Dabei darf je Profilrippe nicht mehr als 1 Verbindungsmittel gerechnet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass:

- die Breite b des befestigten Trapezprofilgurtes höchstens 120 mm beträgt;
- der Nennwert der Stahlkerndicke t des Trapezprofils mindestens 0,66 mm beträgt;
- der Abstand a oder $(b - a)$ zwischen dem Verbindungsmittel und dem Zwangsdrehpunkt der Pfette (je nach Rotationsrichtung, siehe Bild 10.6) mindestens 25 mm beträgt.

(8) Wenn Profilverformungen zu berücksichtigen sind, siehe 10.1.5.1, darf $C_{D,C}$ vernachlässigt werden, weil die Federsteifigkeit hauptsächlich durch den Wert $C_{D,A}$ und die Profilverformungen beeinflusst wird.

(9) Alternativ kann $C_{D,A}$ mit versuchsgestützter Berechnung ermittelt werden.

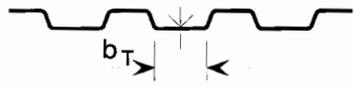
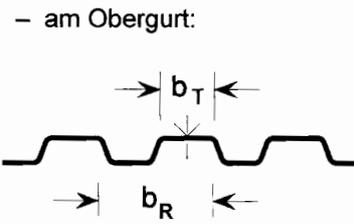
(10) Wenn der Wert von $(1/K_A + 1/K_B)$ durch Versuche ermittelt wird (in mm/N nach A.5.3(3)), sollten die Werte $C_{D,A}$ für Auflast und Windsog wie folgt ermittelt werden:

$$C_{D,A} = \frac{h^2 I_A}{(1/K_A + 1/K_B) - 4(1-\nu^2)h^2(h_d + b_{\text{mod}}) / (Et^3 l_B)} \quad (10.18)$$

wobei b_{mod} , h und h_d nach 10.1.5.1(4) definiert sind und I_A die Modulbreite des Blechs und l_B die Länge des Versuchsträgers ist.

ANMERKUNG Zur Versuchsdurchführung siehe Anhang A.5.3(3).

Tabelle 10.3 — Drehfedersteifigkeit C_{100} für Trapezblechprofile

Lage der Profilbleche		Befestigung am		Abstand der Befestigungen		Scheibendurchmesser mm	C_{100} kNm/m	$b_{T,max}$ mm
Positiv ^a	Negativ ^a	Untergurt	Obergurt	$e = b_R$	$e = 2b_R$			
Bei Auflast:								
×		×		×		22	5,2	40
×		×			×	22	3,1	40
	×		×	×		K_a	10,0	40
	×		×		×	K_a	5,2	40
	×	×		×		22	3,1	120
	×	×			×	22	2,0	120
Bei abhebender Last:								
×		×		×		16	2,6	40
×		×			×	16	1,7	40
Dabei ist b_R der Rippenabstand; b_T die Breite des an der Pfette angeschlossenen Untergurtes des Trapezblechprofils.								
K_a steht für eine Stahlabdeckplatte mit $t \geq 0,75$ mm (siehe Darstellung)						Profilbefestigung – am Untergurt:  – am Obergurt: 		
Die angegebenen Werte gelten bei: – Schraubendurchmesser: $\varnothing = 6,3$ mm; – Unterlegscheibendicke: $t_w \geq 1,0$ mm.								
^a Die Lage des Profilblechs ist positiv, wenn der schmalere Gurt auf der Pfette liegt, und negativ, wenn der breitere Gurt auf der Pfette liegt.								

10.1.6 Kräfte in den Blech/Pfetten-Verbindungen und Lagerkräfte

(1) Verbindungsmittel sollten für eine gleichzeitige Beanspruchung aus den Querkräften q_s e senkrecht zum Flansch und der Zugkraft q_t e nachgewiesen werden, wobei q_s und q_t mit Tabelle 10.4 bestimmt werden können. e ist der Abstand der Verbindungsmittel. Querkräfte, die durch Stabilitätseffekte hervorgerufen werden, sind in der Regel zu den planmäßigen Querkräften zu addieren, siehe EN1993-1-1. Weiterhin sind Querkräfte parallel zum Flansch, die durch Scheibenwirkung der Profilbleche entstehen können, in der Regel vektoriell zu q_s zu addieren.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 10.4 — Querkräfte und Zugkräfte in den Verbindungsmitteln

Profil und Belastung	Querkraft je Längeneinheit q_s	Zugkraft je Längeneinheit q_t
Z-Profil, Auflast	$(1 + \xi)k_h q_{Ed}$, kann zu 0 gesetzt werden	0
Z-Profil, abhebende Last	$(1 + \xi)(k_h - a/h)q_{Ed}$	$ \xi k_h q_{Ed} h/a + q_{Ed}$ ($a \cong b/2$)
C-Profil, Auflast	$(1 - \xi)k_h q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed} h/a$
C-Profil, abhebende Last	$(1 - \xi)(k_h - a/h)q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed} h/(b - a) + q_{Ed}$

(2) Die Verbindungsmittel, die die Pfetten mit deren Auflagern verbinden, sollten für die Lagerkräfte R_w in der Stegebene und für die Lagerkräfte R_1 und R_2 in den Gurtebenen nachgewiesen werden, siehe Bild 10.8. Die Kräfte R_1 und R_2 können mit Tabelle 10.5 bestimmt werden. In die Kraft R_2 sollten auch Belastungskomponenten infolge der Dachneigung einbezogen werden. Ist R_1 positiv, wird das Verbindungsmittel nicht auf Zug beansprucht. R_2 sollte aus dem Trapezblech in den Pfettenoberflansch und von da über eine Auflagersteife, eine besondere Schubverbindung oder auch direkt weiter zum Dachriegel (Pfettenunterkonstruktion) geführt werden. Die Lagerkräfte an einem Zwischenaufleger von Durchlaufpfetten können mit dem 2,2fachen der Werte in der Tabelle 10.5 angesetzt werden.

ANMERKUNG Bei geneigten Dächern werden die vertikalen Lasten in Komponenten senkrecht und parallel zur Dachebene aufgeteilt.

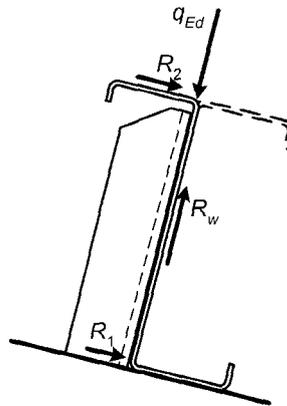


Bild 10.8 — Reaktionskräfte am Auflager

Tabelle 10.5 — Auflagerreaktionskräfte bei einfeldrigen Pfetten

Profil und Belastung	Lagerreaktion R_1 am Unterflansch	Lagerreaktion R_2 am Oberflansch
Z-Profil, Auflast	$(1 - \varsigma)k_h q_{Ed} L/2$	$(1 + \varsigma)k_h q_{Ed} L/2$
Z-Profil, abhebende Last	$-(1 - \varsigma)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1 + \varsigma)k_h q_{Ed} L/2$
C-Profil, Auflast	$\langle \text{AC} \rangle (1 - \varsigma)k_h q_{Ed} L/2 \langle \text{AC} \rangle$	$\langle \text{AC} \rangle -(1 - \varsigma)k_h q_{Ed} L/2 \langle \text{AC} \rangle$
C-Profil, abhebende Last	$\langle \text{AC} \rangle -(1 - \varsigma)k_h q_{Ed} L/2 \langle \text{AC} \rangle$	$\langle \text{AC} \rangle (1 - \varsigma)k_h q_{Ed} L/2 \langle \text{AC} \rangle$

$\langle \text{AC} \rangle$

(3) Der Beiwert ς kann mit $\varsigma = 1 - \sqrt[3]{\kappa_R^2}$ angesetzt werden, wobei κ_R ein Korrekturbeiwert aus Tabelle 10.1 ist; der Beiwert ξ kann zu $\xi = 1,5 \varsigma$ gesetzt werden. $\langle \text{AC} \rangle$

10.2 Kassettenprofile mit Aussteifung durch Profilbleche

10.2.1 Allgemeines

(1) Als Kassettenprofile gelten trogförmige Querschnitte mit einem breiten Gurt und zwei Stegen mit zwei schmalen Gurten (siehe Bild 10.9). Die zwei schmalen Gurte sind \overline{AC} durch angeschlossene Profilbleche oder durch Stahlketten oder ähnliche Bauteile \overline{AC} aussteift.

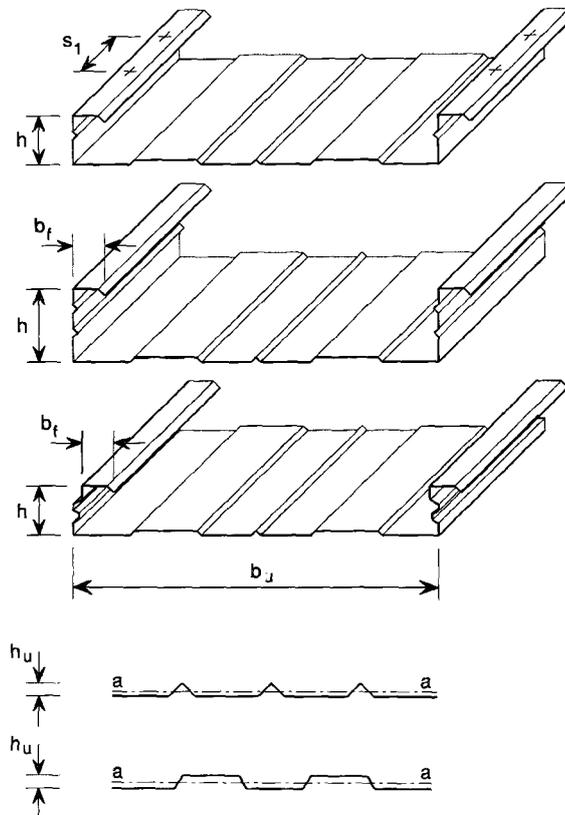


Bild 10.9 — Typische Gestaltung von Kassetten

(2) Die Beanspruchbarkeit der Stege auf Querkraft und örtliche Lasteinleitung ergibt sich aus 6.1.5 bis 6.1.11, jedoch mit $M_{c,Rd}$ nach (3) oder (4).

(3) Die Momententragfähigkeit $M_{c,Rd}$ von Kassettenprofilen darf nach 10.2.2 ermittelt werden, vorausgesetzt, dass

- die Maße in den Grenzen der Tabelle 10.6 liegen;
- die Sickenhöhe h_u im breiten Gurt nicht das Maß $h/8$ überschreitet, mit h als Gesamthöhe der Kasse.

(4) Alternativ darf die Momententragfähigkeit durch Versuche ermittelt werden, vorausgesetzt, dass das örtliche Verhalten des Kassettenprofils nicht durch den Versuchsaufbau beeinflusst wird.

ANMERKUNG Geeignete Testverfahren sind in Anhang A angegeben.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 10.6 — Anwendungsgrenzen für 10.2.2

0,75 mm	≤	t_{nom}	≤	1,5 mm
30 mm	≤	b_f	≤	60 mm
60 mm	≤	h	≤	200 mm
300 mm	≤	b_u	≤	600 mm
		I_a / b_u	≤	10 mm ⁴ /mm
		s_1	≤	1 000 mm

10.2.2 Momententragfähigkeit

10.2.2.1 Druckbeanspruchung im breiten Gurt

(1) Die Momententragfähigkeit des Kassettenprofils sollte bei Druckbeanspruchung im breiten Gurt durch eine schrittweise Berechnung (wie in Bild 10.10 dargestellt) ermittelt werden:

- **Schritt 1:** Bestimmung der wirksamen Flächen aller druckbeanspruchten Elemente des Querschnittes auf der Grundlage des Spannungsverhältnisses $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$, das mit der wirksamen Fläche des Druckgurtes, aber der Bruttoquerschnittsfläche der Stege ermittelt wird;
- **Schritt 2:** Ermittlung der Lage der Schwerachse des wirksamen Querschnittes und Bestimmung des Grenzbiegemomentes $M_{c,Rd}$:

$$M_{c,Rd} = 0,8 W_{\text{eff,min}} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (10.19)$$

mit:

$$W_{\text{eff,min}} = I_{y,\text{eff}} / z_c \quad \text{jedoch} \quad W_{\text{eff,min}} \leq I_{y,\text{eff}} / z_t;$$

wobei z_c und z_t die Abschnitte in Bild 10.10 sind.

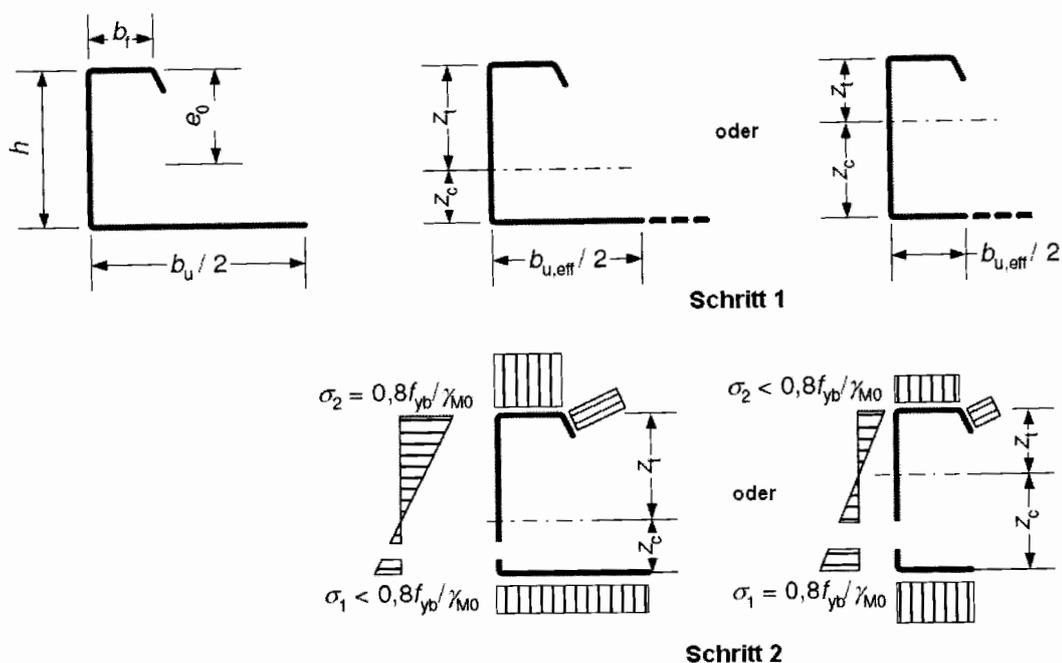


Bild 10.10 — Ermittlung der Momenten Tragfähigkeit bei druckbeanspruchtem, breitem Gurt

10.2.2.2 Zugbeanspruchung im breiten Gurt

(1) Die Momenten Tragfähigkeit des Kassettenprofils sollte bei Zugbeanspruchung im breiten Gurt durch schrittweise Berechnung (wie in Bild 10.11 dargestellt) ermittelt werden:

- **Schritt 1:** Bestimmung der Lage der Schwerachse des Bruttoquerschnittes;
- **Schritt 2:** Bestimmung der wirksamen Breite des breiten Gurtes $b_{u,eff}$ unter Berücksichtigung der möglichen Eindrehung der Gurte mit:

$$b_{u,eff} = \frac{53,3 \cdot 10^{10} e_o^2 t^3 t_{eq}}{h L b_u^3} \quad (10.20)$$

Dabei ist

- b_u die Gesamtbreite des breiten Gurtes;
 - e_o der Abstand von der Schwerachse des Bruttoquerschnittes bis zur Schwerachse des schmalen Gurtes;
 - h die Kassettenprofilhöhe;
 - L die Spannweite des Kassettenprofils;
 - t_{eq} die äquivalente Blechdicke des breiten Gurtes.
- $$t_{eq} = (12 I_a / b_u)^{1/3}$$
- I_a das Flächenmoment 2. Grades des breiten Gurtes um seine eigene Schwerachse, siehe Bild 10.9.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- **Schritt 3:** Ermittlung der wirksamen Flächen aller druckbeanspruchten Teile des Querschnittes auf der Grundlage des Spannungsverhältnisses $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$, das mit den wirksamen Flächen der Druckgurte, aber der Bruttoquerschnittsfläche der Stege ermittelt werden;
- **Schritt 4:** Nach Ermittlung der Lage der Schwerachse des wirksamen Querschnittes und Bestimmung des Momententragfähigkeit $M_{b,Rd}$:

$$M_{b,Rd} = 0,8 \beta_b W_{eff,com} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad \text{jedoch} \quad M_{b,Rd} \leq 0,8 W_{eff,t} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (10.21)$$

mit:

$$W_{eff,com} = I_{y,eff} / z_c$$

$$W_{eff,t} = I_{y,eff} / z_t$$

wobei der Korrelationsfaktor β_b folgendermaßen bestimmt wird:

- wenn $s_1 \leq 300$ mm:

$$\beta_b = 1,0$$

- wenn 300 mm $\leq s_1 \leq 1\,000$ mm:

$$\beta_b = 1,15 - s_1 / 2\,000$$

wobei:

s_1 der Abstand der Verbindungsmittel in den schmalen Gurten ist, siehe Bild 10.9.

(2) Die mitttragende Breite aus Schubverzerrung braucht nicht berücksichtigt zu werden, wenn $L / b_{u,eff} \geq 25$. Andernfalls ist ein reduzierter Wert ρ nach 6.1.4.3 zu berücksichtigen.

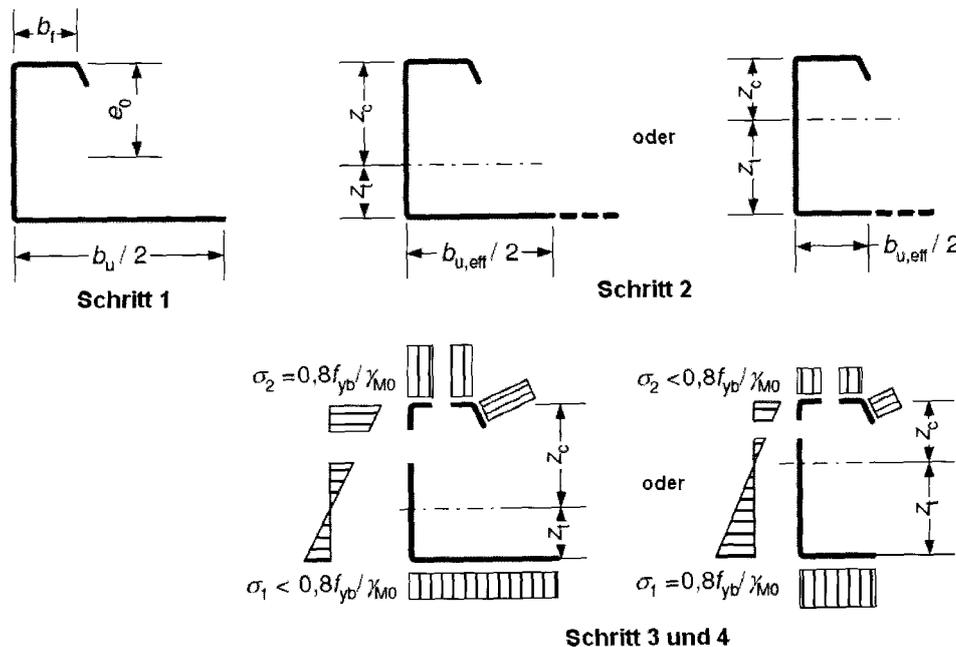


Bild 10.11 — Momententragfähigkeit bei zugbeanspruchtem, breitem Gurt

(3) Flanscheindrehungen brauchen bei der Bestimmung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nicht berücksichtigt zu werden.

(4) Vereinfachend darf das Grenzbiegemoment von Kassettenprofilen mit unausgesteiftem, breitem Gurt bestimmt werden, indem beim breiten Gurt mit Zugbeanspruchung die gleiche wirksame Breite wie bei den beiden schmalen Gurten mit Druckbeanspruchung angesetzt wird.

10.3 Bemessung von Schubfeldern

10.3.1 Allgemeines

(1) Dieser Abschnitt 10.3 beschreibt das planmäßige Zusammenwirken der Tragstruktur mit Profilblechfeldern als integriertes schubübertragendes System.

(2) Die in diesem Abschnitt angegebenen Regelungen gelten ausschließlich für Schubfelder aus Stahlblechen.

(3) Schubfelder können aus Profilblechen gebildet werden, die in Dach-, Wand- oder Deckenkonstruktionen verwendet werden. Schubfelder können auch durch Dach- oder Wandkonstruktionen gebildet werden, die Kassettenprofile enthalten.

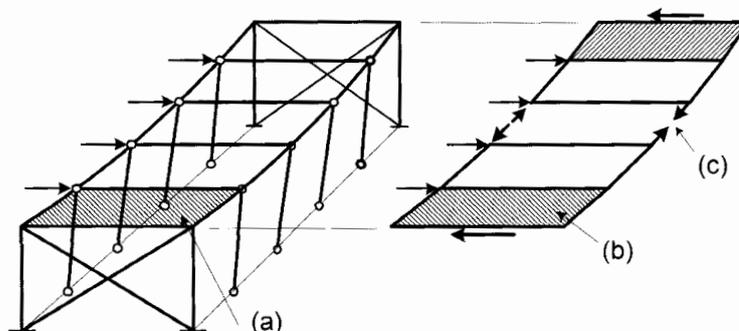
ANMERKUNG Umfassende Bemessungs- und Anwendungsregeln sind verfügbar in:
ECCS Publication No. 88 (1995): *European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm.*

10.3.2 Scheibenwirkung

(1) Bei der Schubfeldbemessung darf der Beitrag der Scheibenwirkung von Dach-, Wand- und Deckenkonstruktionen aus Profilblechen zur Steifigkeit und Tragfähigkeit des Gebäudetragwerks ausgenutzt werden.

(2) Dächer und Decken dürfen als gebäudelange, hohe Träger betrachtet werden, die in ihrer Ebene angreifende Kräfte an vertikale Endscheiben oder an zwischenliegende Rahmentragwerke oder Verbände weiterleiten. Die Profilbleche dürfen dabei als Stege zur Aufnahme der Querkräfte und die Randglieder als Gurte zur Aufnahme der Druck- und Zugkräfte aufgefasst werden, siehe Bilder 10.12 und 10.13.

(3) In ähnlicher Weise dürfen rechteckige Wandtafeln als Schubfelder zur Gebäudeaussteifung herangezogen werden.



Legende

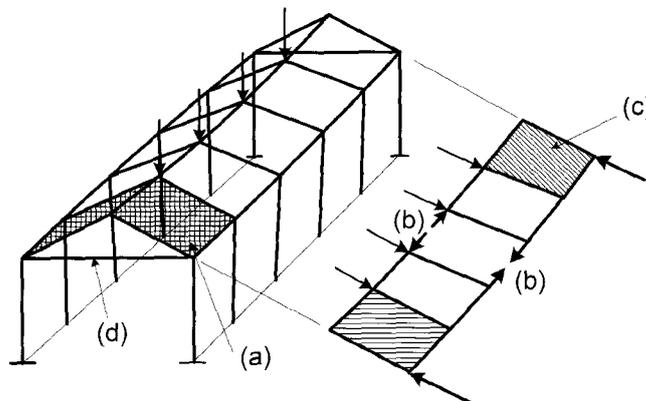
- (a) Profilbleche
- (b) Schubfeld aus Profilblechen
- (c) Gurtkräfte in den Randgliedern

Bild 10.12 — Scheibenwirkung bei einem Flachdachgebäude

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

10.3.3 Voraussetzungen

- (1) Die Ausnutzung von Profilblechen für die Scheibenwirkung ist an folgende Voraussetzungen gebunden:
- das Blech wird neben seiner Hauptnutzung nur für die Bildung von Schubfeldern zur Lastabtragung in der Scheibenebene eingesetzt;
 - die Schubfelder haben längs laufende Randglieder zur Aufnahme der Gurtkräfte aus der Schubfeldwirkung;
 - die Scheibenkräfte in Dächern oder Decken werden über Verbände, weitere vertikale Schubfelder oder andere Tragwerke für Horizontalkräfte in die Fundamente weitergeleitet;
 - für die Schubübertragung aus dem Schubfeld in die als Gurte wirkenden Randglieder und ins Gebäude-tragwerk sind geeignete Verbindungen vorgesehen;
 - die Profilbleche gelten als Tragwerkskomponenten und dürfen nicht ohne ausreichenden Nachweis entfernt werden;
 - sowohl die Baubeschreibung als auch die Berechnungen und Zeichnungen müssen einen Warnvermerk enthalten, der auf die planmäßige Scheibenwirkung der Profilbleche hinweist;
 - bei Trapezblechen mit Sicken in Dachlängsrichtung dürfen die Gurtkräfte aus der Schubfeldwirkung von der Blechkonstruktion selbst übernommen werden.
- (2) Die Scheibenwirkung kann vorzugsweise in Gebäuden mit wenigen Geschossen oder in Decken und in Außenwänden von mehrgeschossigen Gebäuden herangezogen werden.
- (3) Die Scheibenwirkung kann vorzugsweise zur Abtragung von Wind- und Schneelasten sowie anderen Lasten ausgenutzt werden, die über die Profilbleche selbst eingeleitet werden. Die Scheibenwirkung darf auch zur Abtragung vorübergehender Lastzustände wie z. B. von Brems- und Stoßkräften von leichten Hebezeugen oder Kranbahnen angesetzt werden. Sie darf dagegen nicht zur Aufnahme permanenter Lasten aus dem Betrieb des Gebäudes herangezogen werden.



Legende

- (a) Profilbleche
- (b) Gurtkräfte in Randgliedern
- (c) Schubfeld aus Profilblechen
- (d) Giebelzugbandlager zur Aufnahme von Lagerkräften aus dem Dachscheiben

Bild 10.13 — Scheibenwirkung bei einem Satteldach

10.3.4 Schubfelder aus Profilblechen

(1) Bei Schubfeldern aus Profilblechen, siehe Bild 10.14, werden beide Enden der Profiltafeln auf der Unterkonstruktion mit selbstfurchenden Schrauben, Setzbolzen, Schweißnähten, Schrauben mit Muttern oder anderen Verbindungsmitteln befestigt. Die Verbindungsmittel dürfen sich nicht lösen, aus der Unterlage herausgezogen werden oder durch Abscheren versagen, bevor die Blechkonstruktion einreißt. Die Befestigung der Profiltafeln auf der Unterkonstruktion erfolgt direkt z. B. durch die Untergurte der Profile. Bei anderer Verbindung sollte durch besondere Maßnahmen der beabsichtigte Kraftfluss in die Unterkonstruktion sichergestellt werden.

(2) Die Längsstöße der Profiltafeln werden mit Hilfe von Nieten, Bohrschrauben, Schweißnähten oder anderen Verbindungsmitteln ausgeführt. Die Verbindungsmittel dürfen sich nicht lösen, herausgezogen werden oder primär durch Abscheren versagen, bevor die Blechkonstruktion einreißt. Der Abstand der Verbindungsmittel darf 500 mm nicht überschreiten.

(3) Die Rand- und Endabstände der Verbindungsmittel sollten so gewählt werden, dass kein vorzeitiges Blechversagen eintritt.

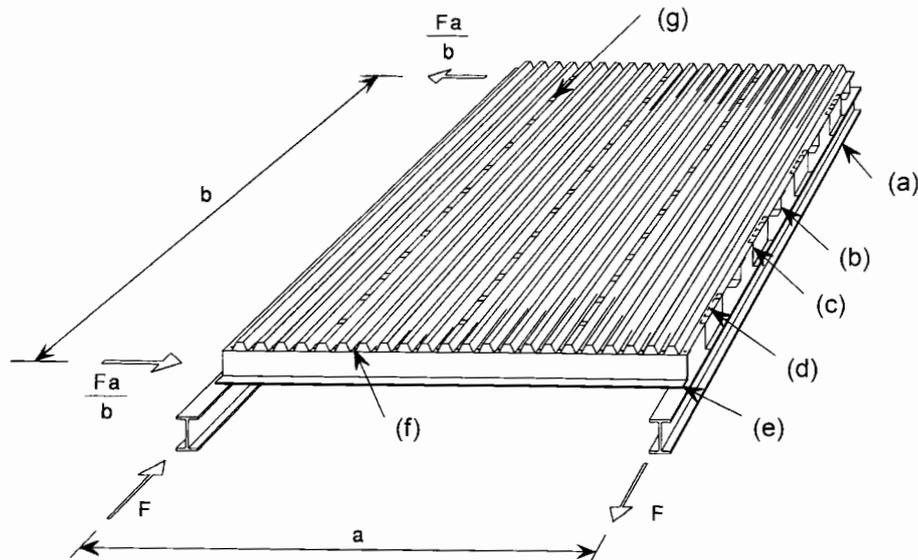
(4) Kleine, nicht systematisch angeordnete Öffnungen bis zu etwa 3 % der Gesamtfläche dürfen ohne besonderen Nachweis angeordnet werden, vorausgesetzt, dass die Gesamtzahl der Verbindungsmittel nicht reduziert wird. Öffnungen bis zu 15 % der rechnerisch berücksichtigten Fläche sind zulässig, wenn ein entsprechender Nachweis geführt wird. Flächen, die größere Öffnungen haben, sind in kleinere Flächen mit voller Schubfeldwirkung zu unterteilen.

(5) Alle Profilbleche, die Teile eines Schubfeldes sind, sollten zunächst für ihre Hauptnutzung als Platte bemessen werden. Um sicherzustellen, dass sich evtl. Schädigungen des Profilblechs schon aus Biegeeffekten einstellen, bevor der Widerstand der Scheibenwirkung aktiviert wird, sollte nachgewiesen werden, dass die Schubbeanspruchung aus der Scheibenwirkung nicht größer ist als $0,25 f_{yb} / \gamma_{M1}$.

(6) Die Beanspruchbarkeit des Schubfeldes wird entweder durch die Lochleibungstragfähigkeit der Verbindungsmittel in den Längsstößen der Profilbleche oder – bei Schubfeldern, die nur an den Längsrändern befestigt sind – durch die Beanspruchbarkeit der Längsränderbefestigungen begrenzt. Die Beanspruchbarkeit der Verbindungsmittel bei anderen Versagensformen sollte um folgende Werte größer sein als die Lochleibungstragfähigkeit:

- bei Versagen der Profilblechbefestigungen mit den Pfetten infolge Scherkräften und Windsog mindestens 40 %;
- bei jedem anderen Versagenszustand mindestens 25 %.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



Legende

- (a) Unterkonstruktion (z. B. Dachriegel)
- (b) Pfette
- (c) Schubknagge
- (d) Blech-Schubknaggen-Verbindung
- (e) Pfette
- (f) Blech-Pfetten-Verbindung
- (g) Überlappungsstoß der Profilbleche

Bild 10.14 — Aufbau eines einzelnen Schubfeldes

10.3.5 Schubfelder aus Kassettenprofilen

- (1) In Schubfeldern sollten Kassettenprofile ausgesteifte breite Gurte aufweisen.
- (2) In Schubfeldern sollten Kassettenprofile an den Stegen miteinander verbunden sein, wobei der Abstand e_s der Verbindungsmittel (in der Regel Blindniete) höchstens 300 mm und der Abstand e_u vom breiten Gurt höchstens 30 mm betragen darf (siehe Bild 10.15).
- (3) Eine Berechnung der Verformungen infolge der Beanspruchungen der Verbindungsmittel kann ähnlich wie bei Trapezprofilblechtafeln ausgeführt werden.
- (4) Der Schubfluss $T_{v,Ed}$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit sollte nicht größer sein als der Grenzscherfluss $T_{v,Rd}$.

$$T_{v,Rd} = 8,43 E \sqrt[4]{I_a (t/b_u)^9} \quad (10.22)$$

Dabei ist

- I_a das Flächenmoment 2. Grades des breiten Gurtes um die eigene Schwerachse a–a, siehe Bild 10.9;
- b_u die Gesamtbreite des breiten Gurtes.

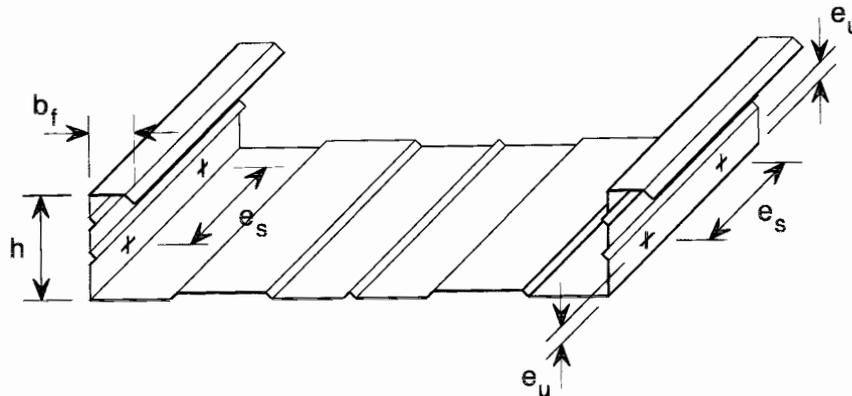


Bild 10.15 — Anordnung der Stegverbindungen

(5) Der Schubfluss $T_{v,ser}$ unter Gebrauchslasten sollte nicht größer sein als $T_{v,Cd}$:

$$T_{v,Cd} = S_v / 375 \quad (10.23)$$

Dabei ist

S_v die Steifigkeit des Schubfeldes je Längeneinheit in Richtung der Spannweite der Kassettenprofiltafeln.

(6) Die Schubsteifigkeit S_v je Längeneinheit beträgt:

$$S_v = \frac{\alpha L b_u}{e_s (b - b_u)} \quad (10.24)$$

Dabei ist

L die Gesamtlänge des Schubfeldes in Richtung der Spannweite der Kassettenprofiltafeln;

b die Gesamtbreite des Schubfeldes ($b = \sum b_u$);

α der Steifigkeitsbeiwert.

(7) Der Steifigkeitsfaktor α darf auf der sicheren Seite liegend mit 2 000 N/mm angesetzt werden. Genauere Werte können durch Versuche bestimmt werden.

10.4 Perforierte Profilbleche

(1) Perforierte Trapezprofile mit Lochanordnungen in Form gleichseitiger Dreiecke dürfen rechnerisch nachgewiesen werden, indem die Regeln für nicht-perforierte Profile mit einer wirksamen Blechdicke verwendet werden.

ANMERKUNG Diese Methode liefert auf der sicheren Seite liegende Werte. Wirtschaftlichere Werte werden durch eine versuchsgestützte Bemessung nach Abschnitt 9 erzielt.

(2) Im Rahmen der Bedingung $0,2 \leq d/a \leq 0,9$ dürfen die Querschnittswerte des Bruttoquerschnittes nach **AC** 5 **AC** ermittelt werden, indem die Blechdicke t durch $t_{a,eff}$ wie folgt ersetzt wird:

$$t_{a,eff} = 1,18 t \left(1 - \frac{d}{0,9a} \right) \quad (10.25)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

d der Durchmesser der Perforierung;

a der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Perforierung.

(3) Im Rahmen der Bedingung $0,2 \leq d/a \leq 0,9$ dürfen die Querschnittswerte des wirksamen Querschnittes nach Abschnitt 5 ermittelt werden, indem die Blechdicke t durch $t_{b,eff}$ wie folgt ersetzt wird:

$$t_{b,eff} = t \sqrt[3]{1,18(1-d/a)} \quad (10.26)$$

(4) Die Beanspruchbarkeit eines einzelnen Steges für örtliche Lasteinleitung darf nach \boxed{AC} 6.1.7 $\langle AC \rangle$ ermittelt werden, indem die Blechdicke t durch $t_{c,eff}$ wie folgt ersetzt wird:

$$t_{c,eff} = t \left[1 - (d/a)^2 s_{per} / s_w \right]^{3/2} \quad (10.27)$$

Dabei ist

s_{per} die abgewickelte Länge der Perforation im Steg;

s_w die abgewickelte Gesamtlänge des Steges.

Anhang A **(normativ)**

Versuche

A.1 Allgemeines

(1) Der Anhang A enthält festgelegte Versuchs- und Auswerteverfahren für einige bemessungsrelevante Versuche.

ANMERKUNG 1 Im Bereich kaltgeformter Bauteile und Bleche werden im Allgemeinen viele Standardprodukte verwendet, bei denen die rechnerische Bemessung nicht zu den erhofften wirtschaftlichen Lösungen führt. Deswegen wird häufig die versuchsgestützte Bemessung vorgezogen.

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf Näheres zur Versuchsdurchführung enthalten.

ANMERKUNG 3 Der nationale Anhang darf Übertragungsfunktionen zur Anpassung existierender Versuchsergebnisse an die Ergebnisse von Standardversuchen nach diesem Anhang enthalten.

(2) Der Anhang umfasst:

- Versuche an Profilblechen und Kassettenprofilen, siehe A.2;
- Versuche an kaltgeformten Bauteilen, siehe A.3;
- Versuche an Tragwerken oder Tragwerksteilen, siehe A.4;
- Versuche an drehfedergebetteten Biegeträgern, siehe A.5;
- Versuchsauswertung zur Ermittlung von Bemessungswerten, siehe A.6.

A.2 Versuche an Profilblechen und Kassettenprofilen

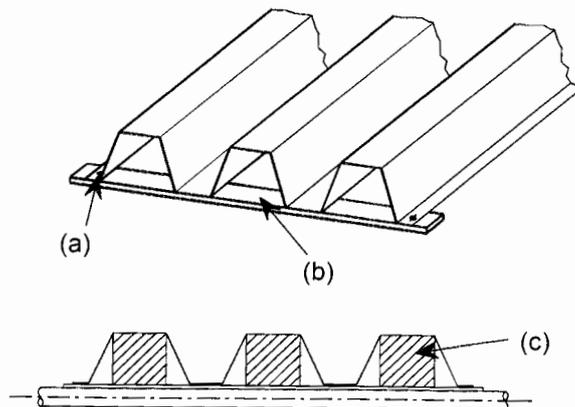
A.2.1 Allgemeines

(1) Die Versuchsgrundlagen sind für Trapezprofile dargestellt; sie gelten sinngemäß auch für Kassettenprofile und andere Blechtypen (z. B. Bleche in EN 508).

(2) Die Belastung darf, um eine gleichmäßig verteilte Belastung zu simulieren, durch Luftsäcke, Unterdruck oder durch Linienlasten über Querträger mit geeigneter Steifigkeit eingeleitet werden.

(3) Zur Erhaltung der Querschnittsform der Profilierung dürfen an den Auflagern und an den Stellen der Lasteinleitung Hilfskonstruktionen in Form von Querträgern und Holzklötzen vorgesehen werden, siehe Bild A.1.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)



Legende

- (a) Niet oder Schraube
 (b) Querzugband (Metallstreifen)
 (c) Holzklötze

Bild A.1 — Beispiele für geeignete Hilfskonstruktionen zur Versuchsdurchführung

- (4) Bei Windsogversuchen sollte der Versuchsaufbau das tatsächliche Tragverhalten der Profilbleche widerspiegeln. Die Verbindungen zwischen dem Blech und der Unterkonstruktion sollten die gleichen wie in der praktischen Anwendung sein.
- (5) Damit die Ergebnisse so allgemein gültig wie möglich sind, sollten gelenkige und horizontal verschiebliche Auflagerungen vorgesehen werden, damit Einflüsse aus Teileinspannungen an den Auflagern vermieden werden.
- (6) Der Versuchsaufbau sollte so gestaltet werden, dass während des Versuches die Kraft richtungstreu, senkrecht zum Prüfkörper geführt wird.
- (7) Um Auflagerverformungen zu erfassen, sollten die Verformungen an beiden Enden des Versuchskörpers gemessen werden.
- (8) Als Versuchsgrenzlast gilt die Versagenslast oder die Laststufe unmittelbar vor dem Versagen.

A.2.2 Versuche am Einfeldträger

- (1) Für die Ermittlung des Grenzbiegemoments in Feldmitte (ohne nennenswerte Schubkräfte) und der Biegesteifigkeit kann ein Versuchsaufbau nach Bild A.2 herangezogen werden.
- (2) Die Stützweite sollte so gewählt werden, dass die Versuchsergebnisse als repräsentativ für die Biegemomentenbeanspruchbarkeit gelten können.
- (3) Das Grenzbiegemoment ergibt sich aus dem Versuchsergebnis.
- (4) Die Biegesteifigkeit ist aus der Last-Verformungskurve zu ermitteln.

A.2.3 Versuche am Zweifeldträger

- (1) Für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit eines Profilbleches als Zwei- oder Mehrfeldträger kann ein Versuchsaufbau nach Bild A.3 gewählt werden. Hieraus ergibt sich die Beanspruchbarkeit an der Zwischenstütze bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft bzw. von Biegemoment und Auflagerreaktion für eine gegebene Auflagerbreite.

(2) Die Belastung sollte vorzugsweise gleichmäßig verteilt sein (z. B. durch Luftsack oder Unterdruck).

(3) Alternativ dürfen mehrere Linienlasten rechtwinklig zur Profilierung zur Anwendung kommen, die angenähert die Wirkung einer gleichmäßig verteilten Belastung ergeben. Beispiele für derartige Belastungsanordnungen sind in Bild A.4 dargestellt.

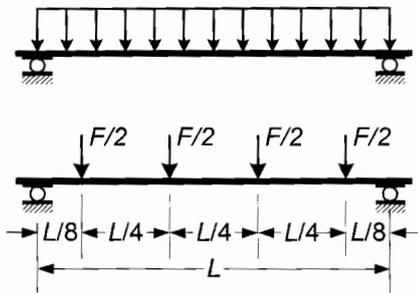
A.2.4 Ersatzträger zur Prüfung der Zwischenstützung

(1) Als Alternative zu A.2.3 darf bei Zwei- und Mehrfeldträgern ein Versuchsaufbau nach Bild A.5 gewählt werden, um die Beanspruchbarkeit an der Zwischenstütze bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft bzw. von Biegemoment und Auflagerreaktion für eine bestimmte Auflagerbreite zu ermitteln.

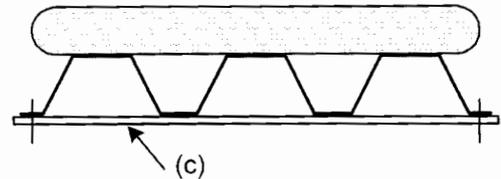
(2) Die Versuchsstützweite s sollte dem Abstand der Momentennullpunkte der Biegelinie zu beiden Seiten der Zwischenstütze beim Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten L entsprechen und darf angesetzt werden mit:

$$s = 0,4L \tag{A.1}$$

(3) Wenn Momentenumlagerungen durch Plastizierung zu erwarten sind, sollte die Versuchsstützweite s entsprechend dem Verhältnis von Stützmoment und Querkraft reduziert werden.

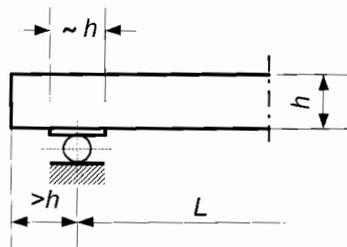


a) Gleichförmig verteilte Belastung und Beispiel für alternative Streckenlast

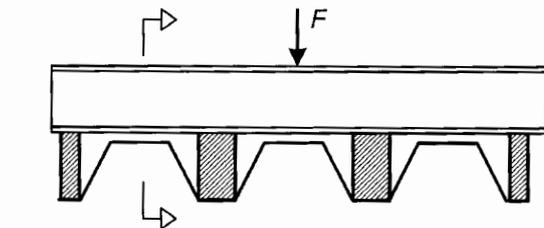
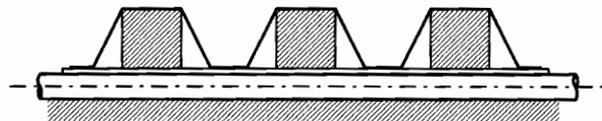


Legende
(c) Querzugband

b) Verteilte Belastung eingetragen durch einen Luftsack (alternativ durch eine Unterdruckvorrichtung)



c) Beispielhafte Ausbildung der Auflager zur Vermeidung von Querschnittsverformungen



d) Beispielhafte Realisierung einer Streckenlast

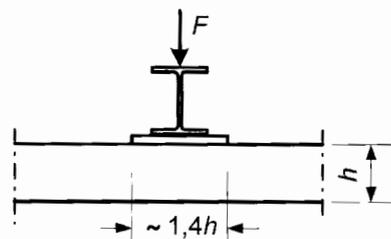


Bild A.2 — Versuchsaufbau für Einfeldträgerversuche

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

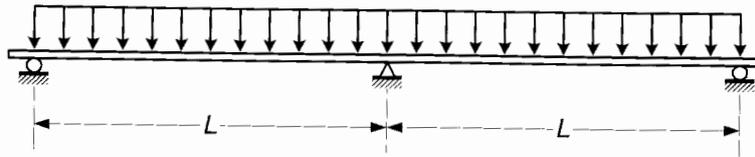


Bild A.3 — Versuchsaufbau für Zweifeldträgerversuche

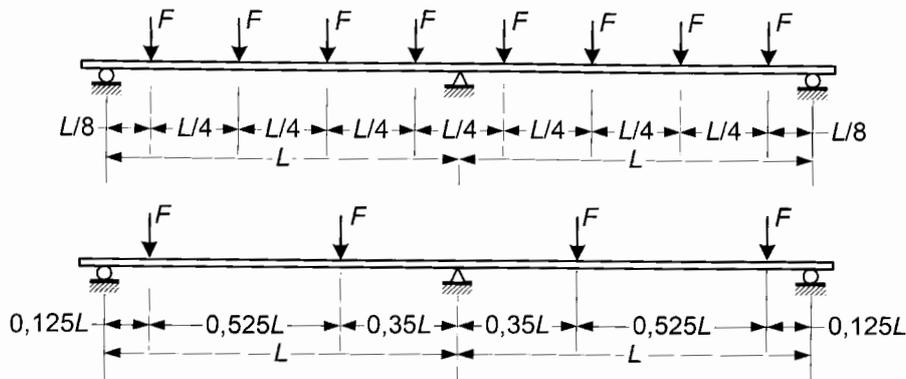


Bild A.4 — Beispiele geeigneter Anordnungen alternativer Linienlasten

- (4) Die Breite b_b des Lasteinleitungsträgers sollte der tatsächlichen Auflagerbreite entsprechen.
- (5) Für eine bestimmte Stützweite und Auflagerbreite ergibt sich als Versuchsergebnis die Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Auflagerreaktion (oder Querkraft). Zur Ermittlung der Interaktion von Biegemoment und Auflagerreaktion sollten Versuche mit verschiedenen Stützweiten durchgeführt werden.
- (6) Zur Deutung der Versuchsergebnisse, siehe A.5.2.3.

A.2.5 Versuche am Endlager

- (1) Zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit eines Profilbleches am Endauflager darf der Versuchsaufbau nach Bild A.6 verwendet werden.
- (2) Die Beanspruchbarkeit am Endauflager in Abhängigkeit vom Abstand u zwischen dem Schneidenaflager und dem Blechende sollte durch Versuche mit verschiedenen Abständen ermittelt werden, siehe Bild A.6.

ANMERKUNG Während eines Biegeversuchs gemessene, maximale Lagerreaktionskräfte dürfen als untere Grenze der Tragfähigkeit sowohl für Schub als auch für örtliche Querlast herangezogen werden.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

A.3 Versuche an kaltgeformten Profilen

A.3.1 Allgemeines

- (1) Jeder Prüfkörper sollte in jeder Hinsicht dem tatsächlichen Tragwerksteil entsprechen.
- (2) Der Versuchsaufbau sollte bezüglich der Auflagerbedingungen und Verbindungen so weit wie möglich dem tatsächlichen Bauteil oder Tragwerk entsprechen. Wenn dies nicht möglich ist, sollte eine Ausführung gewählt werden, die bezüglich der Beanspruchbarkeit oder Gebrauchstauglichkeit ungünstiger ist.
- (3) Die Lasteinleitung sollte derjenigen entsprechen, die tatsächlich zur Anwendung kommt. Es sollte sichergestellt werden, dass die Lasteinleitung keine Reduktion der Verformungen, verglichen mit denen der praktischen Nutzung, bewirkt und nicht in den Schnitten größter Beanspruchbarkeit erfolgt.
- (4) Bei gleichzeitiger Wirkung mehrerer Lasten sollte auf eine proportionale Laststeigerung geachtet werden.
- (5) Bei jeder Laststufe sollten die Verformungen oder Dehnungen an aussagefähigen Stellen des Prüfkörpers gemessen werden. Die Ablesung der Messinstrumente sollte nach dem Abklingen der Verformungen im Belastungsincrement erfolgen.
- (6) Der Versagenszustand gilt als erreicht, wenn einer der folgenden Zustände eingetreten ist:
 - Bruch des Prüfkörpers;
 - Rissbildung in den für die Tragsicherheit wichtigen Bereichen;
 - exzessives Anwachsen der Verformungen.
- (7) Als Versuchsergebnis gilt die Versagenslast oder die Laststufe unmittelbar vor dem Versagen.
- (8) Die Messgenauigkeit sollte mit der Höhe der Belastung kompatibel sein; sie sollte in keinem Fall $\pm 1\%$ der Versagenslast überschreiten. Die Bedingungen in (9) sind ebenfalls einzuhalten.
- (9) Die Messungen der geometrischen Kennwerte des Prüfkörpers sollten umfassen:
 - die Gesamtabmessungen (Länge, Breite und Höhe) mit einer Genauigkeit von $\pm 1,0$ mm;
 - die Breite ebener Teilflächen des Querschnittes mit einer Genauigkeit von $\pm 1,0$ mm;
 - Biegeradien mit einer Genauigkeit von $\pm 1,0$ mm;
 - Neigungen ebener Teilflächen mit einer Genauigkeit von $\pm 2,0^\circ$;
 - Winkel zwischen ebenen Teilflächen mit einer Genauigkeit von $\pm 2,0^\circ$;
 - Lage und Abmessungen von Zwischensteifen mit einer Genauigkeit von $\pm 1,0$ mm;
 - die Blechdicke mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm;
 - als Mindestgenauigkeit darf die Abweichung aller Querschnittsmessungen den Wert $0,5\%$ der Nennwerte nicht überschreiten.

(10) Alle anderen relevanten Parameter sollten ebenfalls überprüft werden, wie beispielsweise:

- die gegenseitige Lage der Komponenten des Bauteile;
- die Anordnung der Verbindungen;
- die Anzugsmomente der Schrauben usw.

A.3.2 Druckversuche am vollen Querschnitt

A.3.2.1 Kurzstabversuch

(1) Kurzstabversuche an kaltgeformten Bauteilen dienen der Beurteilung der Auswirkungen örtlichen Beulverhaltens durch Ermittlung des Verhältnisses $\beta_A = A_{\text{eff}} / A_g$ und der Lage der Schwerachse des wirk-samen Querschnittes.

(2) Wenn örtliches Beulen das Tragverhalten des Querschnittes bestimmt, sollte der Prüfkörper eine Mindestlänge von mindestens der dreifachen Breite der größten Querschnittsabmessung aufweisen.

(3) Prüfkörper mit Querschnittsschwächungen in Form von Löchern sollten mindestens 5 Löcher umfassen, wobei der Prüfkörper an beiden Enden mittig zwischen zwei Löchern abzuschneiden ist.

(4) Bei Querschnitten mit Rand- oder Zwischensteifen sollte sichergestellt werden, dass die Prüfkörperlänge nicht geringer ist als die erwartete Knicklänge der Steifen.

(5) Wenn die Gesamtlänge des Prüfkörpers größer ist als der zwanzigfache Wert des kleinsten Trägheitsradius i_{min} des Bruttoquerschnittes, sollten seitliche Halterungen mit einem Abstand von höchstens $20 i_{\text{min}}$ angeordnet werden.

(6) Vor Versuchsbeginn sollte die Einhaltung der Toleranzen der Querschnittsabmessungen überprüft werden.

(7) Die Enden des Prüfkörpers sollte eben und rechtwinklig zur Längsachse ausgeführt werden.

(8) Die Druckkraft sollte an beiden Enden über mindestens 30 mm dicke Druckplatten mit 10 mm Überstand über dem Profilquerschnitt eingeleitet werden.

(9) Die Lasteinleitung in den Prüfkörper sollte über kugelförmige Gelenklager erfolgen. Die Druckplatten sind in der Regel mit Ausrundungen zur Aufnahme der Gelenklager zu versehen. Als Wirkungslinie der Last gilt die Schwerachse des berechneten wirksamen Querschnittes. Falls sich die Lage als nicht korrekt erweist, erfolgt während der Versuchsserie eine Angleichung.

(10) Bei offenen Querschnitten dürfen federnde Rückstellverformungen berichtigt werden.

(11) Kurzstabversuche werden ausgeführt, um die Grenzdruckkraft des Querschnittes zu ermitteln. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sind folgende Größen als Variable zu betrachten:

- die Materialdicke;
- der Verhältnswert b_p / t ;
- der Verhältnswert f_u / f_{yb} ;
- die Zugfestigkeit f_u und die Streckgrenze f_{yb} ;
- die Lage der Schwerachse des wirksamen Querschnittes;

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- Imperfektionen in den Teilflächen des Querschnittes;
- die Methode der Kaltumformung (z. B. Streckgrenzenerhöhung durch eine Formänderung, die in der Folge zurückgenommen wird).

A.3.2.2 Knickstabversuch

(1) Knickstabversuche dienen zur Ermittlung der Beanspruchbarkeit von gedrückten dünnwandigen Bauteilen unter Berücksichtigung globaler Instabilität (Biegeknicken, Drillknicken und Biegedrillknicken) und der Interaktion mit lokalem Beulen.

(2) Die Versuchsdurchführung entspricht derjenigen für Kurzstabversuche nach A.3.2.1.

(3) Zur Ermittlung einer Knickkurve für eine bestimmte Querschnittsform, eine bestimmte Stahlsorte oder einen besonderen Herstellungsprozess dürfen Versuche mit axial belasteten Prüfkörpern durchgeführt werden. Die bezogenen Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}$ und die zugehörige Mindestanzahl der Versuche n sind in Tabelle A.1 angegeben.

Tabelle A.1 — Bezogener Schlankheitsgrad und Anzahl der Versuche

$\bar{\lambda}$	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	3,0
n	3	5	5	5	5	5	5	5

(4) Ähnliche Versuche dürfen auch zur Ermittlung der Beanspruchbarkeit dünnwandiger gedrückter Bauteile mit Zwischenhalterungen eingesetzt werden.

(5) Zur Auswertung der Versuchsergebnisse sollten folgende Größen als Variable betrachtet werden:

- die bei den Kurzstabversuchen in A.3.2.1 (11) angegebenen Parameter;
- Stabvorverformungen, siehe (6);
- Arten von Randteileinspannungen oder Zwischenhalterungen (biege- und/ oder torsionssteif).

(6) Stabvorverformungen können folgendermaßen berücksichtigt werden:

- a) Ermittlung der kritischen Druckkraft $F_{cr,bow,test}$ des Bauteils mit einem entsprechenden Berechnungsverfahren und mit Anfangsimperfektionen, die am Versuchskörper gemessen wurden.
- b) Ermittlung der kritischen Druckkraft $F_{cr,bow,max,nom}$ wie a), jedoch mit der maximalen, nach Produktnorm zulässigen Anfangsimperfektion.
- c) Ermittlung des zusätzlichen Korrekturfaktors: $F_{cr,bow,max,nom} / F_{cr,bow,test}$.

A.3.3 Zugversuch am vollen Querschnitt

(1) Dieser Versuch dient der Ermittlung des durchschnittlichen Rechenwertes der infolge Kaltumformung erhöhten Streckgrenze f_{ya} des Gesamtquerschnittes.

(2) Die Mindestlänge des Prüfkörpers sollte mindestens der fünffachen Breite der größten Querschnittsabmessung entsprechen.

(3) Um eine gleichförmige Zugspannungsverteilung zu erzeugen, sollte die Last über die Endlager eingebracht werden.

(4) Die Versagenszone sollte mindestens in einem Abstand zum Endauflager liegen, der der größten Querschnittsabmessung entspricht.

A.3.4 Biegeversuch am vollen Querschnitt

(1) Dieser Versuch dient zur Ermittlung der Momentenbeanspruchbarkeit und der Rotationskapazität des Querschnittes.

(2) Der Prüfkörper sollte eine Mindestlänge von 15facher Querschnittshöhe aufweisen. Seitliche Abstützungen des Druckgurtes sollten denen der tatsächlichen Anwendung entsprechen.

(3) Zwei Einzellasten sollten so angeordnet werden, dass die Länge des Abschnittes mit konstantem Moment mindestens $0,2 \times$ Stützweite, aber nicht mehr als $0,33 \times$ Stützweite beträgt. Die Wirkungslinie dieser Lasten sollte durch den Schubmittelpunkt des Querschnittes verlaufen. An den Stellen der Lasteinleitung sollten Gabellagerungen vorgesehen werden. Falls erforderlich, ist örtliches Beulen an den Lasteinleitungsstellen zu verhindern, um das Versagen im Bereich des konstanten Biegemomentes zu erzwingen. Die Durchbiegungen sollten an den Lasteinleitungsstellen, in Stützweitenmitte und an den Enden des Prüfkörpers gemessen werden.

(4) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sollten folgende Größen als Variable betrachtet werden:

- die Blechdicke;
- der Verhältniswert b_p / t ;
- der Verhältniswert f_u / f_{yb} ;
- die Zugfestigkeit f_u und die Streckgrenze f_{yb} ;
- Unterschiede zwischen den Einspannungen beim Versuch und in der tatsächlichen Anwendung;
- die Auflagerbedingungen.

A.4 Versuche an Tragwerken oder Tragwerksteilen

A.4.1 Abnahmeversuch

(1) Der Abnahmeversuch ist ein zerstörungsfreier Versuch zur Bestätigung des Verhaltens eines Tragwerks oder eines Tragwerksteils.

(2) Die Versuchslast sollte wie folgt zusammengesetzt werden:

- $1,0 \times$ (tatsächliche Eigenlast während des Versuches);
- $1,15 \times$ (übrige ständige Last);
- $1,25 \times$ (veränderliche Lasten),

aber nicht höher als der Mittelwert aus der Bemessungslast für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragsicherheit und der Bemessungslast für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit mit der charakteristischen Lastkombination.

(3) Vor dem eigentlichen Abnahmeversuch darf zur Vermeidung von Setzungen eine Vorbelastung aufgebracht und wieder entfernt werden; diese Belastung darf den charakteristischen Wert der Last nicht überschreiten.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- (4) Das Tragwerk sollte zuerst bis zur Höhe der gesamten charakteristischen Last belastet werden. Unter dieser Last sollte das Tragwerk ein ausgeprägtes elastisches Verhalten aufweisen. Bei der Entlastung darf die bleibende Verformung höchstens 20 % der gemessenen maximalen Verformung betragen, andernfalls wird der Belastungsvorgang wiederholt. Bei dieser Wiederholung sollte das Tragwerk ein ausgeprägtes, elastisches Verhalten bis zur Höhe der charakteristischen Last zeigen und die bleibende Verformung sollte nicht mehr als 10 % der maximalen gemessenen Verformung betragen.
- (5) Während des Abnahmeversuches sollte die Last in einer Anzahl gleicher Laststufen und Zeitabstände aufgebracht werden, und die Verformungen sollten bei jeder Laststufe registriert werden. Wenn die Verformungen deutlich nichtlinear werden, sollten die Laststufen vermindert werden.
- (6) Bei Erreichen der Last für den Abnahmeversuch sollte die Belastung konstant gehalten werden, um durch eine Reihe von Verformungsmessungen zu prüfen, ob das Tragwerk zeitabhängige Verformungen aufweist, wie etwa Verformungen in Verbindungen oder infolge Kriechens in der Zinkschicht.
- (7) Die Entlastung sollte in regelmäßigen Schritten begleitet durch Verformungsmessungen erfolgen.
- (8) Das Tragwerk sollte der Versuchslast ohne signifikante örtliche Verformungen oder Veränderungen, welche die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen, standhalten.

A.4.2 Zerstörungsfreier Festigkeitsversuch

- (1) Dieser Tragfähigkeitsversuch dient zur Bestätigung der durch Berechnung ermittelten Tragfähigkeit eines Tragwerksteils oder des Gesamttragwerkes. Wenn eine Serie gleicher Bauteile nach einheitlichem Entwurf gebaut werden soll und ein oder mehrere Prototypen dieser Bauteile den Festigkeitsversuch bestanden haben, dann dürfen weitere Bauteile ohne Versuche abgenommen werden. Voraussetzung dafür ist, dass diese Bauteile bezüglich aller Eigenschaften den Prototypen entsprechen.
- (2) Vor der Ausführung der Festigkeitsversuche sollten die Versuchskörper zunächst einem Abnahmeversuch nach A.4.1 unterzogen werden.
- (3) Die Last sollte dann schrittweise bis zum Erreichen der beabsichtigten Versuchslast erhöht werden, und die Verformungen sind zu messen. Die Versuchslast sollte mindestens eine Stunde gehalten werden, und Verformungsmessungen sollten zeigen, ob Kriechen auftritt.
- (4) Die Entlastung sollte in regelmäßigen Schritten mit jeweiliger Messung der Verformungen erfolgen.
- (5) Die gesamte Versuchslast F_{str} (einschließlich der Eigenlast) sollte beim Festigkeitsversuch mit der durch Berechnung ermittelten Bemessungslast F_{Ed} für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ermittelt werden, wobei gilt:

$$F_{str} = \gamma_{Mi} \mu_F F_{Ed} \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist μ_F der Lastkorrekturbeiwert und γ_{Mi} der Teilsicherheitsbeiwert im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

- (6) Der Lastkorrekturbeiwert μ_F berücksichtigt Streuungen der Tragfähigkeit des Tragwerkes oder von Tragwerksteilen aufgrund von Abweichungen bei der Streckgrenze infolge örtlichen Beulens, der Beanspruchbarkeit beim Knicken oder anderer relevanter Einflussgrößen.
- (7) Wenn eine wirklichkeitsnahe Abschätzung der Tragfähigkeit mit den rechnerischen Bemessungsregeln in EN 1993-1-3 oder mit anderen anerkannten Berechnungsmethoden, die den Einfluss örtlichen Beulens erfassen, möglich ist, darf der Lastkorrekturbeiwert μ_F mit dem Verhältnis der Versuchslast bezogen auf die durchschnittliche Basisstreckgrenze f_{ym} und dem entsprechenden Wert bezogen auf den Nennwert der Basisstreckgrenze f_{yb} gleichgesetzt werden.
- (8) Der Wert f_{ym} sollte aus den gemessenen Basisstreckgrenzen $f_{yb,obs}$ der verschiedenen Tragwerkskomponenten oder Tragwerksteilen mit entsprechender Wichtung ermittelt werden.

(9) Wenn wirklichkeitsnahe Bestimmungen der Tragfähigkeit nicht möglich sind, entspricht der Lastkorrekturbeiwert μ_F dem Beiwert μ_R nach A.6.2.

(10) Unter der Versuchslast des Festigkeitsversuchs darf kein Versagen infolge Knicken oder Bruch in irgendeinem Teil des Versuchskörpers auftreten.

(11) Bei der Entlastung sollte die Verformung um mindestens 20 % zurückgehen.

A.4.3 Tragfähigkeitsversuch bis zum Versagen

(1) Ein Tragfähigkeitsversuch bis zum Versagen dient zur Ermittlung der tatsächlichen Versagensform und der tatsächlichen Versagenslast eines Tragwerks oder eines Bauteils. Wenn der Prototyp nach Beendigung des Versuches nach A.4.2 keine weitere Verwendung findet, kann er für diesen Versuch genutzt werden.

(2) Ein Tragfähigkeitsversuch bis zum Versagen kann auch durchgeführt werden, um den wirklichen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit aus der Versagenslast abzuleiten. Da der Abnahmeversuch (A.4.1) und der Festigkeitsversuch (A.4.2) vorzugsweise zuerst durchgeführt werden, sollte zunächst der zu erwartende Bemessungswert der Beanspruchbarkeit als Grundlage für solche Versuche geschätzt werden.

(3) Vor einem Tragfähigkeitsversuch bis zum Versagen sollte an dem Prüfkörper zuerst der Festigkeitsversuch nach A.4.2 durchgeführt werden. Der daraus geschätzte Bemessungswert der Beanspruchbarkeit kann dann als verbesserte Grundlage für den Tragfähigkeitsversuch dienen.

(4) Bei einem Versuch bis zum Versagen erfolgt die Lastzunahme zunächst stufenweise bis zu der Versuchslast des Festigkeitsversuchs. Darauf folgende Laststufen sind auf der Grundlage der bis dahin ermittelten Last-Verformungskurve zu wählen.

(5) Als Versagenslast gilt die Laststufe, bei der das Tragwerk oder das Bauteil keiner weiteren Lasterhöhung mehr standhalten kann.

ANMERKUNG An diesem Punkt treten wahrscheinlich große Querschnittsverformungen auf. Die großen Verformungen können zum Versuchsabbruch führen.

A.4.4 Kalibrationsversuch

(1) Ein Kalibrationsbestätigungsversuch wird durchgeführt, um:

- das Berechnungsmodell für das Tragverhalten zu prüfen;
- bestimmte Parameter, die aus Berechnungsmodellen hergeleitet wurden, wie z. B. Tragfähigkeiten oder Steifigkeiten von Anschlüssen, zu quantifizieren.

A.5 Versuche an durch Profibleche drehbehinderten Biegeträgern

A.5.1 Allgemeines

(1) Die in diesem Abschnitt dargestellten Versuche gelten für Biegeträger, die durch Stahltrapezprofile oder andere geeignete flächenhafte Auflagen drehfedergebettet sind.

(2) Die Versuche gelten für Pfetten, Wandriegel, Deckenträger und ähnliche Träger mit entsprechender Drehbehinderung.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

A.5.2 Versuch zur Prüfung der Innenstützung

A.5.2.1 Versuchsaufbau

(1) Der Versuchsaufbau nach Bild A.7 dient zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Zwei- und Mehrfeldträgern im Bereich der Zwischenstütze bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment, Querkraft und Auflagerkraft.

ANMERKUNG Derselbe Versuchsaufbau gilt auch bei gekoppelten und gestoßenen Systemen.

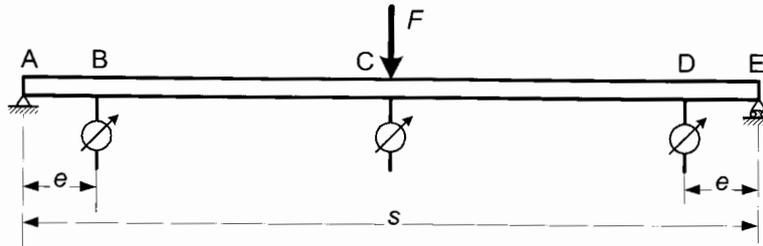


Bild A.7 — Versuchsaufbau für die Prüfung der Innenstützung

(2) Die Auflager A und E sollten als Gelenklager bzw. Rollenlager ausgebildet werden. Eine Verdrehung um die Längsachse kann in geeigneter Weise, z. B. durch Klemmen, verhindert werden.

(3) Die Lasteintragung im Punkt C sollte der tatsächlichen Lasteinleitung des Gebrauchszustandes entsprechen.

ANMERKUNG In vielen Fällen bedeutet das, dass Horizontalverschiebungen der Gurte an der Stelle C zu behindern sind.

(4) In den Punkten B und D im Abstand e vom Auflager sollten die Verschiebungen gemessen werden, siehe Bild A.7, damit die Lagerverschiebungen bei der Ergebnisauswertung eliminiert werden können.

(5) Die Versuchstützweite s sollte so gewählt werden, dass die Kombination von Biegemoment und Querkraft im erwarteten Grenzzustand für die Bedingungen am tatsächlichen Bauteil repräsentativ ist.

(6) Bei Zweifeldträgern mit der Stützweite L und gleichmäßig verteilter Belastung ist in der Regel als Versuchsstützweite $s = 0,4 L$ zu wählen. Wenn jedoch eine Momentenumlagerung infolge von Plastizierungen zu erwarten ist, dann sollte die Stützweite s im Hinblick auf das richtige Verhältnis von Moment zu Querkraft reduziert werden.

A.5.2.2 Versuchsdurchführung

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Regeln für die Versuche ist Folgendes zu beachten.

(2) Der Versuch sollte nach Erreichen der Belastungsspitze fortgesetzt werden, und die Verformungen sollten gemessen und aufgezeichnet werden, bis die aufgebrachte Last sich um 10 % bis 15 % des Maximalwertes vermindert hat oder die Verformung den sechsfachen Betrag der elastischen Verformung erreicht hat.

A.5.2.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

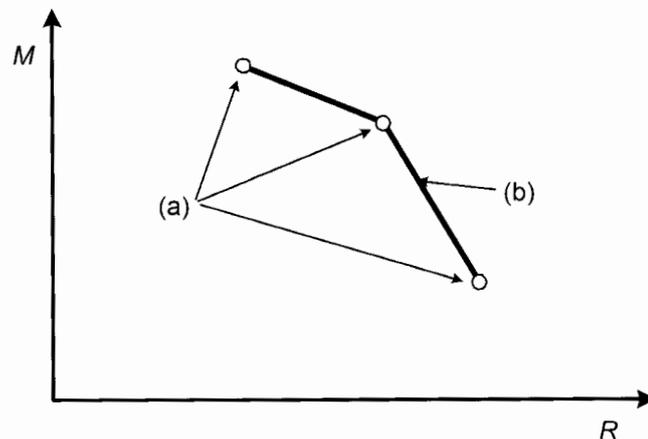
(1) Die Messwerte $R_{obs,i}$ sollten, wie in A.6.2 gezeigt, in Bezug auf die Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} und der Blechdicke t normiert werden, siehe 3.2.4. Die normierten Messwerte werden mit $R_{adj,i}$ bezeichnet.

(2) Für jede Versuchsstützweite s ergibt sich die Auflagerreaktion R als Mittelwert der ermittelten normierten Maximallast F_{\max} . Der zugehörige Wert des Stützmomentes M ist dann:

$$M = \frac{s R}{4} \quad (\text{A.3})$$

Im Allgemeinen ist der Eigengewichtsanteil bei der Berechnung des Moments M nach Gleichung (A.3) zu addieren.

(3) Die Wertepaare M und R sollten für jede Stützweite s entsprechend Bild 8 graphisch dargestellt werden. Wertepaare für zwischenliegende Kombinationen aus M und R dürfen durch lineare Interpolation ermittelt werden.



Legende

- (a) Versuchsergebnisse bei verschiedenen Stützweiten s ,
(b) lineare Interpolation

Bild A.8 — Beziehung zwischen Stützmoment M und der Auflagerreaktionskraft R

(4) Die Durchbiegung (berichtigter Wert) an der Lasteinleitung C in Bild A.7 sollten aus der Differenz des Messwertes und des Mittelwertes der entsprechenden Durchbiegungsmessungen in B und D im Abstand e von den Auflagern A und E ermittelt werden, siehe Bild A.7.

(5) Bei jedem Versuch sollten die Last und die zugehörige Durchbiegung (berichtigter Wert) einander gegenübergestellt werden, siehe Bild A.9. Aus diesem Diagramm kann der Rotationswinkel θ für eine bestimmte Lasthöhe wie folgt ermittelt werden:

$$\theta = \frac{2(\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{el})}{0,5 s - e} \quad (\text{A.4a})$$

$$\theta = \frac{2(\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{lin})}{0,5 s - e} \quad (\text{A.4b})$$

Dabei ist

δ_{el} die Durchbiegung (berichtigter Wert) bei einer bestimmten Belastung $< F_{\max}$ auf dem ansteigenden Kurventeil;

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- δ_{pl} die Durchbiegung (berichtigter Wert) bei einer bestimmten Belastung $> F_{max}$ auf dem abfallenden Kurventeil;
- δ_{lin} die theoretische elastische Verformung für eine bestimmte Belastung bei linearem Verformungsverhalten, siehe Bild A.9;
- δ_e der durchschnittliche Messwert der Verformung im Abstand e vom Auflager, siehe Bild A.7;
- s die Versuchsstützweite;
- e der Abstand zwischen dem Messpunkt und dem Auflager, siehe Bild A.7.

Die Gleichung (A.4a) wird verwendet, wenn die Berechnungen mit wirksamen Querschnitten durchgeführt werden. Die Gleichung (A.4b) gilt hingegen bei Berechnungen mit Bruttoquerschnitten.

(6) Die $M-\theta$ -Beziehung sollte dann für jeden Versuch mit einer bestimmten Versuchsstützweite s , die einer bestimmten Trägerstützweite L entspricht, aufgetragen werden; siehe Bild A.10. Die für die Bemessung maßgebende $M-\theta$ -Charakteristik des Trägers über der Zwischenstütze ist durch Multiplikation der Mittelwertkurve aus allen Versuchen mit 90 % zu bestimmen.

ANMERKUNG Kleinere Werte als 90 % sind in der Regel anzusetzen, wenn in den Versuchen auch die mögliche Wirkung von Biegedrillknicken und Ausknicken der freien Gurte im Bereich der Innenstützung mitefasset wird, siehe 10.1.3.2(4).

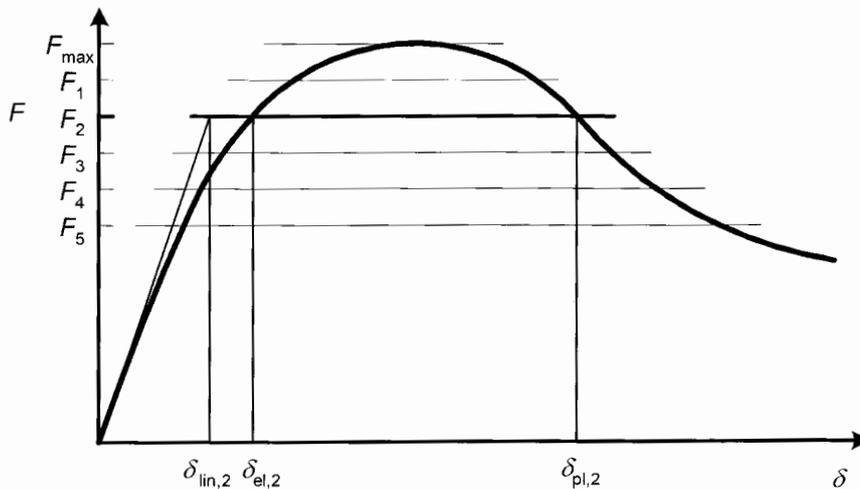
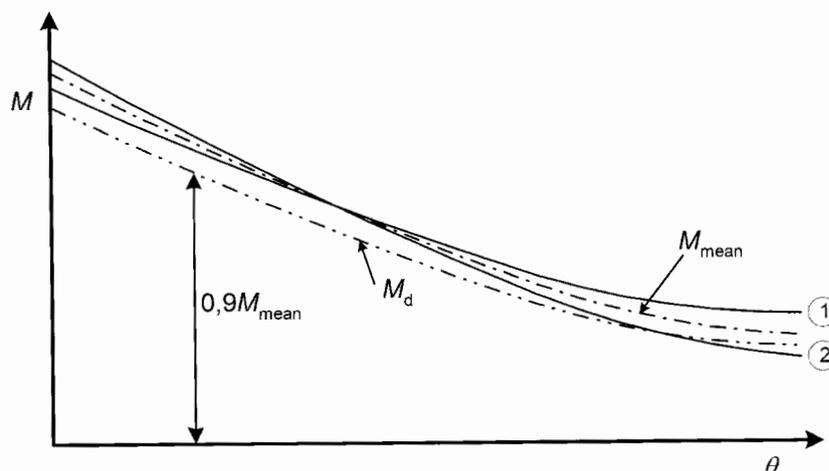


Bild A.9 — Beziehung zwischen der Last F und der Verformung δ

**Legende**

M_{mean} = Mittelwert,
 M_d = Bemessungswert

Bild A.10 — Ableitung der Momenten-Rotationskurve-(M - θ -)Charakteristik**A.5.3 Ermittlung der Drehbehinderung**

- (1) Der Versuchsaufbau nach Bild A.11 ist zur Ermittlung der Verdrehbehinderung durch am Obergurt des Trägers rechtwinklig zur Trägerstützweite befestigte Profiltafeln oder andere Bauteile vorgesehen.
- (2) Der Versuchsaufbau erfasst zwei verschiedene Beiträge zur gesamten Drehbehinderung:
 - a) die Seitensteifigkeit K_A je Längeneinheit entsprechend der Drehfedersteifigkeit der Verbindung zwischen Blech und Träger;
 - b) die Seitensteifigkeit K_B je Längeneinheit infolge der Querschnittsverformung der Pfette.
- (3) Die kombinierte Wegfedersteifigkeit darf wie folgt ermittelt werden:

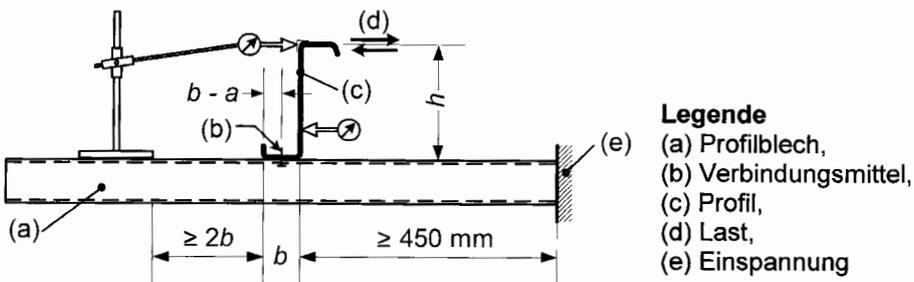
$$\left(1 / K_A + 1 / K_B \right) = \delta / F \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

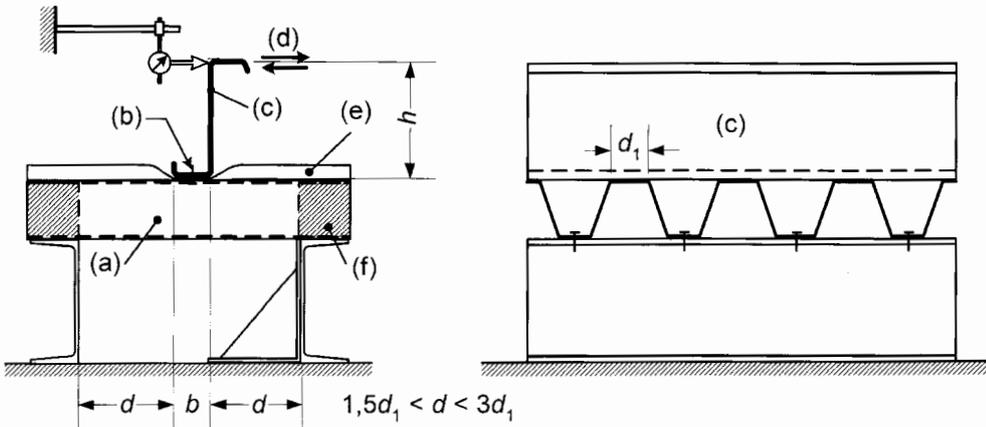
- F die gleichförmig verteilte Streckenlast je Längeneinheit des Prüfkörpers, die eine Horizontalverschiebung von $h/10$ erzeugt;
- h die Profilhöhe;
- δ die Horizontalverschiebung des Obergurtes in Lastrichtung von F .
- (4) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sollten folgende Größen als Variable betrachtet werden:
 - die Anzahl der Verbindungsmittel je Längeneinheit des Prüfkörpers;
 - die Art der Verbindungsmittel;
 - die Biegesteifigkeit des Trägers im Verhältnis zur Blechdicke;

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

- die Biegesteifigkeit des Untergurtes des Profilblechs im Verhältnis zu Blechdicke;
- die Anordnung der Verbindungsmittel im Gurt des Profilblechs;
- der Abstand zwischen den Verbindungsmitteln und dem Rotationszentrum des Trägers;
- die Höhe h des Trägers;
- die mögliche Anordnung einer Isolierung zwischen Träger und Profilblech.



a) Alternative 1



- Legende**
 (a) Profilblech,
 (b) Verbindungsmittel,
 (c) Profil,
 (d) Last,
 (e) Dämmung, falls vorhanden,
 (f) Holzklötze

b) Alternative 2

Bild A.11 — Experimentelle Bestimmung der Federsteifigkeiten K_A und K_B

A.6 Auswertung der Versuchsergebnisse

A.6.1 Allgemeines

(1) Ein Versagen eines Prüfkörpers liegt vor, wenn entweder das Lastmaximum oder die spezifizierten Verformungsgrenzen erreicht werden.

(2) Die Gesamtverformungen der Bauteile müssen in der Regel folgende Grenzen einhalten:

$$\delta \leq L/50 \quad (\text{A.6})$$

$$\phi \leq 1/50 \quad (\text{A.7})$$

Dabei ist

δ die maximale Durchbiegung des Trägers mit der Stützweite L ;

ϕ der maximale Verschiebungswinkel des Tragwerks.

(3) Bei Versuchen an Verbindungen oder Komponenten, bei denen große Verformungen für die Tragwerksnachweise erforderlich sind (z. B. für die Auswertung der Momenten-Rotations-Charakteristik von Überlappungsstößen), braucht eine Begrenzung der Gesamtverformungen im Versuch nicht vorgenommen zu werden.

(4) Zwischen dem duktilen Versagen und einem möglicherweise spröden Versagen sollte ein angemessener Sicherheitsabstand bestehen. Da ein sprödes Versagen bei Bauteilversuchen üblicherweise kaum vorkommt, können ergänzende Detailversuche von Bedeutung sein.

ANMERKUNG Dies gilt häufig für Verbindungen.

A.6.2 Normierung der Versuchsergebnisse

(1) Die Versuchsergebnisse sollten wegen der Abweichungen zwischen den tatsächlichen Kennwerten und deren Nennwerten normiert werden.

(2) Die gemessene Streckgrenze des Grundmaterials $f_{yb,obs}$ sollte um nicht mehr als -25 % vom Nennwert f_{yb} abweichen, d. h. $f_{yb,obs} \geq 0,75 f_{yb}$.

(3) Die vorhandene Blechdicke t_{obs} sollte den Nennwert der Blechdicke t_{nom} (s. 3.2.4) um nicht mehr als 12 % überschreiten.

(4) Die Normierung der Versuchsergebnisse bezüglich der Blechdicke $t_{obs,cor}$ und der Streckgrenze $f_{yb,obs}$ sollte bei allen Versuchsergebnissen vorgenommen werden, außer wenn die Versuche zur Kalibration von Bemessungsregeln herangezogen werden.

(5) Die normierten Werte $R_{adj,i}$ der Versuchsergebnisse ergeben sich aus den gemessenen Werten $R_{obs,i}$ mit:

$$R_{adj,i} = R_{obs,i} / \mu_R \quad (\text{A.8})$$

wobei der Korrekturbeiwert μ_R folgendermaßen ermittelt wird:

$$\mu_R = \left(\frac{f_{yb,obs}}{f_{yb}} \right)^\alpha \left(\frac{t_{obs,cor}}{t_{cor}} \right)^\beta \quad (\text{A.9})$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

(6) Der Exponent α in Formel (A.9) lautet:

- wenn $f_{yb,obs} \leq f_{yb}$: $\alpha = 0$
- wenn $f_{yb,obs} > f_{yb}$: $\alpha = 1$

Bei Profilblechen oder Kassettenprofilen, bei denen druckbeanspruchte Elemente große b_p/t -Werte aufweisen, so dass örtliches Beulen die Versagensform ist:

$$\alpha = 0,5.$$

(7) Der Exponent β in Gleichung (A.9) lautet:

- wenn $t_{obs,cor} \leq t_{cor}$: $\beta = 1$
- wenn $t_{obs,cor} > t_{cor}$:
 - bei Versuchen mit Profilblechen oder Kassettenprofilen: $\beta = 2$
 - bei Versuchen an Bauteilen, Tragwerken und Tragwerksteilen:
 - wenn $b_p/t \leq (b_p/t)_{lim}$: $\beta = 1$
 - wenn $b_p/t > 1,5(b_p/t)_{lim}$: $\beta = 2$
 - wenn $(b_p/t)_{lim} < b_p/t < 1,5(b_p/t)_{lim}$: lineare Interpolation von β .

Dabei lautet der Grenzwert $(b_p/t)_{lim}$:

$$(b_p/t)_{lim} = 0,64 \sqrt{\frac{E k_\sigma}{f_{yb}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb} / \gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}}} \cong 19,1 \varepsilon \sqrt{k_\sigma} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb} / \gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}}} \quad (A.10)$$

Dabei ist

b_p die fiktive Breite einer ebenen Teilfläche;

k_σ der Beulwert nach EN 1993-1-5, Tabelle 4.1 oder 4.2;

$\sigma_{com,Ed}$ die größte berechnete Druckspannung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

ANMERKUNG Liegen Auswertungen aufgrund von früheren Blechversuchen mit $t_{obs,cor} / t_{cor} \leq 1,06$ vor, darf auf eine erneute Normierung bereits bekannt gemachter Bemessungsgrößen verzichtet werden, wenn diese das 1,02fache des $R_{adj,i}$ -Wertes nach A.6.2 nicht überschreiten.

AC Für die Korrektur des Flächenmoments 2. Grades sollten, wo im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit lineares Verformungsverhalten zu beobachten ist, die Exponenten in Formel (A.9) wie folgt angesetzt werden: $\alpha = 0,0$ und $\beta = 1,0$. **AC**

A.6.3 Charakteristische Werte

A.6.3.1 Allgemeines

(1) Charakteristische Werte dürfen statistisch ermittelt werden, wenn mindestens 4 Versuchsergebnisse vorliegen.

ANMERKUNG Grundsätzlich ist eine größere Stichprobe vorzuziehen, besonders bei großer Streuung.

(2) Bei 3 oder weniger Versuchsergebnissen darf nach A.6.3.3 verfahren werden.

(3) Die Bestimmung des charakteristischen Wertes ist im Folgenden dargestellt. Wenn der charakteristische Wert als Maximalwert oder als Mittelwert verlangt wird, ist sinngemäß zu verfahren.

(4) Der charakteristische Wert R_k wird aus mindestens 4 Versuchsergebnissen wie folgt bestimmt:

$$R_k = R_m \pm k s \quad (\text{A.11})$$

Dabei ist

s die Standardabweichung;

k der stichprobenabhängige Beiwert nach Tabelle A.2 zur Erlangung der 5%-Fraktile;

R_m der Mittelwert der normierten Versuchsergebnisse R_{adj} .

Das Vorzeichen „+“ oder „-“ richtet sich nach dem betrachteten Maximal- oder Mindest-Wert.

ANMERKUNG Als allgemeine Regel gilt, dass für einen charakteristischen Wert der Beanspruchbarkeit das Vorzeichen „-“ gilt und z. B. für den charakteristischen Wert der Rotation beide Vorzeichen beachtet werden.

(5) Die Standardabweichung s erhält man mit:

$$s = \left[\sum_{i=1}^n (R_{\text{adj},i} - R_m)^2 / (n-1) \right]^{0,5} \equiv \left[\left[\sum_{i=1}^n (R_{\text{adj},i})^2 - (1/n) \left(\sum_{i=1}^n R_{\text{adj},i} \right)^2 \right] / (n-1) \right]^{0,5} \quad (\text{A.12})$$

Dabei ist

$R_{\text{adj},i}$ das normierte Ergebnis für den i -ten Versuch;

n die Anzahl der Versuchsergebnisse.

Tabelle A.2 — Koeffizient k

N	4	5	6	8	10	20	30	∞
k	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

A.6.3.2 Charakteristische Werte für Testreihen

(1) Wird eine Serie von Testreihen mit ähnlichen Tragwerken, Teilen von Tragwerken, einzelnen Bauteilen oder Profilblechen durchgeführt, bei denen ein oder mehrere Parameter variiert werden, so darf diese als eine einzige Testreihe betrachtet werden, vorausgesetzt, dass alle Prüfkörper die gleiche Versagensart aufweisen. Die variierenden Parameter können Querschnittsabmessungen, Stützweiten, Blechdicken oder Festigkeitswerte sein.

(2) Die charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeiten der jeweiligen Testreihen der Serie dürfen auf der Grundlage einer Bemessungsgleichung ermittelt werden, die die maßgebenden Parameter mit den Versuchsergebnissen verknüpft. Diese Bemessungsgleichung darf entweder auf der Grundlage der Mechanik oder empirisch hergeleitet sein.

(3) Die Bemessungsgleichung sollte den Mittelwert des im Versuch ermittelten Widerstandes so genau wie möglich vorhersagen, indem der Koeffizient zur Optimierung der Korrelation mittelwertkorrigiert wird.

ANMERKUNG Näheres zu diesem Vorgehen enthält EN 1990, Anhang D.

(4) Bei der Bestimmung der Standardabweichung s wird jedes Versuchsergebnis zunächst durch Division mit dem entsprechenden Wert der Bemessungsgleichung normiert. Wenn die Bemessungsgleichung wie in (3) angegeben mittelwertkorrigiert wurde, ist der Mittelwert der normierten Versuchsergebnisse gleich eins. Die Anzahl der Versuche n ist gleich der Gesamtanzahl der Versuche in der Testreihe.

(5) Für eine Testserie von mindestens vier Versuchen ergibt sich der charakteristische Widerstand R_k aus Gleichung (A.11), indem für R_m der Wert der Bemessungsgleichung eingesetzt wird und der Wert k aus Tabelle A.2 entsprechend der Gesamtanzahl n der Versuche der Testserie entnommen wird.

A.6.3.3 Charakteristische Werte bei kleiner Stichprobenanzahl

(1) Falls nur ein Versuch durchgeführt wird, sollte die charakteristische Beanspruchbarkeit R_k aus diesem Versuch mit dem normierten Wert R_{adj} wie folgt ermittelt werden:

$$R_k = 0,9 \eta_k R_{adj} \quad (\text{A.13})$$

Hierbei wird η_k in Abhängigkeit von der Versagensform angepasst:

- Fließen: $\eta_k = 0,9$;
- Gesamtverformungen: $\eta_k = 0,9$;
- lokales Beulen: $\eta_k = 0,8$ bis $0,9$, abhängig von der Art des globalen Versuchsverhaltens;
- globale Instabilität: $\eta_k = 0,7$.

(2) Bei einer Testreihe von zwei oder drei Versuchen sollte der charakteristische Widerstand R_k wie folgt ermittelt werden, vorausgesetzt, dass jedes normierte Versuchsergebnis $R_{adj,i}$ innerhalb von $\pm 10\%$ des Mittelwertes R_m der normierten Versuchsergebnisse liegt:

$$R_k = \eta_k R_m \quad (\text{A.14})$$

(3) Der charakteristische Wert einer Steifigkeit (wie beispielsweise der Biege- oder Rotationssteifigkeit) darf als Mittelwert der Steifigkeiten aus mindestens zwei Versuchen angenommen werden, sofern alle Versuchsergebnisse im Rahmen von $\pm 10\%$ des Mittelwertes liegen.

(4) Im Falle eines einzigen Versuches wird die Steifigkeit mit dem Faktor 0,95 bei günstiger Wirkung und mit dem Faktor 1,05 bei ungünstiger Wirkung multipliziert.

A.6.4 Bemessungswerte

(1) Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit R_d sollten aus den charakteristischen Werten R_k der Versuchsergebnisse wie folgt bestimmt werden:

$$R_d = \eta_{\text{sys}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (\text{A.15})$$

Dabei ist

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit;

η_{sys} ein Umrechnungsfaktor zur Berücksichtigung der Unterschiede des Tragverhaltens unter Versuchsbedingungen und in der tatsächlichen Anwendung.

(2) Der entsprechende Wert η_{sys} richtet sich nach der Versuchsgestaltung.

(3) Bei Profilblechen und bei anderen definierten standardisierten Versuchen (einschließlich A.3.2.1 Kurzstabversuche, A.3.3 Zugversuche und A.3.4 Biegeversuche) darf $\eta_{\text{sys}} = 1,0$ gesetzt werden. Bei Versuchen an drehfederbehinderten Trägern nach A.5 darf ebenfalls $\eta_{\text{sys}} = 1,0$ gelten.

(4) Bei anderen Versuchen, bei denen mögliche Instabilitätsphänomene oder das Trag- und Verformungsverhalten des Tragwerks oder einzelner Tragwerksteile nicht zuverlässig durch Versuche erfasst werden können, sollte der Wert η_{sys} unter Berücksichtigung der Versuchssituation festgelegt werden, um eine zuverlässige Aussage zu erhalten.

ANMERKUNG Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M darf im nationalen Anhang enthalten sein. Es wird empfohlen, γ_M -Werte wie für die rechnerische Bemessung aus Abschnitt 2 oder 8 anzusetzen, wenn sich nicht andere Werte mit Anhang D von EN 1990 ergeben.

A.6.5 Gebrauchstauglichkeit

(1) Es gelten die Regelungen des Abschnitts 7.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Anhang B (informativ)

Dauerhaftigkeit von Verbindungsmitteln

(1) Für die Konstruktionsklassen I, II und III darf Tabelle B.1 angewendet werden.

Tabelle B.1 — Werkstoff von Verbindungsmitteln in Hinsicht auf Umwelteinflüsse (und Blechwerkstoffe nur zur Information). Es wird nur die Korrosionsanfälligkeit betrachtet. Umweltklassen nach EN ISO 12944-2

Umwelt- klasse	Blech- werkstoff	Werkstoff des Verbindungsmittels					
		Aluminium	Galvanisierter Stahl; Dicke des Überzuges > 7 µm	Feuerverzinkter Stahl ^b ; Dicke des Überzuges > 45 µm	Nichtrostender Stahl, gehärtet 1.4006 ^d	Nicht- rostender Stahl 1.4301 ^d 1.4436 ^d	Monel ^a
C1	A, B, C	X	X	X	X	X	X
	D, E, S	X	X	X	X	X	X
C2	A	X	-	X	X	X	X
	C, D, E	X	-	X	X	X	X
	S	X	-	X	X	X	X
C3	A	X	-	X	-	X	X
	C, E	X	-	X	(X) ^c	(X) ^c	-
	D	X	-	X	-	(X) ^c	X
	S	-	-	X	X	X	X
C4	A	X	-	(X) ^c	-	(X) ^c	-
	D	-	-	X	-	(X) ^c	-
	E	X	-	X	-	(X) ^c	-
	S	-	-	X	-	X	X
C5-I	A	X	-	-	-	(X) ^c	-
	D ^f	-	-	X	-	(X) ^c	-
	S	-	-	-	-	X	-
C5-M	A	X	-	-	-	(X) ^c	-
	D ^f	-	-	X	-	(X) ^c	-
	S	-	-	-	-	X	-
ANMERKUNG Unbeschichtete Verbindungsmittel aus Stahl dürfen in der Korrosionsschutzklasse C1 eingesetzt werden.							
A	Aluminium ohne Angabe zur Oberfläche	-	Werkstofftyp wird nicht als Korrosionsschutzsicht empfohlen				
B	Nichtbeschichtetes Stahlblech	-	Werkstofftyp wird nicht als Korrosionsschutzsicht empfohlen				
C	Feuerverzinktes (Z275) oder Aluzink-beschichtetes (AZ150) Stahlblech	a	Bezieht sich ausschließlich auf Nieten				
	Stahlblech	b	Bezieht sich ausschließlich auf Schrauben und Muttern				
D	Feuerverzinktes Stahlblech + Farb- oder Kunststoffbeschichtung	c	Isolierscheiben aus alterungsbeständigem Material zwischen Blech und Verbindungsmittel				
E	Aluzink-beschichtetes (AZ185) Stahlblech	c	Isolierscheiben aus alterungsbeständigem Material zwischen Blech und Verbindungsmittel				
S	Nichtrostender Stahl	c	Isolierscheiben aus alterungsbeständigem Material zwischen Blech und Verbindungsmittel				
X	Werkstofftyp wird aus Korrosionsschutzsicht empfohlen	d	Nichtrostender Stahl EN 10088				
(X)	Werkstofftyp wird aus Korrosionsschutzsicht nur unter bestimmten Umständen empfohlen	e	Neigung zur Farbänderung.				
		f	Immer mit dem Hersteller abzustimmen				

(2) Die Umweltklassen nach EN ISO 12944-2 sind in Tabelle B.2 angegeben.

Tabelle B.2 — Kategorien atmosphärischer Korrosivität nach EN ISO 12944-2 und Beispiele für typische Umweltbedingungen

Korrosivitätskategorie	Grad der Korrosivität	Beispiele typischer Umweltbedingungen in gemäßigtem Klima (informativ)	
		Außen	Innen
C1	sehr niedrig	–	Beheizte Gebäude mit sauberer Luft, z. B. Büros, Geschäfte, Schulen und Hotels.
C2	niedrig	Gegenden mit niedriger Luftverschmutzung. Überwiegend ländliche Gebiete.	Unbeheizte Gebäude mit Kondenswasserausfall, z. B. Lager, Sporthallen.
C3	mittel	Städtische und industrielle Gegenden, mäßige Verschmutzung durch Schwefeldioxid. Küstennahe Gegenden mit niedrigem Salzgehalt.	Produktionsstätten mit hoher Feuchtigkeit und geringer Luftverschmutzung, z. B. in der Nahrungsmittelindustrie, Wäschereien, Brauereien und Molkereien.
C4	hoch	Industrielle Gegenden und Küstengebiete mit mäßigem Salzgehalt.	Chemiewerke, Schwimmbäder, küstennahe Werften.
C5-I	sehr hoch (Industrie)	Industrielle Gegenden mit hoher Luftfeuchtigkeit und aggressiven Luftverhältnissen.	Gebäude oder Bereiche mit fast ständigem Kondenswasserausfall und hoher Verschmutzung.
C5-M	sehr hoch (See-Klima)	Küstengebiete und Offshore-Standorte mit hohem Salzgehalt.	Gebäude oder Bereiche mit fast ständigem Kondenswasserausfall und hoher Verschmutzung.

Anhang C (informativ)

Querschnittswerte für dünnwandige Querschnitte

C.1 Offene Querschnitte

(1) Unterteilung des Querschnitts in n Teilstücke. Durchnummerierung der Teilstücke von 1 bis n .

Einfügen von Knoten 0 bis n zwischen den Teilstücken.

Teilstück i wird somit durch die Knoten $i-1$ und i definiert.

Angabe von Knoten, Koordinaten und (wirksamen) Dicken.

Knoten und Teilstücken $j = 0..n \quad i = 1..n$

Fläche eines Querschnittsteils

$$dA_i = \left[t_i \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \right]$$

Querschnittsfläche:

$$A = \sum_{i=1}^n dA_i$$

Flächenmoment ersten Grades bezogen auf die y -Achse und Koordinaten des Schwerpunkts:

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^n (z_i + z_{i-1}) \frac{dA_i}{2} \quad z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A}$$

Flächenmoment 2. Grades mit Bezug bezogen auf die ursprüngliche y -Achse und die neue y -Achse durch den Schwerpunkt:

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^n \left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_y = I_{y0} - A \cdot z_{gc}^2$$

Flächenmoment ersten Grades bezogen auf die z -Achse und den Schwerpunkt:

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^n (y_i + y_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A}$$

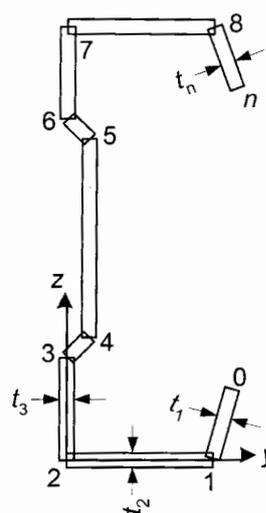


Bild C.1 — Knoten zwischen Querschnittsteilen

Flächenmoment 2. Grades bezogen auf die ursprüngliche z-Achse und die neue z-Achse durch den Schwerpunkt:

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^n \left[(y_i)^2 + (y_{i-1})^2 + y_i \cdot y_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_z = I_{z0} - A \cdot y_{gc}^2$$

Deviationsmoment zum Ursprungskoordinatensystem und zum Schwerpunkt:

$$I_{yz0} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot y_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot z_i + y_{i-1} \cdot z_i + y_i \cdot z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{yz} = I_{yz0} - \frac{S_{y0} \cdot S_{z0}}{A}$$

Hauptachsen:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2I_{yz}}{I_z - I_y} \right) \text{ wenn } (I_z - I_y) \neq 0 \text{ sonst } \alpha = 0$$

$$I_\xi = \frac{1}{2} \cdot \left[I_y + I_z + \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4 \cdot I_{yz}^2} \right]$$

$$I_\eta = \frac{1}{2} \cdot \left[I_y + I_z - \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4 \cdot I_{yz}^2} \right]$$

Wölbkoordinaten der Teilstücke in Bezug auf das Ursprungskoordinatensystem:

$$\omega_0 = 0 \quad \omega_i = y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1} \quad \omega_i = \omega_{i-1} + \omega_i$$

Mittelwert der Wölbkoordinaten mit Bezug auf das Ursprungskoordinatensystem:

$$I_\omega = \sum_{i=1}^n (\omega_{i-1} + \omega_i) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad \omega_{mean} = \frac{I_\omega}{A}$$

Wölbflächenmomente:

$$I_{y\omega} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot y_{i-1} \cdot \omega_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot \omega_i + y_{i-1} \cdot \omega_i + y_i \cdot \omega_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{y\omega} = I_{y\omega 0} - \frac{S_{z0} \cdot I_\omega}{A}$$

$$I_{z\omega} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot \omega_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot \omega_i \cdot z_i + \omega_{i-1} \cdot z_i + \omega_i \cdot z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{z\omega} = I_{z\omega 0} - \frac{S_{y0} \cdot I_\omega}{A}$$

$$I_{\omega\omega} = \sum_{i=1}^n \left[(\omega_i)^2 + (\omega_{i-1})^2 + \omega_i \cdot \omega_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_{\omega\omega} = I_{\omega\omega 0} - \frac{I_\omega^2}{A}$$

Schubmittelpunkt:

$$y_{sc} = \frac{I_{z\omega} I_z - I_{y\omega} I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad z_{sc} = \frac{-I_{y\omega} I_y + I_{z\omega} I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad (I_y I_z - I_{yz}^2 \neq 0)$$

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Wölbflächenmoment 2. Grades:

$$I_w = I_{\omega\omega} + z_{sc} \cdot I_{y\omega} - y_{sc} \cdot I_{z\omega}$$

Torsionsflächenmoment 2. Grades und Torsionswiderstand (St. Venant):

$$I_t = \sum_{i=1}^n dA_i \cdot \frac{(t_i)^2}{3} \quad W_t = \frac{I_t}{\min(t)}$$

Wölbkoordinate mit Bezug auf den Schubmittelpunkt:

$$\omega_{s_j} = \omega_j - \omega_{mean} + z_{sc} \cdot (y_j - y_{gc}) - y_{sc} \cdot (z_j - z_{gc})$$

Maximale Wölbkoordinate und Wölbwiderstandsmoment:

$$\omega_{max} = \max(|\omega_s|) \quad W_w = \frac{I_w}{\omega_{max}}$$

Abstand zwischen Schubmittelpunkt und Schwerpunkt:

$$y_s = y_{sc} - y_{gc} \quad z_s = z_{sc} - z_{gc}$$

Polares Flächenmoment bezogen auf den Schubmittelpunkt:

$$I_p = I_y + I_z + A(y_s^2 + z_s^2)$$

Faktoren z_j und y_j für unsymmetrisches Verhalten.

$$z_j = z_s - \frac{0.5}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^n \left[(z_{c_i})^3 + z_{c_i} \cdot \left[\frac{(z_i - z_{i-1})^2}{4} + (y_{c_i})^2 + \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{12} \right] + y_{c_i} \cdot \frac{(y_i - y_{i-1}) \cdot (z_i - z_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i$$

$$y_j = y_s - \frac{0.5}{I_z} \cdot \sum_{i=1}^n \left[(y_{c_i})^3 + y_{c_i} \cdot \left[\frac{(y_i - y_{i-1})^2}{4} + (z_{c_i})^2 + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{12} \right] + z_{c_i} \cdot \frac{(z_i - z_{i-1}) \cdot (y_i - y_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i$$

Die Koordinaten des Teilstückschwerpunkte bezogen auf den Schubmittelpunkt sind:

$$y_{c_i} = \frac{y_i + y_{i-1}}{2} - y_{gc} \quad z_{c_i} = \frac{z_i + z_{i-1}}{2} - z_{gc}$$

ANMERKUNG $z_j = 0$ ($y_j = 0$) bei Querschnitten, in denen die y -Achse (z -Achse) Symmetrieachse ist, siehe Bild C.1.

C.2 Querschnittswerte für offene, verzweigte Querschnitte

(1) Bei verzweigten Querschnitten gilt die Gleichung in C.1. Jedoch verläuft die Integrationsrichtung bei Querschnittsabzweigungen entgegengesetzt (mit der Dicke $t = 0$) bis zur nächsten Stelle mit $t \neq 0$, siehe Abzweig 3 – 4 – 5 und 6 – 7 in Bild C.2. Ein verzweigter Querschnitt hat Punkte, an denen mehr als zwei Querschnittsteile aneinandergrenzen.

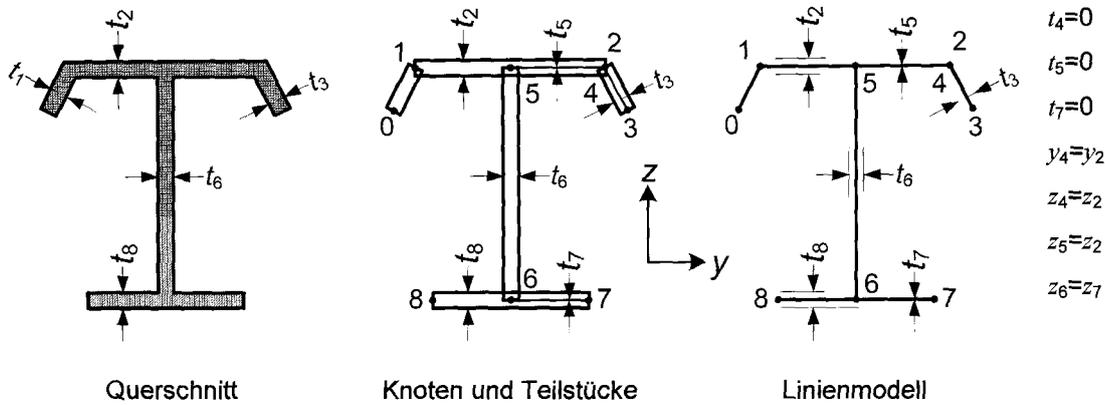


Bild C.2 — Knoten und Teilstücke bei verzweigten Querschnitten

C.3 Torsionssteifigkeit von Querschnitten mit geschlossenem Querschnittsteil

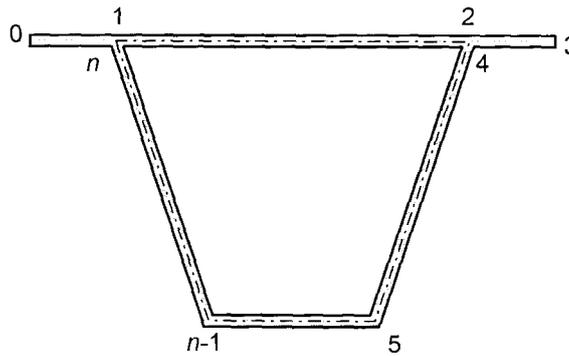


Bild C.3 — Querschnitt mit einem geschlossenen Teil

(1) Bei symmetrischen oder nicht symmetrischen Querschnitten mit einem geschlossenen Teil, Bild C.3, erhält man den Torsionswiderstand und das Torsionswiderstandsmoment mit:

$$I_t = \frac{4A_t^2}{S_t} \quad \text{und} \quad W_t = 2 A_t \min(t_i)$$

wobei

$$A_t = 0,5 \sum_{i=2}^n (y_i - y_{i-1})(z_i + z_{i-1}) \quad S_t = \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{t_i} \quad (t_i \neq 0)$$

Anhang D **(informativ)**

Gemischte Anwendung von wirksamen Breiten und wirksamen Dicken bei einseitig gestützten Querschnittsteilen

(1) Dieser Anhang enthält eine Alternative zur Methode der wirksamen Breiten in 5.5.2 für einseitig druckbeanspruchte gestützte Querschnittsteile. Die wirksame Fläche setzt sich aus der Teilflächendicke multipliziert mit der wirksamen Breite b_{e0} und einer wirksamen Dicke t_{eff} multipliziert mit der übrigen Elementbreite b_p zusammen. Siehe Tabelle D.1.

Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ und der Abminderungsbeiwert ρ werden nach 5.5.2 zur Ermittlung des Beulfaktors k_σ in Tabelle D.1 berechnet.

Das Spannungsverhältnis ψ zur Bestimmung von k_σ darf mit den Bruttoquerschnittswerten ermittelt werden.

(2) Der Beanspruchbarkeit des Querschnitts liegt eine elastische Spannungsverteilung über den Querschnitt zugrunde.

Tabelle D.1 — Einseitig gestützte druckbeanspruchte Teilflächen

Maximale Druckbeanspruchung am freien Rand		
Spannungsverteilung	Wirksame Breite und Dicke	ideeller Beulwert
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42b_p$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$1 \geq \psi \geq -2$ $k_\sigma = \frac{1,7}{3 + \psi}$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0,42b_p}{(1 - \psi)} + b_t < b_p$ $b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75 - 0,15\psi)t$	$-2 > \psi \geq -3$ $k_\sigma = 3,3(1 + \psi) + 1,25\psi^2$
		$\psi < -3$ $k_\sigma = 0,29(1 - \psi)^2$
Maximale Druckbeanspruchung am gestützten Rand		
Spannungsverteilung	Wirksame Breite und Dicke	ideeller Beulwert
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42b_p$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$1 \geq \psi \geq 0$ $k_\sigma = \frac{1,7}{1 + 3\psi}$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0,42b_p}{(1 - \psi)}$ $b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$0 \geq \psi \geq -1$ $k_\sigma = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$
		$\psi < -1$ $k_\sigma = 5,98(1 - \psi)^2$

Anhang E (informativ)

Vereinfachte Pfettenbemessung

(1) Pfetten mit C-, Z- und Σ -Querschnitt mit oder ohne zusätzlichen Aussteifungen in Steg oder Flansch dürfen nach (2) bis (4) bemessen werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- die Querschnittsmaße liegen innerhalb der Grenzen von Tabelle E.1;
- die Pfetten sind durch Trapezbleche horizontal gehalten, wobei die horizontale Halterung die Bedingungsgleichung (10.1a) erfüllt;
- die Pfetten sind gegen Verdrehung durch Trapezbleche gehalten, und die Bedingungen der Tabelle **AC** 10.3 **AC** sind erfüllt;
- die Pfetten haben gleiche Stützweiten und sind gleichförmig belastet.

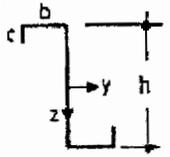
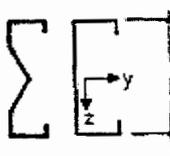
Diese Methode ist nicht zu verwenden bei:

- Systemen mit Schlaudern;
- gekoppelten und gestoßenen Durchlaufsystemen;
- bei einer Normalkraftbeanspruchung N_{Ed} .

ANMERKUNG Einschränkungen und Gültigkeit dieses Verfahrens dürfen im nationalen Anhang angegeben sein.

Tabelle E.1 — Anwendungsgrenzen für das vereinfachte Verfahren und von Tabelle 5.1 und Abschnitt 5.2 abweichende Grenzen

(die Achsen y und z liegen parallel bzw. rechtwinklig zum Obergurt)

Pfetten	t in mm	b/t	h/t	h/b	c/t	b/c	L/h
	$\geq 1,25$	≤ 55	≤ 160	$\leq 3,43$	≤ 20	$\leq 4,0$	≥ 15
	$\geq 1,25$	≤ 55	≤ 160	$\leq 3,43$	≤ 20	$\leq 4,0$	≥ 15

(2) Für den Bemessungswert des Biegemoments M_{Ed} gilt

$$\frac{M_{Ed}}{M_{LT,Rd}} \leq 1 \quad (\text{E.1})$$

Dabei ist

$$M_{LT,Rd} = \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right) W_{\text{eff},y} \frac{\chi_{LT}}{k_d} \quad (\text{E.2})$$

$W_{\text{eff},y}$ das wirksame Widerstandsmoment mit Bezug auf die y-Achse;

χ_{LT} der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken in Abhängigkeit von $\bar{\lambda}_{LT}$ nach 6.2.3, wobei α_{LT} durch $\alpha_{LT,\text{eff}}$ ersetzt wird;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{\text{eff},y} f_y}{M_{cr}}} \quad (\text{E.3})$$

$$\alpha_{LT,\text{eff}} = \alpha_{LT} \sqrt{\frac{W_{\text{el},y}}{W_{\text{eff},y}}} \quad (\text{E.4})$$

α_{LT} der Imperfektionsbeiwert nach 6.2.3;

$W_{\text{el},y}$ das Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts mit Bezug auf die y-y-Achse;

k_d der Koeffizient zur Berücksichtigung des nicht gehaltenen Pfettenteils nach Gleichung (E.5) und Tabelle E.2;

$$k_d = \left(a_1 - a_2 \frac{L}{h} \right), \text{ jedoch } \geq 1,0 \quad (\text{E.5})$$

a_1, a_2 Koeffizienten aus Tabelle E.2;

L Stützweite der Pfette;

h Gesamthöhe der Pfette.

DIN EN 1993-1-3:2010-12
EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle E.2 — Beiwerte a_1, a_2 für Gleichung (E.5)

System	Z-Pfetten		C-Pfetten		Σ-Pfetten	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
Einfeldträger mit Auflast	1.0	0	1.1	0.002	1.1	0.002
Einfeldträger mit abhebender Last	1.3	0	3.5	0.050	1.9	0.020
Durchlaufträger mit Auflast	1.0	0	1.6	0.020	1.6	0.020
Durchlaufträger mit abhebender Last	1.4	0.010	2.7	0.040	1.0	0

(3) Der Abminderungsbeiwert χ_{LT} ergibt sich nach Gleichung (E.6), wenn ein Einfeldträger unter Auflast vorliegt oder wenn Gleichung (E.7) erfüllt ist.

$$\chi_{LT} = 1,0 \quad (E.6)$$

$$C_D \geq \frac{M_{el,u}^2}{EI_v} k_g \quad (E.7)$$

Dabei ist

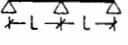
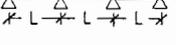
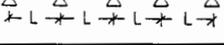
$M_{el,u} = W_{el,u} f_y$ die elastische Momententragfähigkeit des Bruttoquerschnitts mit Bezug zur starken Hauptachse u-u; (E.8)

I_v Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts mit Bezug zur schwachen Hauptachse v-v;

k_g Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems der Pfette nach Tabelle E.3.

ANMERKUNG Bei C-Pfetten und Σ-Pfetten mit gleich großen Flanschen gilt $I_v = I_z$, $W_u = W_y$ und $M_{el,u} = M_{el,y}$. Die Bezeichnungen der Querschnittsachsen sind in Bild 1.7 und  1.5.4  dargestellt.

Tabelle E.3 — Beiwerte k_g

Statisches System	Auflast	abhebende Last
	—	0.210
	0.07	0.029
	0.15	0.066
	0.10	0.053

(4) In Fällen, die durch (3) nicht abgedeckt sind, sollte der Abminderungsbeiwert χ_{LT} nach 6.2.4 mit $\bar{\lambda}_{LT}$ und $\alpha_{LT,eff}$ berechnet werden. Das ideal-kritische Verzweigungsmoment für Biegedrillknicken M_{cr} darf mit Gleichung (E.9) bestimmt werden:

$$M_{cr} = \frac{k}{L} \sqrt{GI_t^* EI_v} \tag{E.9}$$

Dabei ist

I_t^* der fiktive St. Venant'sche Torsionswiderstand unter Berücksichtigung der wirksamen Drehbettung nach den Gleichungen (E.10) und (E.11):

$$I_t^* = I_t + C_D \frac{L^2}{\pi^2 G} \tag{E.10}$$

I_t der St. Venant'sche Torsionswiderstand der Pfette;

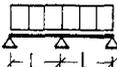
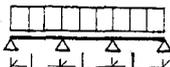
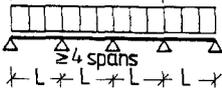
$$1/C_D = \frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,C}} \tag{E.11}$$

$C_{D,A}, C_{D,C}$ Drehsteifigkeiten nach 10.1.5.2;

$C_{D,B}$ Drehsteifigkeit infolge Querschnittsverformung der Pfette nach 10.1.5.1, $C_{D,B} = K_B h^2$, wobei h = Querschnittshöhe der Pfette und K_B nach 10.1.5.1 ist;

k Beiwert für Biegedrillknicken nach Tabelle E.4.

Tabelle E.4 — Beiwerte k für Biegedrillknicken von am Oberflansch seitlich gehaltenen Pfetten

Statisches System	Auflast	abhebende Last
	∞	10.3
	17.7	27.7
	12.2	18.3
	14.6	20.5

