

DIN EN 1999-1-4**DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Teilweiser Ersatz für
DIN 18807-6:1995-09,
DIN 18807-7:1995-09 und
DIN 18807-8:1995-09

**Eurocode 9 –
Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –
Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln;
Deutsche Fassung EN 1999-1-4:2007 + AC:2009**

Eurocode 9 –
Design of aluminium structures –
Part 1-4: Cold-formed structural sheeting;
German version EN 1999-1-4:2007 + AC:2009

Eurocode 9 –
Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-4: Les structures à plaques formées à froid;
Version allemande EN 1999-1-4:2007 + AC:2009

Gesamtumfang 74 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1999-1-4:2010-05

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1999-1-4:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird, unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist hierfür der Arbeitsausschuss NA 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen unter vorwiegend ruhender Belastung (DIN 4113, Sp CEN/TC 250/SC 9 + CEN/TC 135/WG 11)“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) zuständig.

Dieses Dokument enthält die Berichtigung, die von CEN am 4. November 2009 angenommen wurde.

Der Anfang und das Ende der Textstellen, die aufgrund der Berichtigung eingefügt bzw. gestrichen wurden, sind durch AC AC gekennzeichnet.

Änderungen

Gegenüber DIN 18807-6:1995-09, DIN 18807-7:1995-09 und DIN 18807-8:1995-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einführung des semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzeptes.

Frühere Ausgaben

DIN 18807-6: 1995-09
DIN 18807-7: 1995-09
DIN 18807-8: 1995-09

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1999-1-4

Februar 2007

+AC

November 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Deutsche Fassung

**Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von
Aluminiumtragwerken —
Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln**

Eurocode 9: Design of aluminium structures —
Part 1-4: Cold-formed structural sheeting

Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium —
Partie 1-4: Les Structures à plaques formées à froid

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 12. November 2006 angenommen. Die Berichtigung AC wurde vom CEN am 4. November 2009 angenommen.

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

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, 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: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Nationaler Anhang für EN 1999-1-4.....	8
1 Allgemeines.....	9
1.1 Anwendungsbereich	9
1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999.....	9
1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1999-1-4.....	9
1.2 Normative Verweisungen.....	10
1.2.1 Allgemeines.....	10
1.2.2 Bemessung.....	10
1.2.3 Werkstoffe und Werkstoffprüfung	10
1.2.4 Verbindungselemente	11
1.2.5 Sonstiges.....	11
1.3 Begriffe	11
1.4 Formelzeichen.....	12
1.5 Geometrie und Festlegungen für Abmessungen	13
1.5.1 Querschnittsformen.....	13
1.5.2 Aussteifungsformen.....	13
1.5.3 Abmessungen der Querschnitte.....	13
1.5.4 Festlegung der Bauteilachsen.....	14
2 Bemessungsgrundlagen.....	14
3 Werkstoffe	15
3.1 Allgemeines.....	15
3.2 Aluminiumlegierungen für Bauteile.....	15
3.2.1 Materialeigenschaften.....	15
3.2.2 Blechdicken und geometrische Toleranzen	17
3.3 Mechanische Verbindungselemente	17
4 Dauerhaftigkeit.....	17
5 Berechnungsmethoden.....	18
5.1 Einfluss ausgerundeter Ecken	18
5.2 Geometrische Festlegungen	19
5.3 Bemessungsmodelle.....	20
5.4 Einwölbung der Gurte	20
5.5 Örtliches Beulen und Gesamtfeldbeulen	21
5.5.1 Allgemeines.....	21
5.5.2 Unausgesteifte ebene Teilflächen.....	21
5.5.3 Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen.....	23
5.5.4 Trapezprofiltafeln mit Zwischensteifen	28
6 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	34
6.1 Beanspruchbarkeit von Querschnitten	34
6.1.1 Allgemeines.....	34
6.1.2 Zentrischer Zug.....	35
6.1.3 Zentrischer Druck	35
6.1.4 Biegemoment	36
6.1.5 Querkraft.....	38
6.1.6 Torsion.....	40
6.1.7 Örtliche Lasteinleitung.....	40
6.1.8 Zugkraft und Biegung	45
6.1.9 Druckkraft und Biegung.....	45
6.1.10 Querkraft, zentrische Kraft und Biegung	46
6.1.11 Biegemoment und örtliche Lasteinleitung oder Auflagerkraft	46
6.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken	47

6.2.1	Allgemeines	47
6.2.2	Zentrischer Druck.....	47
6.2.3	Biegung und zentrischer Druck	48
6.3	Schubfelder	49
6.3.1	Allgemeines	49
6.3.2	Scheibenwirkung.....	49
6.3.3	Voraussetzungen.....	50
6.3.4	Schubfelder aus Aluminium-Profiltafeln.....	51
6.4	Gelochte Profiltafeln mit Lochanordnung in Form gleichseitiger Dreiecke.....	52
7	Gebrauchstauglichkeit.....	53
7.1	Allgemeines	53
7.2	Plastische Verformungen	53
7.3	Durchbiegungen	54
8	Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen.....	54
8.1	Allgemeines	54
8.2	Blindniete	56
8.2.1	Allgemeines	56
8.2.2	Bemessungswerte für scherbeanspruchte Nietverbindungen.....	56
8.2.3	Bemessungswerte für zugbeanspruchte Nietverbindungen	56
8.3	Gewindeformende Schrauben / Bohrschrauben.....	57
8.3.1	Allgemeines	57
8.3.2	Bemessungswerte für scherbeanspruchte Schraubverbindungen	57
8.3.3	Bemessungswerte für zugbeanspruchte Schraubverbindungen	58
9	Versuchsgestützte Bemessung	60
Anhang A (normativ) Versuchsaufbau und -durchführung.....		61
A.1	Allgemeines	61
A.2	Versuche mit Profiltafeln	61
A.2.1	Allgemeines	61
A.2.2	Einfeldträgerversuch.....	62
A.2.3	Zweifeldträgerversuch	62
A.2.4	Ersatzträgerversuch.....	63
A.2.5	Endauflagerversuche	66
A.3	Versuchsauswertung	66
A.3.1	Allgemeines	66
A.3.2	Normierung der Versuchsergebnisse	66
A.3.3	Charakteristische Werte	67
A.3.4	Bemessungswerte.....	69
A.3.5	Gebrauchstauglichkeit.....	69
Anhang B (informativ) Dauerhaftigkeit von Verbindungselementen.....		70
Literaturhinweise		72

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1999-1-4:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

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

Diese Europäische Norm ersetzt keine bestehende Europäische Norm.

CEN/TC 250 ist für die Erarbeitung aller Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau zuständig.

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

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, 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.

Hintergrund des Eurocode-Programms

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Aktionsprogramm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Spezifikationen.

Im Rahmen dieses Aktionsprogramms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Lenkungsausschusses mit Vertretern der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das in den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts zu der ersten Eurocode-Generation führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Richtlinien des Rates und mit den Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Richtlinie des Rates 89/106/EWG zu Bauprodukten (Bauproduktenrichtlinie), die Richtlinien des Rates 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeführt wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990 *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991 *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992 *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993 *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994 *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauwerken*
- EN 1996 *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997 *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998 *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999 *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*

Die EN-Eurocodes berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und der EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung von Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie des Rates 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2. Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und die dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Erstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾ auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von kompletten Tragwerken und Bauteilen, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen. Für diese Fälle können zusätzliche Spezialkenntnisse für den Bauplaner erforderlich sein.

Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, möglicherweise mit einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem (informativen) Nationalen Anhang.

Der (informativ) Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Diese so genannten national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen,
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben,

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Anforderungen in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die europäische Zulassung selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie haben die Grundlagendokumente

- a) die wesentlichen Anforderungen zu konkretisieren, indem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungsstufen vereinheitlicht werden,
- b) Methoden zur Verbindung dieser Klassen oder Anforderungsstufen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. Berechnungs- oder Nachweisverfahren, technische Entwurfsregeln usw.,
- c) als Bezugsdokumente für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr. 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr. 2.

- landesspezifische geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten,
- die Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere Verfahren zur Wahl anbieten,
- Vorschriften zur Verwendung der informativen Anhänge,
- Hinweise zur Anwendung der Eurocodes, soweit diese die Eurocodes ergänzen und ihnen nicht widersprechen.

Verhältnis zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ konsistent sind. Insbesondere sollten alle Hinweise, die mit der CE-Kennzeichnung von Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

4) Siehe Artikel 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie ebenso wie die Abschnitte 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr. 1.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Nationaler Anhang für EN 1999-1-4

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Zahlenwerte und Empfehlungen für Klassen zusammen mit Hinweisen, an welchen Stellen nationale Festlegungen möglicherweise getroffen werden müssen. Deshalb sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1999-1-4 einen Nationalen Anhang mit allen national festzulegenden Parametern enthalten, die für die Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken, die in dem Ausgabeland gebaut werden sollen, erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind nach EN 1999-1-4 in den folgenden Abschnitten vorgesehen:

2(3)

2(4)

2(5)

3.1(3)

7.3(3)

A.1(1)

A.3.4(3)

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999

(1) EN 1999 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken und Tragwerken aus Aluminium. Sie entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken, sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990 — Grundlagen der Tragwerksplanung — enthalten sind.

(2) EN 1999 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Aluminium. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht behandelt.

(3) EN 1999 gilt in Verbindung mit folgenden Regelwerken:

- EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
- Europäische Normen für Bauprodukte, die für Aluminiumtragwerke Verwendung finden
- EN 1090-1, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile*⁵⁾
- EN 1090-3, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Anforderungen für Aluminiumtragwerke*⁵⁾

(4) EN 1999 ist in fünf Teile gegliedert:

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

1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1999-1-4

(1)P EN 1999-1-4 behandelt die Bemessung kaltgeformter Profiltafeln. Die Bemessungsmethoden sind anwendbar für profilierte Produkte, die aus kalt- oder warmgewalztem Vormaterial durch Kaltumformung wie Rollformen oder Abkanten hergestellt sind. Die Ausführung von Aluminiumkonstruktionen aus kaltgeformten Profiltafeln ist in EN 1090-3 behandelt.

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

(2) Es werden auch Bemessungsregeln für die Scheibentragfähigkeit von Schubfeldern aus Aluminium-Profiltafeln angegeben.

5) ZZ. in Vorbereitung.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

(3) Dieser Teil gilt nicht für stabförmige Kaltprofile mit C-, Z- oder ähnlichen Profilquerschnitten sowie kaltgeformte und geschweißte Rund- oder Rechteckhohlquerschnitte aus Aluminium.

(4) EN 1999-1-4 beschreibt Verfahren für die rechnerische und die versuchsgestützte Bemessung. Die rechnerischen Bemessungsverfahren gelten nur in den angegebenen Grenzen für die Werkstoffkennwerte und geometrischen Verhältnisse, für die ausreichende Erfahrung und Versuchsergebnisse vorhanden sind. Diese Einschränkungen gelten nicht für die versuchsgestützte Bemessung.

(5) EN 1999-1-4 beinhaltet keine Lastannahmen für Montage und Gebrauch.

1.2 Normative Verweisungen

(1) Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

1.2.1 Allgemeines

EN 1090-1, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile*⁶⁾

EN 1090-3, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Anforderungen für Aluminiumtragwerke*⁶⁾

1.2.2 Bemessung

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1995-1-1, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauwerken — Teil 1-1: Allgemeines — Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*

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

1.2.3 Werkstoffe und Werkstoffprüfung

EN 485-2: ^{AC} 2008 ^{AC}, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 2: Mechanische Eigenschaften*

EN 508-2: ^{AC} gestrichener Text ^{AC}, *Dachdeckungsprodukte aus Metallblech — Festlegungen für selbsttragende Bedachungselemente aus Stahlblech, Aluminiumblech oder nichtrostendem Stahlblech — Teil 2: Aluminium*

EN 1396: ^{AC} 2007 ^{AC}, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bandbeschichtete Bleche und Bänder für allgemeine Anwendungen — Spezifikationen*

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

^{AC} gestrichener Text ^{AC}

⁶⁾ ZZ. in Vorbereitung.

1.2.4 Verbindungselemente

EN ISO 1479, *Sechskant-Blechschauben*

EN ISO 1481, *Flachkopf-Blechschauben mit Schlitz*

EN ISO 15480, *Sechskant-Bohrschrauben mit Bund mit Blechschaubengewinde*

EN ISO 15481, *Flachkopf-Bohrschrauben mit Kreuzschlitz mit Blechschaubengewinde*

EN ISO 15973, *Geschlossene Blindniete mit Sollbruchdorn und Flachkopf*

EN ISO 15974, *Geschlossene Blindniete mit Sollbruchdorn und Senkkopf*

EN ISO 15977, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Flachkopf*

EN ISO 15978, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Senkkopf*

EN ISO 15981, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Flachkopf*

EN ISO 15982, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Senkkopf*

EN ISO 7049:1994, *Linsenkopf-Blechschauben mit Kreuzschlitz*

1.2.5 Sonstiges

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

1.3 Begriffe

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

1.3.1

Ausgangsmaterial

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

1.3.2

Streckgrenze des Ausgangsmaterials

0,2%-Dehngrenze f_0 des Ausgangsmaterials

1.3.3

Scheibenwirkung

Tragwirkung von Profiltafeln bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene

1.3.4

elastische Verformungsbehinderung

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

1.3.5

bezogener Schlankheitsgrad

normierte, materialbezogene Schlankheit

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

1.3.6**Verformungsbehinderung**

Behinderung von Verschiebungen, Verdrehungen oder Verwölbungen eines Profils oder eines ebenen Teilquerschnittes, die die Beanspruchbarkeit hinsichtlich Beulen bzw. Knicken erhöht, wie bei einer unnachgiebigen Stützung

1.3.7**Schubfeldbemessung**

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

1.3.8**Auflager**

Stelle, wo Kräfte oder Momente eines Bauteils zum Fundament oder zu einem anderen Bauteil übergeleitet werden

1.3.9**wirksame Dicke**

rechnerische Dicke in Verbindung mit dem Beulen eines ebenen Querschnittsteiles

1.3.10**reduzierte wirksame Dicke**

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

1.4 Formelzeichen

(1) Zusätzlich zu den Formelzeichen in EN 1999-1-1 werden folgende Zeichen benutzt:

Abschnitte 1 bis 6

C	Drehfedersteifigkeit;
k	Längsfedersteifigkeit;
θ	Verdrehung;
b_p	Nennbreite einer ebenen Teilfläche;
h_w	Steghöhe, vertikal zwischen den Systemlinien der Gurte gemessen;
s_w	Stegbreite, schräg zwischen den Eckenmitten gemessen;
χ_d	Abminderungsfaktor für Knicken (Biegeknicken der Längsaussteifungen)
γ	der Winkel zwischen zwei benachbarten ebenen Teilflächen;
ϕ	die auf die Gurte bezogene Stegneigung.

Abschnitt 8 Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen

d_w	Durchmesser von (Dicht-)Scheibe oder Kopf des Verbindungselementes;
$f_{u,min}$	die kleinere Zugfestigkeit der beiden verbundenen Bauteile;

$f_{u,sup}$	Zugfestigkeit der Unterkonstruktion, in welche die Schraube eingedreht ist;
f_y	Streckgrenze der Unterkonstruktion aus Stahl;
t_{min}	Dicke des dünneren der beiden verbundenen Bauteile;
t_{sup}	Dicke der Unterkonstruktion, in welche die Schraube eingedreht ist.

(2) Weitere Begriffe und Formelzeichen werden bei deren Erstverwendung erläutert.

1.5 Geometrie und Festlegungen für Abmessungen

1.5.1 Querschnittsformen

(1) Kaltgeformte Profiltafeln haben innerhalb festgelegter Toleranzen konstante Blechdicke und über ihre gesamte Länge gleichförmigen Querschnitt.

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

(3) Typische Querschnittsformen von kaltgeformten Profiltafeln zeigt Bild 1.1.

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

1.5.2 Aussteifungsformen

(1) Typische Formen von Längsaussteifungen kaltgeformter Profiltafeln zeigt Bild 1.2.

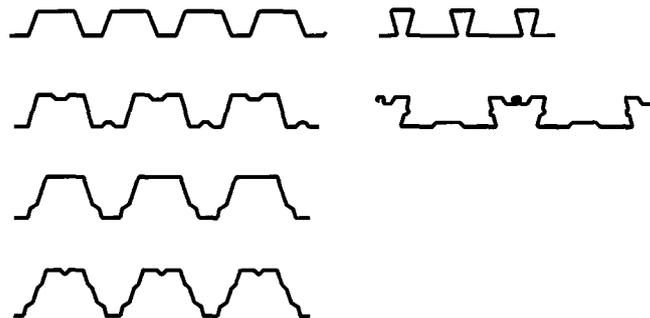


Bild 1.1 — Beispiele kaltgeformter Profiltafeln

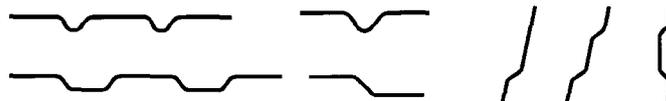


Bild 1.2 — Typische Zwischenaussteifungen

1.5.3 Abmessungen der Querschnitte

(1) Die Maße kaltgeformter Profiltafeln, einschließlich Gesamtbreite b , Gesamthöhe h , innerer Biegeradius r , sowie alle Außenabmessungen mit indexloser Bezeichnung werden, falls nicht anders festgelegt, über die Außenkontur gemessen, siehe Bild 5.1.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

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

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

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

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

(6) Die Dicke t ist, sofern nicht anders angegeben, die Nennblechdicke. Siehe 3.2.2.

1.5.4 Festlegung der Bauteilachsen

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

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

2 Bemessungsgrundlagen

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

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

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

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

ANMERKUNG Zahlenwerte für γ_{Mi} können im Nationalen Anhang festgelegt werden. Für Bauwerke werden die folgenden Werte empfohlen:

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

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

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

(4) Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist in der Regel der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,ser}$ zu verwenden.

ANMERKUNG Zahlenwerte für $\gamma_{M,ser}$ können im Nationalen Anhang festgelegt werden. Für Bauwerke wird der folgende Wert empfohlen:

$$\gamma_{M,ser} = 1,0.$$

(5) Bei der Bemessung von Tragwerken aus kaltgeformten Profiltafeln ist zwischen „Konstruktionsklassen“ zu unterscheiden, die in Abhängigkeit von der Art ihrer tragenden Funktion im Bauwerk wie folgt definiert sind:

- Konstruktionsklasse I:** Tragwerke, bei denen kaltgeformte Profiltafeln integrierende Elemente des Tragwerks im Hinblick auf Gesamttragfähigkeit und Steifigkeit sind, siehe 6.3.3;
- Konstruktionsklasse II:** Tragwerke, bei denen kaltgeformte Profiltafeln für die Tragfähigkeit und Stabilität bestimmter Bauteile erforderlich sind;
- Konstruktionsklasse III:** Tragwerke, bei denen kaltgeformte Profiltafeln derart eingesetzt werden, dass sie lediglich Lasten auf die Unterkonstruktion abgeben.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Regeln für die Zuordnung von Konstruktionsklasse mit Schadensfolgenklasse nach EN 1990 festlegen.

ANMERKUNG 2 Bei den Konstruktionsklassen I und II sollten die Anforderungen an die Ausführung in den Ausführungsunterlagen angegeben sein, siehe EN 1090-3.

3 Werkstoffe

3.1 Allgemeines

(1) Die auf Rechnung basierenden Bemessungsverfahren nach EN 1999-1-4 dürfen für Bauteile aus den in Tabelle 3.1 aufgeführten Legierungen in den dort angegebenen Zuständen angewendet werden.

(2) Für rechnerische Bemessungen nach EN 1999-1-4 muss die 0,2%-Dehngrenze f_0 mindestens $f_0 = 165 \text{ N/mm}^2$ betragen.

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

ANMERKUNG Andere Aluminiumwerkstoffe und -produkte siehe Nationaler Anhang.

3.2 Aluminiumlegierungen für Bauteile

3.2.1 Materialeigenschaften

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

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

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

(4) Die Bemessungswerte der übrigen Werkstoffkennwerte, z. B. Elastizitätsmodul, sind EN 1999-1-1 zu entnehmen.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Tabelle 3.1 — Charakteristische Werte für die 0,2%-Dehngrenze f_o , Zugfestigkeit f_u und Bruchdehnung A_{50} für Bleche und Bänder in Zuständen mit $f_o > 165 \text{ N/mm}^2$ und Dicken zwischen 0,5 mm und 6 mm

Numerische Bezeichnung EN AW-	Chemische Bezeichnung EN AW-	Beständigkeitsklasse ⁵⁾	Zustand ^{1), 2), 3)}	Dicke bis zu	f_u R_m	f_o $R_{p0,2}^{1)}$	A_{50} % ⁴⁾
3003	AlMn1Cu	A	H18	3,0	190	170	2
			H48	3,0	180	165	2
3004	AlMn1Mg1	A	H14 H24/H34	6 3	220	180 170	2-3 4
			H16 H26/H36	4 3	240	200 190	1-2 3
			H18 H28/H38	3 1,5	260	230 220	1-2 3
			H44	3	210	180	4
			H46	3	230	200	3
			H48	3	260	220	3
3005	AlMn1Mg0,5	A	H16	4	195	175	2
			H18 H28	3	220	200 190	2 2-3
			H48	3	210	180	2
3103	AlMn1	A	H18	3	185	165	2
3105	AlMn0,5Mg0,5	A	H18 H28	3 1,5	195	180 170	1 2
			H48	3	195	170	2
5005	AlMg1(B)	A	H18	3	185	165	2
5052	AlMg2,5	A	H14	6	230	180	3-4
			H16 H26/H36	6	250	210 180	3 4-6
			H18 H28/H38	3	270	240 210	2 3-4
			H46	3	250	180	4-5
			H48	3	270	210	3-4
			H14	6	210	170	2-4
			H16 H26/H36	4	230	200 170	2-3 4-7
5251	AC AlMg2Mn0, 3 AC	A	H18 H28/H38	3	255	230 200	2 3
			H46	3	210	165	4-5
			H48	3	250	215	3

1) Werte für Zustände H1x, H2x, H3x nach EN 485-2: AC 2008 AC

2) Werte für Zustände H4x (bandbeschichtete Bleche und Bänder) nach EN 1396: AC 2007 AC

3) Sind zwei (drei) Zustände in einer Zeile angegeben, haben durch „|“ getrennte Zustände unterschiedliche und durch „/“ getrennte Zustände gleiche technologische Werte. (Die Unterschiede beziehen sich nur auf f_o und A_{50} .)

4) A_{50} kann von der Blechdicke abhängen, erforderlichenfalls sind daher auch A_{50} -Bereiche angegeben.

5) Beständigkeitsklasse, siehe EN 1999-1-1

3.2.2 Blechdicken und geometrische Toleranzen

(1) Die in EN 1999-1-4 angegebenen Berechnungsverfahren können bei Legierungen angewendet werden, mit einer nominellen Blechdicke t_{nom} ohne organische Beschichtung von:

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

(2) Die nominelle Blechdicke t_{nom} ist in der Regel als Bemessungswert für die Blechdicke t zu verwenden, sofern die Minustoleranz kleiner als 5 % ist. Andernfalls gilt

$$t = t_{\text{nom}}(100 - dev)/95 \quad (3.1)$$

Dabei ist

dev die Minustoleranz in %.

(3) Toleranzen für Dachelemente sind in EN 508-2 geregelt.

3.3 Mechanische Verbindungselemente

(1) Folgende mechanische Verbindungselemente können benutzt werden:

- Gewindeformende Schrauben in Form von gewindefurchenden Schrauben und Bohrschrauben nach den in 8.3 aufgeführten Normen;
- Blindniete nach den in 8.2 aufgeführten Normen.

(2) Die charakteristische Tragfähigkeit bezüglich Abscheren $F_{v,RK}$ und die charakteristische Zugbruchtragfähigkeit $F_{t,RK}$ der mechanischen Verbindungselemente sollten nach 8.2 oder 8.3 ermittelt werden.

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

(4) Die charakteristische Tragfähigkeit bezüglich Abscheren und die charakteristische Zugbruchtragfähigkeit von mechanischen Verbindungselementen, die nicht in dieser Norm geregelt sind, können europäischen Zulassungen (ETA) entnommen werden.

4 Dauerhaftigkeit

(1) Für grundsätzliche Anforderungen siehe EN 1999-1-1, Abschnitt 4.

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

ANMERKUNG Bezüglich des Korrosionswiderstandes von Verbindungselementen in Abhängigkeit von der Korrosivitätskategorie der Umgebung siehe EN ISO 12944-2, Anhang B.

(3) Die Umgebungs- und Witterungseinflüsse während Herstellung, Transport und Zwischenlagerung auf der Baustelle sind zu berücksichtigen.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

5 Berechnungsmethoden

5.1 Einfluss ausgerundeter Ecken

(1) In Querschnitten mit ausgerundeten Ecken werden die Nennbreiten b_p der ebenen Teilflächen als Abstand zwischen den angrenzenden Eckenmitten gemessen, siehe Bild 5.1.

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

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

(4) Bei ausgerundeten Ecken kann die Berechnung von Querschnittswerten über eine Abminderung der Querschnittswerte des scharfkantigen Querschnitts nach folgender Näherungsformel geschehen:

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

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

mit

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

Dabei ist

A_g die Gesamtquerschnittsfläche;

$A_{g,sh}$ die Fläche A_g des scharfkantigen Querschnittes;

$b_{p,i}$ die Gesamtbreite der ebenen Teilfläche i des scharfkantigen Querschnittes;

I_g das Flächenträgheitsmoment des Gesamtquerschnittes;

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

φ der Winkel zwischen zwei benachbarten ebenen Teilflächen;

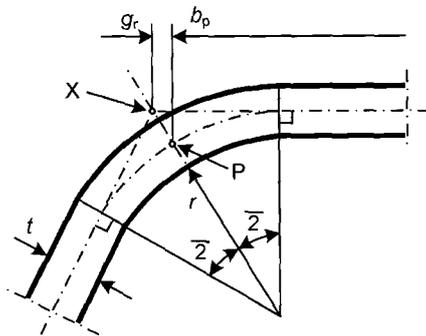
m die Anzahl der ebenen Teilflächen;

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

r_j der innere Biegeradius der gekrümmten Teilfläche j .

(5) Die Abminderungen, die sich aus Formel (5.1) ergeben, dürfen auch bei der Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte A_{eff} und $I_{y,eff}$ zur Anwendung kommen, wenn für die Nennbreiten der ebenen Teilflächen die Abstände zwischen den Schnittpunkten der Mittellinien angesetzt werden.

(6) Ist der innere Biegeradius $r \geq 0,04 t E / f_0$, so ist die Beanspruchbarkeit des Querschnittes durch Versuche zu bestimmen.



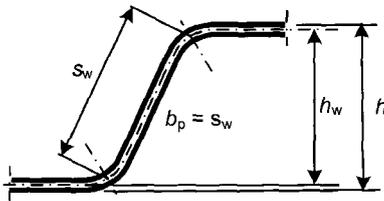
(a) Mittelpunkt der Ecke oder der Ausrundung / Eckenmitte

X ist der Schnittpunkt der Mittellinien

P ist die Eckenmitte

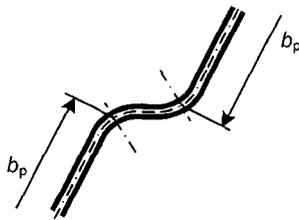
$$r_m = r + t/2$$

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

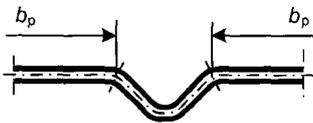


(b) Nennbreite b_p eines Steges

($b_p =$ schräge Höhe s_w)



(c) Nennbreite b_p ebener durch Steg aussteifungen verbundener Teilflächen



(d) Nennbreite b_p ebener durch Gurt aussteifungen verbundener Teilflächen

Bild 5.1 — Nennbreiten ebener Teilflächen b_p bei ausgerundeten Ecken

5.2 Geometrische Festlegungen

(1) Die Regeln für die rechnerische Bemessung nach EN 1999-1-4 sollten nicht bei Querschnitten mit Breiten-zu-Dicken-Verhältnissen b/t und s_w/t angewendet werden, welche die in (2) angegebenen maximal zulässigen Werte überschreiten.

(2) Die maximal zulässigen Breiten-zu-Dicken-Verhältnisse sind:

— für gedrückte Gurte $b/t \leq 300$

— für Stege $s_w/t \leq 0,5 E / f_0$

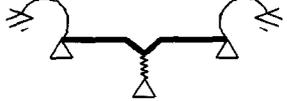
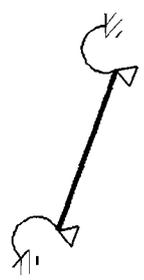
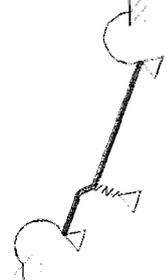
DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG Die in (2) angegebenen Grenzwerte für b/t und s_w/t beschreiben den Anwendungsbereich, für den ausreichende Erfahrungen und Bestätigungen durch Versuchsergebnisse vorliegen. Querschnitte mit größeren Breiten-zu-Dicken-Verhältnissen dürfen zur Anwendung gelangen, wenn Beanspruchbarkeit und Gebrauchstauglichkeit durch Versuche und/oder durch Berechnung ermittelt werden, wobei jedoch Berechnungen durch eine angemessene Anzahl von Versuchen bestätigt werden.

5.3 Bemessungsmodelle

- (1) Für die Berechnung können Querschnittsteile wie in Tabelle 5.1 aufgeführt modelliert werden.
- (2) Der wechselseitige Einfluss mehrerer Aussteifungen ist zu berücksichtigen.

Tabelle 5.1 — Bemessungsmodelle für Querschnittsteile

Art des Querschnittsteiles	Modell	Art des Querschnittsteiles	Modell
			
			

5.4 Einwölbung der Gurte

- (1) Der Einfluss der Einwölbung sehr breiter Gurte (d. h. Durchbiegung in Richtung neutraler Faser) auf die Tragfähigkeit einer biegebeanspruchten Profiltafel oder einer gebogenen Profiltafel, deren konkave Seite Druckbeanspruchungen unterworfen ist, ist in der Regel zu berücksichtigen, es sei denn, das Einwölbungsmaß u ist geringer als 5 % der Profilhöhe. Ist die Einwölbung größer, so ist die Abminderung der Tragfähigkeit, zum Beispiel durch Verringerung des inneren Hebelarmes des breiten Gurtes zur \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} zu berücksichtigen.

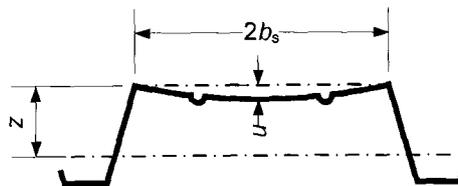


Bild 5.2 — Einwölbung von Gurten

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

— Für Profiltafeln, die vor Belastung gerade sind, siehe Bild 5.2:

$$u = \frac{2\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z} \quad (5.1e)$$

— Für gebogene Profiltafeln:

$$u = \frac{2\sigma_a b_s^4}{E t^2 r} \quad (5.1f)$$

Dabei ist

- u die Einwölbung des Gurtes in Richtung der neutralen Achse, siehe Bild 5.2;
- b_s der halbe Stegabstand;
- z der Schwerpunktsabstand des Gurtes;
- r der Krümmungsradius des gebogenen Profils;
- σ_a die mittlere, mit der Gesamtfläche ermittelte Spannung im Gurt. Wurde die Spannung mit dem wirksamen Querschnitt ermittelt, ergibt sich die mittlere Spannung durch Multiplikation der mit dem wirksamen Querschnitt ermittelten Spannung mit dem Verhältnis aus wirksamer Gurtfläche und gesamter Gurtfläche.

5.5 Örtliches Beulen und Gesamtfeldbeulen

5.5.1 Allgemeines

- (1) Die Einflüsse örtlichen Beulens und Gesamtfeldbeulens sind bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit und der Steifigkeit von kaltgeformten Profiltafeln in der Regel zu berücksichtigen.
- (2) Örtliches Beulen kann durch Ansatz wirksamer Querschnittswerte berücksichtigt werden, die auf der Grundlage wirksamer Wanddicken ermittelt werden, siehe EN 1999-1-1.
- (3) Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit im Hinblick auf örtliches Beulen ist die 0,2%-Dehngrenze f_o zu verwenden.
- (4) Bezüglich der wirksamen Querschnittswerte beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit siehe 7.1(3).
- (5) Das Gesamtfeldbeulen von Querschnittsteilen mit Zwischenaussteifungen wird in 5.5.3 behandelt.

5.5.2 Unausgesteifte ebene Teilflächen

- (1) Die wirksame Dicke t_{eff} druckbeanspruchter Querschnittsteile ergibt sich aus $t_{\text{eff}} = \rho \cdot t$, worin ρ ein das örtliche Beulen berücksichtigender Abminderungsfaktor ist.
- (2) Die Nennbreite b_p eines ebenen Querschnittsteiles ist nach 5.1 zu ermitteln. Bei ebenen Querschnittsteilen in geneigten Stegen ist die jeweilige schräge Höhe zu verwenden.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

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

(4) Ist $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_0 / \gamma_{M1}$, gilt für den Abminderungsbeiwert ρ der folgende Ansatz:

$$\text{— bei } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_{\text{lim}}: \rho = 1,0 \quad (5.2a)$$

$$\text{— bei } \bar{\lambda}_p > \bar{\lambda}_{\text{lim}}: \rho = \alpha (1 - 0,22 / \bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p \quad (5.2b)$$

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

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_0}{\sigma_{\text{cr}}}} = \frac{b_p}{t} \times \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_0}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_0}{E k_\sigma}} \quad (5.3)$$

k_σ ist der von der Spannungsverteilung abhängige Beulwert nach Tabelle 5.3. Die Parameter $\bar{\lambda}_{\text{lim}}$ und α können Tabelle 5.2 entnommen werden.

Tabelle 5.2 — Parameter $\bar{\lambda}_{\text{lim}}$ und α

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

(5) Ist $\sigma_{\text{com,Ed}} < f_0 / \gamma_{M1}$, sollte der Abminderungsbeiwert ρ so bestimmt werden, indem in den Ausdrücken (5.2a) und (5.2b) der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ durch einen reduzierten bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{p,\text{red}}$ ersetzt wird, mit:

$$\bar{\lambda}_{p,\text{red}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed}}}{f_0 / \gamma_{M1}}} \quad (5.4)$$

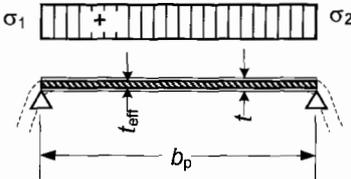
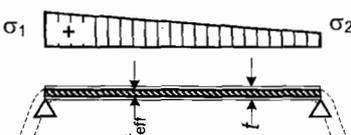
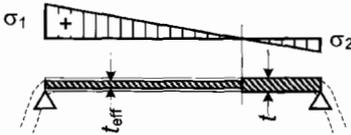
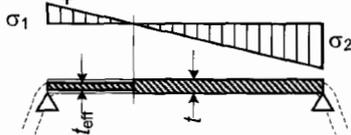
(6) Bezüglich der wirksamen Steifigkeit beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit siehe 7.1(3).

(7) Zur Bestimmung der wirksamen Dicke einer Gurtteilfläche mit ungleichmäßiger Spannungsverteilung dürfen die in Tabelle 5.3 benutzten Spannungsverhältnisse ψ am Gesamtquerschnitt ermittelt werden.

(8) Für die Bestimmung der wirksamen Dicken bei Stegteilflächen darf das in Tabelle 5.3 angegebene Spannungsverhältnis ψ unter Ansatz der wirksamen Fläche des druckbeanspruchten Gurtes und des Gesamtquerschnittes der Stege ermittelt werden.

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

Tabelle 5.3 — Beulwerte k_σ für druckbeanspruchte Querschnittsteile

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

5.5.3 Ebene Teilflächen mit Zwischensteifen

5.5.3.1 Allgemeines

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

(2) Die Federsteifigkeit einer Aussteifung sollte ermittelt werden, indem eine Einheitslast je Längeneinheit u , wie in Bild 5.3 dargestellt, angebracht wird. Die Federsteifigkeit k je Längeneinheit ergibt sich dann wie folgt:

$$k = u / \delta \quad (5.5)$$

worin δ die Verformung eines durch die Einheitslast u beanspruchten abgekanteten Plattenstreifens ist, und die Einheitslast u in der Mittelebene (b_1) des wirksamen Teiles der Aussteifung angreift.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

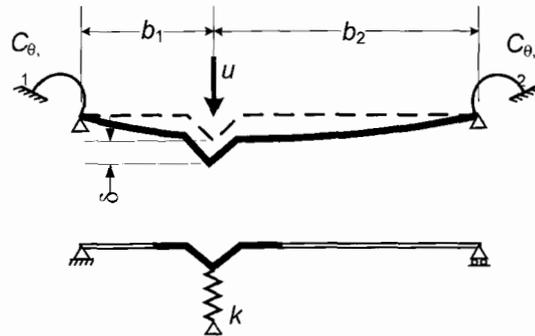


Bild 5.3 — Modell zur Ermittlung der Federsteifigkeit

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

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

$$\delta = \frac{ub_1^2b_2^2}{3(b_1+b_2)} \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad (5.6)$$

(5) Der Reduktionsfaktor χ_d bezüglich Gesamtfeldbeulen bei einer Aussteifung (Biegeknicken bei einer Zwischensteife) ist in Abhängigkeit der nach (5.7) zu ermittelnden bezogenen Schlankheit Tabelle 5.4 zu entnehmen.

$$\bar{\lambda}_s = \sqrt{f_0} / \sigma_{cr,s} \quad (5.7)$$

Dabei ist

$\sigma_{cr,s}$ die elastische kritische Spannung nach 5.5.3.3 oder 5.5.4.2.

Tabelle 5.4 — Abminderungsfaktoren χ_d bezüglich Gesamtfeldbeulen

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

5.5.3.2 Voraussetzungen für das Bemessungsverfahren

(1) Die nachfolgende Vorgehensweise ist anwendbar bei ein oder zwei gleichen Zwischenaussteifungen, welche durch Sicken oder Versätze gebildet werden, vorausgesetzt, alle ebenen Teilflächen werden nach 5.5.2 berechnet.

(2) Die Aussteifungen sollten gleich geformt sein und ihre Anzahl soll nicht mehr als zwei betragen. Sind mehrere Aussteifungen vorhanden, dürfen nicht mehr als zwei in Ansatz gebracht werden.

(3) Sind die in (1) und (2) genannten Bedingungen erfüllt, kann die Wirksamkeit der Aussteifung nach dem in 5.5.3.3 aufgeführten Berechnungsverfahren ermittelt werden.

5.5.3.3 Berechnungsverfahren

(1) Der Querschnitt einer Zwischensteife sollte angenommen werden als aus der Aussteifung selbst bestehend und den wirksamen Anteilen der angrenzenden ebenen Querschnittsteile $b_{p,1}$ und $b_{p,2}$, wie in Bild 5.4 dargestellt.

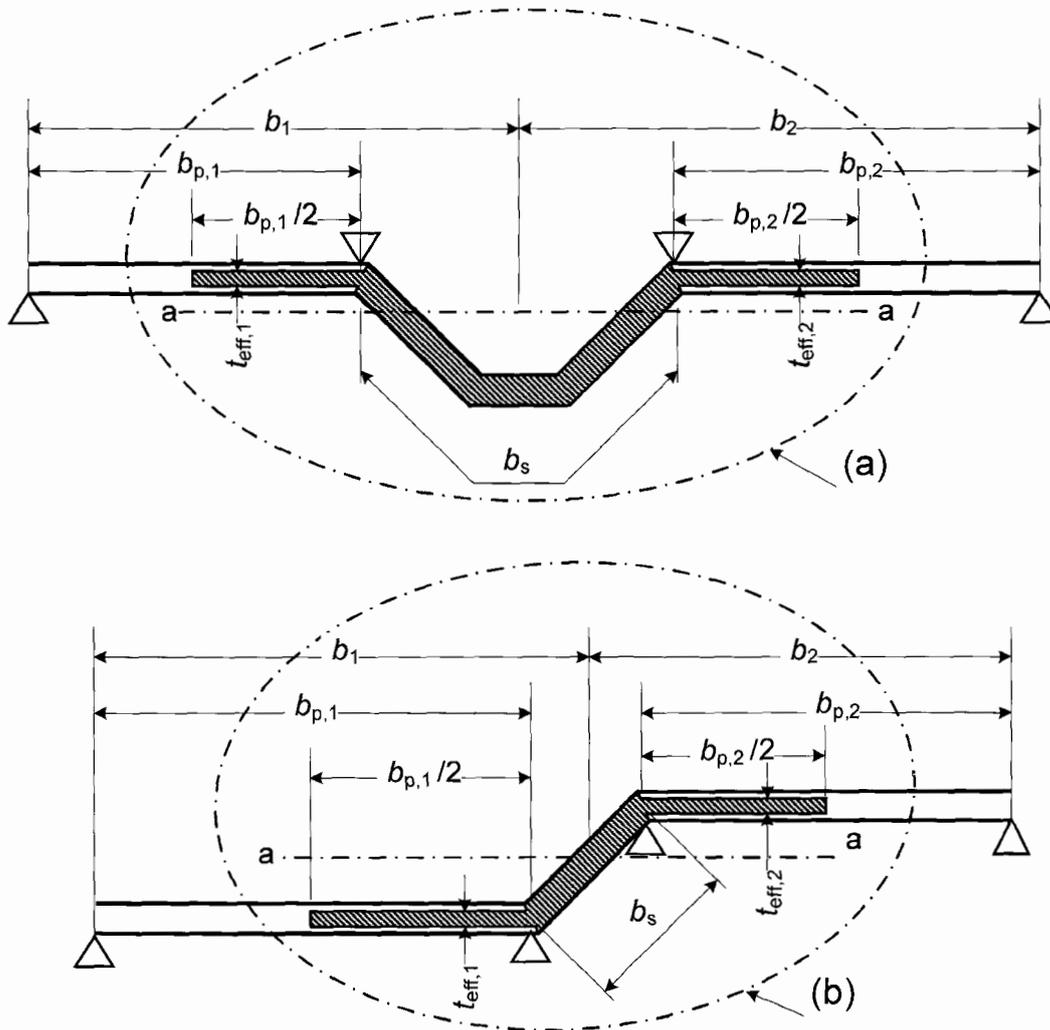


Bild 5.4 — Anfänglicher wirksamer Querschnitt A_s für Zwischensteifen in (a) Gurt und (b) Steg

(2) Das in Bild 5.5 dargestellte Verfahren beinhaltet die nachfolgend aufgeführten Berechnungsschritte:

- **Schritt 1:** Ermittlung eines ersten wirksamen Querschnittes für die Aussteifung zur Berechnung der Querschnittsfläche A_s unter Verwendung wirksamer Dicken, welche unter der Annahme, dass die Aussteifung unverschieblich gelagert ist und $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_o / \gamma_{M1}$ ist, berechnet werden, siehe (3) und (4);
- **Schritt 2:** Ermittlung des wirksamen Flächenträgheitsmomentes unter Verwendung eines weiteren wirksamen Querschnittes, zur Berechnung des Abminderungsfaktors bezüglich Gesamtfeldbeulen unter Berücksichtigung der kontinuierlichen Federsteifigkeit, siehe (5) und (6);

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

— **Schritt 3:** Wahlweise Iteration zur Verbesserung des Wertes für den Abminderungsfaktor bezüglich Knicken der Zwischensteife, siehe (7) und (8).

(3) Die Eingangswerte für die wirksamen Dicken $t_{\text{eff},1}$ und $t_{\text{eff},2}$ sollten, wie in Bild 5.4 dargestellt, unter der Voraussetzung einer zweiseitigen Lagerung der ebenen Teilflächen $b_{p,1}$ und $b_{p,2}$ nach 5.5.2 ermittelt werden, siehe Tabelle 5.1.

(4) Die wirksame Querschnittsfläche einer Zwischensteife A_s ergibt sich aus:

$$A_s = t_{\text{eff},1} b_{p,1} / 2 + t b_s + t_{\text{eff},2} b_{p,2} / 2 \quad (5.8)$$

mit der Steifenbreite b_s wie in Bild 5.4 dargestellt.

(5) Die kritische (elastische) Beulspannung $\sigma_{\text{cr},s}$ einer Zwischensteife beträgt:

$$\sigma_{\text{cr},s} = \frac{2\sqrt{kEI_s}}{A_s} \quad (5.9)$$

Dabei ist

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

I_s das wirksame Flächenträgheitsmoment der Zwischensteife unter Ansatz der Dicke t und der fiktiv angesetzten Breiten $12t$ der benachbarten ebenen Teilflächen bezogen auf die \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} $a - a$ des wirksamen Querschnittes, siehe Bild 5.6(a).

(6) Der Reduktionsfaktor χ_d bezüglich Gesamtfeldbeulen bei einer Zwischensteife ergibt sich mit der elastischen Knickspannung $\sigma_{\text{cr},s}$ aus dem in 5.5.3.1(5) angegebenen Verfahren.

(7) Ist $\chi_d < 1$, kann das Ergebnis durch Iteration weiter verbessert werden, indem ein modifizierter Wert ρ nach 5.5.2(4), ausgehend von $\sigma_{\text{com,Ed}} = \chi_d f_o / \gamma_{M1}$, berechnet wird, sodass gilt:

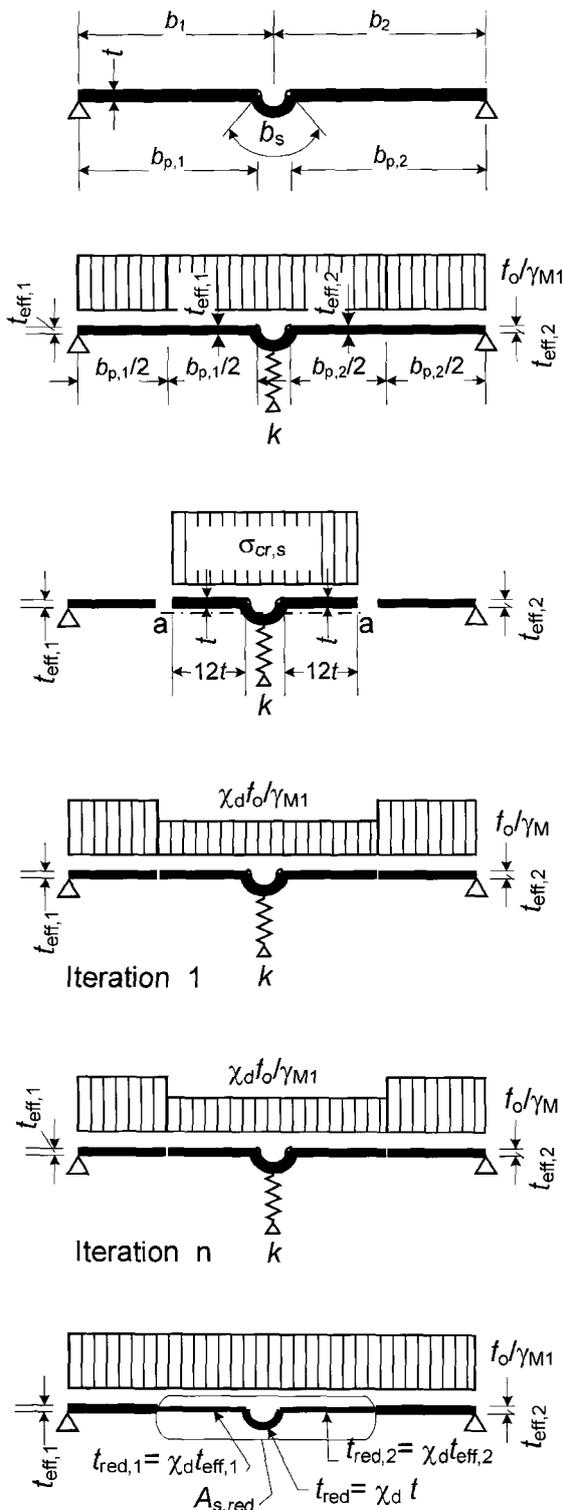
$$\lambda_{p,\text{red}} = \lambda_p \sqrt{\chi_d} \quad (5.10)$$

(8) Wird χ_d iterativ ermittelt, sollte die Iteration so lange durchgeführt werden, bis der aktuelle Wert von χ_d nahezu gleich dem vorangegangenen Wert ist, jedoch nicht größer.

(9) Die reduzierte Querschnittsfläche $A_{s,\text{red}}$ der Steife ergibt sich unter Berücksichtigung des Gesamtfeldbeulens zu:

$$A_{s,\text{red}} = \chi_d A_s \frac{f_o / \gamma_{M1}}{\sigma_{\text{com,Ed}}} \text{ aber } A_{s,\text{red}} \leq A_s \quad (5.11)$$

und worin $\sigma_{\text{com,Ed}}$ die mit dem wirksamen Querschnitt ermittelte Druckspannung an der Schwerlinie der Steife ist.



a) Gesamtquerschnitt und Randbedingungen

b) **Schritt 1:** Wirksamer Querschnitt für $k = \infty$ unter der Annahme $\sigma_{com,Ed} = f_o / \gamma_{M1}$

c) **Schritt 2:** Elastische kritische Spannung $\sigma_{cr,s}$ für einen auf den wirksamen Breiten $12t$ und der Federsteifigkeit k beruhenden wirksamen Querschnitt

d) Reduzierte Festigkeit $\chi_d f_o / \gamma_{M1}$ für die wirksame Fläche A_s der Aussteifung unter Verwendung der Abhängigkeit von $\sigma_{cr,s}$ ermittelten Reduktionsfaktors χ_d

e) **Schritt 3:** Wahlweise Wiederholung von Schritt 1: Berechnung der wirksamen Dicke infolge reduzierter Druckspannung $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_o / \gamma_{M1}$ mit χ_d vom vorherigen Iterationsschritt, bis $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,n-1}$ jedoch $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,n-1}$

f) Annahme eines wirksamen Querschnittes $A_{s,red}$ unter Ansatz von mit $\chi_{d,n}$ ermittelten reduzierten Dicken t_{red}

Bild 5.5 — Modell zur Ermittlung der Druckbeanspruchbarkeit eines Gurtes mit einer Zwischensteife

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

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

5.5.4 Trapezprofiltafeln mit Zwischensteifen

5.5.4.1 Allgemeines

(1) Dieser Unterabschnitt sollte in Verbindung mit 5.5.3.3 für Gurte mit Zwischensteifen und für Stege mit Zwischensteifen angewendet werden.

(2) Die Interaktion zwischen Gesamtfeldbeulen von Zwischensteifen in Gurten und Zwischensteifen in Stegen sollte ebenfalls nach dem in 5.5.4.4 angegebenen Verfahren berücksichtigt werden.

5.5.4.2 Gurte mit Zwischensteifen

(1) Bei vorausgesetzter gleichmäßig verteilter Druckspannung kann angenommen werden, dass der wirksame Querschnitt eines Gurtes mit Zwischensteifen aus reduzierten wirksamen Querschnittsflächen $A_{s,red}$ von bis zu zwei Zwischensteifen und zwei angrenzenden Streifen mit einer Breite von $0,5 b_p$ und einer Dicke von t_{eff} besteht, welche an den Stegen aufgelagert sind, siehe Bild 5.5f.

(2) Bei einer zentrischen Steife im Gurt ergibt sich die kritische Beulspannung $\sigma_{cr,s}$ zu:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2\kappa_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_{st}^3}{4 b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}} \quad (5.12)$$

Dabei ist

b_p die Gesamtbreite der ebenen Teilstücke, wie in Bild 5.6 dargestellt;

b_s die (abgewinkelte) Breite der Steife, siehe Bild 5.6(c);

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

A_s und I_s wie 5.5.3.3 und Bild 5.6 definiert.

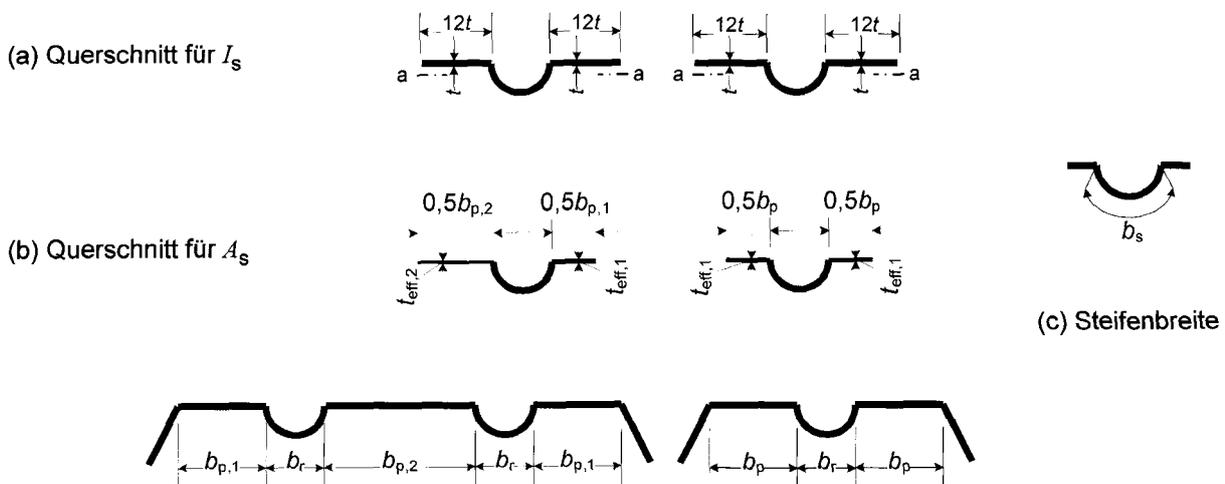


Bild 5.6 — Wirksamer Querschnitt zur Ermittlung von I_s und A_s für Druckgurte mit zwei Steifen bzw. einer Steife

(3) Bei zwei symmetrisch angeordneten Steifen im Gurt ergibt sich die kritische Beulspannung $\sigma_{cr,s}$ zu:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2\kappa_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8 b_1^2 (3 b_e - 4 b_1)}} \quad (5.13)$$

mit

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

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

Dabei ist

$b_{p,1}$ die Nennbreite einer äußeren ebenen Teilfläche, wie in Bild 5.6 dargestellt;

$b_{p,2}$ die Nennbreite der inneren ebenen Teilfläche, wie in Bild 5.6 dargestellt;

b_s die (abgewinkelte) Breite der Steife, gemessen über den Umfang der Steife, siehe Bild 5.6(c).

(4) Sind drei Zwischensteifen vorhanden, ist die mittlere nicht zu berücksichtigen.

(5) Der Beiwert κ_w ergibt sich aus der Knicklänge l_b des gedrückten Gurtes wie folgt:

$$\text{— wenn } l_b / s_w \geq 2: \quad \kappa_w = \kappa_{w0} \quad (5.14a)$$

$$\text{— wenn } l_b / s_w < 2: \quad \kappa_w = \kappa_{w0} - (\kappa_{w0} - 1) [2l_b / s_w - (l_b / s_w)^2] \quad (5.14b)$$

Dabei ist

s_w die geneigte Länge des Steges ist, siehe Bild 5.7(a).

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

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

(7) Die Werte für l_b und κ_{w0} können wie folgt ermittelt werden:

— für einen druckbeanspruchten Gurt mit einer Zwischensteife:

$$l_b = 3,074 \sqrt{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s) / t^3} \quad (5.15)$$

$$\kappa_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} \quad (5.16)$$

mit

$$b_d = 2b_p + b_s$$

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

— für einen druckbeanspruchten Gurt mit zwei oder drei Zwischensteifen:

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{I_s b_1^2 (3b_e - 4b_1) / t^3} \quad (5.17)$$

$$\kappa_{wo} + \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_1)}{b_1(4b_e - 6b_1) + s_w(3b_e - 4b_1)}} \quad (5.18)$$

(8) Die hinsichtlich des Gesamtfeldbeulens (Biegeknicken einer Zwischensteife) reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{s,red}$ der Steife ergibt sich zu:

$$A_{s,red} + \chi_d A_s \frac{f_o / \gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}} \quad \text{jedoch} \quad A_{s,red} \leq A_s \quad (5.19)$$

(9) Bei unausgesteiften Stegen ergibt sich der Abminderungsfaktor χ_d unmittelbar aus $\sigma_{cr,s}$ nach der in 5.5.3.1(5) angegebenen Berechnungsmethode.

(10) Bei ausgesteiften Stegen ergibt sich der Abminderungsfaktor χ_d wiederum aus der in 5.5.3.1(5) angegebenen Berechnungsmethode, jedoch unter Verwendung der modifizierten elastischen kritischen Spannung $\sigma_{cr,mod}$ nach 5.5.4.4.

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

5.5.4.3 Stege mit bis zu zwei Steifen unter ungleichförmiger Spannung

(1) Für den wirksamen Querschnitt des druckbeanspruchten Bereiches eines Steges ist in der Regel anzunehmen, dass sich dieser aus den reduzierten Flächen $A_{s,red}$ von bis zu zwei Zwischensteifen, einer ebenen mit dem Druckgurt verbundenen Teilfläche und einer ebenen bis zur \boxed{AC} Schwerachse \boxed{AC} des Gesamtquerschnittes reichenden Teilfläche zusammensetzt, siehe Bild 5.7. Stege unter konstanter Druckbeanspruchung sind wie ausgesteifte Gurte zu behandeln.

(2) Der wirksame Querschnitt eines Steges besteht, wie in Bild 5.7 dargestellt, aus:

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

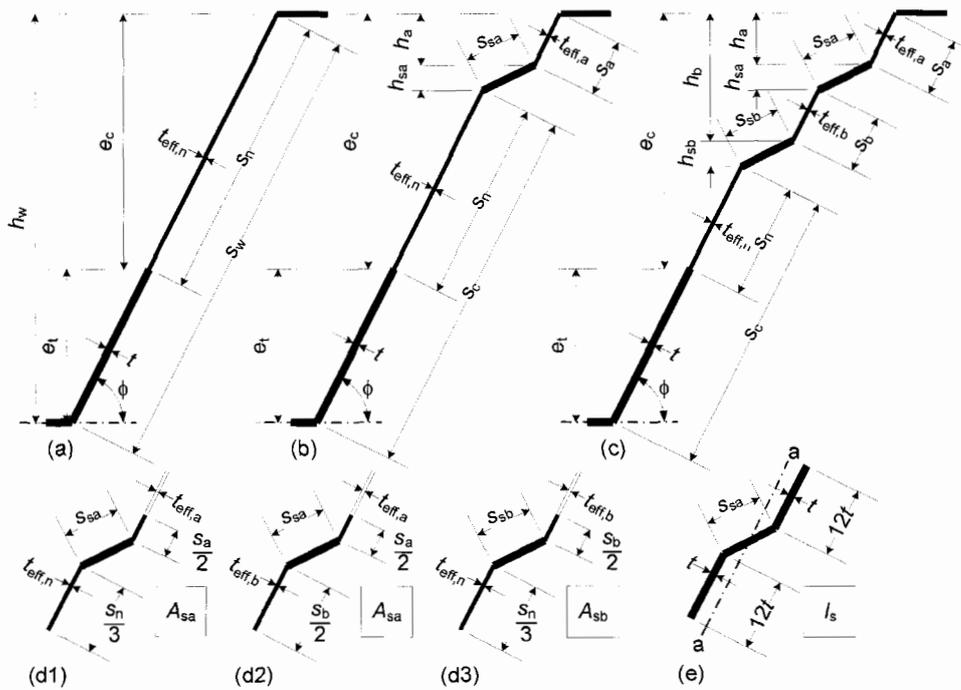


Bild 5.7 — Wirksame Querschnitte in Stegen kaltgeformter Profiltafeln

(3) Die Eingangswerte für die wirksamen Querschnittsflächen ergeben sich aus:

— bei einer Steife:

$$A_{sa} = (t_{eff,a} \frac{s_a}{2} + t_{ssa} + t_{eff,n} \frac{s_n}{3}), \quad \text{Bild 5.7(d1)} \quad (5.20a)$$

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

$$A_{sa} = (t_{eff,a} \frac{s_a}{2} + t_{ssa} + t_{eff,b} \frac{s_b}{2}), \quad \text{Bild 5.7(d2)} \quad (5.20b)$$

— für die zweite Steife

$$A_{sb} = (t_{eff,b} \frac{s_b}{2} + t_{ssb} + t_{eff,n} \frac{s_n}{3}), \quad \text{Bild 5.7(d3)} \quad (5.21)$$

wobei die Abmessungen s_a , s_{sa} , s_b , s_{sb} und s_n Bild 5.7 zu entnehmen und $t_{eff,a}$, $t_{eff,b}$ und $t_{eff,n}$ nach (5) zu ermitteln sind.

(4) Zu Beginn der Berechnung ist die Lage der wirksamen \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} unter der Annahme von wirksamen Querschnitten in den Gurten und Nennquerschnitten der Stege zu ermitteln.

(5) Wenn die bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ des druckbeanspruchten Stegbereiches größer ist als $\bar{\lambda}_{lim}$ (siehe 5.5.2(4)), sollten die wirksamen Dicken $t_{eff,a}$, $t_{eff,b}$ und $t_{eff,n}$ wie folgt ermittelt werden:

$$t_{eff} = \rho t \quad (5.22)$$

wobei ρ nach Gleichung (5.2) mit der Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ und dem Faktor ψ für die Spannungsverteilung nach Tabelle 5.5 zu bestimmen ist. e_c und e_t sind hierbei die Abstände von der wirksamen Schwereachse zu den

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Systemlinien des druck- bzw. zugbeanspruchten Gurtes, siehe Bild 5.7. Die Abmessungen h_a, h_b, h_{sa}, h_{sb} und s_n sowie ϕ sind Bild 5.7 zu entnehmen.

(6) Zur Bestimmung der Eingangswerte für die wirksamen Querschnittsflächen A_{sa} und A_{sb} von Stegaussteifungen sind in der Regel s_a und s_b in zwei gleiche Teile $s_a/2$ und $s_b/2$ zu unterteilen. Der Teil s_n des Steges oberhalb der AC Schwerachse AC ist in einen an die Steife angrenzenden Teil $s_n/3$, siehe Bild 5.7(d1) und (d3), und einen der AC Schwerachse AC zugekehrten Teil $2 s_n/3$ aufzuteilen.

AC

Tabelle 5.5 — Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p$ und Spannungsverhältnisse ψ für ausgesteifte Stege

Lage in Steg	Anteil des Steges	Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p$	Spannungsverhältnis ψ
Keine Aussteifungen, Bild 5.7 (a)			
Zwischen Druckgurt und Schwerachse	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma}}$	$\psi = -\frac{e_t}{e_c}$
Eine Aussteifung, Bild 5.7 (b)			
Am Druckgurt angrenzend	s_a	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_a}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma}}$	$\psi = \frac{e_c - h_a}{e_c}$
An die Schwerachse angrenzend	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_c}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma} \cdot \frac{(e_c - h_a - h_{sa})}{e_c}}$	$\psi = -\frac{e_t}{s_n \cdot \sin \phi}$
Zwei Aussteifungen, Bild 5.7 (c)			
Am Druckgurt angrenzend	s_a	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_a}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma}}$	$\psi = \frac{e_c - h_a}{e_c}$
Zwischen zwei Aussteifungen	s_b	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_b}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma} \cdot \frac{(e_c - h_a - h_{sa})}{e_c}}$	$\psi = \frac{e_c - h_b}{e_c - h_a - h_{sa}}$
An die Schwerachse angrenzend	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_c}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma} \cdot \frac{(e_c - h_b - h_{sb})}{e_c}}$	$\psi = -\frac{e_t}{s_n \cdot \sin \phi}$

AC

(7) Für eine einzelne Aussteifung oder, im Falle von zwei Aussteifungen, für die dem Druckgurt zugewandte Aussteifung ergibt sich die elastische Beulspannung $\sigma_{cr,sa}$ aus:

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1,05 \kappa_f E \sqrt{I_{sa} t^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)} \tag{5.23}$$

worin s_1 und s_2 wie folgt definiert sind:

— für eine einzelne Aussteifung:

$$s_1 = 0,9 (s_a + s_{sa} + s_c), \quad s_2 = s_1 - s_a - 0,5 s_{sa} \tag{5.24}$$

— im Falle von zwei Aussteifungen für die dem Druckgurt zugewandte Aussteifung, wenn sich die andere Aussteifung im zugbeanspruchten Bereich befindet oder unmittelbar an der \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} liegt:

$$s_1 = s_a + s_{sa} + s_b + 0,5 (s_{sb} + s_c), \quad s_2 = s_1 - s_a - 0,5 s_{sa} \quad (5.25)$$

Dabei ist

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

I_{sa} das Flächenträgheitsmoment der Steife, bestehend aus dem Versatz s_{sa} und zwei angeschlossenen Teilflächen der jeweiligen Länge $12 t$, deren \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} parallel zu den ebenen Teilflächen verläuft, siehe Bild 5.7(e). Bei der Ermittlung darf eine mögliche Veränderung der Neigung der ebenen Teilflächen ober- oder unterhalb der Aussteifung vernachlässigt werden.

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

(9) Bei einer einzelnen druckbeanspruchten Aussteifung oder, im Falle von zwei Aussteifungen, für die dem Druckgurt zugewandte Aussteifung ergibt sich die reduzierte Fläche $A_{sa,red}$ (Schritt 2 in Bild 5.5) zu:

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1 - \frac{h_a + 0,5 h_{sa}}{e_c}} \quad \text{wobei} \quad A_{sa,red} \leq A_{sa} \quad (5.26)$$

(10) Sind die Gurte ebenfalls ausgesteift, ist der Reduktionsfaktor χ_d mit der in 5.5.4.4 angegebenen elastischen kritischen Spannung $\sigma_{cr,mod}$ in Verbindung mit dem in 5.5.3.1(5) angegebenen Verfahren zu ermitteln.

(11) Für eine einzelne zugbeanspruchte Aussteifung ist die reduzierte wirksame Querschnittsfläche $A_{sa,red}$ gleich A_{sa} zu setzen.

(12) Bei Stegen mit zwei Aussteifungen ist die reduzierte Fläche $A_{sb,red}$ der zweiten, der \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} zugekehrten Aussteifung gleich A_{sb} zu setzen.

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

(14) Ist $\chi_d < 1$, kann wahlweise nach 5.5.3(7) iterativ verfeinert werden.

(15) Bezüglich der wirksamen Querschnittswerte für den Gebrauchszustand siehe 7.1.

5.5.4.4 Profiltafeln mit Gurt- und Steg aussteifungen

(1) Bei Profiltafeln mit Zwischensteifen in Gurten und Stegen, siehe Bild 5.8, ist die Interaktion zwischen dem Gesamtfeldbeulen der Gurtaussteifungen und der Steg aussteifungen unter Verwendung der modifizierten elastischen kritischen Spannung $\sigma_{cr,mod}$ für beide Aussteifungsarten zu berücksichtigen:

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1 + \left[\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}} \right]^4}} \quad (5.27)$$

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

$\sigma_{cr,s}$ die elastische kritische Spannung eines Gurtes mit Zwischenaussteifung, siehe 5.5.4.2(2) für den Gurt mit einer Aussteifung oder 5.5.4.2(3) für den Gurt mit zwei Aussteifungen;

$\sigma_{cr,sa}$ die elastische kritische Spannung einer einzelnen Steg­aussteifung oder, im Falle von zwei Aussteifungen, für die dem Druckgurt zugekehrte Aussteifung, siehe 5.5.4.3(7).

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

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

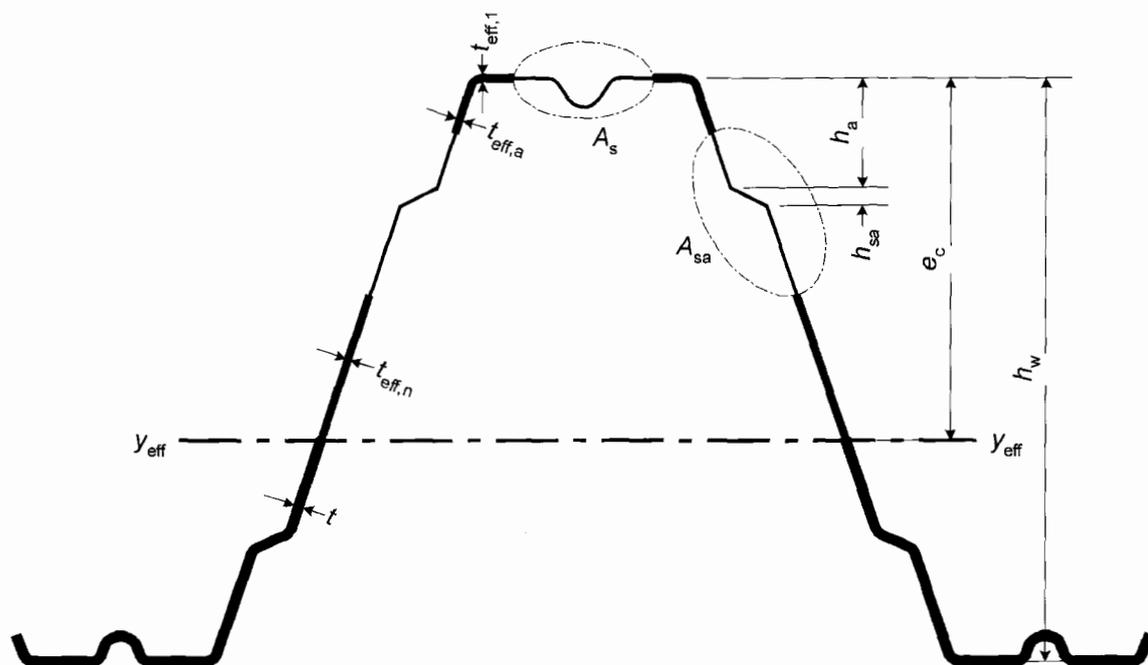


Bild 5.8 — Wirksamer Querschnitt von Profiltafeln mit Gurt- und Steg­aussteifungen

6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

6.1 Beanspruchbarkeit von Querschnitten

6.1.1 Allgemeines

- (1) Die in diesem Abschnitt angegebenen Regeln gelten für die Bemessung durch Berechnung.
- (2) Anstelle einer Bemessung durch Berechnung kann eine versuchsgestützte Bemessung durchgeführt werden, siehe hierzu Abschnitt 9 und Anhang A.

ANMERKUNG Die versuchsgestützte Bemessung wirkt sich besonders bei relativ großen b_p / t -Verhältnissen günstig aus, zum Beispiel im Hinblick auf nichtelastisches Verhalten, Stegkrüppeln oder Schubverzerrung.

- (3) Bei der Bemessung durch Berechnung sind die Einflüsse aus örtlichem Beulen und Gesamtfeldbeulen durch Verwendung nach 5.5 ermittelter, wirksamer Querschnittswerte zu berücksichtigen.
- (4) Die Beanspruchbarkeit druckbeanspruchter, knickgefährdeter Profiltafeln ist nach 6.2 zu berücksichtigen.

6.1.2 Zentrischer Zug

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{t,Rd}$ eines Querschnittes unter gleichmäßiger Zugbeanspruchung ergibt sich aus:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_o A_g}{\gamma_{M1}} \quad \text{wobei} \quad N_{t,Rd} \leq F_{net,Rd} \quad (6.1)$$

Dabei ist

A_g die Gesamtfläche des Querschnittes;

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

6.1.3 Zentrischer Druck

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{c,Rd}$ eines Querschnittes unter Druckbeanspruchung wird wie folgt ermittelt:

— wenn die wirksame Fläche A_{eff} kleiner ist als die Gesamtfläche A_g (Querschnitt mit Reduktion hinsichtlich örtlichen Beulens und/oder Gesamtfeldbeulens):

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.2)$$

— wenn die wirksame Fläche A_{eff} gleich ist wie die Gesamtfläche A_g (Querschnitt ohne Reduktion hinsichtlich örtlichen Beulens und/oder Gesamtfeldbeulens)

$$N_{c,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (6.3)$$

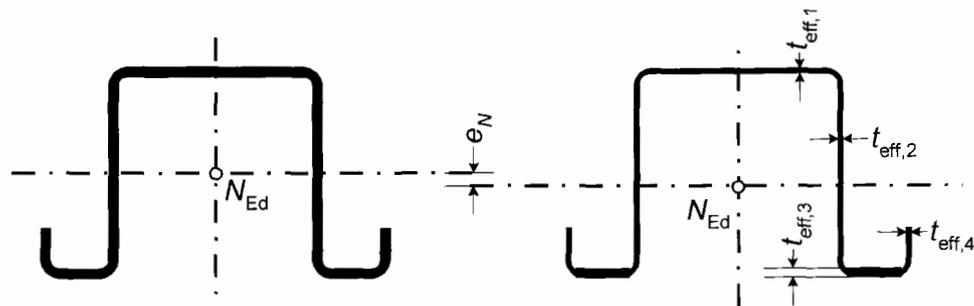
Dabei ist

A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche nach 5.5.2 unter der Annahme einer gleichförmigen Druckspannung f_o / γ_{M1} .

(2) Die resultierende Normalkraft eines Bauteiles wirkt im Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes. Dies ist eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung, die immer angenommen werden kann. Nähere Untersuchungen können wirklichkeitsnähere Ergebnisse bezüglich des inneren Kräfteverlaufes im druckbeanspruchten Querschnittsteil liefern, zum Beispiel bei gleichmäßig anwachsender Normalkraft.

(3) Der Widerstand eines Querschnittes unter gleichmäßiger Druckbeanspruchung sollte mit seinem Bemessungswert im Schwerpunkt des wirksamen Querschnittes angesetzt werden. Wenn die Schwerachsen des Gesamtquerschnittes und des wirksamen Querschnittes nicht zusammenfallen, ist die Verschiebung e_N der \overline{AC} Schwerachsen \overline{AC} (siehe Bild 6.1) nach dem in 6.1.9 angegebenen Verfahren zu berücksichtigen. Wirkt sich die Verschiebung günstig aus, darf diese vernachlässigt werden, vorausgesetzt, die Verschiebung wurde unter Ansatz der Dehngrenzspannung und nicht der vorhandenen Druckspannung ermittelt.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)



(a) Gesamtquerschnitt

(b) Wirksamer Querschnitt

Bild 6.1 — Verschiebung der \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} bei Querschnitten unter Druckbeanspruchung

6.1.4 Biegemoment

6.1.4.1 Elastischer und plastischer Widerstand bei Erreichen der Dehngrenze im druckbeanspruchten Gurt

(1) Der Bemessungswert des Biegemomentes $M_{c,Rd}$ eines Querschnittes ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

— wenn das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} kleiner ist als das Widerstandsmoment W_{el} des Gesamtquerschnittes:

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.4)$$

— wenn das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} gleich ist wie das Widerstandsmoment W_{el} des Gesamtquerschnittes:

$$M_{c,Rd} = f_o (W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) 4 (1 - \lambda / \lambda_{el})) / \gamma_{M1}, \text{ jedoch nicht größer als } W_{pl} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.5)$$

Dabei ist

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

Für zweiseitig gelagerte ebene Querschnittsteile ist $\lambda = \bar{\lambda}_p$ und $\lambda_{el} = \bar{\lambda}_{lim}$ mit $\bar{\lambda}_{lim}$ nach Tabelle 5.2.

Für ausgesteifte Querschnittsteile ist $\lambda = \bar{\lambda}_s$ und $\lambda_{el} = 0,25$, siehe 5.5.3.1.

ANMERKUNG Der Zusammenhang zwischen resultierendem Biegetragwiderstand und Schlankheit des schlanksten Querschnittsteiles ist in Bild 6.2 dargestellt.

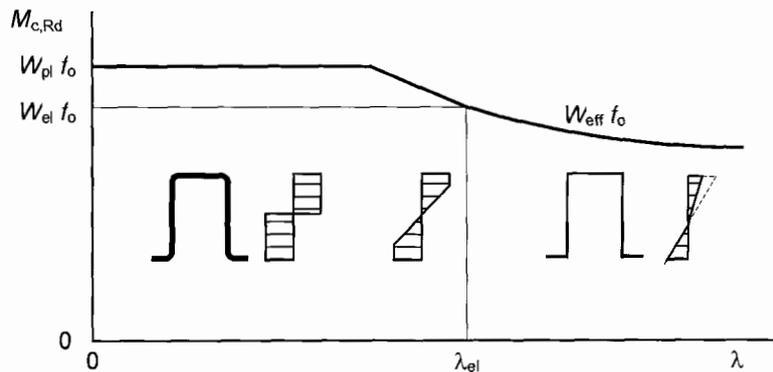


Bild 6.2 — Biege widerstand in Abhängigkeit der Schlankheit

(2) Der Ausdruck (6.5) ist unter der Voraussetzung anwendbar, dass der Stegneigungswinkel ϕ (siehe Bild 6.5) 60° nicht übersteigt

(3) Ist Bedingung (2) nicht erfüllt, sollte folgende Bedingung benutzt werden:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.6)$$

(4) Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} sollte auf den durch das Biegemoment bestimmten wirksamen Querschnitt bezogen werden, wobei zur Berücksichtigung von Einflüssen aus örtlichem Beulen und Gesamtfeldbeulen, wie in 5.5 aufgezeigt, $\sigma_{max,Ed}$ gleich f_o / γ_{M1} zu setzen ist. Falls die mittragende Breite („shear lag“, siehe EN 1999-1-1) maßgebend ist, ist deren Einfluss zu berücksichtigen.

(5) Das zur Ermittlung der wirksamen Steganteile benötigte Spannungsverhältnis $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ darf mit der wirksamen Fläche des druckbeanspruchten Gurtes und der Gesamtfläche des Steges ermittelt werden, siehe Bild 6.3.

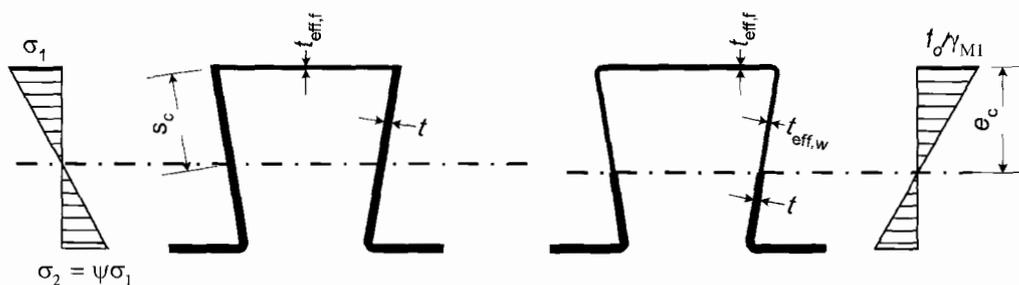


Bild 6.3 — Wirksamer Querschnitt bezüglich Biegebeanspruchung

(6) Wird die Streckgrenze zuerst im druckbeanspruchten Bereich Teil des Querschnittes erreicht, ist das Widerstandsmoment W_{eff} — sofern nicht die in 6.1.4.2 aufgeführten Bedingungen zutreffen — mit einer über die Querschnittshöhe linearen Spannungsverteilung zu ermitteln.

(7) Wird in der Tragwerksberechnung eine Momentenumlagerung in Ansatz gebracht, sollten die in 7.2 aufgeführten Bedingungen erfüllt sein. Wird das Reststützmoment am Zwischenaufleger nicht zu null gesetzt, so ist das aufnehmbare Reststützmoment durch Versuchsergebnisse zu ermitteln.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

6.1.4.2 Elastischer und plastischer Widerstand bei Erreichen der Dehngrenze ausschließlich im zugbeanspruchten Gurt

(1) Wenn die Streckgrenze zuerst im zugbeanspruchten Bereich des Querschnittes erreicht wird, können plastische Reserven im Zugbereich ohne Dehnungsbeschränkung ausgenutzt werden, bis die maximale Druckspannung $\sigma_{\text{com,Ed}}$ den Wert f_0 / γ_{M1} erreicht. In diesem Abschnitt wird nur die Biegebeanspruchung berücksichtigt. Bei zentrischem Druck mit Biegung ist in der Regel 6.1.8 oder 6.1.9 anzuwenden.

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

(3) Falls keine genauere Berechnung erfolgt, darf die wirksame Dicke t_{eff} von Stegen nach 5.5.2 mit $\psi = -1$ ermittelt werden. e_c ergibt sich hierin aus der abgeknickten Spannungsverteilung (siehe Bild 6.4).



Bild 6.4 — Maß e_c zur Ermittlung wirksamer Dicken

(4) Wird in der Tragwerksberechnung eine Momentenumlagerung in Ansatz gebracht, sollten die in 7.2 aufgeführten Bedingungen erfüllt sein. Wird das Reststützmoment am Zwischenaufleger nicht zu null gesetzt, so ist das aufnehmbare Reststützmoment durch Versuchsergebnisse zu ermitteln.

6.1.4.3 Mittragende Breiten infolge Schubverzerrungen

(1) Effekte von Schubverzerrungen auf die mittragende Breite sollten nach EN 1999-1-1 berücksichtigt werden.

(2) Effekte von Schubverzerrungen dürfen bei Gurten mit $b / t \leq 300$ vernachlässigt werden.

6.1.5 Querkraft

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Querkraft $V_{b,Rd}$ sollte ermittelt werden aus:

$$V_{b,Rd} = (h_w / \sin \phi) t f_{bv} / \gamma_{M1} \quad (6.7)$$

Dabei ist

f_{bv} die Schubbeulspannung nach Tabelle 6.1;

h_w die Steghöhe, gemessen zwischen den Mittellinien der Gurte, siehe Bild 6.5;

ϕ die auf die Gurte bezogene Stegneigung.

Tabelle 6.1 — Schubbeulfestigkeit f_{bv} in Abhängigkeit der Steg­schlankheit $\bar{\lambda}_w$

Bezogene Schlankheit des Steges	Stege ohne Aussteifung am Auflager	Stege mit Aussteifung am Auflager ¹⁾
$\bar{\lambda}_w \geq 0,83$	$0,58 f_o$	$0,58 f_o$
$0,83 < \bar{\lambda}_w \leq 1,40$	$0,48 f_o / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_o / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_o / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_o / \bar{\lambda}_w$

¹⁾ Aussteifung am Auflager, wie zum Beispiel Profillücker, die geeignet sind Stegverdrrehungen zu verhindern und die Auflagerkräfte zu übertragen.

(2) Die Bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_w$ des Steges sollte ermittelt werden aus:

— bei Stegen ohne Längsaussteifungen:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (6.8a)$$

— bei Stegen mit Längsaussteifungen, siehe Bild 6.5:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_o}{k_\tau E}} \text{ jedoch } \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (6.8b)$$

mit

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \sqrt[3]{\frac{\sum I_s}{s_d}} \quad (6.9)$$

Dabei ist

I_s das Flächenmoment 2. Ordnung der Längssteife bezüglich der Achse a – a, wie in Bild 6.5 dargestellt;

s_d die Abwicklung der Steglänge, wie in Bild 6.5 dargestellt;

s_p die größte schräge Länge einer ebenen Teilfläche im Steg, siehe Bild 6.5;

s_w die schräge Länge der zwischen den Eckpunkten gemessenen Steghöhe, siehe Bild 6.5.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

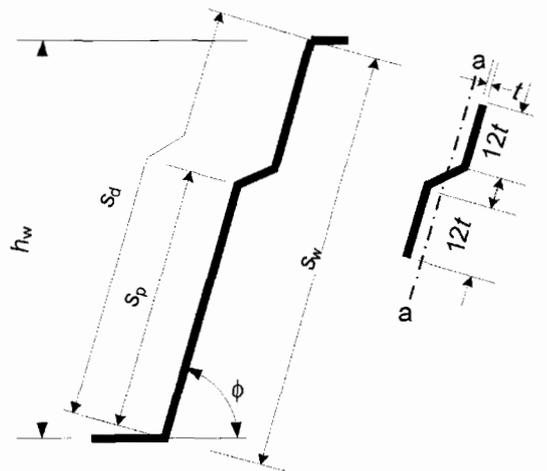


Bild 6.5 — Geometrie eines längsausgesteiften Steges und wirksamer Querschnitt einer Aussteifung

6.1.6 Torsion

(1) Torsionssteifigkeiten und -beanspruchbarkeiten sind bei profilierten Blechen zu vernachlässigen.

6.1.7 Örtliche Lasteinleitung

6.1.7.1 Allgemeines

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

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \quad (6.10)$$

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

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

- a) bei unausgesteiften Stegen: nach 6.1.7.2;
- b) bei ausgesteiften Stegen: nach 6.1.7.3.

(3) Die örtliche Beanspruchbarkeit des Steges braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn die Auflagerkräfte oder die örtlichen Lasten beispielsweise über Profillfüller eingeleitet werden, die geeignet sind Stegverformungen zu verhindern und die Auflagerkräfte zu übertragen.

6.1.7.2 Querschnitte mit unausgesteiften Stegen

(1) Die Beanspruchbarkeit eines unausgesteiften Steges unter örtlich begrenzter Lasteinleitung, siehe Bild 6.6, ist in der Regel nach (2) zu ermitteln, vorausgesetzt, dass alle nachfolgend aufgeführten Bedingungen eingehalten sind:

- der Abstand c von der Wirkungslinie der Auflagerkraft oder der örtlich eingeleiteten Last zum freien Trägerende beträgt mindestens 40 mm, siehe Bild 6.7;

— der Querschnitt genügt folgenden Bedingungen:

$$r/t \leq 10 \quad (6.11a)$$

$$h_w/t \leq 200 \sin \phi \quad (6.11b)$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \quad (6.11c)$$

Dabei ist

h_w die zwischen den Mittellinien der Gurte gemessene Steghöhe;

r der innere Biegeradius der Ecken;

ϕ der Stegneigungswinkel [Grad].

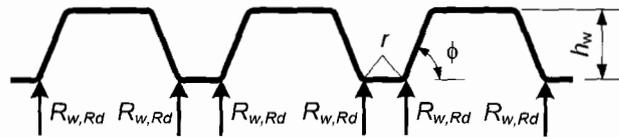


Bild 6.6 — Beispiel eines Querschnittes mit zwei oder mehr Stegen

(2) Sind beide in (1) genannten Bedingungen erfüllt, ergibt sich die Beanspruchbarkeit bei örtlicher Lasteinleitung $R_{w,Rd}$ je Steg eines profilierten Bleches zu:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_o E} (1 - 0,1\sqrt{r/t}) (0,5 + \sqrt{0,02 l_a/t}) (2,4 + (\phi/90)^2) / \gamma_{MI} \quad (6.12)$$

Dabei ist

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

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

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

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

(3) Werte für den Beiwert α sind in Bild 6.7 aufgeführt.

(4) Die Werte für l_a sind in der Regel nach (5) zu ermitteln. Der größtmögliche für l_a ansetzbare Wert ist 200 mm. Ist das Auflager ein kaltgeformtes Profil mit nur einem Steg oder ein Rundrohr, ist in der Regel für s_s der Wert 10 mm einzusetzen. Die maßgebende Lagerungskategorie (1 oder 2) ergibt sich aus dem Abstand e von der örtlichen Lasteinleitung bis zum nächstgelegenen Auflager oder dem Abstand c vom Ende des Auflagers oder der örtlichen Lasteinleitung zum freien Trägerende, siehe Bild 6.7.

(5) Der Wert für die wirksame Auflagerbreite l_a profilierter Bleche ist in der Regel folgt zu ermitteln:

a) für Kategorie 1:

$$l_a = s_s, \text{ jedoch } l_a \leq 40 \text{ mm} \quad (6.13a)$$

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

b) für Kategorie 2:

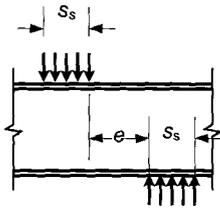
$$\text{wenn } \beta_v \leq 0,2: \quad l_a = s_s \quad (6.13b)$$

$$\text{wenn } \beta_v \geq 0,3: \quad l_a = 10 \text{ mm} \quad (6.13c)$$

wenn $0,2 < \beta_v < 0,3$: lineare Interpolation zwischen den Werten l_a für 0,2 und 0,3 mit:

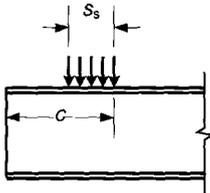
$$\beta_v = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|} \quad (6.14)$$

worin $|V_{Ed,1}|$ und $|V_{Ed,2}|$ die Beträge der transversalen Kräfte auf jeder Seite der örtlichen Lasteinleitung oder der Auflagerreaktionen sind, wobei $|V_{Ed,1}| \geq |V_{Ed,2}|$ und s_s die tatsächliche Auflager- oder Lasteinleitungsbreite ist.



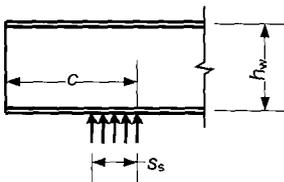
Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$

- örtliche Lasteinleitung mit Abstand $e \leq 1,5 h_w / t$ vom nächstgelegenen Auflager;



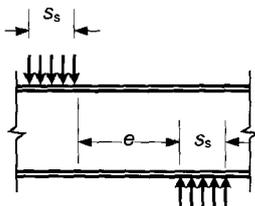
Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$

- örtliche Lasteinleitung mit Abstand $c \leq 1,5 h_w / t$ vom freien Trägerende;



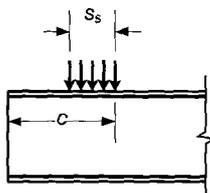
Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$

- Endauflagerreaktion mit Abstand $c \leq 1,5 h_w / t$ vom freien Trägerende;



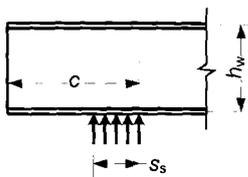
Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$

- örtliche Lasteinleitung mit Abstand $e > 1,5 h_w / t$ vom nächstgelegenen Auflager;



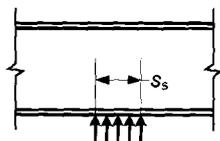
Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$

- örtliche Lasteinleitung mit Abstand $c > 1,5 h_w / t$ vom freien Trägerende;



Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$

- Endauflagerreaktion mit Abstand $c > 1,5 h_w / t$ vom freien Trägerende;



Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$

- Zwischenauflegerreaktion.

Bild 6.7 — Örtliche Lasteinleitungen und Lagerungskategorien für Querschnitte mit zwei oder mehr Stegen

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

6.1.7.3 Querschnitte mit ausgesteiften Stegen

(1) Die örtliche Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Steges kann bei Querschnitten mit Stegaussteifungen nach (2) ermittelt werden, wenn die Aussteifungen derart ausgebildet sind, dass die beiden Abkantungen der Aussteifungen jeweils auf der gegenüberliegenden Seite einer zwischen den Schnittpunkten der Mittellinien von Gurten und der Stegen gedachten Verbindungslinie liegen, siehe Bild 6.8, und folgende Bedingung erfüllt ist:

$$2 < e_{\max} / t < 12 \quad (6.15)$$

Dabei ist

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

(2) Für Querschnitte mit ausgesteiften Stegen, welche die in (1) genannten Bedingungen erfüllen, ergibt sich die transversale Beanspruchbarkeit eines ausgesteiften Steges durch Multiplikation des entsprechenden Wertes von 6.1.7.2 für einen vergleichbaren unausgesteiften Steg mit dem Faktor $\kappa_{a,s}$:

$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{\max} / t, \text{ jedoch } \kappa_{a,s} \leq 0,95 + 35\,000 t^2 e_{\min} / (b_d^2 s_p) \quad (6.16)$$

Dabei ist

b_d die abgewinkelte Länge des belasteten Gurtes, siehe Bild 6.8;

e_{\min} die kleinere Exzentrizität zwischen den Abkantungen und der Verbindungslinie, siehe Bild 6.8;

s_p die schräge Länge des am belasteten Gurt anliegenden ebenen Steganteiles, siehe Bild 6.8.

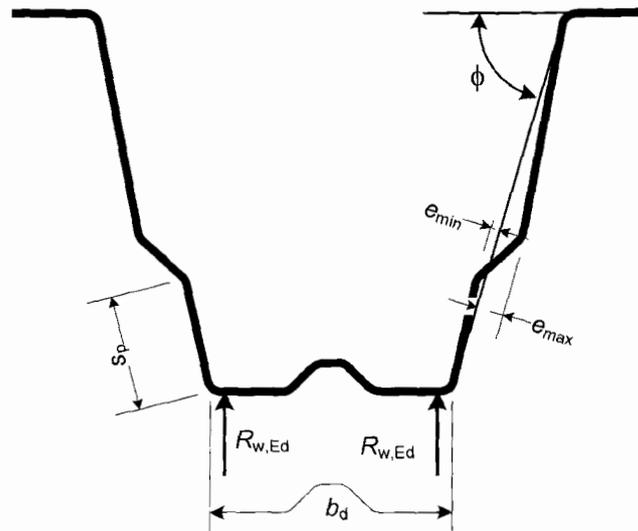


Bild 6.8 — Auflagerkräfte und Geometrie ausgesteifter Stege

6.1.8 Zugkraft und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Beanspruchung durch zentrische Zugkraft N_{Ed} und Biegemoment $M_{y,Ed}$ ist in der Regel nachzuweisen, dass:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} \leq 1 \quad (6.17a)$$

Dabei ist

$N_{t,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich zentrischer Zugbeanspruchung ist (6.1.2);

$M_{cy,Rd,ten}$ der Bemessungswert des Querschnittes für die maximale Zugbeanspruchbarkeit bezüglich Biegung um die Achse $y - y$ (6.1.4).

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

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (6.17b)$$

6.1.9 Druckkraft und Biegung

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Beanspruchung durch zentrische Druckkraft N_{Ed} und Biegemoment $M_{y,Ed}$ ist in der Regel nachzuweisen, dass:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} \leq 1 \quad (6.18a)$$

worin $N_{c,Rd}$ nach 6.1.3 und $M_{cy,Rd,com}$ nach 6.1.8 definiert sind.

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

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_N \quad (6.18b)$$

worin e_N die Verschiebung der $y - y$ \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} infolge axialer Kräfte ist, siehe 6.1.3 (3).

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

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (6.19)$$

worin $M_{cy,Rd,ten}$ nach 6.1.8 definiert ist.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

6.1.10 Querkraft, zentrische Kraft und Biegung

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Biegung und Normalkraft muss nicht zur Berücksichtigung der Querkraft reduziert werden, wenn das Verhältnis $V_{Ed} / V_{w,Rd}$ weniger als 0,5 beträgt. Beträgt das Verhältnis $V_{Ed} / V_{w,Rd}$ mehr als 0,5, so ist für die kombinierte Beanspruchung aus zentrischer Normalkraft N_{Ed} , Biegemoment $M_{y,Ed}$ und Querkraft V_{Ed} in der Regel nachzuweisen, dass:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1 \quad (6.20)$$

Dabei ist

- N_{Rd} der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich zentrischer Zug- oder Druckbeanspruchung nach 6.1.2 oder 6.1.3;
- $M_{y,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich Biegung nach 6.1.4;
- $V_{w,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich Querkraft nach 6.1.5. Bei Bauteilen mit mehr als einem Steg ist $V_{w,Rd}$ die Summe der Beanspruchbarkeiten aller Stege;
- $M_{f,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des aus den wirksamen Querschnitten in den Gurten bestehenden Querschnittes;
- $M_{pl,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit des unabhängig von der Querschnittsklasse aus den wirksamen Querschnitten in den Gurten und Nennquerschnitten der Stege bestehenden Querschnittes.

6.1.11 Biegemoment und örtliche Lasteinleitung oder Auflagerkraft

(1) Bei Querschnitten unter gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegemoment M_{Ed} und transversal eingeleiteter Kraft F_{Ed} infolge örtlicher Lasteinleitung oder Auflagerreaktion ist in der Regel nachzuweisen, dass:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad (6.21a)$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad (6.21b)$$

$$0,94 \cdot \left[\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}}\right]^2 \leq 1 \quad (6.22)$$

Dabei ist

- $M_{c,Rd}$ der Bemessungswert des Querschnittes bezüglich Biegung nach 6.1.4.1;
- $R_{w,Rd}$ die Summe der entsprechenden Werte der einzelnen Stege nach 6.1.7.

(2) Im Ausdruck (6.22) darf das Biegemoment M_{Ed} vom Auflagerrand eingesetzt werden.

6.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken

6.2.1 Allgemeines

(1) Die Effekte aus örtlichem Beulen und Gesamtfeldbeulen sind in der Regel zu berücksichtigen. Hierfür können die in 5.5 angegebenen Verfahren verwendet werden.

(2) Die resultierende Normalkraft wirkt in der \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} des Gesamtquerschnittes.

(3) Die Beanspruchbarkeit von Profiltafeln wird auf die \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} des wirksamen Querschnittes bezogen. Fällt diese nicht mit der \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} des Gesamtquerschnittes zusammen, sollten die sich hieraus ergebenden Zusatzmomente (siehe Bild 6.9) nach dem in 6.2.3 angegebenen Verfahren berücksichtigt werden.

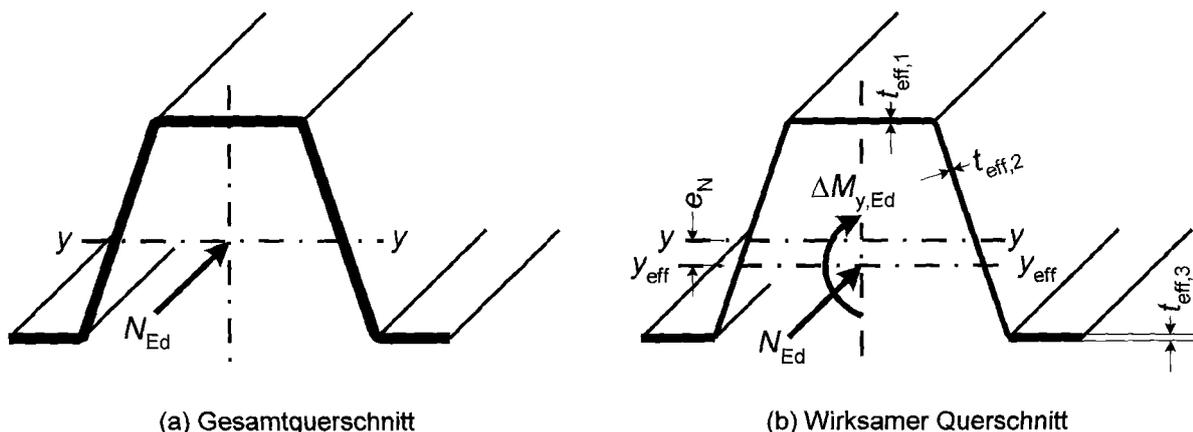


Bild 6.9 — Verschobene \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} im wirksamen Querschnitt

6.2.2 Zentrischer Druck

6.2.2.1 Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bezüglich Knicken infolge einer zentrischen Druckkraft $N_{b,Rd}$ ergibt sich aus:

$$N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.23)$$

Dabei ist

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

χ der zugehörige Abminderungsfaktor bezüglich Knicken.

(2) Der Abminderungsfaktor χ bezüglich Knicken ergibt sich aus:

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \lambda^2)^{0,5}}, \quad \text{jedoch } \chi \leq 1,0 \quad (6.24a)$$

mit:

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

$$\phi = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2 \right) \quad (6.24b)$$

Dabei ist

- α der die Imperfektionen berücksichtigender Faktor;
- $\bar{\lambda}_0$ die Grenze des horizontalen Bereichs der bezogenen Schlankheit;
- $\bar{\lambda}$ die bezogene Schlankheit des zugehörigen Knickfalles.

(3) Der Imperfektionsfaktor für Profiltafeln ist $\alpha = 0,13$ und $\bar{\lambda}_0 = 0,2$.

(4) Die bezogene Schlankheit bezüglich Knicken ergibt sich aus:

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{i\pi} \sqrt{\frac{f_0}{E}} \quad (6.25)$$

Dabei ist

- l die Knicklänge bezüglich Knicken um die $y - y$ -Achse (l_y);
- i der mit den Abmessungen des Gesamtquerschnittes ermittelte Trägheitsradius bezüglich der zugehörigen Achse (i_y).

6.2.3 Biegung und zentrischer Druck

(1) Alle einer kombinierten Beanspruchung aus Biegung und zentrischem Druck unterworfenen Bauteile sollten der folgenden Bedingung genügen:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y f_0 \omega_x A_{eff} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{f_0 W_{eff,y,com} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.26)$$

Dabei ist

- A_{eff} die wirksame Fläche eines ausschließlich durch zentrischen Druck beanspruchten Querschnittes; siehe Bild 6.10(a);
- $W_{eff,y,com}$ das wirksame Widerstandsmoment für die maximale Druckbeanspruchbarkeit bezüglich Biegung um die Achse $y - y$, siehe Bild 6.10(b);
- $\Delta M_{y,Ed}$ das sich aus Verschiebung der \overline{AC} Schwerachsen \overline{AC} in y -Richtung ergebende Zusatzmoment $\Delta M_{y,Ed}$, siehe 6.1.9(2);
- χ_y der Reduktionsfaktor nach 6.2.2 bezüglich Knicken um die $y - y$ -Achse;
- ω_x ein die Interaktion berücksichtigender Ausdruck, siehe (2).

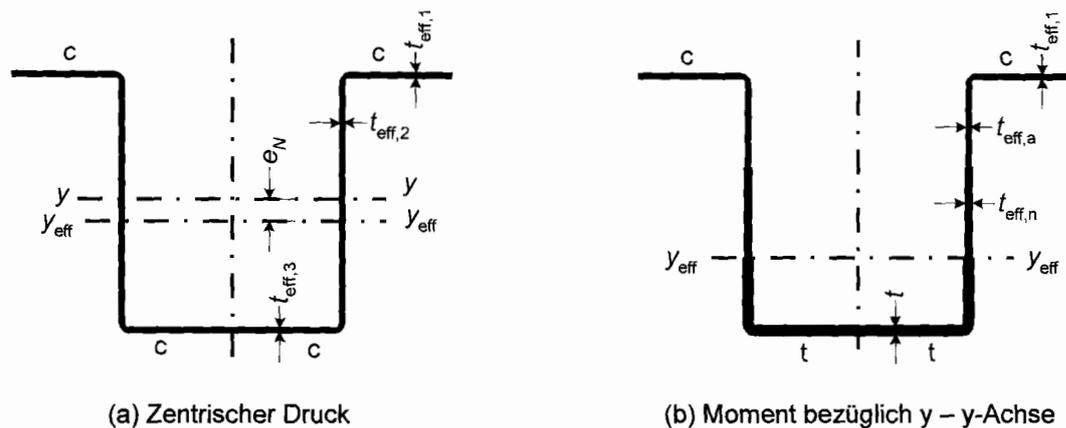


Bild 6.10 — Modell zur Ermittlung wirksamer Querschnittswerte

(2) Profiltafeln, die einer kombinierten Beanspruchung aus zentrischen Normalkräften und ungleichen Randmomenten und/oder Transversalkräften unterworfen sind, sind in der Regel entlang ihrer Stützweite abschnittsweise zu untersuchen. Das im untersuchten Abschnitt vorhandene Moment ist in der Regel in der Interaktionsgleichung zu verwenden und

$$\omega_x = \frac{1}{\chi_y + (1 - \chi_y) \sin(\pi x_s / l_c)} \quad (6.27)$$

Dabei ist

x_s der Abstand des untersuchten Abschnittes zu einem gelenkigen Lager oder zu einem Wendepunkt der Knicklinie infolge zentrischen Drucks, siehe Bild 5.9 in EN1999-1-1;

$l_c = KL$ die Knicklänge, siehe Tabelle 5.7 in EN 1999-1-1.

ANMERKUNG Zur Vereinfachung darf $\omega_x = 1$ gesetzt werden.

6.3 Schubfelder

6.3.1 Allgemeines

(1) Das planmäßige Zusammenwirken von Tragwerksteilen und Profiltafeln als kombinierte Tragstruktur kann, wie in diesem Abschnitt beschrieben, berücksichtigt werden.

(2) Aluminium-Profiltafeln können in der Anwendung als Dach- oder Wandelemente als Schubfelder wirken.

ANMERKUNG Weitere Informationen über Schubfelder sind enthalten in:

ECCS Publication No. 88 (1995): *European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm.*

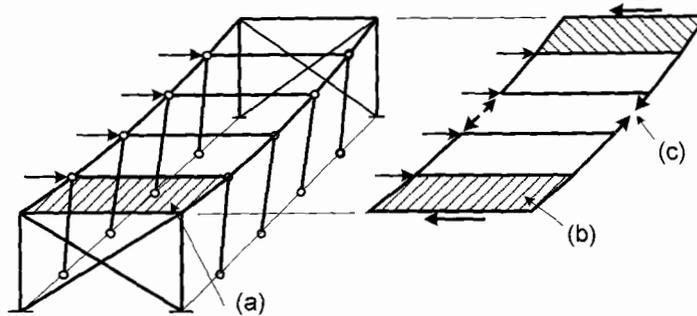
6.3.2 Scheibenwirkung

(1) Mit der Schubfeldbemessung kann das Beitragen der Scheibenwirkung von Dach-, Wand- und Deckenkonstruktionen aus profilierten Blechen zur Steifigkeit und Tragfähigkeit der Tragstruktur ausgenutzt werden.

(2) Dächer und Decken dürfen als Scheiben betrachtet werden, die in ihrer Ebene angreifende Kräfte zu lastabtragenden vertikalen Tragwerken wie Giebelkonstruktionen oder Rahmen überführen können. Die Profiltafeln können dabei als schubbeanspruchte Stege mit Randgliedern als Gurte zur Aufnahme der Druck- und Zugkräfte betrachtet werden, siehe Bilder 6.11 und 6.12.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

(3) In ähnlicher Weise können Wände als Schubfelder zur Gebäudestabilisierung herangezogen werden.



Legende

- (a) Profiltafel
- (b) Profiltafel als Schubfeld
- (c) Gurtkräfte in Randgliedern

Bild 6.11 — Scheibenwirkung bei einem ebenen Dach

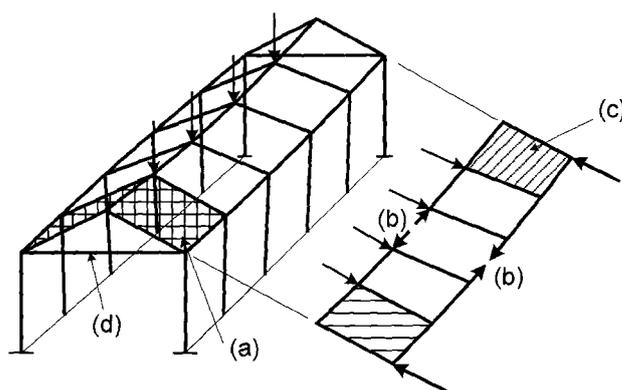
6.3.3 Voraussetzungen

(1) Die Ausnutzung der Scheibenwirkung als integrierender Teil des Tragwerkes ist an folgende Voraussetzungen gebunden:

- die über die primäre Aufgabe der Lastabtragung rechtwinklig zur Profilierung hinausgehende Anwendung ist auf die Ausbildung von Schubfeldern mit Lastabtragung in Scheibenebene beschränkt;
- die Schubfelder haben Randglieder zur Aufnahme der Gurtkräfte aus der Schubfeldwirkung;
- die Scheibenkräfte in Dächern oder Decken werden über Rahmen oder vertikale Schubfelder in die Fundamente weitergeleitet;
- es werden zur Lastüberleitung vom Schubfeld zu den als Gurten wirkenden Randgliedern und zum Tragwerk geeignete Verbindungsmittel angeordnet;
- die Profiltafeln bilden Tragwerkskomponenten und dürfen nicht ohne Genehmigung entfernt werden;
- sowohl die Ausführungsunterlagen als auch die Berechnungen und die Zeichnungen müssen Warnvermerke enthalten, die auf die planmäßige Scheibenwirkung der Profiltafeln hinweisen;
- es wird empfohlen, Warnschilder anzubringen, die darauf hinweisen, dass die Wände als Schubfelder dienen und dass bei Demontage Sicherungsmaßnahmen zum Erhalt der Stabilität erforderlich sind.

(2) Die Scheibenwirkung sollte vorzugsweise in Gebäuden mit wenig Geschossen, in Decken und in Außenwänden von mehrgeschossigen Gebäuden ausgenutzt werden.

(3) Die Scheibenwirkung sollte vorzugsweise zur Abtragung von Wind- und Schneelasten sowie anderen Lasten, die über die Profiltafeln eingetragen werden, ausgenutzt werden. Die Scheibenwirkung darf auch bei der Abtragung geringer Brems- oder Stoßkräfte ausgenutzt werden, die von leichten Hebezeugen oder Laufkranen erzeugt werden. Sie darf dagegen nicht zur Aufnahme permanenter Lasten aus dem Betrieb des Gebäudes herangezogen werden.



Legende

- (a) Profiltafel
 (b) Gurtkräfte in Randgliedern
 (c) Profiltafel als Schubfeld
 (d) Giebelkonstruktion zur Abtragung der aus der Schubfeldwirkung resultierenden Kräfte

Bild 6.12 — Scheibenwirkung bei einem Satteldach

6.3.4 Schubfelder aus Aluminium-Profiltafeln

(1) Bei einem Schubfeld aus Aluminium-Profiltafeln, siehe Bild 6.13, werden beide Enden der Profiltafeln auf der Unterkonstruktion mit gewindeformenden Schrauben, Schweißnähten, Schrauben mit Muttern oder anderen Verbindungsmitteln befestigt. Die Verbindungselemente sollten sich im Gebrauch nicht lockern, nicht herausgezogen werden können oder durch Abscheren versagen, bevor nicht das Blech reißt. Die Befestigung der Profiltafeln auf der Unterkonstruktion erfolgt direkt durch die Untergurte, sofern nicht durch besondere Maßnahmen die anzusetzenden Kräfte einwandfrei in die Unterkonstruktion geleitet werden.

(2) Die Längsstöße der Profiltafeln werden mit Hilfe von Nieten, Bohrschrauben, Schweißnähten oder anderen Verbindungselementen verbunden. Die Verbindungselemente sollten sich im Gebrauch nicht lockern, nicht herausgezogen werden können oder durch Abscheren versagen, bevor nicht das Blech reißt. Der Abstand der Verbindungselemente sollte 500 mm nicht überschreiten.

(3) Die Rand- und Endabstände der Verbindungselemente sollten so gewählt werden, dass kein vorzeitiges Versagen in Blech eintritt.

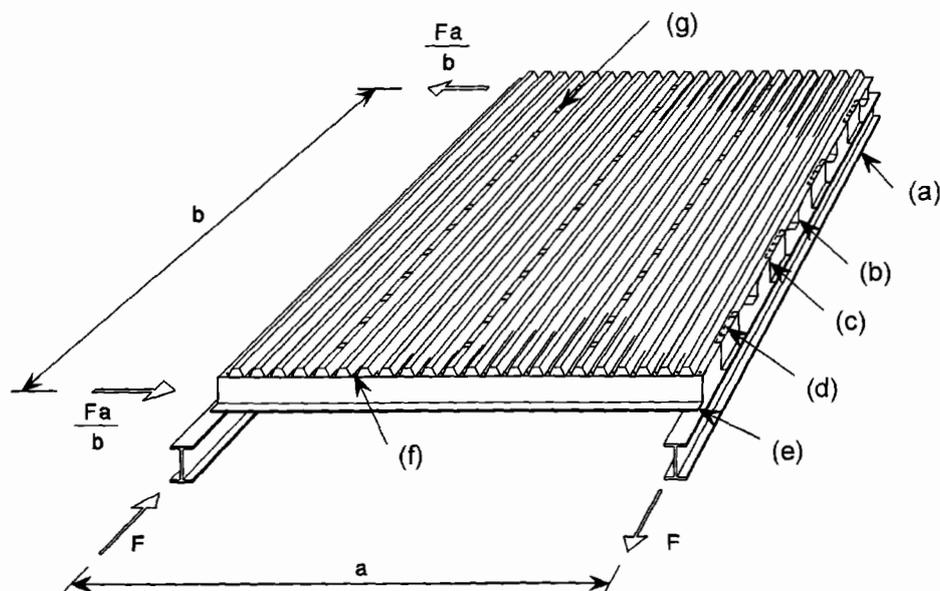
(4) Kleine, nicht systematisch verteilte Öffnungen bis zu etwa 3 % der Gesamtfläche dürfen ohne besonderen Nachweis angeordnet werden, vorausgesetzt, dass die Gesamtanzahl der Verbindungselemente nicht reduziert wird. Öffnungen bis zu 15 % der zugehörigen Fläche sind zugelassen, wenn eine entsprechende Berechnung durchgeführt wird. Flächen, die größere Öffnungen haben, sind in der Regel in kleinere Flächen für die Schubfelder aufzuteilen.

(5) Alle Profiltafeln, die Teil eines Schubfeldes sind, sind in der Regel zunächst für ihren primären Zweck der Biegebeanspruchung zu bemessen. Um sicherzustellen, dass unter Biegebeanspruchung die Beanspruchbarkeit bezüglich Scheibenwirkung nicht vermindert ist, ist in der Regel nachzuweisen, dass die Schubbeanspruchungen aus der Scheibenwirkung nicht größer sind als $0,25 f_o / \gamma_{M1}$.

(6) Die Beanspruchbarkeit des Schubfeldes entspricht entweder der Grenzlochleibungskraft der Verbindungen der Längsstöße der Profiltafeln oder — bei Schubfeldern, die nur an den Längsrändern befestigt sind — der Beanspruchbarkeit der Längsrandbefestigungen. Die Beanspruchbarkeit der Verbindungselemente bei anderen Versagenstypen sollte größer sein als die Grenzlochleibungskraft; und zwar:

- bei Profiltafel-Pfettenbefestigung unter Beanspruchungen durch Scherkräfte und Windsog mindestens 40 %;
- bei jedem anderen Versagenzustand mindestens 25 %.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)



Legende

- | | |
|--|-------------------------------------|
| (a) Binder | (e) Träger |
| (b) Träger | (f) Verbindung Profiltafel – Träger |
| (c) Schublech | (g) Verbindungen im Längsstoß |
| (d) Verbindung Profiltafel – Schublech | |

Bild 6.13 — Aufbau eines einzelnen Schubfeldes

6.4 Gelochte Profiltafeln mit Lochanordnung in Form gleichseitiger Dreiecke

(1) Gelochte Profiltafeln mit Lochanordnung in Form gleichseitiger Dreiecke können durch Modifizierung der Bemessungsregeln für nicht gelochte Profiltafeln durch Einführen der nachfolgend aufgeführten wirksamen Dicke bemessen werden.

ANMERKUNG Diese Berechnungsregeln ergeben auf der sicheren Seite liegende Werte. Wirtschaftlichere Lösungen werden durch eine versuchsgestützte Bemessung erzielt.

(2) Für den Fall, dass $0,2 \leq d/a \leq 0,9$ ist, dürfen die Kennwerte des Gesamtquerschnittes nach 6.1.2 bis 6.1.5 berechnet werden, wobei t durch $t_{a,eff}$ zu ersetzen ist, mit:

$$t_{a,eff} = 1,18 t(1 - d/(0,9 a)) \quad (6.28)$$

Dabei ist

d der Durchmesser der Perforierung;

a der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Perforierung.

(3) Für den Fall, dass $0,2 \leq d/a \leq 0,9$ ist, dürfen die Kennwerte des Gesamtquerschnittes nach 5.5 berechnet werden, wobei t durch $t_{b,eff}$ zu ersetzen ist, mit:

$$t_{b,eff} = t \sqrt[3]{1,18(1 - d/a)} \quad (6.29)$$

(4) Für den Fall, dass $0,2 \leq d/a \leq 0,8$ ist, kann die Beanspruchbarkeit eines einzelnen unausgesteiften Steges durch örtliche Lasteinleitung nach 6.1.7 ermittelt werden, wobei t durch $t_{c,eff}$ zu ersetzen ist, mit:

$$t_{c,eff} = t \left[1 - (d/a)^2 s_{per} / s_w \right]^{3/2} \quad (6.30)$$

Dabei ist

- s_{per} die schräge Länge der Perforation im Steg zentrisch in Steghöhe;
 s_w die schräge Gesamtlänge des Steges.

7 Gebrauchstauglichkeit

7.1 Allgemeines

(1) Die Grundsätze für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nach EN 1999-1-1 gelten auch für kaltgeformte Profiltafeln.

(2) Die sich aus (3) ergebenden Kennwerte für den wirksamen Querschnitt sind in der Regel in allen Berechnungen bezüglich der Gebrauchstauglichkeit von Profiltafeln zu verwenden.

(3) Das Flächenträgheitsmoment darf durch Interpolation zwischen dem Gesamtquerschnitt und dem wirksamen Querschnitt mit Hilfe der nachfolgend aufgeführten Gleichung ermittelt werden:

$$I_{eff,ser} = I_{gr} - \sigma_{gr} (I_{gr} - I_{eff}) / f_0 \quad (7.1)$$

Dabei ist

- I_{gr} das Flächenträgheitsmoment des Gesamtquerschnittes;
 I_{eff} das Flächenmoment 2. Ordnung (Trägheitsmoment) des wirksamen Querschnittes für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, wobei örtliches Beulen zugelassen ist;
 σ_{gr} die maximale am Gesamtquerschnitt ermittelte Biegedruckspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Druck ist in der Formel positiv einzusetzen).

(4) Das Flächenträgheitsmoment $I_{eff,ser}$ darf entlang der Stützweite als veränderlich angenommen werden. Alternativ kann ein konstanter Wert angenommen werden, welcher sich aus dem maximalen Feldmoment unter Gebrauchslast ergibt.

7.2 Plastische Verformungen

(1) Für den Fall einer Traglastberechnung unter Ansatz von Fließgelenken, sollte die Kombination aus Stützmoment und Auflagerkraft am Zwischenaufleger den 0,9-fachen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bezüglich Interaktion unter Verwendung von $\gamma_{M,ser}$ und $I_{eff,ser}$ nach 7.1(3) nicht überschreiten.

(2) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bezüglich Interaktion kann nach Gleichung (6.22) in 6.1.11 ermittelt werden, wobei jedoch der wirksame Querschnitt für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und $\gamma_{M,ser}$ zu verwenden sind.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

7.3 Durchbiegungen

(1) Durchbiegungen dürfen unter der Annahme elastischen Verhaltens ermittelt werden.

(2) Der Einfluss von Schlupf an den Verbindungsstellen (zum Beispiel bei durch Überlappung hergestellten Profiltafelbahnen) ist in der Regel bei der Ermittlung von Verformungen, Kräften und Momenten zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Bei den gebräuchlichen Verbindungselementen nach 8.2 und 8.3 kann der Schlupf vernachlässigt werden.

(3) Mit Bezug auf EN 1990, Anhang A, A.1.4, sind in der Regel Durchbiegungsbeschränkungen in jedem Einzelfall mit dem Auftraggeber zu vereinbaren.

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang können hierzu Grenzwerte festgelegt werden.

8 Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen

8.1 Allgemeines

(1) Verbindungen mit mechanischen Verbindungselementen sollten kompakt gestaltet sein. Die Anordnung der Verbindungselemente ist in der Regel so festzulegen, dass ausreichend Platz für die Montage und die Wartung zur Verfügung steht.

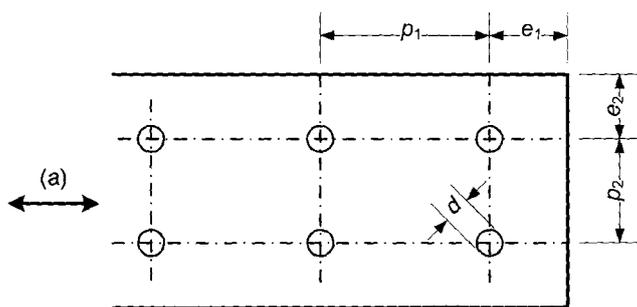
(2) Die durch die einzelnen Verbindungselemente zu übertragenden Scherkräfte dürfen als gleichmäßig verteilt angenommen werden, vorausgesetzt, dass:

- die einzelnen Stellen der Verbindung ausreichende Duktilität aufweisen;
- Abscheren des Verbindungselementes nicht die maßgebende Versagensform ist.

(3) Bei der Bemessung durch Berechnung sind in der Regel die Beanspruchbarkeiten der mechanischen Verbindungselemente infolge vorwiegend ruhender Beanspruchung für Blindniete nach 8.2 und für gewindeformende Schrauben nach 8.3 zu ermitteln.

(4) Die Bedeutung der Formelzeichen in den oben genannten Abschnitten ist in EN 1999-1-1 und ergänzend in EN 1999-1-4, 1.4, angegeben.

(5) Der Teilsicherheitsbeiwert zur Ermittlung der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit von mechanischen Verbindungselementen ist in der Regel γ_{M3} (siehe 2(3)).



(a) Krafrichtung

$$p_1 \geq \begin{matrix} 30 \text{ mm} \\ 4 d \end{matrix}$$

$$p_2 \geq \begin{matrix} 20 \text{ mm} \\ 2 d \end{matrix}$$

$$e_1 \geq \begin{matrix} 20 \text{ mm} \\ 2 d \end{matrix}$$

$$e_2 \geq \begin{matrix} 10 \text{ mm} \\ 1,5 d \end{matrix}$$

Bild 8.1 — Rand- und Lochabstände von Verbindungselementen

(6) Die in 8.2.3.1 für Blindniete bzw. in 8.3.3.1 für gewindefurchende Schrauben angegebenen Beanspruchbarkeiten bezüglich Durchknöpfen hängen von der Lage der Verbindungselemente ab. Die Beanspruchbarkeiten sind in der Regel abzumindern, wenn die Verbindungselemente nicht mittig in den Rippen der Profiltafeln angeordnet werden. Bei Befestigung im Viertelpunkt ist in der Regel der Bemessungswert des Verbindungselementes auf $0,9 F_{p,Rd}$ abzumindern. Bei Befestigung mit zwei Verbindungselementen in beiden Viertelpunkten ist in der Regel der Bemessungswert jedes Verbindungselementes auf $0,7 F_{p,Rd}$ abzumindern, siehe Tabelle 8.3.

(7) Bei gleichzeitiger Beanspruchung eines Verbindungselementes durch Quer- und Zugkraft ist in der Regel die Beanspruchbarkeit des Verbindungselementes durch folgende Interaktionsbedingung nachzuweisen, vorausgesetzt, die Beanspruchbarkeiten $F_{p,Rd}$, $F_{o,Rd}$, $F_{b,Rd}$ und $F_{n,Rd}$ wurden für Blindniete nach 8.2 bzw. für gewindefurchende Schrauben nach 8.3 ermittelt:

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1 \quad (8.1)$$

(8) Die Verformung des Gesamtquerschnittes kann vernachlässigt werden, wenn die Bemessungswerte nach 8.2.3 und 8.3.3 ermittelt werden, vorausgesetzt, die Befestigung erfolgt durch einen Gurt, der nicht breiter als 150 mm ist.

(9) Der Bohrlochdurchmesser bei gewindeformenden Schrauben sollte nach den Angaben des Schraubenerstellers ausgeführt werden. Diesen Angaben sollten folgenden Kriterien zugrunde liegen:

- das Anziehdrehmoment ist geringfügig größer als das Eindrehmoment;
- das Anziehdrehmoment ist geringer als das Überdrehmoment;
- das Anziehdrehmoment ist geringer als 2/3 des Bruchdrehmomentes.

(10) Die Bemessungsregeln für Blindniete gelten nur, wenn der Bohrlochdurchmesser nicht größer als 0,1 mm als der Durchmesser der Nethülse ist.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

8.2 Blindniete

8.2.1 Allgemeines

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer schubbeanspruchten Blindnietverbindung ist der kleinste Wert aus den Beanspruchbarkeiten bezüglich Lochleibung $F_{b,Rd}$, bezüglich Versagen des Nettoquerschnittes $F_{net,Rd}$ des Bauteiles und bezüglich Abscheren des Verbindungselementes $F_{v,Rd}$.

(2) Die Niethülse sollte aus EN AW- 5019 bestehen.

(3) Es sind in der Regel Blindniete nach EN ISO 15973, EN ISO 15974, EN ISO 15977, EN ISO 15978, EN ISO 15981 oder EN ISO 15982 zu verwenden.

8.2.2 Bemessungswerte für scherbeanspruchte Nietverbindungen

8.2.2.1 Beanspruchbarkeit bezüglich Lochleibung

$$F_{b,Rd} = 2,5 f_{u,min} \sqrt{t^3 d} / \gamma_{M3} \quad \text{für } t_{sup} / t = 1,0, \text{ jedoch } F_{b,Rd} \leq 1,5 f_{u,min} t d / \gamma_{M3} \quad (8.2a)$$

$$F_{b,Rd} = 1,5 f_{u,min} t d / \gamma_{M3} \quad \text{für } t_{sup} / t \geq 2,5 \quad (8.2b)$$

8.2.2.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Versagen des Nettoquerschnittes

$$F_{net,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M3} \quad (8.3)$$

8.2.2.3 Beanspruchbarkeit bezüglich Abscheren des Verbindungselementes

$$F_{v,Rd} = 38 d^2 / \gamma_{M3} \text{ [N] mit } d \text{ in mm} \quad (8.4)$$

Bedingungen bezüglich Lochleibung und Abscheren:

- Werte von $f_{u,min} > 260 \text{ N/mm}^2$ sollten nicht angesetzt werden;
- $2,6 \text{ mm} \leq d \leq 6,4 \text{ mm}$.

8.2.3 Bemessungswerte für zugbeanspruchte Nietverbindungen

8.2.3.1 Beanspruchbarkeit bezüglich Durchknöpfen

$$F_{p,Rd} = 2,35 \alpha_E t f_o / \gamma_{M3} \text{ [N] mit } t \text{ in mm und } f_o \text{ in N/mm}^2; \alpha_E \text{ nach Tabelle 8.3} \quad (8.5)$$

Bedingungen:

- $t \leq 1,5 \text{ mm}; d_w \geq 9,5 \text{ mm};$
- Werte von $f_o > 220 \text{ N/mm}^2$ sollten nicht angesetzt werden.

8.2.3.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Ausreißen

— bei Unterkonstruktion aus Stahl: $F_{o,Rd} = 0,47 t_{sup} d f_y / \gamma_{M3}$ (8.6)

— bei Unterkonstruktion aus Aluminium: $F_{o,Rd} = 0,20 t_{sup} d f_o / \gamma_{M3}$ (8.7)

Bedingungen:

— $t_{sup} > 6$ mm, $f_y > 350$ N/mm² und Werte von $f_o > 220$ N/mm² sollten nicht angesetzt werden (jeweils zu erfüllen);

— Ausführung der Bohrlöcher nach den Angaben des Nietherstellers.

8.2.3.3 Beanspruchbarkeit bezüglich Zugbruch

$$F_{t,Rd} = 47 d^2 / \gamma_{M3} \text{ [N]}, \text{ worin } d \text{ in mm einzusetzen ist.} \quad (8.8)$$

8.3 Gewindeformende Schrauben / Bohrschrauben**8.3.1 Allgemeines**

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit schubbeanspruchter Schraubenverbindungen ist der kleinste Wert aus den Beanspruchbarkeiten bezüglich Lochleibung $F_{b,Rd}$, bezüglich Versagen des Nettoquerschnittes $F_{net,Rd}$ des Bauteils und bezüglich Abscheren des Verbindungselementes $F_{v,Rd}$.

(2) Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Anwendungsgrenzen bezüglich der Schraubendurchmesser sind in der Regel einzuhalten, es sei denn, andere Grenzen werden durch entsprechende Versuche bestätigt.

(3) Die Anwendungsgrenzen bezüglich der Festigkeitswerte der Unterkonstruktion sind in der Regel einzuhalten, es sei denn, andere Anwendungsgrenzen werden durch entsprechende Versuche bestätigt.

(4) Es sind in der Regel gewindeformende Schrauben nach EN ISO 1479, EN ISO 1481 oder ISO 7049 zu verwenden.

(5) Es sind in der Regel Bohrschrauben nach EN ISO 15480 oder EN ISO 15481 zu verwenden.

8.3.2 Bemessungswerte für scherbbeanspruchte Schraubverbindungen**8.3.2.1 Beanspruchbarkeit bezüglich Lochleibung**

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Lochleibung ergibt sich für Unterkonstruktionen aus Stahl oder Aluminium zu:

$$F_{b,Rd} = 2,5 f_{u,min} \sqrt{t^3 d} / \gamma_{M3} \quad \text{für } t_{sup} / t = 1,0, \text{ jedoch } F_{b,Rd} \leq 1,5 f_{u,min} t d / \gamma_{M3} \quad (8.9a)$$

$$F_{b,Rd} = 1,5 f_{u,min} t d / \gamma_{M3} \quad \text{für } t_{sup} / t \geq 2,5 \quad (8.9b)$$

Für Blechdicken $1,0 < t_{sup} / t < 2,5$ kann die Beanspruchbarkeit bezüglich Lochleibung $F_{b,Rd}$ durch lineare Interpolation ermittelt werden.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Unter den Bedingungen:

- Gewindeformende Schrauben oder Bohrschrauben aus Stahl oder nichtrostendem Stahl mit Durchmessern $d \geq 5,5$ mm;
- Werte von $f_{u,min} > 260$ N/mm² sollten nicht angesetzt werden;
- bei $t > t_{sup}$ ist $t = t_{sup}$ zu setzen;
- die Bohrlöcher sind nach den Angaben des Schraubenherstellers auszuführen.

(2) Bei Unterkonstruktionen aus Holz ergibt sich die Beanspruchbarkeit von Aluminium-Profiltafeln bezüglich Lochleibung:

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 t d f_{u,min} / \gamma_{M3} \quad [N] \quad (8.10)$$

(3) Bezüglich der Beanspruchbarkeit der Unterkonstruktion aus Holz hinsichtlich Lochleibung siehe EN 1995-1-1, Abschnitt 8, Stahl-Holz-Verbindung.

Bedingungen:

- Gewindeformende Schrauben oder Bohrschrauben aus Stahl oder nichtrostendem Stahl mit Durchmessern $5,5 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$;
- Rand- und Lochabstände im Bauteil aus Holz siehe EN 1995-1-1, Abschnitt 8.

8.3.2.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Versagen des Nettoquerschnittes

$$F_{net,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M3} \quad (8.11)$$

8.3.2.3 Beanspruchbarkeit bezüglich Abscheren des Verbindungselementes

Die Beanspruchbarkeit bezüglich Abscheren von Schrauben aus Stahl oder nichtrostendem Stahl ergibt sich zu:

$$F_{v,Rd} = 380 A_s / \gamma_{M3} [N], \text{ mit } A_s \text{ in mm}^2 \quad (8.12)$$

8.3.3 Bemessungswerte für zugbeanspruchte Schraubverbindungen

8.3.3.1 Beanspruchbarkeit bezüglich Durchknöpfen

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Durchknöpfen von zugbeanspruchten Schraubverbindungen ergibt sich zu:

$$F_{p,Rd} = 6,1 \alpha_L \alpha_E \alpha_M t f_u \sqrt{d_w/22} / \gamma_{M3} [N] \quad (8.13)$$

mit:

t und d_w in mm und f_u in N/mm² und

α_L Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses von Biegezugspannungen im angeschlossenen Profiltyp (Tabelle 8.1);

α_M Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Werkstoffes der Dichtscheibe (Tabelle 8.2);

α_E Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Anordnung der Verbindungselemente (Tabelle 8.3).

Bedingungen:

- $t \leq 1,5$ mm;
- $d_w \geq 14$ mm und Dicke der Dichtscheibe ≥ 1 mm;
- Breite des anliegenden Profilgurt ≤ 200 mm;
- $d_w > 30$ mm und Werte von $f_u > 260$ N/mm sollten nicht angesetzt werden;
- bei Profilhöhen kleiner als 25 mm sollten die Beanspruchbarkeiten bezüglich Durchknöpfen um 30 % gemindert werden.

Tabelle 8.1 — Korrekturfaktor α_L zur Berücksichtigung des Einflusses der Biegezugspannungen im angeschlossenen Profilgurt

Zugfestigkeit N/mm ²	α_L		
	Stützweite $L < 1,5$ m	Stützweite $1,5 \leq L \leq 4,5$ m	Stützweite $L > 4,5$ m
< 215	1	1	1
≥ 215	1	$1,25 - L/6$	0,5

ANMERKUNG An Endauflagern ohne Biegezugspannungen und bei Verbindungen im Obergurt gilt immer $\alpha_L = 1$.

Tabelle 8.2 — Korrekturfaktor α_M zur Berücksichtigung des Werkstoffes der Dichtscheibe

Werkstoff der Dichtscheibe	α_M
Stahl, nichtrostender Stahl	1,0
Aluminium	0,8

Tabelle 8.3 — Korrekturfaktor α_E zur Berücksichtigung der Anordnung der Verbindungselemente

Verbindung	Im an der Unterkonstruktion anliegenden Profilgurt					Im nicht an der Unterkonstruktion anliegenden Profilgurt	
α_E	1,0	$b_u \leq 150:0,9$ $b_u > 150:0,7$	0,7	0,9	0,7 0,7	1,0	0,9

ANMERKUNG Die Kombination von Korrekturfaktoren ist nicht erforderlich. Es gilt jeweils der kleinste Wert.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

8.3.3.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Ausreißen

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Ausreißen gewindeformender Schrauben und Bohrschrauben aus Stahl oder nichtrostendem Stahl aus Unterkonstruktionen aus Stahl oder Aluminium ergibt sich zu:

$$F_{o,Rd} = 0,95 f_{u,sup} \sqrt{t_{sup}^3 \cdot d} / \gamma_{M3} \quad (8.14)$$

Bedingungen:

- gewindeformende Schrauben oder Bohrschrauben aus Stahl oder nichtrostendem Stahl;
- Durchmesser der Schrauben $6,25 \text{ mm} \leq d \leq 6,5 \text{ mm}$;
- bei Unterkonstruktionen aus Aluminium und $t_{sup} > 6 \text{ mm}$ sollten Werte von $f_{u,sup} > 250 \text{ N/mm}^2$ nicht angesetzt werden;
- bei Unterkonstruktionen aus Stahl und $t_{sup} > 5 \text{ mm}$ sollten Werte von $f_{u,sup} > 400 \text{ N/mm}^2$ nicht angesetzt werden;
- die Bohrlöcher sollten nach den Angaben des Schraubenherstellers ausgeführt werden.

(2) Bei Unterkonstruktionen aus Holz siehe EN 1995-1-1, Abschnitt 8.

8.3.3.3 Beanspruchbarkeit bezüglich Zugbruch

(1) Die Beanspruchbarkeit bezüglich Zugbruch von Schrauben aus Stahl oder nichtrostendem Stahl ergibt sich aus:

$$F_{t,Rd} = 560 A_s / \gamma_{M3} [\text{N}] \text{ mit } A_s \text{ in } \text{mm}^2 \quad (8.15)$$

9 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Dieser Abschnitt 9 kann zur Anwendung der in EN 1990 aufgeführten Regeln zur versuchsgestützten Bemessung, ergänzt um Festlegungen für kaltgeformte Profiltafeln, verwendet werden.

(2) Zur Durchführung von Versuchen mit Profiltafeln sind in der Regel die in Anhang A angegebenen Regeln anzuwenden.

(3) Versuche zur Ermittlung der Zugfestigkeit von Aluminiumlegierungen sind in der Regel nach EN 10002-1 durchzuführen. Versuche zur Ermittlung anderer Materialeigenschaften von Aluminium sind in der Regel in Übereinstimmung mit den betreffenden Europäischen Normen durchzuführen.

(4) Versuche mit Verbindungselementen oder an Verbindungen sind in der Regel in Übereinstimmung mit den betreffenden Europäischen oder Internationalen Normen durchzuführen.

ANMERKUNG Bis zur Verfügbarkeit einer geeigneten Europäischen oder Internationalen Norm können weitere Informationen bezüglich Versuchen mit Verbindungselementen 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*.

Anhang A (normativ)

Versuchsaufbau und -durchführung

A.1 Allgemeines

(1) Dieser Anhang A enthält Angaben über Standardversuche und deren Auswertungen für Prüfungen, die häufig in der Praxis zur Anwendung kommen und eine Grundlage für die Harmonisierung von zukünftigen Versuchen bilden.

ANMERKUNG 1 Im Bereich kaltgeformter Profiltafeln sind Standardprodukte, bei denen eine Bemessung durch Berechnung nicht zu wirtschaftlichen Ergebnissen führt, weit verbreitet. Daher ist es oft erwünscht, eine versuchsgestützte Bemessung durchzuführen.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann weitere Informationen zur Versuchsdurchführung [AC] und für die Auswertung der Versuchsergebnisse [AC] enthalten.

ANMERKUNG 3 Der Nationale Anhang kann Umrechnungsfaktoren für vorhandene Versuchsergebnisse enthalten, um die Gleichwertigkeit dieser Versuchsergebnisse zu den Ergebnissen von nach diesem Anhang durchgeführten Standardversuch sicherzustellen.

(2) Dieser Anhang beinhaltet:

- Versuche mit Profiltafeln, siehe A.2;
- Versuchsauswertung zur Ermittlung von Bemessungswerten, siehe A.3.

A.2 Versuche mit Profiltafeln

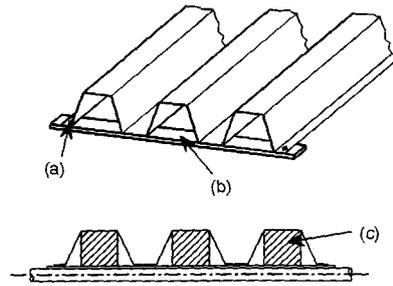
A.2.1 Allgemeines

(1) Um eine gleichmäßig verteilte Beanspruchung zu simulieren, kann die Belastung durch Luftsack, durch Unterdruck oder durch Querträger aus Metall oder Holz eingetragen werden.

(2) Um ein Auseinanderspreizen der Rippen zu verhindern, können Querbänder oder andere geeignete Hilfsmittel wie Holzklötze am Versuchskörper angebracht werden. Beispiele sind in Bild A.1 angegeben.

(3) Versuchskörper für Profiltafeln sollten im Regelfall aus mindestens zwei vollständigen Rippen bestehen. Ist die Steifigkeit der Rippen ausreichend groß, darf der Versuchskörper auch aus nur einer Rippe bestehen. Freie Längsränder müssen sich beim Versuch in der Zugzone befinden.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)



Legende

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

Bild A.1 — Beispiele für geeignete Stützkonstruktionen

(4) Bei Windsogversuchen muss der Versuchsaufbau das wirkliche Tragverhalten der Profiltafeln wiedergeben. Die Verbindungen zwischen Profiltafel und Unterkonstruktion müssen die gleichen wie in der Praxis sein.

(5) Um die Ergebnisse so allgemein gültig wie möglich zu machen und zur Vermeidung jeglichen Einflusses behinderter Verdrehbarkeit und Verschieblichkeit an den Auflagern, sind bevorzugt gelenkige und verschiebliche Auflagerungen vorzusehen.

(6) Es ist sicherzustellen, dass die Wirkungslinie der Last während der Versuchsdurchführung rechtwinklig zur anfänglichen Profiltafelebene bleibt.

(7) Um Auflagerverformungen zu erfassen, sind die Verformungen an beiden Enden des Versuchskörpers zu messen.

(8) Als Versuchsergebnis gilt der Maximalwert der auf den Versuchskörper aufgetragenen Last zum Zeitpunkt des Versagens oder unmittelbar vor dem Versagen.

A.2.2 Einfeldträgerversuch

(1) Für die Ermittlung der querkräftfreien Momentenbeanspruchbarkeit und der wirksamen Biegesteifigkeit kann der in Bild A.2 dargestellte Versuchsaufbau verwendet werden.

(2) Die Stützweite ist in der Regel so zu wählen, dass die Versuchsergebnisse die Momentenbeanspruchbarkeit der Profiltafel wiedergeben.

(3) Die Momentenbeanspruchbarkeit ist in der Regel aus den Versuchsergebnissen zu ermitteln.

(4) Die Biegesteifigkeit ist in der Regel aus der Last-Verformungskurve zu ermitteln.

A.2.3 Zweifeldträgerversuch

(1) Für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft bzw. von Biegemoment und Auflagerreaktion für eine gegebene Auflagerbreite am Zwischenaufleger einer zwei- oder mehrfeldrig verlegten Profiltafel kann der in Bild A.3 dargestellte Versuchsaufbau verwendet werden.

(2) Die Belastung sollte vorzugsweise gleichmäßig verteilt sein (zum Beispiel durch Verwendung eines Luftsackes oder mittels Unterdruck).

(3) Alternativ können mehrere, rechtwinklig zur Profilierung verlaufende Linienlasten zur Anwendung kommen, die angenähert Momenten- und Kraftverläufe einer gleichmäßig verteilten Belastung ergeben. Beispiele für derartige Belastungsanordnungen sind in Bild A.4 dargestellt.

A.2.4 Ersatzträgerversuch

(1) Als Alternative zu A.2.3 kann der in Bild A.5 dargestellte Versuchsaufbau für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Biegemoment und Querkraft bzw. von Biegemoment und Auflagerreaktion für eine gegebene Auflagerbreite am Zwischenaufleger einer zwei- oder mehrfeldrig verlegten Profiltafel verwendet werden.

(2) Die Spannweite s im Versuch, die den Abstand der Wendepunkte einer zweifeldrig mit der Stützweite L verlegten Profiltafel repräsentiert, ergibt sich aus:

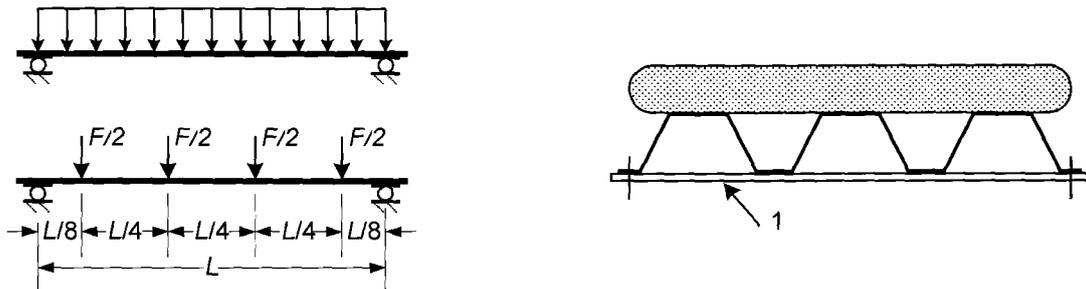
$$s = 0,4L \quad (\text{A.1})$$

(3) Ist eine plastische Umlagerung des Stützmomentes zu erwarten, so ist die Spannweite s im Versuch entsprechend dem Verhältnis aus Stützmoment und Querkraft zu verringern.

(4) Die Breite b_B des Lasteinleitungsträgers ist so zu wählen, dass diese der Breite des in der praktischen Anwendung vorgesehenen Auflagers entspricht.

(5) Aus jedem Versuchsergebnis ergibt sich eine Beanspruchbarkeit infolge kombinierter Beanspruchung aus Biegemoment und Auflagerreaktion (oder Querkraft) in Abhängigkeit der Spannweite und der Auflagerbreite. Um Informationen bezüglich der Interaktion von Biegemoment und Auflagerreaktion zu erhalten, sollten Versuche mit mehreren unterschiedlichen Spannweiten durchgeführt werden.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

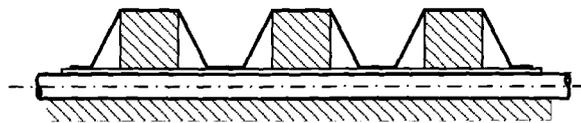
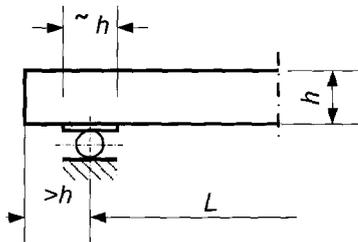


Legende

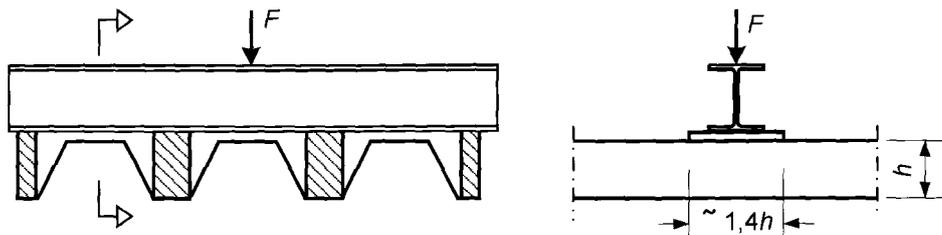
1 Querband

a) Gleichförmig verteilte Belastung und Beispiel für gleichwertige Linienlasten als Alternative

b) Durch Luftsack aufgebrachte verteilte Belastung (alternativ durch Vakuumprüfstand)



c) Beispiel für eine Auflagerausbildung zur Vermeidung örtlicher Verformungen



d) Beispiel für das Einleiten von Linienlasten

Bild A.2 — Versuchsanordnung für Einfeldträgerversuche

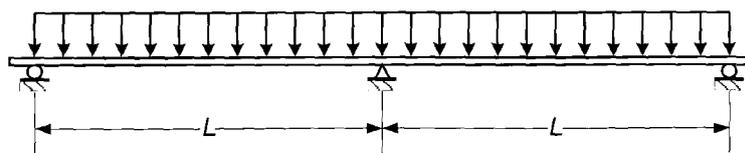


Bild A.3 — Versuchsanordnung für Einfeldträgerversuche

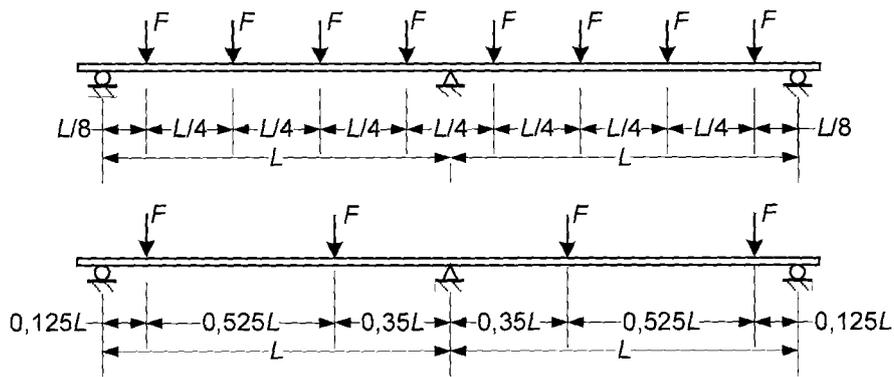
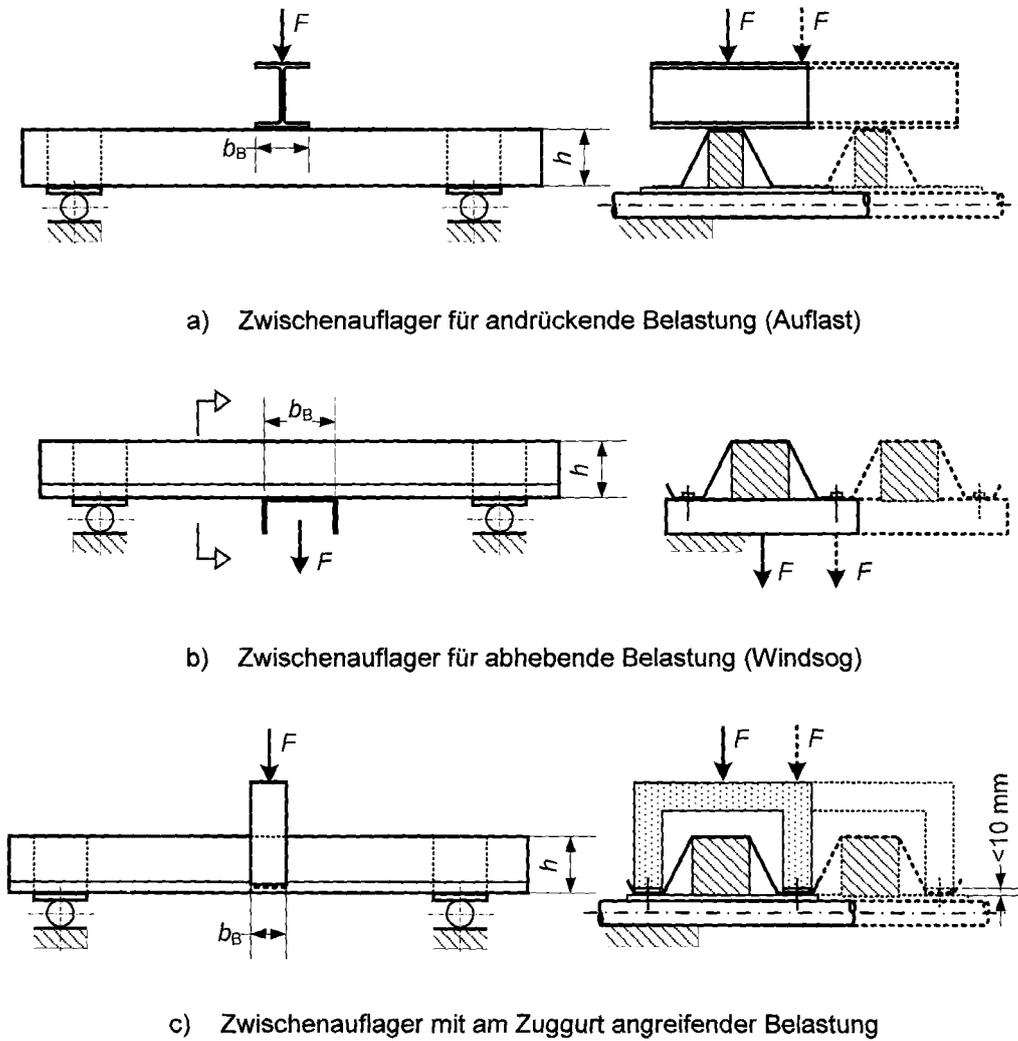


Bild A.4 — Beispiele für geeignete Anordnungen bei alternativ gewählten Linienlasten



c) Zwischenaufleger mit am Zuggurt angreifender Belastung

Bild A.5 — Versuchsanordnung für Ersatzträgerversuche

(3) Die am Versuchsmaterial gemessene Materialdicke t_{obs} sollte die für die Berechnung vorgesehene Dicke t , basierend auf der nominellen Materialdicke t_{nom} , um nicht mehr als 12 % überschreiten.

(4) Eine Normierung bezüglich der aktuell ermittelten Werte für die Materialdicke t_{obs} und der 0,2%-Dehngrenze $f_{0,2,\text{obs}}$ ist in der Regel für alle Versuche durchzuführen — jedoch nicht, wenn sich die auf der Grundlage der Versuchsergebnisse abgeleiteten Bemessungsregeln auf die tatsächlich vorhandenen Werte für die Materialdicke t_{obs} und die 0,2%-Dehngrenze $f_{0,2,\text{obs}}$ beziehen.

(5) Der normierte Wert $R_{\text{adj},i}$ des Versuchsergebnisses i ergibt sich aus dem beobachteten Versuchsergebnis $R_{\text{obs},i}$ wie folgt:

$$R_{\text{adj},i} = R_{\text{obs},i} / \mu_{\text{R}} \quad (\text{A.2})$$

worin der Normierungsfaktor für die Beanspruchbarkeit μ_{R} wie folgt bestimmt wird:

$$\mu_{\text{R}} = \left(\frac{f_{0,2,\text{obs}}}{f_{0,2}} \right)^{\alpha} \left(\frac{t_{\text{obs}}}{t} \right)^{\beta} \quad (\text{A.3})$$

(6) Der Exponent α in Formel (A.2) sollte wie folgt bestimmt werden:

— wenn $f_{0,2,\text{obs}} \leq f_{0,2}$: $\alpha = 0$;

— wenn $f_{0,2,\text{obs}} > f_{0,2}$: $\alpha = 1$;

— bei Profiltafeln, bei denen druckbeanspruchte Querschnittsteile derart große b_p / t -Werte haben, so dass örtliches Beulen die Versagensform ist: $\alpha = 0,5$.

(7) Der Exponent β in Formel (A.2) sollte wie folgt bestimmt werden:

— wenn $t_{\text{obs}} \leq t$: $\beta = 1$;

— wenn $t_{\text{obs}} > t$: $\beta = 2$.

A.3.3 Charakteristische Werte

A.3.3.1 Allgemeines

(1) Charakteristische Werte können ermittelt werden, wenn mindestens vier Versuchsergebnisse vorliegen.

ANMERKUNG Eine größere Anzahl von Versuchen ist generell vorzuziehen, insbesondere wenn eine verhältnismäßig große Streuung vorliegt.

(2) Der charakteristische Kleinstwert ist in der Regel unter den folgend beschriebenen Voraussetzungen zu ermitteln. Wenn der charakteristische Maximalwert oder der charakteristische Mittelwert benötigt wird, sollten die Regeln entsprechend beachtet werden.

(3) Der charakteristische Wert der Widerstandes R_k wird auf der Grundlage von mindestens vier Versuchsergebnissen wie folgt ermittelt:

$$R_k = R_m - k s \quad (\text{A.4})$$

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

s die Standardabweichung;

k ein von der Anzahl der Versuche abhängiger Koeffizient nach Tabelle A.1;

R_m der Mittelwert der normierten Versuchsergebnisse R_{adj} .

(4) Die Standardabweichung s wird wie folgt bestimmt:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{adj,i}^2 - \sum_{i=1}^n R_m^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{adj,i}^2 - n \cdot R_m^2}{n-1}} \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

$R_{adj,i}$ das normierte Versuchsergebnis des Versuches i ;

n die Anzahl der Versuche.

Tabelle A.1 — Werte für den Koeffizienten 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

A.3.3.2 Charakteristische Werte für eine Versuchsfamilie

(1) Wird eine Versuchsserie mit ähnlichen Tragwerken, Teilen von Tragwerken, einzelnen Bauteilen oder Profiltafeln durchgeführt, bei denen ein oder mehrere Parameter variiert werden, so dürfen sie als eine einzige Familie betrachtet werden, vorausgesetzt, dass alle Prüfkörper der Familie die gleiche Versagensart aufweisen. Die variierenden Parameter können Querschnittsabmessungen, Spannweiten, Blechdicken oder Festigkeitswerte sein.

(2) Die charakteristischen Beanspruchbarkeiten der Mitglieder der Familie können auf der Grundlage von Bemessungsformeln ermittelt werden, welche die Parameter der Versuchsergebnisse beinhalten. Diese Bemessungsformel können entweder auf der Grundlage der mechanischen Gesetzmäßigkeiten beruhen oder empirisch bestimmt werden.

(3) Die Bemessungsformeln sollten den Mittelwert des im Versuch ermittelten Widerstandes so genau wie möglich vorhersagen, indem sie Koeffizienten zur Optimierung der Korrelation enthalten.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu dieser Vorgehensweise sind in Anhang D von EN 1990 gegeben.

(4) Bei der Bestimmung der Standardabweichung s wird jedes Versuchsergebnis zunächst durch Division mit dem entsprechenden Wert der betreffenden Bemessungsformel normalisiert. Wenn die Bemessungsformel wie in (3) angegeben modifiziert wurde, ist der Mittelwert der normalisierten Versuchsergebnisse gleich eins. Die Anzahl der Versuche n ist gleich der Gesamtanzahl der Versuche in der Familie.

(5) Bei einer Familie von mindestens vier Versuchen ergibt sich der charakteristische Widerstand R_k aus Formel (A.3), indem für R_m der Wert der Bemessungsformel eingesetzt wird und der Wert k aus Tabelle A.1 und entsprechend der Gesamtanzahl n der Versuche der Familie entnommen wird.

A.3.4 Bemessungswerte

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit R_d wird aus dem entsprechenden charakteristischen Wert R_k der Versuchsergebnisse wie folgt abgeleitet:

$$R_d = R_k / (\gamma_M \gamma_{sys}) \quad (A.6)$$

Dabei ist

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand;

γ_{sys} der Teilsicherheitsbeiwert für Unterschiede im Tragverhalten unter Versuchsbedingungen und in der praktischen Anwendung.

(2) Bei einer Familie mit mindestens vier Versuchen kann der Wert γ_M mit statistischen Methoden bestimmt werden.

ANMERKUNG Informationen über eine geeignete Methode siehe Anhang D von EN 1990.

(3) Alternativ kann γ_M dem Wert von γ_M bei Bemessung auf Grundlage von Berechnungen, wie in Abschnitt 2 angegeben, gleichgesetzt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Werte für γ_M und γ_{sys} enthalten. Bei Profiltafeln ist γ_{sys} gleich 1,0 ein empfohlener Wert.

(4) Bei andersgearteten Versuchen, bei denen mögliche Instabilitätsprobleme oder wechselndes Verhalten des Tragwerkes oder einzelner Tragwerksteile nicht zuverlässig im Versuch beobachtet werden können, ist in der Regel der Wert von γ_{sys} unter Berücksichtigung der aktuellen Versuchssituation festzulegen, um die notwendige Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

A.3.5 Gebrauchstauglichkeit

(1) Die Anforderungen nach Abschnitt 7 sollten erfüllt werden.

Anhang B
(informativ)

Dauerhaftigkeit von Verbindungselementen

(1) Für mechanische Verbindungen von Profiltafeln kann Tabelle B.1 angewendet werden.

Tabelle B.1 — Werkstoffe der Verbindungselemente hinsichtlich der Umgebungsbedingungen bezüglich Korrosion (und der Profiltafeln nur zur Information). Es ist nur die Gefährdung bezüglich Korrosion. Umgebungsbedingungen bezüglich Korrosion nach EN ISO 12944-2

Korrosivitäts-kategorie	Werkstoff der Profiltafel	Werkstoff des Verbindungselementes					Monel ^a
		Aluminium	galvanisch verzinkter Stahl. Dicke des Überzugs ≥ 7 µm	feuerverzinkter Stahl ^b Dicke des Überzugs ≥ 45 µm	Nichtrostender Stahl, einsatzgehärtet 1.4006 ^{d, e}	Nichtrostender Stahl, 1.4301 ^d 1.4436 ^d	
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 Verbindungselemente aus Stahl ohne Überzug können in Korrosivitätskategorie C1 eingesetzt werden.

A = Aluminium, unabhängig von der Oberflächenbehandlung

B = unbeschichtetes Stahlblech

C = feuerverzinktes (Z275) oder Aluzink- beschichtetes Stahlblech (AZ150)

D = feuerverzinktes und farb- oder kunststoffbeschichtetes Stahlblech

E = Aluzink-beschichtetes Stahlblech (AZ185)

S = nichtrostender Stahl

X = bezüglich Korrosionsbeständigkeit empfohlener Werkstoff

(X) = nur unter bestimmten Bedingungen bezüglich Korrosionsbeständigkeit empfohlener Werkstoff

– = bezüglich Korrosionsbeständigkeit nicht empfohlener Werkstoff

a nur für Niete

b nur für Schrauben und Muttern

c Dichtscheibe mit alterungsbeständigem Material zwischen Profiltafel und Verbindungselement

d Nichtrostender Stahl EN 10088

e Gefahr der Verfärbung

f nur in Absprache mit dem Profiltafelhersteller

(2) Die Korrosivitätskategorien nach EN ISO 12944-2 sind in Tabelle B.2 wiedergegeben.

Tabelle B.2 — Atmosphärische Korrosivitätskategorien nach EN ISO 12944-2 und Beispiele typischer Umgebungen

Korrosivitätskategorie	Korrosionsgrad	Beispiele typischer Umgebungsklimate (informativ)	
		Außen	Innen
C1	sehr gering	—	Beheizte Gebäude mit normaler Atmosphäre, z. B. Büros, Geschäfte, Schulen, Hotels.
C2	gering	Atmosphäre mit geringem Verschmutzungsgrad. Ländliche Gegend.	Unbeheizte Gebäude, in denen Kondenswasser auftreten kann, z. B. Lager- und Sporthallen.
C3	mittel	Städtische und Industrielatmosphäre, mäßige Schwefeldioxid-Belastung. Küstengegend mit geringem Salzgehalt.	Produktionsstätten mit hoher Luftfeuchtigkeit und geringer Luftverschmutzung, z. B. Lebensmittelherstellung, Fabriken, Wäschereien, Brauereien und Molkereien.
C4	hoch	Industrie- und Küstengegend mit mäßigem Salzgehalt.	Chemische Industrie, Schwimmbäder, küstennahe Schiffs- und Bootshallen.
C5-I	sehr hoch (Industrie)	Industriegegend mit hoher Luftfeuchtigkeit und aggressiver Atmosphäre.	Gebäude und Örtlichkeiten mit fast ständigem Auftreten von Kondenswasser und hoher Luftverschmutzung.
C5-M	sehr hoch (Seeklima)	Küstengegend und offenes Meer mit hohem Salzgehalt.	Gebäude und Örtlichkeiten mit fast ständigem Auftreten von Kondenswasser und hoher Luftverschmutzung.

DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

Literaturhinweise

- [1] Weber, H.: Dach und Wand — Planen und Bauen mit Aluminium-Profiltafeln; Aluminium-Verlag-Düsseldorf 1982 (in Deutsch)
- [2] Richtlinie für die Verlegung von Aluminium-Profiltafeln; Aluminium-Merkblatt A7; Gesamtverband der Aluminiumindustrie, Düsseldorf 1995 (in Deutsch)
- [3] Verbindungen von Profiltafeln und dünnwandigen Bauteilen aus Aluminium; Aluminium-Merkblatt A9; Gesamtverband der Aluminiumindustrie, Düsseldorf 1995 (in Deutsch)
- [4] SFHF-Richtlinien für hinterlüftete Fassaden — Grundsätze für Planung, Bemessung, Konstruktion und Ausführung; Schweizerischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden; Zürich 1992 (in Deutsch und Französisch)
- [5] Directives APSFV pour façades ventilées; Principes et remarques pour l'étude, le dimensionnement, la construction et l'exécution; Association professionnelle suisse pour des façades ventilées (in Französisch und deutsch)
- [6] Aluminium-Trapezprofile und ihre Verbindungen — Kommentar zur Anwendung und Konstruktion. Gesamtverband der Aluminiumindustrie e. V. Am Bonnhof 5, D-40474 Düsseldorf (in Deutsch)
- [7] Baehre, R., Wolfram, R.: Zur Schubfeldberechnung von Trapezprofilen, Stahlbau 6/1986, S. 175–179
- [8] Baehre, R., Huck, G.: Zur Berechnung der aufnehmbaren Normalkraft von Stahl-Trapezprofilen nach DIN 18807 Teile 1 und 3, Stahlbau 69 (1990), Heft 8, S. 225–232