

Niedersächsisches Ministerialblatt

62. (67.) Jahrgang

Hannover, den 30. 10. 2012

Nummer 37 n

14. ANLAGENBAND

zur

Liste der Technischen Baubestimmungen
— Fassung September 2012 —

DIN EN 1090-3

DIN EN 1999-1-4

DIN EN 1999-1-4 – Ergänzung A 1

DIN EN 1999-1-4/NA

DIN EN 1999-1-5

DIN EN 1999-1-5/NA

Die hier abgedruckten Technischen Baubestimmungen sind nur in Verbindung mit dem RdErl. des MS vom 28. 9. 2012 (Nds. MBl. Nr. 37) zu verwenden.

Inhalt:

– DIN EN 1090-3: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken	1
– DIN EN 1999-1-4: Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln	119
– DIN EN 1999-1-4 — Ergänzung A 1: Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln	193
– DIN EN 1999-1-4/NA: Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln	199
– DIN EN 1999-1-5: Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalenträgerwerke. . . .	203
– DIN EN 1999-1-5/NA: Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalenträgerwerke	281

DIN EN 1090-3

ICS 91.080.10

Teilweiser Ersatz für
DIN V 4113-3:2003-11

**Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken –
Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von
Aluminiumtragwerken;
Deutsche Fassung EN 1090-3:2008**

Execution of steel structures and aluminium structures –
Part 3: Technical requirements for aluminium structures;
German version EN 1090-3:2008

Exécution des structures en acier et des structures en aluminium –
Partie 3: Exigences techniques pour l'exécution des structures en aluminium;
Version allemande EN 1090-3:2008

Gesamtumfang 118 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1090-3:2008-09

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1090-3:2008) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 135 „Ausführung von Tragwerken aus Stahl und aus Aluminium“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SN (Norwegen) gehalten wird. Von deutscher Seite haben Experten aus dem nationalen Spiegelausschuss NA 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen unter vorwiegend ruhender Belastung (DIN 4113, Sp CEN/TC 250/SC 9 + CEN/TC 135/WG 11)“ die Arbeiten begleitet.

Änderungen

Gegenüber DIN V 4113-3:2003-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm inhaltlich vollständig überarbeitet;
- b) Ausführungsklassen festgelegt.

Frühere Ausgaben

DIN V 4113-3: 2003-11

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1090-3

Juni 2008

ICS 77.150.10; 91.080.10

Deutsche Fassung

Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken

Execution of steel structures
and aluminium structures —
Part 3: Technical requirements for
aluminium structures

Exécution des structures en acier et des
structures en aluminium —
Partie 3: Exigences techniques pour l'exécution des
structures en aluminium

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 25. April 2008 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 des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

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



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

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

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Inhalt

Seite

Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	15
4 Ausführungsunterlagen und Dokumentation	17
4.1 Ausführungsunterlagen	17
4.1.1 Allgemeines	17
4.1.2 Ausführungsklassen	17
4.1.3 Toleranzkategorien	18
4.1.4 Toleranzklassen für Schalenträgerwerke	18
4.1.5 Prüfungen und Abnahmekriterien für Schweißnähte	18
4.2 Herstellerdokumentation	18
4.2.1 Qualitätsdokumentation	18
4.2.2 Qualitätsmanagementplan	18
4.2.3 Arbeitssicherheit bei der Montage	19
4.2.4 Ausführungsdokumentation	19
5 Konstruktionsmaterialien	19
5.1 Allgemeines	19
5.2 Identifizierbarkeit, Prüfbescheinigungen und Rückverfolgbarkeit	19
5.3 Basiswerkstoffe	20
5.4 Erzeugnisse aus Aluminium	22
5.5 Schweißzusätze	22
5.6 Mechanische Verbindungsmittel	22
5.6.1 Schrauben, Muttern und Scheiben	22
5.6.2 Schweißbolzen	24
5.6.3 Niete	24
5.6.4 Selbstbohrende und gewindefurchende Schrauben	24
5.6.5 Lager	24
5.7 Klebungen	24
6 Bearbeitung	25
6.1 Allgemeines	25
6.2 Identifizierbarkeit	25
6.3 Handhabung, Lagerung und Transport	25
6.4 Schneiden	25
6.5 Formgebung	26
6.6 Löcher für mechanische Verbindungsmittel	26
6.7 Ausschnitte	28
6.8 Oberflächen von Kontaktstößen	28
6.9 Zusammenbau	28
6.10 Wärmebehandlung	28
6.11 Richten	28
7 Schweißen	28
7.1 Allgemeines	28
7.2 Schweißplan	29
7.2.1 Erfordernis eines Schweißplans	29
7.2.2 Inhalt eines Schweißplans	29
7.3 Schweißprozesse	29
7.4 Qualifizierung von Schweißverfahren und Schweißpersonal	30
7.4.1 Qualifizierung von Schweißverfahren	30
7.4.2 Gültigkeit der Qualifizierung eines Schweißverfahrens	30
7.4.3 Qualifizierung der Schweißer und Bediener	30
7.4.4 Schweißaufsichtspersonal	31

	Seite
7.5	Vorbereitung und Ausführung der Schweißarbeiten..... 31
7.5.1	Allgemeines 31
7.5.2	Schweißnahtvorbereitung 32
7.5.3	Witterungsschutzmaßnahmen 32
7.5.4	Zusammenbau zum Schweißen 32
7.5.5	Montagehilfen 32
7.5.6	Hefnähte 32
7.5.7	Vorwärmen und Zwischenlagentemperaturen 33
7.5.8	Stumpfnähte 33
7.5.9	Schlitz- und Lochnähte 33
7.5.10	Sonstige Schweißnähte 33
7.6	Abnahmekriterien 33
7.7	Wärmenachbehandlung 33
8	Mechanische Verbindungen und Klebungen 34
8.1	Zusammenbau mit mechanischen Verbindungsmitteln 34
8.1.1	Vorbereitung von Kontaktflächen 34
8.1.2	Passgenauigkeit 34
8.1.3	Vorbereitung der Kontaktflächen bei gleitfesten Verbindungen 35
8.2	Geschraubte Verbindungen 35
8.2.1	Allgemeines 35
8.2.2	Schrauben 36
8.2.3	Passverbindungen 36
8.2.4	Senkschrauben 36
8.2.5	Muttern 36
8.2.6	Unterlegscheiben 37
8.3	Anziehen von Schraubenverbindungen 37
8.3.1	Nicht vorgespannte Verbindungen 37
8.3.2	Vorgespannte Verbindungen 38
8.4	Nieten 39
8.4.1	Allgemeines 39
8.4.2	Einbau von Nieten 39
8.5	Befestigung kaltgeformter Bauteile und Profiltafeln 40
8.6	Geklebte Verbindungen 40
9	Montage 40
9.1	Allgemeines 40
9.2	Baustellenbedingungen 40
9.3	Montageanweisungen 40
9.4	Auflagerstellen 40
9.5	Montagearbeiten 41
9.5.1	Vermessung auf der Baustelle 41
9.5.2	Kennzeichnung 41
9.5.3	Transport und Lagern auf der Baustelle 41
9.5.4	Montageverfahren 41
9.5.5	Ausrichten und Vergießen 41
9.6	Schutz von Oberflächen, Reinigung nach Montage 42
10	Behandlung von Oberflächen 42
10.1	Allgemeines 42
10.2	Schutz von Tragwerk und Bauteilen 42
10.3	Schutz von Kontaktflächen und Verbindungsmitteln 42
10.3.1	Allgemeines 42
10.3.2	Kontaktflächen von Aluminium mit Aluminium und Aluminium mit Kunststoffen 43
10.3.3	Kontaktflächen von Aluminium mit Stahl oder Holz 43
10.3.4	Kontaktflächen von Aluminium mit Beton, Mauerwerk, Putz usw. 43
10.3.5	Verbindungsmittel 44
10.3.6	Klebverbindungen 44
10.4	Brandschutz 44

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

	Seite
11 Geometrische Toleranzen	44
11.1 Toleranzkategorien.....	44
11.2 Grundlegende Toleranzen	45
11.2.1 Allgemeines.....	45
11.2.2 Herstelltoleranzen.....	45
11.2.3 Montagetoleranzen	46
11.3 Ergänzende Toleranzen	47
11.3.1 Allgemeines.....	47
11.3.2 Herstelltoleranzen.....	47
12 Kontrollen, Prüfungen und Nachbesserung	48
12.1 Allgemeines.....	48
12.2 Konstruktionsmaterialien und Bauteile.....	48
12.2.1 Konstruktionsmaterialien	48
12.2.2 Bauteile.....	48
12.3 Bearbeitung	48
12.3.1 Umformarbeiten	48
12.3.2 Abmessungen von Bauteilen	48
12.4 Schweißen	49
12.4.1 Prüfungsabläufe.....	49
12.4.2 Verfahren der Prüfung und Personalqualifizierung	49
12.4.3 Umfang der Prüfung	50
12.4.4 Abnahmekriterien für Schweißnähte	51
12.4.5 Reparatur geschweißter Verbindungen	53
12.4.6 Kontrollen nach der Entfernung von Montagehilfen.....	53
12.5 Mechanische Verbindungsmittel.....	54
12.5.1 Kontrolle von Verbindungen mit nicht vorgespannten Schrauben.....	54
12.5.2 Kontrolle von Verbindungen mit vorgespannten Schrauben	54
12.5.3 Kontrolle von Nietverbindungen	54
12.6 Klebungen	55
12.7 Nichtkonforme Produkte.....	55
12.7.1 Nichtkonforme Konstruktionsmaterialien.....	55
12.7.2 Nichtkonforme Bauteile und Tragwerke.....	55
Anhang A (normativ) Notwendige Festlegungen, festzulegende Alternativen und Anforderungen bei den Ausführungsklassen	56
A.1 Liste der notwendigen Festlegungen	56
A.2 Liste möglicher alternativer Festlegungen	57
A.3 Ausführungsklassenabhängige Anforderungen	58
Anhang B (informativ) Checkliste für den Inhalt von Qualitätsmanagementplänen	60
B.1 Einleitung.....	60
B.2 Inhalt	60
B.2.1 Management.....	60
B.2.2 Überprüfung der Ausführungsunterlagen	60
B.2.3 Dokumentation.....	60
B.2.4 Verfahrensabläufe bei Kontrollen und Prüfungen	62
Anhang C (normativ) Prüfung der geschweißten Kreuzprobe	63
C.1 Einleitung.....	63
C.2 Prüfstück	63
C.3 Untersuchung und Prüfung	64
Anhang D (normativ) Verfahrensprüfung zur Bestimmung der Haftreibungszahl	67
D.1 Zweck der Prüfung	67
D.2 Einflussgrößen.....	67
D.3 Prüfkörper.....	67
D.4 Versuchsdurchführung und Auswertung	69
D.5 Erweiterte Kriechprüfung und Auswertung	69
D.6 Prüfergebnisse.....	70

Anhang E (informativ) Befestigung und Verbindung kaltgeformter Bauteile und Profiltafeln	72
E.1 Allgemeines	72
E.2 Gewindefurchende und selbstbohrende Schrauben	72
E.3 Blindniete	74
E.4 Verbinden sich überlappender Ränder	74
Anhang F (informativ) Oberflächenbehandlung	75
F.1 Anodische Oxidation.....	75
F.2 Beschichtungen.....	75
F.2.1 Allgemeines	75
F.2.2 Vorbehandlung	76
F.2.3 Grundbeschichtung	76
F.2.4 Deckbeschichtung.....	76
F.2.5 Beschichtungen mit Bitumen und bituminösen Kombinationen	76
F.2.6 Instandsetzungsbeschichtungen	76
F.3 Passivierung	77
Anhang G (normativ) Geometrische Toleranzen – Grundlegende Toleranzen	78
G.1 Herstelltoleranzen	78
G.1.1 Allgemeines	78
G.1.2 Geschweißte I-Querschnitte.....	78
G.1.3 Geschweißte Kastenquerschnitte.....	79
G.1.4 Trägerstege	80
G.1.5 Bauteile.....	81
G.1.6 Fußplatten und Kopfplattenanschlüsse.....	81
G.1.7 Stützenstöße	82
G.1.8 Ausfachungen.....	83
G.2 Montagetoleranzen.....	83
G.2.1 Stützen.....	83
G.2.2 Träger.....	85
G.2.3 Kontaktstöße.....	85
Anhang H (normativ) Geometrische Toleranzen – Ergänzende Toleranzen	87
H.1 Allgemeines	87
H.2 Herstelltoleranzen	87
H.2.1 Kastenquerschnitte	87
H.2.2 Bauteile.....	88
H.2.3 Steifen.....	89
H.2.4 Schraub- und Nietlöcher, Ausklinkungen und Enden	90
H.2.5 Ausfachungen bei Fachwerken	91
H.3 Montagetoleranzen.....	92
H.3.1 Stützen.....	92
H.3.2 Träger, Sparren und Fachwerkbinder	93
H.4 Brücken	94
Anhang I (normativ) Geometrische Abweichungen – Schalentragwerke	96
I.1 Allgemeines	96
I.2 Toleranzen für die Rundheitsabweichung	96
I.3 Durch die Ausführung erzeugte unplanmäßige Exzentrizität.....	97
I.4 Toleranzen für Beulen/Vorbeulen	99
I.5 Ebenheitstoleranz der Grenzflächen	100
Anhang J (informativ) Anforderungen an Schweißnähte – Art der Darstellung auf Schweißplänen.....	101
J.1 Allgemeines	101
J.2 Pauschale Festlegungen	101
J.3 Festlegungen für Schweißnähte im Einzelnen und Teile von Schweißnähten.....	102
Anhang K (informativ) Empfehlungen für die Beschreibung der Baustellenbedingungen und der Montage bei der Erstellung der Ausführungsunterlagen.....	103
K.1 Baustelle.....	103
K.2 Montageanweisungen	103

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Seite

Anhang L (informativ) Leitfaden zur Festlegung der Qualitätsanforderungen für Schweißnähte in den Ausführungsunterlagen.....	106
L.1 Allgemeines.....	106
L.2 Ausnutzungsgrade und Ausnutzungsclassen	106
L.2.1 Allgemeines.....	106
L.2.2 Ausnutzungsgrad für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC1.....	107
L.2.3 Ausnutzungsgrad für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC2.....	107
L.3 Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung (ZfP).....	107
L.3.1 Umfang der ZfP (%) für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC 1.....	107
L.3.2 Umfang der ZfP (%) für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC 2.....	108
L.4 Abnahmekriterien für Schweißnähte	109
L.4.1 Abnahmekriterien für Schweißnähte in Beanspruchungskategorie SC1	109
L.4.2 Abnahmekriterien für Schweißnähte in Beanspruchungskategorie SC2	109
Anhang M (informativ) Übersicht zur Festlegung der Qualitätsanforderungen für Bauteile und Tragwerke in SC2.....	111
Anhang N (informativ) Übersicht zur Erstellung und Anwendung einer Schweißanweisung (WPS)....	115
Literaturhinweise	116

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1090-3:2008) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 135 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2008 zurückgezogen werden.

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.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Einleitung

Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Ausführung von Aluminiumtragwerken fest, um ein ausreichendes Niveau an mechanischer Festigkeit und Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sicherzustellen.

Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Ausführung von Aluminiumtragwerken fest, insbesondere denjenigen, die nach EN 1999-1-1, EN 1999-1-2, EN 1999-1-3, EN 1999-1-4 und EN 1999-1-5 bemessen werden.

Diese Europäische Norm setzt voraus, dass die Arbeiten mit notwendiger Fachkunde, technischer Ausrüstung und Mitteln ausgeführt werden, damit sie den Ausführungsunterlagen entsprechen und die Anforderungen dieser Europäischen Norm erfüllen.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Anforderungen bezüglich der Ausführung von tragenden Bauteilen aus Aluminium sowie von Aluminiumtragwerken fest, die aus

- a) gewalzten Blechen, Bändern und Platten,
- b) Strangpressprofilen,
- c) kalt gezogenen Stangen und Rohren,
- d) Schmiedeteilen,
- e) Gussteilen

hergestellt werden.

ANMERKUNG 1 In Übereinstimmung mit EN 1090-1 wird die Ausführung von Tragwerksteilen als Herstellung bezeichnet.

Diese Europäische Norm legt Anforderungen fest, die unabhängig von Art und Form des Aluminiumtragwerks sind. Sie gilt sowohl für Tragwerke unter vorwiegend ruhender Belastung als auch für ermüdungsbeanspruchte Tragwerke. Des Weiteren legt diese Europäische Norm die Anforderungen in Bezug auf die Ausführungsklassen fest, welche ihrerseits von Schadensfolgeklassen abhängig sind.

ANMERKUNG 2 Die Schadensfolgeklassen sind in EN 1990 festgelegt.

ANMERKUNG 3 Empfehlungen für die Wahl der Ausführungsklasse in Verbindung mit der Schadensfolgeklasse siehe EN 1999-1-1.

Diese Europäische Norm gilt für Bauteile, die aus Konstruktionsmaterialien mit Dicken nicht unter 0,6 mm, beziehungsweise geschweißt mit Dicken nicht unter 1,5 mm hergestellt werden.

Diese Europäische Norm gilt für Tragwerke, die nach den maßgebenden Teilen von EN 1999 bemessen wurden. Sofern sie auf Tragwerke, die auf anderen Bemessungsregeln basieren, oder auf andere Legierungen und Werkstoffzustände als die in EN 1999 behandelten angewendet wird, sollten die sicherheitsrelevanten Elemente der betreffenden Bemessungsregeln beurteilt werden.

Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Vorbehandlung von Oberflächen für das Aufbringen von Schutzbeschichtungen fest und enthält Hinweise für deren Ausführung in einem informativen Anhang.

Diese Europäische Norm lässt Wahlmöglichkeiten offen, um Spezifikationen speziellen Projektgegebenheiten anpassen zu können.

Diese Europäische Norm gilt auch für temporäre Bauten aus Aluminium (fliegende Bauten).

2 Normative Verweisungen

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).

EN 473, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung — Allgemeine Grundlagen*

EN 485-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

EN 485-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 3: Grenzabmaße und Formtoleranzen für warmgewalzte Erzeugnisse*

EN 485-4, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 4: Grenzabmaße und Formtoleranzen für kaltgewalzte Erzeugnisse*

EN 515, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Halbzeug; Bezeichnungen der Werkstoffzustände*

EN 571-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Eindringprüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

EN 573-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug — Teil 1: Numerisches Bezeichnungssystem*

EN 573-2, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug — Teil 2: Bezeichnungssystem mit chemischen Symbolen*

EN 573-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug — Teil 3: Chemische Zusammensetzung und Erzeugnisform*

EN 586-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Schmiedestücke — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 586-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Schmiedestücke — Teil 3: Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 754-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 3: Rundstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-4, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 4: Vierkantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-5, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 5: Rechteckstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-6, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 6: Sechskantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-7, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 7: Nahtlose Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-8, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 8: Mit Kammerwerkzeug stranggepresste Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 755-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 755-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 3: Rundstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 755-4, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 4: Vierkantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 755-5, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 5: Rechteckstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 755-6, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 6: Sechskantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

- EN 755-7, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 7: Nahtlose Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen*
- EN 755-8, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 8: Mit Kammerwerkzeug stranggepresste Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen*
- EN 755-9, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 9: Profile, Grenzabmaße und Formtoleranzen*
- EN 970, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schmelzschweißnähten — Sichtprüfung*
- EN 1011-1, *Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe — Teil 1: Allgemeine Anleitungen für Lichtbogenschweißen*
- EN 1011-4, *Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe — Teil 4: Lichtbogenschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen*
- EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl*
- EN 1301-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Drähte — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*
- EN 1301-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Drähte — Teil 3: Grenzabmaße*
- EN 1320, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Bruchprüfung*
- EN 1321, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen von Schweißnähten*
- EN 1337-3, *Lager im Bauwesen — Teil 3: Elastomerlager*
- EN 1337-4, *Lager im Bauwesen — Teil 4: Rollenlager*
- EN 1337-5, *Lager im Bauwesen — Teil 5: Topflager*
- EN 1337-6, *Lager im Bauwesen — Teil 6: Kipplager*
- EN 1337-8, *Lager im Bauwesen — Teil 8: Führungslager und Festhaltekonstruktionen*
- EN 1337-11, *Lager im Bauwesen — Teil 11: Transport, Zwischenlagerung und Einbau*
- EN 1418, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen*
- EN 1435, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen*
- EN 1559-1, *Gießereiwesen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Allgemeines*
- EN 1559-4, *Gießereiwesen — Technische Lieferbedingungen — Teil 4: Zusätzliche Anforderungen an Gussstücke aus Aluminiumlegierungen*
- EN 1706, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gussstücke — Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften*

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

EN 1714:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen*

EN 1999-1-1:2007, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln*

EN 1999-1-2, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1999-1-3:2007, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-3: Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke*

EN 1999-1-4, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln*

EN 1999-1-5, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalentragwerke*

EN 10204, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 12020-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Präzisionsprofile aus Legierungen EN AW-6060 und EN AW-6063 — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 12020-2, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Präzisionsprofile aus Legierungen EN AW-6060 und EN AW-6063 — Teil 2: Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 12206-1, *Beschichtungsstoffe — Beschichtungen auf Aluminium und Aluminiumlegierungen für Bauzwecke — Teil 1: Beschichtungen aus Beschichtungspulvern*

EN 14399-2, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 2: Prüfung der Eignung zum Vorspannen*

EN 14399-3, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 3: System HR — Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern*

EN 14399-4, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 4: System HV — Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern*

EN 14399-5, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 5: Flache Scheiben*

EN 14399-6, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 6: Flache Scheiben mit Fase*

EN 14399-7, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 7: System HR — Garnituren aus Senkschrauben und Muttern*

EN 14399-8, *Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau — Teil 8: System HV — Garnituren aus Sechskant-Passschrauben und Muttern*

EN 15088, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Erzeugnisse für Tragwerksanwendungen — Technische Lieferbedingungen*

EN 20898-2, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Teil 2: Muttern mit festgelegten Prüfkräften; Regelgewinde (ISO 898-2:1992)*

EN 28839, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben und Muttern aus Nichteisenmetallen (ISO 8839:1986)*

- EN ISO 898-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben (ISO 898-1:1999)*
- EN ISO 1479, *Sechskant-Blechschraben (ISO 1479:1983)*
- EN ISO 1481, *Flachkopf-Blechschraben mit Schlitz (ISO 1481:1983)*
- EN ISO 2009, *Senkschraben mit Schlitz (Einheitskopf) — Produktklasse A (ISO 2009:1994)*
- EN ISO 3506-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen — Teil 1: Schrauben (ISO 3506-1:1997)*
- EN ISO 3506-2, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen — Teil 2: Muttern (ISO 3506-2:1997)*
- EN ISO 3834-2, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen (ISO 3834-2:2005)*
- EN ISO 3834-3, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 3: Standard- Qualitätsanforderungen (ISO 3834-3:2005)*
- EN ISO 3834-4, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 4: Elementare Qualitätsanforderungen (ISO 3834-4:2005)*
- EN ISO 4014, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklassen A und B (ISO 4014:1999)*
- EN ISO 4016, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklasse C (ISO 4016:1999)*
- EN ISO 4017, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklassen A und B (ISO 4017:1999)*
- EN ISO 4018, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklasse C (ISO 4018:1999)*
- EN ISO 4032, *Sechskantmutter, Typ 1 — Produktklassen A und B (ISO 4032:1999)*
- EN ISO 4034, *Sechskantmutter, Typ 1 — Produktklasse C (ISO 4034:1999)*
- EN ISO 4063, *Schweißen und verwandte Prozesse — Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO 4063:1998)*
- EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4288:1996)*
- EN ISO 4762, *Zylinderschrauben mit Innensechskant (ISO 4762:1997)*
- EN ISO 6520-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen — Teil 1: Schmelzschweißen (ISO 6520-1:2007)*
- EN ISO 6789, *Schraubwerkzeuge — Handbetätigte Drehmoment-Werkzeuge — Anforderungen und Prüfverfahren für die Typprüfung, Annahmeprüfung und das Rekalibrierungsverfahren (ISO 6789:2003)*
- EN ISO 7046-2, *Senkschrauben mit Kreuzschlitz (Einheitskopf) — Produktklasse A — Teil 2: Stahl mit Festigkeitsklasse 8.8 — Nichtrostender Stahl und Nichteisenmetalle (ISO 7046-2:1990)*
- EN ISO 7049, *Linsenkopf-Blechschraben mit Kreuzschlitz (ISO 7049:1983)*
- EN ISO 7089, *Flache Scheiben — Normale Reihe — Produktklasse A (ISO 7089:2000)*
- EN ISO 7090, *Flache Scheiben mit Fase — Normale Reihe — Produktklasse A (ISO 7090:2000)*

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

- EN ISO 7091, *Flache Scheiben — Normale Reihe — Produktklasse C (ISO 7091:2000)*
- EN ISO 7093-1, *Flache Scheiben — Große Reihe — Teil 1: Produktklasse A (ISO 7093-1:2000)*
- EN ISO 7093-2, *Flache Scheiben — Große Reihe — Teil 2: Produktklasse C (ISO 7093-2:2000)*
- EN ISO 7094, *Flache Scheiben — Extra große Reihe — Produktklasse C (ISO 7094:2000)*
- EN ISO 9000, *Qualitätsmanagementsysteme — Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005)*
- EN ISO 9013:2002, *Thermisches Schneiden — Einteilung thermischer Schnitte — Geometrische Produktspezifikation und Qualität (ISO 9013:2002)*
- EN ISO 9018, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Zugversuch am Doppel-T-Stoß und Überlappstoß (ISO 9018:2003)*
- EN ISO 9606-2, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 2: Aluminium und Aluminiumlegierungen (ISO 9606-2:2004)*
- EN ISO 10042:2005, *Schweißen — Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 10042:2005)*
- EN ISO 10642, *Senkschrauben mit Innensechskant (ISO 10642:2004)*
- EN ISO 13918, *Schweißen — Bolzen und Keramikringe für das Lichtbogenbolzenschweißen (ISO 13918:1998)*
- EN ISO 13920, *Schweißen — Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen — Längen- und Winkelmaße — Form und Lage (ISO 13920:1996)*
- EN ISO 14731, *Schweißaufsicht — Aufgaben und Verantwortung (ISO 14731:2006)*
- EN ISO 15480, *Sechskant-Bohrschrauben mit Bund mit Blechschraubengewinde (ISO 15480:1999)*
- EN ISO 15481, *Flachkopf-Bohrschrauben mit Kreuzschlitz mit Blechschraubengewinde (ISO 15481:1999)*
- EN ISO 15609-1, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1:2004)*
- EN ISO 15612, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung durch Einsatz eines Standardschweißverfahrens (ISO 15612:2004)*
- EN ISO 15613, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund einer vorgezogenen Arbeitsprüfung (ISO 15613:2004)*
- EN ISO 15614-2, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 2: Lichtbogenschweißen von Aluminium und seinen Legierungen (ISO/DIS 15614-2:2005)*
- EN ISO 17659, *Schweißen — Mehrsprachige Benennungen für Schweißverbindungen mit bildlichen Darstellungen (ISO 17659:2002)*
- EN ISO 18273, *Schweißzusätze — Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen — Einteilung (ISO 18273:2004)*
- ISO 4463-1, *Measurement methods for building; setting-out and measurement — Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria*

ISO 7976-1, *Tolerances for building; methods of measurement of buildings and building products — Part 1: Methods and instruments*

ISO 7976-2, *Tolerances for building; methods of measurement of buildings and building products — Part 2: Position of measuring points*

ISO 8062, *Castings — System of dimensional tolerances and machining allowances*

ISO 10509, *Hexagon flange head tapping screws*

ISO 17123-1, *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 1: Theory*

ISO 8322-2, *Building construction — Measuring instruments; procedures for determining accuracy in use; Part 2: Measuring tapes*

ISO 17123-3, *Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 3: Theodolites*

ISO 17123-4, *Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments)*

ISO 17123-7, *Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 7: Optical plumbing instruments*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Bauteil

Teil der Aluminiumkonstruktion, das seinerseits ein Zusammenbau aus mehreren kleineren Bauteilen sein kann

ANMERKUNG Ein Bauteil kann an sich bereits ein Tragwerk sein.

3.2

Konstruktionsmaterialien

Material oder Produkte mit Eigenschaften, die in die Bemessung eingehen oder sonst mit der Festigkeit und der Stabilität der Aluminiumkonstruktion oder Teilen hiervon und/oder mit deren Feuerwiderstand, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit zusammenhängen

3.3

Bauwerk

alles was gebaut ist oder aus baulicher Tätigkeit resultiert. Der Begriff bezieht sich sowohl auf Gebäude als auch auf Ingenieurbauwerke. Er bezieht sich auf die gesamte Konstruktion, d. h. sowohl auf tragende als auch auf nichttragende Bauteile

3.4

Hersteller

Person oder Organisation, welche die Aluminiumkonstruktion herstellt [„Lieferant“ (en: „supplier“) nach EN ISO 9000]

3.5

Montagekonzeption

Ausführungen zur Tragwerksmontage, welche mit Grundlage für die Bemessung sind

DIN EN 1090-3:2008-09 **EN 1090-3:2008 (D)**

3.6

Montageanweisung

Dokumentation, die die notwendigen Arbeitsvorgänge beschreibt, um ein Tragwerk zu errichten

3.7

Ausführung

jegliche Tätigkeit zur Fertigstellung der Aluminiumkonstruktion, d.h. Materialbeschaffung, Materialbearbeitung, Schweißen, mechanisches Verbinden, Transportieren, Montage, Oberflächenbehandlung, die zugehörige Kontrolle und Dokumentation

3.8

Ausführungsklasse

zu einer Klasse zusammengefasste Anforderungen, die für die Ausführung der Aluminiumkonstruktion als Ganzes, für ein einzelnes Bauteil oder für ein spezielles Detail festgelegt werden

3.9

Ausführungsunterlagen

Unterlagen, welche technische Daten und Anforderungen für ein bestimmtes Tragwerk enthalten, einschließlich jener Festlegungen, die die Regeln dieser Europäischen Norm ergänzen und verbindlich machen

ANMERKUNG 1 Die Ausführungsunterlagen schließen Anforderungen mit ein, wo diese Europäische Norm in bestimmten Punkten die Festlegung von Regelungen verlangt.

ANMERKUNG 2 Die Ausführungsunterlagen können als Gesamtheit der Anforderungen an die Herstellung und Montage von Tragwerksbauteilen angesehen werden, zusammen mit den in den einzelnen Bauteilspezifikationen nach EN 1090-1 aufgeführten Anforderungen an deren Herstellung.

3.10

Bearbeitung

jegliche Tätigkeit, die an den Konstruktionsmaterialien durchgeführt wird, um Materialteile für die Verwendung in Bauteilen oder als Bauteile fertig zu stellen. Soweit zutreffend, umfasst der Begriff auch Identifizierbarkeit, Handhabung und Lagerung sowie Schneiden, Formgebung und die Herstellung von Löchern für mechanische Verbindungsmittel.

ANMERKUNG Ein bearbeitetes Materialteil kann bereits an sich ein Bauteil sein.

3.11

Hersteller

Hersteller von Konstruktionsmaterialien oder der Hersteller von Bauteilen

ANMERKUNG Diese Europäische Norm geht davon aus, dass der Hersteller der Konstruktionsmaterialien für die Deklaration der Eigenschaften dieser Materialien verantwortlich ist. Werden die Konstruktionsmaterialien von einem Händler geliefert, wird angenommen, dass diesem in Bezug auf die Materialeigenschaften die gleichen Pflichten wie dem Hersteller obliegen.

3.12

Herstellung

alle Tätigkeiten, die erforderlich sind, um ein Bauteil herzustellen und zu liefern. Wesentlich sind z. B. hierbei Materialbeschaffung, Materialbearbeitung und Zusammenbau der Materialteile, Schweißen, mechanisches Verbinden, Transportieren, Oberflächenbehandlung, die zugehörigen Kontrollen und Dokumentation

ANMERKUNG Für die Herstellung von Bauteilen gelten die Ausführungsregeln dieser Europäischen Norm.

3.13

Beanspruchungskategorie

Kategoriebezeichnung, die die Art der Beanspruchung eines Bauteils oder eines Tragwerks charakterisiert.

3.14**Tragwerk**

siehe EN 1990

3.15**zusätzliche zerstörungsfreie Prüfung ZfP**

zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP), die zusätzlich zur visuellen Prüfung durchgeführt werden, z. B. Eindringprüfung, Ultraschallprüfung, Durchstrahlungsprüfung

3.16**Aluminiumkonstruktion**

Teile des Bauwerks, die tragende Aluminiumteile sind

4 Ausführungsunterlagen und Dokumentation**4.1 Ausführungsunterlagen****4.1.1 Allgemeines**

Für alle Bauteile der Aluminiumkonstruktion müssen die notwendigen Informationen und technischen Anforderungen vor Beginn der jeweiligen Ausführungsarbeiten vereinbart und abschließend geregelt sein. Es muss auch geregelt sein, wie bei Änderungen bereits vereinbarter Festlegungen verfahren wird. In den Ausführungsunterlagen müssen nachstehende Punkte ihre Berücksichtigung finden:

- Zusatzinformationen wie sie in Anhang A aufgelistet sind – falls zutreffend;
- die geforderten Ausführungsklassen, siehe 4.1.2;
- Optionsfestlegungen zu den in Anhang A aufgelisteten Punkten;
- technische Anforderungen in Bezug auf die Arbeitssicherheit, siehe Anhang K;
- Qualitätsmanagementplan, siehe 4.2.2;
- zusätzliche Anforderungen an die Ausführung bezüglich Funktionalität;
- welche der informativen Anhänge verbindlich zur Anwendung kommen sollen.

4.1.2 Ausführungsklassen

In EN 1999-1-1 werden vier Ausführungsklassen festgelegt, wobei die Anforderungen von EXC1 bis EXC4 steigen.

Eine Ausführungsklasse kann für das gesamte Tragwerk gelten, nur für einen Teil desselben, aber auch nur für ein spezielles Detail. Ein Tragwerk kann mehrere Ausführungsklassen umfassen.

Hinweise für die Wahl der Ausführungsklasse siehe EN 1999-1-1.

Falls keine Ausführungsklasse festgelegt wurde, gilt Ausführungsklasse EXC2.

ANMERKUNG Die Tabelle A.3 enthält eine Übersicht über die mit den Ausführungsklassen verbundenen Anforderungen.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

4.1.3 Toleranzkategorien

In 11.1 werden zwei Kategorien von geometrischen Toleranzen definiert:

- Grundlegende Toleranzen;
- ergänzende Toleranzen.

4.1.4 Toleranzklassen für Schalenträgerwerke

Für Schalenträgerwerke legt EN 1999-1-5 vier Toleranzklassen fest, wobei die Anforderungen von Klasse 1 bis Klasse 4 ansteigen.

Die Anforderungen an die Toleranzklassen für Schalenträgerwerke sind in Anhang I festgelegt.

4.1.5 Prüfungen und Abnahmekriterien für Schweißnähte

Der Umfang an Prüfungen und die Abnahmekriterien müssen in den Ausführungsunterlagen festgelegt sein.

ANMERKUNG Empfehlungen über den Umfang der Prüfungen siehe Anhang L; Empfehlungen über Abnahmekriterien siehe 12.4.4.

4.2 Herstellerdokumentation

4.2.1 Qualitätsdokumentation

Folgende Regelungen sind bei den Ausführungsklassen EXC3 und EXC4 — und falls vorgeschrieben, auch bei EXC2 — zu dokumentieren:

- a) die Zuordnung von Aufgaben und Befugnissen in den verschiedenen Stufen der Projektausführung;
- b) die zur Anwendung kommenden Arbeitsprozesse, Verfahren und Arbeitsanweisungen;
- c) ein an die Arbeiten angepasster Prüfplan;
- d) die Vorgehensweise bei Änderungen und Abänderungen;
- e) die Vorgehensweise bei Abweichungen von den Anforderungen (Nichtkonformität), bei Forderungen nach Ausnahmegenehmigungen und Qualitätsstreitigkeiten;
- f) sämtliche Fertigungsprüfstoppes oder die geforderte Anwesenheit einer Zweit- oder Drittpartei bei der Durchführung von Inspektionen und Prüfungen und die daraus folgenden Anforderungen in Bezug auf Zugangsmöglichkeiten.

4.2.2 Qualitätsmanagementplan

Es muss festgelegt sein, ob ein Qualitätsmanagementplan für die Ausführung der Aluminiumkonstruktion verlangt wird.

ANMERKUNG Definition eines Qualitätsmanagementplanes siehe EN ISO 9000.

Ein Qualitätsmanagementplan muss einschließen:

- a) Ein allgemeines Managementdokument, welches folgende Punkte behandeln muss:
 - Überprüfung der vorgegebenen Anforderungen in Bezug auf die Produktionsmöglichkeiten;
 - Organigramm und für alle Aspekte der Ausführung die jeweils verantwortlichen Personen;
 - Grundsätze und organisatorische Regelungen für Kontrollen, einschließlich der Zuordnung der Verantwortung für jede einzelne Kontrollaufgabe;
- b) Qualitätsdokumentation für die Fertigung in Übereinstimmung mit 4.2.1. Sie muss vor Ausführung des betreffenden Fertigungsschritts vorliegen.
- c) Ausführungsberichte und -belege, mit denen die ausgeführten Kontrollen und Überprüfungen oder die Qualifikation bzw. die Qualifizierung oder Zertifizierung der eingesetzten Betriebsmittel (Personen und Einrichtungen) dokumentiert werden. Ausführungsberichte und -belege im Zusammenhang mit einem Fertigungsprüfstopp, die für die Fortsetzung der Fertigung von Bedeutung sind, müssen vor Freigabe der Weiterfertigung fertig gestellt sein.

Anhang B enthält eine Checkliste über den Inhalt eines Qualitätsmanagementplans, wie er für die Herstellung von Tragwerken unter Bezug auf die allgemeinen Leitlinien der ISO 10005 empfohlen wird.

4.2.3 Arbeitssicherheit bei der Montage

Die Verfahrensbeschreibungen müssen genaue Arbeitsanweisungen enthalten und sollten die technischen Anforderungen bezüglich Arbeitssicherheit nach Anhang K berücksichtigen.

4.2.4 Ausführungsdokumentation

Während der Ausführung der Arbeiten müssen ausreichend Aufzeichnungen in Bezug auf das fertige Tragwerk erstellt werden, damit nachgewiesen werden kann, dass die Aluminiumkonstruktion nach allen Vorgaben der Ausführungsunterlagen ausgeführt wurde.

5 Konstruktionsmaterialien

5.1 Allgemeines

Die Konstruktionsmaterialien, die für die Ausführung von Aluminiumtragwerken verwendet werden, müssen den einschlägigen, in den folgenden Abschnitten aufgeführten Europäischen Normen, EN 15088 oder einer geltenden, einschlägigen Europäischen Technischen Spezifikation entsprechen. Es muss festgelegt sein, welche Konstruktionsmaterialien zu verwenden sind.

5.2 Identifizierbarkeit, Prüfbescheinigungen und Rückverfolgbarkeit

Die Eigenschaften der Konstruktionsmaterialien müssen so dokumentiert werden, dass sie mit den Sollwerten verglichen werden können. Die Übereinstimmung mit der entsprechenden Produktnorm ist nach 12.2 zu prüfen.

Für metallische Produkte müssen abhängig von der festgelegten Ausführungsklasse die nachfolgenden Prüfbescheinigungen nach EN 10204 verlangt werden:

- EXC2, EXC3 und EXC4: Abnahmeprüfzeugnis 3.1;
- EXC1: Werkszeugnis 2.2.

Bei den Ausführungsklassen EXC4 und EXC3 muss die Rückverfolgbarkeit in allen Stadien der Ausführung, von der Lieferung bis zum Einbau ins Tragwerk, gegeben sein.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

ANMERKUNG Die Rückverfolgbarkeit kann bei üblichen Herstellverfahren auf fertigungslosbezogenen Prüfberichten beruhen, falls nicht die Rückverfolgung im Einzelnen gefordert wird.

Sind bei den Ausführungsklassen EXC2, EXC3 und EXC4 einzelne Konstruktionsmaterialien in verschiedenen Legierungen oder Zuständen vorhanden, muss jedes einzelne Teil nach Legierung und Zustand gekennzeichnet sein.

Die Art der Kennzeichnung von Konstruktionsmaterialien muss der von Bauteilen nach 6.2 entsprechen.

Falls eine Kennzeichnung gefordert ist, muss nicht gekennzeichnetes Material als nichtkonform behandelt werden.

5.3 Basiswerkstoffe

In den Tabellen 1 bis 3 sind die in EN 1999 aufgeführten, genormten Werkstoffe und Zustände aufgelistet. Bereits bei der Materialauswahl müssen die vorgesehenen Bearbeitungsverfahren Berücksichtigung finden. Folgende Besonderheiten sollten dabei, soweit zutreffend, berücksichtigt werden:

- Verwendung von Material mit anisotropem Verhalten (hierzu zählen auch Strangpressprofile, die über Kammer- oder Brückenwerkzeuge hergestellt werden);
- Durchführung von Kaltumformarbeiten;
- Vornahme von Schweißungen an Material auf eine Weise, dass u. U. die Materialeigenschaften in Kurz-Quer-Richtung ungünstig beeinflusst werden.

ANMERKUNG 1 Wo Walzmaterial aus EN AW-6082 mit den Schweißzusätzen Al 5356, Al 5556, Al 5356A nach EN ISO 18273 oder mit ähnlichen Schweißzusätzen geschweißt wird und dann im Gebrauch auf Zug senkrecht oder auf Abscheren parallel zur Walzebene beansprucht wird, sollte der Hersteller der Konstruktionsmaterialien mittels Abnahmeprüfzeugnis 3.1 bestätigen, dass das Materialverhalten in Kurz-Quer-Richtung durch diese thermischen Einflüsse nicht in unzulässiger Weise beeinträchtigt wird. Liegt eine derartige Bescheinigung nicht vor, sollte der Fertigungsbetrieb für das zur Verwendung vorgesehene Material eine Schweißverfahrensprüfung nach Anhang C durchführen. Wird als Schweißzusatz Al 4043 nach EN ISO 18273 verwendet, ist eine derartige Bescheinigung nicht notwendig.

- Produktionsbedingte Materialanwärmungen, welche die Materialeigenschaften beeinträchtigen können, z. B. Einbrennlackierungen;
- Schutzmaßnahmen im Hinblick auf eine eventuelle dekorative Oberflächenbehandlung.

ANMERKUNG 2 Für die oben angeführten Fälle empfiehlt sich bereits in der Bestellphase eine entsprechende Abstimmung zwischen Lieferant und Besteller.

Tabelle 1 — Aluminium-Knetlegierungen – Bleche, Platten und Strangpressprofile

Werkstoff nach		Zustand nach EN 515
EN 573-1 und -3 numerisch	EN 573-2 und -3 chemisch	
EN AW-3103	EN AW-Al Mn1	H14; H16; H24; H26
EN AW-3004	EN AW-Al Mn1Mg1	H14; H16; H24; H26; H34; H36
EN AW-3005	EN AW-Al Mn1Mg0,5	H14; H16; H24; H26
EN AW-5005	EN AW-Al Mg1(B)	O/H111; H12; H14; H22; H24; H32; H34
EN AW-5005A	EN AW-Al Mg1(C)	O/H111; H12; H14; H22; H24; H32; H34
EN AW-5049	EN AW-Al Mg2Mn0,8	O; H14; H111; H24; H34
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2.5	H12; H14; H22; H 24; H32; H34

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Werkstoff nach		Zustand nach EN 515
EN 573-1 und -3 numerisch	EN 573-2 und -3 chemisch	
EN AW-5083	EN AW-Al Mg _{4,5} Mn _{0,7}	O/H111; H12; H14; H22; H24; H32; H34; F; H112; H116
EN AW-5383	EN AW-Al Mg _{4,5} Mn _{0,9}	O/H 111; H112; H116; H22/H32; H24/H34
EN AW-5454	EN AW-Al Mg ₃ Mn	O/H111; H14; H24; H34
EN AW-5754	EN AW-Al Mg ₃	O/H111; H14; H24; H34
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg(A)	T6
EN AW-6060	EN AW-Al MgSi	T5; T6; T64; T66
EN AW-6061	EN AW-Al Mg ₁ SiCu	T4; T6; T451; T651
EN AW-6063	EN AW-Al Mg _{0,7} Si	T5; T6; T66
EN AW-6082	EN AW-Al Si ₁ MgMn	T4; T5; T6; T651; T61; T6151; T451
EN AW-6106	EN AW-Al MgSiMn	T6
EN AW-7020	EN AW-Al Zn _{4,5} Mg ₁	T6; T651
EN AW-8011A	EN AW-AlFeSi(A)	H14; H16; H24; H26

Tabelle 2 — Aluminium-Knetlegierungen – Schmiedeteile

Werkstoff nach		Zustand nach EN 515
EN 586 numerisch	EN 586 chemisch	
EN AW-5083	EN AW-Al Mg _{4,5} Mn _{0,7}	H112
EN AW-5754	EN AW-Al Mg ₃	H112
EN AW-6082	EN AW-Al SiMgMn	T6

Tabelle 3 — Aluminiumwerkstoffe – Gussteile (Kokillen- und Sandguss)

Werkstoff ^a nach		Zustand nach EN 1706
EN 1706 numerisch	EN 1706 chemisch	
EN AC-42100	EN AC-Al Si ₇ Mg _{0,3}	Kokillenguss: T6; T64
EN AC-42200	EN AC-Al Si ₇ Mg _{0,6}	Kokillenguss: T6; T64
EN AC-43000	EN AC-Al Si ₁₀ Mg(a)	Kokillenguss: F
EN AC-43300	EN AC-Al Si ₉ Mg	Sandguss: T6 Kokillenguss: T6; T64
EN AC-44200	EN AC-Al Si ₁₂ (a)	Sandguss, Kokillenguss: F
EN AC-51300	EN AC-Al Mg ₅	Sandguss, Kokillenguss: F

^a Anforderungen an die Prüfung von Gussteilen müssen festgelegt sein: Hinweise auf deren Umfang siehe EN 1999-1-1.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

5.4 Erzeugnisse aus Aluminium

Als Konstruktionsmaterialien sind Erzeugnisse nach Tabelle 4 aus Aluminium und Aluminiumwerkstoffen nach 5.3 zu verwenden.

Tabelle 4 — Normen für Aluminiumerzeugnisse

Erzeugnis	Technische Lieferbedingungen	Toleranzen
Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile	EN 755-1	EN 755-3 Rundstangen EN 755-4 Vierkantstangen EN 755-5 Rechteckstangen EN 755-6 Sechskantstangen EN 755-7 nahtlose Rohre EN 755-8 mit Kammerwerkzeug stranggepresste Rohre EN 755-9 Profile
Stranggepresste Präzisionsprofile	EN 12020-1	EN 12020-2
Kalt gezogene Stangen und Rohre	EN 754-1	EN 754-3 Rundstangen EN 754-4 Vierkantstangen EN 754-5 Rechteckstangen EN 754-6 Sechskantstangen EN 754-7 nahtlose Rohre EN 754-8 mit Kammerwerkzeug stranggepresste Rohre
Schmiedeteile	EN 586-1	EN 586-3
Bleche, Bänder und Platten	EN 485-1	EN 485-3 warm gewalzte Erzeugnisse EN 485-4 kalt gewalzte Erzeugnisse
Gussteile	EN 1559-1, EN 1559-4	ISO 8062
Drähte	EN 1301-1	EN 1301-3

5.5 Schweißzusätze

Schweißzusätze müssen die Anforderungen nach EN ISO 18237 erfüllen. Die für die vorgesehenen Basiswerkstoffe zu verwendenden Schweißzusätze müssen festgelegt sein.

ANMERKUNG Empfehlungen für die Wahl der Schweißzusätze siehe EN 1999-1-1.

5.6 Mechanische Verbindungsmittel

5.6.1 Schrauben, Muttern und Scheiben

Die Verschraubungskategorie, Produktnorm, Festigkeitsklasse und sonstige Anforderungen, z. B. Oberflächenbehandlung müssen im Einzelnen festgelegt sein.

Es dürfen nur Verbindungsmittel nach Tabelle 5 verwendet werden. Sofern eine Oberflächenbehandlung vorgesehen ist, sind alle Teile der Garnituren hochfester Verbindungsmittel mit der gleichen Oberflächenbehandlung zu liefern.

Alle Teile einer Verschraubungskombination (Schraube, Mutter und Unterlegscheibe wie in Tabelle 5 aufgeführt) müssen eine einheitliche Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Feuerverzinkte Schrauben und Muttern müssen vom gleichen Hersteller stammen, damit die Gewindegängigkeit gegeben ist. Der Hersteller hochfester Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben ist für deren Feuerverzinkung verantwortlich.

Tabelle 5 — Verschraubungskombinationen und Verschraubungskategorien

Verschraubungs- kategorie nach EN 1999-1-1	Schrauben		Muttern		Unterlegscheiben ^b
	Produktnorm	Festigkeitsklasse	Produktnorm	Festigkeitsklasse	Produktnorm
A, D (Aluminium)	EN ISO 4014 EN ISO 4017	Aluminium nach EN 28839 ^a	EN ISO 4032	Aluminium nach EN 28839 ^a	EN ISO 7091
A, D (Nichtrostender Stahl)	EN ISO 4014 EN ISO 4017 EN ISO 4762 EN ISO 2009	50 nach EN ISO 3506-1	EN ISO 4032	50 nach EN ISO 3506-2	EN ISO 7089 EN ISO 7090
A, D (Nichtrostender Stahl)	EN ISO 4014 EN ISO 4017 EN ISO 4762 EN ISO 2009 EN ISO 7046-2	70 nach EN ISO 3506-1	EN ISO 4032	70 nach EN ISO 3506-2	EN ISO 7089 EN ISO 7090
A, D (Nichtrostender Stahl)		80 nach EN ISO 3506-1		80 nach EN ISO 3506-2	
A, D (Stahl)	EN ISO 4016 EN ISO 4018	4.6 nach EN ISO 898-1	EN ISO 4034 EN ISO 4032	≤ M16: 5 > M16: 4 oder 5 nach EN 20898-2	EN ISO 7091 EN ISO 7089 EN ISO 7090
A, D (Stahl)	EN ISO 4014 EN ISO 4017	5.6 nach EN ISO 898-1	EN ISO 4032	5 nach EN 20898-2	EN ISO 7091 EN ISO 7089 EN ISO 7090
A, D (Stahl)	EN ISO 4014 EN ISO 4017 EN ISO 4762 EN ISO 7046-2 EN ISO 10642	8.8 nach EN ISO 898-1	EN ISO 4032	8 nach EN 20898-2	EN ISO 7091 EN ISO 7089 EN ISO 7090
A, D (Stahl)	EN 14399-7	8.8	EN 14399-3	8	EN 14399-5 EN 14399-6
A, D (Stahl)	EN ISO 10642	10.9 nach EN ISO 898-1	EN ISO 4032	10 nach EN 20898-2	EN ISO 7091 EN ISO 7089 EN ISO 7090
A, D (Stahl)	EN 14399-7	10.9	EN 14399-3	10	EN 14399-5 EN 14399-6
A, B, C, D, E (Stahl)	EN 14399-3	8.8	EN 14399-3	8	EN 14399-5 EN 14399-6
A, B, C, D, E (Stahl)	EN 14399-3	10.9	EN 14399-3	10	EN 14399-5 EN 14399-6

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle 5 (fortgesetzt)

Verschraubungs- kategorie nach EN 1999-1-1	Schrauben		Muttern		Unterlegscheiben ^b
	Produktnorm	Festigkeitsklasse	Produktnorm	Festigkeitsklasse	Produktnorm
A, B, C, D, E (Stahl)	EN 14399-4 EN 14399-8	10.9	EN 14399-4	10	EN 14399-6
<p>ANMERKUNG: In EN 1999-1-1 sind folgende Verschraubungskategorien definiert:</p> <p>A – Scher-/Lochleibungsverbindung;</p> <p>B – Scherfeste, im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gleitfeste Verbindung;</p> <p>C – Scherfeste, bis zum Grenzzustand der Tragfähigkeit gleitfeste Verbindung;</p> <p>D – zugbeanspruchte, nicht vorgespannte Verbindung;</p> <p>E – zugbeanspruchte, vorgespannte Verbindung.</p>					
<p>^a Es dürfen nur Aluminiumwerkstoffe nach EN 1999-1-1 verwendet werden.</p> <p>^b Bei übergroßen Löchern und bei Langlöchern dürfen auch Unterlegscheiben nach EN ISO 7093-1, EN ISO 7093-2 und EN ISO 7094 verwendet werden.</p>					

ANMERKUNG Genormte Produkte mit Sicherheitseigenschaften sind z. B. in EN ISO 2320, EN ISO 7040, EN ISO 7042, EN ISO 7719, EN ISO 10511, EN ISO 10512 und EN ISO 10513 definiert.

5.6.2 Schweißbolzen

Abmessungen und Form von Schweißbolzen müssen EN ISO 13918 entsprechen.

5.6.3 Niete

Niete müssen den Anforderungen nach EN 1999-1-1 entsprechen.

Enthalten Aluminiumwerkstoffe Kupfer als Legierungselement, sollte abhängig von den Umgebungsbedingungen auf eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit geachtet bzw. ein ausreichender Korrosionsschutz in Betracht gezogen werden.

5.6.4 Selbstbohrende und gewindefurchende Schrauben

Selbstbohrende Schrauben müssen den Anforderungen nach EN ISO 15480 und gewindefurchende Schrauben den Anforderungen von EN ISO 1481, EN ISO 7049, EN ISO 1479 oder ISO 10509 entsprechen.

Werden selbstbohrende oder gewindefurchende Schrauben für ähnliche Anwendungen verwendet, wie beim Befestigen von Trapezblechen (d. h. Befestigen dünner Materialteile auf einer dickwandigen Unterkonstruktion), muss bei Wanddicken größer als 2 mm die zu verbindenden Bauteile vorgebohrt oder es müssen Schrauben mit hinterschnittenem Gewinde verwendet werden.

5.6.5 Lager

Lager für Tragwerke müssen jeweils den Anforderungen nach EN 1337-3, EN 1337-4, EN 1337-5, EN 1337-6 bzw. EN 1337-8 entsprechen.

5.7 Klebungen

Anforderungen an die Materialeigenschaften hinsichtlich Kurzzeit- und Langzeitverhalten sind für jeden Fall festzulegen.

ANMERKUNG Es existieren keine Europäischen Normen mit Anforderungen an die Eigenschaften von Klebstoffen, die für tragende geklebte Verbindungen verwendet werden sollen.

6 Bearbeitung

6.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt regelt die Anforderungen bezüglich Materialbearbeitung im Rahmen der Herstellung tragender Aluminiumbauteile. Er gilt auch für die Herstellung von dünnwandigen Bauteilen und Formblechen durch Kaltumformung, jedoch nicht für Produkte mit eigenen Produktnormen.

Tragende Aluminiumbauteile müssen innerhalb der Toleranzvorgaben nach 11.2 hergestellt werden.

ANMERKUNG Schweißen und mechanisches Verbinden siehe Abschnitte 7 und 8.

Anforderungen an Kontrollen, Prüfungen und Nachbesserung siehe 12.3.

6.2 Identifizierbarkeit

Bei den Ausführungsklassen EXC4, EXC3 und EXC2 müssen alle Konstruktionsmaterialien klar und eindeutig gekennzeichnet oder identifizierbar sein (z. B. unterschiedliche Strangpressquerschnitte), wenn Material verschiedener Legierungen oder in unterschiedlichen Zuständen vorhanden ist. Die Kennzeichnung muss dauerhaft sein, z. B. durch Farbe, Aufkleber, Anhänger oder Strichkodierung. Die Art der Kennzeichnung ist zwischen dem Lieferanten der Konstruktionsmaterialien und dem Verarbeiter zu vereinbaren.

Es muss sichergestellt sein, dass durch die Kennzeichnung nicht die Endverwendung des Produktes beeinträchtigt wird. Kennzeichnungen mittels Meißel oder Auftragsschweißung sind nicht zulässig. Schlagzahlen dürfen nur benutzt werden, falls ausdrücklich erlaubt.

Bei den Ausführungsklassen EXC4, EXC3 und EXC2 muss jedes Teil oder Lieferlos gleichartiger Teile eines Aluminiumtragwerks während sämtlicher Fertigungsabschnitte bis zum Zusammenbau eindeutig und dauerhaft gekennzeichnet oder identifizierbar sein.

6.3 Handhabung, Lagerung und Transport

Konstruktionsmaterialien und Bauteile müssen so sicher verpackt, transportiert, befördert und gelagert werden, dass sie nicht verbogen und Oberflächenschädigungen möglichst vermieden werden. Anweisungen der Hersteller und Lieferanten von Konstruktionsmaterialien sind dabei einzuhalten.

Haben sich die Konstruktionsmaterialien so verschlechtert, dass sie nicht mehr den einschlägigen Normen entsprechen, müssen sie als nichtkonform angesehen und behandelt werden.

6.4 Schneiden

Trennschnitte müssen so ausgeführt werden, dass die Anforderungen dieser Europäischen Norm an die Güte der Schnittflächen erfüllt werden.

Trennschnitte können durch Sägen, Abscheren, Stanzen, thermisches Schneiden oder Wasserstrahlschweißen ausgeführt werden. Schnittfehler oder sonstige Oberflächenfehler sind mittels geeigneter mechanischer Verfahren zu beseitigen, z. B. durch Fräsen, Schleifen, Feilen, Schaben.

Falls nicht anders festgelegt, müssen die Flächen von Trennschnitten innerhalb des Bereichs 4 nach EN ISO 9013 liegen. Dies gilt für Rechtwinkligkeit, Neigungstoleranzen sowie die gemittelte Rautiefe.

Scherkanten und gestanzte Ausklinkungen müssen frei von Kerben und Rissen sein, gegebenenfalls sind die Schnittflächen nachzuarbeiten.

Sind scharfe Kanten aus technischen Gründen zu entfernen, so ist dies festzulegen.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

Bauteile aus EN AW-7020 dürfen nur geschert oder gestanzt werden, wenn nachfolgende Bedingungen eingehalten werden:

- Falls geschweißt wird, müssen gescherte oder gestanzte Kanten vollständig aufgeschmolzen werden. Ist dies nicht der Fall, müssen vor dem Schweißen die Kanten um das 0,4-fache der Erzeugnisdicke, höchstens jedoch um 3 mm abgearbeitet werden.
- Falls nicht geschweißt wird und die oben angeführte mechanische Bearbeitung nicht erfolgt, darf stattdessen eine zusätzliche Wärmebehandlung durchgeführt werden. Dies gilt jedoch nur für Wanddicken bis zu 5 mm.

ANMERKUNG Zur Durchführung einer zusätzlichen Wärmebehandlung bei EN AW-7020 siehe 7.7.

6.5 Formgebung

Formgebungen sollten vorzugsweise durch Kaltumformung erfolgen, z. B. Biegen, Abkanten, Prägen. Arbeiten, welche die Werkstoffeigenschaften nennenswert verändern (z. B. Entfestigung durch Anwendung von Wärme; Materialverhärtung als Folge von Kaltumformung), dürfen nur vorgenommen werden, falls dies erlaubt ist und die vorgeschriebenen Prüfungen vorgenommen werden.

Bei Umformarbeiten dürfen keine Risse entstehen.

Umformzonen sind gleich nach der Umformung nach 12.3.1 zu prüfen.

Das Anzeichnen von Biegekanten darf nur mit weichen Graphit- oder Farbstiften erfolgen.

6.6 Löcher für mechanische Verbindungsmittel

Löcher dürfen nur gebohrt, gestanzt, mittels Wasserstrahlschneiden oder mechanisierten thermischen Schneidens hergestellt werden. Die Lochgrößen müssen festgelegt sein, und das Lochspiel muss Tabelle 6 entsprechen. Falls nicht anders festgelegt, müssen die inneren Oberflächen der durch thermisches Schneiden oder Wasserstrahlschneiden hergestellten Löcher innerhalb des Bereichs 4 nach EN ISO 9013:2002 liegen. Dies gilt für Rechtwinkligkeit, Neigungstoleranzen sowie die gemittelte Rautiefe. Grate müssen entfernt werden.

Bei allen Verschraubungskategorien darf ein Stanzen nur bis zu Dicken von 25 mm erlaubt werden. Gestanzte Löcher in zugbeanspruchten Teilen mit Dicken zwischen 16 mm und 25 mm müssen mit einem Untermaß von mindestens 2 mm gestanzt und danach aufgerieben werden.

Teile aus EN AW-7020 dürfen nur unter Beachtung von 6.4 gestanzt werden. Werden die Löcher später mit Schrauben dicht verschlossen, sind die Zusatzmaßnahmen nach 6.4 nicht notwendig.

Werden Löcher für Schrauben bzw. Niete zur Verbindung mehrerer Bauteile gemeinsam in fest zusammengeklebten Zustand gebohrt, müssen die Teile nur dann wieder auseinander genommen und die Grate entfernt werden, wenn dies ausdrücklich festgelegt ist.

Kühl- und Schmiermittel müssen chemisch neutral sein.

Maximales Lochspiel für Verbindungsmittel siehe Tabelle 6.

Tabelle 6 — Maximales Lochspiel für Schrauben, Niete und Bolzen

Art der Verbindung und Verschraubungskategorie	Werkstoff	Nenn-durch-messer mm	Maximales Lochspiel mm
Passverbindungen — (A, D, E)	—	alle	≤ 0,3
Schraubenverbindungen ohne Passung und Bolzen — (A, B, D, E)	—	alle	≤ 1
Verbindungsmittel in übergroßen Löchern — (A, D, E)	—	alle	Der größere Wert von: 2 oder 0,15 × Durchmesser
Vollniete — (A), siehe 5.6.3.	Aluminium	< 13 ≥ 13	≤ 0,4 ≤ 0,8
	Stahl und nichtrostender Stahl	< 13 ≥ 13	≤ 0,8 ≤ 1,6
Hochfeste Schrauben nach EN 14399-3 oder -4 (alle Lagen, oder die zwei äußeren Lagen bei mehr als 3 Lagen) — (C)	Stahl	≤ 24 > 24	≤ 2 ≤ 3
Hochfeste Schrauben nach EN 14399-3 oder -4 (die inneren Lagen bei mehr als 3 Lagen) — (C)	Stahl	alle	≤ 3
Spezialniete und -schrauben	Empfehlungen sind Anhang E zu entnehmen.		
ANMERKUNG Wegen unregelmäßiger oder überschüssiger Zinkauflagen bei den Schrauben sollte das Lochspiel nicht größer gewählt werden.			

Löcher für Passverbindungen werden mindestens 2 mm kleiner als der Gewinde- bzw. Schaftdurchmesser gebohrt und danach aufgerieben. Gehen Verbindungsmittel durch mehrere Lagen hindurch, müssen diese beim Aufreiben fest zusammengehalten werden.

Im Allgemeinen gilt, dass Löcher auch ohne nachträgliches Aufreiben gebohrt werden dürfen, wenn die Bauteile fest zueinander fixiert sind und das maximale Lochspiel eingehalten wird.

Bei Ansenkungen müssen die Ansenkmaße festgelegt sein. Die Ansenkung muss so ausgeführt werden, dass der Schraubenkopf nach dem Einbau blecheben ist.

Der Ansenkwinkel muss mit dem Winkel des Schraubenkopfs übereinstimmen.

Bei Senknieten muss das Ansenken so ausgeführt werden, dass nach dem Nieten der Nietkopf die Ansenkung voll ausfüllt und der Kopf blecheben ist. Das Ansenkmaß muss festgelegt sein.

ANMERKUNG In Bezug auf Löcher für selbstschneidende und gewindefurchende Schrauben siehe 5.6.4.

Bei Langlöchern muss deren Istlänge für Schraubendurchmesser < 20 mm mit einer Abweichung von ± 1 mm und für Schraubendurchmesser ≥ 20 mm mit einer Abweichung von ± 2 mm festgelegt werden. Die Breite darf (d + 1) mm nicht überschreiten (siehe EN 1999-1-1). Bei kurzen Langlöchern darf deren Länge nicht mehr als 1,5 (d + 1) mm und bei langen Langlöchern nicht mehr als 2,5 (d + 1) mm betragen. Langlöcher dürfen nur in einem Anschlussstück einer Verbindung vorhanden sein.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

6.7 Ausschnitte

Einspringende Ecken und Ausklinkungen sind – falls nicht anders festgelegt – mit mindestens 5 mm Radius auszurunden.

Bei gestanzten Ausschnitten an Bauteilen aus EN AW-7020 sind die Anforderungen nach 6.6 und 6.4 zu beachten.

6.8 Oberflächen von Kontaktstößen

Kontaktstöße sind so vorzubereiten, dass sie den Anforderungen nach 11.2.2.3 genügen.

6.9 Zusammenbau

Zur Sicherstellung, dass Bauteile zueinander passen, müssen Probemontagen durchgeführt werden. Wird ein Zusammenbau der gesamten Tragstruktur gefordert, ist dies festzulegen.

Probemontagen müssen so erfolgen, dass dabei die festgelegten Maße und Geometrien aller Komponenten sowie die festgelegte Art und die festgelegten Abmessungen aller Schweißnähte eingehalten werden können.

6.10 Wärmebehandlung

Jegliche Behandlung von Konstruktionsmaterialien aus Aluminium mit Wärme muss nach einem qualifizierten Verfahren durchgeführt werden. Derartige qualifizierte Verfahren können Teil der technischen Unterlagen des Herstellers der Konstruktionsmaterialien sein. Sie dürfen nur bei Vorhandensein geeigneter Einrichtungen vorgenommen werden.

6.11 Richten

Warmrichten ist nicht erlaubt. Ausnahmen sind möglich:

- wenn nicht aushärtbare Legierungen im Zustand O vorliegen;
- wenn andere Legierungen und/oder Zustände vorliegen und die Richtoperationen (durch Flamme oder Richtschweißungen) in mechanisch niedrig beanspruchten Zonen unter genauer Überwachung und Protokollierung der Temperaturen erfolgen.

Die Notwendigkeit der Durchführung derartiger Arbeiten muss aus den Ausführungsunterlagen hervorgehen.

ANMERKUNG Abhängig von Werkstoff und Zustand kann Wärme (Temperatur und Einwirkungsdauer) die Festigkeit und mitunter auch das innere Gefüge des Metalls verändern.

7 Schweißen

7.1 Allgemeines

Schweißen muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen des maßgebenden Teils von EN ISO 3834 durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Eine Anleitung zur Umsetzung von EN ISO 3834 über Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe ist in CEN ISO/TR 3834-6 enthalten.

Bezüglich der einzelnen Ausführungsklassen gilt für:

- EXC1 EN ISO 3834-4 „Elementare Qualitätsanforderungen“;
- EXC2 EN ISO 3834-3 „Standard-Qualitätsanforderungen“;
- EXC3 und EXC4 EN ISO 3834-2 „Umfassende Qualitätsanforderungen“.

ANMERKUNG 2 Bei Schweißungen auf der Oberfläche von Blechen und Platten siehe ANMERKUNG 1 in 5.3.

7.2 Schweißplan

7.2.1 Erfordernis eines Schweißplans

Für die Ausführungsklassen EXC2, EXC3 und EXC4 ist ein Schweißplan unter Beachtung der Anforderungen nach EN ISO 3834-2 oder -3, soweit maßgebend, zu erstellen.

7.2.2 Inhalt eines Schweißplans

Der Schweißplan muss, soweit zutreffend, mindestens die folgenden Punkte enthalten:

- a) Einzelheiten der Verbindung;
- b) Abmessungen und die Art der Schweißnaht;
- c) Schweißnahtvorbereitung einschließlich Entfernen der Oxidschicht;
- d) Schweißanweisungen - eingeschlossen die Anforderungen an die Schweißzusätze und alle Anforderungen für das Vorwärmen und die Zwischenlagen;
- e) Maßnahmen, um Verzug während und nach dem Schweißen zu vermeiden;
- f) Schweißfolge mit allen Einschränkungen hinsichtlich der zulässigen Stellen für die Start- und Stopppositionen, eingeschlossen Zwischenstopp – und Startpositionen, wenn die Nahtgeometrie so ist, dass das Schweißen nicht ununterbrochen ausgeführt werden kann;

ANMERKUNG Falls beim Zusammenbau vorher ausgeführte Schweißnähte überlappt oder unzugänglich werden, muss überlegt werden, welche Schweißnähte zuerst ausgeführt werden müssen und ob die Notwendigkeit besteht, eine Schweißnaht zu bewerten und zu prüfen, bevor eine zweite Schweißnaht ausgeführt wird bzw. bevor abdeckende Bauteile eingebaut werden.

- g) alle Anforderungen bezüglich Zwischenprüfungen;
- h) in Verbindung mit der Schweißfolge jedes Drehen der Bauteile während des Schweißvorganges;
- i) Details aller angewendeten Einspannungen;
- j) alle Anweisungen für die Wärmebehandlung;
- k) spezielle Einrichtungen für die Schweißzusätze (Freihalten von Feuchtigkeit usw.);
- l) Verweis auf 12.4 hinsichtlich des Prüfplans;
- m) Anforderungen an Abnahmebedingungen für Schweißnähte in Verbindung mit 12.4.4;
- n) Anforderungen an die Identifizierbarkeit von Schweißungen.

7.3 Schweißprozesse

Falls nicht anders festgelegt, kann Schweißen mit einem der folgenden (in EN ISO 4063 definierten) Schweißprozesse durchgeführt werden:

- 131: Metall-Inertgasschweißen, MIG-Schweißen;
- 141: Wolfram-Inertgasschweißen, WIG-Schweißen ;
- 15: Plasmaschweißen.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

7.4 Qualifizierung von Schweißverfahren und Schweißpersonal

7.4.1 Qualifizierung von Schweißverfahren

Für die Ausführungsklassen EXC2, EXC3, und EXC4 ist das Schweißen nach qualifizierten Schweißanweisungen in Übereinstimmung mit EN ISO 15609-1 auszuführen.

Für die Ausführungsklassen EXC3 und EXC4 ist die Qualifizierung der Lichtbogen-Schweißverfahren nach EN ISO 15613 oder gegebenenfalls EN ISO 15614-2 durchzuführen. Für die Ausführungsklasse EXC2 ist die Qualifizierung des Schweißverfahrens nach einer der nachfolgenden Normen durchzuführen: EN ISO 15612, EN ISO 15613, EN ISO 15614-2.

Für andere Schweißprozesse sind EN ISO 15613 und, soweit geeignet, der zutreffende Teil von EN ISO 15614 anzuwenden.

Werden die Qualifizierungsmethoden nach EN ISO 15613 oder EN ISO 15614-2 angewendet, müssen die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- a) Stumpfnähte qualifizieren nicht Kehlnähte;
- b) für die Qualifizierung von Kehlnähten muss die Verfahrensprüfung nach Anhang C eingeschlossen sein.

Schweißanweisungen für Verbindungen in Fachwerktragwerken aus Hohlprofilen müssen die Zonen für Beginn und Ende der Schweißung bestimmen, sowie die Methode, wie der Übergang von Kehlnaht zu Stumpfnahnt zu bewerkstelligen ist.

Wenn Schmiedeteile geschweißt werden müssen, kann es in Abhängigkeit von deren Form notwendig werden, die mechanisch-technologischen Werte der Schweißnaht durch eine vorgezogene Arbeitsprüfung nachzuweisen.

Gussteile dürfen nicht geschweißt werden, es sei denn, dies ist ausdrücklich vorgeschrieben.

Eine Übersicht zur Erstellung und Anwendung einer Schweißanweisung ist Anhang N zu entnehmen.

7.4.2 Gültigkeit der Qualifizierung eines Schweißverfahrens

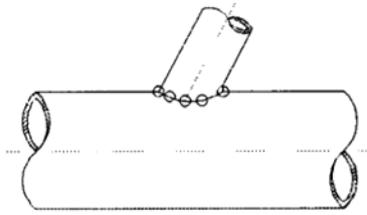
Wenn ein nach EN ISO 15614-2 qualifiziertes Schweißverfahren für einige Zeit vom Hersteller nicht angewendet worden ist, müssen die folgenden Prüfungen durchgeführt werden:

- a) Ist ein Schweißverfahren seit mehr als ein Jahr nicht angewendet worden, muss vom Hersteller eine Arbeitsprüfung durchgeführt werden, bei der Form und Abmessungen den Anforderungen nach EN ISO 15614-2 und gegebenenfalls dem Anhang C dieser Europäischen Norm entsprechen. Die Untersuchung und Prüfung muss einschließen: Sichtprüfung, Radiographie, Oberflächenrissprüfung und Makro-Schliffuntersuchung;
- b) Ist ein Schweißverfahren in einem Zeitraum von drei Jahren nicht angewendet worden, muss vom Hersteller eine neue Schweißverfahrensprüfung durchgeführt werden.

7.4.3 Qualifizierung der Schweißer und Bediener

Schweißer müssen nach EN ISO 9606-2 und Bediener nach EN 1418 qualifiziert sein.

Für das Schweißen von Fachwerktragwerken aus Hohlprofilen müssen die Schweißer durch eine einseitige Schweißprüfung, ausgeführt an einem Rohrknotenanschluss nach Bild 1, qualifiziert sein.

**Bild 1 — Rohrknötenschluss**

ANMERKUNG Bei Rohrknötenschlüssen kann die Schweißnaht am Umfang von Stumpfnah zu Kehlnah wechseln.

Berichte über die Prüfungen aller Schweißer und Bediener sind für eine Überprüfung aufzubewahren.

7.4.4 Schweißaufsichtspersonal

Für die Ausführungsklassen EXC2, EXC3 und EXC4 muss während der Schweißarbeiten die Schweißaufsicht durch eine ausreichend qualifizierte Schweißaufsichtsperson sichergestellt werden. Sie muss über Erfahrungen, wie in EN ISO 14731 festgelegt, in den zu überwachenden Schweißarbeiten verfügen.

Erforderliche technische Kenntnisse des Schweißaufsichtspersonals siehe Tabelle 7.

Tabelle 7 — Erforderliche technische Kenntnisse des Schweißaufsichtspersonals

Ausführungs- klasse	Basiswerkstoff	Art des Schweißzusatzes			
		Typ 3, Typ 4		Typ 5	
		Material-Nennstärke in mm		Material-Nennstärke in mm	
		$t \leq 12^a$	$t > 12$	$t \leq 12^a$	$t > 12$
EXC2	3xxx, 5xxx	B	S	B	S
	andere			S	
EXC3	3xxx, 5xxx	S	S	S	C
	andere		C	C	
EXC4	alle	C			
ANMERKUNG Diese Tabelle enthält keine Empfehlungen über die Kombinierbarkeit der Konstruktionsmaterialien (Basiswerkstoff und Schweißzusatz). Erlaubte und empfohlene Kombinationen siehe EN 1999-1-1.					
^a Endplatten bis zu 25 mm Dicke.					
B Technische Basiskenntnisse nach EN ISO 14731.					
S Spezielle technische Kenntnisse nach EN ISO 14731.					
C Umfassende technische Kenntnisse nach EN ISO 14731.					

7.5 Vorbereitung und Ausführung der Schweißarbeiten

7.5.1 Allgemeines

Schweißungen sind in Übereinstimmung mit den in EN 1011-1 und EN 1011-4 angegebenen Empfehlungen durchzuführen.

Werden andere Schweißprozesse als in 7.3 aufgeführt angewendet, müssen die Anforderungen an die Schweißungen festgelegt und diese durch eine geeignete Schweißverfahrensprüfung qualifiziert sein.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

Das Zeitintervall zwischen Reinigen und Schweißen muss so kurz wie möglich sein und darf 4 Stunden nicht überschreiten.

7.5.2 Schweißnahtvorbereitung

Es gelten die in EN 1011-1 und EN 1011-4 angegebenen Empfehlungen. Zusätzlich gilt:

- Die Nahtvorbereitung einschließlich geometrischer Abweichungen und Passgenauigkeit muss den Bedingungen der Schweißverfahrensprüfung entsprechen;
- müssen Fehler in Bezug auf die Geometrie der Verbindung durch Auftragsschweißung korrigiert werden, ist dafür ein qualifiziertes Schweißverfahren anzuwenden. Es muss dabei nachgewiesen werden, dass dadurch die Tragwerkseigenschaften nicht beeinträchtigt werden.

7.5.3 Witterungsschutzmaßnahmen

Sowohl Schweißer und Bediener als auch der Arbeitsplatz müssen ausreichend gegenüber Witterungseinflüssen, besonders gegen Wind geschützt sein.

Die zu verschweißenden Oberflächen müssen trocken und frei von Kondenswasser gehalten werden.

Liegt die Temperatur von zu schweißendem Material unter 5 °C, kann ein Vorwärmen erforderlich sein, wobei dies auf geeignete Weise zu geschehen hat.

7.5.4 Zusammenbau zum Schweißen

Es gelten die in EN 1011-1 und EN 1011-4 angegebenen Empfehlungen. Zusätzlich gilt:

- Die zu verschweißenden Bauteile müssen ausgerichtet und durch Heftnähte oder durch von außen wirkende Hilfsmittel in Position gehalten sein und müssen dies in der Anfangsphase auch bleiben;
- der Zusammenbau muss so ausgeführt werden, dass das Aneinanderpassen der Anschlüsse und die Endmaße der Bauteile innerhalb der festgelegten Toleranzen liegen. Dabei sind angemessene Zugaben für Verzug und Schrumpfung zu berücksichtigen;
- die zu verschweißenden Bauteile müssen so zusammengebracht und in Position gehalten werden, dass die zu schweißenden Anschlüsse für das Schweißen ohne Weiteres zugänglich und für Schweißer/Bediener sowie die Schweißaufsicht gut zu übersehen sind.

7.5.5 Montagehilfen

Es muss festgelegt sein, ob das Anschweißen von Montagehilfen erlaubt ist. Ist dies der Fall, müssen jene Bereiche festgelegt werden, wo ein Anschweißen derartiger Hilfen nicht erlaubt ist.

Es gelten die in EN 1011-1 und EN 1011-4 angegebenen Empfehlungen. Zusätzlich gilt:

- Alle Anschweißungen von Montagehilfen sind in Übereinstimmung mit einer Schweißanweisung auszuführen;
- müssen angeschweißte Montagehilfen durch Schneiden oder Spanen entfernt werden, ist die Oberfläche des Basiswerkstoffes anschließend sorgfältig glatt und blechen zu bearbeiten.

7.5.6 Heftnähte

Es gelten die in EN 1011-1 und EN 1011-4 angegebenen Empfehlungen. Zusätzlich gilt:

- Heftnähte dürfen nur an für Nahtanfang bzw. Nahtende geeigneten Stellen ausgeführt werden;
- bei Verbindungen der Ausführungsklassen EXC3 und EXC4, die mit einem automatischen oder voll mechanisierten Verfahren geschweißt werden, müssen die Bedingungen für das Legen der Heftnähte in der Schweißanweisung enthalten sein.

7.5.7 Vorwärmen und Zwischenlagentemperaturen

Vorwärmtemperaturen und maximale Zwischenlagentemperaturen müssen den Empfehlungen von EN 1011-4 entsprechen.

7.5.8 Stumpfnähte

Es gelten die in EN 1011-1 und EN 1011-4 angegebenen Empfehlungen. Zusätzlich gilt:

- Die Stelle, an der über Stumpfstoß verfügbare Materiallängen auf benötigte Längen gebracht werden, muss festgelegt sein;
- in den Ausführungsklassen EXC3 und EXC4, und falls ausdrücklich festgelegt auch in Ausführungsklasse EXC2, sind An- und Auslaufbleche zu verwenden, um die volle Nahtdicke auch am Rand sicherzustellen;
- nach Fertigstellung der Schweißungen sind alle An- und Auslaufbleche bzw. sonstigen Fertigungshilfen unter Einhaltung der Regeln in 7.5.5 zu entfernen.

7.5.9 Schlitz- und Lochnähte

Es ist sicherzustellen, dass die Gestaltung der Löcher für Schlitz- und Lochnähte ausreichenden Zugang für das Schweißen gewährleistet. Die Abmessungen müssen festgelegt sein.

Die erste Lage muss sich über den ganzen Lochumfang erstrecken.

Lochnähte dürfen nur gemacht werden, nachdem die Kehlnähte im Schlitz mit zufriedenstellendem Ergebnis überprüft worden sind. Falls nicht anders festgelegt, sind Lochnähte ohne vorheriges Schlitzschweißen nicht zulässig.

7.5.10 Sonstige Schweißnähte

Die Anforderungen an Schweißnähte, die mit anderen Schweißprozessen ausgeführt werden als in 7.3 aufgeführt, sind festzulegen. Die Schweißnähte müssen die Regelanforderungen dieser Europäischen Norm an Schweißnähte erfüllen.

7.6 Abnahmekriterien

Abnahmekriterien siehe 12.4.4.

7.7 Wärmenachbehandlung

Wird eine vollständige Wärmebehandlung (d. h. Lösungsglühen, Abschrecken und Auslagern) oder eine Wärmenachbehandlung geschweißter Bauteile gefordert, muss dies nach einem qualifizierten Verfahren geschehen. Der Einfluss der Wärmebehandlung muss durch eine Verfahrensprüfung nach EN ISO 15614-2 nachgewiesen werden. Dies ist auch erforderlich, wenn eine Reparaturschweißung eine Wärmenachbehandlung erfordert, mit Ausnahme bei der Legierung EN AW-7020, für die Anmerkung 3 entsprechende Empfehlungen enthält.

Mit dem Verfahren ist nachzuweisen, dass mit der gewählten Methode die Anforderungen an die Festigkeit und ausreichende Formstabilität und Maßhaltigkeit sichergestellt werden können. Gegebenenfalls sind dabei weitere Anforderungen an die Qualität zu berücksichtigen, z. B. eine anodische Oxidation.

ANMERKUNG 1 Hinweise zu Wärmenachbehandlungen nach dem Schweißen siehe CR ISO 17663. Weitergehende und spezifische Hilfe kann vom Hersteller der Konstruktionsmaterialien erhalten werden.

ANMERKUNG 2 Eine Wärmebehandlung in Form einer Warmauslagerung hat praktisch keinen Einfluss auf Form und Maßhaltigkeit eines Tragwerkteils.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

ANMERKUNG 3 Für die Warmauslagerung von Konstruktionsmaterialien aus EN AW-7020 und auch für die Wärmenachbehandlung geschweißter Bauteile aus dieser Legierung hat sich nachstehende Temperaturführung bewährt:

- 1. Stufe > 3 Tage bei Raumtemperatur
- 2. Stufe 8 bis 10 Stunden bei $+90\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (Metalltemperatur)
- 3. Stufe 14 bis 16 Stunden bei $+145\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (Metalltemperatur)

Bei Reparaturschweißungen an Bauteilen aus EN AW-7020 können reparierte Bereiche durch das Auflegen von Heizmatten wärmenachbehandelt werden. Dabei hat sich nachfolgende Wärmebehandlung bewährt:

- 22 bis 26 Stunden bei $+120\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (Metalltemperatur)

Geschweißte Bauteile aus EN AW-7020, die keiner Wärmenachbehandlung unterliegen, dürfen erst nach einer Kaltaushärtezeit von 30 Tagen voll belastet werden. Diese Kaltaushärtezeit kann durch eine spezielle Wärmebehandlung in Übereinstimmung mit einer Verfahrensweisung verkürzt werden.

ANMERKUNG 4 Folgende Wärmebehandlung hat sich hierbei bewährt:

- 60 Stunden bei $+60\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (Metalltemperatur)

Die Durchführung der Wärmebehandlung ist zu dokumentieren (Temperatur und Zeit).

8 Mechanische Verbindungen und Klebungen

8.1 Zusammenbau mit mechanischen Verbindungsmitteln

8.1.1 Vorbereitung von Kontaktflächen

Beim Zusammenbau müssen Kontaktflächen (beschichtet oder unbeschichtet) frei von jeglichen Verunreinigungen sein. Die Kontaktflächen müssen glatt und gratfrei sein, um ein festes Zusammenfügen der Teile zu ermöglichen.

Öl ist mit Hilfe chemischer Reinigungsmittel zu entfernen; Flammreinigen ist nicht erlaubt.

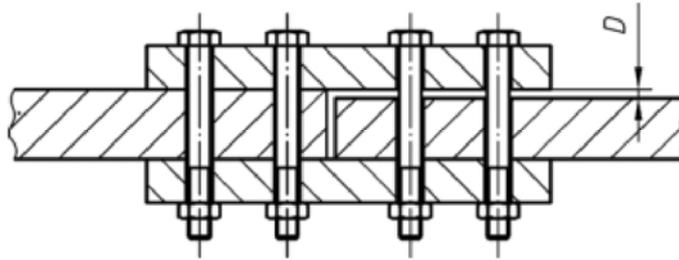
Wird ein Abdichten von Kontaktflächen gefordert, ist Abschnitt 10 anzuwenden.

8.1.2 Passgenauigkeit

Sind einzelne Bauteile Bestandteil der gleichen Lage, darf der Dickenunterschied zwischen ihnen nicht größer als D sein, wobei im Allgemeinen D gleich 1 mm und bei vorgespannten Verbindungen gleich 0,5 mm ist (siehe Bild 2). Werden Futterbleche zum Ausgleichen verwendet, dürfen diese nicht dünner als 1 mm sein.

ANMERKUNG 1 In ausgeprägt korrosiver Umgebung kann zur Verhütung von Spaltkorrosion eine Abdichtung der Spalte erforderlich werden.

ANMERKUNG 2 Dicken sollten so gewählt werden, dass maximal drei Futterbleche zur Verwendung kommen.

**Legende**

D Dickenunterschied

Bild 2 — Dickenunterschiede von Teilen der gleichen Lage

Futterbleche müssen im Vergleich zum anliegenden Material der Verbindung vergleichbare Korrosionseigenschaften und Festigkeit aufweisen. Werden hier unterschiedliche Metalle verwendet, müssen die Gefahr und Folgen von Kontaktkorrosion gründlich abgeschätzt werden.

ANMERKUNG 3 Bei nach 8.3.2 vorgespannten Schraubenverbindungen ist es nicht erforderlich, diese zusätzlich gegen Lösen zu sichern.

Bei vorgespannten Verbindungen müssen die Teile sauber zusammenpassen und fluchten, bevor die Schrauben eingebaut werden (falls notwendig, muss mit Dornen oder Heftschrauben gearbeitet werden).

8.1.3 Vorbereitung der Kontaktflächen bei gleitfesten Verbindungen

Bei vorgespannten Verbindungen müssen Kontaktflächen maßlich ausgewiesen sein.

Falls nicht anders angegeben, müssen Kontaktflächen leicht gestrahlt werden, bis eine Rauheit von $R_a = 12,5$ erreicht ist. Für die Messung ist EN ISO 4288 anzuwenden.

Für andere Oberflächenbehandlungen kann der Reibbeiwert nach Anhang D bestimmt werden. Stimmt der gemessene Reibbeiwert nicht mit dem geforderten Wert überein, sind entsprechende Abhilfemaßnahmen zu treffen.

Während Verarbeitung und Montage müssen alle notwendigen Vorkehrungen getroffen werden, damit die geforderten Eigenschaften der Reibflächen erreicht werden und erhalten bleiben.

8.2 Geschraubte Verbindungen**8.2.1 Allgemeines**

Die Kombination von Schraube, Mutter und Unterlegscheibe muss den Regelungen von Tabelle 5 entsprechen.

Bei vorgespannten Schrauben und Schrauben unter Zug muss das Schraubengewinde mindestens einen Gewindegang über die Mutter hinausragen. Bei Schrauben der Kategorie A reicht es aus, wenn die Schraube mit der Außenfläche der Mutter abschließt.

Bei nicht vorgespannten Verbindungen muss zwischen der bauteilseitigen Innenfläche der Mutter und dem Gewindeende am glatten Schaft (zusätzlich zum Gewindeauslauf) mindestens ein voller Gewindegang liegen.

Bei vorgespannten Schrauben nach EN 14399-3 und EN 14399-7 müssen zwischen der bauteilseitigen Innenfläche der Mutter und dem Gewindeende am glatten Schaft (zusätzlich zum Gewindeauslauf) mindestens vier volle Gewindegänge liegen.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

Bei vorgespannten Schrauben nach EN 14399-4 und EN 14399-8 muss deren Klemmlänge den Festlegungen von EN 14399-4 entsprechen.

Bei Langlöchern darf das Gewinde nicht in die zu verbindenden Teile hineinreichen, wenn die Langlochverbindung planmäßig zur Aufnahme temperaturbedingter Ausdehnungen vorgesehen ist. Wenn Schraubenköpfe oder Muttern direkt an Bauteilen mit Langlöchern zu liegen kommen, sind große Unterlegscheiben oder Beibleche zu verwenden, um die Lochung völlig abzudecken.

8.2.2 Schrauben

Falls nicht anders festgelegt, darf an Schrauben nicht geschweißt werden.

Beim Einsetzen der Schrauben darf das Gewinde nicht beschädigt werden.

Der Einsatz von Schrauben in Bauteilen mit Innengewinde erfordert hinsichtlich Gewindepassung und Anziehverhalten eine spezielle Abstimmung mit dem Hersteller der Konstruktionsmaterialien.

8.2.3 Passverbindungen

Vorgespannte und nicht vorgespannte Schraubenverbindungen können als Passverbindungen ausgeführt werden.

Das Gewinde bei Passverbindungen darf nicht in der Scherebene liegen. Falls nicht anders angegeben, darf der Gewindeanteil im Lochleibungsbereich nicht mehr als ein Drittel der Plattendicke betragen, siehe Bild 3.

ANMERKUNG Der Gewindeauslauf ist dem Gewindeteil der Schraube zuzurechnen.

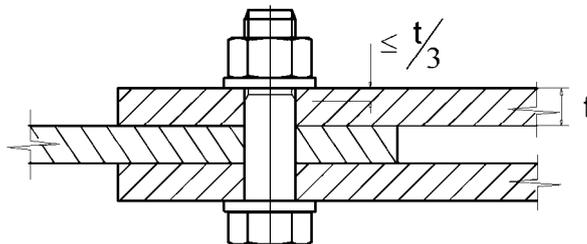


Bild 3 — Maximaler Gewindeanteil im Lochleibungsbereich bei Passverbindungen

Bei Passverbindungen sind die Schrauben ohne besondere Krafteinwendungen einzusetzen, so dass das Gewinde nicht beschädigt wird.

8.2.4 Senkschrauben

Senkschrauben dürfen in Verbindungen verwendet werden, wenn das Dickennenmaß des dem Kopf zugewandten Außenblechs 1,5 mm größer ist als die Höhe des Senkkopfs.

8.2.5 Muttern

Bei den Ausführungsgruppen EXC1, EXC2 und EXC3 müssen Schraubensicherungen nur verwendet werden, wenn dies vorgeschrieben ist. Bei der Ausführungsgruppe EXC4 sind die Muttern nicht vorgespannter Schrauben immer zu sichern.

ANMERKUNG 1 Das Sichern von Muttern kann mittels verschiedener Maßnahmen geschehen, z. B. durch Muttern mit Klemmteil, Kontermuttern, Sicherungsklebstoffe.

Muttern müssen auf den zugehörigen Schrauben leicht, mit der Hand drehbar sein. Muss ein Werkzeug zum Aufschrauben der Mutter verwendet werden, muss die Leichtgängigkeit festgestellt werden, nachdem die Mutter vor dem endgültigen Anziehen nochmals gelöst worden ist. Dies muss bei jeder neuen Charge von Muttern und Schrauben erfolgen.

ANMERKUNG 2 Bei einigen Arten von Schraubensicherungen sind die Muttern nicht leichtgängig.

Gewinde von Schrauben aus Aluminium und nichtrostendem Stahl müssen vor der Montage geschmiert werden, wenn die Verbindung später wieder gelöst werden soll.

Bei den Ausführungsklassen EXC3 und EXC4 müssen Muttern so eingebaut werden, dass nach dem Einbau das Zeichen des Mutterherstellers für Kontrollzwecke sichtbar ist.

ANMERKUNG 3 Das bedeutet, dass Muttern mit Ansatz richtig montiert sind, obwohl dies in Bezug auf das Tragverhalten nicht notwendig wäre.

Werden Muttern auf Stangen mit Außengewinde geschraubt, ist eine Abstimmung mit dem Hersteller derselben in Bezug auf die Gewindepassung und das Anziehen der Mutter erforderlich.

8.2.6 Unterlegscheiben

Unterlegscheiben müssen sowohl auf der Schraubenkopfseite als auf der Mutterseite verwendet werden. Vorgespannte Schraubengarnituren System HR müssen Unterlegscheiben mit Fase (EN 14399-6) unter dem Schraubenkopf und Unterlegscheiben mit Fase (EN 14399-6) oder glatte Unterlegscheiben (EN 14399-5) unter der Mutter haben. Vorgespannte Schraubengarnituren System HV müssen Unterlegscheiben mit Fase (EN 14399-6) unter Schraubenkopf und Mutter haben. Die Fase muss immer zum Schraubenkopf bzw. zur Mutter hin gerichtet sein.

Unterlegbleche dürfen nicht dünner als 4 mm sein.

Unter einer Mutter dürfen bis zu 2 Unterlegscheiben angeordnet werden.

Es muss festgelegt sein, ob normale (EN ISO 7089) oder übergroße Unterlegscheiben (EN ISO 7093, EN ISO 7094) benutzt werden müssen.

Die Auflageflächen am Bauteil dürfen gegen die Auflageflächen von Schraubenkopf bzw. Mutter um nicht mehr als 2 % geneigt sein.

8.3 Anziehen von Schraubenverbindungen

8.3.1 Nicht vorgespannte Verbindungen

Die zu verbindenden Bauteile müssen so zusammengezogen werden, dass sie eine gute Anlage erreichen. Zum Ausgleichen dürfen Futterbleche verwendet werden. Bei dickerem Material ($t \geq 8$ mm) dürfen Spalte von bis zu 2 mm zurückbleiben, falls nicht voller Kontakt ausdrücklich vorgeschrieben ist.

Beim Zusammenbau muss jede Verschraubung zumindest "handfest" angezogen werden, ohne die Schrauben oder die Kontaktflächen unter Schraubenkopf bzw. Mutter zu überlasten. Bei größeren Anschlüssen muss das Anziehen von der Mitte aus fortschreitend zum Rand hin erfolgen. Es ist möglich, dass zum gleichmäßigen "Handfest"-Anziehen mehr als ein Anziehdurchgang erforderlich ist. Vorsicht ist geboten, damit kurze Schrauben oder Schrauben mit Durchmessern kleiner als 12 mm nicht überzogen werden.

Schraubensicherungen sind in Übereinstimmung mit den Festlegungen zu verwenden.

Es dürfen nur neutrale Schmiermittel benutzt werden.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

ANMERKUNG 1 Der Begriff "handfest" ist im Allgemeinen dadurch gekennzeichnet, dass er durch die Kräfte einer Person mit einem normalen Schraubenschlüssel ohne Verlängerung erreicht wird. Dies kann dem Arbeitspunkt eines Schlagschraubers gleichgesetzt werden, wenn dieser zu hämmern beginnt.

ANMERKUNG 2 Eine Überbeanspruchung der Kontaktflächen unter Schraubenkopf und Mutter kann zum Kriechen führen und dadurch die Anziehungskräfte vermindern.

8.3.2 Vorgespannte Verbindungen

Bevor mit dem eigentlichen Vorspannen begonnen wird, sind die verbundenen Teile auszurichten und die Schrauben einer Schraubengruppe nach 8.3.1 voranzuziehen, wobei die Breite der Restspalte auf 0,5 mm begrenzt ist.

Das Anziehen muss durch Drehen der Mutter erfolgen, es sei den, dass die Zugänglichkeit von der Mutterseite her wegen der Lage der Schraube nicht möglich ist.

Das Anziehen muss so geschehen, indem von der steifsten Stelle der Verbindung ausgehend fortschreitend zu den weniger steifen Stellen angezogen wird. Um eine gleichmäßige Vorspannung zu erreichen, kann es möglich sein, dass hierzu mehr als Anziehdurchgang notwendig ist.

ANMERKUNG 1 Die steifste Stelle liegt üblicherweise in der Mitte einer Schraubengruppe.

Bei gleitfesten Verbindungen müssen die Schrauben so angezogen werden, dass die geforderte Vorspannkraft langfristig erhalten bleibt. Mit Effekten wie Relaxation, Kriechen und Setzen muss gerechnet werden, weshalb – falls nicht anders festgelegt -- alle Verbindungen nach 72 Stunden nachgezogen werden müssen.

Falls nicht anders festgelegt, gilt als anzusetzende Vorspannkraft:

$$F_{p,C} = 0,7 \times f_{ub} \times A_S \quad (1)$$

Dabei ist

$F_{p,C}$ die Vorspannkraft;

f_{ub} der charakteristische Wert für die Zugfestigkeit des Schraubenmaterials;

A_S die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube,

wie in EN 1999-1-1 definiert.

Tabelle 8 enthält Werte für die Vorspannkraft.

Tabelle 8 — Vorspannkraft in kN

Festigkeits- klasse	Schraubendurchmesser in mm							
	12	16	20	22	24	27	30	36
8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

ANMERKUNG 2 Ist die Vorspannung nicht Bestandteil einer Bemessung auf Gleitfestigkeit und wird sie nur aus Montagegründen oder als Qualitätsmaßnahme verlangt, kann die Höhe der Vorspannung auch niedriger festgelegt werden.

Bei gleitfesten Verbindungen muss das Anziehen nach dem Drehmoment-Verfahren nach EN 1090-2 erfolgen. Bei anderen vorgespannten Verbindungen können — falls entsprechend festgelegt — das Drehmoment-Verfahren, die kombinierte Methode oder das Verfahren mit direkter Belastungsanzeige nach EN 1090-2 zur Anwendung kommen.

Das Verfahren mit direkter Belastungsanzeige darf nur in trockener Umgebung angewendet werden.

Die benutzten Drehmomentenschlüssel müssen mit einer Genauigkeit von ± 4 % nach EN ISO 6789 arbeiten. Jeder Schlüssel muss mindestens einmal am Tag sowie bei Pressluftschraubern immer beim Wechseln der Schlauchlänge auf Genauigkeit überprüft werden. Eine Überprüfung muss auch nach gewissen Vorkommnissen, wie harten Schlägen, Fall des Geräts, Überlastung, u. Ä., erfolgen.

Grundsätzlich müssen hochfeste Schrauben ohne Veränderung des lieferantenseitigen Schmiermittels eingesetzt werden. Falls zusätzliche Schmiermittel verwendet werden, ist deren Eignung für die Schraubengarnitur nach EN 14399-2 zu prüfen.

Wird eine Schraubengarnitur, die bis zum Mindest-Vorspannwert angezogen wurde, später gelöst, muss diese ausgebaut und durch eine neue ersetzt werden.

Schraubengarnituren, die in gleitfesten Verbindungen nicht bis zum Vorspannwert angezogen wurden, können wiederbenutzt werden.

Das Anziehverfahren ist nach EN 1090-2 zu kalibrieren.

8.4 Nieten

8.4.1 Allgemeines

Es gelten die Festlegungen von 8.1.1 und 8.1.2.

Niete müssen kalt geschlagen werden.

Jeder Niet muss von ausreichender Länge sein, damit ein gleichmäßiger Kopf mit den vorgegebenen Abmessungen ausgebildet wird.

8.4.2 Einbau von Nieten

Niete müssen so vernietet werden, dass sie ihr Loch völlig ausfüllen. Die Köpfe dürfen gegenüber dem Schaft nicht versetzt sein und müssen dicht an den Oberflächen anliegen. Hohl- und andere Spezialniete müssen mit Werkzeugen und Verfahrensweise nach Vorgaben des Herstellers derselben verarbeitet werden. Lockere oder beschädigte Niete müssen entfernt werden, vorzugsweise durch Aufbohren oder Abarbeiten des Kopfes und nachherigem Herausschlagen des Schafts.

Die zu verbindenden Teile müssen so zusammengehalten werden, dass sie untereinander in festem Kontakt sind, der auch beim Nieten erhalten bleiben muss.

Bei Anschlüssen mit größerer Nietenzahl, muss der Anschluss vor dem Nieten mindestens in jedem vierten Loch mit Heftschrauben zusammengezogen oder mit speziellen Vorrichtungen so zusammengehalten werden, dass die Verbindung ohne Verschieben der Teile und korrekt ausgerichtet ausgeführt werden kann.

Bei Vernietung mit Einzelnieten müssen die Teile mit speziellen Vorrichtungen zusammengehalten werden.

ANMERKUNG Wenn immer möglich, sollte das Nieten mit Maschinen des Dauerdrucktyps erfolgen. Dabei sollte der Arbeitsdruck nach dem Stauchen noch für kurze Zeit aufrechterhalten werden.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

8.5 Befestigung kaltgeformter Bauteile und Profiltafeln

Bezüglich der Befestigung kaltgeformter Bauteile und Profiltafeln siehe Anhang E.

8.6 Geklebte Verbindungen

Die Methode, mit der geklebte Verbindungen hergestellt werden, muss festgelegt sein, und es muss auch dokumentiert sein, dass der Prozess wiederholbar ist.

Die Anforderungen an die Überwachung des Verklebungsprozesses in der Produktion, der Umfang der Prüfungen und die Abnahmekriterien müssen festgelegt sein.

9 Montage

9.1 Allgemeines

Werden Schweißungen auf der Baustelle oder außerhalb der Werkstatt durchgeführt, müssen Schutzmaßnahmen, Zugang und die Arbeits- und Arbeitsplatzbedingungen so sein, dass trockene, zugfreie, mit Werkstattbedingungen vergleichbare Verhältnisse herrschen.

Die Bearbeitung von Material auf der Baustelle, wie auch Schweißen, Einbau mechanischer Verbindungsmittel, Klebungen und Oberflächenarbeiten sind nach den Abschnitten 6, 7, 8 bzw. 10 durchzuführen.

9.2 Baustellenbedingungen

Empfehlungen in Bezug auf die Beschreibung der Baustellenbedingungen siehe Anhang K.

9.3 Montageanweisungen

Es müssen Montageanweisungen erstellt werden, und es muss geprüft werden, dass diese mit den Bemessungsannahmen verträglich sind. Dies gilt insbesondere für die Standfestigkeit des teilweise errichteten Tragwerks bezüglich Beanspruchungen, die bei der Montage entstehen.

ANMERKUNG Montageanweisungen dürfen von der Montagekonzeption abweichen, vorausgesetzt, dass sie eine sichere Alternative darstellen.

Umstände, die für die Abfassung von Montageanweisungen zu beachten sind, siehe Anhang K.

9.4 Auflagerstellen

Sämtliche Fundamente und Auflagerstellen müssen für die Aufnahme des Tragwerks fertig vorbereitet sein.

Mit der Montage darf nicht begonnen werden, wenn nicht nachgewiesen werden konnte, dass die Auflagerstellen den Anforderungen entsprechen.

Die vermessungstechnische Nachprüfung der Auflagerstellen ist mit einem Vermessungsprotokoll zu dokumentieren.

Der Einbau von Lagern muss nach EN 1337-11 erfolgen.

9.5 Montagearbeiten

9.5.1 Vermessung auf der Baustelle

Vermessungen auf der Baustelle müssen sich auf ein System beziehen, welches für das Ausrichten und Vermessen der Aluminiumkonstruktion nach ISO 4463-1 vereinbart wurde.

Es muss ein Vermessungsprotokoll über das Sekundärsystem aufgezeichnet werden, welches als Referenzsystem für das Ausrichten des Tragwerks und zum Feststellen aller Abweichungen der Auflagerstellen benutzt wird. Die auf dem Protokoll basierenden Koordinaten des Sekundärsystems dürfen als richtig angenommen werden, vorausgesetzt, dass die Abnahmekriterien nach ISO 4463-1 eingehalten worden sind.

Die Bezugstemperatur für das Ausrichten und Vermessen des Aluminiumtragwerks ist vorzugeben.

9.5.2 Kennzeichnung

Bauteile müssen für den Zusammenbau klar gekennzeichnet auf die Baustelle geliefert werden.

Falls nicht aus der Form des Bauteils ersichtlich, muss aus der Kennzeichnung die Einbaulage ersichtlich sein.

9.5.3 Transport und Lagern auf der Baustelle

Bauteile müssen so transportiert und gestapelt werden, dass die Gefahr von Beschädigungen möglichst klein ist.

Verbindungsmittel müssen auf der Baustelle trocken gelagert werden. Sie müssen auf geeignete Weise verpackt und gekennzeichnet sein.

Kleinteile und Zubehör müssen auf geeignete Weise verpackt und gekennzeichnet sein.

9.5.4 Montageverfahren

Die Montage ist in Übereinstimmung mit den Montageanweisungen auszuführen, und zwar so, dass jederzeit die Standsicherheit des Aluminiumtragwerks und der Montagehilfskonstruktion sichergestellt ist.

Alle Anschlüsse der Montagehilfskonstruktion sind wie vorgegeben auszuführen. Sie dürfen das eigentliche Tragwerk weder schwächen noch dessen Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen.

Sieht das Montageverfahren nach dem Zusammenbau ein Verschieben oder Bewegen des Tragwerks oder von Teilen desselben in die Endposition vor, müssen Vorkehrungen getroffen werden, damit dabei unkontrollierte Bewegungen ausgeschlossen sind. Mit ausreichend dimensionierten Stoßaufnahmevorrichtungen und Führungen können die Bewegungsabläufe unter Kontrolle gehalten und abgesichert werden.

Hilfsverankerungen müssen die ihnen zugewiesenen Lasten sicher aufnehmen können.

9.5.5 Ausrichten und Vergießen

Unterlegbleche und andere Hilfsteile, die als Futter unter Fußplatten benutzt werden, müssen eben, von ausreichender Größe, Festigkeit und Härte sein. Ein örtliches Ausbrechen von Beton ist zu vermeiden.

Werden Unterlegbleche nach dem Vergießen am Ort belassen, müssen sie aus Werkstoffen bestehen, welche mindestens die gleiche Beständigkeit besitzen wie das Tragwerk. Sie dürfen auch keine Korrosion verursachen.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

Unterlegbleche müssen aus Aluminium bestehen und werden vorzugsweise aus Blechmaterial hergestellt. Im Außenbereich wird dabei eine Mindestdicke von 1 mm verlangt.

Das Ausrichten der Konstruktion und das Ausgleichen von Passungenauigkeiten bei Anschlüssen kann mittels Unterlegblechen/Futterblechen vorgenommen werden. Sie müssen gesichert werden, falls sie sich, aus welchen Gründen auch immer, lösen können.

Die Korrektur von maßlichen Abweichungen ist durch Aufreiben der Löcher oder Fräsen von Kontaktflächen vorzunehmen. Dabei sind die Anforderungen von Abschnitt 6 einzuhalten.

Werden Unterlegbleche hinterher vergossen, müssen sie so angeordnet sein, dass sie vom Verguss, falls nicht anders festgelegt, von allen Seiten mit einer Mindestüberdeckung von 25 mm umschlossen werden. In Bezug auf Aluminium aggressive Vergussmassen und hygroskopische Vergussmassen dürfen nicht verwendet werden (siehe 10.3.4).

Vergussarbeiten sind in Übereinstimmung mit den für die Arbeiten festgelegten Vorgaben durchzuführen.

9.6 Schutz von Oberflächen, Reinigung nach Montage

Das Vorgehen bei der Reinigung muss der Legierung, der vorhandenen Oberfläche und der Funktion des Bauteils angepasst sein. Risiken bezüglich Korrosion sind zu berücksichtigen.

Kontakt von Aluminium mit starken Säuren oder Laugen ist zu vermeiden. Passiert dies trotzdem, muss sofort und mit viel Wasser nachgewaschen werden.

10 Behandlung von Oberflächen

10.1 Allgemeines

Tragwerke aus Aluminiumlegierungen, wie sie in EN 1999-1-1 aufgeführt sind, benötigen beim Einsatz unter normalen Umgebungsbedingungen keine Oberflächenbehandlung. Trotzdem muss eine gewisse Vorsorge getroffen werden, dass auch während deren Herstellung keine Korrosionen oder Verschmutzungen der Oberflächen auftreten.

Werden Bauteile im Freien gelagert, sollten sie allseits gut belüftet sein; Wasser sollte ablaufen können.

ANMERKUNG Der Schutz von im Freien gelagerten Bauteilen oder Konstruktionsmaterialien durch direktes Abdecken mit Planen oder ähnlichem Abdeckmaterial kann im Allgemeinen nicht empfohlen werden, da dabei aus verschiedensten Gründen die Oberflächen leiden können.

Jedweder Oberflächenschutz muss ausdrücklich verlangt und im Einzelnen festgelegt sein.

Brandschutzsysteme müssen der geforderten Feuerwiderstandsklasse entsprechen.

10.2 Schutz von Tragwerk und Bauteilen

Falls nicht anders festgelegt, können Beschichtungen, Anodisation und Passivierung nach Anhang F ausgeführt werden.

ANMERKUNG Nur falls ausdrücklich festgelegt, müssen Hohlprofile innen einen Oberflächenschutz erhalten.

10.3 Schutz von Kontaktflächen und Verbindungsmitteln

10.3.1 Allgemeines

Art und Umfang jedweder Schutzmaßnahme müssen ausdrücklich festgelegt sein.

ANMERKUNG Die spezielle Behandlung von Kontaktflächen sollte Kontaktkorrosion (Elementbildung) und Spaltkorrosion verhindern oder minimieren. Spaltkorrosion ist in jeder Art von Spalten möglich, also auch zwischen Kunststoffen und Aluminium.

10.3.2 Kontaktflächen von Aluminium mit Aluminium und Aluminium mit Kunststoffen

Falls ein einfaches Versiegeln der Kontaktflächen festgelegt ist, müssen die Teile gereinigt werden, und die Abdichtung muss mittels geeigneter Dichtmasse oder Beschichtungsmaterial geschehen. Die Konsistenz der Dichtmasse muss so sein, dass alle Spalten gefüllt werden und dies auch bleiben. Die Teile sollten zusammengefügt werden, bevor die Dichtmasse völlig getrocknet ist.

Ist ein Schutz von Kontaktflächen für Tragwerke in ausgeprägter Industrie- oder Meeresumgebung oder für Tragwerke unter Wasser festgelegt, müssen die Kontaktflächen so zusammengefügt werden, dass keine Spalte vorhanden sind, in die Wasser eindringen kann. Beide Kontaktflächen, einschließlich Schraub- und Nietlöcher, müssen vor dem Zusammenbau gereinigt und vorbehandelt werden; sie müssen mindestens eine Grundbeschichtung erhalten (siehe Anhang F.2) oder mit Dichtmasse versiegelt werden, so dass die Beschichtung bzw. die Dichtmasse über die Kontaktflächen hinausreicht. Die Kontaktflächen sollten zusammengefügt werden, solange die Grundbeschichtung noch feucht ist. Werden vorbeschichtete Bauteile zusammengebaut, muss die Versiegelung der Kontaktflächen wie festgelegt erfolgen.

10.3.3 Kontaktflächen von Aluminium mit Stahl oder Holz

Falls bei Kontakt zwischen Aluminiumbauteilen und Stahlbauteilen Schutzmaßnahmen für die Aluminiumkontaktflächen gefordert sind, sind diese nach F.2 vorzunehmen.

Bei Kontakt mit Holz ist eine Beschichtung nicht erforderlich, es sei denn, das Holz wurde mit aluminiumschädigenden Stoffen (z. B. Kupfersulfat) behandelt. In diesem Fall ist ein Schutz der Kontaktflächen notwendig. Falls nicht anders festgelegt, ist dieser nach F.2 auszuführen.

ANMERKUNG Es wird davon ausgegangen, dass die Ausführungsunterlagen Angaben über die chemische Zusammensetzung von Holzschutzprodukten zur Behandlung von Holz, das mit dem Aluminiumtragwerk in Berührung kommt, sowie gegebenenfalls Anforderungen an die Beschichtung enthalten.

Kontaktflächen von Stahlteilen sind mit einer Beschichtung zu versehen, die keine aluminiumschädigenden Bestandteile enthält.

Wird eine Vollisolierung zwischen den beiden Metallen und allen Verbindungsmitteln gefordert, muss unter Verwendung von nichtabsorbierenden, nichtleitenden Folien, Hülsen und Unterlegscheiben sichergestellt werden, dass keinerlei metallischer und elektrischer Kontakt zwischen den verschiedenen Metallen der Verbindung besteht. Es muss auch darauf geachtet werden, dass zwischen dem Isoliermaterial und dem Metall keine Spalten vorhanden sind. Eine zusätzliche Beschichtung oder das Aufbringen von Dichtmassen können daher erforderlich werden.

10.3.4 Kontaktflächen von Aluminium mit Beton, Mauerwerk, Putz usw.

Falls bei direktem oder auch indirektem Kontakt mit Beton, Mauerwerk oder Putz Schutzmaßnahmen für Aluminiumoberflächen festgelegt sind, sind diese vor dem Zusammenbau mit einer Bitumenbeschichtung oder einer anderen geeigneten Beschichtung von mindestens 100 µm zu versehen, sofern nichts anderes festgelegt wurde.

ANMERKUNG Beton kann auf Aluminium nur dann aggressiv wirken, wenn Feuchtigkeit vorhanden ist. Daher kann für untergeordnete Teile eine Beschichtung nicht unbedingt erforderlich sein. Indes werden Beschichtungen notwendig, selbst wenn kein direkter Kontakt zwischen Aluminium und Beton vorhanden ist, jedoch Wasser von Beton auf Aluminiumflächen rinnt. Manche Schnellbinder und Betonzusatzstoffe sind hygroskopisch und sehr aggressiv. Kann deren Verwendung nicht vermieden werden, sollte eine dichte Beschichtung besonders sorgfältig aufgetragen werden.

Bei Kontakt mit Erdreich muss die Aluminiumoberfläche mit zwei Lagen von Bitumen oder einer anderen geeigneten Beschichtung mit einer Dicke von mindestens 100 µm beschichtet werden.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

10.3.5 Verbindungsmittel

Sind für Verbindungsmittel Abdichtmaßnahmen festgelegt, muss darauf geachtet werden, dass alle verbundenen Flächen (auch die Schäfte) mit Dichtmasse versehen sind. Der Zusammenbau der Teile sollte erfolgen, bevor die Beschichtung oder Dichtmasse vollständig trocken ist.

Falls es nötig ist, auch die Außenflächen von Verbindungsmitteln zu schützen, müssen diese auf geeignete Weise vorbehandelt werden.

10.3.6 Klebverbindungen

Es muss das festgelegte Schutzsystem aufgebracht werden. Zusammen mit dem Klebstoffhersteller muss abgeklärt werden, dass Klebstoff und Oberflächenschutz miteinander verträglich sind, z. B. in Bezug auf Lösungsmittel oder Wärmeeinwirkung.

10.4 Brandschutz

Es dürfen nur für Aluminium zugelassene Brandschutzsysteme oder Trockenbrandschutzisolierungen verwendet werden.

Das Aufbringen von Brandschutzsystemen muss entsprechend den Anweisungen des Herstellers derselben erfolgen.

Der Einbau von Trockenbrandschutzisolierungen muss entsprechend deren Prüfklassenzeugnis oder wie festgelegt erfolgen.

11 Geometrische Toleranzen

11.1 Toleranzkategorien

In diesem Abschnitt werden zwei Kategorien geometrischer Toleranzen definiert:

- a) Solche für Kriterien, die für das Tragvermögen und Standsicherheit des fertigen Tragwerks wesentlich sind, sogenannte grundlegende Toleranzen;
- b) solche, die anderen Kriterien wie Passgenauigkeit/Zusammenbau und Erscheinungsbild dienen, sogenannte ergänzende Toleranzen.

Die Anhänge G, H und I enthalten Zahlenwerte für die erlaubten Abmaße für die Toleranzkategorien unter a) und b).

ANMERKUNG Die zulässige Toleranz ist die Differenz zwischen dem oberen und unteren Abmaß.

Sowohl die grundlegenden als auch die ergänzenden Toleranzen sind normativ; die Regelungen der EN 1090-1 beziehen sich jedoch nur auf die grundlegenden Toleranzen.

Soll aus Bauteilen ein Tragwerk vor Ort montiert werden, müssen Zwischenmessungen an den Bauteilen gegenüber dem abschließenden Ausmessen des fertigen Tragwerks als zweitrangig betrachtet werden.

Die nach den Tabellen erlaubten Abweichungen schließen elastische Verformungen nicht ein.

Auf Zeichnungen eingetragene und auch sonstige Maßangaben beziehen sich immer auf Raumtemperatur (20 °C). Werden Messungen bei anderen Temperaturen vorgenommen, müssen sie auf 20 °C umgerechnet werden.

Zusätzlich können sowohl spezielle Toleranzwerte für bereits durch Zahlenwerte geregelte Fälle als auch Toleranzeinschränkungen für andere, nicht aufgeführte Fälle von geometrischen Abweichungen festgelegt werden. Ist dies der Fall, muss dies von den nachstehenden Informationen begleitet sein:

- i) Änderungen der erlaubten Toleranzwerte bei den in den Anhängen G, H und/oder Anhang I aufgeführten Fällen von geometrischen Abweichungen;
- ii) weitere zu prüfende geometrische Abweichungen, zusammen mit Bezugsparametern und erlaubten Toleranzwerten;
- iii) ob diese speziellen Toleranzen grundsätzlich für alle in Frage kommenden Bauteile gelten oder nur für ganz bestimmte Bauteile, die zu benennen sind.

11.2 Grundlegende Toleranzen

11.2.1 Allgemeines

Für die grundlegenden Toleranzen gelten die Festlegungen der Anhänge G und/oder I. Die Werte gelten für die Endabnahme.

Bei den festgelegten Werten handelt es sich zulässige Werte. Abweichungen, die darüber hinaus gehen (Nichtkonformität), sind nach 12.7 zu behandeln.

11.2.2 Herstelltoleranzen

11.2.2.1 Eingliederung von Konstruktionsmaterialien und von bearbeitetem Material in Bauteile

Nach dem Eingliedern von Konstruktionsmaterialien oder von bearbeitetem Material in ein Bauteil gelten für diese die in den einschlägigen Normen zulässigen Toleranzen weiterhin, es sei denn, es werden in dieser Europäischen Norm strengere Anforderungen an die Toleranzen festgelegt.

11.2.2.2 Werksmäßig hergestellte Bauteile

Die geometrischen Abmaße werksmäßig hergestellter Bauteile dürfen die Werte nach den Tabellen G.1 bis G.9 nicht überschreiten.

11.2.2.3 Oberflächen von Kontaktstößen

Die Winkligkeit von Kontaktflächen muss den Festlegungen der Tabelle H.2 C entsprechen.

Wenn die Ebenheit der einzelnen Kontaktfläche vor dem Zusammenbau mit dem Gegenstück mit Hilfe eines Lineals überprüft wird, darf der Luftspalt zwischen Oberfläche und Lineal an keiner Stelle größer als 1,0 mm sein.

ANMERKUNG Wird eine Probemontage vorgenommen, um die geforderte Passgenauigkeit einer derartigen Verbindung zu überprüfen, sollte das Ergebnis sorgfältig interpretiert werden, weil einerseits der eigentliche Montageprozess es verhindern kann, dass sich die Teile genauso ausrichten wie bei der Probemontage, jedoch andererseits durch das Eigengewicht der Aluminiumkonstruktion Hochpunkte der Oberfläche beseitigt werden können.

Sind Steifen mit dem Zweck eingebaut, bei Kontaktstößen Kräfte zu übertragen, so muss der Spalt zwischen den Kontaktoberflächen den in G.2.3 angegebenen Anforderungen genügen.

11.2.2.4 Übergroße Löcher

Bei Anschlüssen, bei denen übergroße Löcher genutzt werden, darf die Mitte eines jeden übergroßen Lochs einer Lochgruppe nicht mehr als 1 mm von der Lochmitte des dazugehörigen normalen Lochs abweichen.

DIN EN 1090-3:2008-09

EN 1090-3:2008 (D)

11.2.2.5 Schalentragerwerke

Die geometrischen Abweichungen bei Schalentragerwerken dürfen die in Anhang I aufgeführten Werte nicht überschreiten. Die Toleranzklasse muss festgelegt sein. Für die Toleranzklasse 4 sind die Randbedingungen BC nach EN 1999-1-5 festzulegen.

11.2.3 Montagetoleranzen

11.2.3.1 Bezugssystem

Abweichungen bei montierten Bauteilen sind relativ zu ihren Positionspunkten zu messen (siehe ISO 4463).

Ist kein Positionspunkt festgelegt, sind die Abweichungen relativ zum Sekundärsystem zu messen.

11.2.3.2 Ankerschrauben und sonstige Auflagerstellen

Der Mittelpunkt einer Ankerschraubengruppe oder einer sonstigen Auflagerstelle darf nicht mehr als ± 6 mm von der Solllage im Sekundärsystem abweichen.

Für eine Gruppe verstellbarer Ankerschrauben sollte für den Einbau deren optimale Lage festgelegt werden.

11.2.3.3 Stützen

11.2.3.3.1 Stützenfußpunkte

Der Mittelpunkt des Fußpunkts einer Aluminiumstütze darf maximal ± 5 mm von seinem Positionspunkt im Grundriss abweichen.

Löcher in Fuß- oder andern Lageranschlussplatten sollten mit ausreichendem Spiel so ausgelegt sein, damit die erlaubten Abweichungen in Bezug auf die Auflager und in Bezug auf das Tragwerk aufgenommen werden können. Dies kann den Einsatz besonders großer und dicker Unterlegscheiben zwischen den Muttern der Ankerschrauben und der Oberfläche der Fußplatte erforderlich machen.

Der Fußpunkt der Stütze muss höhenmäßig mit einer Toleranz von ± 5 mm zum festgelegten Höhenmaß des betreffenden Positionspunkts montiert werden. Dies kann auch erfolgen, indem für die Unterseite der Grundplatte das Höhenmaß festgelegt wird, vorausgesetzt, dass eine Ausgleichsmöglichkeit besteht, wenn die Dicke der Grundplatte nennenswert abweicht.

11.2.3.3.2 Vertikalität

Die Abweichungen von aufgerichteten Stützen müssen den Anforderungen der Tabelle G.8 entsprechen.

Für Gruppen benachbarter Stützen (nicht in Portalrahmen oder Krangerüsten), die mit ähnlichen vertikalen Lasten beansprucht werden, gelten die folgenden zulässigen Abweichungen:

- a) Das arithmetische Mittel der Abweichungen von der Senkrechten (horizontales Neigungsmaß) von sechs miteinander verbundenen Nachbarstützen muss die in Tabelle G.8 festgelegten Anforderungen an die zulässigen Abweichungen erfüllen. Dies gilt für zwei zueinander rechtwinklige Richtungen;
- b) die zulässige Abweichung für die Schiefstellung einer einzelnen Stütze innerhalb dieser Gruppe zwischen zwei benachbarten Geschossebenen darf dann auf einen Wert von $|\Delta| = h/100$ vergrößert werden.

11.2.3.3 Kontaktstößen

Wenn festgelegt ist, dass bei Schraubstößen die Kräfte voll über Kontaktflächen übertragen werden sollen, müssen die Anforderungen an das Zusammenpassen der Flächen nach Tabelle G.10 am aufgerichteten Bauteil nach dem Ausrichten und Verschrauben erfüllt sein. Werden am Spalt die vorgegebenen Grenzen überschritten, dürfen Futterbleche eingesetzt werden, um die Spaltmaße entsprechend zu reduzieren. Die Futterbleche dürfen aus Aluminium mit entsprechender Festigkeit oder aus nichtrostendem Stahl bestehen. An einer Stelle dürfen nicht mehr als drei Futterbleche übereinander vorhanden sein. Falls in der Spezifikation ausdrücklich erlaubt, dürfen Futterbleche zur Sicherung ihrer Lage angeschweißt werden.

11.3 Ergänzende Toleranzen

11.3.1 Allgemeines

Anhang H enthält Anforderungen bezüglich der ergänzenden Toleranzen für Bauteile und Tragwerke.

Es gelten die Bezugssysteme und weiteren Anforderungen von 11.2.3.1.

Die in Anhang H aufgeführten Toleranzen gelten für die Endabnahme des fertigen Tragwerks.

Abweichungen von Sollvorgaben (Nichtkonformität) sind entsprechend 12.7 zu behandeln.

11.3.2 Herstelltoleranzen

11.3.2.1 Toleranzen für übliche Bauteile und konstruktive Gegebenheiten

Die zulässigen Werte für die ergänzenden Toleranzen für übliche Bauteile und konstruktive Gegebenheiten sind in den Tabellen H.1 bis H.8 angegeben.

Tabelle H.7 kann auch auf andere horizontale oder geneigte primäre Tragglieder in Zwischen- und Dachhöhe, bei denen Abweichungen eher im Hinblick auf Ebenheit als auf absolute Höhe gemessen werden, angewendet werden.

Vorsicht ist geboten, wenn diese Anforderungen auf Fälle angewendet werden, wo Träger oder Sparren Teile unverstreifter Rahmen sind, da elastische Durchbiegungen und Verschiebungen relativ groß sein können.

11.3.2.2 Toleranzen für sonstige Bauteile und konstruktive Gegebenheiten

Der Anhang H deckt nicht alle möglichen baulichen Situationen ab. Kann im Einzelfall keiner der angeführten Fälle als anwendbar angesehen werden, können Toleranzen nach folgenden allgemeinen Regeln festgelegt werden:

- a) Für geschweißte Tragwerke die Toleranzen der nachfolgenden Toleranzklassen nach EN ISO 13920:
 - Klasse C für Längen- und Winkelabweichungen;
 - Klasse G für Geradheit, Ebenheit und Parallelität.
- b) Für andere Fälle gilt eine allgemeine Toleranz für jede Abmessung "D". Diese Toleranz beträgt D/500, jedoch mindestens 5 mm.

11.3.2.3 Toleranzen für Konstruktionsmaterialien und bearbeitetes Material

Nach dem Eingliedern von Konstruktionsmaterialien oder von bearbeitetem Material in ein Bauteil gelten für diese die in den einschlägigen Normen zulässigen Toleranzen.

ANMERKUNG Je nach angewendetem Verfahren bei Herstellung und Bearbeitung von Bauteilen kann sich die Geometrie derart verändern, dass die Abweichungen die in Anhang H oder in der maßgebenden Produktnorm angegebenen zulässigen Werte übersteigen. In diesem Fall sollten größere ergänzende Toleranzen als in Anhang H oder in der maßgebenden Produktnorm vereinbart bzw. festgelegt werden.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

12 Kontrollen, Prüfungen und Nachbesserung

12.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt legt Anforderungen an Kontrollen und Prüfungen bezüglich der Qualitätsanforderungen fest, wie sie aus dem Abschnitt über Qualitätsdokumentation nach 4.2.1 hervorgehen.

Kontrollen, Prüfungen und Nachbesserungen sind wie vorgeschrieben und nach den Regelungen dieser Europäischen Norm durchzuführen.

Kontrollen und Prüfungen sind nach einem im Voraus festgelegten Plan durchzuführen.

Sämtliche vorgenommenen Kontrollen und Prüfungen und die damit verbundenen Nachbesserungen sind zu dokumentieren.

12.2 Konstruktionsmaterialien und Bauteile

12.2.1 Konstruktionsmaterialien

Dokumente, die in Übereinstimmung mit den Regelungen von Abschnitt 5 mit Konstruktionsmaterialien mitgeliefert werden, müssen dahingehend überprüft werden, dass die Beschreibungen des gelieferten Materials den Bestellvorgaben entsprechen.

ANMERKUNG Solche Dokumente sind Abnahmeprüfzeugnisse, Werkszeugnisse, Werksbescheinigungen wie sie für Platten, Profile, Hohlprofile, Schweißzusätze, mechanische Verbindungsmittel, Schweißbolzen wichtig sind.

Die Kontrolle der Oberflächen von Konstruktionsmaterialien ist mit in die Prüfplanung aufzunehmen, wenn die Anwendung des Produktes dies erfordert.

Falls nicht ausdrücklich vorgeschrieben, besteht keine Verpflichtung, spezifische Materialprüfungen vorzunehmen.

12.2.2 Bauteile

Die mit Bauteilen gelieferten Dokumente müssen dahingehend überprüft werden, dass die Beschreibungen der gelieferten Bauteile den Bestellvorgaben entsprechen.

ANMERKUNG Dies gilt für teilbearbeitete Bauteile, die beim Hersteller (der Aluminiumkonstruktion) weiterverarbeitet werden und für Produkte, die von Dritten hergestellt und direkt auf die Baustelle zur Montage durch den Hersteller (der Aluminiumkonstruktion) geliefert werden.

12.3 Bearbeitung

12.3.1 Umformarbeiten

Die Umformzonen des verformten Materials (z. B. bei abgekanteten Blechen) sind mit einer Lupe mit 10-facher Vergrößerung zu prüfen. Das Prüfergebnis ist zu dokumentieren.

12.3.2 Abmessungen von Bauteilen

Der Prüfplan für die Fertigung muss auf die Anforderungen der Aluminiumkonstruktion bezogen sein und muss die Prüfungen beinhalten, die für vorbereitete Konstruktionsmaterialien, teilgefertigte und fertiggestellte Bauteile notwendig sind.

Überprüfungen der Abmessungen werksmäßig hergestellter Bauteile sind immer vorzunehmen. Die Verfahren und einzusetzenden Messinstrumente sind je nach den Erfordernissen aus den in ISO 7967-1 und -2 aufgeführten auszuwählen. Die Genauigkeit ist entsprechend dem einschlägigen Teil von ISO 17123 festzusetzen.

Ort und Häufigkeit der Messungen sind im Prüfplan festzulegen.

Die Abnahmekriterien müssen den Festlegungen nach 11.2 und 11.3 entsprechen. Bei Abweichungen sind festgelegte Überhöhungen und Voreinstellungen zu berücksichtigen.

Ergibt die Überwachung eine Nichtübereinstimmung mit den Sollvorgaben (Nichtkonformität), ist danach in Übereinstimmung mit 12.7.2 zu verfahren.

12.4 Schweißen

12.4.1 Prüfungsabläufe

Die Prüfungen, die vor, während und nach dem Schweißen gefordert werden, sind im Prüfplan zusammenzufassen und unterliegen einer Abnahme, wie festgelegt.

ANMERKUNG Hinweise hierzu sind in den einschlägigen Teilen von EN ISO 3834 enthalten.

Fordert der Prüfplan eine vor dem Schweißen durchzuführende Überprüfung des Zusammenpassens von für Knotenanschlüsse vorbereiteten Hohlprofilen, sind folgende Stellen besonders zu beachten:

- bei Rundrohren die 12-Uhr-, 6-Uhr-, 3-Uhr- und 9-Uhr-Position;
- bei Quadrat- und Rechteckrohren die vier Eckpositionen.

Die Nahtvorbereitung, das Zusammenpassen der Stöße und die Zugänglichkeit für das Schweißen müssen vor dem Schweißen überprüft und freigegeben werden. Jede Schweißnaht, die durch nachfolgende Arbeit unzugänglich wird, muss geprüft werden, bevor diese Arbeit ausgeführt wird.

Muss Verzug, der die in der Dokumentation vorgegebenen Grenzwerte überschreitet, durch Kaltrichten korrigiert werden, müssen die Schweißnähte in diesem Bereich erneut geprüft werden. Warmrichten ist nur erlaubt, wenn die Anwendungsbedingungen festgelegt wurden, siehe 6.11.

Müssen Tragwerke oder Bauteile nach dem Schweißen wärmebehandelt werden, darf die Endprüfung erst nach der Wärmebehandlung durchgeführt werden.

12.4.2 Verfahren der Prüfung und Personalqualifizierung

12.4.2.1 Verfahren

Sichtprüfungen sind nach EN 970 durchzuführen.

Die Messung der Nahtdicke "a" muss in Übereinstimmung mit EN ISO 17659 erfolgen.

Zusätzliche zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP) sind - soweit sie nach 12.4.3 gefordert werden - in Übereinstimmung mit den nachfolgenden Normen durchzuführen:

- Eindringprüfung (PT) - EN 571-1;
- Ultraschallprüfung (UT) - EN 1714;
- Durchstrahlungsprüfung (RT) - EN 1435.

Zerstörende Prüfungen sind nach EN 1320 und EN 1321 durchzuführen.

Bei der Prüfung von Form und Oberfläche der Schweißnähte von Knotenanschlüssen bei Hohlprofilen muss besonders auf die folgenden Stellen geachtet werden:

- bei Rundrohren die 12-Uhr-, 6-Uhr-, 3-Uhr- und 9-Uhr-Position;
- bei Quadrat und Rechteckrohren die Eckpositionen.

Wird die Durchstrahlungsprüfung angewendet, muss die Prüfklasse B nach EN 1435 erreicht werden. Falls wegen der Blechdicke oder wegen mangelnder Zugänglichkeit Gamma-Strahlen verwendet werden müssen und es nicht möglich ist, die Prüfklasse B zu erreichen, muss die Zustimmung des Auftraggebers zu diesem oder einem alternativen Prüfverfahren eingeholt werden.

DIN EN 1090-3:2008-09

EN 1090-3:2008 (D)

Für die Ultraschallprüfung von Bauteilen unter vorwiegend ruhender Belastung (SC1) muss die Prüfklasse B nach EN 1714:1997 erreicht werden.

12.4.2.2 Qualifizierung des Prüfpersonals

Die für zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP) anzuwendenden Verfahren sind in Übereinstimmung mit EN 12062 von Personen, die für Stufe 3 nach EN 473 qualifiziert sind, festzulegen. Mit Ausnahme der Sichtprüfung sind zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP) von Personen, die für Stufe 2 nach EN 473 qualifiziert sind, durchzuführen.

12.4.3 Umfang der Prüfung

12.4.3.1 Allgemeine Vorgaben

Der Umfang aller Prüfungen und die Qualitätsanforderungen müssen festgelegt sein. Alle zu prüfenden Schweißnähte oder Teile hiervon müssen eindeutig definiert oder bezeichnet sein. Zu den Festlegungen gehören im Einzelnen:

- Ausführungsklasse;
- Beanspruchungskategorie (vorwiegend auf Ermüdung (SC2) oder vorwiegend statisch (SC1) beansprucht);
- Bewertungsgruppe nach EN ISO 10042;
- zusätzliche und ergänzende Qualitätsanforderungen z. B. nach dieser Europäischen Norm und nach EN 1999-1-3;
- Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung (ZfP);
- alle weiteren zusätzlichen Prüfungen und Prüfverfahren.

12.4.3.2 Vorgaben für Schweißnähte

Alle Schweißnähte sind auf ihrer ganzen Länge einer Sichtprüfung zu unterziehen. Falls flächenhafte Fehler an der Oberfläche festgestellt werden, muss die geprüfte Naht einer Eindringprüfung unterzogen werden.

Beispiele, wie diese Anforderungen auf Zeichnungen dargestellt werden können, siehe Anhang J.

Der minimale Umfang der Prüfung von Schweißverbindungen ist unter Befolgung nachstehender Regelungen festzulegen:

- a) Tabelle L.2 sollte für SC1 und Tabelle L.3 für SC2 angewendet werden;
- b) neue Schweißanweisungen (WPS) sind unter Produktionsbedingungen zu überprüfen. Hierbei gelten folgende Regelungen:
 - 1) Bei den ersten fünf Schweißungen, die nach der gleichen Schweißanweisung durchgeführt werden

ANMERKUNG Die Prüfungen dürfen an Verbindungen verschiedener Tragwerke und unabhängig von deren Ausführungsklasse (EXC) durchgeführt werden.

- i) muss die Bewertungsstufe B erreicht werden;
 - ii) müssen 100 % der Länge geprüft werden, aber nicht mehr als 300 mm bei jeder einzelnen Verbindung.
- 2) ergibt die Prüfung eine Nichtübereinstimmung mit den Sollvorgaben, müssen die Gründe hierfür festgestellt, und es muss ein neue Serie von fünf Verbindungen geprüft werden;
- c) sonstige zusätzlich festgelegte Regelungen.

Verfahren, die für die zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) anzuwenden sind, siehe Tabelle 9.

Festgelegte Werte für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) sind in Prozent angegeben und beziehen sich auf die Länge der Naht bzw. der Nähte und gelten für jedes Bauteil bzw. Tragwerk. Jede Schweißanweisung muss dabei berücksichtigt werden.

Tabelle 9 — Für die ZfP anzuwendende Prüfverfahren

Ausführungsklasse	Stumpfnähte	Kehlnähte
EXC1	RT oder UT	—
EXC2	RT oder UT	PT
EXC3	PT + RT oder UT	PT
EXC4	PT + RT oder UT	PT
RT: Durchstrahlungsprüfung UT: Ultraschallprüfung PT: Eindringprüfung		

12.4.3.3 Zerstörende Prüfung

Zerstörende Prüfungen müssen nur durchgeführt werden, falls festgelegt.

12.4.3.4 Zusätzliche Prüfungen bei Nichtübereinstimmung mit den Sollvorgaben (Nichtkonformität)

Falls eine stichprobenweise Prüfung festgelegt worden ist, sind die Prüfungen an den Schweißnähten durchzuführen, bei denen die höchsten Zugspannungen auftreten. Die Wahl der zu prüfenden Schweißnaht muss sicherstellen, dass die Prüfung die Schweißbedingungen so weit wie möglich abdeckt, z. B. die Nahtart, den Werkstoff, die Schweißanlage und die Arbeit der jeweiligen Schweißer.

Falls bei einer stichprobenweise durchgeführten Prüfung Unregelmäßigkeiten in den Schweißnähten gefunden worden sind, die nicht die Kriterien für die Bewertungsgruppe der Schweißnaht erfüllen, muss der Umfang der Prüfung wie folgt erhöht werden. Im Falle, dass mehr als 4 % der geprüften Schweißnahtlänge repariert werden müssen, ist eine zusätzliche Länge von zweimal der ursprünglichen Länge zu prüfen. Falls das Ergebnis einer solchen zusätzlichen Prüfung zeigt, dass wiederum mehr als 4 % repariert werden müssen, muss die Schweißnaht auf der gesamten Länge geprüft werden.

Die Ergebnisse der Prüfungen müssen dokumentiert und in die Ausführungsdokumentation aufgenommen werden.

12.4.4 Abnahmekriterien für Schweißnähte

12.4.4.1 Tragwerke der Beanspruchungskategorie SC1

Die Bewertungsgruppen nach EN ISO 10042 müssen festgelegt sein, wobei den Festlegungen von Tabelle L.4 gefolgt werden sollte.

Die zusätzlichen Festlegungen der Tabelle 10 in Bezug auf Bewertungsgruppe/Abnahmekriterien müssen eingehalten werden.

Die Regelungen bezüglich der Unregelmäßigkeiten 2.7 und 2.9 nach EN ISO 10042:2005 gelten nur, wenn die betreffende Schweißnaht länger als 25 mm ist. Bei kürzeren Schweißnähten sind diese Unregelmäßigkeiten nicht erlaubt.

Die Regelungen der EN ISO 10042:2005 bezüglich der nachstehenden Unregelmäßigkeiten finden hier keine Anwendung: 1.4, 1.11, 1.12, 1.14, 1.15, 1.17, 2.2 und 2.5.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle 10 — Zusätzliche Anforderungen zur Bewertungsgruppe bei SC1

Ordnungsnummer nach		Abweichende Bewertungsgruppe/Zusätzliche Anforderungen	
EN ISO 10042:2005 Tabelle 1	EN ISO 6520-1	bei C	bei D
3.2	617	Der Spalt muss durch eine entsprechend größere Nahtdicke kompensiert werden.	keine
4.1	-	Die Summe der Unregelmäßigkeiten muss den Kriterien für „Kurze Unregelmäßigkeiten“ genügen.	

12.4.4.2 Tragwerke der Beanspruchungskategorie SC2

Die Bewertungsgruppen nach EN ISO 10042 sind festzulegen. Dabei sollten die Festlegungen in Tabelle L.5 beachtet werden. Für innere und geometrische Unregelmäßigkeiten können verschiedene Bewertungsgruppen maßgebend werden.

Zusätzliche Anforderungen, die durch die Bezeichnungen B+, C+ oder D+ festgelegt werden, sind in den Tabellen 11, 12 und 13 aufgeführt.

ANMERKUNG Wenn nach EN 1999-1-3 für geometrische und innere Fehler unterschiedliche Bewertungsgruppen angesetzt werden, gelten die zusätzlichen Anforderungen für B+, C+ und D+ nur für jene Art der Unregelmäßigkeit, für die B, C bzw. D verlangt wird.

Tabelle 11 — Zusätzliche Anforderungen zur Bewertungsgruppe B nach EN ISO 10042:2005, wenn für die maßgebende Bewertungsgruppe die Bezeichnung B+ festgelegt wurde

Ordnungsnummer nach		Art der Unregelmäßigkeit	Maximale Grenze für die Unregelmäßigkeit
EN ISO 10042:2005	EN ISO 6520-1		
1.10	5012	nicht durchlaufende Einbrandkerbe	nicht zulässig
1.11	502	zu große Nahtüberhöhung	$H \leq 1,0 + 0,1 b$, aber max. 4 mm
1.18	515	Wurzelrückfall	nicht zulässig
	5013	Wurzelkerbe	nicht zulässig
2.3	2011	(einzelne) Pore	$D \leq 0,15 s$ oder $0,15 a$, aber max. 3 mm
2.8	303	Oxideinschluss	nicht zulässig
2.9	3041	Wolframeinschluss	$l \leq 0,15 s$ oder $0,15 a$, aber max. 2 mm
3.1	507	Kantenversatz Längsschweißnähte	$h \leq 0,1 t$, aber max. 1,5 mm
		Umfangsschweißnähte	$h \leq 0,1 t$, aber max. 2 mm
4.1	-	Mehrfach-unregelmäßigkeiten	nicht zulässig

Tabelle 12 — Zusätzliche Anforderungen zur Bewertungsgruppe C nach EN ISO 10042:2005, wenn für die maßgebende Bewertungsgruppe die Bezeichnung C+ festgelegt wurde

Ordnungsnummer nach		Art der Unregelmäßigkeit	Abweichende Bewertungsgruppe/ Maximale Grenze für die Unregelmäßigkeit
EN ISO 10042:2005	EN ISO 6520-1		
1.6	2017	Oberflächenporen	B
1.18	515	Wurzelrückfall	B
	5013	Wurzelkerbe	B
2.3	2011	(einzelne) Pore	B
2.8	303	Oxideinschluss	B
2.11	402	ungenügende Durchschweißung	nicht zulässig
4.1	-	Mehrfach-unregelmäßigkeiten	nicht zulässig

Tabelle 13— Zusätzliche Anforderungen zur Bewertungsgruppe D nach EN ISO 10042:2005, wenn für die maßgebende Bewertungsgruppe die Bezeichnung D+ festgelegt wurde

Ordnungsnummer nach		Art der Unregelmäßigkeit	Maximale Grenze für die Unregelmäßigkeit
EN ISO 10042:2005	EN ISO 6520-1		
1.2	104	Endkraterriss	nicht zulässig
1.9	4021	ungenügender Wurzeleinbrand	nicht zulässig

12.4.5 Reparatur geschweißter Verbindungen

Die ursprünglichen Anforderungen an Schweißnähte müssen nach jeder Art von Reparatur oder Austausch nichtkonformer Teile eingehalten werden.

Reparierte Schweißnähte sind vollständig und mit den gleichen Verfahren wie die Originalnaht erneut zu prüfen.

Die Länge jeder fehlerhaften Schweißnaht muss durch ein geeignetes Prüfverfahren bestimmt werden und eindeutig an der Verbindung markiert werden.

Reparierte Bereiche sind in der Ausführungsdokumentation anzugeben.

Keine Verbindung und auch kein Teil einer Schweißnaht darf ohne spezielle Erlaubnis mehr als zweimal erneut geschweißt bzw. repariert werden.

12.4.6 Kontrollen nach der Entfernung von Montagehilfen

Es sind entsprechende Kontrollen durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Konstruktionsmaterialien an der Stelle früher angebrachter Montagehilfen keine Risse aufweisen und dass die Oberfläche blechen geschliffen wurde.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

12.5 Mechanische Verbindungsmittel

12.5.1 Kontrolle von Verbindungen mit nicht vorgespannten Schrauben

Nach dem Anziehen der Schrauben müssen alle Verbindungen visuell überprüft werden.

Abnahmekriterien und Maßnahmen im Fall von Nichtübereinstimmung mit Sollvorgaben (Nichtkonformität) müssen den Festlegungen in 8.3.1 und 9.5.5 entsprechen.

Besteht eine Nichtübereinstimmung mit Sollvorgaben (Nichtkonformität) in der unterschiedlichen Dicke der Lagen, indem die Kriterien von 8.1.2 überschritten werden, so muss die Verbindung neu ausgeführt werden. In anderen Fällen kann, falls möglich, die Nichtkonformität durch ein örtliches Ausrichten korrigiert werden.

Wird eine Isolierung zwischen Aluminium und anderen Metallen gefordert, müssen die Anforderungen in Bezug auf deren Überprüfung festgelegt sein.

Nachgebesserte Verbindungen müssen erneut überprüft werden.

12.5.2 Kontrolle von Verbindungen mit vorgespannten Schrauben

12.5.2.1 Kontrolle der Reibflächen

Enthalten die Verbindungen Reibflächen, sind die Flächen unmittelbar vor dem Zusammenbau visuell zu überprüfen. Es gelten die Abnahmekriterien nach 8.1.

Jede Nichtkonformität ist wie in 8.1 festgelegt zu korrigieren.

12.5.2.2 Kontrolle vor dem Anziehen

Alle Verbindungen mit vorgespannten Schrauben sind nach der ersten Verschraubung und vor Aufbringen der Vorspannung visuell am örtlich ausgerichteten Tragwerk zu überprüfen. Es gelten die Abnahmekriterien nach 8.1.

Besteht die Nichtkonformität in der unterschiedlichen Dicke der Lagen, so dass die Kriterien von 8.1.2 überschritten werden, so muss die Verbindung neu ausgeführt werden. In anderen Fällen kann, falls möglich, die Nichtkonformität durch ein örtliches Ausrichten korrigiert werden.

Nachgebesserte Verbindungen müssen neu überprüft werden.

12.5.2.3 Kontrolle während und nach dem Anziehen

Die Überprüfung und Abnahmekriterien für gleitfeste Verbindungen müssen festgelegt sein.

ANMERKUNG EN 1090-2 kann als Grundlage für die Erstellung von Kriterien für die Prüfung und Abnahme gleitfester Verbindungen benutzt werden.

Das Nachziehen der Schrauben bei gleitfesten Verbindungen darf als Überprüfung eines korrekten Anziehens angesehen werden.

Alle Unregelmäßigkeiten müssen protokolliert und bewertet werden, gegebenenfalls sind Nachbesserungen vorzunehmen.

12.5.3 Kontrolle von Nietverbindungen

Alle Niete müssen einer Sichtprüfung unterworfen werden.

Ein geschlagener Niet darf keine Risse oder Ausbrüche aufweisen.

Alle losen, außermittig geschlagenen oder anderweitig fehlerhaften Niete müssen herausgeschnitten und ersetzt werden, bevor das Tragwerk belastet wird.

12.6 Klebungen

Die Verfahren und der Mindestumfang an Kontrollen müssen festgelegt sein. Jegliche Veränderung in der Spezifikation muss dokumentiert werden.

12.7 Nichtkonforme Produkte

12.7.1 Nichtkonforme Konstruktionsmaterialien

Liegen die Prüfzeugnisse nach 5.2 für Konstruktionsmaterialien nicht vor, so müssen diese als nichtkonform angesehen und behandelt werden, bis gezeigt werden kann, dass sie den Anforderungen des Prüfplans entsprechen.

Sind Produkte als nichtkonform deklariert und wird deren Konformität später durch Prüfungen oder Nachprüfungen nachgewiesen, dann müssen diese Prüfungen dokumentiert werden.

Kann nachgewiesen werden, dass mit einem nichtkonformen Produkt die Anforderungen an das Bauteil oder Tragwerks nach 12.7.2 erfüllt werden können, kann das Produkt abgenommen werden. Der Nachweis ist zu protokollieren.

12.7.2 Nichtkonforme Bauteile und Tragwerke

Kann gezeigt werden, dass die geforderte Tragwerkssicherheit, die Dauerhaftigkeit und die Funktionsfähigkeit trotz nichtkonformer Eigenschaften eines Bauteils oder Tragwerks vorhanden sind, kann dieses als technisch ausreichend angesehen werden, ohne dass Reparaturen nötig sind.

ANMERKUNG Über das „Gut für den Gebrauch“ kann zwischen den Parteien eine Vereinbarung getroffen werden.

Anhang A (normativ)

Notwendige Festlegungen, festzulegende Alternativen und Anforderungen bei den Ausführungsklassen

A.1 Liste der notwendigen Festlegungen

Dieser Abschnitt enthält, in Tabelle A.1 aufgelistet, alle nach dem Text dieser Europäischen Norm zusätzlichen Festlegungen, die erforderlich sind, um die Anforderungen an die Ausführung der Arbeiten umfassend und in Übereinstimmung mit dieser Europäischen Norm zu definieren (betrifft Formulierungen wie "ist festzulegen" u. Ä.).

Tabelle A.1 — Abschnitte, die Sachfragen mit zusätzlich notwendigen Festlegungen betreffen

Abschnitt	Sachfrage
4.1.2	Anzuwendende Ausführungsklasse(n)
4.2.2	Erfordernis eines Qualitätsmanagementplans für die Ausführung der Arbeiten
5.1	Zu verwendende Konstruktionsmaterialien
5.3	Prüfanforderungen für Gussteile
5.5	Für die Basiswerkstoffe zu verwendende Schweißzusatzwerkstoffe
5.6.1	Kategorien der Schraubenverbindungen, Produktnormen, Festigkeitsklassen sowie alle weiteren Anforderungen wie z. B. Oberflächenbehandlung
5.7	Anforderung an das Kurz- und Langzeitverhalten von Klebstoffen
6.4	Notwendigkeit des Entferns von scharfen Kanten aus technischen Gründen
6.6	Lochgrößen
6.6	Ansenkmaße für Senkschrauben
6.6	Ansenkmaße für Senkniete
6.6	Lochlänge bei Langlochverbindungen
6.9	Erfordernis eines komplettem Zusammenbaus
7.5.1	Anforderungen an das Schweißen bei Anwendung anderer Schweißprozesse als in 7.3 aufgeführt
7.5.5	Erlaubnis zum Anschweißen temporärer Montagehilfen und Stellen, an denen solche nicht erlaubt sind
7.5.9	Lochabmessungen für Schlitz- und Lochnähte
7.5.10	Anforderungen an andere Schweißungen, z. B. Punkt- oder Bolzenschweißungen, die nicht in 7.3 aufgeführt sind
8.1.3	Größe der Kontaktflächen bei gleitfesten Verbindungen
8.2.6	Verwendung normaler oder übergroßer Unterlegscheiben
8.6	Verfahrensweise bei der Herstellung geklebter Verbindungen Anforderungen bezüglich Kontrollen, Ausmaß von Prüfungen, sowie Abnahmekriterien
10.3.1	Art und Ausmaß aller Schutzmaßnahmen (Oberflächen und Kontaktflächen)
11.1	Jegliche Sondertoleranzen

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Abschnitt	Sachfrage
11.2.3	Toleranzklassen für Schalentragwerke
12.3.2	Orte und Häufigkeit von Maßkontrollen
12.4.3.1	Qualitätsanforderungen an geschweißte Verbindungen und Mindestprüfumfang.
12.4.4.1	Qualitätsanforderungen an Schweißnähte für Beanspruchungskategorie SC1
12.4.4.2	Qualitätsanforderungen an Schweißnähte für Beanspruchungskategorie SC2
12.5.1	Anforderungen an die Prüfung isolierender Verbindungen
12.5.2.3	Schraubenverbindungen ohne gleitfeste Funktion

A.2 Liste möglicher alternativer Festlegungen

In diesem Abschnitt werden jene Punkte aufgelistet, wo diese Europäische Norm zwar eine Festlegung trifft, als Alternative aber auch davon abweichende Regelungen festgelegt werden dürfen. Werden solche abweichenden Regelungen nicht ausdrücklich vorgeschrieben, gelten die Festlegungen dieser Europäischen Norm.

Tabelle A.2 — Abschnitte, die Alternativen für Festlegungen enthalten

Abschnitt	Sachfrage
4.2.1	Wird für Ausführungsklasse EXC 2 eine Qualitätsdokumentation verlangt
5.6.1	Wird für mechanische Verbindungsmittel eine Oberflächenbehandlung festgelegt
6.6	Wird ein Entfernen von Graten verlangt, wenn Teile zusammen verbohrt werden
7.5.8	Müssen bei Ausführungsklasse EXC2 Schweißanlauf- und Schweißauslaufbleche verwendet werden
8.2.5	Wird ein Sichern von Muttern gefordert
8.3.1	Welche Art von Schraubensicherung vorgeschrieben ist
8.3.2	Anziehverfahren bei vorgespannten Verbindungen ohne gleitfeste Funktion
10.3.2	Korrosionsschutz von Aluminiumoberflächen bei Kontakt mit Aluminium und Kunststoffen
10.3.3	Korrosionsschutz von Aluminiumoberflächen bei Kontakt mit Stahl und Holz
10.3.4	Korrosionsschutz von Aluminiumoberflächen bei Kontakt mit Beton, Mauerwerk und Putz usw.
10.3.5	Abdichtmaßnahmen an Verbindungsmitteln
11.2.3.3.2	Dürfen Futterbleche mittels Schweißen fixiert werden
12.4.1	Wird die Prüfung der Passgenauigkeit vor dem Schweißen gefordert
12.4.3.1	Zusatzprüfungen und Prüfverfahren an Schweißnähten
12.4.3.1	Zusätzliche Festlegungen in Bezug auf den kleinsten Prüfumfang
12.4.3.2	Müssen zerstörende Prüfungen durchgeführt werden

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

A.3 Ausführungsklassenabhängige Anforderungen

Dieser Abschnitt enthält die den einzelnen Ausführungsklassen zugeordneten Anforderungen.

Tabelle A.3 — Anforderungen bei den einzelnen Ausführungsklassen

Ab-schnitt	Betreff	Ausführungs-klasse EXC1	Ausführungs-klasse EXC2	Ausführungs-klasse EXC3	Ausführungs-klasse EXC4
4 Ausführungsunterlagen und Dokumentation					
4.2.1	Qualitätsdokumentation	keine	falls vorgeschrieben	ja	ja
5 Konstruktionsmaterialien					
5.2	Prüfbescheinigungen	Werkzeugzeugnis 2.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1
5.2	Rückverfolgbarkeit	keine	keine	ja	ja
5.2	Kennzeichnung von Legierung und Zustand	keine	Ja, falls verschiedene Legierungen und Zustände gleichzeitig im Umlauf sind	Ja, falls verschiedene Legierungen und Zustände gleichzeitig im Umlauf sind	Ja, falls verschiedene Legierungen und Zustände gleichzeitig im Umlauf sind
6 Materialbearbeitung					
6.2	Kennzeichnung/ Identifizierbarkeit von Konstruktionsmaterialien	keine	Ja, falls verschiedene Legierungen und Zustände gleichzeitig im Umlauf sind	Ja, falls verschiedene Legierungen und Zustände gleichzeitig im Umlauf sind	Ja, falls verschiedene Legierungen und Zustände gleichzeitig im Umlauf sind
6.2	Kennzeichnung/ Identifizierbarkeit von Teilen während der Fertigung	keine	ja	ja	ja
7 Schweißen					
7.1	Qualitätsanforderungen an Schweißungen	EN ISO 3834-4 Elementare Qualitätsanforderungen	EN ISO 3834-3 Standard-Qualitätsanforderungen	EN ISO 3834-2 Umfassende Qualitätsanforderungen	EN ISO 3834-2 Umfassende Qualitätsanforderungen
7.2.1	Schweißplan	keine	ja	ja	ja
7.4.1	Schweißanweisungen (WPS)	keine	nach EN ISO 15609-1	nach EN ISO 15609-1	nach EN ISO 15609-1
7.4.1	Qualifizierung von Lichtbogen-Schweißverfahren	keine	nach EN ISO 15612 oder EN ISO 15613 oder EN ISO 15614-2	nach EN ISO 15613 oder EN ISO 15614-2	nach EN ISO 15613 oder EN ISO 15614-2
7.4.4	Schweißaufsicht	keine	nach EN ISO 14731	nach EN ISO 14731	nach EN ISO 14731
7.4.4	Schweißaufsichtspersonal	keine	Kenntnisse nach Tabelle 7	Kenntnisse nach Tabelle 7	Kenntnisse nach Tabelle 7

Tabelle A.3 (fortgesetzt)

Ab-schnitt	Betreff	Ausführungs- klasse EXC1	Ausführungs- klasse EXC2	Ausführungs- klasse EXC3	Ausführungs- klasse EXC4
7.5.6	Heftnähte	keine	keine	Bedingungen für die Vornahme von Heftungen in Schweißanweisung WPS vorgeben	Bedingungen für die Vornahme von Heftungen in Schweißanweisung WPS vorgeben
7.5.8	Stumpfnähte	keine	Falls verlangt: An- und Auslaufbleche zur Sicherstellung der vollen Durchschweißung	An- und Auslaufbleche zur Sicherstellung der vollen Durchschweißung	An- und Auslaufbleche zur Sicherstellung der vollen Durchschweißung
8 Mechanische Verbindungen und Klebungen					
8.2.5	Sichern von Muttern	falls gefordert	falls gefordert	falls gefordert	Muttern müssen generell gesichert werden
8.2.5	Einbau von Muttern	keine	keine	Herstellerzeichen sichtbar zur Kontrolle	Herstellerzeichen sichtbar zur Kontrolle
12 Kontrollen, Prüfungen und Nachbesserung					
12.4.3.1	Prüfverfahren	nach Tabelle 9	nach Tabelle 9	nach Tabelle 9	nach Tabelle 9
Nachstehende Punkte sind in einem informativen Anhang geregelt					
L.3.1	Empfohlener Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) bei SC1	nach Tabelle L.2	nach Tabelle L.2	nach Tabelle L.2	nach Tabelle L.2
L.3.2	Empfohlener Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung ZfP bei SC2	nach Tabelle L.3	nach Tabelle L.3	nach Tabelle L.3	nach Tabelle L.3

Anhang B **(informativ)**

Checkliste für den Inhalt von Qualitätsmanagementplänen

B.1 Einleitung

Abgestimmt auf den Inhalt von 4.2.2 und unter Einbeziehung der allgemeinen Leitlinien nach ISO 10005 enthält dieser Anhang Empfehlungen über den notwendigen Inhalt projektspezifischer Qualitätsmanagementpläne für die Ausführung von Aluminiumkonstruktionen.

B.2 Inhalt

B.2.1 Management

Organisationsplan für das Projektmanagement, in dem die Schlüsselpersonen benannt sind, deren Aufgaben und Zuständigkeiten während der Projektausführung angegeben sind, und in dem die Befehls- und Kommunikationsstrukturen geregelt sind.

Vereinbarungen über Planung und Zusammenarbeit mit den anderen Parteien während der gesamten Projektausführung sowie über die Überwachung von Ausführung und Projektfortschritt.

Feststellung der Aufgaben, die an Nachunternehmer und andere außerhalb des Hauses übertragen werden.

Benennung und Nachweis der Qualifikation des beim Projekt einzusetzenden Personals, einschließlich Schweißaufsichtspersonal, Prüfpersonal, Schweißer und Bediener von Schweißeinrichtungen.

Vorkehrungen zur Überwachung von Abweichungen, Änderungen und Zugeständnissen, die sich im Laufe der Projektausführung ergeben.

B.2.2 Überprüfung der Ausführungsunterlagen

Anweisung, die Festlegungen der Projektunterlagen auf deren Auswirkungen dahingehend zu überprüfen, ob sie zusätzliche oder außergewöhnliche Maßnahmen erfordern, die das Qualitätsmanagementsystem des Herstellers nicht mehr sicherstellen kann. Das kann z. B. aus der festgelegten Ausführungsklasse oder Beanspruchungskategorie resultieren.

Zusätzliche Maßnahmen beim Qualitätsmanagement, die nach Überprüfung der Festlegungen in den Projektunterlagen erforderlich werden.

B.2.3 Dokumentation

B.2.3.1 Allgemeines

Verfahrensabläufe, um die eingehende und ausgehende Projektdokumentation zu kontrollieren. Dazu gehören Prüfungen bezüglich des Änderungsstands und die Verhütung der Benutzung falscher oder überholter Dokumente, sowohl im Hause als auch bei Unterauftragnehmern, einschließlich Zeichnungen, Berechnungen, elektronischer Informationen und zugehöriger Register.

B.2.3.2 Dokumentation vor Beginn der Ausführung

Vorgehensweisen zur Bereithaltung der notwendigen Dokumentation zu Beginn eines jeden Fertigungsschrittes, dazu gehören:

- Prüfbescheinigungen für Konstruktionsmaterialien;
- Schweißanweisungen (WPS) und dazugehörige Prüfungsbescheinigungen;
- Festlegung aller Arbeitsverfahren, einschließlich Montage und Vorspannen von Schrauben;
- statische Berechnungen für vorübergehende Bauzustände bei der Montage;
- Vereinbarungen über Gegenstand und Zeitpunkt notwendiger Genehmigungen und Zulassungen durch Zweit- und Drittparteien, bzw. der Genehmigung der Dokumentation vor Fertigungsbeginn.

B.2.3.3 Aufzeichnungen und Berichte während der Ausführung

Verfahrensabläufe für die Erstellung von Aufzeichnungen und Berichten während der Ausführung, dazu gehören:

- a) Rückverfolgbarkeit der Konstruktionsmaterialien beim fertigen Bauteil;
- b) Kontrollen, Prüfberichte und Maßnahmen für den Fall von Fertigungsmängeln (Nichtkonformität), betreffend:
 - Vorbereitung der Schweißnahtkanten vor dem Schweißen;
 - Schweißen und fertige Schweißungen;
 - geometrische Abweichungen bei werkmäßig hergestellten Bauteilen;
 - Oberflächenvorbereitung und -behandlung;
 - Kalibrierung der Werkstattausrüstung, einschließlich der Mittel zur Kontrolle der Vorspannung von Schrauben;
- c) Inspektionsbericht über die Baustellensituation vor der Montage, zur Versicherung, dass mit der Montage begonnen werden kann;
- d) Lieferpläne für auf die Baustelle zu liefernden Bauteile mit Kennzeichnung für den Einbauort im fertigen Tragwerk;
- e) Überprüfung der Abmessungen des Tragwerks und Maßnahmen für den Fall der Feststellung von Mängeln (Nichtkonformität);
- f) Bestätigung über die Fertigstellung und Übergabe.

B.2.3.4 Aufbewahrung von Dokumenten

Vorkehrungen, damit die wesentlichen Dokumente für Kontrollen zur Verfügung stehen und diese auch noch mindestens 5 Jahre, gegebenenfalls projektabhängig auch länger, aufbewahrt werden.

ANMERKUNG Nationale Vorschriften können strengere Anforderungen bezüglich der Aufbewahrung von Dokumenten beinhalten.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

B.2.4 Verfahrensabläufe bei Kontrollen und Prüfungen

Feststellung der durchzuführenden Prüfungen und Kontrollen nach dieser Europäischen Norm und dem Qualitätssystem des Herstellers, welche für die Ausführung des Projekts nötig sind. Dazu gehören:

- a) Umfang der Kontrollen;
- b) Abnahmekriterien;
- c) Maßnahmen für den Fall der Feststellung von Nichtkonformität, Nachbesserungsmaßnahmen und Zugeständnisse;
- d) Verfahrensabläufe bei Annahme/Zurückweisung.

Projektspezifische Anforderungen bezüglich Kontrollen und Prüfungen, einschließlich der Festlegungen, ob bestimmte Prüfungen und Kontrollen nur unter Zeugen durchgeführt werden dürfen, und Punkte, wo eine benannte dritte Partei eine Kontrolle durchführen muss;

Festlegung von Fertigungsprüfstopps für die direkte Anwesenheit der Zweit- bzw. Drittpartei vor Ort, für die Genehmigung oder Annahme von Prüf- und Kontrollergebnissen.

Anhang C (normativ)

Prüfung der geschweißten Kreuzprobe

C.1 Einleitung

Diese Prüfung dient als

— Verfahrensprüfung für Kehlnähte (Festigkeit und Güte);

beziehungsweise als

— Prüfung der Materialeigenschaften von Blechen/Platten aus EN AW-6082 nach 5.3.

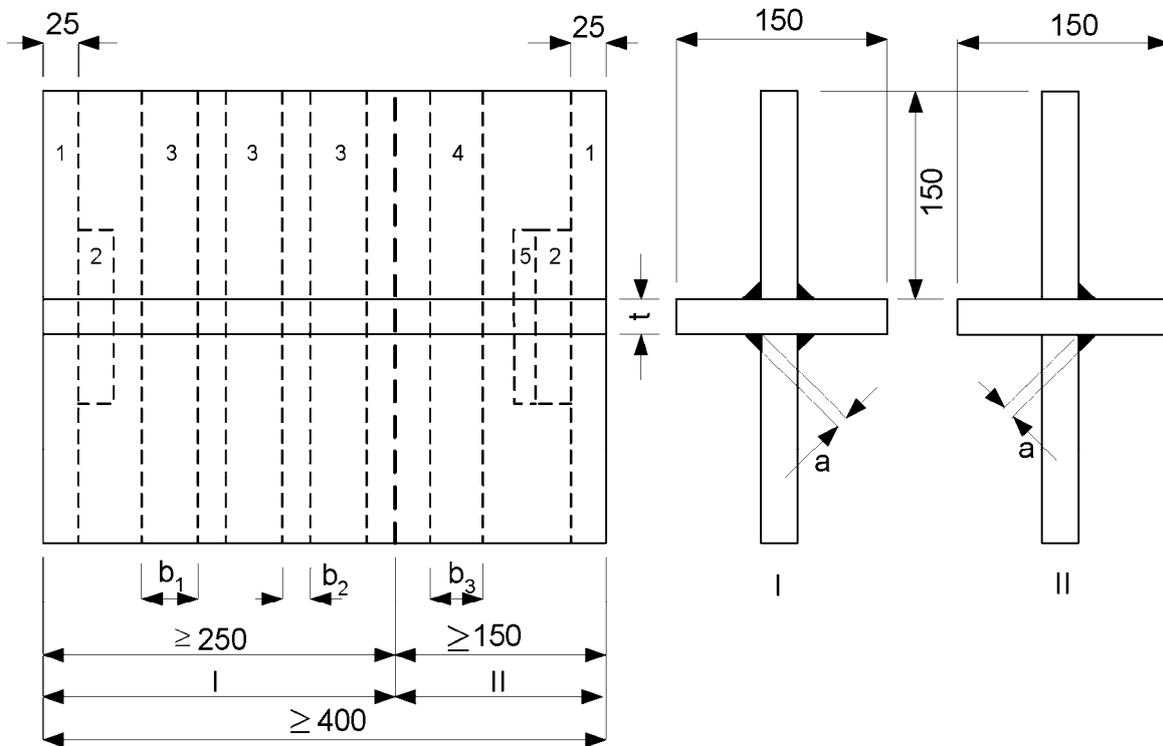
C.2 Prüfstück

Das Prüfstück für eine Schweißverfahrensprüfung für Kehlnähte muss nach Bild C.1 vorbereitet und geschweißt werden.

Für die Prüfung der Materialeigenschaften von Blechen/Platten aus EN AW-6082 wird nur Abschnitt I benötigt.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Maße in Millimeter

**Legende**

- I Abschnitt I ≥ 250 mm
 II Abschnitt II ≥ 150 mm

- 1 Abfall 25 mm
 2 Proben für die Makroschliffuntersuchung
 3 Kreuzzugproben
 4 1 Probe für die Bruchprüfung
 5 1 Probe für die Mikroschliffuntersuchung (nur für Werkstoffgruppe 23 — ausscheidungs-härtende Legierungen — nach CEN ISO/TR 15608)

- b_1 Breite der Kreuzzugprobe ≥ 35 mm
 b_2 Sägeschnittbreite ≤ 5 mm
 b_3 Breite der Bruchprobe ≥ 80 mm
 t Dicke des Prüfstücks
 a Kehlnahtdicke $(t \leq 8\text{ mm}: a = 0,7 t)$
 $(t > 8\text{ mm}: a = 0,5 t)$

Bild C.1 — Kreuzstoßprüfstück für Kehlnähte**C.3 Untersuchung und Prüfung**

Vor dem Aufteilen in Proben müssen eine Sichtprüfung (100 %) und eine Eindringprüfung (100 %) erfolgen.

Die Bruchprüfung ist nach EN 1320 durchzuführen.

ANMERKUNG 1 Es wird empfohlen, die Bruchprüfung vor den Prüfungen der Kreuzproben auf Zug und der Makro/Mikroschliffproben durchzuführen.

Die Prüfung der Kreuzproben auf Zug muss nach EN ISO 9018 erfolgen.

Zur Feststellung der Zugfestigkeit eines Kreuzstoßprüfstücks wird die Festigkeit der Kehlnaht berechnet, indem für jede Probe die mittlere Dicke a_{eff} der Kehlnaht ermittelt wird. Die Zugfestigkeit, definiert als $R_{m,\text{test}} = N_{m,\text{test}}/2a_{\text{eff}}$ unabhängig vom Bruchverlauf (Naht oder WEZ der Naht), muss die Sollwerte von Tabelle C.1 erfüllen. Bricht der erste Prüfkörper quer in der WEZ des Basiswerkstoffes, muss die Naht der anderen Prüfkörper abgearbeitet werden, um den Bruch an der Naht zu erzwingen.

ANMERKUNG 2 EN ISO 17695 enthält Anleitungen zur Ermittlung von " a_{eff} ".

Die Proben für die Makro/Mikroschliffuntersuchungen müssen nach EN 1321 vorbereitet und untersucht werden und die Vorgaben von EN ISO 15614-2 erfüllen. Akzeptanzkriterien sind die Anforderungen von EN ISO 15614-2.

Tabelle C.1 — Mindestwerte für die Zugfestigkeit von Kreuzproben (Position 3 in Bild C.1) in N/mm²

Legierungsbezeichnung nach EN 573-3 und EN 573-2		Zustand, wie in EN 1999-1-1:2007, Tabellen 3.2.a und 3.2.b aufgeführt	Schweißzusätze nach EN 1999-1-1; Legierungsbezeichnungen nach EN ISO 18273		
EN AW-	EN AW-		S-AI 5356/A S-AI 5056A S-AI 5556A/B S-AI 5183/A	S-AI 4043A S-AI 4047A	S-AI 3103
		min R_m (N/mm ²)			
3004	AlMn1Mg1	alle	-	-	67
3005	AlMn1Mg0,5	alle	-	-	67
3103	AlMn1	alle	-	-	67
5005 5005A	AlMg1(B) AlMg1(C)	alle	81	-	-
5049	AlMg2Mn0,8	alle	153	-	-
5052	AlMg2,5	alle	120	-	-
5083	AlMg4,5Mn0,7	alle	170	-	-
5454	AlMg3Mn	alle	156	-	-
5754	AlMg3	alle	153	-	-
6060	AlMgSi	T66	89	89	-
		T6, T64	81	81	-
		T5	64	64	-
6061	AlMg1SiCu	T6/T651	134	120	-
		T4/T451	121	120	-
6063	AlMg0,7Si	T66	105	105	-
		T6	89	89	-
		T5	81	81	-
6005A	AlSiMg(A)	T6	127	113	-

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle C.1 (fortgesetzt)

Legierungsbezeichnung nach EN 573-3 und EN 573-2		Zustand , wie in EN 1999-1-1:2007 Tabellen 3.2.a und 3.2.b aufgeführt	Schweißzusätze nach EN 1999-1-1; Legierungsbezeichnungen nach EN ISO 18273		
EN AW-	EN AW-		S-AI 5356/A S-AI 5056A S-AI 5556A/B S-AI 5183/A	S-AI 4043A S-AI 4047A	S-AI 3103
min R _m (N/mm ²)					
6082	AlSi1MgMn	T6/T651	149	134	-
		T61/T6151			
		T5	129	129	-
		T4/T451			
6106	AlMgSiMn	T6	127	113	-
7020	AlZn4,5Mg1	T6/T651	184	149	-
8011A	AlFeSi	alle	68	68	-

Anhang D

(normativ)

Verfahrensprüfung zur Bestimmung der Haftreibungszahl

D.1 Zweck der Prüfung

Zweck dieses Prüfverfahrens ist die Bestimmung der Haftreibungszahl von Reibflächen mit einer bestimmten Oberflächenbehandlung, die im Allgemeinen eine Oberflächenbeschichtung mit einschließt.

Das Prüfverfahren soll auch sicherstellen, dass einem möglichen Kriechen der Verbindung Rechnung getragen wird.

D.2 Einflussgrößen

Die Gültigkeit von Versuchsergebnissen für beschichtete Oberflächen beschränkt sich auf jene Fälle, bei denen alle wesentlichen Einflussgrößen denen der Prüfkörper entsprechen.

Nachfolgende Einflussgrößen müssen als wesentlich angesehen werden:

- a) die Rezeptur der Beschichtung;
- b) die Oberflächenvorbehandlung und das Aufbringen der Grundbeschichtung bei Mehrschichtsystemen, siehe D.3;
- c) die maximale Dicke der Beschichtung, siehe D.3;
- d) der Härtingsprozess;
- e) der Mindestzeitraum zwischen dem Aufbringen der Beschichtung und der Belastung der Verbindung;
- f) die Festigkeitsklasse der Schraube, siehe D.6.

Bei der Festlegung der Zusammensetzung der Beschichtung sind die Art und Weise der Aufbringung und die verwendeten Verdünnungsmittel mit einzubeziehen. Der Härtingsprozess ist zu belegen, entweder durch Hinweise auf veröffentlichte Empfehlungen oder durch Beschreibung des tatsächlichen Vorgehens. Der Zeitraum (in Stunden) zwischen Beschichtung und Versuchsdurchführung ist zu dokumentieren.

D.3 Prüfkörper

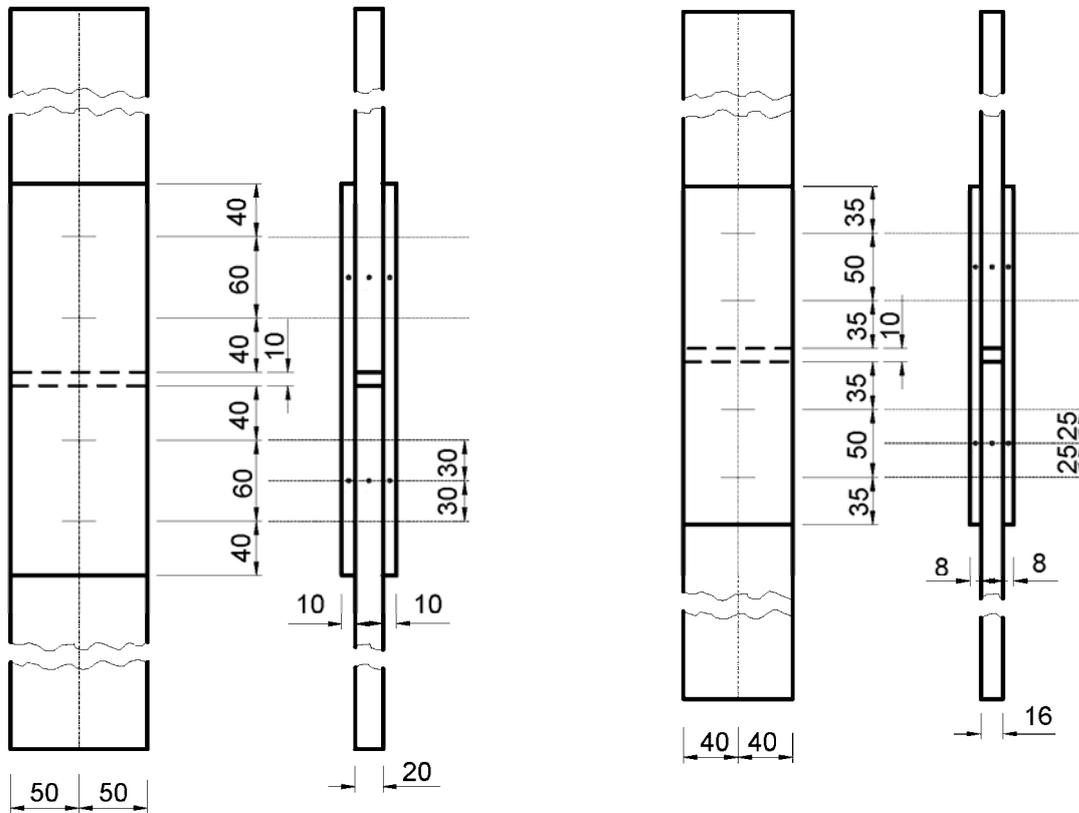
Die Maße der Prüfkörper müssen den Angaben von Bild D.1 entsprechen.

Um sicherzustellen, dass die beiden inneren Platten die gleiche Dicke haben, müssen diese so hergestellt werden, indem sie aufeinander folgend vom gleichen Ausgangsmaterial herausgeschnitten und in gleicher Lage zueinander im Prüfstück angeordnet werden.

Die Platten müssen sauber geschnittene Kanten aufweisen, die den Kontakt zwischen den Plattenoberflächen nicht stören. Sie müssen genügend eben sein, damit die vorbereiteten Oberflächen Kontakt haben, wenn die Schrauben nach 8.3.2 vorgespannt worden sind.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Maße in Millimeter



a) Schrauben M20 bei Lochdurchmesser 22 mm

b) Schrauben M16 bei Lochdurchmesser 18 mm

Bild D.1 — Standardprüfkörper zur Ermittlung der Haftreibungszahl

Die festgelegte Behandlung und Beschichtung der Kontaktflächen muss bei den Prüfkörpern auf die gleiche Weise erfolgen, wie beim Tragwerk vorgesehen. Die mittlere Schichtdicke auf den Prüfkörpern muss mindestens 25 % größer sein, als die für das Tragwerk vorgesehene Nennschichtdicke.

Die Schrauben sind im Prüfkörper mit Lochleibungskontakt zu montieren, jedoch entgegengesetzt zur Richtung der Prüflast.

Die Schrauben müssen mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ der entsprechenden Schraubengröße und Schraubengüte festgelegten Vorspannung $F_{p,C}$ angezogen werden.

Die Vorspannung der Schrauben ist direkt zu messen. Die Messeinrichtung muss eine Genauigkeit von $\pm 5\%$ haben.

ANMERKUNG Wenn der im Laufe der Zeit auftretende Verlust an Vorspannung abgeschätzt werden soll, müssen die Prüfkörper für einen festgelegten Zeitraum zwischengelagert werden, nach dem dann die Vorspannung wieder gemessen wird.

Die Schraubenvorspannung muss bei jedem Prüfkörper kurz vor der Prüfung erneut gemessen werden; falls nötig, sind die Schrauben auf die geforderte Genauigkeit von $\pm 5\%$ nachzuziehen.

D.4 Versuchsdurchführung und Auswertung

Es sind fünf Prüfkörper zu prüfen. Bei vier Versuchen ist die Last mit normaler Geschwindigkeit aufzubringen (Dauer jeweils etwa 10 min bis 15 min). Der fünfte Prüfkörper ist für einen Kriechversuch zu verwenden.

Die Prüfkörper sind in einer Zugprüfmaschine zu prüfen. Das Last-Gleitweg-Diagramm ist aufzuzeichnen.

Der Gleitweg ist als die in Krafrichtung gegeneinander erfolgende Verschiebung benachbarter Punkte der Innenplatte und Deckplatte zu ermitteln. Er ist getrennt an jedem Ende des Prüfkörpers zu messen. Für jedes Ende ist der Gleitweg als Mittelwert der Verschiebungen auf beiden Seiten des Prüfkörpers zu bestimmen.

Als Gleitlast F_{Si} wird jene Last bezeichnet, der ein Gleitweg von 0,15 mm zuzuordnen ist.

Der fünfte Prüfkörper wird mit einer Last von 90 % der mittleren Gleitlast F_{Sm} belastet, die aus den Versuchen mit den ersten vier Prüfkörpern ermittelt wurde, d. h. der Mittelwert aus acht Messwerten.

Wenn beim fünften Prüfkörper nach Aufbringung der Last der Unterschied zwischen dem gemessenen Gleitweg nach fünf Minuten und dem Gleitweg nach drei Stunden nicht größer als 0,002 mm ist, ist die Gleitlast für den fünften Prüfkörper so wie bei den ersten vier Prüfkörpern zu bestimmen. Ergibt dieses verzögerte Gleiten einen Gleitweg größer als 0,002 mm, muss eine erweiterte Kriechprüfung nach D.5 durchgeführt werden.

Übersteigt die Standardabweichung s_{Fs} der 10 Werte (ermittelt an den fünf Prüfkörpern) 8 % des Mittelwerts, sind weitere Prüfkörper zu prüfen. Die Gesamtzahl n der Prüfkörper (einschließlich der ersten fünf) ist nach nachstehender Beziehung zu ermitteln:

$$n \geq \left(\frac{s}{3,5} \right)^2$$

Dabei ist

- n die Anzahl der Prüfkörper
- s die Standardabweichung s_{Fs} der Gleitlast der ersten fünf Prüfkörper (10 Messwerte) als Prozentsatz des Mittelwerts.

D.5 Erweiterte Kriechprüfung und Auswertung

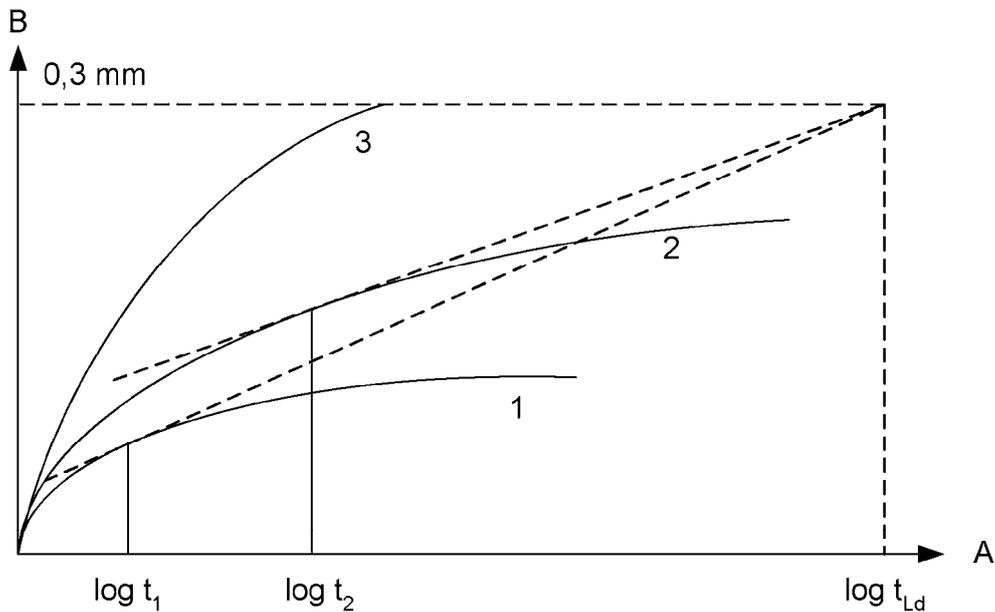
Falls nach D.4 eine erweiterte Kriechprüfung durchgeführt werden muss, sind mindestens drei Prüfkörper (sechs Verbindungen) zu prüfen.

Eine Last ist in einer Höhe aufzubringen, die so bestimmt wurde, dass mit ihr sowohl das Ergebnis der Kriechprüfung nach D.4 als auch die Ergebnisse vorausgegangener erweiterter Kriechprüfungen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Hierfür kann auch eine Last angesetzt werden, die der für die konstruktive Anwendung vorgeschlagenen Haftreibungszahl entspricht. Muss die Oberflächenbehandlung zu einer bestimmten Klasse passen, kann eine zu dieser Haftreibungszahl entsprechende Last angesetzt werden.

Eine "Gleitweg-logZeit"-Kurve ist aufzuzeichnen (siehe Bild G.2), um zu zeigen, dass die aus der vorgesehenen Haftreibungszahl bestimmte Last während der Nutzungsdauer des Tragwerks — 50 Jahre, falls nichts anderes vereinbart — nicht zu Gleitverschiebungen führt, die größer als 0,3 mm sind. Die "Gleitweg-logZeit"-Kurve darf linear extrapoliert werden, sobald eine Tangente mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden kann.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)



Legende

- t_1 Mindestdauer von Prüfung 1
 t_2 Mindestdauer von Prüfung 2
 t_{Ld} Bemessungslebensdauer
 A logZeit (Jahre)
 B Gleitweg (mm)

Der Belastung (Haftreibungszahl) wurde bei Prüfung 3 zu hoch angesetzt.

Bild D.2 — Anwendung der "Gleitweg-logZeit"-Kurve bei der erweiterten Kriechprüfung

D.6 Prüfergebnisse

Die einzelnen Haftreibungszahlen werden mittels nachstehender Formel bestimmt:

$$\mu_i = \frac{F_{Si}}{4F_{p,C}}$$

Der Mittelwert der Gleitlasten F_{Sm} und die zugehörige Standardabweichung s_{Fs} berechnen sich zu:

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n}$$

$$s_{Fs} = \sqrt{\frac{(F_{Si} - F_{Sm})^2}{n-1}}$$

Der Mittelwert der Haftreibungszahlen μ_m und die zugehörige Standardabweichung s_μ berechnen sich zu:

$$\mu_m = \frac{\sum \mu_i}{n}$$

$$s_\mu = \sqrt{\frac{(\mu_i - \mu_m)^2}{n-1}}$$

Der charakteristische Wert der Haftreibungszahl μ muss als 5%-Fraktilwert bei einem Vertrauensbereich von 75 % angenommen werden.

Der charakteristische Wert bei 10 Messwerten ($n = 10$), resultierend aus fünf Prüfungen, darf als Mittelwert minus 2,05-fache Standardabweichung angenommen werden.

Falls keine erweiterte Kriechprüfung erforderlich wird, muss der charakteristische Wert als Nennwert für die Haftreibungszahl angesetzt werden.

Bei der erweiterten Kriechprüfung darf als Nennwert für die Haftreibungszahl jener Wert angesetzt werden, mit dem gezeigt werden kann, dass mit ihm die festgelegte Grenze für das Kriechen eingehalten wird (siehe D.5).

Haftreibungszahlen, die mit Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 ermittelt wurden, dürfen auch bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 angewendet werden.

Alternativ dürfen getrennte Prüfungen für Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 durchgeführt werden. Haftreibungszahlen, die mit Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 ermittelt wurden, dürfen nicht für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 verwendet werden.

Falls gefordert, muss die Oberflächenbehandlung einer wie nachfolgend definierten Reibwertklasse zugeordnet werden, wobei der nach D.4 oder D.5 ermittelte charakteristische Wert für die Haftreibungszahl μ die maßgebende Größe darstellt:

$\mu \geq 0,50$	Reibwertklasse A
$0,40 \leq \mu \leq 0,50$	Reibwertklasse B
$0,30 \leq \mu \leq 0,40$	Reibwertklasse C
$0,20 \leq \mu \leq 0,30$	Reibwertklasse D

Anhang E

(informativ)

Befestigung und Verbindung kaltgeformter Bauteile und Profiltafeln

E.1 Allgemeines

Die Verarbeitbarkeit von Verbindungsmitteln hängt von der auf der Baustelle möglichen Befestigungsmethode ab, die mit Hilfe von Verfahrensprüfungen festgelegt werden kann. Mittels Verfahrensprüfung kann gezeigt werden, dass die auszuführenden Verbindungen auch unter Baustellenbedingungen hergestellt werden können.

Folgende Punkte sollten dabei in Betracht gezogen werden:

- Herstellbarkeit der richtigen Lochmaße für selbstschneidende Schrauben und Niete;
- richtiges Einsetzen von Kraftschraubern mit korrekter Einstellung von Drehmoment und Einschraubtiefe;
- senkrechtes Ansetzen selbstbohrender Schrauben in Bezug auf Bauteiloberfläche und Abdichtung;
- Unterlegscheiben zur Einstellung des richtigen Anpressdrucks innerhalb der vom Hersteller derselben angegebenen Grenzen, siehe Bild E.1;
- Herstellbarkeit der vorschriftsmäßigen Verbindung und Erkennbarkeit von nicht vorschriftsgemäß ausgeführten.

Die zu verwendenden Verbindungsmittel sollten festgelegt sein, ebenso die Materialqualität im Hinblick auf Umgebungseinflüsse (Verhalten der Verbindung, Korrosion).

Es sollten nur Verbindungsmittel nach EN 1999-1-4 verwendet werden (Blindniete, gewindefurchende Schrauben, selbstbohrende Schrauben).

Spezialausführungen von Blindnieten und selbstschneidenden/selbstbohrenden Schrauben sollten nur benutzt werden, falls festgelegt, und bei Vorhandensein einer Europäischen Technischen Spezifikation.

Spezialbefestigungsmethoden sollten nur angewendet werden, falls festgelegt, und bei Vorhandensein einer Europäischen Technischen Spezifikation.

E.2 Gewindefurchende und selbstbohrende Schrauben

Verbindungsmittel nach EN 1999-1-4 sollten nur verwendet werden, wenn deren Hersteller mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 bestätigt, dass die Schrauben hinsichtlich Geometrie und Werkstoffeigenschaften bei gewindefurchenden Schrauben EN ISO 1479, EN ISO 1481 und EN ISO 7049 und bei selbstbohrenden Schrauben EN ISO 15480 und EN ISO 15481 entsprechen.

Länge und Ausformung des Gewindes der Schrauben sollten im Hinblick auf die vorgegebene Anwendung und die Dicke des zu verbindenden Materials gewählt werden. Die wirksame Gewindelänge sollte so sein, dass die Schraube mit ihrem voll ausgebildeten Gewindeabschnitt in die Unterkonstruktion eingreift.

ANMERKUNG 1 Für bestimmte Anwendungen müssen selbstschneidende und selbstbohrende Schrauben ein hinterschnittenes Gewinde aufweisen, siehe 5.6.4. Werden Dichtscheiben benutzt, sollte bei der Wahl der Schraubenlänge die Dicke der Scheiben berücksichtigt werden.

Werden selbstschneidende und selbstbohrende Schrauben zur Befestigung von Formblechen benutzt, sollten sie — falls nicht anders vorgeschrieben — im „Wellental“ eingeschraubt werden.

ANMERKUNG 2 Werden selbstschneidende und selbstbohrende Schrauben im höchsten Punkt des Formblechs angebracht, sollte dies mit entsprechender Vorsicht erfolgen, um Eindrückungen im Blech zu vermeiden.

Kraftschrauber sollten zum Verschrauben von gewindefurchenden und selbstbohrenden Schrauben Justiermöglichkeiten aufweisen, um Einschraubtiefe und Drehmoment in Übereinstimmung mit den jeweiligen Herstellerempfehlungen einzustellen. Werden Elektroschrauber zum Verschrauben von gewindefurchenden und selbstbohrenden Schrauben benutzt, sollten Bohr- und Einschraubgeschwindigkeit (Umdrehungen je Minute) den Angaben des jeweiligen Herstellers entsprechen. Werden Dichtscheiben in Verbindung mit gewindefurchenden und selbstbohrenden Schrauben benutzt, sollten die Schrauben so gesetzt werden, dass die richtige Anpressung erreicht wird, siehe Bild E.1.

ANMERKUNG 3 Die Begrenzungen für Einschraubtiefe und Drehmoment bei Elektroschraubern sollten so eingestellt werden, dass die Zusammendrückung der Dichtscheibe innerhalb der vom jeweiligen Hersteller angegebenen Grenzen liegt.

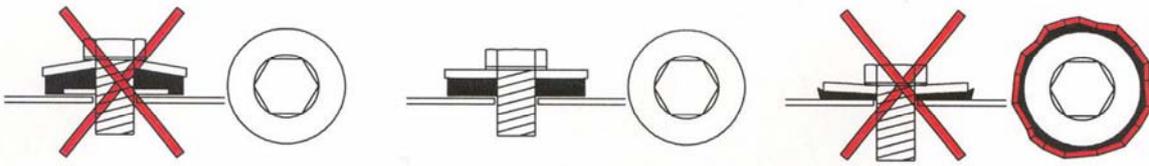


Bild E.1 — Richtige Anpressung bei Dichtscheiben

Werden gewindefurchende und selbstbohrende Schrauben ohne Dichtscheiben verwendet, sollte eine geeignete Drehmomentbegrenzung vorhanden sein, um ein Überdrehen zu verhindern.

ANMERKUNG 4 Das Drehmoment sollte so eingestellt sein, dass zwar das Eindrehmoment erreicht wird, das Moment für Kopfabdrehen und Gewindeabstreifen jedoch nicht.

Der Gebrauch von Schlagschraubern ist nicht erlaubt.

Der für selbstschneidende Schrauben nach EN ISO 1479, EN ISO 1481 und EN ISO 7049 zu bohrende Lochdurchmesser für Schrauben mit Durchmesser 6,3 mm sollte nach den Tabellen E.1 und E.2 gewählt werden.

Tabelle E.1 — Durchmesser der vorzubohrenden Löcher bei Aluminium-Unterkonstruktionen

Wanddicke der Unterkonstruktion in mm	< 3,0	> 3,0 < 4,0	> 4,0
Lochdurchmesser in mm	3,3	3,5	4,1

Tabelle E.2 — Durchmesser der vorzubohrenden Löcher bei Stahl-Unterkonstruktionen

Wanddicke der Unterkonstruktion in mm	≤ 0,75	> 0,75 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 3,0	> 3,0 ≤ 5,0	> 5,0 ≤ 7,0	> 7,0
Lochdurchmesser in mm	3,3	3,5	4,1	4,8	5,5	6,0

Der Durchmesser von Löchern, die für Sonderausführungen selbstschneidender Schrauben mit einer Europäischen Technischen Spezifikation zu bohren sind, richtet sich nach den Festlegungen der Spezifikation.

DIN EN 1090-3:2008-09 EN 1090-3:2008 (D)

E.3 Blindniete

Blindniete aus EN AW-5019 nach EN 1999-1-4 sollten nur verwendet werden, wenn deren Hersteller mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 bescheinigt, dass der Niet in seinen geometrischen und mechanischen Eigenschaften den Festlegungen in EN ISO 15973, EN ISO 15974, EN ISO 15977, EN ISO 15978, EN ISO 15981 und EN ISO 15982 entspricht. Blindniete aus anderen Werkstoffen sollten nur in Verbindung mit einer Europäischen Technischen Spezifikation verwendet werden.

Die Wahl der Länge des Blindniets richtet sich nach der Gesamtdicke der zu verbindenden Teile.

Das Vernieten sollte in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des jeweiligen Herstellers geschehen.

ANMERKUNG Die meisten Hersteller von Blindnieten bieten für die unterschiedlichen Verbrauchsmengen eine Reihe manueller und kraftbetriebener Nietsetzapparate an. Diese lassen sich oft allein schon durch Auswechseln von Nietvorsätzen und/oder Setzbacken für andere Blindniettypen und Größen verwenden. Für Nietungen unter begrenzten Platzverhältnissen, wie bei Nuten oder bei zylindrischen Teilen, sind oft auch auswechselbare Nietköpfe erhältlich.

Für den für Blindniete zu bohrenden Lochdurchmesser gilt: Schaftdurchmesser + 0,1 mm (max. 0,2 mm).

Der Durchmesser von Löchern, die für Spezialniete mit Europäischer Technischer Spezifikation zu bohren sind, richtet sich nach den Festlegungen der Spezifikation.

E.4 Verbinden sich überlappender Ränder

Verbindungsmittel, welche Tafeln untereinander oder Teile wie Abdeckbleche und sonstiges Zubehör verbinden und sichern, sollten in der Lage sein, die sich überdeckenden Teile zusammenzuziehen.

ANMERKUNG Bei Dächern sollten die Randüberdeckungen von dem Wetter ausgesetzten Profiltafeln in Übereinstimmung mit den jeweiligen Herstellerangaben ausgeführt werden. Der kleinste Durchmesser für diese Verbindungen sollte bei selbstschneidenden und selbstbohrenden Schrauben 4,8 mm und bei Blindnieten 4,0 mm betragen.

Wenn Profiltafeln zur Schubaussteifung herangezogen werden sollen, sollten die Anforderungen an die Längsrandverbindungen festgelegt werden, weil diese hier tragende Verbindungen sind.

Anhang F **(informativ)**

Oberflächenbehandlung

F.1 Anodische Oxidation

Falls nicht anders festgelegt, wird für die Oxidschicht eine Mindestdicke von 20 µm gefordert, wenn sie als Korrosionsschutz dienen soll. Bezüglich des Aussehens sollten spezielle Vereinbarungen getroffen werden.

Zur Festlegung von Anforderungen an anodische Oxidschichten in Bezug auf dekorative Eigenschaften und Schutzeigenschaften siehe EN 12373-1.

ANMERKUNG Qualitätssicherung und -bewertung können in Verbindung mit einem anerkannten Europäischen Gütesiegel geschehen.

F.2 Beschichtungen

F.2.1 Allgemeines

Die zu schützenden Oberflächen sollten mit geeigneten Mitteln wie Fiberbürsten, Putzwolle, vorsichtiges Strahlen mit geeignetem Strahlmaterial gereinigt und danach sorgfältig entfettet werden (z. B. mit organischen Fettlösungsmitteln oder mit wässrigen, rückstandsfreien Reinigungsmitteln). In besonderen Fällen dürfen Bürsten aus nichtrostendem Stahl und kupferfreie Bürsten verwendet werden. Reinigen und Entfetten sind auch mit bewährten chemischen Methoden möglich, z. B. durch Beizen, siehe EN 12487. Korrosionen sollten entfernt werden. Ein Reinigen mit der Flamme ist nicht erlaubt. Schweißstellen sollten metallblank gebürstet werden.

ANMERKUNG 1 Strahlen darf nur bei Materialdicken > 3 mm verwendet werden. Geeignete Strahlmittel sind u. a. Aluminium, Korund (kein Regenerat) und Glas; nicht geeignet sind Strahlmittel wie Stahl, Eisen oder Kupfer. Bei anderen Strahlmitteln sollte die Eignung nachgewiesen sein, sie sollten z. B. frei von Eisen, Kupfer und Nickel sein.

Wenn Bleche, Profile oder fertige Konstruktionsteile bereits vor dem Zusammenbau vorbehandelt oder grundiert worden sind, sollten alle Stellen, an die fetthaltige Stoffe gelangt sind, vor Auftragen der nächsten Beschichtung nochmals mit geeigneten Mitteln entfettet werden.

Beschichtungen der Gesamtkonstruktion sollten vor oder unmittelbar nach dem Zusammenbau erfolgen.

Falls der Hersteller des Beschichtungsmaterials nicht andere Grenzen zulässt, sollten Beschichtungen nur aufgebracht werden, wenn die Oberflächentemperatur der zu behandelnden Teile über 5 °C liegt, die relative Luftfeuchtigkeit geringer als 85 % und die Oberflächentemperatur mehr als 3 °C über dem Taupunkt sind.

Es sollte sichergestellt sein, dass mit der Verwendung von vorbeschichtetem Material oder mit werkseitig aufgebrachtener Beschichtung ausreichend Gewähr für den Schutz vorhanden ist, der sowohl für den Zusammenbau als für die Umgebungsbedingungen geeignet ist.

Vorsicht ist geboten bei Beschichtungen, die eingebrannt werden. Ofentemperaturen und Einbrennzeiten sollten materialspezifische Grenzen nicht überschreiten, die der Hersteller der Konstruktionsmaterialien anzugeben hat.

ANMERKUNG 2 Aluminiumprodukte werden auch fertig lackiert geliefert, wobei Lacke auf Lösungsmittelbasis oder auch trockene Systeme zum Einsatz kommen (Pulverbeschichtung). Die Beschichtung kann sowohl vor, während oder auch nach der Bearbeitung aufgebracht werden. Nassbeschichtungen werden üblicherweise in Öfen bei erhöhten Temperaturen gehärtet. Pulverbeschichtungen werden immer im Ofen gehärtet. In beiden Fällen haben ofenbehandelte Beschichtungen bessere Eigenschaften in Bezug auf Härte und Haltbarkeit im Vergleich zu luftgetrockneten Beschichtungen. Derartige Oberflächenbehandlungen eignen sich sowohl für Bleche und Bänder (Coils) als auch für Strangpressprofile. Die Beschichtungen sind meist ausreichend duktil, um ohne Schädigung geringe Verformungen, wie Abkanten oder Rollformen zu erlauben. Mit Werksbeschichtungen und werkseitigen Vorbehandlungen erhält man im Allgemeinen einen zufrieden stellenden Oberflächenschutz.

DIN EN 1090-3:2008-09

EN 1090-3:2008 (D)

ANMERKUNG 3 Die meisten Werksbeschichtungen werden bei Temperaturen von 180 °C oder etwas darüber kurzzeitig ofenbehandelt, wodurch die mechanischen Eigenschaften üblicherweise nur geringfügig beeinflusst werden. Ein nennenswertes Absinken ist jedoch möglich, hängt aber von der Legierung, dem Zustand und dem Temperaturprofil ab, mit dem der Prozess gefahren wird. Die Überwachung der Temperaturen ist übliche Regel. Sie ist aber besonders wichtig bei dicken Profilen, wo die Gefahr sowohl eines zu kurzen als auch eines zu langen Härstens besteht. Die Ausfertigung eines Ofenprotokolls in Verbindung mit einem geeigneten Überwachungssystem ist empfohlen.

ANMERKUNG 4 Qualitätssicherung und Bewertung können in Verbindung mit einem anerkannten Europäischen Gütesiegel geschehen.

Bezüglich Pulverbeschichtungen siehe EN 12206-1.

F.2.2 Vorbehandlung

Auf die gereinigten und entfetteten Flächen sollte - soweit diese nicht schon vorbehandelt sind - unmittelbar nach dem Trocknen ein geeignetes Haftgrundmittel aufgetragen werden.

ANMERKUNG Geeignete Vorbehandlungen sind Umwandlungsschichten, Etchprimer oder Washprimer, vorausgesetzt, die Metalloberfläche ist sauber und weist keine dicken oder unregelmäßigen Oxidschichten auf.

Bezüglich Chromatieren sollte EN 12487 beachten werden.

Unverdichtete Anodierschichten eignen sich ebenso als Vorbehandlung.

F.2.3 Grundbeschichtung

Die vorbehandelten Flächen sollten mit einer Grundbeschichtung mit inhibierenden Pigmenten versehen werden, die sich sowohl mit dem Aluminium als auch mit den nachfolgenden Deckbeschichtungen vertragen. Blei, Kupfer, Quecksilber oder Zinn, Graphit oder kohlenstoffhaltige Pigmente sind in Grundanstrichen nicht erlaubt.

F.2.4 Deckbeschichtung

Nach ausreichendem Trocknen der Grundbeschichtung sollte je nach Umgebungsbedingungen eine abgestimmte Deckbeschichtung aufgetragen werden, die weder Blei, Kupfer, Quecksilber oder Zinn, Graphit, Kadmium oder kohlenstoffhaltige Stoffe als Pigmente enthalten sollte (zur Beschichtung der Kontaktflächen von Bauteilen siehe 10.3). Die Deckbeschichtung sollte mit der Grundbeschichtung und gegebenenfalls allen Folgebeschichtungen verträglich sein.

F.2.5 Beschichtungen mit Bitumen und bituminösen Kombinationen

Beschichtungsstoffe auf Bitumenbasis sollten neutral sein, z. B. Bitumen.

Die zu beschichtenden Flächen sollten blank sein. Sie sollten nötigenfalls gereinigt und sorgfältig entfettet werden, brauchen aber nicht mit einem Haftgrundmittel vorbehandelt zu werden.

F.2.6 Instandsetzungsbeschichtungen

Vor Instandsetzungsbeschichtungen sollte die Oberfläche von Verschmutzungen gereinigt werden. Schadhafte Teile der vorhandenen Beschichtung sollten entfernt werden, fest haftende Beschichtung kann belassen werden. Anschließend sollte mit Fiberbürsten nachgebürstet werden.

Zwischen der alten Beschichtung und den metallblanken Stellen sollte ein glatter Übergang hergestellt werden. Korrosionsstellen sollten metallblank gereinigt werden. Ablaugen mit metallangreifenden Mitteln, Abbrennen oder mechanisches Entfernen mit schlagähnlich wirkenden Werkzeugen ist nicht erlaubt.

Metallblanke Stellen sollten mit einem Haftgrundmittel behandelt werden, danach sollten Grundbeschichtung und Deckbeschichtung aufgebracht werden.

F.3 Passivierung

Wird eine Passivierung oder sonst eine spezielle Oberflächenbehandlung gefordert, so sollte diese im Einzelnen festgelegt sein. Die Anwendungsleitlinien des jeweiligen Herstellers sollten beachtet werden. Ist die Art der Passivierung nicht vorgeschrieben, sollte mindestens eine Behandlung auf der Basis von Chromsäure erfolgen (bezüglich Chromatieren siehe auch EN 12487) oder falls möglich eine Behandlung auf der Basis von Phosphorsäure (Phosphatierung).

ANMERKUNG Das Chromatieren von Aluminium ohne nachfolgende Beschichtung ist nur ein kurzzeitiger Schutz bzw. ein Schutz in wenig aggressiver Umgebung.

Anhang G (normativ)

Geometrische Toleranzen – Grundlegende Toleranzen

G.1 Herstelltoleranzen

G.1.1 Allgemeines

Die in diesem Abschnitt aufgeführten Herstelltoleranzen gelten für Tragwerke und Bauteile jeder Art.

G.1.2 Geschweißte I-Querschnitte

Die Abweichungen von den Nennmaßen bei werkmäßig hergestellten I-Querschnitten dürfen die in Tabelle G.1 festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten.

Tabelle G.1 — Zulässige Abweichungen für geschweißte I-Querschnitte

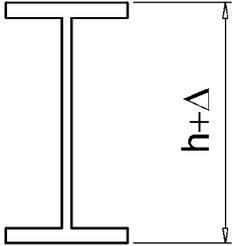
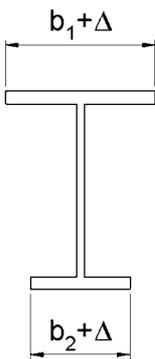
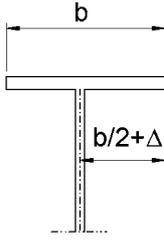
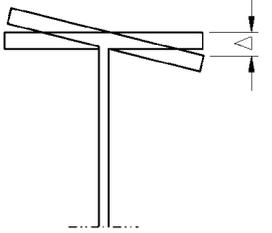
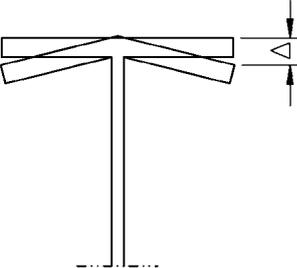
Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Höhe: 	Querschnittshöhe: $h \leq 900 \text{ mm}$ $900 < h \leq 1\,800 \text{ mm}$ $h > 1\,800 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta = + 8 \text{ mm}$ oder $- 5 \text{ mm}$
B	Flanschbreite: 	Breite b_1 oder b_2 : $b < 300 \text{ mm}$ $b \geq 300 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
C		Stegposition:	$\Delta = b/50$, aber nicht weniger als 2 mm

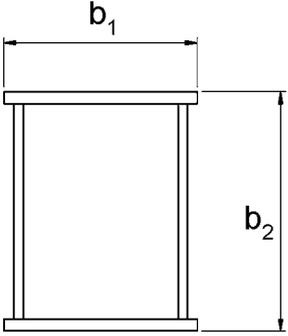
Tabelle G.1 (fortgesetzt)

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
D		Abweichung von der Rechtwinkligkeit:	$\Delta = b/50$, aber nicht weniger als 2 mm
E		Abweichung von der Ebenheit:	$\Delta = b/50$, aber nicht weniger als 2 mm

G.1.3 Geschweißte Kastenquerschnitte

Die Abweichungen von den Nennmaßen bei werkmäßig hergestellten Kastenquerschnitten dürfen die in Tabelle G.2 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.

Tabelle G.2 — Zulässige Abweichungen bei geschweißten Kastenquerschnitten

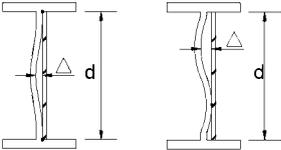
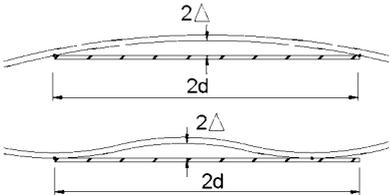
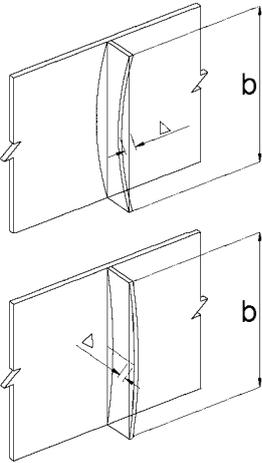
Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Querschnittsmaße: 	Breitenabweichung Δ der Einzelplatte: $b_i \leq 300$ mm $b_i > 300$ mm Dabei ist $i = 1$ oder 2	$\Delta = \pm 3$ mm $\Delta = \pm 5$ mm
ANMERKUNG Für die Abweichungen bei Steifen gelten die Grenzwerte von Tabelle G.3, Fall B.			

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

G.1.4 Trägerstege

Die Verwölbungen von Stegen dürfen die in Tabelle G.3 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten. Diese Grenzwerte gelten auch für die Verwölbung von Flanschblechen.

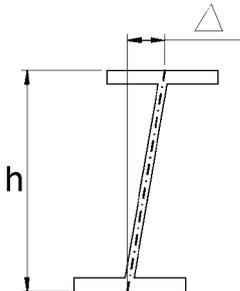
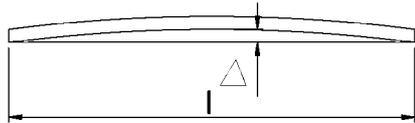
Tabelle G.3 — Zulässige Abweichungen bei Trägerstegen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	<p>Stegverwölbungen:</p> <p>Im Querschnitt:</p>  <p>Im Längsschnitt:</p> 	<p>Verwölbung Δ bezogen auf Steghöhe und in Längsrichtung:</p> <p>$\frac{d}{t} \leq 80$</p> <p>$80 < \frac{d}{t} < 200$</p> <p>$\frac{d}{t} \geq 200$</p> <p>$t =$ Stegdicke</p>	<p>$\Delta < \frac{d}{80}$</p> <p>$\Delta < t$</p> <p>$\Delta < \frac{d}{200}$</p>
B	<p>Stegsteifen:</p> 	<p>Abweichung Δ von der Geradheit parallel zur Stegebene:</p> <p>für $b \leq 750$ mm</p> <p>für $b > 750$ mm</p>	<p>$\Delta = 3$ mm</p> <p>$\Delta = b/250$</p>
		<p>Abweichung Δ von der Geradheit senkrecht zur Stegebene:</p> <p>für $b \leq 1\,500$ mm</p> <p>für $b > 1\,500$ mm</p>	<p>$\Delta = 3$ mm</p> <p>$\Delta = b/500$</p>

G.1.5 Bauteile

Die Abweichungen bei Bauteilen bezüglich Rechtwinkligkeit dürfen die in Tabelle G.4 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.

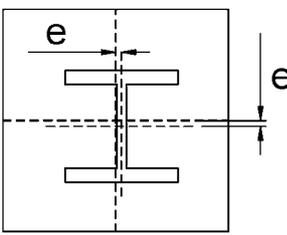
Tabelle G.4 — Zulässige Abweichungen bei Bauteilen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Rechtwinkligkeit am Auflager: 	Abweichung des Steges vom Lot am Auflager für Bauteile ohne Auflagersteifen:	$\Delta = b/300$, aber nicht weniger als 3 mm
B	Geradheit: 	Geradheit über beide Achsen:	$\Delta = b/750$, aber nicht weniger als 3 mm

G.1.6 Fußplatten und Kopfplattenanschlüsse

Die nichtplanmäßige Außermittigkeit von Fußplatten und Kopfplatten für jede Anschlussart darf die in Tabelle G.5 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten. Diese Grenzwerte gelten auch für den Stützenkopf.

Tabelle G.5 — Zulässige Abweichungen für Fußplatten und Kopfplattenanschlüsse

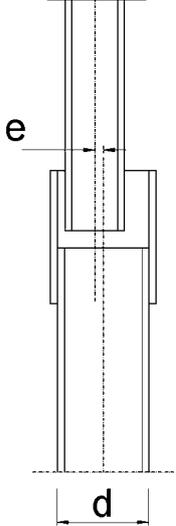
Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Fußplatte und Kopfplattenanschluss (gilt auch für Stützenkopf): 	Nichtplanmäßige Außermittigkeit e :	$e = 5 \text{ mm}$

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

G.1.7 Stützenstöße

Nichtplanmäßige Außermittigkeiten an Stützenstößen jeder Art dürfen die in Tabelle G.6 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.

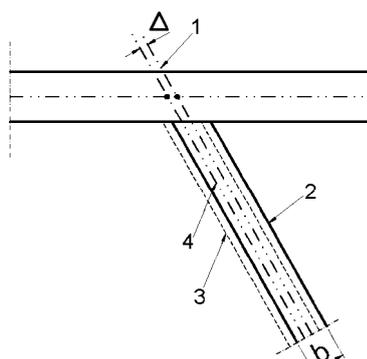
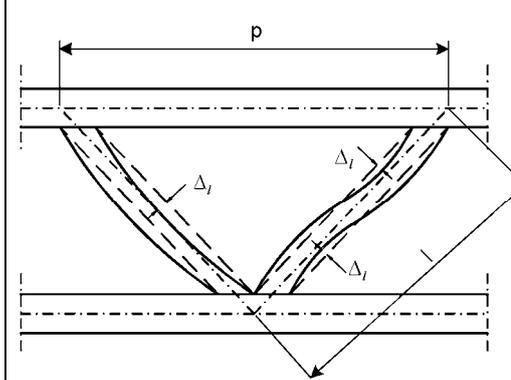
Tabelle G.6 — Zulässige Abweichungen bei Stützenstößen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	<p>Stützenstoß:</p>  <p>The diagram shows a vertical column joint. A dashed vertical line represents the central axis. The eccentricity 'e' is the horizontal distance from this axis to the center of the upper column section. The width 'd' is the horizontal distance between the two vertical lines representing the edges of the wider section of the joint.</p>	<p>Nichtplanmäßige Außermittigkeit e : (um jede Achse)</p> <p>d = Breite des breiteren Querschnitts</p>	<p>e = der kleinere Wert von</p> $\left[\frac{d}{50} \right],$ <p>aber nicht weniger als 2 mm</p>

G.1.8 Ausfachungen

Die Abweichungen bei werkmäßig hergestellten Fachwerkbauteilen dürfen die in Tabelle G.7 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.

Tabelle G.7 — Zulässige Abweichungen bei werkmäßig hergestellten Fachwerkbauteilen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	<p>Außermittigkeit am Anschluss:</p>  <p>Legende 1: Istposition der Schwerlinie 2: Istposition des Querschnitts 3: Sollposition des Querschnitts 4: Sollposition der Schwerlinie</p>	<p>Anschlussaußermittigkeit: Außermittigkeit am Anschlusspunkt^a :</p> <p><i>b</i> ist die Nennbreite der Strebe in mm</p>	$\Delta = b/20 + 5 \text{ mm}$
B	<p>Fachwerkstreben nach dem Schweißen:</p>  <p>ANMERKUNG Für die Geradheit von Ober- und Untergurt gilt Tabelle G.4, Fall B.</p>	<p>Abweichungen der Einzelabstände <i>p</i>, (Abstand der Schnittpunkte der Schwerlinien von Strebe und Gurt):</p> <p>Abweichung kumulativ $\Sigma \Delta_p$:</p> <p>Geradheit von Streben, Abweichung der Schwerlinie von der Geraden: $l < 1500 \text{ mm}$ $l \geq 1500 \text{ mm}$</p>	$\Delta_p = \pm 5$ $\Sigma \Delta_p = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta_i = 3 \text{ mm}$ $\Delta_i = l/500$, aber nicht größer als 6 mm

^a Die Abweichung bezieht sich auf die im Plan festgelegte Solllage.

G.2 Montagtoleranzen

G.2.1 Stützen

Die Abweichungen bei Stützen/vertikalen Bauteilen dürfen die in Tabelle G.8 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle G.8 — Zulässige Abweichungen bei Stützen

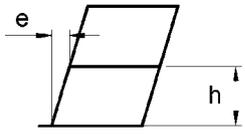
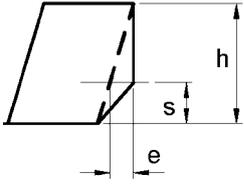
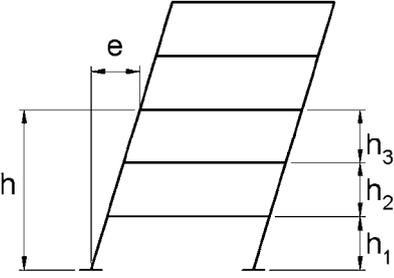
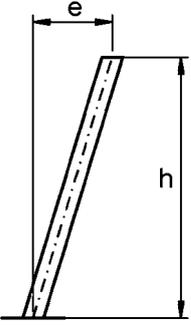
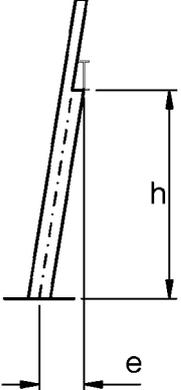
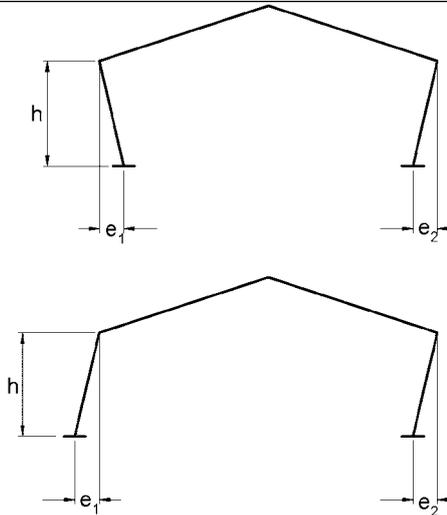
Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A		Neigungsmaß einer Stütze zwischen direkt übereinander liegenden Geschosebenen bei Mehrgeschossbauten:	$e = \pm \frac{h}{500}$
B		Lage des Stützenstoßes bezogen auf die Verbindungsgerade der Anschlusspunkte der direkt übereinander liegenden Geschosebenen bei Mehrgeschossbauten:	$e = \pm \frac{s}{500}$ $s \leq \frac{h}{2}$
C		Lage des Stützenkopfs in einer Geschosebene in Bezug auf die Vertikale durch den untersten Stützenfußpunkt bei Mehrgeschossbauten: n ist die Anzahl der Stockwerke	$e = \frac{\sum h_i}{300 \cdot \sqrt{n}}$
D		Neigungsmaß einer Stütze bei eingeschossigen Gebäuden: Stützen, die Kranbahnlasten aufzunehmen haben, siehe Fall E.	$e = \pm \frac{h}{300}$
E		Neigungsmaß einer Stütze, die Kranbahnlasten aufzunehmen hat, sowie der Stützen von Portalrahmen: $h < 5 \text{ m}$ $5 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$ $h > 25 \text{ m}$	$e = \pm 5 \text{ mm}$ $e = \pm h/1\,000$ $e = \pm 25 \text{ mm}$

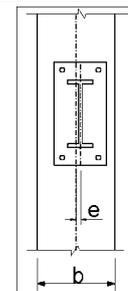
Tabelle G.8 (fortgesetzt)

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
F		<p>Neigungsmaß von Stützen von Portalrahmen ohne Beanspruchung durch Kranbahnlasten:</p> <p>Neigungsmaß eines einzelnen Stiels</p> <p>Sind beide Rahmenstiele in die gleiche Richtung geneigt, gilt für deren mittleres Neigungsmaß:</p>	$e = \pm \frac{h}{100}$ $\frac{e_1 + e_2}{2} = \pm \frac{h}{500}$

G.2.2 Träger

Die nichtplanmäßige Außermittheit bei Anschlüssen von Trägern an Stützen darf die in Tabelle G.9 angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.

Tabelle G.9 — Zulässige Abweichungen bei Anschlüssen von Trägern an Stützen

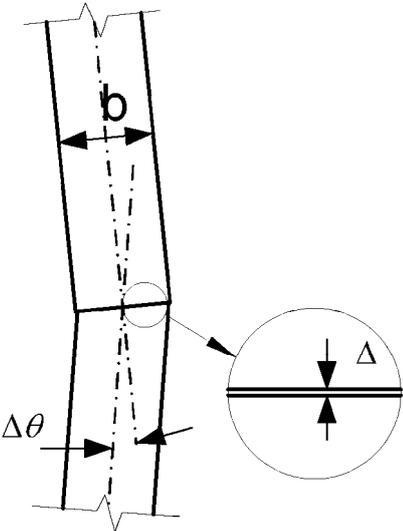
Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A		Lage der Riegel-Stützen-Verbindung in Bezug auf die festgelegte Position:	<p>$e =$ der kleinere Wert von</p> $\left[\frac{b}{50} \right],$ <p>aber nicht weniger als 2 mm</p>

G.2.3 Kontaktstöße

Ist festgelegt, dass bei Schraubstößen die Kräfte voll über Kontaktflächen übertragen werden sollen, muss die Passgenauigkeit der Kontaktflächen im montierten Zustand nach dem Ausrichten und Verschrauben den Anforderungen von Tabelle G.10 entsprechen.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle G.10 — Zulässige Abweichungen bei Kontaktstößen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	 <p>$\Delta\theta$ muss Tabelle G.8, Fall B entsprechen, bevor der Spalt ausgemessen wird.</p>	Luftspalt	$\Delta \leq 1,0 \text{ mm}$ über mindestens 2/3 der Kontaktfläche örtlich max. $\Delta \leq 2,0 \text{ mm}$

Anhang H (normativ)

Geometrische Toleranzen – Ergänzende Toleranzen

H.1 Allgemeines

In diesem Anhang werden für übliche Bauteile und konstruktive Gegebenheiten die wichtigen geometrischen Abweichungen und die dabei zulässigen Werte für ergänzende Toleranzen festgelegt.

Geometrische Abweichungen, welche für die Standfestigkeit von Aluminiumtragwerken wichtig sind, werden in Anhang G behandelt.

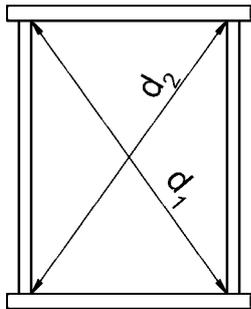
Die zulässigen Werte gelten für die Endabnahme des Tragwerks.

H.2 Herstelltoleranzen

H.2.1 Kastenquerschnitte

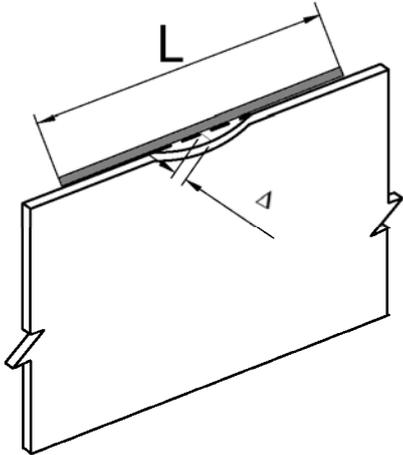
Die Abweichungen werksmäßig hergestellter Kastenquerschnitte bezüglich Verwölbung von Platten und Geradheit von Aussteifungen dürfen die in Tabelle H.1 aufgeführten Werte nicht überschreiten.

Tabelle H.1 — Zulässige Abweichungen bei Kastenquerschnitten

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Rechtwinkligkeit: (am Aussteifungsschott gemessen) 	Unterschied zwischen den nominal gleichen Diagonalenlängen: $\Delta = (d_1 - d_2)$:	$ \Delta = \text{der größere Wert von:}$ $\left[\begin{array}{c} d_1 + d_2 \\ 400 \\ 5 \text{ mm} \end{array} \right]$

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle H.1 (fortgesetzt)

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
B	Plattenverwölbung:  Messstrecke L = Höhe des Stegbleches b	Verwölbung Δ bezogen auf die Plattenbreite bzw. die festgelegte Messstrecke L:	$ \Delta = \text{der größere Wert von:}$ $\left[\begin{array}{l} b/150 \\ 4 \text{ mm} \end{array} \right]$

H.2.2 Bauteile

Bei Bauteilen dürfen die Abweichungen von den Nennmaßen bei Längen, Geradheit, Überhöhung und Rechtwinkligkeit die Grenzen von Tabelle H.2 nicht überschreiten.

Tabelle H.2 — Zulässige Abweichungen bei Bauteilen

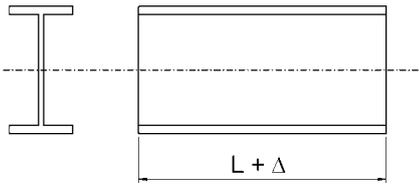
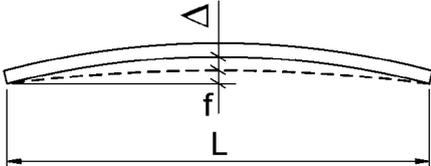
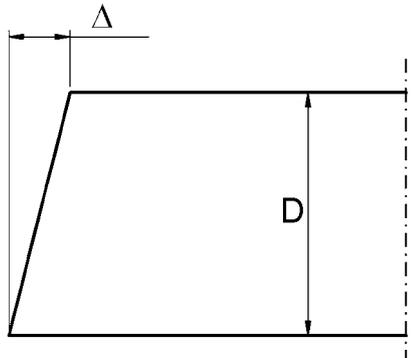
Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Länge: 	Länge der Mittellinie bzw. der Eckenlinie bei Winkeln bei gegebener Temperatur: — geschnittene Längen — Bauteile mit beidseitig für Kontaktstoß bearbeiteten Enden; ggf. einschließlich Endplatten	$\Delta = \pm (2 \text{ mm} + L/5\,000)^a$ $\Delta = \pm 2 \text{ mm}$
B	Überhöhung: 	Überhöhung f in Trägermitte; gemessen am auf der Seite liegenden Träger (Stegblech horizontal)	$ \Delta = \text{der größere Wert von:}$ $\left[\begin{array}{l} L/750 \\ 6 \text{ mm} \end{array} \right]$

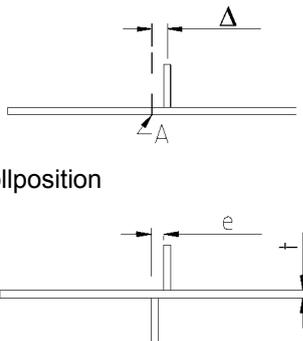
Tabelle H.2 (fortgesetzt)

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
C	Rechtwinkligkeit der Enden:  Die Werte gelten auch für geneigte Endflächen.	Rechtwinkligkeit bezüglich Längsachse: — nicht als Kontaktstoß bearbeitet — als Kontaktstoß bearbeitet D: Profilhöhe/Breite in mm	$\Delta = \pm D/300$ $\Delta = \pm D/1\ 000$
^a Länge L, gemessen in mm.			

H.2.3 Steifen

Die Abweichungen bezüglich der Position von Steifen dürfen die in Tabelle H.3 aufgeführten Werte nicht überschreiten.

Tabelle H.3 — Zulässige Abweichungen bei Steifen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Ort der Steife:  A = Sollposition	Abweichung Δ von der vorgesehenen Position: Positionsunterschied e bei beidseitig angeordneten Steifen:	$\Delta = \pm 5\text{ mm}$ $e = t/2$, aber nicht weniger als 3 mm

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

H.2.4 Schraub- und Nietlöcher, Ausklinkungen und Enden

Die Abweichungen bezüglich der Position von Löchern für Verbindungsmittel, der Maße von Ausklinkungen und der Rechtwinkligkeit von Enden dürfen die in Tabelle H.4 angegebenen Grenzen nicht überschreiten.

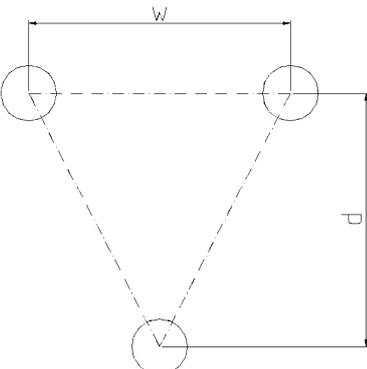
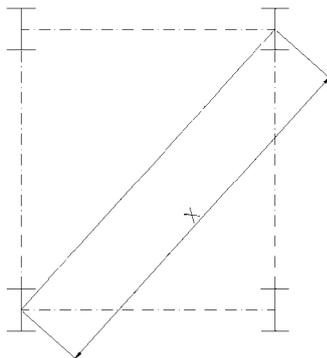
Tabelle H.4 — Zulässige Abweichungen bei Löchern, Ausklinkungen und Enden

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Position von Schraubengruppen: 	Abweichung Δ einer Schraubengruppe von der Sollposition: — Bemaßungsart a — Bemaßungsart b — Bemaßungsart c — Bemaßungsart d — falls $h \leq 1\,000$ mm — falls $h > 1\,000$ mm	$\Delta = + 5$ mm / - 0 mm $\Delta = \pm 2$ mm $\Delta = \pm 5$ mm $\Delta = \pm 2$ mm $\Delta = \pm 4$ mm
B	Ausklinkungen: 	Abweichung Δ der Hauptabmessungen: — Maß d — Maß l	$\Delta = + 2$ mm / - 0 mm $\Delta = + 2$ mm / - 0 mm
C	Enden: 	Abweichung Δ der Schnittkante vom rechten Winkel: $t =$ Dicke in mm	$\Delta = \pm 0,1 t$, aber max. 3 mm

H.2.5 Ausfachungen bei Fachwerken

Die Abweichungen bei werkmäßig hergestellten Fachwerkbauteilen dürfen die in Tabelle H.5 angegebenen Grenzen nicht überschreiten:

Tabelle H.5— Zulässige Abweichungen bei werkmäßig hergestellten Fachwerkbauteilen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	<p>Hauptmaße des Fachwerks:</p>  	<p>Abweichung der Hauptmaße d, w und x, wenn:</p> <p>$s \leq 300 \text{ mm}$</p> <p>$300 \text{ mm} < s < 1\,000 \text{ mm}$</p> <p>$s \geq 1\,000 \text{ mm}$</p> <p>Dabei ist, je nach Bezugsgröße,</p> <p>$s = d, w$ oder x.</p> <p>d : Höhe</p> <p>w : Breite</p> <p>x : Diagonale</p>	<p>$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$</p> <p>$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$</p> <p>$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$</p>

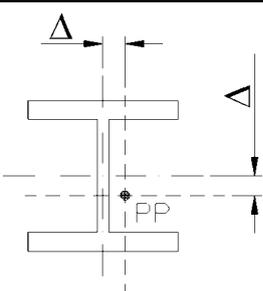
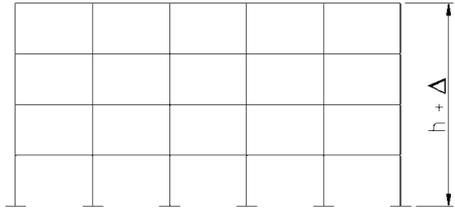
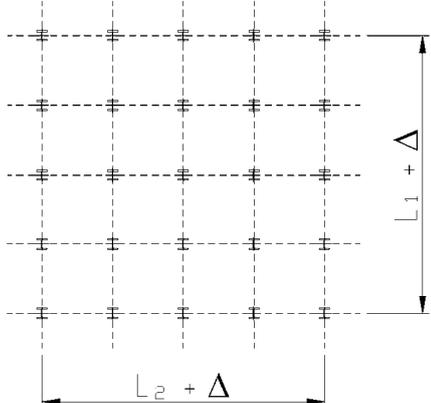
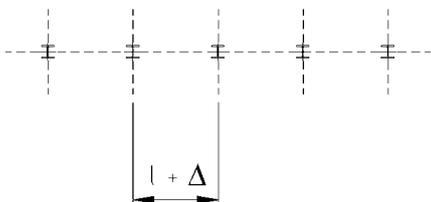
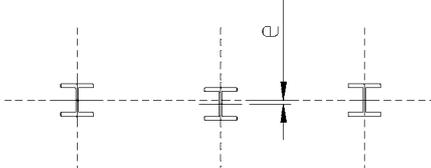
DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

H.3 Montagetoleranzen

H.3.1 Stützen

Die Abweichungen bei Stützen bzw. vertikalen Bauteilen dürfen die in Tabelle H.6 angegebenen Grenzen nicht überschreiten:

Tabelle H.6 — Zulässige Abweichungen bei Stützen

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A		Lage des Mittelpunkts einer Aluminiumstütze im Grundriss in Bezug auf seinen Positionspunkt (PP):	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
B		Höhe über alle Stützen bezogen auf Basishöhe: $h \leq 20 \text{ m}$ $20 \text{ m} < h < 100 \text{ m}$ $h \geq 100 \text{ m}$	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,25(h + 20) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1(h + 200) \text{ mm}$ <i>h</i> in Meter
C		Abstand zwischen den Endstützen jeder Reihe, gemessen in Basishöhe: $L \leq 30 \text{ m}$ $30 \text{ m} < L < 250 \text{ m}$ $L \geq 250 \text{ m}$	$\Delta = \pm 20 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,25(L + 50) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1(L + 500) \text{ mm}$ <i>L</i> in Meter
D		Abstand zwischen Nachbarstützen:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$
E		Lage der Stütze an der Basis bzw. in Stockwerkshöhe in Bezug auf die Verbindungslinie der beiden Nachbarstützen:	$e = \pm 10 \text{ mm}$

H.3.2 Träger, Sparren und Fachwerkbinder

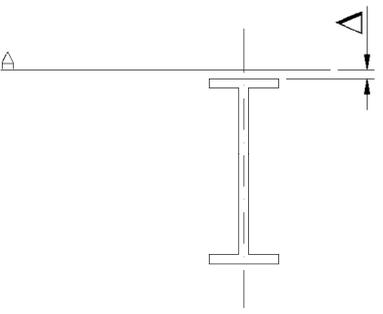
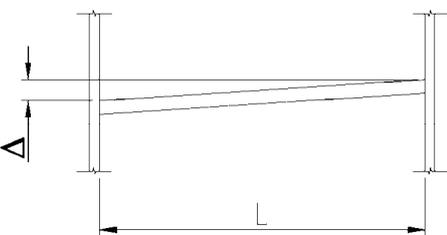
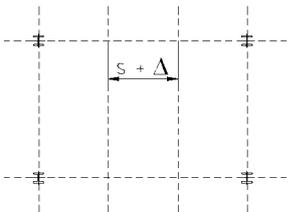
Die Höhenlage von Trägern wird relativ zur tatsächlichen Geschoßebene gemessen. Deren Höhe ist eine vermittelte Höhe, mit der am besten das festgelegte Höhenmaß an die unterschiedlichen Stützhöhen (Toleranzen) angepasst wird.

Die erlaubte Abweichung für die Überhöhung, gemessen in Trägermitte eines eingebauten Trägers beträgt Spannweite/500 bezogen auf die Auflagerpunkte.

Die erlaubte Abweichung für die Überhöhung eines eingebauten Fachwerkträgers mit über 20 m Spannweite und montiert auf der Baustelle beträgt Spannweite/300 bezogen auf die Auflagerpunkte.

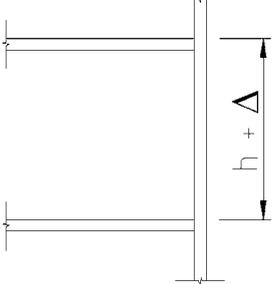
Die erlaubte Abweichung für die Überhöhung eines Kragträgerendes beträgt Länge/300 bezogen auf den Einspannpunkt.

Tabelle H.7 — Zulässige Abweichungen bei Trägern

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	 <p>A = tatsächliche Geschoßebene</p>	Höhe eines Trägers an der Verbindungsstelle zur Stütze relativ zur tatsächlichen Geschoßebene:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$
B		Höhe der Oberkanten der entgegengesetzten Trägerenden:	$\Delta = \text{der kleinere Wert von:}$ $\left[\begin{array}{l} L/500 \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right]$
C		Höhe der Oberkanten benachbarter Träger am gleichgerichteten Ende:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$
D		Abstand benachbarter Träger am gleichgerichteten Ende:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle H.7 (fortgesetzt)

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
E		Höhe zum nächstgelegenen Geschoss:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$

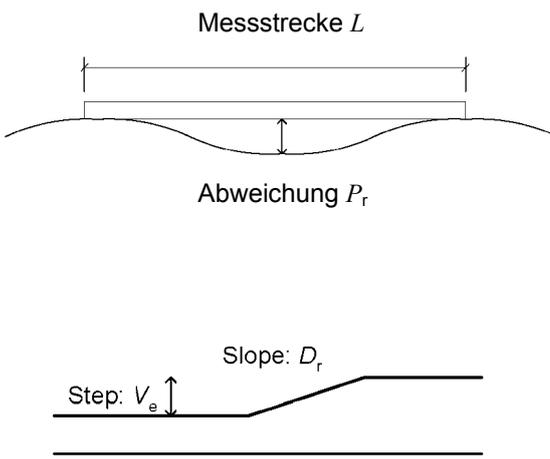
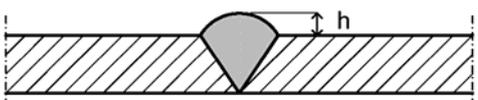
H.4 Brücken

Die folgenden Anforderungen an die zulässigen Abweichungen für Brücken gelten zusätzlich zu den in den Anhängen G und H angegebenen Toleranzen.

Tabelle H.8 — Zulässige Abweichungen bei Brücken

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
A	Spannweite	Abweichung Δ des Abstandes L zwischen zwei benachbarten Auflagern, gemessen auf der Oberseite des Obergurts ANMERKUNG Der Abstand zwischen den Auflagern kann auch direkt gemessen werden, wenn dies für das Messen vorteilhafter ist.	$\Delta = \pm 3 \cdot L/1\ 000$
B	Brücke im Aufriss und im Grundriss	Abweichung Δ von der an die Isthöhe des Brückenlagers angepassten Sollhöhe $L \leq 20 \text{ m}$: $L > 20 \text{ m}$:	$\Delta = \pm L/1\ 000$ $\Delta = \pm L/2\ 000 + 10 \text{ mm}$, aber nicht mehr als $\pm 35 \text{ mm}$

Tabelle H.8 (fortgesetzt)

Fall	Merkmal	Bezugsgröße	Zulässige Abweichung
C	<p>Oberflächengenauigkeit orthotroper Fahrbahnplatten mit der Blechdicke/Profilhöhe T nach der Montage</p> 	<p>Ebenheit - alle Richtungen:</p> <p>$T \leq 10$ mm:</p> <p>$T > 70$ mm:</p> <p>— Allgemein:</p> <p>— In Längsrichtung:</p> <p>ANMERKUNG: Werte für P_r dürfen für $10 \text{ mm} < T \leq 70 \text{ mm}$ interpoliert werden.</p> <p>Höhendifferenz bei Stößen (Stufen):</p> <p>$T \leq 10$ mm:</p> <p>$10 \text{ mm} < T \leq 70$ mm:</p> <p>$T > 70$ mm:</p> <p>Neigung bei Stößen:</p> <p>$T \leq 10$ mm:</p> <p>$10 \text{ mm} < T \leq 70$ mm:</p> <p>$T > 70$ mm:</p>	<p>$P_r = 3$ mm auf 1 m $P_r = 4$ mm auf 3 m $P_r = 5$ mm auf 5 m</p> <p>$P_r = 5$ mm auf 3 m $P_r = 18$ mm auf 3 m</p> <p>$V_e = 2$ mm $V_e = 5$ mm $V_e = 8$ mm</p> <p>$D_r = 8 \%$ $D_r = 9 \%$ $D_r = 10 \%$</p>
D	<p>Schweißungen an orthotropen Fahrbahnplatten:</p> 	<p>Hervorstehen der Naht h:</p>	<p>$h = +1/-0$ mm</p>

Anhang I (normativ)

Geometrische Abweichungen – Schalenträgerwerke

I.1 Allgemeines

Die Bewertung der geometrischen Imperfektionen muss durch repräsentative Probeüberprüfungen (Musternachweise) erfolgen, die an der unbelasteten Konstruktion (nur durch die Eigenmasse belastet) und nach Möglichkeit mit den beim Einsatz vorhandenen Randbedingungen durchgeführt werden.

Wenn die gemessenen geometrischen Imperfektionen die in diesem Anhang angegebenen geometrischen Toleranzwerte nicht erfüllen, ist die Anwendung von Korrekturmaßnahmen, z. B. Richten, in jedem einzelnen Fall zu prüfen und zu entscheiden.

I.2 Toleranzen für die Rundheitsabweichung

Bei kreisförmigen, geschlossenen Schalen muss die Rundheitsabweichung durch den Parameter U_r beurteilt werden (siehe Bild I.1), der nach folgender Gleichung zu bestimmen ist:

$$U_r = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\text{nom}}}$$

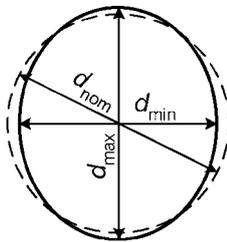
Dabei ist

d_{\max} der größte gemessene Innendurchmesser;

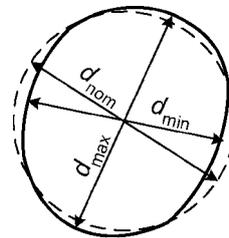
d_{\min} der kleinste gemessene Innendurchmesser;

d_{nom} der Nenn-Innendurchmesser.

Der an einem bestimmten Punkt gemessene Innendurchmesser ist als der größte Abstand anzunehmen, der zwischen diesem Punkt und einem anderen Punkt auf der gleichen axialen Koordinate auf der anderen Seite der Schale existiert. Zur Bestimmung der größten und kleinsten Durchmesserwerte muss eine geeignete Anzahl von Durchmessern gemessen werden.



a) abgeflachte Form



b) unsymmetrische Form

Bild I.1 — Messung der Durchmesser zur Bewertung der Rundheitsabweichung

Der Parameter für die Rundheitsabweichung U_r muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$U_r \leq U_{r,\max}$$

Dabei ist

$U_{r,\max}$ der Toleranzparameter für die Rundheitsabweichung für die jeweils zutreffende Toleranzklasse.

Werte für den Toleranzparameter für die Rundheitsabweichung $U_{r,\max}$ werden in Tabelle I.1 angegeben.

Tabelle I.1 — Werte für den Toleranzparameter für die Rundheitsabweichung $U_{r,\max}$

Toleranzklasse	Durchmesserbereich		
	$d \leq 0,5 \text{ m}$	$0,5 \text{ m} < d < 1,25 \text{ m}$	$d \geq 1,25 \text{ m}$
Klasse 1	0,030	$0,015 + 0,020 \cdot 0(1,25 - d)$	0,015
Klasse 2	0,020	$0,010 + 0,013 \cdot 3(1,25 - d)$	0,010
Klasse 3	0,014	$0,007 + 0,009 \cdot 0(1,25 - d)$	0,007
Klasse 4	0,010	$0,005 + 0,006 \cdot 7(1,25 - d)$	0,005

I.3 Durch die Ausführung erzeugte unplanmäßige Exzentrizität

An den Verbindungen in den Schalenwänden rechtwinklig zu den Membran-Druckkräften muss die unplanmäßige Exzentrizität aus der messbaren Gesamtexzentrizität e_{tot} und dem planmäßigen Absatz e_{int} nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$e_a = e_{\text{tot}} - e_{\text{int}}$$

Dabei ist

e_a die durch die Ausführung bedingte unplanmäßige Exzentrizität zwischen den Mittelflächen der verbundenen Platten (siehe Bild I.2 a));

e_{tot} ist die Exzentrizität zwischen den Mittelflächen der verbundenen Platten (siehe Bild I.2 c));

e_{int} ist der planmäßige Absatz zwischen den Mittelflächen der verbundenen Platten (siehe Bild I.2 b)).

Die durch die Ausführung bedingte unplanmäßige Exzentrizität e_a muss der größten zulässigen unplanmäßigen Exzentrizität für die zutreffende Toleranzklasse entsprechen.

Werte für die größte, durch die Ausführung bedingte Exzentrizität werden in Tabelle I.2 angegeben.

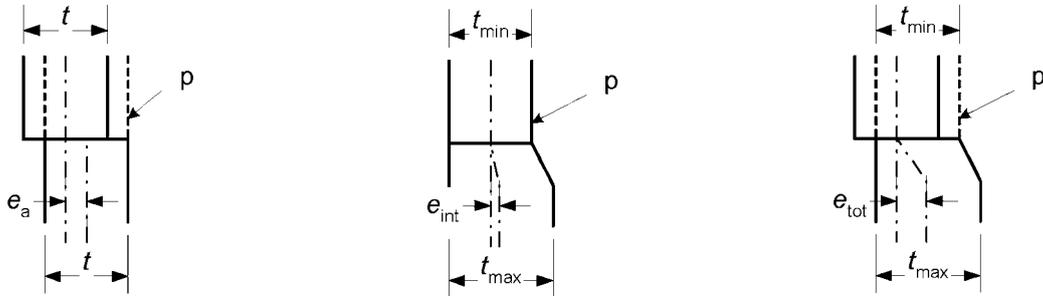
Die unplanmäßige Exzentrizität e_a muss auch mit Hilfe des Parameters für die unplanmäßige Exzentrizität U_e bewertet werden, der nach folgender Gleichung errechnet wird:

$$U_e = \frac{e_a}{t_{\text{ave}}}$$

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Dabei ist

t_{ave} die mittlere Dicke der Platten an der Verbindung.



- a) Unplanmäßige Exzentrizität (Ausführungstoleranz) ohne Änderung der Plattendicke b) Planmäßiger Absatz bei einer Änderung der Dicke ohne unplanmäßige Exzentrizität c) Gesamtexzentrizität (unplanmäßige plus planmäßige) bei einer Änderung der Dicke

Legende

p = perfekte Verbindungsgeometrie

Bild I.2 — Unplanmäßige Exzentrizität und planmäßiger Absatz an einer Verbindung

Der Parameter für die unplanmäßige Exzentrizität U_e muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$U_e \leq U_{e,max}$$

Dabei ist

$U_{e,max}$ der unplanmäßige Exzentrizitätsparameter für die jeweils zutreffende Toleranzklasse.

Werte für den maximal zulässigen unplanmäßigen Exzentrizitätsparameter $U_{e,max}$ werden in Tabelle I.2 angegeben.

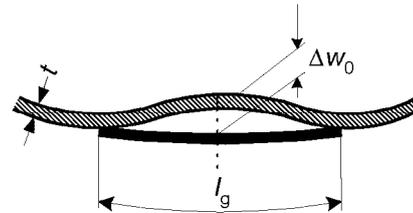
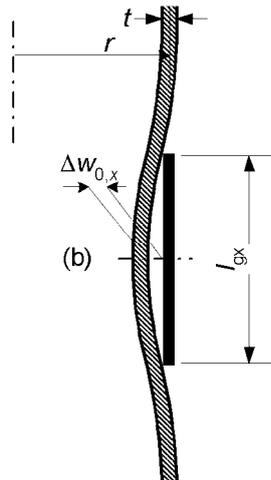
Tabelle I.2 — Werte für die maximal zulässigen unplanmäßigen Exzentrizitäten

Toleranzklasse	$U_{e,max}$	e_a
Klasse 1	0,30	$e_a \leq 4 \text{ mm}$
Klasse 2	0,20	$e_a \leq 3 \text{ mm}$
Klasse 3	0,14	$e_a \leq 2 \text{ mm}$
Klasse 4	0,10	$e_a \leq 1 \text{ mm}$

ANMERKUNG Planmäßige Absätze in Schalen mit abgestufter Wanddicke und überlappten Verbindungen werden in EN 1999-1-5 behandelt. Sie werden nicht als geometrische Imperfektionen behandelt.

I.4 Toleranzen für Beulen/Vorbeulen

In allen Positionen (siehe Bild I.3) sowohl in Meridian- als auch in Umfangsrichtung muss eine Beulenmesslehre angewendet werden. Die Messlehre für Beulen in Meridianrichtung muss gerade sein, während die Lehre für Messungen in Umfangsrichtung eine Krümmung aufweisen muss, die dem Nennradius r der Mittelfläche der Schale entspricht. Bei Kugelschalen ist die Lehre für die Umfangsmessung anzuwenden.

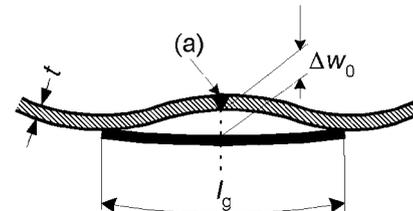
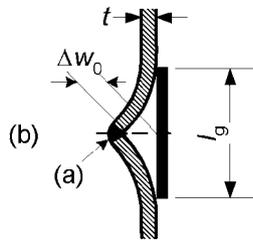


$l_g = l_{g,\theta}$ und $\Delta w_0 = \Delta w_{0,\theta}$ für Druck in Umfangsrichtung oder für Schub

$l_g = l_{g,x}$ und $\Delta w_0 = \Delta w_{0,x}$ für axialen Druck

a) Messung in Meridianrichtung

b) Messung auf einem Kreis in Umfangsrichtung



$l_g = l_{g,x}$ oder $l_{g,w}$

$l_g = l_{g,x}$ oder $l_{g,\theta}$ oder $l_{g,w}$

$\Delta w_0 = \Delta w_{0,x}$ oder $\Delta w_{0,w}$

$\Delta w_0 = \Delta w_{0,x}$ oder $\Delta w_{0,\theta}$ oder $\Delta w_{0,w}$

c) Messung über eine Schweißnaht mit einem Spezialmessgerät

d) Messung auf einem Kreis in Umfangsrichtung über eine Schweißnaht

Legende

- (a) Schweißnaht (w)
- (b) Einwärts gebogene Beule (x)

Bild I.3 — Messung der Vorbeulentiefe Δw_0

Die Vorbeulentiefe Δw_0 in der Schalenwand ist nach Tabelle I.3 mit Geräten mit der Länge l_g zu bestimmen.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle I.3 — Messlänge

Belastung	Richtung	Messlänge
Axialer Druck	In Meridian- und Umfangsrichtung und über die Schweißnähte	$l_{g,x} = 4\sqrt{rt}$
Druck in Umfangsrichtung oder Schub	In Umfangsrichtung	$l_{g,\theta} = 2,3(l^2rt)^{0,25}$ mit $l_{g,\theta} \leq r$ wobei l die axiale Länge des Schalenabschnittes ist
Alle Druckspannungen	Über die Schweißnähte, sowohl in Meridian- als auch in Umfangsrichtung	$l_{g,w} = 25t$ oder $l_{g,w} = 25t_{\min}$, mit $l_{g,w} \leq 500$ mm wobei t_{\min} die Dicke des dünnsten Bleches an der Schweißnaht ist

Die Bestimmung der Vorbeulentiefe hat mit Hilfe der Beulenparameter $U_{0,x}$, $U_{0,\theta}$ und $U_{0,w}$ zu erfolgen, die nach folgenden Gleichungen zu errechnen sind:

$$U_{0,x} = \Delta w_{0,x} / l_{g,x} \quad U_{0,\theta} = \Delta w_{0,\theta} / l_{g,\theta} \quad U_{0,w} = \Delta w_{0,w} / l_{g,w}$$

Der jeweilige Wert für die Beulenparameter $U_{0,x}$, $U_{0,\theta}$ und $U_{0,w}$ muss die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$U_{0,x} \leq U_{0,\max} \quad U_{0,\theta} \leq U_{0,\max} \quad U_{0,w} \leq U_{0,\max}$$

wobei $U_{0,\max}$ der Beulentoleranzparameter für die jeweils ausgewählte Toleranzklasse ist.

Die Werte für den maximal zulässigen unplanmäßigen Exzentrizitätsparameter $U_{0,\max}$ sind in Tabelle I.4 angegeben.

Tabelle I.4 — Werte für den Beulentoleranzparameter $U_{0,\max}$

Toleranzklasse	Wert für $U_{0,\max}$ für die Randbedingungen	
	BC1r, BC2r	BC1f, BC2f
Klasse 1	0,016	
Klasse 2	0,010	
Klasse 3	0,006	
Klasse 4	$\frac{1}{f_o} \left(2,25\sqrt{\frac{t}{r}} + 0,01\sqrt{\frac{r}{t}} \right)$ (f_o in N/mm ²)	$\frac{1}{f_o} \left(5\sqrt{\frac{t}{r}} + 0,02\sqrt{\frac{r}{t}} \right)$ (f_o in N/mm ²)

I.5 Ebenheitstoleranz der Grenzflächen

Wenn eine Schale durch eine andere Konstruktion kontinuierlich abgestützt wird (z. B. durch ein Fundament), muss ihre Ebenheitsabweichung an den Berührungsflächen eine örtliche Neigung in Umfangsrichtung von weniger als β_θ haben:

Der Wert für β_θ ist $\beta_\theta = 0,1\% = 0,001$ Radiant.

Anhang J (informativ)

Anforderungen an Schweißnähte – Art der Darstellung auf Schweißplänen

J.1 Allgemeines

Dieser Anhang gibt Hilfestellung dazu, wie die in 12.4.3, 12.4.4.1 und 12.4.4.2 vorgegebenen Anforderungen an Schweißungen und Prüfumfang festgelegt werden können. Derartige Angaben erfolgen üblicherweise auf Zeichnungen.

Die Zeichnungen sollten je nach Sachlage folgende Informationen enthalten:

- Die Ausführungsklasse mit den Bezeichnungen EXC1, EXC2, EXC3 oder EXC4.
- Die Beanspruchungskategorie mit den Bezeichnungen SC1 (vorwiegend statisch) oder SC2 (Ermüdung).
- Der Umfang an Prüfungen in Prozent, wobei hierbei als Abstufung die Werte 5, 10, 20, 50 oder 100 % gewählt werden sollten.
- Die Bewertungsgruppe, die nach Anhang L mit D, C oder B angegeben werden sollte.
- Für Fälle, wo für die Bewertungsgruppen D, C und B nach Anhang L, Tabellen 11, 12 und 13 zusätzliche Qualitätsanforderungen bestehen, diese zusätzlichen Anforderungen, die dann mit D+, C+ bzw. B+ bezeichnet werden sollten.
- Für Fälle, wo nach EN 1999-1-3 ergänzende Anforderungen bestehen (siehe auch Tabelle L.4), diese ergänzenden Anforderungen, die dann im Einzelnen aufgeführt sein sollten.

Eine Übersicht als Hilfe zur Festlegung der Anforderungen für Tragwerke in der Beanspruchungskategorie SC2 wird mit Anhang M gegeben.

J.2 Pauschale Festlegungen

Können Qualitätsanforderungen pauschal festgelegt werden, kann für die Form der Festlegung von Qualitätsanforderungen auf Zeichnungen die nachfolgende Form gewählt werden:

Tabelle J.1 — Beispiel 1

Qualitäts- und Prüfanforderungen:	
Ausführungsklasse	EXC2
Beanspruchungskategorie	SC1
Bewertungsgruppe nach EN ISO 10042:2005	C
Umfang der ZfP	10 %

ANMERKUNG Diese Darstellung dürfte oft bei vorwiegend statisch beanspruchten Tragwerken in Frage kommen.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

J.3 Festlegungen für Schweißnähte im Einzelnen und Teile von Schweißnähten

Die Darstellung der Qualitäts- und Prüfanforderungen sollten für jede Schweißnaht oder jedes Bauteil nach EN 22553 durch einen Bezug auf eine QTR-Nummer QTRn (Qualitäts- und Test-Referenznummer n) angegeben werden, mit der dann die nach J.1 notwendigen Festlegungen festgelegt sind.

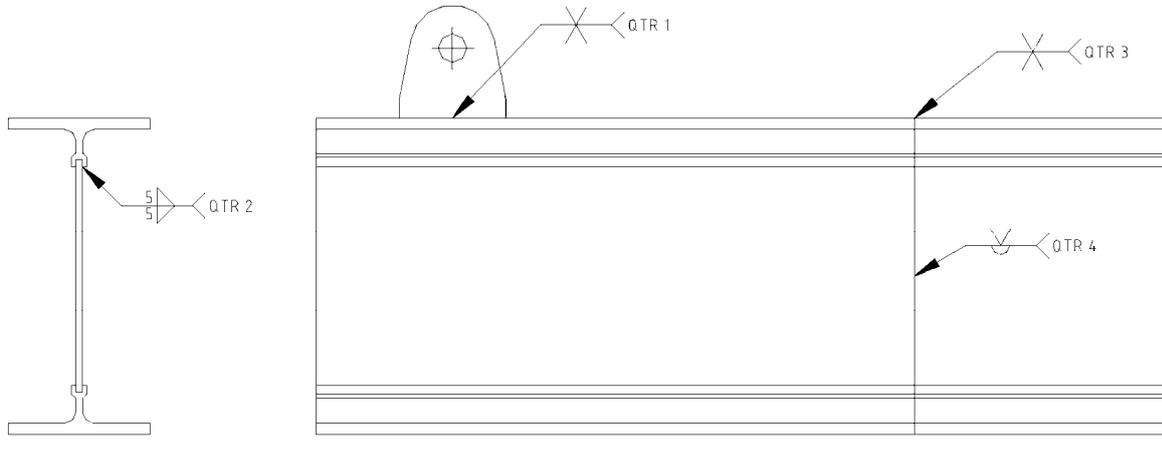


Bild J.1 — Beispiel für die Art der Darstellung von Anforderungen auf Zeichnungen

Tabelle J.2 — Beispiel für einen Katalog von über QTR-Zahlen definierten Anforderungen und Informationen

QTR-Anforderung	Ausführungs-klasse	Beanspruchungs-kategorie	Qualitätsanforderungen für innere Unregelmäßigkeiten nach EN ISO 10042:2005 und EN 1090-3	Qualitätsanforderungen für geometrische Unregelmäßigkeiten nach EN ISO 10042:2005	Ergänzende Anforderung nach EN 1090-3, Anhang M	Umfang der ZfP [%]
QTR 1	3	SC1	C	C	keine	20
QTR 2	3	SC2	C	D	5.5	10
QTR 3	3	SC2	B	C	11.3	50
QTR 4	3	SC2	C	D	5.5	20

Anhang K (informativ)

Empfehlungen für die Beschreibung der Baustellenbedingungen und der Montage bei der Erstellung der Ausführungsunterlagen

K.1 Baustelle

Mit der Montage sollte erst begonnen werden, wenn die Baustelle allen technischen Anforderungen in Bezug auf Arbeitssicherheit genügt. Je nach Situation sollten dabei folgende Punkte beachtet werden:

- a) Einrichtung und Erhalten fester Standflächen für Krane, Gerüste und Arbeitsbühnen;
- b) Zugang zur und Zugangsverhältnisse auf der Baustelle;
- c) Bodenbedingungen, welche die sichere Erstellung des Baus beeinflussen;
- d) mögliche Setzungen von Tragwerksauflagern während der Montage;
- e) Versorgungsleitungen im Boden, Freiluftleitungen und sonstige örtliche Hindernisse;
- f) Grenzen für anzuliefernde Bauteile in Bezug auf Abmessungen und Gewicht;
- g) besondere Umgebungsbedingungen und Klimaverhältnisse auf der und rund um die Baustelle;
- h) Besonderheiten bei benachbarten Bauwerken, welche Einfluss auf die Bauarbeiten haben oder die durch diese beeinflusst werden.

Für die Zufahrt zur und die Fahrmöglichkeiten auf der Baustelle sollte ein Baustellenplan vorhanden sein, der Breite und lichte Höhen der Zufahrtswege enthält, sowie die Höhen der für Arbeiten und Baustellenverkehr hergerichteten Flächen und der möglichen Lagerplätze.

Wenn die Arbeiten mit denen anderer Gewerke verbunden sind, sollten die technischen Anforderungen in Bezug auf die Arbeitssicherheit auf Verträglichkeit mit jedem der anderen Gewerke überprüft werden. In diesem Zusammenhang können folgende Punkte wichtig sein:

- Verfügbarkeit der Versorgungseinrichtungen der Baustelle und Vorvereinbarungen hinsichtlich der Zusammenarbeit mit anderen Auftragnehmern.
- Gewichte von Tragwerksteilen, Zulässigkeit der Beanspruchung des Tragwerks durch Montagegeräte und Lagerlasten.

K.2 Montageanweisungen

Es sollten Montageanweisungen erstellt werden, wobei überprüft werden sollte, ob diese mit den Bemessungsannahmen verträglich sind. Dies gilt insbesondere für die Standfestigkeit des teilerrichteten Tragwerks gegenüber montagebedingten Beanspruchungen.

ANMERKUNG 1 Montageanweisungen dürfen von der Montagekonzeption abweichen, falls diese eine sichere Alternative darstellen.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Für die Montagekonzeption sollten je nach vorliegenden Gegebenheiten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- a) Position und Art von Baustellenstößen;
- b) maximale Größe und Gewicht von Bauteilen, sowie deren Einbauort;
- c) Abfolge der Montage;
- d) Standsicherheitskonzept für das teilerrichtete Tragwerk, einschließlich der Anforderungen an temporäre Verbände und Abstützungen;
- e) Bedingungen für das Entfernen von Hilfsverbänden und Hilfsunterstützungen, bzw. jegliche Anforderung in Bezug auf Entlasten oder Belasten des Tragwerks;
- f) Besonderheiten, die ein Sicherheitsrisiko für die Montage darstellen können;
- g) Zeitplan und Verfahren für das Ausrichten von Fundament- und Lageranschlüssen, sowie das Vergießen;
- h) notwendige Überhöhungen und Voreinstellungen, einschließlich der bereits bei der Fertigung zu überprüfenden Werte;
- i) Verwendung von Profiltafeln als stabilitätsichernde Elemente;
- j) Verwendung von Profiltafeln zur Verhinderung seitlichen Ausweichens;
- k) Transportieren baulicher Einheiten, sowie die Anschlagstellen;
- l) Stellen und Bedingungen für das Unterstützen und Anheben;
- m) Standsicherheitskonzept für die Lager;
- n) Verformungen des teilerrichteten Tragwerks;
- o) zu erwartende Setzungen von Auflagern;
- p) besondere Lasteinleitungsstellen und Lasten, z. B. von Kranen, zu lagerndem Material, Gegengewichten, in den verschiedenen Montagezuständen;
- q) Anweisungen für Lieferung, Lagern, Anheben, Einbauen und Vorspannen von Abspannseilen;
- r) Einzelheiten in Bezug auf das Aufbringen von Verschleißschichten (Abfolge, Temperatur, Aufbring- und Einbaugeschwindigkeit);
- s) Einzelheiten zu allen temporären Konstruktionselementen und Einrichtungen, die mit dem eigentlichen Tragwerk verbunden sind, mit Anweisungen zu deren Entfernen.

Ergänzungen zu Montageanweisungen, einschließlich derer, die aufgrund der Baustellenverhältnisse notwendig werden, sollten geprüft und in Hinblick auf die Erfüllung der o. a. Anforderungen bewertet werden.

Die Montageanweisungen sollten Verfahren beschreiben, die das einwandfreie Errichten des Aluminiumtragwerks sicherstellen, und sollten die technischen Anforderungen in Bezug auf die Arbeitssicherheit berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Die Verfahren sollten mit spezifischen Arbeitsanweisungen verbunden sein.

Die Montageanweisungen sollten, soweit zutreffend, alle oben angesprochenen Punkte behandeln und gegebenenfalls noch nachstehende Punkte berücksichtigen:

- i) Erfahrungen aus allen Probemontagen, die in Berichten über Vormontagen niedergelegt sind;
- ii) Vorrichtungen, die erforderlich sind, um Stöße für das Schweißen zusammenzuhalten und um ein örtliches Verschieben zu verhindern;
- iii) notwendige Hebezeuge;
- iv) Notwendigkeit, bei großen oder unregelmäßigen Bauteilen die Gewichte zu vermerken und/oder deren Schwerpunkt zu kennzeichnen;
- v) für den Kraneinsatz die Abhängigkeit des möglichen Hebegewichts von der Reichweite;
- vi) die Bestimmung von Seitenkräften, insbesondere von Windkräften, die nach der Wettervorhersage auf der Baustelle für die Montage zu erwarten sind sowie die genaue Bestimmung der Maßnahmen, wie die angemessene Seitenstabilität erreicht wird;
- vii) Maßnahmen, um Sicherheitsrisiken jeglicher Art zu begegnen;
- viii) Maßnahmen zur Gewährung eines sicheren Zugangs zum Arbeitsplatz und sicherer Positionen bei der Arbeit.

Anhang L (informativ)

Leitfaden zur Festlegung der Qualitätsanforderungen für Schweißnähte in den Ausführungsunterlagen

L.1 Allgemeines

Dieser Anhang sollte für die Erstellung von Ausführungsunterlagen bezüglich Umfang der Prüfung und Anforderungen an die Qualität von Schweißnähten herangezogen werden. Nachstehend werden Verweise und Hinweise für die nach 12.4.3.1 zu treffenden Festlegungen aufgeführt:

- **Ausführungsklasse**
Die Ausführungsklasse hängt von der Schadenfolgeklasse sowie von der Beanspruchungs- und Herstellungskategorie ab. Daneben müssen noch mögliche nationale Vorschriften beachtet werden;
- **Beanspruchungskategorie und Herstellungskategorie**
Bei den Beanspruchungskategorien wird zwischen quasi statisch beanspruchten Bauteilen (SC1) und ermüdungsbeanspruchten Bauteilen (SC2) unterschieden. Bei den Herstellungskategorien wird zwischen Tragwerken und Bauteilen mit geschraubten Verbindungen (PC1) und geschweißten Tragwerken und Bauteilen (PC2) unterschieden;
- **Bewertungsgruppe für Schweißnähte nach EN ISO 10042**
Grundlage für die Qualitätsanforderungen an Schweißnähte sind die Regelungen von EN ISO 10042:2005, in der die Anforderungen für drei Bewertungsgruppen (Qualitätsstufen) festgelegt sind, die mit B, C und D bezeichnet werden, wobei bei B die strengsten Anforderungen gestellt werden. Welche Bewertungsgruppe im Einzelfall gefordert wird, hängt von der Ausführungsklasse, von der Beanspruchungskategorie und vom Ausnutzungsgrad ab, siehe die Tabellen L.4 und L.5;
- **Zusätzliche qualitätsbezogene Anforderungen zu den Festlegungen der EN ISO 10042**
Bei bestimmten Unregelmäßigkeiten werden im Falle hoher Ausnutzungsgrade im Vergleich zu EN ISO 10042:2005 erhöhte Anforderungen gestellt;
- **Ergänzende Anforderungen zu EN ISO 10042**
Für Schweißnähte in Beanspruchungskategorie SC2 legt EN 1999-1-3 für einige Kerbfälle/Schweißdetails ergänzende Anforderungen fest, die nicht in EN ISO 10042 enthalten sind;
- **Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung (ZfP)**
Mit zusätzlicher zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) sind Prüfungen zusätzlich zur Sichtprüfung gemeint. Anforderungen bezüglich zusätzlicher zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) siehe Tabellen L.2 für SC1 und L.3 für SC2; alle Schweißnähte müssen zu 100 % einer Sichtprüfung unterzogen werden;
- **Sonstige zusätzliche Prüfungen und Prüfverfahren**
Für den Fall, dass weitere zusätzliche Prüfungen gefordert werden, sind die Prüfverfahren und Abnahmekriterien festzulegen.

L.2 Ausnutzungsgrade und Ausnutzungsclassen

L.2.1 Allgemeines

Der Ausnutzungsgrad stellt das Verhältnis zwischen dem Bemessungswert der Beanspruchung eines Querschnitts und dem Bemessungswert des Widerstands dieses Querschnitts dar. Er dient als Parameter zur Bestimmung des Prüfumfangs und der für Schweißungen anzuwendenden Abnahmekriterien.

Diese Europäische Norm legt drei Ausnutzungsklassen, die als UR1, UR2 und UR3 (UR - Engl.: *Utilization range*) bezeichnet werden, fest, siehe Tabelle L.1.

Tabelle L.1 — Ausnutzungsklassen

Beanspruchungs-kategorie	Beanspruchungsart	UR1	UR2	UR3
SC1	Zug und Biegung	$U \leq 0,30$	$0,30 < U \leq 0,60$	$0,60 < U \leq 1,0$
	Abscheren und Druck	$U \leq 0,30$	$0,30 < U \leq 0,80$	$0,80 < U \leq 1,0$
SC2	Ermüdung	$U \leq 0,30$	$0,30 < U \leq 0,60$	$0,60 < U \leq 1,0$
	Ermüdung U , wenn der Ausnutzungs-grad U über den Ermüdungsschaden D_L nach EN 1999-1-3 bestimmt wird	$U \leq 0,30$	$0,30 < U \leq 0,70$	$0,70 < U \leq 1,0$

L.2.2 Ausnutzungsgrad für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC1

Regeln für die Bestimmung des Ausnutzungsgrades U sind in EN 1999-1-1 festgelegt.

L.2.3 Ausnutzungsgrad für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC2

Regeln für die Bestimmung des Ausnutzungsgrades U sind in EN 1999-1-3 festgelegt.

L.3 Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung (ZfP)

L.3.1 Umfang der ZfP (%) für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC 1

Der Umfang an zusätzlicher zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) in % sollte nicht geringer festgelegt werden als in Tabelle L.2 aufgeführt.

Tabelle L.2 — Umfang der ZfP in % für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC1

Nahtart	Ausnutzungsklasse	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
Stumpfnähte unter Querkzug- und Scherbeanspruchung	UR3	5	10	20	im Einzelfall festzulegen
	UR2	—	5	10	im Einzelfall festzulegen
Alle anderen Nähte	UR3	—	5	10	im Einzelfall festzulegen
	UR2	—	—	5	im Einzelfall festzulegen

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

L.3.2 Umfang der ZfP (%) für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC 2

Der Umfang an zusätzlicher zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) in % sollte nicht geringer festgelegt werden als in Tabelle L.3 aufgeführt.

Tabelle L.3 — Umfang der ZfP in % für Bauteile und Tragwerke in Beanspruchungskategorie SC2

Nahtart	Ausnutzungsklasse	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
Stumpfnähte ^a (alle Bewertungsgruppen) und Kehlnähte der Bewertungsgruppe B ^b unter Zug ^c - oder Scherbeanspruchung - ausgenommen die Kerbfälle Nr. 3.5 und 3.6 nach EN 1999-1-3:2007, Tabelle J.3	UR3	-	20	50	100
	UR2	-	10	20	50
Kehlnähte unter Zug- und Scherbeanspruchung	UR3	-	10	20	50
	UR2	-	5	10	20
Alle anderen Nähte	UR3	-	5	10	10
	UR2	-	-	5	5

^a Stumpfnähte mit teilweiser Durchschweißung (siehe den einschlägigen Kerbfall in EN 1999-1-3), sind nach EN 1999-1-1 bei Ermüdung nicht erlaubt.

^b Betrifft lediglich Kehlnähte, bei denen EN 1999-1-3 für innere Fehler die Bewertungsgruppe B fordert.

^c Eingeschlossen sind damit auch jene Nähte, die durch die über sie angeschlossenen Bauteile in Längsrichtung beansprucht (gedehnt) werden.

L.4 Abnahmekriterien für Schweißnähte

L.4.1 Abnahmekriterien für Schweißnähte in Beanspruchungskategorie SC1

Falls keine besonderen Bedingungen vorliegen, sollten die Bewertungsgruppen entsprechend Tabelle L.4 festgelegt werden.

Tabelle L.4 — Bewertungsgruppen für Schweißnähte für Tragwerke bzw. Bauteile in Beanspruchungskategorie SC1

Ausnutzungsklasse	Bewertungsgruppe nach EN ISO 10042:2005 ^{a, b, c}
UR1	D
UR2	D
UR3	C
^a Für die Unregelmäßigkeiten Nr. 2.7 und Nr. 2.9 nach EN ISO 10042:2005 gelten die Grenzwerte nur, wenn die Schweißnähtlänge mehr als 25 mm beträgt. Bei kürzeren Nahtlängen sind diese Unregelmäßigkeiten nicht erlaubt. ^b Folgende, in EN ISO 10042:2005 aufgeführte Regelungen über Unregelmäßigkeiten finden keine Anwendung: Nrn. 1.4, 1.11, 1.12, 1.14, 1.15, 1.17, 2.2 und 2.5. ^c Zusätzliche Anforderungen neben den in EN ISO 10042:2005 festgelegten sind in Tabelle 10 angegeben.	

L.4.2 Abnahmekriterien für Schweißnähte in Beanspruchungskategorie SC2

L.4.2.1 Kerbfälle/Schweißdetails nach EN 1999-1-3

Falls keine besonderen Bedingungen vorliegen, sollten die Bewertungsgruppen entsprechend Tabelle L.5 festgelegt werden. Für den Fall, dass zusätzliche Anforderungen (B+, C+ oder D+) festgelegt sind, sollten die Beanspruchungsrichtung bzw. die unterschiedlichen Regelungen in Bezug auf geometrische und innere Unregelmäßigkeiten beachtet werden. Hierzu kann die Übersicht des Anhangs M benutzt werden.

Tabelle L.5 — Bewertungsgruppen für Schweißnähte für Tragwerke bzw. Bauteile in Beanspruchungskategorie SC2

Ausnutzungsklasse	Bewertungsgruppe nach EN ISO 10042:2005	Festzulegende zusätzliche Qualitätsanforderungen	Festzulegende ergänzende ^a Anforderungen
UR1	siehe die in Tabelle L.4 angegebenen Empfehlungen für SC1		
UR2	siehe EN 1999-1-3:2007, Anhang J	keine	siehe EN 1999-1-3:2007, Anhang J
UR3	siehe EN 1999-1-3:2007, Anhang J	B+, C+ bzw. D+, abhängig vom Kerbfall/Schweißdetail ^b	siehe EN 1999-1-3:2007, Anhang J
^a Die ergänzenden Anforderungen sind für die betroffenen Kerbfälle/Schweißdetails in EN 1999-1-3:2007, Anhang J aufgeführt. ^b Übersicht siehe Anhang M.			

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

L.4.2.2 Andere Kerbfälle/Schweißdetails

Für Kerbfälle/Schweißdetails, die in EN 1999-1-3 nicht aufgeführt sind, können die Qualitätsanforderungen entsprechend den Regelungen der EN 1999-1-3 festgelegt werden, wenn die Ermüdungsfestigkeit auf Versuchen basiert oder wenn die Ausführung von Schweißungen von der Beschreibung in EN 1999-1-3 abweicht.

Im Zweifelsfall sollte die Bewertungsgruppe B zur Anwendung kommen. In der Beanspruchungskategorie SC2 und Ausnutzungsklasse UR3 gelten dann auch die zusätzlichen Qualitätsanforderungen B+ (siehe Anhang M).

Anhang M (informativ)

Übersicht zur Festlegung der Qualitätsanforderungen für Bauteile und Tragwerke in SC2

Dieser Anhang dient als Hilfe zur Festlegung der Qualitätsanforderungen für Schweißungen von Bauteilen und Tragwerken in der Beanspruchungskategorie SC2.

Tabelle M.1 umfasst die geforderten Bewertungsgruppen nach EN ISO 10042:2005, die ergänzenden Anforderungen nach EN 1999-1-3 für die in Anhang J von EN 1999-1-3:2007 aufgeführten Kerbfälle/Schweißdetails, sowie eine Hilfe zur Festlegung der zusätzlichen Anforderungen nach EN 1090-3 (B+, C+ und D+).

Tabelle M.1 — Übersicht zur Festlegung der Anforderungen an Schweißnähte für Bauteile und Tragwerke in SC2

Kerbfall/ Schweißdetail nach EN 1999-1-3:2007	Anforderungen an Qualität und Ausführung			
	Ausnutzungs-kategorie		Abweichende Regelungen für Unregelmäßigkeiten bei Oberfläche und Nahtgeometrie nach EN 1999-1-3	Ergänzende Anforderungen nach EN 1999-1-3, die in den Ausführungsunterlagen festzulegen sind
	UR2	UR3		
3.1	C	C	-	Einbrandkerben mit weichem Übergang ausschleifen
3.2	C	C		
3.3	C	C		
3.4	C	C		
3.5	C	C		
3.6	C	C	-	Übergangsradius parallel zur Spannungsrichtung schleifen; Nahtenden voll ausschleifen
3.7	C	C		
3.8	C	C		
5.1	B	B+	C	Automatengeschweißte Nähte – ohne Unterbrechung durchschweißen
5.2	C	C	-	-
5.3	C	C	D+	Durchlaufende Schweißbadsicherung; Geometrische Diskontinui- täten in Längsrichtung der Naht dürfen nicht mehr als 1/10 der Blechdicke betragen oder die Neigung von 1:4 übersteigen.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)

Tabelle M.1 (fortgesetzt)

Kerbfall / Schweißdetail nach EN 1999-1-3:2007	Anforderungen an Qualität und Ausführung			
	Ausnutzungsklasse		Abweichende Regelungen für Unregelmäßigkeiten bei Oberfläche und Nahtgeometrie nach EN 1999-1-3	Ergänzende Anforderungen nach EN 1999-1-3, die in den Ausführungsunterlagen festzulegen sind
	UR2	UR3		
5.4	B	B	C	Geometrische Diskontinuitäten in Längsrichtung der Naht dürfen nicht mehr als 1/10 der Blechdicke betragen oder die Neigung von 1:4 übersteigen.
5.5	C	C	D+	Geometrische Diskontinuitäten in Längsrichtung der Naht dürfen nicht mehr als 1/10 der Blechdicke betragen oder die Neigung von 1:4 übersteigen
5.6	C	C	D+	-
5.7	C	C	D+	-
7.1.1	B	B+	-	Wurzel ausschleifen; An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
7.1.2	C	C+	-	Wurzel ausschleifen; An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
7.2.1	B	B+		Wurzel ausschleifen; An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen; Nahtübergangswinkel $\geq 150^\circ$. Die Forderung nach " $\geq 150^\circ$ " kann normalerweise nur bei Blechdicken über 10 mm Dicke eingehalten werden.
7.2.2	B	B+	C und C+	Wurzel ausschleifen; An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
7.2.3	C	C+	-	Wurzel ausschleifen; An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.

Tabelle M.1 (fortgesetzt)

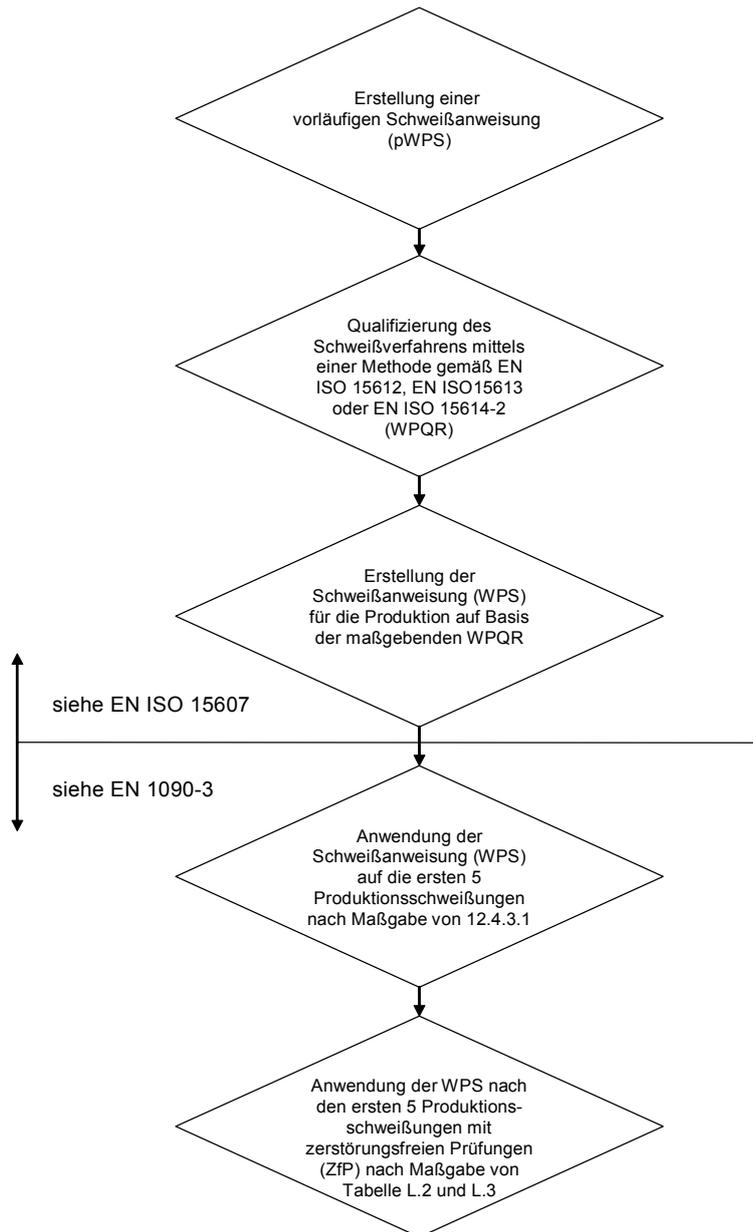
Kerbfall/ Schweißdetail nach EN 1999-1-3:2007	Anforderungen an Qualität und Ausführung			
	Ausnutzungs-klasse		Abweichende Regelungen für Unregelmäßigkeiten bei Oberfläche und Nahtgeometrie nach EN 1999-1-3	Ergänzende Anforderungen nach EN 1999-1-3, die in den Ausführungsunterlagen festzulegen sind
	UR2	UR3		
7.3.1	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
7.3.2	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen
7.4.1	B	B+	-	Wurzel ausschleifen; An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen; Nahtübergangswinkel $\geq 150^\circ$. Die Forderung nach " $\geq 150^\circ$ " kann normalerweise nur bei Blechdicken über 10 mm Dicke eingehalten werden.
7.4.2	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
7.4.3	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
7.5	D	D	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen. Nicht voll durchgeschweißte Nähte sind für vorwiegend ermüdungsbeanspruchte Verbindungen nicht erlaubt.
7.6	B	B+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
9.1	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.

DIN EN 1090-3:2008-09
EN 1090-3:2008 (D)
Tabelle M.1 (fortgesetzt)

Kerbfall/ Schweißdetail nach EN 1999-1-3:2007	Anforderungen an Qualität und Ausführung			
	Ausnutzungs-klasse		Abweichende Regelungen für Unregelmäßigkeiten bei Oberfläche und Nahtgeometrie nach EN 1999-1-3	Ergänzende Anforderungen nach EN 1999-1-3, die in den Ausführungsunterlagen festzulegen sind
	UR2	UR3		
9.2	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
9.3	C	C+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
9.4	C	C+	-	
9.5	C	C+	-	
9.6	C	C+	-	
11.1	B	B+	-	Wurzel ausschleifen. An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
11.2	B	B+	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
11.3	B	B+	C	Wurzel ausschleifen. An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen. Nahtwinkel $\geq 150^\circ$. Die Forderung nach " $\geq 150^\circ$ " kann normalerweise nur bei Blechdicken über 10 mm Dicke eingehalten werden.
11.4	C	C	-	An- und Auslaufbleche verwenden, anschließend entfernen und in Spannungsrichtung blecheben schleifen.
13.1	C	C	-	-
13.2	C	C	-	Lasche rundum anschweißen
13.3	C	C	-	-
13.4	C	C+	C	-
13.5	C	C	-	Platte rundum anschweißen

Anhang N (informativ)

Übersicht zur Erstellung und Anwendung einer Schweißanweisung (WPS)



Legende

WPQR = Prüfungsbescheinigung über die Anerkennung des Schweißverfahrens (en: *welding procedure qualification record*)

Bild N.1 — Erstellung und Anwendung einer Schweißanweisung – Übersicht

Literaturhinweise

- [1] CR/ISO 17663, *Welding — Guidelines for quality requirements for heat treatment in connection with welding and allied processes (ISO/TR 17663:2001)*
- [2] EN ISO 2320, *Sechskantmuttern aus Stahl mit Klemmteil — Mechanische und funktionelle Eigenschaften (ISO 2320:1997)*
- [3] EN ISO 7040, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (mit nichtmetallischem Einsatz), Typ 1 — Festigkeitsklassen 5, 8 und 10 (ISO 7040:1997)*
- [4] EN ISO 7042, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (Ganzmetallmuttern), Typ 2 — Festigkeitsklassen 5, 8, 10 und 12 (ISO 7042:1997)*
- [5] EN ISO 7719, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (Ganzmetallmuttern), Typ 1 — Festigkeitsklassen 5, 8 und 10 (ISO 7719:1997)*
- [6] EN ISO 10511, *Sechskantmuttern mit Klemmteil niedrige Form (mit nichtmetallischem Einsatz) (ISO 10511:1997)*
- [7] EN ISO 10512, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (mit nichtmetallischem Einsatz), Typ 1, mit metrischem Feingewinde — Festigkeitsklassen 6, 8 und 10 (ISO 10512:1997)*
- [8] EN ISO 10513, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (Ganzmetallmuttern), Typ 2, mit metrischem Feingewinde — Festigkeitsklassen 8, 10 und 12 (ISO 10513:1997)*
- [9] Aluminium-Trapezprofile und ihre Verbindungen; GDA Gesamtverband der Aluminiumindustrie, Düsseldorf, 2006, ISBN 3-937171-09-6.
- [10] EN 12373-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Anodisieren — Teil 1: Methode zur Spezifizierung dekorativer und schützender anodisch erzeugter Oxidschichten auf Aluminium*
- [11] EN 12487, *Korrosionsschutz von Metallen — Gespülte und no-rinse Chromatierüberzüge auf Aluminium und Aluminiumlegierungen*
- [12] EN 22553, *Schweiß- und Lötnähte — Symbolische Darstellung in Zeichnungen (ISO 2553:1992)*
- [13] EN ISO 15973, *Geschlossene Blindniete mit Sollbruchdorn und Flachkopf — AIA/St (ISO 15973:2000)*
- [14] EN ISO 15974, *Geschlossene Blindniete mit Sollbruchdorn und Senkkopf — AIA/St (ISO 15974:2000)*
- [15] EN ISO 15977, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Flachkopf — AIA/St (ISO 15977:2002)*
- [16] EN ISO 15978, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Senkkopf — AIA/St (ISO 15978:2002)*
- [17] EN ISO 15981, *Offene Blindniete mit Sollbruchdorn und Flachkopf — AIA/AIA (ISO 15981:2002)*

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:2009Eurocode 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-probalistischen 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

	Seite
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:  2008 , *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 2: Mechanische Eigenschaften*

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

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

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

 gestrichener Text 

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.

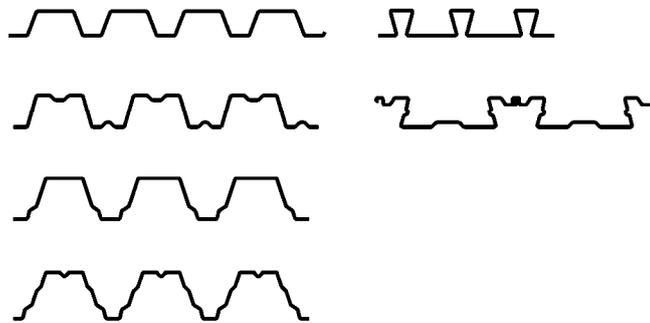


Bild 1.1 — Beispiele kaltgeformter Profiltafeln



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_i} :

- 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_{M_i} 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;

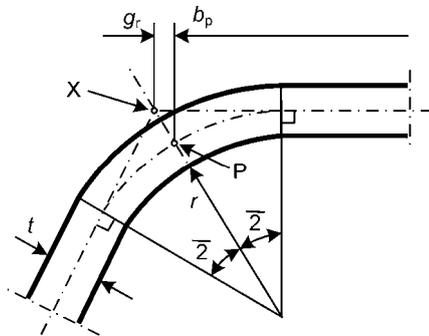
m die Anzahl der ebenen Teilflächen;

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.



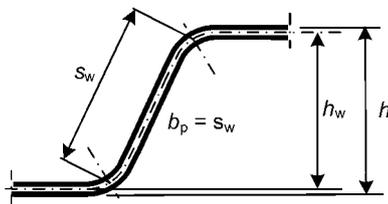
(a) Mittelpunkt der Ecke oder der Ausrundung / Eckenmitte

X ist der Schnittpunkt der Mittellinien

P ist die Eckenmitte

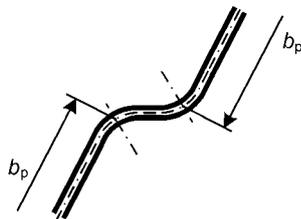
$$r_m = r + t / 2$$

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

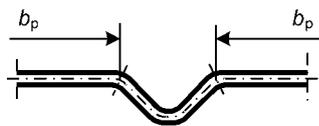


(b) Nennbreite b_p eines Steges

($b_p =$ schräge Höhe s_w)



(c) Nennbreite b_p ebener durch Steg aussteifungen verbundener Teilflächen



(d) Nennbreite b_p ebener durch Gurtaussteifungen 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 $s_w / t \leq 0,5 E / f_0$

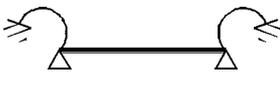
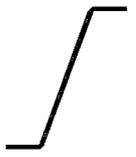
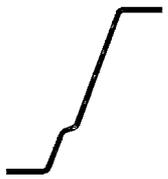
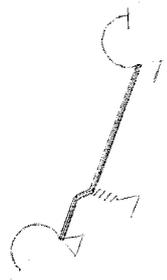
DIN EN 1999-1-4:2010-05
EN 1999-1-4:2007 + AC:2009 (D)

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 **AC** Schwerachse **AC** zu berücksichtigen.

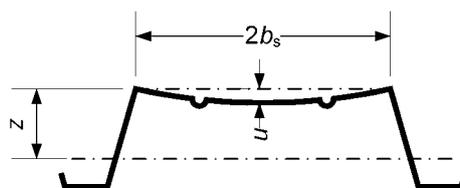


Bild 5.2 — Einwölbung von Gurten

(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 Gesamtläche 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:

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

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

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

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

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:

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

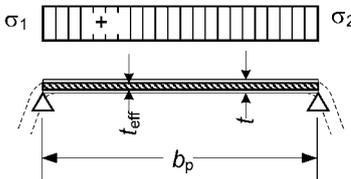
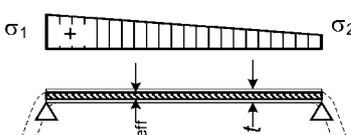
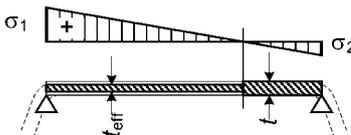
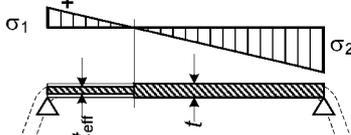
(6) Bezüglich der wirksamen Steifigkeit beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit siehe 7.1(3).

(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)

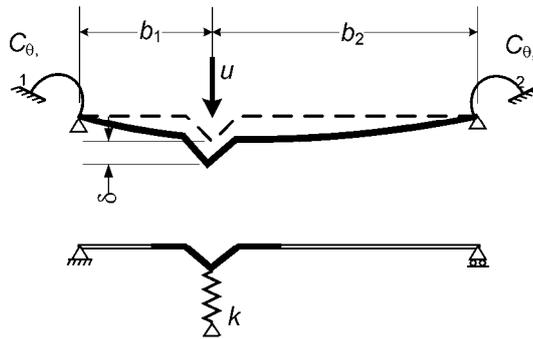


Bild 5.3 — Modell zur Ermittlung der Federsteifigkeit

(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:

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

(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.

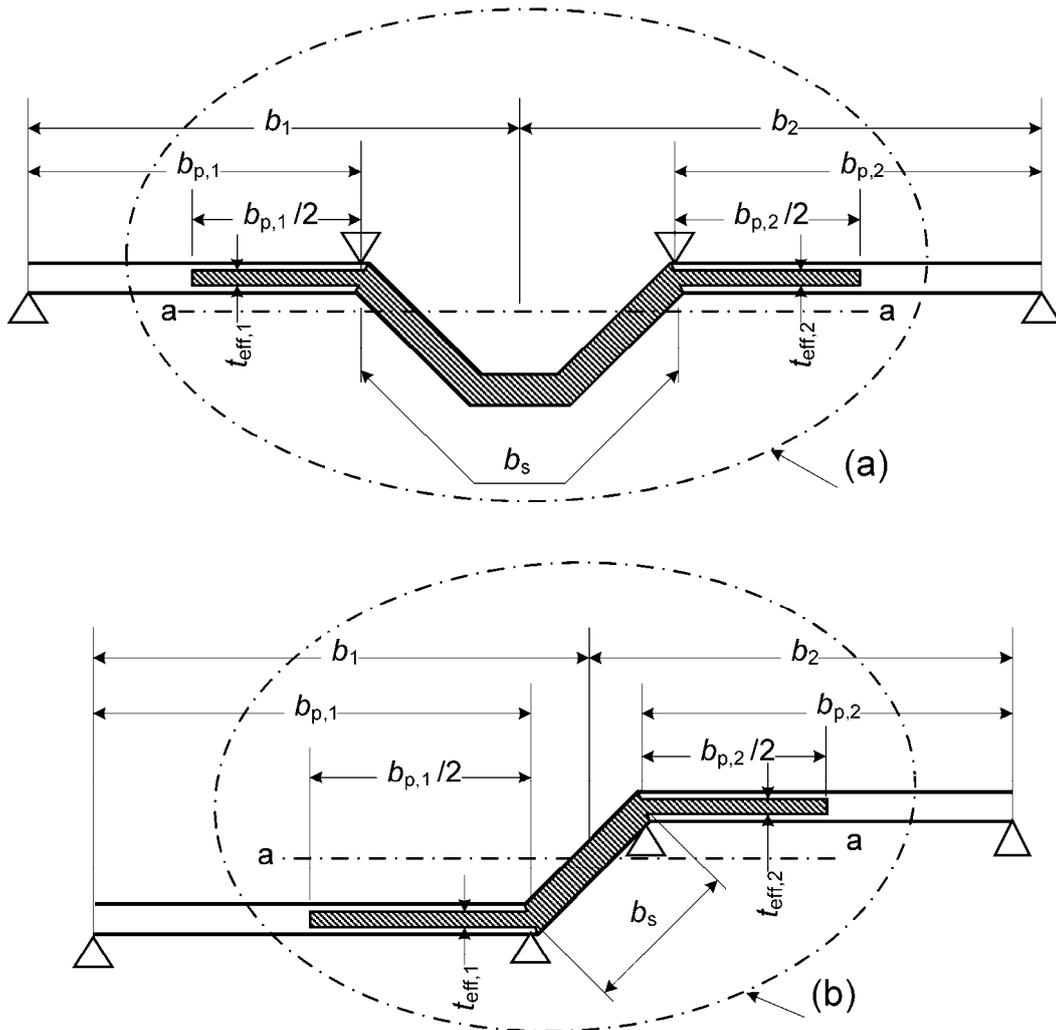


Bild 5.4 — Anfänglicher wirksamer Querschnitt A_s für Zwischensteifen in (a) Gurt und (b) Steg

(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:

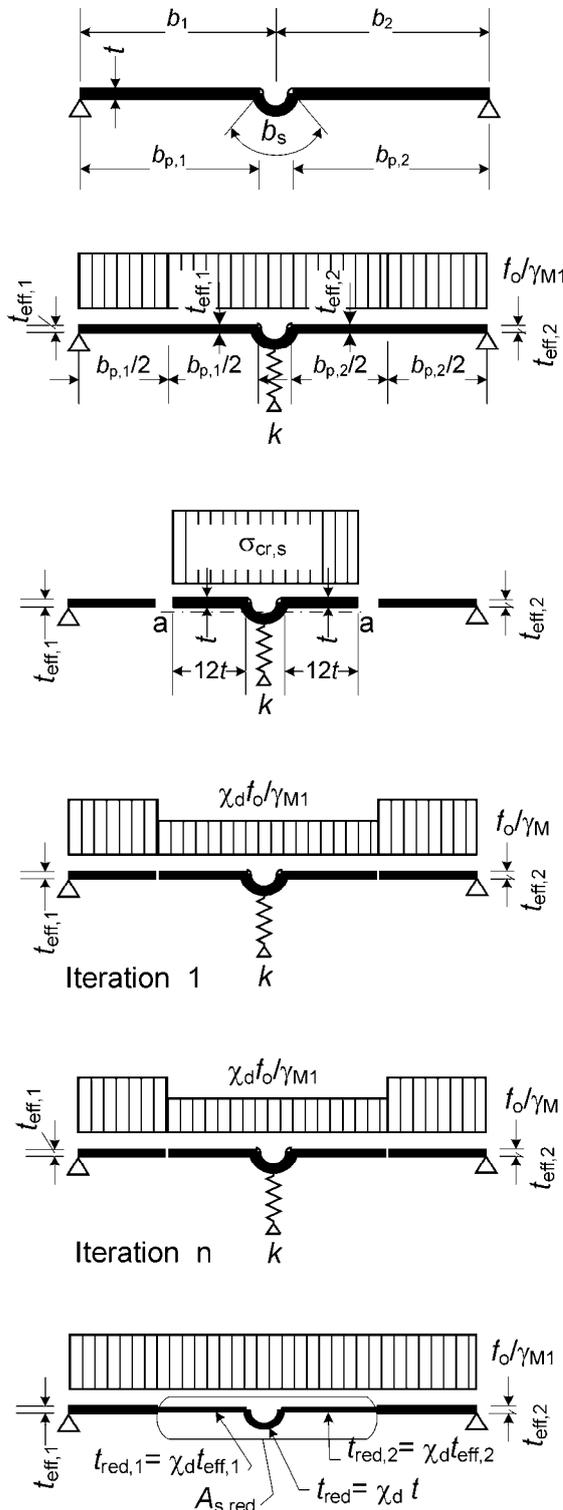
$$\lambda_{p,\text{red}} = \lambda_p \sqrt{\chi_d} \quad (5.10)$$

(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 $12 t$ 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 des in 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:

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

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.

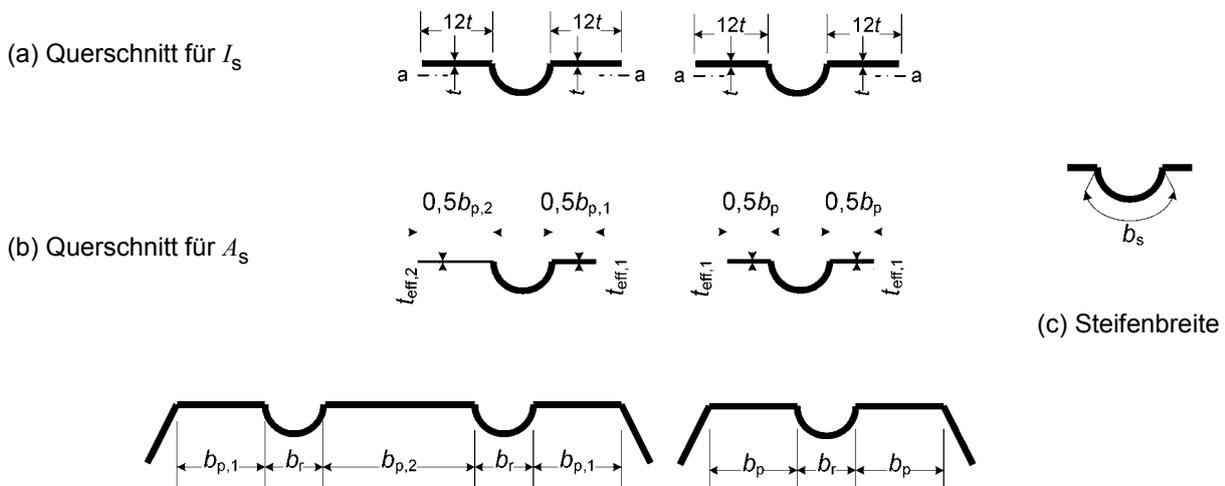


Bild 5.6 — Wirksamer Querschnitt zur Ermittlung von I_s und A_s für Druckgurte mit zwei Steifen bzw. einer Steife

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

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

mit

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

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

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:

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

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

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:

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

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

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

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

(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 \overline{AC} Schwerachse \overline{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.

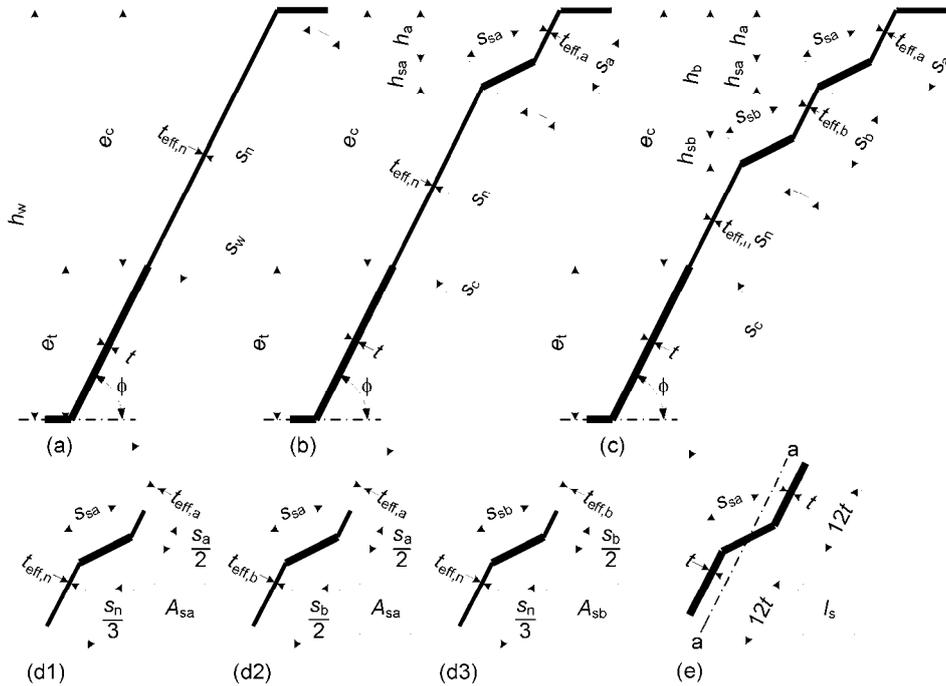


Bild 5.7 — Wirksame Querschnitte in Stegen kaltgeformter Profiltafeln

(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 Schwerachse 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 $\langle AC \rangle$ Schwerachse $\langle AC \rangle$ ist in einen an die Steife angrenzenden Teil $s_n/3$, siehe Bild 5.7(d1) und (d3), und einen der $\langle AC \rangle$ Schwerachse $\langle AC \rangle$ zugekehrten Teil $2s_n/3$ aufzuteilen.

$\langle AC \rangle$

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	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_c}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E k_\sigma} \cdot \frac{(e_c - h_b - h_{sb})}{e_c}}$	$\psi = -\frac{e_t}{s_n \cdot \sin \phi}$

$\langle AC \rangle$

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

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

worin s_1 und s_2 wie folgt definiert sind:

— für eine einzelne Aussteifung:

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

- 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 Stegauseifungen

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

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

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)

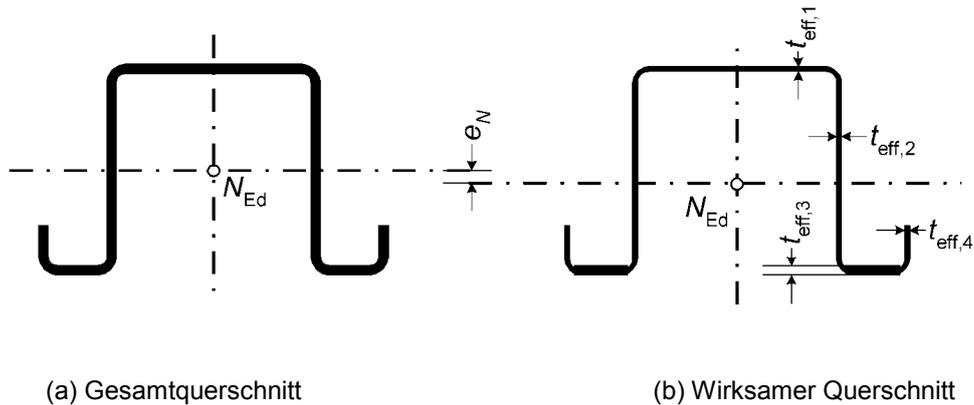


Bild 6.1 — Verschiebung der \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} bei Querschnitten unter Druckbeanspruchung

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.

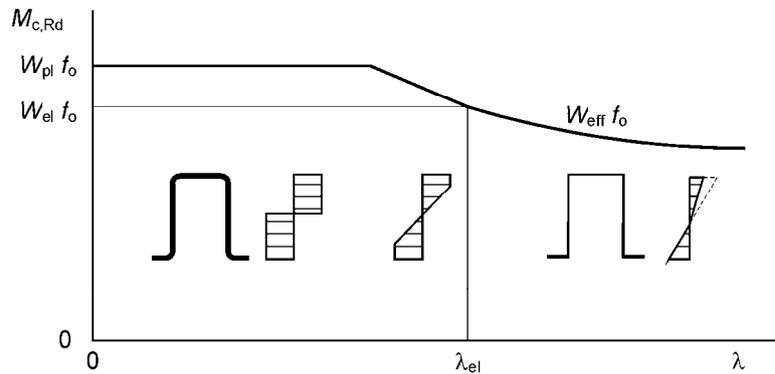


Bild 6.2 — Biege widerstand in Abhängigkeit der Schlankheit

(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.

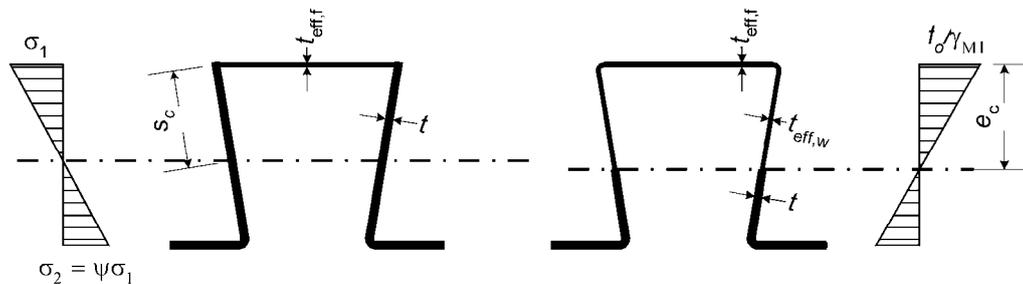


Bild 6.3 — Wirksamer Querschnitt bezüglich Biegebeanspruchung

(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 $W_{\text{pp,eff}}$ mit einer abgeknickten Spannungsverteilung in der Biegezugzone und einer linearen Spannungsverteilung in der Biegedruckzone ermittelt werden.

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

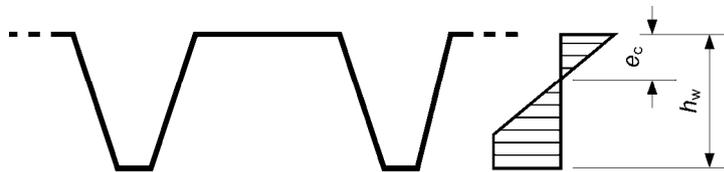


Bild 6.4 — Maß e_c zur Ermittlung wirksamer Dicken

(4) Wird in der Tragwerksberechnung eine Momentenumlagerung in Ansatz gebracht, sollten die in 7.2 aufgeführten Bedingungen erfüllt sein. Wird das Reststützmoment am Zwischenauflager 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 Stegchlankheit $\bar{\lambda}_w$

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 Stegverdrehungen 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:

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

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)

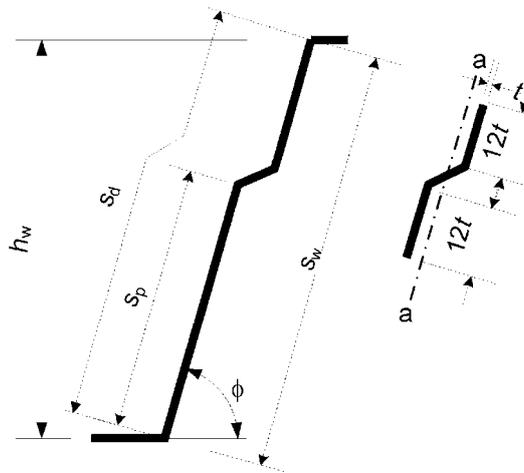


Bild 6.5 — Geometrie eines längsausgesteiften Steges und wirksamer Querschnitt einer Aussteifung

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 Profulfüller 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].

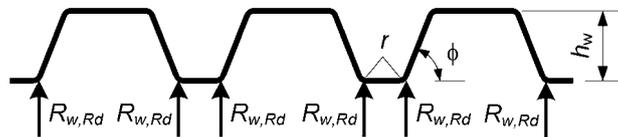


Bild 6.6 — Beispiel eines Querschnittes mit zwei oder mehr Stegen

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

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

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:

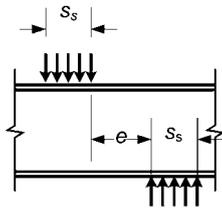
$$\text{wenn } \beta_v \leq 0,2: \quad l_a = s_s \quad (6.13b)$$

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

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

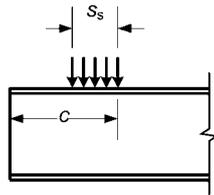
$$\beta_v = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|} \quad (6.14)$$

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.



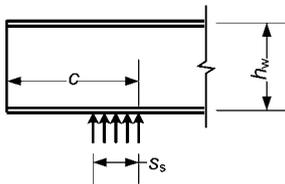
Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$

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



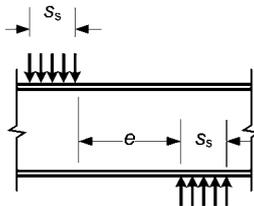
Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$

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



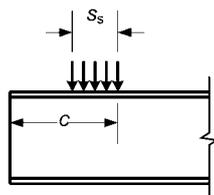
Lagerungskategorie 1; $\alpha = 0,075$

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



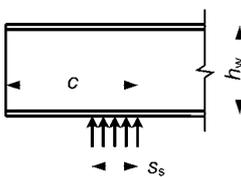
Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$

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



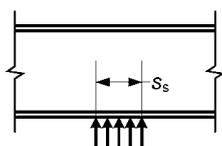
Lagerungskategorie 2; $\alpha = 0,15$

- 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; $\alpha = 0,15$

- Zwischenaflagerreaktion.

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.

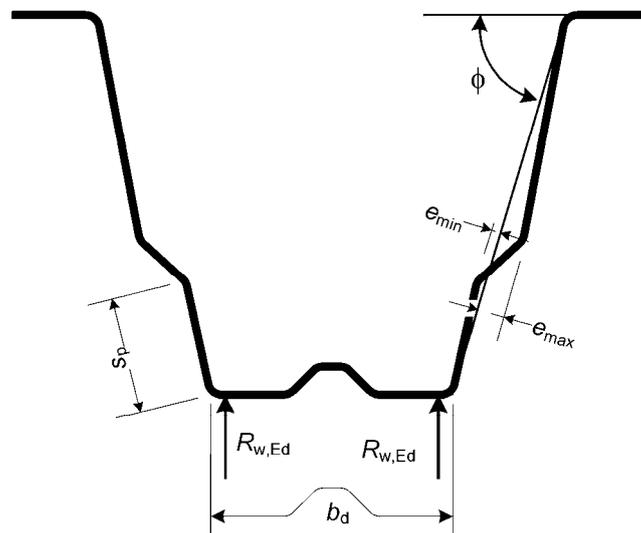


Bild 6.8 — Auflagerkräfte und Geometrie ausgesteifter Stege

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 \boxed{AC} Schwerachsen \boxed{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 $y - y$ \boxed{AC} Schwerachse \boxed{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 Auflagerstand 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.

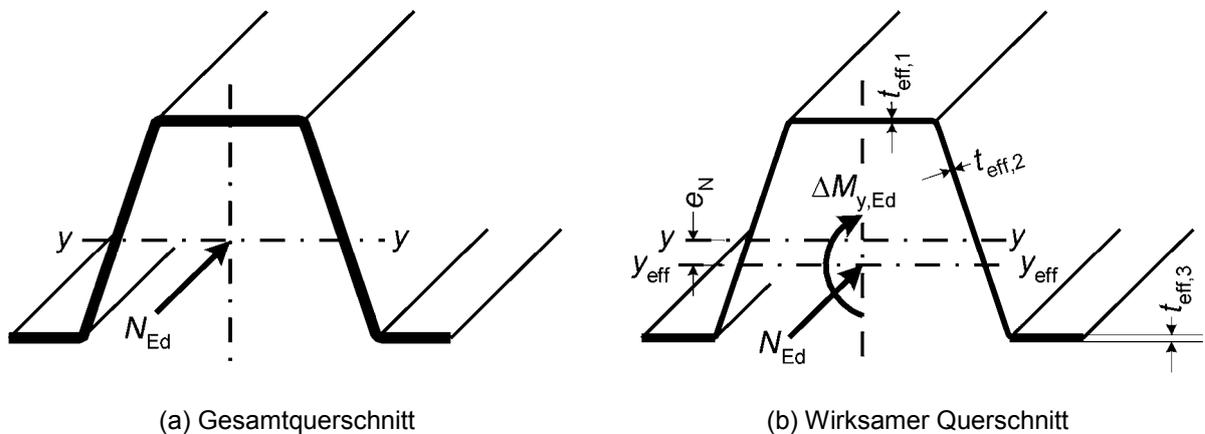


Bild 6.9 — Verschobene \overline{AC} Schwerachse \overline{AC} im wirksamen Querschnitt

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:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y f_{0x} \omega_x A_{eff} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{f_0 W_{eff,y,com} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.26)$$

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).

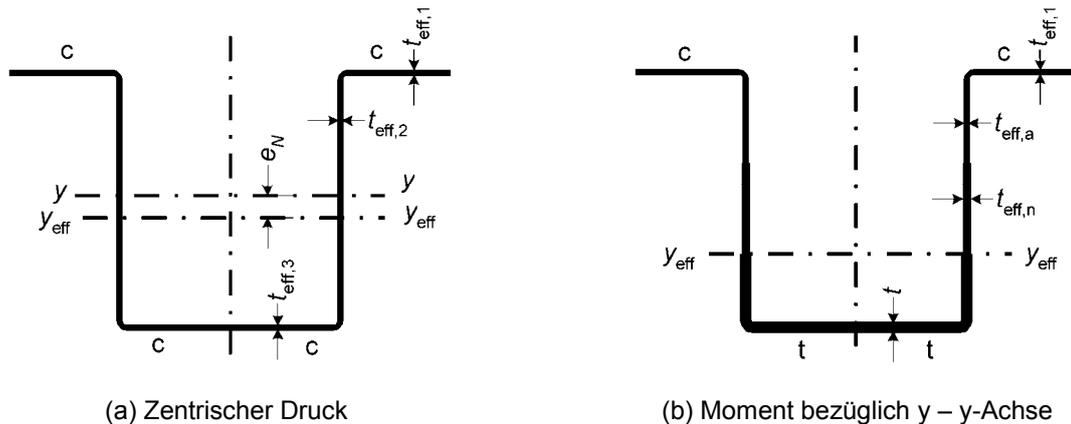


Bild 6.10 — Modell zur Ermittlung wirksamer Querschnittswerte

(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.*

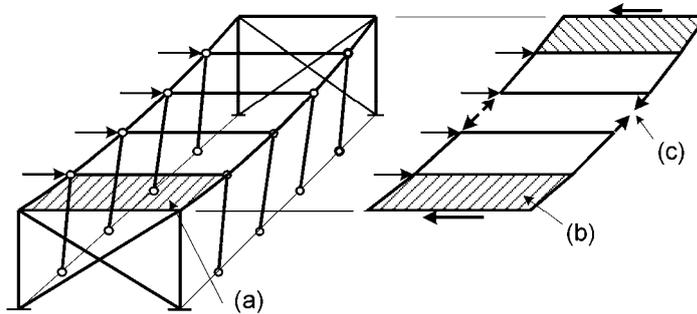
6.3.2 Scheibenwirkung

(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

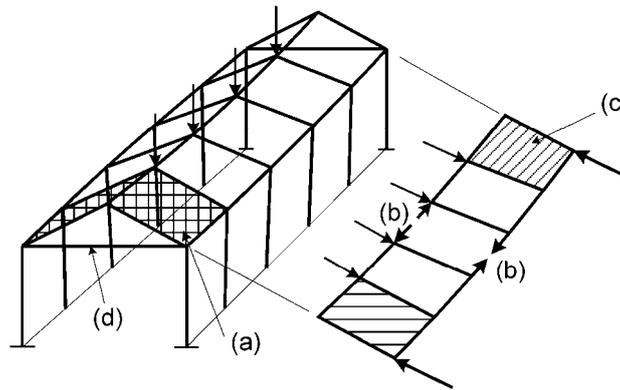
6.3.3 Voraussetzungen

(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 Laufkränen 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.

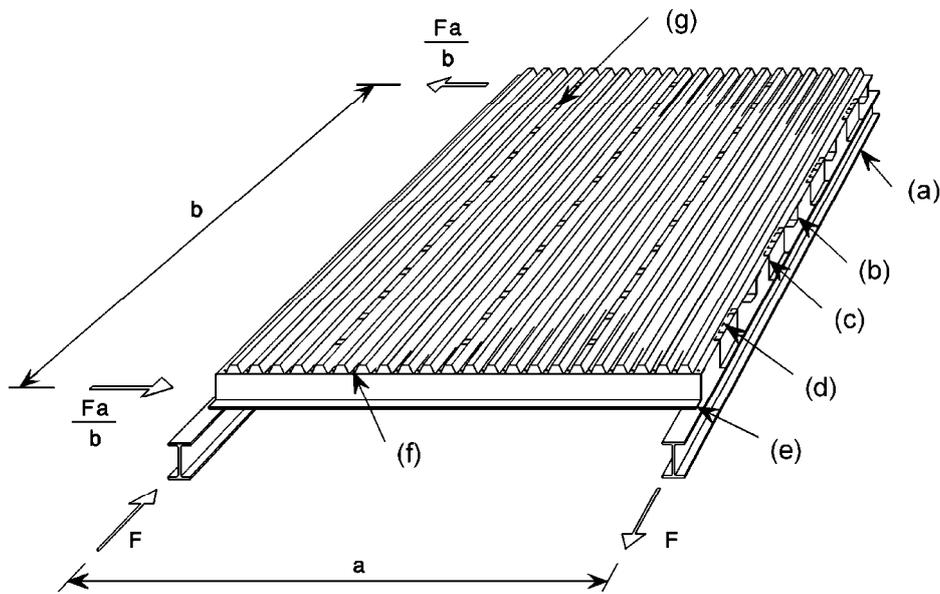
(4) Kleine, nicht systematisch verteilte Öffnungen bis zu etwa 3 % der Gesamtfläche dürfen ohne besonderen Nachweis angeordnet werden, vorausgesetzt, dass die Gesamtanzahl der Verbindungselemente nicht reduziert wird. Öffnungen bis zu 15 % der zugehörigen Fläche sind zugelassen, wenn eine entsprechende 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 Längsränbefestigungen. 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 Versagenszustand 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:

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

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:

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

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)).

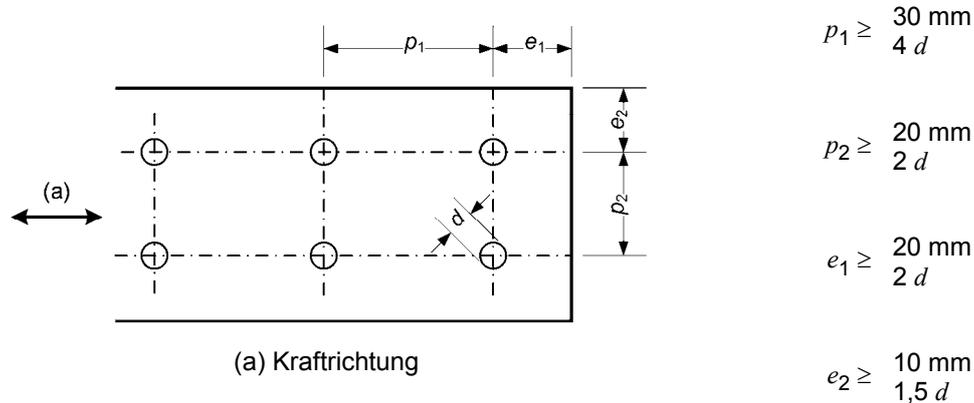


Bild 8.1 — Rand- und Lochabstände von Verbindungselementen

(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 Schraubenherstellers 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 Niethülse 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 scherbeanspruchte 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 $t > t_{\text{sup}}$ ist $t = t_{\text{sup}}$ 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:

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

(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 $5,5 \text{ mm} \leq d \leq 8$ mm;
- Rand- und Lochabstände im Bauteil aus Holz siehe EN 1995-1-1, Abschnitt 8.

8.3.2.2 Beanspruchbarkeit bezüglich Versagen des Nettoquerschnittes

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

8.3.2.3 Beanspruchbarkeit bezüglich Abscheren des Verbindungselementes

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

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

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:

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

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 Profildgurt (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 Profilgurtes ≤ 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

	Im an der Unterkonstruktion anliegenden Profilgurt					Im nicht an der Unterkonstruktion anliegenden Profilgurt	
Verbindung							
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 Standardversuchen sicherzustellen.

(2) Dieser Anhang beinhaltet:

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

A.2 Versuche mit Profiltafeln

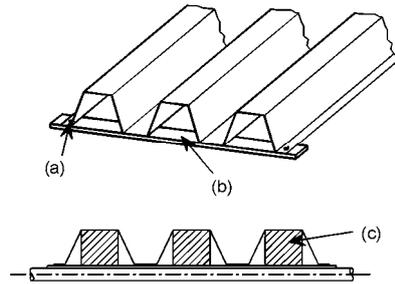
A.2.1 Allgemeines

(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 aufbrachten 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:

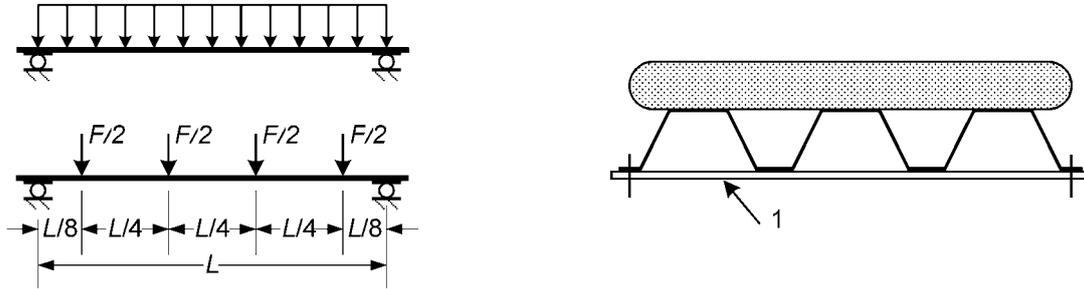
$$s = 0,4L \quad (A.1)$$

(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)

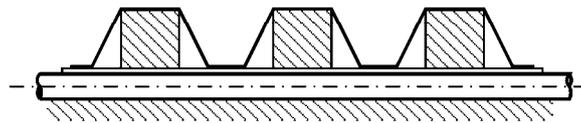
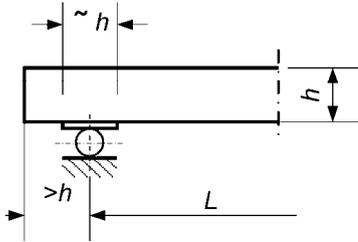


Legende

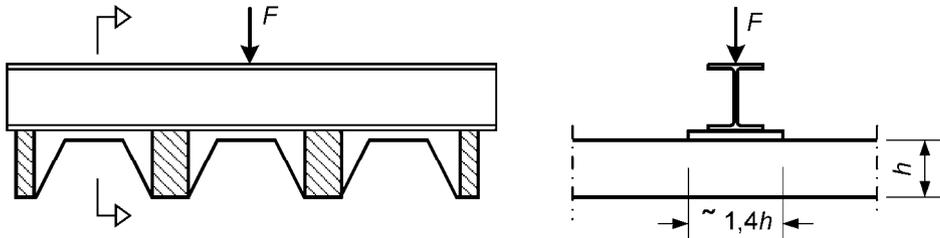
1 Querband

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

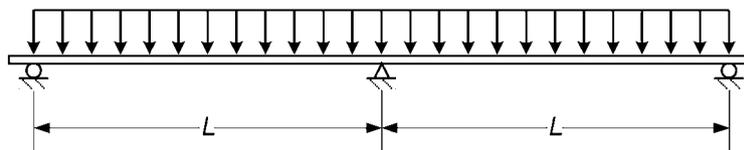


Bild A.3 — Versuchsanordnung für Einfeldträgerversuche

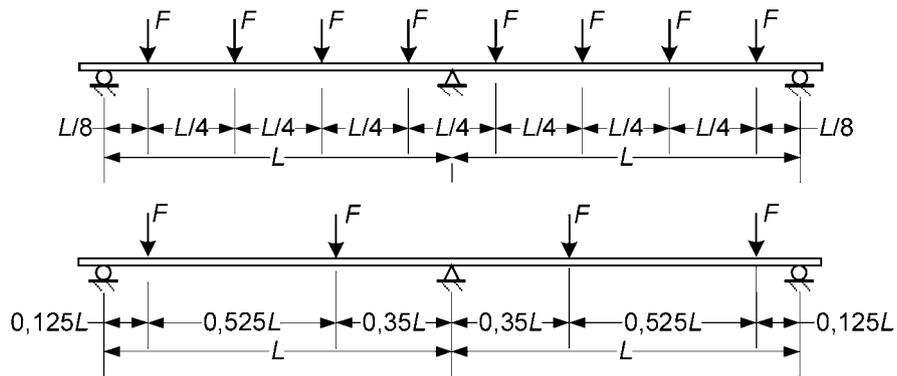
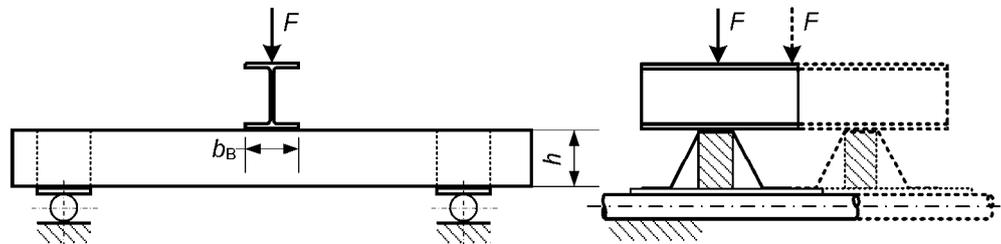
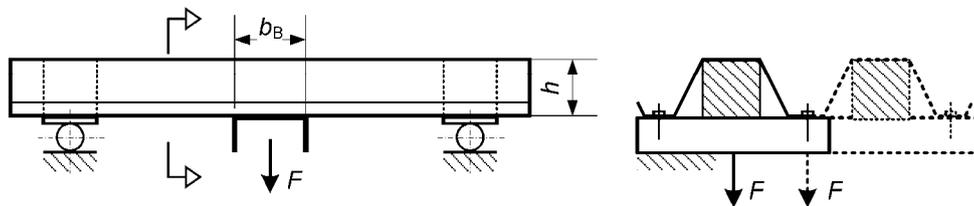


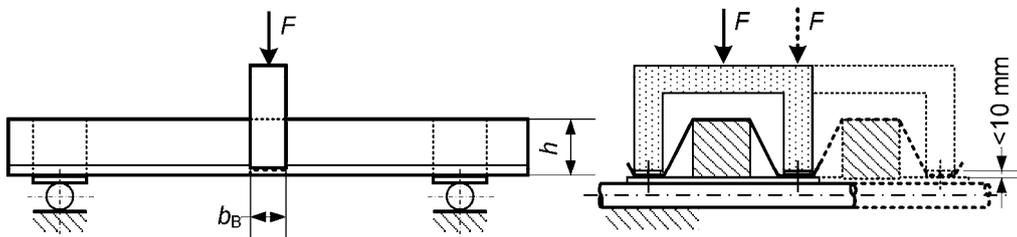
Bild A.4 — Beispiele für geeignete Anordnungen bei alternativ gewählten Linienlasten



a) Zwischenauflager für andrückende Belastung (Auflast)



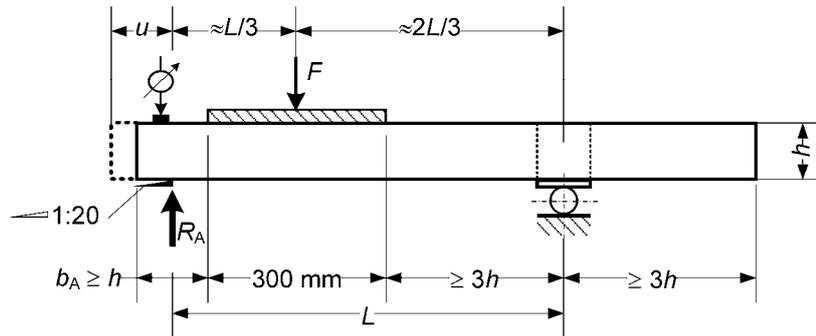
b) Zwischenauflager für abhebende Belastung (Windsog)



c) Zwischenauflager mit am Zuggurt angreifender Belastung

Bild A.5 — Versuchsanordnung für Ersatzträgerversuche

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



Legende

b_A = Auflagerbreite

u = Abstand vom inneren Auflagerrand zum Ende der Profiltafel

Bild A.6 — Versuchsanordnung für Endauflagerversuche

A.2.5 Endauflagerversuche

(1) Der in Bild A.6 dargestellte Versuchsaufbau kann zur Ermittlung der Beanspruchbarkeit einer Profiltafel am Endauflager verwendet werden.

(2) Zur Ermittlung der Beanspruchbarkeit der Profiltafel bezüglich Querkraft in Abhängigkeit des Abstandes u vom inneren Auflagerungspunkt zum Ende der Profiltafel sollten getrennte Versuche nach Bild A.6 durchgeführt werden.

A.3 Versuchsauswertung

A.3.1 Allgemeines

(1) Als Versagen eines Prüfkörpers wird angesehen, wenn entweder ein Lastmaximum erreicht wird oder die Verformungen vorgegebene Grenzwerte überschreiten.

(2) Bei Versuchen mit Verbindungen oder anderen Komponenten, bei denen große Formänderungen für eine richtige Deutung des Tragverhaltens erforderlich sind — wie beispielsweise bei der Auswertung der Momenten-Rotationscharakteristik von Überlappungsstößen —, ist eine Begrenzung der Verformung während des Versuches nicht erforderlich.

(3) Zwischen einem Versagen mit deutlichen Formänderungen und einem plötzlichen Versagen ohne erkennbare Verformungen sollte ein angemessener Sicherheitsspielraum bestehen. Da ein verformungsloses Versagen bei Bauteilversuchen kaum vorkommt, sollten nötigenfalls ergänzende Detailversuche durchgeführt werden.

ANMERKUNG Dies ist häufig bei Verbindungen der Fall.

A.3.2 Normierung der Versuchsergebnisse

(1) Die Versuchsergebnisse sollten wegen der Unterschiede zwischen den tatsächlich gemessenen und den nominellen Kennwerten normiert werden.

(2) Die am Versuchsmaterial ermittelte 0,2%-Dehngrenze $f_{0,2,obs}$ sollte nicht mehr als $\pm 25\%$ von der nominellen 0,2%-Dehngrenze $f_{0,2}$ abweichen.

(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:

$$R_{\text{k}} = R_{\text{m}} - k s \quad (\text{A.4})$$

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 Bemessungsformeln 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					
		Aluminium	galvanisch verzinkter Stahl. Dicke des Überzugs $\geq 7 \mu\text{m}$	feuerverzinkter Stahl ^b Dicke des Überzugs $\geq 45 \mu\text{m}$	Nichtrostender Stahl, einsatzgehärtet 1.4006 ^{d, e}	Nichtrostender Stahl, 1.4301 ^d 1.4436 ^d	MoneI ^a
C1	A, B, C	X	X	X	X	X	X
	D, E, S	X	X	X	X	X	X
C2	A	X	–	X	X	X	X
	C, D, E	X	–	X	X	X	X
	S	X	–	X	X	X	X
C3	A	X	–	X	–	X	X
	C, E	X	–	X	(X) ^c	(X) ^c	–
C4	D	X	–	X	–	(X) ^c	X
	S	–	–	X	X	X	X
	A	X	–	(X) ^c	–	(X) ^c	–
C5-I	D	–	–	X	–	(X) ^c	–
	E	X	–	X	–	(X) ^c	–
	S	–	–	X	–	X	X
	A	X	–	–	–	(X) ^c	–
C5-M	D ^f	–	–	X	–	(X) ^c	–
	S	–	–	–	–	X	–
	A	X	–	–	–	(X) ^c	–
C5-M	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

Korrosivitäts-kategorie	Korrosions-grad	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 Industriatmosphäre, 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 Bonneshof 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

DIN EN 1999-1-4/A1**DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Änderung von
DIN EN 1999-1-4:2010-05**Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –
Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln;
Deutsche Fassung EN 1999-1-4:2007/A1:2011**

Eurocode 9: Design of aluminium structures –
Part 1-4: Cold-formed structural sheeting;
German version EN 1999-1-4:2007/A1:2011

Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-4: Tôles de structure formées à froid;
Version allemande EN 1999-1-4:2007/A1:2011

Gesamtumfang 6 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1999-1-4/A1:2011-11

Nationales Vorwort

Das Dokument EN 1999-1-4:2007/A1:2010 wurde im Komitee CEN/TC 250/SC 9 „Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken“ (Sekretariat: BSI, Vereinigtes Königreich) unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war hierfür der Arbeitsausschuss NA 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen (SpA zu CEN/TC 250/SC 9 + CEN/TC 135/WG 11)“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) zuständig.

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1999-1-4:2007/A1

August 2011

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: Tôles de structure formées à froid

Diese Änderung A1 modifiziert die Europäische Norm EN 1999-1-4:2007. Sie wurde vom CEN am 8. April 2011 angenommen.

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

Diese Änderung 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 des CEN-CENELEC mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen

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



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

DIN EN 1999-1-4/A1:2011-11
EN 1999-1-4:2007/A1:2011 (D)

Inhalt	Seite
Vorwort	3
1 Änderung in Tabelle 3.1	4

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1999-1-4:2007/A1:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Änderung zur Europäischen Norm EN 1999-1-4:2007 muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2012 zurückgezogen werden.

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, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

DIN EN 1999-1-4/A1:2011-11
EN 1999-1-4:2007/A1:2011 (D)

1 Änderung in Tabelle 3.1

In der 2. Spalte, 9. Zeile, ist „AlMg2“ durch „AlMg2Mn0,3“ zu ersetzen.

Nach der 9. Zeile ist eine neue Zeile mit den Eigenschaften der Legierung „6025-7072 alclad⁶⁾“ aufzunehmen, wie nachstehend dargestellt:

6025-7072 alclad ⁶⁾	AlMg _{2,5} SiMnCu- AlZn1 alclad ⁶⁾	A	H34	5	210	165	2-3
			H36	5	220	185	2-4

In Tabelle 3.1 ist die folgende Fußnote 6 aufzunehmen:

6) EN AW-6025-7072 alclad (EN AW-AlMg_{2,5}SiMnCu-AlZn1 alclad) ist ein Verbundmaterial aus dem Kernwerkstoff EN AW-6025 und einer beidseitigen Plattierung aus EN AW-7072. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit sollte die Plattierung auf beiden Seiten eine Dicke von mindestens 4 % der Gesamtdicke des Materials besitzen. Übersteigt die Dicke der Plattierung 5 % der Gesamtdicke, sollte dies in den statischen Berechnungen berücksichtigt werden, d.h. nur die Dicke des Kerns der Verbundtafel sollte berücksichtigt werden. Aus diesem Grund sollten die Mindestdicke der Plattierung von 4 % und die Mindestdicke des Kerns in den Ausführungsunterlagen festgelegt werden, damit der Hersteller die entsprechenden Konstruktionsmaterialien mit dem Abnahmeprüfzeugnis 3.1 beschaffen kann.

DIN EN 1999-1-4/NA

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**Nationaler Anhang –
National festgelegte Parameter –
Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –
Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln**National Annex –
Nationally determined parameters –
Eurocode 9: Design of aluminium structures –
Part 1-4: Supplementary rules for trapezoidal sheetingAnnexe national –
Paramètres déterminés au plan national –
Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-4: Les structures à plaques formés à froid

Gesamtumfang 4 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1999-1-4/NA:2010-12

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen unter vorwiegend ruhender Belastung (DIN 4113, Sp CEN/TC 250/SC 9 + CEN/TC 135/WG 11)“ erstellt.

Dieses Dokument bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1999-1-4:2010-05, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln*.

Die Europäische Norm EN 1999-1-4 räumt die Möglichkeit ein, eine Reihe von sicherheitsrelevanten Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter (en: *Nationally determined parameters*, NDP) umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, sowie die Wahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Eine Liste dieser Textstellen befindet sich im Unterabschnitt NA 2.1.

Dieser Nationale Anhang ist Bestandteil von DIN EN 1999-1-4:2010-05.

DIN EN 1999-1-4:2010-05 und dieser Nationale Anhang DIN EN 1999-1-4/NA:2010-12 ersetzen nicht vollständig DIN 18807-6:1995-09, DIN 18807-7:1995-09 und DIN 18807-8:1995-09.

Änderungen

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

- a) Bemessung umgestellt auf europäische Regelungen;
- b) Einführung des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzeptes.

Frühere Ausgaben

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

NA 1 Anwendungsbereich

Dieser Nationale Anhang enthält nationale Festlegungen für die Bemessung kaltgeformter Profiltafeln, die bei der Anwendung von DIN EN 1999-1-4:2010-05 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Nationale Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1999-1-4:2010-05.

NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1999-1-4:2010-05

NA 2.1 Allgemeines

DIN EN 1999-1-4:2010-05 weist an den folgenden Textstellen die Möglichkeit nationaler Festlegungen aus (NDP, en: *Nationally determined parameters*).

- 2(3)
- 2(4)
- 2(5)
- 3.1(3)
- 7.3(3)
- A.1(1)
- A.3.4(3)

NA 2.2 Nationale Festlegungen

Die nachfolgende Nummerierung entspricht der Nummerierung von DIN EN 1999-1-4:2010-05.

NDP zu 2(3) Anmerkung

Es gelten die Empfehlungen für γ_{M1} , γ_{M2} und γ_{M3} .

NDP zu 2(4) Anmerkung

Es gelten die Empfehlungen für $\gamma_{M,ser}$.

NDP zu 2(5) Anmerkung 1

Es werden keine Festlegungen getroffen.

NDP zu 3.1(3) Anmerkung

Es sind nur die in Tabelle 3.1 genannten Aluminiumlegierungen zulässig.

NDP zu 7.3(3) Anmerkung

Es werden keine Festlegungen getroffen.

DIN EN 1999-1-4/NA:2010-12

NDP zu A.1(1) Anmerkung 2

Die in DIN EN 1999-1-4:2010-05, A.2 beschriebene Versuchsdurchführung gilt nur für Trapezprofile und Wellprofile. Für die Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung ist zusätzlich DIN 18807-7:1995-09 zu berücksichtigen.

Die Verwendung von Versuchsergebnissen nach Anhang A bedarf eines entsprechenden bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises.

NDP zu A.1(1) Anmerkung 3

Es werden keine Festlegungen getroffen.

NDP zu A.3.4(3) Anmerkung

Die γ_M - und γ_{sys} -Werte sind im bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis festzulegen.

DIN EN 1999-1-5**DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

**Eurocode 9 –
Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –
Teil 1-5: Schalentragwerke;
Deutsche Fassung EN 1999-1-5:2007 + AC:2009**

Eurocode 9 –
Design of aluminium structures –
Part 1-5: Shell structures;
German version EN 1999-1-5:2007 + AC:2009

Eurocode 9 –
Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-5: Coques;
Version allemande EN 1999-1-5:2007 + AC:2009

Gesamtumfang 77 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1999-1-5:2010-05

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1999-1-5:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, dessen Sekretariat vom 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 EN 1999-1-5:2007/AC, die vom 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.

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1999-1-5

Februar 2007

+AC

November 2009

ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.10

Deutsche Fassung

**Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von
Aluminiumtragwerken —
Teil 1-5: Schalentragwerke**

Eurocode 9: Design of aluminium structures —
Part 1-5: Shell structures

Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium —
Partie 1-5: Coques

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 11. Oktober 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 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Nationaler Anhang für EN 1999-1-5	8
1 Allgemeines	9
1.1 Anwendungsbereich	9
1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999	9
1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1999-1-5	9
1.2 Normative Verweisungen	11
1.3 Begriffe	12
1.3.1 Formen und Geometrie des Tragwerks	12
1.3.2 Spezielle Definitionen für Beulberechnungen	13
1.4 Formelzeichen	13
1.5 Vorzeichenvereinbarungen	17
1.6 Koordinatensysteme	18
2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung	19
2.1 Allgemeines	19
2.2 Zuverlässigkeitsklasse und Ausführungsklasse	19
3 Werkstoffe und Geometrie	20
3.1 Werkstoffigenschaften	20
3.2 Bemessungswerte für geometrische Daten	20
3.3 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen	20
4 Dauerhaftigkeit	20
5 Tragwerksberechnung	21
5.1 Geometrie	21
5.2 Randbedingungen	21
5.3 Einwirkungen und Einflüsse aus der Umgebung	22
5.4 Spannungsergebnisse und Spannungen	23
5.5 Berechnungsarten	23
6 Grenzzustand der Tragfähigkeit	25
6.1 Beanspruchbarkeit des Querschnitts	25
6.1.1 Bemessungswerte für die Spannungen	25
6.1.2 Bemessungswerte für die Beanspruchbarkeit	26
6.1.3 Spannungsbegrenzung	26
6.1.4 Bemessung durch numerische Analyse	26
6.2 Knickfestigkeit (Beanspruchbarkeit durch Beulen; Beulsicherheitsnachweis)	27
6.2.1 Allgemeines	27
6.2.2 Geometrische Toleranzen, die für Beulen von Belang sind	28
6.2.3 Schale unter Druck- und Schubbeanspruchungen	29
6.2.4 Einfluss des Schweißens	32
6.2.5 Bemessung durch numerische Analyse	35
7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	35
7.1 Allgemeines	35
7.2 Durchbiegungen	35
Anhang A (normativ) Ausdrücke für Beuluntersuchungen in Schalenkonstruktionen	36
A.1 Unausgesteifte zylindrische Schalen mit konstanter Wanddicke	36
A.1.1 Anmerkungen und Randbedingungen	36
A.1.2 (Axialer) Druck in Meridianrichtung	36
A.1.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)	39
A.1.4 Schubbeanspruchung	42
A.1.5 (Axiale) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung mit gleichzeitig vorhandener Innendruckbeanspruchung	44

A.1.6	Kombinationen von (axialer) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung, Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) und Schubbeanspruchung	45
A.2	Unausgesteifte Zylinderschalen mit gestufter Wanddicke	46
A.2.1	Allgemeines	46
A.2.2	Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck)	47
A.2.3	Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)	47
A.2.4	Schubbeanspruchung.....	51
A.3	Unausgesteifte Zylinderschalen mit Überlapstoß	52
A.3.1	Allgemeines	52
A.3.2	Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck)	52
A.3.3	Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)	52
A.3.4	Schubbeanspruchung.....	53
A.4	Unausgesteifte Kegelschalen	53
A.4.1	Allgemeines	53
A.4.2	Bemessungswerte für Beulspannungen.....	54
A.4.3	Nachweis der Beulfestigkeit.....	55
A.5	Ausgesteifte Zylinderschalen mit konstanter Wanddicke	56
A.5.1	Allgemeines	56
A.5.2	Isotrope Wände mit Steifen in Meridianrichtung	56
A.5.3	Isotrope Wände mit Steifen in Umfangsrichtung.....	57
A.5.4	In Umfangsrichtung profilierte Wände mit Steifen in Meridianrichtung.....	58
A.5.5	Axial profilierte Wände mit Ringsteifen	62
A.5.6	Als orthotrope Schale behandelte ausgesteifte Wand	62
A.5.7	Äquivalente orthotrope Eigenschaften des Wellblechs	65
A.6	Unausgesteifte kugelförmige Schalen unter gleichmäßigem Druck in Umfangsrichtung	67
A.6.1	Bezeichnungen und Randbedingungen.....	67
A.6.2	Kritische Beulspannungen.....	67
A.6.3	Beulparameter in Umfangsrichtung	68
Anhang B (informativ)	Beulberechnung torikonischer und torisphärischer Schalen	69
B.1	Allgemeines	69
B.2	Bezeichnungen und Randbedingungen.....	69
B.3	Außendruck.....	70
B.3.1	Kritischer Außendruck.....	70
B.3.2	Gleichmäßiger Außendruck an der Quetschgrenze	71
B.3.3	Beulparameter unter Außendruck	72
B.4	Innendruck	73
B.4.1	Kritischer Innendruck	73
B.4.2	Gleichmäßiger Innendruck an der Quetschgrenze	74
B.4.3	Beulparameter unter Innendruck.....	74

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 1999-1-5:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird, erarbeitet.

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

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

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 Aluminiumbauten*

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 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + 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.

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 hat das Grundlagendokument

- a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, indem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
- b) die Methode zur Verbindung dieser Klassen oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln usw.,
- c) als Bezugsdokument 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.

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

Verbindung 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 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Nationaler Anhang für EN 1999-1-5

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 1999-1-5 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 in den folgenden Abschnitten von EN 1999-1-5 vorgesehen:

- 2.1(3)
- 2.1(4).

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999

(1)P 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 Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990 — Grundlagen der Tragwerksplanung — enthalten sind.

(2)P 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, *Grundlagen der Tragwerksplanung*

— EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke*

Europäische Normen für Bauprodukte, die für Aluminiumtragwerke Verwendung finden:

— EN 1090-1, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen*⁵⁾

— EN 1090-3, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken*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 1999-1-5

(1)P EN 1999-1-5 gilt für die Bemessung von ausgesteiften und nicht ausgesteiften Aluminiumtragwerken, die in Form einer Rotationsschale oder einer als Schale gestalteten kreisförmigen Platte vorliegen.

(2) Für spezifische Anwendungsregeln bei der Tragwerksbemessung sollten die jeweils zutreffenden Teile von EN 1999 befolgt werden.

(3) Zusätzliche Informationen für bestimmte Arten von Schalen werden in EN 1993-1-6 und in den für bestimmte Anwendungen zutreffenden Teilen angegeben, z. B.:

— Teil 3-1 für Türme und Maste;

5) In Vorbereitung.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

- Teil 3-2 für Schornsteine;
- Teil 4-1 für Silos;
- Teil 4-2 für Tankbauwerke;
- Teil 4-3 für Rohrleitungen.

(4) Die in EN 1999-1-5 erfassten Bestimmungen gelten für rotationssymmetrische Schalen (Zylinder, Kegel, Kugeln) und die zugehörigen kreisförmigen oder ringförmigen Bleche sowie für Balkenprofilringe und Längssteifen, die Teile des kompletten Tragwerks sind.

(5) EN 1999-1-5 beschäftigt sich nicht ausführlich mit einzelnen Platten für Schalenkonstruktionen (zylindrisch, konisch oder kugelförmig). Die erfassten Bestimmungen können jedoch bei entsprechender Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen auch auf einzelne Platten anwendbar sein.

(6) In EN 1999-1-5 können folgende Arten von Schalenwänden erfasst werden, siehe Bild 1.1:

- Schalenwand aus flach gewalztem Blech, als ‚isotrop‘ bezeichnet;
- Schalenwand mit überlappten Verbindungen aneinandergrenzender Bleche, als ‚überlappt gestoßen‘ bezeichnet;
- Schalenwand mit an der Außenseite angebrachten Steifen, die unabhängig vom Abstand der Steifen als ‚außen versteift‘ bezeichnet werden;
- Schalenwand mit Profilierung in Meridianrichtung, als ‚axial profiliert‘ bezeichnet;
- Schalenwand aus profilierten Blechen (Wellblechen) mit Profilierung in Umfangsrichtung, als ‚in Umfangsrichtung profiliert‘ bezeichnet.

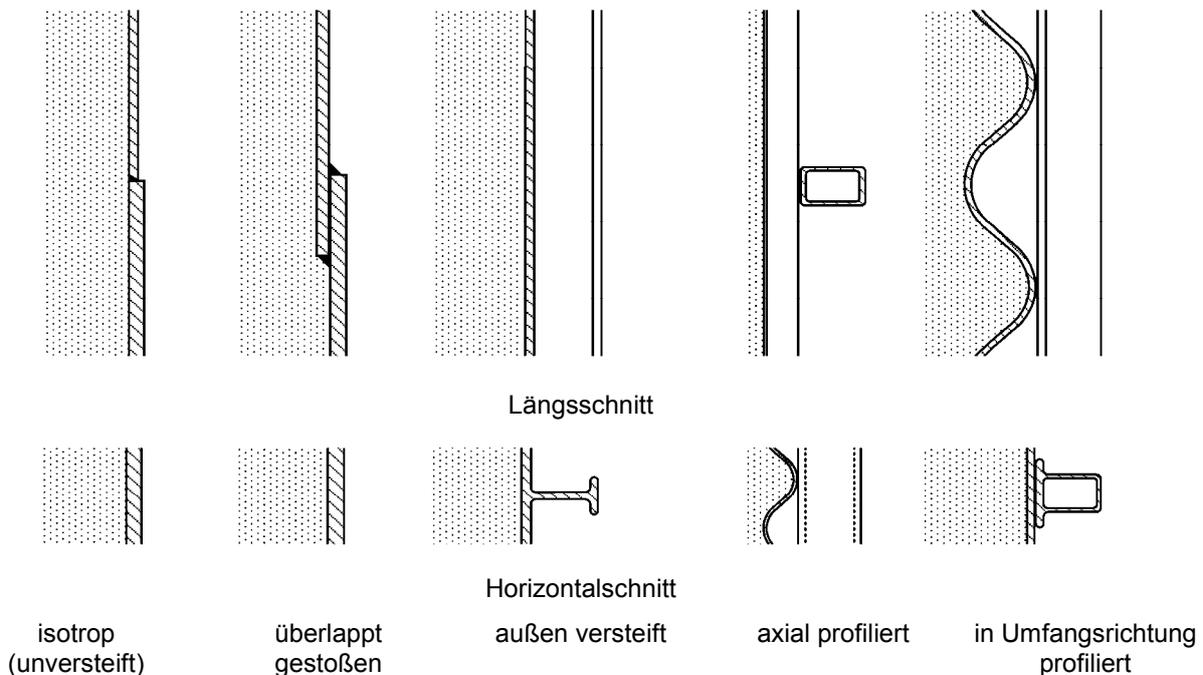


Bild 1.1 — Darstellung der Formen zylindrischer Schalen

(7) Die Bestimmungen von EN 1999-1-5 sind für einen Temperaturbereich vorgesehen, der in EN 1999-1-1 festgelegt wird. Die maximale Temperatur wird so beschränkt, dass der Einfluss des Kriechens vernachlässigt werden kann. Für Tragwerke, die bei einem Brand erhöhten Temperaturen ausgesetzt sind, siehe EN 1999-1-2.

(8) EN 1999-1-5 beschäftigt sich nicht mit Undichtheiten der Schale.

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).

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 Aluminiumtragwerken*⁵⁾

EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke*; alle Teile

EN 1993-1-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln für Schalenkonstruktionen*

EN 1993-3-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3-2: Türme, Maste und Schornsteine — Schornsteine*

EN 1993-4-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen — Silos*

EN 1993-4-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-2: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen — Tankbauwerke*

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

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

EN 1999-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1999-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-3: Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke*

EN 1999-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Bleche*

5) In Vorbereitung.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

1.3 Begriffe

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

1.3.1 Formen und Geometrie des Tragwerks

1.3.1.1

Schale

dünnwandiger Körper, der so geformt wird, dass eine gekrümmte Oberfläche entsteht, mit einer Dicke, die bei einer Messung rechtwinklig zur Oberfläche gegenüber den in die anderen Richtungen ermittelten Maßen klein ist. Eine Schale nimmt die Lasten hauptsächlich durch Membrankräfte auf. Die Mittelfläche darf an jedem Punkt einen endlichen Krümmungsradius haben, oder sie darf in einer Richtung unendlich gekrümmt sein, z. B. eine Zylinderschale

In EN 1999-1-5 ist eine Schale ein Tragwerk oder ein Teil des Tragwerks, das aus gekrümmten Blechen oder Strangpressteilen gebildet wird.

1.3.1.2

Rotationsschale

Schale, die aus einer Anzahl von Teilen besteht, von denen jedes eine vollständige rotationssymmetrische Schale ist

1.3.1.3

vollständige rotationssymmetrische Schale

Schale, deren Form durch die Rotation ihrer meridionalen Erzeugenden um eine zentrale Achse über 2π Radiant festgelegt wird. Die Schale kann eine beliebige Länge haben

1.3.1.4

Schalenabschnitt

Teil einer Rotationsschale mit festgelegter Schalengeometrie und konstanter Wanddicke in Form eines Zylinders, Kegelstumpfes, Teils einer Kugel, Bodenrandblechs oder in einer anderen Form

1.3.1.5

Schalenplatte

unvollständige rotationssymmetrische Schale, deren Form durch die Rotation einer Erzeugenden um eine Achse über weniger als 2π Radiant festgelegt wird

1.3.1.6

Mittelfläche

Fläche, die an allen Punkten der Schale in der Mitte zwischen der Schaleninnen- und -außenfläche liegt. Falls eine Aussteifung der Schale auf nur einer Seite erfolgt, bleibt die Mittelfläche des gekrümmten Schalenblechs weiter die Bezugsfläche für die Berechnung, die bei Änderungen der Dicke oder an Knotenlinien der Schale diskontinuierlich sein kann, wodurch Exzentrizitäten entstehen, die für das Verhalten der Schale wesentlich sind

1.3.1.7

Knotenlinie

Punkt, an dem zwei oder mehr Schalenabschnitte zusammentreffen; die Knotenlinie kann auch eine Steife einschließen; die Anschlusslinie einer Ringsteife an eine Schale darf ebenfalls als Knotenlinie betrachtet werden

1.3.1.8

Längssteife

örtliches Versteifungsbauteil, das einem Schalenmeridian folgt, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale darstellt. Eine Längssteife ist vorgesehen, um entweder die Stabilität zu verbessern oder bei der Einleitung örtlicher Lasten mitzuwirken. Sie dient nicht primär dazu, die Biegetragfähigkeit für Querlasten zu erhöhen

1.3.1.9

Rippe

örtliches Bauteil, das eine primäre Biegelastabtragung längs eines Schalenmeridians ermöglicht, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale darstellt. Eine Rippe wird vorgesehen, um Querlasten mittels Biegung auf das Tragwerk zu übertragen oder zu verteilen

1.3.1.10**Ringsteife**

örtliches Versteifungsbauteil, das an einem bestimmten Punkt auf dem Meridian längs des Umfanges der Rotationsschale verläuft. Es wird angenommen, dass die Ringsteife keine Steifigkeit in der Meridianebene der Schale hat. Sie wird verwendet, um die Stabilität zu erhöhen oder um rotationssymmetrische Einzellasten einzuleiten, die durch rotationssymmetrische Normalkräfte in der Ebene des Ringes wirken. Sie dient nicht primär dazu, die Biegetragfähigkeit zu erhöhen

1.3.1.11**Basisring**

Tragwerkselement, das der Umfangslinie an der Basis der Rotationsschale folgt und Möglichkeiten zur Anbringung der Schale an einem Fundament oder einem anderen Teil bietet. Der Basisring wird benötigt, um die angenommenen Randbedingungen praktisch sicherzustellen

1.3.2 Spezielle Definitionen für Beulberechnungen**1.3.2.1****ideale Verzweigungslast; Grenz-Beullast**

die kleinste Verzweigungs- oder Grenzlast, die unter der Annahme bestimmt wird, dass ideale Bedingungen für das elastische Verhalten des Werkstoffs, eine exakte Geometrie, eine exakte Lastaufbringung, eine exakte Unterstützung, Materialisotropie und keine Restspannungen vorhanden sind (LBA-Analyse)

1.3.2.2**ideale Beulspannung; Grenz-Beulspannung**

der Nennwert der Membranspannung, der einer idealen Verzweigungslast zuzuordnen ist

1.3.2.3**charakteristische Beulspannung**

der Nennwert der Membranspannung, der einer Knickung (Beulenbildung) bei unelastischem Werkstoffverhalten und bei Vorhandensein geometrischer und konstruktiver Imperfektionen zuzuordnen ist

1.3.2.4**Bemessungswert der Beulspannung**

der Bemessungswert für die Beulspannung, der durch Dividieren der charakteristischen Beulspannung durch den Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit ermittelt wird

1.3.2.5**Schlüsselwert der Spannung**

in einem ungleichmäßigen Spannungsfeld der Spannungswert, der beim Grenzzustand des Beulens zur Beschreibung der Größe der Spannung verwendet wird

1.3.2.6**Toleranzklasse**

die Klasse für die Anforderungen, die bei Ausführung der Arbeiten an die geometrischen Toleranzen gestellt werden

ANMERKUNG Diese geometrischen Toleranzen umfassen die Herstellungstoleranz der Bauteile und die Toleranz für die Ausführung der Arbeiten mit den Bauteilen auf der Baustelle.

1.4 Formelzeichen

(1) Außer den in EN 1999-1-1 festgelegten werden folgende Formelzeichen angewendet.

(2) Koordinatensystem (siehe Bild 1.2):

r Radiale Koordinate, rechtwinklig zur Rotationsachse;

x Meridiankoordinate;

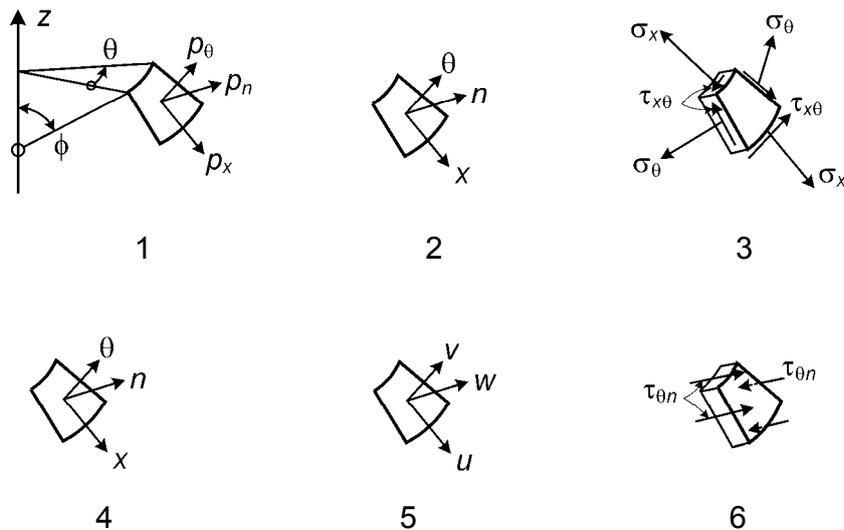
z axiale Koordinate;

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

- θ Koordinate in Umfangsrichtung;
- ϕ Medianneigung: Winkel zwischen Rotationsachse und der Senkrechten zum Schalenmeridian;
- (3) Drücke:
- p_n Druck rechtwinklig zur Schale;
- p_x Flächenlast in Meridianrichtung parallel zur Schale;
- p_θ Flächenlast in Umfangsrichtung parallel zur Schale
- (4) Linienkräfte:
- P_n Last je Umfangseinheit, rechtwinklig zur Schale;
- P_x Last je Umfangseinheit, in Meridianrichtung wirkend;
- P_θ Last je Umfangseinheit, in Umfangsrichtung auf die Schale wirkend;
- (5) Membranspannungsergebnisse (siehe Bild 1.3a):
- n_x Membranspannungsergebnisse in Meridianrichtung;
- n_θ Membranspannungsergebnisse in Umfangsrichtung;
- $n_{x\theta}$ Membranschubspannungsergebnisse;
- (6) Biegespannungsergebnisse (siehe Bild 1.3b):
- m_x Biegemoment je Längeneinheit in Meridianrichtung;
- m_θ Biegemoment je Längeneinheit in Umfangsrichtung;
- $m_{x\theta}$ Drillschermoment je Längeneinheit;
- q_{xn} Querkraft bei Biegung in Meridianrichtung;
- $q_{\theta n}$ Querkraft bei Biegung in Umfangsrichtung;
- (7) Spannungen:
- σ_x Meridianspannung;
- σ_θ Umfangsspannung;
- σ_{eq} von-Mises-Ersatzspannung (kann unter zyklischen Belastungsbedingungen negativ sein);
- $\tau, \tau_{x\theta}$ Schubspannung in einer Ebene;
- $\tau_{xn}, \tau_{\theta n}$ Querschubspannungen bei Biegung in Meridianrichtung, in Umfangsrichtung
- (8) Verschiebungen:
- u Verschiebung in Meridianrichtung;
- v Verschiebung in Umfangsrichtung;
- w Verschiebung rechtwinklig zur Oberfläche der Schale;
- β_ϕ Rotation in Meridianrichtung (siehe 5.3.3);

(9) Abmessungen der Schale:

- d Innendurchmesser der Schale;
 L Gesamtlänge der Schale;
 l Länge eines Schalenabschnitts;
 l_g Messlänge für die Messung der Imperfektionen;
 $l_{g\theta}$ Messlänge für die Messung der Imperfektionen in Umfangsrichtung;
 $l_{g,w}$ Messlänge für die Messung der Imperfektionen über die Schweißnähte;
 l_R begrenzte Länge der Schale für den Beulsicherheitsnachweis;
 r Radius der Mittelfläche, rechtwinklig zur Rotationsachse;
 t Wanddicke der Schale;
 t_{\max} größte Wanddicke der Schale an einem Anschluss;
 t_{\min} kleinste Wanddicke der Schale an einem Anschluss;
 t_{ave} mittlere Wanddicke der Schale an einem Anschluss;
 β halber Kegelspitzenwinkel;

**Legende**

- 1 Oberflächendrücke
 2 Koordinaten
 3 Membranspannungen
 4 Richtungen:
 θ in Umfangsrichtung
 n rechtwinklig
 x in Meridianrichtung
 5 Verschiebungen
 6 Schubspannungen in Querrichtung

Bild 1.2 — Formelzeichen für Rotationsschalen

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

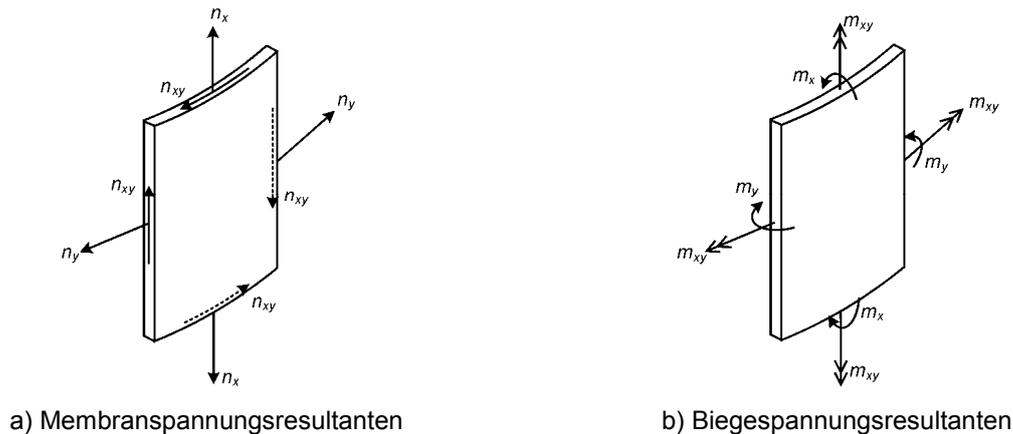


Bild 1.3 — Spannungsergebnisse in der Schalenwand
(im Bild ist x die meridiale und y die Umfangsrichtung)

(10) Toleranzen (siehe 6.2.2):

- e Exzentrizität zwischen den Mittelflächen der verbundenen Platten;
- U_e Toleranzparameter für die unplanmäßige Exzentrizität;
- U_r Toleranzparameter für die Rundheitsabweichung;
- U_0 Toleranzparameter für die Ausgangsbeule;
- Δw_0 Toleranz rechtwinklig zur Schalenoberfläche;

(11) Werkstoffeigenschaften:

- f_{eq} von-Mises-Ersatzfestigkeit;
- f_u charakteristischer Wert für die Bruchfestigkeit;
- f_0 charakteristischer Wert für die 0,2%-Dehngrenze;

(12) Parameter zur Festigkeitsbeurteilung:

- C Beiwert für den Beulsicherheitsnachweis;
- C_ϕ Dehnsteifigkeit der Bleche in axialer Richtung;
- C_θ Dehnsteifigkeit der Bleche in Umfangsrichtung;
- $C_{\phi\theta}$ Dehnsteifigkeit der Bleche bei Schubbeanspruchung der Membran;
- D_ϕ Biegesteifigkeit der Bleche in axialer Richtung;
- D_θ Biegesteifigkeit der Bleche in Umfangsrichtung;
- $D_{\phi\theta}$ Drillbiegesteifigkeit der Bleche beim Verdrehen;
- R errechnete Beanspruchbarkeit (mit Indizes zur Kennzeichnung des Bezugs verwendet);
- R_{pl} plastische Bezugs-Beanspruchbarkeit (als Lastfaktor bei Bemessung der Lasten festgelegt);
- R_{cr} ideale Verzweigungslast (als Lastfaktor bei Bemessung der Lasten festgelegt);
- k Kalibrierfaktor für nichtlineare Berechnungen;
- $k_{(\dots)}$ Potenz in den Ausdrücken für die Interaktion der Beulfestigkeit;
- μ Härtungsparameter der Legierung in den Beul-Diagrammen für Schalen;

- $a_{(\dots)}$ beim Beulsicherheitsnachweis der Abminderungsfaktor für Imperfektionen;
 Δ Bereich der Parameter bei Einbeziehung alternierender oder zyklischer Einwirkungen;

(13) Bemessungswerte für Spannungen und Spannungsergebnisse:

- $\sigma_{x,Ed}$ Bemessungswerte für die beulen-relevante Membranspannung in Meridianrichtung (positiv, wenn Druck);
 $\sigma_{\theta,Ed}$ Bemessungswerte für die beulen-relevante Membranspannung (Ringspannung) in Umfangsrichtung (positiv, wenn Druck);
 τ_{Ed} Bemessungswerte für die beulen-relevante Membranschubspannung;
 $n_{x,Ed}$ Bemessungswerte für die beulen-relevante Membranspannungsergebnisse in Meridianrichtung (positiv, wenn Druck);
 $n_{\theta,Ed}$ Bemessungswerte für die beulen-relevante Membranspannung (Ringspannung) in Umfangsrichtung (positiv, wenn Druck);
 $n_{x\theta,Ed}$ Bemessungswerte für die beulen-relevante Membranschubspannungsergebnisse;

(14) Kritische Beulspannungen und Widerstände gegen Beulspannungen:

- $\sigma_{x,cr}$ kritische Beulspannung in Meridianrichtung;
 $\sigma_{\theta,cr}$ kritische Beulspannung in Umfangsrichtung;
 τ_{cr} kritische Beulschubspannung;
 $\sigma_{x,Rd}$ Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit durch Beulspannungen in Meridianrichtung;
 $\sigma_{\theta,Rd}$ Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit durch Beulspannungen in Umfangsrichtung;
 τ_{Rd} Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit durch Beulschubspannungen.

(15) Weitere Formelzeichen werden bei ihrer Erstverwendung definiert.

1.5 Vorzeichenvereinbarungen

(1) Mit Ausnahme von (2) gelten im Allgemeinen folgende Vorzeichenvereinbarungen:

- nach außen gerichtet positiv;
- Innendruck positiv;
- Verschiebung nach außen positiv;
- Zugspannungen positiv;
- Schubspannungen wie in Bild 1.2 dargestellt.

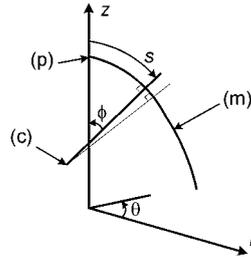
(2) Zur Vereinfachung werden bei Beuluntersuchungen Druckspannungen als positiv angesetzt. In diesen Fällen werden sowohl Außendrucke als auch Innendrucke als positiv angesetzt.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

1.6 Koordinatensysteme

(1) Im Allgemeinen wird für das globale Schalentragswerk ein zylindrisches Koordinatensystem wie folgt verwendet (siehe Bild 1.4):

Koordinate längs der Mittelachse der Rotationsschale	z
Radiale Koordinate	r
Koordinate in Umfangsrichtung	θ



Legende

- (p) Pol
- (m) Schalenmeridian
- (c) Pol der Meridiankrümmung

Bild 1.4 — Koordinatensysteme für eine kreisförmige Schale

(2) Die Vereinbarung für Tragwerksteile, die mit der Tankwand verbunden sind (siehe Bild 1.5), ist für solche in Meridianrichtung und solche in Umfangsrichtung unterschiedlich.

(3) Die Vereinbarung für gerade, mit der Tankwand verbundene Tragelemente in Meridianrichtung [siehe Bild 1.5a)] ist:

Meridiankoordinate für Zylinder, Auslaufkegel und Dachanschluss	x
Starke Biegeachse (parallel zu den Flanschen: Achse für Biegung in Meridianrichtung)	y
Schwache Biegeachse (rechtwinklig zu den Flanschen)	z

(4) Die Vereinbarung für gekrümmte, mit der Tankwand verbundene Tragelemente in Umfangsrichtung [siehe Bild 1.5b)] ist:

Achse der Umfangskoordinate (gekrümmt)	θ
Radiale Achse (Biegeachse in der Meridianebene)	r
Meridianachse (Biegeachse für Umfangsbiegung)	z



Bild 1.5 — Lokales Koordinatensystem für Meridiansteifen und Umfangssteifen bei einer Schale

2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung

2.1 Allgemeines

(1)P Schalen müssen nach den in EN 1990 und EN 1999-1-1 angegebenen Regeln berechnet und bemessen werden.

(2)P Für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit müssen geeignete Teilsicherheitsbeiwerte ausgewählt werden.

(3)P Für den rechnerischen Nachweis für die Grenzzustände der Tragfähigkeit muss der Teilsicherheitsbeiwert γ_M folgendermaßen festgelegt werden:

- Beanspruchbarkeit gegen Instabilität und Fließen: γ_{M1}
- Beanspruchbarkeit der unter Zug stehenden Platte bis zum Bruch: γ_{M2}
- Beanspruchbarkeit der Verbindungen: siehe EN 1999-1-1

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang dürfen Werte der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} festgelegt werden. Folgende Zahlenwerte werden empfohlen:

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

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

(4) Für Nachweise der Grenzzustände für die Gebrauchstauglichkeit sollte der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,ser}$ verwendet werden.

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang dürfen Werte für die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,ser}$ festgelegt werden. Folgender Zahlenwert wird empfohlen:

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

2.2 Zuverlässigkeitsklasse und Ausführungsklasse

(1) Die Auswahl der Zuverlässigkeitsklasse 1, 2 oder 3, siehe EN 1999-1-1, sollte vom Tragwerksplaner und dem für die Bauarbeiten Verantwortlichen unter Berücksichtigung nationaler Festlegungen gemeinsam getroffen werden.

(2) Die Ausführungsklasse, siehe EN 1999-1-1, sollte in der Ausführungsspezifikation festgelegt werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

3 Werkstoffe und Geometrie

3.1 Werkstoffeigenschaften

- (1) EN 1999-1-5 gilt für die in den Tabellen 3.2a) und b) von EN 1999-1-1 aufgeführten Knetwerkstoffe (Knetlegierungen und Zustände) und für kalt umgeformte Bleche in Tabelle 2.1 von EN 1999-1-4.
- (2) Für Einsatztemperaturen zwischen 80 °C und 100 °C sollten die Werkstoffeigenschaften aus EN 1999-1-1 entnommen werden.
- (3) Bei einer umfassenden zahlenmäßigen Untersuchung sollte unter Anwendung der Nichtlinearität von Werkstoffen das jeweils geeignete Spannungs-Dehnungs-Diagramm aus Anhang E von EN 1999-1-1 ausgewählt werden.

3.2 Bemessungswerte für geometrische Daten

- (1) Die Dicke t der Schale sollte der in 1999-1-1 und in 1999-1-4 angegebenen Definition entsprechen.
- (2) Die Mittelfläche der Schale sollte als Bezugsfläche für die Lasten angenommen werden.
- (3) Der Radius r der Schale sollte als der rechtwinklig zur Rotationsachse gemessene Nennradius der Mittelfläche der Schale angenommen werden.

3.3 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen

- (1) Folgende geometrische Abweichungen der Schalenoberfläche von der Nennform müssen berücksichtigt werden:

- Rundheitsabweichung (Abweichung von der Kreisform);
- Exzentrizitäten (Abweichungen von einer kontinuierlichen Mittelfläche rechtwinklig zur Schale entlang der Knotenlinien der Platten);
- örtlich auftretende Dellen (örtliche Normalabweichungen von der Nenn-Mittelfläche).

ANMERKUNG EN 1090-3 enthält Anforderungen an geometrische Toleranzen für Schalenträgerwerke aufzunehmen. Anhang C.

- (2) Geometrische Toleranz für Beulen siehe 6.2.2.

4 Dauerhaftigkeit

- (1) Die grundlegenden Anforderungen sind aus Abschnitt 4 von EN 1999-1-1 zu entnehmen.
- (2) Besonders zu beachten sind die Fälle, in denen ein Verbund unterschiedlicher Werkstoffe vorgesehen ist, wenn durch elektrochemische Erscheinungen Bedingungen auftreten können, die Korrosion begünstigen.

ANMERKUNG Angaben zur Korrosionsbeständigkeit von Verbindungsmitteln für die umgebungsbedingten Korrosivitätsklassen nach EN ISO 12944-2 sind aus EN 1999-1-4 zu entnehmen.

- (3) Die ab dem Zeitpunkt der Herstellung sowie bei Transport und Lagerung auf der Baustelle auftretenden Umgebungsbedingungen sollten berücksichtigt werden.

5 Tragwerksberechnung

5.1 Geometrie

- (1) Die Schale sollte durch ihre Mittelfläche repräsentiert werden.
- (2) Der Krümmungsradius sollte als Nenn-Krümmungsradius angesehen werden.
- (3) Für die Berechnung sollte eine aus mehreren Schalenabschnitten bestehende Baugruppe nur dann in einzelne Abschnitte unterteilt werden, wenn die Randbedingungen für jeden Abschnitt so ausgewählt werden, dass die Interaktionen zwischen ihnen auf herkömmliche Weise dargestellt werden.
- (4) In das Berechnungsmodell sollte ein Basisring zur Ableitung der Stützkräfte in die Schale einbezogen werden.
- (5) Exzentrizitäten und Stufen in der Mittelfläche der Schale sollten im Berechnungsmodell berücksichtigt werden, wenn sie bedingt durch den exzentrischen Verlauf der Membranspannungsergebnisse signifikante Biegeeinwirkungen einbringen.
- (6) Im Berechnungsmodell sollten an den Knotenlinien zwischen den Schalenabschnitten alle Exzentrizitäten auf den Mittelflächen der Schalenabschnitte berücksichtigt werden.
- (7) Eine Ringsteife sollte als gesondertes Tragwerksteil der Schale angesehen werden, sofern die Abstände zwischen den Ringen nicht kleiner als $1,5 \sqrt{rt}$ sind.
- (8) Eine Schale, an der diskrete Längssteifen angebracht sind, darf als gleichmäßig orthotrope Schale angesehen werden, wenn die Längssteifen nicht weiter als $5 \sqrt{rt}$ voneinander entfernt sind.
- (9) Eine (axial oder in Umfangsrichtung) profilierte Schale darf als gleichmäßig orthotrope Schale angesehen werden, wenn die Wellenlänge der Profilierungen kleiner als $0,5 \sqrt{rt}$ ist (siehe A.5.7).
- (10) Ein Loch in der Schale darf bei der Modellierung vernachlässigt werden, wenn das größte Lochmaß kleiner als $0,5 \sqrt{rt}$ ist.
- (11) Die Gesamtstabilität des vollständigen Tragwerks kann je nach Gültigkeit in Übereinstimmung mit EN 1993, Teile 3-1, 3-2, 4-1, 4-2 oder 4-3 nachgewiesen werden.

5.2 Randbedingungen

- (1) Bei den Berechnungen für die Grenzzustände sollten die geeigneten Randbedingungen nach Tabelle 5.1 angewendet werden. Die zur Berechnung der Beulsicherheit erforderlichen Sonderbedingungen sollten aus 6.2 entnommen werden.
- (2) Beim Berechnungsmodell für den plastischen Grenzzustand dürfen Rotationsbehinderungen an den Schalengrenzen unberücksichtigt bleiben. Für kurze Schalen (siehe Anhang A) sollte eine Behinderung der Rotation in die Berechnung der Beulsicherheit einbezogen werden.
- (3) Die Randbedingungen für die Abstützung sollten überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie keine zu große Ungleichmäßigkeit der übertragenen oder eingeleiteten Kräfte exzentrisch zur Schalenmittelfläche veranlassen.
- (4) Wenn eine umfassende zahlenmäßige Berechnung durchgeführt wird, sollte auch für die rechtwinklig zur Schalenoberfläche erfolgende Verschiebung w die Randbedingung für die Umfangsverschiebung v angewendet werden, sofern dieses Vorgehen nicht durch besondere Umstände ungeeignet ist.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Tabelle 5.1 — Randbedingungen für Schalen

Beul- klasse	Einfache Befestigungs- bedingung	Beschreibung			Ver- schiebungen rechtwinklig zur Oberfläche	Verschie- bungen in Meridian- richtung	Rotation in Meridian- richtung
		Radial	In Meridian- richtung	Rotation			
BC1r	Eingespannt	Behindert	Behindert	Behindert	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_{\phi} = 0$
BC1f		Behindert	Behindert	Frei	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_{\phi} = 0$
BC2r		Behindert	Frei	Behindert	$w = 0$	$u = 0$	$\beta_{\phi} \neq 0$
BC2f	Gelenkig gelagert	Behindert	Frei	Frei	$w = 0$	$u \neq 0$	$\beta_{\phi} \neq 0$
BC3	Freier Rand	Frei	Frei	Frei	$w \neq 0$	$u \neq 0$	$\beta_{\phi} \neq 0$

ANMERKUNG Die Verschiebung in Umfangsrichtung v und die Verschiebung w rechtwinklig zur Oberfläche sind so eng miteinander verknüpft, dass keine gesonderten Randbedingungen benötigt werden.

5.3 Einwirkungen und Einflüsse aus der Umgebung

(1) Es sollte vorausgesetzt werden, dass die Einwirkungen auf die Mittelfläche erfolgen. Exzentrisch wirkende Lasten müssen durch statische Ersatzkräfte und -momente auf die Mittelfläche der Schale veranschaulicht werden.

(2) Sofern nicht anders angegeben, sollten örtliche Einwirkungen und örtliche Korrekturen der Einwirkung nicht durch gleichmäßige Ersatzlasten dargestellt werden.

(3) Die Einwirkungen und die kombinierten Einwirkungen werden in EN 1991 und EN 1990 erfasst. Außerdem sollten diejenigen der folgenden Einwirkungen, die für das Tragwerk von Bedeutung sind, bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden:

- lokale Setzung unter den Schalenwänden;
- lokale Setzung unter Einzelstützen;
- gleichmäßige Abstützung des Tragwerks;
- Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Seiten des Tragwerks;
- Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenseite des Tragwerks;
- Windeinwirkungen auf Öffnungen und Durchbrüche;
- Interaktion von Windwirkungen auf Gruppen der Tragwerke;
- Verbindungen mit anderen Tragwerken;
- Bedingungen während der Montage.

(4) Die Schalen können bedingt durch die Art der Einleitung der Lasten durch Membrankräfte empfindlich gegenüber Änderungen der geometrischen Bedingungen sein, z. B. durch Dellen. Außer den bei der Ausführung veranlassten unvermeidbaren geometrischen Abweichungen können Dellen durch unvorhergesehene Einwirkungen während des Einsatzes entstehen. Die Empfindlichkeit steigt bei Anwendung relativ dünner Bauteile. Falls Dellen eingebracht werden, deren Größe die in B.4 angegebenen Werte überschreitet, sollten die Auswirkungen auf die Tragfähigkeit untersucht werden. Es wird empfohlen, ein Programm zur regelmäßigen Überprüfung der geometrischen Bedingungen anzuwenden.

(5) Bei Auswahl des Konzeptes für Entwurf, Bemessung und Berechnung sollte die Möglichkeiten berücksichtigt werden, durch die unzulässige Dellen zu vermeiden sind. Diese Möglichkeiten können z. B. darin bestehen, dass größere als nach der Berechnung notwendige Dicken angewendet werden oder indem für die Bereiche, in denen das Risiko als signifikant eingeschätzt wird, Schutzmaßnahmen vorgesehen werden.

5.4 Spannungsergebnisse und Spannungen

(1) Unter der Voraussetzung, dass das Verhältnis Radius/Dicke größer ist als $(r/t)_{\min} = 25$, darf die Krümmung der Schale bei Berechnung der Spannungsergebnisse aus den Spannungen in der Schalenwand vernachlässigt werden.

5.5 Berechnungsarten

(1) Die Bemessung sollte in Abhängigkeit vom Grenzzustand und von anderen Erwägungen auf einer oder mehreren der in Tabelle 5.2 angegebenen Berechnungsarten basieren. Die Berechnungsarten werden in Tabelle 5.3 ausführlicher erläutert. Für weitere Einzelheiten wird auf EN 1993-1-6 verwiesen.

Tabelle 5.2 — Berechnungsarten für Schalenträgerwerke

Berechnungsart		Schalentheorie	Werkstoffgesetz	Schalengeometrie
Membrantheorie	MTA	Membrangleichgewicht	Nicht anwendbar	Ohne Imperfektionen ^a
Linear elastische Analyse der Schale	LA	Lineare Biegung und Streckung	Linear	Ohne Imperfektionen ^a
Linear elastische Verzweigungsanalyse	LBA	Lineare Biegung und Streckung	Linear	Ohne Imperfektionen ^a
Geometrisch nichtlineare elastische Analyse	GNA	Nichtlinear	Linear	Ohne Imperfektionen ^a
Materiell nichtlineare Analyse	MNA	Linear	Nichtlinear	Ohne Imperfektionen ^a
Geometrisch und materiell nichtlineare Analyse	GMNA	Nichtlinear	Nichtlinear	Ohne Imperfektionen ^a
Geometrisch nichtlineare elastische Analyse mit Imperfektionen	GNIA	Nichtlinear	Linear	Mit Imperfektionen ^b
Geometrisch und materiell nichtlineare Analyse mit Imperfektionen	GMNIA	Nichtlinear	Nichtlinear	Mit Imperfektionen ^b

^a Geometrie ohne Imperfektionen bedeutet, dass bei diesem Berechnungsmodell die geometrischen Nennbedingungen ohne Berücksichtigung der entsprechenden Abweichungen angewendet werden.

^b Geometrie mit Imperfektionen bedeutet, dass bei diesem Berechnungsmodell die geometrischen Abweichungen von den geometrischen Nennbedingungen (Toleranzen) berücksichtigt werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Tabelle 5.3 — Beschreibung der Berechnungsarten für Schalenträgerwerke

Membrantheorie (MTA)	Analyse eines durch Flächenlasten beanspruchten Schalenträgerwerks unter Annahme einer Reihe von Membrankräften, die mit den äußeren Lasten im Gleichgewicht stehen
Linear elastische Analyse der Schale (LA)	Analyse auf Basis der kleinsten Abweichung der linearen elastischen Biegetheorie unter Annahme geometrischer Bedingungen ohne Imperfektionen
Linear elastische Verzweigungsanalyse (LBA)	Analyse, die den Eigenwert der linear elastischen Verzweigungen auf der Basis kleiner Abweichungen unter Verwendung der linear elastischen Biegetheorie errechnet, wobei geometrische Bedingungen ohne Imperfektionen vorausgesetzt werden. Es ist anzumerken, dass sich der Eigenwert in diesem Zusammenhang nicht auf die Schwingarten bezieht.
Geometrisch nichtlineare elastische Analyse (GNA)	Analyse auf der Basis der Biegetheorie unter der Annahme geometrischer Bedingungen ohne Imperfektionen mit Betrachtung der nichtlinearen großen Abweichungstheorie und der linear elastischen Werkstoffeigenschaften
Materiell nichtlineare Analyse (MNA)	Eine der (LA) entsprechende Analyse, bei der jedoch die nichtlinearen Werkstoffeigenschaften berücksichtigt werden. Für Schweißkonstruktionen muss der Werkstoff in der Wärmeeinflusszone modelliert werden.
Geometrisch und materiell nichtlineare Analyse (GMNA)	Analyse mit Anwendung der Biegetheorie unter der Annahme geometrischer Bedingungen ohne Imperfektionen und unter Berücksichtigung der nichtlinearen großen Abweichungstheorie und der nichtlinearen Werkstoffeigenschaften
Geometrisch nichtlineare elastische Analyse mit Imperfektionen (GNIA) ^a	Eine der (GNA) entsprechende Analyse, jedoch unter Berücksichtigung der Imperfektionen
Geometrisch und materiell nichtlineare Analyse mit Imperfektionen (GMNIA)	Ein der (GMNA) entsprechende Analyse, jedoch unter Berücksichtigung der Imperfektionen
^a Diese Art Analyse wird in dieser Norm nicht erfasst, ist jedoch hier aus Gründen einer vollständigen Darstellung aller Arten der Schalenanalyse aufgeführt.	

6 Grenzzustand der Tragfähigkeit

6.1 Beanspruchbarkeit des Querschnitts

6.1.1 Bemessungswerte für die Spannungen

(1) An allen Punkten des Tragwerks sollte der Bemessungswert der Spannung $\sigma_{\text{eq,Ed}}$ als die höchste Primärspannung angenommen werden, die bei einer Tragwerksberechnung unter Berücksichtigung der Gesetze für das Gleichgewicht zwischen den Bemessungswerten der Verkehrslasten und der Schnittkräfte und -momente bestimmt wird.

(2) Die Primärspannung darf als Höchstwert der Spannungen angenommen werden, die für das Gleichgewicht mit den an einem Punkt oder entlang einer Linie des Schalentragswerks aufgebrauchten Lasten erforderlich sind.

(3) Wenn eine Berechnung nach der *Membrantheorie* (MTA) durchgeführt wird, kann das sich ergebende zweidimensionale Feld der Spannungsergebnisse $n_{x,\text{Ed}}$, $n_{\theta,\text{Ed}}$, $n_{x\theta,\text{Ed}}$ durch den nach der folgenden Gleichung errechneten Bemessungswert der Ersatzspannung $\sigma_{\text{eq,Ed}}$ dargestellt werden:

$$\sigma_{\text{eq,Ed}} = \frac{1}{t} \sqrt{n_{x,\text{Ed}}^2 + n_{\theta,\text{Ed}}^2 - n_{x,\text{Ed}} n_{\theta,\text{Ed}} + 3n_{x\theta,\text{Ed}}^2} \quad (6.1)$$

(4) Wenn eine *linear elastische Analyse* (LA) oder eine *geometrisch nichtlineare elastische Analyse* (GNA) angewendet wird, kann das sich ergebende zweidimensionale Feld der Primärspannungen durch den Bemessungswert für die von-Mises-Ersatzspannung dargestellt werden:

$$\sigma_{\text{eq,Ed}} = \sqrt{\sigma_{x,\text{Ed}}^2 + \sigma_{\theta,\text{Ed}}^2 - \sigma_{x,\text{Ed}} \sigma_{\theta,\text{Ed}} + 3(\tau_{x\theta,\text{Ed}}^2 + \tau_{xn,\text{Ed}}^2 + \tau_{\theta n,\text{Ed}}^2)} \quad (6.2)$$

Hierbei sind

$$\sigma_{x,\text{Ed}} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{n_{x,\text{Ed}}}{t} \pm \frac{m_{x,\text{Ed}}}{t^2/4} \right), \quad \sigma_{\theta,\text{Ed}} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{n_{\theta,\text{Ed}}}{t} \pm \frac{m_{\theta,\text{Ed}}}{t^2/4} \right) \quad (6.3)$$

$$\tau_{x\theta,\text{Ed}} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{n_{x\theta,\text{Ed}}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,\text{Ed}}}{t^2/4} \right), \quad \tau_{xn,\text{Ed}} = \frac{q_{xn,\text{Ed}}}{t}, \quad \tau_{\theta n,\text{Ed}} = \frac{q_{\theta n,\text{Ed}}}{t} \quad (6.4)$$

Dabei ist η ein Korrekturfaktor für das unelastische Verhalten des Werkstoffs, der sowohl von den Merkmalen des Härtens als auch von der Zähigkeit der Legierung abhängig ist.

ANMERKUNG 1 Die oben angegebenen Ausdrücke liefern eine für Bemessungszwecke vereinfachte konservative Ersatzspannung.

ANMERKUNG 2 Werte für η sind in EN 1999-1-1, Anhang H in Abhängigkeit von den Legierungseigenschaften angegeben. Für η sollten Werte angesetzt werden, die einem geometrischen Formbeiwert $\alpha_0 = 1,5$ entsprechen.

ANMERKUNG 3 Die Werte für $\tau_{xn,\text{Ed}}$ und $\tau_{\theta n,\text{Ed}}$ sind im Allgemeinen sehr klein und haben keinen Einfluss auf die Beanspruchbarkeit, so dass sie in der Regel vernachlässigt werden dürfen.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

6.1.2 Bemessungswerte für die Beanspruchbarkeit

(1) Der Bemessungswert für die von-Mises-Ersatzfestigkeit sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$f_{\text{eq,Rd}} = \frac{f_0}{\gamma_{M1}} \text{ außerhalb der WEZ} \quad (6.5)$$

$$f_{\text{eq,Rd}} = \min \left(\frac{\rho_{\text{u,haz}} \cdot f_0}{\gamma_{M2}}, \frac{f_0}{\gamma_{M1}} \right) \text{ im Bereich WEZ} \quad (6.6)$$

Hierbei ist

f_0 der charakteristische Wert für die 0,2%-Dehngrenze nach EN 1999-1-1;

f_u der charakteristische Wert der Bruchfestigkeit nach EN 1999-1-1;

$\rho_{\text{u,haz}}$ das Verhältnis zwischen der Bruchfestigkeit in der Wärmeeinflusszone (WEZ) und im Grundwerkstoff nach EN 1999-1-1;

γ_{M1} der in 2.1 (3) angegebene Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit;

γ_{M2} der in 2.1 (3) angegebene Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit.

(2) Der Einfluss der Löcher für Verbindungsmittel sollte nach EN 1999-1-1 berücksichtigt werden.

6.1.3 Spannungsbegrenzung

(1) Für diesen Grenzzustand sollten die Bemessungsspannungen bei allen Nachweisen die folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{\text{eq,Ed}} \leq f_{\text{eq,E}} \quad (6.7)$$

6.1.4 Bemessung durch numerische Analyse

(1) Der Bemessungswert für die plastische Grenzbeanspruchbarkeit sollte als ein Lastverhältnis R bestimmt werden, der auf die Bemessungswerte der kombinierten Einwirkungen für den jeweiligen Lastfall angewendet wird.

(2) Die Bemessungswerte für die Einwirkungen F_{Ed} sollten nach 5.3 bestimmt werden.

(3) In einer *materiell nichtlinearen Analyse* (MNA) und einer *geometrisch und materiell nichtlinearen Analyse* (GMNA) auf der Grundlage des Bemessungswertes für die Grenztragfähigkeit f_0/γ_M sollte die Schale dem um das Lastverhältnis R progressiv zunehmenden Bemessungswert der Lasten ausgesetzt werden, bis der plastische Grenzzustand erreicht ist.

(4) Wenn eine *materiell nichtlineare Analyse* (MNA) angewendet wird, darf das Lastverhältnis R_{MNA} als der größte bei der Analyse ermittelte Wert angenommen werden. Der Einfluss der Kaltverfestigung darf unter der Voraussetzung einbezogen werden, dass ein entsprechender Grenzwert für die zulässige Werkstoffverformung berücksichtigt wird. Anleitungen zu den analytischen Modellen für den bei der MNA anzuwendenden Zusammenhang Spannung-Dehnung werden in EN 1999-1-1 angegeben.

(5) Wenn eine *geometrisch und materiell nichtlineare Analyse* (GMNA) angewendet wird, sollte, sofern bei der Analyse eine Höchstlast mit nachfolgender Lastverringernng vorhergesagt wird, der Höchstwert zur Bestimmung des Lastverhältnisses R_{GMNA} angewendet werden. Falls bei einer GMNA-Analyse keine

Höchstlast vorhergesagt wird, sondern ein progressiv ansteigendes Verhältnis Wirkung-Verschiebung (mit oder ohne Kaltverfestigung des Werkstoffs) erhalten wird, sollte davon ausgegangen werden, dass das Lastverhältnis R_{GMNA} nicht größer als der Wert ist, bei dem der größte von-Mises-Ersatzwert für die bleibende Dehnung im Tragwerk den im Abschnitt 3 von EN 1999-1-1 angegebenen Grenzwert für die Verformung der Legierung erreicht. Für Bemessungszwecke kann in Abhängigkeit von den Merkmalen der Legierung ein Wert für die Bruchdehnung von 5 (f_0/E) oder 10 (f_0/E) vorausgesetzt werden. Werte für die Bruchdehnung ε_u , die 5 (f_0/E) oder 10 (f_0/E) entsprechen, werden in EN 1999-1-1, Anhang H angegeben.

ANMERKUNG Werte für die maximale Zugdehnung ε_u für 5 (f_0/E) oder 10 (f_0/E) sind in EN 1999-1-1, Anhang H angegeben.

(6) Die Berechnung sollte im Ergebnis folgende Bedingung erfüllen:

$$R = \frac{F_{Rd}}{F_{Ed}} \geq 1,0 \quad (6.8)$$

hierbei ist F_{Ed} der Bemessungswert für die Einwirkung.

6.2 Knickfestigkeit (Beanspruchbarkeit durch Beulen; Beulsicherheitsnachweis)

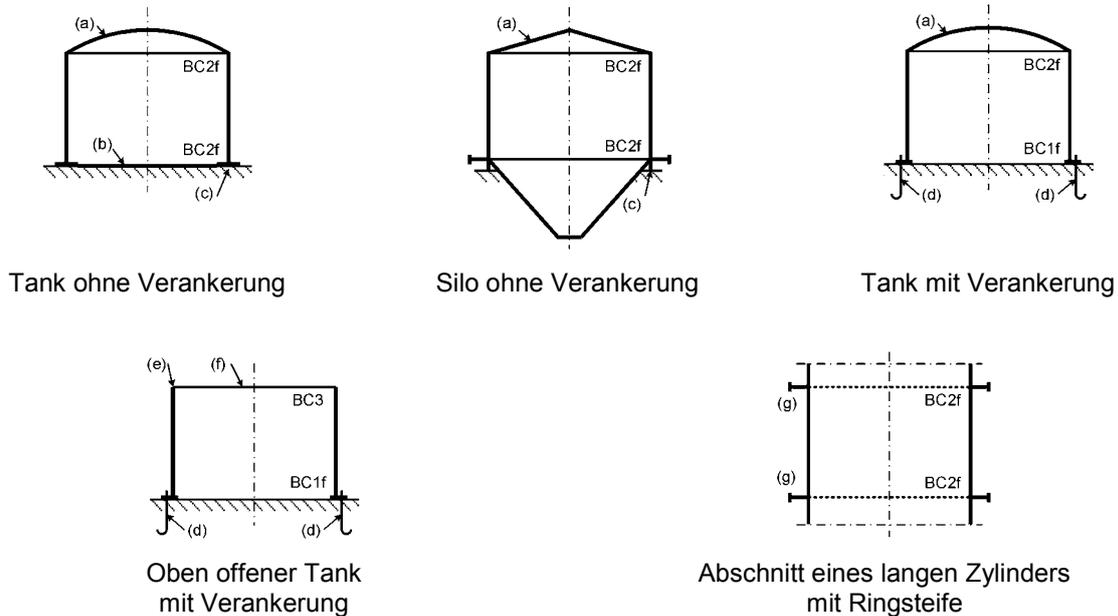
6.2.1 Allgemeines

(1) Alle relevanten Kombinationen von Einwirkungen, die in der Wand der Schale Druck- oder Schub-Membranspannungen erzeugen, sollten berücksichtigt werden.

(2) Nach der Vorzeichenvereinbarung, die für die Berechnung der Beulen gilt, sollte Druck als positiv für die Spannungen und Spannungsergebnisse in Meridial- und Umfangsrichtung angesetzt werden.

(3) Besondere Aufmerksamkeit sollte den Randbedingungen gelten, die für die bedingt durch Beulen zunehmenden Verschiebungen zutreffen (im Gegensatz zu Verschiebungen, die nicht durch Beulen entstehen). Beispiele für entsprechende Randbedingungen werden in Bild 6.1 angegeben.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)



Legende

- (a) Dach
- (b) Bodenplatte
- (c) Ohne Verankerung
- (d) Ankerschrauben in dichtem Abstand
- (e) Ohne Ringsteife
- (f) Freier Rand
- (g) Ringsteife

Bild 6.1 — Schematische Darstellung für Beispiele zu den Randbedingungen für den durch Beulen bedingten Grenzzustand

6.2.2 Geometrische Toleranzen, die für Beulen von Belang sind

(1) Die in EN 1090-3 angegebenen Grenzen für die geometrischen Toleranzen sollten eingehalten werden, falls Beulen einer der zu berücksichtigenden Grenzzustände für die Tragfähigkeit sind.

ANMERKUNG 1 Die hier bestimmten Bemessungswerte für Beulspannungen schließen Imperfektionen ein, die auf geometrische Toleranzen zurückzuführen sind, mit deren Auftreten bei der Ausführung zu rechnen ist.

ANMERKUNG 2 Die in EN 1090-3 angegebenen geometrischen Toleranzen haben bekanntermaßen einen großen Einfluss auf die Sicherheit des Tragwerks.

(2) Die Toleranzklasse (Klasse 1, Klasse 2, Klasse 3 oder Klasse 4) sollte nach den in EN 1090-3 angegebenen Definitionen sowohl für den Lastfall als auch für die Toleranz ausgewählt werden. Die Beschreibung der Klassen bezieht sich nur auf die Bewertung der Festigkeit.

(3) Alle Imperfektionsarten sollten gesondert klassifiziert werden; für die gesamte Bemessung sollte die niedrigste Klasse maßgebend sein.

(4) Die unterschiedlichen Toleranzarten können als unabhängig voneinander behandelt werden, und im Allgemeinen brauchen keine Interaktionen berücksichtigt zu werden.

6.2.3 Schale unter Druck- und Schubbeanspruchungen

6.2.3.1 Bemessungswerte für die Spannungen

(1) Die Bemessungswerte für die Spannungen $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ und τ_{Ed} sollten als die Schlüsselwerte für die Druck- und Schub-Membranspannungen angenommen werden, die mit Hilfe der *linearen Analyse der Schale* (LA) ermittelt werden. Unter rein rotationssymmetrischen Bedingungen der Belastung und Abstützung und in anderen einfachen Lastfällen darf allgemein die Membrantheorie angewendet werden.

(2) Sofern in Anhang A keine spezifischen Festlegungen getroffen werden, sollten als Schlüsselwerte der Membranspannungen für jede Spannung bei der jeweils zutreffenden axialen Tragwerkskoordinate die jeweiligen Größtwerte angewendet werden.

ANMERKUNG In einigen Fällen (z. B. bei abgestuften Wänden, die durch Druck in Umfangsrichtung beaufschlagt werden, siehe A.2.3), sind die Schlüsselwerte der Membranspannungen fiktiv und größer als die tatsächlichen Höchstwerte.

(3) Für die üblichen Belastungsfälle dürfen die Membranspannungen mit Hilfe der jeweils zutreffenden Gleichungen errechnet werden.

6.2.3.2 Knick- bzw. Beulfestigkeit

(1) Die Bemessungswerte für Knickfestigkeit/Beanspruchbarkeit durch Beulen sollten nach folgenden Gleichungen errechnet werden,

für nicht ausgesteifte Schalen

$$\sigma_{x,Rd} = \alpha_x \rho_{x,w} \chi_{x,perf} \frac{f_0}{\gamma_{M1}} \quad (6.9)$$

$$\sigma_{\theta,Rd} = \alpha_{\theta} \rho_{\theta,w} \chi_{\theta,perf} \frac{f_0}{\gamma_{M1}} \quad (6.10)$$

$$\tau_{Rd} = \alpha_{\tau} \rho_{\tau,w} \chi_{\tau,perf} \frac{f_0}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} \quad (\text{gilt auch für ausgesteifte Schalen}) \quad (6.11)$$

und für ausgesteifte und/oder profilierte Schalen

$$n_{x,Rd} = \alpha_{n,x} \chi_{x,perf} \frac{n_{x,Rk}}{\gamma_{M1}} \quad (6.12)$$

$$p_{n,Rd} = \alpha_{p,\theta} \chi_{\theta,perf} \frac{p_{n,Rk}}{\gamma_{M1}} \quad (\text{gilt auch für torikonische und torisphärische Schalen, siehe A.7}) \quad (6.13)$$

Hierbei ist

$n_{x,Rk}$ die axiale Quetschgrenze der ausgesteiften Schale;

$p_{n,Rk}$ der gleichmäßige Druck an der Quetschgrenze der ausgesteiften oder der torikonischen und der torisphärischen Schale;

α_i der Abminderungsfaktor für die Imperfektion, der aus Anhang A zu entnehmen ist;

$\rho_{i,w}$ der Abminderungsfaktor für die Wärmeeinflusszonen nach 6.2.4.4. Für Schalen ohne Schweißnähte ist $\rho_{i,w} = 1$;

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

$\chi_{i,perf}$ der Abminderungsfaktor für die Beulen für eine perfekte Schale, angegeben unter (2);

γ_{M1} der Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit nach 2.1(3).

ANMERKUNG 1 Ausdruck (6.13) gilt auch für torikonische und torisphärische Schalen, siehe Anhang B.

ANMERKUNG 2 α_i für torikonische und torisphärische Schalen, siehe Anhang B.

(2) Der Abminderungsfaktor für die Beulen für eine perfekte Schale wird nach folgender Gleichung errechnet:

$$\chi_{1,perf} = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \quad \text{für } \chi_{i,perf} \leq 1,00 \quad (6.14)$$

mit:

$$\phi_i = 0,5 \left(1 + \mu_i (\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i,0}) + \bar{\lambda}_i^2 \right) \quad (6.15)$$

Hierbei ist

μ_i ein Parameter, der von der Legierung und vom Belastungsfall abhängig und aus Anhang A zu entnehmen ist;

$\bar{\lambda}_{i,0}$ die auf die Quetschgrenze bezogene Schlankheit, die aus Anhang A zu entnehmen ist;

i der Index, der in Abhängigkeit von der Belastungsart x , θ oder τ heißt.

(3) Die Schlankheitsparameter der Schale für unterschiedliche Spannungskomponenten sollten nach folgenden Gleichungen bestimmt werden,

für nicht ausgesteifte Schalen:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_0}{\sigma_{x,cr}}} \quad (6.16)$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{f_0}{\sigma_{\theta,cr}}} \quad (6.17)$$

$$\bar{\lambda}_\tau = \sqrt{\frac{f_0}{\sqrt{3}\tau_{cr}}} \quad (\text{gilt auch für ausgesteifte Schalen}) \quad (6.18)$$

und für ausgesteifte und/oder profilierte Schalen

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{n_{x,Rk}}{n_{x,cr}}} \quad (6.19)$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{p_{n,Rk}}{p_{n,cr}}} \quad (6.20)$$

Hierbei ist

$\sigma_{x,cr}$, $\sigma_{\theta,cr}$ und τ_{cr} die in Anhang A angegebenen oder durch die *lineare elastische Verzweigungs-Analyse* (Eigenwert-Analyse) (LBA) ermittelten kritischen Beulspannungen;

$n_{x,cr}$, $p_{n,cr}$ die kritischen Beulspannungsergebnisse für ausgesteifte oder torikonische und torisphärische Schalen, die in Anhang A angegeben oder durch die *lineare elastische Verzweigungs-Analyse* (Eigenwert-Analyse) (LBA) ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Die Ausdrücke (6.19) und (6.20) gelten auch für torikonische und torisphärische Schalen, siehe Anhang B.

ANMERKUNG 2 $\rho_{n,cr}$ für torikonische und torisphärische Schalen, siehe Anhang B.

6.2.3.3 Nachweis der Beulfestigkeit

(1) Obwohl Beulen kein nur durch Spannungen ausgelöstes Versagensphänomen darstellen, sollte der Nachweis der Beulfestigkeit durch Begrenzung der Bemessungswerte für Membranspannungen oder Spannungsergebnisse geführt werden. Der Einfluss der Biegespannungen auf die Beulfestigkeit kann unter der Voraussetzung vernachlässigt werden, dass die Spannungen als Folge von Kompatibilitätseinflüssen des Randes entstehen. Biegespannungen aus lokalen Lasten oder aus Wärmegradienten sollten besonders beachtet werden.

(2) In Abhängigkeit vom jeweiligen Belastungs- und Spannungsfall sollten eine oder mehrere der folgenden Nachweise für die Schlüsselwerte der einzelnen Membranspannungskomponenten durchgeführt werden:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd} \quad (6.21)$$

$$\sigma_{\theta,Ed} \leq \sigma_{\theta,Rd} \quad (6.22)$$

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd} \quad (6.23)$$

(3) Falls unter den betrachteten Einwirkungen mehr als eine der für Beulen wesentlichen Membranspannungskomponenten vorhanden ist, sollte für den kombinierten Membranspannungszustand der folgende Nachweis auf Interaktion durchgeführt werden:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}} \right)^{k_x} + \left(\frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right)^{k_\theta} - k_i \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{x,Rd}} \right) \left(\frac{\sigma_{\theta,Ed}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right) + \left(\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} \right)^{k_\tau} \leq 1,00 \quad (6.24)$$

Dabei sind $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{\theta,Ed}$ und τ_{Ed} die für eine Interaktion relevanten Gruppen der signifikanten Druck- und Schub-Membranspannungswerte in der Schale; die Werte für die Interaktionsparameter k_x , k_θ , k_τ und k_i sind nach folgenden Gleichungen zu errechnen:

$$\begin{aligned} k_x &= 1 + \chi_x^2 \\ k_\theta &= 1 + \chi_\theta^2 \\ k_\tau &= 1,5 + 0,5 \chi_\tau^2 \\ k_i &= (\chi_x \chi_\theta)^2 \end{aligned} \quad (6.25)$$

ANMERKUNG 1 Bei einem nicht ausgesteiften Zylinder, der durch axialen Druck und Druck in Umfangsrichtung und durch Schub beansprucht wird, darf die in A.1.6 angegebene Gleichung für die Interaktionsparameter angewendet werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05 EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG 2 Die oben genannten Regeln können mitunter unzureichend sein, sie erfassen jedoch die beiden, für viele Situationen sicheren Grenzfälle: a) in sehr dünnen Schalen ist die Interaktion zwischen σ_x und σ_θ linear, und b) in sehr dicken Schalen für die Interaktion zwischen Spannungen gilt die von-Mises-Interaktion der äquivalenten Spannung oder die der in EN 1999-1-1 angegebenen alternativen Interaktionsgleichung.

(4) Wenn $\sigma_{x,Ed}$ oder $\sigma_{\theta,Ed}$ eine Zugspannung ist, sollte ihr Wert in Gleichung (6.24) gleich null gesetzt werden.

ANMERKUNG Für Zylinder, die durch axialen Innendruck beansprucht werden (wodurch in Umfangsrichtung eine Zugspannung entsteht), gelten die in Anhang A angegebenen besonderen Festlegungen. Der für $\sigma_{x,Rd}$ ermittelte Wert berücksichtigt sowohl die Verfestigungswirkung des Innendruckes auf die elastische Beulbeanspruchbarkeit als auch den Schwächungseinfluss des elastisch-plastischen Elefantenfuß-Phänomens [Gleichung (A.22)]. Die Beulfestigkeit wird exakt repräsentiert, wenn die Zugspannung $\sigma_{\theta,Ed}$ in Gleichung (6.24) gleich null gesetzt wird.

(5) Die Lagen und Werte für alle in Gleichung (6.24) kombiniert anzuwendenden beulen-relevanten Membranspannungen werden in Anhang A festgelegt.

6.2.4 Einfluss des Schweißens

6.2.4.1 Allgemeines

(1) Bei der Bemessung von Schalenkonstruktionen aus Aluminium sollten die allgemeinen Kriterien und Regeln für Schweißkonstruktionen nach EN 1999-1-1 eingehalten werden.

(2) Bei der Bemessung von geschweißten Schalenkonstruktionen aus kalt verfestigten oder aushärtbaren Legierungen sollte die in der Nähe von Schweißnähten auftretende Verringerung der Festigkeitswerte berücksichtigt werden. Dieser Bereich wird als Wärmeeinflusszone (WEZ) bezeichnet. Ausnahmen für diese Regel werden in EN 1999-1-1 angegeben.

(3) Zu Bemessungszwecken wird angenommen, dass die Festigkeitswerte in der gesamten Wärmeeinflusszone auf das gleiche Niveau verringert werden.

ANMERKUNG 1 Wenn auch diese Verringerung im Wesentlichen die 0,2%-Dehngrenze und die Zugfestigkeit des Werkstoffs betrifft, kann es durchaus sein, dass die Einflüsse auf druckbeanspruchte Teile von Schalenkonstruktionen, die in Abhängigkeit von der konstruktiven Schlankheit und den Eigenschaften der Legierung beulanfällig sind, signifikant sind.

ANMERKUNG 2 Der Einfluss der durch Schweißen bedingten Festigkeitsverringern ist für Beulen im plastischen Bereich signifikanter. Auch örtliche Schweißnähte in beulgefährdeten Bereichen können wegen der WEZ die Beulbeanspruchbarkeit merklich verringern. Daher wird empfohlen, in großen, nicht ausgesteiften und durch Druck beanspruchten Teilen Schweißungen zu vermeiden.

ANMERKUNG 3 Zu Zwecken der Bemessung kann eine Schweißung als Längsstreifen auf der Schalenoberfläche angesehen werden, deren beeinflusster Bereich sich unmittelbar um die Schweißnaht ausbreitet. Außerhalb dieses Bereichs werden rasch wieder die vollständigen ungeschweißten Festigkeitswerte erreicht. Entlang dieser Streifen können Fließlinien auftreten, wenn sich Beulen in der Schale bilden.

ANMERKUNG 4 Manchmal ist es möglich, die Einflüsse der Festigkeitsverringern in der WEZ durch Warmauslagern nach dem Schweißen zu mildern, siehe EN 1999-1-1.

(4) Der Einfluss der schweißbedingten Festigkeitsverringern auf die Beulbeanspruchbarkeit der Schale sollte für alle Schweißnähte, die direkt oder indirekt einer Druckspannung ausgesetzt sind, nach den in 6.2.4.2 angegebenen Regeln überprüft werden.

6.2.4.2 Grad der Festigkeitsverringern

(1) Der Grad der schweißbedingten Festigkeitsverringern wird durch die Abminderungsfaktoren $\rho_{0,haz}$ und $\rho_{u,haz}$ angegeben, die aus den Quotienten des charakteristischen Wertes für die 0,2%-Dehngrenze $f_{0,haz}$ (bzw. für die Zugfestigkeit $f_{u,haz}$) in der Wärmeeinflusszone und des charakteristischen Wertes für f_0 (bzw. f_u) im Grundwerkstoff bestimmt werden:

$$\rho_{o,haz} = \frac{f_{o,haz}}{f_o} \quad \text{und} \quad \rho_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u} \quad (6.26)$$

(2) Die charakteristischen Werte für die Festigkeiten $f_{o,haz}$ und $f_{u,haz}$ sowie die Werte für $\rho_{o,haz}$ und $\rho_{u,haz}$ werden in Tabelle 3.2a von EN 1999-1-1 für Aluminiumknetlegierungen in Form von Blechen, Bändern und Platten und in Tabelle 3.2b für Strangpressteile angegeben.

(3) Die Erholungszeiten nach dem Schweißen sollten nach den in EN 1999-1-1 angegebenen Bestimmungen bewertet werden.

6.2.4.3 Ausdehnung der Wärmeeinflusszone

(1) Die in EN 1999-1-1 angegebenen allgemeinen Hinweise auf die Ausdehnung der WEZ sollten beachtet werden.

(2) Bei den Beulsicherheitsnachweisen wird davon ausgegangen, dass die WEZ in den Schalenblechen in Bereichen mit Beulrisiko mit einem Abstand b_{haz} in jede Richtung verläuft, ausgehend von der Schweißnaht und entsprechend der Darstellung in Bild 6.2 an ebenen Stumpfnähten rechtwinklig zur Mittellinie oder an Kehlnähten rechtwinklig zur Schnittlinie der Schweißnahtoberflächen gemessen:

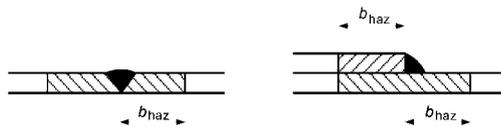


Bild 6.2 — Ausdehnung der Schweißeinflusszonen (WEZ) im Schalenblech

6.2.4.4 Beulbeanspruchbarkeit unausgesteifter geschweißter Schalen

(1) Die Beulbeanspruchbarkeit unausgesteifter geschweißter Schalen sollte in allen Fällen bewertet werden, in denen in der Schale Druckspannungsergebnisse in seitlich nicht behinderten geschweißten Tafeln auftreten.

(2) Der Nachweis des Schweißeinflusses auf Beulen kann entfallen, wenn alle Schweißnähte in den Schalen parallel zu den Druckspannungsergebnissen gelegt werden, die im Tragwerk unter allen Lastbedingungen wirksam werden, vorausgesetzt, der durch die WEZ bedingte Abminderungsfaktor $\rho_{o,haz}$ ist nicht kleiner als 0,60.

(3) Der Einfluss des Schweißens auf die Beulbeanspruchbarkeit kann durch eine *geometrisch und materiell nichtlineare Analyse mit Imperfektionen* (GMNIA) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Eigenschaften sowohl des Grundwerkstoffs als auch der Schweißeinflusszonen (WEZ) bewertet werden.

(4) Wenn keine exakte GMNIA-Analyse durchgeführt werden kann, ist eine Bewertung der Beulbeanspruchbarkeit der Schale auf vereinfachte Weise mit Hilfe des Abminderungsfaktors möglich, der durch das Verhältnis $\rho_{i,w} = \chi_{i,w} / \chi_i$ der Beulfaktoren einer geschweißten Konstruktion $\chi_{w,i}$ und einer ungeschweißten Konstruktion χ_i bestimmt wird.

ANMERKUNG 1 Druckspannungsergebnisse in Schalen können nicht nur durch direkten Druck entstehen, sondern auch durch äußeren Druck, Schub und lokalisierte Lasten. Unabhängig von der Lastbedingung sind Abminderungsfaktoren $\chi_{w,i}$ anzuwenden, wenn Schweißnähte orthogonal zu den Druckspannungsergebnissen eine lokale plastische Verformung veranlassen können.

ANMERKUNG 2 In den Absätzen (4) und (5) sollte in Abhängigkeit davon, ob sich die Abminderungsfaktoren χ und ρ auf axialen Druck, Druck in Umfangsrichtung bzw. Schub beziehen, „i“ „x“, „θ“ oder „z“ als Index eingesetzt werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

(5) Der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Festigkeitsverringering in der WEZ von Schalenkonstruktionen wird nach der folgenden Gleichung bestimmt:

$$\rho_{i,w} = \omega_0 + (1 - \omega_0) \frac{\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i,0}}{\bar{\lambda}_{i,w} - \bar{\lambda}_{i,0}} \text{ mit } \rho_{i,w} \leq 1 \text{ und } \rho_{i,w} > \omega_0 \quad (6.27)$$

Hierbei ist

$$\omega_0 = \frac{\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}}{f_u / \gamma_{M1}} \text{ aber } \omega_0 \leq 1 \quad (6.28)$$

$f_{u,haz}$ und $\rho_{o,haz}$ die durch die Schweißeinflusszone bedingten Abminderungsfaktoren, die Tabelle 3.2a oder Tabelle 3.2b in EN 1999-1-1 zu entnehmen sind;

$\bar{\lambda}_{i,0}$ der relative Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze für die zu betrachtenden Lastfälle, die Anhang A zu entnehmen sind;

$\bar{\lambda}_{i,w}$ der Grenzwert für den relativen Schlankheitsparameter, bei dessen Überschreitung der Einfluss der Schweißnaht auf Beulen verschwindet und der durch folgende Gleichung angegeben wird: $\bar{\lambda}_{i,w} = 1,39 (1 - \rho_{o,haz})(\bar{\lambda}_{i,w,0} - \bar{\lambda}_{i,0})$, aber $\bar{\lambda}_{i,w} \leq \bar{\lambda}_{i,w,0}$, siehe Bild 6.3;

$\bar{\lambda}_{i,w,0}$ die absolute Obergrenze der Schlankheit für den Einfluss der Schweißnaht in Abhängigkeit von Lastfall, Baustoff und Toleranzklasse der Schale, die in Tabelle 6.5 angegeben wird.

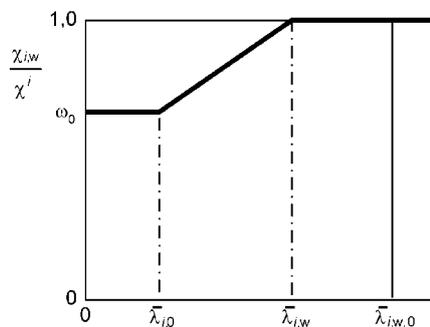


Bild 6.3 — Festlegung des durch die WEZ bedingten Abminderungsfaktors $\rho_{i,w}$

Tabelle 6.5 — $\bar{\lambda}_{i,w,0}$ -Werte für die in Anhang A berücksichtigten wesentlichen Lastfälle

Toleranz- klasse	Axialer Druck $\bar{\lambda}_{x,w,0}$		Druck in Umfangsrichtung $\bar{\lambda}_{\theta,w,0}$		Torsion und Schub $\bar{\lambda}_{\tau,w,0}$	
	Werkstoff Klasse A	Werkstoff Klasse B	Werkstoff Klasse A	Werkstoff Klasse B	Werkstoff Klasse A	Werkstoff Klasse B
Klasse 1	0,8	0,7	1,2	1,1	1,4	1,3
Klasse 2	1,0	0,9	1,3	1,2	1,5	1,4
Klasse 3	1,2	1,1	1,4	1,3	1,6	1,5
Klasse 4	1,3	1,2	—	—	—	—

6.2.4.5 Beulbeanspruchbarkeit ausgesteifter geschweißter Schalen

(1) Für ausgesteifte geschweißte Schalen braucht kein Nachweis für den Einfluss des Schweißens erbracht zu werden, wenn die Steifen eine ausreichende seitliche Behinderung gegenüber den verschweißten Tafeln haben. Ist das nicht der Fall, gelten die Bestimmungen in 6.2.4.4.

6.2.5 Bemessung durch numerische Analyse

(1) Die in 5.5 und 6.1.4 für die *geometrisch und materiell nichtlineare Analyse mit Imperfektionen* (GMNIA) angegebenen Verfahren dürfen angewendet werden. Die GMNIA-Analyse darf, als Alternative zum Verfahren nach 6.2.3, durchgeführt werden, indem die Größtwerte der in 6.2.2 angegebenen Toleranzen als anfängliche geometrische Imperfektionen angenommen werden.

(2) Für geschweißte Konstruktionen sollte für den Werkstoff in der Wärmeeinflusszone ein Modell entwickelt werden, siehe 6.2.4.2, 6.2.4.3 und 6.2.4.4.

7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

7.1 Allgemeines

(1) Die in EN 1999-1-1 für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit angegebenen Regeln sollten auch auf Schalenkonstruktionen angewendet werden.

7.2 Durchbiegungen

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

(2) Die Grenzen für die Durchbiegungen sollten unter Bezug auf EN 1990, Anhang A, A.1.4, für jedes Projekt festgelegt und mit dem für das Projekt Verantwortlichen vereinbart werden.

Anhang A (normativ)

Ausdrücke für Beuluntersuchungen in Schalenkonstruktionen

A.1 Unausgesteifte zylindrische Schalen mit konstanter Wanddicke

A.1.1 Anmerkungen und Randbedingungen

(1) Allgemeine Größen (Bild A.1)

- l Länge des Zylinders zwischen oberer und unterer Begrenzung;
- r Radius der Mittelfläche des Zylinders;
- t Dicke der Schale:

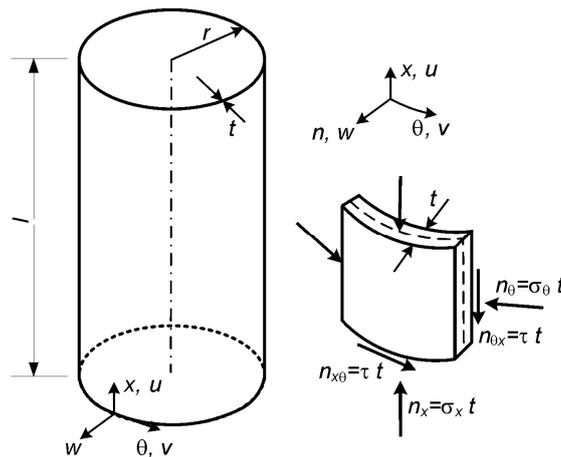


Bild A.1 — Geometrie, Membranspannungen und Spannungsergebnisse am Zylinder

(3) Die Randbedingungen werden in 5.2 und 6.2.1 festgelegt.

A.1.2 (Axialer) Druck in Meridianrichtung

(1) Zylinder brauchen nicht auf Beulen in Meridianrichtung überprüft zu werden, wenn sie die folgende Gleichung erfüllen:

$$\frac{r}{t} \leq 0,03 \frac{E}{f_0} \quad (\text{A.1})$$

A.1.2.1 Ideale Beulspannungen in Meridianrichtung

(1) Die folgenden Ausdrücke dürfen nur für Schalen mit den Randbedingungen BC 1 oder BC 2 an beiden Rändern angewendet werden.

(2) Die Länge des Schalenabschnitts wird durch den dimensionslosen Parameter ω gekennzeichnet:

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (\text{A.2})$$

(3) Die kritische Beulspannung in Meridianrichtung sollte unter Anwendung der Werte für C_x aus Tabelle A.1 nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\sigma_{x,cr} = 0,605 E C_x \frac{t}{r} \quad (\text{A.3})$$

Tabelle A.1 — Faktor C_x für die kritische Beulspannung in Meridianrichtung

Zylinderschale	$\omega = \frac{l}{\sqrt{rt}}$	Faktor C_x
Kurze Länge	$\omega \leq 1,7$	$C_x = 1,36 - \frac{1,83}{\omega} + \frac{2,07}{\omega^2}$
Mittlere Länge	$1,7 < \omega < 0,5 \frac{r}{t}$	$C_x = 1$
Große Länge	$\omega \geq 0,5 \frac{r}{t}$	$C_x = 1 - \frac{0,2}{C_{xb}} \left(2 \omega \frac{t}{r} - 1 \right)$, aber für $C_x \geq 0,6$, wobei C_{xb} in Tabelle A.2 angegeben wird

Tabelle A.2 — Parameter C_{xb} für den Einfluss der Randbedingungen für lange Zylinder

Fall	Zylinderende	Randbedingung	C_{xb}
1	Ende 1	BC 1	6
	Ende 2	BC 1	
2	Ende 1	BC 1	3
	Ende 2	BC 2	
3	Ende 1	BC 2	1
	Ende 2	BC 2	

ANMERKUNG BC 1 schließt sowohl BC1f als auch BC1r ein.

(4) Für die in Tabelle A.1 definierten langen Zylinder, die weitere, nachfolgend angegebene Bedingungen erfüllen:

$$\frac{r}{t} \leq 150 \quad \text{und} \quad \frac{\omega t}{r} \leq 6 \quad \text{und} \quad 500 \leq \frac{E}{f_0} \leq 1000 \quad (\text{A.4})$$

darf der Faktor C_x auch nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$C_x = C_{x,N} \frac{\sigma_{x,N,Ed}}{\sigma_{x,Ed}} + \frac{\sigma_{x,M,Ed}}{\sigma_{x,Ed}} \quad (\text{A.5})$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Hierbei ist

- $C_{x,N}$ der Parameter für einen langen Zylinder unter axialem Druck nach Tabelle A.1;
- $\sigma_{x,Ed}$ der Bemessungswert für die Spannung in Meridianrichtung ($\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,N,Ed} + \sigma_{x,M,Ed}$);
- $\sigma_{x,N,Ed}$ die Spannungskomponente aus dem axialen Druck (gleich bleibende Komponente in Umfangsrichtung);
- $\sigma_{x,M,Ed}$ die Spannungskomponente aus der globalen Biegung rohrförmiger Elemente (Spitzenwert der veränderlichen Komponente in Umfangsrichtung).

A.1.2.2 Beulparameter in Meridianrichtung

(1) Der elastische Imperfektionsfaktor in Meridianrichtung sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$a_x = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6E}{f_0} (\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_{x,0})} \right)^{1,44}}, \text{ aber mit } a_x \leq 1,00 \quad (\text{A.6})$$

Hierbei ist

- $\bar{\lambda}_{x,0}$ der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze in Meridianrichtung;
- Q der Toleranzparameter für den Druck in Meridianrichtung.

(2) Der Toleranzparameter Q sollte für die jeweils festgelegte Toleranzklasse aus Tabelle A.3 entnommen werden. Für Toleranzklasse 4 hängt der Toleranzparameter Q auch von den in Tabelle 5.1 definierten Randbedingungen ab.

(3) Der Legierungsfaktor und der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze in Meridianrichtung sollten nach der in EN 1999-1-1 definierten Beulklasse des Werkstoffs aus Tabelle A.4 entnommen werden.

Tabelle A.3 — Toleranzparameter Q

Toleranzklasse	Wert für Q für die Randbedingungen	
	BC1r, BC2r	BC1f, BC2f
Klasse 1	16	
Klasse 2	25	
Klasse 3	40	
Klasse 4	60	50

Tabelle A.4 — Werte für $\bar{\lambda}_{x,0}$ und μ_x für den Druck in Meridianrichtung

Beulklasse des Werkstoffs	$\bar{\lambda}_{x,0}$	μ_x
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

(4) Für lange Zylinder, die den Sonderbedingungen von A.1.2.1(4) entsprechen, darf der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze in Meridianrichtung nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\bar{\lambda}_{x,0,1} = \bar{\lambda}_{x,0} + 0,10 \frac{\sigma_{x,M,Ed}}{\sigma_{x,Ed}} \quad (\text{A.7})$$

Dabei sollte $\bar{\lambda}_{x,0}$ aus Tabelle A.4 entnommen werden, während $\sigma_{x,Ed}$ und $\sigma_{x,M,Ed}$ in A.1.2.1(4) angegeben werden.

A.1.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

(1) Zylinder brauchen nicht auf Beulen in Umfangsrichtung überprüft zu werden, wenn sie die folgende Gleichung erfüllen:

$$\frac{r}{t} \leq 0,21 \sqrt{\frac{E}{f_0}} \quad (\text{A.8})$$

A.1.3.1 Kritische Beulspannungen in Umfangsrichtung

- (1) Die folgenden Ausdrücke dürfen auf Schalen mit allen Randbedingungen angewendet werden.
- (2) Die Länge des Schalenabschnitts wird durch den dimensionslosen Parameter ω gekennzeichnet:

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (\text{A.9})$$

(3) Die kritische Beulspannung in $\overline{\text{AC}}$ Umfangsrichtung $\overline{\text{AC}}$ sollte unter Anwendung der Werte für C_θ aus Tabelle A.5 für Zylinder mit mittlerer Länge und aus Tabelle A.6 für kurze Zylinder nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\sigma_{\theta,cr} = 0,92 E \frac{C_\theta}{\omega} \frac{t}{r} \quad (\text{A.10})$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Tabelle A.5 — Außendruck-Beulfaktor C_θ für Zylinder mit mittlerer Länge ($20 < \omega C_\theta < 1,63 r/t$)

Fall	Zylinderende	Randbedingung	Faktor C_θ
1	Ende 1	BC 1	1,5
	Ende 2	BC 1	
2	Ende 1	BC 1	1,25
	Ende 2	BC 2	
3	Ende 1	BC 2	1,0
	Ende 2	BC 2	
4	Ende 1	BC 1	0,6
	Ende 2	BC 3	
5	Ende 1	BC 2	0
	Ende 2	BC 3	
6	Ende 1	BC 3	0
	Ende 2	BC 3	

Tabelle A.6 — Außendruck-Beulfaktor C_θ für kurze Zylinder ($\omega C_\theta \leq 20$)

Fall	Zylinderende	Randbedingung	Faktor C_θ
1	Ende 1	BC 1	$C_\theta = 1,5 + \frac{10}{\omega^2} - \frac{5}{\omega^3}$
	Ende 2	BC 1	
2	Ende 1	BC 1	$C_\theta = 1,25 + \frac{8}{\omega^2} - \frac{4}{\omega^3}$
	Ende 2	BC 2	
3	Ende 1	BC 2	$C_\theta = 1,0 + \frac{3}{\omega^{1,35}}$
	Ende 2	BC 2	
4	Ende 1	BC 1	$C_\theta = 0,6 + \frac{1}{\omega^2} - \frac{0,3}{\omega^3}$
	Ende 2	BC 3	

ANMERKUNG In den Tabellen A.5 und A.6 steht BC 1 sowohl für BC1f als auch für BC1r.

(4) Für lange Zylinder ($\omega C_\theta \geq 1,63 r/t$) sollte die Beulspannung in Umfangsrichtung nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\sigma_{\theta,cr} = E \left(\frac{t}{r} \right)^2 \left(0,275 + 2,03 \left(\frac{C_\theta r}{\omega t} \right)^4 \right) \quad (\text{A.11})$$

A.1.3.2 Beulparameter in Umfangsrichtung

(1) Der elastische Imperfektionsfaktor in $\boxed{\text{AC}}$ Umfangsrichtung $\langle \text{AC} \rangle$ sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\boxed{\text{AC}} \alpha_\theta = \frac{1}{1 + 0,2(1 - \alpha_{\theta,ref})(\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_{\theta,0}) / \alpha_{\theta,ref}^2}, \text{ aber } \alpha_\theta \leq 1,00 \quad (\text{A.12}) \langle \text{AC} \rangle$$

(2) Der Bezugs-Imperfektionsfaktor $\alpha_{\theta,ref}$ in Umfangsrichtung sollte für die festgelegte Toleranzklasse aus Tabelle 7 entnommen werden:

Tabelle A.7 — Faktor $\alpha_{\theta,ref}$ in Abhängigkeit von der Toleranzklasse

Toleranzklasse	Parameter $\alpha_{\theta,ref}$
Klasse 1	0,50
Klasse 2	0,65
Klassen 3 und 4	0,75

(3) Der Legierungsfaktor und der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze in \overline{AC} Umfangsrichtung \overline{AC} sollten entsprechend der in EN 1999-1-1 festgelegten Beulklasse des Werkstoffs aus Tabelle A.8 entnommen werden.

Tabelle A.8 — Werte für $\overline{\lambda}_{\theta,0}$ und μ_{θ} für Druck in Umfangsrichtung

Beulklasse des Werkstoffs	$\overline{\lambda}_{\theta,0}$	μ_{θ}
A	0,30	0,55
B	0,20	0,70

(4) Der aus der äußeren Windlast auf die Zylinder resultierte, ungleichmäßig verteilte Druck q_{eq} (siehe Bild A.1) darf im Rahmen des Beulsicherheitsnachweises für die Schale durch den folgenden äquivalenten gleichmäßigen Außendruck ersetzt werden:

$$q_{eq} = k_w q_{w,max} \quad (A.13)$$

Dabei ist $q_{w,max}$ der größte Winddruck, und k_w sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$k_w = 0,46 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{C_{\theta} r}{\omega t}} \right) \quad (A.14)$$

mit einem Wert für k_w nicht außerhalb des Bereichs $0,65 \leq k_w \leq 1,0$ und mit C_{θ} das entsprechend den Randbedingungen aus Tabelle A.5 entnommen wird.

(5) Der in 6.2.3.3 einzusetzende Bemessungswert für die Umfangsspannung wird nach folgender Gleichung errechnet:

$$\sigma_{\theta,Ed} = (q_{eq} + q_s) \frac{r}{t} \quad (A.15)$$

Dabei ist q_s der innere Saugzug, der durch Belüftung, inneres Teilvakuum oder andere Erscheinungen verursacht wird.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

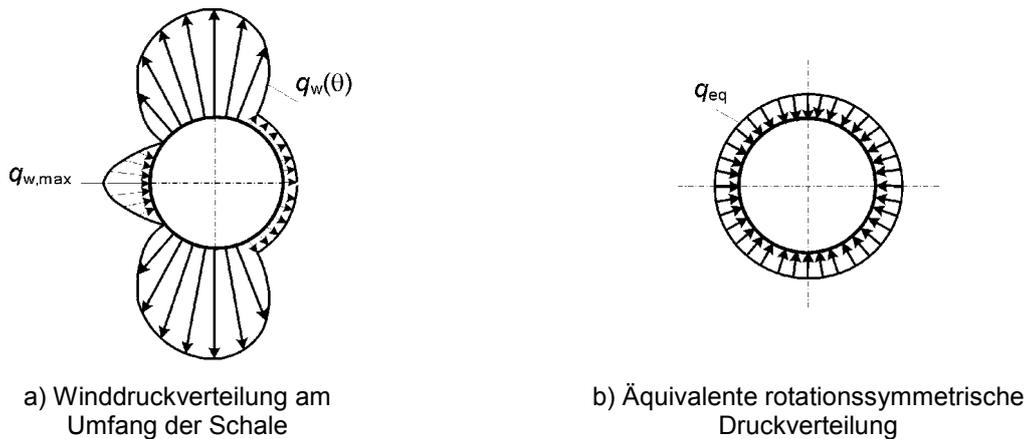


Bild A.2 — Transformation einer typischen Wind-Außendruckverteilung

A.1.4 Schubbeanspruchung

(1) Zylinder brauchen nicht auf durch Schubspannungen erzeugte Beulen überprüft zu werden, wenn sie die folgende Gleichung erfüllen:

$$\frac{r}{t} \leq 0,16 \left(\sqrt{\frac{E}{f_0}} \right)^{0,67} \quad (\text{A.16})$$

A.1.4.1 Durch Schubbeanspruchung erzeugte kritische Beulspannungen

(1) Die folgenden Ausdrücke dürfen nur auf Schalen mit den Randbedingungen BC 1 oder BC 2 an beiden Rändern angewendet werden.

(2) Die Länge des Schalenabschnitts wird durch den dimensionslosen Parameter ω gekennzeichnet:

$$\omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (\text{A.17})$$

(3) Die durch Schub erzeugte kritische Beulspannung sollte unter Anwendung der Werte für C_τ aus Tabelle A.9 nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\tau_{\text{cr}} = 0,75 EC_\tau \frac{t}{r} \quad (\text{A.18})$$

Tabelle A.9 — Faktor C_τ für die durch Schub erzeugte kritische Beulspannung

Zylinderschale	$\omega = \frac{l}{\sqrt{rt}}$	Faktor C_τ
Kurze Länge	$\omega \leq 10$	$C_\tau = \sqrt{1 + \frac{42}{\omega^3}}$
Mittlere Länge	$10 < \omega < 8,7 \frac{r}{t}$	$C_\tau = 1$
Große Länge	$\omega \geq 8,7 \frac{r}{t}$	$C_\tau = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{\omega t}{r}}$

A.1.4.2 Schub-Beulparameter

(1) Der Schub-Imperfektionsfaktor sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\alpha_\tau = \frac{1}{1 + 0,2(1 - \alpha_{\tau,\text{ref}}) \left(\frac{\bar{\lambda}_\tau - \bar{\lambda}_{\tau,0}}{\alpha_{\tau,\text{ref}}^2} \right)}, \text{ aber } \alpha_\tau \leq 1,00 \quad (\text{A.19})$$

(2) Der Bezugs-Schub-Imperfektionsfaktor $\alpha_{\tau,\text{ref}}$ sollte für die festgelegte Toleranzklasse aus Tabelle 10 entnommen werden:

Tabelle A.10 — Faktor $\alpha_{\tau,\text{ref}}$ in Abhängigkeit von der Toleranzklasse

Toleranzklasse	Parameter $\alpha_{\tau,\text{ref}}$
Klasse 1	0,50
Klasse 2	0,65
Klassen 3 und 4	0,75

(3) Der Legierungsfaktor und der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze in $\overline{\text{AC}}$ Schubrichtung $\overline{\text{AC}}$ sollten entsprechend der in EN 1999-1-1 festgelegten Beulklasse des Werkstoffs aus Tabelle A.11 entnommen werden.

Tabelle A.11 — $\bar{\lambda}_{\tau,0}$ - und μ_τ -Werte für Schub

Beulklasse des Werkstoffs	$\bar{\lambda}_{\tau,0}$	μ_τ
A	0,50	0,30
B	0,40	0,40

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

A.1.5 (Axiale) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung mit gleichzeitig vorhandener Innendruckbeanspruchung

A.1.5.1 Kritische Beulspannung in Meridianrichtung unter Innendruck

(1) Es darf davon ausgegangen werden, dass die kritische Beulspannung in Meridianrichtung $\sigma_{x,cr}$ durch das Vorhandensein von Innendruck nicht beeinflusst wird; sie darf nach A.1.2.1 bestimmt werden.

A.1.5.2 Beulparameter in Meridianrichtung unter Innendruck

(1) Der Nachweis für die Beulfestigkeit in Meridianrichtung unter Innendruck sollte analog zu der Beulfestigkeit in Meridianrichtung ohne Innendruck nach 6.2.3.3 und A.1.2.2 durchgeführt werden. Der elastische Imperfektionsfaktor α_x ohne Innendruck darf jedoch durch den elastischen Imperfektionsfaktor $\alpha_{x,p}$ unter Innendruck ersetzt werden.

(2) Der kleinere der beiden folgenden Werte sollte als der elastische Imperfektionsfaktor $\alpha_{x,p}$ unter Innendruck angesehen werden:

$\alpha_{x,pe}$ ein Faktor, der die druckinduzierte elastische Stabilisierung erfasst;

$\alpha_{x,pp}$ ein Faktor, der die druckinduzierte plastische Stabilisierung erfasst.

(3) Der Faktor $\alpha_{x,pe}$ sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\alpha_{x,pe} = \alpha_x + (1 - \alpha_x) \frac{\bar{p}}{\bar{p} + 0,3 / \alpha_x^{0,5}} \quad (\text{A.20})$$

$$\bar{p} = \frac{p r}{t \sigma_{x,cr}} \quad (\text{A.21})$$

Hierbei ist

\bar{p} der kleinste Wert für den Innendruck an dem zu bewertendem Punkt, der garantiert gleichzeitig mit dem Druck in Meridianrichtung auftritt;

α_x der elastische Imperfektionsfaktor in Meridianrichtung ohne Innendruck nach A.1.2.2;

$\sigma_{x,cr}$ die kritische elastische Beulspannung in Meridianrichtung nach A.1.2.1(3).

(4) Der Faktor $\alpha_{x,pe}$ sollte nicht auf Zylinder angewendet werden, die nach A.1.2.1(3), Tabelle A.1, als lang eingestuft werden. Er sollte weiterhin nicht angewendet werden, wenn nicht

— der Zylinder eine mittlere Länge nach A.1.2.1(3), Tabelle A.1 hat;

— der Zylinder nach A.1.2.1(3), Tabelle A.1 kurz ist und $C_x = 1$ in A.1.2.1(3) eingeführt wurde.

(5) Der Faktor $\alpha_{x,pp}$ sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\alpha_{x,pp} = \left(1 - \frac{\bar{p}^2}{\lambda_x^4}\right) \left(1 - \frac{1}{1,12 + s^{1,5}}\right) \frac{s^2 + 1,21 \bar{\lambda}_x^{-2}}{s(s+1)} \quad (\text{A.22})$$

$$\bar{p} = \frac{pr}{t \sigma_{x,cr}} \quad (\text{A.23})$$

$$s = \frac{r}{400 t} \quad (\text{A.24})$$

Hierbei ist

\bar{p} der größte Wert für den Innendruck an dem zu bewertenden Punkt, der möglicherweise gleichzeitig mit dem Druck in Meridianrichtung auftritt;

$\bar{\lambda}_x$ der dimensionslose Schlankheitsparameter der Schale nach 6.2.3.2(3);

$\sigma_{x,cr}$ die kritische elastische Beulspannung in Meridianrichtung nach A.1.2.1(3).

A.1.6 Kombinationen von (axialer) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung, Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) und Schubbeanspruchung

(1) Die in 6.2.3.3(3) anzuwendenden Beul-Interaktionsparameter dürfen nach folgenden Gleichungen errechnet werden:

$$\begin{aligned} k_x &= 1,25 + 0,75 \chi_x \\ k_\theta &= 1,25 + 0,75 \chi_\theta \\ k_\tau &= 1,25 + 0,75 \chi_\tau \\ k_i &= (\chi_x \chi_\theta)^2 \end{aligned} \quad (\text{A.25})$$

wobei χ_x , χ_θ und χ_τ die in 6.2.3.2 festgelegten Beul-Abminderungsfaktoren unter Anwendung der in A.1.2 bis A.1.4 angegebenen Beulparameter sind.

(2) Es sollte davon ausgegangen werden, dass die drei Membranspannungskomponenten an einem beliebigen Punkt der Schale mit Ausnahme der Ränder in kombinierter Interaktion stehen. Für alle Punkte innerhalb einer Zone, die von beiden Rändern des Zylinderabschnitts jeweils über die Länge l_s reicht, darf der Nachweis für eine Beul-Interaktion entfallen. Der Wert für l_s ist der kleinere der Werte, die nach den beiden folgenden Gleichungen bestimmt werden:

$$l_s = 0,1 L \text{ und } l_s = 0,16 r \sqrt{r/t} \quad (\text{A.26})$$

(3) Falls es zu umständlich ist, die Beul-Interaktion für alle Punkten nachzuweisen, ist nach (4) und (5) eine einfachere konservative Bewertung möglich. Wenn der größte Wert einer der für Beulen relevanten Membranspannungen an den Enden einer Zylinderschale in einer der beiden Randzonen mit der Länge l_s auftritt, darf der Nachweis der Interaktion nach 6.2.3.3(3) unter Anwendung der in (4) definierten Werte durchgeführt werden.

(4) Falls die unter (3) genannte Bedingung erfüllt wird, darf für den Nachweis der Interaktion nach 6.2.3.3(3) der größte Wert für eine der für Beulen relevanten Membranspannungen angewendet werden, der innerhalb der freien Länge l_f auftritt, d. h. außerhalb der Randzonen (siehe Bild A.3a) und wobei gilt:

$$l_f = L - 2 l_s \quad (\text{A.27})$$

(5) Für die in A.1.2.1(3) in Tabelle A.1 festgelegten langen Zylinder dürfen die für eine Interaktion relevanten Gruppen, die für den Nachweis der Interaktion angewendet werden, weiter als in (3) und (4) eingeschränkt werden. Die Spannungen, die als der für die Interaktion relevanten Gruppe zugehörig angesehen werden, dürfen dann auf einen beliebigen Abschnitt der Länge l_{int} innerhalb der für den Interaktionsnachweis verbleibenden freien Länge l_f eingeschränkt werden (siehe Bild A.3b); dabei gilt:

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

$$l_{\text{int}} = 1,3 r \sqrt{r/t} \quad (\text{A.28})$$

(6) Falls in (3) bis (5) keine spezifischen Festlegungen zur Bestimmung der relativen Lagen oder zu Aussonderungen von interaktions-relevanten Gruppen von Membranspannungskomponenten getroffen werden und weiterhin eine einfache konservative Behandlung gefordert wird, darf für jede Membranspannung der größte Wert unabhängig von der Lage in der Schale in Gleichung (6.24) eingesetzt werden.

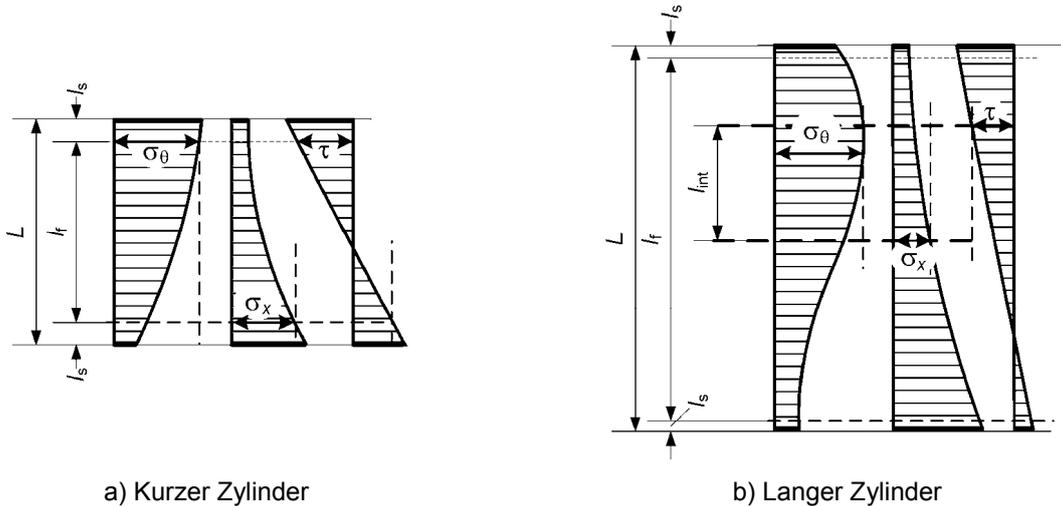


Bild A.3 — Beispiele für Gruppen von interaktions-relevanten Membranspannungskomponenten

A.2 Unausgesteifte Zylinderschalen mit gestufter Wanddicke

A.2.1 Allgemeines

A.2.1.1 Bezeichnungen und Randbedingungen

(1) In diesem Abschnitt werden folgende Bezeichnungen angewendet:

- L Gesamtlänge des Zylinders zwischen den Rändern;
- r Radius der Mittelfläche des Zylinders;
- j ganzzahliger Index zur Bezeichnung der einzelnen Zylinderabschnitte mit konstanter Wanddicke (von $j = 1$ bis $j = n$);
- t_j konstante Wanddicke des Abschnitts j des Zylinders;
- l_j Länge des Abschnitts j des Zylinders.

(2) Die folgenden Ausdrücke dürfen nur für Schalen mit den Randbedingungen BC 1 und BC 2 an beiden Rändern (siehe 5.2) angewendet werden, wobei zwischen ihnen kein Unterschied getroffen wird.

A.2.1.2 Geometrie und Absätzen an Verbindungen

(1) Unter der Voraussetzung, dass die Wanddicke des Zylinders fortschreitend stufenweise vom oberen Rand bis zum Boden zunimmt (siehe Bild A.4a), dürfen die in diesem Abschnitt angegebenen Verfahren angewendet werden. Alternativ darf die *linear elastische Verzweigungsanalyse* (LBA) zur Berechnung der kritischen Beulspannung in Umfangsrichtung $\sigma_{\theta,cr,eff}$ in A.2.3.1(7) angewendet werden.

(2) Planmäßige Absätze e_0 zwischen den Platten benachbarter Abschnitte (siehe Bild A.4) dürfen als durch die folgenden Ausdrücke erfasst angesehen werden, vorausgesetzt, der vorgesehene Wert e_0 ist kleiner als der zulässige Wert $e_{0,p}$, der als der kleinere Wert nach einer beiden folgenden Gleichungen bestimmt werden sollte:

$$e_{0,p} = 0,5 (t_{\max} - t_{\min}) \text{ und } e_{0,p} = 0,5 t_{\min} \quad (\text{A.29})$$

Hierbei ist

t_{\max} die Dicke der dickeren Platte an der Verbindung;

t_{\min} die Dicke der dünneren Platte an der Verbindung.

(3) Für Zylinder mit zulässigen planmäßigen Absätzen zwischen den Platten benachbarter Abschnitte nach (2) darf der Radius r als Mittelwert aus allen Abschnitten gebildet werden.

(4) Für Zylinder mit überlappenden Verbindungen (Überlappstößen) sollten die Bestimmungen für Konstruktionen mit Überlappstößen nach A.3 angewendet werden.

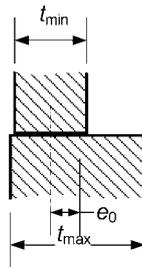


Bild A.4 — Planmäßiger Absatz e_0 in einer Schale mit Stumpfstoß

A.2.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck)

(1) Jeder Zylinderabschnitt j mit der Länge l_j sollte als ein äquivalenter Zylinder mit der Gesamtlänge $l = L$ und gleichmäßiger Wanddicke $t = t_j$ nach A.1.2 behandelt werden.

(2) Für die nach A.1.2.1(3), Tabelle A.1 festgelegten langen äquivalenten Zylinder sollte der Parameter C_{xb} konservativ als $C_{xb} = 1$ angenommen werden, sofern kein durch eine exaktere Analyse ermittelter besserer Wert verfügbar ist.

A.2.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

A.2.3.1 Kritische Beulspannungen in Umfangsrichtung

(1) Wenn der Zylinder aus zwei Abschnitten mit unterschiedlicher Wanddicke besteht, sollte das Verfahren nach (4) bis (7) angewendet werden, siehe Bild A.5(II).

(2) Falls der Zylinder aus nur einem Abschnitt besteht (d. h. eine konstante Wanddicke hat), sollte A.1 angewendet werden.

(3) Wenn der Zylinder aus drei Abschnitten mit unterschiedlichen Wanddicken besteht, sollte das Verfahren nach (4) bis (7) angewendet werden, wobei zwei der drei fiktiven Abschnitte, a und b, als Abschnitte mit gleicher Dicke angesehen werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

(4) Wenn der Zylinder aus mehr als drei Abschnitten mit unterschiedlichen Wanddicken besteht (siehe Bild A.5(I)), sollte er zunächst durch einen äquivalenten Zylinder mit den drei Abschnitten a, b und c ersetzt werden (siehe Bild A.5(II)). Die Länge seines oberen Abschnitts, l_a , sollte bis zum oberen Rand des ersten Abschnitts reichen, dessen Wanddicke größer als die 1,5-fache kleinste Wanddicke t_j ist; seine Länge sollte jedoch nicht mehr als die Hälfte der Gesamtlänge L des Zylinders betragen. Die Länge der beiden anderen Abschnitte, l_b und l_c , sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$l_b = l_a \text{ und } l_c = L - 2 l_a \quad \text{wenn gilt: } l_a \leq L/3 \quad (\text{A.30})$$

$$l_b = l_c = 0,5 (L - l_a) \quad \text{wenn gilt: } L/3 < l_a \leq L/2 \quad (\text{A.31})$$

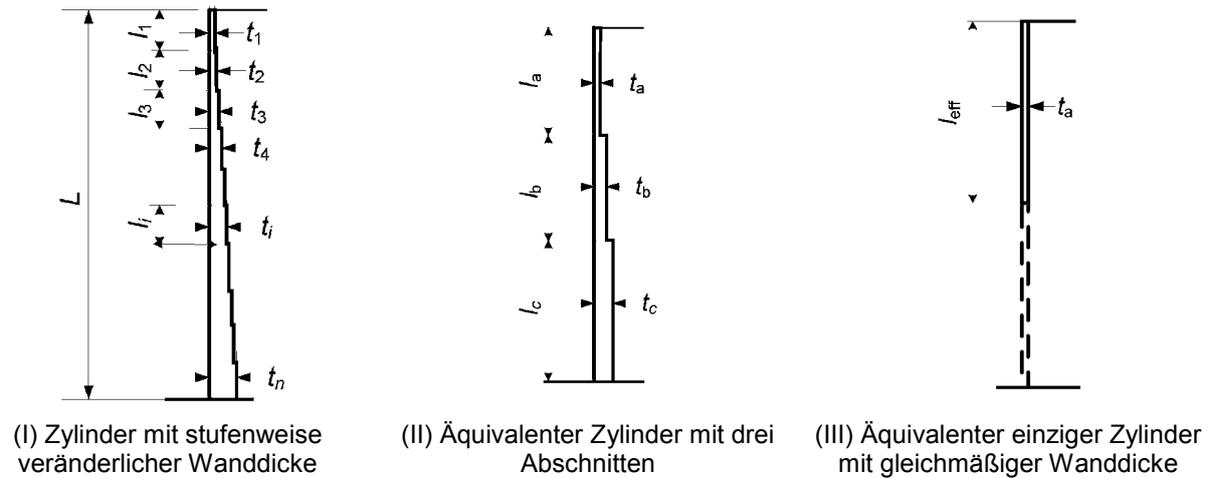


Bild A.5 — Transformation eines gestuften Zylinders in einen äquivalenten Zylinder

(5) Die fiktiven Wanddicken t_a , t_b und t_c der drei Abschnitte sollten als das gewichtete Mittel der Wanddicke für jeden der drei fiktiven Abschnitte bestimmt werden:

$$t_a = \frac{1}{l_a} \sum_a l_j t_j \quad (\text{A.32})$$

$$t_b = \frac{1}{l_b} \sum_b l_j t_j \quad (\text{A.33})$$

$$t_c = \frac{1}{l_c} \sum_c l_j t_j \quad (\text{A.34})$$

(6) Der Zylinder mit drei Abschnitten (d. h. der äquivalente bzw. der tatsächliche Zylinder) sollte durch einen einzigen äquivalenten Zylinder mit der effektiven Länge l_{eff} und mit gleichmäßiger Wanddicke $t = t_a$ (siehe Bild A.5(III)) ersetzt werden. Die effektive Länge sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$l_{\text{eff}} = \frac{l_a}{\kappa} \quad (\text{A.35})$$

wobei κ ein dimensionsloser Faktor ist, der aus Bild A.6 zu entnehmen ist.

(7) Für Zylinderabschnitte mit mittlerer oder kurzer Länge sollte die kritische Beulspannung in Umfangsrichtung für jeden Zylinderabschnitt j des ursprünglichen Zylinders mit stufenweise veränderlicher Wanddicke nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\sigma_{\theta,cr,j} = \frac{t_a}{t_j} \sigma_{\theta,cr,eff} \quad (\text{A.36})$$

wobei $\sigma_{\theta,cr,eff}$ die kritische Beulspannung in Umfangsrichtung ist, die je nach Gültigkeit aus A.1.3.1(3), A.1.3.1(5) oder A.1.3.1(7) für den äquivalenten einzigen Zylinder mit der Länge l_{eff} nach (6) abgeleitet wird. Der Faktor C_θ sollte in diesen Ausdrücken den Wert $C_\theta = 1,0$ haben.

(8) Die Länge des Schalenabschnitts wird durch den dimensionslosen Parameter ω_j beschrieben:

$$\omega_j = \frac{l_j}{r} \sqrt{\frac{r}{t_j}} = \frac{l_j}{\sqrt{r t_j}} \quad (\text{A.37})$$

(9) Falls ein langer Zylinderabschnitt j vorliegt, sollte zusätzlich eine zweite Bewertung der Beulspannung durchgeführt werden. Es sollte der kleinere der beiden aus (7) und (10) bestimmten Werte für den Beulsicherheitsnachweis des Zylinderabschnitts j verwendet werden.

(10) Der Zylinderabschnitt j sollte als lang angesehen werden, wenn gilt:

$$\omega_j \geq 1,63 \frac{r}{t_j}, \quad (\text{A.38})$$

und in diesem Fall sollte die kritische Beulspannung in Umfangsrichtung aus der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$\sigma_{\theta,cr,j} = E \left(\frac{t_j}{r} \right)^2 \left(0,275 + 2,03 \left(\frac{C_\theta r}{\omega_j t_j} \right)^4 \right) \quad (\text{A.39})$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

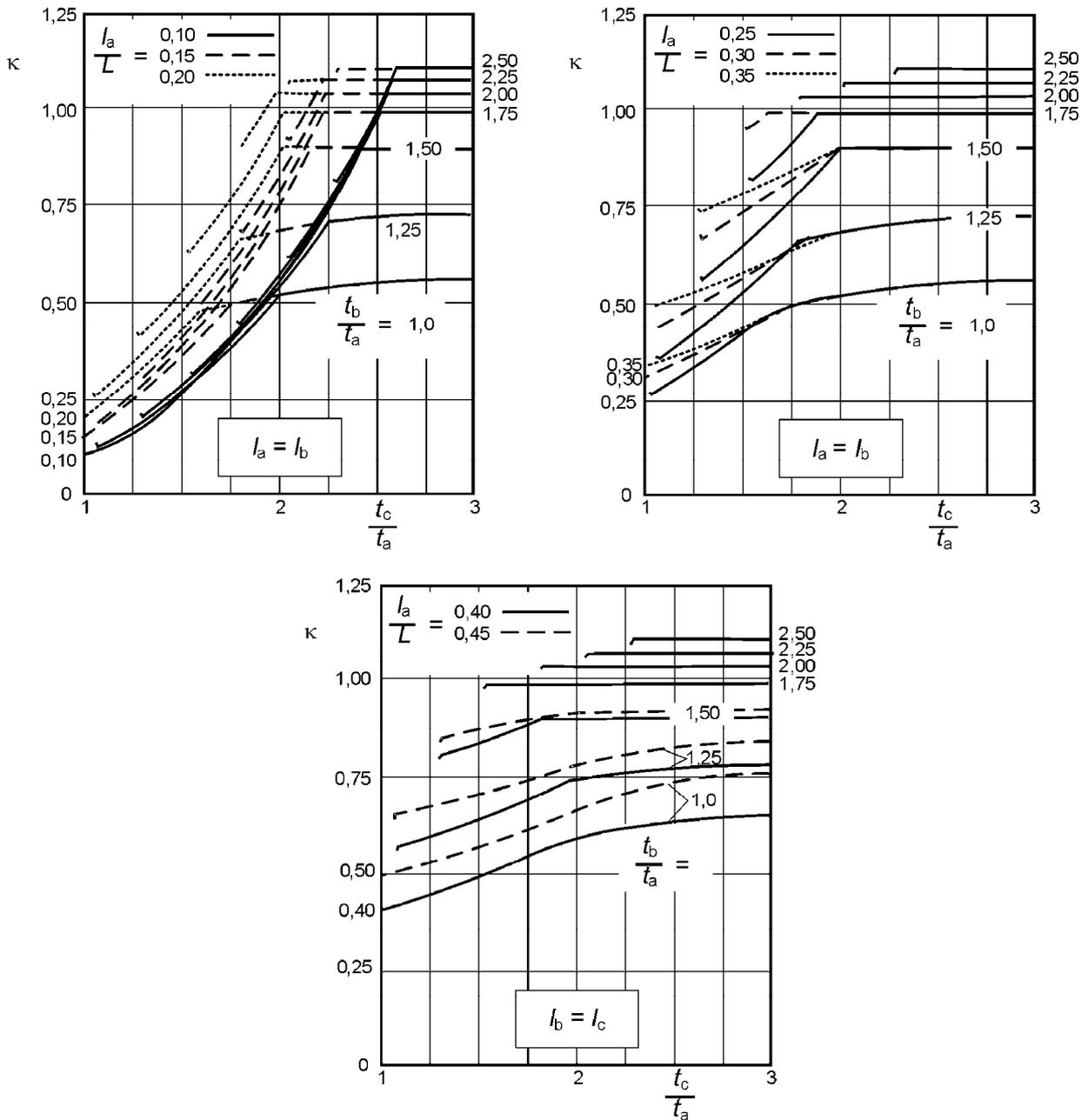


Bild A.6 — Faktor κ zur Bestimmung der effektiven Länge l_{eff}

A.2.3.2 Nachweis der Beulfestigkeit bei Druckspannung in Umfangsrichtung

(1) Für alle Zylinderabschnitte j sollten die Bedingungen von 6.2.3 erfüllt werden, und eine Überprüfung des folgenden Zusammenhanges sollte durchgeführt werden:

$$\sigma_{\theta,Ed,j} \leq \sigma_{\theta,Rd,j} \quad (A.40)$$

Hierbei ist

$\sigma_{\theta,Ed,j}$ der Schlüsselwert für die Membran-Druckspannung in Umfangsrichtung, auf die in den folgenden Abschnitten ausführlich eingegangen wird;

$\sigma_{\theta,Rd,j}$ der Bemessungswert für die Beulspannung in Umfangsrichtung, die aus der kritischen Beulspannung in Umfangsrichtung nach A.1.3.2 abgeleitet wird.

(2) Unter der Voraussetzung, dass der Bemessungswert für die Spannungsresultante in Umfangsrichtung $n_{\theta,Ed}$ über die Länge L konstant ist, sollte der Schlüsselwert für die Membran-Druckspannung in Umfangsrichtung im Abschnitt j nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\sigma_{\theta,Ed,j} \leq \frac{n_{\theta,Ed}}{t_j} \quad (\text{A.41})$$

(3) Wenn der Bemessungswert der Spannungsresultanten in Umfangsrichtung $n_{\theta,Ed}$ innerhalb der Länge L schwankt, sollte als Schlüsselwert für die Membran-Druckspannung in Umfangsrichtung ein Ersatzwert $\sigma_{\theta,Ed,j,mod}$ angenommen werden, der bestimmt wird, indem der größte Wert der Spannungsresultanten in Umfangsrichtung $n_{\theta,Ed}$ an einer beliebigen Stelle innerhalb der Länge L durch die örtliche Dicke t_j (siehe Bild A.7) dividiert wird:

$$\sigma_{\theta,Ed,j,mod} = \frac{\max(n_{\theta,Ed})}{t_j} \quad (\text{A.42})$$

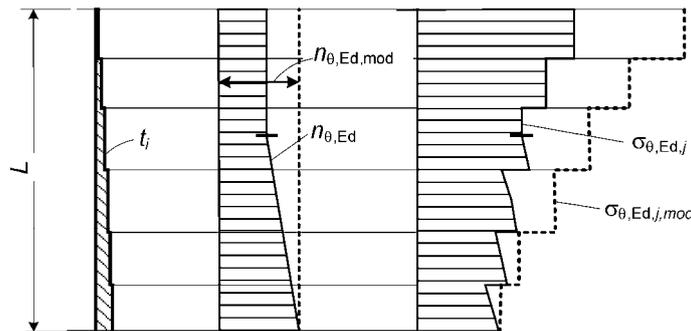


Bild A.7 — Schlüsselwerte für die Membran-Druckspannung in Umfangsrichtung in den Fällen, in denen $n_{\theta,Ed}$ über die Länge L schwankt

A.2.4 Schubbeanspruchung

A.2.4.1 Kritische, durch Schub erzeugte Beulspannung

(1) Wenn für die Bewertung eines äquivalenten einzigen Zylinders mit gleichmäßiger Wanddicke keine spezielle Regel verfügbar ist, dürfen die Ausdrücke von A.2.3.1(1) bis (6) angewendet werden.

(2) Die weitere Bestimmung der kritischen, durch Schub erzeugten Beulspannungen darf grundsätzlich entsprechend A.2.3.1(7) bis (10) durchgeführt werden, wobei jedoch die Ausdrücke für die Druckspannung in Umfangsrichtung aus A.1.3.1 durch die jeweils zutreffenden Ausdrücke für die Schubspannung aus A.1.4.1 ersetzt werden.

A.2.4.2 Nachweis der Beulfestigkeit bei Schubbeanspruchung

(1) Die Regeln von A.2.3.2 dürfen angewendet werden, wobei allerdings die Ausdrücke für die Druckspannung in Umfangsrichtung durch die jeweils zutreffenden Ausdrücke für die Schubspannung ersetzt werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

A.3 Unausgesteifte Zylinderschalen mit Überlappstoß

A.3.1 Allgemeines

A.3.1.1 Definitionen

1. Überlappstoß in Umfangsrichtung

Stoß, der in Umfangsrichtung um die Schalenachse verläuft.

2. Überlappstoß in Meridianrichtung

Stoß, der parallel zur Schalenachse (in Meridianrichtung) verläuft.

A.3.1.2 Geometrie und Spannungsergebnisse

(1) Falls eine zylindrische Schale unter Anwendung von Überlappstößen konstruiert wird (siehe Bild A.8), dürfen anstelle der Bestimmungen in A.2 die folgenden Bestimmungen verwendet werden.

(2) Die folgenden Bestimmungen gelten sowohl für Überlappstöße mit zu- als auch mit abnehmendem Mittelflächenradius der Schale. Wenn der Überlappstoß in Umfangsrichtung um die Schalenachse verläuft (Umfangs-Überlappstoß), sollten für Druck in Meridianrichtung die Bestimmungen von A.3.2 angewendet werden. Falls viele Überlappstöße in Umfangsrichtung um die Schalenachse verlaufen (Umfangs-Überlappstöße) und sich die Plattendicke über die Schale verändert, sollten die Bestimmungen von A.3.3 für Druck in Umfangsrichtung angewendet werden. Wenn ein einziger Überlappstoß parallel zur Schalenachse (Meridian-Überlappstoß) verläuft, sollten die Bestimmungen von A.3.3 für Druck in Umfangsrichtung angewendet werden. In anderen Fällen brauchen keine besonderen Betrachtungen für den Einfluss der Überlappstöße auf die Beulbeanspruchbarkeit angestellt zu werden.

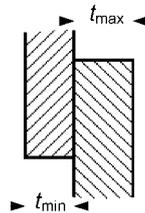


Bild A.8 — Schale mit Überlappstoß

A.3.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck)

(1) Wenn ein Zylinder mit meridionalen Überlappstößen einer Druckspannung in Meridianrichtung ausgesetzt wird, darf die Beulbeanspruchbarkeit je nach Gültigkeit wie für einen Zylinder mit gleichmäßiger oder gestufter Wanddicke bewertet werden, wobei jedoch der Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit um den Faktor 0,70 verringert wird.

(2) Wenn eine Änderung der Plattendicke am Überlappstoß auftritt, darf als Bemessungswert der Beulbeanspruchung der gleiche Wert angenommen werden, der für die dünnere Platte nach (1) bestimmt wurde.

A.3.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

(1) Wenn ein Zylinder mit Überlappstößen einer Druckspannung in Umfangsrichtung quer zu den meridionalen Überlappstößen ausgesetzt wird, darf der Bemessungswert für die Beulbeanspruchbarkeit je nach Gültigkeit wie für einen Zylinder mit gleichmäßiger oder gestufter Wanddicke bewertet werden, wobei jedoch ein Abminderungsfaktor von 0,90 angewendet wird.

(2) Wenn ein Zylinder mit über die Schale hinab veränderlicher Plattendicke und mit vielen Überlappstößen in Umfangsrichtung einem ebenfalls in Umfangsrichtung wirkenden Druck ausgesetzt wird, sollten das Verfahren von A.2 ohne die geometrischen Einschränkungen der Stoßexzentrizität und für den Bemessungswert der Beulbeanspruchbarkeit ein Abminderungsfaktor von 0,90 angewendet werden.

(3) Wenn Überlappstöße in beiden Richtungen mit gegeneinander versetzt angeordneten, meridionalen Überlappstößen in alternierenden Plattengängen oder Schüssen angewendet werden, sollte als Bemessungswert für die Beulbeanspruchbarkeit der kleinere der nach (1) oder (2) ermittelten Werte angewendet werden. Eine weitere Abminderung für die Beanspruchbarkeit ist nicht nötig.

A.3.4 Schubbeanspruchung

(1) Wenn ein Zylinder mit Überlappstoß einer Membran-Schubspannung ausgesetzt wird, darf die Beulbeanspruchbarkeit je nach Gültigkeit wie für einen Zylinder mit gleichmäßiger oder gestufter Wanddicke festgelegt werden.

A.4 Unausgesteifte Kegelschalen

A.4.1 Allgemeines

A.4.1.1 Bezeichnungen

(1) In diesem Abschnitt werden folgende Bezeichnungen angewendet:

- h Länge des Kegelstumpfes in axialer Richtung (Höhe);
- L Länge des Kegelstumpfes in Meridianrichtung;
- r Radius der Mittelfläche des Kegels, rechtwinklig zur Rotationsachse linear über die Länge;
- r_1 Radius am kleineren Ende des Kegels;
- r_2 Radius am größeren Ende des Kegels;
- β halber Kegelspitzenwinkel.

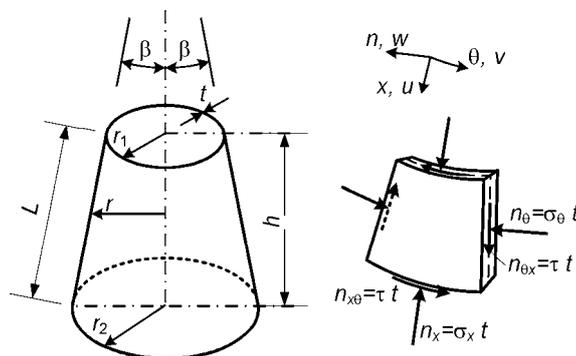


Bild A.9 — Geometrie, Membranspannungen und Spannungsresultanten am Kegel

A.4.1.2 Randbedingungen

(1) Die folgenden Ausdrücke sollten nur auf Schalen mit den Randbedingungen BC 1 oder BC 2 an beiden Rändern angewendet werden (siehe 5.2 und 6.2), wobei zwischen ihnen keine Unterscheidung getroffen wird. Sie sollten nicht für eine Schale mit der Randbedingung BC 3 angewendet werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

(2) Die Regeln in diesem Abschnitt A.4.1 sollten nur auf die folgenden beiden Randbedingungen der Behinderungen für die radiale Verschiebung an beiden Enden des Kegels angewendet werden:

„Zylinderbedingung“ $\omega = 0$;

„Ringbedingung“ $u \sin \beta + \omega \cos \beta = 0$

A.4.1.3 Geometrie

(1) Die folgenden Regeln gelten nur für Kegelstümpfe mit gleichmäßiger Wanddicke und mit einem halben Kegelspitzenwinkel $\beta \leq 65^\circ$ (siehe Bild A.9).

A.4.2 Bemessungswerte für Beulspannungen

A.4.2.1 Äquivalenter Zylinder

(1) Die Bemessungswerte für die Beulspannungen, die für den Nachweis der Beulfestigkeit nach 6.2.3 benötigt werden, dürfen an einem äquivalenten Zylinder hergeleitet werden, dessen Länge l_e und dessen Radius r_e von der Art der Spannung nach Tabelle A.12 abhängen.

Tabelle A.12 — Länge und Radius des äquivalenten Zylinders

Belastung	Länge des äquivalenten Zylinders	Radius des äquivalenten Zylinders
Druckspannung in Meridianrichtung	$l_e = L$	$r_e = \frac{r}{\cos \beta}$
Druck in Umfangsrichtung (Ringspannung)	$l_e = L$	$r_e = \frac{r_1 + r_2}{2 \cos \beta}$
Gleichmäßiger äußerer Druck q Randbedingungen: An beiden Enden entweder BC 1 oder BC 2	l_e ist der kleinere der Werte: $l_{e,1} = L$ und	$r_e = \frac{0,55r_1 + 0,45r_2}{\cos \beta}$ falls $l_e = l_{e,1}$ (kürzere Kegel)
	$l_{e,2} = \frac{r_2(0,53 + 0,125\beta)}{\sin \beta}$ (β in Radiant, siehe Bild A.9)	$r_e = 0,71r_2 \frac{1 - 0,1\beta}{\cos \beta}$ falls $l_e = l_{e,2}$ (längere Kegel)
Schub	$l_e = h$	$r_e = \left(1 + \rho - \frac{1}{\rho}\right) r_1 \cos \beta$ mit $\rho = \sqrt{\frac{r_1 + r_2}{2r_1}}$
Gleichmäßige Torsion	$l_e = L$	$r_e = r_1 \cos \beta (1 - \rho^{2,5})^{0,4}$ mit $\rho = \frac{L \sin \beta}{r_2}$

(2) Für Kegel unter einem gleichmäßigen Außendruck q sollte der Nachweis der Beulfestigkeit auf der Membranspannung basieren:

$$\sigma_{\theta,Ed} = q r_e / t \quad (\text{A.43})$$

A.4.3 Nachweis der Beulfestigkeit

A.4.3.1 Druckspannung in Meridianrichtung

(1) Der Nachweis der Beulfestigkeit sollte an dem Punkt an der Kegelspitze durchgeführt werden, an dem die Kombination der Bemessungswerte für die in Meridianrichtung wirkende Spannung und für die Beulspannung nach A.3.2.2 am kritischsten ist.

(2) Bei Druck in Meridianrichtung, der durch eine konstante axiale Kraft auf einen Kegelstumpf verursacht wird, sollten sowohl der kleine Radius r_1 als auch der große Radius r_2 als mögliche Lage der kritischsten Position angesehen werden.

(3) Bei Druck in Meridianrichtung, der durch ein konstantes globales Biegemoment auf den Kegel verursacht wird, sollte der kleine Radius r_1 als am kritischsten angesehen werden.

(4) Der Bemessungswert der Beulspannung sollte für den äquivalenten Zylinder nach A.1.2 bestimmt werden.

A.4.3.2 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

(1) Wenn der Druck in Umfangsrichtung durch einen gleichmäßigen Außendruck verursacht wird, sollte der Beulsicherheitsnachweis unter Anwendung des nach Gleichung (A.43) bestimmten, in Umfangsrichtung wirkenden Bemessungswertes der Spannung $\sigma_{\theta,Ed,env}$ und des Bemessungswertes der Beulspannung nach A.3.2.1 und A.3.2.3 durchgeführt werden.

(2) Wenn der Druck in Umfangsrichtung nicht durch einen gleichmäßigen Außendruck, sondern durch andere Einwirkungen verursacht wird, sollte die errechnete Spannungsverteilung $\sigma_{\theta,Ed}(x)$ durch eine Spannungsverteilung $\sigma_{\theta,Ed,env}(x)$ ersetzt werden, die den errechneten Wert zwar überall überschreitet, aber aus einem fiktiven gleichmäßigen Außendruck abzuleiten sein würde. Der Beulsicherheitsnachweis sollte dann wie in (1), aber unter Anwendung von $\sigma_{\theta,Ed,env}$ anstelle von $\sigma_{\theta,Ed}$ durchgeführt werden.

(3) Der Bemessungswert der Beulspannung sollte für den äquivalenten Zylinder nach A.1.3 bestimmt werden.

A.4.3.3 Schubbeanspruchung und gleichmäßige Torsionsbeanspruchung

(1) Für den Fall, dass die Schubspannung durch ein konstantes globales Drehmoment auf den Kegel verursacht wird, sollte der Beulsicherheitsnachweis unter Anwendung des wirkenden Bemessungswertes der Schubspannung τ_{Ed} an dem Punkt, an dem $r = r_e \cos \beta$ ist, und des Bemessungswertes der Beulspannung τ_{Rd} nach A.3.2.1 und A.3.2.4 durchgeführt werden.

(2) Falls die Schubspannung nicht durch ein konstantes globales Drehmoment, sondern durch andere Einwirkungen verursacht wird (z. B. durch Einwirkung einer globalen Scherkraft auf den Kegel), sollte die errechnete Spannungsverteilung $\tau_{Ed}(x)$ durch eine fiktive Spannungsverteilung $\tau_{Ed,env}(x)$ ersetzt werden, die den errechneten Wert zwar überall überschreitet, aber aus einem fiktiven globalen Drehmoment abzuleiten sein würde. Der Beulsicherheitsnachweis sollte dann wie in (1), aber unter Anwendung von $\tau_{Ed,env}$ anstelle von τ_{Ed} durchgeführt werden.

(3) Der Bemessungswert der Beulspannung τ_{Rd} sollte für den äquivalenten Zylinder nach A.1.4 bestimmt werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

A.5 Ausgesteifte Zylinderschalen mit konstanter Wanddicke

A.5.1 Allgemeines

- (1) Ausgesteifte Zylinderschalen können bestehen aus
- Isotropen Wänden, die mit Steifen in Meridianrichtung und in Umfangsrichtung ausgesteift sind;
 - profilierten Wänden, die mit Steifen in Meridianrichtung und in Umfangsrichtung ausgesteift sind.
- (2) In beiden Fällen können Beulsicherheitsnachweise durchgeführt werden, indem angenommen wird, dass die ausgesteifte Wand sich nach den in A.5.6 angegebenen Regeln wie eine äquivalente orthotrope Schale verhält, sofern die in A.5.6 genannten Bedingungen erfüllt sind.
- (3) Für in Umfangsrichtung gewelltes Blech ohne Steifen in Meridianrichtung kann die plastische Beulbeanspruchbarkeit nach den in A.5.4.2(3), (4) und (5) angegebenen Regeln errechnet werden.
- (4) Falls vorausgesetzt wird, dass das Wellblech in Umfangsrichtung keine axiale Last trägt, kann die Beulbeanspruchbarkeit einer einzelnen Steife nach A.5.4.3 beurteilt werden.

A.5.2 Isotrope Wände mit Steifen in Meridianrichtung

A.5.2.1 Allgemeines

- (1) Bei isotropen Wänden, die mit Steifen in Meridianrichtung (Längssteifen) versehen sind, sollte der Zwängungseinfluss der Wandverkürzung infolge Innendruck bei der Ermittlung der Druckbeanspruchung in Meridianrichtung sowohl in der Wand als auch in den Steifen berücksichtigt werden.
- (2) Die Bruchfestigkeit einer Naht in Meridianrichtung sollte wie für eine isotrope Schale bestimmt werden.
- (3) Falls in einer konstruktiven Verbindung auch die Steife zur Übertragung von Umfangszugkräften beiträgt, sollte der Einfluss dieser Zugkraft beim Nachweis von Kraft und Bruchanfälligkeit der Steife berücksichtigt werden.

A.5.2.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck)

- (1) Die Wand sollte für die gleichen Beul-Kriterien unter axialem Druck wie die unausgesteifte Wand bemessen werden, sofern nicht der größte horizontale Abstand zwischen den Steifen $d_{s,max}$ (Bild A.10) kleiner ist als $2\sqrt{rt}$, wobei t die örtliche Wanddicke ist.
- (2) Werden Steifen in Meridianrichtung in dichteren Abständen als $2\sqrt{rt}$ angeordnet, sollte die Beulbeanspruchbarkeit der kompletten Wand nach dem in A.5.6 angegebenen Verfahren beurteilt werden.
- (3) Die Beulfestigkeit der Steifen gegen axialen Druck sollte nach den Bestimmungen in EN 1999-1-1 bewertet werden.
- (4) Die Exzentrizität der Steifen gegenüber der Schalenwand sollte, wenn zutreffend, berücksichtigt werden.

A.5.2.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

- (1) Sofern keine genauere Berechnung erfolgt, ist der Beulsicherheitsnachweis wie für eine unausgesteifte Wand zu führen.

(2) Bei einer genaueren Berechnung dürfen die Steifen in Meridianrichtung „verschmiert“ werden, damit eine orthotrope Wand erhalten wird, und die Beulspannung kann nach A.5.6 unter der Annahme errechnet werden, dass für die Dehnsteifigkeit $C_\phi = C_\theta = Et$ und für die Schubsteifigkeit der Membran $C_{\phi\theta} = 0,38 Et$ gilt.

A.5.2.4 Schubbeanspruchung

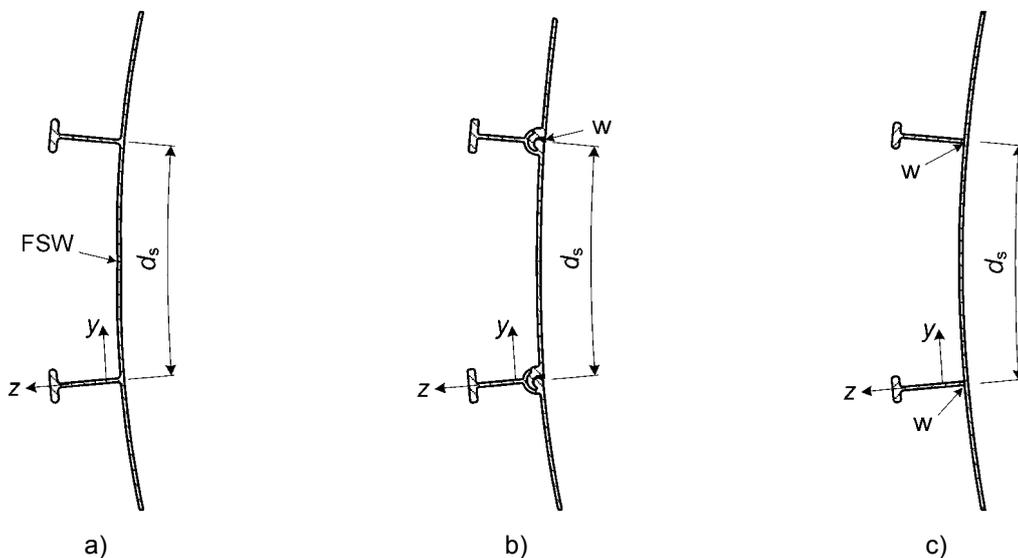
(1) Falls größere Teile der Schalenwand unter einer Schubbeanspruchung stehen (z. B. aus exzentrischem Befüllen, aus Erdbebenbelastung usw.), sollte der Beulsicherheitsnachweis der Membran gegen Schubbeanspruchung wie für eine isotrope unausgesteifte Wand geführt werden (siehe A.1.4), möglicherweise jedoch mit durch die Steifen erhöhter Beulbeanspruchbarkeit. Zu diesem Zweck darf als äquivalente Schalenlänge l der schubbeanspruchten Schale der kleinere Wert aus der Höhe zwischen Versteifungsringen oder gehaltenen Rändern und dem zweifachen meridionalen Abstand der Steifen in Meridianrichtung eingesetzt werden, wobei vorausgesetzt wird, dass jede Steife für Meridianbiegung (um ihre Achse in Umfangsrichtung) eine größere als die nach der folgenden Gleichung errechnete Biegesteifigkeit EI_y hat:

$$EI_{y,\min} = 0,1 Et^3 \sqrt{rl} \quad (\text{A.44})$$

wobei für l und t die gleichen Werte wie bei der kritischsten Beulform gelten.

(2) Endet eine diskrete Steife innerhalb der Schalenwand, sollte die Steifenkraft rechnerisch gleichmäßig über eine Höhe von nicht mehr als $4\sqrt{rt}$ in die Schale eingeleitet werden.

(3) Der Schubbeulwiderstand für die lokale Schubübertragung aus einer Steife in die Schale nach dem vorstehenden Absatz sollte den in A.1.4 angegebenen Wert nicht überschreiten.



Legende

w Schweißnaht
FSW Reibschweißen

Bild A.10 — Typische axial ausgesteifte Schalen aus (a) und (b) Strangpressteilen und (c) Platten und Strangpressteilen

A.5.3 Isotrope Wände mit Steifen in Umfangsrichtung

(1) Für Beulsicherheitsnachweise gelten die in A.5.6 angegebenen Regeln unter der Annahme, dass sich die ausgesteifte Wand wie eine orthotrope Schale verhält.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

A.5.4 In Umfangsrichtung profilierte Wände mit Steifen in Meridianrichtung

A.5.4.1 Allgemeines

- (1) Die rechnerische Blechdicke ist ohne Überzüge und Beschichtungen (Kerndicke) und ohne geometrische Toleranzen anzusetzen.
- (2) Für Wände aus Wellblech sollte die kleinste Kerndicke 0,68 mm nicht überschreiten.
- (3) In horizontal profilierten Zylinderwänden mit Meridiansteifen sollten der profilierten Wand rechnerisch keine meridionalen Lasten zugewiesen werden, es sein denn, sie wird als orthotrope Schale nach A.5.6 behandelt.
- (4) Besonders beachtet werden sollte, dass die Steifen in der Meridianebene rechtwinklig zur Wand kontinuierlich ausgebildet sein müssen, weil diese Ausbildung der Steifen wesentlich für die Beulbeanspruchbarkeit ist.
- (5) Falls die Wand mit Steifen in Meridianrichtung ausgesteift ist, sollten die Verbindungsmittel zwischen Blechen und Steifen so dimensioniert werden, dass eine Einleitung der auf alle Teile der Wandbleche verteilten Schubbeanspruchung in die Steifen sichergestellt ist. Die Blechdicke sollte so ausgewählt werden, dass Bruchversagen an diesen Verbindungsmitteln verhindert wird, wobei auch die reduzierte Lochleibungstragfähigkeit an Verbindungen in Profilblechen zu berücksichtigen ist.
- (6) Für die Bemessungswerte für Spannungsergebnisse und Widerstände und für die Nachweise sollten die Festlegungen in Abschnitt 5, 6.1 und A.1 gelten, aber mit den in den vorstehenden Absätzen (1) bis (5) angegebenen zusätzlichen Regeln.

ANMERKUNG Beispiele für die Anordnung von Wandaussteifungen werden in Bild A.11 gezeigt.

- (7) Schrauben an den Stößen zwischen Blechsegmenten sollten die Anforderungen von EN 1999-1-1 erfüllen. Als Schraubengröße sollte mindestens M8 ausgewählt werden.
- (8) Die Stoßausbildung sollten auch den Anforderungen nach EN 1999-1-1 für geschraubte Scherverbindungen entsprechen.
- (9) Der Schraubenabstand in Umfangsrichtung sollte nicht größer sein als 3° .
- (10) An Wanddurchbrüchen für Luken, Türen, Bohrer oder andere Vorrichtungen sollte an den betreffenden Stellen ein dickeres Wellblech vorgesehen werden, damit nicht die durch Steifigkeitsabweichungen verursachten Spannungserhöhungen zu örtlichen Rissen führen.

ANMERKUNG Ein typisches Schraubenbild für eine Wellblechtafel wird in Bild A.12 gezeigt.

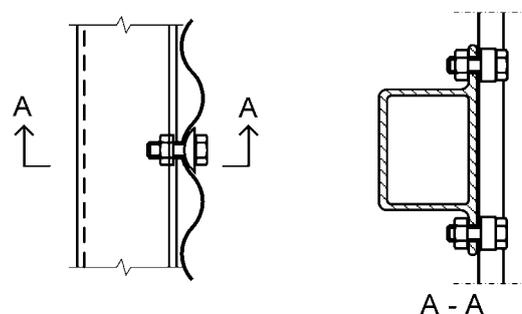


Bild A.11 — Beispiel für die Anordnung von Steifen in Meridianrichtung an in Umfangsrichtung profilierten Schalen

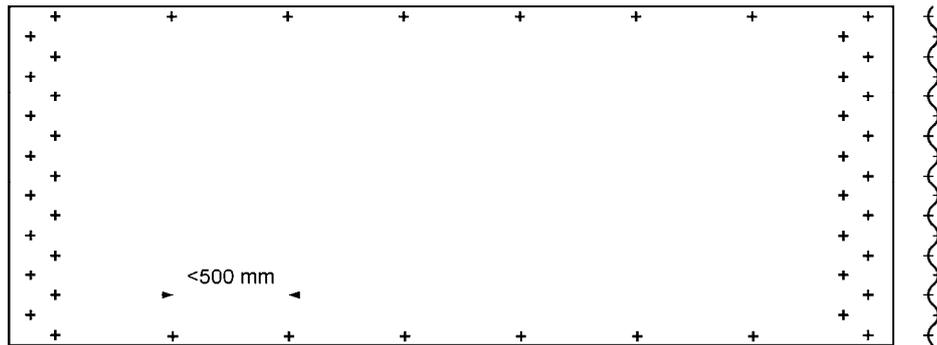


Bild A.12 — Typische Schraubenanordnung in einer Wellblechtafel

A.5.4.2 Axiale Druckbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit gegen axialen Druck sollte an jeder Stelle der Schale ermittelt werden, und zwar unter Berücksichtigung der für die Ausführung festgelegten Toleranzklasse, der Größe des garantiert gleichzeitig wirkenden Innendruckes p und der Ungleichmäßigkeit der Druckspannung in Umfangsrichtung. Die Veränderlichkeit des Axialdruckes in Meridianrichtung darf nicht berücksichtigt werden, es sei denn, dieser Teil enthält dazu spezielle Angaben.

(2) Für den Beulsicherheitsnachweis einer in Meridianrichtung ausgesteiften Wand sollte eines der beiden alternativen Verfahren angewendet werden:

- Beulen einer verschmiert-orthotropen Ersatzschale (nach A.5.6), sofern der meridionale Abstand zwischen den Steifen der Bedingung A.5.6.1(3) entspricht;
- Knicken der einzelnen Steifen (die profilierte Wand nimmt zwar voraussetzungsgemäß keine Axialkräfte auf, stützt aber die Steifen) nach A.5.4.3, falls der horizontale Abstand zwischen den Steifen der Bedingung in A.5.6.1(3) nicht entspricht.

(3) Für eine profilierte Schale ohne Steifen in Meridianrichtung sollte als charakteristischer Wert des lokalen plastischen Beulwiderstandes der größere der beiden folgenden Werte bestimmt werden:

$$n_{x,Rk} = \frac{t^2 f_0}{2d} \quad (\text{A.45})$$

und

$$n_{x,Rk} = \frac{r_\phi t f_0}{r} \quad (\text{A.46})$$

Hierbei ist

- t die Blechdicke;
- d die Amplitude (Profilhöhe) von Wellental zu Wellenberg;
- r_ϕ der örtliche Radius der Profilierung (siehe Bild A.14);
- r der Radius des Zylinders.

Der lokale plastische Beulwiderstand $n_{x,Rk}$ sollte als unabhängig vom Wert des Innendruckes p_n angesetzt werden.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG Der lokale plastische Beulwiderstand $n_{x,Rk}$ beschreibt den Widerstand der Profilierung gegen Kollaps oder „Zusammenfallen“.

(4) Der Bemessungswert des lokalen plastischen Beulwiderstandes sollte nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$n_{x,Rd} = \frac{\alpha_x n_{x,Rk}}{\gamma_{M1}}, \quad (\text{A.47})$$

dabei ist: $\alpha_x = 0,80$ und γ_{M1} wie in 2.7.2 angegeben.

(5) An allen Stellen des Tragwerks sollten die Bemessungsspannungen die folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd} \quad (\text{A.48})$$

A.5.4.3 Ausgesteifte Wand, als Reihe von Axialkraft tragenden Steifen behandelt

(1) Wird eine ausgesteifte Wellblechwand unter der Annahme berechnet, dass das Blech keine Axialkräfte trägt (Verfahren (b) in A.5.4.3), darf davon ausgegangen werden, dass es alle Knickverformungen der Steifen in der Wandebene verhindert, und der Knickwiderstand der Steifen sollte alternativ nach einem der beiden folgenden Verfahren errechnet werden:

- Die Stützwirkung des Bleches für Knickverformungen rechtwinklig zur Wand wird vernachlässigt;
- die elastische Stützwirkung durch die Steifigkeit des Bleches für Knickverformungen rechtwinklig zur Wand wird berücksichtigt.

(2) Bei Anwendung des Verfahrens (1)a) kann der Widerstand einer einzelnen Steife als der Widerstand gegen zentrischen Druck auf die Steife angenommen werden. Der Bemessungswert für die Beulbeanspruchbarkeit $N_{s,Rd}$ sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$N_{s,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_0}{\gamma_{M1}} \quad (\text{A.49})$$

wobei A_{eff} die effektive Querschnittsfläche der Steife ist.

(3) Der Abminderungsfaktor χ sollte für Biegeknicken rechtwinklig zur Wand (um die Querschnittsachse in Umfangsrichtung) in Abhängigkeit von der Art der Legierung aus EN 1999-1-1 und unabhängig von der angewendeten Legierung nach Knickkurve 2 ($\alpha = 0,32$ und $\bar{\lambda}_0 = 0$) bestimmt werden. Als effektive Knicklänge zur Ermittlung des Abminderungsfaktors χ sollte der Abstand zwischen benachbarten Ringsteifen eingesetzt werden.

(4) Wenn die elastische Stützwirkung durch die Wand für das Knicken der Steife in Anspruch genommen wird, sollten die beiden folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- Als unterstützender Wandabschnitt sollte die Breite zwischen den beiden benachbarten Steifen an diesen gelenkig gelagert angenommen werden (siehe Bild A.13).
- Eine mögliche Unterstützung durch die Steifigkeit des Schüttgutes sollte nicht in Anspruch genommen werden.

(5) Wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird, sollte die ideale elastische Verzweigungslast $N_{s,cr}$ nach der folgenden Gleichung unter der Annahme eines konstanten zentrischen Druckes errechnet werden:

$$N_{s,cr} = 2 \sqrt{EI_s k} \quad (\text{A.50})$$

Hierbei ist

EI_s die Biegesteifigkeit der Steife für Biegung rechtwinklig zur Wand (Nmm^2);

k die Federsteifigkeit des Blechs (N/mm je Millimeter Wandhöhe) zwischen den in Meridianrichtung benachbarten Steifen, siehe Bild A.13.

(6) Die Federsteifigkeit k des Wandbleches sollte unter der Annahme bestimmt werden, dass das Blech als Einfeldplatte zwischen den auf jeder Seite meridional benachbarten Steifen gespannt und dort gelenkig gelagert ist, siehe Bild A.13. Der Wert für k kann nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$k = \frac{6 D_\theta}{d_s^3} \quad (\text{A.51})$$

Hierbei ist

D_θ die Biegesteifigkeit des Blechs bei Biegung in Umfangsrichtung;

d_s der Abstand der Steifen in Meridianrichtung.

(7) Für profilierte Bleche mit Bogen-Tangenten-Profil oder mit Sinusprofil darf der Wert für D_θ aus A.7(6) entnommen werden. Für andere Profilierungen sollte die Biegesteifigkeit bei Biegung in Umfangsrichtung für den tatsächlichen Querschnitt bestimmt werden.

(8) Für die Bemessungsspannungen der Steife sollte an allen Punkten die folgende Bedingung erfüllt werden:

$$N_{s,Ed} \leq N_{s,Rd} \quad (\text{A.52})$$

(9) Die Beanspruchbarkeit der Steifen gegen lokales Beulen und gegen Biegedrillknicken sollte nach EN 1999-1-1 bestimmt werden.

A.5.4.4 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

(1) Für die Nachweise der Beulsicherheit gelten die in A.5.6.3 angegebenen Regeln unter der Annahme, dass die ausgesteifte Wand sich wie eine orthotrope Schale verhält.

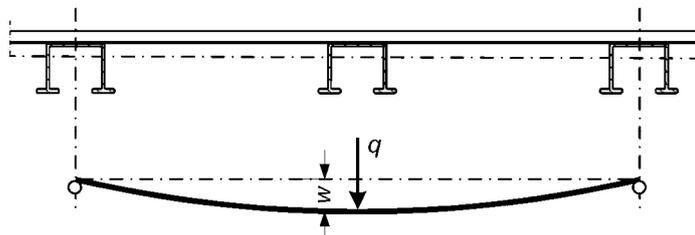


Bild A.13 — Ermittlung der Stütz-Federsteifigkeit gegen Biegeknicken

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

A.5.5 Axial profilierte Wände mit Ringsteifen

A.5.5.1 Allgemeines

(1) In zylindrischen Wänden aus Profilblechen (Wellblechen) mit axial verlaufendem Profil sollten die beiden folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- a) Der profilierten Wand dürfen rechnerisch keine meridionalen Kräfte zugewiesen werden;
- b) das profilierte Wandblech sollte als durchlaufend von Ring zu Ring zwischen den Ringmitten spannend angenommen werden.

(2) Die Blechstöße sollten so bemessen werden, dass die angenommene Biegekontinuität sichergestellt ist.

(3) Bei Ermittlung der axialen Druckkräfte in der Wand aus Wandreibung von Schüttgut sollten der gesamte Umfang der Schale und die Profilgeometrie berücksichtigt werden.

(4) Wenn das Profilblech bis zum Boden reicht, sollte die örtliche Biegebeanspruchung aus der Randstörung beachtet werden, wobei radial unverschiebliche Lagerung anzunehmen ist.

(5) Der profilierten Wand dürfen rechnerisch keine Umfangskräfte zugewiesen werden.

(6) Der Abstand der Ringsteifen ergibt sich aus einer Berechnung des Profilbleches als über die Ringe durchlaufenden Biegeträger, wobei möglicherweise der Einfluss unterschiedlicher radialer Verformungen von unterschiedlich großen Ringsteifen zu berücksichtigen ist. Die aus dieser Biegeberechnung resultierenden Spannungen sollten beim Beulsicherheitsnachweis für Axialdruckbeanspruchung zu den Normalkraftspannungen addiert werden.

ANMERKUNG Die Meridianbiegebeanspruchung des Profilbleches kann ermittelt werden, indem angenommen wird, dass das Blech ein an den Ringen elastisch gestützter Durchlaufträger ist. Die Auflagerfedersteifigkeit ergibt sich dabei aus der Steifigkeit des Ringes bei radialer Belastung.

(7) Die Ringsteifen sollten für die Aufnahme der meridionalen Belastung nach EN 1999-1-1 bemessen werden.

A.5.5.2 Axiale Druckbeanspruchung

(1) Im Rahmen der Beulsicherheitsnachweise gelten die in A.5.6.2 angegebenen Regeln unter der Annahme, dass die ausgesteifte Wand sich wie eine orthotrope Schale verhält.

A.5.5.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

(1) Im Rahmen der Beulsicherheitsnachweise gelten die in A.5.6.3 angegebenen Regeln unter der Annahme, dass die ausgesteifte Wand sich wie eine orthotrope Schale verhält.

A.5.6 Als orthotrope Schale behandelte ausgesteifte Wand

A.5.6.1 Allgemeines

(1) Wenn die ausgesteifte, entweder isotrope oder profilierte Wand als orthotrope Schale angesehen wird, sollte die resultierende verschmierte Steifigkeit als gleichmäßig verteilt angenommen werden. Bei profilierten Wänden sollte die Steifigkeit des Blechs in unterschiedlichen Richtungen aus A.7 entnommen werden.

(2) Die Biege- und Dehneigenschaften der Ring- und Längssteifen und die Exzentrizitäten zwischen den Steifenachsen und aller Schalenmittelflächen sowie der Steifenabstand d_s sollten ebenfalls bestimmt werden.

(3) Der meridionale Abstand zwischen den Steifen d_s (Bild A.10) sollte $d_{s,max}$ nicht überschreiten, wobei der maximale Abstand nach folgender Gleichung zu errechnen ist:

$$d_{s,max} = 7,4 \left(\frac{r^2 D_y}{C_y} \right)^{0,25} \quad (\text{A.53})$$

Hierbei ist

D_y die Biegesteifigkeit des Bleches je Längeneinheit in Umfangsrichtung (parallel zum Profil für in Umfangsrichtung profiliertes Blech);

C_y die Dehnsteifigkeit des Bleches je Längeneinheit in Umfangsrichtung (parallel zum Profil für in Umfangsrichtung profiliertes Blech).

A.5.6.2 Axiale Druckbeanspruchung

(1) Die kritische Beulspannungsergebnante $n_{x,cr}$ je Umfangseinheit der orthotropen Schale sollte auf allen Höhenknoten der Schale ermittelt werden, indem der folgende Ausdruck hinsichtlich der kritischen Umfangswellenzahl j und der Beulhöhe l_i minimiert wird:

$$n_{x,cr} = \frac{1,2}{j^2 \omega^2} \left(A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (\text{A.54})$$

mit:

$$A_1 = j^4 [\omega^4 C_{44} + 2\omega^2 (C_{45} + C_{66}) + C_{55}] + C_{22} + 2j^2 C_{25} \quad (\text{A.55})$$

$$A_2 = 2\omega^2 (C_{12} + C_{33})(C_{22} + j^2 C_{25})(C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14}) - (\omega^2 C_{11} + C_{33})(C_{22} + j^2 C_{25})^2 - \omega^2 (C_{22} + \omega^2 C_{33})(C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14})^2 \quad (\text{A.56})$$

$$A_3 = (\omega^2 C_{11} + C_{33})(C_{22} + C_{25} + \omega^2 C_{33}) - \omega^2 (C_{12} + C_{33})^2 \quad (\text{A.57})$$

mit:

$$C_{11} = C_\phi + EA_s / d_s \quad C_{22} = C_\theta + EA_r / d_r$$

$$C_{12} = \nu \sqrt{C_\phi C_\theta} \quad C_{33} = C_{\phi\theta}$$

$$C_{14} = e_s EA_s / (r d_s) \quad C_{25} = e_r EA_r / (r d_r)$$

$$C_{44} = \frac{1}{r^2} (D_\phi + EI_s / d_s) \quad C_{55} = \frac{1}{r^2} (D_\theta + EI_r / d_r)$$

$$C_{45} = \frac{\nu}{r^2} \sqrt{D_\phi D_\theta} \quad C_{66} = \frac{1}{r^2} [D_{\phi\theta} + 0,5(GI_{ts} / d_s + GI_{tr} / d_r)]$$

$$\omega = \frac{\pi r}{j l_i}$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

Hierbei ist

- l_i die Halbwellenlänge der potentiellen Beule in Meridianrichtung;
- j Anzahl der Beulwellen in Umfangsrichtung;
- A_s die Querschnittsfläche einer Längssteife;
- I_s das Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment) einer Längssteife um ihre Querschnittsachse in Umfangsrichtung in der Schalenmittelfläche (Biegung in Meridianrichtung);
- d_s der Abstand zwischen den Längssteifen;
- I_{ts} das St.Venant'sche Torsionsträgheitsmoment einer Längssteife;
- e_s die Exzentrizität einer Längssteife nach außen, bezogen auf die Schalenmittelfläche;
- A_r die Querschnittsfläche einer Ringsteife;
- I_r das Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment) einer Ringsteife um ihre Querschnittsachse in Meridianrichtung in der Schalenmittelfläche (Biegung in Umfangsrichtung);
- d_r der Abstand zwischen den Ringsteifen;
- I_{tr} das St.Venant'sche Torsionsträgheitsmoment einer Ringsteife;
- e_r die Exzentrizität einer Ringsteife nach außen, bezogen auf die Schalenmittelfläche;
- C_ϕ die Dehnsteifigkeit in axialer Richtung;
- C_θ die Dehnsteifigkeit in Umfangsrichtung;
- $C_{\phi\theta}$ die in der Membran erzeugte Schubsteifigkeit;
- D_ϕ die Biegesteifigkeit in axialer Richtung;
- D_θ die Biegesteifigkeit in Umfangsrichtung;
- $D_{\phi\theta}$ die Drillsteifigkeit bei Verdrehung;
- r der Radius der Schale.

ANMERKUNG 1 Für Wellblech beziehen sich die oben für Steifen angegebenen Querschnittsgrößen (A_s , I_s , I_{ts} usw.) nur auf den Querschnitt der Steife; eine Berücksichtigung von mittragenden Anteilen der Schalenwand ist nicht möglich.

ANMERKUNG 2 Dehnsteifigkeit und Biegesteifigkeit des Wellblechs, siehe A.5.7(5) und (6).

ANMERKUNG 3 Der untere Rand der Beule kann dort angenommen werden, wo sich entweder die Blechdicke oder der Querschnitt der Steife ändert; bei jeder dieser Änderungen muss die Beulbeanspruchbarkeit unabhängig überprüft werden.

(2) Der Bemessungswert für die Beulbeanspruchbarkeit $n_{x,Rd}$ für die orthotrope Schale sollte je nach Güteklasse der Schale nach A.1.2 und 6.2.3.2 bestimmt werden. Die kritische Beulbeanspruchbarkeit $n_{x,cr}$ sollte aus (1) ermittelt werden. Für ausgesteifte Schale mit isotropen Wänden darf ein erhöhter Gütefaktor $Q_{stiff} = 1,3 Q$ angewendet werden.

A.5.6.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung)

(1) Die kritische Beulspannung bei einem gleichmäßigen Außendruck $p_{n,cr}$ sollte bewertet werden, indem der folgende Ausdruck hinsichtlich der kritischen Umfangswellenzahl j minimiert wird:

$$p_{n,cr} = \frac{1}{r j^2} \left(A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (\text{A.58})$$

wobei A_1 , A_2 und A_3 den Angaben in A.5.1.2(3) entsprechen.

(2) Ist der Steifenquerschnitt oder die Blechdicke über die Wandhöhe veränderlich, sollten verschiedene potentielle Beullängen l_i untersucht werden, um die kritischste Beullänge zu bestimmen, wenn von der Annahme ausgegangen wird, dass stets das obere Ende der potentiellen Beule am oberen Rand des dünnsten Blechschnittes liegt.

ANMERKUNG Wenn oberhalb des dünnsten Blechschnittes noch ein Bereich mit dickerem Blech liegt, kann das obere Ende der potentiellen Beule nicht nur am oberen Rand des dünnsten Blechschnittes liegen, sondern auch am oberen Rand der Wand.

(3) Sofern keine genauere Berechnung durchgeführt wird, sollte bei der oben beschriebenen Berechnung als Blechdicke stets die Dicke des dünnsten Blechschnittes eingeführt werden.

(4) Für Schalen ohne Dach unter Windlast sollte der vorstehend errechnete Beuldruck um einen Faktor 0,6 verringert werden.

(5) Der Bemessungswert der Beulspannung für die Wand sollte in Abhängigkeit von der Güteklasse der Schale nach 6.2.3.2 und A.1.3 bestimmt werden. Der kritische Beuldruck $p_{n,cr}$ sollte nach (1) ermittelt werden. Für den in A.1.3.1 angegebenen Koeffizienten C_θ sollte $C_\theta = 1$ angewendet werden.

A.5.6.4 Schubbeanspruchung

(1) Es gelten die in A.5.2.4 angegebenen Regeln für isotrope Wände mit Steifen in Meridianrichtung.

A.5.7 Äquivalente orthotrope Eigenschaften des Wellblechs

(1) Profilbleche als Teile eines Schalentragswerkes dürfen bei der Berechnung durch gleichmäßig orthotrope Platten bzw. Schalen ersetzt werden.

(2) Für Profilbleche mit Bogen-Tangenten-Profil oder mit Sinusprofil (Wellbleche) dürfen bei Spannungs- und Beulberechnungen die nachfolgenden Eigenschaften verwendet werden. Für andere Profilierungen sollten die entsprechenden Eigenschaften nach EN 1999-1-4 für den tatsächlichen Querschnitt errechnet werden.

(3) Die Eigenschaften eines Wellbleches sollten in einem x - y -Koordinatensystem definiert werden, wobei die y -Achse parallel zur Profilierung verläuft (Geraden auf der Oberfläche) und die x -Achse rechtwinklig dazu (Wellentäler und -berge). Die Profilgeometrie wird, unabhängig von der genauen Wellenprofilierung, durch folgende Parameter beschrieben, siehe Bild A.14, wobei sind:

- d das Maß zwischen zwei Wellenbergen;
- l die Wellenlänge des Profils;
- r_ϕ der örtliche Radius am Wellenberg oder im Wellental.

(4) Alle Eigenschaften dürfen als eindimensional behandelt werden, d. h., es gibt keine Poisson-Effekte zwischen den beiden Richtungen.

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

(5) Für die Ersatzzeigenschaften der Membran (Dehnsteifigkeit) darf angenommen werden:

$$C_x = Et_x = E \frac{2t^3}{3d^2} \quad (\text{A.59})$$

$$C_y = Et_y = Et \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right) \quad (\text{A.60})$$

$$C_{xy} = Et_{xy} = \frac{G \ 2t}{1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2}} \quad (\text{A.61})$$

Hierbei ist

t_x die Ersatzdicke für verschmierte Membrankräfte rechtwinklig zu den Profilierungen;

t_y die Ersatzdicke für verschmierte Membrankräfte parallel zu den Profilierungen;

t_{xy} die Ersatzdicke für verschmierte Membranschubkräfte.

(6) Für die Ersatzzeigenschaften (Biegesteifigkeit), die nach der Richtung indiziert werden, in der das Moment eine Biegung erzeugt (nicht nach der Biegeachse), darf angenommen werden:

$$D_x = EI_x = \frac{E \ t^3}{12(1-\nu^2)} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2}} \quad (\text{A.62})$$

$$D_y = EI_y = 0,13 \ Etd^2 \quad (\text{A.63})$$

$$D_{xy} = GI_{xy} = \frac{Gt^3}{12} \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right) \quad (\text{A.64})$$

Hierbei ist

I_x das Ersatzflächenmoment 2. Grades (Ersatzträgheitsmoment) für verschmierte Biegung rechtwinklig zur Profilierung;

I_y das Ersatzflächenmoment 2. Grades (Ersatzträgheitsmoment) für verschmierte Biegung parallel zur Profilierung;

I_{xy} das Ersatzflächenmoment 2. Grades (Ersatzträgheitsmoment) für verschmierte Biegung für Drillung.

ANMERKUNG 1 Biegung parallel zur Profilierung aktiviert die Biegesteifigkeit des Profils und ist der eigentliche Grund für den Einsatz von Profilblechen.

ANMERKUNG 2 Alternative Ausdrücke für die orthotropen Ersatzsteifigkeiten profilierter Bleche werden in den in EN 1993-4-1 angegebenen Verweisungen genannt.

(7) In kreisförmigen Schalen mit in Umfangsrichtung verlaufender Profilierung sollten die Richtungen x und y in den vorstehenden Ausdrücken als axiale Koordinate ϕ bzw. als Umfangskoordinate θ genommen werden. Verläuft die Profilierung in Meridianrichtung, sollten die Richtungen x und y als Umfangskoordinate θ bzw. als axiale Koordinate ϕ genommen werden.

(8) Die Schubeigenschaften sollten als unabhängig von der Profilierungsrichtung angenommen werden. Für G darf ein Wert von $E/2,6$ angewendet werden.

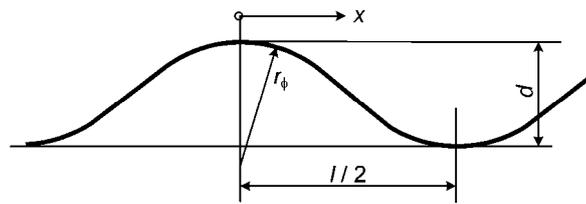


Bild A.14 — Wellblechprofil und geometrische Parameter

A.6 Unausgesteifte kugelförmige Schalen unter gleichmäßigem Druck in Umfangsrichtung

A.6.1 Bezeichnungen und Randbedingungen

(1) Allgemeine Größen (Bild A.15):

r Radius der Mittelfläche der Kugel;

t Dicke der Schale:

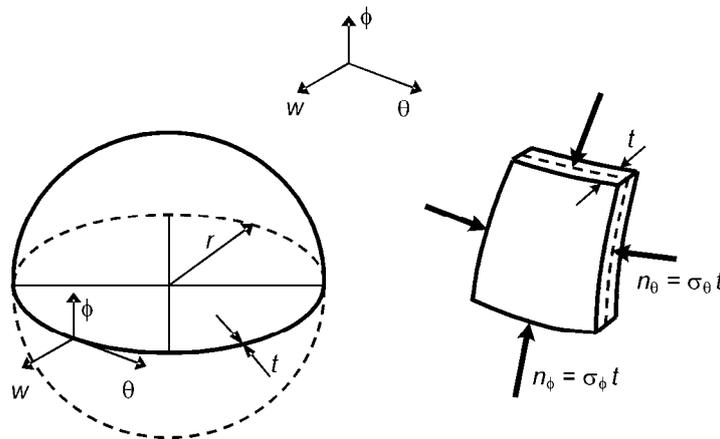


Bild A.15 — Geometrie der Kugel sowie Membranspannungen und Spannungsergebnanten

(2) Die Randbedingungen werden in 5.2 und 6.2.2 festgelegt.

A.6.2 Kritische Beulspannungen

(1) Die folgenden Ausdrücke dürfen nur auf vollständige Kugeln oder Kugelkappen mit den Randbedingungen BC1r oder BC1f am unteren Rand angewendet werden.

(2) In Kugeln oder Kugelkappen entsteht ein gleichmäßiger Druck in Umfangsrichtung durch Einwirkung eines gleichmäßigen Außendrucks, oder er kann auf kreisförmige Silos oder Tankdächer wirken, wenn bei Auftreten einer Vertikallast (Falllast) eine Verblasungsaktion erfolgt.

(3) Für den Fall eines Druckes in Umfangsrichtung durch gleichmäßigen Außendruck p kann die entsprechende Spannung nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{\phi} = \frac{pr}{2t} \quad (\text{A.65})$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

(4) Die kritische Beulspannung unter gleichmäßigem Druck in Umfangsrichtung sollte nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\sigma_{\theta,cr} = \sigma_{\phi,cr} = 0,605 E \frac{t}{r} \quad (\text{A.66})$$

A.6.3 Beulparameter in Umfangsrichtung

(1) Der elastische Imperfektionsfaktor sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\alpha_{\theta} = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6 E}{f_0} (\bar{\lambda}_{\theta} - \bar{\lambda}_{\theta,0})} \right)^{1,44}} \quad \text{aber } \alpha_{\theta} \leq 1,00 \quad (\text{A.67})$$

Hierbei ist

$\bar{\lambda}_{\theta,0}$ der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze;

Q der Toleranzparameter.

(2) Der Toleranzparameter Q sollte für die jeweils festgelegte Toleranzklasse aus Tabelle A.13 entnommen werden.

(3) Der Legierungsfaktor und der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze sollten entsprechend der in EN 1999-1-1 festgelegten Beulklasse des Werkstoffs aus Tabelle A.14 entnommen werden.

Tabelle A.13 — Toleranzparameter Q

Toleranzklasse	Q
Klasse 1	16
Klasse 2	25
Klassen 3 und 4	40

Tabelle A.14 — Werte für $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ und μ_0 für gleichmäßigen Druck in Umfangsrichtung

Beulklasse des Werkstoffs	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_0
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

Anhang B (informativ)

Beulberechnung torikonischer und torisphärischer Schalen

B.1 Allgemeines

(1) Für die konischen und kugelförmigen Enden von Zylinderschalen oder ähnlichen Konstruktionen, die mit Hilfe eines Ringkörpers oder direkt ($r_T = 0$) mit dem Zylinder verbunden sind, gelten die in diesem Abschnitt angegebenen Regeln.

B.2 Bezeichnungen und Randbedingungen

(1) In diesem Abschnitt werden die folgenden Bezeichnungen angewendet, siehe Bild B.1:

r Radius der Mittelfläche der Zylinderschale;

r_s Radius der Kugelschale;

α Winkel der Ringkörperschale oder halber Spitzenwinkel der Kegelschale;

r_T Radius des Ringkörpers;

t_T Dicke der Schale für Ringkörper, Kegel oder Kugel;

l Länge des anschließenden Zylinders;

t_C Wanddicke des anschließenden Zylinders.

(2) Die Regeln gelten bei konstantem Außendruck, der orthogonal auf die Oberfläche der Schale wirkt.

(3) Der folgende Anwendungsbereich gilt:

$$t_T \leq t_C \quad (\text{B.1})$$

$$35 \leq r/t_C \leq 1\,250 \quad (\text{B.2})$$

$$45^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ \quad (\text{B.3})$$

$$0 \leq r_T/r \leq 0,4 \quad (\text{B.4})$$

$$1,2 \leq r_s/r \leq 3,0 \quad (\text{B.5})$$

$$1 \leq 1\,000 f_0/E \leq 4,0 \quad (\text{B.6})$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

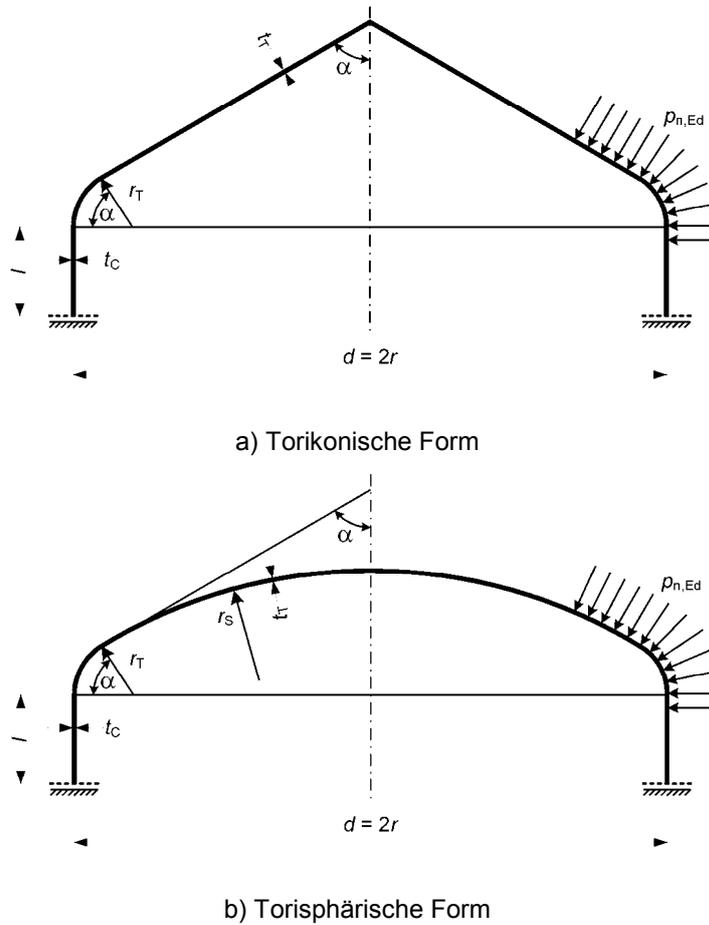


Bild B.1 — Geometrie und Lasten an den Enden des Zylinders

B.3 Außendruck

B.3.1 Kritischer Außendruck

(1) Für eine torikonische Schale wird der kritische Außendruck (Beuldruck) nach einer der folgenden Gleichungen errechnet:

$$p_{n,cr} = \frac{2,42}{(1-\nu^2)^{0,75}} E \sin \alpha (\cos \alpha)^{1,5} \left(\frac{t_T}{\bar{r}} \right)^{2,5} \quad \text{oder} \quad (B.7)$$

$$p_{n,cr} = 2,60 E \sin \alpha (\cos \alpha)^{1,5} \left(\frac{t_T}{\bar{r}} \right)^{2,5} \quad \text{für } \nu = 0,3$$

Hierbei ist

$$\bar{r} = r - r_T(1 - \cos \alpha) + \sqrt{r_T t_T} \sin \alpha \quad \text{mit } \bar{r} \leq r$$

(2) Für eine torisphärische Schale wird der kritische Beul-Außendruck nach folgender Gleichung errechnet:

$$p_{n,cr} = 1,21 C_k E \left(\frac{t_T}{r_S} \right)^2 \quad (\text{B.8})$$

mit:

$$C_k = (r_S / r)^2 \beta^{0,7 \sqrt{r_S / r} - 1}$$

wobei β der größere der folgendermaßen bestimmten Werte ist:

$$\beta = 0,105 \left(\frac{t_C}{r} \right)^{0,19} \quad \text{und} \quad \beta = 0,088 \left(\frac{r_T}{r} \right)^{0,23}$$

B.3.2 Gleichmäßiger Außendruck an der Quetschgrenze

(1) Für torikonische und torisphärische Schalen darf der gleichmäßige Außendruck an der Quetschgrenze aus der graphischen Darstellung in Bild B.2 entnommen oder für $r_T = 0$ nach Gleichung (B.10) oder nach Gleichung (B.11) angenähert errechnet werden.

$$p_{n,Rk} = f_o \left(14,5 - 450 \frac{f_o}{E} \right) \left(1 + 2 \frac{r_T}{r} + 7,13 \left(\frac{r_T}{r} \right)^2 \right) \frac{\cos \alpha}{\left(\frac{2r}{t} \right)^{1,5}} \quad (\text{B.9})$$

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

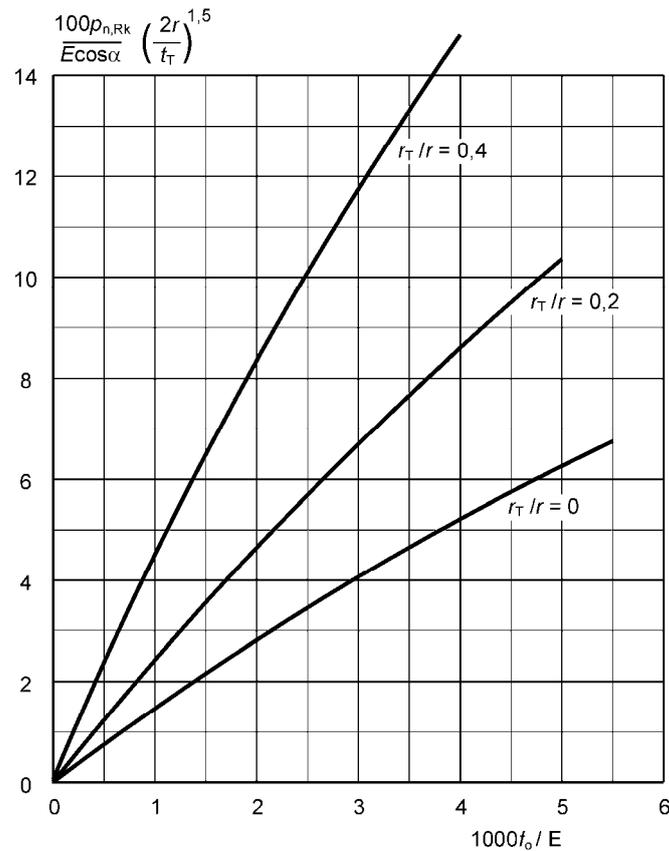


Bild B.2 — Bleibender Außendruck für torikonische und torisphärische Schalen

— Für eine torikonische Schale:

$$p_{n,Rk} = 4,4 \sqrt{\frac{t_T}{\bar{r}}} f_0 \frac{t_T}{r / \cos \alpha} \quad (\text{B.10})$$

— Für eine torisphärische Schale:

$$p_{n,Rk} = 4,4 \sqrt{\frac{t_T}{\bar{r}}} f_0 \frac{t_T}{r_S} \quad (\text{B.11})$$

B.3.3 Beulparameter unter Außendruck

(1) Der elastische Imperfektionsfaktor sollte nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\alpha_\theta = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6 E}{f_0} (\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_{\theta,0})} \right)^{1,44}} \quad \text{aber } \alpha_\theta \leq 1,00 \quad (\text{B.12})$$

Hierbei ist

$\bar{\lambda}_{\theta,0}$ der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze;

Q der Toleranzparameter.

(2) Der Toleranzparameter Q sollte für die jeweils festgelegte Toleranzklasse aus Tabelle B.1 entnommen werden.

(3) Der Legierungsfaktor und der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze sollten entsprechend der in EN 1999-1-1 festgelegten Beulklasse des Werkstoffs aus Tabelle B.2 entnommen werden.

Tabelle B.1 — Toleranzparameter Q

Toleranzklasse	Q
Klasse 1	16
Klasse 2	25
Klassen 3 und 4	40

Tabelle B.2 — Werte für $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ und μ_0 für Außendruck

Beulklasse des Werkstoffs	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_0
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

B.4 Innendruck

B.4.1 Kritischer Innendruck

(1) Der kritische (Beul-)Inndruck für eine torikonische Schale ist

$$p_{n,cr} = 1000 E \left(\frac{56300}{\alpha^{2,5}} - 0,71 \right) \left(\frac{t}{2r} \right)^3 \quad \text{wenn } \frac{r_T}{2r} = 0 \quad (\text{B.13})$$

$$p_{n,cr} = 1000 \eta E \frac{r_T}{2r} \left(\frac{t}{2r} \right)^3 \quad \text{wenn } \frac{r_T}{2r} \neq 0 \quad (\text{B.14})$$

Wobei der Parameter η aus Bild B.3 entnommen werden sollte.

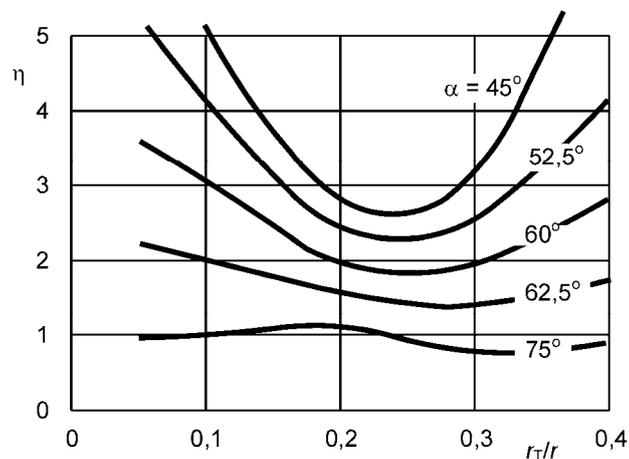


Bild B.3 — Parameter für Ausdruck (B.14)

DIN EN 1999-1-5:2010-05
EN 1999-1-5:2007 + AC:2009 (D)

(2) Der kritische Beulinnendruck für eine torisphärische Schale ist

$$p_{n,cr} = 100E \left(1,85 \frac{r_T}{r} + 0,68 \right) \left(\frac{t}{r_S} \right)^{2,45} \quad (\text{B.15})$$

B.4.2 Gleichmäßiger Innendruck an der Quetschgrenze

(1) Der gleichmäßige Innendruck an der Quetschgrenze für torikonische und torisphärische Schalen ist durch den Ausdruck (B.16) gegeben oder kann dem Diagramm in Bild B.4 entnommen werden:

$$p_{n,Rk} = f_o \left(1,2 - 120 \frac{f_o}{E} \right) \left(1 + 3,9 \frac{r_T}{r} + 67 \left(\frac{r_T}{r} \right)^2 \right) \frac{\cos \alpha}{\left(\frac{2r}{t} \right)^{1,25}} \quad (\text{B.16})$$

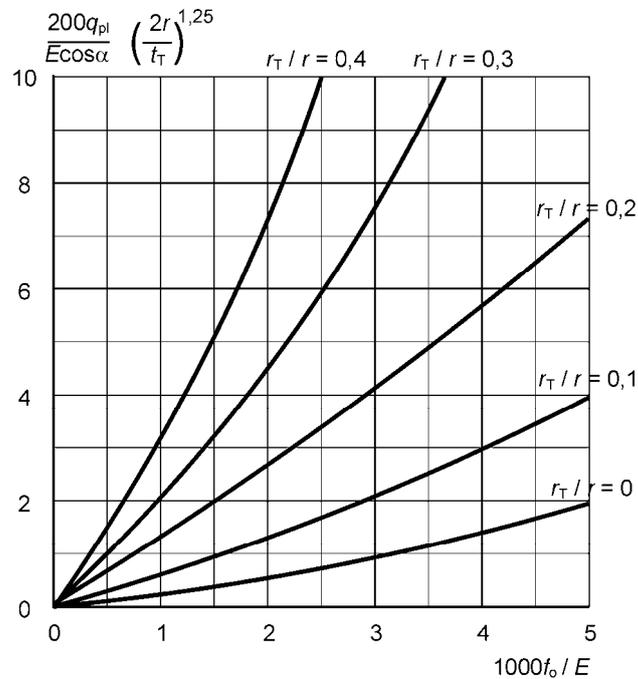


Bild B.4 — Bleibender Innendruck für torikonische und torisphärische Schalen

B.4.3 Beulparameter unter Innendruck

(1) Der Imperfektionsfaktor sollte nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\alpha_\theta = \frac{1}{1 + 2,60 \left(\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{0,6E}{f_o}} (\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_{\theta,0}) \right)^{1,44}} \quad \text{aber} \quad \alpha_\theta \leq 1,00 \quad (\text{B.17})$$

Hierbei ist

$\bar{\lambda}_{\theta,0}$ der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze;

Q der Toleranzparameter.

(2) Der Toleranzparameter Q sollte für die jeweils festgelegte Toleranzklasse aus Tabelle B.3 entnommen werden.

(3) Der Legierungsfaktor und der Schlankheitsparameter für die Quetschgrenze sollten entsprechend der in EN 1999-1-1 festgelegten Beulklasse des Werkstoffes aus Tabelle B.4 entnommen werden.

Tabelle B.3 — Toleranzparameter Q für Innendruck

Toleranzklasse	Q
Klasse 1	16
Klasse 2	25
Klassen 3 und 4	40

Tabelle B.4 — Werte $\bar{\lambda}_{\theta,0}$ und μ_{θ} für Innendruck

Beulklasse des Werkstoffes	$\bar{\lambda}_{\theta,0}$	μ_{θ}
A	0,20	0,35
B	0,10	0,20

DIN EN 1999-1-5/NA**DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

**Nationaler Anhang –
National festgelegte Parameter –
Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –
Teil 1-5: Schalenträgerwerke**

National Annex –
Nationally determined parameters –
Eurocode 9: Design of aluminium structures –
Part 1-5: Shell structures

Annexe national –
Paramètres déterminés au plan national –
Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium –
Partie 1-5: Coques

Gesamtumfang 3 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1999-1-5/NA:2010-12

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen unter vorwiegend ruhender Belastung (DIN 4113, Sp CEN/TC 250/SC 9 + CEN/TC 135/WG 11)“ erstellt.

Dieses Dokument bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1999-1-5:2010-05, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalentragwerke*.

Die Europäische Norm EN 1999-1-5 räumt die Möglichkeit ein, eine Reihe von sicherheitsrelevanten Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter (en: *Nationally determined parameters*, NDP) umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, sowie die Wahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Eine Liste dieser Textstellen befindet sich im Unterabschnitt NA 2.1.

Dieser Nationale Anhang ist Bestandteil von DIN EN 1999-1-5:2010-05.

NA 1 Anwendungsbereich

Dieser Nationale Anhang enthält nationale Festlegungen für „die Bemessung von ausgesteiften und nicht ausgesteiften Aluminiumtragwerken, die in Form einer Rotationsschale oder einer als Schale gestalteten kreisförmigen Platte vorliegen“, die bei der Anwendung von DIN EN 1999-1-5:2010-05 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Nationale Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1999-1-5:2010-05.

NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1999-1-5:2010-05

NA 2.1 Allgemeines

DIN EN 1999-1-5:2010-05 weist an den folgenden Textstellen die Möglichkeit nationaler Festlegungen aus (NDP, en: *Nationally determined parameters*).

— 2.1(3)

— 2.1(4)

NA 2.2 Nationale Festlegungen

Die nachfolgende Nummerierung entspricht der Nummerierung von DIN EN 1999-1-5:2010-05.

NDP zu 2.1(3) Anmerkung

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 2.1(4) Anmerkung

Es gelten die Empfehlungen.

