

DIN EN 1993-1-7



ICS 91.010.30; 91.080.13

EntwurfEinsprüche bis 2023-03-27
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-1-7:2010-12**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-7: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querlasten;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-7:2023**Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading;
German and English version prEN 1993-1-7:2023Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-7: Ensembles de plaques avec éléments sous charges transversales;
Version allemande et anglaise prEN 1993-1-7:2023**Anwendungswarnvermerk**Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-01-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 157 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-7:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-7:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde vollständig überarbeitet;
- b) redaktionelle Anpassungen vorgenommen.

<i>Titel de:</i>	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querlasten
<i>Titel en:</i>	Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-7: Plate assemblies with elements under transverse loads
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 3: Calcul des structures en acier — Partie 1-7: Ensembles de plaques avec éléments sous charges transversales

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
0 Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	8
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-7	8
1.2 Annahmen	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Symbole	15
4 Grundlagen der Bemessung	18
4.1 Allgemeines	18
4.2 Zuverlässigkeitsmanagement	19
4.3 Bemessungswerte geometrischer Daten	19
4.4 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen	19
4.5 Dauerhaftigkeit	19
4.6 Nachweis durch das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	20
5 Werkstoffe und Geometrie	20
5.1 Werkstoffeigenschaften	20
6 Statische Berechnung	21
6.1 Berechnungsmöglichkeiten	21
6.2 Modellierung einer Blechbaugruppe	24
6.3 Modellierung von Einwirkungen und Umgebungseinflüssen	28
6.4 Vereinfachte Berechnungsverfahren für Blechbaugruppen unter allgemeinen Lasten	29
6.5 Berechnung von einzelnen Blechen oder Platten	34
6.6 Berechnung mit rechnergestützter Modellierung	38
7 Grenzzustand der Tragfähigkeit bei Blechbaugruppen	38
7.1 Allgemeines	38
7.2 Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)	38
7.3 Grenzzustand des zyklischen Plastizierens (LS2)	39
7.4 Grenzzustand Beulen (LS3)	40
7.5 Grenzzustand der Ermüdung (LS4)	40
8 Bemessung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von unausgesteiften Blechen	41
8.1 Allgemeines	41
8.2 Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)	41
8.3 Grenzzustand des zyklischen Plastizierens (LS2)	46
8.4 Grenzzustand Beulen (LS3)	48
8.5 Grenzzustand der Ermüdung (LS4)	49
9 Bemessung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von einseitig ausgesteiften Blechen	49
9.1 Allgemeines	49
9.2 Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)	50
9.3 Grenzzustand des zyklischen Plastizierens (LS2)	52
9.4 Grenzzustand Beulen (LS3)	52
9.5 Grenzzustand der Ermüdung (LS4)	54

10	Bemessung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von bidirektional ausgesteiften Blechen.....	54
10.1	Allgemeines	54
10.2	Spannungsbasierte Bemessung	55
10.3	Bemessung mit rechnergestützter Berechnung	56
Anhang A (informativ)	Berechnung von Membran- und einfachen elastischen Biegeschnittgrößen in Blechen und Blechbaugruppen	57
Anhang B (informativ)	Gleichungen für linear-elastische Spannungen in unausgesteiften rechteckigen Blechen nach der Theorie kleiner Verformungen	64
Anhang C (informativ)	Gleichungen für plastische Bezugswiderstände von unausgesteiften Einzelblechen und Blechbaugruppen	74
Literaturhinweise.....		80

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-7:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1993-1-7:2007 und seine Änderungen ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

0 Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- Neue Teile sind derzeit in Erarbeitung, z.B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

EN 1993 (alle Teile) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Hochbauten und Ingenieurbauten aus Stahl. EN 1993 (alle Teile) entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung, enthalten sind.

EN 1993 (alle Teile) behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in folgende Teile unterteilt:

EN 1993-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Brücken*;

EN 1993-3, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;

EN 1993-4, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;

EN 1993-5, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*;

EN 1993-6, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*;

EN 1993-7, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Elementen*.

EN 1993-1 existiert nicht als ein physikalisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 gesonderten Teilen, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*;

EN 1993-1-3, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche*;

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlquerschnitte nach EN 10219 werden in EN 1993-1-1 behandelt.

EN 1993-1-4, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*;

EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*;

EN 1993-1-6, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*;

EN 1993-1-7, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelaastung*;

EN 1993-1-8, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*;

EN 1993-1-9, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*;

EN 1993-1-10, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenwahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*;

EN 1993-1-11, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*;

EN 1993-1-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S700*;

EN 1993-1-13, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen*;

EN 1993-1-14¹, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-14: Bemessung mithilfe von Finite-Elemente-Berechnung*.

1 In Vorbereitung.

Alle Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Bauwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche, ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen, plattenförmige Bauteile usw.

Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7² behandeln Themen, die für eine bestimmte Bauwerksart relevant sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Tankbauwerke; Pfähle und Spundwände; Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln in EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

0.3 Einleitung zu prEN 1993-1-7

prEN 1993-1-7 enthält ergänzende Regeln für aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querlasten.

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet / angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-1-7

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo diese Möglichkeit ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festgelegte Parameter (NDP).

Die nationale Ausgabe von prEN 1993-1-7 kann durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden, der alle nationalen Festlegungen enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauten im jeweiligen Land erforderlich sind.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder kann, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1993-1-7 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.1(5)	4.6(2)	9.2.2.2(5)
--------	--------	------------

Nationale Festlegungen sind in prEN 1993-1-7 zu den folgenden informativen Anhängen gestattet:

Anhang A	Anhang B	Anhang C
----------	----------	----------

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-7

(1) prEN 1993-1-7 enthält Regeln für die Tragwerksplanung von Baugruppen aus unausgesteiften und ausgesteiften Stahlblechen, deren Bauelemente hauptsächlich durch verteilte Querlasten beansprucht werden.

(2) prEN 1993-1-7 gilt für Behälterbauwerke, wie Silos, Tanks, Biogasanlagen und Schleusentore, bei denen externe Lasten hauptsächlich quer auf die einzelnen Bleche oder Platten wirken. Dieses Dokument behandelt die Beurteilung der Tragfähigkeit durch rechnergestützte Berechnungsverfahren, für den Fall, dass ein Blech oder eine Platte unter Biegung zusätzlich durch Membrankräfte, die einen erheblichen Einfluss auf die Tragfähigkeit haben, beansprucht wird.

(3) prEN 1993-1-7 gilt für Bauwerke mit rechteckigen, trapezförmigen oder dreieckigen Blechsegmenten, von denen jedes eine Symmetrieachse aufweist.

(4) prEN 1993-1-7 gilt nicht für Bleche oder Platten, bei denen sich die Hauptanforderung an die Tragfähigkeit auf Membrankräfte in den Blechen bezieht (für diese siehe EN 1993-1-5).

(5) prEN 1993-1-7 gilt nicht für Bleche oder Platten, deren Krümmung (Unebenheit) die nach 1.1 (14) festgelegte überschreitet. Für derartige gekrümmte Bleche siehe EN 1993-1-6.

(6) prEN 1993-1-7 gilt nicht für kreis- oder ringförmige Bleche. Für derartige Bleche siehe EN 1993-1-6.

(7) prEN 1993-1-7 gilt nicht für kaltgeformte Bleche. Für derartige Bleche siehe EN 1993-1-3.

(8) Dieses Dokument enthält ausschließlich Anforderungen an die Bemessung von Blechen und Blechbaugruppen gegen die Grenzzustände:

- plastisches Versagen;
- zyklisches Plastizieren;
- Beulen;
- Ermüdung.

(9) Die Grenzzustände des statischen Gleichgewichts (Gleiten, Abheben oder Kippen) werden in dieser Norm nicht behandelt. Besonderheiten, die für bestimmte Anwendungen gelten, können den einschlägigen Anwendungsnormen von EN 1993 entnommen werden.

(10) Die Regeln in dieser Norm beziehen sich auf Blechbaugruppen, die unter Verwendung von unausgesteiften oder ausgesteiften Blechen oder Platten gefertigt werden. Die Norm gilt auch für die Bemessung einzelner Bleche oder Platten, die vorwiegend durch Einwirkungen quer zur Blechebene beansprucht werden. Sowohl Reibeinwirkungen auf die Blechoberfläche als auch Kräfte, die durch angrenzende Komponenten der Blechbaugruppe erzeugt werden, rufen Einwirkungen in der Ebene jedes Blechs hervor.

(11) Dieses Dokument enthält algebraische Regeln und Hinweise zur Berücksichtigung der Biegung mit geringen Membrankräften in den einzelnen Blechen oder Platten. Wenn unausgesteifte oder ausgesteifte Bleche oder Platten sowohl durch Biegung als auch durch Kräfte in Plattenebene von erheblicher Größenordnung beansprucht werden, gelten die rechnergestützten Berechnungsverfahren nach diesem Dokument.

(12) Wenn kein Teil einer Anwendungsnorm einen anderen Bereich festlegt, gilt dieses Dokument für Tragwerke im Rahmen der folgenden Grenzen:

- Auslegungswandtemperaturen im Bereich -50 °C bis $+100\text{ °C}$;
- die Geometrie von einzelnen Plattenfeldern ist auf rechteckige, dreieckige und trapezförmige Formen begrenzt wobei b/t größer als 20 oder b_1/t größer als 20 ist, sofern zutreffend (siehe Bild 3.2);
- einzelne Blechelemente werden als Flachblech behandelt, wenn die Abweichung von der Ebenheit e_0 die Bedingung $e_0/t \leq 0,750$ erfüllt (siehe Bild 9.1). Wird dieses Kriterium nicht erfüllt, ist es angebracht, das Blech als Schalenfeld zu behandeln (siehe EN 1993-1-6).

1.2 Annahmen

(1) Sofern nicht speziell angegeben, gelten die Festlegungen nach EN 1990, EN 1991 (alle Teile) und EN 1993 (alle Teile).

(2) Die Bemessungsverfahren nach prEN 1993-1-7 gelten, wenn:

- die Ausführungsgüte den Festlegungen nach EN 1090-2 entspricht; und
- die verwendeten Baustoffe und Bauprodukte den Festlegungen nach den einschlägigen Teilen der Normenreihe EN 1993 (alle Teile) oder nach den einschlägigen Werkstoff- und Produktspezifikationen entsprechen.

(3) Die Festlegungen nach diesem Dokument gelten für Werkstoffe, die die Festlegungen nach EN 1993-1-4 und EN 1993-1-10 bezüglich Spröbruchversagen erfüllen.

(4) In diesem Dokument wird davon ausgegangen, dass Windlasten, Erdbebeneinwirkungen und Lasten aus Schüttgütern im Allgemeinen als vorwiegend ruhende Lasten angesehen werden können.

(5) Dynamische Wirkungen werden in anderen einschlägigen Anwendungsnormen von EN 1993 oder EN 1998 behandelt, einschließlich der Versagensfolgen bei Ermüdung. In diesem Teil werden die Schnittgrößen aus dynamischem Verhalten als vorwiegend ruhend behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind zitierte Dokumente aufgeführt, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze) und Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze) in Bezug genommenen werden.

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1090-4, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

ISO 8930, *General principles on reliability for structures — Vocabulary*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1993-1-1, ISO 8930 und die folgenden Begriffe.

3.1 Begriffe

3.1.1 Konstruktive Ausbildung und Abmessungen

3.1.1.1

Blech

tragendes Bauteil, das im Allgemeinen zwei große Maße a und b und ein gleichförmiges, deutlich kleineres Maß t aufweist und das so geformt ist, dass die beiden großen Maße in einer einzelnen Ebene (Flachblech) liegen

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm ist es erforderlich, dass die Verhältnisse a/t und b/t den Wert 20 überschreiten (ausgenommen wie nachstehend angegeben). Wenn die Randbedingungen und die Geometrie so beschaffen sind, dass das Blech sich nur in eine Richtung biegt, ist ihre Behandlung nicht die Hauptaufgabe dieser Norm, die darin enthaltenen Festlegungen können jedoch verwendet werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Unter besonderen Umständen (z. B. der Rand b_2 einer trapezförmigen Platte) kann das kleinere Maß b kleiner als $20t$ sein.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein Blech, für das die vorstehenden Einschränkungen gelten, wird als ein dünnwandiges Blech bezeichnet.

Anmerkung 4 zum Begriff: Übliche allgemeine Formen von Blechbaugruppen nach dieser Norm sind in Bild 3.1 und Bild 3.3 dargestellt. Diese werden als Baugruppen aus Blechen mit rechteckiger, trapezförmiger oder dreieckiger Form kategorisiert, wobei jedes Blechelement mindestens eine Symmetrieachse besitzt.

3.1.1.2

Blechbaugruppe

Konstruktion aus Flachblechen, die so miteinander verbunden sind (siehe Bild 3.1), dass die Baugruppe mindestens eine Symmetrieachse aufweist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die einzelnen Bleche können unausgesteift oder ausgesteift sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das in Bild 3.2 angegebene Koordinatensystem dient nur zur Angabe der Richtungen. Der Anwender kann jede geeignete Stelle für den Ursprung wählen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Maße a , b und c nach Bild 3.1 beziehen sich auf die vollständige Blechbaugruppe, um die Anwendung dieser Norm bezüglich gängiger Ausrichtungen des Blechs zu verdeutlichen. Wenn ein Einzelblech an anderer Stelle in der Norm beschrieben wird, steht a für die längere Seite und b für die kürzere Seite, auch wenn diese im globalen System als c definiert ist.

3.1.1.3

Plattengeometrie

Geometrien von Einzelblechen, die als rechteckig, trapezförmig oder dreieckig definiert sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der rechteckigen Form ist die längere Seite als das Maß a festgelegt. Bei einer anderen Form als der rechteckigen wird/werden die Seite(n), die parallel zur Symmetrieachse ist/sind, durch das Maß a festgelegt (siehe Bild 3.2). Trapezförmige und dreieckige Bleche werden in dieser Norm nur behandelt, wenn sie eine Symmetrieachse aufweisen.

3.1.1.4

Platte

Flachblech, nicht ausgesteift oder ausgesteift

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Platte kann als ein Einzelteil einer Blechbaugruppe betrachtet werden (siehe Bild 3.1). Die Benennung kann auch für ausgesteifte Bleche mit Quer- und Längssteifen verwendet werden, die Einzelfelder (siehe 3.1.1.11) begrenzen.

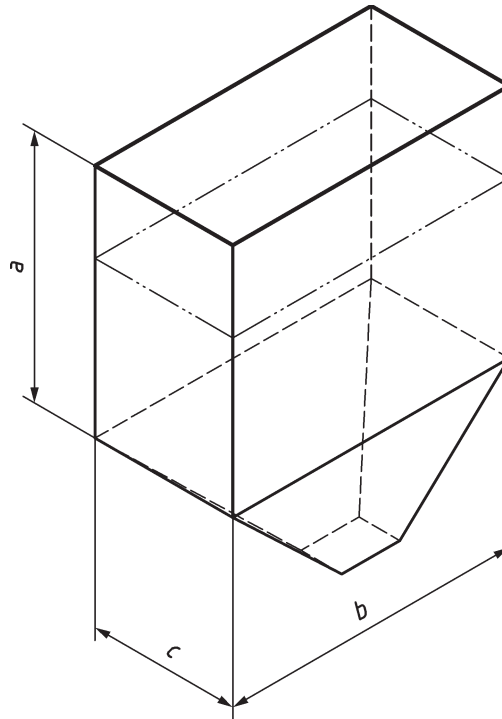


Bild 3.1 — Übliche Anordnung einer aus einzelnen, d. h. nicht ausgesteiften und ausgesteiften Platten zusammengesetzten Blechbaugruppe

3.1.1.5

Seitenverhältnis

Verhältnis der Länge der kürzeren Seite zur Länge der längeren Seite ($\psi = b/a \leq 1,0$) bei rechteckigen Blechen oder Platten

3.1.1.6

Steife

Flachblech oder prismatisches Bauteil, das an einer Platte befestigt wird, um deren Biegetragfähigkeit zu erhöhen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie kann auch dazu dienen, das Bauteil für die Aufnahme lokaler Lasten zu verstärken.

3.1.1.7

Längssteife

Steife an einer rechteckigen Platte, bei der die Längsachse der Steife an der längeren Seite a der Platte ausgerichtet ist (siehe Bild 6.8)

3.1.1.8

Quersteife

Steife an einer rechteckigen Platte, bei der die Längsachse der Steife an der kürzeren Seite b der Platte ausgerichtet ist (siehe Bild 6.8)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bezeichnung „Quersteife“ wird üblicherweise bei Blechen verwendet, die ausschließlich durch Membrankräfte beansprucht werden, um Steifen zu bezeichnen, die rechtwinklig zur Richtung einer Hauptmembrankraft verlaufen. Im Gegensatz dazu definieren die terminologischen Einträge in 3.1.1.7 und 3.1.1.8 die Längs- und Querrichtungen lediglich im Sinne der Blechform, weil diese Bleche hauptsächlich durch Biegung in beide Richtungen beansprucht werden.

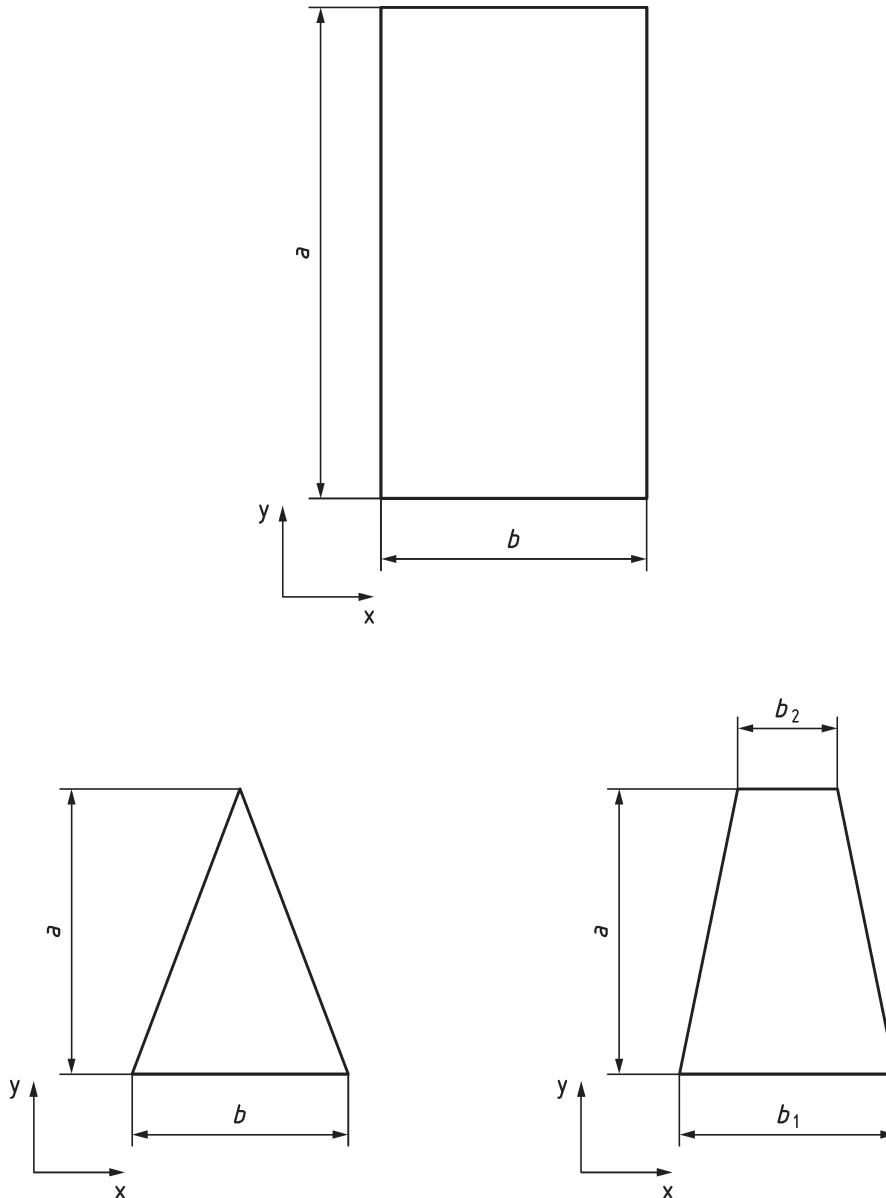


Bild 3.2 — Maße und lokale Koordinatensysteme für rechteckige, dreieckige und trapezförmige Bleche

3.1.1.9

einseitig ausgesteiftes Blech

rechteckiges Blech, an dem parallele Steifen befestigt sind, deren Längsachsen in einer Richtung verlaufen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Richtung kann Längs- oder Querrichtung sein.

3.1.1.10

bidirektional ausgesteiftes Blech

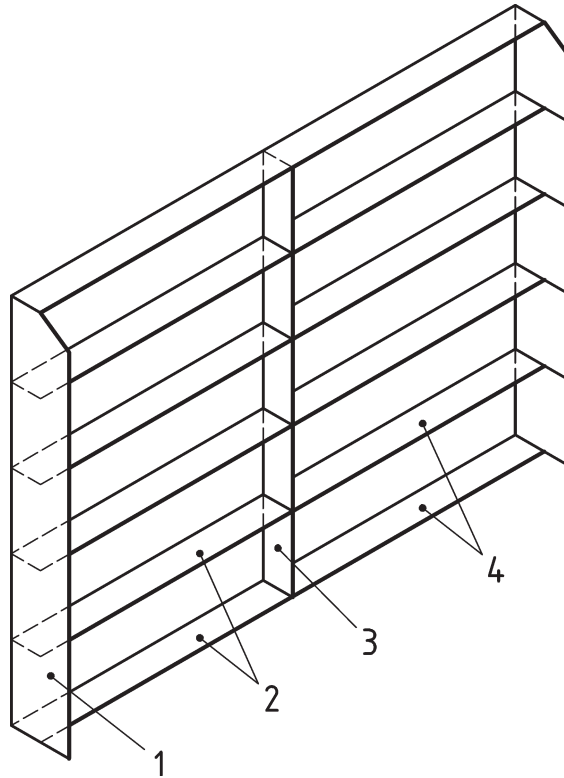
rechteckiges Blech, an dem zwei Gruppen paralleler Steifen in den beiden Hauptrichtungen befestigt sind, deren Längsachsen rechtwinklig zueinander verlaufen

3.1.1.11

Einzelfeld

Teil eines ausgesteiften Blechs, das zwischen Steifen liegt und somit ein örtlich durch Steifen begrenztes, nicht ausgesteiftes Blechfeld ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bemessung der Einzelfelder wird in den Regeln nach dieser Norm in 6.6 und in Abschnitt 9 und Abschnitt 10 behandelt, in denen ausgesteifte Bleche behandelt werden.



Legende

- 1 Endsteife in Querrichtung
- 2 Längssteifen
- 3 Zwischensteife in Querrichtung
- 4 Einzelfelder

Bild 3.3 — Beispiel für ein rechteckiges ausgesteiftes Blech

3.1.2 Versagensmechanismen

3.1.2.1

Beulen

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem das Tragwerk infolge Druck- und/oder Schubbeanspruchung seine Stabilität verliert

3.1.2.2

zyklisches Plastizieren

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem wiederholte Belastungszyklen zu wiederholter plastischer Dehnung führen

Anmerkung 1 zum Begriff: Zwei verschiedene Versagensarten können auftreten: wiederholtes Plastizieren und Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl.

3.1.2.3

Ermüdung bei hoher Lastspielzahl

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem eine hohe Anzahl Be- und Entlastungszyklen und elastischen Nennspannungen einen Ermüdungsriß auslösen

3.1.2.4

Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem wiederholte alternierende plastische Dehnungszyklen die Plastizität des Materials erschöpfen

3.1.2.5

plastisches Versagen

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem das Tragwerk die Fähigkeit zur weiteren Lastaufnahme durch Ausbildung übermäßiger plastischer Verformungen verliert

3.1.2.6

wiederholtes Plastizieren

Ratcheting

progressive Zunahme plastischer Dehnungen bis zum Versagen in Richtung der mittleren Spannung, die durch unsymmetrische Spannungsspiele verursacht wird

3.1.2.7

Bruch unter Zugbelastung

Zugbruch

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem eine Trennung der Teile einer Platte oder der Knotenlinien zwischen Platten infolge Zugbeanspruchung auftritt

3.1.3 Einwirkungen

3.1.3.1

Querlast

Druckbelastung, die das Blech in Normalrichtung zu seiner Mittelfläche beansprucht (senkrecht zu den beiden Maßen a und b)

3.1.3.2

Belastung in Plattenebene

Kräfte, die parallel zur oder in der Ebene der Mittelfläche eines Blechs wirken

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kräfte können durch Verbindungen zwischen Platten oder durch Reibungslasten auf die Blechoberfläche oder durch Temperaturwirkungen aufgebracht werden oder wenn große Verschiebungen dazu führen, dass ein Teil der auf eine einzelne Platte wirkenden Querlasten durch Kräfte in ihrer Ebene aufgenommen wird.

3.1.4 Begriffe für Berechnungsverfahren

3.1.4.1

rechnergestützte Berechnung

Verwendung von Analyse-Software (üblicherweise Finite Elemente) zur Durchführung einer numerischen Tragwerksberechnung

Anmerkung 1 zum Begriff: Abhängig von den im numerischen Modell übernommenen Annahmen, kann sie unterschiedliche Formen annehmen (siehe 6.1).

3.1.4.2

Tragwerksberechnung

Berechnung, die das gesamte Tragwerk umfasst, anstatt einzelne Tragwerksteile getrennt zu behandeln

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese ist üblicherweise eine rechnergestützte Berechnung.

3.1.4.4

Membran- und einfache Biegeberechnung

MSBA, en: membrane and simple bending analysis

Berechnung unter Verwendung einfacher Statistik von Membrankräften und einfacher Biegeberechnung, die jedes Blech oder jede Platte getrennt behandelt (siehe 6.1)

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole nach EN 1990 und EN 1993-1-1 und die folgenden Symbole.

ANMERKUNG 1 Symbole und Bezeichnungen, die nachstehend nicht aufgeführt sind, werden bei ihrem ersten Auftreten im Text erklärt.

Lateinische Großbuchstaben:

E	Elastizitätsmodul;
F	allgemeine Einwirkung;
F_{Ed}	einer Bemessungssituation entsprechende Einwirkung auf ein komplettes Tragwerk (Bemessungswerte);
F_{Rd}	Rechenwerte der Einwirkung im Zustand der höchsten Tragfähigkeit des Tragwerks (Bemessungswerte);
R	Tragfähigkeit des Tragwerks unter den Bemessungswerten von Lasten in einem spezifischen Lastfall;
R_{cr}	bezogener idealer Beulwiderstand (definiert als Lastfaktor auf die Bemessungslasten, ermittelt mit einer LBA-Berechnung);
R_k	bezogener charakteristischer Beulwiderstand (mit Indizes zur Identifizierung der Grundlage): definiert als Lastfaktor auf die Bemessungslasten, ermittelt mit dem Verhältnis (F_{Rk}/F_{Ed});
R_{pl}	bezogener plastischer Referenzwiderstand (definiert als Lastfaktor auf die Bemessungslasten, ermittelt mit einer MNA-Berechnung);
R_{plf}	Verhältnis des Widerstands gegen plastisches Versagen (als Lastfaktor auf Bemessungslasten mit GMNA-Berechnung festgelegt);
R_{GNA}	in einer GNA-Berechnung bestimmte Knickwiderstandszahl;
R_{GMNA}	in einer GMNA-Berechnung bestimmte Knickwiderstandszahl;
R_{GMNIA}	in einer GMNIA-Berechnung (üblicherweise als R_k) bestimmte Knickwiderstandszahl.

Lateinische Kleinbuchstaben:

a	Länge eines/einer rechteckigen Blechs bzw. Platte (längeres Maß) oder Länge eines/einer symmetrischen dreieckigen oder trapezförmigen Blechs bzw. Platte, das/die parallel zur Symmetrieachse ist, siehe Bild 3.2;
b	Breite eines/einer rechteckigen Blechs bzw. Platte (kürzeres Maß) oder Grundseite eines/einer symmetrischen dreieckigen Blechs bzw. Platte, siehe Bild 3.2;
b_1	Länge der längeren Seite in Normalrichtung zur Symmetrieachse in symmetrischen trapezförmigen Blechen oder Platten, siehe Bild 3.2;
b_2	Länge der kürzeren Seite in Normalrichtung zur Symmetrieachse in symmetrischen trapezförmigen Blechen oder Platten, siehe Bild 3.2;

e	Exzentrizität e der äquivalenten Normalkraft N_{Ed} im Blech und der Steifenbaugruppe bezogen auf den Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts;
f_y	Fließgrenze oder 0,2-%-Dehngrenze bei einem Werkstoff mit einer nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Kurve;
t	gleichmäßige Blechdicke;
x_e	Ausschlussabstand (en: exclusion distance).

ANMERKUNG 2 Das Maß „ a “ wird in gängigen Texten zu Blechen mit unterschiedlichen Bedeutungen definiert, wodurch es keine einfache allgemeingültige Bezeichnung gibt. In diesem Dokument dient die Verwendung von „ a “ als der längeren Seite eines rechteckigen Plattenelements der Übereinstimmung mit anderen Eurocodes, insbesondere mit EN 1993-1-1. Die Bezeichnung für dreieckige und trapezförmige Bleche wird nur in diesem Dokument verwendet.

Griechische Großbuchstaben:

Δ	mathematischer Operator, der eine Änderung eines Werts bezeichnet.
----------	--

Griechische Kleinbuchstaben:

ψ	Seitenverhältnis eines rechteckigen Blechs bzw. Platte ($b/a \leq 1,0$);
ε	Dehnung;
ρ	Abminderungsbeiwert für Plattenbeulen;
ν	Querkontraktionszahl;
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit;
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für den plastischen Widerstand oder das Fließen des Materials;
γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit bezüglich Standsicherheit (Beulen);
γ_{M2}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beständigkeit gegen Bruch unter Zugbelastung, einschließlich des Nettoquerschnitts in Konstruktionen mit Schraubverbindungen;
γ_{M4}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beständigkeit gegen zyklisches Plastizieren;
γ_{M5}	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Verbindungen;
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beständigkeit gegen Ermüdung.

Membranschnittgrößen in einem Blech (siehe Bild 3.4):

n_x	direkte Membranschnittgröße, die die Kraft je Längeneinheit der Breite ist, die in x -Richtung in der Blechebene wirkt;
n_y	direkte Membranschnittgröße, die die Kraft je Längeneinheit der Breite ist, die in y -Richtung in der Blechebene wirkt;
n_{xy}	Membranschnittgröße unter Schubbeanspruchung, die die Schubkraft je Längeneinheit der Breite ist, die in der Blechebene wirkt;

Membranspannungen in einem Blech (siehe Bild 3.4):

σ_{mx}	Membrannormalspannung in x -Richtung infolge der breitenbezogenen Membrannormalkräfte n_x ;
σ_{my}	Membrannormalspannung in y -Richtung infolge der breitenbezogenen Membrannormalkräfte n_y ;
τ_{mxy}	Membranschubspannung infolge der breitenbezogenen Membranschubkräfte n_{xy} .

Biege- und Torsionsschnittgrößen in einem Blech (siehe Bild 3.5):

m_x	Biegemoment je Längeneinheit der Breite, das Normalspannungen in x -Richtung der Blechebene hervorruft;
m_y	Biegemoment je Längeneinheit der Breite, das Normalspannungen in y -Richtung der Blechebene hervorruft;
m_{xy}	Torsionsbiegemoment je Längeneinheit der Breite, das Schubspannungen in der Blechebene hervorruft;

Querschubschnittgrößen in einem Blech (siehe Bild 3.5):

q_x	Querschubkraft je Längeneinheit der Breite in Zusammenhang mit Biegespannungen in x -Richtung;
q_y	Querschubkraft je Längeneinheit der Breite in Zusammenhang mit Biegespannungen in y -Richtung;

Biege- und Schubspannungen in einem Blech infolge Biegung (siehe Bild 3.5):

σ_{bx}	Biegespannung in x -Richtung infolge des breitenbezogenen Biegemomentes m_x ;
σ_{by}	Biegespannung in y -Richtung infolge des breitenbezogenen Biegemomentes m_y ;
τ_{bxy}	Schubspannung infolge des breitenbezogenen Torsionsmomentes m_{xy} ;

Querschubspannungen in einem Blech:

τ_{bxz}	Schubspannung infolge der breitenbezogenen Querschubkräfte q_x infolge Biegung;
τ_{byz}	Schubspannung infolge der breitenbezogenen Querschubkräfte q_y infolge Biegung.

ANMERKUNG 3 Im Allgemeinen gibt es acht Schnittgrößen an jedem Punkt eines Blechs. In allen Blechen, die im Anwendungsbereich dieses Dokuments liegen, sind die Querschubspannungen τ_{bxz} und τ_{byz} infolge q_x und q_y im Vergleich mit den anderen Spannungskomponenten vernachlässigbar, und deshalb können sie bei der Beurteilung der Tragfähigkeit eines Einzelblechs unberücksichtigt bleiben, obwohl sie für die Berechnung des Spannungszustands erforderlich sind. Für die Tragfähigkeitsbeurteilung sind nur sechs Schnittgrößen an jedem Punkt erforderlich.

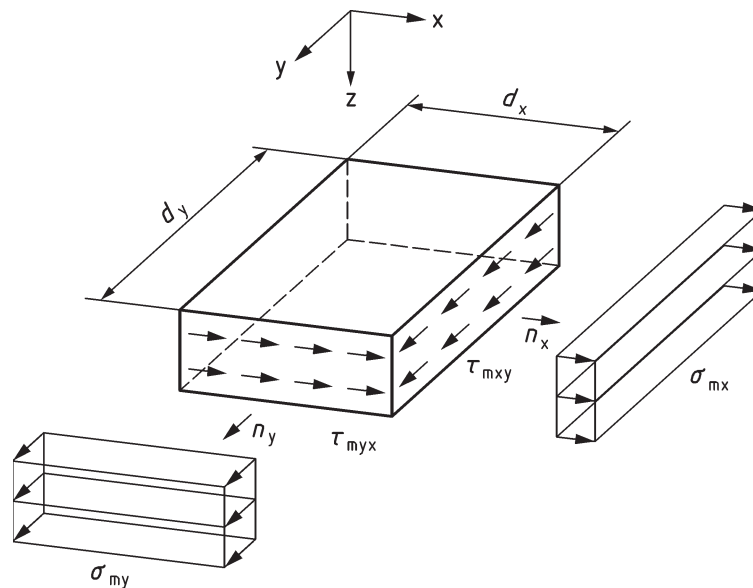


Bild 3.4 — Membranspannungen und Membranschnittgrößen in einem Blech

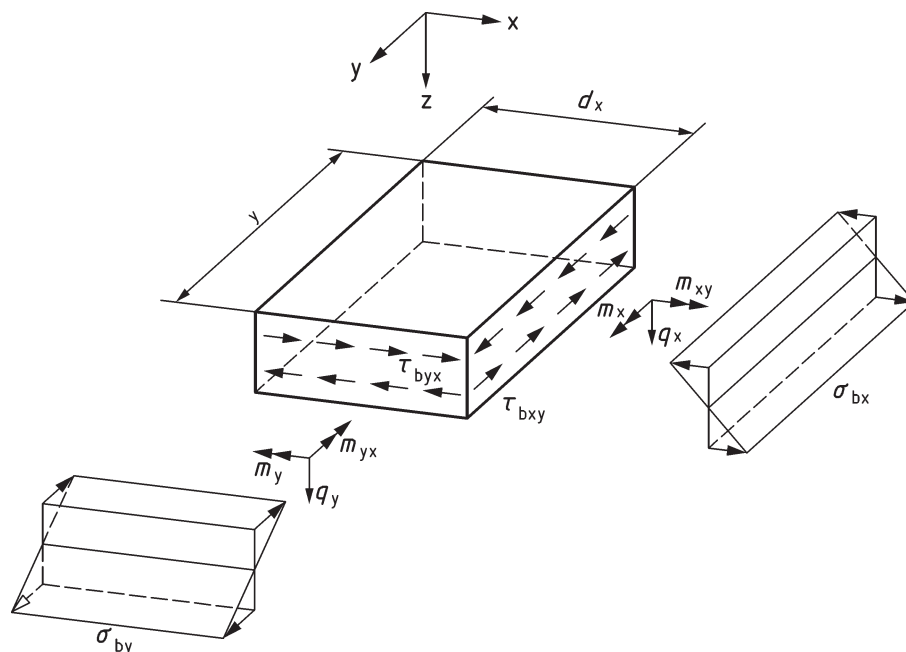


Bild 3.5 — Biegespannungen und Biegemomente in einem Blech

4 Grundlagen der Bemessung

4.1 Allgemeines

(1) Die Bemessung von Tragwerken aus Stahl muss nach den in EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) angegebenen allgemeinen Regeln und nach den besonderen Vorschriften für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Stahl in den anderen maßgebenden Teilen der Normenreihe EN 1993-1 (alle Teile) ausgeführt werden.

(2) Tragwerke aus Stahl, die nach diesem Dokument bemessen wurden, müssen nach EN 1090-2 und EN 1090-4 ausgeführt werden, wobei die verwendeten Baustoffe und -produkte den entsprechenden Teilen von EN 1993 oder den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen entsprechen müssen.

(3) Ein Blech oder eine Blechbaugruppe müssen gegen Grenzzustände der Tragfähigkeit nach 7.1 und gegen Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit ihrem Verwendungszweck und den maßgebenden Anwendungs- und Produktnormen entsprechend bemessen werden.

(4) Diese Norm ist dazu vorgesehen, zusammen mit EN 1993-1-1, EN 1993-1-2, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-5, EN 1993-1-9, EN 1993-1-14 und den maßgebenden anwendungsbezogenen Teilen der Normenreihe EN 1993, die EN 1993-4-1 für Silos umfasst, angewendet zu werden.

(5) Eine Blechbaugruppe darf unter Anwendung von versuchsgestützter Bemessung dimensioniert werden. Soweit zutreffend, sind Anforderungen in der geeigneten Anwendungsnorm festgelegt.

ANMERKUNG Im Fall versuchsgestützter Bemessung können zusätzliche Informationen und Anwendungsregeln in einem Nationalen Anhang angegeben werden.

(6) Alle Einwirkungen sollten unter Verwendung ihrer Bemessungswerte nach EN 1990 eingeführt werden.

(7) Wird eine ausgesteifte Blechbaugruppe in Einzelbleche oder -platten unterteilt, sollten die für die Steifen in den Bemessungsberechnungen zugrunde gelegten Randbedingungen in den Zeichnungen und der Projektbeschreibung aufgezeichnet werden, um sicherzustellen, dass die Verbindungen eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen.

4.2 Zuverlässigkeitsmanagement

(1) Die Ausführungsklassen für eine Blechbaugruppe sollten nach EN 1993-1-1 oder in Übereinstimmung mit geeigneten Anwendungs- oder Produktnormen gewählt werden.

(2) Die Regeln für die Bemessung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit in dieser Norm beruhen auf einer Zuverlässigkeitsklasse 2 nach EN 1990. Wenn unterschiedliche Zuverlässigkeitsniveaus erforderlich sind, sollten diese durch geeignete Wahl des Qualitätsmanagements bei Bemessung und Ausführung nach EN 1990, EN 1090-2 und EN 1090-4 erreicht werden. Wenn eine Anwendungsnorm Festlegungen für unterschiedliche Zuverlässigkeitsklassen enthält, dürfen diese Festlegungen übernommen werden (z. B. EN 1993-4-1).

4.3 Bemessungswerte geometrischer Daten

(1) Die Dicke t eines beliebigen Blechs oder Teils eines Blechs innerhalb einer Blechbaugruppe sollte der maßgebenden Anwendungsnorm entsprechend angesetzt werden. In Ermangelung einer maßgebenden Anwendungsnorm sollte die Nennblechdicke verwendet werden, die durch einen geeigneten Korrosions- oder Abriebverlust abgemindert wird.

(2) Die Mittelfläche jedes Blechs oder jeder Platte sollte als die Bezugsfläche für einwirkende Lasten betrachtet werden, es sei denn, in anderen Normen oder Anwendungsregeln ist etwas anderes angegeben.

4.4 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen

(1) Toleranzwerte für die geometrischen Abweichungen jeder Blech- oder Plattenoberfläche von den Nennwerten sind in EN 1090-2 und in den maßgebenden Produkt- und Anwendungsnormen festgelegt.

(2) Wenn der zu betrachtende Grenzzustand der Grenzzustand Beulen (LS3, siehe 7.4) ist, sollten die geometrischen Toleranzen nach EN 1090-2 eingehalten werden. Die Berechnung der Blechbaugruppe ist nicht erforderlich, um diese Toleranzen als Imperfektionen einzuschließen, es sei denn, es wird eine GMNIA-Berechnung verwendet.

4.5 Dauerhaftigkeit

(1) Die Festlegungen nach EN 1993-1-1 zur Dauerhaftigkeit sollten angewendet werden.

4.6 Nachweis durch das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

(1) Wenn tragende Eigenschaften versuchsgestützt bestimmt werden, sollten die Anforderungen und Verfahren nach EN 1990 übernommen werden.

(2) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für verschiedene Grenzzustände sollten Tabelle 4.1 entnommen werden.

Tabelle 4.1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Tragfähigkeit

Beständigkeit gegen Versagensart	Relevantes γ
Widerstand gegen plastisches Versagen oder Fließen	γ_{M0}
Widerstand gegen Instabilität/Beulen	γ_{M1}
Widerstand gegen Bruch	γ_{M2}
Widerstand gegen zyklisches Plastizieren	γ_{M4}
Widerstand gegen Ermüdung	γ_{Mf}

(3) Für Bleche oder Blechbaugruppen, die nicht durch die Festlegungen von EN 1993-4-1 behandelt werden oder in Ermangelung von Anwendungsnormen für die Form der betroffenen Konstruktion oder falls die Anwendungsnorm keine relevanten Werte festlegt, werden die Zahlenwerte für γ_M nach Tabelle 4.2 empfohlen.

Tabelle 4.2 (NDP) — Werte der Teilsicherheitsbeiwerte für die Tragfähigkeit

$\gamma_{M0} = 1,00$	$\gamma_{M1} = 1,10$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$\gamma_{M4} = 1,00$	γ_{Mf} siehe EN 1993-1-9
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	---------------------------------

ANMERKUNG Die Werte von jedem der Teilsicherheitsbeiwerte γ_M sind in Tabelle 4.2 angegeben, es sei denn, der Nationale Anhang enthält andere Werte.

5 Werkstoffe und Geometrie

5.1 Werkstoffeigenschaften

(1) Dieses Dokument behandelt die Bemessung von Blechen und Blechbaugruppen aus Stahl, die den in EN 1993-1-1 aufgeführten Produktnormen und den maßgebenden Anwendungsnormen entsprechen.

(2) Wenn kaltgeformte Profiltafeln oder kaltgeformte Steifen verwendet werden, sollten die Materialeigenschaften von kaltgeformten Profiltafeln und Steifen nach EN 1993-1-3 oder der geeigneten Produktnorm ermittelt werden.

(3) Die Werkstoffeigenschaften von nichtrostenden Stählen sollten EN 1993-1-4 oder der geeigneten Produktnorm entnommen werden.

(4) In einer rechnergestützten Berechnung unter Verwendung von Materialien mit einer nichtlinearen Spannung-Dehnung-Beziehung sollte die 0,2-%-Dehngrenze verwendet werden, um die Fließgrenze f_y in allen relevanten Gleichungen darzustellen. Die Spannungs-Dehnungs-Kurve sollte nach EN 1993-1-14 modelliert werden.

(5) Wenn ein Material mit einer nichtlinearen Spannung-Dehnung-Kurve betroffen ist und eine Beulberechnung unter der Spannungsbemessung durchgeführt wird (siehe 8.4 und 9.4) und die besonderen Festlegungen für nichtrostenden Stahl nicht gelten, sollte anstelle des Anfangstangentenmoduls E ein reduzierter Wert für den E -Modul eingesetzt werden. Falls kein besseres Verfahren zur Verfügung steht, sollte der linear-elastische Spannungszustand untersucht werden und der Spitzenwert der Von-Mises-Vergleichsspannung sollte aus den Membranspannungskomponenten ausschließlich bei einem Abstand von jedem Rand, der größer ist als x_e , der mit $10t$ angesetzt werden darf, erfolgen. Der mit einem einachsigen Zugversuch ermittelte Tangentenmodul, der dieser Spannung entspricht, sollte danach für die Schätzung der quasi-idealen Verzweigungslast oder des quasi-idealen elastischen Beulwiderstands verwendet werden.

ANMERKUNG Obwohl das dickste in diesem Dokument behandelte Blech $b/t = 20$ beträgt und somit $10t$ die halbe Blechbreite ist, sind derart dicke Bleche nicht anfällig für Beulversagen, so dass dieser Ausschlussabstand für Beulen nicht zu restriktiv ist.

6 Statische Berechnung

6.1 Berechnungsmöglichkeiten

6.1.1 Allgemeines

(1) Diese Norm geht davon aus, dass eine vollständige Blechbaugruppe häufig mit einer rechnergestützten Tragwerksberechnung berechnet wird (zum Beispiel, mithilfe von Computerprogrammen, die auf der Finite-Elemente-Methode basieren). Bei einfachen Blechbaugruppen ist es jedoch zulässig, das Verfahren mit statischem Gleichgewicht und die Membran- und einfache Biegeberechnung (MSBA) anzuwenden (siehe Anhang A).

(2) Eine oder mehrere der folgenden Berechnungsmöglichkeiten, siehe Tabelle 6.1, sollten abhängig vom Grenzzustand und anderen Überlegungen verwendet werden:

- Membran- und einfache Biegeberechnung (MSBA), siehe 6.1.2;
- lineare elastische statische Berechnung (LA), siehe 6.1.3;
- lineare elastische Verzweigungseigenwert-Berechnung (LBA), siehe 6.1.4;
- geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA), siehe 6.1.5;
- materiell nichtlineare Berechnung (MNA), siehe 6.1.6;
- geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA), siehe 6.1.7;
- geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA) siehe 6.1.8.

Tabelle 6.1 — Berechnungsmöglichkeiten für Bleche oder Platten und Blechbaugruppen

Berechnungsmöglichkeit	Behandlung	Werkstoffverhalten	Geometrie
Membran- und einfache Biegeberechnung (MSBA)	Membrangleichgewicht für Membrankräfte; einfache Biegebehandlung bei normal zu den Blechen wirkenden Kräften	Lagesicherheit allein	perfekt
Lineare elastische Berechnung (LA)	lineares Biegen und Recken	linear	perfekt
Lineare elastische Verzweigungseigenwert-Berechnung (LBA)	lineares Biegen und Recken	linear	perfekt
Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA)	nichtlinear	linear	perfekt
Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)	lineares Biegen und Recken	ideal elastisch-plastisch	perfekt
Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA)	nichtlinear	nichtlinear	perfekt
Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA)	nichtlinear	nichtlinear	imperfekt

6.1.2 Membran- und einfache Biegeberechnung (MSBA)

(1) Eine Membran- und einfache Biegeberechnung darf verwendet werden, um jedes Blech oder jede Platte getrennt zu behandeln, wobei eine einfache einseitige Balkenbiegung als horizontaler Streifen in jedem Blech oder jeder Platte behandelt wird und nur einfache Endschubkräfte in einer Platte als Membrankräfte in das/die angrenzende Blech oder Platte übertragen werden.

(2) Eine Membran- und einfache Biegeberechnung sollte nur unter der Voraussetzung verwendet werden, dass die Knotenlinien von Blechen für die Übertragung der Kräfte in den Blechen in Auflagerreaktionen geeignet sind ohne signifikante lokale Spannungseinwirkungen zu verursachen. Für Festlegungen und Anmerkungen zu Randbedingungen siehe 6.2.4.

(3) Eine Membran- und einfache Biegeberechnung erfüllt im Allgemeinen nicht die Anforderungen an die Verträglichkeit von Verformungen an Grenzen oder im Blech oder der Platte oder zwischen Blechen oder Platten, die entweder unterschiedlich geformt sind oder durch unterschiedliche Belastungsmuster beansprucht werden. Die sich daraus ergebenden Membrankräfte erfüllen jedoch die Gleichgewichtsanforderungen an den Grenzzustand der Tragfähigkeit des plastischen Versagens (LS1).

6.1.3 Lineare elastische statische Berechnung (LA)

(1) In der linearen elastischen statischen Berechnung werden alle Komponenten als ein linear-elastisches Werkstoffgesetz aufweisend behandelt, und es wird angenommen, dass die Verschiebungen des Blechs oder der Blechbaugruppe der Theorie kleiner Verformungen (unveränderte Geometrie unter Last) unterliegen.

(2) Eine LA-Berechnung erfüllt Anforderungen an die Verträglichkeit der Verformungen zwischen Blechen oder Platten sowie an das Gleichgewicht. Die ermittelten Membran- und Biegeschnittkräfte erfüllen die Anforderungen an Grenzzustände der zyklischen Belastung (siehe 7.3 und 7.5).

(3) Diese Berechnung kann mit algebraischen Gleichungen (siehe Anhang A und Anhang B) oder mit einer rechnergestützten Berechnung erfolgen.

(4) Wird eine rechnergestützte Berechnung vorgenommen, sollten Modellierung, Netz, Validierungs- und Nachweiskriterien nach EN 1993-1-14 eingehalten werden.

6.1.4 Lineare elastische Verzweigungseigenwert-Berechnung (LBA)

(1) Das Ergebnis einer LBA-Berechnung liefert den bezogenen idealen elastischen Beulwiderstand, der als der Lastverstärkungsfaktor R_{cr} zum Bemessungswert der Lasten F_{Ed} interpretiert werden kann und es kann für den Nachweis des Grenzzustands LS3 verwendet werden. Das linear-elastische Werkstoffgesetz und die Theorie kleiner Verformungen werden angewendet. Der kleinste Eigenwert für Beulen R_{cr} ist der niedrigste Lastverstärkungsfaktor auf die Lasten F_{Ed} , bei dem sich das betrachtete Tragwerk oder Bauteil in einen elastischen Knickfall verformen kann, unter der Annahme, dass sich weder die Geometrie noch die Belastungsrichtung oder das Werkstoffverhalten ändert. Imperfektionen aller Art werden außer Acht gelassen. Die Bezeichnung „ideal elastisch“ ist in diesem Dokument den Ergebnissen dieser Berechnung (linear elastisch mit unveränderter Geometrie) vorbehalten.

(2) Diese Berechnung darf mit einer rechnergestützten Berechnung oder mit algebraischen Gleichungen durchgeführt werden.

(3) Wird eine rechnergestützte Berechnung vorgenommen, sollten Modellierung, Netz, Validierungs- und Nachweiskriterien nach EN 1993-1-14 eingehalten werden.

6.1.5 Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA)

(1) Eine GNA-Berechnung erfüllt sowohl die Bedingungen des Gleichgewichtes als auch der Verformungskompatibilität, und zwar unter Einschluss der Geometrieveränderung des elastischen Tragwerks, die von der Belastung verursacht wird. Das ermittelte Spannungsfeld erfüllt die Anforderungen an Grenzzustände der zyklischen Belastung (LS2 und LS4). Das Verfahren ist ausschließlich rechnergestützt.

(2) Wenn durch Lasten verursachte Änderungen der Geometrie signifikante Umlagerungen im elastischen Spannungszustand hervorrufen, darf eine GNA-Berechnung zur Bestimmung des zugrundeliegenden Gleichgewichtszustands bei gleichzeitiger Überprüfung des Grenzzustands LS1 angewendet werden.

(3) Wenn Druck- oder Schubspannungen in gewissen Teilen der Blechbaugruppe dominieren, liefert eine GNA-Berechnung die nichtlineare elastische Tragfähigkeit oder Knicklast des perfekten Tragwerks, einschließlich Änderungen der Geometrie, die bei der Überprüfung des Grenzzustands LS3 hilfreich sein kann.

(4) Falls dieses Berechnungskonzept für eine Beullastbewertung verwendet wird, sollten die Eigenwerte des Systems überprüft werden, um sicherzustellen, dass der numerische Prozess tatsächlich eine Verzweigung im Lastpfad erkennt.

(5) Modellierung, Netz, Validierungs- und Nachweiskriterien nach EN 1993-1-14 sollten eingehalten werden.

6.1.6 Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)

(1) Das Ergebnis einer MNA-Berechnung liefert die plastische Referenzlast, die als der Lastverstärkungsfaktor R_{pl} bezüglich des Bemessungswerts der Lasten F_{Ed} formuliert werden kann. Diese Berechnung liefert den bezogenen plastischen Referenzwiderstand R_{pl} .

(2) Eine MNA-Berechnung kann für den Nachweis des Grenzzustands LS1 verwendet werden.

(3) Diese Berechnung darf mit einer rechnergestützten Berechnung oder mit algebraischen Gleichungen durchgeführt werden (siehe Anhang C).

(4) Wird eine rechnergestützte Berechnung vorgenommen, sollten Modellierung, Netz, Validierungs- und Nachweiskriterien nach EN 1993-1-14 eingehalten werden.

(5) Eine MNA-Berechnung kann auch durchgeführt werden, um das plastische Dehnungsinkrement $\Delta\epsilon$ während eines Lastspiels zyklischer Belastung zu ermitteln, das für den Nachweis des Grenzzustands LS2 verwendet werden darf.

6.1.7 Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA)

(1) Die Ergebnisse einer GMNA-Berechnung sind die geometrisch und materiell nichtlineare maximale Last der perfekten Struktur und das plastische Dehnungsinkrement, die für die Überprüfung auf die Grenzzustände LS1 und LS2 verwendet werden können. Das Verfahren ist ausschließlich rechnergestützt.

(2) Wenn Druck- oder Schubspannungen in einigen Teilen der Blechbaugruppe überwiegen, liefert eine GMNA-Berechnung die elastisch-plastische Beullast oder Bruchlast der perfekten Struktur, die bei der Überprüfung auf den Grenzzustand LS3 hilfreich sein kann.

(3) Falls dieses Berechnungskonzept für eine Beullastbewertung verwendet wird, sollten die Eigenwerte des Systems überprüft werden, um sicherzustellen, dass der numerische Prozess tatsächlich eine Verzweigung im Lastpfad erkennt.

(4) Modellierung, Netz, Validierungs- und Nachweiskriterien nach EN 1993-1-14 sollten eingehalten werden.

6.1.8 Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA)

(1) Ein GMNIA-Verfahren wird angewendet, wenn Druck- oder Schubspannungen in der Blechbaugruppe dominieren. Es liefert elastische Beullasten oder Bruchlasten der imperfekten Struktur, die beim Nachweis gegen den Grenzzustand LS3 verwendet werden können.

(2) Die in der Berechnung enthaltenen Imperfektionen sollten mit den Toleranzanforderungen nach EN 1090-2 und geeigneten Produktnormen in Einklang stehen.

(3) Andere Imperfektionen sollten auch berücksichtigt werden, wie Eigenspannungen, Verschleiß und Korrosion.

(4) Falls dieses Berechnungskonzept für eine Beullastbewertung verwendet wird, sollten die Eigenwerte des Systems überprüft werden, um sicherzustellen, dass der numerische Prozess tatsächlich eine Verzweigung im Lastpfad erkennt.

(5) Falls dieses Berechnungskonzept für eine Beullastbewertung verwendet wird, sollte zusätzlich immer eine GMNA-Berechnung der perfekten Blechbaugruppe durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Imperfektionsempfindlichkeit des Tragwerks erkannt wird.

(6) Modellierung, Netz, Validierungs- und Nachweiskriterien nach EN 1993-1-14 sollten eingehalten werden, jedoch sollten die Imperfektionen nach diesem Dokument festgelegt werden.

ANMERKUNG Weitere Hinweise zur Anwendung der GMNIA-Berechnung sind in EN 1993-1-14 und EN 1993-1-6 enthalten.

6.2 Modellierung einer Blechbaugruppe

6.2.1 Allgemeines

(1) Die meisten durch Querlasten beanspruchten Blechbaugruppen werden sich auf eine komplexe Weise verhalten, was insbesondere vom Auflagerungsverfahren abhängt. Es wird empfohlen, eine rechnergestützte Tragwerksberechnung zur Bestimmung des Spannungszustands im gesamten Tragwerk durchzuführen, es sei denn, Vereinfachungen der Modellierung können mit Vertrauen vorgenommen werden.

6.2.2 Blechbaugruppe

- (1) Jedes Blech in einer Blechbaugruppe sollte durch seine Mittelfläche repräsentiert werden.
- (2) Imperfektionen in den Blechen dürfen vernachlässigt werden, außer beim Nachweis des Grenzzustands Beulen (LS3).
- (3) Eine Baugruppe aus Blechen oder Platten sollte zu Berechnungszwecken nicht in getrennte Bleche unterteilt werden, es sei denn, die Randbedingungen wurden für jedes Blech so gewählt, dass sie die Interaktionen zwischen ihnen in einer Weise repräsentieren, die zu sicheren Schätzwerten des Widerstands führt.
- (4) Die Gesamtstabilität des gesamten Tragwerks aus Blechbaugruppen sollte, wie in den entsprechenden Teilen von EN 1993 ausgeführt, nachgewiesen werden.
- (5) Fußbalken (en: base beams) dienen mitunter zur Übertragung lokaler Auflagerkräfte in eine Blechbaugruppe. Bei der Beurteilung des Grenzzustands LS3 sollten diese nicht von der Blechbaugruppe, die sie stützen, getrennt werden.

ANMERKUNG 1 Die Biegesteifigkeit des Fußbalkens ist nahezu immer niedriger als die MembranstEIFigkeit des darüber befindlichen Blechs in kompatibler Verformung. Nur ein ausreichend steifer Fußbalken kann ein wirksames Auflager bilden, das eine relativ gleichmäßige Lastübertragung auf ein Flachblech erreichen kann, das in seiner eigenen Ebene spannungsbeaufschlagt ist.

ANMERKUNG 2 Die Querverwindungsfähigkeit (en: torsional flexibility) eines Fußbalkens kann zu einer signifikanten Verminderung seiner effektiven Steifigkeit bei der Stützung eines Blechs führen, sogar wenn er symmetrisch unterhalb des von ihm gestützten Blechs angeordnet ist.

ANMERKUNG 3 In den meisten Anwendungen, in denen diskrete Auflager unter einer Blechbaugruppe verwendet werden, erfolgt die Kraftübertragung durch Querkkräfte in Plattenebene, die in Nähe der Auflager und vertikalen Anschlüsse hoch sein können.

(6) Falls ein Blech oder eine Platte, an dem/der diskrete Steifen befestigt sind und das/die mit einer rechnergestützten Tragwerksberechnung der Blechbaugruppe behandelt wird, darf jedes einzelne ausgesteifte Blech als ein gleichmäßig orthotropes Blech behandelt werden, vorausgesetzt die Trennung der Steife ist gering im Vergleich mit dem Quermaß des Blechs.

(7) Falls ein Blech oder eine Platte mit profilierter Wandung (Wellen vertikal oder horizontal) mit einer rechnergestützten Tragwerksberechnung behandelt wird, darf jedes einzelne profilierte Blech als ein gleichmäßig orthotropes Blech behandelt werden, wenn die Wellenlänge der Profilierung im Vergleich mit dem Quermaß des Blechs klein ist.

ANMERKUNG Dieses Dokument enthält keine Festlegungen für die detaillierte Berechnung von Blechen mit profilierter Wandung. Nützliche Hinweise können EN 1993-1-3 und EN 1993-4-1 entnommen werden.

6.2.3 Behandlung von einzelnen Blechen oder Platten

(1) Wenn vereinfachte Berechnungen für die Blechbaugruppe verwendet werden, sollten die für jedes Blech angenommenen Randbedingungen zu sicheren Beurteilungen des Widerstands der einzelnen Bleche und ihrer Verbindungen (d. h. eingespannte oder nicht eingespannte Einzelbleche) führen. Wird diese Bedingung erfüllt, darf eine Blechbaugruppe in einzelne Bleche oder Platten unterteilt werden, die unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen. Die Interaktionen zwischen den Blechen oder Platten sollten untersucht werden, um die Einwirkungen zu bestimmen, die jedes Blech an seine benachbarten Bleche überträgt (siehe Bild 6.3 und Bild 6.4).

ANMERKUNG Die vorstehend aufgeführte Festlegung bezieht sich auf einfache Berechnungsverfahren und nicht auf die Ergebnisse globaler rechnergestützter Modelle von vollständigen Baugruppen, in denen diese Interaktionen bereits enthalten sind.

(2) Zum Erreichen einer sicheren Bemessung kann es notwendig sein, die Randbedingungen jedes einzelnen berechneten Blechs so festzulegen, dass sie seinen beurteilten Widerstand auf ein Mindestmaß begrenzen, auch wenn dadurch das Biegegleichgewicht zwischen Blechen oder Platten nicht erreicht wird.

ANMERKUNG Bei der Berücksichtigung angemessen sicherer Randbedingungen ist Sorgfalt erforderlich bei Blechen unter ungleichförmiger Belastung. Während bei gleichförmig belasteten, frei drehbar gelagerten Blechen der Ort in der Feldmitte möglicherweise der Ort des maximalen Moments bleibt, können unter ungleichförmiger Belastung (z. B. hydrostatische oder geostatische Lasten) die Momente an eingespannten Rändern erheblich sein.

(3) Wenn eine Membranzugkraft in der Ebene n_{lim} überschreitet, sollte jede Exzentrizität oder Stufe in der Mittelfläche eines Blechs in einer Beurteilung der Ermüdung (LS4) oder des zyklischen Plastizierens (LS2) infolge der signifikanten zusätzlichen Biegebeanspruchung, die aus dem exzentrischen Lastpfad entsteht, berücksichtigt werden.

(4) Der Wert von n_{lim} sollte wie folgt beurteilt werden:

$$n_{\text{lim}} = 0,2 \frac{m_p}{e} = 0,05 \left(\frac{t}{e} \right) t f_y \quad (6.1)$$

Dabei ist

m_p das vollplastische Moment je Längeneinheit der Breite des Blechs;

t die Dicke des dünnwandigeren Blechs an der Stufe;

e die Exzentrizität zwischen den Mittelflächen der beiden verbundenen Bleche.

ANMERKUNG Der in Gleichung (6.1) gewählte Wert von n_{lim} stellt sicher, dass das lokale Biegemoment kleiner als $0,2 m_p$ ist, was darauf hinweist, dass es praktisch keine Verminderung der statischen Biegetragfähigkeit des Blechs gibt und der Anstieg der elastischen Oberflächenspannung auf $0,3 f_y$ begrenzt ist.

(5) Ein profiliertes Blech darf als ein orthotropes gleichförmiges Blech behandelt werden, das durch einseitige Biegung beansprucht wird (siehe EN 1993-4-1).

(6) Ein einzelnes Loch in einem Blech darf in der rechnergestützten Modellierung vernachlässigt werden, wenn sein größtes Maß kleiner ist als der kleinere Wert von $5t$ und entweder $b/10$ oder $b_1/10$ ist und das Loch nicht innerhalb des Ausschlussabstands x_e eines Randes liegt, wie nach 8.2.7.1 (2) festgelegt.

6.2.4 Randbedingungen

(1) Die für ein einzelnes Blech angenommenen Randbedingungen sollten so gewählt werden, dass die Erstellung eines geeigneten Modells der realen Konstruktion sichergestellt wird. Besondere Aufmerksamkeit sollte nicht nur der Beschränkung der Verschiebungen in Normalrichtung zu jedem Blech (Durchbiegungen) gelten, sondern auch der Beschränkung der Verschiebungen in der Blechebene, aufgrund der signifikanten Auswirkung, die diese sowohl auf die Festigkeit als auch den Beulwiderstand haben können.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu Randbedingungen in rechnergestützten Modellen sind in EN 1993-1-14 angegeben.

(2) Randbedingungen für Auflager sollten überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie keine übermäßige Ungleichmäßigkeit der übertragenen Kräfte oder eingeleiteten Kräfte verursachen, die exzentrisch zu einer Blechmittelfläche sind. Für die detaillierte Anwendung dieser Regeln auf Silos dürfen weiterführende Informationen EN 1993-4-1 entnommen werden.

(3) Einspannungen an Blech- oder Plattengrenzen sollten in die Modellierung für die Grenzzustände LS2 und LS4 (siehe Abschnitt 7) aufgenommen werden, aber sie dürfen in den Modellierungen für die Grenzzustände LS1 und LS3 vernachlässigt werden.

(4) Bei rechnergestützten Berechnungen und bei der Auswahl der Gleichungen nach Anhang A bis Anhang C sollten die geeigneten Randbedingungen in Berechnungen für die Beurteilung der Grenzzustände entsprechend den Bedingungen nach Tabelle 6.4 verwendet werden. Zu den besonderen Bedingungen, die für Beulberechnungen erforderlich sind, siehe gegebenenfalls 7.4, 8.4 oder 9.4.

Tabelle 6.4 — Randbedingungen für Blechränder in der x-y-Ebene

Rand- bedingung Typ	Einfache Bezeichnung	Beschreibung	Verschiebungen		Verdrehung
			aus der Ebene	in der Ebene	über den Rand
BC1r	eingespannter Rand	Verschiebungen aus der Ebene behindert Verschiebungen in der Ebene behindert Verdrehung behindert	$w = 0$	$u = 0$ $v = 0$	$\phi = 0$
BC1f		Verschiebungen aus der Ebene behindert Verschiebungen in der Ebene behindert frei drehbar	$w = 0$	$u = 0$ $v = 0$	$\phi \neq 0$
BC2r		Verschiebungen aus der Ebene behindert Verschiebungen in der Ebene frei Verdrehung behindert	$w = 0$	$u \neq 0$ $v \neq 0$	$\phi = 0$
BC2f	gelenkiger Rand	Verschiebungen aus der Ebene behindert Verschiebungen in der Ebene frei frei drehbar	$w = 0$	$u \neq 0$ $v \neq 0$	$\phi \neq 0$
BC3	freier Rand	Verschiebungen aus der Ebene frei Verschiebungen in der Ebene frei frei drehbar	$w \neq 0$	$u \neq 0$ $v \neq 0$	$\phi \neq 0$
ANMERKUNG Es wird angenommen, dass eine Einspannung einer Randverschiebung in der Blechebene sowohl Verschiebungen in Normalrichtung zum Rand als auch parallel dazu behindert.					

6.2.5 Modellierung von Knotenlinien von Blechen

(1) Bei Anwendung einer rechnergestützten Tragwerksberechnung sollte Sorgfalt auf die Modellierung der Grenzen zwischen verbundenen Blechen (als Knotenlinien bezeichnet) verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Übertragung von Schnittgrößen angemessen repräsentiert wird, wobei auf die konstruktive Durchbildung des Anschlusses geachtet wird (siehe EN 1993-1-8).

ANMERKUNG Beim Anschluss angrenzender Bleche findet eine große Auswahl an konstruktiven Details Anwendung. Die Verbindungen können den spezifischen Details der Geometrie entsprechend flexibel oder steif sein. Die Steifigkeit der Verbindung kann zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen in der Übertragung von Schnittgrößen zwischen den Blechen oder Platten führen.

(2) Bei der Durchbildung der Anschlüsse zwischen Blechen oder Platten sollte sorgfältig auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit bezüglich zyklischen Plastizierens geachtet werden.

(3) Sofern keine besondere Festlegung getroffen wurde, sollten die Knotenlinien für die Übertragung der gesamten Schnittgrößen in Zusammenhang mit steifen Anschlüssen bemessen werden. Verformungsfähige Anschlüsse sollten mit einem angemessenen Verdrehungsvermögen und ausreichender Tragfähigkeit bemessen werden.

ANMERKUNG Sofern keine Schnittgrößen in Verbindung mit vollständig steifen Anschlüssen in die Bemessung übernommen werden, ist ein Versagen des Anschlusses durch plastisches Versagen (LS1) oder durch zyklisches Plastizieren (LS2) möglich.

(4) In Baugruppen aus ausgesteiften Blechen, für die in Modellen eine Kontinuität von Steifen über die Anschlüsse angenommen wird, sollte diese durch angemessene Durchbildung sichergestellt werden (siehe EN 1993-1-8).

6.3 Modellierung von Einwirkungen und Umgebungseinflüssen

(1) Es sollte vorausgesetzt werden, dass Lasten und andere Einwirkungen auf die Mittelfläche des Blechs wirken. Exzentrisch wirkende Lasten sollten durch statisch äquivalente Kräfte und Momente auf die Mittelfläche des Blechs erfasst werden.

(2) Sofern keine geeignete Begründung gegeben werden kann, sollten örtliche Einwirkungen nicht durch äquivalente gleichmäßige Lasten dargestellt werden.

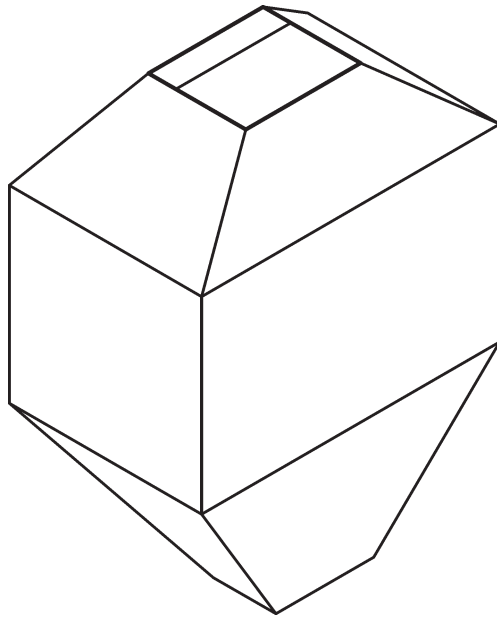
(3) Die Modellierung sollte sämtliche möglichen Bedingungen berücksichtigen, die das Tragwerk beeinflussen können, von denen die Folgenden, soweit zutreffend, berücksichtigt werden sollten:

- lokale Setzung unter Blechrändern;
- lokale Setzung unter Einzelstützen;
- gleichmäßige/ungleichmäßige Abstützung des Tragwerks;
- Temperaturunterschiede zwischen gegenüberliegenden Seiten des Tragwerks;
- Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenseite des Tragwerks;
- Verbindungen mit anderen Tragwerken;
- Bedingungen während der Montage.

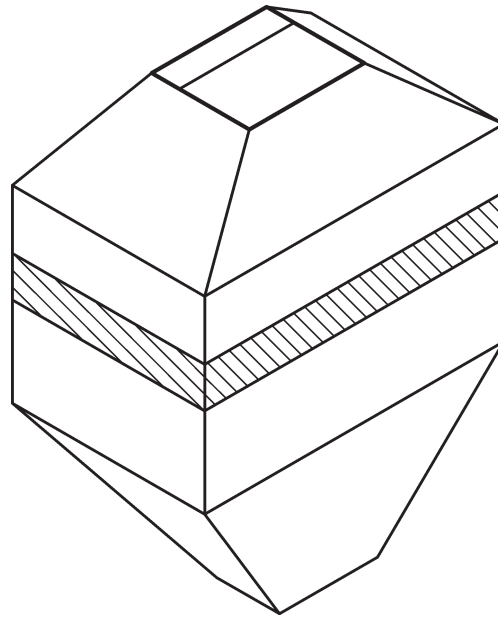
6.4 Vereinfachte Berechnungsverfahren für Blechbaugruppen unter allgemeinen Lasten

6.4.1 Allgemeines

- (1) Die Schnittgrößen eines Blechs oder einer Blechbaugruppe, das/die sowohl durch Lasten in als auch aus der Ebene beansprucht wird, dürfen unter Verwendung der hier festgelegten vereinfachten Modelle bestimmt werden.
- (2) Die allgemeine Form einer durch diese Norm behandelten Blechbaugruppe wird in Bild 6.1 dargestellt, obwohl nicht alle dargestellten Teile in jedem Tragwerk vorliegen werden. Diese Baugruppe besteht aus Blechen mit rechteckiger, trapezförmiger oder dreieckiger Form, bei der jedes Blech oder jede Platte mindestens eine Symmetrieachse aufweist.
- (3) Die Interaktionen zwischen Blechen oder Platten, die andere Formen als die rechteckige aufweisen, nehmen komplexere Formen an und es kann nützlich sein, diese mit einer rechnergestützten Berechnung des gesamten Tragwerks zu behandeln.
- (4) Die auf die Bleche einer rechteckigen Baugruppe wirkenden Querlasten dürfen als auf den Blechrändern gelagert angesehen werden, so dass für jeden horizontalen Blechstreifen, der verhältnismäßig gleichförmigem Druck ausgesetzt ist, davon ausgegangen werden kann, dass die Schubbeanspruchung am Ende des Streifens als Membrankraft auf das angrenzende Blech übertragen wird (siehe Bild 6.2).
- (5) Die Interaktionen in einer Querscheibe einer Blechbaugruppe zwischen biegebeanspruchten Blechen oder Platten dürfen näherungsweise unter Anwendung einer Gelenktragwerksberechnung behandelt werden. Eine derartige Berechnung geht davon aus, dass jedes Blech oder jede Platte eine Länge und mittlere Steifigkeit besitzt, die ermöglichen, die Interaktionen zwischen den Tragwerksteilen und den dazwischenliegenden Anschlüssen durch diese Gelenktragwerksberechnung genau wiederzugeben (siehe Bild 6.3).
- (6) Die Schubbeanspruchung am Ende des Streifens wird als Membrankraft auf das angrenzende Blech übertragen (siehe Bild 6.3 und Bild 6.4).
- (7) Die Interaktionen, die zwischen dreieckigen und trapezförmigen Blechen oder Platten auftreten, sowohl untereinander als auch mit anderen Teilen der Blechbaugruppe, erfordern eine besondere Behandlung (siehe 6.5.2).
- (8) In der vertikalen Ebene dürfen die Querlasten und Schubkräfte infolge Reibung auf Blechen oder Platten einer rechteckigen Baugruppe als auf den Blechrändern gelagert betrachtet werden, so dass für jeden vertikalen oder geneigten Blechstreifen davon ausgegangen werden kann, dass die Membrankraft und die Schubbeanspruchung am Ende des Streifens als eine entsprechende Membrankraft und Schubbeanspruchung auf das angrenzende Blech übertragen werden (siehe Bild 6.3 und Bild 6.4).

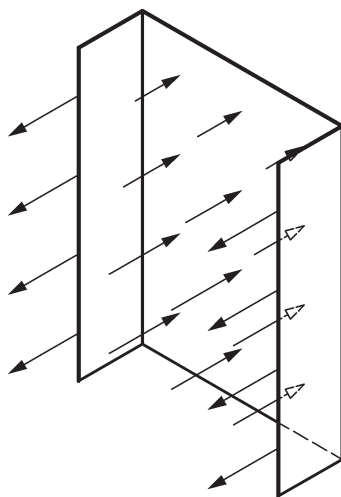


a) Baugruppe aus unausgesteiften Blechen

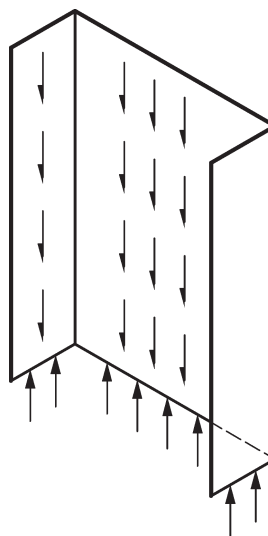


b) extrahierte Querscheibe

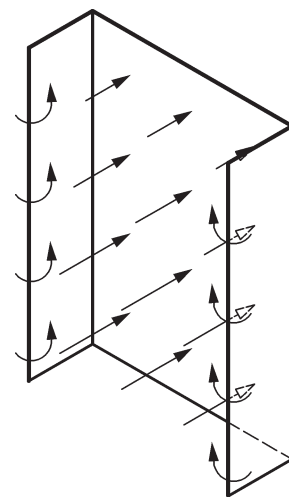
Bild 6.1 — Unausgesteifte Blechbaugruppe und horizontale Scheibe



a) Membrankräfte aus Drücken in Normalrichtung zum Blech



b) Membrankräfte aus Wandreibungslasten



c) Biegemomente in Blechelementen

Bild 6.2 — Membrankräfte und Biegemomente infolge von auf Blechen oder Platten wirkenden Normaldrücken und Wandreibungslasten

(9) Blechbaugruppen sind üblicherweise an diskreten Punkten gelagert, häufig unter den vertikalen Grenzen zwischen Blechen oder Platten (siehe Bild 6.5). Wenn ein Einzelblech die Seite einer Baugruppe bildet und die Baugruppe an beiden Enden dieses Blechs diskret gelagert ist (siehe 6.3.2 und Bild 6.5), sollte dieses Blech als ein wandartiger Träger, der sich zwischen Auflagern erstreckt, berechnet werden, wenn sein Seitenverhältnis ψ größer als 0,2 ist.

(10) Ein tragender Balken an der Grundseite des Blechs ist im Allgemeinen als Auflager des Blechs unwirksam, weshalb dieses Tragwerkskonzept nicht verwendet werden sollte. Wird ein tragender Balken verwendet (Bild 6.5), sollte seine Biegesteifigkeit bezüglich der Membransteifigkeit des darüberliegenden Blechs sorgfältig bewertet werden, um zu bestimmen, ob es bestimmungsgemäß wirken kann.

ANMERKUNG Die Membransteifigkeit in der Ebene ist, verglichen mit der Biegesteifigkeit aller stützenden tragenden Bauteile, sogar bei einem dünnwandigen Blech sehr hoch. Eine Berechnung, die die wahren Spannungsmuster im Blech berücksichtigt, ist erforderlich, um sicherzustellen, dass die Kräfte im Blech erwartungsgemäß übertragen werden und dass kein Blechbeulen als Schadensfolge des tatsächlichen Spannungsmusters auftritt.

(11) Wenn eine Blechbaugruppe an ihren Ecken gelagert ist (Bild 6.5) bedeutet die Wirkung als wandartiger Träger, dass jedes Seitenblech als ein Steg wirkt. Die Oberkante jedes Seitenblechs sollte mit einem steifen tragenden Bauteil verbunden werden, um einen wirksamen Gurt des wandartigen Trägers bereitzustellen [Bild 6.5 b) und c)]. Die Stabilität des Bauteils an der Oberkante sollte sorgfältig auf Beulen aus der Blechebene überprüft werden (siehe EN 1993-1-1).

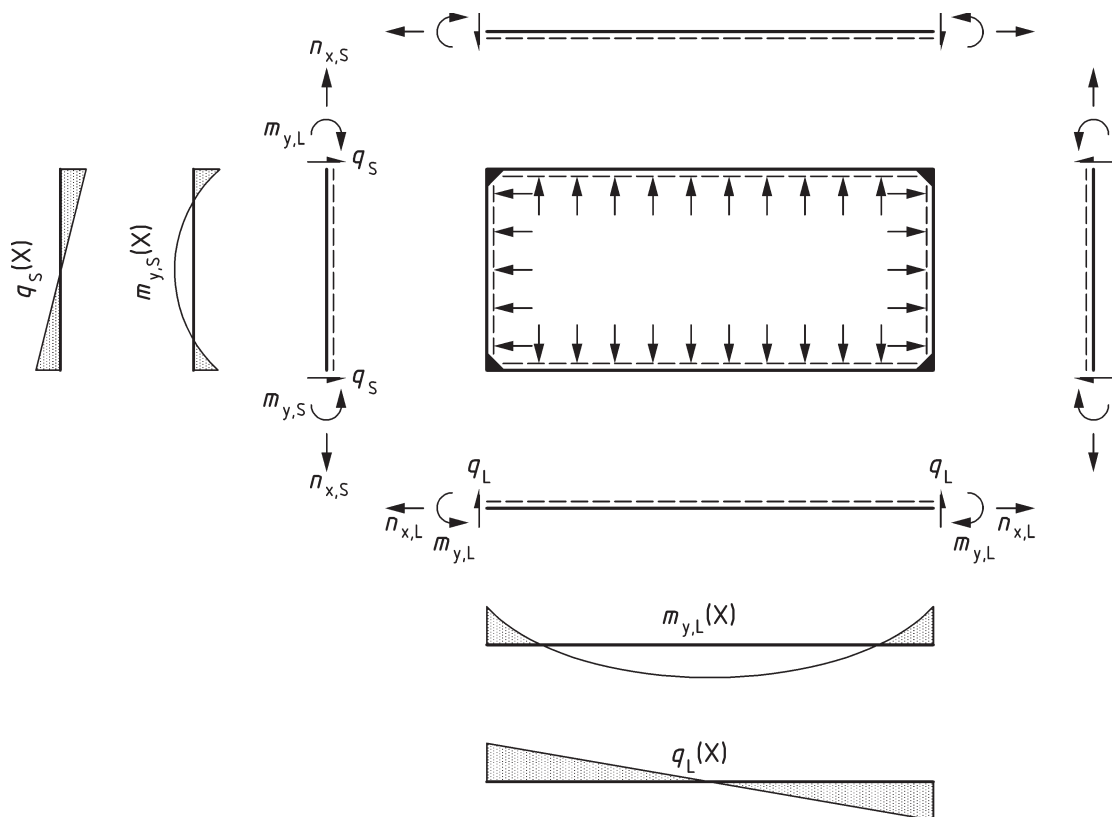
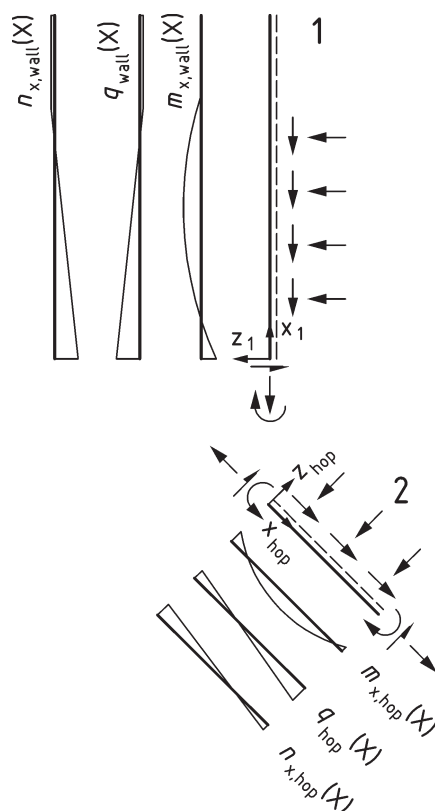


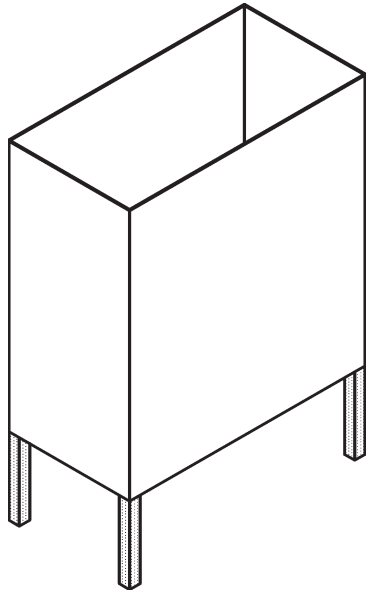
Bild 6.3 — Übertragung von Membrankraft, Schubbeanspruchung und Biegung auf eine Scheibe in Querrichtung (horizontal) durch eine vertikal stehende Blechbaugruppe



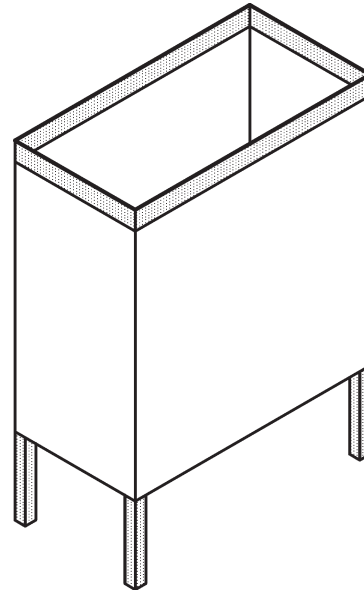
Legende

- 1 Wandscheibe
- 2 Trichter

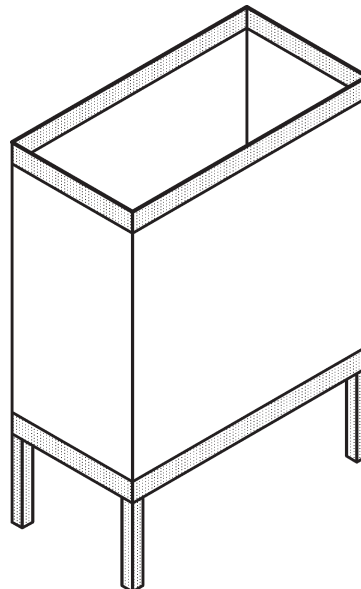
Bild 6.4 — Übertragung von Membrankraft, Schubbeanspruchung und Biegung zwischen Wandscheiben und Trichter in einer vertikal stehenden, rechteckigen Blechbaugruppe der Bauart nach Bild 6.1



a) einfache Auflager unter dem Kasten



b) mit Traufbalken



c) Balkenauflager unter Wänden mit Traufbalken

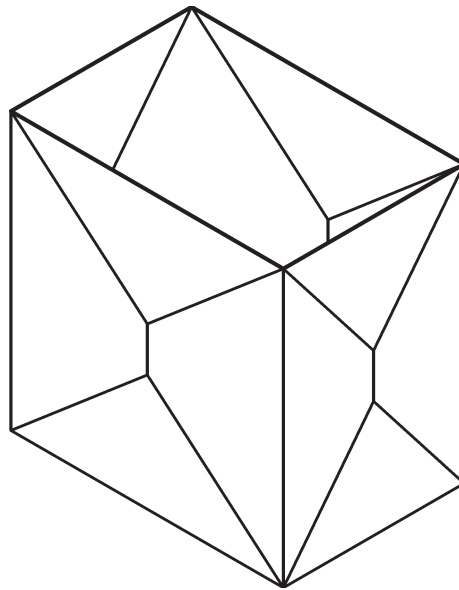
Bild 6.5 — Schematische Darstellungen für Auflagerbedingungen für rechteckige Baugruppen

6.4.2 Pyramidische Baugruppen

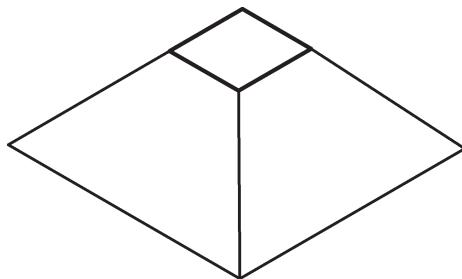
(1) Die Querlast auf einem trapezförmigen oder dreieckigen Blech in einer pyramidischen Baugruppe darf als ein gleichförmiger Druck und als Wandreibungslasten durch das gesamte Blech (siehe Anhang A und Anhang B) behandelt werden. Der Wert sollte als der höchste Druck gewählt werden, der voraussichtlich auf einen beliebigen Teil der Blechoberfläche nach EN 1991-4 wirkt.

(2) Die Berechnung der Kräfte und Biegemomente in trapezförmigen oder dreieckigen Blechen in einer pyramidischen Baugruppe darf mit den einfachen Berechnungen nach Anhang A erfolgen, darf alternativ unter Anwendung einfacher Finite-Elemente-Berechnungen von Einzelblechen oder einer vollständigen Finite-Elemente-Berechnung der gesamten Baugruppe erfolgen.

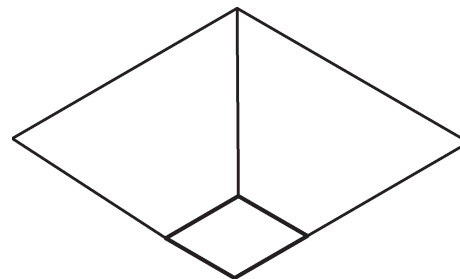
ANMERKUNG Die Anordnung von Blechen erzeugt ein sehr steifes und festes Tragwerk, das zu signifikant verminderten Schnittgrößen in Blechen oder Platten führt, die eine Bewertung mit den hier dargelegten Festlegungen erfordern.



a) pyramidische Baugruppe



b) pyramidisches Dach



c) pyramidischer Trichter

Bild 6.6 — Pyramidische Baugruppen

6.5 Berechnung von einzelnen Blechen oder Platten

6.5.1 Allgemeines

(1) Die Schnittgrößen in einem einzelnen Blech oder einer einzelnen Platte einer Blechbaugruppe sollten bewertet werden, wenn mindestens eine vorläufige Bewertung der von anderen Blechen ausgehenden Einwirkungen vorgenommen wurde.

(2) Die erforderliche Behandlung eines einzelnen Blechs oder einer einzelnen Platte ist stark davon abhängig, ob das Element unausgesteift oder ausgesteift ist. Die folgenden Absätze legen geeignete Verfahren für jeden Bauelement-Typ fest.

6.5.2 Berechnung unausgesteifter Bleche oder Platten

(1) Unausgesteifte Bleche oder Platten dürfen durch rechnergestützte Berechnung, vereinfachte Ersatzbalkenmodelle oder elastische Blechberechnung unter Verwendung von Gleichungen für die maximalen Biegemomente unter den gängigsten Belastungsbedingungen nach Anhang B berechnet werden.

(2) Ein nicht ausgesteiftes rechteckiges Blech unter Lasten aus der Ebene kann als ein Ersatzbalken in Richtung der vorherrschenden Lastabtragung modelliert werden, sofern die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- bei rechteckigen Blechen sollten die verteilten Lasten aus der Ebene entweder konstant oder linear veränderlich über das lange Maß a sein;
- bei dreieckigen und trapezförmigen Blechen sollten die verteilten Lasten aus der Ebene entweder konstant oder linear veränderlich entlang der Symmetrieachse sein;
- die Festigkeit, Stabilität und Steifigkeit des Tragwerks, Balkens oder der angrenzenden Bleche oder Platten, die die Randauflager für das Blech oder die Platte enthalten, sollten nachweislich die Erfordernisse der als Ersatzbalken behandelten Bleche oder Platten erfüllen.

ANMERKUNG Dieses Verfahren ist sehr konservativ, wenn das Blechseitenverhältnis $\psi = b/a$ nahe bei 1,0 liegt.

(3) Die Schnittgrößen des Ersatzbalkens sollten mit einer elastischen oder plastischen Berechnung nach EN 1993-1-1 ermittelt werden.

(4) Wenn die Druckmembranspannung in der Ebene in Spannrichtung des Ersatzbalkens über die gesamte Länge des Blechs wirkt, ist die Durchbiegung nach erster Ordnung infolge von Lasten aus der Ebene annähernd kongruent zum Knickfall des Blechs. In diesem Fall sollte die Verstärkung von Momenten erster Ordnung infolge des Drucks in der Ebene als ein Grenzzustand des Beulens (LS3) berücksichtigt werden, siehe 7.4 und 8.4.2.

6.5.3 Berechnung von einseitig ausgesteiften Blechen oder Platten

(1) Einseitig ausgesteifte Bleche oder Platten dürfen entweder mit rechnergestützten Berechnungen oder mit vereinfachten Balkenmodellen berechnet werden. Sowohl die Querkräfte, die direkt auf das ausgesteifte Blech wirken als auch die globalen Auswirkungen, die auf die Schnittstellen mit anderen ausgesteiften Blechen wirken, sollten in der vereinfachten Berechnung, siehe 6.7, berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Bild 6.7 stellt eine übliche Konfiguration für ein hydraulisches Schleusentor dar. Der signifikante Druck in Längsrichtung tritt in jedem der beiden dargestellten ausgesteiften Bleche infolge der gesamten strukturellen Ausbildung, der Randbedingungen und der Belastung auf.

(2) Ein Blech oder eine Platte, das/die nur in einer Richtung ausgesteift ist, darf als eine Abfolge von angrenzenden Balken modelliert werden, vorausgesetzt, dass die Randbedingungen der Enden jedes ausgesteiften Bereichs das erforderliche Auflager bieten. Das sich ergebende Balkenmodell sollte jegliche axialen Spannungen aus dem Blech berücksichtigen.

(3) Die einseitige Steife wirkt integral mit dem Blech und wirkt wie ein T-Profil- oder I-Profil-Ersatzbalken (abhängig vom Steifenquerschnitt). Die mitwirkende Breite b_{eff} des Blechs, das mit der Steife wirkt, darf als der kleinere Wert angesetzt werden von:

- dem Abstand der parallelen Steifen;
- $15t\sqrt{(235/f_y)}$ mit f_y angegeben in MPa;
- $L/50$;

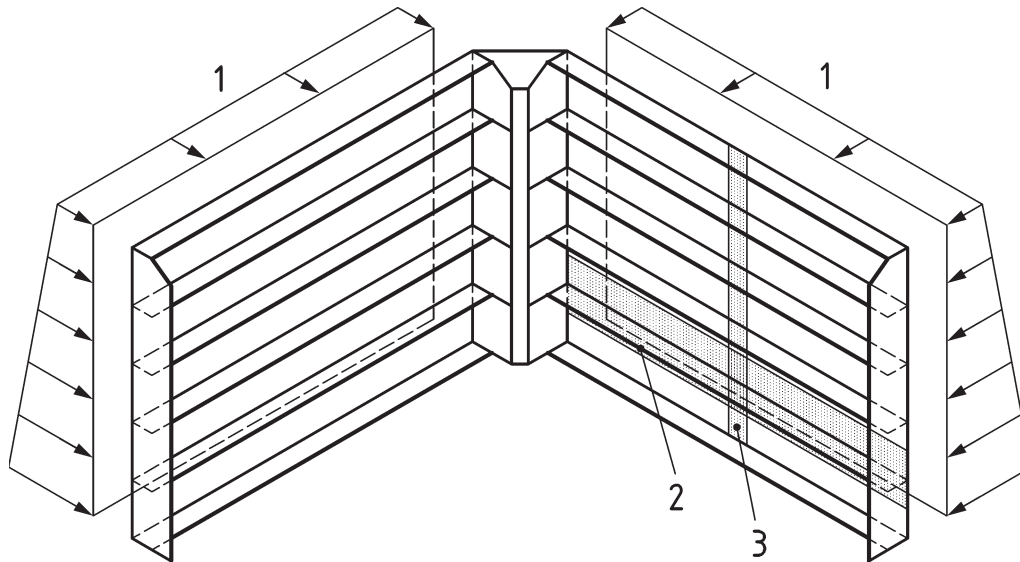
dabei ist L die Spannweite des ausgesteiften Blechs zwischen Auflagern.

(4) Eine effizientere Bemessung darf erreicht werden, indem die Festlegungen für die mitwirkende Breite angewendet werden, die Schubverzerrungen nach EN 1993-1-5 ermöglichen.

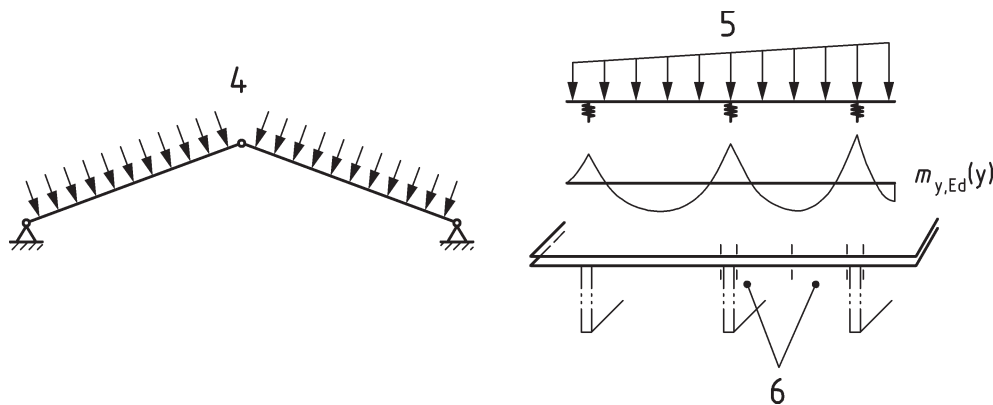
(5) Die Spannungen in Querrichtung dürfen ebenfalls unter Verwendung eines Balkenmodells auf steifen oder elastischen Auflagern bestimmt werden.

(6) Die kombinierten Auswirkungen der Spannungen, die für die Balkenmodelle in Längs- und Querrichtung bestimmt werden, sollten im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Abschnitt 9 enthalten sein.

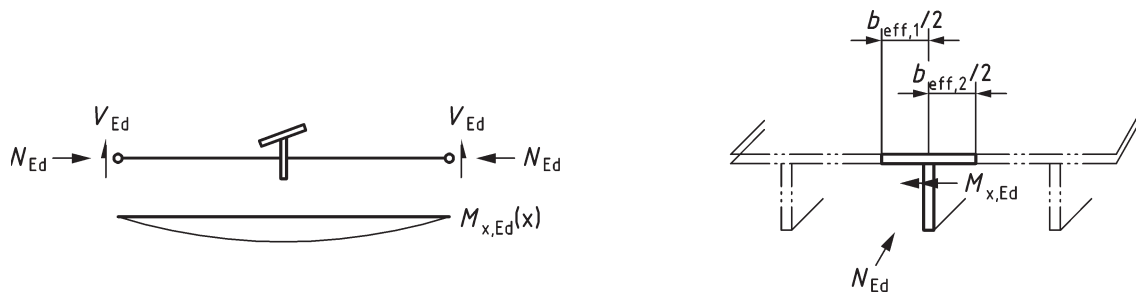
ANMERKUNG In der spannungsbasierten Bemessung werden die kombinierten Auswirkungen üblicherweise an einzelnen kritischen Querschnitten nachgewiesen, siehe Bild 6.7.



a) Gesamtansicht



b) vereinfachtes zweidimensionales Modell



c) vereinfachtes Modell für eine einzelne Längssteife

Legende

- 1 Querlast p_z
- 2 Längssteife mit wirksamem Blech
- 3 Blechstreifen in Querrichtung (Längeneinheit der Breite)
- 4 Längsrichtung
- 5 Querrichtung
- 6 kritische Querschnitte

Bild 6.7 — Vereinfachte Berechnung von einseitig ausgesteiften Blechen

(7) Wenn eine Steife an der Seite gegenüber der auf das Blech wirkenden Querlast angeordnet wird und keine Normalkraft aus externen Quellen direkt in die Steife geleitet wird, ist kein Beulnachweis der Steife erforderlich.

6.5.4 Berechnung von bidirektional ausgesteiften Blechen oder Platten

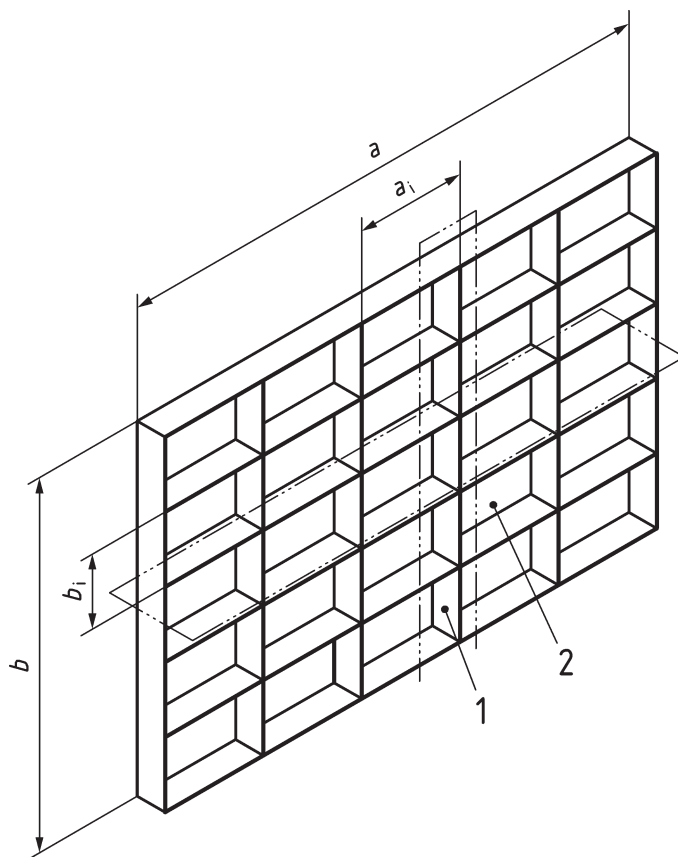
(1) Bleche oder Platten, die in beide Richtungen ausgesteift sind, dürfen entweder mit rechnergestützter Berechnung oder als Trägerrost modelliert werden, sofern sie rechteckiger Form und in Quer- und Längsrichtung ausgesteift sind, siehe Bild 6.8.

ANMERKUNG 1 Der für die Torsionssteifigkeit der Bauteile des Trägerrosts gewählte Wert kann sich erheblich auf die Ergebnisse dieser Berechnung auswirken.

ANMERKUNG 2 Wenn das bidirektional ausgesteifte Blech nicht die geometrischen Anforderungen an die Berechnung als Trägerrost erfüllt, ist in diesem Dokument kein einfaches Verfahren verfügbar.

(2) Die Steifen bidirektional ausgesteifter Bleche oder Platten, die als Trägerrost modelliert und berechnet werden, dürfen als Einzelquerschnitte nach den Regeln in EN 1993-1-1 nachgewiesen werden, wobei die mitwirkenden Breiten nach 6.5.3(3) oder EN 1993-1-5 angesetzt werden.

(3) Die Spannungen im ausgesteiften Blech (Einzelfelder) sollten als die Überlagerung der Membranspannungen infolge der Balkenwirkung der Längs- oder Quersteifen innerhalb der mitwirkenden Breite sowie als die Biege- und Membranspannungen infolge Biegung im Einzelfeld zwischen den Steifen berechnet werden.



Legende

- 1 Quersteife
- 2 Einzelfeld

Bild 6.8 — Übliche rechteckige, bidirektional ausgesteifte Blechbaugruppe

6.6 Berechnung mit rechnergestützter Modellierung

(1) Die Berechnung einer Blechbaugruppe mit rechnergestützter Modellierung sollte nach den Regeln nach EN 1993-1-14 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Für die Berechnung unausgesteifter, einseitig ausgesteifter und bidirektional ausgesteifter Blechbaugruppen eignet sich üblicherweise eine lineare elastische Berechnung (LA), sie kann jedoch zu einem sehr konservativen Verfahren führen.

7 Grenzzustand der Tragfähigkeit bei Blechbaugruppen

7.1 Allgemeines

(1) Bleche und Blechbaugruppen müssen gegen die vier Grenzzustände der Tragfähigkeit bemessen werden, die in den folgenden Unterabschnitten beschrieben werden.

7.2 Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)

(1) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit des plastischen Versagens ist der Zustand, in dem ein Teil des Tragwerks entweder übermäßige plastische Verformungen, wie in einem plastischen Mechanismus, ausbildet oder einen Bruch erleidet.

ANMERKUNG In diesem Grenzzustand können die Lasten oder Einwirkungen (Tragfähigkeit) nicht erhöht werden, ohne eine signifikante Änderung der Geometrie oder eine Kaltverfestigung des Materials auszunutzen.

(2) Der Grenzzustand des Zugbruchs ist der Zustand, in dem ein Blech ein Zugbruchversagen durch die gesamte Blechdicke erleidet, das zur Trennung in zwei Teile des Blechs oder zur Trennung von zwei Blechen oder Platten voneinander an einer Knotenlinie führt.

ANMERKUNG Für einen Bruch durch Nettoquerschnittsversagen an einer Knotenlinie siehe EN 1993-1-8.

(3) Beim Nachweis des plastischen Versagenszustands darf plastisches oder teilplastisches Verhalten des Tragwerks angenommen werden (d. h. Überlegungen zur elastischen Verträglichkeit dürfen vernachlässigt werden).

(4) Die plastische Bezugslast sollte mit einem Mechanismus auf Grundlage der Theorie kleiner Verformungen nachgewiesen werden.

(5) Für LS1 müssen die Bemessungswerte der Einwirkungen auf der ungünstigsten relevanten Lastkombination beruhen.

(6) Nur diejenigen Einwirkungen, die Lasten repräsentieren, die das Gleichgewicht des Tragwerks beeinflussen, brauchen enthalten zu sein.

(7) Eines oder mehrere der in 6.1 beschriebenen Berechnungsverfahren sollte(n) für die Berechnung der Bemessungsspannungen und der Schnittgrößen bei der Überprüfung hinsichtlich LS1 angewendet werden.

(8) In Ermangelung von Verbindungsmittellöchern darf angenommen werden, dass der Nachweis beim Grenzzustand Zugbruch durch die Überprüfung auf den plastischen Versagenszustand behandelt wird. Liegen jedoch Löcher für Verbindungsmittel vor, sollte eine ergänzende Überprüfung nach EN 1993-1-1 durchgeführt werden.

7.3 Grenzzustand des zyklischen Plastizierens (LS2)

(1) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit des zyklischen Plastizierens tritt auf, wenn wiederholte alternierende Zyklen plastischer Dehnungen eine Erschöpfung der plastischen Kapazität des Materials auf einem niedrigeren Niveau als unter monotoner Last verursachen. Es ist eine Einschränkung bezüglich Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl.

ANMERKUNG Die Spannungen für diesen Grenzzustand entwickeln sich aus der Kombination aller Einwirkungen und der Verträglichkeitsbedingungen für die Verformungen des Tragwerks.

(2) Alle veränderlichen Einwirkungen (wie Nutzlasten und Temperaturschwankungen), die zum Fließen führen können und die mit mehr als drei Zyklen in der Nutzungsdauer des Tragwerks aufgebracht werden könnten, sollten bei der Überprüfung auf LS2 berücksichtigt werden.

(3) Beim Nachweis dieses Grenzzustands sollte die Verträglichkeit der Verformungen unter elastischen oder elastisch-plastischen Bedingungen berücksichtigt werden.

(4) Eines oder mehrere der folgenden Berechnungsverfahren (siehe 6.1) sollte(n) für die Berechnung der Bemessungsspannungen und der Schnittgrößen bei der Überprüfung hinsichtlich LS2 angewendet werden:

- die elastische rechnergestützte Tragwerksberechnung (LA oder GNA) zur Bestimmung der elastischen Spannungsschwingbreite;
- die nichtlineare rechnergestützte Tragwerksberechnung (MNA oder GMNA) zur Bestimmung des plastischen Dehnungsbereichs.

7.4 Grenzzustand Beulen (LS3)

(1) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit Beulen ist der Zustand, in dem die Gesamtheit oder Teile des Tragwerks plötzlich große Verschiebungen in Normalrichtung zu einer Blechoberfläche entwickeln, die durch einen Stabilitätsverlust unter Druckmembranspannungen und/oder Schubspannungen in einem oder mehreren der Bleche oder Platten verursacht werden.

ANMERKUNG In den meisten Fällen führt Plattenbeulen zu einer Versteifung nach dem Beulen, was die Aufnahme höherer Lasten ermöglicht. Die Einleitung von Beulen ist demzufolge für Stützen und Schalen nicht so kritisch.

(2) Der bezogene linear-elastische Beulwiderstand wird aus einer linearen Verzweigungseigenwert-Berechnung (LBA) der Blechbaugruppe oder des Blechs oder der Platte ermittelt.

(3) Für lokales Plattenbeulen unter Membranspannungen siehe EN 1993-1-5 in Kombination mit den Regeln nach 8.4 und 9.4.

(4) Zur Tragfähigkeit der Steifen bei Biegeknicken, Biegedrillknicken und Knicken mit Querschnittsverformung siehe EN 1993-1-5.

(5) Bei der Überprüfung hinsichtlich LS3 darf jedes der folgenden Berechnungsverfahren (siehe 6.1) angewendet werden:

- die lineare elastische Verzweigungseigenwert-Berechnung (LBA) darf für Blechbaugruppen unter allgemeinen Belastungsbedingungen verwendet werden, um den idealen elastischen Beulwiderstand für den Beulnachweis nach EN 1993-1-5 zu ermitteln;
- GMNIA unter Verwendung geeigneter Imperfektionen und berechneter Kalibrierfaktoren, wobei die Auswertung der Ergebnisse durch die Ergebnisse von MNA-, LBA- und GMNA-Berechnungen gestützt wird.

(6) Sämtliche maßgebenden Lastkombinationen bei den Bemessungswerten, die Druckmembran- oder Schubmembranspannungen in den Blechen erzeugen, sollten bei der Überprüfung hinsichtlich LS3 berücksichtigt werden.

7.5 Grenzzustand der Ermüdung (LS4)

(1) Der Grenzzustand der Ermüdung bei hoher Lastspielzahl sollte als der Zustand angesehen werden, in dem wiederholte Schwingspiele zu- und abnehmender Spannung infolge veränderlicher Einwirkungen zu der Ausbildung und Ausbreitung eines Ermüdungsrissses führen.

(2) Ein Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 sollte bei Tragwerken durchgeführt werden, die veränderlichen Einwirkungen mit hoher Lastspielzahl ausgesetzt sind.

(3) Bemessungswerte für Einwirkungen und Lastspektren, die Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ erzeugen, die für den Grenzzustand der Ermüdung maßgebend sind, dürfen nach EN 1991, nach anwendungsbezogenen Teilen der Normenreihe EN 1993 oder nach maßgebenden Produktspezifikationen festgelegt werden.

(4) Falls schadensäquivalente konstante Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ wie nach prEN 1993-1-9:2023, 7.3.2. oder 7.3.3, nach den in (2) angegebenen Dokumenten festgelegt sind, sollte nachgewiesen werden, dass ihre Festlegung dem gewählten spannungsbezogenen Bemessungsansatz entspricht, siehe (4). In anderen Fällen darf der Bemessungswert der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ nach prEN 1993-1-9:2023, 7.3.4 aus dem linear akkumulierten Schaden D an der Kerbe berechnet werden. Das lineare Schadensakkumulationsmodell nach prEN 1993-1-9:2023, Anhang A, sollte zur Berechnung von D verwendet werden.

(4) Die Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ und die Spektren der Spannungsschwingbreiten, die sich aus den Einwirkungen und Lastspektren nach (2) ergeben, sollten berechnete maßgebende Konstruktionsdetails oder Kerben im Blech oder in der Blechbaugruppe sein, unter Berücksichtigung der geeigneten Bemessungsverfahren nach prEN 1993-1-9:2023, 6.1(1).

ANMERKUNG Konstruktionsdetails, die für LS4 relevant sind, sind im Allgemeinen an geschweißten oder Schraubanschlüssen, Verbindungen, Steifen oder Anbauteilen zu finden. Eine Klassifizierung von Konstruktionsdetails und die entsprechenden Ermüdungsfestigkeitswerte, die auf das gewählte Bemessungsverfahren anzuwenden sind, sind in prEN 1993-1-9:2023, Abschnitt 10, Anhang B und Anhang C, angegeben, für das Verfahren mit Nenn- oder modifizierter Nennspannung, das Kerbspannungsverfahren bzw. das Verfahren mit effektiver Kerbspannung.

(5) Das Nennspannungsverfahren nach EN 1993-1-9 darf nur in Fällen angewendet werden, in denen Membranspannungen in der Blechmittelfläche den Bemessungswert des Spektrums der Spannungsschwingbreite in der Nähe der betrachteten Kerbe mit ausreichender Genauigkeit repräsentieren. In allen anderen Fällen sollte das Kerbspannungsverfahren nach prEN 1993-1-9:2023, Anhang B, oder der Ansatz mit effektiver Kerbspannung nach prEN 1993-1-9:2023, Anhang C, bei der Ermüdungsbemessung von in Querrichtung belasteten Blechen und Blechbaugruppen angewendet werden.

(6) Bei der Bestimmung der elastischen Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ darf die lineare elastische Berechnung (LA) angewendet werden, wenn die geometrische Nichtlinearität vernachlässigt werden kann. Falls jedoch geometrische Nichtlinearitäten die linear-elastische Spannungsverteilung signifikant verändern, sollte eine nichtlineare elastische Berechnung (GNA) angewendet werden.

(7) Die Hauptspannung mit der größten absoluten Spannungsschwingbreite sollte bei der Bemessung verwendet werden, es sei denn, ihre Ausrichtung weicht um mehr als 45° von der Normalrichtung zur Kerbe ab (Schweißnaht oder Schraubenlochrand). In letzterem Fall sollten die Spannungsponenten verwendet werden, die senkrecht zur Kerbe sind, siehe prEN 1993-1-9:2023, Anhang B.

(8) Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Ermüdungsbemessung sollten EN 1993-1-9 entnommen werden.

(9) Der Nachweis von multiaxialer Ermüdungsbelastung sollte nach prEN 1993-1-9:2023, 9.4, erfolgen.

8 Bemessung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von unausgesteiften Blechen

8.1 Allgemeines

(1) Unausgesteifte Bleche müssen, wie in diesem Abschnitt beschrieben, unter Verwendung entweder einer spannungsbasierten Bemessung, einer Bemessung mit Normgleichungen oder rechnergestützter Bemessung gegen die Grenzzustände LS1 bis LS4 bemessen werden.

ANMERKUNG Einzelfelder zwischen Steifen von ausgesteiften Blechen werden in Abschnitt 10 behandelt.

(2) Wird ein unausgesteiftes Blech dafür bemessen, bei nur einseitiger Biegung als Ersatzbalken zu wirken, sollte die Querschnittsbeanspruchbarkeit des Ersatzbalkens auf das Zusammenwirken von Lasten in der und aus der Plattenebene mit den Festlegungen nach EN 1993-1-1 überprüft werden.

8.2 Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)

8.2.1 Allgemeines

(1) Nur diejenigen Einwirkungen, die Lasten repräsentieren, die das Gleichgewicht des Tragwerks beeinflussen, brauchen enthalten zu sein.

(2) Der Grenzzustand des plastischen Versagens darf mit jedem der folgenden Verfahren beurteilt werden:

— einfache Bemessung für einseitiges Biegen (Ersatzbalken);

- spannungsbasierte Bemessung;
- Bemessung nach Normgleichungen;
- Bemessung mit rechnergestützter Berechnung.

8.2.2 Bemessungswerte des Tragwiderstands

(1) Die Fließlinienmethode darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit benutzt werden, wenn die Membranzug-, Membrandruck- oder Membranschubbeanspruchungen kleiner als 10 % der Membranstreckgrenze sind. Die Biegetragfähigkeit in einer Bruchlinie (en: yield line) sollte wie folgt angesetzt werden:

$$m_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \frac{t^2}{4} \quad (8.1)$$

(2) Die Zug- oder Druckbeanspruchbarkeit der Membran sollte wie folgt angesetzt werden:

$$n_{x,Rd} = n_{y,Rd} = \frac{f_u t}{\gamma_{M2}} \quad (8.2)$$

(3) Die aufnehmbare Querkraft der Membran sollte wie folgt angesetzt werden:

$$n_{xy,Rd} = \frac{f_u t}{\gamma_{M2} \sqrt{3}} \quad (8.3)$$

(4) Wenn die Zugbeanspruchung der Membran 10 % der Beanspruchbarkeit an der Dehngrenze überschreitet oder:

$$n_{eq,Ed} > 0,1 n_{x,Rd} \quad (8.4)$$

Die Biegetragfähigkeit in einer Bruchlinie sollte abgemindert werden auf:

$$m_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \frac{t^2}{4} \{1 - g_{eq}^2\} \quad (8.5)$$

wobei

$$g_{eq} = \gamma_{M2} \frac{n_{eq,Ed}}{n_{x,Rd}} \quad (8.6)$$

$$n_{eq,Ed} = \sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} n_{y,Ed} + n_{y,Ed}^2 + 3n_{xy,Ed}^2} \quad (8.7)$$

(5) Die Beanspruchbarkeit mit Biegespannung, die der Biegemomententragfähigkeit der Bruchlinie entspricht, sollte ermittelt werden anhand von:

$$\sigma_{eq,Rd} = \frac{4m_{Rd}}{t^2} \quad (8.8)$$

(6) Die Auswirkung von Verbindungsmittellöchern sollte für Zugbeanspruchung nach EN 1993-1-1:2022, 8.2.3, und für Druckbeanspruchung nach EN 1993-1-1:2022, 8.2.4, berücksichtigt werden.

(7) Bei der Bemessung von Anschlüssen mit langen Schrauben sollte die ungleichmäßige Verteilung von Kräften und Spannungen, die durch die Schrauben sowie durch den Nettoquerschnitt des angrenzenden Blechs zu übertragen sind, unter Einhaltung der einschlägigen Regeln nach EN 1993-1-1 und EN 1993-1-8 berücksichtigt werden.

8.2.3 Spannungsbasierte Bemessung

(1) Bemessungswerte maßgebender Membran- und Biegeschnittgrößen dürfen den Gleichungen nach Anhang A und Anhang B entnommen werden.

(2) Bei einseitiger Biegung und Membrankräften, siehe 8.2.4.

(3) Wenn Gleichungen für Biegemomente in elastischen Blechen (siehe Anhang B) mit Membrankräften nach Anhang A verwendet werden, siehe 8.2.5.

(4) Im Fall eines zweidimensionalen Spannungsfelds im Ergebnis einer linearen elastischen Berechnung, darf die Von-Mises-Vergleichsspannung $\sigma_{eq,Ed}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed} + \sigma_{y,Ed}^2 + 3\tau_{xy,Ed}^2} \quad (8.9)$$

wobei

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{4m_{x,Ed}}{t^2} \quad (8.10)$$

$$\sigma_{y,Ed} = \frac{n_{y,Ed}}{t} \pm \frac{4m_{y,Ed}}{t^2} \quad (8.11)$$

$$\tau_{xy,Ed} = \frac{n_{xy,Ed}}{t} \pm \frac{4m_{xy,Ed}}{t^2} \quad (8.12)$$

mit $n_{x,Ed}$, $n_{y,Ed}$, $n_{xy,Ed}$, $m_{x,Ed}$, $m_{y,Ed}$ und $m_{xy,Ed}$ nach 3.2 (5) und (7).

ANMERKUNG Die oben angegebenen Gleichungen ergeben eine vereinfachte und im Allgemeinen auf der sicheren Seite liegende Vergleichsspannung für die Bemessung.

(5) Der Ausschlussabstand x_e nach 8.2.7.1 darf dazu verwendet werden, die Anzahl der Orte zu verringern, an denen die Prüfung nach Gleichung (8.9) angewendet werden muss.

ANMERKUNG 1 Falls die berechneten Von-Mises-Oberflächenvergleichsspannungen an jedem Punkt im Blech angewendet werden (z. B. als Ergebnis eines Computerprogramms), herrschen häufig lokale Spannungsbedingungen vor und die Bemessung wird konservativer sein, als die anhand einer Bewertung unter Verwendung von Gleichung (8.9) bis Gleichung (8.12) ermittelte.

ANMERKUNG 2 Gleichung (8.9) bis Gleichung (8.12) entsprechen der Fließbedingung nach Ilyushin.

(6) Es sollte nachgewiesen werden, dass:

$$\sigma_{eq,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8.13)$$

8.2.4 Einfache Bemessung für einseitige Biegung

(1) Falls ein nicht ausgesteiftes Blech als ein Ersatzbalken bemessen wird, darf die einfachere Behandlung seiner Querschnittstragfähigkeit unter Verwendung des Folgenden überprüft werden.

(2) Die Biegetragfähigkeit sollte nach Gleichung (8.1) angesetzt werden. Die Zugtragfähigkeit der Membran oder die Druckfließgrenze sollten nach Gleichung (8.2) angesetzt werden. Die verminderte Biegetragfähigkeit in Gegenwart einer Membrankraft sollte nach Gleichung (8.5) angesetzt werden, unter Verwendung von:

$$g_{eq} = \gamma_{M2} \frac{n_{x,Ed}}{n_{x,Rd}} \quad (8.14)$$

(3) Die äquivalente Oberflächenspannung sollte wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_{eq,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{4m_{x,Ed}}{t^2} \quad (8.15)$$

(4) An jedem Punkt einer Blechbaugruppe sollte für den Bemessungswert der Spannung $\sigma_{eq,Ed}$ die folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\sigma_{eq,Ed} \leq \frac{4}{\gamma_{M0}} \frac{m_{x,Rd}}{t^2} \quad (8.16)$$

8.2.5 Bemessung mit genormten elastischen Gleichungen

(1) Bei der Bemessung unausgesteifter Bleche und Blechbaugruppen mit genormter Form, die ausschließlich durch Normlastfälle beansprucht werden, dürfen die Gleichungen für elastische Biegemomente nach Anhang B verwendet werden.

(2) Der Höchstwert der Von-Mises-Vergleichsbiegespannung sollte für die Blechgeometrie und die Belastungsbedingung angesetzt werden, unter Verwendung der geeigneten Bemessungswerte der Belastung und der Gleichungen nach Anhang B, um $\sigma_{eq,Ed}$ zu ermitteln. Biegespannungen auf der Mittellinie und an den Grenzen sollten, soweit geeignet, getrennt ermittelt werden.

(3) Die äquivalente Biegetragfähigkeit $\sigma_{eq,Rd}$ sollte nach Gleichung (8.8) ermittelt werden.

(4) Es sollte nachgewiesen werden, dass an jedem Ort:

$$\sigma_{eq,Ed} \leq \sigma_{eq,Rd} \quad (8.17)$$

8.2.6 Bemessung mit genormten plastischen Gleichungen

(1) Bei der Bemessung unausgesteifter Bleche und Blechbaugruppen mit genormter Form, die ausschließlich durch Normlastfälle beansprucht werden, dürfen die Gleichungen für plastisches Versagen nach Anhang C angewendet werden.

(2) Der Bemessungswert des Referenzdrucks $p_{r,Ed}$ sollte ergeben:

$$p_{r,Ed} = \gamma_F p_r \quad (8.18)$$

(3) Die Biegetragfähigkeit m_{Rd} für die Verwendung in den Gleichungen in Anhang C sollte unter Verwendung von Gleichung (8.1) und Gleichung (8.5) beurteilt werden. Diese Gleichungen ergeben dann den Bemessungswert des Referenzdrucks des plastischen Versagens $p_{r,Rpld}$.

(4) Es sollte nachgewiesen werden, dass für das Blech gilt:

$$p_{r,Ed} \leq p_{r,Rpld} \quad (8.19)$$

8.2.7 Bemessung mit rechnergestützter Tragwerksberechnung

8.2.7.1 Lineare elastische rechnergestützte Tragwerksberechnung

(1) Wenn die Eigenspannungen in einer Blechbaugruppe mit einer elastischen rechnergestützten Tragwerksberechnung bestimmt werden, sollte die maximale Von-Mises-Oberflächenvergleichsspannung $\sigma_{eq,Ed}$ an jedem Ort in jedem Blech der Blechbaugruppe aus den Schnittgrößen nach 8.2.2 berechnet werden.

(2) Biegespannungen innerhalb des Ausschlussabstands $x_e = 10t$ vom Rand eines Blechs dürfen in dieser Bewertung vernachlässigt werden, wenn t die örtliche Blechdicke ist.

(3) Die Beanspruchbarkeit sollte mit Gleichung (8.1) bis Gleichung (8.13) nachgewiesen werden.

8.2.7.2 Nichtlineare rechnergestützte Tragwerksberechnung

(1) Bei Anwendung einer nichtlinearen rechnergestützten Berechnung muss der Bemessungswert des Widerstands gegen plastisches Versagen als ein Lastfaktor $R_{plf,d}$ bestimmt werden, der auf die Bemessungswerte F_{Ed} der Kombination von Einwirkungen für diesen zutreffenden Lastfall angewendet wird.

(2) In einer GMNA-Berechnung auf Grundlage des Bemessungswerts der Streckgrenze f_y/γ_{M0} sollte die Blechbaugruppe den Bemessungswerten der Lastfälle nach (2) unterzogen werden, die fortschreitend um den Belastungsgrad R erhöht werden, bis die Grenzbedingung für plastisches Versagen bei R_{GMNA} erreicht wird.

(3) Wenn im Tragwerk große Verschiebungen auftreten, bevor die Spitzenlast unter GMNA erreicht wird, sollte ein begrenzendes Kriterium für die Durchbiegung angewendet werden, um den Wert von R_{GMNA} zu bestimmen. Das empfohlene Kriterium wird angegeben durch δ_{lim} , das wie folgt definiert ist:

$$\delta_{lim} = \frac{\Delta_{max}}{b} \leq \frac{1}{25} \quad (8.20)$$

Dabei ist

Δ_{max} die maximale Durchbiegung aus der ursprünglichen Blechebene;

b nach Bild 3.2 festgelegt (wobei für Trapezbleche b_1 gilt).

ANMERKUNG Obwohl Gleichung (8.20) eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit zu sein scheint, weil sie eher eine Begrenzung der Verschiebung, als ein Maß des Tragwerksversagens darstellt, ist es dennoch entscheidend, eine Grenzverformung als ein Grenzkriterium der Tragfähigkeit zu besitzen, weil sowohl die stabilen Verformungen nach dem Beulen als auch unzulässig große Durchbiegungen für die Gesellschaft nicht annehmbar sind. Diese werden deshalb hier als ein Grenzzustand der Tragfähigkeit behandelt. Siehe auch prEN 1993-1-6:2023, Bild 9.10.

(4) Der charakteristische Widerstand gegen plastisches Versagen $R_{plf,k}$ sollte als R_{GMNA} angesetzt werden.

(5) Der Bemessungswert des Widerstands gegen plastisches Versagen $F_{R,plf,d}$ muss ermittelt werden anhand von:

$$F_{R,plf,d} = \frac{F_{R,plf,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{R_{plf,k} F_{Ed}}{\gamma_{M0}} = R_{plf,d} F_{Ed} \quad (8.21)$$

(6) Es muss nachgewiesen werden, dass:

$$F_{Ed} \leq F_{R,plf,d} = R_{plf,d} F_{Ed} \text{ oder } R_{plf,d} \geq 1 \quad (8.23)$$

8.3 Grenzzustand des zyklischen Plastizierens (LS2)

8.3.1 Allgemeines

(1) Das wiederholte Auftreten von Dehnungen im plastischen Bereich in alternierenden Richtungen (d. h. zyklisches Plastizieren) kann unter Umständen zu wiederholtem Plastizieren oder Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl führen. Die Bemessung gegen diese Grenzzustände darf nach jedem der folgenden Bemessungsansätze erfolgen:

- Wenn ein Bemessungsverfahren auf Grundlage linear-elastischer Ersatzspannungen (LA) angewendet wird, ist es zulässig, dass die berechnete elastische Spannung die Fließgrenze innerhalb der in 8.3.2 angegebenen Grenzwerte überschreitet. Die Primärspannungen sollten nicht die Fließgrenze überschreiten. Die Summe der elastischen Primär- und Sekundärspannungen darf die Fließgrenze überschreiten.
- Bei der Anwendung eines Bemessungsverfahrens zur Bestimmung der Abfolge, Anzahl des Auftretens und der Akkumulation der plastischen und elastischen Gesamtdehnungen, dürfen nichtlineare kinematische Verfestigungsgesetze bei der Bestimmung der akkumulierten plastischen Dehnungen unter wiederholter Belastung berücksichtigt werden.

(2) Sofern keine andere Definition festgelegt wird, sollten die Bemessungswerte der Einwirkungen für jeden Lastfall als charakteristische Werte derjenigen Teile der Gesamteinwirkungen gewählt werden, die während der geplanten Nutzungsdauer des Tragwerks voraussichtlich mehr als dreimal aufgebracht und entlastet werden.

(3) Wenn eine materiell nichtlineare, rechnergestützte Berechnung angewendet wird, sollte für den veränderlichen Teil der Einwirkungen zwischen den oberen und unteren Extremwerten angenommen werden, dass er in Gegenwart koexistenter dauerhafter Teile der Last wirkt.

8.3.2 Spannungsbasierte Bemessung

(1) Die Blechbaugruppe sollte unter Verwendung einer LA- oder GNA-Berechnung berechnet werden, die die beiden extremen Bemessungswerte der Einwirkungen F_{Ed} verwendet. Für jede extreme Lastbedingung im zyklischen Prozess sollten die Spannungskomponenten bewertet werden.

(2) Die Bemessungswerte der Änderung in jeder Spannungskomponente $\Delta\sigma_{x,Ed,i}$, $\Delta\sigma_{y,Ed,i}$, $\Delta\tau_{xy,Ed,i}$ auf jeder Oberfläche der Blechbaugruppe (repräsentiert durch $i = 1, 2$ für die Innen- und Außenflächen der Blechbaugruppe) und an jedem Punkt des Tragwerks sollten anhand der benachbarten Extremwerte im zyklischen Prozess bestimmt werden. Anhand dieser Änderungen bei der Spannung sollte der Bemessungswert der Änderung der Von-Mises-Vergleichsspannung an den Innen und Außenflächen wie folgt ermittelt werden:

$$\Delta\sigma_{eq,Ed,i} = \sqrt{\Delta\sigma_{x,Ed,i}^2 - \Delta\sigma_{x,Ed,i} \cdot \Delta\sigma_{y,Ed,i} + \Delta\sigma_{y,Ed,i}^2 + 3\Delta\tau_{xy,Ed,i}^2} \quad (8.24)$$

(3) Der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{eq,Ed}$ sollte als die größte der Änderungen der Von-Mises-Vergleichsspannung $\Delta\sigma_{eq,Ed,i}$ angesetzt werden, wobei im Gegenzug jede Oberfläche der Blechbaugruppe berücksichtigt wird ($i = 1$ und $i = 2$ gesondert betrachtet).

(4) An einer Knotenlinie zwischen Blechen, bei dem die Berechnung einen Knotenpunkt der Mittelflächen modelliert und die finite Größe der Knotenlinie außer Acht lässt, darf die Spannungsschwingbreite als der erste physikalische Punkt in der Blechbaugruppe angesetzt werden (im Gegensatz zum Wert, der am Schnittpunkt der beiden Mittelflächen berechnet wurde).

ANMERKUNG Dieser Zuschlag ist relevant, wenn die Spannung nahe der Knotenlinie stark ansteigt.